



ผลของ MTBE ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันจากน้ำมันปาล์มเอสเตอร์ไฟยด์

Effect of MTBE on Transesterification of Esterified Palm Oil

สุกาญดา ปาลีโภชน์

Sukarnda Palipote

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมเคมี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Engineering in Chemical Engineering

Prince of Songkla University

2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของ MTBE ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันจากน้ำมันปาล์มเอสเตอริไฟด์
 ชื่อผู้เขียน นางสาวสุกัญดา ปาลีโกชน์
 ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
 (รองศาสตราจารย์ ดร. ชาคริต ทองอุไร)

.....ประธานกรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิตติภูมิ สุขลักษณ์ปัญญา)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ
 (รองศาสตราจารย์ ดร. ชาคริต ทองอุไร)

.....
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัสวดี กังสนันท์)

.....กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กุลชนาฐ ประเสริฐสิทธิ์)

.....กรรมการ
 (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัสวดี กังสนันท์)

.....กรรมการ
 (ดร. ญัฐวรรณ กลัดแก้ว)

บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง
 ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมเคมี

.....
 (รองศาสตราจารย์ ดร. ชีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่าผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเองและขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

ลงชื่อ.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต ทองอุไร)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นางสาวสุกัญดา ปาลีโกชน์)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อนและไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ

(นางสาวสุกาญดา ปาลีโภชน์)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของ MTBE ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันจากน้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์
ชื่อผู้เขียน นางสาวสุกาญดา ปาลีโกชน์
ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

การผลิตไบโอดีเซลโดยการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์กับเอทานอล โดยใช้โพแทสเซียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และ methyl tertiary butyl ether (MTBE) เป็นตัวทำละลายร่วม วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล โดยได้เลือกศึกษาสภาวะต่างๆ อาทิ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (0.5–2 ร้อยละ โดยน้ำหนักน้ำมัน) อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์ (4:1 - 8:1) อัตราส่วนโดยโมลของ เอทานอลต่อ MTBE (1:0.1-1:0.5) เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (5-60 นาที) อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (50-80 องศาเซลเซียส) และเปรียบเทียบการใช้ตัวทำละลายร่วมระหว่าง MTBE กับ tetrahydrofuran (THF). MTBE ถูกเลือกให้นำมาใช้เป็นตัวทำละลายร่วม เนื่องจากสามารถละลายได้ดีทั้งในเอทานอลและในน้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์ ซึ่งทำให้ความหนืดในปฏิกิริยาลดลงและ MTBE เป็นสารเฉื่อยไม่ทำปฏิกิริยากับสารตัวอื่นๆ ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน อีกทั้ง MTBE ยังมีราคาถูกเมื่อเทียบกับตัวทำละลายอื่นๆ และสามารถ recovery กลับคืนมาได้ง่าย เนื่องจากมีจุดเดือดต่ำจากการทดลองสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ผลได้ของไบโอดีเซลสูงสุดคือ ใช้อัตราส่วนของเอทานอลต่อ MTBE คือ 1:0.5 อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมัน คือ 5:1 ใช้โพแทสเซียมเมทอกไซด์ 0.85 ร้อยละ โดยน้ำหนักน้ำมัน เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที และอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส. ในสภาวะของการทดลองเดียวกันการใช้ MTBE เป็นตัวทำละลายร่วมจะส่งผลให้ผลได้ของไบโอดีเซลสูงกว่าในกรณีที่ไม่มี MTBE

Thesis Title Effect of MTBE on Transesterification of Esterified Palm Oil
Author Miss Sukarnda Palipote
Major Program Chemical Engineering
Academic Year 2014

ABSTRACT

Transesterification of esterified palm oil with ethanol was carried out using potassium methoxide (KOCH_3) as catalysts and methyl tertiary butyl ether (MTBE) as co-solvent. The aim of this work was to study and optimize the reaction parameters. Chosen parameters were catalyst concentration of 0.5 - 2 %, ethanol to oil molar ratio of 4:1-8:1, ethanol to MTBE molar ratio of 1:0.1-1:0.5, reaction time of 5-60 min, reaction temperature of 50-80 °C and comparison between MTBE and tetrahydrofuran (THF) using is a co-solvent. MTBE was used as a co-solvent due to is miscible in both ethanol and esterified palm oil, reduced viscosity in transesterification reaction for increased the dissolution between ethanol and esterified palm oil, cheap price, inert to the reaction and easy to remove from the product due to their boiling point are close to ethanol, the reaction was complete by MTBE is co-solvent molar ratio at 0.5:1 of ethanol. The optimum values were molar ratio ethanol to oil of 5:1, reaction time 60 min and reaction temperature 60 °C when using 0.85 wt.% of KOCH_3 . At the same experiment condition, the using MTBE as co-solvent will result in higher ethyl ester yield of biodiesel more in the absence MTBE.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(12)
รายการภาพประกอบ	(13)
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำงานวิจัย	4
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	
2.1 ไบโอดีเซล	5
2.1.1 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล	6
2.1.2 คุณสมบัติของไบโอดีเซล	6
2.1.3 ประโยชน์ของไบโอดีเซล	7
2.2 น้ำมันปาล์ม	8
2.2.1 Esterified Palm Oil	12
2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (Transesterification)	13
2.3.1 ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	14
2.3.2 แอลกอฮอล์ที่ใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	15
2.3.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	17
2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน	18
2.4 ตัวทำละลายร่วม	22
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	
3.1 วัสดุ	33
3.1.1 วัสดุดิบ	33
3.1.2 สารเคมี	34
3.2 อุปกรณ์	34
3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	34
3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องแก้วสำหรับการวิเคราะห์	36
3.3 วิธีการทดลอง	36
กิจกรรมที่ 1 จัดหาวัสดุดิบและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง และศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	37
กิจกรรมที่ 2 ทำการทดลองหาความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม	38
กิจกรรมที่ 3 ทำการทดลองหาอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อตัวทำละลายร่วม (MTBE) ที่เหมาะสม	38
กิจกรรมที่ 4 ทำการทดลองหาอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเอทานอลที่เหมาะสม	38
กิจกรรมที่ 5 ทำการทดลองหาเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม	39
กิจกรรมที่ 6 ทำการทดลองหาอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม	39
กิจกรรมที่ 7 ทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการใช้ MTBE และ THF เป็นตัวทำละลายร่วม และการใช้ตัวทำละลายร่วมในปฏิกิริยา	39

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูล	
4.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มเอสเทอร์ไฟยด์	40
4.1.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มเอสเทอร์ไฟยด์	40
4.1.2 การทดสอบเพื่อสังเกตลักษณะการละลายของน้ำมันปาล์ม เอสเทอร์ไฟยด์ เอทานอล และ MTBE	40
4.1.3 การทดสอบเพื่อสังเกตลักษณะการแพร่ของโพแทสเซียม เมทอกไซด์	44
4.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้	51
4.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ MTBE	53
4.4 ผลการศึกษาอัตราส่วน โดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์ม เอสเทอร์ไฟยด์	55
4.5 ผลการศึกษาเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	57
4.6 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	60
4.7 ผลการศึกษาการเปรียบเทียบปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยการไม่ใช้ตัวทำละลายร่วม และการใช้ MTBE และ THF เป็นตัวทำละลายร่วม	63
4.7.1 เปรียบเทียบผลของตัวทำละลายร่วมที่ความเข้มข้นของ ตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ	63
4.7.2 เปรียบเทียบผลของตัวทำละลายร่วมที่เวลาต่างๆ	66
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
สรุปผลการทดลอง	72
ข้อเสนอแนะ	75

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
เอกสารอ้างอิง	76
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์ และการเตรียมสารเคมี	82
ภาคผนวก ข ข้อมูลดิบ	95
ภาคผนวก ค บทความที่เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ	103
ประวัติผู้เขียน	

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ระดับคลอเรสเตอรอลในน้ำมันดิบและไขมัน	11
2-2	องค์ประกอบสเตอรอลของน้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันรีไฟน์และผลผลิต	11
2-3	คุณสมบัติตามธรรมชาติของน้ำมันปาล์มมาเลเซีย	12
2-4	แสดงคุณสมบัติเชิงกายภาพของเมทานอลและเอทานอล	17
2-5	การเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด เบส กรด และเอนไซม์	21
2-6	แสดงคุณสมบัติเชิงกายภาพของตัวทำละลายกลุ่มต่างๆ ดังนี้ Non-Polar, Polar Aprotic และ Polar Protic Solvents	23
2-7	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของ Methyl tert-butyl ether (MTBE), Tetrahydrofuran (THF) และ Diethyl ether (DEE)	27
4-1	แสดงคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มเอสเทอร์ฟายด์	40
4-2	แสดงอัตราส่วน โดยโมลของน้ำมันปาล์มเอสเทอร์ฟายด์และเอทานอลที่ใช้ ผสมกัน	41
4-3	แสดงอัตราส่วน โดยโมลของเอทานอล และ MTBE ที่จะใช้ผสม	41
4-4	แสดงรูปภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของสารผสมระหว่างน้ำมัน เอทานอล และ MTBE ในสัดส่วนต่างๆ โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของ เอทานอลต่อน้ำมันเป็น 5:1	42
4-5	แสดงอัตราส่วนของกลีเซอริน เอทานอล และ MTBE	45
4-6	แสดงอัตราส่วนของกลีเซอริน เอทานอล และ MTBE ในสัดส่วนต่างๆ	48

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่		หน้า
2-1	แสดงสูตร โครงสร้างของ α และ β แคโรทีน	10
2-2	ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน (Esterification)	13
2-3	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์	14
2-4	ปฏิกิริยาเคมีในการเตรียมสารอัลคอกซี	14
2-5	กลไกการปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์	18
2-6	ปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Saponification)	19
2-7	ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	20
3-1	ลักษณะภายนอกของน้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์	33
3-2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	35
4-1	แสดงลักษณะการแพร่ของ KOCH_3 ในสารละลายผสมระหว่างกลีเซอริน เอทานอล และ MTBE	46
4-2	แสดงลักษณะการแพร่ของ KOCH_3 ในสารละลายผสมระหว่างกลีเซอริน เอทานอล และ MTBE	49
4-3	ความสัมพันธ์ระหว่าง ethyl ester content กับความเข้มข้นของตัวเร่ง ปฏิกิริยา (KOCH_3)	51
4-4	ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้ของไบโอดีเซลกับความเข้มข้นของตัวเร่ง ปฏิกิริยา (KOCH_3)	52
4-5	ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้ของไบโอดีเซลและ ethyl ester content กับ อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ MTBE	54
4-6	ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้ของไบโอดีเซลและ ethyl ester content กับ อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ น้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์	55
4-7	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นกับอัตราส่วน โดยโมลของ เอทานอลต่อ น้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์	56

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่		หน้า
4-8	ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้ของไบโอดีเซลและ ethyl ester content กับเวลาในการทำปฏิกิริยา	58
4-9	ความสัมพันธ์ระหว่าง ethyl ester content กับเวลาในการทำปฏิกิริยา	59
4-10	ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้ของไบโอดีเซลกับเวลาในการทำปฏิกิริยา	60
4-11	ความสัมพันธ์ระหว่าง ethyl ester content กับอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา	61
4-12	ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้ของไบโอดีเซลกับอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา	62
4-13	ความสัมพันธ์ระหว่าง ethyl ester content กับชนิดของตัวทำละลายร่วม (MTBE, THF) และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เวลา 60 นาที	64
4-14	ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้ของไบโอดีเซลกับชนิดของตัวทำละลายร่วม (MTBE, THF) และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เวลา 60 นาที	64
4-15	ความสัมพันธ์ระหว่าง ethyl ester content กับชนิดของตัวทำละลายร่วม (MTBE, THF) และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	66
4-16	ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้ของไบโอดีเซลกับชนิดของตัวทำละลายร่วม (MTBE, THF) และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	67
4-17	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) กับชนิดของตัวทำละลายร่วม (MTBE, THF) และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	67
4-18	ความสัมพันธ์ระหว่าง ethyl ester content กับชนิดของตัวทำละลายร่วม (MTBE, THF) และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	69
4-19	ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้ของไบโอดีเซลกับชนิดของตัวทำละลายร่วม (MTBE, THF) และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	69
4-20	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) กับชนิดของตัวทำละลายร่วม (MTBE, THF) และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	70

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย

จากปัญหาราคาน้ำมันปิโตรเลียมที่ปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องได้ส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงต่อภาคเศรษฐกิจโดยรวม และอาจเป็นอุปสรรคต่อการขยายตัวของเศรษฐกิจของประเทศทั้งในปัจจุบันและอนาคต ทั้งนี้เนื่องจากประเทศไทยมีแหล่งน้ำมันดิบไม่เพียงพอกับความต้องการของผู้บริโภค ทำให้ต้องพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศ ขณะที่ความต้องการมีแนวโน้มสูงขึ้นเป็นลำดับ โดยเฉพาะน้ำมันดีเซลที่ใช้ในภาคขนส่งเป็นหลัก ดังนั้นจึงต้องเร่งพัฒนาพลังงานทดแทนแทนน้ำมันปิโตรเลียมโดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซล ด้วยการศึกษาวิจัยและพัฒนาวัตถุดิบภายในประเทศ เช่น น้ำมันพืชและไขมันสัตว์ชนิดต่างๆ มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใช้แทนน้ำมันดีเซล เรียกว่า ไบโอดีเซล (Biodiesel)

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกที่ผลิตจากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียน (renewable) และผลิตได้ในปริมาณที่ไม่จำกัด เช่น น้ำมันจากพืชหรือไขมันจากสัตว์ โดยไบโอดีเซลมีคุณสมบัติที่สามารถย่อยสลายได้เองตามกระบวนการทางชีวภาพและไม่มีพิษ ดังนั้นจึงไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ไบโอดีเซลสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงกับยานพาหนะได้ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลโดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์แต่อย่างใด อีกทั้งยังช่วยรักษาสภาพเครื่องยนต์ให้ใช้งานได้นานกว่าอีกด้วย เนื่องจากออกซิเจนในไบโอดีเซลให้การสันดาปที่สมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีควันดำและแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์น้อย ช่วยลดมลพิษทางอากาศ รวมทั้งลดการอุดตันของระบบไอเสีย เนื่องจากองค์ประกอบของไบโอดีเซลไม่มีธาตุกำมะถันแต่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จึงช่วยการเผาไหม้ได้ดีขึ้น และช่วยลดมลพิษจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนอกไซด์ และฝุ่นละออง ไบโอดีเซลจึงได้รับความสนใจอย่างยิ่ง

วัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ น้ำมันพืช น้ำมันพืชใช้แล้วและไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันมะพร้าว ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ละหุ่ง งา ทานตะวัน และปาล์มน้ำมัน สำหรับในแถบเอเชียปาล์มน้ำมันถือเป็นพืชน้ำมันที่น่าสนใจที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ทั้งนี้เพราะปาล์มเป็นพืชที่นิยมปลูกกันมาก แต่ในปีประเทศไทยมีผลผลิตของปาล์มเป็นจำนวนมาก หนึ่งน้ำมันปาล์มมีทั้งกรดไขมันไม่อิ่มตัวและไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบหลัก กล่าวคือ มี Palmitic acid 42.6% และ Oleic acid 40.5% การที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากจะช่วยให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดแอลคิลเอสเทอร์ไม่อิ่มตัว (Unsaturated alkyl ester) ซึ่งเป็นไบโอดีเซลที่มีคุณภาพดีมีความหนืดไม่สูงเกินมาตรฐานสากล อย่างไรก็ตามการเลือกใช้วัตถุดิบเพื่อนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลโดยมากขึ้นอยู่กับความยากง่ายในการหาวัตถุดิบ และราคาของวัตถุดิบเป็นสำคัญ (สารานุกรมพลังงานไบโอดีเซล: <http://www.greatkingcity.com>)

ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมักจะนิยมใช้กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (Transesterification Process) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะทำปฏิกิริยากันระหว่างสารสองชนิดคือน้ำมันพืชและแอลกอฮอล์ แต่เนื่องจากคุณสมบัติของสารเข้าทำปฏิกิริยาทั้งสองชนิดจะไม่สามารถละลายซึ่งกันและกันได้ดีมากนัก จึงมีแนวคิดในการเพิ่มตัวทำละลายร่วม (Co-solvent) เพื่อให้สารเข้าทำปฏิกิริยาทั้งสองสามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้ดีขึ้น ดังงานวิจัยของ Lodcam T. (2009) ซึ่งศึกษาปัจจัยที่มีผลกับการผลิตไบโอดีเซล และการเพิ่มตัวทำละลายร่วมก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญ โดยในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ methyl tert-butyl ether (MTBE) เป็นตัวทำละลายร่วม เพราะเป็นสารละลายที่ใช้ในอุตสาหกรรมอยู่แล้ว และมีจุดเดือดต่ำซึ่งจะง่ายต่อการแยกคืน และใช้เอทานอลเป็นแอลกอฮอล์ เนื่องจากเป็นตัวทำละลายที่มีความปลอดภัยสูง สามารถผลิตได้ภายในประเทศไทยเองจำนวนมาก และเอทานอลยังมีค่าการละลายที่สูงกว่าเมทานอลอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของ methyl tert-butyl ether (MTBE) ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์
2. เพื่อศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มร่วมกับเอทานอลโดยใช้ MTBE เป็นตัวทำละลายร่วม
3. เพื่อวิเคราะห์หาแนวทางในการลดต้นทุนในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์
2. ศึกษาและเปรียบเทียบการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์โดยการใช้และไม่ใช้ MTBE เป็นตัวทำละลายร่วม
3. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์โดยใช้ MTBE เป็นตัวทำละลายร่วม ดังนี้
 - 3.1 ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา
 - 3.2 อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อตัวทำละลายร่วม (MTBE)
 - 3.3 อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมัน
 - 3.4 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา
 - 3.5 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา
4. ศึกษาและเปรียบเทียบการผลิตไบโอดีเซลโดยการใช้ MTBE และ THF เป็นตัวทำละลายร่วม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำงานวิจัย

1. ได้องค์ความรู้พื้นฐานทางด้านการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน
2. ทราบและเข้าใจกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน
3. ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน
4. ช่วยลดต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซล
5. ใช่วัตถุดิบที่มีอยู่ในประเทศได้เกิดประโยชน์และคุ้มค่าสูงสุด

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล (biodiesel) เป็นเชื้อเพลิงดีเซลทางเลือกที่ผลิตจากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียน (renewable) เช่น น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือสาหร่าย โดยมีคุณสมบัติการเผาไหม้เหมือนกับดีเซลจากปิโตรเลียมมากและสามารถใช้แทนกันได้ คุณสมบัติที่สำคัญของไบโอดีเซลคือ สามารถย่อยสลายได้เองตามกระบวนการชีวภาพในธรรมชาติ (biodegradable) และไม่เป็นพิษ (non-toxic) ซึ่งในปัจจุบันทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศได้มีการศึกษาวิจัยและพัฒนาหาแหล่งพลังงานชนิดใหม่เพื่อทดแทนพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ซึ่งพบว่าไบโอดีเซลเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลในขณะนี้ เพราะสามารถผลิตจากวัตถุดิบหมุนเวียนและผลิตได้ในปริมาณที่ไม่จำกัด

ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงดีเซลจากน้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (Transesterification Process) โดยให้น้ำมันพืชทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์สายสั้นเช่น เมทานอลหรือเอทานอล และมีกรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซลหรือเอสเทอร์ของกรดไขมัน โดยจะมีชื่อเรียกไบโอดีเซลตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเช่น เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ได้จากการใช้เมทานอลเป็นสารในการทำปฏิกิริยาเรียกว่า เมทิลเอสเทอร์ (Fatty Acid Methyl Ester) หรือเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ได้จากการใช้เอทานอลจะเรียกว่า เอทิลเอสเทอร์ (Fatty Acid Ethyl Ester) (วารสารประสิทธิภาพพลังงานปีที่ 13 ฉบับที่ 61)

ไบโอดีเซลที่ผลิตในแต่ละประเทศจะใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่นนั้นๆ เช่น ประเทศทางยุโรปเป็นไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันเมล็ดเรพซิด (Rapeseed oil) และน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน (Sunflower oil) สำหรับประเทศสหรัฐอเมริกาได้จาก

น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันเมล็ดคอกทานตะวัน และประเทศในแถบอเมริกาใต้และเอเชียซึ่งรวมถึงประเทศไทยมีการใช้น้ำมันจากปาล์มและมะพร้าวมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล

2.1.1) กระบวนการผลิตไบโอดีเซล

ประเภทของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบ่งออกเป็น 3 ประเภทด้วยกัน คือ

1. การผลิตไบโอดีเซลแบบกะ (Batch Technology) เป็นการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง ทำให้ผลิตได้คราวละไม่มากและผลผลิตมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ แต่มีข้อดีคือใช้เงินลงทุนต่ำ
2. แบบต่อเนื่อง - ทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน (Continuous Transesterification) เป็นกระบวนการผลิตที่ต้องใช้เงินลงทุนสูงกว่าแบบแรกแต่ให้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีกว่าและมีกำลังการผลิตสูงกว่า
3. แบบต่อเนื่อง – 2 ขั้นตอน (2 Step Reaction) เป็นกระบวนการที่สามารถใช้ได้กับวัตถุดิบหลายชนิดรวมถึงน้ำมันที่กรดไขมันอิสระสูง โดยการทำให้ปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันในขั้นแรกและผ่านกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันอีกครั้ง ทำให้ได้ผลผลิตที่มากกว่า 2 ประเภทแรก แต่อย่างไรก็ตามเงินลงทุนก็สูงขึ้นเช่นกัน

2.1.2) คุณสมบัติของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ (Neat Biodiesel) มีค่าซีเทน (Cetane Number) สูงกว่าน้ำมันดีเซล ข้อแตกต่างของ ไบโอดีเซลที่สำคัญคือ เป็นสารไม่ไวไฟ และไม่ระเบิด มีจุดวาบไฟสูงถึง 120 องศาเซลเซียส ในขณะที่น้ำมันดีเซลมีจุดวาบไฟที่ 64 องศาเซลเซียส เป็นเชื้อเพลิงสะอาด ช่วยให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีขึ้น ทำให้การจุดระเบิดทำได้ดี การสันดาปสมบูรณ์ นอกจากนี้ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงในเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำแล้วยังนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลในสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วรอบสูงได้โดยไม่มีปัญหาในการใช้งานทั้งระยะสั้น และระยะยาว

เมื่อเปรียบเทียบการใช้น้ำมันดีเซลแล้วไบโอดีเซลจะช่วยลดมลพิษทางอากาศได้มาก โดยปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮคาร์บอนรวม และฝุ่นละออง ลดลงร้อยละ 20–40 นอกจากนี้ยังลดควันดำได้ถึงร้อยละ 60

โดยทั่วไปการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในต่างประเทศนั้นนิยมนำไปผสมเป็นสูตรต่างๆ เช่น

B5 (ไบโอดีเซล 5% ดีเซล 95%) มีจำหน่ายทั่วไปในประเทศฝรั่งเศสโดยกว่าครึ่งหนึ่งของน้ำมันดีเซลที่จำหน่ายเป็นน้ำมันสูตร B5

B20 (ไบโอดีเซล 20% ดีเซล 80%) เป็นน้ำมันผสมที่คณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติและสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกาแนะนำให้ใช้ตามกฎหมายยานยนต์เชื้อเพลิงทดแทนของประเทศ ปัจจุบันนิยมใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกาโดยเฉพาะรถของบริษัทและรถของหน่วยงานราชการกว่า 147 แห่ง รวมทั้งการใช้ยานยนต์ในพื้นที่ที่ต้องคำนึงถึงมลพิษเป็นพิเศษเช่น รถรับส่งนักเรียน รถประจำทาง หรือเครื่องจักรกลที่ใช้ในเมืองแร่ ทั้งนี้ได้รับการรับรองจากบริษัทผู้ผลิตระบบหัวฉีดน้ำมันและเครื่องยนต์

B40 (ไบโอดีเซล 40% ดีเซล 60%) เป็นสูตรที่ใช้ในรถขนส่งมวลชนในประเทศฝรั่งเศส ทั้งนี้เพื่อผลในการลดมลพิษ

B100 (ไบโอดีเซล 100%) เป็นน้ำมันไบโอดีเซลร้อยละ 100 ที่ใช้ในประเทศเยอรมันนีและออสเตรีย โดยได้รับการรับรองจากบริษัทผู้ผลิตรถยนต์รายใหญ่ของประเทศ (วารสารประสิทธิภาพพลังงานปีที่ 13 ฉบับที่ 61)

2.1.3) ประโยชน์ของไบโอดีเซล

สำหรับประเทศไทยซึ่งมีความต้องการใช้น้ำมันดีเซลสูงสุดในบรรดาผลิตภัณฑ์น้ำมันชนิดต่างๆ และมีอัตราการขยายตัวสูงมากในแต่ละปี ผลจากราคาน้ำมันดีเซลที่แพงขึ้นส่งผลกระทบต่อภาคเศรษฐกิจโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคการขนส่งและภาคการเกษตรซึ่งเกี่ยวข้องกับประชาชนส่วนใหญ่ของประเทศ และเป็นผู้ที่มีรายได้น้อยที่ต้องเผชิญกับค่าครองชีพและต้นทุนด้านการเกษตรที่สูงขึ้น ดังนั้นประโยชน์จากการผลิตไบโอดีเซลเพื่อนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลสรุปได้ดังนี้

1. ลดการสูญเสียเงินตราต่างประเทศในการนำเข้าน้ำมัน
2. แก้ไขปัญหาความยากจนในระดับรากหญ้าทำให้เกษตรกรมีรายได้ดีขึ้น

3. เหมใหม่ได้สมบรูณ์ทำให้ลดควันดำจึงช่วยลดการปล่อยแก๊สที่ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Greenhouse effect) โดยเฉพาะแก๊สคาร์บอน ไดออกไซด์เพื่อแก้ปัญหาโลกร้อน

4. ไอเสียยังมีมลพิษต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลคือ ไม่มีกำมะถันและสารก่อมะเร็งเป็นองค์ประกอบ

5. เพิ่มความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลได้ดีเช่นเดียวกับน้ำมันดีเซล และยังสามารถสลับกันใช้ได้โดยไม่ต้องปรับแต่งเครื่องยนต์

6. การนำน้ำมันที่ใช้แล้วมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลยังช่วยลดปริมาณน้ำมันทอดซ้ำซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อร่างกายก่อให้เกิดมะเร็งในเม็ดเลือดขาว หรือเนื้องอกในอวัยวะต่างๆต่อผู้บริโภคได้ด้วย

2.2 น้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์ม ผลิตจากปาล์มน้ำมัน (ชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Eleaisguineensis* Jacq.) ซึ่งเป็นพืชตระกูลปาล์มลักษณะลำต้นเดี่ยว ขนาดลำต้นประมาณ 12 -20 นิ้ว เมื่ออายุประมาณ 1-3 ปี ลำต้นจะถูกหุ้มด้วยโคนกาบใบ แต่เมื่ออายุมากขึ้น โคนกาบใบจะหลุดร่วงเห็นลำต้นชัดเจน ผิวของลำต้นคล้ายต้นตาล ลักษณะใบเป็นรูปก้างปลา โคนกาบใบจะมีลักษณะเป็นซี่ คล้ายหนามแต่ไม่คมมาก เมื่อไปถึงกลางใบหนามดังกล่าวจะพัฒนาเป็นใบ การออกดอกเป็นพืชที่แยกเพศ คือต้นที่เป็นเพศผู้จะให้เกสรตัวผู้อย่างเดียว ต้นที่ให้เกสรตัวเมียจึงจะติดผลลักษณะผลเป็นทะลายผลจะเกาะติดกันแน่น (<http://th.wikipedia.org/wiki/ปาล์มน้ำมัน>)

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชเศรษฐกิจ มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกา เป็นพืชที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าพืชน้ำมันทุกชนิด สามารถนำมาแปรรูปทำเป็นทั้งในรูปแบบของน้ำมันพืชที่ใช้ในการประกอบอาหาร และใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ และยังเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล รวมถึงเป็นส่วนผสมในเพื่อช่วยลดการใช้ น้ำมันดีเซล เพิ่มความมั่นคงทางด้านพลังงานให้กับประเทศ อีกทั้งยังจะช่วยลดปัญหาผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

และยังสามารถแปรรูปเป็นสบู่ ผงซักฟอก เครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์เคมีภัณฑ์ต่างๆ และอาหารสัตว์ ไบโนามาบดเป็นอาหารสัตว์ กะลาปาล์มนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเชื้อเพลิง ทะลายปาล์มใช้เพาะเห็ด และ กระทั่งการปลูกลงดินไปแล้วก็ช่วยในการดูดซับแก๊สคาร์บอน ไดออกไซด์ในการช่วยลดภาวะโลกร้อนได้อีก

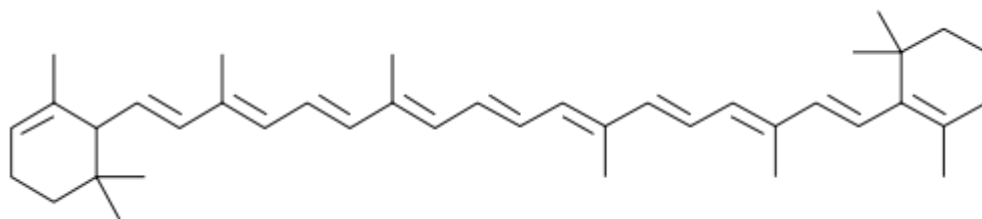
น้ำมันปาล์มเกิดขึ้นจากผลปาล์ม 2 ส่วนคือจากเปลือกหุ้มภายนอกและจากเนื้อในของ เมล็ด

1. น้ำมันจากเปลือกของปาล์ม ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวประมาณร้อยละ 52 และกรดไขมันอิ่มตัวร้อยละ 48 ดังนั้นจึงต้องนำน้ำมันดิบผ่านกรรมวิธีแยกกรดไขมันทั้งสองออกจากกัน
2. ส่วนน้ำมันเนื้อในของเมล็ดปาล์ม ประกอบด้วยน้ำมันชนิดอิ่มตัวสูงถึงร้อยละ 48 - 90 ทำให้ไม่เหมาะต่อการบริโภคจึงนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ

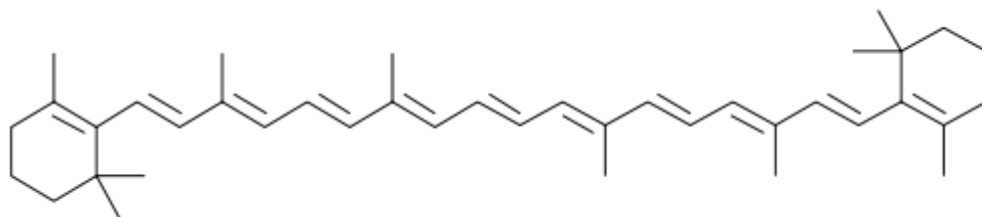
ในน้ำมันปาล์มดิบนั้นองค์ประกอบของกรดไขมันจะเป็นสารประกอบอิ่มตัวและ สารประกอบไม่อิ่มตัวในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน ส่งผลให้มีค่าไอโอดีนประมาณ 53 และมีเสถียรภาพ ต่อการเกิดออกซิเดชันสูงเมื่อเทียบกับน้ำมันพืชอื่น ๆ

ส่วนประกอบส่วนน้อย เช่น แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) โทโคเฟอรอล (Tocopherol) สเตอรอล (Sterols) ฟอสฟาไทด์ (Phosphatides) ไตรเตอพนิค (Triterpanic) และแอลกอฮอล์อะลิฟาติก (Alcohol aliphatic) มีรวมกันน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ในน้ำมันปาล์มดิบ อย่างไรก็ตามก็มีบทบาท อย่างสูงในด้านเสถียรภาพออกซิเดชัน และการทำบริสุทธิ์ รวมทั้งการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของ น้ำมันอีกด้วย

แคโรทีนอยด์ ที่อยู่ในระดับ 500 ถึง 700 ppm อยู่ในรูปของ α และ β แคโรทีน ซึ่งเป็น precursor ของวิตามิน A แคโรทีนอยด์ จะถูกทำลายด้วยความร้อนในระหว่างการ กำจัดกลิ่น แคโรทีนอยด์จะช่วยลดการเกิดออกซิเดชันโดยจะช่วยทำปฏิกิริยาออกซิเดชันก่อนไตรกลี เซอไรด์ (รศ. ดร. ชاکริต ทองอุไร. เทคโนโลยีไบโอดีเซล ฉบับปฏิบัติการจริง, 2554)



α แคลโรทีน



β แคลโรทีน

ภาพประกอบที่ 2-1 แสดงสูตรโครงสร้างของ α และ β แคลโรทีน

(ที่มา: <https://th.wikipedia.org/wiki/แคลโรทีน>)

น้ำมันปาล์มดิบยังประกอบด้วย โทโคเฟอรอลและโทโคไตรอีนอล (tocotrienols) ในระดับ 600-1,000 ppm ทั้งคู่เป็นสารแอนติออกซิแดนซ์และป้องกันการเกิดออกซิเดชันของน้ำมันปาล์มเช่นกัน

การรวมกันของแคลโรทีนอยด์ โทโคเฟอรอล โทโคไตรอีนอล และกรดไขมันอิ่มตัวในสัดส่วนครึ่งหนึ่งของน้ำมันทั้งหมด ทำให้น้ำมันปาล์มจัดอยู่ในประเภทมีเสถียรภาพเชิงออกซิเดชันสูงกว่าน้ำมันพืชอื่นๆ

เมื่อพิจารณาคุณภาพมาตรฐานสเตอรอล จะพบว่าน้ำมันปาล์มมีคลอเรสเตอรอลน้อยกว่าน้ำมันพืชส่วนใหญ่ ดังข้อมูลในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2-1 ระดับคอเลสเตอรอลในน้ำมันดิบและไขมัน

(ที่มา: รศ. ดร. ชاکริต ทองอุไร. เทคโนโลยีไบโอดีเซล ฉบับปฏิบัติการจริง, 2554)

Oil Type	Average (ppm)	Range (ppm)
Coconut oil	14	5-24
Cocoa butter	59	n.a.
Palm kernel oil	17	9-40
Palm oil	18	13-19
Sunflower oil	17	8-44
Soybean oil	28	20-35
Rapeseed oil	49	25-80
Maize oil	50	18-95

ตารางที่ 2-2 องค์ประกอบสเตอรอลของน้ำมันปาล์มดิบ น้ำมันรีไฟน์และผลผลิต

(ที่มา: รศ. ดร. ชاکริต ทองอุไร. เทคโนโลยีไบโอดีเซล ฉบับปฏิบัติการจริง, 2554)

Sample	Cholesterol	Campesterol	Stigmasterol	Sitosterol	Unknown
Crude palm oil	7-13	90-151	44-66	218-370	2-18
Degummed, bleached	5-10	49-116	22-51	113-286	Trace-8
RBD	1-5	15-16	8-30	45-167	Trace
Crude palm olein	6-8	57-104	30-51	149-253	24-28
Degummed, bleached	3-4	36-43	21-25	99-123	Trace-5
RBD	2	26-30	12-23	68-114	-

ตารางที่ 2-3 คุณสมบัติตามธรรมชาติของน้ำมันปาล์มมาเลเซีย

(ที่มา: รศ. ดร. ชاکริต ทองอุไร. เทคโนโลยีไบโอดีเซล ฉบับปฏิบัติการจริง, 2554)

Chemical Characteristics	Mean	Range
Saponification value (mg KOH/g oil)	195.7	190-1-201.7
Unsaponifiable matter (%)	0.51	0.15-0.99
Iodine value (Wijs)	52.9	50.6-55.1
Slip melting point (°C)	34.2	30.8-37.6

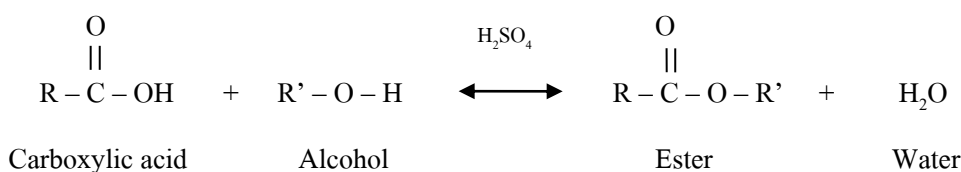
สเตอรอลที่มีอยู่ในน้ำมันพืชเป็นสาเหตุในการเกิดตะกอนของแข็งในระหว่างกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ซึ่งทำให้ต้องกรองออกก่อนนำจำหน่าย ปัญหาสเตอรอลกลูโคไซด์ที่เกิดขึ้นนั้นยังอยู่ในระหว่างการวิจัยเพื่อหาทางออกที่ดีที่สุดอยู่ในขณะนี้ (รศ. ดร. ชاکริต ทองอุไร. เทคโนโลยีไบโอดีเซล ฉบับปฏิบัติการจริง, 2554)

2.2.1) Esterified Palm Oil

Esterified Palm Oil คือ น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการเอสเตอริฟิเคชัน เพื่อช่วยให้น้ำมันปาล์มที่ได้มีกรดไขมันอิสระลดลง ทำให้สามารถนำไปผ่านกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันต่อไปได้ เนื่องจากน้ำมันที่จะนำมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันควรเป็นน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระต่ำๆ จะทำให้ได้ผลการทดลองหรือผลิตภัณฑ์ที่เป็นไบโอดีเซลที่มีคุณภาพสูง

ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน (Esterification Reaction) เอสเตอริฟิเคชันเป็นกระบวนการทางเคมีสำหรับทำเอสเตอร์ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดอินทรีย์หรือกรดคาร์บอกซิลิก ($R-COOH$) กับแอลกอฮอล์ ($R'-OH$) โดยที่หมู่ $-OH$ ในกรดถูกแทนที่ด้วย $O-R'$ ของแอลกอฮอล์ เกิดเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็น $R-COOR'$ เรียกว่า เอสเตอร์ โดยที่ R และ R' ต่างก็เป็นหมู่แอลคิลหรือแอริล (aryl) ในขณะเดียวกันก็จะเกิดน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ร่วม โดยมักจะใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้คือ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ซึ่งมีจุดเด่นคือ หาได้ง่าย มีราคาถูก และเป็นสารที่ชอบน้ำ ดังนั้นน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันส่วนหนึ่งจะรวมตัวกับ โมเลกุลกรดซัลฟิวริก และไม่กลับไปทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับเอสเตอร์ (ซึ่งจะผันกลับไปเป็น กรดไขมันอิสระและแอลกอฮอล์) ดังนั้นจุดสมดุลจะเปลี่ยนไปทำให้ร้อยละการเปลี่ยนสุทธิต่ำ สูงขึ้น

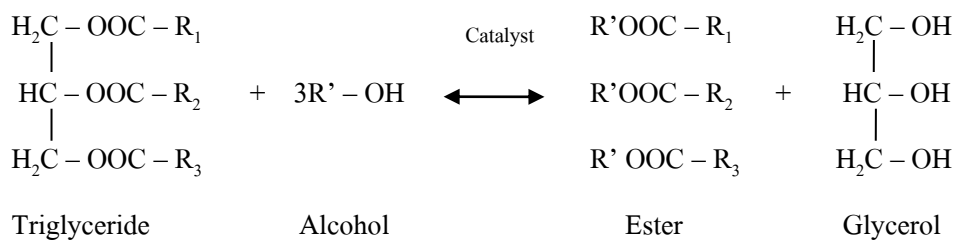


ภาพประกอบที่ 2-2 ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน (Esterification)

การเลือกใช้น้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซล นอกจากจะเป็นน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระต่ำ และมีเอสเตอร์ปนอยู่ในน้ำมันบางส่วนแล้วนั้น สาเหตุหลักๆ ยังมาจากการที่ ในการผลิตไบโอดีเซล โดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน การใช้น้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์เป็นสารตั้งต้นนั้นมีการศึกษาน้อยมาก จนไม่สามารถหาเอกสารมาอ้างอิงได้ ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าสิ่งใหม่ๆ จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจสำหรับผู้ทำงานวิจัย

2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (Transesterification)

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน หรือปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ไลซิส (Alcoholysis) เป็นการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างไขมันหรือน้ำมัน (Triglyceride) กับแอลกอฮอล์ ได้ผลิตภัณฑ์เป็น เอสเตอร์และกลีเซอรอล โดยมีตัวเร่งในปฏิกิริยา ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-3 ตัวเร่งปฏิกิริยาทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้น (เทคโนโลยีไบโอดีเซล ฉบับปฏิบัติการจริง, 2554.)



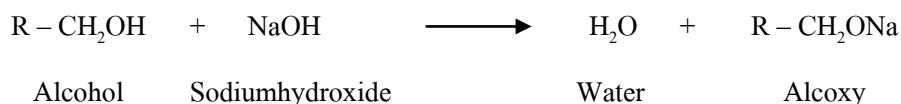
ภาพประกอบที่ 2-3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์

2.3.1) ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

การนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันจะช่วยทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและผลิตภัณฑ์เกิดได้ดีขึ้น โดยชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแบ่งได้ดังนี้

ก. ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (Base Catalyst)

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสที่ใช้กันโดยทั่วไป คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งควรใช้ทำปฏิกิริยากับเมทานอลหรือเอทานอล โดยน้ำมันที่ใช้จะเป็นชนิดใดก็ได้เช่น น้ำมันดิบ (Crude Oil) น้ำมันที่ใช้แล้ว เป็นต้น ก่อนทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันควรเปลี่ยนจากรูปเบส (NaOH, KOH) ไปเป็นในรูปของสารประกอบอัลคอกซี (Alcoxy) ก่อน โดยการเตรียมสารประกอบอัลคอกซีเป็นไปดังปฏิกิริยาเคมีในภาพประกอบที่ 2-4



ภาพประกอบที่ 2-4 ปฏิกิริยาเคมีในการเตรียมสารอัลคอกซี

สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสนี้จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วกว่าเมื่อเทียบกับการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอีกทั้งยังให้ผลิตภัณฑ์ (ไบโอดีเซล) ในปริมาณที่สูง ส่วนข้อจำกัดตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสคือน้ำและปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันดิบ (Free Fatty Acid) ถ้ามีน้ำและ

ปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในระบบของการเกิดปฏิกิริยาในปริมาณมากทำให้มีสบู่เกิดขึ้นแทนที่จะได้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นผลิตภัณฑ์

ข. ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด (Acid Catalyst)

กรดที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะทำให้ได้ผลผลิตคือน้ำมันไบโอดีเซลในปริมาณมากแต่ปฏิกิริยาจะเกิดช้ามาก อาจจะใช้เวลามากกว่า 1 วันกว่าที่ปฏิกิริยาจะเกิดอย่างสมบูรณ์ แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดสามารถใช้ได้ดีกับกลีเซอไรด์ที่มีส่วนประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวและน้ำในปริมาณสูงได้ เช่น ในน้ำมันที่ใช้แล้ว เป็นต้น

ค. เอนไซม์ไลเปส (Lipase)

เอนไซม์ไลเปสถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการต่างๆ เช่น ไฮโดรไลซิสของกลีเซอรอล แอลกอฮอล์ไลซิส (Alcoholysis) และแอซิดไลซิส (Acidolysis) ข้อดีของเอนไซม์ไลเปสคือ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ไม่มีของเสียออกมาจากกระบวนการ ข้อเสียของเอนไซม์คือ มีราคาค่อนข้างแพง

ง. ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous Catalyst)

เป็นการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวในระบบ เช่น ZrO_2 , ZnO , KNO_3/ZrO_2 , KNO_3/KL , Zeolite เป็นต้น ซึ่งการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะช่วยแก้ปัญหาการเกิดสบู่ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเมื่อใช้เบสเป็นตัวเร่งในระบบที่มีน้ำในปฏิกิริยา (ไบโอดีเซลโครงการเค-ยู ไบโอดีเซล, 2007; <http://www.biodiesel.rdi.ku.ac.th>)

2.3.2) แอลกอฮอล์ที่ใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

แอลกอฮอล์ (Alcohol) คือ สารประกอบอินทรีย์ ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) ต่อกับอะตอมคาร์บอนของหมู่แอลคิลหรือหมู่แทนที่แอลคิล สูตรทั่วไปของแอลกอฮอล์แบบอะลิฟาติก

ไฮโดรคาร์บอน (สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสายตรง) คือ $C_nH_{2n+1}OH$ แอลกอฮอล์ที่นิยมนำมาใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันคือ เมทานอลและเอทานอล

ก. เมทานอลหรือเมทิลแอลกอฮอล์

เมทานอลเป็นแอลกอฮอล์ที่นิยมใช้ในการผลิตไบโอดีเซลมากที่สุด เพราะมีราคาถูก อีกทั้งยังมีข้อดีในส่วนของคุณสมบัติทางกายภาพและด้านเคมีคือ เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก มีขั้ว ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวของเมทานอลสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับกลีเซอไรด์ได้อย่างรวดเร็ว และสามารถละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ดี ตามสัดส่วนของปฏิกิริยาเคมีพบว่าเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ต้องใช้อัตราส่วนโดยโมลแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเป็น 3:1 แต่ในทางปฏิบัติต้องใช้อัตราส่วนที่มากกว่านั้น ซึ่งหลังจากที่ปฏิกิริยาสิ้นสุดลงแล้วผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นของผสมระหว่าง เอสเตอร์ กลีเซอรอล แอลกอฮอล์ ตัวเร่งปฏิกิริยา ไตร-, ได- และโมโนกลีเซอไรด์ เพราะฉะนั้น การทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์จึงเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยาก เพราะถ้าไบโอดีเซลมีส่วนผสมของโมโนกลีเซอไรด์จะทำให้ไบโอดีเซลเกิดการแข็งตัวง่าย ทั้งนี้ถ้ามีสิ่งเจือปนอยู่ในไบโอดีเซลก็จะทำให้จุดหมอกควัน (Cloud Point) และจุดไหลเท (Pour Point) มีค่าสูงขึ้นด้วย (<http://th.wikipedia.org/wiki/Methanol>)

ข. เอทานอล หรือเอทิลแอลกอฮอล์

เอทานอลเป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากการนำเอาพืชมาหมักเพื่อเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล จากนั้นจึงเปลี่ยนจากน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ โดยใช้เอนไซม์หรือกรดบางชนิดช่วยย่อย เมื่อทำให้เป็นแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 95 เปอร์เซ็นต์โดยการกลั่น ซึ่งการนำเอาเอทานอลมาเป็นทางเลือกในการผลิตไบโอดีเซลเนื่องจากปฏิกิริยาเอทานอลิซิส (Ethanolysis) เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งก่อให้เกิดการผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากธรรมชาติจริงๆ ทั้งหมด ถ้าแอลกอฮอล์นั้นได้มาจากการหมักเศษเหลือทิ้งจากการเก็บเกี่ยว (เอทานอลชีวภาพ) ซึ่งตรงกันข้ามกับเมทานอลที่ส่วนใหญ่ผลิตมาจากก๊าซสังเคราะห์ที่ได้มาจากวัตถุดิบตั้งต้นฟอสซิล (<http://th.wikipedia.org/wiki/Ethanol>)

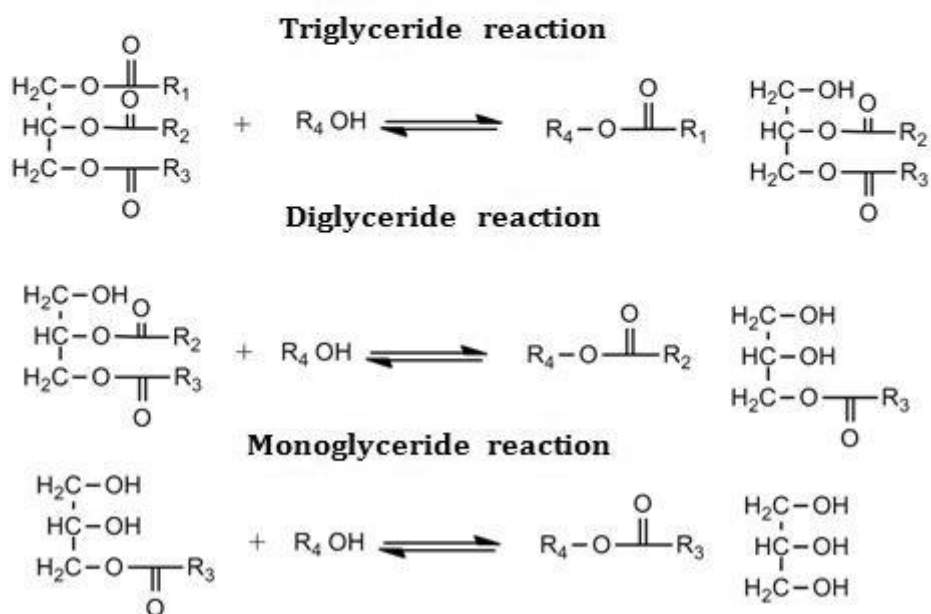
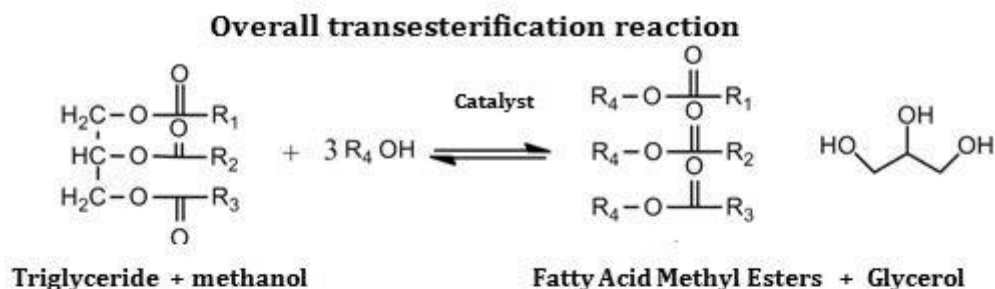
ตารางที่ 2-4 แสดงคุณสมบัติเชิงกายภาพของเมทานอลและเอทานอล

(ที่มา: <http://th.wikipedia.org/wiki/Mehanol>, <http://th.wikipedia.org/wiki/Ethanol>)

คุณสมบัติ	เมทานอล	เอทานอล
สูตรโมเลกุล	CH ₄ O	C ₂ H ₆ O
สูตรโครงสร้าง	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$
มวลโมเลกุล	32.05 g/mol	46.07 g/mol
ลักษณะ	ของเหลวใส ไม่มีสี	ของเหลวใส ไม่มีสี
ความหนาแน่น	0.7918 g/cm ³ ที่ 20 °C, ของเหลว	0.789 g/cm ³ ที่ 20 °C, ของเหลว
จุดเดือด	64.7 °C; 148.4 °F; 337.8 K	78.4 °C; 173 °F; 352 K
จุดหลอมเหลว	-97 °C; -142.9 °F; 176 K	-114.3 °C; -174 °F; 159 K
ความหนืด	0.59 mP ที่ 20 °C	1.20 mP ที่ 20 °C
pK _a	15.5	15.9

2.3.3) กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันประกอบด้วย ปฏิกิริยาย่อยแบบผันกลับได้ 3 ขั้นตอนย่อย นั่นคือ 1. ไตรกลีเซอไรด์เปลี่ยนเป็นไดกลีเซอไรด์ 2. ไดกลีเซอไรด์เปลี่ยนเป็นโมโนกลีเซอไรด์ 3. โมโนกลีเซอไรด์ ซึ่งสุดท้ายได้เป็นเอสเทอร์กับกลีเซอรอลดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-5 จากกลไกข้างล่างพบว่าแต่ละขั้นตอนย่อยจะได้ 1 โมลของเอสเทอร์



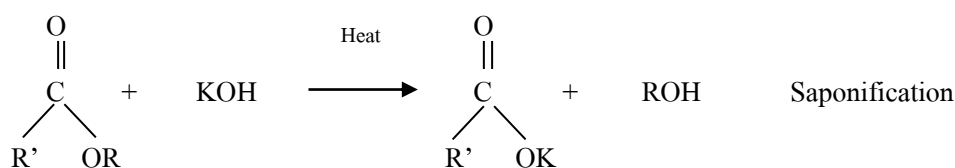
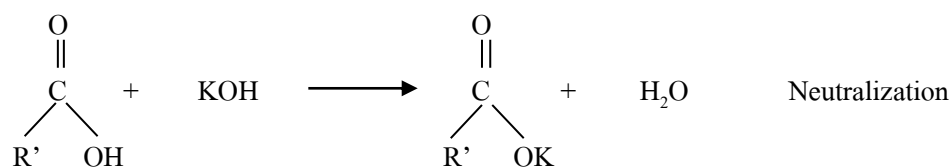
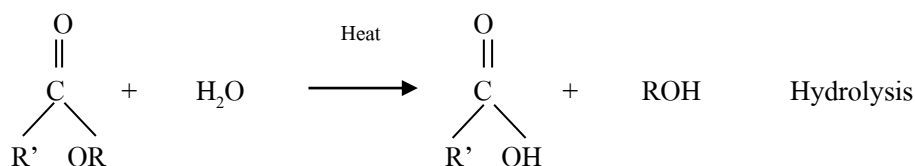
ภาพประกอบที่ 2-5 กลไกการปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์
(ที่มา: Mario Nieves-Soto และคณะ, 2012)

2.3.4) ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

ก. ผลของความชื้นและกรดไขมันอิสระ

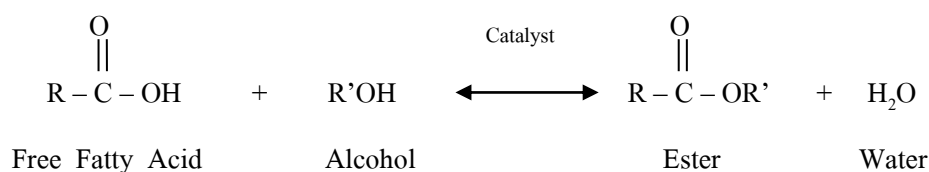
สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (NaOH, KOH, คาร์บอเนต เป็นต้น) กลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์ที่ใช้จะต้องไม่มีน้ำเป็นส่วนผสม เพราะน้ำเป็นสาเหตุทำให้เกิดสบู่ขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยาดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-6 สบู่ที่เกิดขึ้นจะไปลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลง นอกจากนั้นยังส่งผลต่อคุณสมบัติของน้ำมัน

ไบโอดีเซลคือ ทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้น ทำให้น้ำมันมีลักษณะเป็นเจลและยากต่อการแยก
ไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอลด้วย



ภาพประกอบที่ 2-6 ปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Saponification)

จากรูปจะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่ทำให้ปฏิกิริยาการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเกิดสบู่ได้ นอกจากน้ำแล้วยังมีกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) ที่มีอยู่ในน้ำมันวัตถุดิบ ดังนั้นในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมันวัตถุดิบควรมีค่าความเป็นกรด (Acid value) ไม่เกิน 4 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม เพราะการมีกรดไขมันอิสระในน้ำมันวัตถุดิบที่มากเกินไปจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ (ไบโอดีเซล) น้อยลง แต่สำหรับน้ำมันวัตถุดิบที่ค่าความเป็นกรดสูง (มากกว่า 4 มิลลิกรัมต่อกรัม) จะต้องนำน้ำมันมาทำการลดค่าความเป็นกรดลง โดยให้ทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันซึ่งใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Acid esterification) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2-7 แล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่อ (Ramadhas และคณะ, 2005)



ภาพประกอบที่ 2-7 ปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ข. ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลอย่างมากต่อการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับ เพราะฉะนั้นแอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยาจะต้องใช้ในปริมาณที่มากเกินไปเพื่อที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดไปทางขวามากขึ้น ซึ่งก็จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้นเช่นกัน โดยในภาพประกอบที่ 2-5 สัดส่วนที่ใช้ในปฏิกิริยาคือ 3 โมลของแอลกอฮอล์ต่อ 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์ ดังนั้นจึงใช้อัตราส่วนมากเท่าไรก็จะทำให้ได้เอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) มากขึ้นเท่านั้น และภายในเวลาที่สั้นลงด้วย อัตราส่วน 6:1 เป็นค่าที่ถูกรู้ใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมซึ่งพบว่าได้เมทิลเอสเทอร์มากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์ (Fukuda et al., 2001)

ค. ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแบ่งออกได้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส กรด หรือ เอนไซม์ กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดเร็วกว่าเมื่อใช้กรดเป็นตัวเร่ง แต่อย่างไรก็ตามกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอิสระในปริมาณมากและมีน้ำผสมอยู่ด้วยการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเหมาะสมกว่า โดยในตารางที่ 2-5 คือตารางที่เปรียบเทียบข้อแตกต่างของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด เบส กรด และเอนไซม์

เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสที่ความเข้มข้น 0.5–1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะทำให้ผลได้ผลิตภัณฑ์ 94 – 99 เปอร์เซ็นต์ การเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาเบสไม่ได้เป็นการช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดมากขึ้น แต่กลับเพิ่มค่าใช้จ่ายในขั้นตอนของการล้างเอาตัวเร่งปฏิกิริยาเบสออกจากผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 2-5 การเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด เบส กรด และเอนไซม์

(ที่มา: Marchetti และคณะ, 2005)

ตัวแปร	ตัวเร่งชนิดเบส	ตัวเร่งชนิดกรด	เอนไซม์ไลเปส
อุณหภูมิ (°C)	60 – 70	55 – 80	30 – 40
กรดไขมันอิสระในน้ำมัน	เกิดสบู่	เกิดเอสเทอร์	เกิดเอสเทอร์
น้ำในน้ำมัน	มีผลกระทบต่อการศึกษา เกิดปฏิกิริยา	มีผลกระทบต่อการศึกษา เกิดปฏิกิริยา	ไม่มีผลกระทบต่อการศึกษา
ปริมาณเมทิลเอสเทอร์	ปกติ	ปกติ	สูง
การ Recovery กลีเซอรอล	ยาก	ยาก	ง่าย
การทำให้เมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์	ทำการล้างซ้ำ	ทำการล้างซ้ำ	ไม่ต้องล้าง
ราคา	ถูก	ถูก	ค่อนข้างแพง

ง. ผลของเวลาและอุณหภูมิการทำปฏิกิริยา

อัตราการเกิดไบโอดีเซลจะแปรผันโดยตรงกับเวลา นั่นคือ ถ้าเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นก็จะทำให้ได้ปริมาณเอสเทอร์มากขึ้นเช่นกัน อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันอย่างมาก อย่างไรก็ตามถ้าเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาให้เพียงพอปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายใต้อุณหภูมิห้อง แต่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเดือดของแอลกอฮอล์ที่ใช้เช่น ถ้าเป็นเมทานอลอุณหภูมิที่ใช้คือ 60 – 70 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ (โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา)

จ. ผลของอัตราการกวนผสม

การกวนผสมนับเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมาก สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เพราะน้ำมันหรือไขมันที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลนั้นไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นจึงต้องมีการกวนผสมให้เนื้อสารสัมผัสกันปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจึงจะเกิดและได้เป็นไบโอดีเซล

2.4 ตัวทำละลายร่วม (Co-solvent)

ตัวทำละลาย (Solvent) เป็นของเหลวที่สามารถละลายตัวถูกละลายที่เป็นของแข็งของเหลว หรือแก๊ส ได้เป็นสารละลาย ตัวทำละลายที่คุ้นเคยมากที่สุดและใช้ในชีวิตประจำวันคือน้ำ สำหรับคำจำกัดความที่อ้างถึงตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent) จะหมายถึงตัวทำละลายอีกชนิดที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ (Organic compound) และมีคาร์บอนอะตอมอยู่ด้วย โดยปกติตัวทำละลายจะมีจุดเดือดต่ำและระเหยง่าย หรือสามารถกำจัดโดยการกลั่นได้ โดยทั่วไปแล้วตัวทำละลายไม่ควรทำปฏิกิริยากับตัวถูกละลาย คือมันจะต้องมีคุณสมบัติเฉื่อยทางเคมี ปกติตัวทำละลายจะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี และส่วนใหญ่จะมีกลิ่นเฉพาะตัว ความเข้มข้นของสารละลายคือจำนวนสารประกอบที่ละลายในตัวทำละลายในปริมาตรที่กำหนดการละลาย (Solubility) คือจำนวนสูงสุดของสารประกอบที่ละลายได้ในตัวทำละลายตามปริมาตรที่กำหนดที่อุณหภูมิเฉพาะ (<http://th.wikipedia.org/wiki/Solvent>)

สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันในการผลิตไบโอดีเซลจะใช้ตัวทำละลายที่เป็นแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล เอทานอล เป็นต้น แต่บางครั้งอาจมีการเติมตัวทำละลายที่สองเพิ่มเข้าไปในปฏิกิริยา ซึ่งตัวทำละลายที่เติมลงไปนี้จะเรียกว่า ตัวทำละลายร่วม (Co-solvent) ซึ่งจะทำให้หน้าที่ในการช่วยให้ตัวทำละลายหลักอย่างแอลกอฮอล์สามารถละลายเข้ากับน้ำมันได้ดียิ่งขึ้น โดยที่ตัวทำละลายจะเป็นสารเฉื่อยสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ซึ่งจะไม่รบกวนการเกิดปฏิกิริยา

ตัวทำละลายแบ่งออกเป็นกลุ่มต่างๆ เช่น Non-Polar , Polar Aprotic และ Polar Protic Solvents ดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 แสดงคุณสมบัติเชิงกายภาพของตัวทำละลายกลุ่ม Non-Polar, Polar Aprotic และ Polar Protic Solvents

ตัวทำละลาย	สูตรเคมี	จุดเดือด (°C)	Polarity	ความหนาแน่น (g/ml)
Non-Polar Solvents				
Methyl tert-butyl ether (MTBE)	$(\text{CH}_3)_3\text{-O-CH}_3$	55	1.7	0.740
เฮกเซน	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$	69	2.0	0.655
เบนซีน	C_6H_6	80	2.3	0.879
โทลูอีน	$\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3$	111	2.4	0.867
Diethyl ether	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-CH}_3$	35	4.3	0.713
คลอโรฟอร์ม	CHCl_3	61	4.8	1.498
Ethyl acetate	$\text{CH}_3\text{-C(=O)-O-CH}_2\text{-CH}_3$	77	6.0	0.894
Tetrahydrofuran (THF)	$\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-CH}_2\text{-}$	66	7.5	0.886
Methylene chloride	CH_2Cl_2	40	9.1	1.326
Polar Aprotic Solvents				
Acetone	$\text{CH}_3\text{-C(=O)-CH}_3$	56	21	0.786
Acetonitrile (MeCN)	$\text{CH}_3\text{-C}\equiv\text{N}$	82	37	0.786

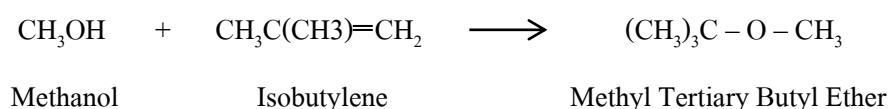
ตารางที่ 2-6 แสดงคุณสมบัติเชิงกายภาพของตัวทำละลายกลุ่ม Non-Polar, Polar Aprotic และ Polar Protic Solvents

(-ต่อ)

ตัวทำละลาย	สูตรเคมี	จุดเดือด (°C)	Polarity	ความหนาแน่น (g/ml)
Non-Polar Solvents				
Dimethylformamide (DMF)	$\text{H-C(=O)N(CH}_3)_2$	153	38	0.944
Polar Protic Solvents				
Dimethyl sulfoxide (DMSO)	$\text{CH}_3\text{-S(=O)-CH}_3$	189	4.7	1.092
กรดน้ำส้ม	$\text{CH}_3\text{-C(=O)OH}$	118	6.2	1.049
<i>n</i> -Butanol	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$	118	18	0.810
Isopropanol	$\text{CH}_3\text{-CH(OH)-CH}_3$	82	18	0.785
<i>n</i> -Propanol	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$	97	20	0.803
เอทานอล	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$	79	24	0.789
เมทานอล	$\text{CH}_3\text{-OH}$	65	33	0.791
กรดฟอร์มิก	H-C(=O)OH	100	58	1.21
น้ำ	H-O-H	100	80	0.998

ตัวทำละลายร่วมที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ Methyl tert-butyl ether (MTBE) โดยมีชื่อเรียกทางเคมีอีกชื่อคือ 2-Methoxy-2-Methylpropane ค้นพบโดยนักเคมีชาวอังกฤษในปี ค.ศ.1842 MTBE เป็นสารเคมีที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างเมทานอลและไอโซบิวทิลีน มีสูตรเคมีคือ $\text{CH}_3\text{OC}(\text{CH}_3)_3$ มวลโมเลกุลเท่ากับ 88.15 กรัมต่อโมล มีจุดเดือด 55.2 องศาเซลเซียส และความหนาแน่น 0.7404 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ปฏิกิริยาเคมีของสาร MTBE



MTBE เป็นสารระเหยง่าย มีกลิ่นฉุน และสามารถละลายน้ำได้น้อย MTBE เป็นสารเคมีที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ผลิตภัณฑ์ได้จากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่าง Methanol และ Isobutane ที่ผ่านมาในอุตสาหกรรมโรงกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมได้มีการนำสารดังกล่าวมาใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเติมลงในน้ำมันเบนซิน เพื่อช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ออกมาจากไอเสียของรถยนต์ และช่วยเพิ่มค่าออกเทนของน้ำมันแทนสารตะกั่ว ต่อมาสหรัฐอเมริกาได้ตรวจสอบพบว่า มีการปนเปื้อนของสาร MTBE ในน้ำใต้ดินในบางรัฐ เนื่องจากถังน้ำมันของสถานีบริการเกิดการรั่วซึม เป็นผลทำให้น้ำดื่มที่ผลิตจากน้ำบาดาลมีกลิ่นและรสเปลี่ยนไป จากปัญหาที่เกิดขึ้นจึงทำให้เกิดกระแสต่อต้านการนำสาร MTBE มาใช้ในน้ำมันเบนซิน ประกอบกับในขณะนั้นยังไม่มีเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่จะกำจัดสาร MTBE ที่ปนเปื้อนได้ ทำให้หน่วยงานของภาครัฐบาลในมลรัฐแคลิฟอร์เนียได้ออกกฎหมายบังคับให้มีการยกเลิกการใช้สารดังกล่าวในน้ำมันเบนซิน ตั้งแต่วันที่ 31 ธันวาคม 2545 เป็นต้นไป และทางสภา คองเกรสได้นำปัญหาผลกระทบที่เกิดขึ้นไปพิจารณาในสภาด้วย ซึ่งขณะนี้ยังไม่มีข้อสรุป อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาความเป็นพิษของ MTBE หน่วยงานวิจัยมะเร็งขององค์การอนามัยโลก และหน่วยงานวิจัยต่าง ๆ ทั้งของสหรัฐอเมริกาและยุโรป พบว่า MTBE ไม่ได้จัดเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์

นอกจากที่ MTBE จะเป็นสารเติมแต่งในน้ำมันเบนซินแล้ว สำหรับการผลิตไบโอดีเซล MTBE ยังทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย ซึ่งมักจะใช้เป็นตัวทำละลายร่วมกับแอลกอฮอล์ในปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันหรือปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน เพื่อช่วยให้ตัวทำละลายหลักอย่างเมทานอลหรือเอทานอลสามารถละลายเข้ากันได้ดีมากขึ้นกับน้ำมัน โดยที่ MTBE จะทำหน้าที่เป็นสารละลาย ไม่ทำปฏิกิริยากับสารใดๆในระบบ และอีกสาเหตุหลักที่เลือกใช้ MTBE เป็นตัวทำละลายร่วมในงานวิจัยนี้ เนื่องจาก MTBE เป็นตัวทำละลายที่มีราคาถูกเมื่อเทียบกับตัวทำละลายชนิดอื่นๆ มีจุดเดือดต่ำทำให้ง่ายต่อการแยกกลับคืนมาใช้ใหม่ และมีการนำมาใช้ได้จริงในระดับอุตสาหกรรม

นอกจาก MTBE แล้วยังมีตัวทำละลายอื่นๆที่นิยมนำมาใช้เป็นตัวทำละลายร่วมกับแอลกอฮอล์ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลได้แก่

1.) Tetrahydrofuran (THF) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่อยู่ในกลุ่มเฮเทอโรไซคลิก (Heterocyclic) เป็นของเหลว ไม่มีสี สามารถละลายน้ำและของเหลวอินทรีย์ที่มีความหนืดต่ำได้ THF มีกลิ่นคล้ายกับอะซิโตน ส่วนใหญ่จะใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตพอลิเมอร์ และนำไปใช้เป็นตัวทำละลาย

2.) Diethyl ether (DEE) เป็นสารประกอบที่อินทรีย์ที่อยู่ในกลุ่มอีเทอร์ (Ether) เป็นของเหลวระเหยง่าย ไม่มีสี ไม่มีกลิ่นฉุน เป็นสารไวไฟมาก นิยมใช้เป็นตัวทำละลาย ใช้เป็นยาสลบในทางการแพทย์ และใช้เป็นยาเบื่อสัตว์ ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์

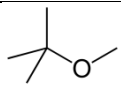
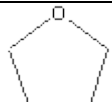
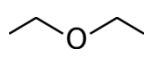
3.) Diisopropyl ether (DIPE) เป็นสารประกอบที่อินทรีย์ที่อยู่ในกลุ่มอีเทอร์ (Ether) เป็นของเหลวใส ไม่มีสี สามารถละลายน้ำได้เล็กน้อย แต่สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ ถูกนำมาใช้เป็นตัวทำละลายใช้เป็นสารสกัดและสารเติมน้ำมันเบนซินออกซิเจน DIPE เป็นผลพลอยได้จากการผลิตของ isopropanol

4.) Acetone เป็นสารประกอบที่อินทรีย์ที่อยู่ในกลุ่มคีโตน (Ketone) เป็นของเหลวที่ระเหยง่าย ไม่มีสี มีจุดหลอมเหลวที่ -95.4 องศาเซลเซียส และจุดเดือดที่ 56.53 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่ากับ 0.819 (ที่ 0 องศาเซลเซียส) ละลายได้ดีในน้ำ เอทานอล อีเทอร์ ฯลฯ

และเป็นตัวทำละลายที่สำคัญมาก การใช้งานแอซีโทนที่คุ้นเคยกันมากที่สุดคือ ใช้ในน้ำยาล้างเล็บ แอซีโทน ยังใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม พลาสติก ไฟเบอร์ ยา และ สารเคมีอื่น ๆ

5.) Toluene หรือที่รู้จักกันในชื่อ Methylbenzene หรือ Phenylmethane เป็นสารประกอบอะโรมาติก นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเป็นสารตั้งต้น และเป็นตัวทำละลายเช่นเดียวกับตัวทำละลายอื่นๆ Toluene เป็นของเหลวที่ไม่ละลายในน้ำ กลิ่นคล้ายสีทาบ้าน โทลูอีนเป็นสารระเหยที่มีคนสูดดมและเกิดอาการเสพติดได้

ตารางที่ 2-7 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของ Methyl tert-butyl ether (MTBE), Tetrahydrofuran (THF) และ Diethyl ether (DEE)

คุณสมบัติทางกายภาพ			
	Methyl tert-butyl ether	Tetrahydrofuran	Diethyl ether
สูตรโมเลกุล	$C_5H_{12}O$	C_4H_8O	$C_4H_{10}O$
สูตรโครงสร้าง			
มวลโมเลกุล	88.15 g/mol	72.11 g/mol	74.12 g/mol
ความหนาแน่น	0.7404 g/cm ³ ที่ 20 °C, ของเหลว	0.8892 g/cm ³ ที่ 20 °C, ของเหลว	0.7134 g/cm ³ ที่ 20°C, ของเหลว
จุดเดือด	55.2°C; 131.4°F; 328.3 K	66 °C; 151 °F; 339 K	34.6°C; 94.3°F; 307.8 K
จุดหลอมเหลว	-109 °C; -164 °F; 164 K	-108.4 °C; -163.1 °F; 164.8 K	-116.3 °C; -177.3 °F; 156.9 K
ความหนืด	0.36 cP ที่ 20 °C	0.48 cP ที่ 25 °C	0.224 cP ที่ 25°C
ค่าการละลายน้ำ	20 g/L ที่ 20 °C	Miscible	69 g/L ที่ 20 °C
จุดวาบไฟ	-10 °C; 14 °F; 263 K	-14 °C; 7 °F; 259 K	-45 °C; -49 °F; 230 K

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lodcam, T. (2009) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วจากการทอดอาหารโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ทำการทดลองที่สภาวะต่างๆ ได้แก่ ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 2.6, 2.9 และ 3.1 ร้อยละโดยน้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้ว ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 10, 15 และ 30 นาที อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันพืชใช้แล้วต่อเมทานอลคือ 1:9 และศึกษาการใช้ตัวทำละลายร่วมในปฏิกิริยาเพื่อเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยา โดยการปรับปรุงความสามารถในการละลายเข้าด้วยกันของเมทานอลและน้ำมันพืช ซึ่งตัวทำละลายร่วมที่ใช้คือ THF, MTBE และ DEE การทดลองทำโดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อตัวทำละลายร่วมที่ 1:0.2 จากการทดลองพบว่า สภาวะในการทดลองที่ทำให้ได้ methyl ester content สูงสุดคือ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2.6 ร้อยละโดยน้ำหนักน้ำมัน ที่อัตราการกวน 400 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 30 นาที ซึ่งสำหรับการทดลองที่ไม่ใช้ตัวทำละลายร่วมจะได้ methyl ester content 92.8 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่การทดลองที่ใช้ THF, MTBE และ DEE เป็นตัวทำละลายร่วม จะทำให้ได้ methyl ester content สูงถึง 95.8, 93.8 และ 94.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Guan, G. และคณะ (2009) ได้ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันในการผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันพืช โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีฤทธิ์เป็นกรด และใช้ DEE เป็นตัวทำละลายร่วม ในการทดลองน้ำมันพืชที่ใช้คือ น้ำมันข้าวโพด ตัวแปรที่ต้องการศึกษาคือ ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งได้แก่ p-Toluenesulfonic, Benzenesulfonic acid และ Sulfuric acid ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (1-4 ร้อยละโดยน้ำหนักน้ำมัน) อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน (3-10) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (40-80 องศาเซลเซียส) และเวลาในการทำปฏิกิริยา (1-8 ชั่วโมง) ซึ่งการทดลองดังกล่าวจะเปรียบเทียบระหว่างการเติมและไม่เติมตัวทำละลายร่วม พบว่า การเติม Diethyl ether (DEE) ลงไปจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีกว่าและให้ผลได้ของไบโอดีเซลที่มากกว่า เนื่องจาก DEE จะช่วยให้การละลายของเมทานอลกับน้ำมันเข้ากันได้ดีขึ้น และสภาวะที่ทำให้ได้ผลได้เมทิลเอสเทอร์สูงสุด (97.1 เปอร์เซ็นต์) คือ ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา p-Toluenesulfonic 4 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง

Casas, A. และคณะ (2010) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันดอกทานตะวัน โดยในการทดลองจะใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และโพแทสเซียมเมทอกไซด์ (KOCH_3) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้ MTBE เป็นตัวทำละลายร่วม ตัวแปรที่ศึกษาคือ เวลาในการทำปฏิกิริยา สัดส่วนเชิงโมลระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยากับน้ำมัน สัดส่วนเชิงโมลระหว่างเมทานอลกับน้ำมัน จากการศึกษาพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ค่าที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนโดยโมลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันเป็น 0.333:1, อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 9:1 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 5 นาที ซึ่ง methyl ester content ที่ได้คือ 98 เปอร์เซ็นต์ และค่าความเป็นกรด 1.95 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมเมทอกไซด์ค่าที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนโดยโมลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อน้ำมันเป็น 0.235:1, อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 12:1 เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 5 นาที ซึ่ง methyl ester content ที่ได้คือ 99 เปอร์เซ็นต์ และค่าความเป็นกรด 0.20 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม

Encinar, J.M. และคณะ (2010) ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันเรพซีฟกับเมทานอล โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวทำละลายร่วม ซึ่งในการทดลองจะศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อร้อยละผลได้ของไบโอดีเซล ได้แก่ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อตัวทำละลายร่วม ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา ชนิดของตัวทำละลายร่วม ซึ่งได้แก่ DEE, DBE, MTBE, DIPE, THF และ Acetone อัตราเร็วในการกวน และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยใช้เครื่อง Gas chromatography (GC) ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งจากการทดลองพบว่า DEE ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ KOH 0.7 ร้อยละโดยน้ำหนักน้ำมัน อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน คือ 9:1 อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อตัวทำละลายร่วมคือ 1:1 อัตราเร็วในการกวนคือ 700 รอบต่อนาที อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 30 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 120 นาที ซึ่ง methyl ester content ที่ได้คือ 97.6 เปอร์เซ็นต์

Trentin, C.M. และคณะ (2011) ได้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันจากน้ำมันถั่วเหลืองและเอทานอลวิกฤต ในกระบวนการที่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแบบต่อเนื่องและใช้คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เป็นตัวทำละลายร่วม ซึ่งจะทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบหลอดขนาดเล็ก โดยตัวแปรที่ต้องการศึกษาคือ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (523-598 เคลวิน) ความดัน (10-20 เมกะพาสกาล) อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล (1:20 ถึง 1:40) อัตราส่วนโดยโมลของตัวทำละลายร่วมต่อพื้นที่ผิว (0.05:1 ถึง 0.2:1) ซึ่งจากการทดลองพบว่า ผลผลิตของเอทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นเมื่อเติมคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในระบบ ซึ่งสถานะที่ทำให้ ethyl ester content สูงสุดคือ ใช้อุณหภูมิ 598 เคลวิน ความดัน 20 เมกะพาสกาล อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:20 และ อัตราส่วนโดยโมลของตัวทำละลายร่วมต่อพื้นที่ผิวเป็น 0.2:1

Muppaneni, T. และคณะ (2012) ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันคาเมลินา (Camelina oil) ภายใต้สภาวะเอทานอลวิกฤต โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายร่วม ซึ่งในการทดลองตัวแปรต่างๆที่ต้องการศึกษา ได้แก่ อัตราส่วนโดยปริมาตรของเฮกเซนต่อน้ำมัน (0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3) อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมัน (25:1 ถึง 50:1) เวลาในการทำปฏิกิริยา (2-30 นาที) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (245-320 องศาเซลเซียส) จากการทดลองพบว่า ตัวทำละลายร่วมมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความสามารถในการละลายของเอทานอลกับน้ำมันที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งทำให้ได้ผลผลิตไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นและใช้พลังงานในการผลิตน้อยลง สภาวะที่ทำให้ได้ผลได้สูงสุด (85 เปอร์เซ็นต์) คือ อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันเป็น 45:1 อัตราส่วนโดยปริมาตรของเฮกเซนต่อน้ำมัน 0.2 ใช้อุณหภูมิ 295 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 20 นาที

Muppaneni, T. และคณะ (2013) ได้ทำการศึกษาในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มภายใต้สภาวะเอทานอลวิกฤต โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายร่วม ในการทดลองจะทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งตัวแปรต่างๆที่ต้องการศึกษา ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมัน (25:1 ถึง 50:1) อัตราส่วนโดยปริมาตรของเฮกเซนต่อน้ำมัน (0.1-0.4) เวลาในการทำปฏิกิริยา (10-30 นาที) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (260-300 องศา

เซลเซียส) จากการทดลองพบว่า ตัวทำละลายร่วมดังกล่าวช่วยทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดได้ดี และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาสั้น สภาวะที่ทำให้ได้ผลได้ของไบโอดีเซลสูงสุด (91 เปอร์เซ็นต์) คือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 33:1 อัตราส่วนโดยปริมาตรของเฮกเซนต่อน้ำมัน 0.4 ใช้อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 20 นาที

Guan, G. และคณะ (2013) ได้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันดอกทานตะวัน ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้ตัวทำละลายร่วมต่างๆ ได้แก่ DME, DEE, MTBE และ THF ซึ่งจะทำการปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันในถังปฏิกรณ์แบบกะโดยเป็นระบบปิด จากการทดลองพบว่า DME เป็นตัวทำละลายร่วมที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถให้ methyl ester content ที่สูงที่สุดที่ สภาวะ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 อัตราส่วนโดยโมลของตัวทำละลายร่วมต่อเมทานอลเป็น 1:1 ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 20 นาที

Todorovic, Z.B. และคณะ (2013) ได้ทำการศึกษาผลของตัวทำละลายร่วมโดยใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีฤทธิ์เป็นด่างแบบเอกพันธ์และวิวิธพันธ์ ในปฏิกิริยามะทาโนไลซิสของน้ำมันดอกทานตะวัน ในปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์จะใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้ THF เป็นตัวทำละลายร่วม ซึ่งจะทำการปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลของของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 ส่วนในปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์จะใช้แคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดของแข็ง และใช้ตัวทำละลายร่วมต่างๆ ได้แก่ THF, n-Hexane, Dioxane, Diethyl ether, Triethanolamine, Ethyl acetate และ Methyl ethyl ketone ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลของของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 จากการทดลองพบว่า ความแตกต่างของชนิดของตัวทำละลายร่วมมีผลต่อร้อยละผลได้ของเมทิลเอสเทอร์และอัตราการเกิดปฏิกิริยา โดยในปฏิกิริยาที่ใช้ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา THF จะมีผลในเชิงบวกเมื่อปริมาณของ THF มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และในปฏิกิริยาที่ใช้ CaO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า THF และ n-Hexane จะมีผลในเชิง

บวกเพียงเล็กน้อยเมื่อใช้ในปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วน Triethanolamine และ Ethyl acetate จะไม่มีผลต่อปฏิกิริยา สำหรับ Dioxane, Diethyl ether และ Methyl ethyl ketone จะมีผลในเชิงลบ

Chinputtanawanich, S. และคณะ (2013) ได้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันแพะโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันและใช้โทลูอินเป็นตัวทำละลายร่วมกับเมทานอล โดยการทดลองจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และตัวแปรที่ต้องการจะศึกษาคือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมัน อุณหภูมิ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาในการทำปฏิกิริยา และตัวทำละลายร่วม ผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากไขมันแพะโดยไม่ใช้ตัวทำละลายร่วม คือ อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 12:1 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.75 ร้อยละ โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 60 นาที จะได้ methyl ester content มากกว่า 99.9 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันที่ต่ำกว่า 9:1 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะไม่สมบูรณ์ เป็นไขง่าย จึงลดความเป็นไขลงด้วยการเติมตัวทำละลายร่วมในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยใช้โทลูอินเป็นตัวทำละลายที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตรแอลกอฮอล์ เพื่อเพิ่มการละลายระหว่างน้ำมันกับแอลกอฮอล์ให้ดีขึ้น ปฏิกิริยาที่ได้สมบูรณ์จะได้ methyl ester content ที่เกิดขึ้นมากกว่า 84 เปอร์เซ็นต์ จึงมีความเป็นไปได้ในการนำตัวทำละลายร่วมมาใช้กับวัตถุดิบที่เป็นไขง่ายที่อุณหภูมิห้องในการผลิตไบโอดีเซล

Alhassan, Y. และคณะ (2014) ได้ทำการศึกษาตัวทำละลายร่วมในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันเมล็ดงา โดยใช้ตัวทำละลายคือ เมทานอล และใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งตัวทำละลายร่วมที่ต้องการศึกษาได้แก่ DEE, Dichlorobenzene และ Acetone สภาวะที่เหมาะสมที่ต้องการศึกษาได้แก่ อัตราส่วนโดยปริมาตรของเมทานอลต่อตัวทำละลายร่วม ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดงาคือ ใช้ตัวทำละลายร่วมที่เป็น CNB และ ACT 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในเมทานอล แต่สำหรับ DEE จะใช้ 30 ร้อยละโดยปริมาตรในเมทานอล ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.75 ร้อยละ โดยน้ำหนักน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุ

3.1.1 วัสดุดิบ

Esterified palm oil, สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจมน้ำมันปาล์มและพืช
น้ำมัน

น้ำมันปาล์มเอสเตอริไฟด์ (Esterified Palm Oil) คือน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการเอสเตอริไฟเคชัน เพื่อช่วยให้น้ำมันปาล์มที่ได้มีปริมาณกรดไขมันอิสระลดลงทำให้สามารถนำไปผ่านกระบวนการทรานส์เอสเตอริไฟเคชันต่อไปได้ ซึ่งน้ำมันปาล์มเอสเตอริไฟด์ที่นำมาทำการทดลองมีกรดไขมันอิสระ 0.54 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน มี ethyl ester content ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน และมีปริมาณน้ำ 0.163 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน



ภาพประกอบที่ 3-1 ลักษณะภายนอกของน้ำมันปาล์มเอสเตอริไฟด์

3.1.2 สารเคมี

1. เอทานอล (C₂H₅OH, Commercial grade) ความเข้มข้น 99.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
2. เมทานอล (CH₃OH, Commercial grade) ความเข้มข้น 99.9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
3. โพแทสเซียมเมทอกไซด์ (KOCH₃, Commercial grade) ละลายในเมทานอล ความเข้มข้น 32 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
4. กรดซัลฟิวริก (H₂SO₄, Commercial grade) ความเข้มข้น 99 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
5. กรดไฮโดรคลอริก (HCl, Analytical grade) ความเข้มข้น 37 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, Analytical grade)
7. ไอโซโพรพานอล (Isopropanol, Commercial grade) ความเข้มข้น 99.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
8. ฟีนอล์ฟทาลินอินดิเคเตอร์
9. โบรโมฟีนอลบลูอินดิเคเตอร์
10. สารเคมีที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณกลีเซอรอล

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาแสดงดังภาพประกอบที่ 3-2 โดยมีรายละเอียดดังนี้
 หมายเลข 1 รีฟลักซ์คอนเดนเซอร์ ใช้สำหรับให้เอทานอลและ MBTE ที่ระเหย
 ควบแน่นกลับไปยังขวด 3 คอ

หมายเลข 2 ขาดังและแคลมป์ ใช้สำหรับยึดจับรีฟลักซ์คอนเดนเซอร์

หมายเลข 3 เทอร์โมมิเตอร์ ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิในขวด 3 คอ ขณะที่ทำปฏิกิริยา

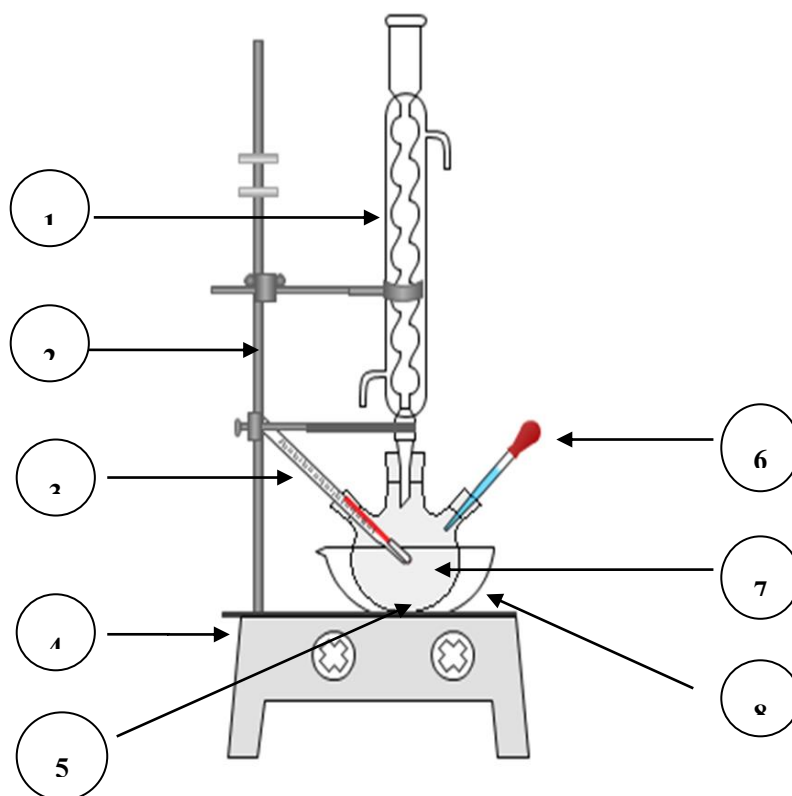
หมายเลข 4 ฮีตเตอร์ ใช้สำหรับให้ความร้อนแก่สารที่เข้าทำปฏิกิริยา

หมายเลข 5 แท่งแม่เหล็กกวน ใช้สำหรับกวนให้สารที่เข้าทำปฏิกิริยาผสมกันได้ดีขึ้น

หมายเลข 6 หลอดหยอดหรือปิเปต ใช้สำหรับดึงสารตัวอย่างมาวิเคราะห์หาค่าต่างๆ

หมายเลข 7 ขวด 3 คอ ขนาด 500 มิลลิลิตร ใช้เป็นเครื่องปฏิกิริยาในการทำปฏิกิริยา

หมายเลข 8 อ่างน้ำมัน ใช้สำหรับควบคุมความร้อนของสารให้เท่ากันทั่วทั้งขวด



ภาพประกอบที่ 3-2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องแก้วสำหรับการวิเคราะห์

1. ขวดรูปชมพู่ (flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร ใช้สำหรับใส่สารตัวอย่างและสารละลาย
2. บิวเรต (burette) ขนาด 25 มิลลิลิตร ใช้สำหรับใส่สารละลายกรดไฮโดรคลอริกและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
3. ขาตั้ง (stand) และแคลมป์ (clamp) ใช้สำหรับยึดจับบิวเรต
4. บีกเกอร์ (beaker) ขนาด 100 และ 250 มิลลิลิตร ใช้สำหรับใส่สารละลายต่างๆ
5. หลอดหยด (dropper) ใช้สำหรับดูดสารละลายหรือสารตัวอย่าง
6. กระบอกตวง (cylinder) ขนาด 50 มิลลิลิตร ใช้สำหรับตวงสารละลายไอโซโพรพานอล
7. เครื่องชั่ง (weighing machine) ทศนิยม 2 ตำแหน่ง ใช้สำหรับชั่งสารตัวอย่าง
8. โถดูดความชื้น (desiccator) ใช้สำหรับเก็บใบโอดีเซลหลังจากการระเหยน้ำเพื่อให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง
9. ตู้อบ (oven) ใช้สำหรับระเหยเอทานอลและ MTBE เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา

3.3 วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้จะเป็นการผลิตใบโอดีเซลโดยวิธีการทำปฏิกิริยาแบบทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้จะใช้น้ำมันปาล์มเอสเตอริไฟด์เป็นสารตั้งต้นในการผลิต ใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ใช้ MTBE เป็นตัวทำละลายร่วม และใช้โพแทสเซียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งวิธีการทดลองมีดังนี้

- 1.) นำน้ำมันปาล์มเอสเตอริไฟด์ผสมกับ MTBE ลงในขวด 3 คอ ให้ความร้อนให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการ

- 2.) เตรียมเอทานอลและโพแทสเซียมเมทอกไซด์ตามสัดส่วนที่ต้องการทดลอง
- 3.) นำสารผสมที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 เติลงในขั้นตอนที่ 1 เริ่มกวนและจับเวลาในการทำปฏิกิริยา
- 4.) เทสารผสมที่ได้ลงในกรวยแยก และตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการแยกชั้นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการแยกชั้นที่ดี
- 5.) หลังจากแยกชั้น ชั้นบนจะเป็นเอทิลเอสเทอร์ ส่วนชั้นล่างจะเป็นกลีเซอรอล ให้นำแต่ละชั้นไปเช็คความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือ ปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น ปริมาณกลีเซอรอลที่เกิดขึ้น และปริมาณเอทานอลที่เหลือ
- 6.) ล้างเอทิลเอสเทอร์ด้วยน้ำร้อนหลายๆครั้ง จนกระทั่งน้ำล้างมีความเป็นกลาง (pH 7)
- 7.) ระเหยน้ำออก โดยการนำเอทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการล้างไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 8.) นำเอทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลที่ได้ไปวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์และคำนวณหาร้อยละของไบโอดีเซลที่ได้

โดยรายละเอียดของขั้นตอนในการทดลองมีดังนี้

กิจกรรมที่ 1 จัดหาวัตถุดิบและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง และศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ตรวจสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มเอสเทอร์ฟายด์ ดังนี้

1. วัดความหนาแน่นของน้ำมันปาล์มเอสเทอร์ฟายด์ โดยใช้เครื่องมือ Pycnometer
2. หา ethyl ester content ในน้ำมันปาล์มเอสเทอร์ฟายด์ โดยวิธีวิเคราะห์แบบไทเทรตกลีเซอรอล แล้วคำนวณหาค่า ethyl ester content การวิเคราะห์โดยวิธีนี้เนื่องจากในน้ำมันปาล์มเอสเทอร์ฟายด์ที่นำมาใช้มี ethyl ester content อยู่น้อย ทำให้การวัดโดยใช้เครื่องมือ Gas Chromatography และกะประมาณด้วยไมโครเวฟไม่แม่นยำ เพราะทั้งสองวิธีนี้เหมาะสำหรับการวัดเอทิลเอสเทอร์ที่มีปริมาณสูงๆ (เอทิลเอสเทอร์ 90 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป)

3. หาปริมาณกรดไขมันอิสระ โดยวิธีวิเคราะห์แบบไทเทรต

4. หาปริมาณน้ำในน้ำมันปาล์มเอสเทอร์ไฟลด์ โดยวิธีวิเคราะห์แบบไทเทรตด้วยเครื่อง Karl Fischer Coulometry

กิจกรรมที่ 2 ทำการทดลองหาความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม

โดยในการทดลองจะเลือกใช้โพแทสเซียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากการศึกษาพบว่าโพแทสเซียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำปฏิกิริยาได้ดีที่สุดสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ซึ่งในการทดลองจะทำการทดลองโดยการเปรียบเทียบการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันระหว่างการใช้และไม่ใช้ MTBE เป็นตัวทำละลายร่วมกับเอทานอล ซึ่งในการทดลองจะกำหนดอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันเป็น 5:1 และอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ MTBE เป็น 1:0.2 การทำปฏิกิริยาทั้งสองแบบจะใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และจะทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโพแทสเซียมเมทอกไซด์ ตั้งแต่ 0.5 - 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันเพื่อหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพียงพอและเหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน

กิจกรรมที่ 3 ทำการทดลองหาอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ MTBE ที่เหมาะสม

โดยในการทดลองจะทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันเป็น 5:1 ส่วนความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาจะเลือกใช้ปริมาณที่เหมาะสมจากกิจกรรมที่ 2 ซึ่งในแต่ละการทดลองจะทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ MTBE ซึ่งจะทดลองตั้งแต่อัตราส่วน 1:0 ถึง 1:0.5 เพื่อหาปริมาณของ MTBE ที่ต้องใช้ให้เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

กิจกรรมที่ 4 ทำการทดลองหาอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเอทานอลที่เหมาะสม

โดยในการทดลองจะทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ส่วนความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาจะเลือกใช้ปริมาณที่เหมาะสมจากกิจกรรมที่ 2 และอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ MTBE จะเลือกใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมจากกิจกรรมที่ 3

ซึ่งในแต่ละการทดลองจะเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมัน ซึ่งจะทดลองตั้งแต่อัตราส่วน 1:4 ถึง 1:8 เพื่อหาปริมาณเอทานอลที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

กิจกรรมที่ 5 ทำการทดลองหาเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม

โดยในการทดลองจะทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาจะเลือกใช้ใช้ปริมาณที่เหมาะสมจากกิจกรรมที่ 2 อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ MTBE จะเลือกใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมจากกิจกรรมที่ 3 และอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลน้ำมัน จะเลือกใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมจากกิจกรรมที่ 4 ซึ่งในแต่ละการทดลองจะเปลี่ยนแปลงเวลาในการทำปฏิกิริยาตั้งแต่ 5-60 นาที เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

กิจกรรมที่ 6 ทำการทดลองหาอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม

โดยจะทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาจะเลือกใช้ปริมาณที่เหมาะสมจากกิจกรรมที่ 2 อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ MTBE จะเลือกใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมจากกิจกรรมที่ 3 อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมัน จะเลือกใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมจากกิจกรรมที่ 4 และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมจะเลือกใช้เวลาที่เหมาะสมจากกิจกรรมที่ 5 ซึ่งในแต่ละการทดลองจะเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาตั้งแต่ 50-80 องศาเซลเซียส เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

กิจกรรมที่ 7 ทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการใช้ MTBE และ THF เป็นตัวทำละลายร่วม และการใช้ตัวทำละลายร่วมในปฏิกิริยา

โดยจะทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยเลือกใช้สภาวะที่เหมาะสมของกิจกรรมที่ 1-6 แต่เปลี่ยนตัวทำละลายร่วมจาก MTBE เป็น THF เพื่อเปรียบเทียบว่าระหว่าง MTBE และ THF ตัวทำละลายตัวไหนจะสามารถช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ดีกว่าและให้ผลได้ของไบโอดีเซลที่มากกว่า และระหว่างการใช้ตัวทำละลายร่วมและไม่ใช้ตัวทำละลายร่วมให้ผลการทดลองที่แตกต่างกันอย่างไร

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มเอสเตอร์ไฟยด์

4.1.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มเอสเตอร์ไฟยด์

Esterified palm oil ซึ่งได้รับจาก สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมัน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยนำน้ำมันที่ได้มาตรวจสอบคุณสมบัติเบื้องต้น ซึ่งจะมีการทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง คุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มเอสเตอร์ไฟยด์ที่ได้จะแสดงดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 แสดงคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มเอสเตอร์ไฟยด์

คุณสมบัติเบื้องต้น	
น้ำหนักโมเลกุล (กรัมต่อ โมล)	847
ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)	0.87
ethyl ester content (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	20.27
กรดไขมันอิสระ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	0.54
ปริมาณน้ำ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	0.163

4.1.2 การทดสอบเพื่อสังเกตลักษณะการละลายของน้ำมันปาล์มเอสเตอร์ไฟยด์ เอทานอล และ MTBE

โดยการผสมน้ำมันปาล์มเอสเตอร์ไฟยด์ เอทานอลและ MTBE เข้าด้วยกัน ซึ่งอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์มเอสเตอร์ไฟยด์จะใช้เป็นอัตราส่วนคงที่ที่ 5:1 สำหรับทุกๆการทดลอง ซึ่งปริมาณหรือมาตราที่ใช้จะแสดงดังตารางที่ 4-2 และอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ MTBE จะผสมในสัดส่วนต่างๆ ตั้งแต่ 1:0 ถึง 1:0.5 แสดงดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-2 แสดงอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มเอสเทอร์ไฟยด์และเอทานอลที่ใช้ผสมกัน

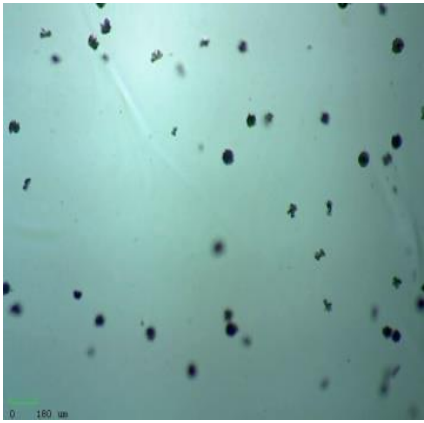
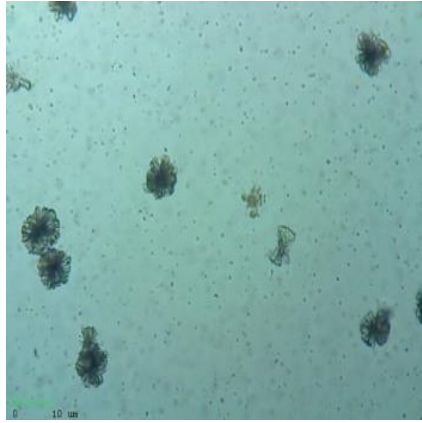
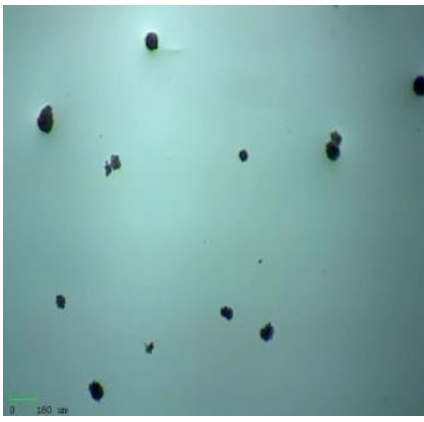
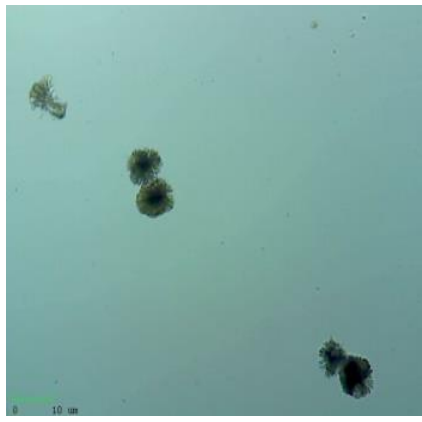
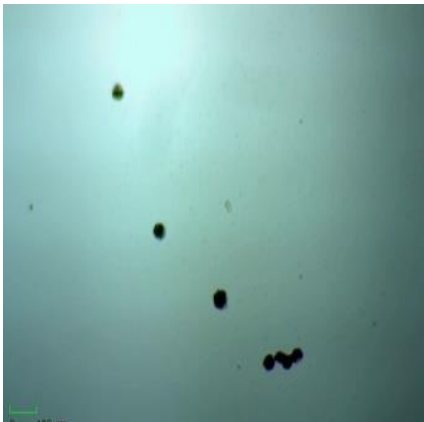
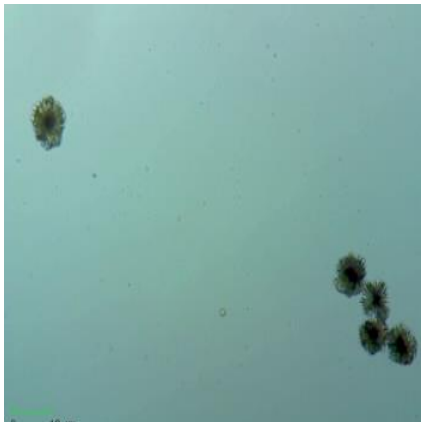
น้ำมันปาล์มเอสเทอร์ไฟยด์		เอทานอล	
โมล (mole)	กรัม (g)	โมล (mole)	กรัม (g)
1	30	5	8.15

ตารางที่ 4-3 แสดงอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอล และ MTBE ที่จะใช้ผสม

การทดลองที่	เอทานอล		MTBE	
	โมล (mole)	กรัม (g)	โมล (mole)	กรัม (g)
1	5	8.15	0	0
2	5	8.15	0.1	1.56
3	5	8.15	0.2	3.12
4	5	8.15	0.3	4.68
5	5	8.15	0.4	6.24
6	5	8.15	0.5	7.81

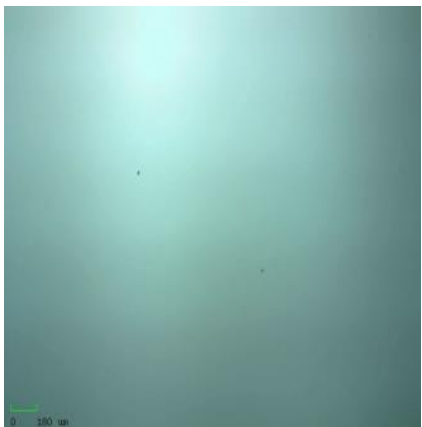





เมื่อนำน้ำมันปาล์มเอสเทอร์ไฟยด์ เอทานอล และ MTBE ในแต่ละการทดลองผสมเข้าด้วยกันในสถานะแบบปิด ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และทำการกวนสารละลายเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปใส่กรวยแยกเพื่อดูว่าสารละลายผสมดังกล่าวจะเกิดการแยกชั้นหรือไม่ โดยพบว่าทั้ง 6 การทดลองไม่มีการแยกชั้น และเมื่อดูด้วยตาเปล่าจะพบว่าสารผสมดังกล่าวเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเพื่อตรวจสอบว่าสารละลายดังกล่าวเป็นเนื้อเดียวกันจริงหรือไม่ ซึ่งภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะแสดงในตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 แสดงรูปภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของสารผสมระหว่างน้ำมัน เอทานอล และ MTBE ในสัดส่วนต่างๆ โดยใช้อัตราส่วน โดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันเป็น 5:1

EtOH:MTBE	กำลังขยาย 4x	กำลังขยาย 10x
1 : 0		
1 : 0.1		
1 : 0.2		

ตารางที่ 4-4 แสดงรูปภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของสารผสมระหว่างน้ำมัน เอทานอล และ MTBE ในสัดส่วนต่างๆ โดยใช้อัตราส่วน โดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันเป็น 5:1

(- ต่อ)

EtOH:MTBE	กำลังขยาย 4x	กำลังขยาย 10x
1 : 0.3		
1 : 0.4		
1 : 0.5		

จากการทดลองเมื่อนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนดั่งภาพประกอบที่ 4-4 พบว่า ในการทดลองที่ 1 โดยจะผสมเอทานอลกับน้ำมันปาล์มเอสเทอร์ไฟลด์ ซึ่งใช้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์มเอสเทอร์ไฟลด์ 5:1 จะมีเม็ดสีดำซึ่งอาจจะเป็นไขมันอิ่มตัวที่สูงกว่าการทดลองอื่น และต่อมากการทดลองที่ 2 เมื่อผสม MTBE เพิ่มเข้าไปในอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ MTBE เป็น 1:0.1 พบว่า ปริมาณเม็ดสีดำของไขมันลดลง เช่นเดียวกับการทดลองที่ 3-6 ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณของ MTBE มากขึ้นเรื่อยๆ ปริมาณ เม็ดสีดำของไขมันก็จะลดลงตามลำดับ จนแทบจะมองไม่เห็นเม็ดสีดำ และในการทดลองที่ 6 จากภาพกำลังขยาย 10x จะเห็นเม็ดสีดำเล็กๆ กระจายอยู่ทั่วซึ่งอาจเกิดจากการที่มีปริมาณ MTBE อยู่สูง ซึ่ง MTBE มีจุดเดือดต่ำ ระเหยง่าย เมื่อ MTBE มีปริมาณสูงการระเหยจึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เห็นเป็นเม็ดเล็กๆ ใสๆ และจากการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า MTBE มีผลในการช่วยให้น้ำมันปาล์มเอสเทอร์ไฟลด์ละลายเป็นเนื้อเดียวกับ เอทานอลได้ดียิ่งขึ้นแต่ก็ไม่ควรเติม MTBE ในปริมาณที่มากเกินไป เนื่องจากยังมีปริมาณ MTBE มาก การระเหยออกไปก็จะมากขึ้นด้วย ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองและค่าใช้จ่ายสูง จากการทดลองก็จะเห็นได้ว่าการเติม MTBE เพียงแค่ 0.3 โมล ต่อหนึ่ง โมลเอทานอลก็สามารถทำให้น้ำมันปาล์มเอสเทอร์ไฟลด์ละลายได้ดีกับเอทานอลแล้ว

4.1.3 การทดสอบเพื่อสังเกตลักษณะการแพร่ของโพแทสเซียมเมทอกไซด์ (KOCH_3) ในสารละลายผสมระหว่างกลีเซอริน เอทานอล และ MTBE

โดยการผสมกลีเซอริน เอทานอล MTBE และฟีนอล์ฟทาลินเข้าด้วยกัน แล้วหยดโพแทสเซียมเมทอกไซด์ (KOCH_3) ลงไปในปริมาณที่เท่ากัน (ประมาณ 5 หยด) ซึ่งในแต่ละหลอดทดลองจะมีปริมาณของ MTBE ในสัดส่วนต่างๆที่ไม่เท่ากัน โดยเทียบสัดส่วนโดยโมลของเอทานอลและ MTBE กับกลีเซอริน เพื่อศึกษาผลของปริมาณของเอทานอลและ MTBE ที่มีผลต่อลักษณะการแพร่ของ KOCH_3

ในตารางที่ 4-5 แสดงอัตราส่วนของกลีเซอริน เอทานอล และ MTBE ซึ่งกำหนดให้อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรินต่อเอทานอลเป็น 1:2 และกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรินต่อ MTBE ตั้งแต่ 1:0 ถึง 1:1 เพื่อทดสอบลักษณะการแพร่ที่ปริมาณ MTBE ต่างๆ

ตารางที่ 4-5 แสดงอัตราส่วนของกลีเซอริน เอทานอล และ MTBE

การทดลองที่	กลีเซอริน		เอทานอล		MTBE	
	โมล (mole)	กรัม (g)	โมล (mole)	กรัม (g)	โมล (mole)	กรัม (g)
1	1	10	2	10	0	0
2	1	10	2	10	0.2	1.92
3	1	10	2	10	0.4	3.38
4	1	10	2	10	0.6	5.75
5	1	10	2	10	0.8	7.67
6	1	10	2	10	1	9.58



0 นาที



5 นาที



10 นาที



20 นาที



มากกว่า 50 นาที

ภาพประกอบที่ 4-1 แสดงลักษณะการแพร่ของ KOCH_3 ในสารละลายผสมระหว่างกลีเซอริน เอทานอล และ MTBE

จากการทดสอบพบว่า เมื่อหยด KOCH_3 ลงไปในหลอดทดลองแต่ละหยอด ช่วงแรก KOCH_3 จะลอยตัวอยู่ด้านบนของสารละลายในหลอด สังเกตได้จากสีชมพูที่เกิดขึ้น หลังจาก KOCH_3 เจอกับฟีนอล์ฟทาลิน เมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที ในหลอดทดลองที่ 5 และ 6 ซึ่งมีปริมาณ MTBE 0.8 และ 1 โมลต่อหนึ่งโมลกลีเซอริน KOCH_3 จะเริ่มแพร่จากด้านบนลงสู่ด้านล่างของหลอดอย่างช้าๆ ในขณะที่หลอดอื่นๆ ยังคงลอยตัวอยู่ด้านบน ที่เวลาผ่านไป 10 นาที การแพร่ของหลอดที่ 2 และ 3 คือมีปริมาณ MTBE 0.4 และ 0.6 โมลต่อหนึ่งโมลกลีเซอรินจะเริ่มเห็นการแพร่ที่ชัดเจนขึ้นและดูเหมือนว่าจะกระจายตัวกันได้ดีกว่าหลอดที่ 5 และ 6 ด้วย เนื่องจากในหลอดที่ 5 การแพร่เกิดขึ้นเร็วกว่าก็จริงแต่เมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นแพร่อย่างต่อเนื่องก็ช้าลง และในหลอดที่ 6 ลักษณะการแพร่เหมือนแพร่จากด้านบนดึงลงสู่ด้านล่าง ในช่วงตรงกลางของหลอดจะเห็นสีชมพูค่อนข้างจาง สาเหตุน่าจะเกิดจากการที่สารละลายไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันหรือผสมกันไม่ได้ดีมากนัก ทำให้ KOCH_3 ลงมาอยู่ด้านล่างเกาะอยู่กับกลีเซอรินซึ่งมีมวลโมเลกุลมากกว่าสารตัวอื่นๆ จึงตกลงไปอยู่ที่ก้นหลอด และเมื่อเวลาผ่านไปจนถึง 20 นาที จะเห็นได้ว่าในหลอดที่ 4 จะเกิดการแพร่ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ คือเห็นเป็นสีชมพูที่เป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั้งหลอด และในหลอดที่ 3 ก็แพร่ได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ส่วนในหลอดอื่นๆ ลักษณะการแพร่ยังคงเป็นเช่นเดียวกับที่เวลา 10 นาที และเมื่อเวลาผ่านไปจนถึง 50 นาที พบว่า KOCH_3 จะแพร่และกระจายตัวได้ดีในทุกๆหลอดทดลอง ซึ่งการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่าการใช้ MTBE เป็นตัวทำละลายร่วมกับเอทานอลทำให้ KOCH_3 สามารถแพร่และกระจายตัวเข้าไปในสารละลายได้ดีกว่าการไม่ใช้ MTBE และในขณะเดียวกันการเติม MTBE ในปริมาณที่เหมาะสมคือ 0.4 และ 0.6 โมลต่อหนึ่งโมลกลีเซอริน (เอทานอลต่อ MTBE เท่ากับ 1:0.2 และ 1:0.3 โมล) สามารถทำให้เกิดการแพร่และการกระจายตัวที่ดี ใช้เวลาในการแพร่น้อย ที่อุณหภูมิห้อง และสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

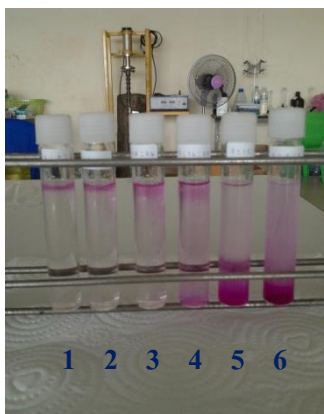
ในตารางที่ 4-6 จะแสดงอัตราส่วนของกลีเซอริน เอทานอล และ MTBE โดยจะกำหนดให้อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรินต่อเอทานอลรวมกับ MTBE ($\text{EtOH}+\text{MTBE}$) เป็น 1:2 จึงกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน โดยโมลของกลีเซอรินต่อเอทานอลตั้งแต่ 1:2 ถึง 1:1 และกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน โดยโมลของกลีเซอรินต่อ MTBE ตั้งแต่ 1:0 ถึง 1:1

ตารางที่ 4-6 แสดงอัตราส่วนของกลีเซอริน เอทานอล และ MTBE ในสัดส่วนต่างๆ

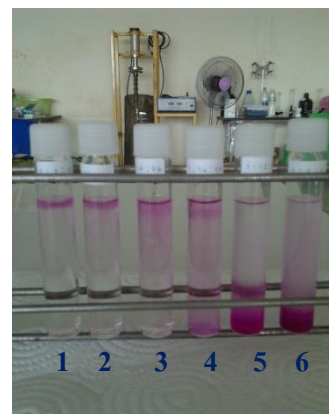
การทดลองที่	กลีเซอริน		เอทานอล		MTBE	
	โมล (mole)	กรัม (g)	โมล (mole)	กรัม (g)	โมล (mole)	กรัม (g)
1	1	10	2	10	0	0
2	1	10	1.8	9	0.2	1.92
3	1	10	1.6	8	0.4	3.38
4	1	10	1.4	7	0.6	5.75
5	1	10	1.2	6	0.8	7.67
6	1	10	1.0	5	1.0	9.58



0 นาที



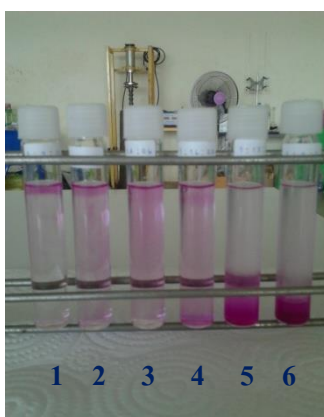
5 นาที



10 นาที



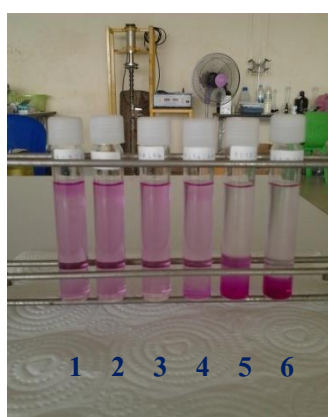
20 นาที



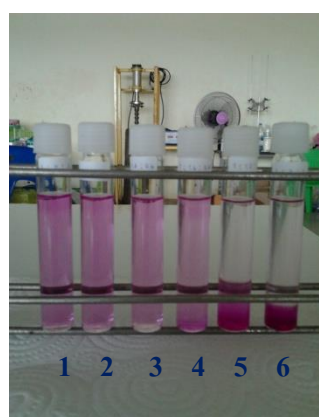
30 นาที



40 นาที



50 นาที



1, 2 และ 3 ชั่วโมง

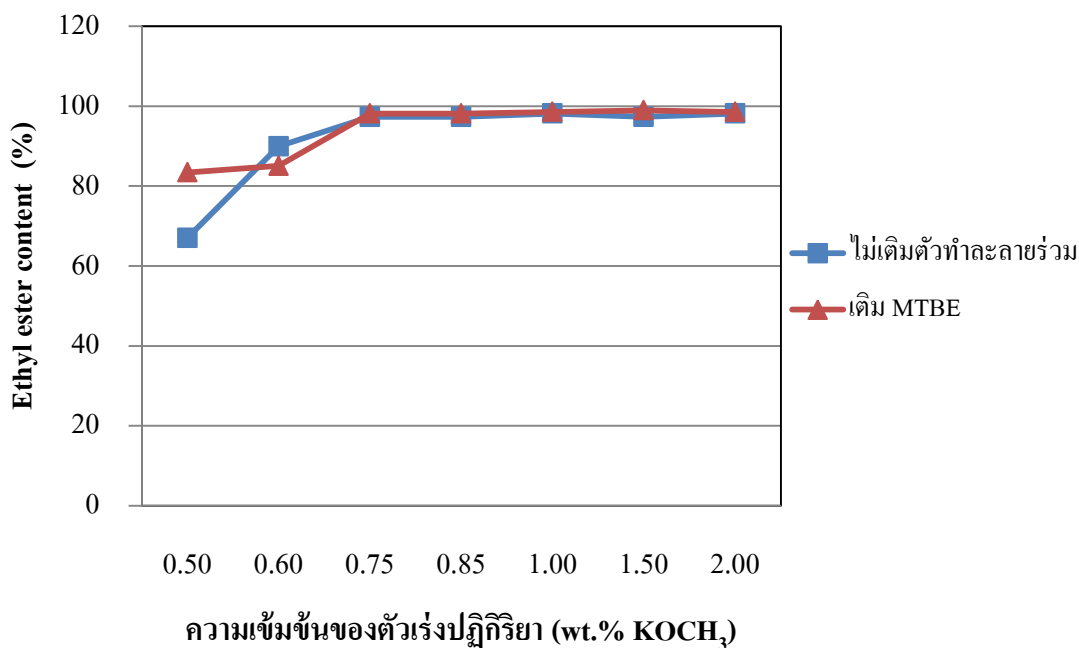
ภาพประกอบที่ 4-2 แสดงลักษณะการแพร่ของ $KOCH_3$ ในสารละลายผสมระหว่างกลีเซอริน
เอทานอล และ MTBE

จากการทดสอบพบว่า เมื่อหยด KOCH_3 ลงไปในหลอดทดลองแต่ละหยอด ช่วงแรกในหลอดที่ 1 และ 2 KOCH_3 จะลอยตัวอยู่ด้านบนของสารละลายในหลอด สังเกตได้จากสีชมพูที่เกิดขึ้นในส่วนในหลอดที่ 3-6 เมื่อหยด KOCH_3 ลงไปก็จะเริ่มแพร่กระจายลงสู่ด้านล่างของหลอดอย่างช้าๆ เมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที ในหลอดทดลองที่ 1 KOCH_3 ยังคงลอยตัวอยู่ด้านบน ส่วนในหลอดที่ 2 เริ่มมีการแพร่กระจายเล็กน้อยสำหรับหลอดที่ 3 และ 4 การแพร่กระจายค่อนข้างเกิดขึ้นได้ดี โดยเฉพาะในหลอดที่ 4 การแพร่จากด้านบนลงสู่ด้านล่างของหลอดสามารถแพร่ได้อย่างรวดเร็ว และมีการกระจายตัวที่ดีทั่วทั้งหลอด และในส่วนของหลอดที่ 5 และ 6 การแพร่เป็นไปอย่างรวดเร็ว สามารถแพร่จากด้านบนลงสู่ด้านล่างได้อย่างรวดเร็ว แต่การกระจายตัวไม่ดึ้นก เนื่องจาก KOCH_3 ลงมาอยู่ด้านล่างเกาะอยู่กับกลีเซอรินที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกับเอทานอลและ MTBE ซึ่งอาจจะเกิดจากการที่ปริมาณของ MTBE มีมากเกินไป จึงไม่สามารถละลายกลีเซอรินให้เป็นเนื้อเดียวกันได้ ที่เวลาผ่านไป 20 นาทีการแพร่ของหลอดที่ 1 และ 2 เริ่มเห็นการแพร่และกระจายตัวกันที่ชัดเจนขึ้น แต่ลักษณะการแพร่ก็ยังคงแพร่ไปอย่างช้าๆ สำหรับหลอดที่ 3 และ 4 ยังคงเห็นการแพร่อย่างต่อเนื่องและค่อนข้างชัดเจน โดยเฉพาะหลอดที่ 4 ที่การแพร่และการกระจายชัดเจนและดีที่สุดเมื่อเทียบกับหลอดอื่นๆ หรือเรียกได้ว่าแพร่กระจายได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในหลอดที่ 5 และ 6 ลักษณะการแพร่เป็นแบบดิ่งลงสู่ด้านล่าง KOCH_3 ที่หยดลงไป ไปรวมตัวอยู่กับกลีเซอรินที่ด้านล่างของหลอด ไม่เกิดการกระจายตัว และเมื่อเวลาผ่านไปจนถึง 50 นาที จะเห็นได้ว่าทุกหลอดทดลองสามารถแพร่ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่การกระจายตัว 100 เปอร์เซ็นต์ มีแค่ในหลอดที่ 1 - 4 เท่านั้น เนื่องจากในหลอดที่ 5 และ 6 มาสารแพร่ได้ดีก็จริง แต่ไม่เกิดการกระจายของ KOCH_3

การทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า สัดส่วนของเอทานอลต่อ MTBE มีผลต่อความสามารถในการแพร่และการกระจายตัวของ KOCH_3 ซึ่งหากใช้สัดส่วน MTBE ในปริมาณที่น้อยเกินไปก็จะทำให้ต้องใช้เวลานานเพื่อให้เกิดการแพร่ที่สมบูรณ์ และหากใช้สัดส่วนของ MTBE ที่มากเกินไปก็จะเป็นการสิ้นเปลืองและมีค่าใช้จ่ายสูงขึ้นในการแยกคืนกลับมาใช้ใหม่ ในการทดลองนี้สัดส่วนหรือปริมาณที่เหมาะสมคือ 1.6 โมลเอทานอลต่อโมลกลีเซอริน และ 0.4 โมล MTBE ต่อ โมลกลีเซอริน (อัตราส่วนโดยโมลของกลีเซอรินต่อเอทานอลรวมกับ MTBE 1:1.6+0.4) ซึ่งสามารถทำให้เกิดการแพร่และการกระจายตัวที่ดี ใช้เวลาในการแพร่เพียงแค่ 20 นาที ที่อุณหภูมิห้อง

4.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้

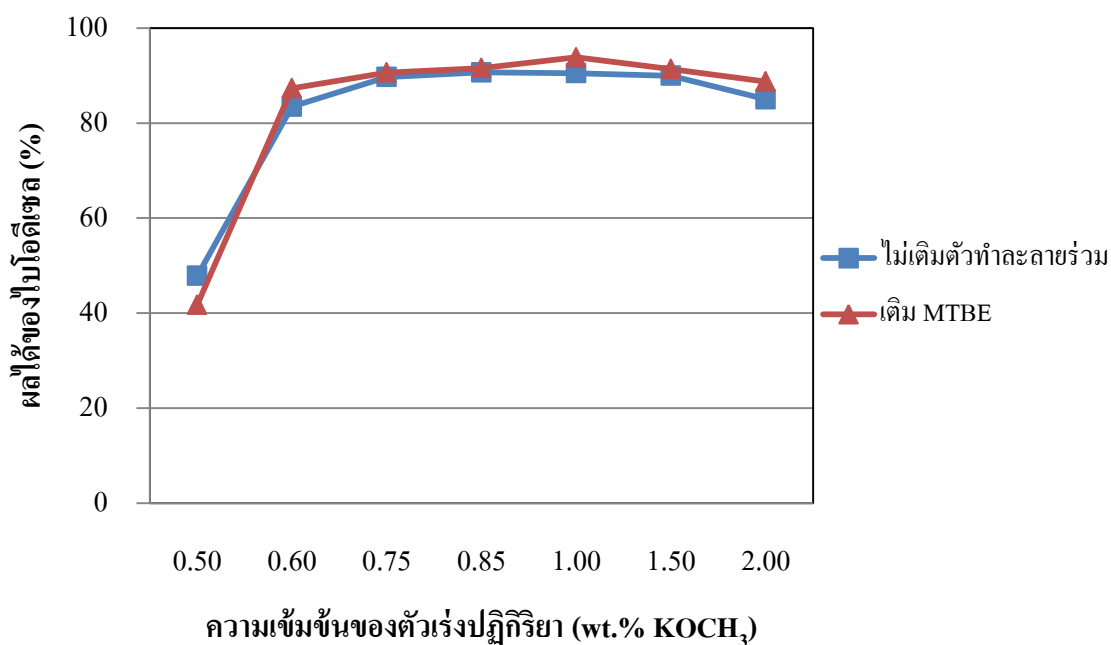
ในการศึกษาผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา จะทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (KOCH_3) ตั้งแต่ 0.5, 0.6, 0.75, 0.85, 1.0, 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันกำหนดให้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันเป็น 5:1 ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (A.N. Alkabbashi, 2009 และ Lodcam Thepyanee, 2009) ซึ่งจะทำการทดลองทั้งหมด 14 การทดลอง โดยการทดลองที่ 1 – 7 จะทำการทดลองโดยไม่เติมตัวทำละลายร่วม (MTBE) และการทดลองที่ 8 – 14 จะทำการทดลองเติมตัวทำละลายร่วม (MTBE) โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ MTBE เป็น 1:0.2



ภาพประกอบที่ 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ethyl ester content กับความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (KOCH_3)

จากภาพประกอบที่ 4-3 จะสังเกตเห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ethyl ester content ก็จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย โดย ethyl ester content ที่เพิ่มขึ้นจะเห็นได้ชัดเมื่อใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0.5, 0.6 และ 0.75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน แต่ ethyl ester content ที่ได้มีค่าน้อย เนื่องจากความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาไม่เพียงพอต่อการทำให้สารตั้งต้น

เปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ได้อย่างสมบูรณ์ แต่เมื่อใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่า 0.75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน ethyl ester content ที่ได้ก็จะมีค่ามากกว่า 96.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ และการเติม MTBE ซึ่งเป็นตัวทำละลายร่วมลงไปในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันมีผลที่ช่วยให้ ethyl ester content เพิ่มขึ้นในปฏิกิริยาที่ใช้ความเข้มข้น 0.5 และ 0.6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน แต่เมื่อใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากกว่า 0.75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน ethyl ester content ที่ได้ก็จะมีค่าใกล้เคียงกับปฏิกิริยาที่ไม่เติมตัวทำละลายร่วม ดังนั้น MTBE จึงไม่มีความจำเป็นต้องเติมลงไป เพราะการเพิ่มขึ้นของเอทิลเอสเตอ์เพียงเล็กน้อยนั้น ให้ผลไม่คุ้มค่ากับการเสียค่าใช้จ่ายในส่วนของ MTBE

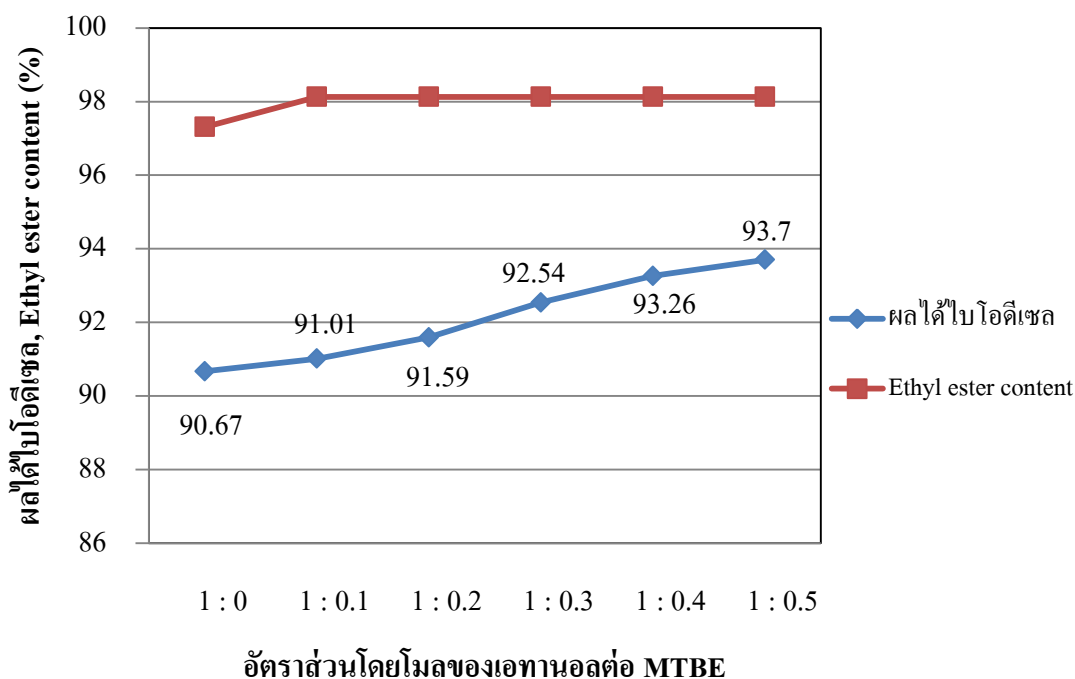


ภาพประกอบที่ 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้ของไบโอดีเซลกับความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (KOCH₃)

จากภาพประกอบที่ 4-4 จะสังเกตได้ว่า ที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน ผลได้ของไบโอดีเซลจะได้แค่ 40 กว่าเปอร์เซ็นต์เท่านั้น ซึ่งถือว่าน้อยมาก เนื่องจากความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เติมลงไปไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยา และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นไปอีกเป็น 0.6 และ 0.75 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ผลได้ของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นแต่ก็ยังไม่เพียงพอที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดี เนื่องจากความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้จะแปรตามปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมัน ถ้าปริมาณกรดไขมันอิสระสูงขึ้นไปจะต้องใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากขึ้นด้วยเพื่อให้เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาสะเทินระหว่างกรดไขมันอิสระกับเบส แล้วยังมีปริมาณเหลืออยู่อีกจำนวนมากพอที่จะเร่งให้เกิดปฏิกิริยาต่อไป การที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เติมลงไปนั้นถูกใช้จนหมด ทำให้ในขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลเพื่อให้บริสุทธิ์นั้นเกิดการล้างได้ยาก และไบโอดีเซลที่ได้ออกมานั้นสูญเสียไปกับขั้นตอนนี้ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาจนถึง 0.85 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันจะเกิดได้ดี เกิดเป็นสบู่เล็กน้อย ทำให้ในขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลนั้นล้างได้ง่ายขึ้น จึงช่วยลดการสูญเสียผลได้ของไบโอดีเซล และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาจนถึง 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ กลับพบว่า ผลได้ของไบโอดีเซลมีค่าน้อยลง เป็นผลมาจากการที่เพิ่มความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยามากขึ้นนั้นนอกจากจะทำให้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเกิดได้ดียิ่งขึ้นแล้ว ปริมาณสบู่ที่เกิดก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งการเพิ่มขึ้นของสบู่มีผลทำให้ปริมาณเอสเทอร์และกลีเซอไรด์จะไปอยู่ในเฟสกลีเซอรอลมากขึ้น ทำให้สูญเสียผลได้ของไบโอดีเซล และเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อผลได้ของไบโอดีเซลในกรณีที่เติมและไม่เติม MTBE นั้น พบว่า การเติม MTBE ลงไปในปฏิกิริยามีผลช่วยให้ผลได้ของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

4.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ MTBE

ในการศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ MTBE จะทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน โดยการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ MTBE คือ 1:0, 1:0.1, 1:0.2, 1:0.3, 1:0.4 และ 1:0.5 ซึ่งกำหนดให้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันคงที่ที่ 5:1 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (KOH) 0.85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน



ภาพประกอบที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้ของไบโอดีเซลและ ethyl ester content กับอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ MTBE

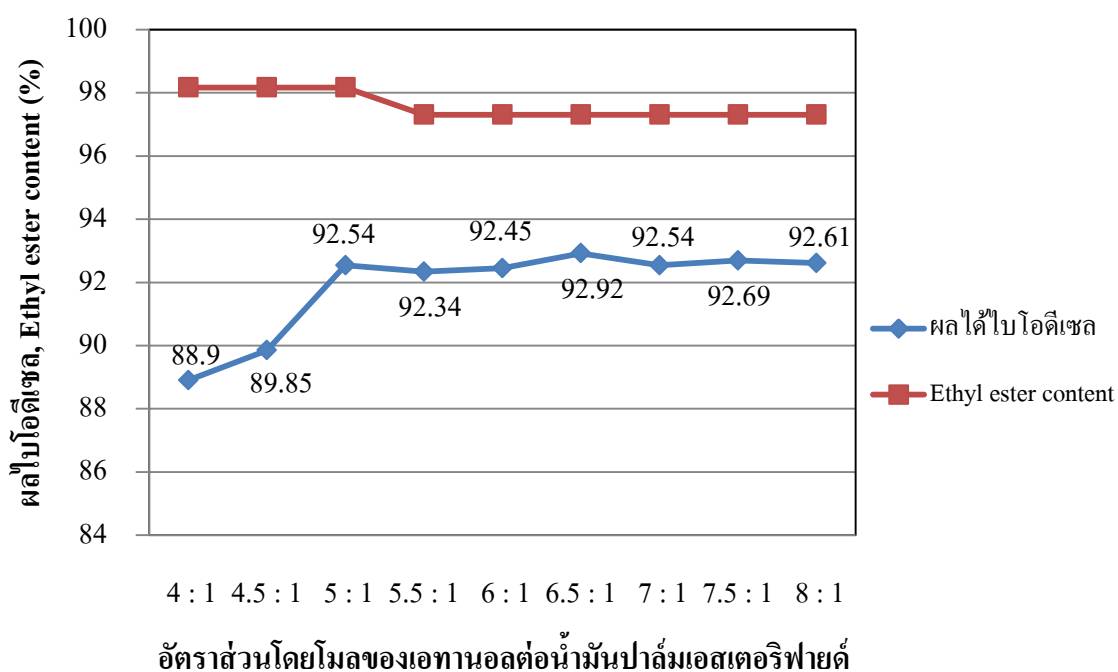
จากภาพประกอบที่ 4-5 พบว่าการเติม MTBE ลงไปในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันมีผลที่ช่วยให้ ethyl ester content เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าปฏิกิริยาที่ไม่มี การเติม MTBE จะได้ ethylester content 97.31 เปอร์เซ็นต์ และ ethyl ester content ที่ได้จากการเติม MTBE ที่ปริมาณต่างๆ ตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.5 โมลต่อหนึ่งโมลเอทานอลคือ 98.13 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเท่ากันทุกทดลอง จากผลการทดลองดังกล่าวนี้ปริมาณของ MTBE ที่แตกต่างกันนั้นไม่ได้มีผลกับ ethyl ester content ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ Lodcam T. (2009) ที่ได้ผลการทดลองว่าการใช้ MTBE เป็นตัวทำละลายร่วมจะให้ methyl ester content สูงกว่าการไม่ใช้ตัวทำละลายร่วมอยู่ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใช้น้ำมันเริ่มต้นเป็นน้ำมันพืชใช้แล้ว

สำหรับผลได้ของไบโอดีเซล จากภาพประกอบที่ 4-5 พบว่า เมื่อเติม MTBE ลงไปในปฏิกิริยาสามารถช่วยให้ได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณ MTBE มากขึ้นผลได้ของไบโอดีเซลก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเช่นกัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการเติม MTBE ในปริมาณที่มากขึ้น (0.5 โมลต่อหนึ่งโมลเอทานอล) กับการไม่เติม MTBE ลงไปในปฏิกิริยา ผลของ

ร้อยละไบโอดีเซลจะแตกต่างกันถึง 3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในทางอุตสาหกรรมถือว่าเป็นผลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

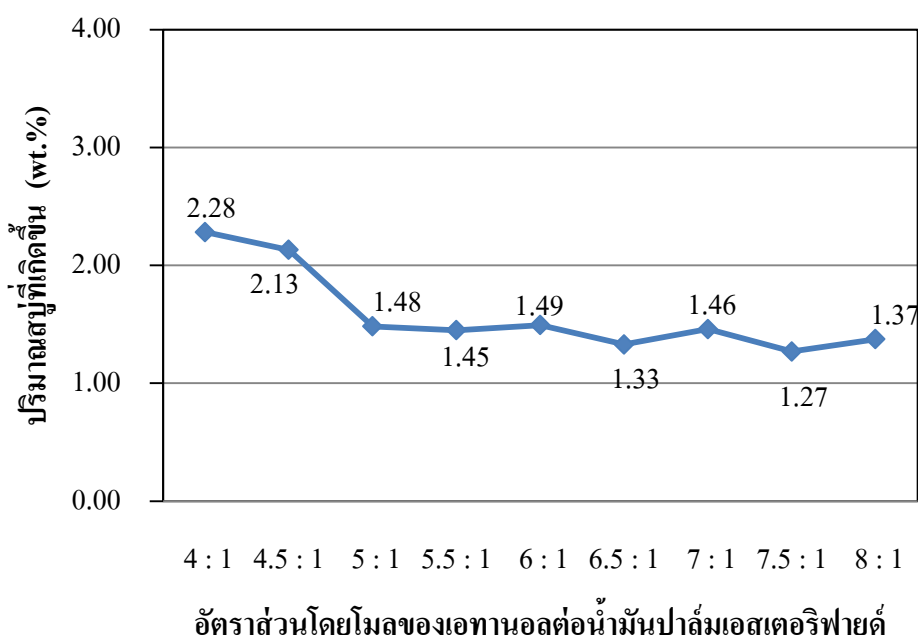
4.4 ผลการศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์มเอสเทอร์ไฟยด์

ในการศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์มเอสเทอร์ไฟยด์จะทำการศึกษากิจกรรมทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันคือ 4:1, 4.5:1, 5:1, 5.5:1, 6:1, 6.5:1, 7:1, 7.5:1 และ 8:1 ให้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ MTBE คงที่ที่ 1:0.3 ใช้อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (KOH_3) 0.85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน



ภาพประกอบที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้ของไบโอดีเซลและ ethyl ester content กับอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์มเอสเทอร์ไฟยด์

จากการทดลองพบว่า การเพิ่มปริมาณเอทานอลในการเข้าทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันไม่ได้มีผลที่ช่วยให้ ethyl ester content เพิ่มขึ้น สังเกตได้จากภาพประกอบที่ 4-6 การทดลองที่ใช้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมัน 4:1, 4.5:1 และ 5:1 มี ethyl ester content 98.13 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเติมเอทานอลโดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันที่มากกว่า 5:1 ethyl ester content กลับลดลงเหลือ 97.31 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากในทางทฤษฎีปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันต้องการใช้ปริมาณเอทานอลต่อน้ำมันเพียงแค่ 3:1 โมล ก็สามารถทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้สมบูรณ์ แต่ในทางปฏิบัติแล้วเอทานอลเพียงแค่ 3 โมลอาจไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์เนื่องจากมีปัจจัยอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง การทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้สมบูรณ์หรือเกิดเป็นผลิตภัณฑ์เอทิลเอสเทอร์ได้มากที่สุดนั้นจำเป็นต้องใส่ปริมาณเอทานอลที่มากเกินไปในปริมาณที่พอเหมาะ

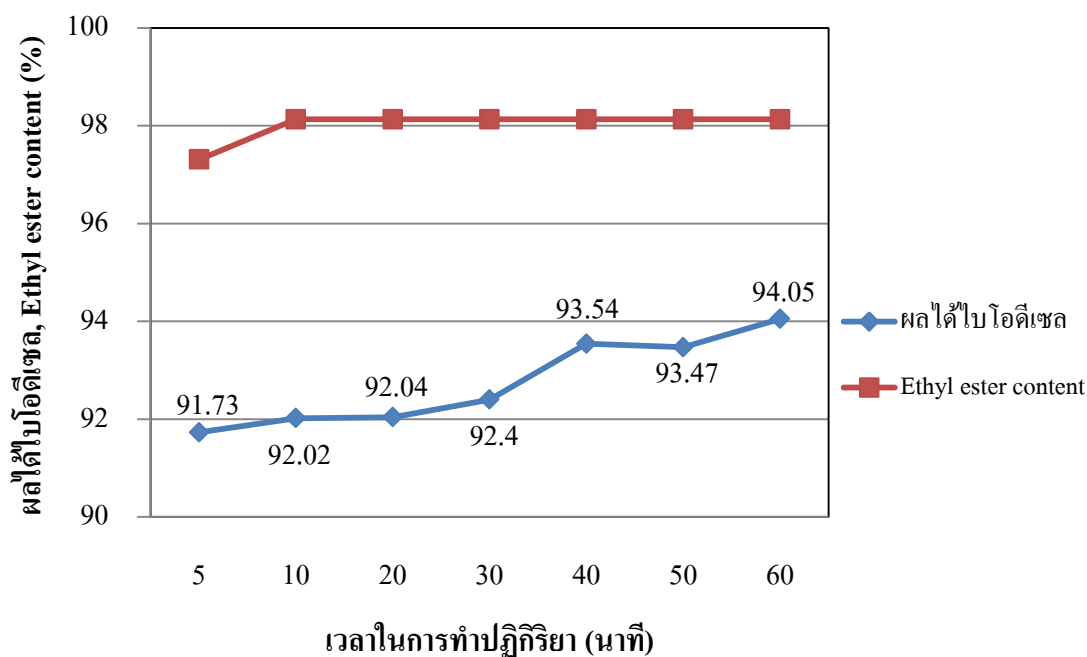


ภาพประกอบที่ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นกับอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์มเอสเตอริฟายด์

งานวิจัยของ Lodcam T. (2009) และ Encinar J.M. (2010) กล่าวว่า การใช้เมทานอลในอัตราส่วน 9:1 โมลของน้ำมัน เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะให้ค่าผลได้ของไบโอดีเซลที่สูง แต่การใช้อัตราส่วนแอลกอฮอล์ที่สูงนั้นขัดแย้งกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ งานวิจัยนี้จึงเริ่มจากการศึกษาโดยใช้เอทานอลในปริมาณที่น้อย ซึ่งจากภาพประกอบที่ 4-6 จะเห็นได้ว่าการเติมเอทานอลลงไปปฏิบัติที่อัตราส่วน โดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันเพียงแค่ 4:1 ก็สามารถทำให้ผลได้ของไบโอดีเซลสูงถึง 88.90 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเพิ่มปริมาณเอทานอลให้มากขึ้นไปอีกที่อัตราส่วน 4.5:1 และ 5:1 โมล ผลได้ของไบโอดีเซลที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นคือ 89.85 และ 92.54 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าเมื่อใช้ปริมาณเอทานอลมากกว่า 5 โมล ผลได้ของไบโอดีเซลมีค่าใกล้เคียงกันคือประมาณ 92.5 เปอร์เซ็นต์ การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันที่มากกว่า 5:1 ไม่ได้ช่วยให้ผลได้ของไบโอดีเซลมากขึ้น ซึ่งอ้างอิงโดยปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นหลังจากทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันคือ ผลได้ของไบโอดีเซลจะแปรผกผันกับปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น (ภาพประกอบที่ 4-7) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rungthip C. (2557) โดยอธิบายไว้ว่าการที่อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันเพิ่มขึ้นทำให้มีปริมาณเมทานอลที่เพิ่มขึ้น ความสามารถในการละลายตัวเร่งปฏิกิริยาก็มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง ซึ่งเมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลงทำให้ปริมาณสบู่ที่เกิดลดลงไปด้วย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ปริมาณผลได้ของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น

4.5 ผลการศึกษาเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ในการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน จะทำการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาดังแต่ 5, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (KOH) 0.85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน โดยให้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ MTBE คงที่ที่ 1:0.3 และให้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันคงที่ที่ 5:1



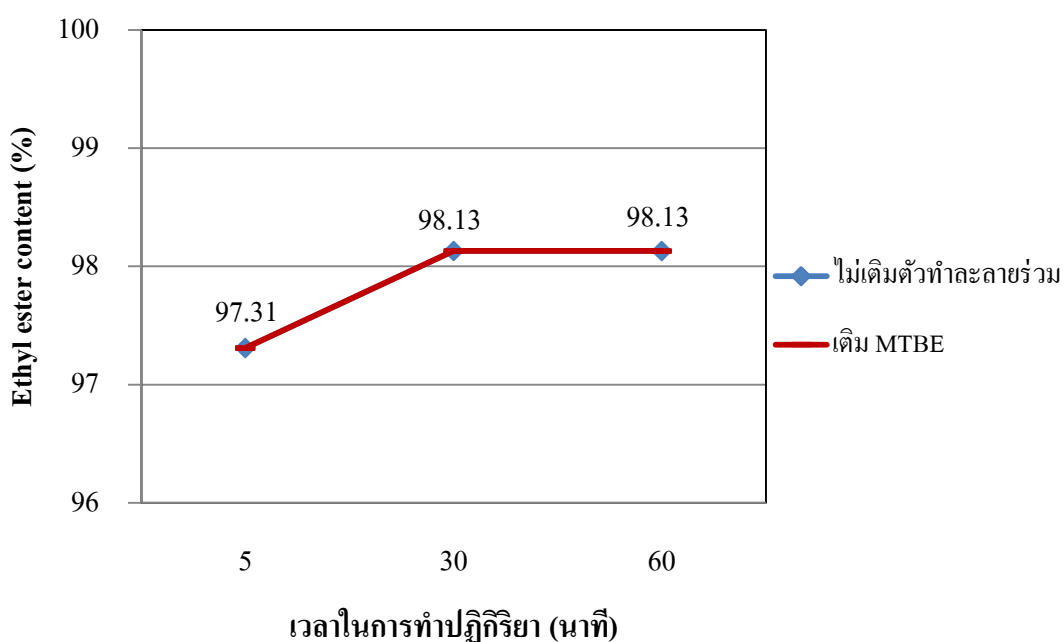
ภาพประกอบที่ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้ของไบโอดีเซลและ ethyl ester content กับเวลาในการทำปฏิกิริยา

จากภาพประกอบที่ 4-8 การใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเพียงแค่ 5 นาที ก็สามารถให้ ethyl ester content สูงถึง 97.31 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเร็ว ดังนั้นการใช้เวลาน้อยๆ ไตรกลีเซอไรด์ก็สามารถเปลี่ยนเป็นเอสเตอร์ได้ดี และเมื่อใช้เวลาที่ 10 นาที จะทำให้ ethyl ester content เพิ่มขึ้นเป็น 98.17 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่นานขึ้นจะทำให้ไตรกลีเซอไรด์เปลี่ยนไปเป็นเอสเตอร์ได้ดีขึ้น และจากการทดลองพบว่า ethyl ester content จะคงที่ที่เวลา 10 นาที อาจเนื่องมาจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเร็ว การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เพียงพอ ใช้อุณหภูมิที่สูง เวลาเพียงแค่ 10 นาที ก็สามารถทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นสมบูรณ์ได้แล้ว

สำหรับผลได้ของไบโอดีเซล จากกราฟจะเห็นได้ว่า เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ผลได้ของไบโอดีเซลก็จะเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่เวลาเพียงแค่ 5 นาที ผลได้ของไบโอดีเซลสูงเกือบ 92 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นผลได้ของไบโอดีเซลก็จะเพิ่มขึ้น

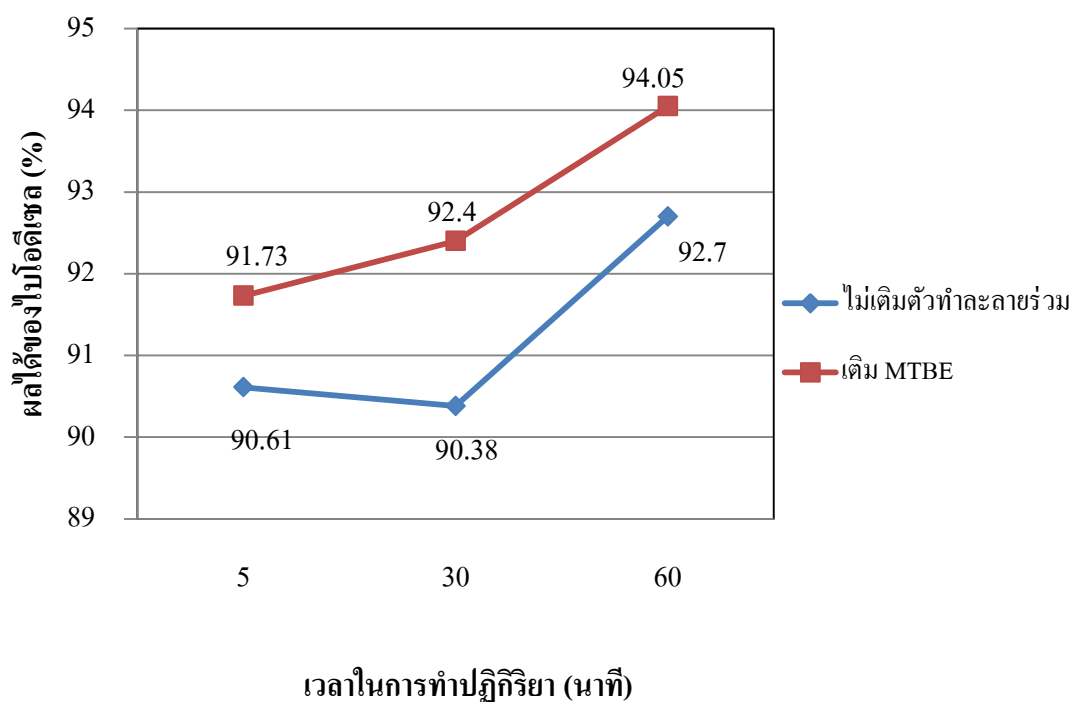
เช่นกัน เนื่องจากเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นการเกิด โมโน-, ได- และ ไตร-กลีเซอไรด์ จะลดลง ซึ่งโมโน-, ได- และ ไตร-กลีเซอไรด์ นั้นจะเป็น emulsifier คล้ายกับสบู่ เมื่อเกิดน้อยก็จะทำให้การล้างไบโอดีเซลง่ายขึ้น ส่งผลให้การสูญเสียไบโอดีเซลไปกับขั้นตอนการล้างน้อยลง ผลได้ของไบโอดีเซลที่ได้จึงเพิ่มขึ้น ซึ่งที่เวลา 60 นาที ให้ผลได้สูงสุดคือ 94.05 เปอร์เซ็นต์

เปรียบเทียบการใช้ ตัวทำละลายร่วม(MTBE) กับไม่ใช้ตัวทำละลายร่วมที่เวลาต่างๆ



ภาพประกอบที่ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่าง ethyl ester content กับเวลาในการทำปฏิกิริยา

จากภาพประกอบที่ 4-9 พบว่า ตั้งแต่เวลา 5 นาที จนถึง 60 นาที ethyl ester content ทั้งกรณีที่ไม่เติมและไม่เติม MTBE ลงไปนั้นให้ ethyl ester content ที่เท่ากันทุกเวลา ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่า กราฟทั้ง 2 เส้นซ้อนทับกันพอดี ดังนั้นจากการทดลองนี้จึงสรุปได้ว่า ที่เวลาต่างๆ การเติมตัวทำละลายร่วม MTBE ลงไปนั้นไม่ส่งผลให้ ethyl ester content เพิ่มมากขึ้น



ภาพประกอบที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้ของไบโอดีเซลกับเวลาในการทำปฏิกิริยา

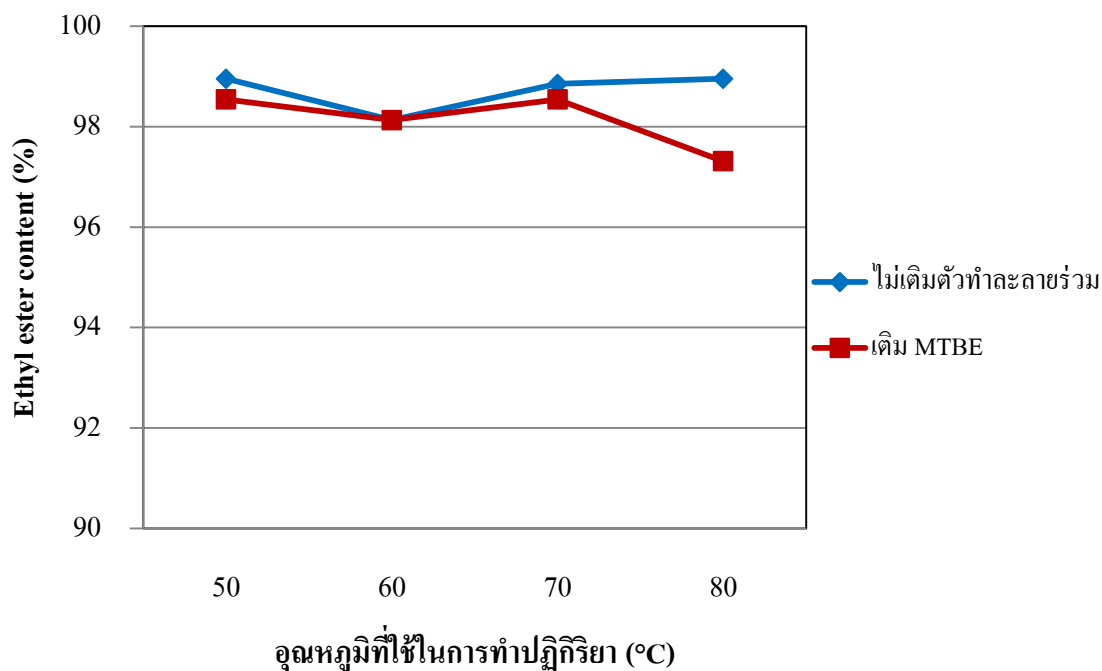
สำหรับผลได้ของไบโอดีเซล จากภาพประกอบที่ 4-10 จะเห็นได้ว่า เวลาส่งผลให้ผลได้ของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการทดลองที่มีการใช้ MTBE เป็นตัวทำละลายร่วมจะให้ร้อยละผลได้สูงกว่าการไม่ใช้ตัวทำละลายร่วมทุกๆ การทดลองอยู่ประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ โดยที่เวลา 60 นาที ให้ผลได้สูงสุดคือ กรณีที่ไม่เติม MTBE จะได้ 92.70 เปอร์เซ็นต์ และกรณีที่เติม MTBE จะได้ 94.05 เปอร์เซ็นต์

4.6 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

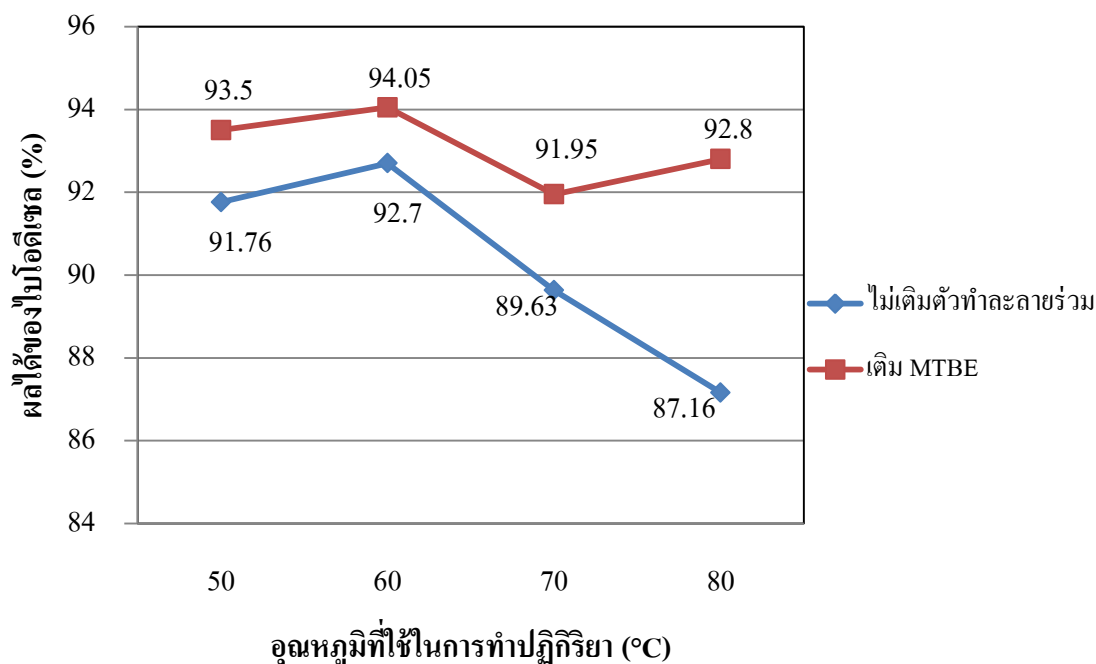
ในการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจะเริ่มศึกษาตั้งแต่อุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เนื่องจากน้ำมันปาล์มเอสเทอร์ไฟด์จะมีความเป็นไขค่อนข้างสูง หากใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่านี้ไขจะไม่สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้หมด โดยอุณหภูมิที่ต้องการศึกษาคือ 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำการปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา

(KOCH_3) 0.85 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของน้ำมันให้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันคงที่ที่ 1:5 และทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 60 นาที

จากนั้นทำการศึกษาเพิ่มอีก 4 การทดลอง โดยใช้สภาวะในการทดลองเดียวกับข้างต้น แต่จะเพิ่มการเติมตัวทำละลายร่วม (MTBE) เข้าไปในปฏิกิริยา โดยให้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อตัวทำละลายร่วม (MTBE) คงที่ที่ 1:0.3



ภาพประกอบที่ 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่าง ethyl ester content กับอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา



ภาพประกอบที่ 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้ของไบโอดีเซลกับอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

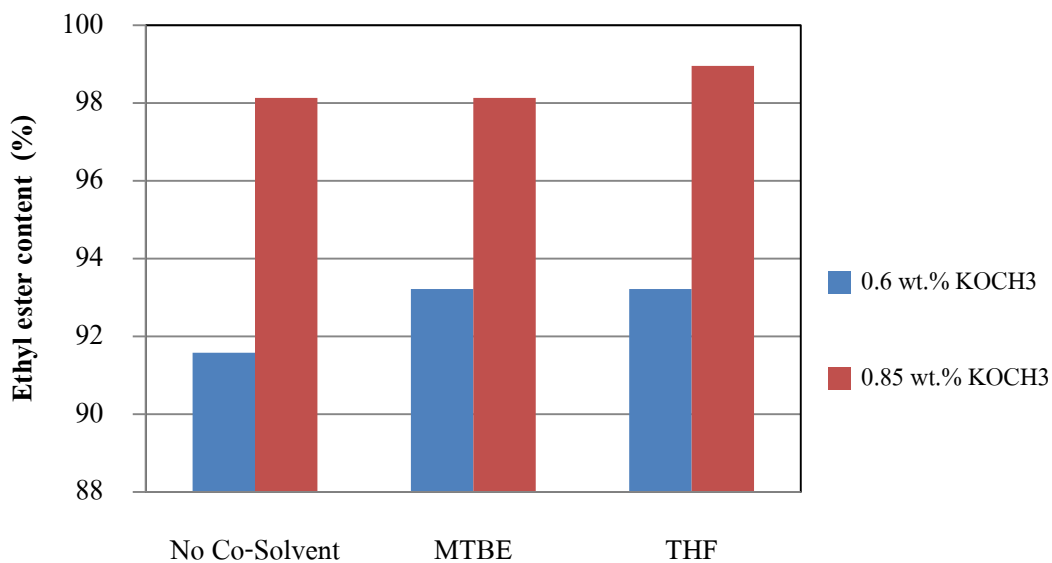
จากภาพประกอบที่ 4-11 ที่อุณหภูมิต่างๆ ตั้งแต่ 50 – 80 องศาเซลเซียส ทั้งกรณีที่ไม่เติมและไม่เติม MTBE เป็นตัวทำละลายร่วมลงไปในการปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน จะให้ผลของ ethyl ester content ที่สูงกว่าร้อยละ 97 ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของไบโอดีเซลกำหนดไว้ โดยการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจะเป็นการเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน นั่นคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการเปลี่ยนไปเป็นเอทิลเอสเตอร์ก็จะมากขึ้นด้วย โดยกรณีที่เติม MTBE ลงไปจะให้ ethyl ester content ที่สูงกว่ากรณีที่เติม MTBE ลงไปเล็กน้อย ยกเว้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งให้ ethyl ester content ต่ำกว่าถึงเกือบ 2 เปอร์เซ็นต์อาจเป็นผลเนื่องมาจาก MTBE มีจุดเดือดต่ำ (55 องศาเซลเซียส) ทำให้เมื่อเติมลงไปในการปฏิกิริยาที่มีอุณหภูมิสูงถึง 80 องศาเซลเซียส จึงเกิดการระเหยหายไปหรือควบแน่นเกาะติดอยู่ตามส่วนต่างๆ ของเบ้าทดลองในปริมาณที่มากกว่าอุณหภูมิอื่นๆ ที่ต่ำกว่า เป็นผลให้ประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาไม่ดีพอ และจากผลการทดลองดังกล่าวทำให้ทราบว่า การเติม MTBE ลงไปในการปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันที่อุณหภูมิต่างๆ ไม่ได้ส่งผลให้ ethyl ester content เพิ่มขึ้น แต่ตรงกันข้ามจะส่งผลเสียทำให้ได้ ethyl ester content น้อยลงหากใช้ในอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม

จากภาพประกอบที่ 4-12 ผลได้ของไบโอดีเซลที่เวลาต่างๆ พบว่าในกรณีที่ไม่เติม MTBE ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะได้ไบโอดีเซล 91.76 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 60 องศาเซลเซียส ไบโอดีเซลที่ได้เพิ่มขึ้นเป็น 92.70 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงกว่านี้ พบว่า ไบโอดีเซลที่ได้กลับน้อยลง เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงนี้นอกจากจะทำให้เพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันแล้วยังเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันอีกด้วย ทำให้ปริมาณสบู่ที่เกิดเพิ่มขึ้นเป็นผลให้สูญเสียผลได้ของไบโอดีเซล ซึ่งเป็นเช่นเดียวกับกรณีที่เติม MTBE ลงในปฏิกิริยา แต่กรณีที่เติม MTBE จะให้ผลได้ไบโอดีเซลสูงกว่าอยู่ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับสภาวะของการทดลองนี้คือ 60 องศาเซลเซียส

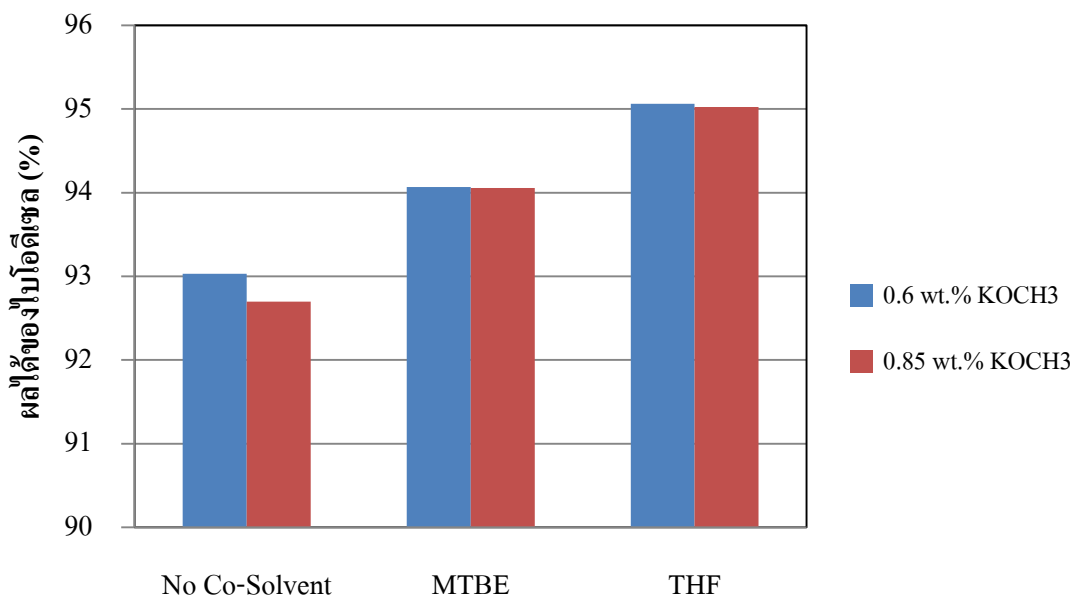
4.7 ผลการศึกษาการเปรียบเทียบปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันโดยการใช้ตัวทำละลายร่วม และการใช้ MTBE และ THF เป็นตัวทำละลายร่วม

4.7.1 อิทธิพลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา

ทำการทดลองการผลิตไบโอดีเซลโดยการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน ซึ่งเปรียบเทียบระหว่างการใช้ตัวทำละลายร่วม การใช้ MTBE เป็นตัวทำละลายร่วม และใช้ THF เป็นตัวทำละลายร่วม ซึ่งสภาวะที่ใช้ในการทดลองคือให้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อตัวทำละลายร่วมคงที่ที่ 1:0.3 ให้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันคงที่ที่ 5:1 ใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (KOH) 0.6 และ 0.85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 60 นาที และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบที่ 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่าง ethyl ester content กับชนิดของตัวทำละลายร่วม (MTBE, THF) และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เวลา 60 นาที



ภาพประกอบที่ 4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้ของไบโอดีเซลกับชนิดของตัวทำละลายร่วม (MTBE, THF) และความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เวลา 60 นาที

จากการทดลองพบว่าในกรณีที่ใช้โพแทสเซียมเมทอกไซด์ 0.6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน หรือความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่น้อยๆ จะเห็นได้ชัดเจนว่า การเติมตัวทำละลายร่วมลงไปปฏิกิริยาไม่ว่าจะเป็น MTBE หรือ THF ก็สามารถทำให้ ethyl ester content เพิ่มขึ้นได้ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่เติม ส่วนกรณีที่ใช้โพแทสเซียมเมทอกไซด์ 0.85 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักน้ำมันการเติม MTBE ลงไปไม่มีผลต่อ ethyl ester content ส่วนการเติม THF ก็มีผลให้เอทิลเอสเทอร์เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

โดยจากการเปรียบเทียบการใช้ MTBE และ THF เป็นตัวทำละลายร่วม รวมถึงการไม่ใช้ตัวทำละลายร่วม พบว่าการใช้ THF จะให้ ethyl ester content ที่สูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lodcam T. (2009) ที่ได้ข้อสรุปว่า THF ถือเป็นตัวทำละลายร่วมที่มีผลช่วยให้เกิดปริมาณเอสเทอร์หลังจากทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันมากที่สุด และจากการทดลองนี้พบอีกว่า การเติมตัวทำละลายร่วม MTBE และ THF ยังสามารถช่วยให้ร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Encinar J.M. (2010) และจากการพิสูจน์โดยวิธีการหาปริมาณกลีเซอรอลในเฟสเอสเทอร์ซึ่งพบว่า กรณีที่เติมตัวทำละลายร่วมลงไปนั้นจะส่งผลให้การทดลองนั้นมีปริมาณกลีเซอรอลที่เหลืออยู่ในเฟสเอสเทอร์ น้อยลง ซึ่งโดยปกติสบูจะเกาะติดอยู่กับหยดกลีเซอรอลที่ลอยอยู่ในเฟสเอสเทอร์ หากกลีเซอรอลมีน้อยลงก็จะทำให้มีสบู่ที่เกิดขึ้นน้อยลงไปด้วย ทำให้ในขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลสามารถล้างได้ง่าย ซึ่งเป็นผลให้การสูญเสียผลได้ของไบโอดีเซลเกิดขึ้นน้อยลง ซึ่งผลได้ของการเติมตัวทำละลายร่วมจะเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเติม THF และเพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเติม MTBE

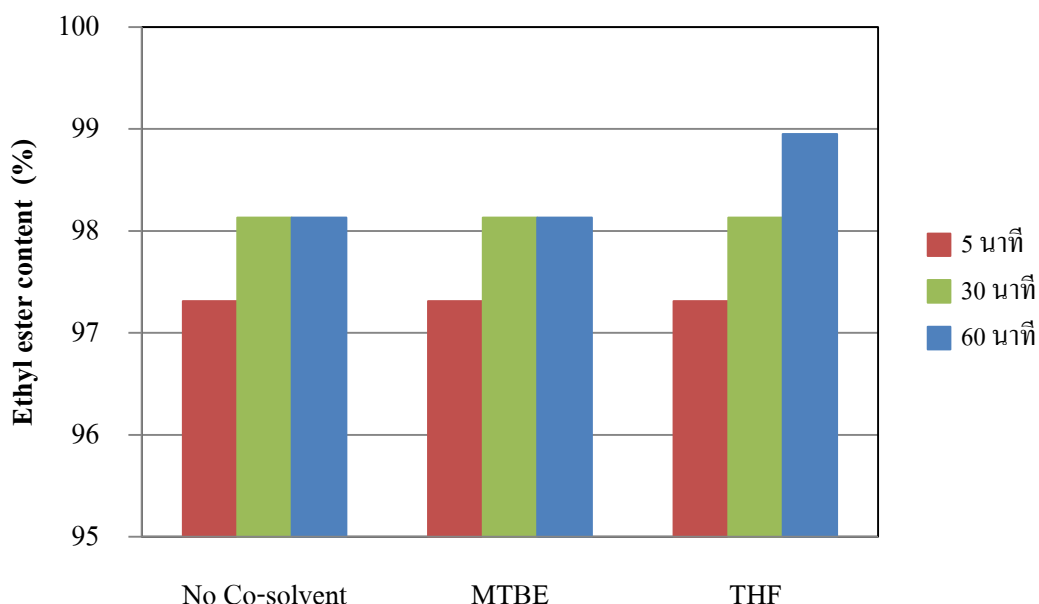
เปรียบเทียบกรณีที่ใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.6 และ 0.85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่า กรณีที่ใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะให้ ethyl ester content ที่มากกว่าและผ่านเกณฑ์มาตรฐานการผลิตไบโอดีเซลคือสูงกว่า 96.5 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากกรณีที่ใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักนั้นปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยเกินไปไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่สมบูรณ์ได้ ทำให้สารตั้งต้นไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ (เอทิลเอสเทอร์) ได้อย่างสมบูรณ์ ethyl ester content ที่ได้จึงมีค่า 91 – 93 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่ำๆ ตัวทำละลาย

ร่วมจะมีผลต่อปฏิกิริยา คือ ช่วยให้ ethyl ester content เพิ่มขึ้น แต่ก็ไม่เพียงต่อการผลิตไบโอดีเซลให้ได้คุณภาพตามมาตรฐาน

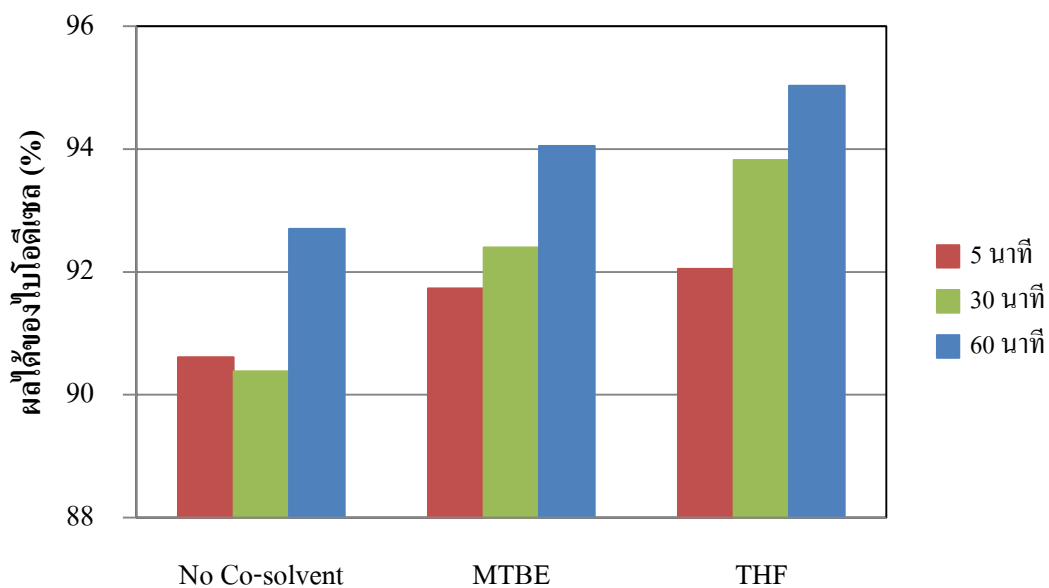
4.7.2 อิทธิพลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

การทดลองจะเป็นการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันที่สภาวะต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบผลของการใช้ MTBE, THF เป็นตัวทำละลายร่วม และการที่ไม่ใช้ตัวทำละลายร่วมในปฏิกิริยา โดยทำการทดลองที่สภาวะต่างๆ คือ ใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (KOH) 0.85 และ 0.6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน ให้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันคงที่ที่ 5:1 ให้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อตัวทำละลายร่วมคงที่ที่ 1:0.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียส

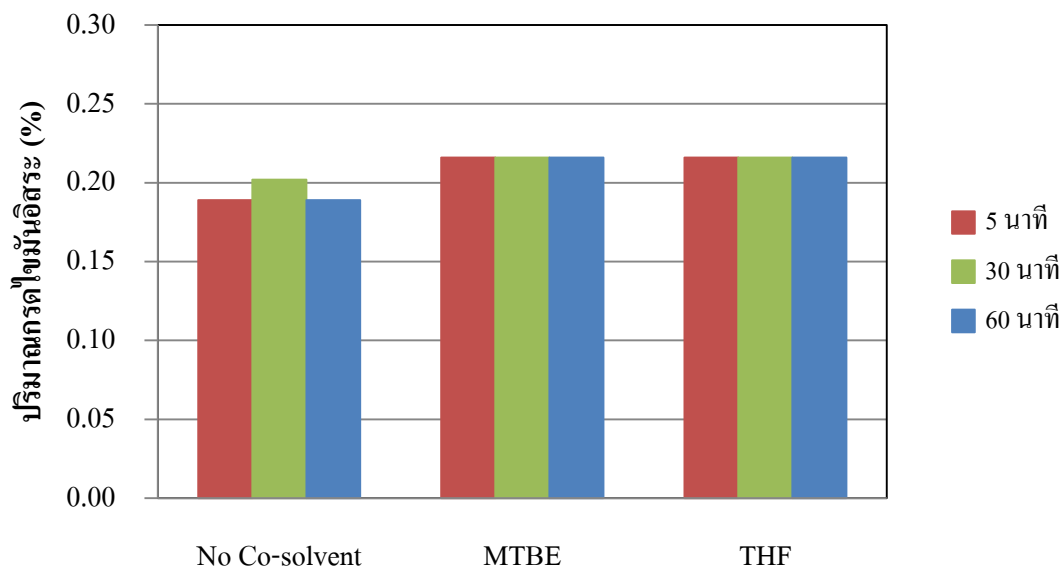
ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.85 เปอร์เซ็นต์ โดยทำปฏิกิริยาที่เวลา 5, 30 และ 60 นาที



ภาพประกอบที่ 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่าง ethyl ester content กับชนิดของตัวทำละลายร่วม (MTBE, THF) และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.85 เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบที่ 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้ของโพลีไอโซบิวทีเลนกับชนิดของตัวทำละลายร่วม (MTBE, THF) และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.85 เปอร์เซ็นต์



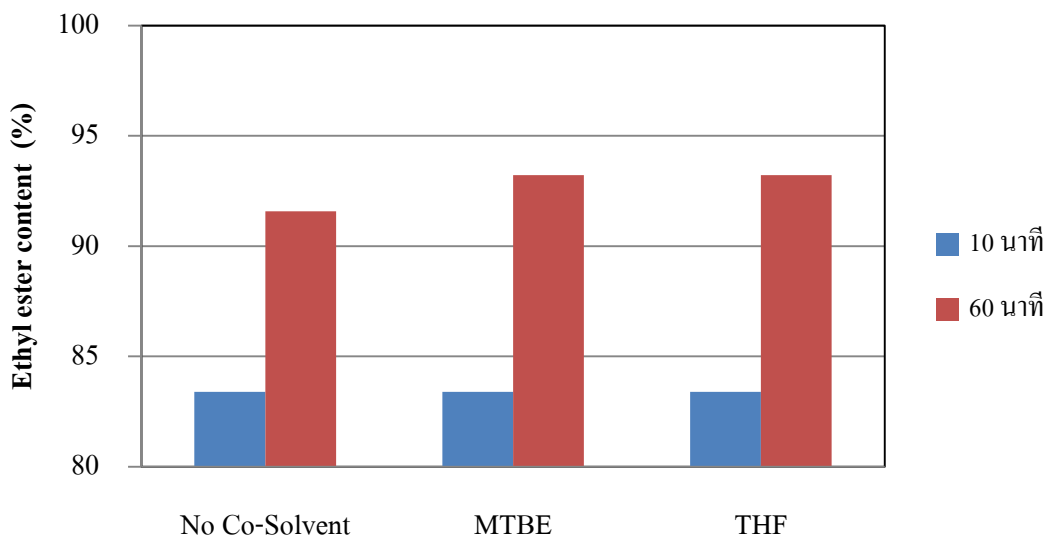
ภาพประกอบที่ 4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) กับชนิดของตัวทำละลายร่วม (MTBE, THF) และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.85 เปอร์เซ็นต์

จากภาพประกอบที่ 4-15 การใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.85 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักน้ำมันที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 และ 30 นาที ตัวทำละลายร่วมไม่มีผลใดๆต่อ ethyl ester content เนื่องจาก ethyl ester content ที่ได้นั้นเท่ากันทั้งกรณีที่ใช้ MTBE, THF และไม่ใช้ ตัวทำละลายร่วม คือ ที่เวลา 5 นาทีจะให้ ethyl ester content 97.31 เปอร์เซ็นต์ และที่เวลา 30 นาทีจะให้ ethyl ester content 98.13 เปอร์เซ็นต์ แต่ที่เวลา 60 นาที การเติม THF ลงไปจะให้ ethyl ester content ที่สูงกว่าการเติม MTBE และไม่เติมตัวทำละลายร่วมเล็กน้อยคือ 98.95, 98.13 และ 98.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

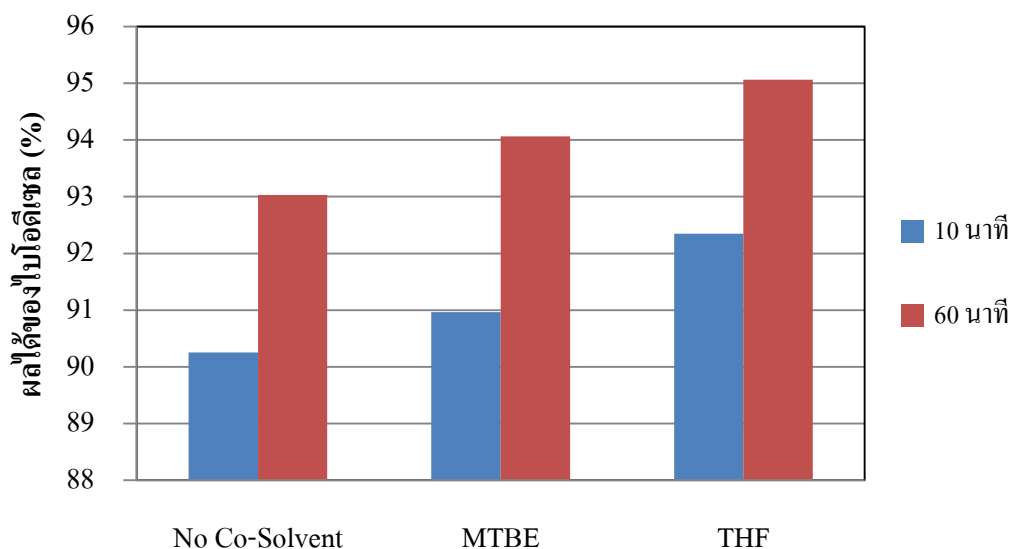
การเติม MTBE และ THF ลงไปในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันนั้นมีผลช่วยให้ผลได้ของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นทุกๆเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ซึ่งที่เวลา 60 นาที จะให้ผลได้สูงสุด และ THF เป็นตัวทำละลายร่วมที่ให้ผลได้ของไบโอดีเซลสูงสุดที่ 95.03 เปอร์เซ็นต์ ถัดมาคือ MTBE ให้ผลได้ของไบโอดีเซล 94.05 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าการใช้ THF เพียงแค่ 30 นาที จะช่วยให้ผลได้ของไบโอดีเซลสูงกว่าการไม่ใช้ตัวทำละลายที่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที สังเกตได้จากภาพประกอบที่ 4-16 และการที่ใช้ THF เป็นตัวทำละลายร่วมนั้นสามารถทำให้ผลได้ของไบโอดีเซลสูงกว่าการใช้ MTBE เนื่องจาก THF จะสามารถละลายน้ำและของเหลวอินทรีย์ได้ดีกว่า MTBE การเข้าทำปฏิกิริยาของเอทานอลกับน้ำมันจึงดีขึ้นด้วย ดังนั้นการเลือกใช้ชนิดของตัวทำละลายร่วมที่เหมาะสมก็จะมีผลช่วยให้เราประหยัดพลังงานในการทำปฏิกิริยาได้มากขึ้น

สำหรับปริมาณกรดไขมันอิสระ พบว่า การเติมตัวทำละลายร่วมลงไปมีผลให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมตัวทำละลายร่วมลงไปเพิ่มในปฏิกิริยาส่งผลให้ปริมาณน้ำในปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นด้วยดังนั้นเมื่อไตรกลีเซอไรด์ทำปฏิกิริยากับน้ำ จึงทำให้เกิดกรดไขมันอิสระขึ้นแต่ชนิดของตัวทำละลายร่วมไม่มีผลต่อการเพิ่มหรือลดปริมาณกรดไขมันอิสระ โดยปริมาณกรดไขมันอิสระของไบโอดีเซลที่ไม่เติมตัวทำละลายอยู่ที่ประมาณ 0.193 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งก็ไม่ต่างกันมากนักกับกรณีที่เติม MTBE และ THF จะได้ 0.216 เปอร์เซ็นต์ที่ทุกๆเวลาในการทำปฏิกิริยา และถือว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานของไบโอดีเซล

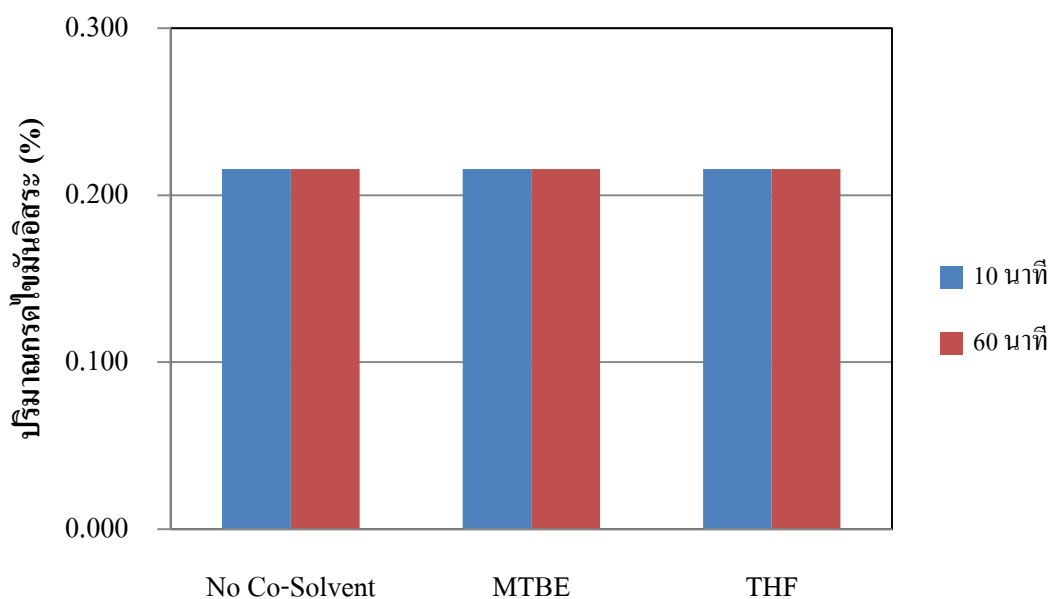
ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.6 เปอร์เซ็นต์ โดยทำปฏิกิริยาที่เวลา 10 และ 60 นาที



ภาพประกอบที่ 4-18 ความสัมพันธ์ระหว่าง ethyl ester content กับชนิดของตัวทำละลายร่วม (MTBE, THF) และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.6 เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบที่ 4-19 ความสัมพันธ์ระหว่างผลได้ของไบโอดีเซลกับชนิดของตัวทำละลายร่วม (MTBE, THF) และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.6 เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบที่ 4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) กับชนิดของตัวทำละลายร่วม (MTBE, THF) และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.6 เปอร์เซ็นต์

จากการทดลองโดยใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่า ethyl ester content ที่ได้จากการเติม THF, MTBE และไม่เติมตัวทำละลายร่วม มีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเทียบกับที่เวลาเดียวกัน และจากภาพประกอบที่ 4-18 จะเห็นได้ว่า การใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ปริมาณน้อยนั้น เวลาที่มีผลอย่างมากต่อ ethyl ester content ซึ่งพบว่า หากใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 10 นาที จะให้ ethyl ester content เพียงแค่ 83.4 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อทำปฏิกิริยาไปถึง 60 นาที จะให้ ethyl ester content สูงถึง 91-93 เปอร์เซ็นต์

จากภาพประกอบที่ 4-19 ยืนยันได้ว่า การเติมตัวทำละลายร่วมลงไปในการทำปฏิกิริยามีผลช่วยให้ผลได้ของไบโอดีเซลสูงกว่าการไม่ใช้ตัวทำละลายร่วมที่ทุกๆเวลาในการทำปฏิกิริยา ถึงแม้จะใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเพียงแค่ 0.6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักโดยการใช้ THF, MTBE และไม่เติมตัวทำละลายร่วม ให้ผลได้ของไบโอดีเซลแตกต่างกันประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ และ

เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที จะให้ผลได้ของไบโอดีเซลมากกว่าการใช้เวลา 10 นาที ประมาณ 2-3 เปอร์เซ็นต์

สำหรับปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) พบว่า ที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา 0.6 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การเติมตัวทำละลายร่วมไม่ว่าชนิดใดลงไปก็ไม่มีผลต่อการเพิ่มหรือลดปริมาณกรดไขมันอิสระ โดยปริมาณกรดไขมันอิสระของไบโอดีเซลที่ได้คือ 0.216 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเท่ากันที่ทุกๆ เวลาในการทำปฏิกิริยา และถือว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานของไบโอดีเซล

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มเอสเทอร์ฟายด์ โดยการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ซึ่งใช้ MTBE เป็นตัวทำละลายร่วม โดยน้ำมันปาล์มเอสเทอร์ฟายด์ที่เป็นสารตั้งต้นมี ethyl ester content 20.27 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน มีปริมาณน้ำ 0.163 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน และกรดไขมันอิสระ 0.540 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำมัน และจากการทดลองหาสภาวะต่างๆที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลมีข้อสรุปดังนี้

(1) MTBE มีผลในการช่วยให้ น้ำมันปาล์มเอสเทอร์ฟายด์ละลายเป็นเนื้อเดียวกับเอทานอลได้ดียิ่งขึ้น โดยการเติม MTBE เพียงแค่ 0.3 โมลต่อหนึ่งโมลเอทานอลก็สามารถทำให้น้ำมันปาล์มเอสเทอร์ฟายด์ละลายได้ดีกับเอทานอลและการใช้ MTBE เป็นตัวทำละลายร่วมกับเอทานอลจะทำให้ KOCH_3 สามารถแพร่และกระจายตัวเข้าไปในสารละลายได้ดีกว่าการไม่ใช้ MTBE

(2) การใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากกว่า 0.75 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน จะทำให้ ethyl ester content ที่ได้มีค่ามากกว่า 96.5 เปอร์เซ็นต์ แต่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่จะทำให้ผลได้ของไบโอดีเซลสูงสุดคือ 0.85 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะให้ผลได้ 91.59 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเติม MTBE และจะได้ 90.67 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีที่ไม่มีเติมตัวทำละลายร่วม

(3) การเติม MTBE ลงไปมีผลให้ ethyl ester content เพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ MTBE ที่แตกต่างกันนั้นไม่ได้มีผลกับ ethyl ester content แต่จะมีผลกับผลได้ของไบโอดีเซลคือ การปริมาณ MTBE เพิ่มขึ้น ไบโอดีเซลที่ได้ก็จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ MTBE 1:0.5 จะให้ผลได้สูงสุดที่ 93.70 เปอร์เซ็นต์ และผลได้ของไบโอดีเซลที่ไม่มีการเติม MTBE จะได้ 90.67 เปอร์เซ็นต์

(4) การใช้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันเพียงแค่ 4:1 ก็สามารทำให้ได้ ethyl ester content 98.13 เปอร์เซ็นต์ สำหรับร้อยละผลได้ของไบโอดีเซล เมื่อเติมเอทานอลลงไป ในอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมัน 4:1, 4.5:1 และ 5:1 ผลได้ของไบโอดีเซลที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้ปริมาณเอทานอลที่มากกว่า 5 โมล ผลได้ของไบโอดีเซลมีค่าคงที่ ประมาณ 92.5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์มเอสเทอร์ไฟฟายด์ ที่เหมาะสมคือ 5:1 ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล 92.52 เปอร์เซ็นต์ และ ethyl ester content 98.13 เปอร์เซ็นต์

(5) การใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันเพียงแค่ 5 นาที ก็สามารถทำให้ ethyl ester content สูงกว่า 97 เปอร์เซ็นต์ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวจะได้ ethyl ester content เท่ากันทั้งกรณีที่ใช้ MTBE เป็นตัวทำละลายร่วมและกรณีที่ไม่ใช้ตัวทำละลายร่วม ส่วนผลได้ของไบโอดีเซล เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นร้อยละผลได้ของไบโอดีเซลก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งที่เวลา 60 นาที ให้ผลได้สูงสุดที่ 94.05 เปอร์เซ็นต์ส่วนกรณีที่ไม่ใช้ตัวทำละลายร่วมจะให้ผลได้ที่น้อยกว่ากรณีที่ใช้ MTBE อยู่ประมาณ 1 – 2 เปอร์เซ็นต์

(6) ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 50 – 80 องศาเซลเซียส ทั้งกรณีที่เติมและไม่เติม MTBE เป็นตัวทำละลายร่วมลงไป ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน จะให้ผลของ ethyl ester content ที่สูงกว่า 97 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลได้ของไบโอดีเซลมีค่ามากที่สุดคือที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยในกรณีที่มีการเติม MTBE ลงไปในปฏิกิริยาจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลสูงสุดที่ 94.05 เปอร์เซ็นต์ และกรณีที่ไม่มีการเติม MTBE จะได้ 92.70 เปอร์เซ็นต์

(7) จากการเปรียบเทียบการผลิตไบโอดีเซลโดยการเติมตัวทำละลายร่วม MTBE, THF และไม่เติมตัวทำละลายร่วมลงไป ในปฏิกิริยา พบว่า กรณีที่ใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา สูงๆ ตัวทำละลายร่วมจะช่วยทำให้ ethyl ester content เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ถ้าหากใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาต่ำๆตัวทำละลายร่วมจะช่วยทำให้ ethyl ester content เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดย THF เป็นตัวทำละลายร่วมที่ช่วยให้ได้ ethyl ester content สูงกว่า MTBE และการไม่ใช้ตัวทำ

ละลายร่วม ตามลำดับ ส่วนผลได้ของไบโอดีเซลนั้น ตัวทำละลายร่วมจะมีผลช่วยให้ผลได้เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดคือ เมื่อเทียบกับการไม่เติมตัวทำละลายร่วม ผลได้จะเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเติม THF และเพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเติม MTBE

(8) สำหรับปริมาณกรดไขมันอิสระ การเติมตัวทำละลายร่วมลงไปมีผลให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากปริมาณน้ำในปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้กรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นด้วย แต่ชนิดของตัวทำละลายร่วมไม่มีผลต่อการเพิ่มหรือลดปริมาณกรดไขมันอิสระ ซึ่งทั้งกรณีที่เติม MTBE THF และไม่เติมตัวทำละลายร่วมจะได้ปริมาณกรดไขมันอิสระไม่เกิน 0.216 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานของไบโอดีเซล

จากการทดลองพบว่าการเติม MTBE ลงไปในปฏิกิริยานั้นมีผลช่วยให้ ethyl ester content เพิ่มขึ้นน้อยมาก และไม่ช่วยให้ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลง แต่พบว่า MTBE มีผลในการช่วยให้ผลได้ของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นประมาณ 1 – 2 เปอร์เซ็นต์ โดยผลได้ของไบโอดีเซลสูงสุดที่ได้จากการเติม MTBE คือ 94.05 เปอร์เซ็นต์ และหากเปลี่ยนการจากใช้ MTBE เป็น THF ก็จะทำให้ผลได้ของไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์

ข้อเสนอแนะ

1. ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทเมทอกไซด์จะมีราคาสูงกว่าประเภทไฮดรอกไซด์มาก และตัวเบสประเภทนี้จะอยู่ในรูปของเหลวผสม คือ เป็นของเหลวผสมระหว่างเมทอกไซด์กับเมทานอล ซึ่งมีเมทอกไซด์อยู่เพียงแค่ 32 เปอร์เซ็นต์ เมื่อต้องการนำมาใช้ควรคิดเฉพาะค่าที่เป็นเมทอกไซด์บริสุทธิ์
2. การใช้ THF เป็นตัวทำละลายร่วมให้ผลได้มากกว่าการใช้ MTBE ก็จริง แต่ THF เป็นตัวทำละลายที่มีราคาสูง ในการจะเลือกใช้ชนิดของตัวทำละลายร่วมควรคำนึงถึงค่าใช้จ่ายและความคุ้มค่าในการผลิตด้วย
3. การวิเคราะห์ ethyl ester content เป็นการวิเคราะห์โดยใช้วิธีประมาณด้วยเครื่องไมโครเวฟ ซึ่งความแม่นยำอาจไม่เป็นที่ยอมรับมากนัก หากต้องการผลที่เป็นที่ยอมรับได้ในระดับสากลควรเลือกใช้เครื่องมือ Gas Chromatography (GC)
4. การนำไปโอดีเซลที่ได้ไปวิเคราะห์ โมโน-, ได- และไตรกลีเซอไรด์ จะสามารถอธิบายผลการทดลองได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Alamu O.J., Waheed M.A. and Jekayinfa S.O. Effect of ethanol-palm kernel oil ratio on alkali-catalyzed biodiesel yield. *Fuel*, 87 (2008): 1529-1533.
- Alhassan Y., Kumar N., Bugaje I.M., Pali H.S. and Kathkar P. Co-solvent transesterification of cotton seed oil into biodiesel: Effects of reaction conditions on quality of fatty acids methyl esters. *Energy Conversion and Management*, 84 (2014): 640-648.
- Atapour M., Kariminia H.R. and Moslehabadi P.M. Optimization of biodiesel production by alkalicatalyzed transesterification of used frying oil. *Process Safety and Environmental Protection*, 92 (2014): 179-185.
- Boocock D.G.B., Konar S.K., Mao V. and Sidi H. Fast one-phase oil-rich processes for the preparation of vegetable oil methyl esters. *Biomass and Bioenergy*, 11 (1996): 43-50.
- Bouaid A., Martinez M. and Aracil J.A comparative study of the production of ethyl esters from vegetable oils as a biodiesel fuel optimization by factorial design. *Chemical Engineering Journal*, 134 (2007): 93-99.
- Casas A., Fernández C.M., Ramos M.J., Pérez A. and Rodríguez J.F. Optimization of the reaction parameters for fast pseudo single-phase transesterification of sunflower oil. *Fuel*, 89 (2010): 650-658.
- Cheng S.F. Kinetic study on transesterification of palm oil. *Q Journal of Oil Palm Research*, 16 (2004): 19-24.
- Chinputtanawanich S., Pairintra R. and Thepa S. Biodiesel Production from Goats Fat with Co-solvent. *Agricultural Science. J.*, 44 (2013): 517-520.
- Darnoko D. and Cheryan M. Kinetics of palm oil transesterification in a batch reactor. *American Oil Chemists' Society*, 77 (2000): 1263-1267.
- Domingos A.K., Saad E.B., Wilhelm H.M. and Ramos L.P. Optimization of the ethanolysis of *Raphanus sativas* (L.Var.) crude oil applying the response surface methodology. *Bioresource Technology*, 99 (2008): 1837-1845.

- Dorado M.P., Ballesteros E., Mittelbath M. and Lopez F.J. Kinetic parameters affecting the alkali catalyzed transesterification process of used olive oil. *Energy Fuels*, 18 (2004): 1457-1462.
- Encinar J.M., Gonzalez J.F., Pardal A. and Martinez G. Transesterification of rapeseed oil with methanol in the presence of various co-solvents. *Third International Symposium on Energy from Biomass and Waste*. (2010).
- Encinar J.M., González J.F. and Rodríguez-Reinares A. Biodiesel from used frying oil. Variables affecting the yield and characteristics of the biodiesel. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44 (2005): 5491–5499.
- Encinar J.M., González J.F. and Rodríguez-Reinares A. Ethanolysis of used frying oil. Biodiesel preparation and characterization. *Fuel Processing Technology*, 88 (2007): 513–522.
- Fukuda H., Kondo A. and Noda H. Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92 (2001):405-416.
- Gerpen J.V. Biodiesel processing and production. *Fuel Processing Technology*, 86 (2005): 1097-1107.
- Guan G., Kusakabe K., Sakurai N. and Moriyama K. Transesterification of vegetable oil to biodiesel fuel using acid catalysts in the presence of dimethyl ether. *Fuel*, 88 (2009): 81–86.
- Guan G., Sakurai N. and Kusakabe K. Synthesis of biodiesel from sunflower oil at room temperature in the presence of various cosolvents. *Chemical Engineering Journal*, 146 (2009): 302–306.
- Jomtib N., Prommuakl C., Goto M., Sasaki m., and Shotipruk A. Effect of Co-solvents on Transesterification of Refined Palm Oil in Supercritical Methanol. *Engineering Journal*, 15 (2011).
- Keera S.T., Sabagh S.M.E. and Taman A.R. Transesterification of vegetable oil to biodiesel using alkaline catalyst. *Fuel*, 90 (2011): 42-47.
- Kim H.J., Kang B.S., Kim M.J., Park Y.M., Kim D.K., Lee J.S. and Lee K.Y. Transesterification of vegetable oil to biodiesel using heterogeneous base catalyst. *Catalysis Today*, 95 (2004): 315-320.

- Knothe G. Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. *Fuel Processing Technology*, 86 (2005): 1059-1070.
- Kucek K.T., Aparecida M., Cesar-Oliveira F., Wilhelm H.M. and Ramos L.P. Ethanolysis of refined soybean oil assisted by sodium and potassium hydroxide. *American Oil Chemists' Society*, 84 (2007): 385-392.
- Leung D.Y.C., Wu X. and Leung M.H.K. A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applied Energy*, 87 (2010): 1083-1095.
- Lin C. and Hsiao M.C. Optimization of biodiesel production from waste vegetable oil assisted by co-solvent and microwave using a two step process. *Sustainable Bioenergy Systems*, 3 (2013): 1-6.
- Lodcam Theyyane. Alkali-catalyzed transesterification of waste cooking oil with cosolvent, 2009.
- Mahajan S., Konar S.K. and Boocock D.G.B. Standard biodiesel from soybean oil by a single chemical reaction. *American Oil Chemists' Society*, 83 (2006): 641-644.
- Mansourpoor M. and Shariati A. Optimization of biodiesel production from sunflower oil using response methodology. *Chemical Engineering & Process Technology*, 2 (2012): 1-5.
- Mao V., Konar S.K. and Boocock D.G.B. The pseudo-single-phase, base catalyzed transesterification of soybean oil. *American Oil Chemists' Society*, 81 (2004): 851-857.
- Marchetti J.M., Miguel V.U. and Errazu A.F. Possible methods for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20 (2005): 280-288.
- Mohammed-Dabo I.A., Ahmad M.S., Hamzu A., Muazu K. and Aliyu A. Co-solvent transesterification of *Jatropha curcas* seed oil. *Petroleum Technology and Alternative Fuels*, 3 (2012): 42-51.
- Muppaneni T., Harvind K., Reddy, Prafulla D., Dailey P., Aday C. and Deng S. Ethanolysis of camelina oil under supercritical condition with hexane as a co-solvent. *Applied Energy*, 94 (2012): 84-88.

- Muppaneni T., Reddy H.K., Ponnusamy S., Patil P.D., Sun Y., Dailey P., Deng S. Optimization of biodiesel production from palm oil under supercritical ethanol conditions using hexane as co-solvent: A response surface methodology approach. *Fuel*, 107 (2013): 633–640.
- Permsuwan A., Tippayawong N., Kiatsiriroat T., Thararux C. and Wangkam S. Reaction kinetics of transesterification between palm oil and methanol under subcritical conditions. *Energy Science and Technology*, 2 (2011): 35-42.
- Ramadhas A.S., Jayaraj S. and Muraleecharan C. Biodiesel production from high FFA rubber seed oil. *Fuel*, 84 (2005): 335-340.
- Rashid U. and Anwar F. Production of biodiesel through optimized alkaline-catalyzed transesterification of rapeseed oil. *Fuel*, 87 (2008): 265-273.
- Rungthip C. Continuous biodiesel production from used frying oil using sodium methoxide as catalyst. The 3rd International Thai Chemical Engineering and Applied Chemistry Conference. (2557)
- Thanh T.L., Okitsu K., Sadanga Y., Takenaka N., Maeda Y. and Bandow H. A new co-solvent method for the green production of biodiesel fuel-Optimization and practical application. *Fuel*, 103 (2012): 742-748.
- Todorovic' Z.B., Olivera S. Stamenkovic', Ivica S. Stamenkovic' , Jelena M. Avramovic' , Ana V. Velic'kovic' , Ivana B. Bankovic' -Ilic' , Vlada B. Veljkovic. The effects of cosolvents on homogeneously and heterogeneously base-catalyzed methanolysis of sunflower oil. *Fuel*, 107 (2013): 493–502.
- Trentin C.M., Lima A.P., Alkimim I.P., Silva C.D., Castilhos F.D., Mazutti M.A. and Oliveira J.V. Continuous production of soybean biodiesel with compressed ethanol in a microtube reactor using carbon dioxide as co-solvent. *Fuel Processing Technology*, 92 (2011): 952–958.
- Yusup S. and Khan M.A. Base catalyzed transesterification of acid treated vegetable oil blend for biodiesel production. *Biomass Bioenergy*, 34 (2010): 1500-1504.
- Zhang Y., Dube M.A., McLean D.D. and Kates M. Biodiesel production from waste cooking oil. *Bioresource Technol*, 90 (2003): 229-240.

Zhou W., Konar S.K. and Boocock D.G.B. Ethyl esters from the single-phase base-catalyzed ethanolysis of vegetable oil. American Oil Chemists' Society. 80 (2003): 367-371.

Zhou W. and Boocock D.G.B. Phase behavior of the base-catalyzed transesterification of soybean oil. American Oil Chemists' Society, 83 (2006a): 1041-1045.

กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน. ค่ามาตรฐานไบโอดีเซล.

Available from: http://www.doeb.go.th/dede/fileadmin/usr/bers/biodiesel_2007.pdf

กระทรวงพลังงาน. ฐู่เฟื่องเรื่องพลังงาน. [Internet]. [cited 2013 June 21].

Available from: <http://www.energy.go.th>

ชาคริต ทองอุไร, ธเนศ วัชสุวรรณ, รวมพร นิคม. เทคโนโลยีไบโอดีเซล (Biodiesel Technology) ฉบับปฏิบัติการจริง. 2011.

ตัวทำละลาย – Wikipedia, the free encyclopedia [Internet]. [cited 2013 March 9].

Available from: <http://th.wikipedia.org/wiki/ตัวทำละลาย>

ไบโอดีเซลโครงการเค-ยู ไบโอดีเซล. 2007. [Internet]. [cited 2013 June 21].

Available from: <http://www.biodiesel.rdi.ku.ac.th>

ไบโอดีเซลชุมชน. 2008. [Internet]. [cited 2014 August 27].

ไบโอดีเซลโครงการเค-ยู ไบโอดีเซล. 2007. [Internet]. [cited 2013 June 21].

Available from: <http://www.biodiesel.rdi.ku.ac.th>

ปาล์มน้ำมัน – Wikipedia, the free encyclopedia [Internet]. [cited 2013 July 13].

Available from: <http://th.wikipedia.org/wiki/ปาล์มน้ำมัน>

วารสารประสิทธิภาพพลังงานปีที่ 13 ฉบับที่ 61, มูลนิธิสถาบันประสิทธิภาพพลังงาน

Available from: <http://203.158.6.77/BasicSearch.aspx>

สถานวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนจากน้ำมันปาล์มและพืชน้ำมันคณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2005. เอกสารประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ

ไบโอดีเซล. Available from: <http://www.biodiesel.eng.psu.ac.th>

สารานุกรมพลังงานไบโอดีเซล. [Internet]. [cited 2013 July 13].

Available from: <http://www.greatkingcity.com/encyclopaedi>

Ethanol – Wikipedia, the free encyclopedia [Internet]. [cited 2013 Oct 29].

Available from: <http://th.wikipedia.org/wiki/Ethanol>

Methanol – Wikipedia, the free encyclopedia [Internet]. [cited 2013 June 21].

Available from: <http://th.wikipedia.org/wiki/Methanol>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์และการเตรียมสารเคมี

1. การวิเคราะห์กรดไขมันอิสระ

อุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. บิวเรตขนาด 25 มิลลิลิตร
3. หลอดหยด
4. กระบอกตวง
5. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล
3. ฟีนอล์ฟทาลีนเข้มข้น 1% โดยน้ำหนัก (ละลายในเมทานอล)

การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 mol/L (0.1 M), 1000 ml

(Mw = 40 g/mol)

$$\frac{g}{Mw} = \frac{CV}{1000}$$

$$\frac{g}{40 \text{ g/mol}} = \frac{0.1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 1000 \text{ ml}}{1000}$$

$$g = 4 \text{ g}$$

ดังนั้น ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 กรัมละลายในน้ำกลั่น เติลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ 1000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายในขวดแก้ว จะได้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 mol/L

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 1-10 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร และเติมฟีนอล์ฟทาเลอิน 5 หยด ลงในสารตัวอย่าง เขย่าให้เข้ากัน
- 3.ไทเทรตสารละลายตัวอย่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอลขณะที่ไทเทรตต้องเขย่าอย่างแรง จนกระทั่งได้สารละลายสีชมพูคงที่อยู่ประมาณ 1 นาทีอ่านค่าปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้

คำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระ จากสูตร

กรดไขมันอิสระในรูปกรดโอเลอิกร้อยละ

$$= \frac{\text{ปริมาตรค่าที่ใช้ (มิลลิลิตร)} \times \text{ความเข้มข้นค่า (นอร์มอล)} \times 25.6}{\text{น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)}}$$

2. การวิเคราะห์ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและสบู่

อุปกรณ์

1. ขวดรูปหมฟู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. บิวเรตขนาด 25 มิลลิลิตร
3. หลอดหยด
4. กระจกตวง
5. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์
2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.01 และ 0.1 นอร์มอล
3. ฟีนอล์ฟทาลีน
4. โบรโมฟีนอลบลู

การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 mol/L (0.1 M), 1000 ml ($M_w = 36.5 \text{ g/mol}$)

สารละลายกรดไฮโดรคลอริก $(0.1 \text{ mol/L}) \times (36.5 \text{ g/mol}) = 3.56 \text{ g}$

ดังนั้น เมื่อเตรียมจากกรดไฮโดรคลอริก 37% จะได้ว่า

กรดไฮโดรคลอริก 37 g อยู่ในสารละลาย 100 g

ถ้ามีกรดไฮโดรคลอริกอยู่ 3.56 g จะอยู่ในสารละลาย $(3.56 \times 100)/37 = 9.86 \text{ g}$

เนื่องจากกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้เป็นของเหลว เพื่อสะดวกในการเตรียมจึงคำนวณ
ในหน่วยปริมาตร

จากสมการ $\rho = \frac{m}{v}$ โดยที่ $\rho_{\text{HCl}} = 1.19 \text{ kg/L}$

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = \frac{9.86}{1.19}$$

$$V = 8.28 \text{ mL}$$

ดังนั้นเปิดสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% มา 8.28 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ 1000 มิลลิลิตร เก็บสารละลายในขวดแก้ว จะได้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.1 mol/L

การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.01 mol/L (0.01 M), 1000 ml (Mw = 36.5 g/mol)

จากสมการ $C_1V_1 = C_2V_2$

เมื่อ C_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.01 mol/L

C_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 mol/L

V_1 คือ ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.01 mol/L ที่ต้องการ (1000 mL)

V_2 คือ ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 mol/L ที่ต้องใช้

$$0.01 \times 1000 = 0.1 \times V_2$$

$$V_2 = 100 \text{ mL}$$

ดังนั้นปีเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 mol/L มา 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัด ปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ 1000 มิลลิลิตร เก็บ สารละลายในขวดแก้วจะได้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ที่มีความเข้มข้น 0.01 mol/L

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างหนัก 5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร และเติมฟีนอล์ฟทาเลอิน 5 หยด ลงใน สารตัวอย่างเขย่าให้เข้ากันจะได้สารละลายสีชมพู (ถ้าสารละลายไม่เปลี่ยนเป็นสีชมพู แสดงว่าใน สารตัวอย่างไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาเหลืออยู่)
3. ไทเทรตสารละลายตัวอย่างด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.01 นอร์มอล ขณะที่ไทเทรต ต้องเขย่าอย่างแรงจนกระทั่งได้สารละลายสีชมพูคงที่อยู่ประมาณ 1 นาทีอ่านค่าปริมาณของกรด ไฮโดรคลอริกที่ใช้ไป
4. เติมโบรโมฟีนอลบล 1 มิลลิลิตรลงในสารตัวอย่างเขย่าให้เข้ากันจะได้ สารละลายสีน้ำเงินเข้ม(ถ้าสารละลายไม่เปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเข้ม แสดงว่าในสารตัวอย่างไม่เกิดสบู่) ไทเทรตสารละลายตัวอย่างด้วยกรดไฮโดรคลอริก 0.1นอร์มอล ขณะที่ไทเทรตต้องเขย่าอย่างแรง จนกระทั่งได้สารละลายสีเหลืองคงที่อยู่ประมาณ 1 นาที อ่านค่าปริมาณของกรดไฮโดรคลอริกที่ ใช้ไป

คำนวณปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือหรือปริมาณสบู่ที่เกิด จากสูตร

ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือหรือปริมาณสบู่ที่เกิด (ppm)

$$= \frac{\text{ปริมาตรกรดที่ใช้ (มิลลิลิตร)} \times \text{ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มอล)} \times 1000}{\text{น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)}}$$

3.การวิเคราะห์หาปริมาณกลีเซอรอล

อุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. ปิเปต ขนาด 10 และ 25 มิลลิลิตร
3. บิวเรต
4. กระบอกตวง ขนาด 50 และ 250 มิลลิลิตร
5. หลอดหยด
6. แท่งแม่เหล็ก
7. stirer
8. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. สารละลายโซเดียมเปอร์ไอโอดेट
2. สารละลายอีเทนไดออก
3. สารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ปราศจากคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.01, 0.005 และ 0.125 โมลต่อลิตร
4. สารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร
5. โบรโมไทมอลบลูอินดิเคเตอร์

การเตรียมสารเคมี

สารละลายโซเดียมเปอร์ไอโอดेट

เตรียมโดยการนำสารละลายโซเดียมเปอร์ไอโอดेट 60 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลูกบาศก์เซนติเมตร 60 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ละลายโซเดียมไอโอดेटโดยไม่ต้องใช้ความร้อน ถ่ายใส่ขวดสีน้ำตาลพร้อมจุกแก้วปิดสนิท เก็บในที่มืด ห้ามโดนแสงแดด

สารละลายอีเทนไดคอล

เตรียมโดยการผสมอีเทนไดคอลที่เป็นกลางและปราศจากกลีเซอรอล 1 ส่วนกับน้ำกลั่น 1 ส่วน (โดยปริมาตร)

สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ปราศจากคาร์บอเนต ความเข้มข้น

0.01 โมลต่อลิตร

เตรียมโดยการชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ความเข้มข้น 99 เปอร์เซ็นต์) 0.404 กรัม ละลายกับน้ำกลั่น เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร

สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ปราศจากคาร์บอเนต ความเข้มข้น

0.05 โมลต่อลิตร

เตรียมโดยการชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ความเข้มข้น 99 เปอร์เซ็นต์) 2.02 กรัม ละลายกับน้ำกลั่น เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร

สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ปราศจากคาร์บอเนต ความเข้มข้น

0.125 โมลต่อลิตร

เตรียมโดยการชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ความเข้มข้น 99 เปอร์เซ็นต์) 5.05 กรัม ละลายกับน้ำกลั่น เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร

สารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร

เตรียมโดยการดูดกรดซัลฟูริก (ความเข้มข้น 98 เปอร์เซ็นต์) 5.55 ลูกบาศก์เซนติเมตร ละลายกับน้ำกลั่น เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1 ลิตร

โบรโมโทมอลบลูอินดิเคเตอร์

เตรียมโดยการชั่งโบรโมโทมอลบลูที่แห้ง 0.1 กรัมละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.01 โมลต่อลิตร จำนวน 16 มิลลิลิตร เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 0.1000 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร หยดโบรโมโทมอลบลูอินดิเคเตอร์ 5 - 7 หยด แล้วทำให้เป็นกรดด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก 0.1 โมลต่อลิตร โดยสีของสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง บันทึกปริมาณสารละลายกรดที่ใช้
3. ทำสารละลายให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมลต่อลิตร อย่างระมัดระวังจนได้สารละลายสีฟ้าซึ่งไม่มีสีเขียวปนอยู่เลย บันทึกปริมาณสารละลายต่างที่ใช้
4. ทำแบลลงก์โดยใช้น้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร แทนตัวอย่าง แล้วปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 2 และ 3 โดยใช้อินดิเคเตอร์ปรับความเป็นกรด - ด่าง ก่อนที่จะเติมสารละลายโซเดียมเปอร์ไอโอดेट
5. ใช้ปิเปตดูดสารละลายโซเดียมเปอร์ไอโอดेटมาครั้งละ 50 มิลลิลิตรใส่ลงในสารละลายตัวอย่างและแบลลงก์ แกว่งเบาๆ แล้วปิดด้วยกระดาษฟิคาหรือใช้แผ่นอลูมิเนียมปิดให้สนิท
6. เติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรรวม 300 มิลลิลิตร (น้ำกลั่นที่เติมเท่ากับ 300 - (ปริมาณน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร + ปริมาณโซเดียมเปอร์ไอโอดेट 50 มิลลิลิตร + สารละลายกรดซัลฟูริก 0.1 โมลต่อลิตร + สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 โมลต่อลิตร))
7. นำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.125 โมลต่อลิตร) หยดโบรโมโทมอลบลูอินดิเคเตอร์ 5 - 7 หยด สีของสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีฟ้าเมื่อถึงจุดยุติ แล้วบันทึกปริมาตรสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้จากบิวเรต ให้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิลิตร

4. การวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลที่เหลือ

อุปกรณ์

1. จานเพาะเชื้อ
2. หลอดหยด
3. เครื่องชั่ง
4. ตู้อบ
5. ตู้ดูดความชื้น

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักงาน ใส่ตัวอย่างลงไป 10 กรัม บันทึกค่าน้ำหนักงาน + สารตัวอย่าง
2. นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง
3. นำตัวอย่างออกจากตู้อบไปใส่ในตู้ดูดความชื้น เมื่อตัวอย่างอยู่ที่อุณหภูมิห้อง นำมาชั่งน้ำหนัก บันทึกค่า

การคำนวณหาปริมาณเอทานอลที่เหลือ

เอทานอลที่เหลือ (กรัม) = (น้ำหนักงาน + สารตัวอย่าง ก่อนนำไปอบ) - (น้ำหนักงาน + สารตัวอย่าง หลังนำไปอบ)

$$\text{ร้อยละโดยน้ำหนักของเอทานอลที่เหลือ} = \frac{(\text{น้ำหนักเอทานอลที่เหลือ (กรัม)} \times 100)}{\text{น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)}}$$

5. การวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล

อุปกรณ์

1. หลอดหยั่งรูปกรวย ซึ่งมีสเกลละเอียด 0.05 ml
2. เต้าไมโครเวฟ

สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

สารละลายเมทานอล + โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เตรียมได้โดยชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 3 กรัม ละลายในเมทานอล 100 กรัม ใส่ขวดปิดฝาให้สนิท

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งไบโอดีเซลใส่หลอดหยั่งรูปกรวย 20 กรัม หรือประมาณ 24 ml
2. เติมสารละลายเมทานอล+โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 3 กรัม เขย่าให้เข้ากัน
3. นำเข้าทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันในไมโครเวฟโดยให้ใช้ความร้อนต่ำที่สุด (90วัตต์) เวลา 1.5 นาที
4. ทิ้งรอให้เกิดการแยกชั้นระหว่างไบโอดีเซลและกลีเซอริน
5. อ่านค่ากลีเซอรอลในหลอดหยั่งรูปกรวย
6. เมื่อได้ค่ากลีเซอรอลแล้วก็นำมาเทียบตารางตัวอย่างของ ม.อ. เพื่อหา % ของกลีเซอไรด์ที่เหลือ

การคำนวณหาค่า % เอทิลเอสเตอร์

$$G = Y + \left(\frac{0.0144}{0.0611} \right)$$

โดยที่ Y = ปริมาณของกลีเซอรอลที่อ่านได้

G = %กลีเซอไรด์ที่เหลือ

% เอทิลเอสเตอร์ที่ทำปฏิกิริยาแล้ว = 100 - G

ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกลีเซอรอลที่เกิดขึ้นกับปริมาณกลีเซอไรด์ที่เหลือ

ปริมาณกลีเซอรอล ที่เกิดขึ้น (มิลลิลิตร)	ปริมาณกลีเซอไรด์ ที่เหลือ (%)	ปริมาณกลีเซอรอล ที่เกิดขึ้น (มิลลิลิตร)	ปริมาณกลีเซอไรด์ ที่เหลือ (%)
0.05	1.05	1.10	18.24
0.10	1.87	1.20	19.88
0.15	2.69	1.30	21.51
0.20	3.51	1.40	23.15
0.25	4.33	1.50	24.79
0.30	5.15	1.60	26.42
0.35	5.96	1.70	28.06
0.40	6.78	1.80	29.70
0.45	7.60	1.90	31.33
0.50	8.42	2.00	32.97
0.60	10.06	2.20	36.24
0.70	11.69	2.40	39.52
0.80	13.33	2.60	42.79
0.90	14.97	2.80	46.06
1.00	16.60	3.00	49.34

6. การวิเคราะห์หาผลิตภัณฑ์ที่ได้

คำนวณได้จากสูตร

$$\text{ร้อยละผลผลิตที่ได้} = \frac{(\text{น้ำหนักไบโอดีเซลที่ได้(กรัม)} \times 100)}{\text{น้ำหนักน้ำมันเริ่มต้น (กรัม)}}$$

ภาคผนวก ข

ข้อมูลดิบ

1. ศึกษาความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา

กำหนดให้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันคงที่ที่ 5:1 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (KOCH_3) ตั้งแต่ 0.5 – 2.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน

Exp.	wt.% KOCH_3	% FFA out	% yield	% Ethyl ester
1	0.50	0.323	47.84	67.03
2	0.60	0.189	83.44	89.94
3	0.75	0.189	89.70	97.31
4	0.85	0.216	90.67	97.31
5	1.00	0.189	90.48	98.13
6	1.50	0.189	89.95	97.31
7	2.00	0.216	85.02	98.13

กำหนดอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ MTBE เป็น 1:0.2

Exp.	wt.% KOCH_3	% FFA out	% yield	% Ethyl ester
8	0.5	0.822	41.57	83.40
9	0.6	0.229	87.33	85.03
10	0.75	0.229	90.63	98.13
11	0.85	0.216	91.59	98.13
12	1.0	0.216	91.83	98.54
13	1.5	0.216	91.36	98.95
14	2.0	0.243	88.75	98.54

2. ศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ MTBE

กำหนดให้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันคงที่ที่ 5:1 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (KOCH_3) 0.85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ MTBE ตั้งแต่ 0 – 0.5

Exp.	Molar ratio EtOH : MTBE	wt.% KOCH_3	% FFA out	%yield	% Ethyl ester
1	1 : 0	0.85	0.216	90.67	97.31
2	1 : 0.1	0.85	0.243	91.01	98.13
3	1 : 0.2	0.85	0.216	91.59	98.13
4	1 : 0.3	0.85	0.216	92.54	98.13
5	1 : 0.4	0.85	0.216	93.26	98.13
6	1 : 0.5	0.85	0.216	93.70	98.13

3. ศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันปาล์มเอสเทอร์ไฟยด์

กำหนดอัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ MTBE 1:0.3 ใช้อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (KOH) 0.85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน เปลี่ยนแปลงปริมาณสัดส่วนเชิงโมลของเอทานอลต่อน้ำมัน ตั้งแต่ 4:1 ถึง 8:1

Exp.	Molar ratio EtOH : EPO	KOH , % wt	Soap % wt	% FFA out	%yield	% Ethyl ester
1	4.0 : 1	0.85	2.28	0.243	88.90	98.13
2	4.5 : 1	0.85	2.13	0.243	89.85	98.13
3	5.0 : 1	0.85	1.48	0.216	92.54	98.13
4	5.5 : 1	0.85	1.45	0.216	92.34	97.31
5	6.0 : 1	0.85	1.49	0.216	92.45	97.31
6	6.5 : 1	0.85	1.33	0.202	92.92	97.31
7	7.0 : 1	0.85	1.66	0.202	92.54	97.31
8	7.5 : 1	0.85	1.27	0.216	92.69	97.31
9	8.0 : 1	0.85	1.37	0.216	92.61	97.31

4. ศึกษาเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

กำหนดให้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันคงที่ที่ 5:1 อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อ MTBE 1:0.3 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (KOH) 0.85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน เปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาตั้งแต่ 5-60 นาที

Exp.	Time (min)	% FFA out	% yield	% Ethyl ester
1	5	0.216	91.73	97.31
2	10	0.216	92.02	98.13
3	20	0.216	92.04	98.13
4	30	0.216	92.40	98.13
5	40	0.216	93.54	97.31
6	50	0.216	93.47	98.13
7	60	0.216	94.05	98.13

เปรียบเทียบการใช้ ตัวทำละลายร่วม (MTBE) และไม่ใช่ตัวทำละลายร่วมที่เวลาต่างๆ

Exp.	Molar ratio EtOH:MTBE	Time (min)	% FFA out	% yield	% Ethyl ester
1	1:0	5	0.189	90.61	97.31
2	1:0.3	5	0.216	91.73	97.31
3	1:0	30	0.202	90.38	98.13
4	1:0.3	30	0.216	92.40	98.13
5	1:0	60	0.189	92.70	98.13
6	1:0.3	60	0.216	94.05	98.13

5. ผลการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

กำหนดให้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันคงที่ที่ 5:1 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (KOH) 0.85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 นาที เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส

Exp.	Temp. (°C)	% FFA out	% yield	% Ethyl ester
1	50	0.189	91.76	98.95
2	60	0.189	92.70	98.13
3	70	0.189	89.63	98.95
4	80	0.216	87.16	98.95

ทำการศึกษาเพิ่มอีก 4 การทดลอง โดยใช้สภาวะในการทดลองเดียวกับข้างต้น แต่จะเพิ่มการเติมตัวทำละลายร่วม (MTBE) เข้าไปในปฏิกิริยา โดยให้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อตัวทำละลายร่วม (MTBE) คงที่ที่ 1:0.3

Exp.	Temp. (°C)	% FFA out	% yield	% Ethyl ester
5	50	0.202	93.50	98.54
6	60	0.216	94.05	98.13
7	70	0.162	91.95	98.54
8	80	0.216	92.80	97.31

6. ผลการศึกษาการเปรียบเทียบการไม่ใช้ตัวทำละลายร่วม ใช้ MTBE เป็นตัวทำละลายร่วม และใช้ THF เป็นตัวทำละลายร่วม

เปรียบเทียบผลของตัวทำละลายร่วมที่เวลาต่างๆ ใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (KOH) 0.85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน ให้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อน้ำมันคงที่ 5:1 ให้อัตราส่วนโดยโมลของเอทานอลต่อตัวทำละลายร่วมคงที่ 1:0.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 60 องศาเซลเซียสทำปฏิกิริยาที่เวลาต่างๆ คือ 5, 30 และ 60 นาที

Exp.	Co-solvent	Time (min)	% FFA out	% yield	% Ethyl ester
1	No	5	0.189	90.61	97.31
2	MTBE	5	0.216	91.73	97.31
3	THF	5	0.216	92.05	97.31
4	No	30	0.202	90.38	98.13
5	MTBE	30	0.216	92.40	98.13
6	THF	30	0.216	93.82	98.13
7	No	60	0.189	92.70	98.13
8	MTBE	60	0.216	94.05	98.13
9	THF	60	0.216	95.03	98.95

เปรียบเทียบผลของตัวทำละลายร่วมที่ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา (KOCH_3) 0.6 และ 0.85เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันที่เวลาในการทำปฏิกิริยา 10 และ 60 นาที

Exp.	Co-solvent	%wt. KOCH_3	Time (min)	% FFA out	% yield	% Ethyl ester
1	No	0.60	10	0.216	90.25	83.40
2	MTBE	0.60	10	0.216	90.27	83.40
3	THF	0.60	10	0.216	92.35	83.40
4	No	0.60	60	0.216	93.03	91.58
5	MTBE	0.60	60	0.216	94.07	93.22
6	THF	0.60	60	0.216	95.06	93.22
7	No	0.85	60	0.189	92.70	98.13
8	MTBE	0.85	60	0.216	94.05	98.13
9	THF	0.85	60	0.216	95.03	98.95

ภาคผนวก ค

บทความที่เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ



**School of
Chemical Engineering**

King Mongkut's
Institute of Technology
Ladkrabang



TIChE

The Thai Institute of
Chemical Engineering
and Applied Chemistry



EIT

The Engineering
Institute of Thailand
Under H.M. The King's
Patronage



The 4th TIChE

International Conference
2014

"CHANGES:

Cleaner Energy,

Leaner Processes,

Better Living"

DATE:

December
18-19, 2014

VENUE:

Furama Hotel
Chiangmai, Thailand

SPONSORS:



SCG
CHEMICALS

Effect of MTBE on Transesterification of Esterified Palm Oil

Sukarnda Palipote¹ and Chakrit Tongurai²

¹ Chemical Engineering, Faculty of Engineering

Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90110, Thailand

* Sukarnda Palipote: E-mail sukarnda.psu@hotmail.com

Chakrit Tongurai: E-mail chakrit.t@psu.ac.th

Abstract—Transesterification of esterified palm oil with ethanol was carried out using potassium methoxide (KOCH_3) as catalysts and Methyl tertiary butyl ether (MTBE) as co-solvent. The aim of this work was to study and optimize the reaction parameters. Chosen parameters were ethanol to oil molar ratio of 4:1-8:1, ethanol to MTBE molar ratio of 1:0-1:0.5 and reaction time of 5-60 min. MTBE was used as a co-solvent due to its miscibility in both ethanol and esterified palm oil, reduced viscosity in transesterification reaction for increased the dissolution between ethanol and esterified palm oil, cheap price, inert to the reaction and easy to remove from the product due to their boiling points are close to ethanol, the reaction was complete by MTBE is co-solvent molar ratio at 0.5:1 of ethanol. The optimum values were molar ratio ethanol to oil of 5:1 and reaction time 60 min when using 0.85 wt.% of KOCH_3 and reaction temperature 60 °C. At the same experiment condition, the using MTBE as co-solvent will result in higher ethyl ester yield of biodiesel more in the absence MTBE. The best results is addition of MTBE are obtaining a biodiesel yield of 93.70 wt.%, ethyl ester content of 98.11 wt.% and free fatty acid 0.216 wt.%. And the best results is non-addition of MTBE are obtaining a biodiesel yield of 90.67 wt.%, ethyl ester content of 97.31 wt.% and free fatty acid 0.216 wt.%.

Keywords: biodiesel, esterified oil palm, co-solvent, free fatty acid, MTBE, ethyl ester

I. Introduction

The worldwide worry about the protection of the environment and the conservation of non-renewable natural resources has given rise to the alternative development of sources of energy as a substitute of traditional fossil fuels. The alternatives to diesel fuel must be technically

feasible, economically competitive, environmentally acceptable, and readily available. Many of these requisites are satisfied by vegetable oils or, in general, by triglycerides. Indeed, vegetable oils are widely available from a variety of sources, and they are renewable [1].

Biodiesel, an alternative diesel fuel, is made from renewable biological sources such as vegetable oils and animal fats. It is biodegradable and nontoxic, has low emission profiles and so is environmentally beneficial. Vegetable oil remains the major feedstock for biodiesel production. Animal fat and waste cooking oil have also been used. Soybean (US), rapeseed (Europe), and oil palm (South-East Asia), to mention a few, have been successfully used as renewable vegetable oil sources to generate biodiesel with superior qualities to those of petroleum-based fuels. Oil palm produces fruit, 70–80 wt.% of which is constituted by the mesocarp, and about 45–50 wt.% of this mesocarp is oil. The rest of the fruit comprises the shell, kernel, moisture, and other non-fatty fiber. The extracted oil is known as crude palm oil (CPO) and consists of more than 90 wt.% triglyceride and 3–7 wt.% free fatty acid (FFA). The most abundant fatty acids are palmitic and oleic acids. These feed stocks often contain significant quantities of free fatty acids and water, which make them unsuitable for existing homogeneous alkali-catalyzed processes. FFA can be neutralized by the addition of excess alkali, but this leads to the formation of soaps and to post-reaction separation problems. Thus, a preferred pre-treatment process for CPO is an esterification process with an alcohol, which converts FFA to esters and commonly uses a strongly acidic liquid catalyst, such as sulfuric acid [5].

The most widely employed chemical process for producing biodiesel is transesterification [2-7]. Transesterification has been described as a chemical reaction between triglycerides and alcohol in the presence of a catalyst to produce esters. Transesterification reaction using conventional acid/base catalyzed [8], enzymatic catalyzed and supercritical conditions have been investigated. Three molecules of alcohol are required completely to react with one molecule of the triglyceride in the reversible reaction, in which the triglyceride molecule is converted step by step into diglyceride, monoglyceride and glycerol. In order to shift the

equilibrium to the right, methanol is added in excess over the stoichiometric amount in most commercial biodiesel production plants.

Short-chain alcohols such as methanol, ethanol, and butanol are the most frequently employed. Although the use of different alcohols presents some differences about the reaction kinetics, the final yield of esters remains more or less inalterable. Therefore, selection of the alcohol is based on cost and performance consideration. Ethanol can be produced from agricultural renewable resources, thereby attaining total independence from petroleum-based alcohols. Also, ethanol, as the extraction solvent, is preferable to methanol because of its much higher dissolving power for oils. For this cause, ethanol is often used as an appropriate alcohol for the transesterification of vegetable oils. Therefore, producing ethyl esters rather than methyl esters is of considerable interest, because, in addition to the entirely agricultural nature of the ethanol, the extra carbon atom brought by the ethanol molecule slightly increases the heat content and the cetane number. Finally, another important advantage in the use of ethanol is that the ethyl esters have cloud and pour points that are lower than the methyl esters. This fact improves the cold start [9]. And substantial improvements in this nucleophilic substitution reaction mechanism upon the addition of another solvent into ethanol (co-solvent system) have been reported.

For example, Delgado [14] used methyl tert-butyl ether (MTBE) and tetrahydrofuran (THF) in the transesterification of triglycerides with methanol–methyl acetate mixture, in order to speed up the reaction to obtain methyl esters and triacetin. Hernando et al. [10] did the transesterification of rapeseed and soybean oil using a combination of a co-solvent (MTBE) and microwave irradiation to decrease the mass transfer resistance in the first stage of the reaction and observed an easy separation of the glycerol phase formed. Finally, Guan et al. [11] suggested the addition of ethers, like THF, 1,4-dioxane, Diisopropyl ether, dimethyl ether, diethyl ether or MTBE, to render to methanol/oil system one phase. The ethers are good co-solvents because they contain the balance of polar and nonpolar entities required lowering the interfacial surface tension between methanol and vegetable oil.

In this research work, transesterification of esterified palm oil using ethanol – co-solvent (MTBE) system was conducted. The effect of adding MTBE in ethanol was evaluated based on yield and quality of finished biodiesel product. Optimization of reaction time, ethanol to oil and ethanol to MTBE molar ratio were also conducted. Finally, the quality of ethyl ester produced was also evaluated using standard methods of analyses.

II. MATERIALS AND METHODS

1. Materials

Esterified palm oil (EPO) was obtained from Specialized R&D Center for Alternative Energy from Palm Oil and Crops, Prince of Songkla University, Thailand. Anhydrous ethanol (99%) was from by P. General Group co., ltd., Thailand. Potassium methoxide in methanol solution (32%) was provided by Labchem (Pittsburgh, PA. USA). Methyl tert-butyl ether (MTBE) (99%) was obtained from Ajax Finechem.

Table 1. Properties of Esterified Palm Oil

Properties	
Molar mass	847 g/mol
Density	0.87 g/ml
Ethyl ester	20.27 wt.%
FFA	0.540 wt.%
H ₂ O	0.163 wt.%

2. Experimental procedure

Reaction of transesterification was carried out in 500 mL three-necked round bottom flask with magnetic stirrer connected to a reflux condenser. The experimental parameter was, the molar ratio of ethanol: oil (in the range of 4:1 to 8:1), the molar ratio of ethanol: MTBE (1:0.1 to 1:0.5) and reaction time (5 to 60 min). The catalyst content 0.85 wt.% of oil and the reaction temperature of 60°C were kept constant.

The reactor was initially filled with the esterified palm oil and the MTBE needed to obtain an initial single phase mixture, and then preheated to the desired temperature. Potassium methoxide was dissolved in the ethanol, and the resulting solution was added to the agitated reactor. The reaction was timed as soon as potassium methoxide and ethanol solution was added to the reactor. After the prefixed time, the reaction was immediately quenched. Then, pour the product into a funnel and leave it until ethyl ester and glycerol is completely separated (2 hr.), wash ethyl ester until the washing hot water is neutral (pH 7). Remove the water by heating the ethyl ester at 120 °C for two hr.

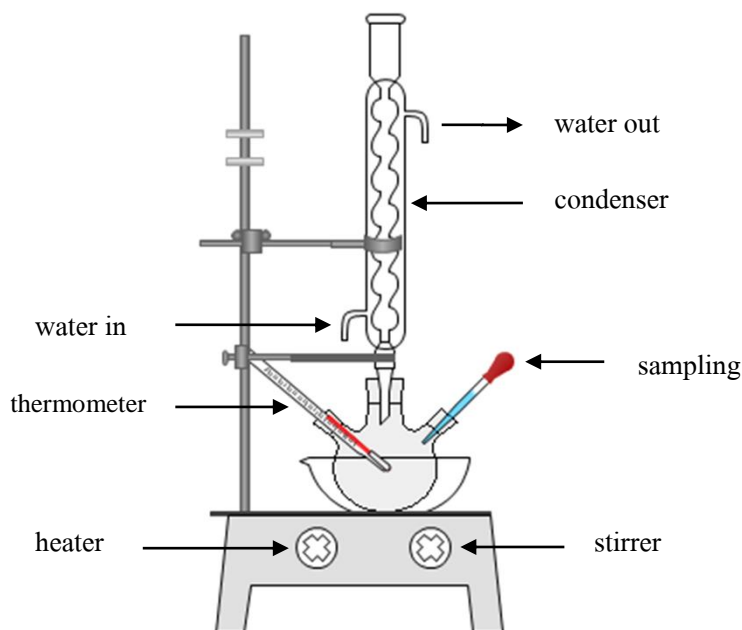


Fig 1. Three-necked batch reactor

The percentage yield of ethyl ester for each batch produced was calculated by the following equation.

$$\% \text{ Yield} = \frac{\text{Weight of biodiesel produced (g)} \times 100}{\text{Weight of oil used (g)}}$$

3. Analytical methods

The ethyl ester content in biodiesel was determined according to the proximate analysis of total glyceride and ester content (Patty Patent 5060 [12]). Following the Thailand Patty Patent 5060, the total glyceride content in biodiesel can be obtained by transesterification employing microwave irradiation. Residue glycerides in a biodiesel sample are brought into the reaction with methanol in the presence of a catalyst to produce methyl ester and glycerol. The amount of glycerol, stand-in of the glyceride content, can be established by using a correlation curve. The total glyceride content, in wt.% unit, from this method can be proximately converted into ester content by subtracting the value from 100 wt.% [13].

III. RESULTS AND DISCUSSION

1. Effect of molar ratio of ethanol to oil

Many researchers recognized that one of the main factors affecting the yield of biodiesel is the molar ratio of alcohol to triglyceride. Theoretically, the ratio for the transesterification reaction requires 3 mol of alcohol for 1 mol of triglyceride to produce 3 mol of fatty acid ester and 1 mol of glycerol. An excess of alcohol is used in biodiesel production to ensure that the oils or fats will be completely converted to esters and higher alcohol triglyceride ratio can result in a greater ester conversion in a shorter time. Yield of biodiesel is increased when

alcohol triglyceride ratio is raised beyond 3 and reaches a maximum. Furthermore increasing alcohol amount beyond the optimal ratio will not increase the yield but will increase the cost for alcohol recovery.

In this study it was performed nine experiments varying the molar ratio of ethanol to oil (4:1 to 8:1), constant ethanol to MTBE molar ratio (1:0.3), 0.85wt.% of KOCH₃, reaction temperature 60 °C and 30 min. It was obtained 92.54 wt.% yield, 98.17 wt.% ethyl ester and 0.216 wt.% FAA for 5:1 ethanol: oil molar ratio (show Table 2). As a consequence of these results, all other experiments were performed with a molar ratio 5:1.

Table 2. Effect of molar ratio of ethanol to oil

Molar ratio EtOH:Oil	%Yield	%Ethyl ester	%FFA
4.0:1	88.90	98.13	0.243
4.5:1	89.85	98.13	0.243
5.0:1	92.54	98.13	0.216
5.5:1	92.34	97.31	0.216
6.0:1	92.45	97.31	0.216
6.5:1	92.92	97.31	0.202
7.0:1	92.54	97.31	0.202
7.5:1	92.69	97.31	0.216
8.0:1	92.61	97.31	0.216

2. Effect of molar ratio of ethanol to MTBE

Transesterification of Palm Kernel oil using ethanol in alkali-catalyzed synthesis of biodiesel was conducted by Alamu et al. [14] and reported the effect of ethanol to oil molar ratio as one of the important factors affecting the transesterification process. In this work, constant ethanol to oil molar ratio (5:1), 0.85 wt.% of KOCH₃, reaction temperature 60 °C and 30 min was used. In order to evaluate the effect of this important factor, we formulated different proportions of ethanol to co-solvent systems by adding 1:0.1 to 1:0.5 molar ratio of ethanol to MTBE. Table 3 presents the effect of ethanol to MTBE molar ratio on the percentage yields of ethyl ester. The optimum of molar ratio of ethanol to MTBE (show Table 3) was obtained 93.70 wt.% yield, 98.13 wt.% ethyl ester and 0.216 wt.% FFA for 1: 0.5 ethanol: MTBE molar ratio.

However, the effect of a co-solvent addition in ethanol volume was investigated. From the results, MTBE addition requires higher percentage yields of total ethanol to overcome mass resistance due to poor miscibility of co-solvent in ethanol and other properties associated with its volatility.

Table 3. Effect of molar ratio of ethanol to MTBE

Molar ratio EtOH:MTBE	%Yield	%Ethyl ester	%FFA
1:0	90.67	97.31	0.216
1:0.1	91.01	98.13	0.243
1:0.2	91.59	98.13	0.243
1:0.3	92.54	98.13	0.216
1:0.4	93.26	98.13	0.216
1:0.5	93.70	98.13	0.216

3. Effect of reaction time

Reaction time is one of the most important reaction conditions in production of biodiesel. When potassium methoxide or the co-solvent solution was added into the esterified palm oil, a distinct cloudy mixture was observed during transesterification at the initial stage.

The experimental results show the evolution of the transesterification reaction, over time, in the presence and absence of co-solvent. However, using MTBE as co-solvent will result in higher ethyl ester yield. Due to MTBE co-solvent will assist in faster mixing of oil and ethanol into the same phase even at low reaction time, hence increasing the reaction rate and ethyl ester content in the product.

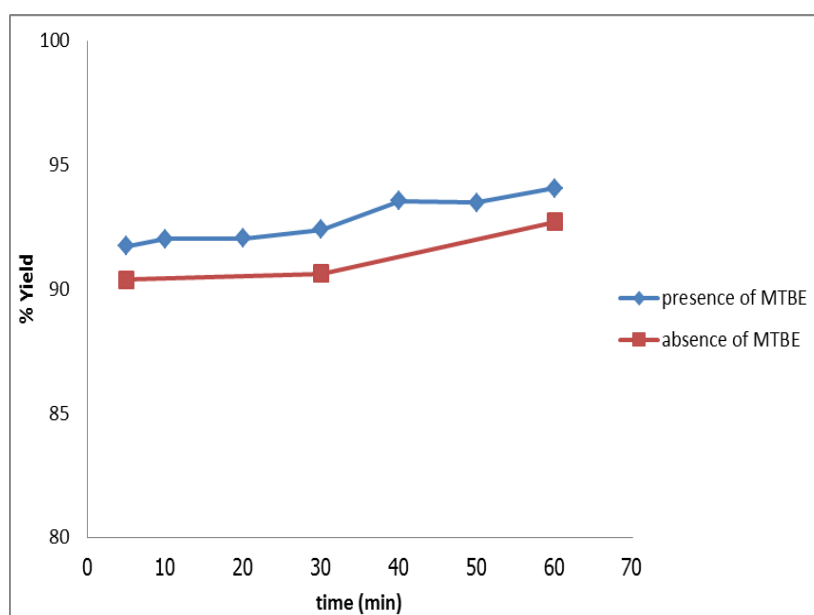


Fig. 2. Effect of reaction time on percentage yield of ethyl ester at 60°C, 5: 1 molar ratio of ethanol to oil, 0.85wt.% of KOCH₃ and 1: 0.3 molar ratio of ethanol to MTBE.

IV. CONCLUSION

The transesterification of esterified palm oil into biodiesel using ethanol and MTBE as co-solvent was optimized in this research work with the aim of reducing the reaction time and improving the yield. High ethyl ester yield and fast reaction rate could be obtained even if reaction time was relatively low, which is quite favorable to the production of the biodiesel industry.

At the same experiment condition, the using MTBE as co-solvent will result in higher ethyl ester yield of biodiesel more in the absence MTBE.

Using MTBE as co-solvent is possible to obtain a biodiesel with ethyl ester content higher than 97 wt.% within the first 5 min of reaction.

The optimum values of the variables were ethanol to oil molar ratio of 5:1, ethanol to MTBE molar ratio of 1:0.5 and 60 min of reaction time for the 0.85 wt.% of KOCH_3 catalyzed reaction obtaining a biodiesel yield of 93.70 wt.% ethyl ester content of 98.11 wt.% and free fatty acid 0.216 wt.%.

Acknowledgment

The authors would like to thank Faculty of Engineering, Prince of Songkla University for financially support.

REFERENCES

- [1] Boehman L., 2005. Biodiesel production and processing, *Fuel Process. Technol.* 86, 1057–1058.
- [2] Suppalakpanya K., Ratanawilai S.B., Tongurai C., 2010. Production of ethyl ester from crude palm oil by two-step reaction with a microwave system, *Fuel.* 89, 2140–2144.

- [3] Brennan L., Owende P., 2009. Biofuels from microalgae-a review of technologies for production, processing and extractions of biofuels and co-products. *Renew Sustain Energy Rev.*
- [4] Ernst B., Nortrje Y., Greuning CV., 2011. Supercritical carbon dioxide extracted oil from *Jatropha curcas*: Directive for the biodiesel industry. *J Supercrit Fluids.* 60, 38–44.
- [5] Daz Royon DM., Ellenrieder G., Locatelli S., 2007. Enzymatic production of biodiesel from cotton seed oil using t-butanol as a solvent. *Bioresour Technol.* 98, 648–653.
- [6] Rawat I., Ranjith Kumar R., Mutanda T., Bux F., 2013. Biodiesel from microalgae: a critical evaluation from laboratory to large scale production. *Appl Energy.* 103, 444–67.
- [7] Kiakalaieh AT., Amin NA., Zarei A., Norshadi I., 2013. Transesterification of waste cooking oil by heteropoly acid (HPA) catalyst: optimization and kinetic model. *Appl Energy.* 102, 283–292.
- [8] Lin C., Hsiao MC., 2013. Optimization of biodiesel production from waste vegetable oil assisted by co-solvent and microwave using a two-step process. *J Sustain Bioenergy Syst.* 3, 1–6.
- [9] Encinar J.M., González J.F., 2007. Rodríguez-Reinares, Ethanolysis of used frying oil. Biodiesel preparation and characterization, *Fuel Process. Technol.* 88, 513–522.
- [10] Hernando J., Leton P., Matia MP., Novella JL., Alvarez-Builla J., 2007. Biodiesel and FAME synthesis assisted by microwaves: homogeneous batch and flow processes. *Fuel.* 86, 1641–1644.
- [11] Guan G., Kusakabe K., Sakurai N., Moriyama K., 2009 Transesterification of vegetable oil to biodiesel fuel using acid catalysts in the presence of dimethyl ether. *Fuel.* 88, 81–86.
- [12] Tongurai C., 2008. Approximately analysis of total glyceride content in biodiesel by transesterification using microwave radiation technique. Thailand Patty Patent 5060.

- [13] Nikhom R., Tongurai C., 2013. Production development of ethyl ester biodiesel from palm oil using a continuous deglycerolisation process. *Fuel*.
- [14] Alamu OJ., Waheed MA., Jekayinfa SO., 2008. Effect of ethanol-palm kernel oil ratio on alkali-catalyzed biodiesel yield. *Fuel*. 87, 1529–1533.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล นางสาวสุภาณูดา ปาลีโกชน์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5510120094

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมี)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2554

ทุนการศึกษาที่ได้รับ

ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Sukarnda Palipote and Chakrit Tongurai. 2014. Effect of MTBE on Transesterification of Esterified Palm Oil. Proceeding of the 4th TIChE International conference. December 18-19, 2014, Chiang Mai, Thailand.