

การผลตไปไอตเชลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวทาละลายรวม

นางสาวราตร พันธ์ชา

วทยานพนธ์นี้เป็นสวหนงของการศกษาตามหลักสูตรปรญญาวศกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาศวกรรมเคม ภาควิชาศวกรรมเคม

คณะวศกรรมศาสตร์ จฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปการศกษา 2551

ลขสทธิ์ของจฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BIODIESEL PRODUCTION FROM PALM OIL WITH CO-SOLVENT

Miss Ratre Puntoocha

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

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การผลัดโบโอดเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวทาละลายรวม

โดย

นางสาวราตรี พันธชา

สาขาวิชา

วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้เชี่ยวชาญศาสตราจารย์. ดร. มนตร วงศ์ศรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศฤทธิ์วงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์.ดร.ธราธร มงคลศรี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้เชี่ยวชาญศาสตราจารย์.ดร. มนตร วงศ์ศรี)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สรเทพ เขยวหอม)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.วรายุทธ เลิศบำรุงสุข)

ราตร พันธชา : การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวทาละลาย. (BIODIESEL PRODUCTION FROM PALM OIL WITH CO-SOLVENT) อ.ทปรกษาวทยานพนธ์
 หลัก : ฝัชวยศาสตราจารย์.ดร.มนตร วงศ์ศร, 95 หน้า.

การผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกรยาทรานส์เอสเทอร์ฟเคชันซงใช้ัอัตราสวนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเปน 6:1 มีโพแทสเซยมไฮดรอกไซด์ 1 เปอรเซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันเปนตัวเร่งปฏิกรยาและใช้ตัวทาละลายรวม1.25 เทาโดยปรมาตรของเมทานอล 2 ซนด คอ เตตระไฮโดรฟแรน และ เฮกเซน เพอเพมประสทรภาพในการเกิดปฏิกรยา ใช้เวลาทาปฏิกรยา 20, 40 และ 60 นาท ทอณหทม 40 และ 60 องศาเซลเซียส ัอัตราเร็วในการกวนของใบพัดเปน 200, 400 และ 600 รอบ/นาท ตามลาดับ พบวาเมอณหทม 60 องศาเซลเซียส สำหรับทกเงอนไขการทดลองจะใหปริมาณเมทลเอสเทอร์สงใกล้เคียงกันและเพมซ้นตามเวลา ความเร็วในการกวนเพมซ้นมผลทาให้มการเคลอนย้ายมวล (Mass Transfer) ของไตรกลเซอร์ไรด์จากเฟสของน้ำมันไปสเฟสระหวางเมทานอลกับน้ำมันคซ้น สาหรับการใช้ตัวทาละลายรวมในปฏิกรยา สารเตตระไฮโดรฟแรนให้คาเปอร์เซ็นต์เมทลเอสเทอร์สงวาเฮกเซน พบวาตัวทาละลายรวมมสวนชวยให้เฟสของน้ำมันและเฟสของแอลกอฮอล์รวมกันเปนเฟสเดยว และปฏิกรยาสามารถเกิดได้คซ้น

ภาควชา.....วศวกรรมเคม..... ลายมอชอนสต.....
 สาขาวิชา.....วศวกรรมเคม..... ลายมอชออ.ทปรกษาวทยานพนธ์หลัก.....
 ปการศึกษา.....2551.....

4971462921 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : BIODIESEL / PALM OIL / CO-SOLVENT

RATREE PUNTOOCHA : BIODIESEL PRODUCTION FROM PALM OIL WITH
CO-SOLVENT. ADVISOR : MONTREE WONGSRI, D.Sc.,95 pp.

Biodiesel production by transesterification at the 6:1 methanol : oil molar ratio in the presence of a 1% by weight KOH catalyst addition of 1.25 volumes Co-solvent ,Tetrahydrofuran (THF) and Hexane Reaction times at 20,40 and 60 min, temperature 40 and 60 °C, speed of mixing 200,400 and 600 rpm respective. The effective of variation in temperature at 60 °C for all condition have methyl ester maximum and increasing times too, speed of mixing increased for mass transfer of triglyceride from oil phase to methanol-oil faster than in non-mixing system. The effective of variation in co-solvent, THF produces an oil-methanol one phase system in which methanolysis speeds up dramatically and occurs faster than in hexane and co-solvent-free system.

Department : Chemical Engineering Student's Signature : _____
Field of Study : Chemical Engineering Advisor's Signature : _____
Academic Year : 2008 _____

กตตกรรมประกาศ

วิทยานพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายๆท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.มนตร วงศ์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ วิชาการทางานวิจัย ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณอย่างสูงยง ตอ รศ.ดร.ธรรธร มงคลศรี ประธานสอบวิทยานพนธ์ และ อาจารย์ ดร. สรเทพ เขียวหอม อาจารย์ ดร.วรายุทธ เลิศบารงสุข กรรมการสอบวิทยานพนธ์ ที่ได้เสียสละเวลาให้คำแนะนำและตรวจทาน วิทยานพนธ์ ขอขอบคณศนย์เครื่องมอวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ที่ได้เอื้อเฟื้อ อุปกรณ์ และเครื่องแก้วในการทดลอง ขอขอบคณห้องปฏิบัติการโครงการเคย-ไบโอดีเซล ภาคควหา วิศวกรรมเคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้การสนับสนุนในการ วเคราะห์ทัศนภาพไบโอดีเซล ขอขอบคณศนย์วิเคราะห์และวิจัยวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ที่ได้ให้ความ อนุเคราะห์ในการวิเคราะห์คณสมบัติไบโอดีเซล พร้อมคำแนะนำในการวิเคราะห์

ขอขอบพระคุณตอบดา มารดา พๆ และเพื่อนๆที่ได้ให้กำลังใจ และคำแนะนำในการทาววิจัย ครั้งนี้ให้สำเร็จลงไปได้ด้วยด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กตตกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทท 1 บทนา.....	1
1.1 ความเปนมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 แผนงานการดาเนางาน.....	4
บทท 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ไบโอดีเซล คอ.....	5
2.2 ไบโอดีเซลมการผลตได้อย 3 ประเภท.....	5
2.2.1 ไบโอดีเซลทใช้น้ำมันพหหรือไขมันจากสัตว์โดยตรง.....	5
2.2.2 ไบโอดีเซลแบบลกผสม.....	5
2.2.3 ไบโอดีเซลแบบปฏกรยาเคม.....	6
2.3 ปฏกรยาทรานส์เอสเทอร์ฟเคชัน.....	7
2.4 ปจจัยทมผลตอปฏกรยาทรานส์เอสเทอร์ฟเคชัน.....	7
2.4.1 กรตไขมันอิสระในน้ำมัน.....	8
2.4.2 ปริมาณของตัวเร่งปฏกรยาและชนิดของตัวเร่ง.....	8
2.4.3 อัตราสวนโดยมวลของแอลกอฮอล์ตอน้ำมัน.....	10
2.4.4 ระยะเวลาในการทาปฏกรยา.....	10
2.4.5 อนหมในการทาปฏกรยา.....	11
2.4.6 ชนิดของตัวทาละลายรวม.....	11

2.5	ข้อของไบโอดีเซล.....	11
2.6	คุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงของไบโอดีเซล.....	12
2.6.1	อุณหภูมิการกลั่น (Distillation)	12
2.6.2	จุดวาบไฟ (Flash point)	13
2.6.3	ค่าความร้อนขั้นสูง (Heating value)	13
2.6.4	ค่าความหนืด (Viscosity)	13
2.6.5	จุดเริ่มไหล (Pour point)	14
2.6.6	จุดเกิดหมอก (Cloud point)	14
2.6.7	ความหนาแน่น (Density).....	14
2.6.8	สี (Color).....	14
2.6.9	ปริมาณคาร์บอนเหลือและปริมาณเถ้า (Ash).....	15
2.6.10	ปริมาณกำมะถัน (Sulfur).....	15
2.6.11	ค่าซีเทน (Cetane).....	15
2.6.12	ดัชนีซีเทน (Cetane index).....	16
2.7	ปาล์มน้ำมัน.....	16
2.8	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3	วิธีการดำเนินงานวิจัย	23
3.1	วัตถุประสงค์และสารเคมี.....	23
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์.....	23
3.3	วิธีการทดลอง.....	24
3.3.1	ศึกษาคุณสมบัติของตัวอย่างน้ำมันปาล์ม.....	24
3.3.2	การเตรียมตัวอย่าง.....	24
3.3.3	การเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	25
3.3.4	การแยกสงเจือปนออกจากเอสเทอร์	25
3.4	การทดสอบคุณสมบัติของไบโอดีเซล	25
3.4.1	การหาเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์	26
3.4.2	วิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซล	26

บทท 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	หน้า
4.1 คุณสมบัติของน้ำมันปาล์มตัวอย่าง.....	27
4.2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันปาล์ม.....	33
4.3 ผลการศึกษาตัวแปร.....	34
4.3.1 อรรถพลของเวลาในการทาปฏิกิริยา.....	34
4.3.2 อรรถพลของอุณหภูมิในการทาปฏิกิริยา.....	36
4.3.3 อรรถพลของอัตราการกวนในการทาปฏิกิริยา.....	37
4.3.4 อรรถพลของชนิดตัวทาละลายรวมในการทาปฏิกิริยา.....	39
บทท 5 สรุปผลการทดลอง และ ข้อเสนอแนะ.....	41
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	41
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต.....	41
รายการอ้างอิง	42
ภาคผนวก.....	46
ภาคผนวก ก.1 แสดงคุณสมบัติทางการค้าของน้ำมันปาล์มดิบ	47
ภาคผนวก ก.2 แสดงคุณสมบัติของตัวอย่างน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการวิจัย.....	47
ภาคผนวก ก.3 วิธีการวิเคราะห์กรดไขมัน.....	48
ภาคผนวก ก.4 ธาตุศาสตร์ในสารอินทรีย์ของกรดไขมัน.....	49
ภาคผนวก ก.5 การคำนวณมวลโมเลกุลของน้ำมันปาล์ม	51
ภาคผนวก ข.1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	52
ภาคผนวก ข.2 การคำนวณปริมาณสารเคมีในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	52
ภาคผนวก ค.1 คุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์.....	54
ภาคผนวก ค.2 แสดงคุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆเปรียบ เทียบกับน้ำมันดเซล	55
ภาคผนวก ค.3 คุณสมบัติของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดเซล.....	55
ภาคผนวก ง.1 สูตรการคำนวณเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์	56
ภาคผนวก จ.1 เงื่อนไขการวิเคราะห์ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี.....	57
ภาคผนวก จ.2 โครมาโตแกรมของสารผสมในเมทิลเอสเทอร์.....	58
ภาคผนวก ฉ โครมาโตแกรมของเมทิลเอสเทอร์	59
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	95

สารบัญญัตราจ

ตารางท		หน้า
ตารางท 1.1	แผนการดำเนินงาน.....	4
ตารางท 4.1	ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มตัวอย่าง.....	27
ตารางท 4.2	แสดงผลการเปรียบเทียบชนิดกรดไขมันที่ตรวจพบในน้ำมันปาล์ม.....	28
ตารางท 4.3	ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม.....	32
ตารางท ก.1	แสดงคุณสมบัติทางการค้าของน้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil).....	47
ตารางท ก.2	แสดงคุณสมบัติของตัวอย่างน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการวิจัย.....	47
ตารางท ก.4	ธาตุที่สำคัญในสารอินทรีย์ของกรดไขมัน.....	49
ตารางท ข.1	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	52
ตารางท ค.1	คุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์.....	54
ตารางท ค.2	แสดงคุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆเปรียบเทียบกับน้ำมันดเซล.....	55
ตารางท ค.3	คุณสมบัติของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดเซล.....	55

สารบัญญภาพ

ภาพท		หน้า
รูปท 1.1	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟเคชัน.....	1
รูปท 1.2	ขั้นตอนการเกิดเอสเทอร์.....	2
รูปท 2.1	ปฏิกิริยาเอสเทอร์ และ ทรานส์เอสเทอร์ฟเคชัน.....	6
รูปท 2.2	สมการทั่วไปปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟเคชัน.....	7
รูปท 2.3	กลไกของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส.....	9
รูปท 2.4	ปฏิกิริยาสปอนฟเคชัน.....	10
รูปท 2.5	โครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์	17
รูปท 2.6	โครงสร้างทางเคมีของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มตัวอย่าง.....	19
รูปท 4.1	ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม.....	29
รูปท 4.2	โครงสร้างเปรียบเทียบของไตรกลีเซอไรด์, โอลิอค และไบโอดีเซล.....	30
รูปท 4.3	โครมาโตแกรมของน้ำมันปาล์มตัวอย่าง.....	32
รูปท 4.4	แสดงอรรถพลผลของเวลาในการทำปฏิกิริยา.....	35
รูปท 4.5	กราฟแสดงอรรถพลของอุณหภูมิ.....	37
รูปท 4.6	กราฟแสดงอรรถพลของอัตราการกวน.....	38
รูปท 4.7	สตรโครงสร้างทางเคมีของเตตระไฮโดรฟแรน.....	40
รูปท 4.8	สตรโครงสร้างเฮกเซนและเมทานอล.....	40
รูปท 4.9	กราฟแสดงอรรถพลของชนิดตัวทำละลายรวม.....	40
รูปท ง.1	โครมาโตแกรมของตัวอย่างไบโอดีเซล.....	56
รูปท จ.2	โครมาโตแกรมของสารผสมในเมทิลเอสเทอร์.....	58
รูปท ฉ	โครมาโตแกรมของไบโอดีเซล	59

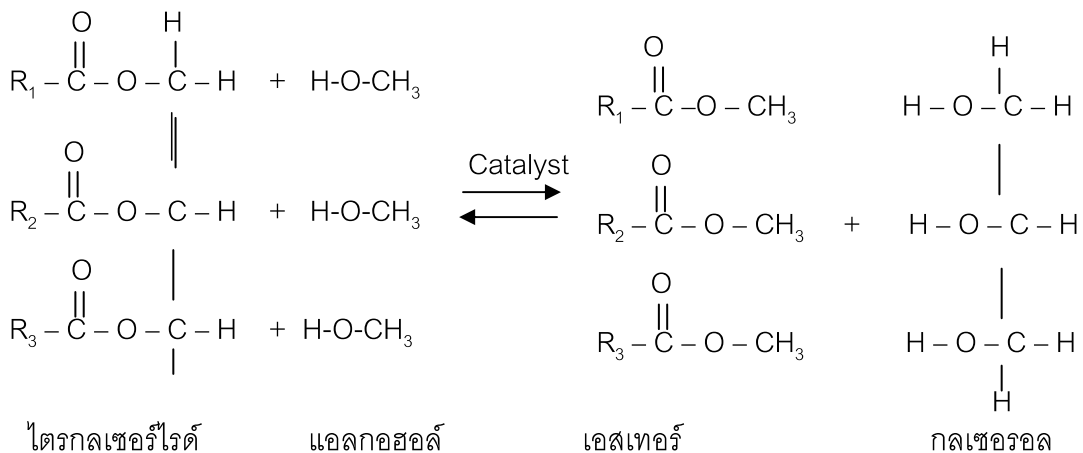
บทท 1

บทนา

1.1 ความเปนมมาและความสำคัญของปัญหา

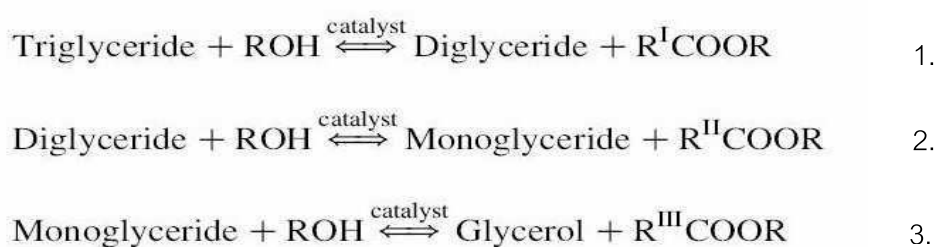
ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ซึ่งในปัจจุบันได้ให้ ความสำคัญต่อพลังงานทางเลือกมากขึ้น เนื่องจากวิกฤตน้ำมันของโลกมากขึ้นเป็นลำดับ และ ราคาน้ำมันดิบสูงมากเป็นประวัติการณ์ไม่มททาวาจะลดลง ปัญหาต่างๆเหล่านี้ทำให้การมองหา พลังงานทดแทน ดังนั้นไบโอดีเซลจึงเข้ามาบทบาท และคาดว่าจะเป็เชื้อเพลิงหลักของโลกใน อนาคต เนื่องจากไบโอดีเซลเป็นพลังงานหมุนเวียนทกอให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า น้ำมันดเซล เมื่อนามาใช้กับเครื่องยนต์แล้วพบวามคณสมบัติในการเผาไหม้ได้ดไม่ต่างจากน้ำมัน จากปิโตรเลียม แต่มข้อดกวหลายอยาง คอ มการเผาไหม้ทสะอาดกว ไอเสยมคณภาพทดกว ออกทั้งน้ำมันไบโอดีเซลเป็นน้ำมันทางเลือกใหม่ทผลดจากพช หรือไขมันสัตว์ ทำให้การสันดาปท สมบรณีกวน้ำมันดเซลปกติ จงมปรมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน น้อยกว และเนื่องจากไม่กามาะถันในไบโอดีเซล จงไม่มปัญหาสารซัลเฟต นอกจากนี่ยังมเขมา คาร์บอนน้อย ไม่ทาให้เกิดการอดตันของระบบไอเสยงาย ซวยยดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ได้ เป็อย่างด พร้อมทั้งมผลกระทบทต่อสิ่งแวดล้อมน้อย

ไบโอดีเซลสามารถสังเคราะห์ขึ้นด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟเคชันซึ่งเป็ ปฏิกิริยาของไขมันและแอลกอฮอล์มตัวเร่งปฏิกิริยา คอ เบส กรด หรือเอนไซม์เพื่อให้เกิดเป็นเอส เทอร์ และ มกลเซอร์อลเป็นผลพลอยได้โดยอัตราสวนในการทาปฏิกิริยาของแอลกอฮอล์ต่อไขมัน เป็ 3 : 1 สมการของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟเคชัน แสดงในรูปท 1.1



รูปท 1.1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟเคชัน (Ma and Hanna,1999 ; Fukuda et al., 2001)

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะประกอบด้วย 3 ปฏิกิริยาผันกลับได้ (Reversible Reaction) ขั้นแรกจะเป็นการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) เป็นไดกลีเซอไรด์ (Diglyceride) ตามด้วยการเปลี่ยนไดกลีเซอไรด์เป็นโมโนกลีเซอไรด์ (Monoglyceride) และสุดท้ายเป็นการเปลี่ยนโมโนกลีเซอไรด์เป็นกลีเซอรอล (Glycerol) โดยแต่ละขั้นตอนจะได้เอสเทอร์ (Ester) 1 โมเลกุล ดังแสดงในรูปท 1.2 (Freedman et al,1986)



รูปท 1.2 ขั้นตอนการเกิดเอสเทอร์

แต่ในการนำไปประยุกต์ใช้จริงยังต้องการศึกษาและวิจัยหาวิธีการผลิตให้ผลคุ้มค่า งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงแนวทางการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวทำละลายร่วม (Co-Solvent) และ ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (Base Catalyst) พร้อมทั้งยังศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา อัตราเร็วในการกวน และ เวลาในการทำปฏิกิริยา เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล อีกทั้งเป็นการลดขั้นตอนในกระบวนการผลิต เพื่อนำไปสู่การผลิตไบโอดีเซลแบบขั้นตอนเดียว

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. สังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มและเมทานอลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ เตตระไฮโดรฟราน และ เฮกเซน เป็นตัวทำละลายร่วม
2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้จะศึกษาตัวแปรตามผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ดังนี้

1. อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มใช้ 6:1 โดยโมล
2. ชนิดของตัวทาละลายรวม ของเตตระไฮโดรฟรেন และ เฮกเซน
3. อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 40 และ 60 องศาเซลเซียส
4. ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20, 40 และ 60 นาที
5. ความเร็วรอบการกวน 200, 400 และ 600 rpm
6. ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH)เข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักน้ำมัน
7. วิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซลหรือเมทิลเอสเตอร์ที่ได้จากสภาวะต่างๆ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบตอกะและตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส
2. นำวัตถุดิบที่เป็นของคณคาตาภายในประเทศมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มมูลค่า
3. เพิ่มคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลผลิตได้
4. เป็นแนวทางทดสาหรืบนักวิจัยในอนาคต ในการค้นคว้าวิจัยและพัฒนากระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเบสในเชิงพาณิชย์มากขึ้น

1.5 แผนการดำเนินงาน

	เดือน / ปี 51 - 52						
	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	ม.ค	เม.ย
	51	51	51	52	52	52	52
ศึกษาทฤษฎี							
วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทาวจ้ย							
รวบรวมข้อมูลและศึกษาเพิ่มเติม							
ทำการทดลอง และ รวบรวมข้อมูลการทดลอง							
วิเคราะห์ข้อมูล							
สรุปผล							

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไบโอดีเซล (Biodiesel) คือ [สถาบันส่งเสริมการสนวทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.),2549 :1]

คือน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตมาจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ โดยผ่านกระบวนการทำให้โมเลกุลเล็กลง ให้อยู่ในรูปของโมโนอัลคิลเอสเทอร์ (Mono alkyl ester) ได้แก่ เอทิลเอสเทอร์ (Ethyl ester) หรือ เมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester) ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาก ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนรูปแบบหนึ่ง มีคุณสมบัติย่อยสลายตามเวลา ไม่เป็นพิษ เมื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลจะก่อให้เกิดผลบวก คือ จะปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ ทดากวา

2.2 การผลิตไบโอดีเซลแบ่งเป็น 3 ประเภท [อาณาณ เหลืองนฤมตชัย ,2550] คือ

2.2.1 ไบโอดีเซลใช้น้ำมันของพืชหรือไขมันจากสัตว์โดยตรง

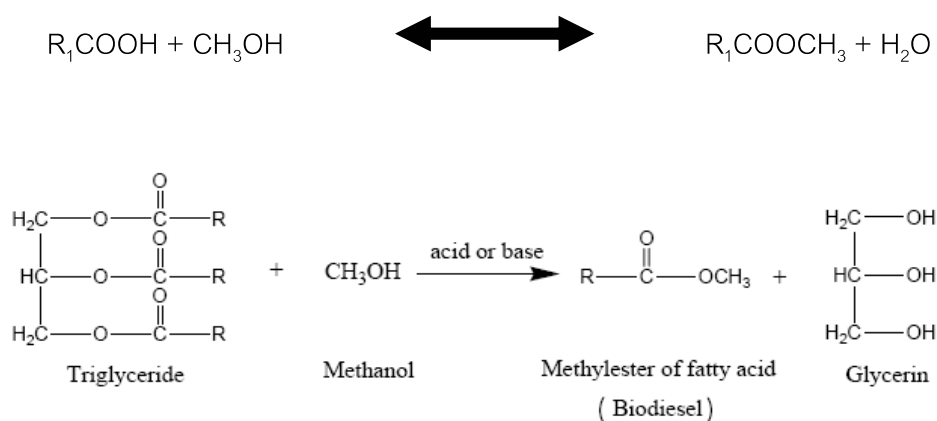
ไบโอดีเซลประเภทนี้คือ น้ำมันพืชแท้ๆ หรือ น้ำมันจากไขมันสัตว์ เช่น ใช้น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม หรือ น้ำมันจากไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันหมู เป็นต้น ป้อนลงไปในเครื่องยนต์ดีเซล โดยไม่ต้องผสมหรือเติมสารเคมีใด

2.2.2 ไบโอดีเซลแบบผสม

ไบโอดีเซลประเภทนี้เป็นผสมระหว่างน้ำมันพืชหรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ กับ น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล หรืออะไรก็ได้ เพื่อให้ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด

2.2.3 ไบโอดีเซลแบบปฏิกิริยาเคมี

ไบโอดีเซลประเภทนี้เกิดจากการปฏิกิริยาระหว่าง น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว กับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือ เอทานอล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเป็นกรดหรือด่าง หรือเอนไซม์ โดยปกติในน้ำมันพืชประกอบไปด้วยกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid ; FFA), ฟอสโฟไลปิด(Phospholipids), สเตอรอล (Sterols), น้ำ และสิ่งเจือปนอื่นๆ ดังนั้นในการนำน้ำมันมาใช้เป็นเชื้อเพลิง จำเป็นต้องผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนโครงสร้างให้เป็นสายโซ่ที่สั้นขึ้น โดยปกติมี 2 ปฏิกิริยาที่นำมาใช้คือ ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน(Esterification) และปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) หรืออาจใช้ทั้งสองปฏิกิริยารวมกัน ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (หรือปฏิกิริยา Alcoholysis) เป็นปฏิกิริยาเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนโครงสร้างของน้ำมันจาก ไตรกลีเซอไรด์ ให้เป็นโมโนอัลคิลเอสเทอร์ (Mono alkyl ester) ได้แก่ เมทิล เอสเทอร์ (Methyl Ester) หรือ เอทิล เอสเทอร์ (Ethyl Ester) ขึ้นกับชนิดของแอลกอฮอล์ที่นำมาทำปฏิกิริยา และได้กลีเซอริน (Glycerine หรือ Glycerol) เป็นผลพลอยได้ แสดงดังรูปที่ 2.1

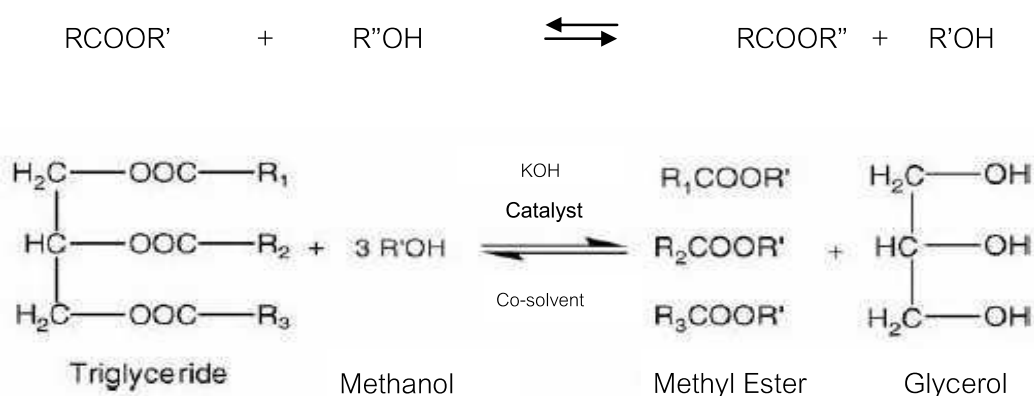


รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ และ ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ส่วน R ในกรดไขมันเป็นหมู่อัลเคน(Alkane) หรือหมู่อัลคีน(Alkene) ซึ่งเป็นกลุ่มของไฮโดรคาร์บอน R ทั้งสามหมู่จะเป็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ โดยทั่วไปมีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 12 ถึง 24 อะตอมและเป็นเลขคี่

2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [Meher et al.,2006]

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันหรือปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ไลซิส เป็นปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันจากไตรกลีเซอไรด์ให้เป็นโมโนอัลคิลเอสเทอร์ ได้แก่ เมทิลเอสเทอร์ หรือ เอทิลเอสเทอร์ และ ได้กลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง โดยปฏิกิริยาแสดงในรูปท 2.2



รูปท 2.2 สมการทั่วไปปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันต้องการอัตราส่วนแอลกอฮอล์ต่อไตรกลีเซอไรด์เป็น 3 โมล ต่อ 1 โมล แต่ในทางปฏิบัติต้องการอัตราส่วนสูงมากเกินพอ เพื่อผลักดันให้ปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากที่สุด เพื่อให้ได้เอสเทอร์สูงสุด โดยตัวแปรที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาได้แก่ ชนิดและปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา, ชนิดของแอลกอฮอล์, อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน, อุณหภูมิของปฏิกิริยา, เวลาในการทำปฏิกิริยา, ชนิดของน้ำมัน, คุณภาพของน้ำมัน เช่น ปริมาณของกรดไขมัน ปริมาณน้ำในวัตถุดิบ [Masaru Kaieda , 2001]

2.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [อาภาณ เหลืองนฤมิตชัย, 2550]

ตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการศึกษาศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ได้แก่

2.4.1 กรดไขมันอิสระในน้ำมัน (Free Fatty Acid ; FFA)

ซึ่งในวัตถุดิบควรมีปริมาณไม่สูงกว่าร้อยละ 3 ถ้ามีปริมาณสูงกว่าจะทำให้กรดไขมันอิสระทำปฏิกิริยากับด่างเกิดเป็นสบ ดังนั้นในการใช้น้ำมันที่ใช้นี้แล้วจึงจำเป็นต้องลดปริมาณกรดไขมันอิสระลงให้น้อยกว่าร้อยละ 1 ก่อนที่จะทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน ด้วยด่าง เพื่อผลิตน้ำมันไบโอดีเซลต่อไป

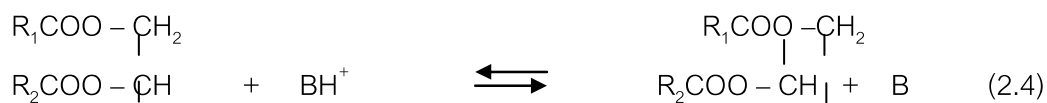
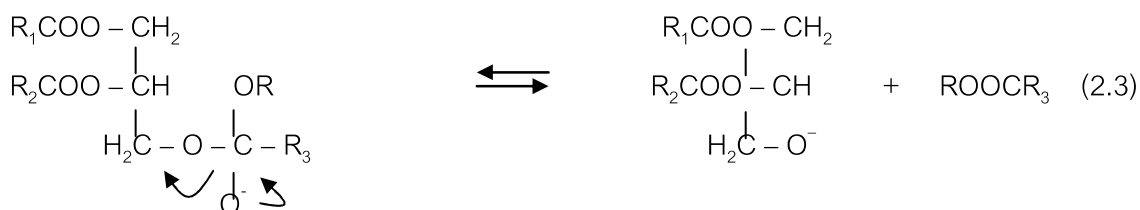
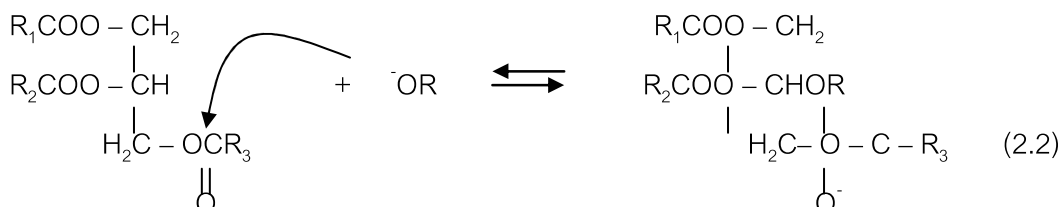
2.4.2 ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาและชนิดของตัวเร่ง

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันได้แก่ เบส เช่น NaOH, KOH, CH₃ONa กรด เช่น H₂SO₄, HCl และ เอนไซม์ เช่น ไลเปส ซึ่งเมื่อพิจารณาตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 3 ชนิดพบว่าในกระบวนการผลิตของโรงงานนิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสมากกว่ากรด เนื่องจากสามารถเร่งปฏิกิริยาได้เร็วกว่า ซึ่งกลไกการเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส แสดงในรูป 2.3 อีกทั้งยังกัดกร่อนน้อยกว่ากรด ใช้ต้นทุนและเวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยกว่า ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาเอนไซม์ จะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานกว่ากรดและเบสมาก ในการศึกษาถึงการผลผลิตเอสเตอร์จากน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งต้นทุนต่ำกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดทานตะวัน พบว่าน้ำมันปาล์มดิบสามารถสังเคราะห์เป็นน้ำมันเมทิลเอสเตอร์ได้ โดยกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ แต่เนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบโดยปกติจะมีกรดไขมันอิสระสูง ดังนั้นการใช้กระบวนการทรานส์เอสเตอร์ธรรมดาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไม่สามารถได้ผลผลิต จำเป็นต้องใช้กระบวนการทรานส์เอสเตอร์ที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งชนิดเบส

- 2.4.1 ปฏิกิริยาของเบสกับแอลกอฮอล์ได้แอลคอกไซด์ (RO⁻) กับเบสที่ถูกโปรโตเนต (BH⁺)
- 2.4.2 แอลคอกไซด์ชนกับหมู่คาร์บอนิลของไตรกลีเซอไรด์ได้เป็นสาร Tetrahedral intermediate (โครงสร้างทรงสี่หน้า)
- 2.4.3 การจัดเรียงตัวของหมู่คาร์บอนิลให้แอลคิลเอสเตอร์และเกิดประจุลบที่ไดกลเซอไรด์ (หรือไตรกลีเซอไรด์แอนไอออน)
- 2.4.4 ไตรกลีเซอไรด์แอนไอออนดึงโปรตอนของตัวเร่งปฏิกิริยาได้เป็นไดกลเซอไรด์และตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในรูปของไฮดรอกไซด์

กลไกปฏิกิริยาบนตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส



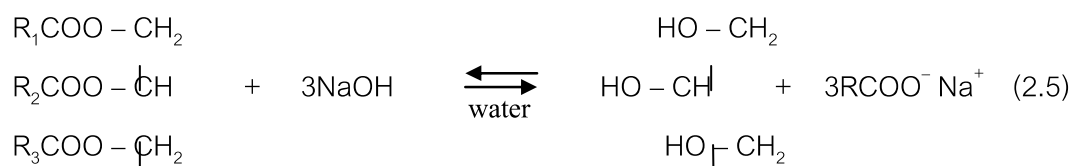
เมื่อ

- B = Base catalyst
 R₁, R₂, R₃ = Carbon chain of the fatty acid
 R = Alkyl group of alcohol

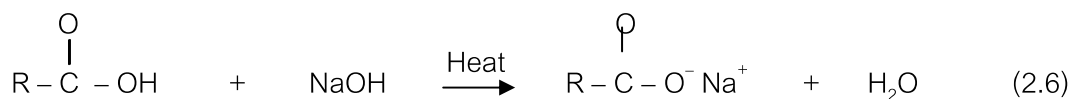
รูปที่ 2.3 กลไกปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส

[Ulf Schuchardt, 1997]

ถ้าระบบมีน้ำหรือน้ำมันกรดไขมันอิสระในปริมาณมากจะทำให้เกิดปฏิกิริยาซาพอนิฟิเคชัน (Saponification) เกิดเป็นสบู่ ทั้งนี้เนื่องจากกรดไขมันสามารถทำปฏิกิริยากับเบสแก่ที่เติมลงไปเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังแสดงในสมการที่ 2.5 และ 2.6 ซึ่งสภาวะที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดผลได้ของเอสเทอร์น้อยลงและทำให้การแยกผลิตภัณฑ์ออกจากกันได้ยาก



ไตรกลีเซอไรด์ เบส กลีเซอรอล สบ (เกลือของกรดไขมัน)



กรดไขมัน เบส สบ (เกลือของกรดไขมัน) น้ำ

รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส

2.4.3 อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน (Ratio of Methanol)

เมื่อดูจากปฏิกิริยาในสมการที่ 2.5 พบว่าอัตราส่วนโดยโมลอยู่ที่ 3:1 แต่เนื่องจากปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาย้อนกลับได้ ดังนั้นเพื่อผลักดันปฏิกิริยาให้เกิดน้ำมันไบโอดีเซลสูงสุดจึงมักใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลและน้ำมัน ที่อัตราส่วน 6:1 ถึง 15 : 1

2.4.4 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (Reaction Time)

อัตราเร็วในการเปลี่ยนน้ำมันเป็นน้ำมันไบโอดีเซลสูงขึ้นตามระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา แต่เนื่องจากปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาย้อนกลับได้ ดังนั้นจึงควรศึกษาหาช่วงเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์หรือไบโอดีเซลสูงสุด

2.4.5 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (Reaction Temperature)

อัตราเร็วในการเปลี่ยนน้ำมันเป็นน้ำมันไบโอดีเซลสูงขึ้นตามอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา โดยทั่วไปมักใช้อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่เกิน Boiling point ของเมทานอล ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ และเป็นปฏิกิริยาคัดความร้อน (Endothermic) ดังนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ได้ผลผลิตมากขึ้น

2.4.6 ชนิดของตัวทำละลายรวม (Co-solvent)

ตัวทำละลายรวมเป็นสารที่ผสมกับตัวทำละลายได้ทั้งในเมทานอลและน้ำมัน ดังนั้นการเติมตัวทำละลายรวมเข้าไปจะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีและเร็วขึ้น อีกทั้งยังลดพลังงานในการกวน โดยการเลือกใช้ตัวทำละลายรวมนั้นมปจจัยที่สำคัญดังต่อไปนี้ คือ

1. ควรเป็นเอเทอร์ที่มีมวลโมเลกุลขนาดเล็ก เนื่องจากเอเทอร์ขนาดเล็กละลายได้ดีทั้งในเมทานอลและน้ำมัน
2. มจตเดอดใกล้เคียงกับเมทานอลเพื่อให้สามารถกลั่นแยกตัวเมทานอลและตัวทำละลายรวมออกมาใช้ใหม่ได้
3. ราคาถูก ไม่เป็นพิษ ไม่มผลตอปฏิกิริยา มความเสถียรสูงไม่เปลยนรปงาย หาได้ง่าย
4. ไม่มผลตอการแยกชั้นของเมทลเอสเทอร์และกลเซอร์อลหลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุด

จากคุณสมบัติดังกล่าวเตตระไฮโดรฟรอน (Tetrahydrofuran, THF) สตรโมเลกุล $(CH_2)_4O$ และ เฮกเซน (Hexane) สตรโมเลกุล C_6H_{14} เหมาะจะนำมาใช้เป็นตัวทำละลายรวมในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

2.5 ข้อดีของไบโอดีเซล [สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี(สสวท.),2549:4]

1. เป็นพลังงานที่ปราศจากสารพิษ ถกยอยสลายง่ายปลอดสารกำมะถันและเบนซิน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง อีกทั้งไม่มกลนและควันพิษ

2. เป็นพลังงานที่ได้จากกระบวนการนาทรัพยากรที่ใช้แล้ว ได้แกการน่าน้ำมันพชนดต่างๆ มาผลตเปนไบโอดเซลใช้เองในท้องถิ่น ซงจะชวยลดปรมาณความถักต้องการน่าน้ำมัน จากตางประเทศ และยงชวยประหยัดเงินตราของประเทศอกด้วย
3. ชวยลดปัญหาของสภาวะเรือนกระจก ททาให้อุณหภูมิในชั้นบรรยากาศสงขึ้น ซงมผลเสยต่อสภาพและสภาวะแวดล้อม
4. ในกระบวนการเผาไหม้เมอเปรยบเทียบกับน้ำมันดเซลธรรมดา ไบโอดเซลสามารถผลต ก๊าซออกซเจนได้ 10 % ในขณะที่เดียวกันสามารถลดปรมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในอากาศได้ 44 % ลดปรมาณสารไฮโดรคาร์บอนซงเครื่องยนต์เผาไหม้ไม่หมดลงได้ 68 % รวมทั้งอุณหภูมิของสารพหุหรือประจขนาดเลกของสารพหุลงได้ 40 % อกด้วย
5. จตวบบไฟของไบโอดเซลสงไม่ทาให้ตดไฟงาย จงไม่มอันตราย ปลอดภัยต่อการขนย้าย และการเก็บรักษาโดยสามารถเก็บไว้ในถังบรรจุน้ำมันปิโตรเลียมได้ ยกเว้นถังคอนกรีต หรือภาชนะทผลตจากสารประเภทโพลยรเทน และยางพารา
6. น้ำมันดเซลมกามะถันสง แต่น้ำมันไบโอดเซลไม่ม ไบโอดเซลชวยหลอลนแทนกามะถัน และลดฝนละอองหรือควันดา ให้ตาลง โดยไม่ทาให้เครื่องยนต์ตตันเพราะเผาไหม้หมด

2.6. คุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงของไบโอดเซล [ความรู้เกี่ยวกับปิโตรเลียม : 2548.]

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันไบโอดเซลมีความหมาย และผลกระทบต่อพฤติกรรมกรรมการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ซงสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.6.1 อุณหภูมิการกลั่น (Distillation)

คอ ความสามารถในการระเหยของน้ำมันซงวัดโดยการกลั่น สมบัติข้อนี้ม ความสำคัญต่อการทางานของเครื่องยนต์ดีเซล โดยเฉพาะในเครื่องยนต์รอบปานกลางและรอบ สง การใช้เชื้อเพลิงระเหยงายเกินไปจะทาให้กำลังและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลง เนื่องจากอาจเกิด Vapour locks ในระบบเชื้อเพลิงหรือหยดน้ำมันเชื้อเพลิงทกจุดออกจาก หัวฉีดไม่สามารถไปไกลได้เทาทควรโดยทั้ไปซวงการกลั่นของน้ำมันควรตาสด โดยไม่ทาให้ สมบัติทางด้านจตวบบไฟ การลกดตไฟ ค่าความร้อนตลอดจนค่าความใสเปลยนไป การระเหย

ตัวและค่าการกลั่นที่เหมาะสม จะช่วยให้เครื่องยนต์ติดตั้งและเกิดควันจากท่อไอเสียน้อย เครื่องยนต์มีกำลังและประหยัดเชื้อเพลิง

2.6.2 จุดวาบไฟ (Flash point)

คอ อนุกรมทน้ำมันดีเซลได้รับความร้อนแล้วสามารถทำให้เกิดการผสมระหว่างอากาศและไอของน้ำมันเหนือของเหลวแล้วติดไฟได้เมื่อมีประกายไฟเพียงเล็กน้อย หรือน้ำมันดีเซลที่กลั่นจะลุกวาบไฟได้ ซึ่งจุดวาบไฟเป็นจุดบ่งชี้ถึงความปลอดภัยในการเก็บรักษา มีความสำคัญในด้านอันตรายจากอัคคีภัยในการขนส่งและการใช้งานเท่านั้น แต่ไม่มีความสำคัญโดยตรงต่อการสันดาปและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังใช้จุดวาบไฟสำหรับการตรวจสอบหาปริมาณชนิดเบาเจอปนอย ค่ามาตรฐานจะมิตาสดอยในช่วง 38 – 52 องศาเซลเซียส

2.6.3 ค่าความร้อนขั้นสูง (Heating value)

คอ ปริมาณความร้อนที่เชื้อเพลิงปล่อยออกมาเมื่อมีการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งค่าความร้อนจะรวมความร้อนจากการควบแน่นไอน้ำที่เกิดปฏิกิริยาและความชื้นของเชื้อเพลิง คำนวณแสดงพลังงานสูงสุดของเครื่องยนต์ที่สามารถเป็นไปได้ในทางทฤษฎี

2.6.4 ค่าความหนืด (Viscosity)

เป็นค่าแสดงความต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเนื่องจากการเคลื่อนที่ของไหล ซึ่งเกิดจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล และบ่งชี้ถึงคุณสมบัติในการหล่อลื่นพื้นผิวด้วย ผลต่อการทำงานของปั๊มและหัวฉีดเพราะถ้าใสเกินไป หรือ ชื้นเกินไปจะฉดเป็นฝอยได้ไม่คอยด เป็นผลเสียต่อการเผาไหม้ทำให้กำลังของเครื่องยนต์ตกลงและเกิดควันดำ เครื่องยนต์รอบตาสามารถใช้น้ำมันที่มีความหนืดสูงกว่าเครื่องยนต์รอบสูง ความหนืดจะมหน่วยเป็นพอยส์ (poise,P) ความหนืดของน้ำมันมีความสำคัญมากในการใช้งาน เพราะเป็นเครื่องบ่งชี้ถึงคุณสมบัติในการหล่อลื่นพื้นผิวด้วย

2.6.5 จุดเริ่มไหล (Pour point)

คือ อุณหภูมิที่น้ำมันยังเป็นของเหลวพอที่จะไหลได้ ซึ่งเป็นค่าที่เกี่ยวข้อกับปริมาณไขของน้ำมันดีเซลเช่นเดียวกับจุดเกิดหมอก แต่ใช้ความสามารถในการไหลในการวัดแทน ซึ่งตามมาตรฐานกำหนดว่า จุดเริ่มไหลคือ อุณหภูมิที่น้ำมันไม่สามารถไหลได้ โดยทั่วไปจะมีความต่ำกว่าจุดเกิดหมอกประมาณ 5 ถึง 11 องศาเซลเซียส

2.6.6 จุดเกิดหมอก (Cloud point)

เป็นจุดที่สารพาราฟินจะตกผลึกเป็นไข หรืออุณหภูมิของน้ำมันดีเซลรวมตัวจนสามารถมองเห็นเป็นกลมคล้ายหมอกได้ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นไส้กรองของน้ำมันได้ สำคัญมากในเขตหนาว ในประเทศไทยไม่มซื้อจากัดนี้ สามารถทำได้โดยการใส่น้ำมันดีเซลไว้ในภาชนะใสแล้วลดอุณหภูมิด้วยอัตราคงที่จนสามารถมองเห็นกลมหมอกได้ โดยทั่วไปจุดเกิดหมอกจะมีความประมาณ 10 ถึง 20 องศาเซลเซียส

2.6.7 ความหนาแน่น (Density)

เป็นค่าที่บอกถึงน้ำหนักของเชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของอุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งจะแสดงผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์โดยตรง กล่าวคือการฉีดเชื้อเพลิงในแต่ละครั้งเครื่องยนต์จะวัดการปของปริมาตร ดังนั้นเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะให้กำลังและโอกาสเกิดควันได้มากกว่า เนื่องจากมวลของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้มากกว่า โดยทั่วไปความหนาแน่นที่ยอมรับได้จะมีความระหว่าง 0.8 – 0.86 กรัมต่อมิลลิตร

2.6.8 สี (Color)

ปกติน้ำมันดีเซลจะมีสีชาอ่อน เพื่อป้องกันการปลอมปน จึงมีข้อกำหนดให้น้ำมันดีเซลหม่นรวมสีไม่เกิน 2.0 ส่วนน้ำมันดีเซลหม่นซ้ำให้สีเข้มคือ 4.5 - 7.5

2.6.9 ปริมาณคาร์บอนเหลือและปริมาณเถ้า (Ash)

เป็นคาทบทบบอกวาสารเหลืออยหลังจากเผาไหม้ในรูปของกากคาร์บอน และ สารอนนทรีย์ตามลำดับ

2.6.10 ปริมาณกำมะถัน (Sulfur)

โดยมากจะบอกเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของกำมะถันในน้ำมันดีเซล ซึ่งปริมาณกำมะถันที่มากเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพของสารหล่อลื่นเพิ่มขึ้น และมีการปล่อยก๊าซ SO_x (SO_2 , SO_3) มากซึ่งก๊าซดังกล่าวนอกจากจะเป็นมลพิษแล้วทำให้เกิดการกัดกร่อนและเหนียวนาให้เกิดคราบคาร์บอนในกระบอกสูบอีกด้วย ดังนั้นในปัจจุบันปริมาณกำมะถันจึงถูกกำหนดให้มีความสูงไม่เกินร้อยละ 0.05

2.6.11 คาซเทน (Cetane)

คอ คาทบทบบอกถึงคุณภาพของการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงโดยจะใช้คุณสมบัติไฟตัวเอง จะเร็วหรือช้าขึ้นกับประเภทของไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในตัวน้ำมัน โดยพาราฟินจะติดไฟได้เร็วที่สุดตรงข้ามกับพวกอะโรมาติกจะติดไฟได้ช้าโดยเฉพาะอะโรมาติกที่มีจำนวนวงแหวนมาก การวัดจึงใช้ไฮโดรคาร์บอนสองประเภทดังกล่าวเป็นหลัก คาซเวลงเวลาหน่วงก่อนจุดระเบิดใช้น้ำมันเชื้อเพลิงอ้างอิงสองชนิดคือ ซเทน (n-cetane) ให้คาซเทนเท่ากับ 15 โดย

$$\text{Cetane number} = \% \text{ n-cetane} + (0.15) (\% \text{ Heptamethylnonane})$$

ซึ่งคุณสมบัติไฟเชื้อเพลิงสามารถกลไกใหม่ได้เองในบรรยากาศที่ปราศจากประกายไฟเนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลใช้หลักการจุดระเบิดด้วยการอัดอากาศให้มอดนหมสงจนสามารถจุดระเบิดได้เองแทนการจุดระเบิดด้วยหัวเทียน สำหรับสารทมคาซเทนตาจะทำให้การจุดระเบิดล่าช้าเนื่องจากเชื้อเพลิงต้องดูดความร้อนในปริมาณมากจนสามารถจุดระเบิดได้เอง ทำให้เชื้อเพลิงบางส่วนไม่เกิดการเผาไหม้ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดสะสมและจุดระเบิดพร้อมกันทีเดียว ส่งผลให้ความดันภายในกระบอกสูบเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและเครื่องยนต์หยุด ชะงักเนื่องจากเสย

จังหวัด ในทางตรงกันข้ามน้ำมันดเซลมเลขชเทนสูงมากจะทำให้เครื่องยนต์มีกำลังตกเกินไป ดังนั้นคามাত্রฐานของเลขชเทนจึงมักกำหนดเฉพาะค่าตาสตเท่านั้น ซึ่งจะมีค่าประมาณ 45

2.6.12 ดัชนีชเทน (Cetane index)

เนื่องจากคาชเทนต้องใช้เครื่องยนต์พิเศษ สิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่าย จึงใช้วัดคานวณแทน ซึ่งประมาณจากค่าความถ่วงจำเพาะและชวงอุณหภูมิการกลั่นที่ 50 % คาชที่ได้เรียกว่าดัชนีชเทน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับคาชเทนมากใช้แทนกันได้

2.7 ปาล์มน้ำมัน (Palm Oil) [ปิยะวรรณ กฤษศเรษฐสกุล, 2548]

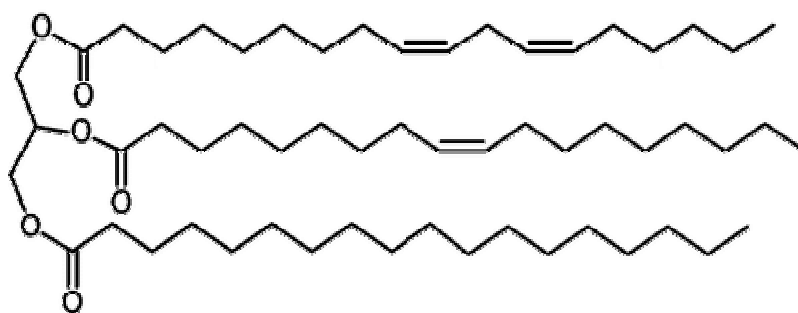
ปาล์มน้ำมันเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในตระกูลปาล์มม เช่นเดียวกับมะพร้าว ตาล จาก และระกา ประเทศไทยเริ่มมีการปลูกปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจครั้งแรกประมาณ พ.ศ. 2511 ทังจังหวัดกระบะ และได้แพร่ขยายมากขึ้นในจังหวัดทางภาคใต้ คือ สตล ตรัง ภูเก็ต สุราษฎร์ธานี ชมพร สงขลา และประจวบครชนธ์ ปาล์มน้ำมันที่เพาะปลูกในเชิงเศรษฐกิจในปัจจุบัน มีชื่อสามัญว่าน้ำมันปาล์มพันธ์แอฟริกา ซึ่งมีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis* พันธ์ปาล์มทนยมปลูกในประเทศไทย คือ พันธ์ทีเนอรา (Tenera) ซึ่งเป็นพันธ์ลูกผสมระหว่างพันธ์ตรา กับเพอราเฟอรา (Perifera) โดยใช้พันธ์ตราเป็นแม่พันธ์ และพันธ์เพอราเฟอราเป็นพ่อพันธ์ ในระยะเวลาที่ผลปาล์มกำลังเจริญเติบโตนั้น ในผลปาล์มจะแบ่งเป็นสารประกอบประเภทคาร์โบไฮเดรต และเมอผลรวมแกหรรอสก ปริมาณแบ่งจะลดลงและแปรสภาพเป็นไปอย่างช้าๆ จนปริมาณกรดไขมันอิสระเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ปาล์มน้ำมันเป็นพชน้ำมันที่ให้ปริมาณน้ำมันสูงถึง 0.6-0.8 ตัน/ไร่/ปี เมอเปรยบเทียบกับน้ำมันพชนดอน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหาร และใช้ในการประกอบอาหาร เพราะมีคุณสมบัติทนความร้อนได้สูง ไม่ทำให้เกิดสารก่อมะเร็ง เนื่องจากปาล์มน้ำมันมีราคาต่ำกว่าน้ำมันพชนดอน อีกทั้งสามารถผลิตได้เอง การใช้ประโยชน์จากปาล์มน้ำมันจึงก่อให้เกิดมลคาเพมและรายได้โดยรวมของประเทศ

น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์แล้วนั้นจะมีสีแดง เกิดการแยกชั้นเมอตั้งทิ้งไว้ โดยส่วนที่เป็นของเหลวอยู่ด้านบนเรียกว่า ปาล์มโอเลอน (Palm olein) ส่วนล่างที่ชั้นเรียกว่าปาล์มสเตอริน (Palm sterin) มีกรดไขมันอิสระร้อยละ 2-5 ขึ้นอยู่กับ

คุณภาพของปาล์มสดที่เข้าสู่สกัด จะมีความชื้นประมาณร้อยละ 0.3 – 0.5 โดยประมาณขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต

องค์ประกอบหลักของน้ำมันพืชและจากไขมันสัตว์คือ ไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) กรดไขมันอิสระ ฟอสฟอรัส สเตอรอยด์ น้ำ และอื่นๆ คาวา น้ำมัน (oil) นั้นใช้กับ ไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นของเหลวทอณพทกต สอนคาวาไขมัน (Fat) ใช้กับไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นของแข็ง น้ำมันพืชโดยทั่วไปประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์และกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ประมาณร้อยละ 90-98 และร้อยละ 1-5 ตามลำดับ

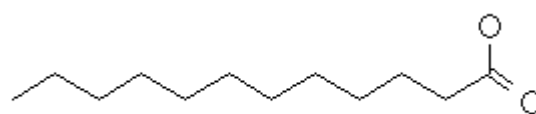
ไตรกลีเซอไรด์ คอ เอสเทอร์ซึ่งมีโมเลกุลของกรดไขมันสามโมเลกุล และ กล เซอรอลหนงโมเลกุล โดยโครงสร้างแสดงดังรูปท 2.5



รูปท 2.5 โครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์

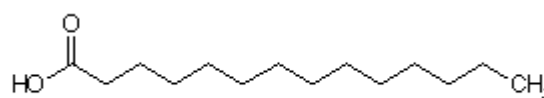
ไตรกลีเซอไรด์เป็นส่วนประกอบสำคัญในน้ำมันพืช ซึ่งเป็นองค์ประกอบพบมากที่สุด และเป็นสารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์เฟเคชัน ไขมันและน้ำมันเมอแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) จะผสมกับกรดตั้งนั้นในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลชีวภาพจึงจำเป็นต้องทราบปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อจะได้ทราบปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเป็นดางที่ดองใช้ในการผลิต การหาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชนั้น จะใช้วิธีการไตเตรทน้ำมันพืชด้วยสารละลายเบสโดยใช้ฟีนอล์ฟทาลินเป็นอินดิเคเตอร์

กรดไขมัน คอ สารกลมกรดคาร์บอกซิลิกแอซิด (Carboxylic acid) มีโครงสร้างแสดงดังรูปท 2.6 [Biodeisel Production Technology,2004] มฤทฐ์เป็นกรด เป็นองค์ประกอบพบในน้ำมันพืชและมผลต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์เฟเคชัน



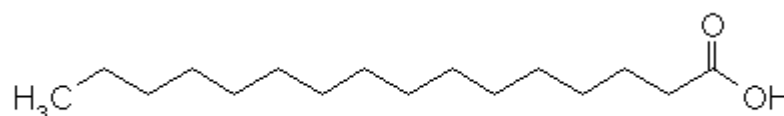
C02679

Lauric acid ; C12:0



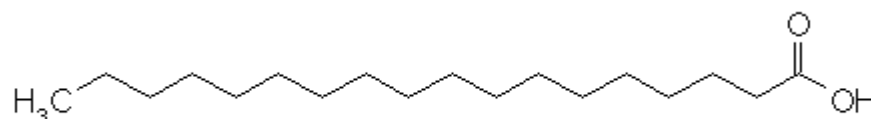
C06424

Myristic acid ; C14:0



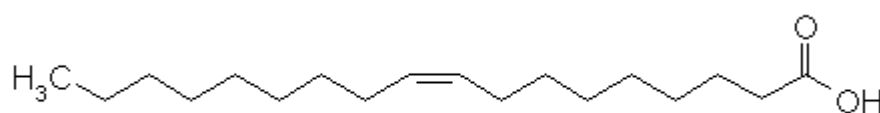
C00249

Palmitic acid ; C16:0



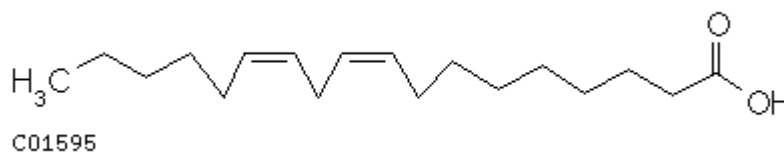
C01530

Stearic acid ; C18:0

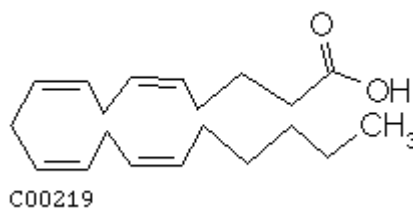


C00712

Oleic acid ; C18:1



Linoleic acid ; C18:2



Arachidic acid ; C20:0

รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มตัวอย่าง

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Darnoko และคณะ (2000) ศึกษาการเตรียมเมทิลเอสเทอร์จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจากน้ำมันปาล์มกับเมทานอล โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทดลองทดลองอุณหภูมิ 50, 55, 60, 65 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 6:1 วเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี ไดกลเซอร์อิด มอนอกลเซอร์อิด เมทิลเอสเทอร์ และกลเซอร์อิด โดยวิธี Gel Permeation Chromatography ผลการทดลองพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิไปจนถึง 60 องศาเซลเซียส อัตราการเกิดปฏิกิริยาของไตรกลเซอร์อิด มอนอกลเซอร์อิดคือ 0.018-0.191 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อนาที พบว่าอุณหภูมิสูงๆ จะเกิดปฏิกิริยาของมอนอกลเซอร์อิดสูงกว่าไตรกลเซอร์อิด ค่าพลังงานกระตุ้นของไตรกลเซอร์อิด ไดกลเซอร์อิด มอนอกลเซอร์อิดคือ 14.7, 14.2 และ 6.4 กิโลแคลอรี/โมลตามลำดับ

วัฒนา ปมเสมอ และคณะ (2549) งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาและศึกษาประสิทธิภาพของถังปฏิกิริยา 3 ชนิด ได้แก่ ถังผสมใบกวน ชนิดทอ และทอมแนออร์ฟัส ขนาด 5 ลิตร ในการเตรียมไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเมทิลไฮดรอกไซด์เป็นสาร

เร่งปฏิกิริยา การเตรียม ให้อุณหภูมิน้ำมันคงที่ 60 องศาเซลเซียส และใช้สารเร่งปฏิกิริยา ไฮโดรเมไธดรอกไซด์ 20.4 กรัม ปริมาณเมทานอล (1.5 ลิตร) 30 % โดยปริมาตรของน้ำมันปาล์ม (5 ลิตร) การหาประสิทธิภาพของ ถึงปฏิกิริยาทั้งสามชนิดวิเคราะห์จากเปอร์เซ็นต์ของเมทิลเอสเทอร์ การวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ใช้เทคนิค reverse phase HPLC หาค่า % เมทิลเอสเทอร์ ผลการทดลองในการเตรียมขนาด 5 ลิตร พบว่าปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบบสองขั้นตอน แก้ปัญหาการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับและให้ไบโอดีเซลหาคาเมทิลเอสเทอร์สูง 98 % ทอซินด์ไร้ออร์ฟให้ผลดีกว่าชนิดทอมแพลนออร์ฟ คอ ให้ค่าเมทิลเอสเทอร์ 98.21 % , 97.87% ตามลำดับ

ปยะวรรณ กฤษเศรษฐสกุล และคณะ (2548) ศึกษาการผลิตรัดไขมันจาก ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยสารละลายโซดาไฟ โดยศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนระหว่างโซดาไฟ ต่อน้ำมันปาล์มดิบ และอุณหภูมิผลต่อการเกิดปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์ พบว่าอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส น้ำมันปาล์มดิบสามารถเปลี่ยนเป็นกรดไขมันได้อย่างสมบูรณ์ที่อัตราส่วนโซดาไฟ ต่อน้ำมันปาล์มดิบไม่น้อยกว่าร้อยละ 40 ภายในเวลา 120 นาที ซึ่งในเวลาที่เกิดปฏิกิริยานั้น สามารถลดลงเป็น 60 นาที โดยการเพิ่มอัตราส่วนโซดาไฟต่อน้ำมันปาล์มดิบไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 และอัตราส่วนโซดาไฟต่อน้ำมันปาล์มดิบไม่น้อยกว่า ร้อยละ 80 การเพิ่มขึ้นของเวลาที่ใช้ สำหรับการเกิดปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับการลดลงของอุณหภูมิที่ใช้สำหรับการเกิดปฏิกิริยาภายใต้สภาวะการเกิดปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์ และไม่สมบูรณ์ของน้ำมันปาล์มดิบ ปริมาณกรดไขมันที่ผลิตได้เป็น 3 เท่าของปริมาณกลเซอร์อลเสมอ

Zhou และคณะ (2003) ศึกษาตัวแปรที่ผลต่อปฏิกิริยาเอทานอลไฮโดรไลซิสของน้ำมัน ดอกทานตะวันและน้ำมันคาโนลา น้ำมันกับเอทานอลไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จึงใช้เตตระไฮโดรฟแรน (THF) เป็นตัวทำละลายรวมเพื่อให้ น้ำมันกับเอทานอลละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง คอโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 1.4 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมัน 25:1 ถ้าทำปฏิกิริยาอุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาจะเข้าสู่ สมดุลภายใน 6-7 นาที แต่ถ้าทำปฏิกิริยาอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาจะเข้าสู่สมดุล ภายใน 2 นาที เห็นได้ว่า อุณหภูมิและเวลามีความสัมพันธ์กัน การทำปฏิกิริยาอุณหภูมิสูงทำให้ ปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลเร็ว จึงใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาลดลง

D.Y.C. Leung และคณะ (2006) ได้ศึกษาการผลิต Biodiesel จากปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส 3 ชนิดได้แก่ Sodium hydroxide,

Potassium hydroxide และ Sodium methoxide โดยใช้ น้ำมันคาโนลาและน้ำมันใช้แล้ว สรปวา Sodium hydroxide เป็น Catalyst ที่เหมาะสมที่สุด สำหรับปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันใช้แล้วทมา ความเปนกรด 2 และความหนืด 35 cSt กับเมทานอล ใช้อุณหภูมิทำปฏิกิริยาเท่ากับ 60 °C เวลา ในการทำปฏิกิริยา 20 นาที Sodium hydroxide เข้มข้น 1.1 wt% อัตราส่วนระหว่างเมทานอลตอ น้ำมันเท่ากับ 7:1 เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด สำหรับน้ำมันคาโนลาอุณหภูมิใช้ในการทำปฏิกิริยา เท่ากับ 40-45 °C เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที NaOH เข้มข้น 1.0 wt% และอัตราส่วนระหว่าง เมทานอลตอน้ำมันเท่ากับ 6:1 เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด

เพียงพศ วงศ์มณฑล และคณะ (2549) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการ สังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดใช้แล้วโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ทาการ ทดลองทดสอบภาวะของไซเดียมไฮดรอกไซด์มากเกินพอร้อยละ 0.25 ถึง 0.75 ใช้เวลาในการทำ ปฏิกิริยา 30 ถึง 120 นาที สกัดด้วยโมลของน้ำมันทอดใช้แล้วต่อเมทานอล 1:3 ถึง 1:12 รวมถึง การศึกษาการใช้ตัวทาละลายรวมในการสังเคราะห์โดยใช้สกัดของเมทานอลต่อเตตระไฮโดรฟ แรน (ตัวทาละลายรวม) 1:1.6 การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการสองปฏิกิริยา และศึกษาสมบัติ ทางเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลชีวภาพสังเคราะห์ที่ได้ จากผลการทดลองพบวาร้อยละของไซเดียมไฮ ดรอกไซด์มากเกินพอ และอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันทอดใช้แล้วต่อเมทานอล มีผลต่อการเกิด ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์สูงสุด 78.90 และ 77.02 ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของไซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 0.55% ส่วนเวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันพบวามีผลต่อการเกิดร้อยละเมทิลเอส เทอร์ค่อนข้างน้อยในช่วงของการทดลองนี้ สำหรับการเลือกใช้ตัวทาละลายรวมและการใช้ปฏิกิริยาเอส เทอร์ฟิเคชันรวมในการสังเคราะห์ มีผลทำให้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น เมอทดสอบสมบัติ ทางเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลชีวภาพสังเคราะห์ที่ได้ พบวามีอยู่ในส่วนกำหนดของมาตรฐานน้ำมัน ดีเซลชีวภาพ โดยค่าความหนืด, จุดวาบไฟ และดัชนีซีเทนของน้ำมันดีเซลชีวภาพสังเคราะห์ที่ได้ จากน้ำมันทอดใช้แล้วนั้นมค่า 6.32 ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที, 167 องศาเซลเซียส และ 44 ตามลำดับ

Olivera S.Stamenkovic และคณะ (2007) ได้ศึกษาผลของอัตราการกวนใน ปฏิกิริยา Methanolysis ของน้ำมันดอกทานตะวันกับเมทานอล วามผลต่อ Drop size, Drop size distribution และ Conversion ในกรณที่เกิดปฏิกิริยา (น้ำมันดอกทานตะวัน/เมทานอล) และ ไม่เกิดปฏิกิริยา (น้ำมันดอกทานตะวัน/ปดัสเซียมไฮดรอกไซด์/ เมทานอล) อยางไร ผลคือ Drop

size distribution จะแคบลงและขนาดของ drop จะลดลงเมื่ออัตราการกวนเพิ่มขึ้น และในระหว่างที่เกิดปฏิกิริยา Methanolysis ขึ้นซ้ำ (ขณะเริ่มต้น) (Mass transfer controlled) ขนาดของ drop จะคงที่ และขนาดของ drop จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อปฏิกิริยาอยู่ในขั้นเร็ว เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ interfacial area ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้รวดเร็วขึ้น

วรารภรณ์ ธนะกลรังสรรค์ และคณะ (2005) ศึกษาการปรับปรุงน้ำมันปาล์มดิบเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลหมนซ้ำ ในการศึกษาจะหาสภาวะที่ให้ไบโอดีเซลปริมาณมาก การวิจัยจะใช้น้ำมันปาล์มดิบทผานการกำจัดกัมจนวน 100 กรัม ทาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟเคชันกับสารละลายแอลกอฮอล์ โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จากการศึกษาสมบัติกายภาพและสมบัติเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลได้ผลดังนี้ คือ จุดไหลเทเท่ากับ 3.3 °C จุดวาบไฟเท่ากับ 196 °C จุดติดไฟเท่ากับ 312 °C ปริมาณเถ้าเท่ากับ 0.0095 % ค่าพลังงานความร้อนเท่ากับ 42583 กิโลจล / กิโลกรัม ค่าการวัดสน้ำมันเท่ากับ 5.5 ความถ่วงจำเพาะทอณทวม 15.6 °C เท่ากับ 0.869 ซงค่าเหล่านี้จะอยู่ในขอบเขตทกำหนดของสมบัตมาตรฐานของน้ำมันดีเซล นอกจากนั้นได้พบวาคาของความหนืดท 40 °C และ 50 °C ซงมค่าเท่ากับ 11.4 และ 7.9 เซนตสโตกส์ ตามลำดับนั้น มค่าสูงกว่าคามาตรฐานของน้ำมันดีเซล ในการศึกษาสมบัติทางเคมีของน้ำมันปาล์มดิบและไบโอดีเซลหลังเคราะห์ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้ ค่าตัวเลขไอโอดีนเท่ากับ 52.3 และ 47.2 ค่าเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 53.3 และ 128 คาสปอนฟเคชันเท่ากับ 172 และ 114 คากรดไขมันอิสระเท่ากับ 11.7 และ 0.59 ตามลำดับ และได้ทดลองขยายขนาดโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบ 25 ลิตรและทาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟเคชัน 2 ครั้ง โดยใช้สภาวะคงเดิม พบวไบโอดีเซลที่ได้มค่าความหนืดท 40 °C และ 50 °C และสมบัตอนๆ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนดของน้ำมันดีเซลซงสามารถใช้ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลได้

บทที่ 3

วธดาเนนการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลตไปโอดเซลจากน้ำมันปาล์มด้วยปฏิกรยาทราส์เอสเทอร์ฟเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกรยา และใช้ตัวทาละลายรวม พร้อมทั้งวิเคราะห์ปรมานเมทลเอสเทอร์ และคณสมบัตของเมทลเอสเทอร์

3.1 วัตถตบและสารเคม

1. น้ำมันปาล์ม (Palm Oil),บริษัท โอลน จากัด
2. เมทานอล (CH_3OH),99.9%, MERCK
3. โพแทสเซยมไฮดรอกไซด์ (KOH),85%,CARLO ERBA
4. เตตระไฮโดรฟแรน (THF),99.5%, QREC
5. เฮกเซน(C_6H_{14}),98.5%,CARLO
6. กรดซัลฟริก (H_2SO_4),98%, CARLO
7. โซเดยมซัลเฟตแอนไฮดรัส (Na_2SO_4), 99%,CARLO

3.2 เครื่องมอและอปกรณ

1. ซดการทดลองแบบกะ (Batch reactor) ตดไปกวน ควบคมอัตราการกวนได้
2. เทอร์โมมิเตอร์ สเกล 150 องศาเซลเซียส
3. เครื่องซังน้ำหนักดจตอล , 2100 กรัม
4. กรวยแยกสาร ขนาด 250 ml
5. ขวดรปชมพ ขนาด 250 ml
6. กระดาษกรอง 11CM WHATMAN
7. กระบอกตวง ขนาด 100 ml
8. ปเปต , 10 ml
9. บกเกอร์ขนาด 1000 ml
10. ขวดเก็บตัวอย่าง ขนาด 50 ml

3.3 วิธีการทดลอง

สำหรับการทดลองนี้ ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในระบบแบบกะ (Batch reactor) โดยใช้ น้ำมันปาล์ม (Palm Oil) ทาปฏิกิริยากับเมทานอลในอัตราส่วนโดยโมล 1 ต่อ 6 เติมตัวทำละลายรวมแต่ละชนิดคือเตตระไฮโดรฟเวรน (THF) และ เฮกเซน (Hexane) ในปริมาณ 1.25 เทาโดยปริมาตรของเมทานอล ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เหมผสมแล้วนำมาทาปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส ให้เวลาสารทาปฏิกิริยาเป็นเวลา 20 , 40 และ 60 นาที ตามลำดับ และปรับอัตราเร็วในการกวนเป็น 200, 400 และ 600 รอบต่อนาที หยุดปฏิกิริยาด้วยการเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc. H₂SO₄) จนกว่าสารละลายมีค่าเป็นกลาง จากนั้นเริ่มแยกตัวอย่างตั้งทิ้งไว้ สารละลายจะแยกเป็นสองชั้น สารละลายชั้นบนไปต้มที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส ล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง และตั้งสารละลายทิ้งไว้ สารละลายจะแยกออกเป็น 2 ชั้น สารละลายชั้นบนไปต้มที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมแอนไฮดริสโซเดียมซัลเฟต แล้วนำมากรองนสารเมทิลเอสเทอร์ที่แยกออกมาได้มาวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (GC) จากนั้นสรุปผลการทดลอง พร้อมทั้งวิเคราะห์แนวทางในการพัฒนาต่อไป

3.3.1 ศึกษาคุณสมบัติของตัวอย่างน้ำมันปาล์ม

นำตัวอย่างน้ำมันปาล์มที่ได้ไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid ; FFA) ด้วยการไทเทรต (Titration) กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ตามมาตรฐาน AOCS Cd 3D - 63 วิเคราะห์ค่าความหนืด ASTM D445 และ วิเคราะห์หาปริมาณและองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม (Fatty Acid Composition) โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography ; GC) ตามมาตรฐาน AOCS Ce 2- 66

3.3.2 การเตรียมตัวอย่าง

กรองสิ่งเจือปนที่ติดมากับน้ำมันปาล์มด้วยตะแกรงร่อน จากนั้นนำน้ำมันปาล์มตัวอย่างไปอุณหภูมิที่ต้องการทาปฏิกิริยา (40 และ 60 °C) นานประมาณ 30 นาที โดยใช้ Water bath ยี่ห้อ M-LAB ชนิดหมุนวน (Circulated pump)

3.3.3 การเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

นาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.2 กรัมละลายกับเมทานอล 20 กรัม เติมน้ำมันในน้ำมันปาล์ม 100 กรัม ทอนไว้ที่อุณหภูมิห้องในอัตราส่วน 1.25 เทาโดยปริมาตรของเมทานอล โดยศึกษาอุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส ศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยา 20, 40 และ 60 นาที ศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาในการกวนเป็น 200, 400 และ 600 รอบต่อนาที และขนาดตัวทาลละลายรวมโดยใช้เตตระไฮโดรฟเวนน (THF) และ เฮกเซน (Hexane) หยดปฏิกิริยาด้วยการหยดกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc. H₂SO₄)

3.3.4 การแยกสางเจอปนออกจากเอสเทอร์

หลังจากทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเสร็จสิ้นตามกำหนดระยะเวลาที่ตั้งไว้ (20, 40 และ 60 นาที) ต่อกไปทำการแยกเมทิลเอสเทอร์ออกจากกลีเซอรอล โดยเทสารผสมใส่ในกรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง สารผสมจะแยกเป็น 2 ชั้น ปล่อยให้สารละลายชั้นล่างทิ้ง นำสารผสมชั้นบนไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร จำนวน 3 ครั้ง จนน้ำกลั่นล้างใสหรือจนกว่าน้ำกลั่นที่ล้างจะมค่า pH เป็นกลาง (pH = 7) ตั้งทิ้งไว้จนสารละลายแยกชั้นนานประมาณ 2 ชั่วโมง ปล่อยให้สารละลายชั้นล่างทิ้ง นำสารละลายชั้นบนมาต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้รอจนเย็น จากนั้นนำมาเติมโซเดียมซัลเฟต เพื่อกำจัดน้ำเหลือ นำสารละลายมากรองด้วยกระดาษกรอง นำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography ; GC)

3.4 การทดสอบคุณสมบัติของไบโอดีเซล

นำเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน เพื่อกำหนดหาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ตาม BS EN14103 : 2003 Fat and Oil มาตรฐานวิธีการทดสอบ Fat and oil derivatives-Fatty Acid Methyl Ester (FAME)

3.4.1 การหาเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์

การตรวจวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันทั้งหมด เป็นวิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน BS EN 14103 : 2003 โดยเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันต้องมีความบริสุทธิ์มากกว่า 96.5% ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ซึ่งปริมาณเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันสามารถตรวจวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (GC) โดยใช้ Flame Ionization Detector (FID) เป็นตัวตรวจวัด

เงื่อนไขการวิเคราะห์ดังนี้ [EN 1403:2003]

- Capillary column : polyethylene glycol (DB-WAX, Carbowax 20M) 30mx0.32 mm ,0.25 μ m
- Injector temp. : 150°C
- Detector temp. : 250°C
- Column temp. : 200°C

3.4.2 วิเคราะห์คุณสมบัติของไบโอดีเซล

เมอได้เมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลทววิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ผ่านตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน จากนั้นนำมาตรวจสอบคุณภาพไบโอดีเซลโดยตรวจวิเคราะห์หาค่าความหนืด (Viscosity) ค่าความหนาแน่น (Density) และค่าจุดวาบไฟ (Flash point) ได้รับความอนุเคราะห์ในการตรวจวัดจากห้องปฏิบัติการโครงการเคยูไบโอดีเซล ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 คุณสมบัติของน้ำมันปาล์มตัวอย่าง

น้ำมันปาล์มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นน้ำมันปาล์มโกลน ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจำเป็นต้องทราบปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid Content ; FFA) เพจะได้ทราบปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่าง (Base Catalytic) ที่ต้องใช้ในการผลิต ดังนั้นจึงนำน้ำมันปาล์มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นเพื่อหาปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีในตัวอยาง โดยนำตัวอย่างน้ำมันปาล์มมาละลายด้วย 2-โพรพานอล (2-Propanol) จากนั้นนำมาไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยมฟีนอล์ฟทาลินเป็นอินดิเคเตอร์ (Phenolphthalein indicator) ตามมาตรฐาน AOCs Cd 3D - 63 และวัดค่าความหนืดเริ่มต้นของน้ำมันปาล์มตามมาตรฐาน ASTM D445 ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ผลโดยห้องปฏิบัติการโครงการเคย - ไบโอดีเซล ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แสดงผลตามตารางที่ 4.1 จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มตัวอย่าง (Fatty Acid Composition) โดยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas chromatography ; GC) ตามมาตรฐาน AOCs Ce 1 - 62 แสดงผลตามรูปที่ 4.2 และประมวลผลได้ตามตารางที่ 4.3 ได้รับความอนุเคราะห์การตรวจวัดและวิเคราะห์ผลโดยศูนย์ทดสอบ และมาตรวจหา สังกัดสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย หรือ วว.

4.1.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ และค่าความหนืด

ตารางที่ 4.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระ และ ค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มตัวอย่าง

คุณสมบัติ	ปริมาณที่วัดได้
กรดไขมันอิสระ (%)	0.22 %
ความหนืด (cSt ที่ 40 ^o C)	43.1 cSt

ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้โดยวิธีการไตเตรทพบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มอยู่ประมาณ 0.22 % โดยน้ำหนัก ซึ่งถือว่ามีปริมาณน้อย และน้อยกว่า 1% ดังนั้นสามารถใช้กระบวนการทรานส์เอสเตอร์เฟสชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเบส เพื่อผลิตไบโอดีเซลได้ [Feuge and Grose ,1949] แต่ถ้าหากมีปริมาณกรด

ไขมันอิสระประมาณสูงเกินกว่า 1 % ขึ้นไปการใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน จะทำได้ยากและปริมาณเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลที่ได้ในขั้นตอนสุดท้ายจะต่ำจะต้องใช้กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) เข้ามารวมด้วย โดยการเติมกรดซัลฟริก (H_2SO_4) หรือ กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และ แอลกอฮอล์ (Alcohol) ลงไปในน้ำมันก่อน จากนั้นจึงเข้าสู่ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ [รศ.กาพล ประทปชัยกร,2548] ค่ากรดไขมันอิสระที่ตรวจพบในน้ำมันปาล์มตัวอย่างมูลค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยอื่นๆ ดังแสดงตามตารางท 4.2 ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่จะมค่ากรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์มตัวอย่างไม่เกิน 0.5 %

ตารางท 4.2 แสดงผลการเปรียบเทียบชนิดกรดไขมันที่ตรวจพบในน้ำมันปาล์ม

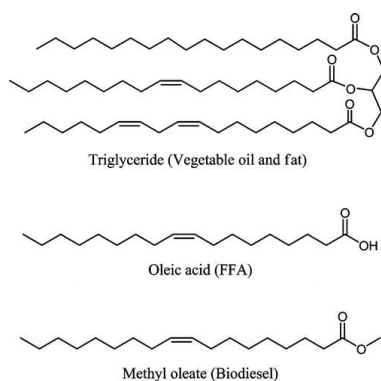
งานวิจัย	Free Fatty Acid (%)	Kinematic Viscosity (cSt)
Krisada Noiroj , 2007	0.35	40.51
Peangpit , 2007	0.27	42.45

ปริมาณของกรดไขมันอิสระที่พบในน้ำมันปาล์มตัวอย่างมีผลต่อการเกิดผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ ทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงเกิดเป็นสบ หรือเกลอของกรดไขมันได้ ทั้งนี้เป็นเพราะกรดไขมันอิสระมีโครงสร้างเป็น R_1COOH ซึ่งจะพบความห่มคาร์บอกซิลิก (Carboxylic group ; $-COOH$) เพียงหนึ่งห่ม และห่มอัลเคน(Alkane) หรือ อัลคีน (Alkene) ตอกับแอลคิลกรุป (Alkyl group ; R_1) ห่มโครงสร้างเป็นเส้นตรง แสดงดังรูปท 4.1 ซึ่งมทั้งพันธะเดี่ยว (Single bound ; $-C-C-$) เป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว(Saturated fatty acids) และพันธะคู่ (Double bound ; $-C=C-$) เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว(Unsaturated fatty acid) ทสามารถทาปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสเกิดเป็นสบ และนำ ตามสมการท 4.1 หรือเรียกว่าปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชัน (Saponification reaction) เมอเกิดสบขึ้นจะทำให้แยกผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ออกจากกลเซอร์ออลได้ยาก ทำให้ได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่ต่ำ ดังนั้นในการทาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันห่มเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ควรมกรดไขมันอิสระอยมมากในตัวอยางของน้ำมันทนามาใช้เป็นวัตถุดิบ

(ภาคผนวก ข.2) ซึ่งปริมาณของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกินมากจะทาปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมันปาล์มตัวอย่าง

ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid ; FFA) หรือค่าความเป็นกรดอิสระของน้ำมัน สัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสที่จะใช้ เมื่อปริมาณกรดไขมันอิสระมาก ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ หรือ ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสที่เติมจะมากขึ้นตามไปด้วย เพื่อชดเชยค่าความเป็นกรด และหลีกเลี่ยงการเสอมของตัวเร่งปฏิกิริยาเบส แต่ถ้าหากเติมตัวเร่งปฏิกิริยามากไปจะทำให้เกิดอิมัลชัน ผลทำให้ความหนืดมากขึ้นและนำไปสู่การเกิดเจล ซึ่งเป็นอุปสรรคในการแยกกลีเซอรอล และลดร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ให้น้อยลง จากผลดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำให้ได้ร้อยละของเอสเทอร์มากที่สุด คือ 1% โดยน้ำหนัก [J.M.Encinar,J.F.Gonzalez,2007] แต่ถ้าหากใช้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มากกว่านี้ ก็ไม่ได้มีผลทำให้การเปลี่ยนน้ำมันไปเป็นเมทิลเอสเทอร์มากขึ้น อีกทั้งยังก่อให้เกิดการสั่นเปลืองตัวเร่งปฏิกิริยา เพราะต้องเข้าสู่กระบวนการกำจัดออกในขั้นตอนสุดท้ายเพื่อทำให้ไบโอดีเซลมีความบริสุทธิ์มากยิ่งขึ้น

ความหนืดของน้ำมันปาล์มตัวอย่างตามตารางท 4.1 พบว่าค่าสูงถึง 43.1 cSt ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในน้ำมันปาล์มองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์อิสระเป็นปริมาณมาก ซึ่งจากสูตรโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ที่ผสมสายโซ่ของคาร์บอนยาวทำให้มีมวลโมเลกุลสูงส่งผลให้น้ำมันปาล์มมีความหนืดสูงแสดงดังรูปท 4.2



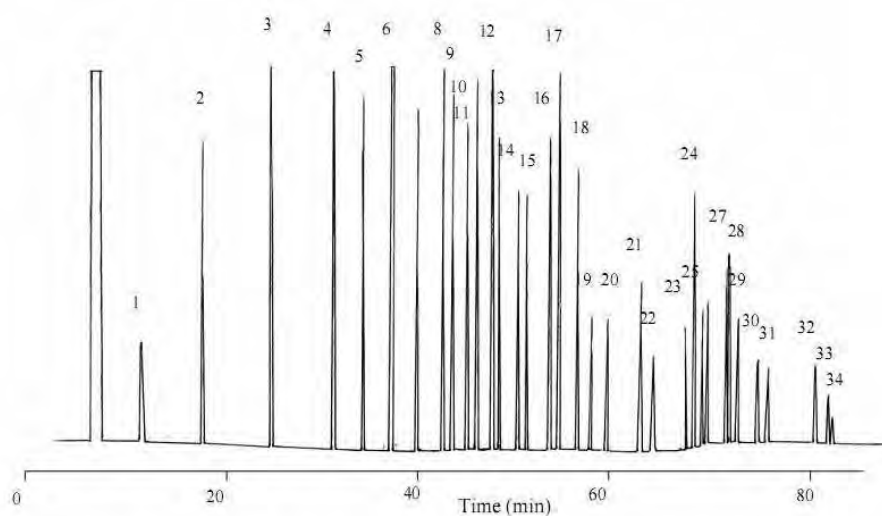
รูปท 4.2 โครงสร้างเปรียบเทยของไตรกลีเซอไรด์, ไขมันอิสระ และ ไบโอดีเซล

4.1.2 วเคราะห์หาชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มตัวอย่าง

ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่ประกอบในน้ำมันปาล์มตัวอย่างจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณภาพของปาล์มสด ชนิดของเมล็ดที่ใช้ และ ขั้นตอนการผลิต [ปวยวรรณ

กฤตษเศรษฐีสกุล,2548] เมื่อนำมาวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม ตัวอย่างด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี(Gas chromatography ; GC) ตามมาตรฐาน AOCS Ce 1- 62 ให้ผลวิเคราะห์ออกมาในรูปของโครมาโตแกรม(Chromatogram) แสดงดังรูปที่ 4.3 จากการประมวลผลของโครมาโตแกรมซึ่งให้พบ Retention time ที่แตกต่างกันพบความกรดไขมันใน น้ำมันปาล์มตัวอย่างประมาณ 22 ชนิดที่ตรวจพบ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Krisada Noiroj,2007 และผลงานวิจัยที่ตรวจพบชนิดกรดไขมันถึง 34 ชนิด [Sigma,U.S.A] ซึ่งมีจำนวนคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 4 - 24 อะตอม (C4 – C24) มีโครงสร้างที่เป็นทั้งพันธะเดี่ยว (Single bond) และ พันธะคู่ (Double bond) แสดงให้เห็นว่าในน้ำมันปาล์มมีทั้งกรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acids) และไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) และเมื่อนำมาประมวลผลด้วยวิธีคำนวณพื้นที่พบ (Peak area) แบบ Normalization (%ของพื้นที่พบ) เพื่อหาปริมาณของกรดไขมันแต่ละชนิดที่พบในน้ำมันปาล์มตัวอย่าง ได้ผลแสดงตามตารางที่ 4.2 พบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของกรดไขมันที่ตรวจพบเป็นปริมาณมากที่สุดเรียงตามลำดับ คือ กรดโอเลอิก 42.5 % (Oleic acid ; C18:1) กรดปาล์มิติก 38.6 % (Palmitic acid ; C16:0) และกรดลินอเลอิก 12.2 % (Linoleic acid ; C18:2) ซึ่งจะพบความองค์ประกอบส่วนใหญ่ของกรดไขมันเป็นชนิด C14:0 – C22:0 อย่ปริมาณมากกว่ากรดไขมันชนิด C4:0 - C12:0 ซึ่งองค์ประกอบและปริมาณดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ที่ต้องการจากผลิตภัณฑ์สังเคราะห์ได้ เพราะว่าการกรดไขมันชนิด C14:0 – C24:1 จะถูกนำมาใช้ในการนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ใน ตัวอย่างของไบโอดีเซลสังเคราะห์ขึ้น(ตามมาตรฐาน BS EN 14103 : 2003) แต่ถ้าหากกรดไขมันชนิดคาร์บอนอะตอมน้อยกว่าหรือมากกว่า C14:0 – C24:1 ดังกล่าวจะไม่ผลต่อการนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ในตัวอย่างไบโอดีเซลสังเคราะห์ได้ ดังนั้นจะเห็นว่า น้ำมันปาล์มตัวอย่างนี้สามารถนำมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซลที่อยู่ในรูปของโมโนเมทิลเอสเทอร์ได้

ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในตัวอย่าง น้ำมันปาล์มสามารถคำนวณหาโมเลกุล (Molecular Weight; MW) ของตัวอย่างน้ำมันปาล์ม ได้เท่ากับ 978 กรัม/โมล (ภาคผนวก ก.5)



รูปท 4.3 โครมาโตแกรมของน้ำมันปาล์มตัวอย่าง

ตารางท 4.3 ขนาดและปริมาณของกรดไขมัน(Fatty Acid Composition) ในน้ำมันปาล์มตัวอย่าง
วิเคราะห์ตามมาตรฐาน Ce 2-66, Ce 1- 62 AOCS 1993

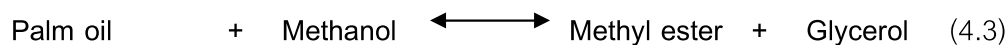
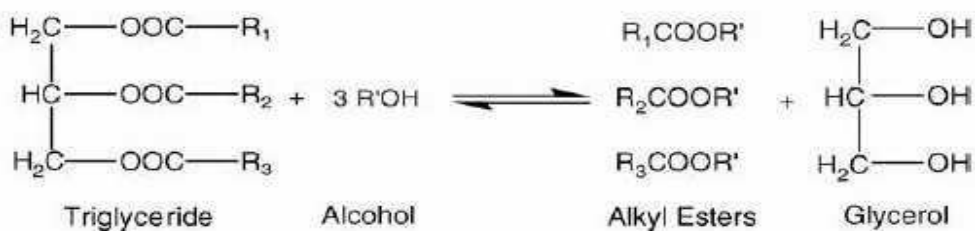
ชนิดกรดไขมัน	สูตรโมเลกุล	โครงสร้าง ^a	เปอร์เซ็นต์ (%wt)
Lauric acid	$C_{12}H_{24}O_2$	C12:0	0.7
Myristic acid	$C_{14}H_{28}O_2$	C14:0	1.1
Palmitic acid	$C_{16}H_{32}O_2$	C16:0	38.6
Stearic acid	$C_{18}H_{36}O_2$	C18:0	3.8
Oleic acid	$C_{18}H_{34}O_2$	C18:1	42.5
Linoleic acid	$C_{18}H_{32}O_2$	C18:2	12.2
Linolenic acid	$C_{18}H_{30}O_2$	C18:3	0.3
Arachidic acid	$C_{20}H_{40}O_2$	C20:0	0.3

^aหมายเหตุ : Cxx : y = จำนวนคาร์บอนอะตอม : จำนวนพันธะคู่

* วิเคราะห์ผลโดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

4.2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์เฟเคชันของน้ำมันปาล์ม

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันปาล์มตัวอย่างจากข้อ 4.1.1 และ 4.1.2 แสดงให้เห็นว่าน้ำมันปาล์มตัวอย่างที่นำมาทำการวิจัยครั้งนี้ สามารถนำมาแปรรูปได้โดยการผลัดเป็นไบโอดีเซล หรือ เมทิลเอสเทอร์ เพื่อดำเนินการหาค่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ได้ตามมาตรฐาน EN 14103 ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548 เพราะวาในน้ำมันปาล์มตัวอย่างมีการกรดไขมันอิสระ และกรดไขมันในสายยาว C14 - C24:1 เป็นปริมาณมากกว่าช่วงอื่นๆ ดังนั้นขั้นต่อไปเป็นการคำนวณหาปริมาณของสารตั้งต้น ตัวเร่งปฏิกิริยา และตัวทำละลายรวมที่จะต้องใช้ในการทำปฏิกิริยา จึงเริ่มจากการคำนวณหาโมเลกุล (Molecular weight) ของน้ำมันปาล์มตัวอย่างซึ่งคำนวณได้ตามภาคผนวก ก.5 และจากคุณสมบัติทางฟิสิกส์ (Physical property) ของน้ำมันปาล์มและสารละลายที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาตามภาคผนวก ข.1 สามารถนำมาคำนวณดุลมวล (Mass balance) ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์เฟเคชันด้วยเมทานอลได้ตามสมการ 4.3 (Schuchardt *et al.*, 1998) โดยใช้ตัวทำละลายรวม เตตระไฮโดรฟรอน และเฮกเซน มีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้ความดันบรรยากาศ มีการกวนโดยใช้ใบพัดชนิด 3-blade marine propeller พร้อมทั้งให้ความร้อนควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ Water bath ภายใต้เงื่อนไขการกำหนดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา



สมการ 4.4 ตามมวลสารสัมพันธ์ (Stoichiometric) ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์เฟเคชัน จะพบว่าน้ำมัน 1 โมล ต้องใช้แอลกอฮอล์หรือเมทานอล 3 โมล เพื่อให้เกิดเอสเทอร์หรือ เมทิลเอสเทอร์ 3 โมล และ เกิดกลีเซอรอล 1 โมล ตามลำดับ (Fangrui and Hanna, 1999) และเนื่องจากปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาแบบย้อนกลับได้ (Reversible reaction) ดังนั้นจึงต้องการเมทานอลในปริมาณมากเกินพอ (Excess alcohol) เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดไปทางผลิตภัณฑ์มากขึ้น (Fangrui and Hanna, 1999) ตามกฎของเลอชาเตอลิเยร์ (Le Chatelier's

principle) ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงได้เลือกใช้อัตราส่วนน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1 ต่อ 6 โมล ซึ่งถือว่ามีปริมาณเมทานอลมากเกินไป (เพราะจากปฏิกิริยาตามสมการ 4.4 ต้องการเมทานอลเพียง 3 โมล) เพื่อให้เกิดเมทิลเอสเทอร์ในปริมาณมาก จากมวลโมเลกุลที่คำนวณได้ (ภาคผนวก ก.6) และความหนาแน่นเฉพาะของสารละลาย (ภาคผนวก ข.1) แต่ละชนิดสามารถนำมาคำนวณมวลเพื่อหาน้ำหนักและปริมาตรของสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (ภาคผนวก ข.2) พบว่าเมื่อใช้น้ำมัน 100 กรัม ต้องเติมเมทานอล 20 กรัม

4.3 ผลการศึกษาตัวแปร

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรที่คาดว่าจะมีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยได้ศึกษาทั้งหมด 4 ตัวแปรซึ่งคือ

1. เวลาในการทำปฏิกิริยา 20, 40 และ 60 นาที
2. อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 40 °C และ 60 °C
3. อัตราเร็วในการกวน 200, 400 และ 600 รอบต่อนาที
4. ชนิดของตัวทาละลายรวม เตตระไฮโดรฟรอน และ เฮกเซน

ซึ่งทุกตัวแปรทำการวิจัยภายใต้เงื่อนไขโดยใช้เมทานอล ต่อน้ำมันปาล์มเป็น 6 : 1 โดยโมล ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ร่วมกับตัวทาละลายรวมปริมาตรคงที่ 1.25 เท่าของปริมาตรเมทานอล และใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc. H₂SO₄) เป็นตัวหยุดปฏิกิริยา และปรับสภาพให้เป็นกลางด้วยน้ำกลั่น ทำปฏิกิริยาภายใต้ความดันบรรยากาศปกติ

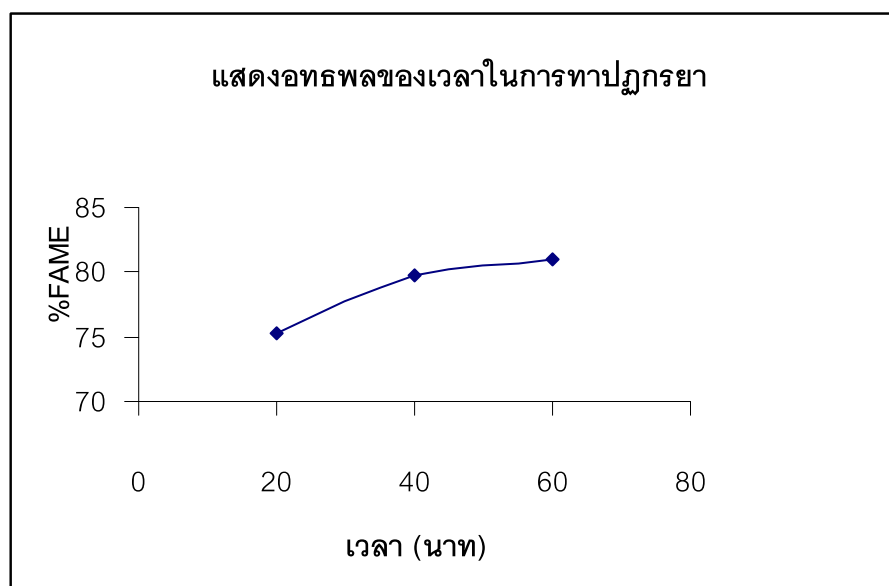
4.3.1 อิทธิพลผลของเวลาในการทำปฏิกิริยา (Reaction Time)

การศึกษาค้นคว้าผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่สภาวะโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มากเกินไปร้อยละ 1 เทียบกับน้ำหนักของน้ำมันอัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเป็น 6:1 และอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 40 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 200 rpm เติมเตตระไฮโดรฟรอนเป็นตัวทาละลายรวม ปริมาณ 1.25 เท่าโดยปริมาตรของเมทานอล พบว่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลา ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้รวดเร็วในช่วงเวลา 20 นาทีแรก หลังจากนั้นอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาจะช้าลงและเริ่มคงที่ 40 นาทีโดยใช้เวลา

60 นาที แสดงค่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์มากกว่าเวลา 40 และ 20 นาที ตามลำดับแสดงผลดังรูปที่ 4.4

อธิบายได้ว่าเนื่องจากเริ่มต้นของปฏิกิริยาสารตั้งต้นไตรกลีเซอไรด์อยู่เป็นปริมาณมากทำให้เกิดปฏิกิริยาได้รวดเร็วและเกิดผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนมากตามไปด้วย แต่เมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้นสารตั้งต้นจะมปริมาณลดลง ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ช้า และน้อย ซึ่งทำให้ได้ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์ที่เริ่มคงที่ และเริ่มใช้เวลาช่วงที่ปฏิกิริยาเร็วและเวลาที่ปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุล

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Darnoko (2000) ที่ได้ทดลองการผลิไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันและใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1 โดยนำหน้าหนักปวาชวง 5 นาทีแรกเป็นช่วงที่ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ปริมาณไตรกลีเซอไรด์จะลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนปริมาณไดกลีเซอไรด์จะเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกับโมโนกลีเซอไรด์ ปฏิกิริยาจะเข้าสู่สมดุลเมื่อเวลา 60 นาที เมื่อเวลามากกว่า 60 นาที ร้อยละของเมทิลเอสเทอร์จะคงที่เนื่องจากปริมาณไตรกลีเซอไรด์เหลือน้อย



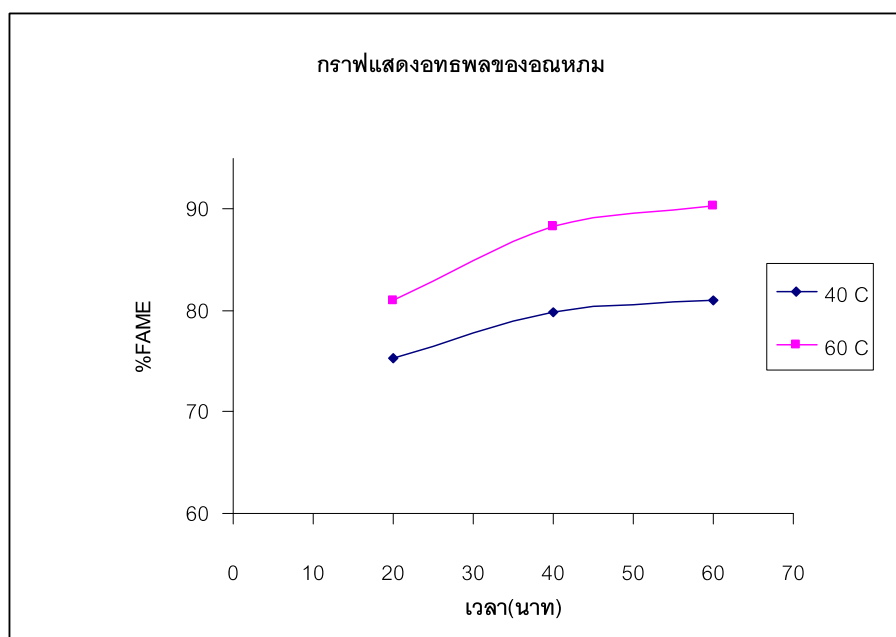
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละเมทิลเอสเทอร์กับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาโดยใช้น้ำมันปาล์มต่อเมทานอลเป็น 6:1, KOH 1%, THF 1.25 เท่าปริมาตรของเมทานอล ทอุณหภูมิ 40 °C , อัตราการกวน 200 rpm

4.3.2 อรรถผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (Reaction Temperature)

อรรถผลของอุณหภูมิต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ในการผลิตไบโอดีเซล อุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษามีสองช่วงอุณหภูมิคือ 40 และ 60 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 200 rpm ตัวทำละลายรวมใช้ THF 1.25 เท่าของปริมาตรเมทานอล พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แสดงผลตามรูป 4.5 โดยพบว่าอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ของทุกเวลา ให้ค่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์มากกว่าอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ทั้งนี้เป็นเพราะว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโมเลกุลของสารละลายเคลอนท์ได้มากขึ้น เกิดการชนกันระหว่างโมเลกุลมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้แรงยกระหว่างโมเลกุลของเมทานอล – เมทานอล, น้ำมัน-น้ำมัน อ่อนลง ดังนั้นจะทำให้เมทานอลและน้ำมันทำปฏิกิริยากันได้ง่ายขึ้น (Pojanalai Chuaohuymak, 2549) และเนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic reaction) ดังนั้นเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นปฏิกิริยาจะเดินไปข้างหน้ามากขึ้นทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้น ซึ่งเป็นไปตามกฎของเลอชาเตอลิเยร์ (Le Chatelier's principle) [H.Scott Fogler 3rd, 1999 : 931]

ผลของอุณหภูมิดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pojanalai และคณะ(2006) ที่ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิ 25,35,45 และ 55 องศาเซลเซียส โดยใช้เมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเป็น 6:1 และใช้ THF เป็นตัวทำละลายรวมอธิบายผลด้วย Biodial curves of palm oil/methanol/THF ซึ่งพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพื้นที่ใต้เส้น Biodial curves ซึ่งแสดงลักษณะของสารละลายเป็น two phase นั้นมีคาลดลง และทำให้พื้นที่เหนือเส้น Biodial curves ซึ่งแสดงลักษณะของสารละลายเป็น Homogeneous solution นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นนั้นแสดงว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสารละลายทั้งสามชนิดจะละลายเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้นตามไปด้วย เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Darnoko และคณะ (2000) ที่ได้ศึกษาการเตรียมเมทิลเอสเทอร์จากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจากน้ำมันปาล์มกับเมทานอล โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทดลองทดลองอุณหภูมิ 50, 55, 60, 65 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันปาล์ม 6:1 ผลการทดลองพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิไปจนถึง 60 องศาเซลเซียส



รูปท 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละเมทิลเอสเทอร์กับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาโดยใช้ น้ำมันปาล์มต่อเมทานอลเป็น 6:1, KOH 1% ทอุณหภูมิ 40 °C และ 60 °C ,ตัวทละลายรวม 1.25 volume THF,200 rpm

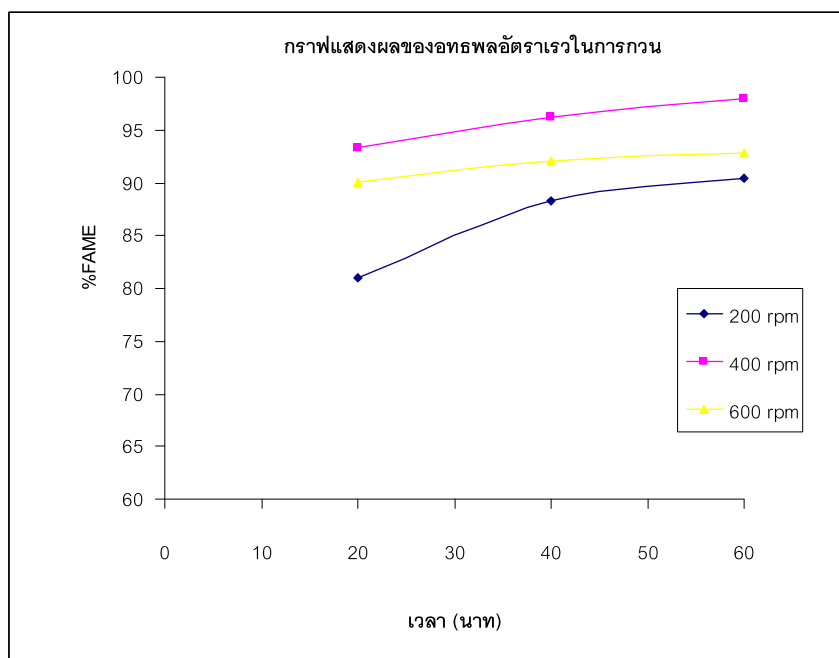
4.3.3 อรรถผลของอัตราเร็วในการกวน (Speed of Mixing)

ค่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ในแต่ละช่วงของอัตราเร็วในการกวนทั้ง 3 ช่วงทศึกษาคือ คือ 200,400 และ 600 rpm ทอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ภายใต้เงื่อนไขการทดลองคืออัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเป็น 6 : 1 ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1% โดยน้ำหนัก ตัวทละลายรวม THF 1.25 เทาโดยปริมาตรของเมทานอลซึ่งแสดงผลตามรูปท 4.6 พบว่าทอัตราการกวนท 400 rpm ของทกช่วงเวลาจะให้ค่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ทสูงกว่าอัตราการกวนท 600 rpm และ 200 rpm ตามลำดับ

ทั้งนี้เนื่องมาจากการกวนทอัตรารอบทตา 200 rpm มีการกระจายตัวของสารน้อยททำให้ถ่ายเทมวลสารได้น้อยกว่า ส่งผลให้เกิดการสัมผัสหรือถ่ายเทมวลระหว่างเมทานอลกับน้ำมันได้น้อย เมื่อเทียบกับอัตราเร็วรอบท 400 rpm ซึ่งในการทดลองนี้ถือว่าเป็นอัตราเร็วในการกวนทเหมาะสมตามสภาวะทใช้ในการทดลอง แสดงว่าการกระจายตัวของสารละลายได้ดี ททำให้มีการ

ถ้ายเพิ่มวาระหว่างเมทานอลกับน้ำมันได้มาก แต่ถ้าเพิ่มอัตราเร็วรอบมากกว่า 400 rpm เป็น 600 rpm จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ Vortex ขึ้นในการกวนซึ่งมผลทำให้สารละลายกระจายตัวไม่ทั่ว เพราะเกิดช่องว่างตรงกลางของรแอกเตอร์และใบพัดเป็นการขัดขวางการกระจายตัวของสารละลาย

ผลของอัตราการกวนดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Oliver S.Stamenkovic และคณะ (2007)ที่ได้ศึกษาอิทธิพลของการกวนต่อปฏิกิริยาเมทานอล-ซสของน้ำมันดอกทานตะวัน โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6 :1 และอุณหภูมิการทดลอง 20 องศาเซลเซียส ใช้ใบพัดกวนแบบ two blade paddle วามผลต่อ Drop size และ Drop size distribution ซึ่งพบว่า Drop size distribution จะแคบลงและขนาดของ drop จะลดลงเมื่ออัตราการกวนเพิ่มขึ้น และในระหว่างที่เกิดปฏิกิริยาขึ้นขนาดของ Drop จะคงที่และขนาดของ Drop จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อปฏิกิริยาอยู่ในขั้นเร็ว เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ interfacial area ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้รวดเร็วขึ้น



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละเมทิลเอสเทอร์กับเวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยาโดยใช้น้ำมันปาล์มต่อเมทานอลเป็น 6:1, KOH 1%, ตัวทำละลายรวม 1.25 volume THF อุณหภูมิ 60 °C ที่อัตราการกวน 200,400,600 rpm

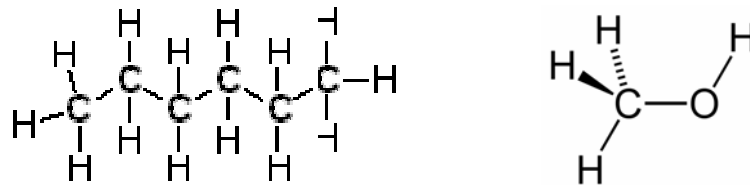
4.3.4 ผลการศึกษาชนิดของตัวทาละลายรวม

ผลการศึกษาการใช้ตัวทาละลายรวมเตตระไฮโดรฟรैन และเฮกเซนในอัตราส่วน 1.25 เท่าโดยปริมาตรของเมทานอล ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ทสภาวะไฮโดรเจนไฮดรอกไซด์มากเกินพอร้อยละ 1 อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเป็น 6:1 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อัตราการกวน 400 rpm และเวลาในการทำปฏิกิริยา 20,40 และ 60 นาที พบว่าการใช้ตัวทาละลายรวมเตตระไฮโดรฟรैनให้ค่าเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์สูงกว่าเฮกเซน ซึ่งมีค่า 98% และ 93.1% ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.9

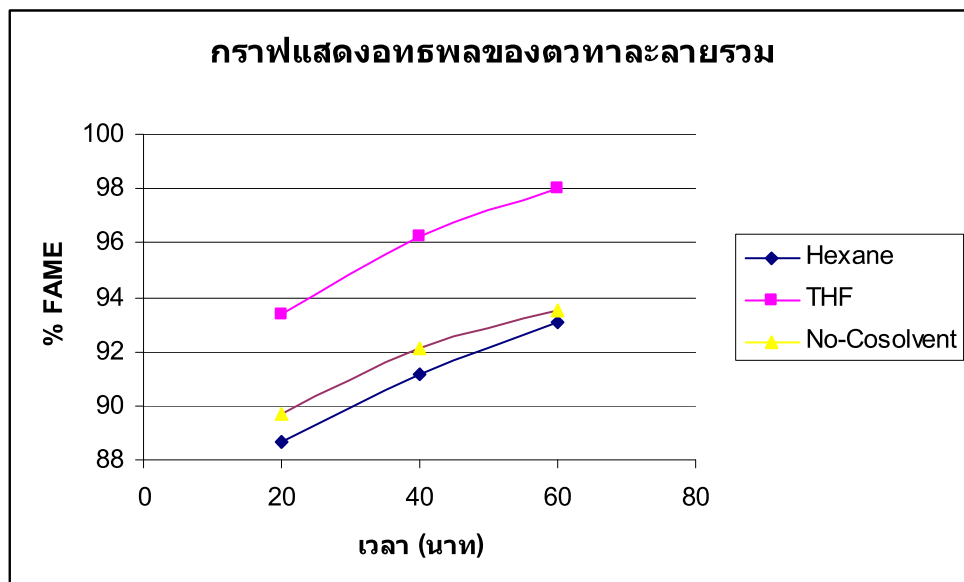
ผลดังกล่าวสามารถอธิบายได้ด้วยโครงสร้างโมเลกุลของสารเนื่องจากเตตระไฮโดรฟรैनเป็นสารประกอบประเภทเอเทอร์ (Ether ; R_1-O-R_2) ซึ่งสูตรโครงสร้างมีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยว (Lone pair electron) แสดงดังรูปที่ 4.6 ผลทำให้เตตระไฮโดรฟรैनจัดอยู่ในกลุ่มของสารละลายจำพวก Polar Aprotic Solvent และมีค่า Dipole moment อยู่ที่ 1.63 [Biodiesel Production Technology ,2004] ดังนั้นจึงทำให้เตตระไฮโดรฟรैनแสดงความเป็นขั้วเล็กน้อยเช่นเดียวกันกับเมทานอลที่สูตรโครงสร้างมีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยว แสดงดังรูปที่ 4.8 มีค่า Dipole moment ที่ 1.70 ซึ่งจัดเป็นสารละลายจำพวก Polar Protic Solvent ทำให้เตตระไฮโดรฟรैनละลายได้ในเมทานอล อีกทั้งเตตระไฮโดรฟรैनเป็นเอเธอร์ที่มีขนาดของโมเลกุลเล็กกว่าในโมเลกุลยังมีส่วนที่ไม่ขั้วซึ่งสามารถละลายได้ในน้ำมัน ดังนั้นจะพบว่าเตตระไฮโดรฟรैनทั้งส่วนขั้วและไม่ขั้ว จากเหตุผลดังกล่าวทำให้เตตระไฮโดรฟรैनละลายได้ดีทั้งกับน้ำมันและเมทานอล ทำให้สามารถขจัดปัญหาการแยกเป็นสองเฟสระหว่างน้ำมันและเมทานอลได้ ส่งผลให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น ซึ่งสมบัติดังกล่าวทำให้เตตระไฮโดรฟรैनเป็นตัวทาละลายรวมที่เหมาะสมในการช่วยให้ น้ำมันและเมทานอลผสมกันได้อย่างขึ้น และเตตระไฮโดรฟรैनมีจุดเดือดต่ำกว่าใกล้เคียงกับเมทานอลทำให้สามารถกลั่นแยกออกได้ง่าย สามารถนำกลับมาใช้ได้ อีก คุณสมบัติการพิจารณาเลือกใช้ตัวทาละลายรวม ควรจะมีจุดเดือดใกล้เคียงกับเมทานอล เพื่อให้สามารถกลั่นตัวทาละลายรวมและเมทานอลที่เหลือกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งเตตระไฮโดรฟรैनมีจุดเดือด 66 องศาเซลเซียส เฮกเซนมีจุดเดือด 69 องศาเซลเซียส ส่วนเมทานอลมีจุดเดือด 65 องศาเซลเซียส ดังนั้นตัวทาละลายรวมทั้งสองชนิดมีจุดเดือดที่เหมาะสมและเป็นประโยชน์ต่อการนำตัวทาละลายและตัวทาละลายรวมออกจากผลิตภัณฑ์ และยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เหมาะสมในระดับอุตสาหกรรมเนื่องจากเตตระไฮโดรฟรैनค่อนข้างมีราคาถูก ไม่เป็นพิษ และไม่ผลต่อปฏิกิริยาสำหรับเฮกเซนเนื่องจากสูตรโครงสร้างทางเคมีไม่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยว และคาร์บอนอะตอมจับกับไฮโดรเจนอะตอมได้ครบถ้วน แสดงดังรูปที่ 4.8 ดังนั้นทำให้เฮกเซนแสดงสถานะไม่ขั้ว (Non polar)



รูปท 4.7 โครงสร้างของเตตระไฮโดรฟรอน ,THF



รูปท 4.8 โครงสร้างของเฮกเซน (ซ้่าย) และเมทานอล (ขวา)



รูปท 4.9 น้ำมันปาล์มต่อเมทานอลเป็น 6:1, KOH 1%, 400 rpm ทอณหภูมิ 60 °C

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การผลตเมทลเอสเทอร์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟเคชันจากน้ำมันปาล์มโดยใช้ตัวทาละลายรวมเตตระไฮโดรฟแรน (THF) 1.25 เทาโดยปรมาตรของเมทานอล และเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 1 % โดยน้ำหนักของน้ำมัน ซึ่งใช้อัตราสวนเมทานอล ต่อ น้ำมัน เปน 6 ต่อ 1 โดยโมล ทาปฏิกิริยาทอนหมม 60 องศาเซลเซียส เวลาในการทาปฏิกิริยา 60 นาที อัตราเร็วในการกวนด้วยใบพัด (3 blade marine propeller) ท 400 rpm การทดลองทสภาวะ ดังกลาวให้ปรมาณของเมทลเอสเทอร์สงถง 98 %

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

เพอให้การผลตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มมประโยชน์ในการนาไปพัฒนาสระดับ อุตสาหกรรมได้จริง อาจใช้ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นพื้นฐานในการปรับปรุง โดยศึกษา เหมเติมในแงต่างๆดังนี้

- 5.2.1 ศึกษาในแง่เศรษฐศาสตร์ ต้นทุนในกระบวนการผลต
- 5.2.2 เปรียบเทียบวัตถุดิบต่างๆภายในประเทศเพอเป็นแนวทางในการผลตภาคอุตสาหกรรม
- 5.2.3 พัฒนาศมบัติการไหลทอนหมมตาเพอประโยชน์ในการใช้งานเครื่องยนต์ทสภาวะ อณหมมตา
- 5.2.4 ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับชนิดและปรมาณของตัวทาละลายรวมทความเหมาะสมทาให้ได้ เปอร์เซนต์เมทลเอสเทอร์เพิ่มขึ้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เพยงพศ วงศ์มณฑล. ศึกษากระบวนการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันทอดใช้แล้ว.

ปริญญาโท สาขาวิชาเคมอดสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน, 2549.

กฤษดา น้อยโรจน์. การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยา KOH/Al₂O₃ และ KOH/NaY
สำหรับการผลิตไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันปาล์ม . ปริญญาโท
สาขาวิชาปิโตรเคมีเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2007.

นราพร จอมต๊ับ. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มในเมทานอลภายใต้ภาวะเหนือวิกฤต.
ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
,2006.

ธรรยท หล่อภมพันธ์. ภาวะทผลตอการผสมในถังกวนแบบตอเนอง. ปริญญาโท สาขา
วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2537.

ปิยะวรรณ กฤษชเศรษฐสกุล. การสังเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันปาล์มดบด้วยโซดาไฟ. ปริญญา
โท สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2548.

ผศ.ดร.อาภาณ เหลืองนฤมตชัย : www.vcharkarn.com) วิทยาลัยปิโตรเลียม
และปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พศสมัย เจนวนชปัญจกล (2548) ไบโอดีเซลจากน้ำมัน พช,วิศวกรรมสาร,กรุงเทพมหานคร
,มกราคม-เมษายน,46-54

ชาครต ทองอไร และคณะ, การผลิตเมทิลเอสเทอร์จากไขปาล์มสเตรนขนาด pilot scale,
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมี
และเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12 8-9 พฤศจิกายน 2545

ศลาวัลย์ ชลสรานนท์ และคณะ, การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันสบดาด้วยว
Transesterification, ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, การประชุมเชิง
วิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20 18-20 ตุลาคม 2549
จังหวัดนครราชสีมา

ภาษาอังกฤษ

- Ma F. and Hanna M.A.(1999),Biodeisel production.Review Bioresource Tech 70(1):1-15.
- Freedman B.,Butterfield R.O. and Pyde E.H.(1986).Transesterification kinetics of soybean oil.JAOCS 63:1375-1380.
- D.Darnoko and M.Cheryan. Kinetics of Palm Oil Transesterification in a batch reactor. Journal of American Oil Chemical Society 77,12 (2000) : 1263-1267.
- W.Zhou,S.K.Konar .Ethyl esters from the single-phase base-catalyzed ethanolysis of vegetable oils. Journal American Oil Chemical Society. 80(2003): 367-371.
- Srivastava,A.,and Prasad,R.(2000) Triglycerides-based diesel fuels.Renewable and Sustainable Energy Reviews 4:111-133
- M.Diasakou,A.Louloudi,N.Papayannakos.Kinetics of the non-catalytic transesterification of soybean oil 77(1998) : 1297-1302.
- Feuge,R.O. and Grose,T (1949),Modification of vegetable oils, VII. Alkali catalyzed interesterification of penut oil with ethanol.J.Am.Oil Chem.Soc.26 : 97-102
- Fukada,H.,Konda,A.,and Arata,K.(2001) Review Biodiesel production by transesterification of oils.Journal of Bioscience and Bioengineering 92:405-416
- Pojanalai Chuaohuymak and Terasut Sookkumnerd ,Kinetics of homogeneous transesterification reaction of palm oil and methanol,Chemical engineering Suranaree University
- Boocock D.G.B.,Konar S.K and Sidi H.(1996),Phase diagram for oil/methanol/ether mixtures.JAOCS 73(10) : 1274 -1251.
- Boocock D.G.B.,Konar S.K.,Mao V.and Sidi H.(1996),Fast one-phase oil-rich processes for the preparation of vegetable oil methyl ester,Biomass&Bioenergy 11(1):43-50
- Chuayhauomak P. and Sookkumnerd T.(2005), Binodial curves of palm oil/methanol/tetrahydrofuran,SUT J.,In press.
- Naureddini H. and Zhu D. (1997),Kinetics of transesterification of soybean oil. JAOCS 74 : 1457-1463.
- Hideki Fukuda,Akihiko Kondo, and Hideo Noda (2001). Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils. Journal of Bioscience and Bioengineering: 92,5(2001)

: 405-416.

- Shashikant V.G and Hifjur R. (2005). Process optimization for biodiesel production from mahua (*Madhuca indica*) oil using response surface methodology, *J.Bioresource Technology*. In press
- Weiyang Zhou, Samir K. Konar, and David G.B. Boocock, Ethyl esters from the single-phase base-catalyzed ethanolysis of vegetable oils. *JAOCS* 80(2003): 367-371
- D.Y.C. Leung, Y.Guo, Tranesterification of neat and used frying oil: Optimization for biodiesel production, *Fuel processing Technology* (2006)
- Lotero, E; Liu. Y. ; Lopez. D.E.; Suwannakarn, K.; Bruce. D.A.; Goodwin Jr. J.G. Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis. *Ind. Eng Chem Res.* 44 (2005) : 5353-5363.
- Ayhan Demirbas, Biodiesel production from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical methanol transesterification methods. *Progress in energy and combustion science* 31 (2005): 466-487.
- L.C. Meher, D.Vidya Sagar, S.N. Naik, Technical aspects of biodiesel production by transesterification-a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 10(2006): 248-268.
- David G. B. Boocock, et al, 1995. Fast One-Phase One-Rich Processes For The Preparation Of Vegetable Oil Methyl Ester. *Biomass and Bioenergy* (11-1) 43-50.
- O.J. Alamu, M.A. waheed, S.O.Jekayinfa, Effect of ethanol-palm kernel oil ratio on alkali-catalyzed biodiesel yield, *Fuel* 87(2008) :1529-1533.
- J.M. Encinar, J.F. Gonzalez, A.Rodriguez-Reinares, Ethanolysis of used frying oil. Biodiesel preparation and characterization, *Fuel Processing Technology* 88(2007) :513-522.
- X.Lang,A.K.Dalai,N.N.Bakhshi,M.J.Reaney,Preparation and characterization of biodiesels from various bio-oils,*Bioresourc Technology*.80 (2001)
- Olivera S. Stamenkovic, M.L. Lazic, Z.B. Todorovic, V.B.Veljkovic, D.U.Skala: The effect of agitation intensity on alkali-catalyzed methanolysis of sunflower oil, *Bioresource Technology* 98(2007) :2688-2699.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ตารางท ก.1 แสดงคุณสมบัติทางการค้าของน้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil)

ทมา : นคร , 2549

คุณสมบัติ	ปริมาณสูงสุด อนุญาตให้
กรดไขมันอิสระ , Free Fatty acid (%)	5
ความชื้น(%)	0.5
สิ่งเจือปน(%)	0.05
คาไอโอดีน(กรัมไอโอดีนททาปฏกรยาพอดกับน้ำมัน 100 กรัม)	52-55
คาเปอร์ออกไซด์ (มลลกรัมสมคดออกซเจนตอน้ำมัน 1 kg.)	10
เหล็ก (ppm)	4
ทองแดง(ppm)	0.2
สารหน (ppm)	0.1
ตะกั่ว (ppm)	0.2
สป (%)	0.005

ตารางท ก.2 แสดงคุณสมบัติของตัวอย่างน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการวิจัย

คุณสมบัติ	ปริมาณวัดได้
กรดไขมันอิสระ , Free Fatty acid (%)	0.22 %
ความหน, Viscosity @ 40 °C	43.1 cst

หมายเหตุ ; วเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยวิธีการไตเตรทตามมาตรฐาน ASTM D445

โดยห้องปฏิบัติการโครงการเค-ไบโอดีเซล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ก.3 วิธีการวิเคราะห์กรดไขมันอิสระ [ASTM D 445]

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. เมทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 นอร์มัล เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณ 4 กรัมละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร เก็บสารละลายต่างในขวดแก้ว
3. ฟีนอล์ฟทาลิน เข้มข้นร้อยละ 1

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-10 กรัม ในขวดรูปชมพูนขนาด 250 มลลลตร
2. เตรียมสารละลายเมทิลแอลกอฮอล์ให้เป็นกลาง โดยเติมฟีนอล์ฟทาลิน 5 หยด และปรับให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล หยดต่างทยอยพร้อมทั้งเขย่าหรือคน จนได้สีชมพูถาวร
3. เติมเมทิลแอลกอฮอล์ที่เป็นกลาง 50 มลลลตร ลงในตัวอย่าง เขย่าอย่างแรงให้ตัวอย่างละลายในแอลกอฮอล์ ถ้าละลายได้ไม่หมดให้อุ่นที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส
4. ไตเตรทสารละลายตัวอย่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล ขณะไตเตรทต้องเขย่าอย่างแรง จนกระทั่งได้สีชมพูคงทนประมาณ 1 นาที
5. คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระจากสูตร

กรดไขมันอิสระร้อยละในรูปกรดไอเลอก

$$= \frac{\text{ปริมาณด่างที่ใช้ (มลลลตร)} \times \text{ความเข้มข้นของด่าง(นอร์มัล)} \times 25.6}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

ตาราง ก.4 ธาตุที่สำคัญในสารอินทรีย์ของกรดไขมัน

Name	Symbol	Atomic Number	Atomic Weight
Carbon	C	6	12.011
Hydrogen	H	1	1.008
Nitrogen	N	7	14.007
Oxygen	O	8	15.999
Phosphorus	P	15	30.974
Sulfur	S	16	32.06

ลำดับ	กรดไขมัน	สูตรโมเลกุล	โครงสร้าง
1.	Butyric acid	$C_4H_8O_2$	C4:0
2.	Caprylic	$C_8H_{16}O_2$	C8:0
3.	Capric	$C_{10}H_{20}O_2$	C10:0
4.	Lauric	$C_{12}H_{24}O_2$	C12:0
5.	Myristic	$C_{14}H_{28}O_2$	C14:0
6.	Palmitic	$C_{16}H_{32}O_2$	C16:0
7.	Palmitoleic acid	$C_{16}H_{30}O_2$	C16:1
8.	Stearic	$C_{18}H_{36}O_2$	C18:0
9.	Oleic	$C_{18}H_{34}O_2$	C18:1
10.	Elaidic acid	$C_{18}H_{34}O_2$	C18:1
11.	Linoleic	$C_{18}H_{32}O_2$	C18:2
12.	Linolelaidic acid	$C_{18}H_{32}O_2$	C18:2
13.	α Linolenic	$C_{18}H_{30}O_2$	C18:3
14.	Linolenic	$C_{18}H_{30}O_2$	C18:3
15.	Arachidic acid	$C_{22}H_{44}O_2$	C20:0
16.	Arachidic acid	$C_{22}H_{44}O_2$	C20:1(n9)
17.	Arachidic acid	$C_{22}H_{44}O_2$	C20:2(n6)
18.	Arachidic acid	$C_{22}H_{44}O_2$	C20:3(n3)
19.	Arachidic acid	$C_{22}H_{44}O_2$	C20:3(n6)
20.	Behenic	$C_{22}H_{44}O_2$	C22:0
21.	Erucic	$C_{22}H_{42}O_2$	C22:1
22.	Erucic	$C_{22}H_{42}O_2$	C22:4
23.	Erucic	$C_{22}H_{42}O_2$	C22:6
24.	DHA	$C_{22}H_{44}O_2$	C22:6
25.	Lignoceric acid	$C_{24}H_{48}O_2$	C24:0
26.	Nervonic acid	$C_{22}H_{46}O_2$	C24:1

ก.5 การคำนวณมวลโมเลกุลของน้ำมันปาล์ม (Narapon Jomtip,)



R_1, R_2, R_3 : คอ โซของไฮโดรคาร์บอน

มวลโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (Molecular Weight of Triglyceride)

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

$$R_{aver} = \sum \left[\frac{\%F_{an}}{100} \times MW_n \right]$$

เมอ

MW_{TG} คอ มวลโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (Molecular Weight of Triglyceride)

R_{aver} คอ มวลโมเลกุลเฉลี่ยของกรดไขมัน (Avg. Molecular Weight of Triglyceride)

F_{an} คอ เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันในน้ำมันจากพช

MW_n คอ มวลโมเลกุลของกรดไขมัน (Molecular Weight of fatty acid)

$$\begin{aligned}
 R_{aver} &= \left[\frac{0.7}{100} \times 200 \right] + \left[\frac{1.1}{100} \times 228 \right] + \left[\frac{38.6}{100} \times 256 \right] + \left[\frac{3.8}{100} \times 284 \right] \\
 &+ \left[\frac{42.5}{100} \times 282 \right] + \left[\frac{12.2}{100} \times 280 \right] + \left[\frac{0.3}{100} \times 278 \right] \\
 &= 268.33 \\
 3 R_{aver} &= 3 \times 268.33 = 805 \\
 MW_{TG} &= 805 + 173 = 978
 \end{aligned}$$

ภาคผนวก ข.

ตาราง ข.1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย [MSDS]

สารเคมี	ความหนาแน่น (กรัม/มลลตร)	มวลโมเลกุล (กรัม/โมล)	จุดเดือด (^o C)
น้ำมันปาล์ม	0.92	974.23	349 ^a
เมทานอล (CH ₃ OH)	0.79	32.04	65
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)	2.04	56.10	1,320
เฮกเซน (C ₆ H ₁₄)	0.66	86.00	69
เตตระไฮโดรฟเวรน (C ₄ H ₈ O)	0.88	72.11	66
กรดซัลฟริก (H ₂ SO ₄)	1.84	98.00	290

^a Graboski MS, McCormick RL., Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines, Prog Energy Combust Sci 1998;24(2);125-64

ข.2 การคำนวณปริมาณสารเคมีในปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

ตัวอย่างการคำนวณอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลและน้ำมันปาล์ม ในอัตราส่วนเมทานอล 6 ส่วน ต่อ น้ำมันปาล์ม 1 ส่วน และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำมันปาล์ม เป็นดังนี้

การคำนวณปริมาณเมทานอล(CH₃OH)

อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันปาล์มเป็น 6 : 1 ในการทดลองใช้น้ำมันปาล์ม 100 กรัม
น้ำมันปาล์ม 100 กรัม คิดเป็น $100 / 978 = 0.1022$ โมล

เมทานอล $6 \times 0.1022 = 0.6132$ โมล

คิดเป็นปริมาณเมทานอล = 0.6132 โมล \times 32.04 กรัม / โมล = 19.64 กรัม

คิดเป็นปริมาตรเมทานอล = 19.64 กรัม / 0.79 กรัม.มลลตร⁻¹ = 25 มลลตร

การคำนวณปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา(KOH)

ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักเทียบกับน้ำมันปาล์ม

ดังนั้นน้ำมันปาล์ม 100 กรัม ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $(1.0 / 100) \times 100 = 1.0$ กรัม

แต่นอกจากน้ำมันปาล์มตัวอย่างมีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ประมาณ 0.22 % ดังนั้นจะต้องทำการกำจัดกรดไขมันอิสระจำนวนดังกล่าวออกเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน และป้องกันไม่ทำให้ KOH ท่วมลงไปเสื่อมสภาพหรือตกกรดไขมันอิสระแยกไปทำปฏิกิริยาก่อนจะไปกระตุ้นไตรกลีเซอไรด์

$$\left[\frac{\text{ปริมาณกรดไขมันอิสระ} \times \text{น้ำหนักของน้ำมันปาล์ม}}{100} \right] + \text{น้ำหนักของ KOH ที่ต้องการใช้} \quad \dots (4.2)$$

แทนค่าลงในสมการ

$$\left[\frac{0.22\% \times 100 \text{ g}}{100} \right] + 1 \text{ g} = 1.22 \text{ g}$$

ดังนั้นจะต้องชั่ง KOH มาทั้งหมด 1.22 กรัม เพื่อใช้ในการทำปฏิกิริยา

การคำนวณปริมาณตัวทาละลายรวม (THF, Hexane)

ปริมาณของเตตระไฮโดรฟรอนที่ใช้ในอัตราส่วน 1.25 เท่าของปริมาตรเมทานอล

ดังนั้นใช้เมทานอล 25 มลลลตร จะใช้เตตระไฮโดรฟรอน และเฮกเซน 32 มลลลตร

คิดเป็นน้ำหนักของเตตระไฮโดรฟรอน เป็น 28 กรัม

คิดเป็นน้ำหนักของเฮกเซน เป็น 21.12 กรัม

ภาคผนวก ค.

ตาราง ค.1 คุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์

ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน

ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันพ.ศ. 2550

(ที่มา : รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน)

รายการ	รายการ ข้อกำหนด	ระดับความ เข้มข้น	หน่วยวัด	วิธีทดสอบ	เครื่องมือ ใช้ตรวจวัด
1	Methyl ester	>96.5	%wt	EN14103	GC-FID
2	Linolenic acid methyl ester	<12	%wt	EN14103	GC-FID
3	Monoglyceride	<0.8	%wt	EN14105	GC-FID
4	Diglyceride	<0.2	%wt	EN14105	GC-FID
5	Triglyceride	<0.2	%wt	EN14105	GC-FID
6	Free glyceride	<0.2	%wt	EN14105	GC-FID
7	Total glycerin	<0.25	%wt	EN14105	GC-FID
8	Methanol	<0.2	%wt	EN14110	GC-FID
9	โลหะกลุม 1 : Na,K	<5	ppm	EN14108	AAS
10	โลหะกลุม 1 Ca,Mg	<5	ppm	EN14109	AAS
11	Phosphorus	<0.001	%wt	ASTM D495	ICP
12	Sulphur	<0.001	%wt	ASTM D2662	X-RAY
13	Water	<0.05	%wt	ASTM D2709	Centrifuge
14	Iodine value	<120	glodine/100g	EN 14111	-

ตาราง ค.2 แสดงคุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆเปรียบเทียบกับ
น้ำมันดเซล [สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ปตท.]

ชนิด	ค่าความถ่วงจำเพาะ (21 ^o C,g/ml)	ความหนืด (21 ^o C,cSt)	ค่าความร้อน (kJ/kg)
ถั่วเหลือง	0.918	57.2	39,350
ทานตะวัน	0.918	60.0	39450
มะพร้าว	0.915	51.9	37,540
ถั่วลันเตา	0.914	67.1	39,470
ปาล์ม	0.898	88.6	39,550
เมล็ดในปาล์ม	0.904	66.3	39,720
เมล็ดในสบดา	0.915	36.9	39,000
น้ำมันดเซล	0.845	3.8	46,800

ตาราง ค.4 คุณสมบัติของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดเซล

คุณสมบัติ	ดเซล	ไบโอดีเซล
Fuel standard	ASTM D975	ASTM D6751
Lower heating value ,btu/gal	129.050	118.170
Kinematic viscosity,@40 ^o C	1.3-4.1	4.0-6.0
Specific gravity,kg/l@60 F	0.85	0.88
Density,lb/gal@15 ^o C	7.079	7.328
Water and sediment,vol%	0.05	0.05max
Carbon,wt%	87	77
Hydrogen,wt%	13	12
Oxygen ,wt%	0	11
Sulfur,wt%	0.05 max	0.05 max
Boiling point ^o C	180 - 340	315 - 350
Flash point ^o C	60-80	100 - 170
Cloud point ^o C	-15 to 5	-3 to 12
Pour point ^o C	-35 to -15	-15 to 10

ภาคผนวก ง.
การคำนวณเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์

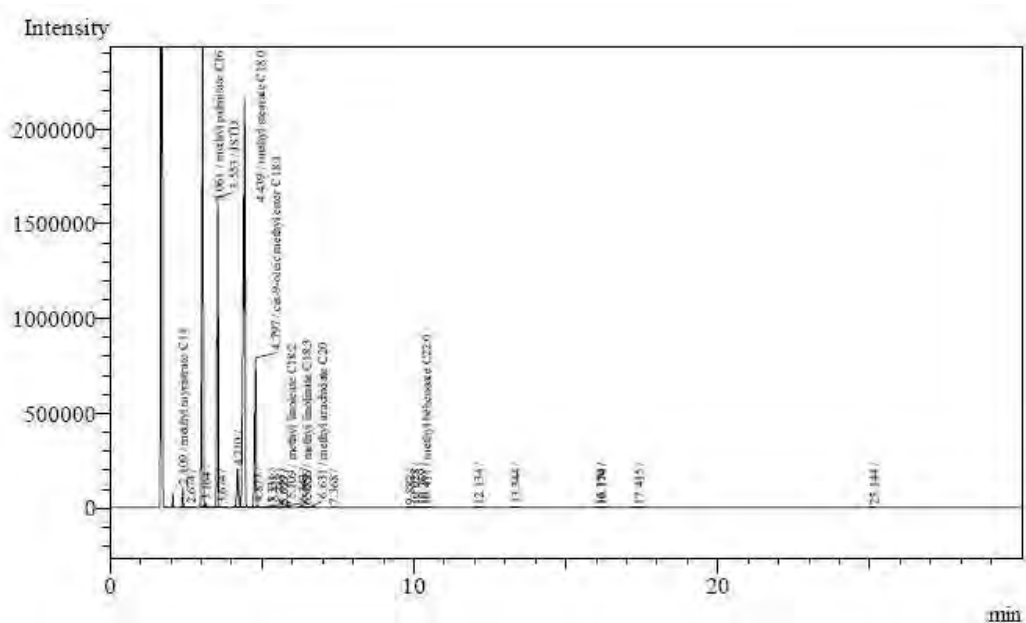
ง.1 สูตรการคำนวณเปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์ (อ้างอิงจาก EN 14103)

$$\text{เปอร์เซ็นต์เมทิลเอสเทอร์} = \frac{(\sum A) - A_{Ei}}{A_{Ei}} \times \frac{C_{Ei} \times V_{Ei}}{m} \times 100\%$$

(% Methyl Ester)

เมื่อ

$\sum A$	คือ	พื้นที่รวมของพีคจากเมทิลเอสเทอร์ใน C_{14} ถึง $C_{24:1}$
A_{Ei}	คือ	พื้นที่ของพีคเมทิลเฮปทาเดคาโนเอต (Methyl heptadecanoate)
C_{Ei}	คือ	ความเข้มข้นของเมทิลเฮปทาเดคาโนเอตที่ใช้ ; mg / ml
V_{Ei}	คือ	ปริมาตรของสารละลายเมทิลเฮปทาเดคาโนเอตที่ใช้ ; ml
m	คือ	น้ำหนักของตัวอย่างน้ำมัน ; mg



รูปท ง.1 โครมาโตแกรมของตัวอย่างน้ำมันปาล์มดบตอเมทานอล,KOH 1%,THF,60 °C

ภาคผนวก จ.

จ.1 เงื่อนไขในการวิเคราะห์เมทิลเอสเทอร์โดยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (อ้างอิงมาตรฐาน BS EN 14103:2003)

Capillary column coated with a polyethylene glycol stationary phase (Carbowax 20M,DBwax,etc.)

- length : 30 m
- internal diameter : 0.32 mm.
- film thickness : 0.25 um

Variable flow split injector

- split flow rate : 20 ml/min to 100 ml/min
- temperature : 250 °C

Carrier gas : hydrogen or helium

- Pressure : 30 kPa to 100 kPa
- Flow : 1 ml/min at 2 ml/min

(depending on characteristics of column being used)

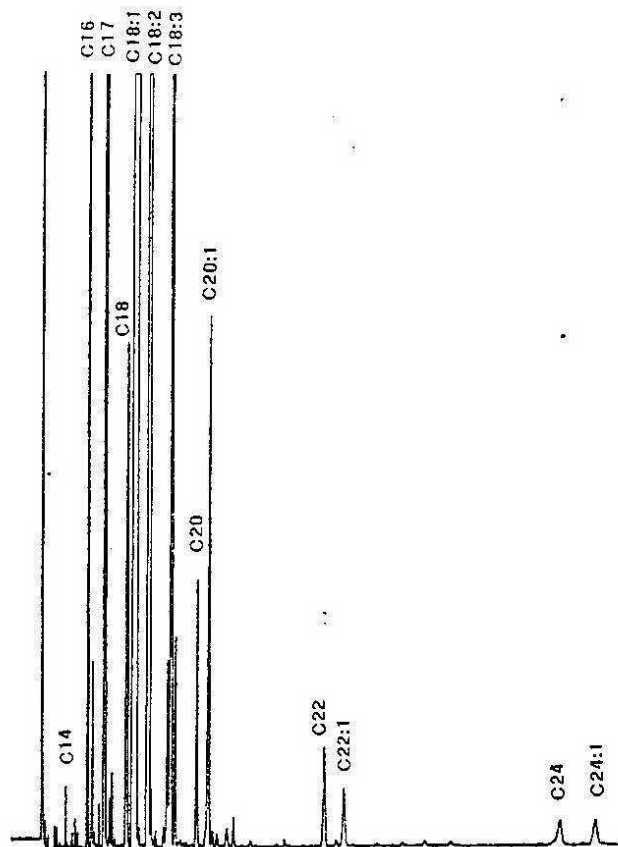
Flame ionization detector

- Temperature : 250 °C

Oven

- Temperature : 250 °C

จ 2. โครมาโตแกรมของสารผสมในเมทิลเอสเทอร์ (BS EN 14103:2003)



Key

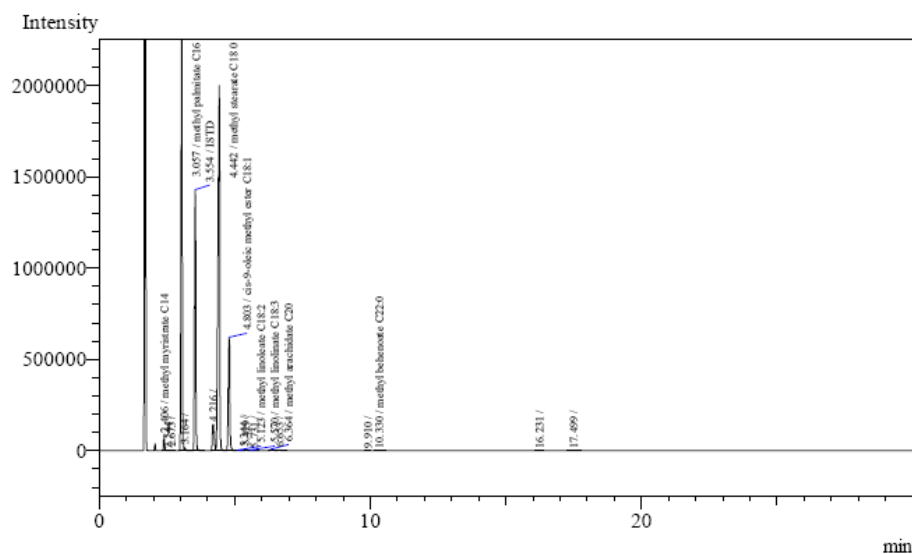
C_{16}	:	Palmitic acid	$C_{18:2}$:	Linoleic acid
$C_{16:1}$:	Palmitoleic acid	$C_{18:3}$:	Linolenic acid
C_{17}	:	Heptadecanoic acid (internal standard)	$C_{20:1}$:	Gadoleic acid
C_{18}	:	Stearic acid	C_{22}	:	Behenic acid
$C_{18:1}$:	Oleic acid	$C_{22:1}$:	Erucic acid
C_{24}	:	Lignoceric acid	$C_{24:1}$:	Nervonic acid

ภาคผนวก จ.
GCโครมาโตแกรมของเมทิลเอสเทอร์

รูป จ.1 chromatogram of biodiesel 200 rpm ,60 °C ,THF , 20 min

Analysis Date & Time : 13/3/2552 15:32:21
 User Name : Admin
 Vial# : 10
 Sample Name : 10
 Sample ID : 10
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :

Data Name : D:\Data\Customer\Ratree\13-03-09\10.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame3.gcm

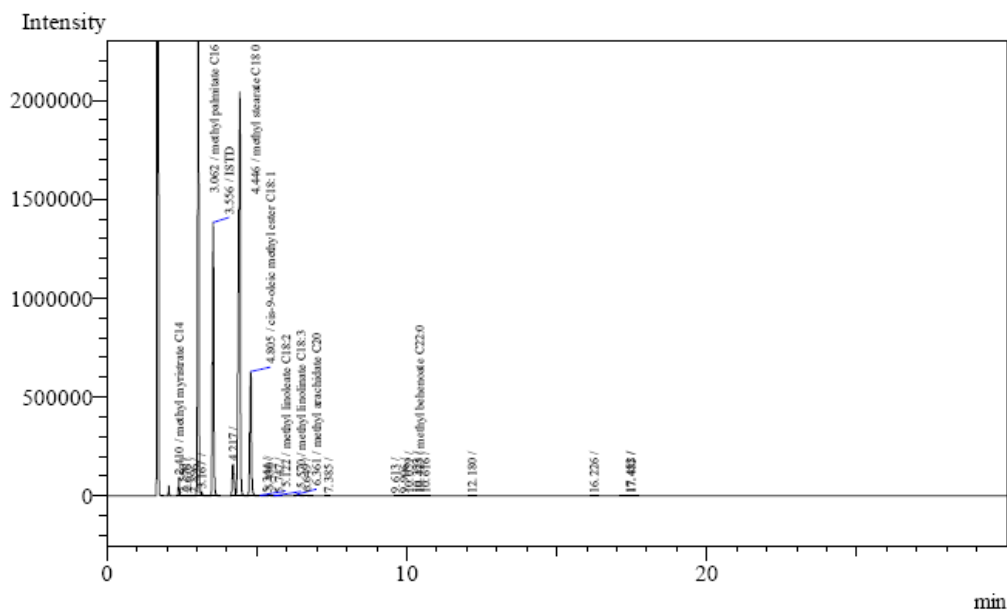


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.406	180534	84424	0.767 %		4	methyl myristate C
2	2.544	1154	401	0.005	V		
3	2.673	7768	2952	0.033			
4	3.057	7164577	2610585	30.425 %	S	5	methyl palmitate C1
5	3.164	15250	8213	0.065	T		
6	3.554	4503741	1429383	19.126 %	S	15	ISTD
7	4.216	693670	145906	2.946	V		
8	4.442	8485326	2001641	36.034 %	V	7	methyl stearate C18
9	4.803	2331802	620271	9.902 %	V	8	cis-9-oleic methyl es
10	5.123	14577	3062	0.062 %	V	9	methyl linoleate C18
11	5.344	5579	1707	0.024	V		
12	5.429	33083	7272	0.140	V		
13	5.570	6580	1473	0.028 %	V	10	methyl linolate C1
14	5.731	2374	276	0.010	V		
15	6.364	54475	8301	0.231 %	V	11	methyl arachidate C
16	6.653	25431	3970	0.108	SV		
17	9.910	1805	329	0.008			
18	10.330	9396	892	0.040 %		12	methyl behenoate C
19	16.231	1869	198	0.008			
20	17.499	9186	589	0.039	V		
Total		23548177	6931845				

chromatogram of biodiesel 200 rpm ,60 °C ,THF , 40 min

Analysis Date & Time : 16/3/2552 15:07:17
 User Name : Admin
 Vial# : 10
 Sample Name : 10
 Sample ID : 10
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :

Data Name : D:\Data\Customer\Ratree\16-03-09\10.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame)3.gcm

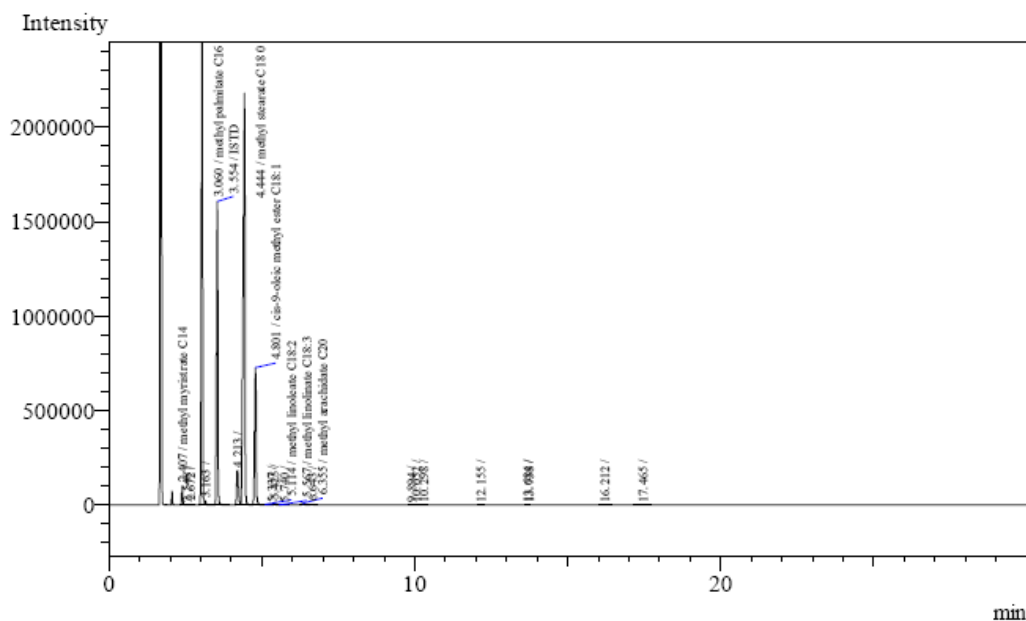


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.410	186395	92237	0.776	%		4	methyl myristate C
2	2.550	3159	1213	0.013		V		
3	2.676	8114	3241	0.034		V		
4	2.896	1291	568	0.005				
5	3.062	7671446	2921593	31.930	%	SV	5	methyl palmitate C1
6	3.167	16790	9711	0.070		T		
7	3.556	4202897	1381991	17.493	%	V	15	ISTD
8	4.217	745680	161403	3.104				
9	4.446	8691466	2044172	36.175	%	V	7	methyl stearate C18
10	4.805	2303973	629075	9.589	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
11	5.122	12684	2866	0.053	%	T	9	methyl linoleate C18
12	5.344	4363	1330	0.018				
13	5.430	33865	7904	0.141		V		
14	5.570	4833	1104	0.020	%	V	10	methyl linolate C1
15	5.747	1442	203	0.006		V		
16	6.361	54457	8587	0.227	%		11	methyl arachidate C
17	6.649	24198	3908	0.101		V		
18	7.385	1253	207	0.005		V		
19	9.613	1012	195	0.004		V		
20	9.906	9937	1442	0.041				
21	10.059	3746	530	0.016		V		
22	10.323	9758	1201	0.041		V		
23	10.425	6465	948	0.027	%	V	12	methyl behenoate C
24	10.616	3291	444	0.014		V		
25	12.180	1557	200	0.006				
26	16.226	1868	223	0.008		V		
27	17.452	12708	968	0.053		V		
28	17.485	7513	972	0.031		V		
Total		24026161	7278436					

chromatogram of biodiesel 200 rpm ,60 °C ,THF , 60 min

Analysis Date & Time : 12/3/2552 14:15:33
 User Name : Admin
 Vial# : 6
 Sample Name : 4
 Sample ID : 4
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :

Data Name : D:\Data\Custromer\Ratree\12-03-09\4.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame)3.gcm

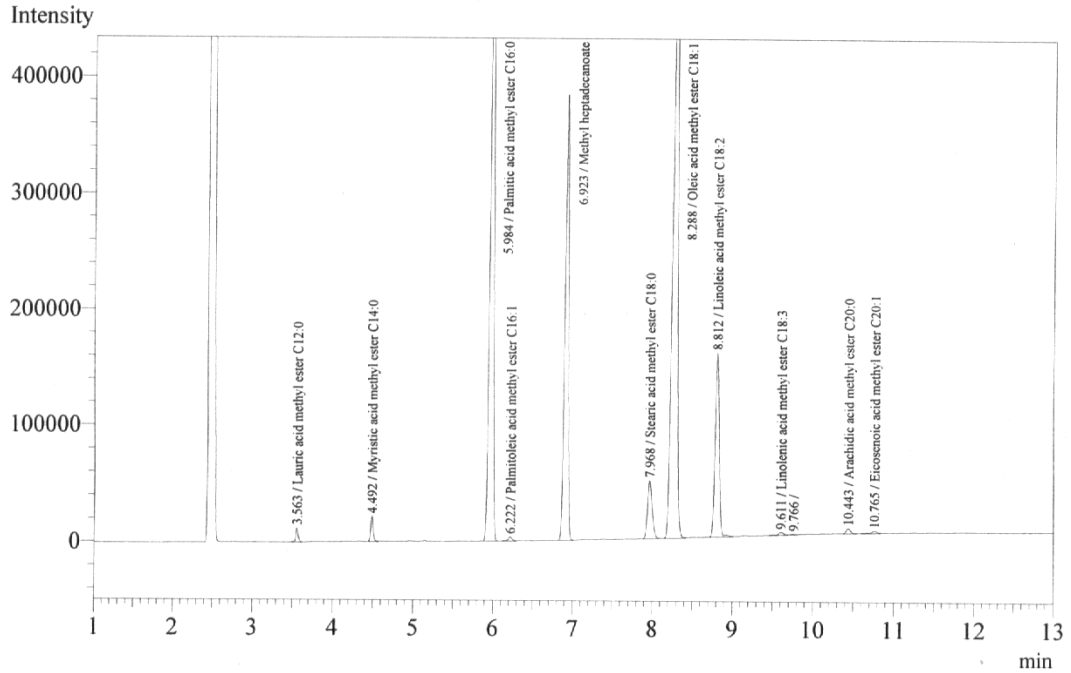


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.407	200528	100945	0.824	%	S	4	methyl myristate C
2	2.548	1004	433	0.004		T		
3	2.672	8287	3484	0.034				
4	3.060	7768539	3189809	31.925	%	S	5	methyl palmitate C1
5	3.163	20739	12013	0.085		T		
6	3.554	4363658	1606096	17.933	%	V	15	ISTD
7	4.213	743737	183380	3.056		V		
8	4.444	8679948	2177801	35.670	%	V	7	methyl stearate C18
9	4.801	2379050	727248	9.777	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
10	5.114	12985	3332	0.053	%	T	9	methyl linoleate C18
11	5.337	5110	1557	0.021		T		
12	5.425	35534	9164	0.146		TV		
13	5.567	5383	1329	0.022	%	TV	10	methyl linolate C1
14	5.740	2117	271	0.009		TV		
15	6.355	53526	10116	0.220	%		11	methyl arachidate C
16	6.643	23979	4404	0.099		V		
17	9.894	3059	471	0.013				
18	10.052	1704	258	0.007		V		
19	10.298	5093	815	0.021				
20	12.155	1443	191	0.006				
21	13.684	3191	661	0.013				
22	13.738	1589	461	0.007		V		
23	16.212	3022	306	0.012		S		
24	17.465	10510	721	0.043		S		
Total		24333735	8035266					

รูป ๓.2 chromatogram of biodiesel 400 rpm ,60 °C ,THF , 20 min

Analysis Date & Time : 11/3/2552 9:07:43
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : 20 min " B 100 - 20 min"
 Sample ID : chula
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : D:\jo\result\FAME\service\chula\110309\20 min.gcd
 Method Name : D:\jo\Method_FAME and glycerin%\FAME_190209.gcm

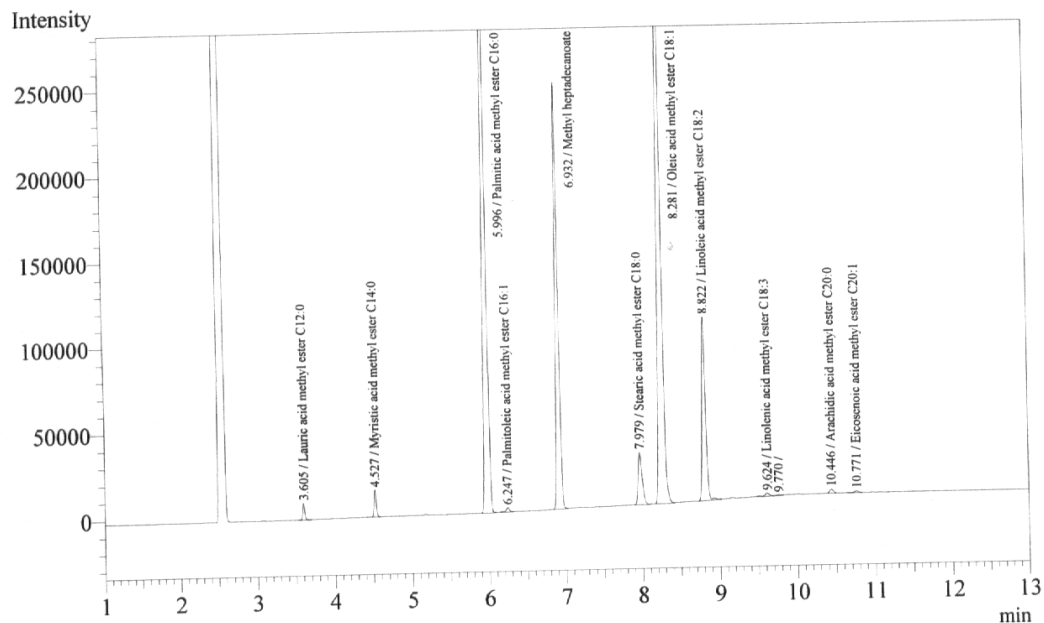


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Cmpd Name
1	3.563	23619	11876	Lauric acid methyl ester C12:0
2	4.492	46249	21519	Myristic acid methyl ester C14:0
3	5.984	2006026	678693	Palmitic acid methyl ester C16:0
4	6.222	11162	3452	Palmitoleic acid methyl ester C16:1
5	6.923	1126504	381622	Methyl heptadecanoate
6	7.968	197096	49742	Stearic acid methyl ester C18:0
7	8.288	2275028	585755	Oleic acid methyl ester C18:1
8	8.812	564721	157659	Linoleic acid methyl ester C18:2
9	9.611	9459	2371	Linolenic acid methyl ester C18:3
10	9.766	1063	277	
11	10.443	15567	4206	Arachidic acid methyl ester C20:0
12	10.765	7356	1716	Eicosenoic acid methyl ester C20:1
13	13.940	7198	1200	
14	14.432	8645	727	Eicosapentaenic acid methyl ester C20:5
15	15.229	5819	780	Behenic acid methyl ester C22:0
Total		6305512	1901595	

chromatogram of biodiesel 400 rpm ,60 °C ,THF , 40 min

Analysis Date & Time : 11/3/2552 11:42:15
 User Name : Admin
 Vial# : 0
 Sample Name : 40min-2 " B 100 - 40 min "
 Sample ID : chula
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume :
 ISTD Amount :

Data Name : D:\jo\result\FAME\service\chula\110309\40min-2.gcd
 Method Name : D:\jo\Method_FAME and glycerin%\FAME_190209.gcm

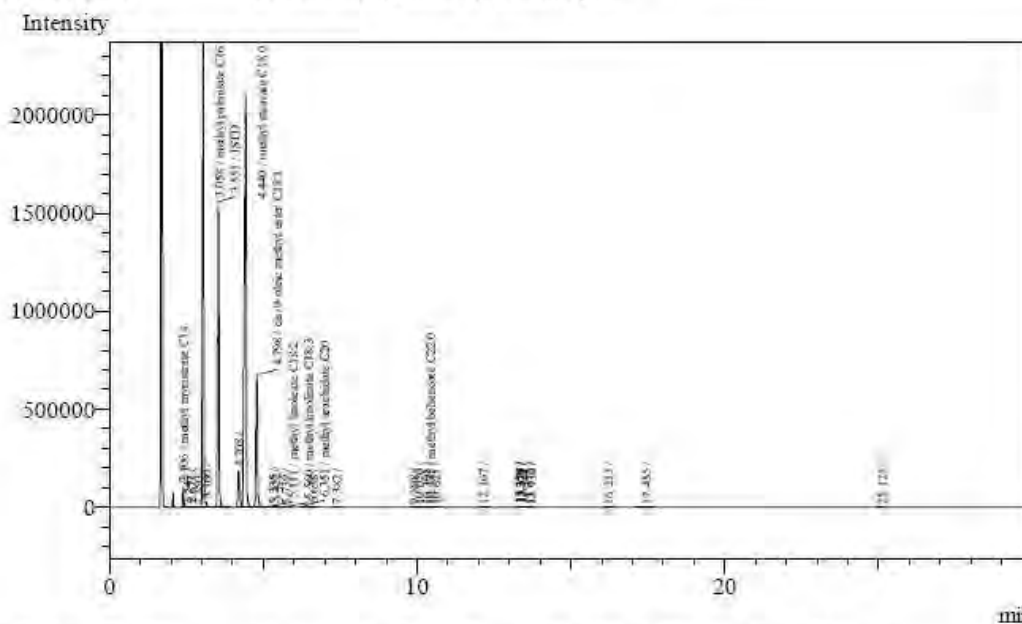


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Cmpd Name
1	3.605	17596	9498	Lauric acid methyl ester C12:0
2	4.527	31167	15508	Myristic acid methyl ester C14:0
3	5.996	1212658	477058	Palmitic acid methyl ester C16:0
4	6.247	7183	2411	Palmitoleic acid methyl ester C16:1
5	6.932	658027	246933	Methyl heptadecanoate
6	7.979	106902	30326	Stearic acid methyl ester C18:0
7	8.281	1288504	385659	Oleic acid methyl ester C18:1
8	8.822	345709	106240	Linoleic acid methyl ester C18:2
9	9.624	6714	1761	Linolenic acid methyl ester C18:3
10	9.770	990	267	
11	10.446	8163	2330	Arachidic acid methyl ester C20:0
12	10.771	4394	988	Eicosenoic acid methyl ester C20:1
13	13.845	997	250	Eicosatrienoic acid methyl ester C20:3
14	15.215	3088	447	Behenic acid methyl ester C22:0
Total		3692092	1279676	

chromatogram of biodiesel 400 rpm ,60 °C ,THF , 60 min

Analysis Date & Time : 12/3/2552 11:35:20
 User Name : Admin
 Vial# : 4
 Sample Name : 2
 Sample ID : 2
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :

Data Name : D:\Data\Customer\Ratree\12-03-09\2.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame\3.gcm

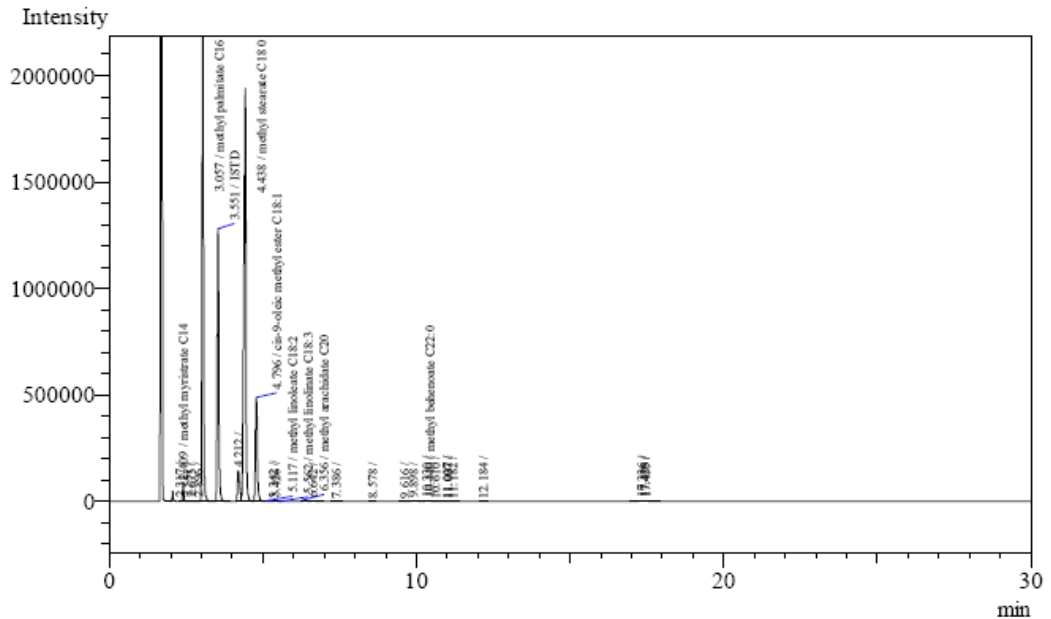


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Compd Name
1	2.406	209433	108250	0.866	%	S	4	methyl myristate C18
2	2.547	2568	1141	0.011		T		
3	2.671	8103	3500	0.034		T		
4	2.893	1372	595	0.006				
5	3.058	7752062	3172648	32.055	%	S	5	methyl palmitate C16
6	3.160	13577	9009	0.056		T		
7	3.551	4305893	1556432	17.805	%	S	15	ISTD
8	4.208	735179	185909	3.040		V		
9	4.440	8634036	2104368	35.702	%	V	7	methyl stearate C18
10	4.798	2296792	677749	9.497	%	SV	8	cis-9-oleic methyl ester C18:3
11	5.111	12088	3194	0.050	%	T	9	methyl linoleate C18:2
12	5.335	4601	1409	0.019		T		
13	5.422	33440	8414	0.138		TV		
14	5.560	5946	1372	0.025	%	TV	10	methyl linolenate C18:3
15	5.739	1423	273	0.006		TV		
16	6.351	52951	9786	0.219	%		11	methyl arachidate C20
17	6.638	23621	4339	0.098		V		
18	7.382	1093	179	0.005				
19	9.898	7644	1197	0.032				
20	10.050	3982	582	0.016		V		
21	10.305	8973	1184	0.037		V		
22	10.435	6210	894	0.026	%	V	12	methyl behenoate C22:0
23	10.621	2350	356	0.010		SV		
24	12.167	1474	202	0.006				
25	13.329	6991	1822	0.029				
26	13.354	2301	1801	0.010		V		
27	13.375	5695	1807	0.024		V		
28	13.432	17719	1630	0.073		V		
29	13.672	1867	716	0.008		V		
30	13.730	2181	572	0.009		V		
31	16.213	2867	288	0.012				

รูป ๓.3 chromatogram of biodiesel 600 rpm ,60 °C ,THF , 20 min

Analysis Date & Time : 13/3/2552 13:04:18
 User Name : Admin
 Vial# : 6
 Sample Name : 6
 Sample ID : 6
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :

Data Name : D:\Data\Customer\Ratree\13-03-09\6.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame)3.gcm

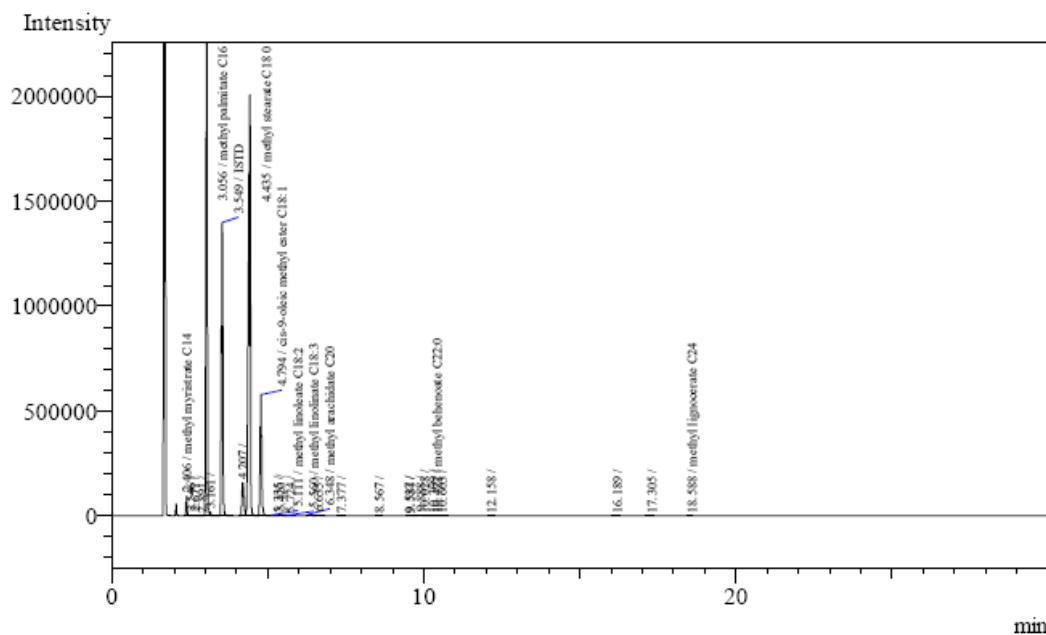


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.317	1873	1188	0.008				
2	2.409	191070	86680	0.800	%		4	methyl myristate C
3	2.551	9111	3343	0.038		V		
4	2.675	8617	3046	0.036		V		
5	2.896	3681	1464	0.015				
6	3.057	7521833	2584426	31.495	%	V	5	methyl palmitate C1
7	3.551	4429651	1279036	18.548	%	S	15	ISTD
8	4.212	700826	143427	2.934		V		
9	4.438	8690848	1938581	36.390	%	V	7	methyl stearate C18
10	4.796	2026255	489115	8.484	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
11	5.117	11395	2370	0.048	%	T	9	methyl linoleate C18
12	5.342	3694	1142	0.015		T		
13	5.426	23210	4843	0.097		TV		
14	5.562	4135	975	0.017	%	TV	10	methyl linolate C1
15	6.356	53939	7691	0.226	%	V	11	methyl arachidate C
16	6.642	28080	3704	0.118		SV		
17	7.386	3650	346	0.015		V		
18	8.578	1852	323	0.008				
19	9.616	6048	537	0.025				
20	9.898	46142	4167	0.193		V		
21	10.330	14327	2027	0.060		V		
22	10.440	19892	2393	0.083	%	V	12	methyl behenoate C
23	10.610	14116	1469	0.059		V		
24	11.007	1506	350	0.006		V		
25	11.037	1159	336	0.005		V		
26	11.182	3418	374	0.014		SV		
27	12.184	2817	310	0.012		V		
28	17.336	22853	2199	0.096				
29	17.426	12355	2338	0.052		V		
30	17.455	24258	2352	0.102		SV		
Total		23882611	6570552					

chromatogram of biodiesel 600 rpm ,60 °C ,THF , 40 min

Analysis Date & Time : 17/3/2552 11:17:01
 User Name : Admin
 Vial# : 4
 Sample Name : 4
 Sample ID : 4
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :

Data Name : D:\Data\Customer\Ratree\17-03-09\4.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame\3.gcm

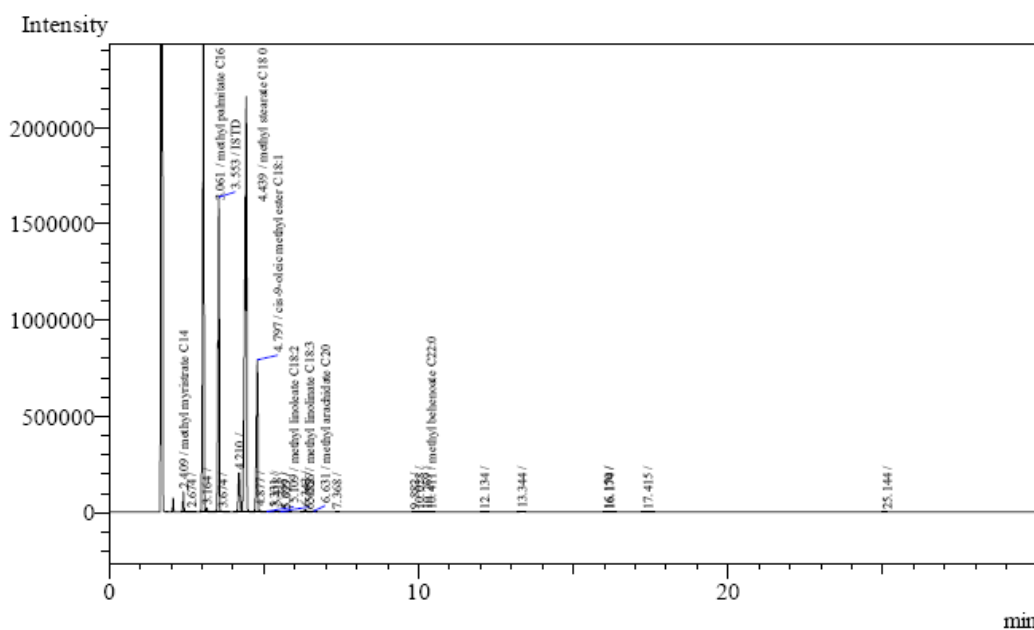


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.406	188853	93136	0.814 %		4	methyl myristate C
2	2.546	5016	1914	0.022	V		
3	2.671	8022	3177	0.035	V		
4	2.891	2070	914	0.009			
5	3.056	7395818	2827508	31.894 %	S	5	methyl palmitate C1
6	3.161	16236	9055	0.070	T		
7	3.549	4244573	1398784	18.305 %	S	15	ISTD
8	4.207	721050	158264	3.110			
9	4.435	8313895	2005395	35.854 %	V	7	methyl stearate C18
10	4.794	2097766	577952	9.047 %	SV	8	cis-9-oleic methyl es
11	5.111	12809	2893	0.055 %	T	9	methyl linoleate C18
12	5.335	3797	1199	0.016	T		
13	5.420	29623	6954	0.128	TV		
14	5.560	4448	1015	0.019 %	TV	10	methyl linolate C1
15	5.724	1113	214	0.005	TV		
16	6.348	52473	8462	0.226 %		11	methyl arachidate C
17	6.635	23115	3775	0.100	V		
18	7.377	2011	248	0.009	V		
19	8.567	1329	227	0.006			
20	9.537	1004	268	0.004			
21	9.584	2297	311	0.010	V		
22	9.888	18503	2510	0.080	V		
23	10.028	6711	987	0.029	V		
24	10.309	12583	1557	0.054	V		
25	10.422	10029	1461	0.043 %	V	12	methyl behenoate C
26	10.603	6432	811	0.028	V		
27	12.158	1743	220	0.008	V		
28	16.189	1884	231	0.008			
29	17.305	1800	189	0.008			
30	18.588	1444	209	0.006 %		14	methyl lignocerate C
Total		23188447	7109840				

chromatogram of biodiesel 600 rpm ,60 °C ,THF , 60 min

Analysis Date & Time : 20/3/2552 11:45:39
 User Name : Admin
 Vial# : 4
 Sample Name : 2
 Sample ID : 2
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :

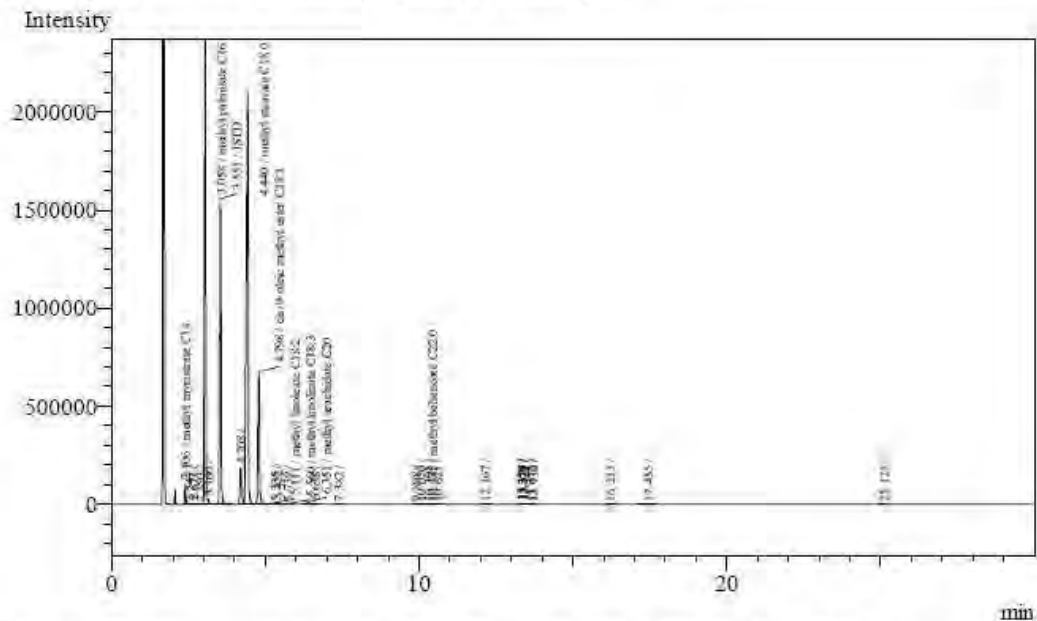
Data Name : D:\Data\Customer\Weerapon\20-03-09\2.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame)3.gcm



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.409	203104	106941	0.821	%	S	4	methyl myristate C
2	2.674	8347	3682	0.034		S		
3	3.061	7846940	3242346	31.706	%		5	methyl palmitate C1
4	3.164	56323	20248	0.228		SV		
5	3.553	4344867	1633174	17.556	%		15	ISTD
6	3.674	10718	3088	0.043		SV		
7	4.210	776578	202949	3.138				
8	4.439	8845544	2159360	35.741	%	V	7	methyl stearate C18
9	4.797	2460702	789766	9.943	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
10	4.877	5364	2889	0.022		T		
11	5.109	14107	4032	0.057	%	T	9	methyl linoleate C18
12	5.331	6116	1807	0.025		T		
13	5.418	37578	10465	0.152		TV		
14	5.556	5951	1564	0.024	%	TV	10	methyl linolate C1
15	5.699	1106	317	0.004		TV		
16	5.727	1555	333	0.006		TV		
17	6.343	53057	12849	0.214				
18	6.482	2923	635	0.012		V		
19	6.631	23434	5421	0.095	%	V	11	methyl arachidate C
20	7.368	1049	226	0.004		V		
21	9.882	1860	338	0.008				
22	10.028	1514	280	0.006		V		
23	10.269	9116	1461	0.037				
24	10.411	1505	254	0.006	%	V	12	methyl behenoate C
25	12.134	1547	218	0.006				
26	13.344	12772	1263	0.052				
27	16.150	1688	365	0.007				
28	16.174	2089	357	0.008		V		
29	17.415	10027	1000	0.041		V		
30	25.144	1724	120	0.007				
Total		24749205	8207748					

รูป ๑.4 chromatogram of biodiesel 200 rpm ,40 °C ,THF , 20 min

Analysis Date & Time : 12/3/2552 11:35:20
 User Name : Admin
 Vial# : 4
 Sample Name : 2
 Sample ID : 2
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :
 Data Name : D:\Data\Custromer\Ratree\12-03-09\2.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame\3.gcm

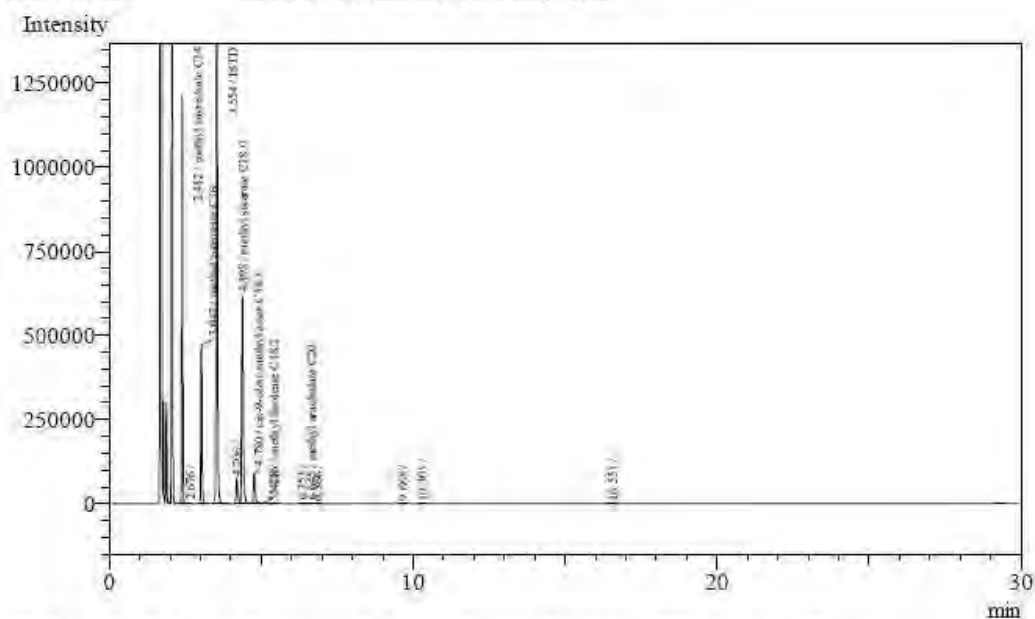


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.406	209433	108250	0.866	%	S	4	methyl myristate C14
2	2.547	2568	1141	0.011		T		
3	2.671	8103	3500	0.034		T		
4	2.893	1372	595	0.006				
5	3.058	7752062	3172648	32.055	%	S	5	methyl palmitate C16
6	3.160	13577	9009	0.056		T		
7	3.551	4305893	1556432	17.805	%	S	15	ISTD
8	4.208	735179	185909	3.040		V		
9	4.440	8634036	2104368	35.702	%	V	7	methyl stearate C18
10	4.798	2296792	677749	9.497	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
11	5.111	12088	3194	0.050	%	T	9	methyl linoleate C18
12	5.335	4601	1409	0.019		T		
13	5.422	33440	8414	0.138		TV		
14	5.560	5946	1372	0.025	%	TV	10	methyl linolate C1
15	5.739	1423	273	0.006		TV		
16	6.351	52951	9786	0.219	%		11	methyl arachidate C
17	6.638	23621	4339	0.098		V		
18	7.382	1093	179	0.005				
19	9.898	7644	1197	0.032				
20	10.050	3982	582	0.016		V		
21	10.305	8973	1184	0.037		V		
22	10.435	6210	894	0.026	%	V	12	methyl behenoate C.
23	10.621	2350	356	0.010		SV		
24	12.167	1474	202	0.006				
25	13.329	6991	1822	0.029				
26	13.354	2301	1801	0.010		V		
27	13.375	5695	1807	0.024		V		
28	13.432	17719	1630	0.073		V		
29	13.672	1867	716	0.008		V		
30	13.730	2181	572	0.009		V		
31	16.213	2867	288	0.012				

chromatogram of biodiesel 200 rpm ,40 °C ,THF , 40 min

Analysis Date & Time : 12/3/2552 14:52:34
 User Name : Admin
 Vial# : 7
 Sample Name : 5
 Sample ID : 5
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :

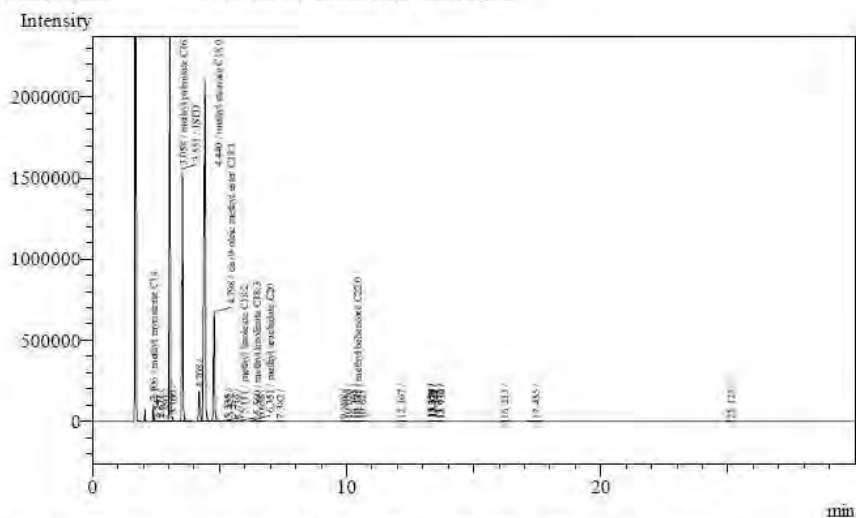
Data Name : D:\Data\Customer\Ratree\12-03-09\5.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame\3.gcm



Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Compd Name
1	2.412	2422736	1214352	22.416	%	V	4	methyl myristate C
2	2.676	2435	1081	0.023				
3	3.042	1187575	472683	10.988	%		5	methyl palmitate C1
4	3.554	4292875	1430069	39.719	%	S	15	ISTD
5	4.206	279363	72527	2.585		V		
6	4.398	2250356	617470	20.821	%	V	7	methyl stearate C18
7	4.780	325927	87913	3.016	%	S	8	cis-9-oleic methyl es
8	5.116	12776	2796	0.118	%	T	9	methyl linoleate C18
9	5.428	3531	504	0.033		T		
10	6.353	11818	2028	0.109				
11	6.645	12381	1964	0.115	%	V	11	methyl arachidate C
12	6.866	1322	262	0.012		V		
13	9.668	1953	239	0.018		V		
14	10.305	1438	204	0.013				
15	16.551	1504	161	0.014				
Total		10807990	3904253					

chromatogram of biodiesel 200 rpm ,40 °C ,THF , 60 min

Analysis Date & Time : 12/3/2552 11:35:20
 User Name : Admin
 Vial# : 4
 Sample Name : 2
 Sample ID : 2
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :
 Data Name : D:\Data\Customer\Ratree\12-03-09\2.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc(method for Fame)3.gcm

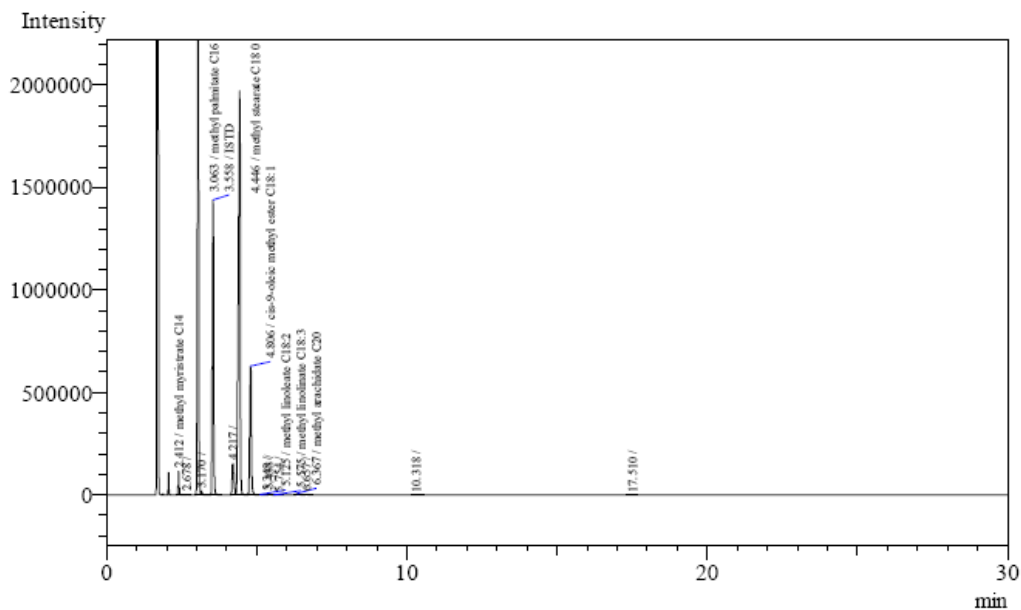


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.406	209433	108250	0.866	%	S	4	methyl myristate C
2	2.547	2568	1141	0.011		T		
3	2.671	8103	3500	0.034		T		
4	2.893	1372	595	0.006				
5	3.058	7752062	3172648	32.055	%	S	5	methyl palmitate C16
6	3.160	13577	9009	0.056		T		
7	3.551	4305893	1556432	17.805	%	S	15	ISTD
8	4.208	735179	185909	3.040		V		
9	4.440	8634036	2104368	35.702	%	V	7	methyl stearate C18
10	4.798	2296792	677749	9.497	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
11	5.111	12088	3194	0.050	%	T	9	methyl linoleate C18
12	5.335	4601	1409	0.019		T		
13	5.422	33440	8414	0.138		TV		
14	5.560	5946	1372	0.025	%	TV	10	methyl linolate C1
15	5.739	1423	273	0.006		TV		
16	6.351	52951	9786	0.219	%		11	methyl arachidate C
17	6.638	23621	4339	0.098		V		
18	7.382	1093	179	0.005				
19	9.898	7644	1197	0.032				
20	10.050	3982	582	0.016		V		
21	10.305	8973	1184	0.037		V		
22	10.435	6210	894	0.026	%	V	12	methyl behenoate C
23	10.621	2350	356	0.010		SV		
24	12.167	1474	202	0.006				
25	13.329	6991	1822	0.029				
26	13.354	2301	1801	0.010		V		
27	13.375	5695	1807	0.024		V		
28	13.432	17719	1630	0.073		V		
29	13.672	1867	716	0.008		V		
30	13.730	2181	572	0.009		V		
31	16.213	2867	288	0.012				

กราฟ ๑.5 chromatogram of biodiesel 400 rpm ,40 °C ,THF , 20 min

Analysis Date & Time : 16/3/2552 10:11:21
 User Name : Admin
 Vial# : 2
 Sample Name : 2
 Sample ID : 2
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :

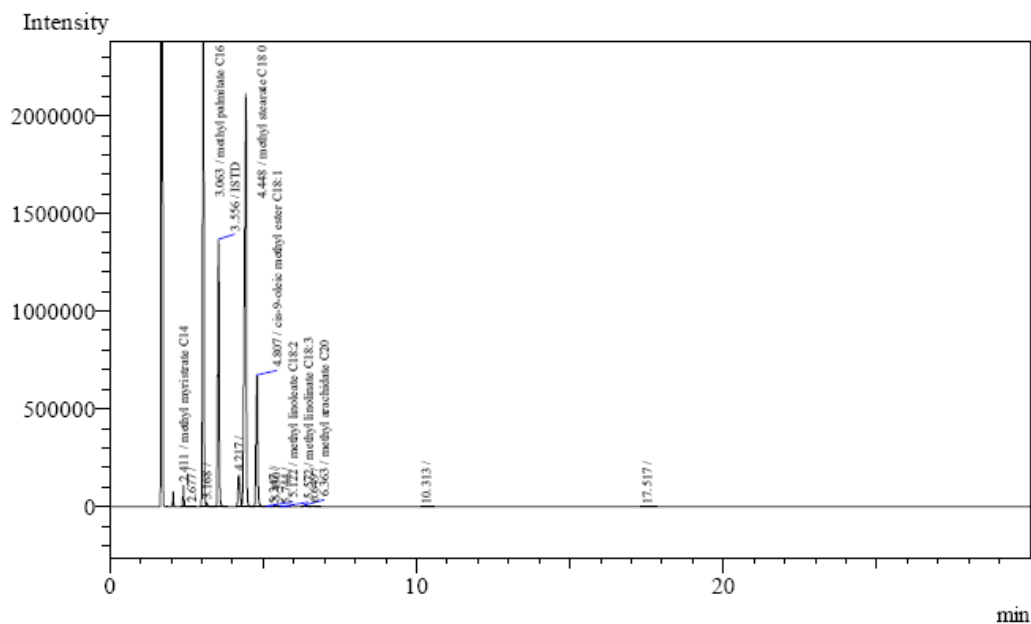
Data Name : D:\Data\Custromer\Ratree\16-03-09\2.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame\3.gcm



Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.412	223689	114709	0.989	%	S	4	methyl myristate C
2	2.678	7895	3272	0.035				
3	3.063	7081777	2809161	31.310	%	S	5	methyl palmitate C1
4	3.170	19208	10723	0.085		T		
5	3.558	4207282	1438349	18.601	%	V	15	ISTD
6	4.217	682985	155501	3.020				
7	4.446	8012961	1970985	35.427	%	V	7	methyl stearate C18
8	4.806	2234073	628817	9.877	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
9	5.125	12959	2918	0.057	%	T	9	methyl linoleate C18
10	5.348	4794	1454	0.021				
11	5.433	34893	8351	0.154		V		
12	5.575	5435	1263	0.024	%	V	10	methyl linolate C1
13	5.754	1052	217	0.005		V		
14	6.367	51024	8153	0.226	%		11	methyl arachidate C
15	6.657	22760	3663	0.101		V		
16	10.318	9539	850	0.042		V		
17	17.510	6061	478	0.027		V		
Total		22618387	7158864					

chromatogram of biodiesel 400 rpm ,40 °C ,THF , 40 min

Analysis Date & Time : 16/3/2552 13:53:12
 User Name : Admin
 Vial# : 8
 Sample Name : 8
 Sample ID : 8
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :
 Data Name : D:\Data\Customer\Ratree\16-03-09\8.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame)3.gcm

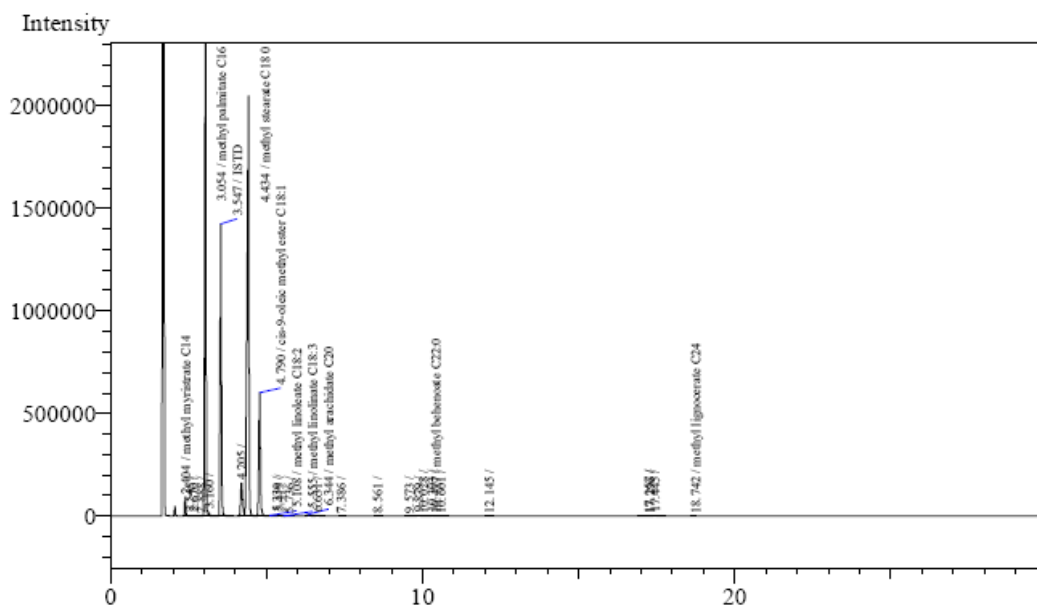


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.411	223899	110109	0.911	%	S	4	methyl myristate C
2	2.677	8512	3337	0.035				
3	3.063	7829635	2970775	31.873	%	S	5	methyl palmitate C1
4	3.168	18338	10230	0.075		T		
5	3.556	4191552	1366642	17.063	%	V	15	ISTD
6	4.217	751670	162167	3.060				
7	4.448	8890117	2112967	36.190	%	V	7	methyl stearate C18
8	4.807	2488930	674559	10.132	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
9	5.122	12666	2729	0.052	%	T	9	methyl linoleate C18
10	5.347	4988	1544	0.020		T		
11	5.430	38732	8781	0.158		TV		
12	5.572	5749	1325	0.023	%	TV	10	methyl linolate C1
13	5.744	1886	248	0.008		TV		
14	6.363	56482	8838	0.230	%		11	methyl arachidate C
15	6.649	25594	3954	0.104		V		
16	10.313	9088	863	0.037				
17	17.517	7193	525	0.029		SV		
Total		24565031	7439593					

chromatogram of biodiesel 400 rpm ,40 °C ,THF , 60 min

Analysis Date & Time : 17/3/2552 10:03:11
 User Name : Admin
 Vial# : 2
 Sample Name : 2
 Sample ID : 2
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :

Data Name : D:\Data\Custromer\Ratree\17-03-09\2.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame)3.gcm

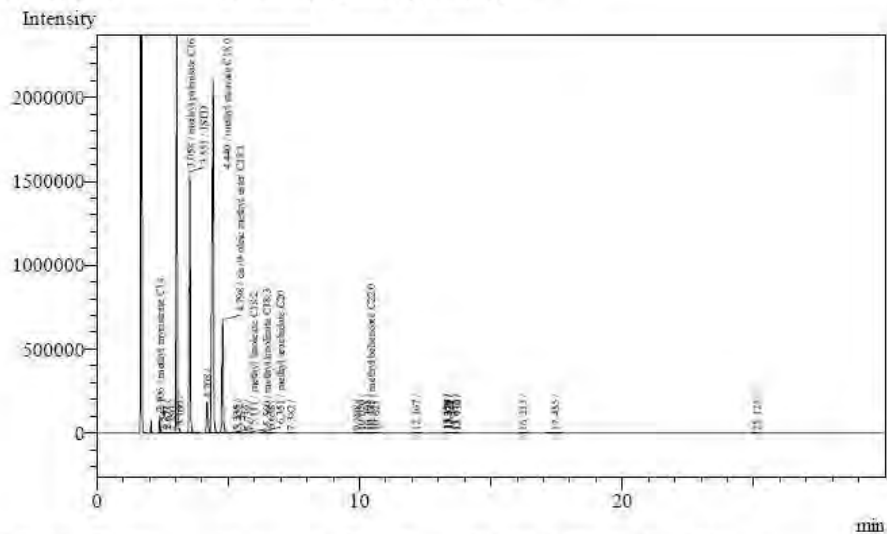


min

Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.404	181291	90803	0.783	%		4	methyl myristate C
2	2.545	5104	1863	0.022		V		
3	2.670	8084	3206	0.035		V		
4	2.888	1929	822	0.008				
5	3.054	7155370	2798573	30.896	%	SV	5	methyl palmitate C1
6	3.160	16942	9562	0.073		T		
7	3.547	4202661	1422545	18.147	%	S	15	ISTD
8	4.205	709383	160999	3.063				
9	4.434	8512052	2048492	36.754	%	SV	7	methyl stearate C18
10	4.790	2126929	600504	9.184	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
11	5.108	12831	2892	0.055	%	T	9	methyl linoleate C18
12	5.330	5123	1552	0.022		T		
13	5.415	26957	6187	0.116		TV		
14	5.555	5893	1329	0.025	%	TV	10	methyl linolate C1
15	5.736	1408	227	0.006		TV		
16	6.344	54764	8958	0.236	%		11	methyl arachidate C
17	6.631	25470	4258	0.110		SV		
18	7.386	1898	248	0.008		V		
19	8.561	1818	263	0.008		S		
20	9.573	2683	293	0.012				
21	9.879	19699	2786	0.085				
22	10.028	7463	991	0.032		V		
23	10.303	13036	1688	0.056		V		
24	10.417	9824	1413	0.042	%	V	12	methyl behenoate C
25	10.601	6879	875	0.030		SV		
26	12.145	1745	221	0.008				
27	17.257	12934	1314	0.056				
28	17.296	2769	1351	0.012		V		
29	17.445	25006	1705	0.108		SV		
30	18.742	1345	238	0.006	%		14	methyl lignocerate C
Total		23159290	7176158					

กราฟ ๓.6 chromatogram of biodiesel 600 rpm ,40 °C ,THF , 20 min

Analysis Date & Time : 12/3/2552 11:35:20
 User Name : Admin
 Vial# : 4
 Sample Name : 2
 Sample ID : 2
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :
 Data Name : D:\Data\Customer\Ratree\12-03-09\2.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame\3.gcm

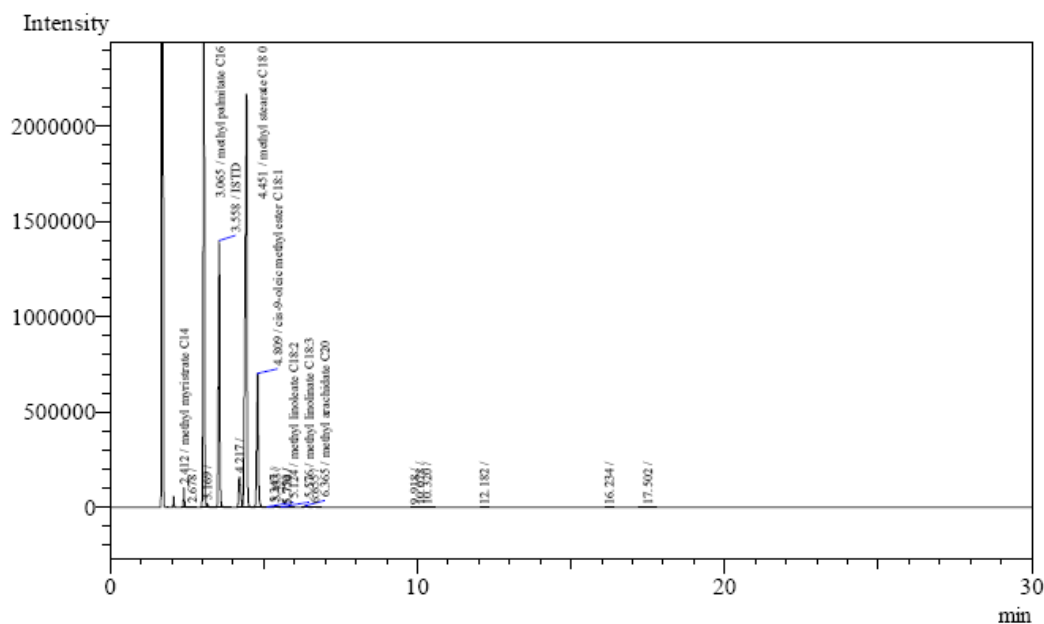


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.406	209433	108250	0.866	%	S	4	methyl myristate C
2	2.547	2568	1141	0.011		T		
3	2.671	8103	3500	0.034		T		
4	2.893	1372	595	0.006				
5	3.058	7752062	3172648	32.055	%	S	5	methyl palmitate C1
6	3.160	13577	9009	0.056		T		
7	3.551	4305893	1556432	17.805	%	S	15	ISTD
8	4.208	735179	185909	3.040		V		
9	4.440	8634036	2104368	35.702	%	V	7	methyl stearate C18
10	4.798	2296792	677749	9.497	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
11	5.111	12088	3194	0.050	%	T	9	methyl linoleate C18
12	5.335	4601	1409	0.019		T		
13	5.422	33440	8414	0.138		TV		
14	5.560	5946	1372	0.025	%	TV	10	methyl linolate C1
15	5.739	1423	273	0.006		TV		
16	6.351	52951	9786	0.219	%		11	methyl arachidate C
17	6.638	23621	4339	0.098		V		
18	7.382	1093	179	0.005				
19	9.898	7644	1197	0.032				
20	10.050	3982	582	0.016		V		
21	10.305	8973	1184	0.037		V		
22	10.435	6210	894	0.026	%	V	12	methyl behenoate C
23	10.621	2350	356	0.010		SV		
24	12.167	1474	202	0.006				
25	13.329	6991	1822	0.029				
26	13.354	2301	1801	0.010		V		
27	13.375	5695	1807	0.024		V		
28	13.432	17719	1630	0.073		V		
29	13.672	1867	716	0.008		V		
30	13.730	2181	572	0.009		V		
31	16.213	2867	288	0.012				

chromatogram of biodiesel 600 rpm ,40 °C ,THF , 40 min

Analysis Date & Time : 16/3/2552 11:25:11
 User Name : Admin
 Vial# : 4
 Sample Name : 4
 Sample ID : 4
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :

Data Name : D:\Data\Custromer\Ratree\16-03-09\4.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame\3.gcm

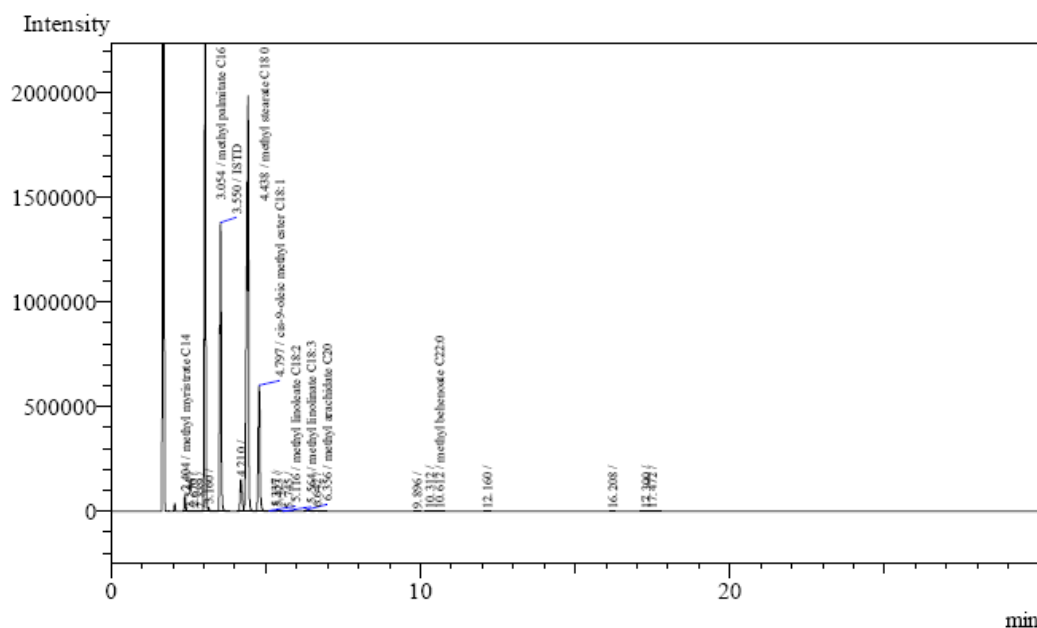


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Compd Name
1	2.412	202845	102403	0.819	%	S	4	methyl myristate C
2	2.678	8603	3506	0.035				
3	3.065	7779599	3017182	31.413	%	S	5	methyl palmitate C1
4	3.169	19302	10725	0.078		T		
5	3.558	4173482	1401390	16.852	%	S	15	ISTD
6	4.217	742929	159959	3.000				
7	4.451	9119262	2168695	36.822	%	V	7	methyl stearate C18
8	4.809	2543035	701916	10.268	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
9	5.124	12770	2871	0.052	%	T	9	methyl linoleate C18
10	5.347	6491	1927	0.026		T		
11	5.433	35707	8054	0.144		TV		
12	5.576	7729	1756	0.031	%	TV	10	methyl linolate C1
13	5.750	1817	367	0.007		TV		
14	5.774	1574	350	0.006		TV		
15	6.365	58451	9085	0.236	%		11	methyl arachidate C
16	6.655	26831	4325	0.108		V		
17	9.918	1404	224	0.006				
18	10.078	1229	206	0.005		SV		
19	10.320	9759	921	0.039				
20	12.182	1073	163	0.004				
21	16.234	1944	211	0.008		V		
22	17.502	9841	624	0.040		V		
Total		24765677	7596860					

chromatogram of biodiesel 600 rpm ,40 °C ,THF , 60 min

Analysis Date & Time : 13/3/2552 14:18:20
 User Name : Admin
 Vial# : 8
 Sample Name : 8
 Sample ID : 8
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :

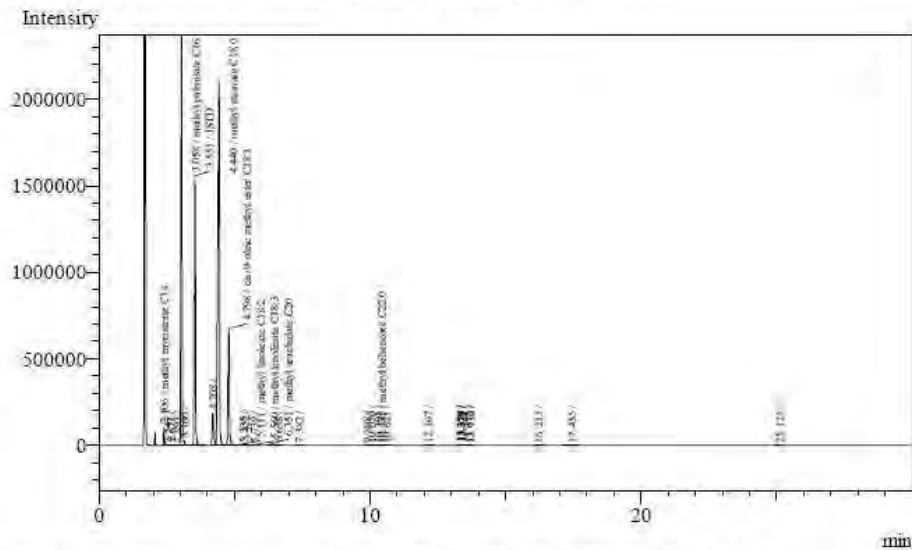
Data Name : D:\Data\Custromer\Ratree\13-03-09\8.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame)3.gcm



Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.404	180436	78761	0.768	%		4	methyl myristate C
2	2.544	2356	840	0.010		V		
3	2.670	7879	2876	0.034				
4	2.889	1093	419	0.005				
5	3.054	7223087	2573993	30.764	%	S	5	methyl palmitate C1
6	3.160	11282	6480	0.048		T		
7	3.550	4395722	1381051	18.722	%	V	15	ISTD
8	4.210	691884	149385	2.947				
9	4.438	8500058	1986831	36.202	%	V	7	methyl stearate C18
10	4.797	2287868	604516	9.744	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
11	5.116	12978	2897	0.055	%	T	9	methyl linoleate C18
12	5.337	5317	1638	0.023		T		
13	5.423	30989	6878	0.132		TV		
14	5.564	6355	1451	0.027	%	TV	10	methyl linolate C1
15	5.745	1941	236	0.008		TV		
16	6.356	54243	8657	0.231	%		11	methyl arachidate C
17	6.42	26022	3991	0.111		V		
18	9.896	5400	904	0.023				
19	10.312	13941	1129	0.059				
20	10.612	2279	349	0.010	%	SV	12	methyl behenoate C
21	12.160	1511	189	0.006				
22	16.208	1463	184	0.006		V		
23	17.300	2488	376	0.011				
24	17.472	12685	903	0.054		V		
Total		23479277	6814934					

รูป ๓.7 chromatogram of biodiesel 200 rpm ,60 °C ,Hexane, 20 min

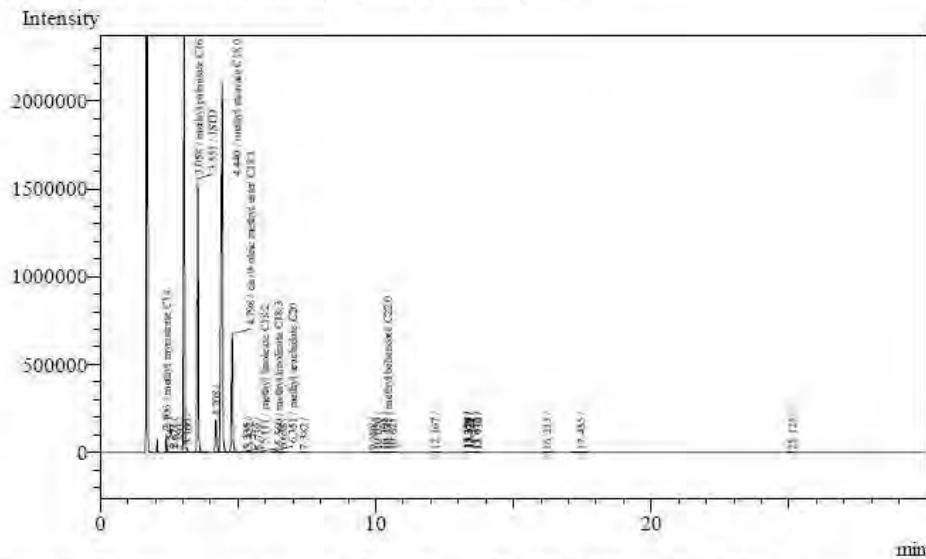
Analysis Date & Time : 12/3/2552 11:35:20
 User Name : Admin
 Vial# : 4
 Sample Name : 2
 Sample ID : 2
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :
 Data Name : D:\Data\Customer\Ratree\12-03-09\2.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame3.gcm



Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.406	209433	108250	0.866	%	S	4	methyl myristate C14
2	2.547	2568	1141	0.011		T		
3	2.671	8103	3500	0.034		T		
4	2.893	1372	595	0.006				
5	3.058	7752062	3172648	32.055	%	S	5	methyl palmitate C16
6	3.160	13577	9009	0.056		T		
7	3.551	4305893	1556432	17.805	%	S	15	ISTD
8	4.208	735179	185909	3.040		V		
9	4.440	8634036	2104368	35.702	%	V	7	methyl stearate C18
10	4.798	2296792	677749	9.497	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
11	5.111	12088	3194	0.050	%	T	9	methyl linoleate C18
12	5.335	4601	1409	0.019		T		
13	5.422	33440	8414	0.138		TV		
14	5.560	5946	1372	0.025	%	TV	10	methyl linolate C18
15	5.739	1423	273	0.006		TV		
16	6.351	52951	9786	0.219	%		11	methyl arachidate C
17	6.638	23621	4339	0.098		V		
18	7.382	1093	179	0.005				
19	9.898	7644	1197	0.032				
20	10.050	3982	582	0.016		V		
21	10.305	8973	1184	0.037		V		
22	10.435	6210	894	0.026	%	V	12	methyl behenoate C
23	10.621	2350	356	0.010		SV		
24	12.167	1474	202	0.006				
25	13.329	6991	1822	0.029				
26	13.354	2301	1801	0.010		V		
27	13.375	5695	1807	0.024		V		
28	13.432	17719	1630	0.073		V		
29	13.672	1867	716	0.008		V		
30	13.730	2181	572	0.009		V		
31	16.213	2867	288	0.012				

chromatogram of biodiesel 200 rpm ,60 °C ,Hexane, 40 min

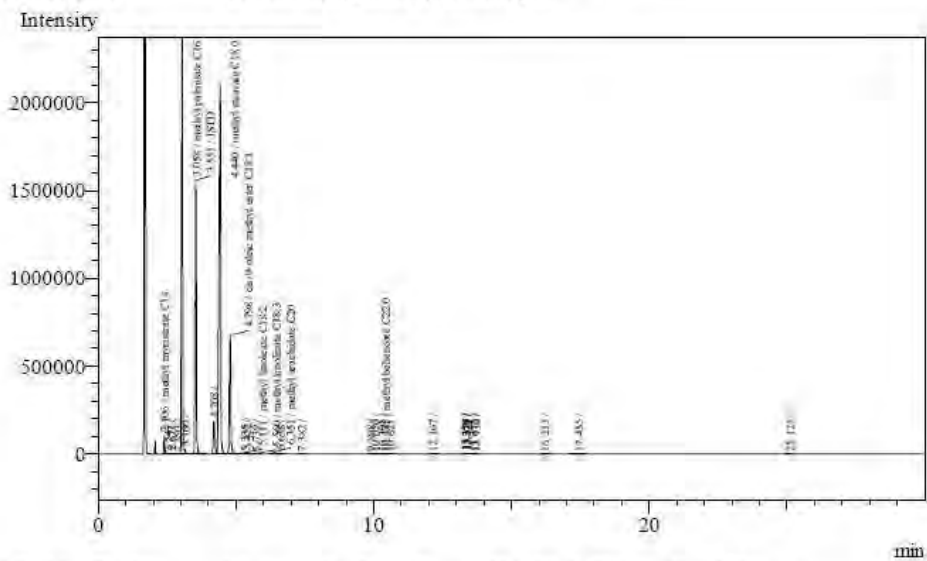
Analysis Date & Time : 12/3/2552 11:35:20
 User Name : Admin
 Vial# : 4
 Sample Name : 2
 Sample ID : 2
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :
 Data Name : D:\Data\Customer\Ratree\12-03-09\2.gcd
 Method Name : D:\Data\bse\method for Fame\3.gcm



Peak#	Ret Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.406	209433	108250	0.866	%	S	4	methyl myristate C
2	2.547	2568	1141	0.011		T		
3	2.671	8103	3500	0.034		T		
4	2.893	1372	595	0.006				
5	3.058	7752062	3172648	32.055	%	S	5	methyl palmitate C1
6	3.160	13577	9009	0.056		T		
7	3.551	4305893	1556432	17.805	%	S	15	ISTD
8	4.208	735179	185909	3.040		V		
9	4.440	8634036	2104368	35.702	%	V	7	methyl stearate C18
10	4.798	2296792	677749	9.497	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
11	5.111	12088	3194	0.050	%	T	9	methyl linoleate C18
12	5.335	4601	1409	0.019		T		
13	5.422	33440	8414	0.138		TV		
14	5.560	5946	1372	0.025	%	TV	10	methyl linolate C1
15	5.739	1423	273	0.006		TV		
16	6.351	52951	9786	0.219	%		11	methyl arachidate C
17	6.638	23621	4339	0.098		V		
18	7.382	1093	179	0.005				
19	9.898	7644	1197	0.032				
20	10.050	3982	582	0.016		V		
21	10.305	8973	1184	0.037		V		
22	10.435	6210	894	0.026	%	V	12	methyl behenoate C:
23	10.621	2350	356	0.010		SV		
24	12.167	1474	202	0.006				
25	13.329	6991	1822	0.029				
26	13.354	2301	1801	0.010		V		
27	13.375	5695	1807	0.024		V		
28	13.432	17719	1630	0.073		V		
29	13.672	1867	716	0.008		V		
30	13.730	2181	572	0.009		V		
31	16.213	2867	288	0.012				

chromatogram of biodiesel 200 rpm ,60 °C ,Hexane, 60 min

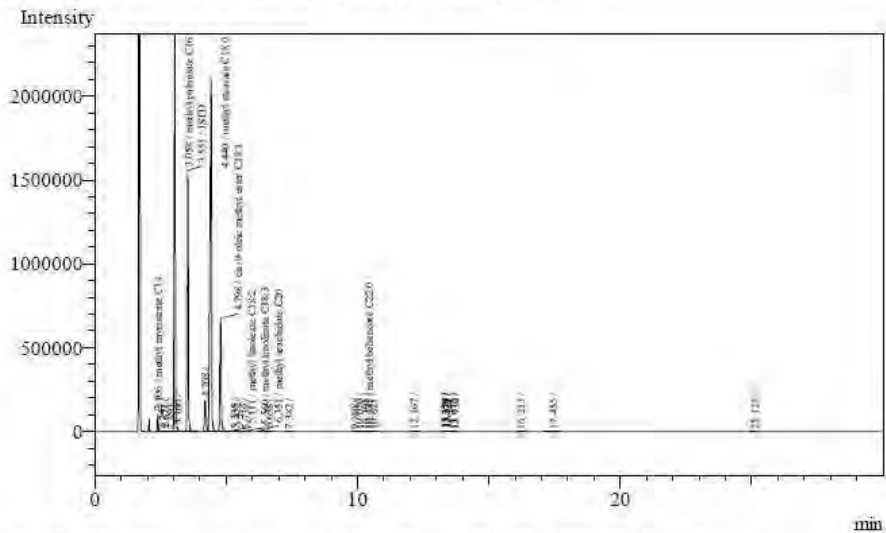
Analysis Date & Time : 12/3/2552 11:35:20
 User Name : Admin
 Vial# : 4
 Sample Name : 2
 Sample ID : 2
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :
 Data Name : D:\Data\Customer\Ratree\12-03-09\2.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame)3.gcm



Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.406	209433	108250	0.866	%	S	4	methyl myristate C
2	2.547	2568	1141	0.011		T		
3	2.671	8103	3500	0.034		T		
4	2.893	1372	595	0.006				
5	3.058	7752062	3172648	32.055	%	S	5	methyl palmitate C1
6	3.160	13577	9009	0.056		T		
7	3.551	4305893	1556432	17.805	%	S	15	ISTD
8	4.208	735179	185909	3.040		V		
9	4.440	8634036	2104368	35.702	%	V	7	methyl stearate C18
10	4.798	2296792	677749	9.497	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
11	5.111	12088	3194	0.050	%	T	9	methyl linoleate C18
12	5.335	4601	1409	0.019		T		
13	5.422	33440	8414	0.138		TV		
14	5.560	5946	1372	0.025	%	TV	10	methyl linolate C1
15	5.739	1423	273	0.006		TV		
16	6.351	52951	9786	0.219	%		11	methyl arachidate C
17	6.638	23621	4339	0.098		V		
18	7.382	1093	179	0.005				
19	9.898	7644	1197	0.032				
20	10.050	3982	582	0.016		V		
21	10.305	8973	1184	0.037		V		
22	10.435	6210	894	0.026	%	V	12	methyl behenoate C
23	10.621	2350	356	0.010		SV		
24	12.167	1474	202	0.006				
25	13.329	6991	1822	0.029				
26	13.354	2301	1801	0.010		V		
27	13.375	5695	1807	0.024		V		
28	13.432	17719	1630	0.073		V		
29	13.672	1867	716	0.008		V		
30	13.730	2181	572	0.009		V		
31	16.213	2867	288	0.012				

รป ๑.8 chromatogram of biodiesel 400 rpm ,60 °C ,Hexane, 20 min

Analysis Date & Time : 12/3/2552 11:35:20
 User Name : Admin
 Vial# : 4
 Sample Name : 2
 Sample ID : 2
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :
 Data Name : D:\Data\Customer\Ratree\12-03-09\2.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame)3.gcm

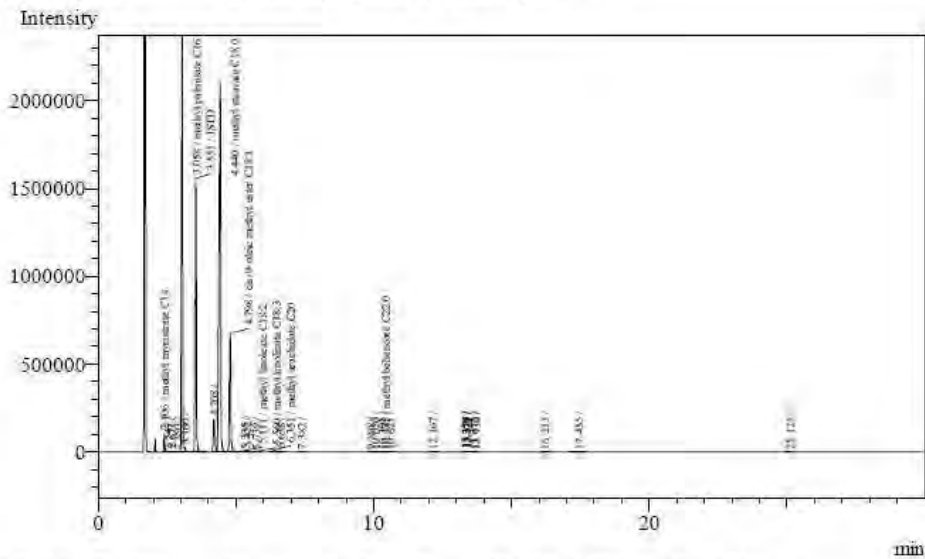


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.406	209433	108250	0.866	%	S	4	methyl myristate C
2	2.547	2568	1141	0.011		T		
3	2.671	8103	3500	0.034		T		
4	2.893	1372	595	0.006		T		
5	3.058	7752062	3172648	32.055	%	S	5	methyl palmitate C1
6	3.160	13577	9009	0.056		T		
7	3.551	4305893	1556432	17.805	%	S	15	ISTD
8	4.208	735179	185909	3.040		V		
9	4.440	8634036	2104368	35.702	%	V	7	methyl stearate C18
10	4.798	2296792	677749	9.497	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
11	5.111	12088	3194	0.050	%	T	9	methyl linoleate C18
12	5.335	4601	1409	0.019		T		
13	5.422	33440	8414	0.138		TV		
14	5.560	5946	1372	0.025	%	TV	10	methyl linolate C1
15	5.739	1423	273	0.006		TV		
16	6.351	52951	9786	0.219	%		11	methyl arachidate C
17	6.638	23621	4339	0.098		V		
18	7.382	1093	179	0.005				
19	9.898	7644	1197	0.032				
20	10.050	3982	582	0.016		V		
21	10.305	8973	1184	0.037		V		
22	10.435	6210	894	0.026	%	V	12	methyl behenoate C
23	10.621	2350	356	0.010		SV		
24	12.167	1474	202	0.006				
25	13.329	6991	1822	0.029				
26	13.354	2301	1801	0.010		V		
27	13.375	5695	1807	0.024		V		
28	13.432	17719	1630	0.073		V		
29	13.672	1867	716	0.008		V		
30	13.730	2181	572	0.009		V		
31	16.213	2867	288	0.012				

chromatogram of biodiesel 400 rpm ,60 °C ,Hexane, 40 min

Analysis Date & Time : 12/3/2552 11:35:20
 User Name : Admin
 Vial# : 4
 Sample Name : 2
 Sample ID : 2
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :

Data Name : D:\Data\Customer\Rahee\12-03-09\2.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame)3.gcm

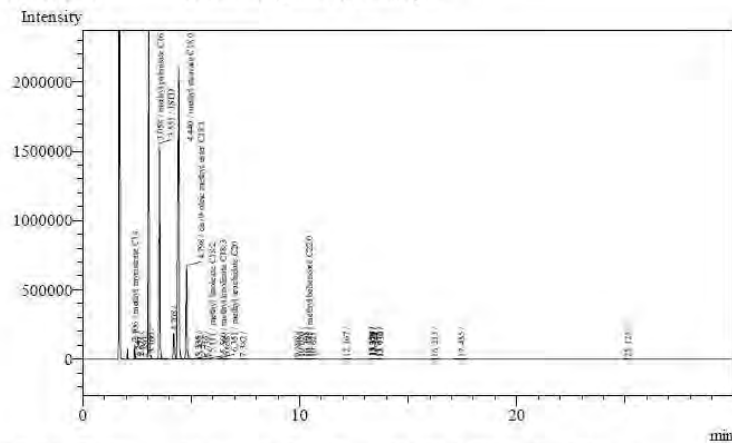


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.406	209433	108250	0.866	%	S	4	methyl myristate C
2	2.547	2568	1141	0.011		T		
3	2.671	8103	3500	0.034		T		
4	2.893	1372	595	0.006				
5	3.058	7752062	3172648	32.055	%	S	5	methyl palmitate C1
6	3.160	13577	9009	0.056		T		
7	3.551	4305893	1556432	17.805	%	S	15	ISTD
8	4.208	735179	185909	3.040		V		
9	4.440	8634036	2104368	35.702	%	V	7	methyl stearate C18
10	4.798	2296792	677749	9.497	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
11	5.111	12088	3194	0.050	%	T	9	methyl linoleate C18
12	5.335	4601	1409	0.019		T		
13	5.422	33440	8414	0.138		TV		
14	5.560	5946	1372	0.025	%	TV	10	methyl linolate C1
15	5.739	1423	273	0.006		TV		
16	6.351	52951	9786	0.219	%		11	methyl arachidate C
17	6.638	23621	4339	0.098		V		
18	7.382	1093	179	0.005				
19	9.898	7644	1197	0.032				
20	10.050	3982	582	0.016		V		
21	10.305	8973	1184	0.037		V		
22	10.435	6210	894	0.026	%	V	12	methyl behenoate C
23	10.621	2350	356	0.010		SV		
24	12.167	1474	202	0.006				
25	13.329	6991	1822	0.029				
26	13.354	2301	1801	0.010		V		
27	13.375	5695	1807	0.024		V		
28	13.432	17719	1630	0.073		V		
29	13.672	1867	716	0.008		V		
30	13.730	2181	572	0.009		V		
31	16.213	2867	288	0.012				

chromatogram of biodiesel 400 rpm ,60 °C ,Hexane, 60 min

Analysis Date & Time : 12/3/2582 11:35:20
 User Name : Admin
 Vial# : 4
 Sample Name : 2
 Sample ID : 2
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :

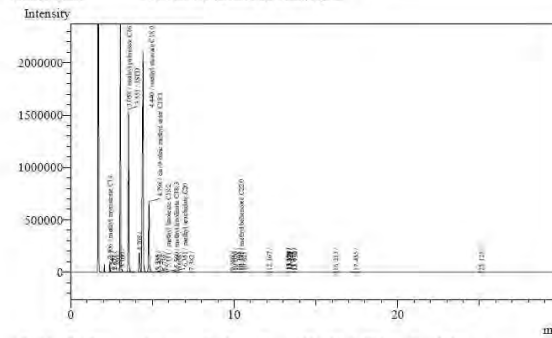
Data Name : D:\Data\Customer\Ratree\12-03-09\2.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc(method for Fame)3.gcm



Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.406	209433	108250	0.866 %	S		4	methyl myristate C14
2	2.547	2568	1141	0.011 %	T			
3	2.671	8103	3500	0.034 %	T			
4	2.893	1372	595	0.006 %				
5	3.058	7752062	3172648	32.055 %	S		5	methyl palmitate C16
6	3.160	13577	9009	0.056 %	T			
7	3.551	4305893	1556432	17.805 %	S		15	ISTD
8	4.208	735179	185909	3.040 %	V			
9	4.440	8634036	2104368	35.702 %	V		7	methyl stearate C18
10	4.798	2296792	677749	9.497 %	SV		8	cis-9-oleic methyl es
11	5.111	12088	3194	0.050 %	T		9	methyl linoleate C18
12	5.335	4601	1409	0.019 %	T			
13	5.422	33440	8414	0.138 %	TV			
14	5.560	5946	1372	0.025 %	TV		10	methyl linolate C18
15	5.739	1423	273	0.006 %	TV			
16	6.351	52951	9786	0.219 %			11	methyl arachidate C20
17	6.638	23621	4339	0.098 %	V			
18	7.382	1093	179	0.005 %				
19	9.898	7644	1197	0.032 %				
20	10.050	3982	582	0.016 %	V			
21	10.305	8973	1184	0.037 %	V			
22	10.435	6210	894	0.026 %	V		12	methyl behenoate C22
23	10.621	2350	356	0.010 %	SV			
24	12.167	1474	202	0.006 %				
25	13.329	6991	1822	0.029 %				
26	13.354	2301	1801	0.010 %	V			
27	13.375	5695	1807	0.024 %	V			
28	13.432	17719	1630	0.073 %	V			
29	13.672	1867	716	0.008 %	V			
30	13.730	2181	572	0.009 %	V			
31	16.213	2867	288	0.012 %				

รูป ๑.9 chromatogram of biodiesel 600 rpm ,60 °C ,Hexane, 20 min

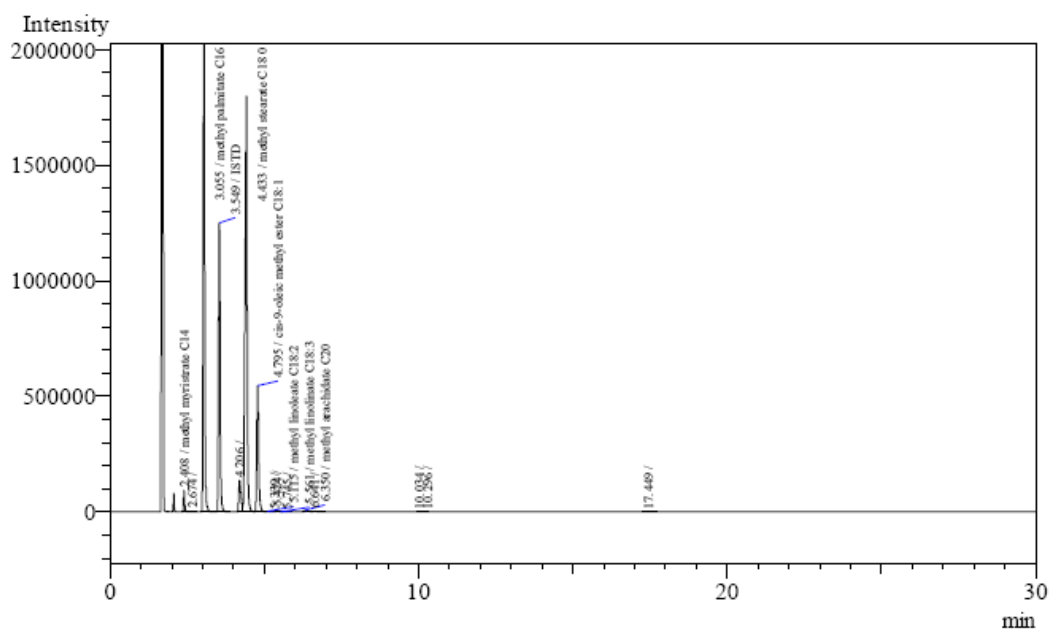
Analysis Date & Time : 12/3/2552 11:35:20
 User Name : Admin
 Vial# : 4
 Sample Name : 2
 Sample ID : 2
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :
 Data Name : D:\Data\Customer\Ratee\12-03-09\2.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc(method for Fame)\3.gcm



Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.406	209433	108250	0.866	%	S	4	methyl myristate C
2	2.547	2568	1141	0.011		T		
3	2.671	8103	3500	0.034		T		
4	2.893	1372	595	0.006				
5	3.058	7752062	3172648	32.055	%	S	5	methyl palmitate C1
6	3.160	13577	9009	0.056		T		
7	3.551	4305893	1556432	17.805	%	S	15	ISTD
8	4.208	735179	185909	3.040		V		
9	4.440	8634036	2104368	35.702	%	V	7	methyl stearate C18
10	4.798	2296792	677749	9.497	%	SV		
11	5.111	12088	3194	0.050	%	T	9	methyl linoleate C16
12	5.335	4601	1409	0.019		T		
13	5.422	33440	8414	0.138		TV		
14	5.560	5946	1372	0.025	%	TV	10	methyl linolate C1
15	5.739	1423	273	0.006		TV		
16	6.351	52951	9786	0.219	%		11	methyl arachidate C
17	6.638	23621	4339	0.098		V		
18	7.382	1093	179	0.005				
19	9.898	7644	1197	0.032		V		
20	10.050	3982	582	0.016		V		
21	10.305	8973	1184	0.037		V		
22	10.435	6210	894	0.026	%	V	12	methyl behenoate C
23	10.621	2350	356	0.010		SV		
24	12.167	1474	202	0.006				
25	13.329	6991	1822	0.029		V		
26	13.354	2301	1801	0.010		V		
27	13.375	5695	1807	0.024		V		
28	13.452	17719	1630	0.073		V		
29	13.673	1867	716	0.008		V		
30	13.730	2181	572	0.009		V		
31	16.213	2867	288	0.012				

chromatogram of biodiesel 600 rpm ,60 °C ,Hexane, 40 min

Analysis Date & Time : 13/3/2552 10:36:25
 User Name : Admin
 Vial# : 2
 Sample Name : 2
 Sample ID : 2
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :
 Data Name : D:\Data\Customer\Ratree\13-03-09\2.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame\3.gcm

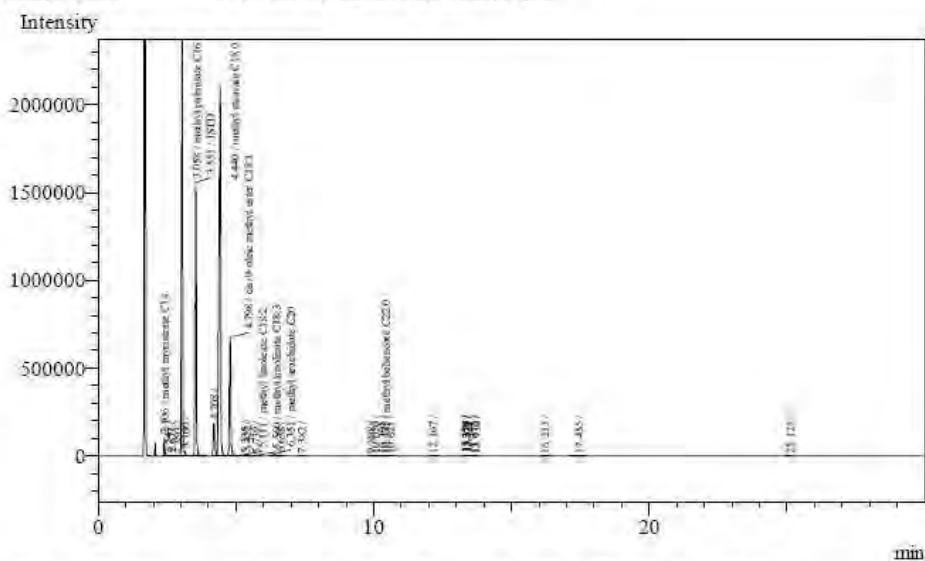


Peak#	Ret.Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.408	209557	93662	0.896 %	S		4	methyl myristate C
2	2.674	7932	2826	0.034 %	S			
3	3.055	7313931	2466073	31.289 %	S		5	methyl palmitate C1
4	3.549	4384257	1251385	18.756 %	V		15	ISTD
5	4.206	672908	135257	2.879 %	V			
6	4.433	8339893	1799644	35.678 %	V		7	methyl stearate C18
7	4.795	2301400	547504	9.845 %	SV		8	cis-9-oleic methyl es
8	5.115	11098	2268	0.047 %	T		9	methyl linoleate C18
9	5.339	3542	1188	0.015 %	T			
10	5.424	35133	7175	0.150 %	TV			
11	5.561	5758	1197	0.025 %	TV		10	methyl linolate C1
12	5.745	1703	225	0.007 %	TV			
13	6.350	51991	6674	0.222 %			11	methyl arachidate C
14	6.641	25791	3308	0.110 %	SV			
15	10.034	1510	222	0.006 %	SV			
16	10.296	2055	414	0.009 %				
17	17.449	6707	437	0.029 %	V			
Total		23375166	6319459					

chromatogram of biodiesel 600 rpm ,60 °C ,Hexane, 60 min

Analysis Date & Time : 12/3/2552 11:35:20
 User Name : Admin
 Vial# : 4
 Sample Name : 2
 Sample ID : 2
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :

Data Name : D:\Data\Customer\Ratee\12-03-09\2.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame)3.gcm

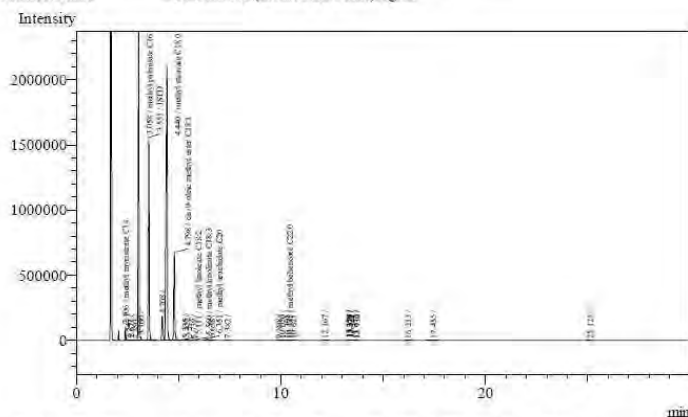


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.406	209433	108250	0.866	%	S	4	methyl myristate C
2	2.547	2568	1141	0.011		T		
3	2.671	8103	3500	0.034		T		
4	2.893	1372	595	0.006				
5	3.058	7752062	3172648	32.055	%	S	5	methyl palmitate C1
6	3.160	13577	9009	0.056		T		
7	3.551	4305893	1556432	17.805	%	S	15	ISTD
8	4.208	735179	185909	3.040		V		
9	4.440	8634036	2104368	35.702	%	V	7	methyl stearate C18
10	4.798	2296792	677749	9.497	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
11	5.111	12088	3194	0.050	%	T	9	methyl linoleate C18
12	5.335	4601	1409	0.019		T		
13	5.422	33440	8414	0.138		TV		
14	5.560	5946	1372	0.025	%	TV	10	methyl linolate C1
15	5.739	1423	273	0.006		TV		
16	6.351	52951	9786	0.219	%		11	methyl arachidate C
17	6.638	23621	4339	0.098		V		
18	7.382	1093	179	0.005				
19	9.898	7644	1197	0.032				
20	10.050	3982	582	0.016		V		
21	10.305	8973	1184	0.037		V		
22	10.435	6210	894	0.026	%	V	12	methyl behenoate C
23	10.621	2350	356	0.010		SV		
24	12.167	1474	202	0.006				
25	13.329	6991	1822	0.029				
26	13.354	2301	1801	0.010		V		
27	13.375	5695	1807	0.024		V		
28	13.432	17719	1630	0.073		V		
29	13.672	1867	716	0.008		V		
30	13.730	2181	572	0.009		V		
31	16.213	2867	288	0.012				

รูป ๑.10 chromatogram of biodiesel 200 rpm ,40 °C ,Hexane, 20 min

Analysis Date & Time : 12/3/2552 11:35:20
 User Name : Admin
 Vial# : 4
 Sample Name : 2
 Sample ID : 2
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :

Data Name : D:\Data\Customer\Wtree\12-03-09\2.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc(method for Fame)\3.gcm

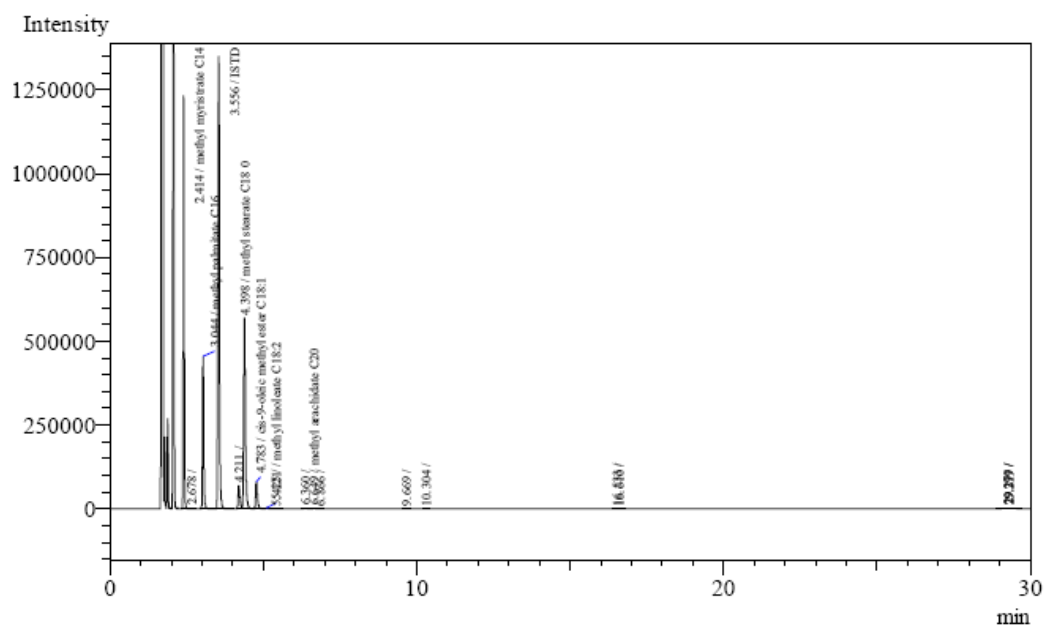


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.406	209433	108250	0.866	%	S	4	methyl myristate C14
2	2.547	2568	1141	0.011		T		
3	2.671	8103	3500	0.034		T		
4	2.893	1372	595	0.006				
5	3.058	7752062	3172648	32.055	%	S	5	methyl palmitate C16
6	3.160	13577	9009	0.056		T		
7	3.551	4305893	1556432	17.805	%	S	15	ISTD
8	4.208	735179	185909	3.040		V		
9	4.440	8634036	2104368	35.702	%	V	7	methyl stearate C18
10	4.798	2296792	677749	9.497	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
11	5.111	12088	3194	0.050	%	T	9	methyl linoleate C18
12	5.335	4601	1409	0.019		T		
13	5.422	33440	8414	0.138		TV		
14	5.560	5946	1372	0.025	%	TV	10	methyl linolate C1
15	5.739	1423	273	0.006		TV		
16	6.351	52951	9786	0.219	%		11	methyl arachidate C
17	6.638	23621	4339	0.098		V		
18	7.382	1093	179	0.005				
19	9.898	7644	1197	0.032				
20	10.050	3982	582	0.016		V		
21	10.305	8973	1184	0.037		V		
22	10.435	6210	894	0.026	%	V	12	methyl behenoate C
23	10.621	2350	356	0.010		SV		
24	12.167	1474	202	0.006				
25	13.329	6991	1822	0.029				
26	13.354	2301	1801	0.010		V		
27	13.375	5695	1807	0.024		V		
28	13.432	17719	1630	0.073		V		
29	13.672	1867	716	0.008		V		
30	13.730	2181	572	0.009		V		
31	16.213	2867	288	0.012				

chromatogram of biodiesel 200 rpm ,40 °C ,Hexane, 40 min

Analysis Date & Time : 12/3/2552 16:43:38
 User Name : Admin
 Vial# : 10
 Sample Name : 8
 Sample ID : 8
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :

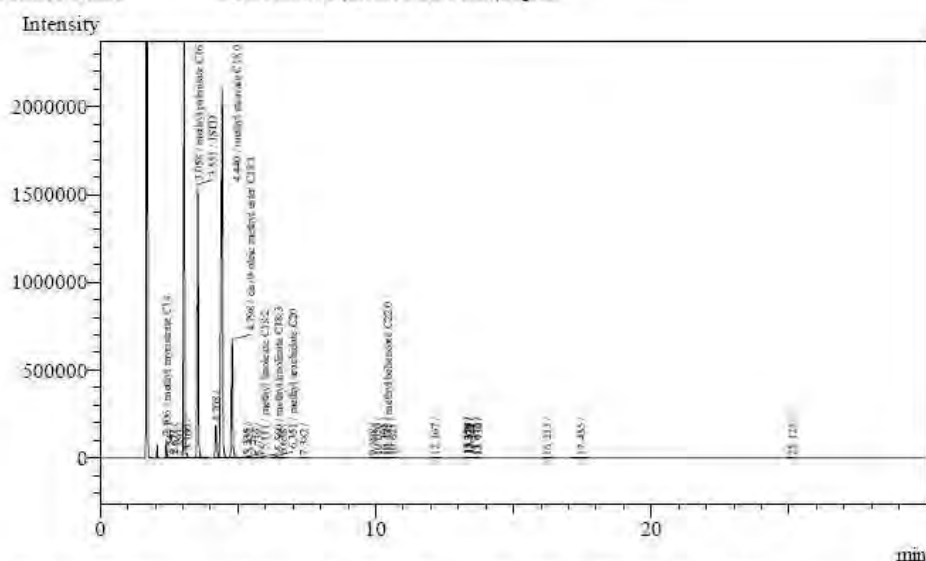
Data Name : D:\Data\Custromer\Ratree\12-03-09\8.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame\3.gcm



Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.414	2562788	1232559	23.149	%		4	methyl myristate C
2	2.678	2832	1057	0.026				
3	3.044	1226873	453954	11.082	%	S	5	methyl palmitate C1
4	3.556	4332054	1349102	39.130	%	S	15	ISTD
5	4.211	282234	69085	2.549		V		
6	4.398	2231959	569312	20.160	%	V	7	methyl stearate C18
7	4.783	321583	80186	2.905	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
8	5.121	12367	2587	0.112	%	T	9	methyl linoleate C18
9	5.425	5441	581	0.049				
10	6.360	12059	1900	0.109				
11	6.649	12285	1780	0.111	%	V	11	methyl arachidate C
12	6.866	1525	272	0.014		V		
13	9.669	2648	335	0.024				
14	10.304	1213	181	0.011				
15	16.533	2334	261	0.021				
16	16.610	1062	203	0.010		V		
17	29.271	28139	2445	0.254		V		
18	29.297	3510	2444	0.032		V		
19	29.319	28051	2425	0.253		V		
Total		11070957	3770669					

chromatogram of biodiesel 200 rpm ,40 °C ,Hexane, 60 min

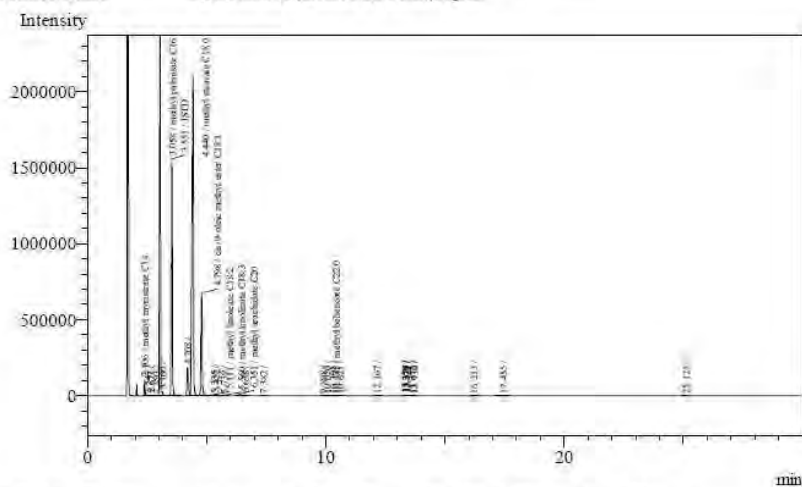
Analysis Date & Time : 12/3/2552 11:35:20
 User Name : Admin
 Vial# : 4
 Sample Name : 2
 Sample ID : 2
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :
 Data Name : D:\Data\Customer\Ratree\12-03-09\2.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame\3.gcm



Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.406	209433	108250	0.866	%	S	4	methyl myristate C
2	2.547	2568	1141	0.011		T		
3	2.671	8103	3500	0.034		T		
4	2.893	1372	595	0.006				
5	3.058	7752062	3172648	32.055	%	S	5	methyl palmitate C1
6	3.160	13577	9009	0.056		T		
7	3.551	4305893	1556432	17.805	%	S	15	ISTD
8	4.208	735179	185909	3.040		V		
9	4.440	8634036	2104368	35.702	%	V	7	methyl stearate C18
10	4.798	2296792	677749	9.497	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
11	5.111	12088	3194	0.050	%	T	9	methyl linoleate C18
12	5.335	4601	1409	0.019		T		
13	5.422	33440	8414	0.138		TV		
14	5.560	5946	1372	0.025	%	TV	10	methyl linolate C1
15	5.739	1423	273	0.006		TV		
16	6.351	52951	9786	0.219	%		11	methyl arachidate C
17	6.638	23621	4339	0.098		V		
18	7.382	1093	179	0.005				
19	9.898	7644	1197	0.032				
20	10.050	3982	582	0.016		V		
21	10.305	8973	1184	0.037		V		
22	10.435	6210	894	0.026	%	V	12	methyl behenoate C
23	10.621	2350	356	0.010		SV		
24	12.167	1474	202	0.006				
25	13.329	6991	1822	0.029				
26	13.354	2301	1801	0.010		V		
27	13.375	5695	1807	0.024		V		
28	13.432	17719	1630	0.073		V		
29	13.672	1867	716	0.008		V		
30	13.730	2181	572	0.009		V		
31	16.213	2867	288	0.012				

รูป ๑.11 chromatogram of biodiesel 400 rpm ,40 °C ,Hexane, 20 min

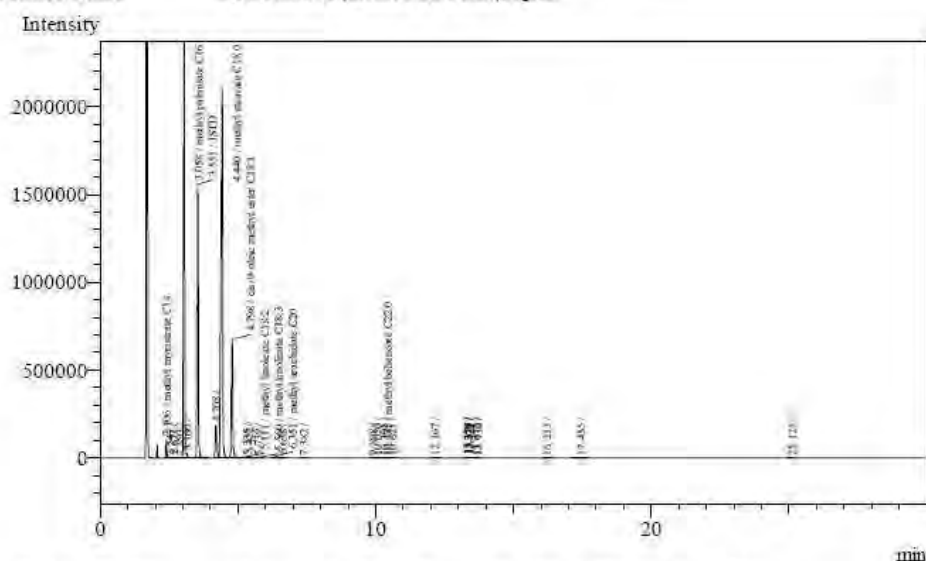
Analysis Date & Time : 12/3/2552 11:35:20
 User Name : Admin
 Vial# : 4
 Sample Name : 2
 Sample ID : 2
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :
 Data Name : D:\Data\Customer\Ratree\12-03-09\2.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc(method for Fame)3.gcm



Peak#	Ret Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.406	209433	108250	0.866	%	S	4	methyl myristate C
2	2.547	2568	1141	0.011		T		
3	2.671	8103	3500	0.034		T		
4	2.893	1372	595	0.006				
5	3.058	7752062	3172648	32.055	%	S	5	methyl palmitate C1
6	3.160	13577	9009	0.056		T		
7	3.551	4305893	1556432	17.805	%	S	15	ISTD
8	4.208	735179	185909	3.040		V		
9	4.440	8634036	2104368	35.702	%	V	7	methyl stearate C18
10	4.798	2296792	677749	9.497	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
11	5.111	12088	3194	0.050	%	T	9	methyl linoleate C18
12	5.335	4601	1409	0.019		T		
13	5.422	33440	8414	0.138		TV		
14	5.560	5946	1372	0.025	%	TV	10	methyl linolate C1
15	5.739	1423	273	0.006		TV		
16	6.351	52951	9786	0.219	%		11	methyl arachidate C
17	6.638	23621	4339	0.098		V		
18	7.382	1093	179	0.005				
19	9.898	7644	1197	0.032				
20	10.050	3982	582	0.016		V		
21	10.305	8973	1184	0.037		V		
22	10.435	6210	894	0.026	%	V	12	methyl behenoate C.
23	10.621	2350	356	0.010		SV		
24	12.167	1474	202	0.006				
25	13.329	6991	1822	0.029				
26	13.354	2301	1801	0.010		V		
27	13.375	5695	1807	0.024		V		
28	13.432	17719	1630	0.073		V		
29	13.672	1867	716	0.008		V		
30	13.730	2181	572	0.009		V		
31	16.213	2867	288	0.012				

chromatogram of biodiesel 400 rpm ,40 °C ,Hexane, 40 min

Analysis Date & Time : 12/3/2552 11:35:20
 User Name : Admin
 Vial# : 4
 Sample Name : 2
 Sample ID : 2
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :
 Data Name : D:\Data\Customer\Ratree\12-03-09\2.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame\3.gcm

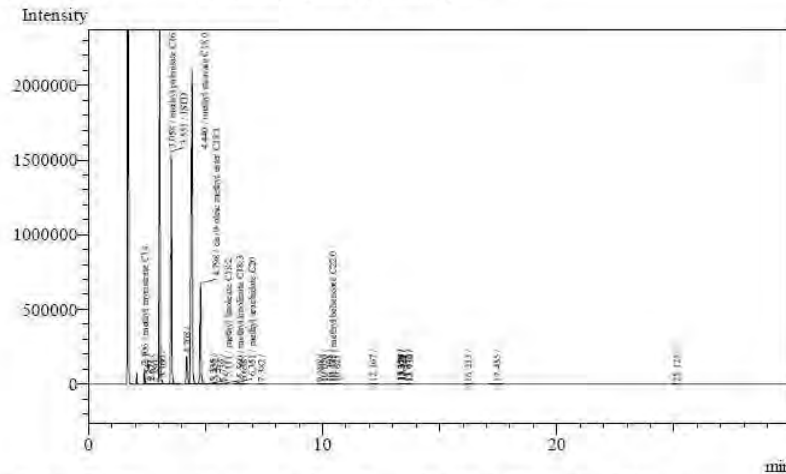


Peak#	Ret. Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.406	209433	108250	0.866	%	S	4	methyl myristate C
2	2.547	2568	1141	0.011		T		
3	2.671	8103	3500	0.034		T		
4	2.893	1372	595	0.006				
5	3.058	7752062	3172648	32.055	%	S	5	methyl palmitate C1
6	3.160	13577	9009	0.056		T		
7	3.551	4305893	1556432	17.805	%	S	15	ISTD
8	4.208	735179	185909	3.040		V		
9	4.440	8634036	2104368	35.702	%	V	7	methyl stearate C18
10	4.798	2296792	677749	9.497	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
11	5.111	12088	3194	0.050	%	T	9	methyl linoleate C18
12	5.335	4601	1409	0.019		T		
13	5.422	33440	8414	0.138		TV		
14	5.560	5946	1372	0.025	%	TV	10	methyl linolate C1
15	5.739	1423	273	0.006		TV		
16	6.351	52951	9786	0.219	%		11	methyl arachidate C
17	6.638	23621	4339	0.098		V		
18	7.382	1093	179	0.005				
19	9.898	7644	1197	0.032				
20	10.050	3982	582	0.016		V		
21	10.305	8973	1184	0.037		V		
22	10.435	6210	894	0.026	%	V	12	methyl behenoate C
23	10.621	2350	356	0.010		SV		
24	12.167	1474	202	0.006				
25	13.329	6991	1822	0.029				
26	13.354	2301	1801	0.010		V		
27	13.375	5695	1807	0.024		V		
28	13.432	17719	1630	0.073		V		
29	13.672	1867	716	0.008		V		
30	13.730	2181	572	0.009		V		
31	16.213	2867	288	0.012				

chromatogram of biodiesel 400 rpm ,40 °C ,Hexane, 60 min

Analysis Date & Time : 12/3/2552 11:35:20
 User Name : Admin
 Vial# : 4
 Sample Name : 2
 Sample ID : 2
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :

Data Name : D:\Data\Customer\Ratree\12-03-09\2.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc\method for Fame)3.gcm

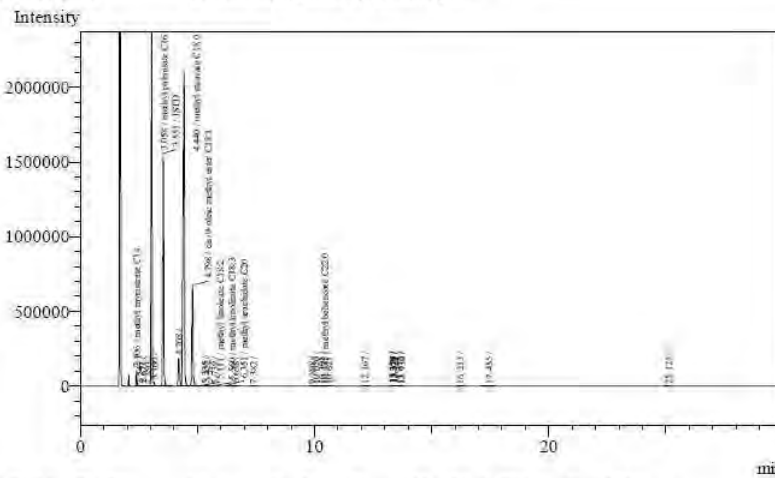


Peak#	Ret Time	Area	Height	Conc	Unit	Mark	ID#	Compd Name
1	2.406	209433	108250	0.866	%	S	4	methyl myristate C
2	2.547	2568	1141	0.011		T		
3	2.671	8103	3500	0.034		T		
4	2.893	1372	595	0.006				
5	3.058	7752062	3172648	32.055	%	S	5	methyl palmitate C1
6	3.160	13577	9009	0.056		T		
7	3.551	4305893	1556432	17.805	%	S	15	ISTD
8	4.208	735179	185909	3.040		V		
9	4.440	8634036	2104368	35.702	%	V	7	methyl stearate C18
10	4.798	2296792	677749	9.497	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
11	5.111	12088	3194	0.050	%	T	9	methyl linoleate C18
12	5.335	4601	1409	0.019		T		
13	5.422	33440	8414	0.138		TV		
14	5.560	5946	1372	0.025	%	TV	10	methyl linolate C1
15	5.739	1423	273	0.006		TV		
16	6.351	52951	9786	0.219	%		11	methyl arachidate C
17	6.638	23621	4339	0.098		V		
18	7.382	1093	179	0.005				
19	9.898	7644	1197	0.032				
20	10.050	3982	582	0.016		V		
21	10.305	8973	1184	0.037		V		
22	10.435	6210	894	0.026	%	V	12	methyl behenoate C.
23	10.621	2350	356	0.010		SV		
24	12.167	1474	202	0.006				
25	13.329	6991	1822	0.029				
26	13.354	2301	1801	0.010		V		
27	13.375	5695	1807	0.024		V		
28	13.432	17719	1630	0.073		V		
29	13.672	1867	716	0.008		V		
30	13.730	2181	572	0.009		V		
31	16.213	2867	288	0.012				

รูป ๑.12 chromatogram of biodiesel 600 rpm ,40 °C ,Hexane, 20 min

Analysis Date & Time : 12/3/2552 11:35:20
 User Name : Admin
 Vial# : 4
 Sample Name : 2
 Sample ID : 2
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :

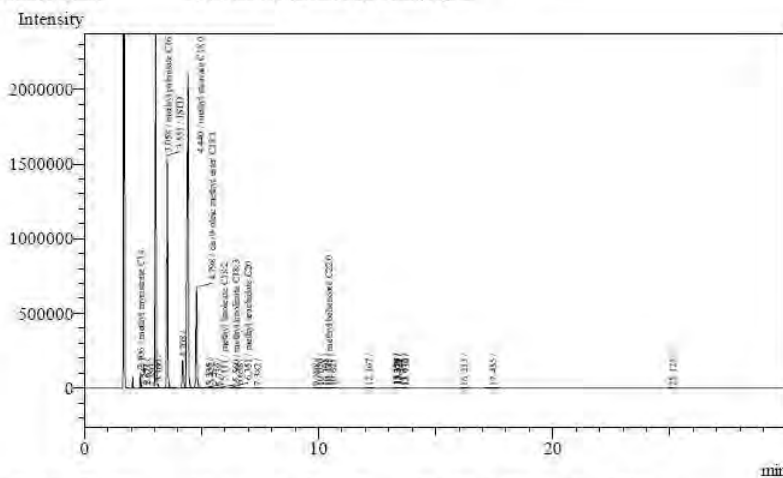
Data Name : D:\Data\Customer\Ratree\12-03-09\2.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc(method for Fame)3.gcm



Peak#	Ret Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.406	209433	108250	0.866	%	S	4	methyl myristate C
2	2.547	2568	1141	0.011		T		
3	2.671	8103	3500	0.034		T		
4	2.893	1372	595	0.006				
5	3.058	7752062	3172648	32.055	%	S	5	methyl palmitate C1
6	3.160	13577	9009	0.056		T		
7	3.551	4305893	1556432	17.805	%	S	15	ISTD
8	4.208	735179	185909	3.040		V		
9	4.440	8634036	2104368	35.702	%	V	7	methyl stearate C18
10	4.798	2296792	677749	9.497	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
11	5.111	12088	3194	0.050	%	T	9	methyl linoleate C18
12	5.335	4601	1409	0.019		T		
13	5.422	33440	8414	0.138		TV		
14	5.560	5946	1372	0.025	%	TV	10	methyl linolate C1
15	5.739	1423	273	0.006		TV		
16	6.351	52951	9786	0.219	%		11	methyl arachidate C
17	6.638	23621	4339	0.098		V		
18	7.382	1093	179	0.005				
19	9.898	7644	1197	0.032				
20	10.050	3982	582	0.016		V		
21	10.305	8973	1184	0.037		V		
22	10.435	6210	894	0.026	%	V	12	methyl behenoate C.
23	10.621	2350	356	0.010		SV		
24	12.167	1474	202	0.006				
25	13.329	6991	1822	0.029				
26	13.354	2301	1801	0.010		V		
27	13.375	5695	1807	0.024		V		
28	13.432	17719	1630	0.073		V		
29	13.672	1867	716	0.008		V		
30	13.730	2181	572	0.009		V		
31	16.213	2867	288	0.012				

chromatogram of biodiesel 600 rpm ,40 °C ,Hexane, 40 min

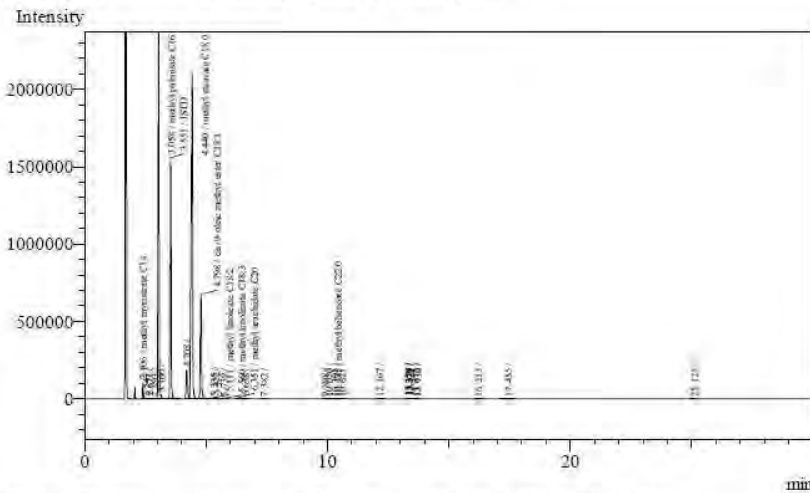
Analysis Date & Time : 12/3/2552 11:35:20
 User Name : Admin
 Vial# : 4
 Sample Name : 2
 Sample ID : 2
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :
 Data Name : D:\Data\Customer\Ratree\12-03-09\2.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc(method for Fame)3.gcm



Peak#	Ret Time	Area	Height	Conc.	Unit	Mark	ID#	Compd Name
1	2.406	209433	108250	0.866	%	S	4	methyl myristate C
2	2.547	2568	1141	0.011		T		
3	2.671	8103	3500	0.034		T		
4	2.893	1372	595	0.006				
5	3.058	7752062	3172648	32.055	%	S	5	methyl palmitate C1
6	3.160	13577	9009	0.056		T		
7	3.551	4305893	1556432	17.805	%	S	15	ISTD
8	4.208	735179	185909	3.040		V		
9	4.440	8634036	2104368	35.702	%	V	7	methyl stearate C18
10	4.798	2296792	677749	9.497	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
11	5.111	12088	3194	0.050	%	T	9	methyl linoleate C18
12	5.335	4601	1409	0.019		T		
13	5.422	33440	8414	0.138		TV		
14	5.560	5946	1372	0.025	%	TV	10	methyl linolate C1
15	5.739	1423	273	0.006		TV		
16	6.351	52951	9786	0.219	%		11	methyl arachidate C
17	6.638	23621	4339	0.098		V		
18	7.382	1093	179	0.005				
19	9.898	7644	1197	0.032				
20	10.050	3982	582	0.016		V		
21	10.305	8973	1184	0.037		V		
22	10.435	6210	894	0.026	%	V	12	methyl behenoate C.
23	10.621	2350	356	0.010		SV		
24	12.167	1474	202	0.006				
25	13.329	6991	1822	0.029				
26	13.354	2301	1801	0.010		V		
27	13.375	5695	1807	0.024		V		
28	13.432	17719	1630	0.073		V		
29	13.672	1867	716	0.008		V		
30	13.730	2181	572	0.009		V		
31	16.213	2867	288	0.012				

chromatogram of biodiesel 600 rpm ,40 °C ,Hexane, 60 min

Analysis Date & Time : 12/3/2552 11:35:20
 User Name : Admin
 Vial# : 4
 Sample Name : 2
 Sample ID : 2
 Sample Type : Unknown
 Injection Volume : 1.00
 ISTD Amount :
 Data Name : D:\Data\Customer\Ratree\12-03-09\2.gcd
 Method Name : D:\Data\bsc(method for Fame)3.gcm



Peak#	Ret Time	Area	Height	Conc	Unit	Mark	ID#	Cmpd Name
1	2.406	209433	108250	0.866	%	S	4	methyl myristate C
2	2.547	2568	1141	0.011		T		
3	2.671	8103	3500	0.034		T		
4	2.893	1372	595	0.006				
5	3.058	7752062	3172648	32.055	%	S	5	methyl palmitate C1
6	3.160	13577	9009	0.056		T		
7	3.551	4305893	1556432	17.805	%	S	15	ISTD
8	4.208	735179	185909	3.040		V		
9	4.440	8634036	2104368	35.702	%	V	7	methyl stearate C18
10	4.798	2296792	677749	9.497	%	SV	8	cis-9-oleic methyl es
11	5.111	12088	3194	0.050	%	T	9	methyl linoleate C18
12	5.335	4601	1409	0.019		T		
13	5.422	33440	8414	0.138		TV		
14	5.560	5946	1372	0.025	%	TV	10	methyl linolate C1
15	5.739	1423	273	0.006		TV		
16	6.351	52951	9786	0.219	%		11	methyl arachidate C
17	6.638	23621	4339	0.098		V		
18	7.382	1093	179	0.005				
19	9.898	7644	1197	0.032				
20	10.050	3982	582	0.016		V		
21	10.305	8973	1184	0.037		V		
22	10.435	6210	894	0.026	%	V	12	methyl behenoate C
23	10.621	2350	356	0.010		SV		
24	12.167	1474	202	0.006				
25	13.329	6991	1822	0.029				
26	13.354	2301	1801	0.010		V		
27	13.375	5695	1807	0.024		V		
28	13.432	17719	1630	0.073		V		
29	13.672	1867	716	0.008		V		
30	13.730	2181	572	0.009		V		
31	16.213	2867	288	0.012				

ประวัติผู้เชี่ยวชาญพนธ์

นางสาวราตรี พันธธา จบการศึกษาปริญญาตรี วิทยาศาสตร์ สาขาเคมี (วท.บ เคมี) มหาวิทยาลัยอบลราชธานี เมื่อวันที่ 25 มีนาคม 2545 หลังจากจบการศึกษาได้เข้าทำงานที่ บริษัทเอเชียนเคมคัลแอนด์ เอนยเนยรจ จากัด ในตำแหน่ง วิศวกรออกแบบ และตำแหน่งวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ จากนั้นได้เข้าทำงานที่ บริษัท 106 สวงแวดล้อม จากัด ในตำแหน่ง Lab Supervisor และสุดท้ายได้เข้าทำงานที่บริษัท ทเอนเมทัลเวิร์ค จากัด ในตำแหน่ง Assistant Product Manager , Antipollution Dept. จากนั้นเมื่อปี 2549 ได้เข้าศึกษาต่อปริญญาโท คณะวิศวกรรมเคมี จฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย