

ผลของกรดไขมันอิสระต่อสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

นางสาวชนารตี เฒานานนท์



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Effects of Free Fatty Acids on Fuel Properties prepared from Used Cooking Oil of
Microemulsion-based Biofuel

Miss Chanaradee Penanon



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

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของกรดไขมันอิสระต่อสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ
ไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

โดย

นางสาวชนารดี เหนานนท์

สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. สุชา ขาวเขียว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทฉบับนี้

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริมา ปัญญาเมธิกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุชา ขาวเขียว)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ตะวัน ลิ้มปิยากร)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. นवलกมล อาภรณ์พงษ์)

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากบุคคลหลายท่านด้วยกัน

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลา ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ให้ถูกต้องและรัดกุม ตลอดจนถ่ายทอดวิชาความรู้ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ทุกขั้นตอน ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ตะวัน ลิ้มปิยากร และกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย อาจารย์ ดร.นวลกมล อภรณ์พงษ์ ที่ได้ให้เกียรติและสละเวลาในการสอบวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ทำให้วิทยานิพนธ์สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ บุคคลากรภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความรู้ และคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.อัมพิรา เจริญแสง สำหรับข้อแนะนำและช่วยเหลือในทุกๆ ด้านในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสาร และของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ และเครื่องมือในการทำวิจัย

ขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งสำหรับผู้เขียนเอกสารค้นคว้า ตำรา หนังสือ บทความ งานวิจัย ตลอดจนเอกสารต่างๆ ที่ทำให้ผู้เขียนเข้าใจในเนื้อหาที่ปรากฏในวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกๆ คนที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ตลอดจนเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์นี้ด้วยดีตลอดมา

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา และญาติพี่น้อง ที่สนับสนุนด้านการศึกษา และเป็นกำลังใจให้เสมอมา

และสุดท้ายนี้ การทำงานย่อมมีการผิดพลาด ดังนั้น จักเป็นพระคุณอย่างยิ่งหากผู้อ่านวิทยานิพนธ์เล่มนี้พบข้อบกพร่องหรือข้อผิดพลาด หรือมีข้อเสนอแนะที่ควรปรับปรุงหรือพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น ผู้เขียนยินดีน้อมรับและนำไปปรับปรุงแก้ไขต่อไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฑ
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 น้ำมันพืช (Vegetable Oil).....	6
2.2 น้ำมันปาล์ม (Palm oil)	8
2.3 น้ำมันพืชใช้แล้ว (Used cooking oil, UCO).....	9
2.3.1 วิธีการบำบัดน้ำมันพืชใช้แล้วขั้นต้น	10
2.3.1.1 การกรอง (Filtration).....	10
2.3.1.2 การนำกรดออก (De-acidification)	10
2.3.2 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการให้ความร้อน	11
2.3.2.1 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)	11
2.3.2.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation).....	12

2.3.2.3 ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization)	12
2.4 กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acids).....	13
2.5 ไบโอดีเซล (Biodiesel).....	14
2.6 เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel)	15
2.7 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	15
2.7.1 การใช้โดยตรงหรือการผสมกับน้ำมันดีเซล (Direct use or blending).....	15
2.7.2 กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis)	16
2.7.3 ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification)	17
2.7.3.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous catalysts).....	18
2.7.3.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous catalysts)	18
2.7.4 วิธีไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)	18
2.8 ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion).....	19
2.8.1 แบ่งประเภทตามชนิดของของเหลว.....	20
2.8.2 แบ่งประเภทตามระบบของ Winsor.....	21
2.8.2.1 Winsor type I (Oil in water, O/W).....	21
2.8.2.2 Winsor type II (Water in oil, W/O).....	21
2.8.2.3 Winsor type III (Middle phase).....	21
2.8.2.4 Winsor type IV (Single phase)	21
2.9 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)	23
2.9.1 สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ (Anionic Surfactant)	23
2.9.2 สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก (Cationic Surfactant)	24
2.9.3 สารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุลบและประจุบวก (Zwitterionic Surfactant)	24
2.9.4 สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (Nonionic Surfactant).....	24

2.10 สัดส่วนความชอบน้ำต่อสัดส่วนชอบน้ำมัน หรือค่าเอชแอลบี (Hydrophile-Lipophile Balance, HLB).....	25
2.11 เอทานอล (Ethanol).....	26
2.12 แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary Phase Diagram).....	27
2.13 สมบัติของเชื้อเพลิง (Fuel Property).....	28
2.13.1 ความหนืด (Viscosity).....	28
2.13.2 ค่าซีเทน (Cetane Number).....	28
2.13.3 จุดขุ่น (Cloud Point).....	30
2.13.4 จุดไหลเท (Pour point).....	30
2.13.5 จุดวาบไฟ (Flash point).....	30
2.13.6 ความหนาแน่น (Density).....	31
2.13.7 ค่าความเป็นกรด (Acid number).....	31
2.13.8 ค่าความร้อน (Heating value).....	31
2.13.8.1 Gross calorific value (Higher heating value, HHV).....	32
2.13.8.2 Net calorific value (Lower heating value, LHV).....	32
2.13.9 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity).....	32
2.13.10 ปริมาณน้ำ (Water content).....	33
2.13.11 กากคาร์บอน (Carbon Residue).....	33
2.13.12 ปริมาณเถ้า (Ash content).....	33
2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	35
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย.....	47
3.1 แผนการทดลอง	47
3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	50

3.2.1	วัสดุอุปกรณ์	50
3.2.2	สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	50
3.3	วิธีดำเนินงานวิจัย	52
3.3.1	การเตรียมและปรับสภาพน้ำมันพืชใช้แล้ว	52
3.3.1.1	การเตรียมน้ำมันพืชใช้แล้ว	52
3.3.1.2	การวิเคราะห์กรดไขมันอิสระ (Free fatty acids content) ในน้ำมันพืช ใช้แล้วโดยการไตเตรท (วิธีมาตรฐาน AOCS Ca 5a-40)	52
3.3.1.3	การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืช	53
3.3.1.4	การบำบัดน้ำมันพืชใช้แล้วทางกายภาพ	54
3.3.1.5	การกำจัดกรดไขมันอิสระโดยวิธีเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification)	55
3.3.2	การหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ	58
3.3.2.1	การศึกษาวิฤภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม	58
3.3.2.2	การศึกษาวิฤภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันเมื่อเปลี่ยนชนิดของสารลด แรงตึงผิวร่วม	62
3.3.2.3	การศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน (ASTM D445)	66
3.3.3	การศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน	68
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	71
4.1	การเตรียมและปรับสภาพน้ำมันพืชใช้แล้ว	71
4.1.1	การเตรียมน้ำมันพืชใช้แล้ว	71
4.1.2	การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วโดยการไตเตรท	72
4.1.3	การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืช	73
4.1.4	การบำบัดน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยกระบวนการทางกายภาพ	74
4.1.5	การกำจัดปริมาณกรดไขมันอิสระโดยวิธีเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification)	74

4.2 สัตว์ส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	76
4.2.1 การศึกษาวิฤภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม.....	76
4.2.1.1 ผลของปริมาณกรดไขมันอิสระ.....	77
4.2.1.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม.....	81
4.2.2 การศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	86
4.2.2.1 ผลของปริมาณเอทานอล.....	89
4.2.2.2 ผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม.....	90
4.3 การศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	93
4.3.1 ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	93
4.3.1.1 ผลของปริมาณกรดไขมันอิสระ.....	93
4.3.1.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม.....	96
4.3.2 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	97
4.3.2.1 ผลของปริมาณกรดไขมันอิสระ.....	98
4.3.2.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม.....	100
4.3.3 ค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	101
4.3.3.1 ผลของปริมาณกรดไขมันอิสระ.....	102
4.3.3.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม.....	104
4.3.4 จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	105
4.3.4.1 ผลของปริมาณกรดไขมันอิสระ.....	108
4.3.4.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม.....	109
4.3.5 จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	110
4.3.5.1 ผลของปริมาณกรดไขมันอิสระ.....	113
4.3.5.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม.....	114

4.3.6 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน	114
4.3.6.1 ผลของปริมาณกรดไขมันอิสระ.....	115
4.3.6.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม	116
4.3.7 กากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	117
4.3.7.1 ผลของปริมาณกรดไขมันอิสระ.....	118
4.3.7.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม	119
4.3.8 ปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน	119
4.3.8.1 ผลของปริมาณกรดไขมันอิสระ.....	120
4.3.8.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม	121
4.4 การหาสมมูลมวลของสารในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	122
4.4.1 การศึกษาผลผลิตเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการ บำบัดทางกายภาพ.....	122
4.4.2 การศึกษาผลผลิตเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรด ไขมันอิสระโดยวิธีเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification).....	128
4.5 การศึกษาปริมาณของเสียจากการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน	141
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ และความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	143
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	143
5.1.1 การศึกษาวัฏภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน	143
5.1.2 สัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	144
5.1.3 การศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	144
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	145
5.3 ความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	145
รายการอ้างอิง	146
ภาคผนวก.....	153

ภาคผนวก ก	154
ภาคผนวก ข	159
ภาคผนวก ค	176
ภาคผนวก ง.....	180
ภาคผนวก จ	184
ภาคผนวก ฉ	188
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	196



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2- 1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืช.....	7
ตารางที่ 2- 2 ลักษณะสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันพืช	8
ตารางที่ 2- 3 ค่าซีเทน (Cetane number) ของเชื้อเพลิงชีวภาพ และกรดไขมันเอสเทอร์	29
ตารางที่ 2- 4 มาตรฐาน ASTM D6751 ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล และ ASTM D975 ของ เชื้อเพลิงดีเซลประเภทที่ 2	34
ตารางที่ 2- 5 แสดงความแตกต่างของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	45
ตารางที่ 2- 6 งานวิจัยที่ทำการศึกษา	46
ตารางที่ 3- 1 ตัวแปรและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	49
ตารางที่ 3- 2 สมบัติของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ศึกษา.....	51
ตารางที่ 3- 3 ตัวแปรและพารามิเตอร์ของการศึกษาการเตรียมน้ำมันพืชใช้แล้ว	52
ตารางที่ 3- 4 ตัวแปรและพารามิเตอร์ของการศึกษาการวิเคราะห์กรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้ แล้วโดยการไตเตรท.....	53
ตารางที่ 3- 5 ตัวแปรและพารามิเตอร์ของการศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันใน น้ำมันพืช	54
ตารางที่ 3- 6 ตัวแปรและพารามิเตอร์ของการศึกษาการบำบัดน้ำมันพืชใช้แล้วทางกายภาพ	55
ตารางที่ 3- 7 ตัวแปรและพารามิเตอร์ของการศึกษาการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยวิธีเอสเทอร์ฟิ เคชัน	56
ตารางที่ 3- 8 ชุดการทดลองการศึกษาวงศาของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพ สามเหลี่ยม	60
ตารางที่ 3- 9 ตัวแปรและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาวงศาของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน โดยใช้ แผนภาพสามเหลี่ยม	61
ตารางที่ 3- 10 ชุดการทดลองการศึกษาวงศาของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันเมื่อเปลี่ยนชนิดของ สารลดแรงตึงผิวร่วม	64

ตารางที่ 3- 11 ตัวแปรและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาวิฤภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน เมื่อเปลี่ยนชนิดของสารลดแรงตึงผิวร่วม	65
ตารางที่ 3- 12 ตัวแปรและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน	68
ตารางที่ 3- 13 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน	69
ตารางที่ 4- 1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพของน้ำมันพืชใช้แล้วตัวอย่างและน้ำมันพืชบริสุทธิ์	72
ตารางที่ 4- 2 ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันพืชใช้แล้วตัวอย่างและน้ำมันพืชบริสุทธิ์	72
ตารางที่ 4- 3 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืชใช้แล้วตัวอย่างและน้ำมันพืชบริสุทธิ์	73
ตารางที่ 4- 4 ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันพืชใช้แล้วตัวอย่างและน้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่ผ่านกระบวนการกำจัดปริมาณกรดไขมันอิสระ	75
ตารางที่ 4- 5 ลักษณะสมบัติทางกายภาพของน้ำมันพืชใช้แล้วตัวอย่างและน้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่ผ่านกระบวนการกำจัดปริมาณกรดไขมันอิสระ	75
ตารางที่ 4- 6 ผลการเปรียบเทียบจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เมื่อใช้ออกทานอลเป็น สารลดแรงตึงผิวร่วม	106
ตารางที่ 4- 7 ผลการเปรียบเทียบจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม	107
ตารางที่ 4- 8 ผลการเปรียบเทียบจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เมื่อใช้ออกทานอลเป็น สารลดแรงตึงผิวร่วม	111
ตารางที่ 4- 9 ผลการเปรียบเทียบจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม	112
ตารางที่ 4- 10 ตัวแปรต่างๆ ในขั้นตอน Mass balance equations สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ	123
ตารางที่ 4- 11 ตัวแปรต่างๆ ในขั้นตอน Mass balance equations สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ	130

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2- 1 โครงสร้างของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides).....	6
ภาพที่ 2- 2 ลักษณะของผลปาล์ม (Palm fruit).....	9
ภาพที่ 2- 3 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของไตรกลีเซอไรด์.....	13
ภาพที่ 2- 4 กลไกการสลายโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ด้วยความร้อน.....	16
ภาพที่ 2- 5 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับเมทานอล.....	17
ภาพที่ 2- 6 ปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Saponification reaction).....	18
ภาพที่ 2- 7 แสดงไมโครอิมัลชันและรีเวิร์สไมเซลล์.....	20
ภาพที่ 2- 8 รูปแบบต่าง ๆ ของโครงสร้างไมโครอิมัลชันตามระบบของ Winsor.....	22
ภาพที่ 2- 9 ภูมิภาคของไมโครอิมัลชันตามระบบของ Winsor.....	22
ภาพที่ 2- 10 โครงสร้างพื้นฐานของสารลดแรงตึงผิว.....	23
ภาพที่ 2- 11 แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary Phase Diagram) ตามระบบของ Winzor type II... ..	27
ภาพที่ 3- 1 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินการทดลอง.....	48
ภาพที่ 3- 2 แผนภาพขั้นตอนการทดลองช่วงที่ 1.....	57
ภาพที่ 3- 3 แผนภาพขั้นตอนการศึกษาภูมิภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม.....	59
ภาพที่ 3- 4 แผนภาพขั้นตอนการศึกษาภูมิภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันเมื่อเปลี่ยนชนิดของสารลดแรงตึงผิวร่วม.....	63
ภาพที่ 3- 5 แผนภาพขั้นตอนการศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน.....	67
ภาพที่ 3- 6 แผนภาพขั้นตอนการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	70
ภาพที่ 4- 1 (ก) การแยกชั้นระหว่างชั้นกรดไขมันเอสเทอร์และกลีเซอรอล (ข) การแยกชั้นระหว่างชั้นของกรดไขมันเอสเทอร์ กลีเซอรอล และน้ำ.....	75

ภาพที่ 4- 14 ตัวอย่างของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน (ก) เชื้อเพลิงชีวภาพที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase) (ข) เชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Separate phase) 86

ภาพที่ 4- 15 สัดส่วนในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ 88

ภาพที่ 4- 16 สัดส่วนในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ และน้ำมันพืชบริสุทธิ์..... 88

ภาพที่ 4- 17 ผลการเปรียบเทียบผลของปริมาณเอทานอลต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ เมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม 90

ภาพที่ 4- 18 ผลการเปรียบเทียบผลของปริมาณเอทานอลต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม..... 90

ภาพที่ 4- 19 ผลการเปรียบเทียบผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ เมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม 91

ภาพที่ 4- 20 ผลการเปรียบเทียบผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม..... 92

ภาพที่ 4- 21 ผลการเปรียบเทียบค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระที่แตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ เมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม..... 95

ภาพที่ 4- 22 ผลการเปรียบเทียบค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระที่แตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม..... 95

ภาพที่ 4- 23 ผลการเปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นทางกายภาพ และน้ำมันพืชบริสุทธิ์..... 96

ภาพที่ 4- 24 ผลการเปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ 97

ภาพที่ 4- 25 ผลการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียม
จากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระที่แตกต่าง
กัน ได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ เมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึง
ผิวร่วม..... 99

ภาพที่ 4- 26 ผลการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียม
จากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระที่แตกต่าง
กัน ได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรง
ตึงผิวร่วม..... 99

ภาพที่ 4- 27 ผลการเปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิง
ชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่ผ่านกระบวนการบำบัด
ทางกายภาพ..... 100

ภาพที่ 4- 28 ผลการเปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิง
ชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่ผ่านการกำจัดกรดไขมัน
อิสระ..... 101

ภาพที่ 4- 29 ผลการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่เตรียม
จากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระที่แตกต่าง
กัน ได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ เมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึง
ผิวร่วม..... 103

ภาพที่ 4- 30 ผลการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่เตรียม
จากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระที่แตกต่าง
กัน ได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรง
ตึงผิวร่วม..... 103

ภาพที่ 4- 31 ผลการเปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิง
ชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่ผ่านกระบวนการบำบัด
ทางกายภาพ..... 104

ภาพที่ 4- 32 ผลการเปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิง
ชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่ผ่านการกำจัดกรดไขมัน
อิสระ..... 104

ภาพที่ 4- 33 แสดงการเกิดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส . 105

ภาพที่ 4- 34 แสดงการเกิดจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน 110

ภาพที่ 4- 35 ผลการเปรียบเทียบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจาก น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระ และน้ำมันพืช บริสุทธิ์ 115

ภาพที่ 4- 36 ผลการเปรียบเทียบค่าการคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจาก น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระ และน้ำมันพืช บริสุทธิ์ 117

ภาพที่ 4- 37 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจาก น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระ และน้ำมันพืช บริสุทธิ์ 120

ภาพที่ 4- 38 ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่าน กระบวนการบำบัดทางกายภาพ 123

ภาพที่ 4- 39 สมดุลมวลสารในขั้นตอน Pretreatment Process (I)..... 125

ภาพที่ 4- 40 สมดุลมวลสารในขั้นตอน Pretreatment Process (II)..... 126

ภาพที่ 4- 41 สมดุลมวลสารในขั้นตอน Reaction Process 127

ภาพที่ 4- 42 ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัด กรดไขมันอิสระ 129

ภาพที่ 4- 43 สมดุลมวลสารในขั้นตอน Pretreatment Process (I)..... 134

ภาพที่ 4- 44 สมดุลมวลสารในขั้นตอน Pretreatment Process (II)..... 135

ภาพที่ 4- 45 สมดุลมวลสารในขั้นตอน Esterification Process (I)..... 136

ภาพที่ 4- 46 สมดุลมวลสารในขั้นตอน Esterification Process (II) 137

ภาพที่ 4- 47 สมดุลมวลสารในขั้นตอน Esterification Process (III) 138

ภาพที่ 4- 48 สมดุลมวลสารในขั้นตอน Esterification Process (IV)..... 139

ภาพที่ 4- 49 สมดุลมวลสารในขั้นตอน Reaction Process 140

ภาพที่ 4- 50 ผลการเปรียบเทียบปริมาณของเสียจากการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจาก
น้ำมันพืชใช้แล้ว และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ 142



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

แม้ในปัจจุบันจะมีการใช้พลังงานหลากหลายรูปแบบ แต่พลังงานที่มีการนำมาใช้มากที่สุดคือพลังงานในรูปเชื้อเพลิงฟอสซิล เนื่องจากให้ค่าความร้อนสูงกว่าพลังงานชนิดอื่น ๆ ทำให้พลังงานในรูปเชื้อเพลิงฟอสซิลถูกใช้อย่างยาวนาน ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการใช้พลังงานในรูปเชื้อเพลิงฟอสซิลปล่อยมลพิษทางอากาศออกมาจำนวนมาก จึงทำให้เกิดความตระหนักถึงพลังงานทางเลือกหรือพลังงานทดแทน ซึ่งเชื้อเพลิงชีวภาพจัดเป็นพลังงานทางเลือกรูปแบบหนึ่งที่มีวัตถุประสงค์คือนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวภาพนั้นจัดเป็นพลังงานหมุนเวียนและมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล (Meng และคณะ, 2008; Fernando และ Hanna, 2004) เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถผลิตได้จากน้ำมันพืชและน้ำมันธรรมชาติอื่น ๆ ซึ่งน้ำมันพืชใช้แล้วถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีความน่าสนใจ เพราะนอกจากจะเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพแล้ว ยังเป็นวิธีการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากโดยทั่วไปการผลิตไบโอดีเซลมักใช้เขื่อน้ำมันพืชบริสุทธิ์ซึ่งมีราคาแพงกว่าน้ำมันปิโตรเลียมมาก (Zhang และคณะ, 2003) อีกทั้งน้ำมันพืชใช้แล้วจัดเป็นของเสียที่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมหากมีการจัดการที่ไม่ถูกต้อง และหากมีการปนเปื้อนลงไปในแหล่งน้ำจะส่งผลให้เพิ่มค่าสารอินทรีย์ในน้ำ (Organic loading) ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ อีกทั้งทำให้เกิดน้ำเสียที่มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียเพิ่มมากขึ้น (Owolabi และคณะ, 2011)

ในปัจจุบันมักมีการรับซื้อน้ำมันพืชเพื่อนำไปบำบัดขั้นต้นทางกายภาพและขายให้กับร้านอาหารของทอดเพื่อนำไปประกอบอาหารซ้ำ ซึ่งวิธีนี้นั้นก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพอย่างมาก เนื่องจากน้ำมันพืชเมื่อผ่านการใช้ซ้ำและได้รับความร้อนเป็นเวลานานจะเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ เช่น ออกซิเดชัน (Oxidation) ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) และพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) เป็นต้น ซึ่งก่อให้เกิดสารประกอบที่มีความเป็นพิษต่อร่างกาย เช่น สารพีเอเอช (Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) และสารโพลาร์ (Total polar compounds) เป็นต้น (Meng และคณะ, 2008)

โดยดัชนีที่สามารถบ่งชี้คุณภาพของน้ำมันพืชใช้แล้วนิยมใช้การวัดปริมาณกรดไขมันอิสระ (%Free Fatty Acids) และการวัดค่าเปอร์ออกไซด์แทนสารโพลาร์ เป็นต้น ถึงแม้ว่าการวัดสารโพลาร์นั้นจะมีประสิทธิภาพสูงในการบ่งชี้ถึงคุณภาพ แต่การวิเคราะห์ด้วยวิธีดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์สูง อีกทั้งยังใช้ระยะเวลานานในการวิเคราะห์ (ภัทรติกรณ รัชศักดิ์ศรี, 2555) ดังนั้น การบ่งชี้คุณภาพของน้ำมันพืชด้วยการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระจึงเป็นทางเลือกที่ดีเนื่องจากกรดไขมันอิสระเป็นสาเหตุสำคัญของการเหม็นหืน (Rancidity) การเน่าเสีย (Oil spoilage) และทำให้ค่าความเป็นกรด (Acid value) ของน้ำมันพืชสูงขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจถึงผลกระทบของปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมันพืชใช้แล้วต่อสมบัติและคุณภาพของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน

อย่างไรก็ตามการนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาใช้กับเครื่องยนต์โดยตรงนั้นไม่สามารถทำได้ จากการที่น้ำมันพืชมีความหนืดสูง จึงต้องมีการลดความหนืดก่อนนำมาใช้กับเครื่องยนต์ โดยวิธีการลดความหนืดสามารถทำได้หลากหลายวิธี เช่น การใช้โดยตรงหรือการผสมกับน้ำมันดีเซล (Direct use or blending) การแตกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) ทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) และวิธีไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) เป็นต้น (Ma และ Hanna, 1999)

งานวิจัยนี้สนใจทำการศึกษากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยวิธีไมโครอิมัลชันเนื่องจากเป็นวิธีการลดความหนืดที่สามารถทำได้ง่าย มีประสิทธิภาพ และทำให้เกิดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมต่ำ โดยใช้การผสมสารสองชนิดที่ไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ ให้สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ด้วยสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม (Arpornpong และคณะ, 2014) และใช้น้ำมันพืชใช้แล้วเปรียบเทียบกับใช้น้ำมันพืชบริสุทธิ์ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยตัวอย่างน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันพืชบริสุทธิ์จะเป็นชนิดน้ำมันปาล์ม ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันพืชที่ประเทศไทยใช้ในการประกอบอาหารมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 65 ของมูลค่าตลาดน้ำมันพืชทั้งหมด (ภัทรติกรณ รัชศักดิ์ศรี, 2555) และมีค่าความร้อนสูง ในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุประเภทแอลคิลแอลกอฮอล์อีทอกซีเลทที่มีเอทิลีนออกไซด์ 1 กลุ่ม (EO₁) เนื่องจากไม่ต้องเติมเกลือในกระบวนการ อีกทั้งยังไม่มีสารประกอบซัลเฟอร์ที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์ สารลดแรงตึงผิวร่วมใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวและทำให้ใช้สารลดแรงตึงผิวปริมาณน้อยลงจากการที่สารลดแรงตึงผิวมีราคาสูง สารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ สารลดแรงตึงผิวร่วมแบบโซ่ตรง คือ ออกทานอล (1-Octanol) และสารลดแรงตึงผิวร่วมแบบโซ่กิ่ง

คือ ไอโซออกทานอล (2-Ethyl-1-hexanol) และไอโซทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 ในการช่วยลดความหนืด โดยจะทำการศึกษาวงศาและสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน (ASTM D6751) ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วต่อสมบัติและวงศาของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน
2. เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำมันพืชใช้แล้ว/น้ำมันดีเซล สารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วม และเอทานอล ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากวิธีไมโครอิมัลชันโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ
3. เพื่อศึกษาผลของโครงสร้างสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสมบัติและวงศาของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน
4. เพื่อศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันพืชบริสุทธิ์เทียบกับมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย

1. น้ำมันพืชใช้แล้วที่นำมาศึกษามีปริมาณกรดไขมันอิสระแตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้วผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการทางกายภาพเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันส่งผลต่อการเกิดวงศาของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันคือ ใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมในการทำให้อิมัลชันเป็นเนื้อเดียวกันลดลง เมื่อใช้น้ำมันพืชที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระในการเตรียมสูงขึ้น เนื่องจากกรดไขมันอิสระมีโครงสร้างคล้ายสารลดแรงตึงผิว (Rosen, 2004) ช่วยเพิ่มการละลายของส่วนที่มีขี้ (เอทานอล) และส่วนที่ไม่มีขี้ (น้ำมัน) ปริมาณกรดไขมันอิสระจึงสามารถช่วยให้วงศาที่มีขี้และไม่มีขี้รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ง่าย
2. น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดปริมาณกรดไขมันอิสระ มีผลต่อวงศาของเชื้อเพลิงชีวภาพคือมีการใช้สารลดแรงตึงผิวทำให้เป็นเนื้อเดียวกันน้อยกว่าใช้น้ำมันพืชบริสุทธิ์มาผลิตเป็นเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน เนื่องจากการกำจัดกรดไขมันอิสระจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันเอสเทอร์ (Fatty Acids Ester, FAME) ซึ่งมีสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิวได้

3. น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดปริมาณกรดไขมันอิสระ ส่งผลให้เกิดเชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชันมีสมบัติความเป็นกรดต่ำกว่าน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการทางกายภาพ เนื่องจากเมื่อผ่านการกำจัดปริมาณกรดไขมันอิสระส่งผลให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า จึงทำให้ค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันต่ำ เนื่องจากค่าความเป็นกรดสามารถคำนวณได้จากปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืช

4. สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ผ่านการกำจัดปริมาณกรดไขมันอิสระผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASTM ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล และทำให้สามารถนำน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดปริมาณกรดไขมันอิสระทดแทนน้ำมันพืชบริสุทธิ์ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันได้

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะมีการดำเนินการทดลอง ที่อุณหภูมิตั้ง ณ ห้องปฏิบัติการทดลองชั้น 4 ตึกปฏิบัติการรวมวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีขอบเขตงานวิจัยดังนี้

1. ตัวแทนวัตถุดิบที่ไม่มีซั้วที่ใช้ในการศึกษา คือ น้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระแตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 ที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น ได้แก่ การบำบัดทางกายภาพและการกำจัดกรดไขมันอิสระ และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ชนิดของน้ำมันพืชที่ใช้คือ น้ำมันปาล์ม โดยใช้น้ำมันพืช/น้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร

2. ตัวแทนวัตถุดิบที่มีซั้วที่ใช้ในการศึกษา คือ เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95

3. สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการศึกษาคือ สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุประเภทแอลคิลแอลกอฮอล์อีทอกซิลเอทที่มีเอทิลลินออกไซด์ 1 กลุ่ม (EO₁) และสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ สารลดแรงตึงผิวร่วมแบบโซ่ตรง คือ ออกทานอล (1-Octanol) และสารลดแรงตึงผิวร่วมแบบโซ่กิ่ง คือ ไอโซออกทานอล (2-Ethyl-1-hexanol) ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วม (S/C) 1:8 โดยโมล

4. สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่วิเคราะห์ ได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่น จุดขุ่น จุดไหลเท ค่าความร้อน ค่าความเป็นกรด ปริมาณน้ำ และกากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน ASTM ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นองค์ความรู้ในการพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพจากกระบวนการไมโครอิมัลชัน และเพื่อลดต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ตลอดจนเป็นแนวทางเลือกในการใช้พลังงานทางเลือกหรือพลังงานทดแทน ซึ่งก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมลดลง

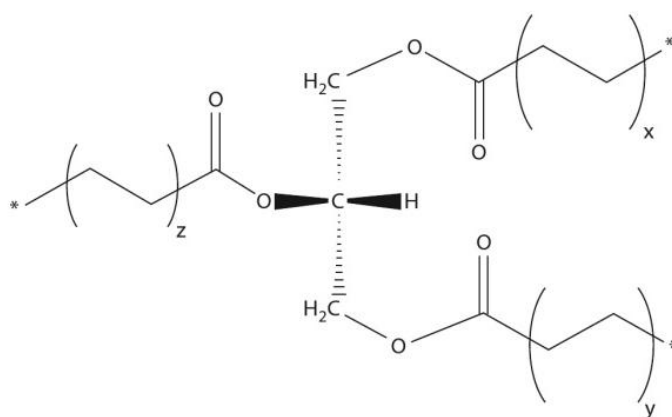


บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมันพืช (Vegetable Oil)

น้ำมันพืช หมายถึง น้ำมันที่สกัดได้มาจากพืชและมีวิธภาคเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง (Lee และ Shah, 2013) โดยมีโครงสร้างหลักของน้ำมันพืชคือ ไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) เป็นปริมาณร้อยละ 98 และส่วนที่เหลือเป็นมอนอกลิเซอไรด์ (Monoglycerides) และไดกลีเซอไรด์ (Diglycerides) (Bozbas, 2005) ซึ่งไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) เกิดจากการรวมตัวกันของ กลีเซอรอลและกรดไขมันที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเอสเทอร์ ดังภาพที่ 2-1 งานวิจัยที่ผ่านมากล่าวว่า แหล่งใดก็ตามที่มีกรดไขมันอยู่ปริมาณมากสามารถนำไปใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้ ดังนั้นน้ำมันพืชซึ่งเป็นแหล่งที่มีปริมาณกรดไขมันอยู่สูงจึงมีความเหมาะสมในการนำมาผลิตไบโอดีเซล (Abdullah และ คณะ, 2013)



ภาพที่ 2- 1 โครงสร้างของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides)

(Lee และ Shah, 2013)

น้ำมันพืชสามารถผลิตได้จากพืชน้ำมันแบ่ง 2 ประเภทคือน้ำมันพืชที่สามารถทานได้เช่น น้ำมันปาล์ม (Palm oil) น้ำมันข้าวโพด (Corn oil) น้ำมันงา (Sesame oil) น้ำมันถั่วเหลือง (Soybean oil) น้ำมันทานตะวัน (Sunflower oil) และน้ำมันมะกอก (Olives oil) ฯลฯ และน้ำมันพืชที่ไม่สามารถทานได้เช่น น้ำมันละหุ่ง (Castor oil) น้ำมันฝ้าย (Cotton oil) ฯลฯ (Lee และ Shah, 2013) โดยที่น้ำมันจากพืชแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันที่กรดไขมัน ซึ่งชนิดของกรดไขมันจะ

กำหนดสมบัติของน้ำมันต่อความเหมาะสมในการนำมาใช้ทำไบโอดีเซล (Stoytcheva, 2011) น้ำมันพืชโดยทั่วไปนั้นจะประกอบไปด้วยกรดไขมันระหว่าง 4 ถึง 28 อะตอม แบ่งเป็น 2 ประเภทตามพันธะระหว่างคาร์บอนคือ ประเภทที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนเป็นพันธะคู่ (Double bonds) เรียกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acids) ซึ่งกรดไขมันไม่อิ่มตัวนั้นจะสามารถเกิดปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation reactions) ในสภาวะที่มีอุณหภูมิและความดันสูงสามารถเกิดเป็นกรดไขมันอิ่มตัวได้ และประเภทที่ไม่มีพันธะระหว่างคาร์บอนพันธะคู่เรียกว่ากรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acids) ทำให้น้ำมันพืชมีความหนืดและจุดหลอมเหลวเพิ่มขึ้น (Lee, 2013; Patil, 2011) กรดไขมันที่พบมากในน้ำมันพืชมีหลายชนิด ได้แก่ กรดปาล์มมิติก (C16:0) กรดสเตียริก (C18:0) กรดโอเลอิก (C18:1) กรดไลโนเลอิก (C18:2) กรดไลโนเลนิก (C18:3) ฯลฯ ดังตารางที่ 2-1 อย่างไรก็ตามหากมีกรดไขมันอิ่มตัวที่มากเกินไปในน้ำมันเมื่อนำไปใช้ในเครื่องยนต์จะทำให้เกิดเขม่าควันปริมาณมากได้ (Arpornpong, 2013)

ตารางที่ 2- 1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืช

น้ำมันพืช	หน่วย	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0
น้ำมันปาล์ม	m%	43.7	-	4.4	39.5	9.77	0.1	-
น้ำมันปาล์มดิบ	%	45	0.4	6	40	11	0.3	0.4
น้ำมันยาง	%	8.8	-	7.7	24	36.1	36.1	-
น้ำมันทานตะวัน	wt%	6.9	-	1.9	19.7	71.3	-	-
น้ำมันละหุ่ง	wt%	11.3	-	17.0	12.8	47.3	-	4.7
น้ำมันถั่วเหลือง	m%	11.2	-	3.1	25.7	53.0	5.6	-
น้ำมันปาล์มใช้แล้ว	%	22.7	7.56	12.51	27.64	14.58	1.55	0.64

ที่มา: Stedile และคณะ, 2015

สมบัติทางกายภาพ (Physical properties) ของน้ำมันพืชที่มีความคล้ายคลึงกับน้ำมันดีเซลมากกว่าน้ำมันเบนซิน จึงสามารถนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล (Diesel engines) หรือเครื่องยนต์ที่จุดระเบิดด้วยการอัด (Compression-ignition engines) ได้อย่างเหมาะสมมากกว่าที่จะนำไปใช้กับเครื่องยนต์ชนิดอื่น (Bozbas, 2005) อย่างไรก็ตามการนำน้ำมันพืชมาใช้กับเครื่องยนต์โดยตรงนั้นจะส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์ เนื่องจากน้ำมันพืชมีความหนืดสูง จุดหลอมเหลวสูง และมีการระเหยตัวต่ำ จึงต้องมีการปรับปรุงสมบัติของน้ำมันพืชก่อนนำมาใช้ หรือไม่เช่นนั้นจะต้องมีการปรับปรุงเครื่องยนต์

เช่น การเปลี่ยนหัวฉีดหรือระบบทำความเย็น (Cooling system) ของเครื่องยนต์ เป็นต้น (Lee และ Shah, 2013)

ในการพิจารณาเลือกน้ำมันพืชมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพต้องคำนึงถึงหลายปัจจัยเช่น ค่าความร้อน ความหนืด ความหนาแน่นของน้ำมันพืช ปริมาณพื้นที่เพาะปลูก ปริมาณผลผลิต เศรษฐกิจและสังคม เป็นต้น

ตารางที่ 2- 2 ลักษณะสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันพืช

น้ำมันพืช	ความหนืด		ค่าความร้อน (MJ/kg)	จุดชุน (°C)	จุดไหลเท (°C)	จุดวาบไฟ (°C)
	ที่ 38 °C (cSt)	ค่าซีเทน				
น้ำมันปาล์ม	39.6	42.0	39.5	31.0	-	-
น้ำมันทานตะวัน	33.9	37.1	39.6	7.2	-15.0	274
น้ำมันถั่วเหลือง	32.6	37.9	39.6	-3.9	-12.2	254
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	33.5	41.8	39.5	1.7	-15.0	234
น้ำมันข้าวโพด	34.9	37.6	39.5	-1.1	-40.0	277
น้ำมันถั่วลิสง	39.6	41.8	39.8	12.8	-6.7	271
น้ำมันเรพซีด	37.0	37.6	39.7	-3.9	-31.7	246
น้ำมันดีเซล	3.06	50.0	43.8	-	-16	76

ที่มา: Arpornpong, 2013

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.2 น้ำมันปาล์ม (Palm oil)

น้ำมันปาล์มสามารถสกัดได้จากส่วนเปลือกหุ้มภายนอกปาล์ม (Mesocarp) ของผลปาล์ม (Palm fruit) ซึ่งปาล์มน้ำมันนั้นเป็นพืชที่มักพบในเขตร้อนเช่น ประเทศไทย มาเลเซีย อินโดนีเซีย เป็นต้น ถิ่นกำเนิดของปาล์มน้ำมันนั้นมาจากทางตะวันตกของแอฟริกา โดยมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Elaeis guineensis* โดยน้ำมันปาล์มที่สกัดออกมานั้นจะมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวต่อกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นอัตราส่วน 1:1 (Stoytcheva, 2011)



ภาพที่ 2- 2 ลักษณะของผลปาล์ม (Palm fruit)

(<http://www.cwpalmoil.com/wp-content/uploads/2014/01/p11.jpg>)

ลักษณะของปาล์มน้ำมันคือ มีลำต้นเหมือนพืชใบเลี้ยงเดี่ยวทั่วไป โดยมีเนื้อเยื่อเจริญเฉพาะปลายยอดไม่มีเนื้อเยื่อเจริญทางด้านข้าง มีข้อปล้องตามลำต้น ซึ่งลำต้นจะมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเต็มที่ประมาณ 40–60 เซนติเมตร มีความสูงมากกว่า 30 เมตร และมีผลปาล์มหนักประมาณ 10-25 กิโลกรัม ผลมีสีแดงดำเนื่องจากมีแคโรทีนเป็นส่วนประกอบประมาณ 500-2,000 ส่วนในล้านส่วน และจะมีปริมาณน้ำมันเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 35-60 ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น ซึ่งผลผลิตจะอยู่ที่ 4.5 ตันต่อเฮกแตร์ โดยน้ำมันปาล์มที่ผ่านการกลั่นจะมีส่วนใสซึ่งเป็นส่วนของโอเลอิน (Olein) โดยแยกส่วนที่เป็นสเตียรีน (Stearin) ออกและสามารถนำสเตียรีนไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้ (Elvers, 2013)

2.3 น้ำมันพืชใช้แล้ว (Used cooking oil, UCO)

น้ำมันพืชใช้แล้ว หมายถึง น้ำมันพืชที่ประกอบด้วยกรดไขมันอิสระประเภทไตรกลีเซอไรด์ที่ผ่านการให้ความร้อนในการประกอบอาหารมาแล้ว เมื่อผ่านการให้ความร้อนหลาย ๆ ครั้งจะทำให้ น้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ซึ่งปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นได้แก่ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ออกซิเดชัน และพอลิเมอไรเซชัน ส่งผลให้เกิดปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น มีความหนืดมากขึ้น เกิดเขม่าควันได้ง่ายขึ้น โดยแหล่งกำเนิดของน้ำมันพืชใช้แล้วมาจากครัวเรือน การค้า และโรงงานอุตสาหกรรม (Abdullah และคณะ, 2013)

น้ำมันพืชใช้แล้วเป็นของเสียที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างมากหากมีการกำจัด/บำบัดที่ไม่ถูกต้อง หากมีการปนเปื้อนลงไปในน้ำจะทำให้เพิ่มค่าสารอินทรีย์ในน้ำ (Organic loading) ทำให้เกิดน้ำเสียที่มีค่าการบำบัดน้ำเสียเพิ่มมากขึ้น และยังทำให้เกิดการแบ่งชั้นระหว่างชั้นน้ำและชั้นน้ำมัน ส่งผลให้ออกซิเจนจากอากาศไม่สามารถละลายลงไปในน้ำได้ จึงเกิดผลเสียต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศเป็นอย่างมาก อีกทั้งหากทิ้งน้ำมันพืชลงในท่ออย่างก่อให้เกิดการอุดตันบริเวณท่อได้ (Owolabi และ

คณะ, 2011) ในปัจจุบันได้มีการรับซื้อน้ำมันพืชเพื่อนำไปบำบัดขี้ตันและขายให้กับร้านขายของทอดเพื่อนำไปประกอบอาหารซ้ำ วิธีนี้ก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพอย่างมาก เนื่องจากน้ำมันพืชเมื่อได้รับความร้อนเป็นเวลานานจะก่อให้เกิดสารพอลิเมอร์ สารโพลาร์ และสารเหม็นหืน เช่น สารไดออกซิน และสารพีเอเอช (Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)

โดยทั่วไปนั้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพมักใช้เป็นน้ำมันพืชบริสุทธิ์ซึ่งมีราคาแพงกว่าน้ำมันปิโตรเลียมมาก (Zhang และคณะ, 2003) ดังนั้นในการนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจึงมีความน่าสนใจ นอกจากจะเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการผลิตไบโอดีเซลยังเป็นวิธีการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

อย่างไรก็ตามการนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไม่สามารถนำมาเข้ากระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยตรงได้ เนื่องจากในน้ำมันพืชใช้แล้วประกอบด้วยเศษอาหารกรดไขมันอิสระ ปริมาณน้ำ และสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆ จึงต้องผ่านการบำบัดขี้ตันด้วยกระบวนการบำบัดทางกายภาพและการกำจัดปริมาณกรดไขมันอิสระก่อนที่จะนำน้ำมันพืชใช้แล้วเข้าสู่กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยวิธีไมโครอิมัลชัน

2.3.1 วิธีการบำบัดน้ำมันพืชใช้แล้วขี้ตัน จะประกอบด้วย การกรอง (Filtration) การนำกรดออก (De-acidification) หรือการปรับเสถียร (Neutralization) และการฟอกขาว (Whitening)

2.3.1.1 การกรอง (Filtration) เป็นกระบวนการบำบัดขี้ตันทางกายภาพ ขั้นตอนนี้จะเป็นการกำจัดของแข็ง สารอนินทรีย์ และสารปนเปื้อนอื่น ๆ ที่อยู่ในน้ำมัน ซึ่งสามารถทำได้โดยการให้ความร้อนมากกว่าอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และนำไปกรองผ่านผ้ากรองที่มีขนาดรูเฉลี่ย 75 ไมครอน เพื่อกำจัดสารประกอบคาร์บอน เศษอาหาร และสารแขวนลอยในน้ำมันพืชใช้แล้ว (Chhetri และคณะ, 2008)

2.3.1.2 การนำกรดออก (De-acidification) กระบวนการนี้เป็นการกำจัดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืช สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

1. การปรับเสถียร (Neutralization) ด้วยสารละลายเบส ซึ่งกระบวนการนี้จะเป็นการทำให้กรดไขมันอิสระอยู่ในรูปของสบู่ เป็นวิธีการกำจัดที่ช่วยฟอกสีของน้ำมันพืชใช้แล้วได้อีกทางหนึ่ง (Stoytcheva, 2011)

2. การทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) เป็นกระบวนการที่ใช้แอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรดหรือเบส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยา คือ กรดไขมันเอสเทอร์ (Fatty acids ester) หรือไบโอดีเซลที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ต่ำกว่าร้อยละ 1 (Abdullah และคณะ, 2013)

3. การทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับกลีเซอริน (Esterification with glycerin) กระบวนการนี้ทำเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นไตรกลีเซอไรด์ อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้มีเงื่อนไขในการทำปฏิกิริยาสูง คือการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดที่อุณหภูมิสูงประมาณ 180-260 องศาเซลเซียส อีกทั้งยังต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ประกอบด้วยโลหะหนัก เช่น สารประกอบของเหล็กไซยาไนด์ ($K_4Zn_4[Fe(CN)_6]_3 \cdot 6H_2O \cdot 2(tert.-BuOH)$) และซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) เป็นต้น (Kotwal และคณะ, 2011; Mostafa และคณะ, 2013)

4. การกลั่น (Distillation) เอากรดไขมันอิสระออก กระบวนการนี้จะใช้พลังงานและมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าวิธีการกำจัดปริมาณกรดไขมันอิสระด้วยกระบวนการอื่น

5. การกำจัดกรดไขมันอิสระด้วยการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion-exchange) เป็นกระบวนการที่ใช้เรซินแบบเบสแก่เพื่อกำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วซึ่งมีความเป็นกรดสูงออก

2.3.2 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการให้ความร้อน

2.3.2.1 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

เป็นปฏิกิริยาที่เกิดเมื่อมีการประกอบอาหารโดยการให้ความร้อนแก่น้ำมันพืช เมื่อน้ำมันพืชมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะเข้าไปแทนที่น้ำในอาหาร จากนั้นน้ำในอาหารจะออกสู่น้ำมันในรูปของน้ำหรือไอน้ำและทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ (Koh และ Surh, 2015) ส่งผลให้เกิดกรดไขมันอิสระในรูปของไตรกลีเซอไรด์ ดังนั้นปริมาณน้ำในอาหารจึงเป็นสาเหตุสำคัญที่กรดไขมันอิสระในน้ำมันใช้แล้วเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งอุณหภูมิที่ใช้ในการประกอบอาหารก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งซึ่งส่งผลเช่นกัน เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้อย่างรวดเร็ว (Li และคณะ, 2015)

2.3.2.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation)

กลไกในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดจากการที่น้ำมันพืชได้รับความร้อน อุณหภูมิสูงร่วมกับการสัมผัสกับออกซิเจน โดยออกซิเจนจะเข้าทำปฏิกิริยาที่ ตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเกิดเป็นกรดไขมันอิสระ โดยที่กรดไขมัน อิสระจะถูกออกซิไดซ์ง่ายกว่ากรดไขมันที่อยู่ในรูปเอสเทอร์หรือกลีเซอรอล จึงทำให้ ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเกิดเป็นไฮโดรเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นสารตัวกลางที่ไม่คง ตัวและเกิดการแตกตัวต่อได้เป็น แอลดีไฮด์ แอลกอฮอล์ ไฮโดรคาร์บอน และกรด ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำมันพืชได้ (ภัทรดิกรณ รัชศักดิ์ศรี, 2555)

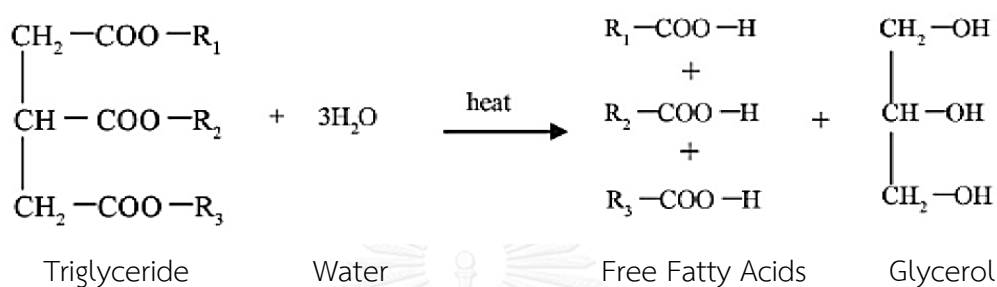
อย่างไรก็ตามน้ำมันพืชแต่ละชนิดมีกรดไขมันแตกต่างกัน จึงส่งผลให้มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่างกัน อีกทั้งปริมาณออกซิเจนก็เป็นอีก ปัจจัยหนึ่งของการเกิดปฏิกิริยา คือหากสถานะที่ความเข้มข้นของออกซิเจนน้อย อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นกับออกซิเจน แต่ในสถานะที่มีความเข้มข้นของ ออกซิเจนมากอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะไม่ได้ขึ้นกับความเข้มข้นของออกซิเจนแต่จะ ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ อุณหภูมิและพื้นที่ผิวสัมผัสของออกซิเจน (วิภาวรรณ กาฬสุวรรณ, 2550)

2.3.2.3 ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization)

ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเป็นปฏิกิริยาที่มักเกิดต่อเนื่องจากปฏิกิริยา ออกซิเดชัน โดยเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะทำให้เกิดน้ำมันโมเลกุลเล็ก ๆ และ กรดไขมันอิสระที่ถูกออกซิไดซ์ง่าย เมื่อน้ำมันพืชได้รับความร้อนทำให้เกิดการ รวมตัวกันโดยสร้างพันธะที่ตำแหน่งพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวภายในโมเลกุล ของกรดไขมันหรือระหว่างโมเลกุลให้กลายเป็นสายโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้นและมีน้ำหนัก โมเลกุลสูงขึ้น ส่งผลให้น้ำมันพืชใช้แล้วมีความหนืดเพิ่มขึ้น ปลอดภัยความชื้นออก สู่ภายนอกยากขึ้น และมีสีคล้ำ (วิภาวรรณ กาฬสุวรรณ, 2550)

2.4 กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acids)

กรดไขมันอิสระ หมายถึง โมเลกุลกรดไขมัน (Fatty acids) ที่แยกตัวออกมาจากโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ดังแสดงในภาพที่ 2-3 โดยมีน้ำเป็นตัวช่วยย่อยสลายโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นโมเลกุลใหญ่ให้แตกออกเป็นโมเลกุลที่เล็กลง เช่น โมโนกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระ เป็นต้น (Bouaid และคณะ, 2016; Man และคณะ, 1999)



ภาพที่ 2-3 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของไตรกลีเซอไรด์
(ภัทรติกรรม รัชศักดิ์ศรี, 2555)

กรดไขมันอิสระเป็นสาเหตุสำคัญของการเหม็นหืน (Rancidity) การเน่าเสีย (Oil spoilage) และค่าความเป็นกรด (Acid value) ของน้ำมันพืชสูงขึ้น จึงทำให้กรดไขมันอิสระเป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำมันพืชได้อีกทางหนึ่ง (Rukunudin และคณะ, 1998) เนื่องจากในการใช้น้ำมันพืชในการทอดซ้ำ ที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลานานจะทำให้ไขมันพืชเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ เช่น ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ออกซิเดชัน (Oxidation) และพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) เป็นต้น ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวนี้ส่งผลให้คุณภาพของน้ำมันพืชลดลง จากการเกิดกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชและสารโพลาร์ (Total polar compounds) เพิ่มขึ้น ดัชนีชี้วัดคุณภาพของน้ำมันพืชในทางเคมีนั้นจึงนิยมใช้การวัดปริมาณกรดไขมันอิสระ (%Free Fatty Acids) และการวัดค่าเปอร์ออกไซด์แทนสารโพลาร์ เป็นต้น ถึงแม้ว่าการวัดสารโพลาร์นั้นจะมีประสิทธิภาพสูงในการบ่งชี้ถึงคุณภาพ แต่การวิเคราะห์ด้วยวิธีดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์สูง อีกทั้งยังใช้ระยะเวลานานในการวิเคราะห์ (ภัทรติกรรม รัชศักดิ์ศรี, 2555) ดังนั้นการบ่งชี้คุณภาพของน้ำมันพืชด้วยปริมาณกรดไขมันอิสระจึงเป็นทางเลือกที่ดี แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังไม่มีวิธีใดเพียงวิธีเดียวที่สามารถบ่งชี้คุณภาพของน้ำมันพืชใช้แล้วได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากเกิดสารประกอบในน้ำมันพืชใช้แล้วหลากหลายชนิดในขณะประกอบอาหาร

น้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการประกอบอาหารมาแล้วสามารถนำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้ ซึ่งในปัจจุบันนิยมใช้วิธีทรานส์เอสเทอริฟิเคชันในการนำน้ำมันใช้แล้วมาผลิตเป็นไบโอดีเซล

อย่างไรก็ตามหากน้ำมันพืชประกอบด้วยกรดไขมันอิสระมากกว่าร้อยละ 3 หรือมากกว่าจะส่งผลให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล (กรดไขมันเอสเทอร์) ที่ผลิตได้จากปฏิกิริยานี้ลดลง และไม่คุ้มทุนในการผลิต ดังนั้นน้ำมันพืชที่สามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลนั้นจะต้องประกอบด้วยกรดไขมันอิสระน้อยกว่าร้อยละ 1 จึงสามารถทำให้ผลผลิตเพิ่มสูงขึ้นถึงร้อยละ 95 และมีคุณภาพสูงขึ้น (Yang และคณะ, 2013) ดังนั้นในการนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจึงจำเป็นต้องมีการกำจัดปริมาณกรดไขมันอิสระให้ลดลงก่อน สามารถทำได้หลายวิธีเช่น การปรับเสถียร (Neutralization) การทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification) การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Extraction by solvents) การกลั่น (Distillation) และการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion-exchange) เป็นต้น (Abdullah และคณะ, 2013)

2.5 ไบโอดีเซล (Biodiesel)

ไบโอดีเซล หมายถึง เชื้อเพลิงทางเลือกทุกชนิดที่ผลิตมาจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันละหุ่ง และน้ำมันทานตะวัน เป็นต้น (Stoytcheva, 2011) โดยกระบวนการผลิตไบโอดีเซลหรือการสังเคราะห์กรดไขมันเอสเทอร์จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ไบโอดีเซลที่ใช้ไขมันพืชหรือไขมันสัตว์กับเครื่องยนต์โดยตรง ไบโอดีเซลแบบผสมน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์/น้ำมันดีเซลหรือน้ำมันก๊าด และไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ (ภัทรติกรณ์ รักศักดิ์ศรี, 2555)

ในปัจจุบันวิธีที่นิยมใช้ในการผลิตไบโอดีเซลคือการนำไปผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมีที่เกิดจากการที่กรดไขมัน (Fatty acids) ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์สายสั้น เช่น เอทานอลหรือเมทานอล โดยที่มีกรดหรือเบสเป็นตัวเร่ง ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้คือ กลีเซอรอล และเมทิลเอสเทอร์ (Methyl esters) หรือ เอทิลเอสเทอร์ (Ethyl esters) เป็นผลพลอยได้ ซึ่งผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่เป็นกรดไขมันเอสเทอร์ (Fatty acid esters) คือไบโอดีเซล (Neto และคณะ, 2013)

ไบโอดีเซลนั้นสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้ เนื่องจากไบโอดีเซลมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ซึ่งในการใช้กับเครื่องยนต์นั้นอาจใช้เป็นไบโอดีเซลล้วน หรือใช้เป็นไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลก็ได้ (Stoytcheva, 2011) อีกทั้งการนำไปโอดีเซลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงนั้นเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมันปิโตรเลียม ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ (Owolabi และคณะ, 2011) เนื่องจากไบโอดีเซลนั้นปล่อยมลพิษอากาศ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และเขม่าควันต่ำกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล อีกทั้งยังเป็นสารที่สามารถย่อยสลายได้ในสิ่งแวดล้อม (Biodegradable) (Stoytcheva, 2011)

2.6 เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel)

เชื้อเพลิงชีวภาพ หมายถึง เชื้อเพลิงที่ได้มาจากสสารที่มีพื้นฐานจากสิ่งมีชีวิตที่สามารถเกิดการสังเคราะห์แสง (Photosynthetic) ได้ ซึ่งการสังเคราะห์แสงเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่ใช้แสงอาทิตย์เปลี่ยนจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ให้กลายเป็นกลูโคส ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) ต่อมากลายเป็นชีวมวล (Biomass) และจะใช้ชีวมวลนี้ในการนำไปทำเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยมีปฏิกิริยาการเปลี่ยนจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ให้กลายเป็นกลูโคส ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) ดังนี้



ชีวมวลที่นิยมนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ ไม้ ของเสียจากการเกษตร ของเสียจากการปศุสัตว์ ของเสียอินทรีย์จากโรงงานอุตสาหกรรม ก๊าซจากหลุมฝังกลบ และน้ำมันพืชใช้แล้ว เป็นต้น (Reijnders และ Huijbregts, 2009) เชื้อเพลิงชีวภาพจัดเป็นพลังงานทางเลือก ที่มีวัตถุประสงค์คือนำมาใช้แทนเชื้อเพลิงฟอสซิล เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวภาพนั้นจัดเป็นพลังงานหมุนเวียนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fernando และ Hanna, 2004)

2.7 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

น้ำมันพืชใช้แล้วไม่สามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์โดยตรงได้เนื่องจากมีข้อจำกัดในด้านความหนืดของน้ำมันพืช ดังนั้นจำเป็นต้องมีการปรับปรุงลักษณะสมบัติของน้ำมันพืชในด้านความหนืดให้มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานในเครื่องยนต์ โดยวิธีการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่สามารถลดความหนืดของน้ำมันพืชได้ ดังต่อไปนี้

2.7.1 การใช้โดยตรงหรือการผสมกับน้ำมันดีเซล (Direct use or blending)

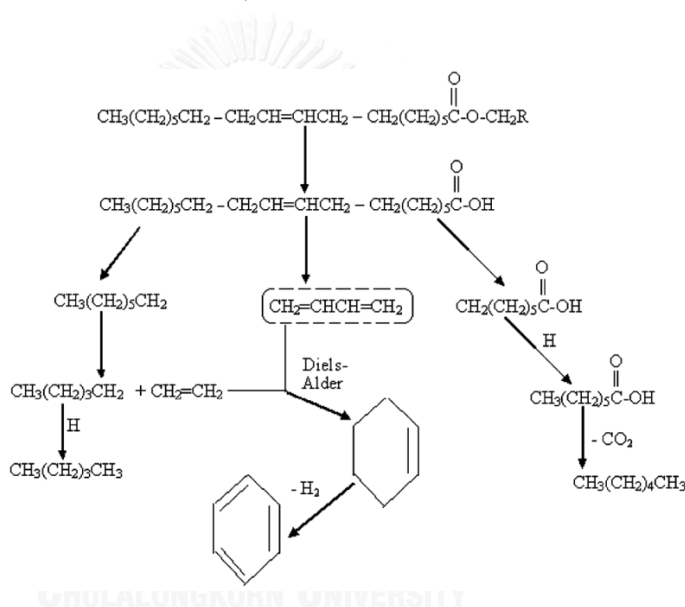
เป็นการใช้น้ำมันพืชกับเครื่องยนต์โดยตรงหรือมีการผสมกับน้ำมันดีเซลก่อนนำไปใช้กับเครื่องยนต์ ซึ่งในยุคเริ่มต้นของการใช้ไบโอดีเซลนั้นได้มีการนำน้ำมันถั่วลิสงมาใช้กับเครื่องยนต์โดยตรง ต่อมาเกิดการพัฒนาโดยนำน้ำมันพืชชนิดอื่นมาใช้ เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันทานตะวัน เป็นต้น

แต่ในปัจจุบันการนำน้ำมันพืชมาใช้กับเครื่องยนต์โดยตรงนั้นไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากเชื้อเพลิงที่ได้จะเกิดการแยกชั้นได้ง่าย และส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์ เนื่องจากมีความหนืดปริมาณกรด และปริมาณกรดไขมันอิสระสูง ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) และพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ในระหว่างการกักเก็บเชื้อเพลิงและ

การเผาไหม้ อีกทั้งยังก่อให้เกิดปัญหาตามมาคือ เกิดการอุดตันบริเวณท่อและหัวฉีดของเครื่องยนต์ และจะทำให้เครื่องยนต์เกิดอาการน็อค (Engine knocking) (Bozbas, 2005)

2.7.2 กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis)

เป็นกระบวนการที่ให้ความร้อนแก่สารอินทรีย์ในชีวมวล (Biomass) ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน แล้วทำให้สารอินทรีย์เกิดการแตกตัวเป็นโมเลกุลที่เล็กลงกลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการนำไปใช้ ดังแสดงในภาพที่ 2-4 ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ โดยชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสจะขึ้นอยู่กับความดันและอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการ (Sengupta และ Pike, 2013)



ภาพที่ 2- 4 กลไกการสลายโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ด้วยความร้อน

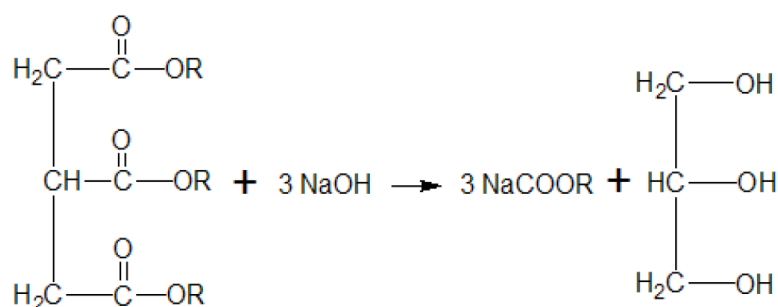
(Balat, 2008)

หากใช้กระบวนการนี้ทำให้ไตรกลีเซอไรด์เกิดการสลายตัวโดยมีเงื่อนไขการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมจะทำให้เกิดเป็นส่วนประกอบของน้ำมันสังเคราะห์ที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อน (Pyrolyzed oil) มีส่วนประกอบหลักคือ แอลเคน (Alkanes) แอลคีน (Alkenes) อะโรมาติก (Aromatics) และกรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic acids) โดยที่หากใช้น้ำมันพืชต่างชนิดกันส่วนประกอบหลักที่ได้จะมีความแตกต่างกันไป และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการจะมีสถานะเป็นของเหลวและนำไปใช้เป็นไบโอดีเซลได้ แต่ในปัจจุบันวิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากในการสลายโมเลกุลด้วยความร้อนนั้นจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย

ตัวเร่งที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

2.7.3.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous catalysts)

คือใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรด (Acids) หรือเบส (Alkalis) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาเบสจะนิยมใช้มากกว่ากรดเนื่องจากหาได้ง่าย ราคาถูก และเกิดได้ที่อุณหภูมิต่ำ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โซเดียมมีทอกไซด์ (NaOCH₃) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) แต่มีข้อเสียคือหากในน้ำมันพืชมีปริมาณกรดไขมันอิสระมีปริมาณสูงจะทำให้เกิดสบู่ (Saponification) (Balat, 2008) ปฏิกิริยาการเกิดสบู่ดังแสดงในภาพที่ 2-6



ภาพที่ 2- 6 ปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Saponification reaction)

(Stoytcheva, 2011)

2.7.3.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous catalysts)

คือใช้ตัวเร่งเป็นเอนไซม์ (Enzymes) เรซินประจุลบ (Anion exchange resins) และสารประกอบอนินทรีย์ต่าง ๆ เช่น (Al₂O₃)₄ (SnO) และ (Al₂O₃)₄ (ZnO) เป็นต้น (Balat, 2008)

2.7.4 วิธีไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)

เป็นวิธีการลดความหนืดของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่สามารถทำได้ง่าย ใช้ระยะเวลาในการทำไม่นาน ไม่เกิดผลิตภัณฑ์อื่นที่ไม่ต้องการ (By-product) อีกทั้งยังมีต้นทุนการผลิต และใช้พลังงานต่ำกว่าวิธีการลดความหนืดวิธีอื่น ดังนั้นวิธีการลดความหนืดด้วยวิธีไมโครอิมัลชันจึงมีความน่าสนใจที่จะนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ โดยมีหลักการของปฏิกิริยาคือทำให้ของเหลวที่ไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ด้วยตัวทำละลายแอลกอฮอล์สายสั้น เช่น เมทานอล และเอทานอล เป็นต้น โดยใช้สารลดแรงตึงผิว

และสารลดแรงตึงผิวร่วมเป็นตัวประสาน (Bora และคณะ, 2015; Schwab และคณะ, 1987)

โดยไมโครอิมัลชันหมายถึง คอลลอยด์ประเภทอิมัลชันที่กระจายตัวอยู่ทั่วในของเหลวที่ไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันเป็นจุลภาค (Microstructure) ที่มีขนาดอนุภาคประมาณ 1-150 นาโนเมตร (Schwab และคณะ, 1987) ซึ่งสมบัติเช่น ความหนืด ความเสถียร ฯลฯ จะขึ้นอยู่กับขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคของอิมัลชัน (Espinosa และคณะ, 2015)

ถึงแม้ว่าการใช้วิธีไมโครอิมัลชันลดความหนืดของน้ำมันพืชนั้นจะได้เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่มีข้อจำกัดคือ มีค่าซีเทน และค่าความร้อนต่ำ (Attaphong และ Sabatini, 2013; Ma และ Hanna, 1999)

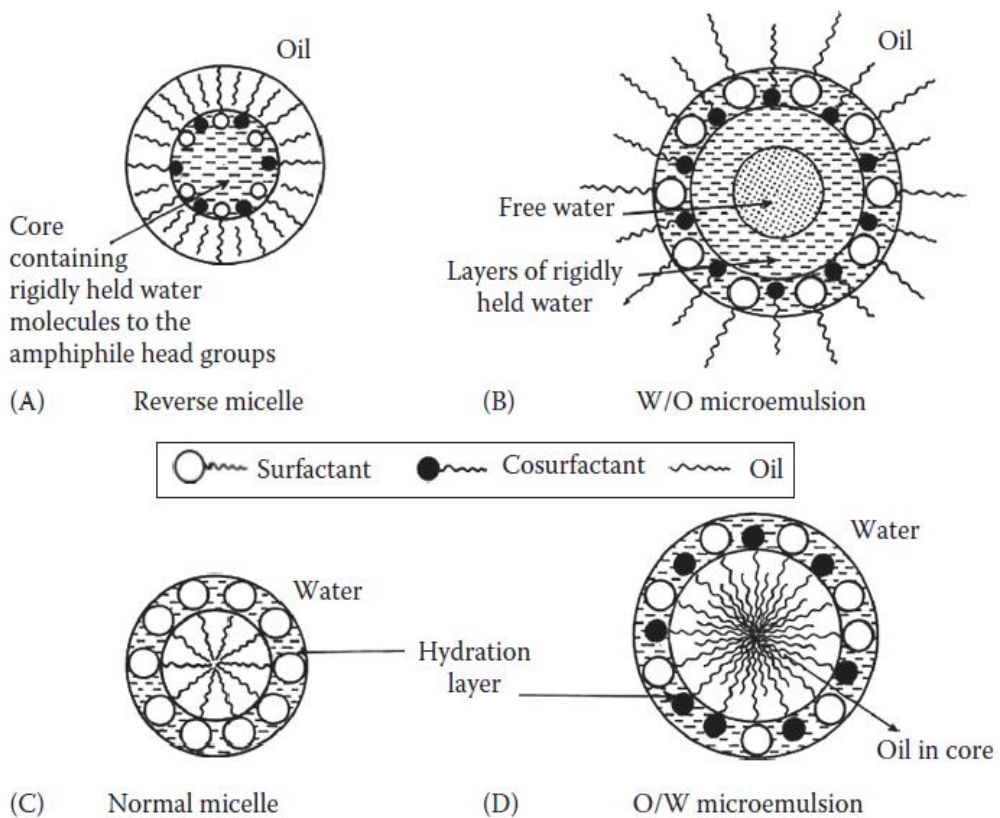
2.8 ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)

ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) คือ อิมัลชัน (Emulsion) ที่มีขนาดเล็กกว่าอิมัลชันปกติ (Macroemulsion) โดยอิมัลชันปกติจะมีลักษณะที่มีความขุ่น เนื่องจากอนุภาคของวัฏภาคภายใน (Internal phase) มีขนาดใหญ่จึงทำให้เกิดการกระจายแสงและไม่มีความเสถียร เมื่อทิ้งไว้ระยะเวลาเวลานานจะเกิดการแยกชั้นของวัฏภาค (Schick และ Hubbard, 2008) ส่วนไมโครอิมัลชันจะมีความโปร่งใส (Transparent) และอนุภาคของวัฏภาคภายในจะมีขนาดเล็กมากประมาณ 1-150 นาโนเมตร ส่งผลให้เชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตโดยวิธีไมโครอิมัลชันนั้นมีความเสถียรต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (Thermodynamically stable) มีความหนืดต่ำ และมีความขุ่นต่ำมากเนื่องจากไม่เกิดการกระจายแสงของอนุภาค (Attaphong และคณะ, 2012; Schwab และคณะ, 1987)

ไมโครอิมัลชันนั้นเกิดจากการที่ของเหลวสองชนิดที่ไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันทำให้รวมตัวกลายเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) และสารลดแรงตึงผิวร่วม (Cosurfactant) โดยที่ของเหลวชนิดหนึ่งจะมีการกระจายในของเหลวอีกชนิดหนึ่งในลักษณะการกระจายแบบเท่ากัน (Isotropic dispersions) (Arpornpong, 2013) โดยทั่วไปไมโครอิมัลชันจะมี 4 ส่วนประกอบหลักคือ น้ำ (Water) น้ำมัน (Oil) สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) และสารลดแรงตึงผิวร่วม (Cosurfactant) (Schick และ Hubbard, 2008) โดยแบ่งชนิดของไมโครอิมัลชันได้ดังนี้

2.8.1 แบ่งประเภทตามชนิดของของเหลว

แบ่งเป็นไมโครอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in Water Emulsion, O/W Emulsion) และไมโครอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (Water in Oil Emulsion, W/O Emulsion) หรืออาจเป็นทั้งสองรูปแบบ และแรงตึงผิวของทั้งสองวัฏภาคจะมีค่าใกล้เคียงศูนย์ ซึ่งไมโครอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำจะเกิดโครงสร้างที่เรียกว่าไมเซลล์ (Micelle) และไมโครอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันจะเกิดโครงสร้างที่เรียกว่ารีเวิร์สไมเซลล์ (Reverse Micelle) (Rosen, 2004) ดังแสดงในภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2- 7 แสดงไมโครอิมัลชันและรีเวิร์สไมเซลล์

(Schick และ Hubbard, 2008)

2.8.2 แบ่งประเภทตามระบบของ Winsor

การแบ่งประเภทตามระบบของ Winsor จะขึ้นกับสัดส่วนความชอบน้ำต่อสัดส่วนชอบน้ำมัน (Hydrophile-Lipophile Balance, HLB) ของสารลดแรงตึงผิว (Arpornpong, 2013) ดังแสดงในภาพที่ 2-8 และ 2-9

2.8.2.1 Winsor type I (Oil in water, O/W)

ไมโครอิมัลชันชนิดนี้จะเกิดเมื่อสัดส่วนความชอบน้ำต่อสัดส่วนชอบน้ำมันของสารลดแรงตึงผิวที่เป็นตัวผสมระหว่างสองวัฏภาคมีค่ามากกว่า 7 ($HLB > 7$) และสารลดแรงตึงผิวจะละลายอยู่ในวัฏภาคของน้ำที่สมดุลด้วยวัฏภาคของน้ำมัน ทำให้เกิดโครงสร้างที่เรียกว่าไมเซลล์ (Micelle) (Arpornpong, 2013; Schick และ Hubbard, 2008)

2.8.2.2 Winsor type II (Water in oil, W/O)

เมื่อสัดส่วนความชอบน้ำต่อสัดส่วนชอบน้ำมันของสารลดแรงตึงผิวที่เป็นตัวผสมระหว่างสองวัฏภาคมีค่าน้อยกว่า 7 ($HLB < 7$) วัฏภาคของน้ำจะละลายอยู่ในวัฏภาคของน้ำมัน โดยที่สารลดแรงตึงผิวจะละลายอยู่ในชั้นน้ำมันทำให้เกิดโครงสร้างที่เรียกว่ารีเวิร์สไมเซลล์ (Reverse Micelle) (Arpornpong, 2013; Attaphong และคณะ, 2012)

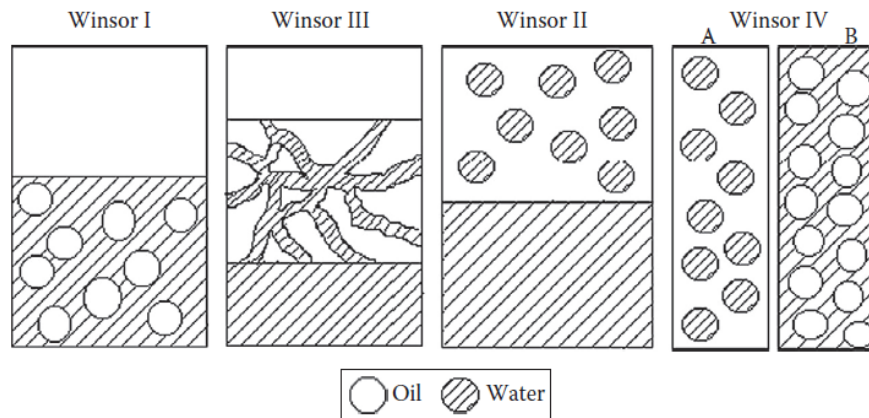
2.8.2.3 Winsor type III (Middle phase)

หากสารลดแรงตึงผิวมีสัดส่วนความชอบน้ำต่อสัดส่วนชอบน้ำมันลดลง ซึ่งกรณีเช่นนี้อาจเกิดจากการที่ใช้สารลดแรงตึงผิวประจุลบทำให้เกิดเกลือเพิ่มมากขึ้น หรือเมื่อเพิ่มอุณหภูมิโดยใช้สารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ (Arpornpong, 2013; Do และคณะ, 2009) จะทำให้เกิดการแบ่งชั้นของวัฏภาคออกเป็นสามวัฏภาค โดยที่วัฏภาคตรงกลางระหว่างชั้นน้ำและน้ำมันจะเป็นวัฏภาคที่เกิดไมโครอิมัลชัน ซึ่งในชั้นนี้จะประกอบไปด้วย น้ำมัน น้ำ และสารลดแรงตึงผิว (Attaphong และ Sabatini, 2013)

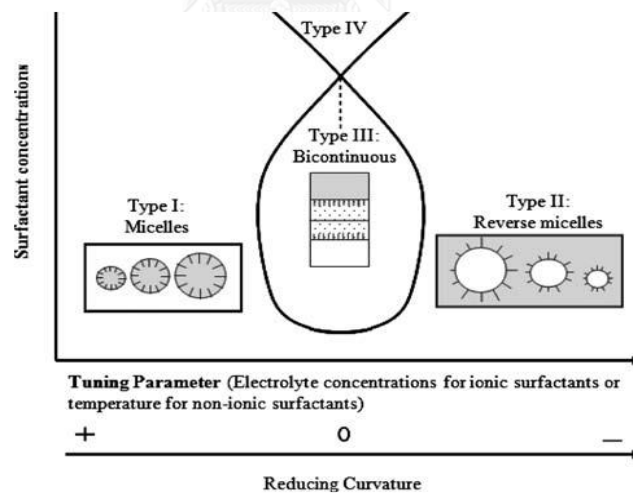
2.8.2.4 Winsor type IV (Single phase)

เป็นไมโครอิมัลชันที่มีวัฏภาคเดียวที่ในวัฏภาคประกอบไปด้วย น้ำมัน น้ำ และสารลดแรงตึงผิว โดยมีสารลดแรงตึงผิวในระบบปริมาณมาก (Arpornpong, 2013) จึงทำให้

ในระบบอิมัลชันไปด้วยสารลดแรงตึงผิว ระบบนี้จึงอาจเป็นได้ทั้งไมโครอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ หรือประเภทน้ำในน้ำมันก็ได้แต่ระบบจะไม่มีอยู่ในสภาวะสมดุล (Rosen, 2004)



ภาพที่ 2- 8 รูปแบบต่าง ๆ ของโครงสร้างไมโครอิมัลชันตามระบบของ Winsor (Schick และ Hubbard, 2008)

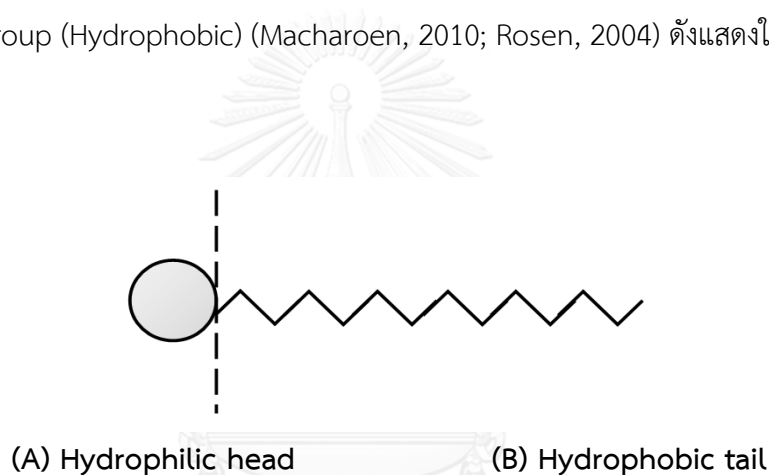


ภาพที่ 2- 9 ภูมิภาคของไมโครอิมัลชันตามระบบของ Winsor (Do, 2009)

2.9 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Surface-active agent เป็นสารที่มีสมบัติสำคัญคือ มีความสามารถดูดซับที่ผิว (Surfaces หรือ Interfaces) และลดแรงตึงผิว (Surface Tension) ของวัฏภาคที่แตกต่างกัน เช่น น้ำ-น้ำมัน น้ำ-อากาศ และของแข็ง-ของเหลว (Arpornpong, 2013) และทำให้วัฏภาคสองวัฏภาคที่ไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันมารวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้โดยใช้ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวไม่มากในระบบ (Rosen, 2004)

สารลดแรงตึงผิวมีโครงสร้างทางเคมีที่เรียกว่า Amphipathic แบ่งลักษณะในโมเลกุลออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนหัวที่ละลายในตัวทำละลายได้มากหรือส่วนที่ชอบน้ำเรียกว่า Lyophilic group (Hydrophilic) และส่วนหางที่ละลายในตัวทำละลายได้น้อยหรือส่วนที่ไม่ชอบน้ำเรียกว่า Lyophobic group (Hydrophobic) (Macharoen, 2010; Rosen, 2004) ดังแสดงในภาพที่ 2-10



ภาพที่ 2- 10 โครงสร้างพื้นฐานของสารลดแรงตึงผิว
(Macharoen, 2010)

ส่วนหางของสารลดแรงตึงผิวมักจะเป็นสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) หรือฟลูออโรคาร์บอน (Fluorocarbon) ที่มีสายยาวและเป็นส่วนที่ไม่มีขั้วจึงมีความสามารถละลายในน้ำมันได้ดีละลายในตัวทำละลายได้น้อย ในขณะที่ส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิวนั้นจะเป็นส่วนที่มีขั้วจะเป็นตัวแสดงประจุของสารลดแรงตึงผิว (Rosen, 2004) โดยชนิดของสารลดแรงตึงผิวนั้นจะสามารถแบ่งประเภทได้ตามประจุของส่วนหัวซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทคือ

2.9.1 สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ (Anionic Surfactant)

เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้างส่วนหัวหรือส่วนที่ทำปฏิกิริยาที่พื้นผิว (Surface-active portion) เป็นประจุลบ เช่น RCOO^-Na^+ (สบู่) และ $\text{RC}_6\text{H}_4\text{SO}_3^-\text{Na}^+$ (แอลคิลเบนซีน

ซัลโฟเนต) ข้อดีคือมีสมบัติในการลดแรงตึงผิวที่มีประสิทธิภาพสูง ข้อจำกัดคือ ไม่เสถียรที่ค่าความเป็นกรดต่ำกว่า 7 ($\text{pH} < 7$) (Rosen, 2004)

2.9.2 สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก (Cationic Surfactant)

เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้างส่วนหัวหรือส่วนที่ทำปฏิกิริยาที่พื้นผิว (Surface-active portion) เป็นประจุบวก เช่น $\text{RNH}_3^+\text{Cl}^-$ (เกลือของเอมีนสายยาว) และ $\text{RN}(\text{CH}_3)_3^+\text{Cl}^-$ (ควอเทอร์นารีแอมโมเนียมคลอไรด์) ข้อดีคือมีความสามารถในการลดแรงตึงผิวเทียบได้กับสารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุและสารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุลบและประจุบวก และสามารถสร้างอิมัลชันที่ลบล้างสารประจุลบได้ ข้อจำกัดคือ มีสมบัติลดแรงตึงผิวต่ำกว่า สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ อีกทั้งยังมีราคาแพงกว่าสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบและสารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (Rosen, 2004)

2.9.3 สารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุลบและประจุบวก (Zwitterionic Surfactant)

เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้างส่วนหัวหรือส่วนที่ทำปฏิกิริยาที่พื้นผิว (Surface-active portion) อาจเป็นประจุลบหรือประจุบวกก็ได้ ขึ้นกับสภาพแวดล้อม เช่น $\text{RN}^+\text{H}_2\text{CH}_2\text{COO}^-$ (กรดอะมิโนสายยาว) และ $\text{RN}^+\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{SO}_3^-$ (ซัลโฟเบทาอีน) ข้อดีคือมีสมบัติในการลดแรงตึงผิวเทียบได้กับสารลดแรงตึงผิวทุกชนิด และอาจดูดซับพื้นผิวประจุบวกหรือประจุลบก็ได้ ข้อจำกัดคือ ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เอทานอล (Rosen, 2004)

2.9.4 สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (Nonionic Surfactant)

เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีโครงสร้างส่วนหัวหรือส่วนที่ทำปฏิกิริยาที่พื้นผิว (Surface-active portion) ไม่มีประจุ เช่น $\text{RCOOCH}_2\text{CHOHCH}_2\text{OH}$ (มอนอกลิเซอไรด์ของกรดไขมันสายยาว) เป็นต้น ข้อดีคือ มีสมบัติในการลดแรงตึงผิวเทียบได้กับสารลดแรงตึงผิวทุกชนิด และสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพในสภาวะที่มีหรือไม่มีให้น้ำไฟฟ้า ข้อจำกัดคือ มีการดูดซับที่พื้นผิวต่ำ เนื่องจากไฟฟ้าไม่มีผลต่อสารลดแรงตึงผิว (Rosen, 2004)

2.10 สัดส่วนความชอบน้ำต่อสัดส่วนชอบน้ำมัน หรือค่าเฮลแอลบี (Hydrophile-Lipophile Balance, HLB)

ในการเลือกสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมนั้นเป็นกุญแจสำคัญในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยวิธีการใช้ค่า HLB นั้นเป็นวิธีหนึ่งในการเลือกสารลดแรงตึงผิว ค่า HLB จะมีค่าตั้งแต่ 0-20 ซึ่งบ่งบอกถึงสัดส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และส่วนที่ชอบน้ำมัน (Lipophilic) ในโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว (Rosen, 2004) โดยหากค่า HLB เท่ากับ 0 หมายถึงโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะมีแต่ส่วนที่ชอบน้ำมัน และหากค่า HLB สูงขึ้นหมายถึงมีส่วนที่ชอบน้ำในโมเลกุลเพิ่มมากขึ้น ซึ่งหากค่า HLB ของสารลดแรงตึงผิวมีค่า 3-6 จะมีความเหมาะสมในการใช้ผลิตไมโครอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (W/O) และหากค่า HLB ของสารลดแรงตึงผิวมีค่า 8-18 จะมีความเหมาะสมในการใช้ผลิตไมโครอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (O/W) (Macharoen, 2010)

การคำนวณค่า HLB ของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุสามารถคำนวณดังนี้ (Bora และคณะ, 2015)

$$\text{ค่าเฮลแอลบี (HLB)} = 20 \left(\frac{M_H}{M_H + M_L} \right) \quad \dots(2.2)$$

M_H คือ น้ำหนักของส่วนที่ชอบน้ำในโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว
 M_L คือ น้ำหนักของส่วนที่ชอบน้ำมันในโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว

ซึ่งในการผลิตไมโครอิมัลชันที่มีความเสถียรนั้นต้องอาศัยสัดส่วนของส่วนที่ชอบน้ำและชอบน้ำมันที่เหมาะสมต่อระบบ ดังนั้นจึงมีการผสมสารลดแรงตึงผิวเพื่อให้ได้ค่า HLB ที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดแรงตึงผิวของระบบ (Espinosa และคณะ, 2015)

การคำนวณค่า HLB ในระบบที่มีการผสมสารลดแรงตึงผิวสามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้ (Macharoen, 2010; Rosen, 2004)

$$\text{ค่าเฮลแอลบี (HLB}_{\text{mix}}) = \sum(\text{HLB}_i \times f_i) \quad \dots(2.3)$$

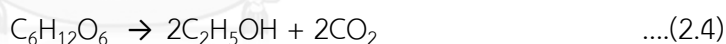
HLB_i คือ ค่า HLB ของสารลดแรงตึงผิวของแต่ละชนิด
 f_i คือ สัดส่วนโดยมวลของสารลดแรงตึงผิวของแต่ละชนิด

2.11 เอทานอล (Ethanol)

เอทานอลหรือเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol) เป็นสารอินทรีย์ที่มีสูตรทางเคมีคือ C_2H_5OH มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ระเหยง่าย ติดไฟง่าย สามารถละลายน้ำได้ โดยสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารจะขึ้นอยู่กับหมู่ไฮดรอกซิล (ROH) ซึ่งเป็นหมู่ที่แสดงสมบัติความมีขั้ว โดยส่วนใหญ่เอทานอลนำไปใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น ตัวทำละลาย สารป้องกันการแข็งตัว และเชื้อเพลิง เป็นต้น (Arenamart, 2004)

เอทานอลนั้นสามารถเตรียมได้หลายวิธีทั้งจากวิธีทางเคมีและวิธีชีวเคมี โดยเอทานอลที่เตรียมโดยวิธีทางเคมีนั้นสามารถเตรียมได้หลายปฏิกิริยา เช่น ปฏิกิริยาการเติมน้ำให้เอทิลีน ปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจนให้กับแอลดีไฮด์ ปฏิกิริยาไฮโดรโบเรชันของเอทิลีน ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอทิลเฮไลด์ เป็นต้น (Sengupta และ Pike, 2013) ซึ่งวิธีการเตรียมด้วยวิธีทางเคมีนั้นจะทำให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์สูง แต่มีของเสียจากกระบวนการผลิตในปริมาณมาก โดยเอทานอลที่สังเคราะห์ด้วยวิธีนี้นั้นไม่สามารถรับประทานได้เนื่องจากอาจมีสารเคมีตัวอื่น ๆ ปะปนมาในระหว่างการสังเคราะห์

เอทานอลที่ผลิตโดยวิธีทางชีวเคมีเรียกว่าไบโอเอทานอล (Bioethanol) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ไฮดรรัสเอทานอล (Hydrous ethanol) เกิดจากกระบวนการหมักพืชหรือเศษซากพืช แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงจากพืชให้เป็นน้ำตาล จากนั้นเปลี่ยนจากน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์โดยมีสมการเคมีดังนี้



ซึ่งการผลิตด้วยวิธีนี้นั้นจะมีความบริสุทธิ์ต่ำกว่าการผลิตด้วยวิธีทางเคมีเนื่องจากผลิตมาจากพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี ฟางข้าว และเนื้อไม้ จึงทำให้ไบโอเอทานอลนั้นมีปริมาณน้ำมากกว่าเอทานอลบริสุทธิ์ที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี โดยจะมีปริมาณน้ำประมาณร้อยละ 2-10 (Attaphong และ Sabatini, 2013)

โดยเอทานอลนั้นสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงหรือผสมกับน้ำมันดีเซลก่อนนำไปใช้ในเครื่องยนต์ แต่อย่างไรก็ตามการนำเอทานอลนำมาผสมกับน้ำมันดีเซล ข้อจำกัดคือของเหลวที่ได้จะเกิดการแยกวัฏภาคได้ง่ายจึงต้องอาศัยสารลดแรงตึงผิวทำให้เชื้อเพลิงเกิดความเป็นเนื้อเดียวกันและมีความเสถียรก่อนที่จะนำไปใช้งานในเครื่องยนต์ (Attaphong และคณะ, 2012)

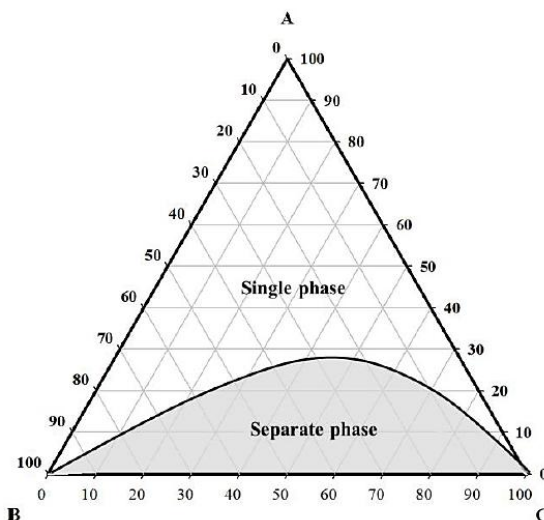
2.12 แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary Phase Diagram)

แผนภาพสามเหลี่ยมเป็นแผนภาพที่เป็นสามเหลี่ยมด้านเท่าที่ใช้เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน และบ่งบอกการเปลี่ยนแปลงวัฏภาคและความเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน ด้วยเส้นขอบเขตระหว่างวัฏภาค (Miscibility curve) ของสารผสมห้าชนิด ได้แก่ น้ำมันพืช น้ำมันดีเซล แอลกอฮอล์ สารลดแรงตึงผิว และสารลดแรงตึงผิวร่วม โดยส่วนบนของแผนภาพแสดงถึงระบบของไมโครอิมัลชันที่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase) มีความเสถียรทางอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamically stable) และโปร่งใส ส่วนล่างแสดงถึงระบบของไมโครอิมัลชันที่เกิดการแยกชั้นของวัฏภาค (Two phase)

แผนภาพสามเหลี่ยมประกอบด้วยสามแกน แต่ละแกนจะแสดงองค์ประกอบที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิคงที่ ได้แก่ น้ำมันพืช/น้ำมันดีเซล (มุมซ้าย) แอลกอฮอล์ (มุมขวา) และสารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วม (มุมบน) (Attaphong และคณะ, 2012) ดังแสดงในภาพที่ 2-11

ในแต่ละจุดบนแผนภาพจะมีร้อยละโดยปริมาตรของส่วนประกอบที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันรวมกันได้เป็นร้อยละ 100 ดังสมการต่อไปนี้

$$x\%A + y\%B + z\%C = 100\% \quad \dots(2.5)$$



ภาพที่ 2- 11 แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary Phase Diagram) ตามระบบของ Winzor type II (Arpornpong, 2013)

2.13 สมบัติของเชื้อเพลิง (Fuel Property)

2.13.1 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืด คือ ค่าความต้านทานการเคลื่อนที่ของของไหลส่วนหนึ่งกับอีกส่วนหนึ่งที่อยู่ติดกัน (Knothe และคณะ, 2005; Stedile และคณะ, 2015)

แบ่งออกเป็น ความหนืดพลวัต (Dynamic viscosity, η) หมายถึง ค่าความหนืดของของไหล ซึ่งถูกทำให้เปลี่ยนรูปจากการกระทำของความเค้นเฉือนหรือความเค้นภายนอก และความหนืดเชิงจลนศาสตร์ (Kinematic viscosity, ν) หมายถึง ค่าความต้านทานการไหลของของไหลภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก หาได้จากอัตราส่วนของความหนืดพลวัตต่อความหนาแน่นของของไหล (Density, ρ) (Knothe และคณะ, 2005)

โดยในงานวิจัยนี้จะใช้เป็นการวัดเชิงจลนศาสตร์ ซึ่งมีกำหนดอยู่ในมาตรฐานของไบโอดีเซล คือมาตรฐานของ ASTM D6751 กำหนดให้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสความหนืดควรมีค่าอยู่ในช่วง 1.9-6.0 เซนติสโตกส์ (Hou และ Shaw, 2008) เนื่องจากความหนืดนั้นมีความสำคัญต่อสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงอย่างมากเพราะสามารถส่งผลเสียต่อระบบท่อและหัวฉีดของเครื่องยนต์ได้ (Demirbas, 2008) โดยหากอยู่ในที่อุณหภูมิต่ำจะมีความหนืดสูงขึ้น เนื่องจากความหนืดมีความไวต่ออุณหภูมิอย่างมาก ความหนืดส่งผลให้ขนาดหยดของน้ำมันนั้นใหญ่ขึ้น การกระจายตัวเป็นละอองหรือการพ่นเป็นฝอยของน้ำมันนั้นไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และทำให้อุบัติบริเวณ ท่อ วาล์ว หัวฉีด และผนังห้องเผาไหม้ได้ง่าย (Balat, 2008)

โครงสร้างต่าง ๆ ของไบโอดีเซลที่มีผลต่อความหนืด ได้แก่ ความยาวของกรดไขมัน ความไม่อิ่มตัวของน้ำมันพืช และจำนวนพันธะคู่ เป็นต้น โดยที่เมื่อความยาวของกรดไขมันมากขึ้นจะทำให้ความหนืดของเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น และหากน้ำมันมีความไม่อิ่มตัวสูงจะทำให้ความหนืดของเชื้อเพลิงลดลง (Hou และ Shaw, 2008; Yang และคณะ, 2013)

ดังนั้นในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชจึงต้องมีการนำน้ำมันพืชมาลดความหนืดก่อนนำไปใช้ในเครื่องยนต์ วิธีลดความหนืดมีอยู่หลายวิธีโดยในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการลดความหนืดโดยใช้วิธีไมโครอิมัลชันเนื่องจากเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีความเสถียรของน้ำมันเชื้อเพลิงมากกว่าวิธีอื่น

2.13.2 ค่าซีเทน (Cetane Number)

ค่าซีเทน คือ ค่าที่แสดงถึงการจุดติดไฟของเชื้อเพลิง ใช้ในการบ่งบอกคุณภาพของเชื้อเพลิงดีเซลซึ่งวัดได้จากระยะเวลาที่เชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้ (Combustion chamber) ในเครื่องยนต์ดีเซล และเกิดการจุดติดไฟขึ้น โดยหากระยะเวลาในการจุดติดไฟสั้นแสดงว่าเชื้อเพลิง

ชนิดนั้นที่มีค่าซีเทนสูง (Yang และคณะ, 2013) ค่าซีเทนขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลของเชื้อเพลิง คือถ้าโมเลกุลของเชื้อเพลิงมีความเป็นกิ่งสูงจะทำให้เชื้อเพลิงชนิดนั้นจุดติดไฟได้ยาก และหากเพิ่มความยาวของสายแอลคิล (*n*-alkyl side chains) จะทำให้เชื้อเพลิงนั้นติดไฟได้ง่ายขึ้น แสดงตัวอย่างค่าซีเทนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตทั่วไป แสดงดังในตารางที่ 2-3 สำหรับมาตรฐานของไบโอดีเซล (ASTM D6751) กำหนดให้ค่าซีเทนของไบโอดีเซลต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 47 โดยนอกจากค่าซีเทนจะแสดงถึงคุณภาพของการจุดติดไฟแล้ว ยังแสดงถึงการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์อีกด้วย โดยหากค่าซีเทนมีค่าสูงจะส่งผลให้การปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ได้น้อยลงอีกด้วย ดังนั้นค่าซีเทนจึงมีความสำคัญต่อการประเมินคุณภาพของเชื้อเพลิงก่อนที่จะนำเชื้อเพลิงไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล (Hou และ Shaw, 2008)

ตารางที่ 2- 3 ค่าซีเทน (Cetane number) ของเชื้อเพลิงชีวภาพ

Material	Cetane number
Rapeseed (canola) oil methyl esters	47.9–56
Methyl soyate	48.7–55.9
Sunflower oil methyl ester	54–58
Methyl laurate	61.4; 60.8
Methyl myristate	66.2; 73.5
Methyl palmitate	74.5; 74.3; 85.9
Methyl stearate	86.9; 75.6; 101
Methyl oleate (C 18:1 ; Δ^9 <i>cis</i>)	55; 59.3
Methyl linoleate (C 18:2 ; Δ^9 , Δ^{12} - all <i>cis</i>)	42.2; 38.2
Methyl linolenate (C 18:3 ; Δ^9 , Δ^{12} , Δ^{15} - all <i>cis</i>)	22.7
Triolein	45
Ethyl oleate	53.9; 67.8
Propyl oleate	55.7; 58.8
Butyl oleate	59.8; 61.6

ที่มา: Hou และ Shaw, 2008

2.13.3 จุดขุ่น (Cloud Point)

จุดขุ่น หมายถึง อุณหภูมิจุดที่ต่ำที่สุดที่เชื้อเพลิงเริ่มเกิดความขุ่นเมื่อทำให้เชื้อเพลิงเย็นลง ซึ่งมาจากการที่เกิดผลึกขนาดใหญ่พอที่จะสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า โดยผลึกจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 ไมครอน ($d \geq 0.5 \mu\text{m}$) เมื่ออุณหภูมิต่ำลงมากกว่าจุดขุ่นจะทำให้ผลึกนั้นมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งก่อให้เกิดการอุดตันทำให้เป็นปัญหาต่อการทำงานของเครื่องยนต์ (Hou และ Shaw, 2008; Knothe และคณะ, 2005; Yang และคณะ, 2013)

โดยจุดขุ่นของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM D6751 กำหนดให้มีจุดขุ่นไม่สูงกว่า 12 องศาเซลเซียส ซึ่งโดยทั่วไปนั้นจุดขุ่นของน้ำมันพืชมักจะสูงกว่าน้ำมันดีเซลเสมอ (Arpornpong, 2013)

2.13.4 จุดไหลเท (Pour point)

จุดไหลเท หมายถึง อุณหภูมิจุดที่ต่ำที่สุดที่เชื้อเพลิงยังสามารถไหลได้อย่างอิสระเมื่อทำให้เชื้อเพลิงเย็นลง (Hou และ Shaw, 2008; Knothe และคณะ, 2005; Yang และคณะ, 2013) ในกรณีที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดไหลเท จะต้องมีการให้ความร้อนแก่ระบบท่อและถังที่อยู่ในเครื่องยนต์ เพื่อให้เชื้อเพลิงนั้นถูกสูบไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อเครื่องยนต์ (Arpornpong, 2013) โดยจุดไหลเทของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM D6751 กำหนดให้มีจุดไหลเทไม่สูงกว่า 10 องศาเซลเซียส

2.13.5 จุดวาบไฟ (Flash point)

จุดวาบไฟ หมายถึง อุณหภูมิจุดที่ต่ำที่สุดที่ทำให้เชื้อเพลิงเกิดการระเหยกลายเป็นไอผสมกับอากาศและมีความดันไอบางพอที่จะทำให้เกิดประกายไฟขึ้นเมื่อให้อุณหภูมิกับเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น และมีสัมผัสกับเปลวไฟ (Boog และคณะ, 2011; Guo และคณะ, 2009) ใช้บ่งบอกถึงลักษณะความไวไฟของเชื้อเพลิง หากเชื้อเพลิงที่มีจุดวาบไฟต่ำแสดงว่าเป็นเชื้อเพลิงที่มีความไวไฟสูง และหากเชื้อเพลิงที่มีจุดวาบไฟสูง แสดงว่าเป็นเชื้อเพลิงที่มีความไวไฟต่ำ (Mejia และคณะ, 2013) จุดวาบไฟไม่ได้มีผลต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยตรง แต่มีความสำคัญต่อความปลอดภัยในการเก็บรักษาวัสดุไวไฟ การขนถ่าย และการขนส่งเชื้อเพลิง (Carareto และคณะ, 2012)

โดยทั่วไปเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมักมีจุดวาบไฟที่สูงกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากสมบัติการระเหยกลายเป็นไอ จึงทำให้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลนั้นมีความปลอดภัยในการเก็บกักและขนถ่ายสูงกว่า (Anzanello, 2015) แต่อย่างไรก็ตามหากเชื้อเพลิงมีจุดวาบไฟสูง หรือความดันไอลำบากเกินไปจะส่งผล

ให้การจุดติดไฟในเครื่องยนต์ช้า (Ignition delay) และมีปัญหาต่อการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ได้ (Boog และคณะ, 2011; Carareto และคณะ, 2012)

2.13.6 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่น (Density, ρ) เป็นหนึ่งในสมบัติของเชื้อเพลิงที่มีความสำคัญ เนื่องจากสามารถบ่งบอกถึงลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงได้ โดยสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของน้ำหนักต่อปริมาตร (Stedile, 2015) ซึ่งเชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นสูงจะมีโอกาสเกิดเขม่าควันได้สูง และส่งผลกระทบต่อระบบสูบเชื้อเพลิง และหัวฉีดได้ อีกทั้งความหนาแน่นนั้นยังมีความสัมพันธ์กับค่าซีเทน (Cetane number) ของเชื้อเพลิงซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการจุดติดไฟของเชื้อเพลิง (Phankosol และคณะ, 2014)

โดยทั่วไปนั้นความหนาแน่นของไบโอดีเซลส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของวัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิง ดังนั้นในการเลือกน้ำมันพืชมาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจึงต้องมีการคำนึงถึงความหนาแน่นด้วย (Pratas และคณะ, 2011) โดยมาตรฐานเชื้อเพลิงไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM D6751 กำหนดให้ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อยู่ระหว่าง 0.81-0.87 กรัมต่อมิลลิลิตร

2.13.7 ค่าความเป็นกรด (Acid number)

ค่าของกรด (Acid value) หรือ ค่าความเป็นกรดทั้งหมด (Total acid number, TAN) หมายถึง ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ทั้งหมดที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับปริมาณกรดทั้งหมดในตัวอย่างเชื้อเพลิงไบโอดีเซล มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมของน้ำมัน (mg KOH/g oil) โดยความเป็นกรดนี้หากมีค่ามาก ส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนอุปกรณ์ต่าง ๆ ในเครื่องยนต์ จึงต้องมีมาตรฐานค่าความเป็นกรดของเครื่องยนต์ โดยมาตรฐาน ASTM ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล กำหนดให้มีค่าความเป็นกรดไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมของน้ำมัน (Arpornpong, 2013)

2.13.8 ค่าความร้อน (Heating value)

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาต่อหน่วยน้ำหนักเมื่อเชื้อเพลิงเกิดการเผาไหม้ สามารถวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงได้จากการนำเชื้อเพลิงไปเผาไหม้ในเครื่อง Bomb calorimeter (Arpornpong, 2013)

ค่าความร้อนแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

2.13.8.1 Gross calorific value (Higher heating value, HHV)

ค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงทั้งหมด โดยรวมค่าความร้อนแฝงจากการทำให้น้ำในเชื้อเพลิงกลายเป็นไอ ซึ่งค่าความร้อนแฝงนี้ไม่สามารถนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้

2.13.8.2 Net calorific value (Lower heating value, LHV)

ค่าความร้อนที่สามารถนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้ เนื่องจากค่าความร้อนจากเชื้อเพลิงที่ได้หักค่าความร้อนแฝงจากการทำให้น้ำในเชื้อเพลิงกลายเป็นไอออกไปแล้ว

หากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมีค่าต่ำจะส่งผลกระทบต่อเชิงเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากต้องใช้เชื้อเพลิงในปริมาณมากเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ ซึ่งโดยทั่วไปน้ำมันพืชจะมีปริมาณออกซิเจนในโมเลกุลสูง ส่งผลให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ผลิตจากน้ำมันพืชนั้นมีค่าความร้อนที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซล (Arpompong, 2013; Stedile, 2015)

2.13.9 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเป็นสมบัติที่แสดงถึงโครงสร้างโมเลกุลของไบโอดีเซลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันพืชที่ใช้ผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซลเป็นหลัก สามารถคำนวณความถ่วงจำเพาะได้จากอัตราส่วนความหนาแน่นของน้ำมันต่อความหนาแน่นของน้ำ เนื่องจากค่าความถ่วงจำเพาะจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้จึงต้องเป็นอุณหภูมิที่คงที่ โดยค่าความถ่วงจำเพาะจะเพิ่มขึ้นเมื่อสายแอลคิลของกรดไขมันยาวขึ้น และจะลดลงเมื่อมีจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลเพิ่มขึ้น (Fernandes และคณะ, 2014)

ความถ่วงจำเพาะใช้บ่งบอกถึงคุณภาพของไบโอดีเซล โดยทั่วไปเชื้อเพลิงไบโอดีเซลนั้นจะมีความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากมีมวลมากกว่า แสดงถึงส่วนประกอบของไบโอดีเซลว่ามีสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในเชื้อเพลิงสูง ซึ่งทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และเกิดเขม่าควันมากขึ้น ตลอดจนเมื่อค่าความถ่วงจำเพาะมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าซีเทนและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงต่อหน่วยลดลง (Tat และ Gerpen, 2000) โดยปัจจัยเหล่านี้ก่อให้เกิดผลเสียต่อระบบภายในเครื่องยนต์เช่น ระบบท่อ ระบบปั๊ม และหัวฉีดของเครื่องยนต์ (Silva และคณะ, 2013)

2.13.10 ปริมาณน้ำ (Water content)

เนื่องจากไบโอดีเซลส่วนใหญ่เป็นสารประกอบพวกกรดไขมันเอสเทอร์ (Fatty acid esters) ซึ่งมีสมบัติคือสามารถดูดความชื้นได้ดี (Hygroscopic compounds) จึงส่งผลให้โดยส่วนใหญ่เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจะมีปริมาณน้ำในเชื้อเพลิงมากกว่าเชื้อเพลิงดีเซล ซึ่งปริมาณน้ำที่มีในเชื้อเพลิงนั้นส่งผลเสียทั้งต่อการขนส่ง การกักเก็บ และการนำเชื้อเพลิงไปใช้งาน (Fregolente และคณะ, 2012) เนื่องจากปริมาณน้ำในเชื้อเพลิงนั้นชุกน้ำให้เกิดการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดสลัดจ์ตะกอนเมื่อนำเชื้อเพลิงไปใช้งานสลัดจ์เหล่านี้จะไปอุดตันตามหม้อกรองน้ำ ระบบท่อส่งเชื้อเพลิง และหัวฉีด ทำให้เครื่องยนต์ได้รับความเสียหาย (Bampi และคณะ, 2013; Fregolente และ Maciel, 2012)

อีกทั้งปริมาณน้ำในเชื้อเพลิงนั้นเป็นตัวที่ลดค่าความร้อนในการเผาไหม้เชื้อเพลิง ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เกิดควันดำที่ท่อไอเสีย ทำให้เครื่องยนต์สตาร์ทติดยาก และเมื่อเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ก็จะเกิดสารประกอบที่มีฤทธิ์ในการกัดกร่อนโลหะในเครื่องยนต์ (Atadashi และคณะ, 2012; Mirghani และคณะ, 2011) ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานสำหรับปริมาณน้ำในเชื้อเพลิงขึ้น โดยมาตรฐาน ASTM ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล กำหนดให้เชื้อเพลิงมีปริมาณน้ำไม่เกินร้อยละ 0.05 โดยปริมาตร (Chhetri และคณะ, 2008)

2.13.11 กากคาร์บอน (Carbon Residue)

กากคาร์บอน หมายถึง ปริมาณสารที่ตกค้างภายหลังจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง สามารถวัดได้จากเครื่องมือ Oxygen Bomb Calorimeter กากคาร์บอนนั้นไม่ได้ประกอบด้วยคาร์บอนเท่านั้นแต่ยังหมายความรวมถึงสารอื่นที่ตกค้างมาด้วย โดยสำหรับเชื้อเพลิงไบโอดีเซลนั้นกากคาร์บอนส่วนใหญ่มักประกอบไปด้วยปริมาณของกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ สบู่ และกากตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งมักเกิดในเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่มีจำนวนพันธะคู่ และพอลิเมอร์สูง ถ้าหากนำเชื้อเพลิงที่มีกากคาร์บอนสูงมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลจะก่อให้เกิดคราบติดที่หัวฉีดและภายในผนังห้องเผาไหม้ ส่งผลให้เกิดผลเสียต่อเครื่องยนต์ดีเซลหากใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่มีกากคาร์บอนสูงในระยะยาว (Arpompong, 2013; Bernardes, 2011) โดยมาตรฐานของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล กำหนดให้ปริมาณกากคาร์บอนของเชื้อเพลิงไม่เกินร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก

2.13.12 ปริมาณเถ้า (Ash content)

ปริมาณเถ้า หมายถึง ปริมาณของสารอนินทรีย์ที่อยู่ในเชื้อเพลิง มาจากของแข็งที่มีความสามารถกัดกร่อนได้ (Abrasive solids) กากตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst residues) และสารสบู่ที่มีส่วนประกอบของโลหะสามารถละลายได้ (Soluble metal soaps) สารประกอบเหล่านี้จะอยู่ใน

เชื้อเพลิงไบโอดีเซล โดยเมื่อผ่านการเผาไหม้แล้วจะเกิดการตกค้างอยู่ในรูปของขี้เถ้า ซึ่งส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนตัวกรองเชื้อเพลิง และวัสดุทนความร้อนอื่น ๆ ภายในเครื่องยนต์ (Bernardes, 2011) โดยมาตรฐานของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล กำหนดให้ปริมาณเถ้าไม่เกินร้อยละ 0.02 โดยน้ำหนัก

จะเห็นได้ว่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้นนั้นมีความสำคัญต่อสมบัติของไบโอดีเซล ตลอดจนการนำเชื้อเพลิงไบโอดีเซลไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงตรวจวัดพารามิเตอร์ตามวิธีมาตรฐานของ American Standard Testing Method (ASTM) เทียบกับมาตรฐานของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (ASTM D6751) ดังในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2- 4 มาตรฐาน ASTM D6751 ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล และ ASTM D975 ของเชื้อเพลิงดีเซลประเภทที่ 2

สมบัติเชื้อเพลิง	ดีเซลประเภทที่ 2	ไบโอดีเซล
จุดวาบไฟ (°C)	52 (min.)	130 (min.)
น้ำและตะกอน (%vol.)	0.05 (max.)	0.05 (max.)
ความหนืดที่ 40 °C (cSt)	1.9-4.1	1.9-6.0
ปริมาณเถ้าซิลิเกต (%mass)	0.05 (max.)	0.02 (max.)
เลขซีเทน	40 (min.)	47 (min.)
จุดขุ่น (°C)	Report	12
กากคาร์บอน (%mass)	0.35 (max.)	0.05 (max.)
ค่าความเป็นกรด (mg KOH/g)	0.08 (max.)	0.50 (max.)

ที่มา: Arpornpong, 2013; Do และคณะ, 2011; Yang และคณะ, 2013

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ma และ Hanna (1999) ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าน้ำมันดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจากการใช้น้ำมันพืชใช้แล้วเป็นวัตถุดิบตั้งต้น เนื่องจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นกระบวนการที่นิยมในการนำมาผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพและน้ำมันพืชใช้แล้วช่วยลดค่าใช้จ่ายในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพแต่อย่างไรก็ตาม ต้องมีการนำน้ำมันพืชใช้แล้วไปผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นก่อนนำไปลดความหนืดเนื่องจากปริมาณกรดไขมันอิสระและปริมาณน้ำในน้ำมันพืชใช้แล้ว จากเหตุผลที่กล่าวมานี้จึงทำให้มีการศึกษาปัจจัยและกลไกปฏิกิริยาที่เหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ผลการศึกษาพบว่ากระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะเริ่มจากการลดไดกลีเซอไรด์ และมอนอกลิเซอไรด์ให้กลายเป็นกรดไขมันเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) โดยการใช้ตัวเร่งที่เป็นเบสต่อกระบวนการจะให้ผลดีกว่าตัวเร่งที่เป็นกรดและเอนไซม์ และพบว่าการใช้วิธีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในการลดความหนืดจะทำให้ลดปัญหาที่จะเกิดภายในเครื่องยนต์เมื่อนำไบโอดีเซลไปใช้ เช่น ลดการคาร์บอนตกค้าง และลดการปนเปื้อน

Tan และ Man (1999) ศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อความคงตัวของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ ได้แก่ น้ำมันข้าวโพด น้ำมันปาล์มกิ่งบริสุทธิ์ น้ำมันทานตะวัน พบว่า เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง โดยไม่มีการทอดอาหาร และเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ส่วนประกอบในน้ำมันทุก 2 ชั่วโมง จะส่งผลให้น้ำมันทั้ง 3 ชนิดมีสารประกอบจำพวกเปอร์ออกไซด์ กรดไขมันอิสระ สารโพลาร์เพิ่มสูงขึ้น

Zhang และคณะ (2003) ศึกษาเกี่ยวกับการประเมินกระบวนการออกแบบและเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วภายใต้สภาวะที่เป็นเบส และสภาวะกรดต่อการลดความหนืดด้วยวิธีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยงานวิจัยนี้ใช้น้ำมันพืชใช้แล้วจะผ่านวิธีการบำบัดขั้นต้นก่อนนำไปลดความหนืดโดยใช้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันและใช้ตัวเร่งเบส จากการศึกษาพบว่าเมื่อใช้น้ำมันพืชบริสุทธิ์จะเหมาะสมกับการผลิตไบโอดีเซลสภาวะที่มีตัวเร่งเบสในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันมากกว่าแต่การนำน้ำมันพืชบริสุทธิ์มาใช้ในกระบวนการจะส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง และเมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้วจะเหมาะสมกับการผลิตไบโอดีเซลที่สภาวะที่มีตัวเร่งกรดในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันมากกว่า

Chhetri และคณะ (2008) ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากวัตถุดิบทางเลือกใหม่คือน้ำมันพืชใช้แล้วจากวิธีทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีการบำบัดน้ำมันพืชใช้แล้วขั้นต้นโดยการนำน้ำมันพืชใช้แล้วไประเหยน้ำออกที่ 110 องศาเซลเซียส และนำไปกรองผ่านผ้ากรองที่มีรูขนาดเฉลี่ย 75 ไมครอน พบว่าปริมาณกรดไขมันของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่เป็นไบโอดีเซลส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดโอเลอิก เนื่องจากน้ำมันตั้งต้นคือน้ำมันคาโนล่า และเมื่อนำสมบัติของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลไปเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีความสำคัญเนื่องจากมีแนวโน้มทำให้เศรษฐกิจน้ำมันเปลี่ยนแปลงและเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่ง

Meng และคณะ (2008) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วจากตัวเร่งเบสในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันและศึกษาการทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซล โดยน้ำมันพืชใช้แล้วนำไปผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นโดยให้ความร้อนและกรองที่สุญญากาศและเติมกรดฟอสฟอริกและน้ำกลั่นเพื่อล้างฟอสโฟไลปิด และนำไปบำบัดวิธีเอสเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจนกว่ากรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วลดลงจนเหลือต่ำกว่าร้อยละ 1 ผลการศึกษาพบว่ากระบวนการดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการผลิตไบโอดีเซลร้อยละ 89.8 และเมื่อนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์พบว่าสามารถใช้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้เป็นเชื้อเพลิงโดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ ส่วนผลจากการปล่อยก๊าซมลพิษพบว่าเมื่อใช้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้เป็นเชื้อเพลิงจะทำให้ปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรคาร์บอน (HC) ลดลงจากการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง

Do และคณะ (2009) ศึกษาการนำน้ำมันพืชมาผลิตเป็นไมโครอิมัลชันจากสารลดแรงตึงผิวที่มีส่วนขยายและสารเชื่อมต่อ โดยที่ไม่เติมน้ำมันช่วยทำปฏิกิริยาร่วม (Co-oil) และแอลกอฮอล์ น้ำมันพืชที่นำมาใช้ในการศึกษาได้แก่ น้ำมันมะกอก น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันคาโนล่า และน้ำมันดอกทานตะวัน สารลดแรงตึงผิวที่ใช้มีส่วนขยาย 2 ประเภท ได้แก่ กลุ่มแอลคิลพอลิโพรพอกซิเลท (LAPS) และ กลุ่มแอลคิลพอลิโพรพอกซิเลทอซิเลท (LAPES) โดยสารเชื่อมต่อที่ใช้ ได้แก่ สารเชื่อมต่อที่ชอบน้ำมัน และสารเชื่อมต่อที่ชอบน้ำ ร่วมกับการศึกษาวิฤภาคของไมโครอิมัลชันพบว่าสามารถเกิดไมโครอิมัลชันได้ที่อุณหภูมิห้องโดยปราศจากน้ำมันช่วยทำปฏิกิริยาร่วม (Co-oil) และแอลกอฮอล์ ซึ่งไมโครอิมัลชันที่ผลิตได้นี้สามารถนำไปใช้ได้ในการบำบัดความปนเปื้อนในดิน การสกัดน้ำมันพืช และเครื่องสำอางค์

Hossain และ Boyce (2009) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันทานตะวันใช้แล้วจากวิธีทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM น้ำมันทานตะวันใช้แล้วจะนำไปผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยการกรองภายใต้สุญญากาศ (11 bar) และเติมสารเคมี ได้แก่ โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ แมกนีเซียมซัลเฟตแอนไฮดรัส ผลการศึกษาพบว่าสมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันทานตะวันบริสุทธิ์และน้ำมันทานตะวันใช้แล้วไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก แตกต่างแค่ความหนืดและความเป็นกรดจากการที่น้ำมันทานตะวันใช้แล้วมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่า ส่วนการเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM พบว่าผ่านการเกณฑ์มาตรฐานและไบโอดีเซลมีคุณภาพดี

Do และคณะ (2011) ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงแบบรีเวิร์สไมเซลล์ไมโครอิมัลชันด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยผลิตจากน้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซลและเอทานอลโดยใช้สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมประเภทต่าง ๆ น้ำมันพืชที่ใช้ได้แก่ น้ำมันคาโนล่า น้ำมันปาล์ม และน้ำมันสำหรับสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ได้แก่ โอริวแอลกอฮอล์ โอริวเอมีน สองเอทิลเฮกซิลไนเตรท และเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเธอร์ ส่วนสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้ได้แก่ ออกทานอล และเอทิลแอลกอฮอล์ จากการศึกษาสมบัติของน้ำมันพืชพบว่าความหนืดของน้ำมันพืชจะลดลงเมื่อเพิ่มพันธะคู่และลดความยาวของสารคาร์บอน จากการศึกษาอัตราส่วนโมลของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้ในการเตรียมไมโครอิมัลชันพบว่าระบบที่ใช้โอริวแอลกอฮอล์เป็นสารลดแรงตึงผิว ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมตัวที่หนึ่ง และใช้เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเธอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมตัวที่สอง จะมีอัตราส่วนโมลที่เหมาะสมที่ทำให้อุณหภูมิของระบบเสถียรที่สุดคือ 1:2:2 1:4:4 และ 1:8:8 จากการศึกษาการผลิตไมโครอิมัลชันพบว่าน้ำมันสำหรับ และน้ำมันคาโนล่าผสมดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 และใช้โอริวแอลกอฮอล์เป็นสารลดแรงตึงผิวระบบที่จะมีความเสถียรสูงกว่าระบบที่ใช้โอริวเอมีนเป็นสารลดแรงตึงผิว โดยเมื่อใช้เอทานอลร้อยละ 24 โดยปริมาตรในระบบจะทำให้ระบบมีความหนืดลดลงทำให้มีสมบัติของเชื้อเพลิงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ASTM ของเชื้อเพลิงดีเซลประเภทที่ 2 ซึ่งเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ผลิตได้นั้นมีค่าความร้อนใกล้เคียงกับไบโอดีเซลแต่มีค่าความร้อนต่ำกว่าดีเซลประมาณร้อยละ 10 เนื่องจากการเติมเอทานอลในระบบ และจากการศึกษาการปล่อยก๊าซไอเสียพบว่าเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ต่ำกว่าทั้งดีเซลและคาโนล่าไบโอดีเซล ส่วนการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) จะขึ้นกับสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้ โดยระบบที่มีโอริวเอมีน และเอทิลเฮกซิลไนเตรทเป็นส่วนประกอบจะปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์สูงเท่ากับเชื้อเพลิงดีเซล

Owolabi และคณะ (2011) ศึกษาสมบัติของไบโอดีเซลที่ผลิตด้วยน้ำมันพืชใช้แล้ว จากครัวเรือนและร้านอาหาร โดยน้ำมันที่นำมาใช้เป็นน้ำมันที่ผ่านการทอดปลามาแล้วหลายครั้ง และนำมาผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นด้วยการเติมคลอโรฟอร์ม เมทานอล และเกลือ และใช้วิธีทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเป็นวิธีการลดความหนืด ผลการศึกษาพบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีสมบัติคล้ายน้ำมันดีเซลอย่างมาก และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ASTM

Attaphong และคณะ (2012) ศึกษาวิฤภาคของของเชื้อเพลิงที่เตรียมด้วยวิธีการไมโครอิมัลชันที่ใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีส่วนขยายของคาร์บอกซิเลตที่มีจำนวนของหมู่เอทิลีนออกไซด์ในโมเลกุลแตกต่างกัน โดยแบ่งประเภทเป็นแบบโซ่ตรง และแบบโซ่ก้าน และใช้อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม (S/C) คือ 1:8 1:16 และ 1:32 ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีส่วนขยายของคาร์บอกซิเลตสามารถทำให้ระบบกลายเป็นเนื้อเดียวกันได้โดยปราศจากเกลือในระบบ โดยโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่เป็นแบบโซ่ตรง และมีจำนวนของหมู่เอทิลีนออกไซด์ต่ำกว่าจะใช้สารลดแรงตึงผิวในการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันต่ำกว่าสารลดแรงตึงผิวที่มีโมเลกุลแบบโซ่ก้าน และมีจำนวนของหมู่เอทิลีนออกไซด์สูงกว่า โดยอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมนั้นไม่มีผลต่อวิฤภาคและสมบัติของไมโครอิมัลชัน และอัตราส่วนของน้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซลพบว่าใช้อัตราส่วน 50:50 จะมีความเหมาะสมต่อการผลิตไมโครอิมัลชันมากที่สุดเนื่องจากความหนืดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ASTM ซึ่งการเติมสารเติมแต่งนั้นไม่ส่งผลต่อวิฤภาคและความหนืดของไมโครอิมัลชันแต่ส่งผลต่อการเพิ่มค่าซีเทนในเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน

Neto และคณะ (2013) ศึกษาผลของการผสมไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลในไมโครอิมัลชันต่อการปล่อยก๊าซไอเสียในเครื่องยนต์ดีเซล โดยวิฤภาคของน้ำมันจะใช้ไบโอดีเซลร้อยละ 5 โดยปริมาตร (B5) และร้อยละ 20 โดยปริมาตร (B20) เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล วิฤภาคของน้ำคือน้ำกลั่น และใช้สารลดแรงตึงผิวคือ โนนิลฟีนอลอีทอกซิเลท ซึ่งประกอบด้วยหมู่อีทอกซิเลท 5 หมู่ ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ ผลการศึกษาพบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีค่าความหนืด ความหนาแน่น จุดวาบไฟมากกว่าน้ำมันดีเซล และพบว่าไบโอดีเซลนั้นมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และเขม่าควันน้อยกว่าน้ำมันดีเซล แต่มีไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่ได้มากกว่าน้ำมันดีเซล

Gnanaprakasam และคณะ (2013) ศึกษาผลกระทบการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยวิธีทรานส์เอสเทอริฟิเคชันและศึกษากระบวนการที่มีผลต่อพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์เชื้อเพลิง พบว่าควรใช้การบำบัดขั้นต้นกับน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยวิธีเอสเทอริฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

และใช้เมทานอลเป็นตัวทำปฏิกิริยาร่วม เนื่องจากหากน้ำมันพืชใช้แล้วมีความเป็นกรดสูงการใช้ตัวเร่งกรดจะมีความเหมาะสมต่อปฏิกิริยามากกว่าถึงแม้ว่าจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดช้ากว่าใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเนื่องจากมีราคาถูกและเกิดปฏิกิริยาเร็ว ส่วนการกวนในการเกิดปฏิกิริยานั้นใช้ในการเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาโดยทั่วไปจะใช้ในปฏิกิริยาที่ 200-250 รอบต่อนาที

Attaphong และคณะ (2013) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อวัฏภาคของเชื้อเพลิงที่เตรียมด้วยวิธีการไมโครอิมัลชันโดยใช้น้ำมันพืชต่างชนิดกัน โดยใช้น้ำมันพืชคือ น้ำมันละหุ่ง น้ำมันสาหร่าย และน้ำมันคาโนลา ใช้สารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุได้แก่ กลุ่มแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ฮิโทกซิเลต กลุ่มซอร์บิแทน และโอริวแอลกอฮอล์ และใช้สารลดแรงตึงผิวแบบประจุลบคือ สารลดแรงตึงผิวที่มีส่วนขยายของคาร์บอกซิเลต ผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้น้ำมันละหุ่งผสมกับน้ำมันสาหร่ายจะมีสมบัติเทียบได้กับใช้น้ำมันคาโนลา และเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวกลุ่มแอลกอฮอล์ที่มีหมู่ฮิโทกซิเลตในระบบจะมีสมบัติเทียบได้กับใช้โอริวแอลกอฮอล์เป็นสารลดแรงตึงผิว โดยเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมและสารเติมแต่งในระบบจะทำให้ผลิตไมโครอิมัลชันได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส ในส่วนของระบบที่ใช้เอทานอล เปรียบเทียบกับการใช้ไบโอเอทานอลพบว่าเมื่อใช้ไบโอเอทานอลจะต้องใช้สารลดแรงตึงผิวมากกว่าระบบที่ใช้เอทานอลเนื่องจากไบโอเอทานอลมีปริมาณน้ำมากกว่า

Arpornpong (2013) ศึกษาวัฏภาคไมโครอิมัลชันที่เหมาะสม โดยใช้สารลดแรงตึงผิว ได้แก่ สเตียริวแอลกอฮอล์ โอริวแอลกอฮอล์ บริจ-10 และเมทิลโอลิเอต สารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้ได้แก่ บิวทานอล ออกทานอล เดคานอล และหนึ่งเอทิลสองเฮกซานอล ที่อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วม (S/C) คือ 1:1 1:4 และ 1:8 แอลกอฮอล์ที่ใช้ได้แก่ เอทานอลบริสุทธิ์ร้อยละ 95 และร้อยละ 99 ผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนน้ำมันพืชปาล์มต่อน้ำมันดีเซลที่เหมาะสมในการผลิตคือ 50:50 ซึ่งสารลดแรงตึงผิวเมทิลโอลิเอตเป็นชนิดที่ใช้ปริมาณน้อยที่สุดในการลดความหนืด ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมพบว่าเมื่อเพิ่มความยาวสายโซ่คาร์บอนจะทำให้เพิ่มความหนืดของระบบ แต่ลดการใช้สารลดแรงตึงผิวได้ โดยอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม (S/C) พบว่าที่อัตราส่วน 1:8 จะลดความหนืดได้ดีที่สุด เมื่อนำเอทานอลบริสุทธิ์ร้อยละ 99 มาใช้ในการเตรียมจะลดสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในระบบได้มากกว่าเอทานอลบริสุทธิ์ร้อยละ 95 และพบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตไมโครอิมัลชันคือ น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลที่ 50:50 โดยปริมาตร ที่ปริมาตรร้อยละ 58 ใช้เอทานอลที่ปริมาตรร้อยละ 20 และใช้อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม (S/C) คือเมทิลโอลิเอตและออกทานอลที่ 1:8 โดยโมล ที่ร้อยละ 22

Abdullah และคณะ (2013) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่เตรียมโดยวิธีการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้การกำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วออกด้วยวิธีเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งคือกรดซัลฟิวริก และใช้วิธีการลดความหนืดของน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยวิธีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ผลการศึกษาพบว่าสมบัติของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่ผลิตได้นั้นผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM

Arpornpong และคณะ (2014) ศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวจำพวกอิมิตัว ไม่อิมิตัว และกลุ่มเอทิลีนออกไซด์ในสารลดแรงตึงผิวที่ส่งผลต่อวิฤภาคของเชื้อเพลิงที่เตรียมด้วยวิธีการไมโครอิมัลชัน ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ และขนาดหยดของไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวทั้งหมด 4 ชนิดคือ สเตียริวแอลกอฮอล์ โอริวแอลกอฮอล์ เมทิลโอลิเอต และพอลิออกซีเอทิลีน ใช้สารลดแรงตึงผิวร่วม 3 ชนิดคือ บิวทานอล ออกทานอล และเตคานอล ผลการศึกษาพบว่าสารลดแรงตึงผิวเมทิลโอลิเอตสามารถลดความหนืดในระบบได้ดีที่สุดและมีขนาดของหยดที่เท่ากันทั้งระบบ อีกทั้งยังใช้สารลดแรงตึงผิวปริมาณน้อยที่สุดในระบบ และในส่วนของสารลดแรงตึงผิวร่วมพบว่าเมื่อสายไฮโดรคาร์บอนของสารลดแรงตึงผิวร่วมยาวขึ้นจะส่งผลให้ใช้สารลดแรงตึงผิวในระบบลดลง แต่จะมีความหนืดในระบบเพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่ผลิตโดยวิธีไมโครอิมัลชันนั้นจะมีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากมีการเติมเอทานอลลงไปในระบบทำให้มีออกซิเจนอยู่ในระบบมากกว่าน้ำมันดีเซล

นิจวรรณ อนันตรกิตติ (2557) ศึกษาผลของโครงสร้างสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุกลุ่มอีทอกซิเลทออกไซด์ (Dehydol LS) และลอลิลกลูโคไซด์ (Lauryl Glucoside) และโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวร่วม ที่เป็นแบบสายโซ่ตรง คือ ออกทานอล และโครงสร้างแบบกิ่งก้าน คือ ไอโซออกทานอล และผลของชนิดของเอทานอล ได้แก่ เอทานอล และไบโอเอทานอล ต่อผลของสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยใช้สัดส่วนน้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซลที่ 50:50 โดยปริมาตร ที่ปริมาตรร้อยละ 75 ใช้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 ที่ปริมาตรร้อยละ 20 และใช้อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม (S/C) ที่ 1:8 โดยโมล ที่ร้อยละ 5 ผลการศึกษาพบว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุกลุ่มอีทอกซิเลทออกไซด์ (Dehydol LS) ลดความหนืดได้ดีที่สุด ส่วนสารลดแรงตึงผิวร่วมเมื่อใช้ออกทานอลจะเข้ากันได้ดีกับน้ำมันปาล์มผสมไบโอดีเซล แต่ไอโซออกทานอลจะเข้ากันได้ดีกับน้ำมันปาล์มผสมดีเซล และเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากน้ำมันปาล์มผสมดีเซลจะมีความหนืดต่ำกว่าน้ำมันปาล์มผสมไบโอดีเซล และเชื้อเพลิงที่เตรียมจากสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุกลุ่มอีทอกซิเลทออกไซด์ (Dehydol LS) ออกทานอล และเอทานอล จะปล่อยก๊าซไอเสียออกมาต่ำที่สุด

ศิริณี เพ็งปรีชา (2557) ศึกษาผลของชนิดของน้ำมันพืชต่อสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมโดยวิธีไมโครอิมัลชัน ได้แก่ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางเคมี น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้สัดส่วนน้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซลที่ 50:50 โดยปริมาตร ที่ปริมาตรร้อยละ 75 ใช้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 ที่ปริมาตรร้อยละ 20 และใช้อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม (S/C) ที่ 1:8 โดยโมล ที่ร้อยละ 5 ผลการศึกษาพบว่าน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางกายภาพโดยการกรองนำมาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันได้ดีกว่าน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดทางเคมี แต่ชนิดของน้ำมันพืชที่นำมาศึกษานั้นไม่ได้มีผลแตกต่างกันมากนัก เนื่องจากจำนวนคาร์บอนอะตอมในน้ำมันพืชแตกต่างกันไม่มากนัก ในส่วนของสารลดแรงตึงผิวร่วมพบว่าออกทานอลมีการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันและละลายในวัฏภาคได้ดีกว่าเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) และในการนำน้ำมันพืชมาผสมกับไบโอดีเซลดีกว่าน้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซล เมื่อนำเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่ได้มาทดสอบสมบัติพบว่าสมบัติใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงไบโอดีเซล และผ่านเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงไบโอดีเซลและเชื้อเพลิงดีเซลประเภทที่ 2 ตามมาตรฐานของ ASTM

ณัฐพร สรสุชาติ (2557) ศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวกลุ่มซอร์บิแทนเอสเทอร์ต่อวัฏภาคและสมบัติของเชื้อเพลิงที่เตรียมโดยวิธีไมโครอิมัลชัน พบว่าสารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนโมโนโอเลียดหรือซอร์บิแทน 80 และสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอลสามารถทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีที่สุด และซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือซอร์บิแทน 20 จะทำให้มีค่าความหนืดในระบบต่ำที่สุด โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพที่ให้ค่าความหนืดต่ำที่สุดคือน้ำมันผสม (50:50 โดยปริมาตร) เอทานอล และสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม (1:8 โดยโมล) ที่ 60:20:20 โดยปริมาตร

ศศิวิมล วิชาดี (2557) ศึกษาผลของสารเติมแต่งกลุ่มไกลคอลอีเทอร์ต่อสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยใช้ใช้น้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร และใช้อัตราส่วนโมลของน้ำมัน เอทานอล และสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่ง คือ 60:20:20 และใช้อัตราส่วนโมลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารเติมแต่ง ได้แก่ 1:3:5 1:4:4 1:5:3 1:6:2 และ 1:7:1 สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ คือ ดีไฮโดลเอทิลีนออกไซด์ 1 (Dehydol LS 1) สารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้ ได้แก่ บิวทานอล และออกทานอล สารเติมแต่งที่ใช้ได้แก่ เอทิลอะซิเตท (EA) เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) ไดเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) โพรพิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (PGEE) และไดโพรพิลีนไกลคอลเมทิลอีเทอร์ (DPGME) จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อเติมสารเติมแต่งต่างชนิดกันที่อัตราส่วน 1:3:5 จะส่งผลให้สมบัติ

ของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลที่สุด และพบว่าเมื่อเติมสารเติมแต่งชนิด ไตเอทิลีนไกลคอลเอทิลอีเทอร์ (DEGEE) และเอทิลอะซิเตท (EA) จะทำให้การปล่อยก๊าซมลพิษน้อยที่สุดเนื่องจากมีออกซิเจนในโมเลกุลสูงจึงส่งผลต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิง จากการศึกษาสารลดแรงตึงผิวร่วมพบว่าบิวทานอลส่งผลทำให้ระบบมีความหนืดต่ำกว่าออกทานอล แต่ในระบบที่เตรียมจากออกทานอลจะทำให้มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ต่ำกว่าระบบที่เตรียมจากบิวทานอลเนื่องจากออกทานอลให้ความร้อนสูงกว่าจึงเกิดการเผาไหม้สมบูรณ์

Bora และคณะ (2015) ศึกษาโครงสร้างและสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยน้ำมันเมล็ดรำเพยจากวิธีไมโครอิมัลชัน โดยจะผลิตเป็นรีเวิร์สไมเซลล์ไมโครอิมัลชัน ใช้สารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุได้แก่ สารลดแรงตึงผิวกรดไขมันเอสเทอร์ โอริวแอลกอฮอล์ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเธอร์ และใช้แอลกอฮอล์เป็นวัฏภาคของน้ำได้แก่ บิวทานอล และเอทานอล ผลการศึกษาพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้นั้นมีขนาดหยดของน้ำมันแขวนลอยเล็กมากและมีจำนวนหยดเพิ่มขึ้นจึงทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีความเสถียรทางกายภาพมากขึ้น และพบว่าในการเติมสารลดแรงตึงผิวกรดไขมันเอสเทอร์ และโอริวแอลกอฮอล์จะส่งผลให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมากขึ้น ส่วนการเติมสารลดแรงตึงผิวเอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเธอร์จะส่งผลให้เชื้อเพลิงมีจุดไหลเทเพิ่มขึ้น

Attaphong และคณะ (2015) ศึกษาการผลิตไมโครอิมัลชันด้วยระบบที่ใช้แอลกอฮอล์ต่างชนิดกัน ซึ่งประเมินจากผลกระทบของโครงสร้างของแอลกอฮอล์ และความยาวโซ่คาร์บอนต่อวัฏภาคสมบัติของเชื้อเพลิง และลักษณะการปล่อยก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิง โดยใช้แอลกอฮอล์ของต่าง ๆ ได้แก่ เมทานอล เอทานอล ไบโเอทานอล โพรพานอล บิวทานอล เอทิลีนไกลคอล โพรพิลีนไกลคอล กลีเซอรอล และระบบแอลกอฮอล์แบบผสม และใช้สารลดแรงตึงผิวได้แก่ อีทอกซิลเอทแอลกอฮอล์ โอริวแอลกอฮอล์ และโมนโอลลีเอต น้ำมันที่ใช้ได้แก่ น้ำมันคาโนล่า น้ำมันละหุ่ง และน้ำมันสาหร่าย สารเติมแต่งที่ใช้ได้แก่ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเธอร์ (EGBE) ไตเดิร์ทบิวทิลเปอร์ออกไซด์ (DTBP) และไอโซออกทานอล (EHOH) ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้โอริวแอลกอฮอล์ และแอลกอฮอล์อีทอกซิลเลทเป็นสารลดแรงตึงผิวเชื้อเพลิงจะใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวน้อยกว่าในการทำให้ระบบเป็นเนื้อเดียวกันและปล่อยก๊าซไอเสียต่ำกว่าใช้โมนโอลลีเอตเป็นสารลดแรงตึงผิว และจากผลการศึกษาชนิดและโครงสร้างของแอลกอฮอล์พบว่าเมื่อใช้แอลกอฮอล์ที่มีโซ่คาร์บอนสายยาวและเป็นโซ่ตรงจะทำให้ใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวในระบบน้อยกว่า ส่วนสารเติมแต่งที่ใส่ลงไปในระบบนั้นไม่มีผลต่อปริมาณก๊าซไอเสียของเชื้อเพลิง

2.15 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้ น้ำมันพืชใช้แล้วทดแทนน้ำมันพืชบริสุทธิ์ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชันจากสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ เนื่องจากโดยทั่วไปการผลิตไบโอดีเซลมักใช้ น้ำมันพืชบริสุทธิ์ซึ่งมีราคาแพงกว่าน้ำมันปิโตรเลียมมาก (Zhang และคณะ, 2003) จึงเลือกใช้น้ำมันพืชใช้แล้วโดยน้ำมันพืชเมื่อผ่านการใช้งานมาแล้วจะมีปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชแตกต่างกัน ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงการศึกษาน้ำมันพืชใช้แล้วผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพโดยวิธีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน น้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันเกินร้อยละ 3 จะไม่เหมาะสมในการนำมาผลิต เนื่องจากมีความไม่คุ้มทุนต่อการนำมาบำบัดขั้นต้นเพราะจะเกิดผลพลอยได้ที่ไม่ต้องการสูง เช่น สบู่ และน้ำ ทำให้เกิดการแยกชั้นได้ง่าย (Gnanaprakasam และคณะ, 2013) ซึ่งปริมาณน้ำจะส่งผลต่อสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ ดังนั้นจึงสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำมันพืชใช้แล้ว 3 ตัวอย่างที่พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระแตกต่างกันคือร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 เพื่อศึกษาความเหมาะสมของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วต่อสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ และเลือกใช้วิธีการบำบัดขั้นต้น ได้แก่ กระบวนการบำบัดทางกายภาพ และการกำจัดปริมาณกรดไขมันอิสระโดยวิธีเอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากตัวเร่งเบสที่ทำได้ง่าย ราคาไม่แพง และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าตัวเร่งเบสชนิดอื่น ๆ เนื่องจากหากใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่ำ และมีเงื่อนไขในการเกิดปฏิกิริยาสูงกว่าใช้ตัวเร่งเบส (Gnanaprakasam และคณะ, 2013; Zhang และคณะ, 2003)

การลดความหนืดด้วยวิธีไมโครอิมัลชันเพื่อให้เกิดการฟอร์มตัวเป็นไมโครอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (Water in Oil Emulsion, W/O Emulsion) เกิดโครงสร้างที่เรียกว่ารีเวิร์สไมเซลล์ (Reverse Micelle) โดยโครงสร้างนี้จะเกิดการฟอร์มตัวเมื่อสัดส่วนความชอบน้ำต่อสัดส่วนชอบน้ำมันของสารลดแรงตึงผิวที่เป็นตัวผสมระหว่างสองวัฏภาคมีค่าน้อยกว่า 7 ($HLB < 7$) ทำให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้น เหมาะกับการใช้เป็นเชื้อเพลิงที่มีวัตถุประสงค์เพื่อทดแทนสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (Arpornpong, 2013; Attaphong และคณะ, 2012)

จึงทำให้งานวิจัยนี้เลือกศึกษาการใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุประเภทแอลคิลแอลกอฮอล์อีทอกซีเลทที่มี อีทอกซีเลท 1 กลุ่ม (EO_1) ที่มีสัดส่วนความชอบน้ำต่อสัดส่วนชอบน้ำมันของสารลดแรงตึงผิวเท่ากับ 3.6 เนื่องจากไม่ต้องเติมเกลือในกระบวนการและไม่มีสารประกอบซัลเฟอร์ที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์ อีกทั้งมีงานวิจัยที่ผ่านมาศึกษาการเปรียบเทียบระหว่างสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุประเภทแอลคิลแอลกอฮอล์อีทอกซีเลทที่มี อีทอกซีเลท 1-12 กลุ่ม (EO_{1-12}) พบว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุประเภทแอลคิลแอลกอฮอล์อีทอกซีเลทที่มี อีทอกซีเลท 1 กลุ่ม (EO_1) มีประสิทธิภาพในการลดความหนืดมากที่สุด (นิจวรรณ อนันตรกิติ, 2557)

และผสมสารลดแรงตึงผิวร่วมในการช่วยให้ประสิทธิภาพในการลดแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวดีขึ้น จากการช่วยให้มีปริมาณการละลายเพิ่มขึ้น โดยสารลดแรงตึงผิวร่วมที่เลือกใช้คือ สารลดแรงตึงผิวร่วมแบบโซ่ตรง คือ ออกทานอล (1-Octanol) เนื่องจากเมื่อมีการเปรียบเทียบกับสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีสายโซ่คาร์บอนที่สั้นกว่า พบว่าออกทานอลจะทำให้เกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของ ภูมิภาคได้ดีที่สุด (ณัฐพร สรสุชาติ, 2557) และสารลดแรงตึงผิวร่วมแบบโซ่กิ่ง คือ ไอโซออกทานอล (2-Ethyl-1-hexanol) เนื่องจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าโครงสร้างแบบโซ่กิ่งมีความเข้ากันได้ดีกับ ภูมิภาคเมื่อนำน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ผสมน้ำมันดีเซล (นิจวรรณ อนันตรกิตติ, 2557)

การศึกษาเลือกใช้การผสมน้ำมันพืชใช้แล้ว/น้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร เป็นตัวแทนภูมิภาคของน้ำมัน พิจารณาจากความคุ้มค่าของการผลิตและค่าความหนืดของระบบ เนื่องจากหากใช้น้ำมันพืชมากกว่าร้อยละ 50 จะทำให้ใช้สารลดแรงตึงผิวสูงขึ้น และส่งผลให้ค่าความหนืดของระบบไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (Arpornpong, 2013) ในส่วนของอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม (S/C Ratio) เลือกใช้ที่อัตราส่วน 1:8 โดยโมล เนื่องจากเมื่อใช้อัตราส่วน ปริมาณสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อสารลดแรงตึงผิวมากจะทำให้เกิดไมโครอิมัลชันได้ดี และทำให้ความหนืดของระบบต่ำ แต่อย่างไรก็ตามการใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวร่วมมากเกินไปจะส่งผลต่อสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ เช่น จุดขุ่น จุดไหลเท อีกทั้งยังส่งผลให้การเตรียมสารลดแรงตึงผิวยากขึ้น เนื่องจากต้องใช้ความละเอียดสูง ดังนั้นอัตราส่วน 1:8 โดยโมล จึงเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน (ณัฐพร สรสุชาติ, 2557; Attaphong และคณะ, 2012) ผสมกับ เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 เพื่อช่วยในการลดความหนืด เนื่องจากมีความคุ้มค่ามากกว่า การใช้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 ถึง 5 เท่า (ศิริณี เพ็งปรีชา, 2557)

จากการที่ใช้น้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระแตกต่างกันเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพโดยวิธีไมโครอิมัลชันยังไม่เคยมีงานวิจัยใดกล่าวถึงมาก่อน จึงได้มีการศึกษาการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 ต่อภูมิภาคและสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่น จุดขุ่น จุดไหลเท ค่าความร้อน ค่าความเป็นกรด ปริมาณน้ำ และกากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากน้ำมันใช้แล้วตัวอย่างและน้ำมันบริสุทธิ์เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (ASTM D6751)

ตารางที่ 2- 5 ความแตกต่างของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัย	Surfactant	Cosurfactant	S/C	Oil	ผลการวิจัย
Arpompong (2013)	Brij-10, Methyl oleate, Oleyl alcohol, Stearyl alcohol	Isooctanol, 1-Butanol, 1-Octanol, 1-Decanol	1:1 1:4 1:8 4:1	Palm oil/Diesel, 50:50 โดยปริมาตร	Methyl oleate/1-Octanol, S/C ratio = 1:8, น้ำมัน ร้อยละ 58, Ethanol ร้อยละ 20, S/C ร้อยละ 22
นิจวรรณ (2556)	Lauryl Glucoside, Alkyl alcohol ethoxylate (EO ₁₋₁₂)	Isooctanol, 1-Octanol	1:8	Palm oil/Diesel, Palm oil/ Biodiesel, 50:50 โดยปริมาตร	Alkyl alcohol ethoxylate (EO ₁)/Isooctanol = ปาล์ม/ดีเซล Alkyl alcohol ethoxylate (EO ₁)/1-Octanol = ปาล์ม/ไบโอดีเซล
ศิริณี (2556)	Alkyl alcohol ethoxylate (EO _{1,5}), Methyl oleate, Oleyl alcohol	1-Octanol, Ethylene glycol butyl ether (EGBE)	1:8	Palm oil, Used palm oil และ Soybean oil ผสม Diesel และ Biodiesel, 50:50 โดยปริมาตร	Alkyl alcohol ethoxylate (EO ₁)/1-Octanol = ปาล์ม/ไบโอดีเซล
ณัฐพร (2557)	Sorbitan 20, Sorbitan 80, Sorbitan 85	1-Butanol, 1-Hexanol, 1-Octanol	1:2 1:4 1:8 1:16	Palm oil/Diesel, 50:50 โดยปริมาตร	Sorbitan 80/ 1-Octanol, S/C ratio = 1:8, น้ำมัน ร้อยละ 60, เอทานอล ร้อยละ 20, S/C ร้อยละ 20
ศศิวิมล (2557)	Alkyl alcohol ethoxylate (EO ₁)	1-Butanol, 1-Octanol, <u>Additive</u> ได้แก่ EGBE, DEGEE, PGEE, DPGME และ Ethyl acetate (EA)	1:8	Palm oil/Diesel, 50:50 โดยปริมาตร	Alkyl alcohol ethoxylate (EO ₁)/1-Butanol/ Ethyl acetate ที่อัตราส่วน 1:3:5

ตารางที่ 2- 6 งานวิจัยที่ทำการศึกษา

ผู้วิจัย	Surfactant	Cosurfactant	S/C	Oil
ชนารดี (2559)	Alkyl alcohol ethoxylate (EO ₁)	1-Octanol, Isooctanol	1:8	น้ำมันใช้แล้วที่มีกรดไขมันอิสระ ได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 ที่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้น ได้แก่ การบำบัดทางกายภาพ และ การกำจัดปริมาณกรดไขมันอิสระ และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ โดยใช้ น้ำมัน พืชผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร



บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้จะมีการดำเนินการทดลอง ที่อุณหภูมิต้อง ณ ห้องปฏิบัติการทดลองชั้น 4 ตึกปฏิบัติการรวมวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งขั้นตอนการทดลองออกเป็น 4 ช่วงดังนี้

การทดลองช่วงที่ 1 การเตรียมและปรับสภาพน้ำมันพืชใช้แล้ว

การทดลองช่วงที่ 1.1 การเตรียมน้ำมันพืชใช้แล้ว

การทดลองช่วงที่ 1.2 การวิเคราะห์กรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้ว

การทดลองช่วงที่ 1.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืช

การทดลองช่วงที่ 1.4 การบำบัดน้ำมันพืชใช้แล้วขั้นต้น ได้แก่ กระบวนการบำบัดทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระ ก่อนเข้าสู่การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

การทดลองช่วงที่ 2 การหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

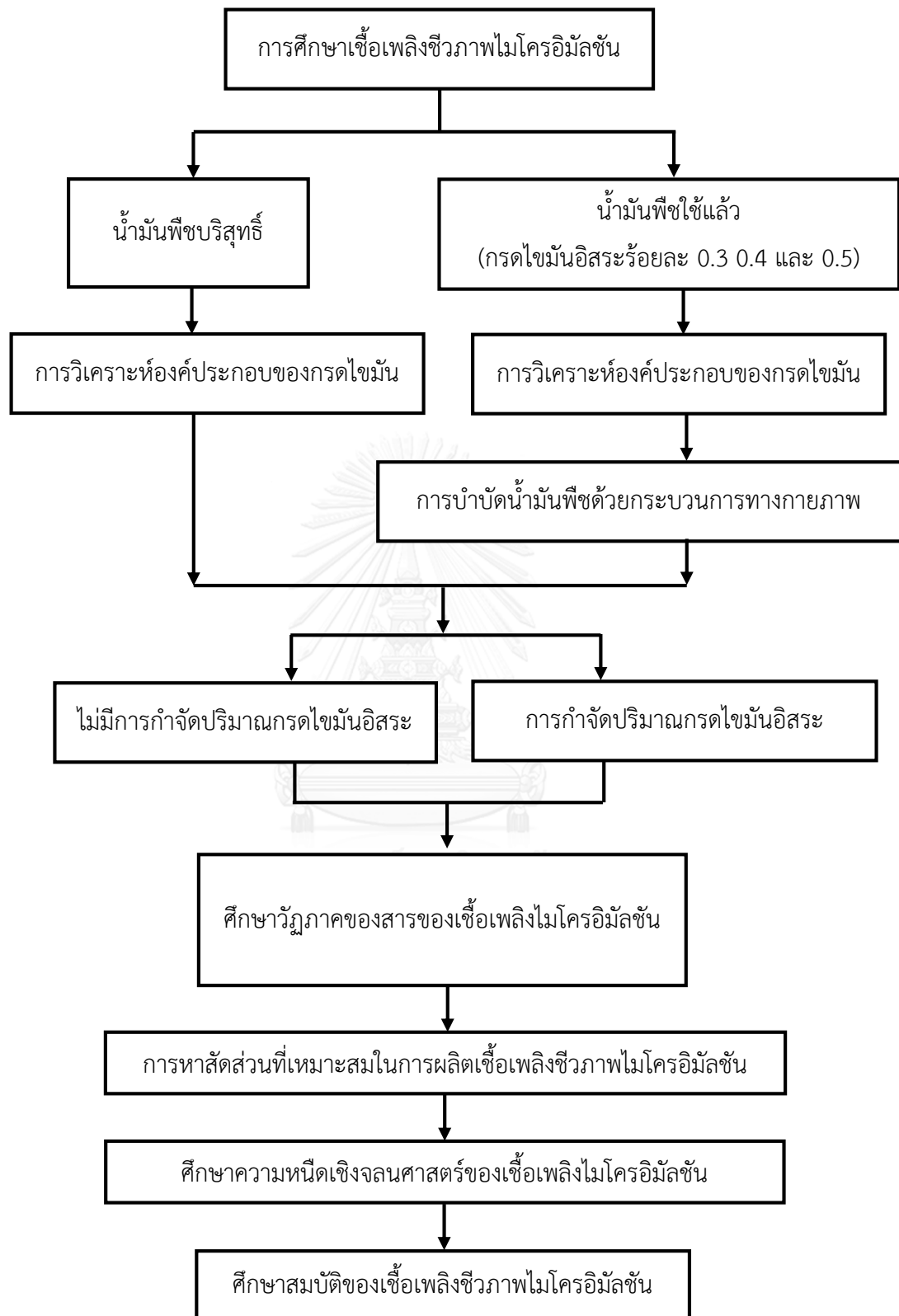
การทดลองช่วงที่ 2.1 การศึกษาวัฏภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม

การทดลองช่วงที่ 2.2 การศึกษาวัฏภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเมื่อเปลี่ยนชนิดของสารลดแรงตึงผิวร่วม

การทดลองช่วงที่ 2.3 การศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

การทดลองช่วงที่ 3 การศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

เป็นการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชบริสุทธิ์ และน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีการบำบัดขั้นต้น ได้แก่ กระบวนการบำบัดทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระที่เตรียมจากสัดส่วนที่เหมาะสม โดยสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่วิเคราะห์ ได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่น จุดขุ่น จุดไหลเท ค่าความร้อน ค่าความเป็นกรด ปริมาณน้ำ และกาคาร์บอนเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล



ภาพที่ 3- 1 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

ตารางที่ 3- 1 ตัวแปรและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	<ul style="list-style-type: none"> - น้ำมันพืช ได้แก่ น้ำมันพืชบริสุทธิ์ และน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีการบำบัดขั้นต้น ได้แก่ การบำบัดทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระ - สารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ ออกทานอล (1-Octanol) และไอโซออกทานอล (2-Ethyl-1-hexanol)
ตัวแปรตาม	<ul style="list-style-type: none"> - สัดส่วนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน - วัฏภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน - ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน - สมบัติของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> - อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม (S/C) คือ 1:8 โดยโมล - อัตราส่วนน้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซล คือ 50:50 โดยปริมาตร - สารลดแรงตึงผิว คือ แอลคิลแอลกอฮอล์อีทอกซีเลทที่มีเอทิลีนออกไซด์ 1 กลุ่ม (EO₁) - วัฏภาคที่มีขั้ว คือ เอทานอล

3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 วัสดุอุปกรณ์

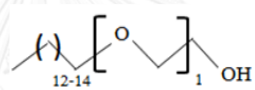

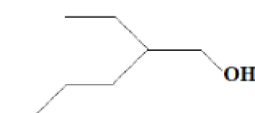
1. ปีกเกอร์ (Beaker)
2. กระบอกตวง (Cylinder)
3. บิวเรต (Burette)
4. หลอดทดลอง (Test tube)
5. ตะแกรงใส่หลอดทดลอง (Rack)
6. ไมโครปิเปต (Micropipette)
7. ไมโครปิเปตทิป (Micropipette tip)
8. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)
9. ขวดเก็บตัวอย่างฝาเกลียว (Vial)
10. ขวดแก้วกันกลม (Duran)
11. อ่างควบคุมความร้อน (Heating bath)
12. เครื่องผสมสาร (Vortex mixer) รุ่น G-560E
13. เครื่องชั่งละเอียด แบบ 4 ตำแหน่ง
14. เครื่องวัดความหนืด (Viscometer) ชนิด Canon-Fenske

3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. น้ำมันพืชใช้แล้วจากร้านอาหารทั่วไปที่ผ่านการทอดอาหารประเภทมันฝรั่ง
2. น้ำมันปาล์ม จากบริษัท มรกตอินดัสตรีส์ จำกัด (มหาชน)
3. น้ำมันดีเซล จากบริษัท ปตท จำกัด (มหาชน)
4. แอลคิลแอลกอฮอล์อีทอกซีเลทที่มีเอทิลลินออกไซด์ 1 กลุ่ม (EO₁) ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.7 จากบริษัท ไทยอีทอกซีเลท จำกัด
5. ออกทานอล (1-Octanol) ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.0 จากบริษัท เอกครอส (ประเทศไทย) จำกัด
6. ไอโซออกทานอล (2-Ethyl-1-hexanol) ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.6 จากบริษัท ซิกม่าอัลดริช จำกัด
7. เอทานอล (Ethanol) ความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 จากบริษัท ซิกม่าอัลดริช จำกัด
8. เมทานอล (Methanol) ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.8 จากบริษัท คิวเรค จำกัด
9. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จากบริษัท คาร์โลเออร์บา จำกัด

10. ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein) จากบริษัท เอเจคไพน์คัม จำกัด
11. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) จากบริษัท เอเจคฟายเคม จำกัด
12. โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟลาเลต (KHP) จากบริษัท คาร์โลเออร์บา จำกัด

ตารางที่ 3- 2 สมบัติของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ศึกษา

สารเคมี	สูตรโมเลกุล	โครงสร้าง	มวลโมเลกุล (g/mol)	ความหนาแน่น (g/m ³)
สารลดแรงตึงผิว				
Alkyl alcohol ethoxylate (EO ₁)	C ₁₂₋₁₄ (EO) ₁ OH		217.15	0.837
สารลดแรงตึงผิวร่วม				
ออกทานอล (1-Octanol)	C ₈ H ₁₇ OH		130.23	0.824
ไอโซออกทานอล (2-Ethyl-1-hexanol)	C ₈ H ₁₇ OH		130.23	0.833

*หมายเหตุ – EO: Ethylene oxide (C₂H₄O)

3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การเตรียมและปรับสภาพน้ำมันพืชใช้แล้ว

3.3.1.1 การเตรียมน้ำมันพืชใช้แล้ว

เก็บตัวอย่างน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้ซ้ำจากร้านอาหารทั่วไปที่ผ่านการทอดอาหารประเภทมันฝรั่ง 3 ตัวอย่าง ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระแตกต่างกันโดยแต่ละตัวอย่างเก็บตัวอย่างละ 3 ซ้ำ และนำมาวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acids content) โดยวิธีการไทเตรทกรด-เบส (Acid-Base Titration)

ตารางที่ 3- 3 ตัวแปรและพารามิเตอร์ของการศึกษาการเตรียมน้ำมันพืชใช้แล้ว

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	- น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการใช้ซ้ำ
ตัวแปรตาม	- ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้ว - ลักษณะสมบัติทางกายภาพของน้ำมันพืช
ตัวแปรคงที่	- น้ำมันพืชใช้แล้วสำหรับประกอบอาหารประเภทมันฝรั่ง - เก็บตัวอย่างน้ำมันพืชใช้แล้วตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

3.3.1.2 การวิเคราะห์กรดไขมันอิสระ (Free fatty acids content) ในน้ำมันพืชใช้แล้ว

โดยการไทเตรท (วิธีมาตรฐาน AOCS Ca 5a-40) (Rukunudin และคณะ, 1998)

1. ชั่งน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาตร 10 กรัม เทลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เตรียมแอลกอฮอล์ โดยใช้เอทานอล (Ethyl alcohol) ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
3. ผสมเอทานอลที่เตรียมไว้ลงในตัวอย่างน้ำมันพืชใช้แล้วที่เตรียมไว้ในข้อ 1
4. เตรียมฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ร้อยละ 0.1 กรัมต่อปริมาตร โดยชั่งฟีนอล์ฟทาลีน 5.0 กรัมละลายในเมทานอล 1,000 มิลลิลิตร
5. เติมฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ร้อยละ 0.1 ประมาณ 3-5 หยด
6. เขย่าให้ตัวอย่างน้ำมันพืชใช้แล้วละลายในแอลกอฮอล์
7. นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 (\pm 5) องศาเซลเซียสเพื่อให้ตัวอย่างน้ำมันพืชใช้แล้วละลายในแอลกอฮอล์ได้ดีขึ้น

8. เตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล โดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4.0 กรัมละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร และใส่บิวเรต 25 มิลลิลิตร และนำไปหาค่าความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ด้วยการไตเตรทกับสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟลาเลต (KHP)

9. ไตเตรทสารละลายตัวอย่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนกระทั่งได้สารละลายตัวอย่างที่มีสีชมพูคงตัวเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

10. จดบันทึกปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ใช้ในการไตเตรท

11. นำค่าที่ได้ไปคำนวณร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้ว ดังนี้

$$\% \text{ FFA} = \frac{\text{ปริมาตร NaOH ที่ใช้ไตเตรท} \times \text{ความเข้มข้นของ NaOH} \times \text{โมเลกุลของกรดไขมัน}}{\text{น้ำหนักของน้ำมันพืชตัวอย่าง}} \dots(3.1)$$

ตารางที่ 3- 4 ตัวแปรและพารามิเตอร์ของการศึกษาการวิเคราะห์กรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยการไตเตรท

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	- น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการใช้ซ้ำ
ตัวแปรตาม	- ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้ว - สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรท
ตัวแปรคงที่	- ปริมาตรน้ำมันพืช 10 มิลลิลิตร - ปริมาตรเอทานอล 50 มิลลิลิตร - ฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ร้อยละ 0.1 - ควบคุมอุณหภูมิ 60 (±5) องศาเซลเซียส - ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

3.3.1.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืช

การวิเคราะห์องค์ประกอบของคาร์บอนของกรดไขมันในน้ำมันพืชบริสุทธิ์และน้ำมันพืชใช้แล้ว ในรูปของกรดไขมันเอสเทอร์ (Fatty acid methyl ester, FAME) ที่มีคาร์บอนตั้งแต่ C12-C22 ด้วยเทคนิคแยกองค์ประกอบของสารผสม ด้วยวิธีทางก๊าซโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography, GC) โดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโทกราฟีจากบริษัท Agilent (7890B

GC) ด้วยเครื่องตรวจจับ Flame Ionization Detector (FID) คอลัมน์ชนิด HP-INNOWAX อุณหภูมิเริ่มต้น 80 องศาเซลเซียส คงที่นาน 2 นาที และเพิ่มอุณหภูมิถึง 260 องศาเซลเซียส ในอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และคงอุณหภูมิคงที่ไว้ 5 นาที ใช้ก๊าซตัวพาคือ ก๊าซฮีเลียม (Meng และคณะ, 2008) ที่สัดส่วนปริมาตรสารที่ระบายทิ้งต่อปริมาตรสารที่ฉีดเข้าคอลัมน์ 40 ต่อ 1

ตารางที่ 3- 5 ตัวแปรและพารามิเตอร์ของการศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืช

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	- น้ำมันพืชใช้แล้วตัวอย่างที่มีกรดไขมันอิสระแตกต่างกันและน้ำมันพืชบริสุทธิ์
ตัวแปรตาม	- องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันพืชบริสุทธิ์
ตัวแปรคงที่	- เครื่องก๊าซโครมาโทกราฟีจากบริษัท Agilent (7890B GC) - เครื่องตรวจจับ Flame Ionization Detector (FID) - คอลัมน์ชนิด HP-INNOWAX - อุณหภูมิเริ่มต้น 80 องศาเซลเซียส คงที่นาน 2 นาที - อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส - อัตราเร็วการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิคงที่ 5 นาที - ก๊าซฮีเลียมเป็นก๊าซตัวพา - สัดส่วนปริมาตรสารที่ระบายทิ้งต่อปริมาตรสารที่ฉีดเข้าคอลัมน์ 40 ต่อ 1

3.3.1.4 การบำบัดน้ำมันพืชใช้แล้วทางกายภาพ

1. เตรียมน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการวิเคราะห์กรดไขมันอิสระในข้อ 3.3.1.2 ที่มีกรดไขมันอิสระ ได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 ปริมาตรอย่างละ 2 ลิตร
2. นำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ให้เดือดอยู่ประมาณ 15 นาที โดยใช้เตาไฟฟ้า (Hot plate) เพื่อทำให้น้ำที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันพืชใช้แล้วระเหยกลายเป็นไอแยกตัวออกจากน้ำมัน (Stoytcheva, 2011)
3. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้น้ำมันเย็นลงเพื่อให้สารปนเปื้อน เช่น เศษอาหาร สารแขวนลอย และสารประกอบคาร์บอนต่าง ๆ ตกตะกอนแยกตัวออกจากน้ำมัน

4. กรองผ่านผ้ากรองที่มีรูขนาดเฉลี่ย 75 ไมครอน (Chhetri และคณะ, 2008) เพื่อกำจัดตะกอน และเศษอาหารที่คงค้างอยู่ในน้ำมัน (Leung และ Guo, 2006)
5. วัดความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของตัวอย่างน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพด้วยวิธีตามมาตรฐาน (ASTM D445)
6. เก็บตัวอย่างน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพไว้ในขวดเก็บตัวอย่าง (Duran)

ตารางที่ 3- 6 ตัวแปรและพารามิเตอร์ของการศึกษาการบำบัดน้ำมันพืชใช้แล้วทางกายภาพ

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	- น้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระแตกต่างกัน
ตัวแปรตาม	- ลักษณะสมบัติทางกายภาพของน้ำมันพืช
ตัวแปรคงที่	- อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส - ระยะเวลาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง - ผ้ากรองที่มีรูขนาดเฉลี่ย 75 ไมครอน

3.3.1.5 การกำจัดกรดไขมันอิสระโดยวิธีเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) (Abdullah และคณะ, 2013; Stoycheva, 2011)

1. เตรียมน้ำมันพืชบริสุทธิ์และน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีกรดไขมันอิสระ ได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 ปริมาตรอย่างละ 370 มิลลิลิตร โดยแบ่งน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพจากข้อ 3.3.1.2
2. เตรียมแอลกอฮอล์ โดยใช้เมทานอล (Methyl alcohol) ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9 ปริมาตร 123 มิลลิลิตร (6:1 โดยโมล) ผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเป็นเบส คือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 1.2 กรัม (รักษศักดิ์ศรี, 2555; Berchmans และ Hirata, 2008; Ma และ Hanna, 1999; Tiwari และคณะ, 2007; Yang และคณะ, 2013)
3. นำสารผสมระหว่างแอลกอฮอล์และตัวเร่ง ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 (\pm 5) องศาเซลเซียส จนอุณหภูมิของสารผสมคงที่
4. เทน้ำมันพืชที่เตรียมไว้ใส่ลงในสารผสม ใช้แม่เหล็กป้อนเหรียญให้น้ำมันพืช แอลกอฮอล์และตัวเร่งให้เข้ากัน
5. จับเวลาการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 3 ชั่วโมง (Ma และ Hanna, 1999)

6. ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที เพื่อให้อุณหภูมิลดลงอย่างช้าๆ และเกิดการแยกชั้นระหว่างชั้นของกลีเซอรอลและชั้นน้ำมัน (Fatty acids ester) โดยชั้นของกลีเซอรอลจะอยู่ด้านล่าง และชั้นของน้ำมันจะอยู่ด้านบน
7. เทลงในกรวยแยก และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
8. โขแยกส่วนชั้นของกลีเซอรอล (ด้านล่าง) ออกจากชั้นของน้ำมัน (ด้านบน)
9. ใส่น้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ปริมาตร 2 ลิตร แบบต่อเนื่อง เพื่อล้างน้ำมันให้มีค่าความเป็นกรดต่างให้เป็นกลาง ($\text{pH} = 7$) และไขชั้นน้ำออกจากชั้นน้ำมัน
10. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมงเพื่อไล่น้ำออก
11. นำตัวอย่างของชั้นน้ำมันไปวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระที่เหลืออยู่ในน้ำมัน
12. วัดความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของตัวอย่างน้ำมันพีซีใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระด้วยวิธีมาตรฐาน (ASTM D445)
13. เก็บตัวอย่างน้ำมันพีซีใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระไว้ในขวดเก็บตัวอย่าง (Duran)

ตารางที่ 3- 7 ตัวแปรและพารามิเตอร์ของการศึกษาการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยวิธีเอสเทอร์ฟิเคชัน

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	- น้ำมันพีซีใช้แล้วตัวอย่างที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระแตกต่างกัน และน้ำมันพีซีบริสุทธิ์
ตัวแปรตาม	- ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพีซีใช้แล้วตัวอย่าง และน้ำมันพีซีบริสุทธิ์
ตัวแปรคงที่	- ปริมาณน้ำมันพีซี 370 มิลลิลิตร - เมทานอลความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.9 ปริมาตร 123 มิลลิลิตร - อัตราส่วนน้ำมันพีซีต่อแอลกอฮอล์ 6:1 โดยโมล - โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 1.2 กรัม - อุณหภูมิในการปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน $60 (\pm 5)$ องศาเซลเซียส - ระยะเวลาทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเวลา 3 ชั่วโมง - ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง - น้ำกลั่นอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ปริมาตร 2 ลิตร - ค่าความเป็นกรดต่างให้เป็นกลาง ($\text{pH} = 7$) - การไล่น้ำออกอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง



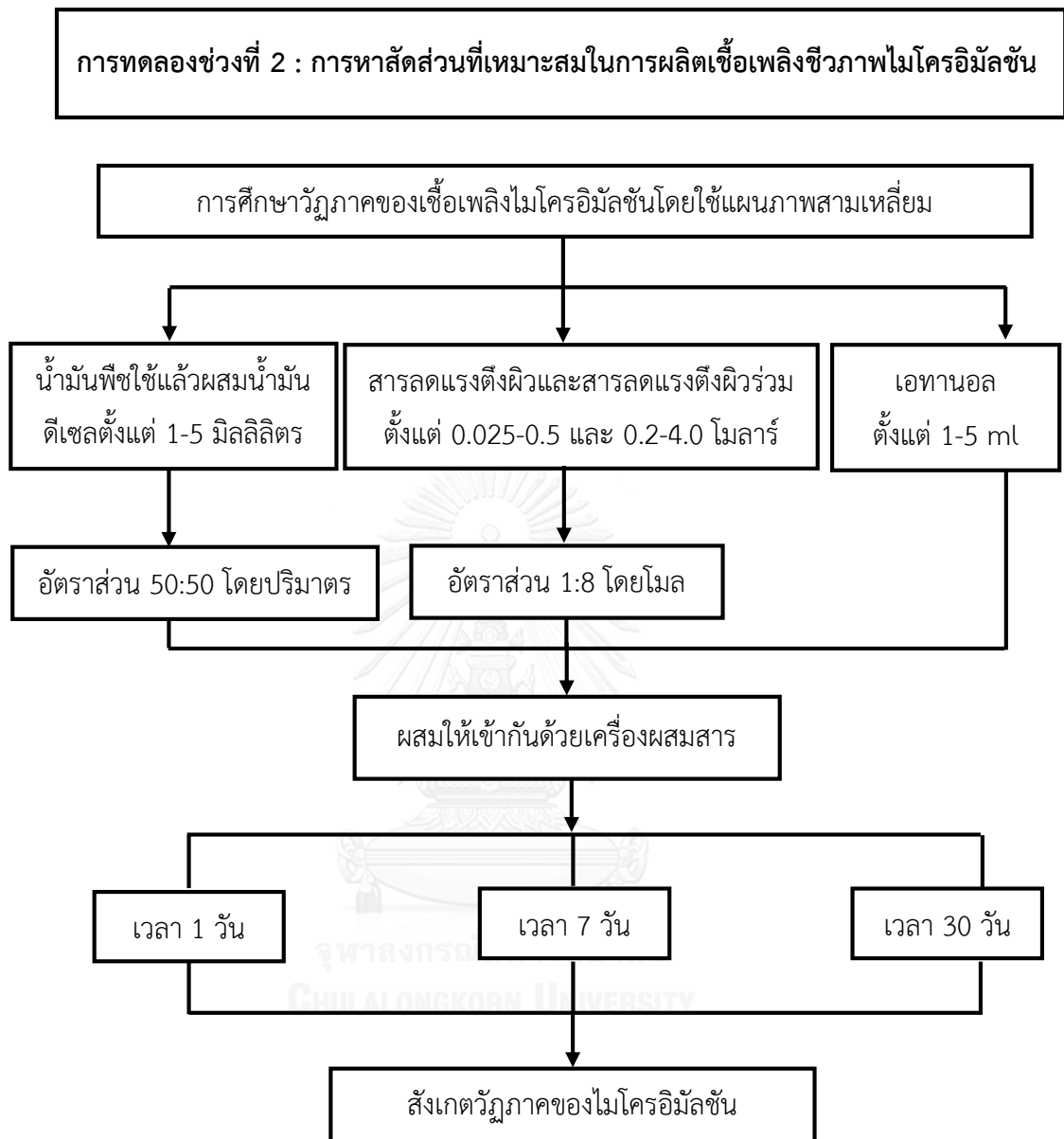
ภาพที่ 3- 2 แผนภาพขั้นตอนการทดลองช่วงที่ 1

3.3.2 การหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

3.3.2.1 การศึกษาวิฤภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม

(Attaphong และคณะ, 2012)

1. เตรียมน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 หรือน้ำมันพืชบริสุทธิ์ผสมกับน้ำมันดีเซล 5 มิลลิลิตร โดยผสมน้ำมันพืช/น้ำมันดีเซล ที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร ลงในหลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร
2. เตรียมสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวรวม ในอัตราส่วน 1:8 โดยโมล โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารผสมระหว่างสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวรวม ตั้งแต่ 0.025-0.5 และ 0.2-4.0 โมลาร์ ตามลำดับ และผสมให้เข้ากันกับน้ำมันที่เตรียมไว้ในข้อ 1
3. ผสมเอทานอล 1 มิลลิลิตร และผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสาร
4. ทำซ้ำข้อ 1-3 โดยเปลี่ยนปริมาตรระหว่าง น้ำมัน-เอทานอล ดังนี้ 5:2 5:3 5:4 5:5 1:5 2:5 3:5 4:5 มิลลิลิตร
5. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 7 และ 30 วัน
6. สังเกตวิฤภาคของไมโครอิมัลชัน
7. ทำซ้ำโดยการเปลี่ยนชนิดของน้ำมัน จะได้สัดส่วนที่น้อยที่สุดที่ทำให้วิฤภาครวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน โดยจะแสดงดังเส้นขอบเขตระหว่างวิฤภาค (Miscibility curve) ของสารผสมในแผนภาพสามเหลี่ยม ซึ่งจะทำให้ได้แผนภาพทั้งหมด 8 แผนภาพ (8 ชุดการทดลอง) ชุดการทดลองละ 180 หลอดทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3-8



ภาพที่ 3- 3 แผนภาพขั้นตอนการศึกษาวัฏภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน
โดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม

ตารางที่ 3- 8 ชุดการทดลองการศึกษาวิฤภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม

ชุดที่	น้ำมัน ⁴	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	เฟสที่มีขั้ว
1	Palm oil ¹ /Diesel			
2	UCO ² , 0.3% FFA ³ ที่ผ่านการบำบัดทาง กายภาพ/น้ำมันดีเซล			
3	UCO ² , 0.4% FFA ³ ที่ผ่านการบำบัดทาง กายภาพ/น้ำมันดีเซล			
4	UCO ² , 0.5% FFA ³ ที่ผ่านการบำบัดทาง กายภาพ/น้ำมันดีเซล			
5	Palm oil ¹ ที่ผ่านการกำจัด กรดไขมันอิสระ/น้ำมันดีเซล	แอลคิลแอลกอฮอล์ อีทอกซีเลท (EO ₁)	ออกทานอล (1-Octanol)	เอทานอล (Ethanol)
6	UCO ² , 0.3% FFA ³ ที่ผ่านการกำจัดกรดไขมัน อิสระ/น้ำมันดีเซล			
7	UCO ² , 0.4% FFA ³ ที่ผ่านการกำจัดกรดไขมัน อิสระ/น้ำมันดีเซล			
8	UCO ² , 0.5% FFA ³ ที่ผ่านการกำจัดกรดไขมัน อิสระ/น้ำมันดีเซล			

¹น้ำมันพืชบริสุทธิ์; ²น้ำมันพืชใช้แล้ว; ³กรดไขมันอิสระ

⁴อัตราส่วนระหว่างน้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซล คือ 50:50 โดยปริมาตร

ตารางที่ 3- 9 ตัวแปรและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาวิภูภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน โดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	<ul style="list-style-type: none"> - น้ำมันพืช ได้แก่ น้ำมันพืชบริสุทธิ์ และน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น ได้แก่ การบำบัดทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระ - สารลดแรงตึงผิวร่วม คือ ออกทานอล (1-Octanol) - ปริมาณเอทานอล และน้ำมันผสม (น้ำมันพืช/น้ำมันดีเซล) - ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม - เวลา 1 7 และ 30 วัน
ตัวแปรตาม	<ul style="list-style-type: none"> - สัดส่วนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน - วิภูภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน - ความหนืดของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> - อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม (S/C) คือ 1:8 โดยโมล - อัตราส่วนน้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซล คือ 50:50 โดยปริมาตร - สารลดแรงตึงผิว คือ แอลคิลแอลกอฮอล์อีทอกซีเลขที่มีเอทิลีนออกไซด์ 1 กลุ่ม (EO₁) - วิภูภาคที่มีขั้ว คือ เอทานอล

3.3.2.2 การศึกษาวัฏภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันเมื่อเปลี่ยนชนิดของสารลดแรงตึงผิวร่วม

1. เตรียมสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม (S/C) ที่อัตราส่วน 1:8 โดยโมล โดยเปลี่ยนชนิดของสารลดแรงตึงผิวร่วมจากสารลดแรงตึงผิวร่วมแบบโซ่ตรงคือ ออกทานอล (1-Octanol) เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมแบบโซ่กิ่งคือ ไอโซออกทานอล (2-Ethyl-1-hexanol)

2. ผสมเอทานอล และน้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร

3. ผสมเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสาร

4. ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 7 และ 30 วัน

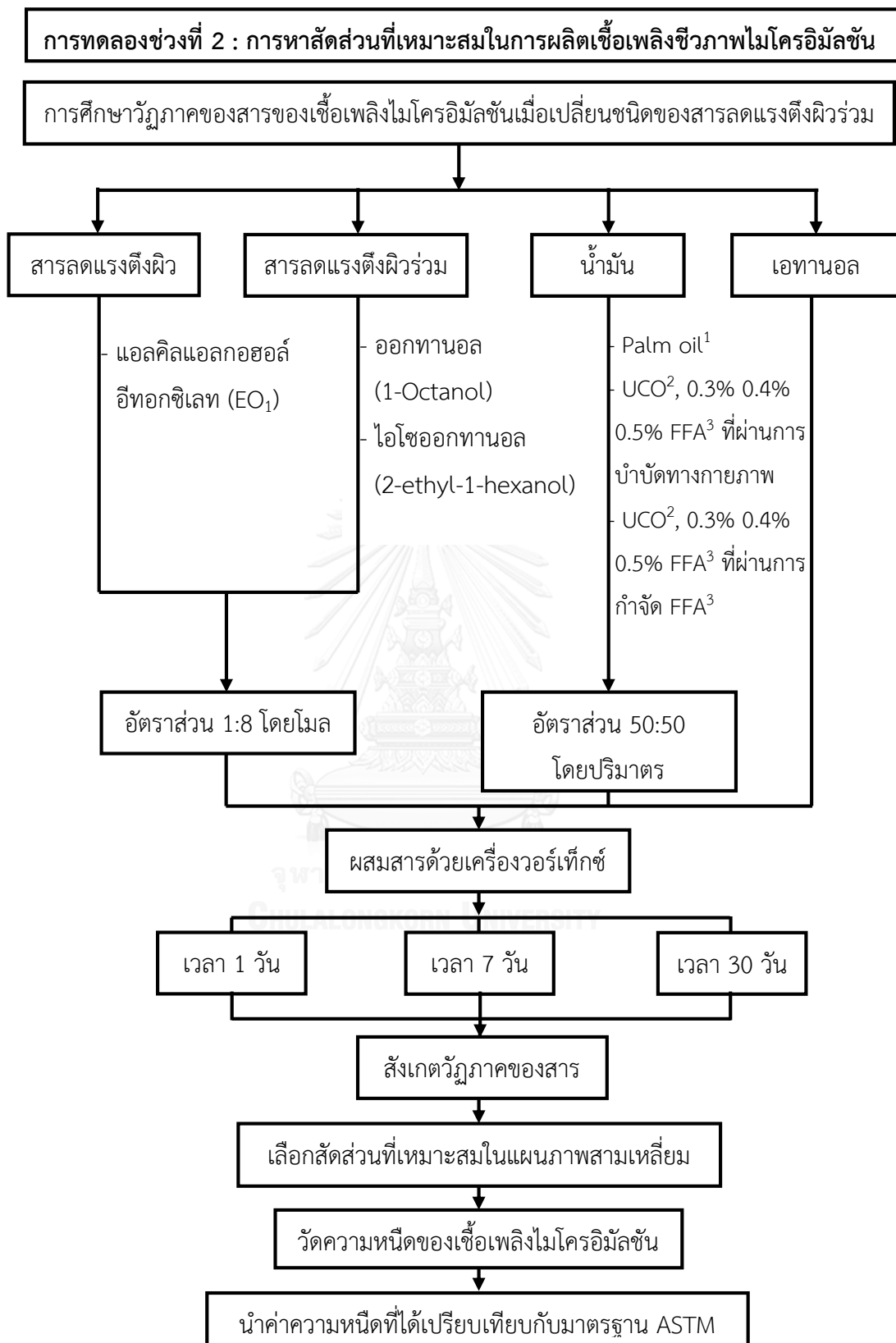
5. สังเกตวัฏภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน

6. ทำซ้ำโดยการเปลี่ยนชนิดของน้ำมัน จะได้สัดส่วนที่น้อยที่สุดที่ทำให้วัฏภาครวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน โดยจะแสดงดั่งเส้นขอบเขตระหว่างวัฏภาค (Miscibility curve) ของสารผสมในแผนภาพสามเหลี่ยม ซึ่งจะทำได้แผนภาพทั้งหมด 8 แผนภาพ (8 ชุดการทดลอง) ชุดการทดลองละ 180 หลอดทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3-10

7. เลือกสัดส่วนที่เหมาะสมจากแผนภาพสามเหลี่ยม พิจารณาจากสัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำมันผสม (น้ำมันพืช/น้ำมันดีเซล) และปริมาณสารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วม และปริมาณเอทานอล

8. นำสัดส่วนที่เลือกกว่ามีความเหมาะสม ตรวจสอบค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน โดยค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของสัดส่วนที่เลือกควรมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (1.9-6.0 เซนติสโตกส์)

9. นำสัดส่วนที่ได้ไปใช้ในการศึกษาเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน



ภาพที่ 3- 4 แผนภาพขั้นตอนการศึกษาวิฤภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน
เมื่อเปลี่ยนชนิดของสารลดแรงตึงผิวร่วม

ตารางที่ 3- 10 ชุดการทดลองการศึกษาวงศาของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันเมื่อเปลี่ยนชนิดของสารลดแรงตึงผิวร่วม

ชุดที่	น้ำมัน ⁴	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวร่วม	เฟสที่มีขั้ว
1	Palm oil ¹ /Diesel	แอลคิลแอลกอฮอล์ อีทอกซิลเลท (EO ₁)	ไอโซออกทานอล (2-Ethyl-1-hexanol)	เอทานอล (Ethanol)
2	UCO ² , 0.3% FFA ³ ที่ผ่านการบำบัดทาง กายภาพ/น้ำมันดีเซล			
3	UCO ² , 0.4% FFA ³ ที่ผ่านการบำบัดทาง กายภาพ/น้ำมันดีเซล			
4	UCO ² , 0.5% FFA ³ ที่ผ่านการบำบัดทาง กายภาพ/น้ำมันดีเซล			
5	Palm oil ¹ ที่ผ่านการกำจัด กรดไขมันอิสระ/น้ำมัน ดีเซล			
6	UCO ² , 0.3% FFA ³ ที่ผ่านการกำจัดกรดไขมัน อิสระ/น้ำมันดีเซล			
7	UCO ² , 0.4% FFA ³ ที่ผ่านการกำจัดกรดไขมัน อิสระ/น้ำมันดีเซล			
8	UCO ² , 0.5% FFA ³ ที่ผ่านการกำจัดกรดไขมัน อิสระ/น้ำมันดีเซล			

¹น้ำมันพืชบริสุทธิ์; ²น้ำมันพืชใช้แล้ว; ³กรดไขมันอิสระ

⁴อัตราส่วนระหว่างน้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซล คือ 50:50 โดยปริมาตร

ตารางที่ 3- 11 ตัวแปรและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาวิฤภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน
เมื่อเปลี่ยนชนิดของสารลดแรงตึงผิวร่วม

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	<ul style="list-style-type: none"> - น้ำมันพืชบริสุทธิ์ผสมน้ำมันดีเซล - น้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมัน ได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 ที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น ได้แก่ กระบวนการบำบัดทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระผสมน้ำมันดีเซล - สารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ ออกทานอล (1-Octanol) และไอโซออกทานอล (2-Ethyl-1-hexanol) - ระยะเวลา 1 7 และ 30 วัน
ตัวแปรตาม	<ul style="list-style-type: none"> - วิฤภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน - ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน - สมบัติของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> - อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม (S/C) คือ 1:8 โดยโมล - อัตราส่วนน้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซล คือ 50:50 โดยปริมาตร - สัดส่วนที่เหมาะสมจากการศึกษา

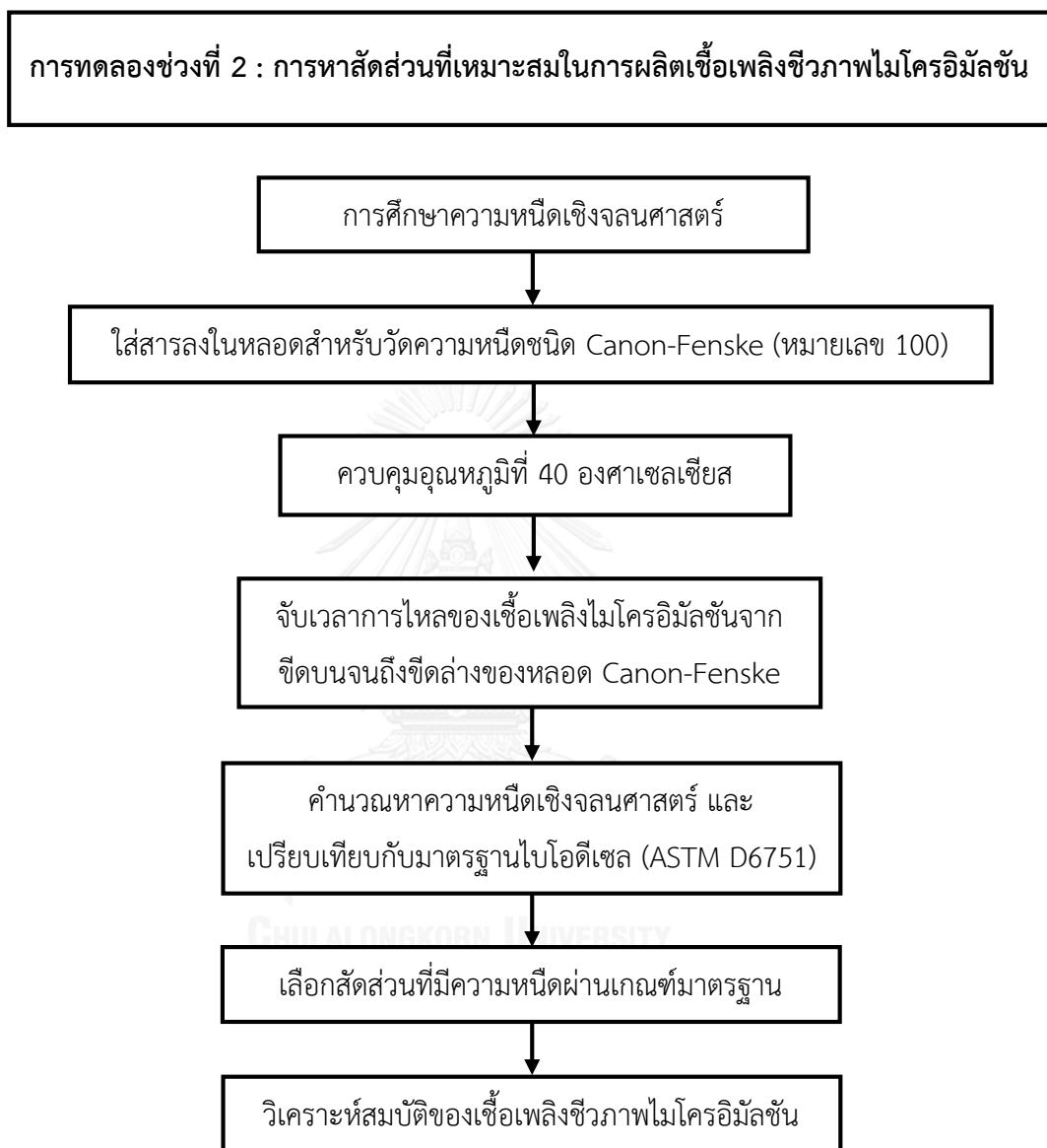
3.3.2.3 การศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน (ASTM D445)

1. เตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพในสัดส่วนที่เลือกกว่ามีความเหมาะสมจากข้อ 3.3.2.1 และ 3.3.2.2 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
2. ใส่ในหลอดสำหรับวัดความหนืดชนิด Canon-Fenske (หมายเลข 100) ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (Heating Bath) 40 องศาเซลเซียส
3. นำจุกยางดูดสารให้สูงเหนือขีดบนเล็กน้อย
4. จับเวลาการไหลของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากขีดบนจนถึงขีดล่างของหลอดชนิด Canon-Fenske
5. ทำการทดลองวัดความหนืดซ้ำ 3 ครั้ง
6. นำเวลาที่ได้จากการทดลอง มาคำนวณหาค่าความหนืด จากสมการ ดังนี้

$$\mu = Kt \quad \dots(3.2)$$

โดยที่ μ = ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ หน่วยเซนติสโตกส์ (cSt)
 K = ค่าความหนืดคงที่ มีค่า 0.01606 เซนติสโตกส์ต่อวินาที
 t = เวลาที่ของเหลวเคลื่อนที่จากขีดบนถึงขีดล่าง

7. เปรียบเทียบค่าความหนืดกับค่ามาตรฐานของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล
8. เลือกสัดส่วนที่มีค่าความหนืดผ่านค่าเกณฑ์มาตรฐาน เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันอื่น ๆ



ภาพที่ 3- 5 แผนภาพขั้นตอนการศึกษาความเหนียวเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน

ตารางที่ 3- 12 ตัวแปรและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	<ul style="list-style-type: none"> - น้ำมันพืชบริสุทธิ์ผสมน้ำมันดีเซล - น้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมัน ได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 ที่มีการบำบัดขั้นต้น ได้แก่ กระบวนการบำบัดทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระผสมน้ำมันดีเซล - สารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ ออกทานอล (1-Octanol) และไอโซออกทานอล (2-Ethyl-1-hexanol)
ตัวแปรตาม	- ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> - อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม (S/C) คือ 1:8 โดยโมล - อัตราส่วนน้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซล คือ 50:50 โดยปริมาตร - สัดส่วนที่เหมาะสมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากการทดลองช่วงที่ 3.3.2.1 และ 3.3.2.2 - อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

3.3.3 การศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

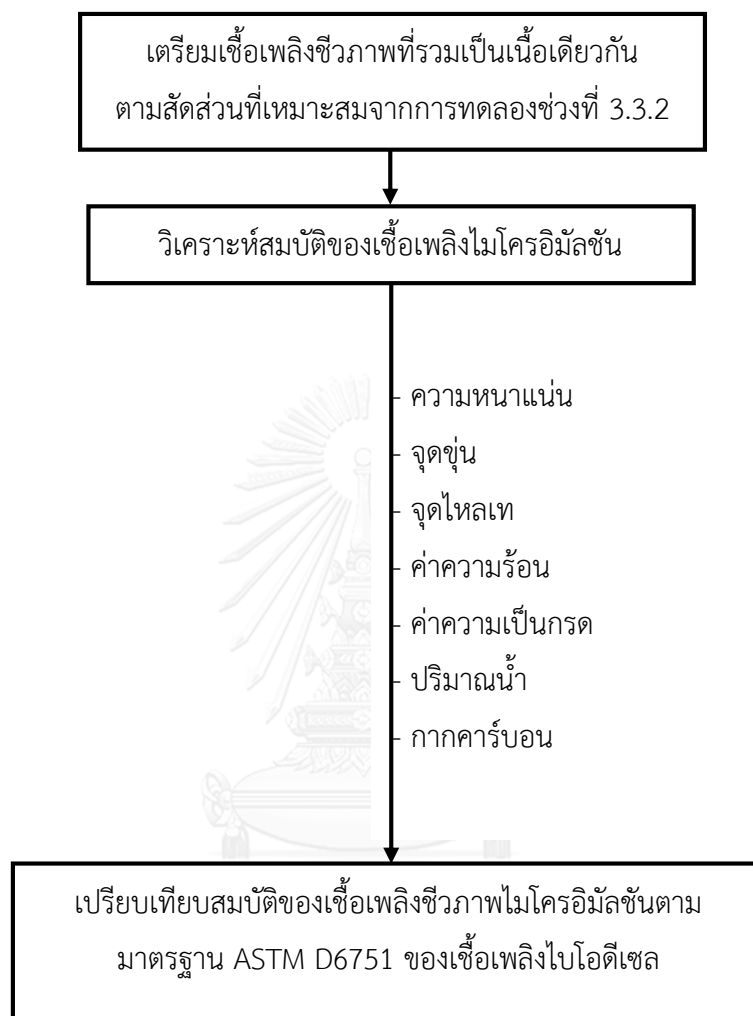
1. เตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพที่รวมเป็นเนื้อเดียวกันตามสัดส่วนที่เหมาะสมจากการทดลองช่วงที่ 3.3.2. ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
2. วิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน ได้แก่ ความหนาแน่น จุดขุ่น จุดไหลเท ค่าความร้อน ค่าความเป็นกรด ปริมาณน้ำ และกากคาร์บอน
3. วิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM ดังแสดงในตารางที่ 3-13 และเปรียบเทียบสมบัติของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันตามมาตรฐานของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (ASTM D6751)

ตารางที่ 3- 13 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

สมบัติเชื้อเพลิง	วิธีวิเคราะห์	เครื่องมือ
ความหนืดที่ 40 °C (cSt)	ASTM D 445	Canon Fenske kinematic viscometer
ความหนาแน่น (g/cm ³), 25 °C	Weighting	Digital analytical balance
จุดขุ่น (°C)	ASTM D 2500	Cooling bath
จุดไหลเท (°C)	ASTM D 2500	Cooling bath
กากคาร์บอน (%mass)	Weighting	AC-350 Automatic Calorimeter
ค่าความร้อน (MJ/kg)	ASTM D 240	AC-350 Automatic Calorimeter
ค่าความเป็นกรด (mg KOH/g)	ASTM D 664	Tools for titration
ปริมาณน้ำ (%vol)	ASTM D 6304	Karl fischer titration

ที่มา: Arpornpong, 2013

การทดลองช่วงที่ 3 : การศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน



ภาพที่ 3- 6 แผนภาพขั้นตอนการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระต่อการเกิดกระบวนการไมโครอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (W/O) และสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้ว เริ่มจากศึกษาการเตรียมน้ำมันพืชใช้แล้วตัวอย่าง ก่อนนำไปติดตามค่ากรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยการไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเอทานอล โดยใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ และปรับสภาพน้ำมันพืชใช้แล้วขั้นต้น ได้แก่ กระบวนการบำบัดทางกายภาพ และการกำจัดปริมาณกรดไขมันอิสระ การศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำมัน (น้ำมันพืชใช้แล้ว ผสมน้ำมันดีเซล) สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ สารลดแรงตึงผิวร่วม และเอทานอล ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ศึกษาผลของโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวร่วมชนิดโซ่ตรง และโซ่กิ่งที่เหมาะสมกับเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน และศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีกรดไขมันอิสระแตกต่างกันเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (ASTM D6751) การศึกษาสมดุลมวลของสารในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้ว และศึกษาของเสียที่เกิดจากกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วตัวอย่างและน้ำมันพืชบริสุทธิ์โดยวิธีเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification)

4.1 การเตรียมและปรับสภาพน้ำมันพืชใช้แล้ว

4.1.1 การเตรียมน้ำมันพืชใช้แล้ว

การเก็บตัวอย่างน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้ซ้ำจากร้านอาหารทั่วไปที่ผ่านการทอดอาหารประเภท มังสวิรัติ 3 ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างเก็บตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ชนิดของน้ำมันพืชที่ใช้ในการศึกษาคือ น้ำมันปาล์ม โดยน้ำมันพืชใช้แล้วจะนำไปเข้าสู่กระบวนการติดตามค่ากรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยการไตเตรท มีลักษณะสมบัติทางกายภาพ ดังแสดงในตารางที่ 4-1 พบว่า น้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันพืชบริสุทธิ์มีลักษณะสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ และความหนาแน่นใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4- 1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพของน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันพืชบริสุทธิ์

ตัวอย่าง	ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ ที่ 40 °C (cSt)	ความหนาแน่น ที่ 25 °C (g/cm ³)
น้ำมันพืชบริสุทธิ์	46.75 ± 0.09	0.71 ± 0.00
ตัวอย่างที่ 1	56.86 ± 0.01	0.86 ± 0.00
ตัวอย่างที่ 2	57.90 ± 0.08	0.85 ± 0.00
ตัวอย่างที่ 3	63.07 ± 0.03	0.86 ± 0.00

4.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วโดยการไตเตรท

การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วโดยการไตเตรท พบว่าน้ำมันพืชใช้แล้ว (Used cooking oil) ตัวอย่างที่หนึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.3 ตัวอย่างที่สองมีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.4 ตัวอย่างที่สามมีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ (Palm oil) มีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.1 ดังแสดงใน ตารางที่ 4-2 เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานปริมาณกรดไขมันอิสระที่ยอมรับได้ในมาตรฐาน ASTM D6751 ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (ร้อยละ 0.25) พบว่าน้ำมันพืชใช้แล้วมีปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่าค่ามาตรฐาน

ตารางที่ 4- 2 ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันพืชใช้แล้วตัวอย่างและน้ำมันพืชบริสุทธิ์

ตัวอย่าง	ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)
น้ำมันพืชบริสุทธิ์	0.14 ± 0.00
ตัวอย่างที่ 1	0.27 ± 0.00
ตัวอย่างที่ 2	0.41 ± 0.01
ตัวอย่างที่ 3	0.49 ± 0.02

4.1.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืช

การวิเคราะห์องค์ประกอบของคาร์บอนของกรดไขมันในน้ำมันพืชใช้แล้วตัวอย่าง และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) เพื่อให้อยู่ในรูปของกรดไขมันเอสเทอร์ (Fatty acid methyl ester, FAME) ก่อนตรวจสอบองค์ประกอบของกรดไขมันด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography, GC) พบว่าน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันพืชบริสุทธิ์มีลักษณะของกรดไขมันเป็นองค์ประกอบคล้ายกัน ดังแสดงในตารางที่ 4-3 เนื่องจากชนิดของน้ำมันพืชที่ใช้ชนิดเดียวกันคือ น้ำมันปาล์ม โดยมีแนวโน้มองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น แต่ยังไม่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันมีปัจจัยหลายอย่างที่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์

ตารางที่ 4- 3 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืชใช้แล้วตัวอย่างและน้ำมันพืชบริสุทธิ์

องค์ประกอบของกรดไขมัน		กรดไขมันในน้ำมันพืช (% by mass)			
Lipid number	Common name	Palm oil ¹ , 0.1% FFA ³	UCO ² , 0.3% FFA ³	UCO ² , 0.4% FFA ³	UCO ² , 0.5% FFA ³
C14:0	Myristic acid	0.96	0.92	0.98	0.94
C16:0	Palmitic	67.63	68.17	68.06	71.04
C18:1n9	Oleic	21.41	18.65	19.97	18.72
C18:0	Stearic acid	9.40	8.44	11.00	8.47
C18:1n9c	Oleic	0.59	0.00	0.00	0.00
C22:0	Behenic acid	0.00	0.66	0.00	0.83
	กรดไขมันอิ่มตัว	77.99	78.00	78.19	80.03
	กรดไขมันไม่อิ่มตัว	22.00	22.00	18.65	19.97

¹น้ำมันพืชบริสุทธิ์; ²น้ำมันพืชใช้แล้ว; ³กรดไขมันอิสระ

4.1.4 การบำบัดน้ำมันพืชใช้แล้วด้วยกระบวนการทางกายภาพ

การบำบัดน้ำมันพืชใช้แล้วทางกายภาพด้วยกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าสารแขวนลอยตกตะกอน จากนั้นนำน้ำมันส่วนใสกรองผ่านผ้ากรองที่มีรูขนาดเฉลี่ย 75 ไมครอน ซึ่งน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการทางกายภาพจะใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน อีกส่วนหนึ่งเข้าสู่กระบวนการกำจัดปริมาณกรดไขมันอิสระก่อนนำไปใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

4.1.5 การกำจัดปริมาณกรดไขมันอิสระโดยวิธีเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification)

การกำจัดปริมาณกรดไขมันอิสระโดยวิธีเอสเทอร์ฟิเคชัน น้ำมันพืชใช้แล้วตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นทางกายภาพและน้ำมันพืชบริสุทธิ์ทำปฏิกิริยากับ เมทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ $60 (\pm 5)$ องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อเปลี่ยนกรดไขมันอิสระเป็นกรดไขมันเอสเทอร์ (Fatty acids ester) เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าเกิดการแยกชั้นของของเหลว เกิดเป็นชั้นของกรดไขมันเอสเทอร์ (ด้านบน) และกลีเซอรอล (ด้านล่าง) ไชกลีเซอรอลออกและนำน้ำมันเข้าสู่กระบวนการล้างเพื่อให้มีค่าความเป็นกรดต่างมีความเป็นกลาง ($\text{pH} = 7$) ด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ $60 (\pm 5)$ องศาเซลเซียส พบว่าเกิดการแยกชั้นของของเหลว เกิดเป็นชั้นของกรดไขมันเอสเทอร์ (ด้านบน) และชั้นน้ำ (ด้านล่าง) ไชชั้นน้ำออก ดังแสดงในภาพที่ 4.1 สังเกตเห็นว่าชั้นน้ำมันมีความขุ่น จากนั้นนำน้ำมันเข้าสู่กระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อไล่น้ำออกจากน้ำมัน พบว่าน้ำมันที่ได้จะไม่มีขุ่น

การติดตามปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วตัวอย่าง และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่ผ่านการกำจัดปริมาณกรดไขมันอิสระ พบว่าตัวอย่างที่หนึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.1 ตัวอย่างที่สองมีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.1 ตัวอย่างที่สามมีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.2 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ (Palm oil) มีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.1 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระจะใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน มีลักษณะสมบัติทางกายภาพ ดังแสดงในตารางที่ 4-4



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4- 1 (ก) การแยกชั้นระหว่างชั้นกรดไขมันเอสเทอร์และกลีเซอรอล (ข) การแยกชั้นระหว่างชั้นของกรดไขมันเอสเทอร์ กลีเซอรอล และน้ำ

ตารางที่ 4- 4 ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันพืชใช้แล้วตัวอย่างและน้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ

ตัวอย่าง	กรดไขมันอิสระก่อนการกำจัด ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)	กรดไขมันอิสระหลังการกำจัด ปริมาณกรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)
น้ำมันปาล์ม	0.14 ± 0.00	0.13 ± 0.00
ตัวอย่างที่ 1	0.27 ± 0.00	0.13 ± 0.00
ตัวอย่างที่ 2	0.41 ± 0.01	0.13 ± 0.00
ตัวอย่างที่ 3	0.49 ± 0.02	0.19 ± 0.00

ตารางที่ 4- 5 ลักษณะสมบัติทางกายภาพของน้ำมันพืชใช้แล้วตัวอย่างและน้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่ผ่านกระบวนการกำจัดปริมาณกรดไขมันอิสระ

ตัวอย่าง	ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ ที่ 40 °C (cSt)	ความหนาแน่น ที่ 25 °C (g/cm ³)
น้ำมันปาล์ม	7.15 ± 0.02	0.82 ± 0.00
ตัวอย่างที่ 1	6.41 ± 0.06	0.82 ± 0.00
ตัวอย่างที่ 2	6.48 ± 0.05	0.84 ± 0.00
ตัวอย่างที่ 3	6.94 ± 0.03	0.85 ± 0.00

4.2 สัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพ

4.2.1 การศึกษาวิภูภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม

การศึกษาวิภูภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม ซึ่งแสดงเส้นขอบเขตระหว่างวิภูภาค (Miscibility curve) ของสารผสม 5 ชนิด ได้แก่ น้ำมันพืช/น้ำมันดีเซล เอทานอล และสารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วม โดยส่วนบนของแผนภาพแสดงถึงองค์ประกอบของไมโครอิมัลชันที่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน มีความเสถียรทางอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamically stable) และโปร่งใส ส่วนล่างแสดงถึงองค์ประกอบของไมโครอิมัลชันที่เกิดการแยกชั้นของวิภูภาค โดยเปรียบเทียบชนิดของน้ำมันพืชได้แก่ น้ำมันพืชบริสุทธิ์ น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ และน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ (น้ำมันพืช/น้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร) ที่ผสมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุประเภทแอลคิลแอลกอฮอล์อีทอกซีเลทที่มีเอทิลีนออกไซด์ 1 กลุ่ม (EO₁) และเปรียบเทียบสารลดแรงตึงผิวร่วมได้แก่ ออกทานอล และไอโซออกทานอล ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ผสมกับเอทานอล ในสัดส่วนที่แตกต่างกันจะได้แผนภาพสามเหลี่ยมทั้งหมด 16 แผนภาพ จากการทดลองทั้งหมด 2,880 หลอดทดลอง

4.2.1.1 ผลของปริมาณกรดไขมันอิสระ

การศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ต่อคุณภาพของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในภาพที่ 4-2 และ 4-3 แผนภาพของการเปรียบเทียบชนิดของน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระแตกต่างกัน กับน้ำมันพืชบริสุทธิ์ โดยในองค์ประกอบจะผสมน้ำมันพืช/น้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร ผสมกับสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุคือ แอลคิลแอลกอฮอล์อีทอกซีเลทที่มีเอทิลีนออกไซด์ 1 กลุ่ม (EO1) และสารลดแรงตึงผิวร่วมคือ ออกทานอล (Octanol) และ ไอโซออกทานอล (Isooctanol) ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ผสมกับเอทานอล ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน พบว่าปริมาณของกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชจะมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของวัฏภาคของไมโครอิมัลชัน

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชมากขึ้นร้อยละ 0.1 จะส่งผลต่อการเกิดวัฏภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันคือทำให้ใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมในการทำให้รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันน้อยลงร้อยละ 2.36 (± 0.08) (เมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) และร้อยละ 2.26 (± 0.08) (เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) เนื่องจากกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชมีโครงสร้างในโมเลกุลประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล (RCOOH) 1 หมู่ และหมู่แอลคิล (R-) มีสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิวซึ่งช่วยเพิ่มการละลายของส่วนที่มีขั้ว (เอทานอล) และส่วนที่ไม่มีขั้ว(น้ำมัน) โดยส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) จึงทำให้ละลายในเอทานอลได้มาก และหมู่แอลคิลจะทำหน้าที่เป็นส่วนที่ละลายในตัวทำละลายได้น้อย หรือละลายในน้ำมันได้มาก เกิดจากการที่ส่วนหางของสารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) (Rosen, 2004) สอดคล้องกับปริมาณการใช้สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมที่น้อยลงในการทำให้วัฏภาคมีการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน

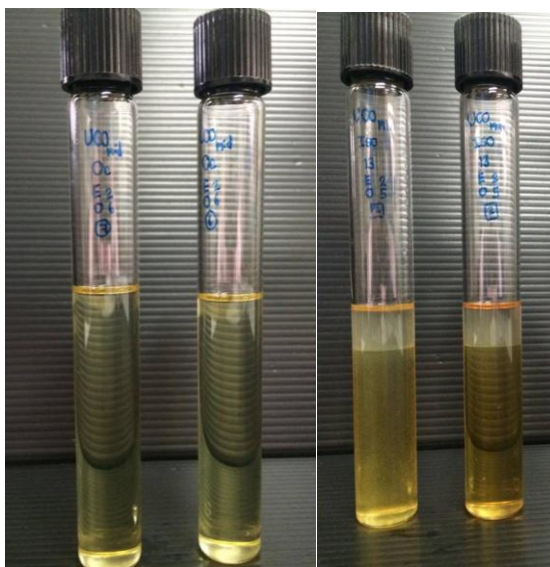
การศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ 0.1 0.1 และ 0.2 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ต่อวัฏภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในภาพที่ 4-4 และ 4-5 แผนภาพของการเปรียบเทียบชนิดของน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระแตกต่างกัน กับน้ำมันพืชบริสุทธิ์ โดยในองค์ประกอบจะผสมน้ำมันพืช/น้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร ผสมกับสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุคือ แอลคิลแอลกอฮอล์อีทอกซิลเอทที่มีเอทิลีนออกไซด์ 1 กลุ่ม (EO1) และสารลดแรงตึงผิวร่วมคือ ออกทานอล (Octanol) และ ไอโซออกทานอล (Isooctanol) ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ผสมกับเอทานอล ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน พบว่าปริมาณของกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่ใกล้เคียงกันแต่มีผลต่อการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของวัฏภาคของไมโครอิมัลชัน คือการใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมลดลง อาจเนื่องมาจากในกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันไม่สมบูรณ์ คือมีการใช้เมทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยาที่น้อยเกินไปในการเกิดเป็นผลิตภัณฑ์กรดไขมันเอสเทอร์ (Fatty acid methyl ester, FAME) ส่งผลให้ร้อยละความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ที่ได้จึงอาจมีความแตกต่างกัน โดยบางส่วนที่ทำให้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันไม่สมบูรณ์จะมีโครงสร้างคงเดิมคือไตรกลีเซอไรด์ หรือ ไดกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะสมบัติทางกายภาพแตกต่างจากกรดไขมันเอสเทอร์มีคือมีความหนืดที่แตกต่าง สอดคล้องกับปริมาณของกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชที่ใกล้เคียงกันแต่การใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมลดลงและพบว่าใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมในการทำให้รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันน้อยกว่าน้ำมันพืชบริสุทธิ์ร้อยละ 5.18 (± 1.72) (เมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) และร้อยละ 6.15 (± 0.02) (เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม)

เมื่อเปรียบเทียบน้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ กับน้ำมันพืชที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระต่อวัฏภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน พบว่าน้ำมันพืชที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ ส่งผลต่อการเกิดวัฏภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันคือทำให้ใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมในการทำให้รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันน้อยลงร้อยละ 14.71 (± 1.09) (เมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) และร้อยละ 15.08 (± 2.56) (เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) เนื่องจากการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยวิธีเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้ น้ำมันพืชเปลี่ยนโครงสร้างจากไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ มอนอกลิเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระให้อยู่ในรูปของกรดไขมันเอสเทอร์ ที่มีลักษณะสมบัติทางกายภาพคือค่าความหนืดน้อยกว่า แสดงดังตารางที่ 4-5 และกรดไขมันเอสเทอร์มีโครงสร้างโมเลกุลแบบ Amphiphile ที่ประกอบด้วยลักษณะโมเลกุล 2 ส่วนคือ หมู่เอสเทอร์ (RCOOR') ที่ละลายในตัวทำละลายได้มาก หรือส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic group) และ หมู่แอลคิล (R-) ที่ละลายในน้ำมันได้มาก หรือส่วนที่ไม่ชอบน้ำ

4.2.1.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม

การศึกษาผลของโครงสร้างสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ โครงสร้างแบบโซ่ตรง (ออกทานอล) และโครงสร้างแบบโซ่กิ่ง (ไอโซออกทานอล) ต่อวัฏภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในภาพที่ 4-6 ถึง 4-13 แผนภาพของการเปรียบเทียบโครงสร้างสารลดแรงตึงผิวร่วมแบบโซ่ตรงกับแบบโซ่กิ่ง โดยในองค์ประกอบจะผสมน้ำมันพืช/น้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร ผสมกับสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุคือ แอลคิลแอลกอฮอล์อีทอกซิลเลทที่มีเอทิลลินออกไซด์ 1 กลุ่ม (EO1) และสารลดแรงตึงผิวร่วมคือ ออกทานอล (Octanol) และ ไอโซออกทานอล (Isooctanol) ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ผสมกับเอทานอล ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน พบว่าโครงสร้างสารลดแรงตึงผิวร่วมมีแนวโน้มที่น่าสนใจแต่ไม่เห็นความแตกต่างต่อการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของวัฏภาคของไมโครอิมัลชัน เนื่องจากออกทานอลมีโครงสร้างเป็นไอโซเมอร์ (Isomer) กับไอโซออกทานอล มีสูตรโมเลกุลเหมือนกัน ($C_8H_{17}OH$) ส่งผลให้มีความสามารถในการละลายได้ใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Attaphong และคณะ (2012) ซึ่งเปรียบเทียบโครงสร้างสารลดแรงตึงผิวร่วมแบบโซ่ตรงและแบบโซ่กิ่งพบว่าโครงสร้างแบบไอโซเมอร์ไม่มีแนวโน้มที่แตกต่างกันต่อวัฏภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

การศึกษาด้านความคุ้มค่าต่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน พบว่าการใช้ไอโซออกทานอลมีความคุ้มค่ามากกว่าใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เนื่องจากออกทานอล ราคา 2092.80 บาทต่อลิตร และไอโซออกทานอลราคา 1143.5 บาทต่อลิตร ที่ร้อยละความบริสุทธิ์ของสารเคมีเท่ากัน อ้างอิงจากบริษัท Fisher Scientific อย่างไรก็ตามแม้ว่าผลโครงสร้างสารลดแรงตึงผิวร่วมมีแนวโน้มที่น่าสนใจแต่ไม่เห็นความแตกต่างต่อการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของวัฏภาคของไมโครอิมัลชัน แต่การเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมจำเป็นต้องพิจารณาคุณสมบัติด้านอื่น ๆ ต่อเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันร่วมด้วย



(ก)

(ข)

ภาพที่ 4- 14 ตัวอย่างของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน (ก) เชื้อเพลิงชีวภาพที่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Single phase) (ข) เชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Separate phase)

4.2.2 การศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์นั้นมีความสำคัญต่อสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงอย่างมาก หากค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงสูงจะส่งผลเสียต่อระบบท่อและหัวฉีดของเครื่องยนต์ได้ โดยปกติความหนืดของน้ำมันจะแปรผกผันกับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิต่ำลงส่งผลให้ขนาดหยดของน้ำมันใหญ่ขึ้น ทำให้การกระจายตัวเป็นละอองหรือการพ่นเป็นฝอยของน้ำมันนั้นไม่มีประสิทธิภาพ เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และยังทำให้อุดตันที่ท่อ วาล์ว หัวฉีด และผนังห้องเผาไหม้ได้ง่าย ดังนั้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจึงต้องคำนึงถึงความหนืดเชิงจลนศาสตร์ก่อนนำไปใช้ในเครื่องยนต์

การศึกษาความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันตามวิธีมาตรฐาน (ASTM D445) โดยใช้หลอดสำหรับวัดความหนืดชนิด Canon-Fenske ที่อุณหภูมิควบคุม 40 องศาเซลเซียส และเปรียบเทียบค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์กับมาตรฐานเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (1.9-6.0 เซนติสโตกส์) โดยใช้ชนิดของน้ำมันพืชได้แก่ น้ำมันพืชบริสุทธิ์ น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ และน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ (น้ำมันพืช/น้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร) ที่ผสมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุประเภทแอลคิลแอลกอฮอล์อีทอกซิลเอท ที่มีเอทิลีนออกไซด์ 1 กลุ่ม (EO₁) และสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ ออกทานอล และ

ไอโซออกทานอลที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ผสมกับ เอทานอล โดยเลือกสัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เพื่อศึกษาผลของ ปริมาณเอทานอล และผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

การเลือกสัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน พิจารณาจาก สัดส่วนที่ใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วมน้อย ปริมาณน้ำมันพืช/น้ำมันดีเซลมาก และอยู่เหนือเส้นขอบเขตการละลายเป็นเนื้อเดียวกันขึ้นไปเล็กน้อย คือ สัดส่วนของวัฏภาคของน้ำมัน (น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ/ดีเซล) วัฏภาคของน้ำ(เอทานอล) และสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม ในสัดส่วนร้อยละ 70:10:20 65:15:20 และ 60:20:20 โดยปริมาตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4-15 ศึกษาผลของปริมาณเอทานอลต่อความหนืดเชิงจลนศาสตร์

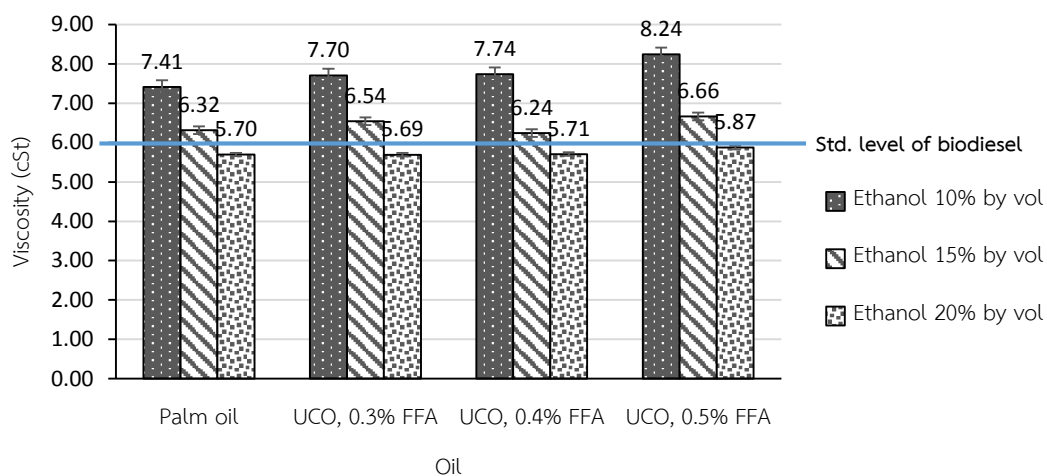
สัดส่วนของวัฏภาคของน้ำมัน(น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ/ดีเซล) วัฏภาคของน้ำ(เอทานอล) และสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม ในสัดส่วนร้อยละ 90:5:5 85:5:10 และ 80:5:15 โดยปริมาตร ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4-16 ศึกษาผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อความหนืดเชิงจลนศาสตร์

4.2.2.1 ผลของปริมาณเอทานอล

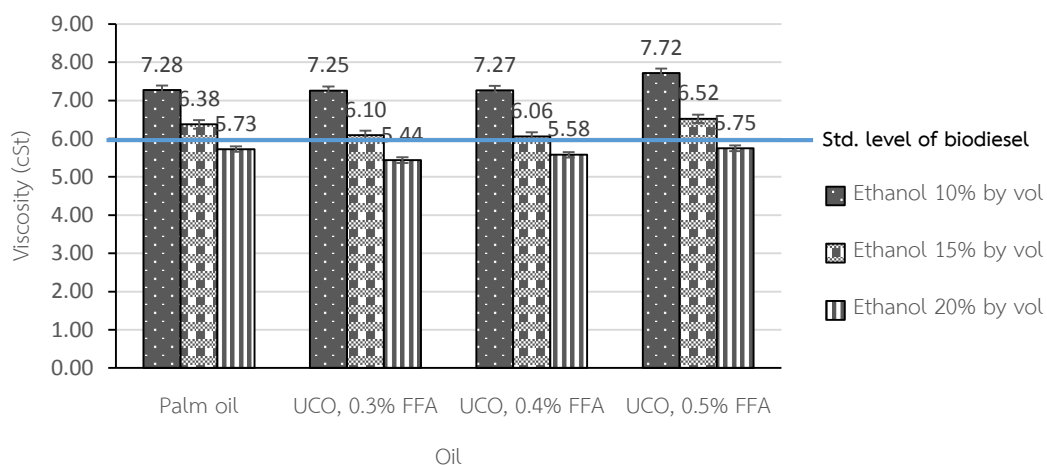
การศึกษาผลของปริมาณเอทานอลในช่วงปริมาณเอทานอลร้อยละ 10 15 และ 20 โดยปริมาตร ต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในภาพที่ 4-17 และ 4-18 แผนภาพของการเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลที่แตกต่างกัน พบว่าปริมาณเอทานอลจะมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณเอทานอลมากขึ้นร้อยละ 5 ส่งผลต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์คือทำให้ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันลดลง 1.02 (± 0.19) เซนติสโตกส์ (เมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) และ 0.88 (± 0.13) เซนติสโตกส์ (เมื่อใช้ไฮโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) เนื่องจากเอทานอลมีสมบัติเป็นตัวทำละลายน้ำมันที่มีประสิทธิภาพและมีค่าความหนาแน่นต่ำ (0.789 g/cm^3 , $25 \text{ }^\circ\text{C}$) เมื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงผสมในเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันส่งผลให้ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพลดลง (Arpornpong, 2013)

เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพกับมาตรฐาน ASTM ของไบโอดีเซล (1.9-6.0 เซนติสโตกส์) พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสัดส่วนของวัฏภาคของน้ำมัน (น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ/ดีเซล) วัฏภาคของน้ำ (เอทานอล) และสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม ในสัดส่วนร้อยละ 60:20:20 โดยปริมาตร ผ่านมาตรฐาน ดังนั้นสัดส่วนร้อยละ 60:20:20 โดยปริมาตร จึงเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ



ภาพที่ 4- 17 ผลการเปรียบเทียบผลของปริมาณเอทานอลต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ เมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม



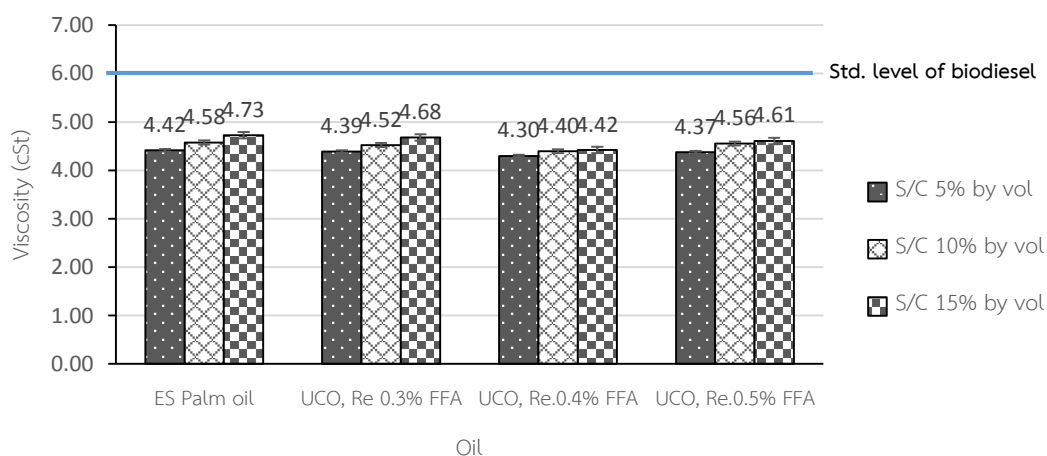
ภาพที่ 4- 18 ผลการเปรียบเทียบผลของปริมาณเอทานอลต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม

4.2.2.2 ผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม

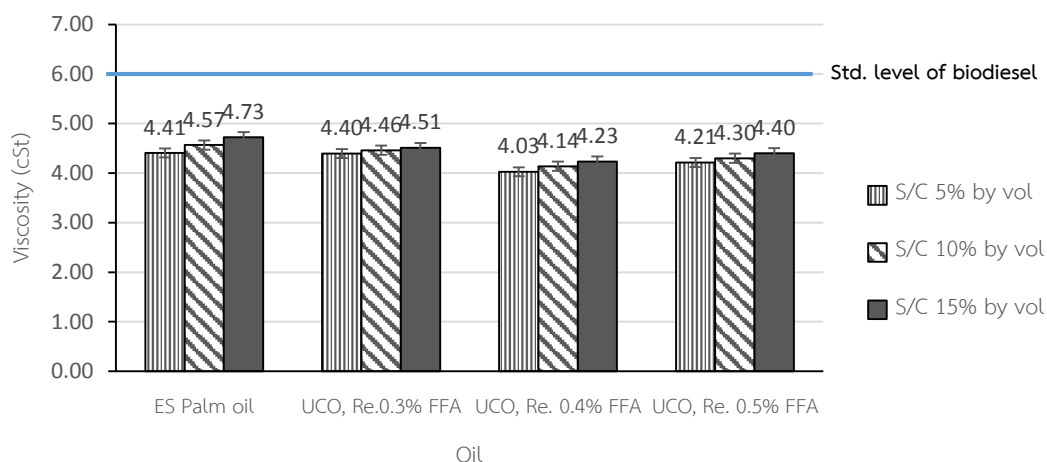
การศึกษาผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วมในช่วงปริมาณสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วมร้อยละ 5 10 และ 15 โดยปริมาตร ต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในภาพที่ 4-19 และ 4-20 แผนภาพของการเปรียบเทียบปริมาณสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วมที่แตกต่างกัน พบว่าปริมาณ

สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วมจะมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วมมากขึ้นร้อยละ 5 ส่งผลต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์คือทำให้ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเพิ่มขึ้น 0.12 (± 0.05) เซนติสโตกส์ (เมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) และ 0.10 (± 0.04) เซนติสโตกส์ (เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุประเภทแอลคิลแอลกอฮอล์อีทอกซีเลทที่มีเอทิลลินออกไซด์ 1 กลุ่ม (Alkyl alcohol ethoxylate surfactant, $C_{12-14}(EO)_1OH$) และสารลดแรงตึงผิวร่วม ($C_8H_{17}OH$) ในระบบมีพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) ในโมเลกุลและแรงระหว่างโมเลกุล (Intermolecule force) เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ขององค์ประกอบเพิ่มขึ้น (Arpornpong, 2013)



ภาพที่ 4- 19 ผลการเปรียบเทียบผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ เมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม



ภาพที่ 4- 20 ผลการเปรียบเทียบผลของปริมาณสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม ต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม

เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพกับมาตรฐานของไบโอดีเซล (1.9-6.0 เซนติสโตกส์) พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากสัดส่วนของวัตถุดิบของน้ำมันพืช/น้ำมันดีเซลแล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ/ดีเซล) วัตถุดิบของน้ำ(เอทานอล) และสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม ในสัดส่วนร้อยละ 90:5:5 85:5:10 และ 80:5:15 โดยปริมาตรผ่านมาตรฐานในทุกระบบ ดังนั้นในการเลือกสัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจะพิจารณาจากสัดส่วนที่ใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วมน้อย ปริมาณน้ำมันพืช/น้ำมันดีเซลมาก และอยู่เหนือเส้นขอบเขตการละลายเป็นเนื้อเดียวกันขึ้นไปเล็กน้อยประมาณร้อยละ 2 คือ สัดส่วนของวัตถุดิบของน้ำมัน วัตถุดิบของน้ำ และสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม ในสัดส่วนร้อยละ 90 5 และ 5 โดยปริมาตร ตามลำดับ

4.3 การศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้ว (Used cooking oil, UCO) ปริมาณกรดไขมันอิสระ (%FFA) แตกต่างกันที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระ และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ (Palm oil) โดยพารามิเตอร์สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่วิเคราะห์ ได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่น จุดชุน จุดไหลเท ค่าความร้อน ค่าความเป็นกรด ปริมาณน้ำ และกากคาร์บอน เปรียบเทียบกับมาตรฐานของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (ASTM D6751)

4.3.1 ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

การศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพใช้สารลดแรงตึงผิวคือ แอลคิลแอลกอฮอล์อีทอกซีเลทที่มีเอทิลีนออกไซด์ 1 กลุ่ม (EO1) ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมคือ ออกทานอล (Octanol) และไอโซออกทานอล (Isooctanol) ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ผสมกับน้ำมันพืชบริสุทธิ์ และน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระ (น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร) และเอทานอล โดยผสมในสัดส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ/น้ำมันดีเซล ร้อยละ 60 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วมร้อยละ 20 โดยปริมาตร และเอทานอลร้อยละ 20 โดยปริมาตร และผสมในสัดส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ/น้ำมันดีเซล ร้อยละ 90 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วมร้อยละ 5 โดยปริมาตร และเอทานอลร้อยละ 5 โดยปริมาตร

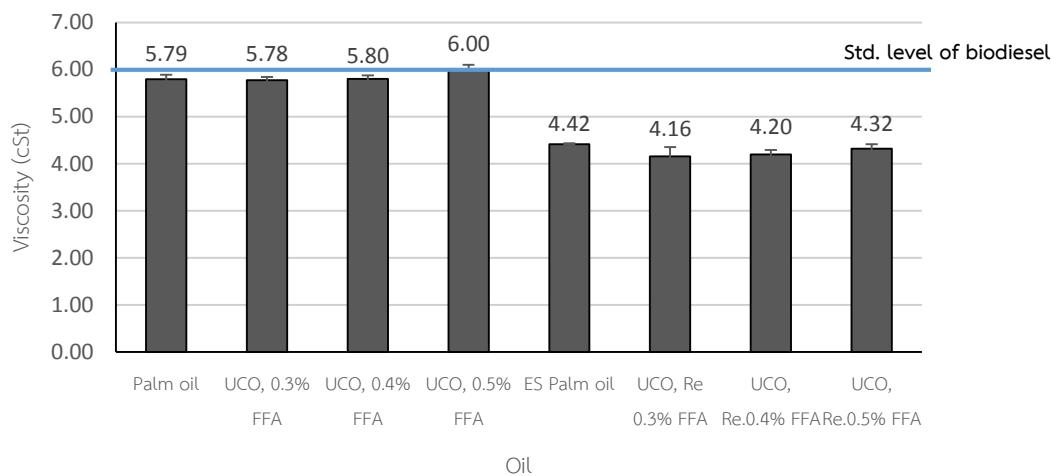
4.3.1.1 ผลของปริมาณกรดไขมันอิสระ

การศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในภาพที่ 4-21 และ 4-22 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ (ASTM D445) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์มีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ไม่แตกต่างกัน ได้แก่ 5.78 (± 0.06) 5.80 (± 0.08) 6.00 (± 0.10) และ 5.79 (± 0.10) เซนติสโตกส์ ตามลำดับ (เมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) และ 5.64 (± 0.18) 5.66 (± 0.11) 5.80 (± 0.06) และ 5.70 (± 0.03) เซนติสโตกส์ ตามลำดับ (เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) อาจเนื่องมาจากความหนืด

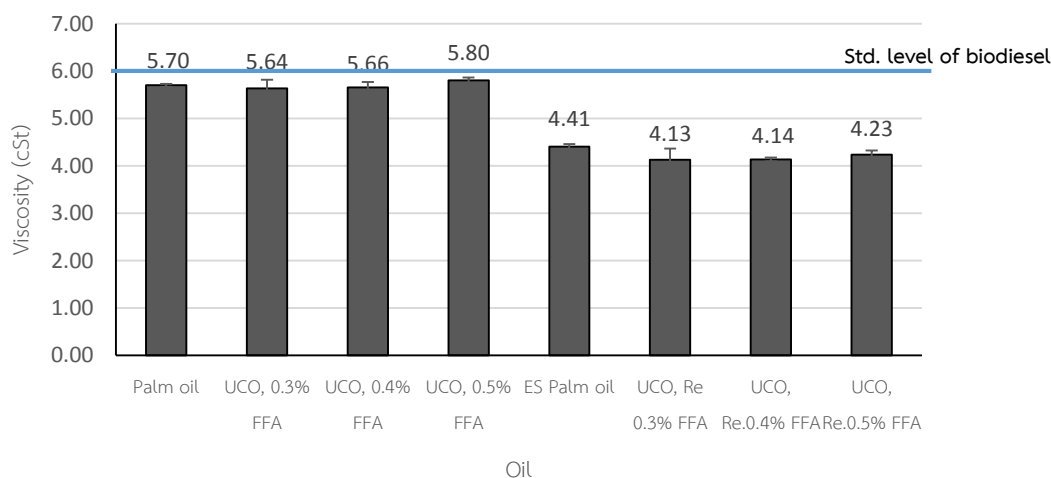
ของสารผสมจะขึ้นอยู่กับความหนืดของสารตั้งต้นแต่ละชนิดที่นำมาใช้ในการสังเคราะห์น้ำมันพืชที่ไม่มีความแตกต่างกัน

การศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ 0.1 0.1 และ 0.2 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในภาพที่ 4-21 และ 4-22 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ (ASTM D445) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระได้แก่ ร้อยละ 0.1 0.1 และ 0.2 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์มีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ไม่แตกต่างกัน ได้แก่ 4.16 (± 0.20) 4.20 (± 0.10) 4.32 (± 0.10) และ 4.42 (± 0.20) เซนติสโตกส์ ตามลำดับ (เมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) และ 4.13 (± 0.23) 4.14 (± 0.04) 4.23 (± 0.09) และ 4.41 (± 0.06) เซนติสโตกส์ ตามลำดับ (เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) อาจเนื่องมาจากความหนืดของสารผสมจะขึ้นอยู่กับความหนืดของสารตั้งต้นแต่ละชนิดที่นำมาใช้ในการสังเคราะห์น้ำมันพืชที่ไม่มีความแตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพกับมาตรฐาน ASTM ของไบโอดีเซล (1.9-6.0 เซนติสโตกส์) พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระได้แก่ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ผ่านมาตรฐานในทุกะบบ



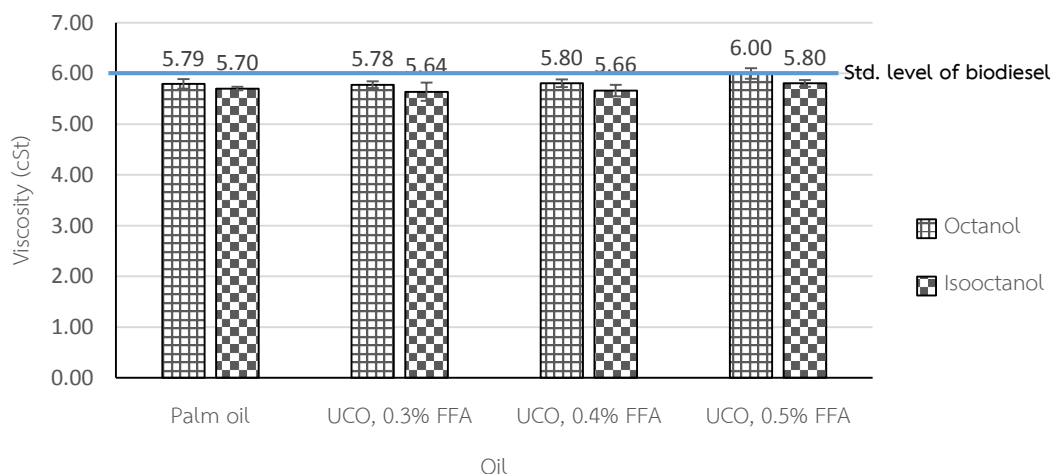
ภาพที่ 4- 21 ผลการเปรียบเทียบค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระที่แตกต่างกันได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ เมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม



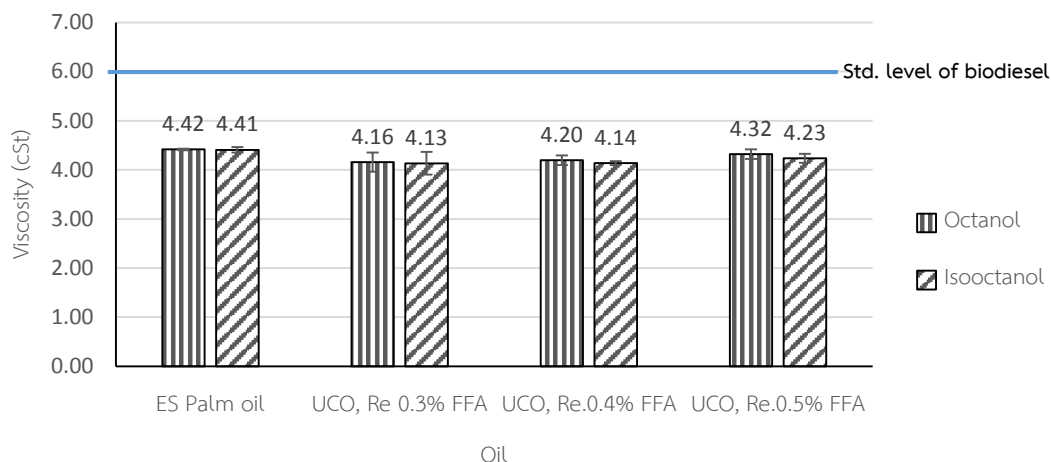
ภาพที่ 4- 22 ผลการเปรียบเทียบค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระที่แตกต่างกันได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ เมื่อใช้อีโธออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม

4.3.1.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม

การศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีโครงสร้างแตกต่างกันได้แก่ ออกทานอล (โซ่ตรง) และไอโซออกทานอล (โซ่กิ่ง) ต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในภาพที่ 4-23 และ 4-24 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ (ASTM D445) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากออกทานอล และ ไอโซออกทานอล มีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ไม่แตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มที่น่าสนใจคือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากออกทานอลมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์สูงกว่าไอโซออกทานอล 0.14 (± 0.04) เซนติสโตกส์ (เมื่อใช้น้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ) และ 0.05 (± 0.03) เซนติสโตกส์ (เมื่อใช้น้ำมันพืชที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ) อาจเนื่องมาจากไอโซออกทานอลมีโครงสร้างโมเลกุลแบบโซ่กิ่งมีแขนงของไฮดรอกซิล (Hydroxy group, R-OH) ส่งผลต่อสัดส่วนความชอบน้ำต่อสัดส่วนชอบน้ำมัน (Hydrophilicity) ขององค์ประกอบคือช่วยเพิ่มการละลายของส่วนที่มีขี้(เอทานอล) (Graciaa, 1982) ทำให้โครงสร้างของไมโครอิมัลชัน (Reverse micellar microemulsion) มีความเสถียรมากกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากออกทานอล สอดคล้องกับค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่มีแนวโน้มลดลง



ภาพที่ 4- 23 ผลการเปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นทางกายภาพ และน้ำมันพืชบริสุทธิ์



ภาพที่ 4- 24 ผลการเปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ

4.3.2 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพเป็นสมบัติที่บ่งชี้ถึงลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยเชื้อเพลิงชีวภาพที่ความหนาแน่นสูงมีโอกาสเกิดเขม่าควันสูงเมื่อเกิดการเผาไหม้ คราบเขม่าที่เกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อหัวฉีด และระบบสูบเชื้อเพลิง ดังนั้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจึงต้องคำนึงถึงค่าความหนาแน่นก่อนนำไปใช้ในเครื่องยนต์

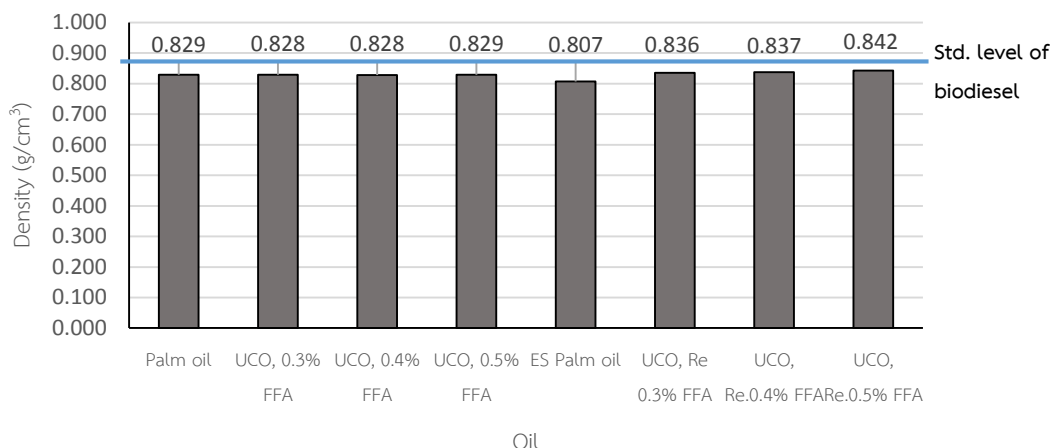
การศึกษาค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพใช้สารลดแรงตึงผิวคือ แอลคิลแอลกอฮอล์ อีทอกซีเลทที่มีเอทิลีนออกไซด์ 1 กลุ่ม (EO1) ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมคือ ออกทานอล (Octanol) และไอโซออกทานอล (Isooctanol) ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ผสมกับน้ำมันพืชบริสุทธิ์ และน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระ (น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร) และเอทานอล โดยผสมในสัดส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ/น้ำมันดีเซล ร้อยละ 60 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วมร้อยละ 20 โดยปริมาตร และเอทานอลร้อยละ 20 โดยปริมาตร และผสมในสัดส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ/น้ำมันดีเซล ร้อยละ 90 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วม ร้อยละ 5 โดยปริมาตร และเอทานอลร้อยละ 5 โดยปริมาตร

4.3.2.1 ผลของปริมาณกรดไขมันอิสระ

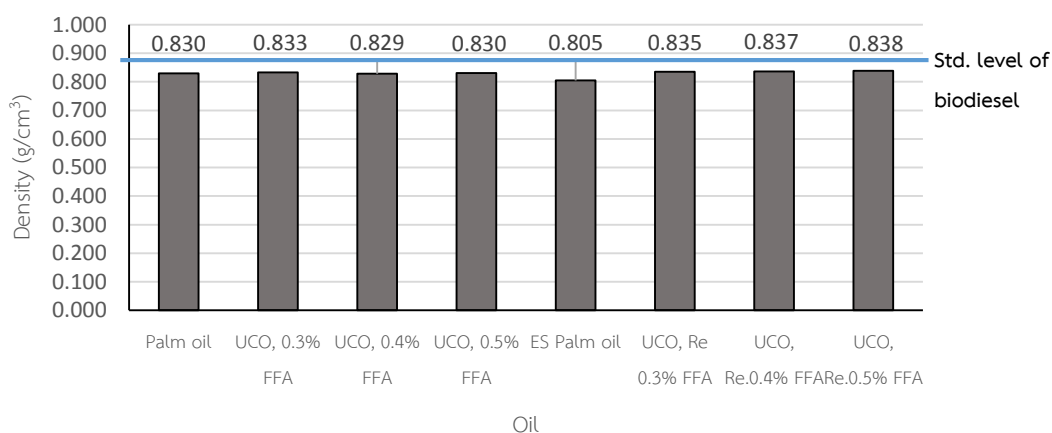
การศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ต่อค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในภาพที่ 4-25 และ 4-26 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 25 (\pm 2) องศาเซลเซียส พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ มีค่าความหนาแน่นไม่แตกต่างกัน ได้แก่ 0.828 0.828 0.829 และ 0.829 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับ (เมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) และ 0.833 0.829 0.830 และ 0.830 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ (เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) อาจเนื่องมาจากความหนาแน่นของสารผสมจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของสารตั้งต้นแต่ละชนิดที่มาใช้ในการสังเคราะห์น้ำมันพืชที่ไม่มีความแตกต่างกัน

การศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ 0.1 0.1 และ 0.2 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ต่อค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในภาพที่ 4-25 และ 4-26 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น พบว่ามีค่าความหนาแน่นไม่แตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มที่น่าสนใจคือเมื่อเปรียบเทียบเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระได้แก่ ร้อยละ 0.1 0.1 และ 0.2 กับน้ำมันพืชบริสุทธิ์ น้ำมันพืชใช้แล้วมีค่าความหนาแน่นมากกว่าน้ำมันพืชบริสุทธิ์ 0.031 (\pm 0.003) กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ (เมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) และ 0.031 (\pm 0.002) กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ (เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) อาจเนื่องมาจากน้ำมันพืชใช้แล้วมีแนวโน้มองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่าน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ดังแสดงในตารางที่ 4-3 สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Fernandes และคณะ (2014) พบว่าความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อพันธะคู่ในโมเลกุลของน้ำมันพืชใช้แล้วลดลง

เมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพกับมาตรฐาน ASTM ของไบโอดีเซล (0.81-0.87 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระได้แก่ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ผ่านมาตรฐานในทุกุระบบ



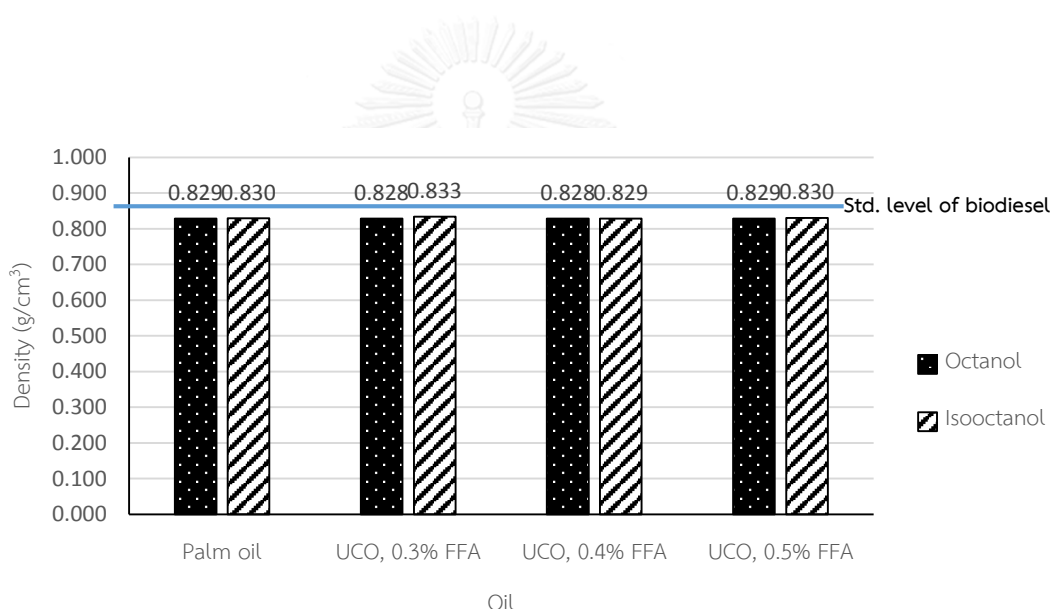
ภาพที่ 4- 25 ผลการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระที่แตกต่างกันได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ เมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวรวม



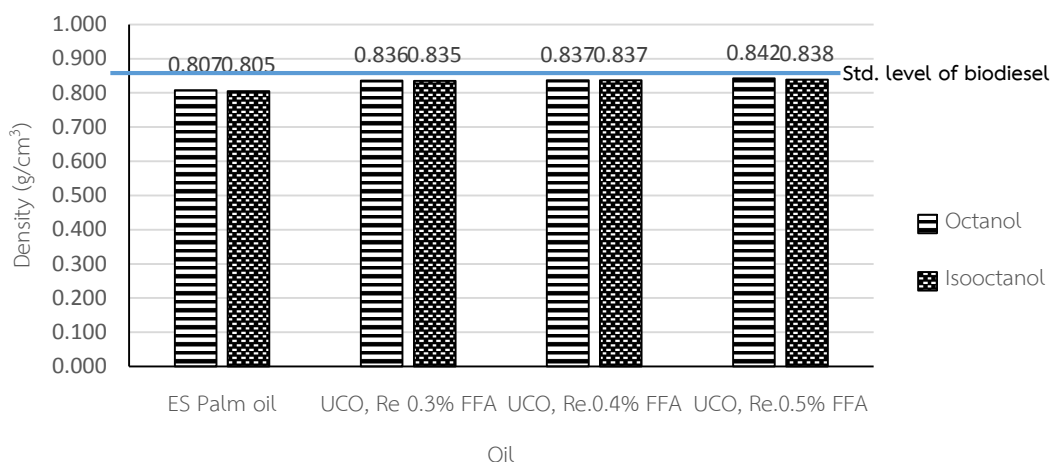
ภาพที่ 4- 26 ผลการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระที่แตกต่างกันได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ เมื่อใช้อีโธออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวรวม

4.3.2.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม

การศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีโครงสร้างแตกต่างกันได้แก่ ออกทานอล (โซ่ตรง) และไอโซออกทานอล (โซ่กิ่ง) ต่อค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในภาพที่ 4-27 และ 4-28 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 25 (± 2) องศาเซลเซียสพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากออกทานอล และไอโซออกทานอล มีค่าความหนาแน่นไม่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากความหนาแน่นของสารผสมจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของสารตั้งต้นแต่ละชนิดที่นำมาใช้ในการสังเคราะห์เชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่มีความแตกต่างกัน โดยออกทานอลมีค่าความหนาแน่น 0.824 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และไอโซออกทานอลมีค่าความหนาแน่น 0.833 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร



ภาพที่ 4- 27 ผลการเปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ



ภาพที่ 4- 28 ผลการเปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ

4.3.3 ค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพเป็นสมบัติที่บ่งชี้ถึงคุณภาพเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยเชื้อเพลิงชีวภาพที่ค่าความเป็นกรดสูงมีโอกาสเกิดการกัดกร่อนภายในเครื่องยนต์ ดังนั้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจึงต้องคำนึงถึงค่าความเป็นกรดก่อนนำไปใช้ในเครื่องยนต์

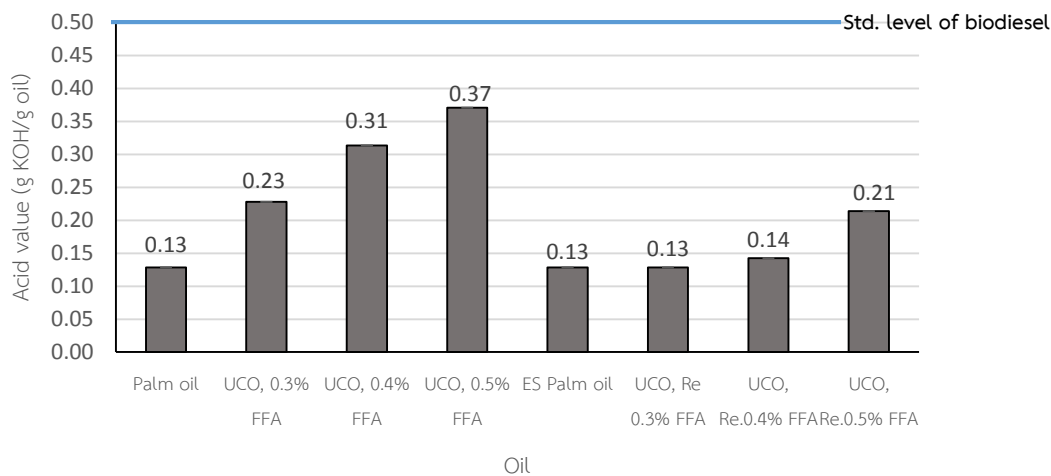
การศึกษาค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพใช้สารลดแรงตึงผิวคือ แอลคิลแอลกอฮอล์ อีทอกซีเลทที่มีเอทิลีนออกไซด์ 1 กลุ่ม (EO1) ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมคือ ออกทานอล (Octanol) และไอโซออกทานอล (Isooctanol) ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ผสมกับน้ำมันพืชบริสุทธิ์ และน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระ (น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร) และเอทานอล โดยผสมในสัดส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ/น้ำมันดีเซล ร้อยละ 60 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วมร้อยละ 20 โดยปริมาตร และเอทานอลร้อยละ 20 โดยปริมาตร และผสมในสัดส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ/น้ำมันดีเซล ร้อยละ 90 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วม ร้อยละ 5 โดยปริมาตร และเอทานอลร้อยละ 5 โดยปริมาตร

4.3.3.1 ผลของปริมาณกรดไขมันอิสระ

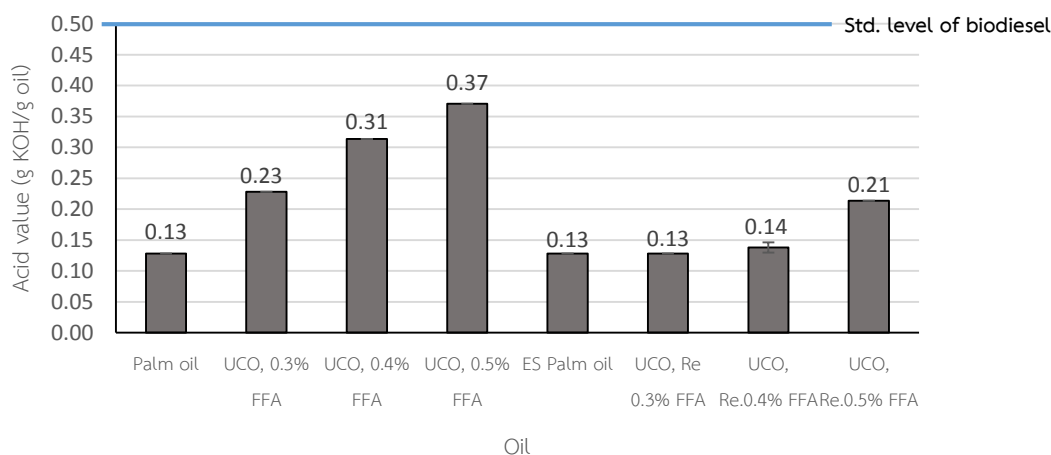
การศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ต่อค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในภาพที่ 4-29 และ 4-30 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์มีค่าความเป็นกรดแตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 0.23 0.31 0.37 และ 0.13 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมน้ำมัน ตามลำดับ (เมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) และร้อยละ 0.23 0.31 0.37 และ 0.13 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมน้ำมัน ตามลำดับ (เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) เนื่องจากค่าความเป็นกรดของสารผสมจะขึ้นอยู่กับปริมาณกรดไขมันอิสระของสารตั้งต้นแต่ละชนิดที่นำมาใช้ในการสังเคราะห์เชื้อเพลิงที่มีความแตกต่างกัน (Chhetri และคณะ, 2008)

การศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ 0.1 0.1 และ 0.2 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ต่อค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในภาพที่ 4-29 และ 4-30 ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ ร้อยละ 0.1 0.1 และ 0.2 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์มีค่าความเป็นกรดแปรผันตามปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ ร้อยละ 0.13 0.14 0.21 และ 0.13 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมน้ำมัน ตามลำดับ (เมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) และร้อยละ 0.13 0.14 0.21 และ 0.13 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมน้ำมัน ตามลำดับ (เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) เนื่องจากค่าความเป็นกรดของสารผสมจะขึ้นอยู่กับปริมาณกรดไขมันอิสระของสารตั้งต้นแต่ละชนิดที่นำมาใช้ในการสังเคราะห์เชื้อเพลิงที่มีความแตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพกับมาตรฐาน ASTM ของไบโอดีเซล (ไม่เกิน 0.50 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมน้ำมัน) พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระได้แก่ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ผ่านมาตรฐานในทุกะบบ



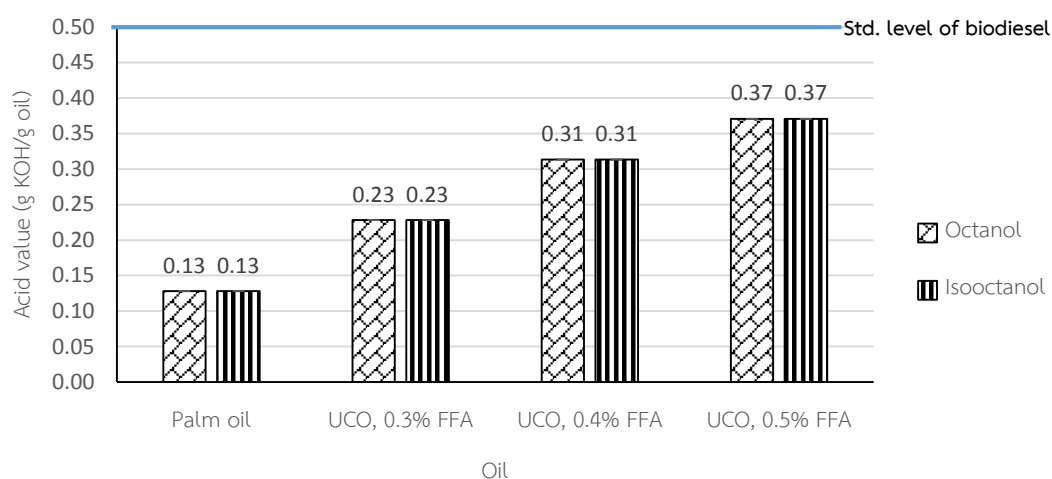
ภาพที่ 4- 29 ผลการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระที่แตกต่างกันได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ เมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม



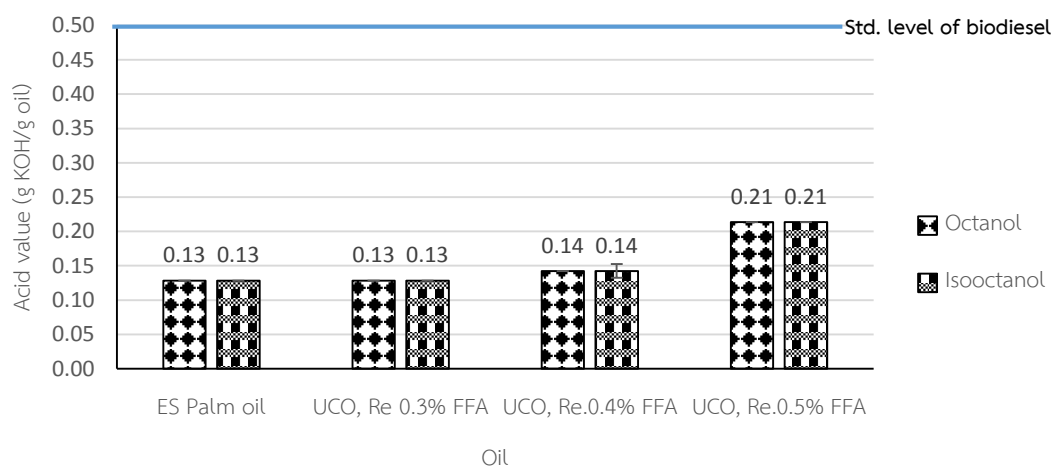
ภาพที่ 4- 30 ผลการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระที่แตกต่างกันได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม

4.3.3.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม

การศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีโครงสร้างแตกต่างกันได้แก่ ออกทานอล (โซ่ตรง) และไอโซออกทานอล (โซ่กิ่ง) ต่อค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในภาพที่ 4-31 และ 4-32 ผลการวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรดพบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากออกทานอล และไอโซออกทานอล มีค่าความเป็นกรดไม่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4- 31 ผลการเปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ

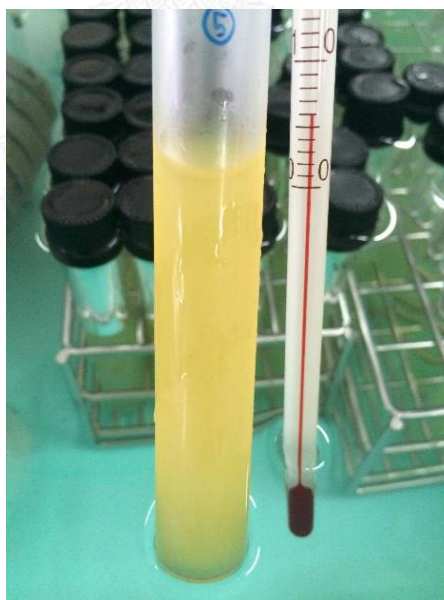


ภาพที่ 4- 32 ผลการเปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วและน้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ

4.3.4 จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน คืออุณหภูมิจุดที่ต่ำที่สุดที่เชื้อเพลิงเริ่มเกิดความขุ่นเมื่อทำให้เชื้อเพลิงเย็นลง ซึ่งมาจากการที่เกิดผลึกขนาดใหญ่พอที่จะสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ดังแสดงในภาพที่ 4-33

การศึกษาจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพใช้สารลดแรงตึงผิวคือ แอลคิลแอลกอฮอล์อีทอกซิลเอทที่มีเอทิลีนออกไซด์ 1 กลุ่ม (EO1) ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมคือ ออกทานอล (Octanol) และ ไอโซออกทานอล (Isooctanol) ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ผสมกับน้ำมันพืชบริสุทธิ์ และน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระ (น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร) และเอทานอล โดยผสมในสัดส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ/น้ำมันดีเซล ร้อยละ 60 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วมร้อยละ 20 โดยปริมาตร และเอทานอลร้อยละ 20 โดยปริมาตร และผสมในสัดส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ/น้ำมันดีเซล ร้อยละ 90 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วมร้อยละ 5 โดยปริมาตร และเอทานอลร้อยละ 5 โดยปริมาตร ดังแสดงในตารางที่ 4-6 และ 4-7



ภาพที่ 4- 33 แสดงการเกิดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4- 6 ผลการเปรียบเทียบจุดชุนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เมื่อใช้ออกทานอลเป็น สารลดแรงตึงผิวร่วม

ชุดที่	น้ำมัน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
		14	12	10	8	6	4	2	0
1	น้ำมันพืชบริสุทธิ์ ที่บำบัดทางกายภาพ/น้ำมันดีเซล	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
2	น้ำมันพืชใช้แล้ว FFA ¹ 0.3% ที่บำบัดทางกายภาพ/น้ำมันดีเซล	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
3	น้ำมันพืชใช้แล้ว FFA ¹ 0.4% ที่บำบัดทางกายภาพ/น้ำมันดีเซล	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
4	น้ำมันพืชใช้แล้ว FFA ¹ 0.5% ที่บำบัดทางกายภาพ/น้ำมันดีเซล	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓
5	น้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่กำจัดกรดไขมัน อิสระ/น้ำมันดีเซล	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
6	น้ำมันพืชใช้แล้ว FFA ¹ 0.3% ที่กำจัดกรดไขมันอิสระ/น้ำมันดีเซล	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
7	น้ำมันพืชใช้แล้ว FFA ¹ 0.4% ที่กำจัดกรดไขมันอิสระ/น้ำมันดีเซล	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
8	น้ำมันพืชใช้แล้ว FFA ¹ 0.5% ที่กำจัดกรดไขมันอิสระ/น้ำมันดีเซล	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓

¹FFA คือ ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ข้อสังเกต

- ✓ คือ เกิดผลึกในเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน
- ✗ คือ ไม่เกิดผลึกในเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

4.3.4.1 ผลของปริมาณกรดไขมันอิสระ

การศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ต่อจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในตารางที่ 4-6 และ 4-7 ผลการวิเคราะห์จุดขุ่น พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์มีจุดขุ่นไม่แตกต่างกันคือ 8 องศาเซลเซียส เนื่องจากจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพจะขึ้นกับจุดขุ่นของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมเชื้อเพลิง (Arpornpong, 2013) โดยน้ำมันพืชบริสุทธิ์และน้ำมันพืชใช้แล้วที่ใช้เตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเป็นน้ำมันพืชชนิดเดียวกันคือ น้ำมันปาล์ม (จุดขุ่นของน้ำมันปาล์มคือ 15 องศาเซลเซียส)

การศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ 0.1 0.1 และ 0.2 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ต่อจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในตารางที่ 4-6 และ 4-7 ผลการวิเคราะห์จุดขุ่น พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ ร้อยละ 0.1 0.1 และ 0.2 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์มีจุดขุ่นไม่แตกต่างกันคือ 6 องศาเซลเซียส (เมื่อใช้เอทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) และ 4 องศาเซลเซียส (เมื่อใช้ไอโซอทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม)

ผลของการเปรียบเทียบการบำบัดน้ำมันใช้แล้วขั้นต้นต่อจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ มีจุดขุ่นที่ต่ำกว่าใช้น้ำมันใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ เนื่องจากสัดส่วนที่ผสมน้ำมันดีเซลในเชื้อเพลิงชีวภาพแตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 45 (เมื่อผสมกับน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ) และร้อยละ 30 (เมื่อผสมกับน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ) การผสมปริมาณน้ำมันดีเซลที่มากขึ้นในองค์ประกอบทำให้จุดขุ่นขององค์ประกอบต่ำลง จากการที่น้ำมันดีเซลมีจุดขุ่นต่ำ (จุดขุ่นของน้ำมันดีเซลคือ -15°C) (Mejia และคณะ, 2013; Verissimo และ Gomes, 2011; Verma และคณะ, 2016) สอดคล้องกับจุดขุ่นที่ต่ำลงของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

อย่างไรก็ตามในทางทฤษฎีวิธีการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยวิธีเอสเทอร์ฟิเคชันจะไม่เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืช ดังนั้นจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพจะขึ้นกับจุดขุ่นของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมเชื้อเพลิง หากมีองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวสายยาวที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะส่งผลทำให้จุดขุ่นขององค์ประกอบมีค่าสูงตามไปด้วย (Knothe และคณะ, 2005)

เมื่อเปรียบเทียบจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพกับมาตรฐาน ASTM ของไบโอดีเซล (ไม่เกิน 12 องศาเซลเซียส) พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระได้แก่ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ผ่านมาตรฐานในทุกระบบ

4.3.4.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม

การศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีโครงสร้างแตกต่างกันได้แก่ ออกทานอล (โซ่ตรง) และไอโซออกทานอล (โซ่กิ่ง) ต่อจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในตารางที่ 4-6 และ 4-7 ผลการวิเคราะห์จุดขุ่น พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากออกทานอล และ ไอโซออกทานอลมีจุดขุ่นไม่แตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มที่น่าสนใจคือเมื่อใช้น้ำมันพืชที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ออกทานอลเกิดผลึกง่ายกว่าไอโซออกทานอล (ไอโซออกทานอลมีจุดขุ่นต่ำกว่าออกทานอล 2 องศาเซลเซียส) อาจเนื่องมาจากไอโซออกทานอลมีจุดหลอมเหลว (-76 องศาเซลเซียส) ต่ำกว่าออกทานอล (-15 องศาเซลเซียส) สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ ญัฐพร สรสุชาติ (2557) พบว่าเมื่อจุดหลอมเหลวของสารผสมในองค์ประกอบต่ำ ส่งผลให้จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพต่ำ



4.3.5 จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน คืออุณหภูมิจุดที่ต่ำที่สุดที่เชื้อเพลิงสามารถไหลได้อย่างอิสระเมื่อทำให้เชื้อเพลิงอุณหภูมิต่ำลง โดยเมื่ออุณหภูมิต่ำลงกว่าจุดไหลเท จะส่งผลให้เชื้อเพลิงชีวภาพไม่สามารถไหลได้ แสดงดังภาพที่ 4-34

การศึกษาจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพใช้สารลดแรงตึงผิวคือ แอลคิลแอลกอฮอล์อีทอกซี-เลทที่มีเอทิลีนออกไซด์ 1 กลุ่ม (EO1) ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมคือ ออกทานอล (Octanol) และ ไอโซออกทานอล (Isooctanol) ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ผสมกับน้ำมันพืชบริสุทธิ์ และน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระ (น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร) และ เอทานอล โดยผสมในสัดส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ/น้ำมันดีเซล ร้อยละ 60 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วมร้อยละ 20 โดยปริมาตร และ เอทานอลร้อยละ 20 โดยปริมาตร และผสมในสัดส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมัน อิสระ/น้ำมันดีเซล ร้อยละ 90 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วมร้อยละ 5 โดย ปริมาตร และเอทานอลร้อยละ 5 โดยปริมาตร ดังแสดงในตารางที่ 4-8 และ 4-9



ภาพที่ 4- 34 แสดงการเกิดจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ตารางที่ 4- 8 ผลการเปรียบเทียบจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม

ชุดที่	น้ำมัน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
		0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7
1	น้ำมันพืชบริสุทธิ์ ที่บำบัดทางกายภาพ/น้ำมันดีเซล	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
2	น้ำมันพืชใช้แล้ว FFA ¹ 0.3% ที่บำบัดทางกายภาพ/น้ำมันดีเซล	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
3	น้ำมันพืชใช้แล้ว FFA ¹ 0.4% ที่บำบัดทางกายภาพ/น้ำมันดีเซล	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
4	น้ำมันพืชใช้แล้ว FFA ¹ 0.5% ที่บำบัดทางกายภาพ/น้ำมันดีเซล	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
5	น้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่กำจัดกรดไขมัน อิสระ/น้ำมันดีเซล	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6	น้ำมันพืชใช้แล้ว FFA ¹ 0.3% ที่กำจัดกรดไขมันอิสระ/น้ำมันดีเซล	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7	น้ำมันพืชใช้แล้ว FFA ¹ 0.4% ที่กำจัดกรดไขมันอิสระ/น้ำมันดีเซล	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8	น้ำมันพืชใช้แล้ว FFA ¹ 0.5% ที่กำจัดกรดไขมันอิสระ/น้ำมันดีเซล	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓

¹FFA คือ ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ข้อสังเกต

- ✓ คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันไม่สามารถไหลได้
- ✗ คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันสามารถไหลได้

ตารางที่ 4- 9 ผลการเปรียบเทียบจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม

ชุดที่	น้ำมัน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
		0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7
1	น้ำมันพืชบริสุทธิ์ ที่บำบัดทางกายภาพ/น้ำมันดีเซล	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
2	น้ำมันพืชใช้แล้ว FFA ¹ 0.3% ที่บำบัดทางกายภาพ/น้ำมันดีเซล	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
3	น้ำมันพืชใช้แล้ว FFA ¹ 0.4% ที่บำบัดทางกายภาพ/น้ำมันดีเซล	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
4	น้ำมันพืชใช้แล้ว FFA ¹ 0.5% ที่บำบัดทางกายภาพ/น้ำมันดีเซล	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓
5	น้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่กำจัดกรดไขมัน อิสระ/น้ำมันดีเซล	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6	น้ำมันพืชใช้แล้ว FFA ¹ 0.3% ที่กำจัดกรดไขมันอิสระ/น้ำมันดีเซล	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7	น้ำมันพืชใช้แล้ว FFA ¹ 0.4% ที่กำจัดกรดไขมันอิสระ/น้ำมันดีเซล	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8	น้ำมันพืชใช้แล้ว FFA ¹ 0.5% ที่กำจัดกรดไขมันอิสระ/น้ำมันดีเซล	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓

¹FFA คือ ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ข้อสังเกต

- ✓ คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันไม่สามารถไหลได้
- ✗ คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันสามารถไหลได้

4.3.5.1 ผลของปริมาณกรดไขมันอิสระ

การศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ต่อจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในตารางที่ 4-8 และ 4-9 ผลการวิเคราะห์จุดไหลเท พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์มีจุดไหลเทไม่แตกต่างกันคือ -6 องศาเซลเซียส เนื่องจากจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพจะขึ้นกับจุดไหลเทของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมเชื้อเพลิง และองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืช หากน้ำมันพืชตั้งต้นมีกรดไขมันอิ่มตัวสูง ส่งผลทำให้จุดไหลเทมีค่าสูง (Sarin และคณะ, 2009) โดยน้ำมันพืชบริสุทธิ์และน้ำมันพืชใช้แล้วที่ใช้เตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเป็นน้ำมันพืชชนิดเดียวกันคือ น้ำมันปาล์ม (จุดไหลเทของน้ำมันปาล์มคือ 23.6 องศาเซลเซียส) (Verma และคณะ, 2016)

การศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ 0.1 0.1 และ 0.2 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ต่อจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในตารางที่ 4-8 และ 4-9 ผลการวิเคราะห์จุดไหลเท พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ ร้อยละ 0.1 0.1 และ 0.2 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์มีจุดไหลเทไม่แตกต่างกันคือ -1 องศาเซลเซียส เนื่องจากจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพจะขึ้นกับจุดไหลเทของสารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมเชื้อเพลิงที่ไม่แตกต่างกัน และการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยวิธีเอสเทอร์ฟิเคชันจะไม่เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืชจึงไม่ส่งผลต่อจุดไหลเทขององค์ประกอบ (Knothe และคณะ, 2005)

ผลของการเปรียบเทียบการบำบัดน้ำมันใช้แล้วขึ้นต้นต่อจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ มีจุดไหลเทที่สูงกว่าใช้น้ำมันใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ เนื่องจากสัดส่วนที่ผสมเอทานอลในเชื้อเพลิงชีวภาพแตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 20 (เมื่อผสมกับน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ) และร้อยละ 5 (เมื่อผสมกับน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ) การผสมปริมาณเอทานอลที่มากขึ้นในองค์ประกอบทำให้จุดไหลเทขององค์ประกอบต่ำลง จากการที่เอทานอลแข็งตัวได้ยากที่อุณหภูมิต่ำ (-114 องศาเซลเซียส) (Verissimo และ Gomes, 2011) สอดคล้องกับจุดไหลเทที่ต่ำลงของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าการเพิ่มปริมาณเอทานอลในองค์ประกอบจะส่งผลให้คุณสมบัติจุดไหลเท และความหนืดขององค์ประกอบดีขึ้น แต่หากมีการผสมปริมาณเอทานอลที่มากเกินไปจะทำให้ค่าซีเทนและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพลดลง

เมื่อเปรียบเทียบจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพกับมาตรฐาน ASTM ของไบโอดีเซล (ไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส) พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ผ่านมาตรฐานในทุกระบบ

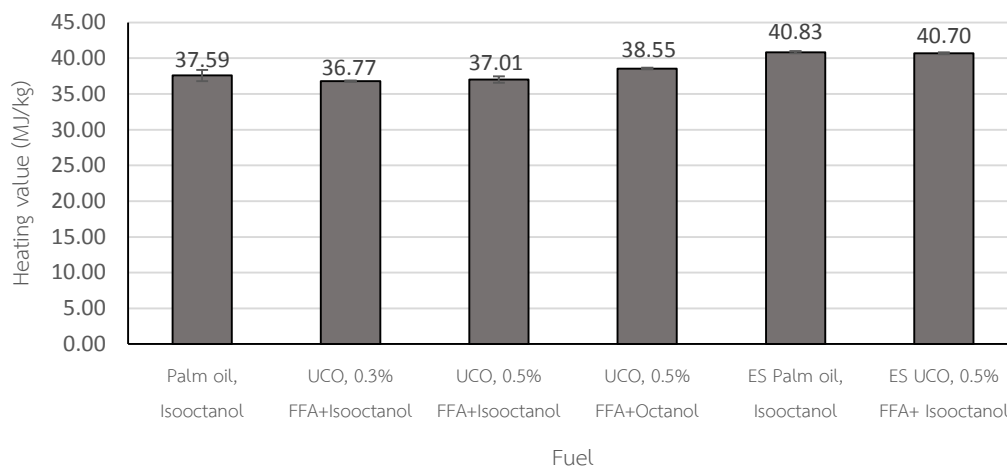
4.3.5.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม

การศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน ได้แก่ ออกทานอล (โซ่ตรง) และไอโซออกทานอล (โซ่กิ่ง) ต่อจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในตารางที่ 4-8 และ 4-9 ผลการวิเคราะห์จุดไหลเท พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากออกทานอล และไอโซออกทานอลมีจุดไหลเทไม่แตกต่างกัน

4.3.6 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพเป็นปัจจัยหลักในการคาดการณ์ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องยนต์ โดยหากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงต่ำ จะต้องใช้เชื้อเพลิงในปริมาณมากกว่าปริมาณเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงกว่าเพื่อให้ได้ค่าความร้อนในปริมาณตามที่เครื่องยนต์ต้องการ (Hong และคณะ, 2015) ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงสามารถประมาณได้จากคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเชื้อเพลิง เช่น ความหนืด ความหนาแน่น และน้ำหนักโมเลกุล เป็นต้น รวมถึงองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันพืช (Sanli และคณะ, 2014) อย่างไรก็ตามน้ำมันพืชที่นำมาทำการวิจัยมีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่แตกต่างกันเนื่องจากเป็นน้ำมันชนิดเดียวกัน (น้ำมันปาล์ม) ดังนั้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจึงต้องคำนึงถึงค่าความร้อนก่อนนำไปใช้ในเครื่องยนต์

การศึกษาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพใช้สารลดแรงตึงผิวคือ แอลคิลแอลกอฮอล์ อีทอกซีเลทที่มีเอทิลีนออกไซด์ 1 กลุ่ม (EO1) ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมคือ ออกทานอล (Octanol) และไอโซออกทานอล (Isooctanol) ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ผสมกับน้ำมันพืชบริสุทธิ์ และน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระ (น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร) และเอทานอล โดยผสมในสัดส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ/น้ำมันดีเซล ร้อยละ 60 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วมร้อยละ 20 โดยปริมาตร และเอทานอลร้อยละ 20 โดยปริมาตร และผสมในสัดส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ/น้ำมันดีเซล ร้อยละ 90 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วม ร้อยละ 5 โดยปริมาตร และเอทานอลร้อยละ 5 โดยปริมาตร ดังแสดงในภาพที่ 4-35



ภาพที่ 4- 35 ผลการเปรียบเทียบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระ และน้ำมันพืชบริสุทธิ์

4.3.6.1 ผลของปริมาณกรดไขมันอิสระ

การศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ 0.3 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในภาพที่ 4-35 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อน พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ ร้อยละ 0.3 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์มีค่าความร้อนไม่แตกต่างกัน ได้แก่ 36.77 (± 0.09) 37.01 (± 0.46) และ 37.59 (± 0.79) เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวรวม) อาจเนื่องมาจากค่าความร้อนของสารผสมจะขึ้นอยู่กับค่าความร้อนของสารตั้งต้นแต่ละชนิดที่นำมาใช้ในการสังเคราะห์เชื้อเพลิงที่ไม่มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามในทางทฤษฎีคือ ค่าความร้อนของกรดไขมันเอสเทอร์ (Fatty acids ester) จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความยาวของสายโซ่คาร์บอน (Carbon chain length) ลดปริมาณพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมัน อีกทั้งยังขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight) และความหนาแน่น (Density) ของสาร โดยหากน้ำหนักโมเลกุลและความหนาแน่นมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าความร้อนเพิ่มสูงขึ้น (Hong และคณะ, 2015; Sanli และคณะ, 2014)

การศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.2 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในภาพที่ 4-35 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อน พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.2 และ

น้ำมันพืชบริสุทธิ์มีค่าความร้อนไม่แตกต่างกัน ได้แก่ 40.70 (± 0.13) และ 40.83 (± 0.15) เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) อาจเนื่องมาจากค่าความร้อนของสารผสมจะขึ้นอยู่กับค่าความร้อนของสารตั้งต้นแต่ละชนิดที่นำมาใช้ในการสังเคราะห์เชื้อเพลิงที่ไม่มี ความแตกต่างกัน

ผลของการเปรียบเทียบการบำบัดน้ำมันใช้แล้วขั้นต้นต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ มีค่าความร้อนที่สูงกว่าใช้น้ำมันใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ เนื่องจากสัดส่วนที่ผสมเอทานอลในเชื้อเพลิงชีวภาพแตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 20 (เมื่อผสมกับน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ) และร้อยละ 5 (เมื่อผสมกับน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ) การผสมปริมาณเอทานอลที่มากขึ้นในองค์ประกอบทำให้ค่าความร้อนขององค์ประกอบลดลง จากการที่โมเลกุลของเอทานอลประกอบด้วยออกซิเจน การเติมเอทานอลในองค์ประกอบจะส่งผลให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ และลดมลพิษทางอากาศได้ (Arpompong และคณะ, 2014)

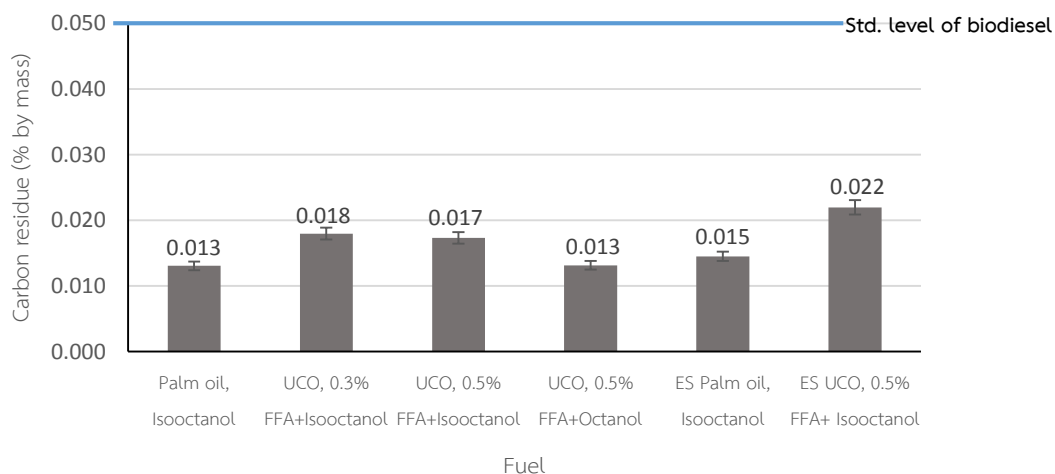
4.3.6.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม

การศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีโครงสร้างแตกต่างกันได้แก่ ออกทานอล (โซ่ตรง) และไอโซออกทานอล (โซ่กิ่ง) ต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในภาพที่ 4-35 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อน พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากออกทานอล และไอโซออกทานอลมีค่าความร้อนไม่แตกต่างกัน ได้แก่ 38.55 (± 0.11) เมกะจูลต่อกิโลกรัม (เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) และ 37.01 (± 0.46) เมกะจูลต่อกิโลกรัม (เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) อาจเนื่องมาจากออกทานอลและไอโซออกทานอลเป็นไอโซเมอร์ (Isomer) มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากัน (130.23 กรัมต่อโมล) และมีความหนาแน่นไม่แตกต่างกัน โดยที่ออกทานอล (0.824 g/m^3) และ ไอโซออกทานอล (0.833 g/m^3) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hong และคณะ (2015) พบว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพจะมีค่าสูง เมื่อน้ำหนักโมเลกุลและค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าสูง

4.3.7 กากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ค่ากากคาร์บอนเป็นสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีความสำคัญ เนื่องจากบ่งชี้ถึงลักษณะการเผาไหม้และเกิดเขม่าควัน หากค่ากากคาร์บอนของเชื้อเพลิงมากเกินไปส่งผลให้เกิดคราบติดที่หัวฉีดและผนังห้องเผาไหม้ในเครื่องยนต์ ส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์ในระยะยาว ดังนั้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจึงต้องคำนึงถึงค่ากากคาร์บอนก่อนนำไปใช้ในเครื่องยนต์

การศึกษาค่ากากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพใช้สารลดแรงตึงผิวคือ แอลคิลแอลกอฮอล์ อีทอกซีเลทที่มีเอทิลีนออกไซด์ 1 กลุ่ม (EO1) ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมคือ ออกทานอล (Octanol) และไอโซออกทานอล (Isooctanol) ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ผสมกับน้ำมันพืชบริสุทธิ์ และน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระ (น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร) และเอทานอล โดยผสมในสัดส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ/น้ำมันดีเซล ร้อยละ 60 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วมร้อยละ 20 โดยปริมาตร และเอทานอลร้อยละ 20 โดยปริมาตร และผสมในสัดส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ/น้ำมันดีเซล ร้อยละ 90 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วมร้อยละ 5 โดยปริมาตร และเอทานอลร้อยละ 5 โดยปริมาตร ดังแสดงในภาพที่ 4-36



ภาพที่ 4- 36 ผลการเปรียบเทียบค่ากากคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระ และน้ำมันพืชบริสุทธิ์

4.3.7.1 ผลของปริมาณกรดไขมันอิสระ

การศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ 0.3 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ต่อปริมาณการคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในภาพที่ 4-36 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการคาร์บอน พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ ร้อยละ 0.3 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่มีปริมาณการคาร์บอนไม่แตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 0.018 (± 0.00) 0.017 (± 0.01) และ 0.013 (± 0.02) ตามลำดับ (เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวรวม) แต่มีแนวโน้มที่น่าสนใจคือ น้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณการคาร์บอนสูงกว่าเล็กน้อย (ร้อยละ 0.0045) เนื่องจากน้ำมันพืชใช้แล้วกรดไขมันอิสระ (Free fatty acids) สูงกว่าน้ำมันพืชบริสุทธิ์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bernardes (2011) พบว่าสำหรับเชื้อเพลิงชีวภาพการคาร์บอนส่วนใหญ่เกิดจากสารประกอบของกรดไขมันอิสระ กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated) และพอลิเมอร์ (Polymers) เป็นต้น

การศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.2 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ต่อปริมาณการคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในภาพที่ 4-36 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการคาร์บอน พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.2 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่มีปริมาณการคาร์บอนไม่แตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 0.022 (± 0.02) และ 0.015 (± 0.01) ตามลำดับ (เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวรวม) แต่มีแนวโน้มที่น่าสนใจคือ น้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณการคาร์บอนสูงกว่าเล็กน้อย (ร้อยละ 0.007) อาจเนื่องมาจากการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยวิธีเอสเทอร์ฟิเคชันใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา และเกิดผลพลอยได้เช่น กลีเซอรอล โดยการคาร์บอนส่วนใหญ่ของเชื้อเพลิงชีวภาพนั้นมักประกอบไปด้วยปริมาณของกลีเซอไรด์ (Glycerides) กรดไขมันอิสระ (Free fatty acids) สบู่ (Soaps) และกากตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) (Bernardes, 2011)

ผลของการเปรียบเทียบการบำบัดน้ำมันใช้แล้วขั้นต้นต่อปริมาณการคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ มีปริมาณการคาร์บอนที่สูงกว่าใช้น้ำมันใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ เนื่องจากสัดส่วนที่ผสมเอทานอลในเชื้อเพลิงชีวภาพแตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 20 (เมื่อผสมกับน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ) และร้อยละ 5 (เมื่อผสมกับน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ) การผสมปริมาณเอทานอลที่มากขึ้นในองค์ประกอบทำให้ปริมาณการคาร์บอนขององค์ประกอบลดลง จากการที่โมเลกุลของเอทานอลประกอบด้วยออกซิเจน การเติมเอทานอลใน

องค์ประกอบจะส่งผลให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ เกิดกาการคาร์บอนน้อยกว่า (Arpornpong และคณะ, 2014)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณกาการคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพกับมาตรฐาน ASTM ของไบโอดีเซล (ไม่เกินร้อยละ 0.05) พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระได้แก่ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ผ่านมาตรฐานในทุกระบบ

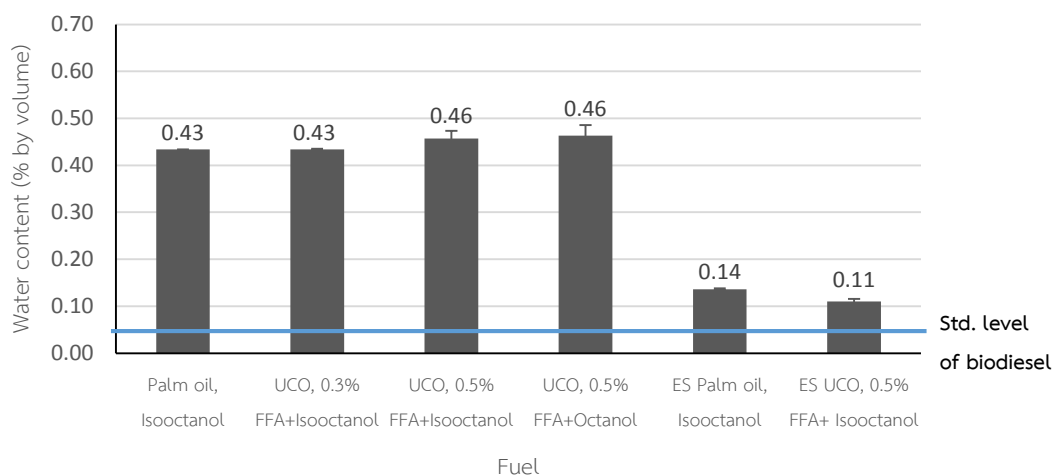
4.3.7.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม

การศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีโครงสร้างแตกต่างกันได้แก่ ออกทานอล (โซ่ตรง) และไอโซออกทานอล (โซ่กิ่ง) ต่อปริมาณกาการคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในภาพที่ 4-36 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกาการคาร์บอน พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากออกทานอล และไอโซออกทานอลมีปริมาณกาการคาร์บอนไม่แตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 0.013 (± 0.00) และ 0.017 (± 0.01) ตามลำดับ

4.3.8 ปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ปริมาณน้ำเป็นสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีความสำคัญ เนื่องจากปริมาณน้ำเป็นปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดการย่อยสลายของเชื้อเพลิงชีวภาพ และลดค่าความร้อนในการเผาไหม้เชื้อเพลิง ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และเกิดควันดำที่ท่อไอเสีย

การศึกษาปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงชีวภาพใช้สารลดแรงตึงผิวคือ แอลคิลแอลกอฮอล์ อีทอกซีเลทที่มีเอทิลีนออกไซด์ 1 กลุ่ม (EO1) ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมคือ ออกทานอล (Octanol) และไอโซออกทานอล (Isooctanol) ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ผสมกับน้ำมันพืชบริสุทธิ์ และน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระ (น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร) และเอทานอล โดยผสมในสัดส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ/น้ำมันดีเซล ร้อยละ 60 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วมร้อยละ 20 โดยปริมาตร และเอทานอลร้อยละ 20 โดยปริมาตร และผสมในสัดส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ/น้ำมันดีเซล ร้อยละ 90 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วมร้อยละ 5 โดยปริมาตร และเอทานอลร้อยละ 5 โดยปริมาตร ดังแสดงในภาพที่ 4-37



ภาพที่ 4- 37 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระ และน้ำมันพืชบริสุทธิ์

4.3.8.1 ผลของปริมาณกรดไขมันอิสระ

การศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ 0.3 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ต่อปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในภาพที่ 4-37 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำ พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ ร้อยละ 0.3 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์มีปริมาณน้ำไม่แตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 0.43 (± 0.00) 0.46 (± 0.02) และ 0.43 (± 0.00) ตามลำดับ (เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) แต่มีแนวโน้มที่น่าสนใจคือ น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.5% FFA) มีปริมาณน้ำสูงกว่าเล็กน้อย (ร้อยละ 0.03) อาจเนื่องมาจากสารตั้งต้นที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงชีวภาพ (น้ำมันพืชใช้แล้ว) มีปริมาณน้ำในน้ำมันพืชสูง จากการที่น้ำมันพืชใช้แล้วเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนและสัมผัสกับอาหารในระยะเวลาานาน จึงส่งผลให้น้ำในอาหารจะออกสู่น้ำมันในรูปของน้ำหรือไอน้ำและทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ (Koh และ Surh, 2015) ส่งผลให้เกิดกรดไขมันอิสระในรูปของไตรกลีเซอไรด์ สอดคล้องกับปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นในระบบ

การศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.2 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ต่อปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในภาพที่ 4-37 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำ พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.2 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์มีปริมาณน้ำไม่แตกต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 0.11 (± 0.01) และ 0.14 (± 0.00) ตามลำดับ

(เมื่อใช้ไอโซออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม) แต่มีแนวโน้ม น้ำมันพืชบริสุทธิ์มีปริมาณน้ำสูงกว่า น้ำมันพืชใช้แล้ว อาจเนื่องมาจากการผิดพลาดของขั้นตอนการใช้น้ำล้างกลีเซอรอล และกระบวนการให้ความร้อนเพื่อเอาน้ำออกจากน้ำมันในวิธีการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยวิธีเอสเทอร์ฟิเคชัน ส่งผลให้มีน้ำเจือปนอยู่ในน้ำมัน (Fatty acids ester)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงชีวภาพกับมาตรฐาน ASTM ของไบโอดีเซล (ไม่เกินร้อยละ 0.05) พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ ไม่ผ่านมาตรฐานในทุกระบบ อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงชีวภาพเกรดทั่วไป (B100) ที่ผลิตจากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่ามีปริมาณน้ำมากกว่ามาตรฐานเช่นเดียวกัน (ปริมาณน้ำร้อยละ 0.22) (Fregolente และ Maciel, 2012) โดยที่น้ำมันดีเซล มีปริมาณน้ำที่ผ่านมาตรฐานพอดีคือร้อยละ 0.05 (Atadashi และคณะ, 2012)

4.3.8.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม

การศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีโครงสร้างแตกต่างกันได้แก่ ออกทานอล (โซ่ตรง) และไอโซออกทานอล (โซ่กิ่ง) ต่อปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงในภาพที่ 4-37 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำ พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากออกทานอล และ ไอโซออกทานอลมีปริมาณน้ำไม่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 0.46 (± 0.02)

4.4 การหาสมมูลมวลของสารในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

การศึกษาสมมูลมวลของสารในงานวิจัยนี้ใช้หลักการกฎทรงมวล (Law of mass conservation) กล่าวว่า “มวลไม่สามารถสร้างหรือทำลายได้ แต่องค์ประกอบของมวลสามารถเปลี่ยนรูปเป็นองค์ประกอบอื่นได้” เมื่อมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น สารตั้งต้นที่เข้าทำปฏิกิริยา (Reactants) และผลิตภัณฑ์ (Products) เปลี่ยนไปได้แต่มวลรวมของระบบจะไม่เปลี่ยนแปลง จึงสามารถติดตามมวลในกระบวนการต่างๆ และคำนวณหามวลที่ไม่ทราบค่าได้ จากสมการสมมูลมวลสารต่อไปนี้

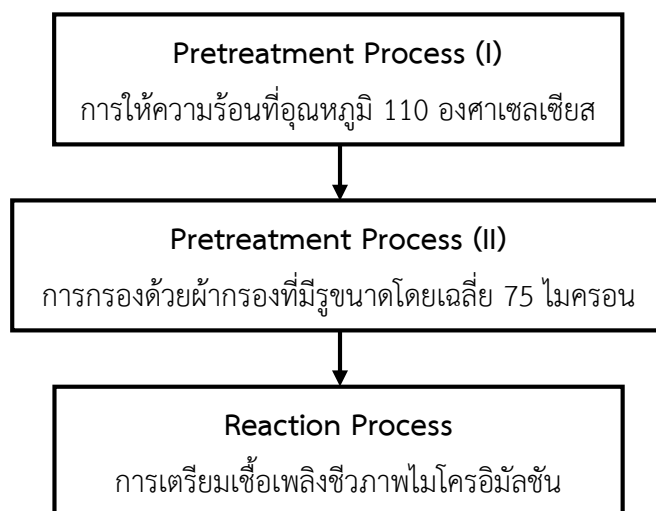
$$\text{มวลของสารที่เข้าระบบ } (\Sigma m_i) = \text{มวลของสารที่ออกจากระบบ } (\Sigma m_e) \quad \dots(4.1)$$

4.4.1 การศึกษาผลผลิตเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้ว เริ่มจากการนำน้ำมันพืชใช้แล้วไปผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการทางกายภาพโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และการกรองด้วยผ้ากรองที่มีรูขนาดโดยเฉลี่ย 75 ไมครอน ก่อนนำน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงเป็น Process flow chart ในภาพที่ 4-38

การเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ใช้สารลดแรงตึงผิวคือ แอลคิลแอลกอฮอล์อีทอกซิลที่มีเอทิลีนออกไซด์ 1 กลุ่ม (EO1) ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมคือ ไอโซออกทานอล (Isooctanol) ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ผสมกับน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ (น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร) และเอทานอล โดยผสมในสัดส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ/น้ำมันดีเซล ร้อยละ 60 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วม ร้อยละ 20 โดยปริมาตร และเอทานอล ร้อยละ 20 โดยปริมาตร

งานวิจัยนี้กำหนดตัวแปรต่างๆ ที่ปรากฏในสมการสมมูลมวลสาร (Mass balance equation) ในแต่ละขั้นตอน ดังแสดงในตารางที่ 4-10



ภาพที่ 4- 38 ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ

ตารางที่ 4- 10 ตัวแปรต่างๆ ในขั้นตอน Mass balance equations สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ

No.	ตัวแปร	ความหมาย	หน่วย
1	$M_{Oil, initial}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วก่อนการให้ความร้อน (110 °C)	กรัม (g)
2	$M_{0.3\%FFA, initial}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.3 ก่อนการให้ความร้อน (110 °C)	กรัม (g)
3	$M_{0.4\%FFA, initial}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.4 ก่อนการให้ความร้อน (110 °C)	กรัม (g)
4	$M_{0.5\%FFA, initial}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.5 ก่อนการให้ความร้อน (110 °C)	กรัม (g)
5	$M_{Oil, separated}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วหลังการให้ความร้อน (110 °C)	กรัม (g)
6	$M_{0.3\%FFA, Se}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.3 หลังการให้ความร้อน (110 °C)	กรัม (g)
7	$M_{0.4\%FFA, Se}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.4 หลังการให้ความร้อน (110 °C)	กรัม (g)

ตารางที่ 4-10 ตัวแปรต่างๆ ในขั้นตอน Mass balance equations สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ (ต่อ)

No.	ตัวแปร	ความหมาย	หน่วย
8	$M_{0.5\%FFA, Se}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.5 หลังการให้ความร้อน (110 °C)	กรัม (g)
9	M_W	น้ำหนักน้ำที่ถูกแยกออกหลังการให้ความร้อน (110 °C)	กรัม (g)
10	$M_{Oil, final}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วหลังการกรองด้วยผ้ากรอง	กรัม (g)
11	$M_{0.3\%FFA, final}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.3 หลังการกรองด้วยผ้ากรอง	กรัม (g)
12	$M_{0.4\%FFA, final}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.4 หลังการกรองด้วยผ้ากรอง	กรัม (g)
13	$M_{0.5\%FFA, final}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.5 หลังการกรองด้วยผ้ากรอง	กรัม (g)
14	M_{Solids}	น้ำหนักของแข็งจากการกรองด้วยผ้ากรอง	กรัม (g)
15	$M_{Oil, pretreat}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ	กรัม (g)
16	$M_{0.3\%FFA, pretreat}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.3 ที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ	กรัม (g)
17	$M_{0.4\%FFA, pretreat}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.4 ที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ	กรัม (g)
18	$M_{0.5\%FFA, pretreat}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.5 ที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ	กรัม (g)
19	M_{Diesel}	น้ำหนักน้ำมันดีเซล (Diesel)	กรัม (g)
20	M_{Co-sur}	น้ำหนักสารลดแรงตึงผิวร่วม (Cosurfactant)	กรัม (g)
21	M_{Sur}	น้ำหนักสารลดแรงตึงผิว (Surfactant)	กรัม (g)
22	M_{EtOH}	น้ำหนักเอทานอล (Ethanol)	กรัม (g)
23	$M_{Product}$	น้ำหนักของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน	กรัม (g)
24	$M_{0.3\%FFA, Product}$	น้ำหนักของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.3	กรัม (g)

ตารางที่ 4-10 ตัวแปรต่างๆ ในขั้นตอน Mass balance equations สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ (ต่อ)

No.	ตัวแปร	ความหมาย	หน่วย
25	$M_{0.4\%FFA, Product}$	น้ำหนักของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.4	กรัม (g)
26	$M_{0.5\%FFA, Product}$	น้ำหนักของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.5	กรัม (g)

ขั้นตอนที่ 1 : Pretreatment Process (I)



ภาพที่ 4- 39 สมดุลมวลสารในขั้นตอน Pretreatment Process (I)

จากสมการที่ (4.1) สมการสมดุลมวลสาร เมื่อแทนค่าในขั้นตอน Pretreatment Process (I) ดังแสดงในสมการที่ (4.2) ถึง (4.5)

$$\begin{aligned} \text{Inlet used cooking oil} &= \text{Outlet (Used cooking oil + Water)} \\ M_{Oil, initial} &= M_{Oil, separated} + M_W \quad \dots (4.2) \end{aligned}$$

เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.3%, FFA)

$$\begin{aligned} M_{0.3\%FFA, initial} &= M_{0.3\%FFA, Se} + M_W \quad \dots (4.3) \\ 318.18 &= 317.63 + 0.55 \end{aligned}$$

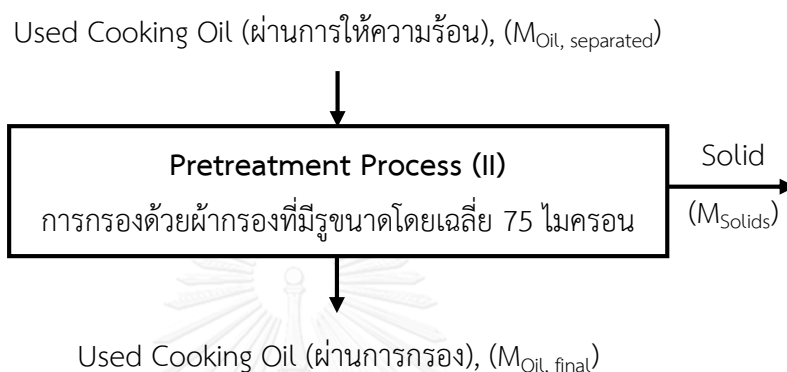
เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.4%, FFA)

$$\begin{aligned} M_{0.4\%FFA, initial} &= M_{0.4\%FFA, Se} + M_W \quad \dots (4.4) \\ 316.10 &= 315.36 + 0.74 \end{aligned}$$

เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.5%, FFA)

$$\begin{aligned} M_{0.5\%FFA, \text{ initial}} &= M_{0.5\%FFA, \text{ Se}} + M_W & \dots (4.5) \\ 317.30 &= 316.37 + 0.93 \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 2 : Pretreatment Process (II)



ภาพที่ 4- 40 สมดุลมวลสารในขั้นตอน Pretreatment Process (II)

จากสมการที่ (4.1) สมการสมดุลมวลสาร เมื่อแทนค่าในขั้นตอน Pretreatment Process (II) ดังแสดงในสมการที่ (4.6) ถึง (4.9)

$$\begin{aligned} \text{Inlet used cooking oil (Separated)} &= \text{Outlet (Oil final + Solids)} \\ M_{\text{Oil, separated}} &= M_{\text{Oil, final}} + M_{\text{Solids}} & \dots (4.6) \end{aligned}$$

เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.3%, FFA)

$$\begin{aligned} M_{0.3\%FFA, \text{ Se}} &= M_{0.3\%FFA, \text{ final}} + M_{\text{Solids}} & \dots (4.7) \\ 317.63 &= 316.70 + 0.92 \end{aligned}$$

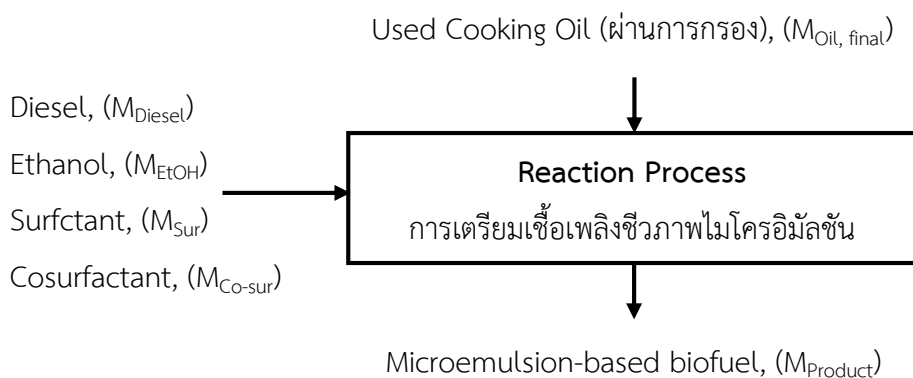
เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.4%, FFA)

$$\begin{aligned} M_{0.4\%FFA, \text{ Se}} &= M_{0.4\%FFA, \text{ final}} + M_{\text{Solids}} & \dots (4.8) \\ 315.36 &= 314.44 + 0.93 \end{aligned}$$

เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.5%, FFA)

$$\begin{aligned} M_{0.5\%FFA, \text{ Se}} &= M_{0.5\%FFA, \text{ final}} + M_{\text{Solids}} & \dots (4.9) \\ 316.37 &= 315.45 + 0.93 \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 3 : Reaction Process



ภาพที่ 4- 41 สมดุลมวลสารในขั้นตอน Reaction Process

จากสมการที่ (4.1) สมการสมดุลมวลสาร เมื่อแทนค่าในขั้นตอน Reaction Process ดังแสดงในสมการที่ (4.10) ถึง (4.13)

$$\begin{aligned} \text{Inlet (Oil final + Substrate)} &= \text{Outlet (Product)} \\ M_{Oil, final} + M_{Diesel} + M_{EtOH} + M_{Sur} + M_{Co-sur} &= M_{Product} \quad \dots (4.10) \end{aligned}$$

เมื่อน้ำมันพืชใช้แล้ว (0.3%, FFA)

$$\begin{aligned} M_{0.3\%FFA, final} + M_{Diesel} + M_{EtOH} + M_{Sur} + M_{Co-sur} &= M_{0.3\%FFA, Product} \quad \dots (4.11) \\ 316.70 + 285.84 + 193.26 + 35.26 + 168.94 &= 1,000 \end{aligned}$$

เมื่อน้ำมันพืชใช้แล้ว (0.4%, FFA)

$$\begin{aligned} M_{0.4\%FFA, final} + M_{Diesel} + M_{EtOH} + M_{Sur} + M_{Co-sur} &= M_{0.4\%FFA, Product} \quad \dots (4.12) \\ 314.44 + 286.79 + 193.90 + 35.38 + 169.50 &= 1,000 \end{aligned}$$

เมื่อน้ำมันพืชใช้แล้ว (0.5%, FFA)

$$\begin{aligned} M_{0.5\%FFA, final} + M_{Diesel} + M_{EtOH} + M_{Sur} + M_{Co-sur} &= M_{0.5\%FFA, Product} \quad \dots (4.13) \\ 315.45 + 286.37 + 193.61 + 35.33 + 169.25 &= 1,000 \end{aligned}$$

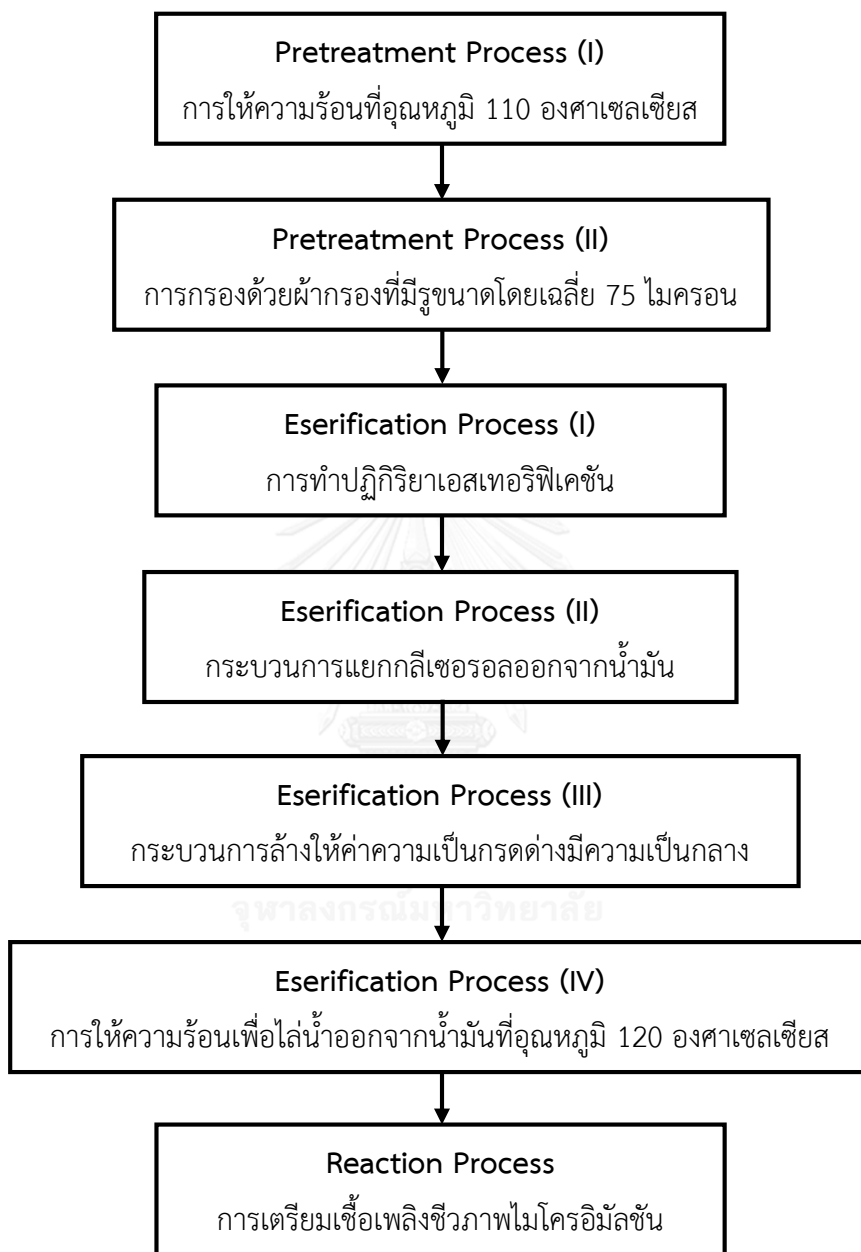
การศึกษาสมดุลมวลสารในการผลิตเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ ดังแสดงในสมการที่ (4.2) ถึง (4.13) ผลผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน 1 Batch (1 กิโลกรัม) สามารถนำไปคำนวณผลผลิตในแต่ละขั้นตอนเพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ

4.4.2 การศึกษาผลผลิตเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยวิธีเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification)

ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้ว เริ่มจากการนำน้ำมันพืชใช้แล้วไปผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการทางกายภาพโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และการกรองด้วยผ้ากรองที่มีรูขนาดเฉลี่ย 75 ไมครอน นำน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ ผ่านขั้นตอนการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยวิธีเอสเทอร์ฟิเคชันด้วยการทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอลที่อุณหภูมิ 60 (± 5) องศาเซลเซียส และทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง กระบวนการแยกกลีเซอรอลออกจากน้ำมัน กระบวนการล้างให้ค่าความเป็นกรดต่างมีความเป็นกลางด้วยน้ำกลั่น และการให้ความร้อนเพื่อไล่น้ำออกจากน้ำมันที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยน้ำมันพืชที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังแสดงเป็น Process flow chart ในภาพที่ 4-42

การเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ใช้สารลดแรงตึงผิวคือ แอลคิลแอลกอฮอล์อีทอกซีเลทที่มีเอทิลีนออกไซด์ 1 กลุ่ม (EO1) ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมคือ ไอโซออกทานอล (Isooctanol) ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ผสมกับน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ (น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร) และเอทานอล โดยผสมในสัดส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ/น้ำมันดีเซล ร้อยละ 90 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วมร้อยละ 5 โดยปริมาตร และเอทานอล ร้อยละ 5 โดยปริมาตร

กำหนดตัวแปรต่างๆ ที่ปรากฏในสมการสมดุลมวลสาร (Mass balance equation) ในการกำจัดกรดไขมันอิสระแต่ละขั้นตอน ดังแสดงในตารางที่ 4-11



ภาพที่ 4- 42 ขั้นตอนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ

ตารางที่ 4- 11 ตัวแปรต่างๆ ในขั้นตอน Mass balance equations สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ

No.	ตัวแปร	ความหมาย	หน่วย
1	$M_{Oil, initial}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วก่อนการให้ความร้อน (110 °C)	กรัม (g)
2	$M_{0.3\%FFA, initial}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.3 ก่อนการให้ความร้อน (110 °C)	กรัม (g)
3	$M_{0.4\%FFA, initial}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.4 ก่อนการให้ความร้อน (110 °C)	กรัม (g)
4	$M_{0.5\%FFA, initial}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.5 ก่อนการให้ความร้อน (110 °C)	กรัม (g)
5	$M_{Oil, separated}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วหลังการให้ความร้อน (110 °C)	กรัม (g)
6	$M_{0.3\%FFA, Se}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.3 หลังการให้ความร้อน (110 °C)	กรัม (g)
7	$M_{0.4\%FFA, Se}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.4 หลังการให้ความร้อน (110 °C)	กรัม (g)
8	$M_{0.5\%FFA, Se}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.5 หลังการให้ความร้อน (110 °C)	กรัม (g)
9	M_w	น้ำหนักน้ำที่ถูกแยกออกหลังการให้ความร้อน (110 °C)	กรัม (g)
10	$M_{Oil, final}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วหลังการกรองด้วยผ้ากรอง	กรัม (g)
11	$M_{0.3\%FFA, final}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.3 หลังการกรองด้วยผ้ากรอง	กรัม (g)
12	$M_{0.4\%FFA, final}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.4 หลังการกรองด้วยผ้ากรอง	กรัม (g)
13	$M_{0.5\%FFA, final}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.5 หลังการกรองด้วยผ้ากรอง	กรัม (g)

ตารางที่ 4-11 ตัวแปรต่างๆ ในขั้นตอน Mass balance equations สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ (ต่อ)

No.	ตัวแปร	ความหมาย	หน่วย
14	M_{Solids}	น้ำหนักของแข็งจากการกรองด้วยผ้ากรอง	กรัม (g)
15	$M_{\text{Oil, pretreat}}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ	กรัม (g)
16	$M_{0.3\%FFA, \text{ pretreat}}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.3 ที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ	กรัม (g)
17	$M_{0.4\%FFA, \text{ pretreat}}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.4 ที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ	กรัม (g)
18	$M_{0.5\%FFA, \text{ pretreat}}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.5 ที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ	กรัม (g)
19	M_{MeOH}	น้ำหนักเมทานอล (Methanol)	กรัม (g)
20	M_{KOH}	น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)	กรัม (g)
21	$M_{\text{Oil, ES}}$	น้ำหนักน้ำมันพืชหลังการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน	กรัม (g)
22	$M_{0.3\%FFA, \text{ ES}}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.3 หลังการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน	กรัม (g)
23	$M_{0.4\%FFA, \text{ ES}}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.4 หลังการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน	กรัม (g)
24	$M_{0.5\%FFA, \text{ ES}}$	น้ำหนักน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.5 หลังการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน	กรัม (g)
25	M_{Glycerol}	น้ำหนักกลีเซอรอล (Glycerol)	กรัม (g)
26	$M_{\text{Oil, ES separated}}$	น้ำหนักน้ำมันที่ผ่านการแยกกลีเซอรอล	กรัม (g)
27	$M_{0.3\%FFA, \text{ Sep}}$	น้ำหนักพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.3 ที่ผ่านการแยกกลีเซอรอล	กรัม (g)

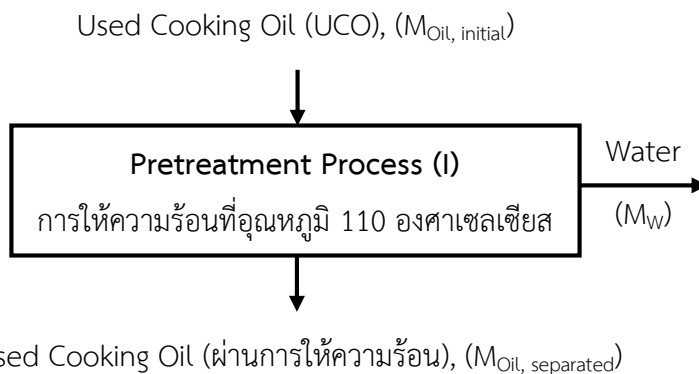
ตารางที่ 4-11 ตัวแปรต่างๆ ในขั้นตอน Mass balance equations สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ
ไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ (ต่อ)

No.	ตัวแปร	ความหมาย	หน่วย
28	$M_{0.4\%FFA, Sep}$	น้ำหนักพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.4 ที่ผ่านการแยกกลีเซอรอล	กรัม (g)
29	$M_{0.5\%FFA, Sep}$	น้ำหนักพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.5 ที่ผ่านการแยกกลีเซอรอล	กรัม (g)
30	$M_{Gly, separated}$	น้ำหนักกลีเซอรอลผ่านการแยกกลีเซอรอล	กรัม (g)
31	M_{Loss}	น้ำหนักที่เกิดการสูญเสียระหว่างขั้นตอน (Loss)	กรัม (g)
32	$M_{Distilled\ water}$	น้ำหนักน้ำกลั่นที่ใช้ในกระบวนการล้าง	กรัม (g)
33	$M_{Oil, washed}$	น้ำหนักน้ำมันที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น	กรัม (g)
34	$M_{0.3\%FFA, washed}$	น้ำหนักพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.3 ที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น	กรัม (g)
35	$M_{0.4\%FFA, washed}$	น้ำหนักพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.4 ที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น	กรัม (g)
36	$M_{0.5\%FFA, washed}$	น้ำหนักพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.5 ที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น	กรัม (g)
37	M_{Waste}	น้ำหนักของเสียที่เกิดระหว่างกระบวนการ	กรัม (g)
38	$M_{Oil, ES\ final}$	น้ำหนักน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ	กรัม (g)
39	$M_{0.3\%FFA, ES\ final}$	น้ำหนักพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.3 ที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ	กรัม (g)
40	$M_{0.4\%FFA, ES\ final}$	น้ำหนักพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.4 ที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ	กรัม (g)
41	$M_{0.5\%FFA, ES\ final}$	น้ำหนักพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.5 ที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ	กรัม (g)
42	M_{Diesel}	น้ำหนักน้ำมันดีเซล (Diesel)	กรัม (g)

ตารางที่ 4-11 ตัวแปรต่างๆ ในขั้นตอน Mass balance equations สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ (ต่อ)

No.	ตัวแปร	ความหมาย	หน่วย
43	M_{Co-sur}	น้ำหนักสารลดแรงตึงผิวร่วม (Cosurfactant)	กรัม (g)
44	M_{Sur}	น้ำหนักสารลดแรงตึงผิว (Surfactant)	กรัม (g)
45	M_{EtOH}	น้ำหนักเอทานอล (Ethanol)	กรัม (g)
46	$M_{Product}$	น้ำหนักของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน	กรัม (g)
47	$M_{0.3\%FFA, Product}$	น้ำหนักของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.3	กรัม (g)
48	$M_{0.4\%FFA, Product}$	น้ำหนักของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.4	กรัม (g)
49	$M_{0.5\%FFA, Product}$	น้ำหนักของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.5	กรัม (g)

ขั้นตอนที่ 1 : Pretreatment Process (I)



ภาพที่ 4- 43 สมดุลมวลสารในขั้นตอน Pretreatment Process (I)

จากสมการที่ (4.1) สมการสมดุลมวลสาร เมื่อแทนค่าในขั้นตอน Pretreatment Process (I) ดังแสดงในสมการที่ (4.13) ถึง (4.16)

$$\begin{aligned} \text{Inlet used cooking oil} &= \text{Outlet (Used cooking oil + Water)} \\ M_{Oil, initial} &= M_{Oil, separated} + M_W \quad \dots (4.13) \end{aligned}$$

เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.3%, FFA)

$$\begin{aligned} M_{0.3\%FFA, initial} &= M_{0.3\%FFA, Se} + M_W \quad \dots (4.14) \\ 1,005.46 &= 1,003.72 + 1.74 \end{aligned}$$

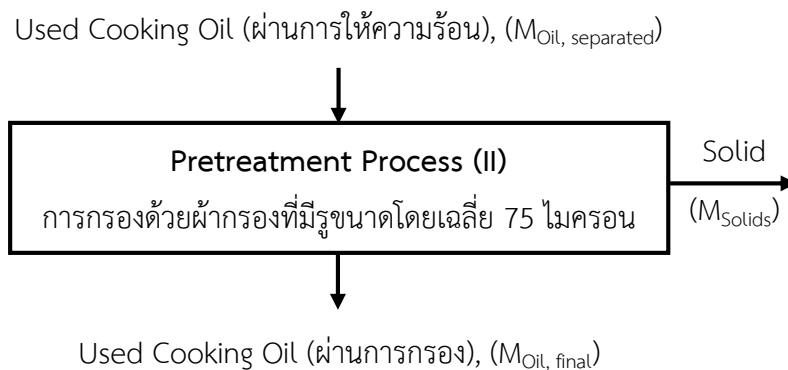
เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.4%, FFA)

$$\begin{aligned} M_{0.4\%FFA, initial} &= M_{0.4\%FFA, Se} + M_W \quad \dots (4.15) \\ 1,183.01 &= 1,180.25 + 2.76 \end{aligned}$$

เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.5%, FFA)

$$\begin{aligned} M_{0.5\%FFA, initial} &= M_{0.5\%FFA, Se} + M_W \quad \dots (4.16) \\ 1,415.02 &= 1,410.92 + 4.10 \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 2 : Pretreatment Process (II)



ภาพที่ 4- 44 สมดุลมวลสารในขั้นตอน Pretreatment Process (II)

จากสมการที่ (4.1) สมการสมดุลมวลสาร เมื่อแทนค่าในขั้นตอน Pretreatment Process (II) ดังแสดงในสมการที่ (4.17) ถึง (4.20)

$$\begin{aligned} \text{Inlet used cooking oil (Separated)} &= \text{Outlet (Oil final + Solids)} \\ M_{Oil, separated} &= M_{Oil, final} + M_{Solids} \quad \dots (4.17) \end{aligned}$$

เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.3%, FFA)

$$\begin{aligned} M_{0.3\%FFA, Se} &= M_{0.3\%FFA, final} + M_{Solids} \quad \dots (4.18) \\ 1,003.72 &= 1,000.70 + 3.02 \end{aligned}$$

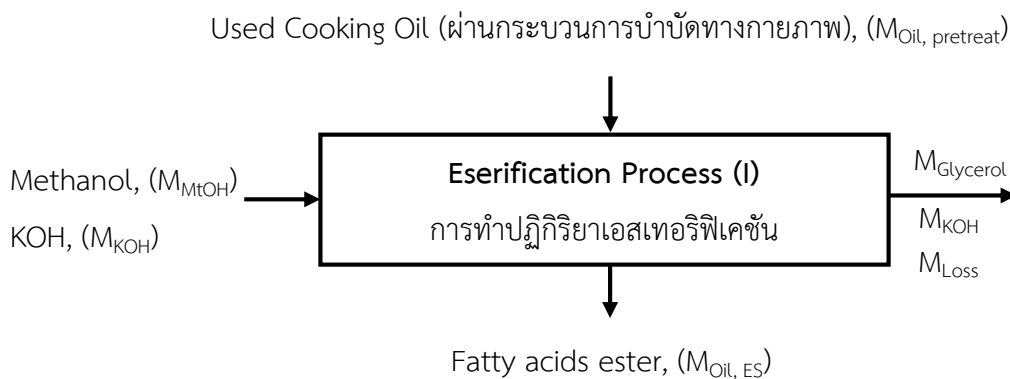
เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.4%, FFA)

$$\begin{aligned} M_{0.4\%FFA, Se} &= M_{0.4\%FFA, final} + M_{Solids} \quad \dots (4.19) \\ 1,180.25 &= 1,176.80 + 3.46 \end{aligned}$$

เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.5%, FFA)

$$\begin{aligned} M_{0.5\%FFA, Se} &= M_{0.5\%FFA, final} + M_{Solids} \quad \dots (4.20) \\ 1,410.92 &= 1,406.80 + 4.11 \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 3 : Esterification Process (I)



ภาพที่ 4- 45 สมดุลมวลสารในขั้นตอน Esterification Process (I)

จากสมการที่ (4.1) สมการสมดุลมวลสาร เมื่อแทนค่าในขั้นตอน Esterification Process (I) ดังแสดงในสมการที่ (4.21) ถึง (4.24)

Inlet (UCO oil + Methanol + Catalyst) = Outlet (Methyl ester + Glycerol + Catalyst)

$$M_{Oil, pretreat} + M_{MtOH} + M_{KOH} = M_{Oil, ES} + M_{Glycerol} + M_{KOH} \quad \dots (4.21)$$

เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.3%, FFA)

$$M_{0.3\%FFA, pretreat} + M_{MtOH} + M_{KOH} = M_{0.3\%FFA, ES} + M_{Glycerol} + M_{KOH} \quad \dots (4.22)$$

$$1,000.70 + 305.65 + 1.20 = 885.70 + 420.64 + 1.20$$

เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.4%, FFA)

$$M_{0.4\%FFA, pretreat} + M_{MtOH} + M_{KOH} = M_{0.4\%FFA, ES} + M_{Glycerol} + M_{KOH} \quad \dots (4.23)$$

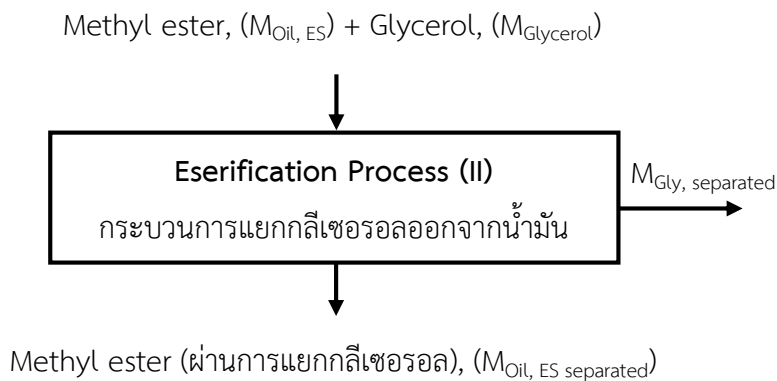
$$1,176.80 + 363.23 + 1.20 = 981.50 + 558.52 + 1.20$$

เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.5%, FFA)

$$M_{0.5\%FFA, pretreat} + M_{MtOH} + M_{KOH} = M_{0.5\%FFA, ES} + M_{Glycerol} + M_{KOH} \quad \dots (4.24)$$

$$1,406.80 + 432.20 + 1.20 = 1,018.98 + 820.02 + 1.20$$

ขั้นตอนที่ 4 : Eserification Process (II)



ภาพที่ 4- 46 สมดุลมวลสารในขั้นตอน Eserification Process (II)

จากสมการที่ (4.1) สมการสมดุลมวลสาร เมื่อแทนค่าในขั้นตอน Eserification Process (II) ดังแสดงในสมการที่ (4.24) ถึง (4.27)

Inlet (Methyl ester + Glycerol) = Outlet (Methyl ester + Glycerol)

$$M_{Oil, ES} + M_{Glycerol} = M_{Oil, ES separated} + M_{Gly, separated} + M_{Loss} \dots (4.24)$$

เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.3%, FFA)

$$M_{0.3\%FFA, ES} + M_{Glycerol} = M_{0.3\%FFA, Sep} + M_{Gly, separated} + M_{Loss} \dots (4.25)$$

$$885.70 + 420.64 = 859.88 + 420.64 + 25.82$$

เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.4%, FFA)

$$M_{0.4\%FFA, ES} + M_{Glycerol} = M_{0.4\%FFA, Sep} + M_{Gly, separated} + M_{Loss} \dots (4.26)$$

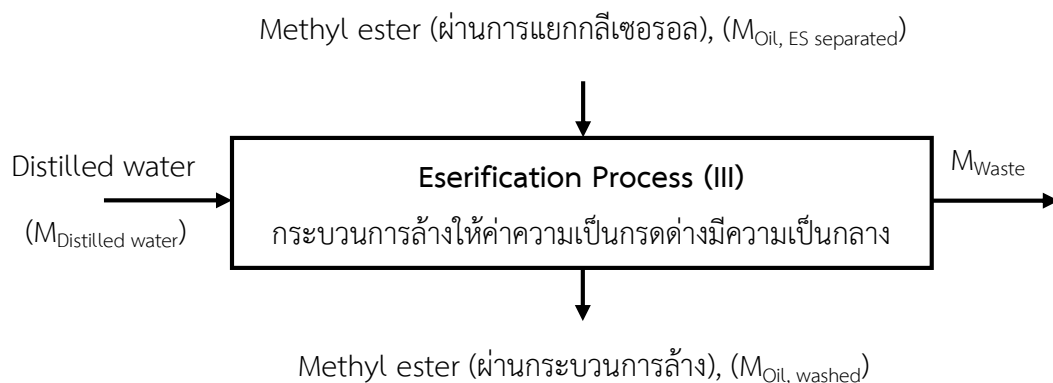
$$981.50 + 558.52 = 950.14 + 558.52 + 31.36$$

เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.5%, FFA)

$$M_{0.5\%FFA, ES} + M_{Glycerol} = M_{0.5\%FFA, Sep} + M_{Gly, separated} + M_{Loss} \dots (4.27)$$

$$1,018.98 + 820.02 = 980.96 + 820.02 + 38.02$$

ขั้นตอนที่ 5 : Esterification Process (III)



ภาพที่ 4- 47 สมดุลมวลสารในขั้นตอน Esterification Process (III)

จากสมการที่ (4.1) สมการสมดุลมวลสาร เมื่อแทนค่าในขั้นตอน Esterification Process (III) ดังแสดงในสมการที่ (4.27) ถึง (4.30)

Inlet (Methyl ester + Distilled water) = Outlet (Methyl ester + Waste)

$$M_{\text{Oil, ES separated}} + M_{\text{Distilled water}} = M_{\text{Oil, washed}} + M_{\text{Waste}} \quad \dots (4.27)$$

เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.3%, FFA)

$$M_{0.3\% \text{FFA, Sep}} + M_{\text{Distilled water}} = M_{0.3\% \text{FFA, washed}} + M_{\text{Waste}} \quad \dots (4.28)$$

$$859.88 + 6,275.13 = 477.71 + 6,657.30$$

เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.4%, FFA)

$$M_{0.4\% \text{FFA, Sep}} + M_{\text{Distilled water}} = M_{0.4\% \text{FFA, washed}} + M_{\text{Waste}} \quad \dots (4.29)$$

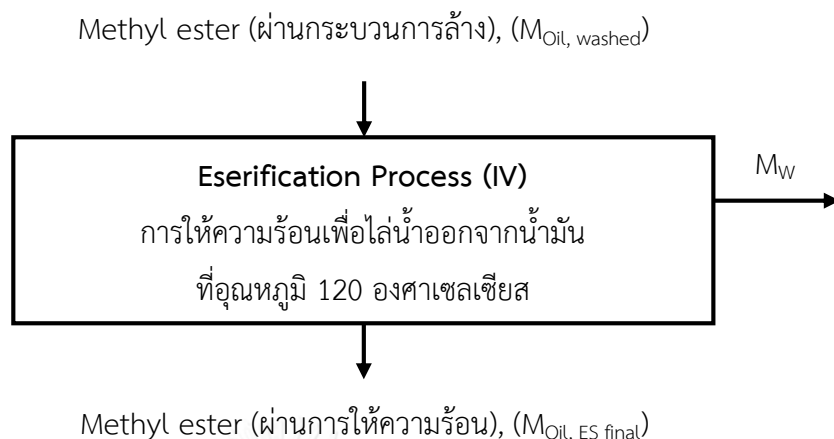
$$950.14 + 7,457.29 = 486.05 + 7,921.39$$

เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.5%, FFA)

$$M_{0.5\% \text{FFA, Sep}} + M_{\text{Distilled water}} = M_{0.5\% \text{FFA, washed}} + M_{\text{Waste}} \quad \dots (4.30)$$

$$980.36 + 8,873.20 = 494.28 + 9,359.88$$

ขั้นตอนที่ 6 : Esterification Process (IV)



ภาพที่ 4- 48 สมดุลมวลสารในขั้นตอน Esterification Process (IV)

จากสมการที่ (4.1) สมการสมดุลมวลสาร เมื่อแทนค่าในขั้นตอน Esterification Process (IV) ดังแสดงในสมการที่ (4.30) ถึง (4.33)

$$\begin{aligned} \text{Inlet (Methyl ester)} &= \text{Outlet (Methyl ester + Water)} \\ M_{Oil, washed} &= M_{Oil, ES final} + M_W \quad \dots (4.30) \end{aligned}$$

เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.3%, FFA)

$$\begin{aligned} M_{0.3\%FFA, washed} &= M_{0.3\%FFA, ES final} + M_W \quad \dots (4.31) \\ 477.71 &= 462.02 + 15.69 \end{aligned}$$

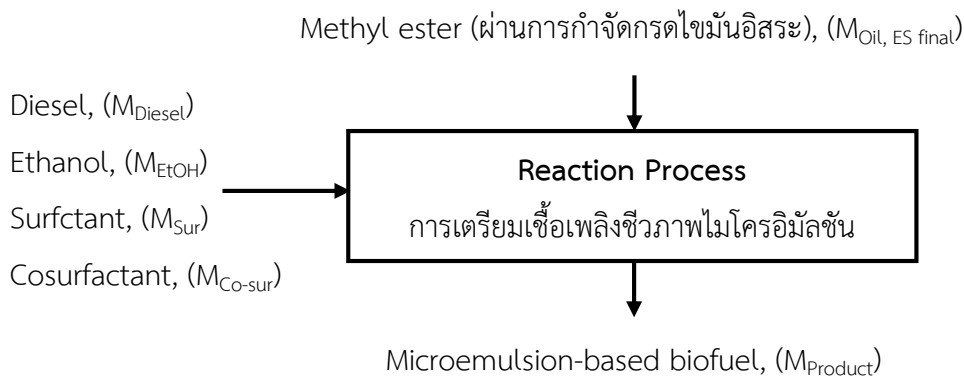
เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.4%, FFA)

$$\begin{aligned} M_{0.4\%FFA, washed} &= M_{0.4\%FFA, ES final} + M_W \quad \dots (4.32) \\ 486.05 &= 467.40 + 18.64 \end{aligned}$$

เมื่อใช้น้ำมันพืชใช้แล้ว (0.5%, FFA)

$$\begin{aligned} M_{0.5\%FFA, washed} &= M_{0.5\%FFA, ES final} + M_W \quad \dots (4.33) \\ 494.28 &= 472.10 + 22.18 \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 7 : Reaction Process



ภาพที่ 4- 49 สมดุลมวลสารในขั้นตอน Reaction Process

จากสมการที่ (4.1) สมการสมดุลมวลสาร เมื่อแทนค่าในขั้นตอน Reaction Process ดังแสดงในสมการที่ (4.34) ถึง (4.37)

$$\begin{aligned} \text{Inlet (Oil final + Substrate)} &= \text{Outlet (Product)} \\ M_{Oil, ES\ final} + M_{Diesel} + M_{EtOH} + M_{Sur} + M_{Co-sur} &= M_{Product} \quad \dots (4.34) \end{aligned}$$

เมื่อนำน้ำมันพืชใช้แล้ว (0.3%, FFA)

$$\begin{aligned} M_{0.3\%FFA, ES\ final} + M_{Diesel} + M_{EtOH} + M_{Sur} + M_{Co-sur} &= M_{0.3\%FFA, Product} \quad \dots (4.35) \\ 462.02 + 436.76 + 49.22 + 8.98 + 43.02 &= 1,000 \end{aligned}$$

เมื่อนำน้ำมันพืชใช้แล้ว (0.4%, FFA)

$$\begin{aligned} M_{0.4\%FFA, ES\ final} + M_{Diesel} + M_{EtOH} + M_{Sur} + M_{Co-sur} &= M_{0.4\%FFA, Product} \quad \dots (4.36) \\ 467.40 + 432.39 + 48.72 + 8.89 + 42.59 &= 1,000 \end{aligned}$$

เมื่อนำน้ำมันพืชใช้แล้ว (0.5%, FFA)

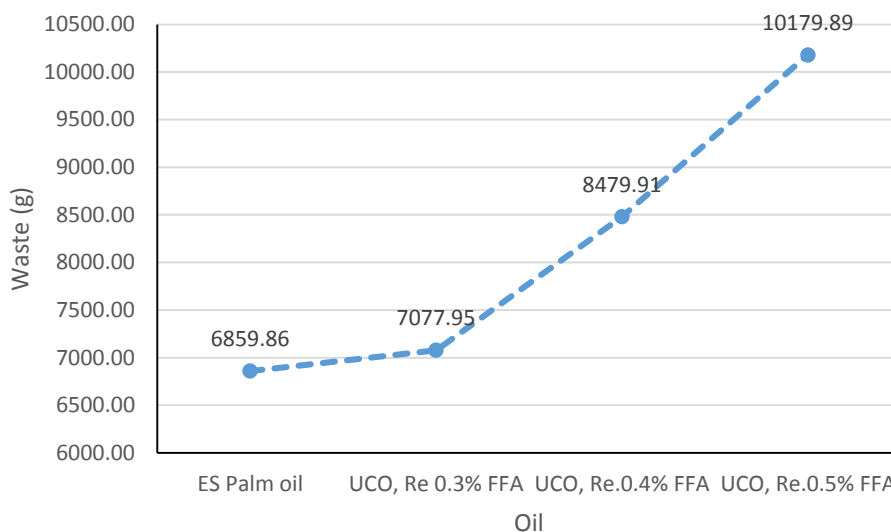
$$\begin{aligned} M_{0.5\%FFA, ES\ final} + M_{Diesel} + M_{EtOH} + M_{Sur} + M_{Co-sur} &= M_{0.5\%FFA, Product} \quad \dots (4.37) \\ 472.10 + 428.58 + 48.29 + 8.81 + 42.22 &= 1,000 \end{aligned}$$

การศึกษาสมดุลมวลสารในการผลิตเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ ดังแสดงในสมการที่ (4.13) ถึง (4.37) ผลผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน 1 Batch (1 กิโลกรัม) สามารถนำไปคำนวณผลผลิตในแต่ละขั้นตอนเพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ

4.5 การศึกษาปริมาณของเสียจากการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

การศึกษาปริมาณของเสียจากการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้ว และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระด้วยวิธีเอสเทอร์ฟิเคชัน จากการนำน้ำมันพืชใช้แล้วไปผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยกระบวนการทางกายภาพโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส และการกรองด้วยผ้ากรองที่มีรูขนาดโดยเฉลี่ย 75 ไมครอน นำน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ ผ่านขั้นตอนการกำจัดกรดไขมันอิสระด้วยวิธีเอสเทอร์ฟิเคชัน ด้วยการทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอลที่อุณหภูมิ 60 (\pm 5) องศาเซลเซียส และทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง กระบวนการแยกกลีเซอรอลออกจากน้ำมัน กระบวนการล้างให้ค่าความเป็นกรดต่างมีความเป็นกลางด้วยน้ำกลั่น และการให้ความร้อนเพื่อไล่น้ำออกจากน้ำมันที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยน้ำมันพืชที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

การเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ใช้สารลดแรงตึงผิวคือ แอลคิลแอลกอฮอล์อีทอกซีเลทที่มีเอทิลีนออกไซด์ 1 กลุ่ม (EO1) ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมคือ ไอโซออกทานอล (Isooctanol) ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ผสมกับน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ (น้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร) และเอทานอล โดยผสมในสัดส่วนของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ/น้ำมันดีเซล ร้อยละ 90 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วม ร้อยละ 5 โดยปริมาตร และเอทานอล ร้อยละ 5 โดยปริมาตร การบันทึกปริมาณของเสียในแต่ละขั้นตอนการศึกษา ได้แก่ กระบวนการแยกกลีเซอรอลออกจากน้ำมัน และกระบวนการล้างให้ค่าความเป็นกรดต่างมีความเป็นกลาง ($\text{pH} = 7$) ประเภทของเสียเป็นกลีเซอรอล น้ำ และน้ำมัน



ภาพที่ 4- 50 ผลการเปรียบเทียบปริมาณของเสียจากการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้ว และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ

การศึกษาของเสียจากการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วปริมาณกรดไขมันอิสระ ได้แก่ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ ดังแสดงในภาพที่ 4-50 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของเสียพบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์มีปริมาณของเสียเฉลี่ย ได้แก่ 6.86 7.08 8.48 และ 10.18 กิโลกรัม ตามลำดับ

ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วมากขึ้นร้อยละ 0.1 จะส่งผลต่อการเกิดปริมาณของเสียคือ ทำให้ปริมาณของเสียเพิ่มขึ้น 1.55 (± 0.21) กิโลกรัม อาจเนื่องมาจากน้ำมันพืชใช้แล้วมีกรดไขมันอิสระจึงต้องการปริมาณเมทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากเกินไปเพื่อเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ (Fatty acids methyl ester, FAME) สอดคล้องกับงานวิจัยของภัทรติกรณ์ รักษาศักดิ์ศรี (2012) พบว่าเมื่อปริมาณกรดไขมันอิสระ (%FFA) ในน้ำมันพืชเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลผลิตกรดไขมันเอสเทอร์ (%FAME) และร้อยละผลผลิตกรดไขมันเอสเทอร์ลดลง (%Yield)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ และความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของกรดไขมันอิสระต่อการเกิดกระบวนการไมโครอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน และลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยศึกษาการปรับสภาพน้ำมันพืชใช้แล้วขั้นต้น ได้แก่ กระบวนการบำบัดทางกายภาพโดยกลไกการให้ความร้อน และกรองผ่านผ้ากรองที่มีรูขนาดเฉลี่ย 75 ไมครอน และการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่าน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการปรับสภาพขั้นต้นสามารถนำมาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 การศึกษาวัฏภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

การศึกษาวัฏภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเปรียบเทียบกับชนิดของน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการปรับสภาพและมีปริมาณกรดไขมันอิสระแตกต่างกัน โดยในองค์ประกอบจะผสมน้ำมันพืช/น้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร ผสมกับสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุคือ แอลคิลแอลกอฮอล์อีทอกซิลเอทที่มีเอทิลีนออกไซด์ 1 กลุ่ม (EO₁) และสารลดแรงตึงผิวร่วมคือ ไอโซออกทานอล (Isooctanol) ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ผสมกับเอทานอล (Ethanol 95%) ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน

- เมื่อปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชมากขึ้นส่งผลต่อการเกิดวัฏภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันคือทำให้ใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมในการทำใหัรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันน้อยลง เนื่องจากกรดไขมันอิสระมีสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิว
- น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระส่งผลต่อการเกิดวัฏภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันคือทำให้ใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมในการทำใหัรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันน้อยกว่าน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ เนื่องจากการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยวิธีเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้น้ำมันพืชเปลี่ยนโครงสร้างจากไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ มอนอกลิเซอไรด์ และกรดไขมันอิสระ ให้อยู่ในรูปของกรดไขมันเอสเทอร์ (Fatty acids ester) ที่มีลักษณะสมบัติทางกายภาพคือค่าความหนืดน้อยกว่า
- โครงสร้างสารลดแรงตึงผิวร่วมที่เป็นไอโซเมอร์กัน ไม่มีผลต่อการเกิดวัฏภาคของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน

5.1.2 สัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้ว ที่ผ่านการปรับสภาพขั้นต้นได้แก่ กระบวนการบำบัดทางกายภาพ และการกำจัดกรดไขมันอิสระ พิจารณาจากปริมาณสารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วม ปริมาณน้ำมันพืช/น้ำมันดีเซล ปริมาณเอทานอลและค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ ได้แก่

- สัดส่วนวัฏภาคน้ำมัน (น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ/ดีเซล) วัฏภาคของน้ำ (เอทานอล) และสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม ในสัดส่วนร้อยละ 60:20:20 โดยปริมาตร เนื่องจากเป็นสัดส่วนที่ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ผ่านมาตรฐาน
- สัดส่วนวัฏภาคน้ำมัน (น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ/ดีเซล) วัฏภาคของน้ำ (เอทานอล) และสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม ในสัดส่วนร้อยละ 90:5:5 โดยปริมาตร เนื่องจากเป็นสัดส่วนที่ใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิว/สารลดแรงตึงผิวร่วม และปริมาณเอทานอลน้อย ปริมาณน้ำมันพืช/น้ำมันดีเซลมากในการทำให้องค์ประกอบรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน

5.1.3 การศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

การศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่น จุดขุ่น จุดไหลเท ค่าความร้อน ค่าความเป็นกรด ปริมาณน้ำ และกากคาร์บอน เปรียบเทียบมาตรฐานเชื้อเพลิงไบโอดีเซล (ASTM D6751)

- เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากสัดส่วนที่เหมาะสมมีสมบัติความหนืด ความหนาแน่น จุดขุ่น จุดไหลเท ค่าความร้อน ค่าความเป็นกรด และกากคาร์บอน ผ่านมาตรฐาน และสมบัติปริมาณน้ำ ไม่ผ่านมาตรฐาน
- เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระได้แก่ ร้อยละ 0.3 0.4 และ 0.5 และน้ำมันพืชบริสุทธิ์มีค่าความหนืด ความหนาแน่น จุดขุ่น จุดไหลเท ความร้อน ปริมาณน้ำ และกากคาร์บอน ไม่แตกต่างกัน
- เมื่อปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชมากขึ้นส่งผลต่อค่าความเป็นกรดคือ ค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเพิ่มขึ้น
- โครงสร้างสารลดแรงตึงผิวร่วมที่เป็นไอโซเมอร์กันสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันไม่แตกต่างกัน
- น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระมีสมบัติของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน ได้แก่ ค่าความหนืด จุดขุ่น ความร้อน และปริมาณน้ำ ต่ำกว่าน้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. น้ำมันพืชใช้แล้วในการศึกษาเป็นน้ำมันพืชชนิดปาล์ม ซึ่งเป็นน้ำมันพืชชนิดที่ใช้กันมากที่สุดในประเทศไทย อย่างไรก็ตามน้ำมันพืชใช้แล้วจากครัวเรือนเป็นน้ำมันพืชหลายชนิดผสมกัน ทั้งนี้ น้ำมันพืชใช้แล้วชนิดอื่นๆ จึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจในการนำมาศึกษาพัฒนาต่อไป
2. ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วที่แตกต่างกันมีผลต่อผลผลิตและของเสียในกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ ดังนั้น น้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงจึงไม่เหมาะสมในการนำมาผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน
3. การกำจัดกรดไขมันอิสระโดยวิธีเอสเทอร์ฟิเคชัน ควรเปลี่ยนชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาและปริมาณแอลกอฮอล์ในการทำปฏิกิริยาให้มากเกินพอ เพื่อให้ผลผลิตน้ำมันมากขึ้น และปริมาณของเสียลดลง
4. สมบัติปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันไม่ผ่านมาตรฐานเนื่องจากสัดส่วนปริมาณเอทานอลสูงในองค์ประกอบ ดังนั้นจึงควรเปลี่ยนตัวแทนวัตถุดิบที่มีขั้วเป็นชนิดอื่น เช่น บิวทานอล เนื่องจากบิวทานอลสามารถทำให้ใช้ปริมาณเอทานอลในองค์ประกอบลดลง

5.3 ความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

พลังงานเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมเป็นสาเหตุให้เกิดภาวะโลกร้อน (Greenhouse effect) การค้นคว้าแหล่งเชื้อเพลิงที่สามารถทดแทนสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมจึงเป็นสิ่งที่จะต้องตระหนัก เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจัดเป็นพลังงานทางเลือกที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียม เนื่องจากช่วยลดปริมาณการปล่อยมลพิษสู่บรรยากาศ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC) น้ำมันพืชใช้แล้วจัดเป็นของเสียที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหากมีการจัดการที่ไม่ถูกต้อง ดังนั้นการนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจึงจัดเป็นการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้อีกทางหนึ่ง น้ำมันพืชใช้แล้วมีลักษณะสมบัติคือความหนืดสูง หากนำไปใช้กับเครื่องยนต์โดยตรงจะส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์ การลดความหนืดของน้ำมันพืชมีหลายวิธีโดยวิธีไมโครอิมัลชันเป็นวิธีลดความหนืดที่ใช้พลังงานน้อยกว่าวิธีอื่นๆ และไม่ก่อให้เกิดผลพลอยได้ในการผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการนำน้ำมันพืชใช้แล้วผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน และเป็นแนวทางแก่ผู้ประกอบการในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

รายการอ้างอิง

- Abdullah, N. H., Hasan, S.H., & Mohd Yusoff, N.R. 2013. Biodiesel Production Based on Waste Cooking Oil (WCO). *International Journal of Materials Science and Engineering*, 1: 94-99.
- Anzanello, M., Fu, K., Fogliatto, F. F., & Ferrao, M. F. 2015. HATR–FTIR wavenumber selection for predicting biodiesel/diesel blends flash point. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 45: 1-6.
- Apichatyothin, W. 2015. *Formation of Vegetable Oil based Microemulsion Biofuel with Ethanol/Butanol in Palm Oil/Diesel Blends*. (Master of Science), Chulalongkorn University, Chulalongkorn University.
- Arenamart, S. 2004. *Ethanol Conversion to Light Olefins using Mordenite Catalysts*. Chulalongkorn University.
- Arpornpong, N. 2013. *Alternative Renewable Biofuel from Palm oil-Diesel based Reverse micelle Microemulsion*. Chulalongkorn University.
- Arpornpong, N., Attaphong, C., Charoensaeng, A., Sabatini, D. A., & Khaodhiar, S. 2014. Ethanol-in-palm oil/diesel microemulsion-based biofuel: Phase behavior, viscosity, and droplet size. *Fuel*(132): 101-106.
- Atadashi, I. M., Aroua, M. K., Aziz, A. R. A., Sulaiman, N. M. N. 2012. The effects of water on biodiesel production and refining technologies: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16: 3456– 3470.
- Attaphong, C., & Sabatini, D. A. 2013. Phase Behaviors of Vegetable Oil-Based Microemulsion Fuels: The Effects of Temperatures, Surfactants, Oils, and Water in Ethanol. *Energy Fuels*, 27: 6773-6780.
- Attaphong, C., Do, L., & Sabatini, D. A. 2012. Vegetable oil-based microemulsions using carboxylate-based extended surfactants and their potential as an alternative renewable biofuel. *Fuel*(94): 606-613.
- Attaphong, C., Singh, V., Balakrishnan, A., Do, L. D., Arpornpong, N., Parthasarathy, R. N., Gollahalli, S. R., Khaodhiar, S., & Sabatini, D. A. 2015. Phase Behaviors, Fuel

- Properties, and Combustion Characteristics of Alcohol-Vegetable Oil-Diesel Microemulsion Fuels. *International Journal of Green Energy*, 1: 1-60.
- Balat, M. 2008. Modeling Vegetable Oil Viscosity. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 30: 1856-1869.
- Bampi, M., Scheer, A. D. P., & Castilhos, F. D. 2013. Application of near infrared spectroscopy to predict the average droplet size and water content in biodiesel emulsions. *Fuel*, 113: 546-552.
- Berchmans, H. J., & Hirata, S. 2008. Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. seed oil with a high content of free fatty acids. *Bioresource Technology*, 99: 1716-1721.
- Bernardes, M. A. D. S. 2011. *Biofuel's Engineering Process Technology* (Vol. 1): InTech.
- Boog, J. H. F., Silveira, E. L. C., Caland, L. B. D., & Tubino, M. 2011. Determining the residual alcohol in biodiesel through its flash point. *Fuel*, 90: 905-907.
- Bora, P., Konwar, L. J., Phukan, M. M., Deka, D., & Konwar, B. K. 2015. Microemulsion based hybrid biofuels from *Thevetia peruviana* seed oil: Structural and dynamic investigations. *Fuel*, 157: 208-218.
- Bouaid, A., Vázquez, R., Martínez, M., & Aracil, J. 2016. Effect of free fatty acids contents on biodiesel quality. Pilot plant studies. *Fuel*, 174: 54-62.
- Bozbas, K. 2005. Biodiesel as an alternative motor fuel: Production and policies in the European Union. *ELSEVIER*, 2008: 542-552.
- Carareto, N. D. D., Kimura, C. Y. C. S., Oliveira, E. C., Costa, M. C., & Meirelles, A. J. A. 2012. Flash points of mixtures containing ethyl esters or ethylic biodiesel and ethanol. *Fuel*, 96: 19-326.
- Chhetri, A. B., Watts, K. C., & Islam, M. R. 2008. Waste Cooking Oil as an Alternate Feedstock for Biodiesel Production. *Energies*, 1: 3-18.
- Demirbas, A. 2008. *Biodiesel A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines* (Vol. 1): Springer.
- Do, L. D., Singh, V., Chen, L., Kibbey, T. C. G., Gollahalli, S. R., & Sabatini, D. A. 2011. Algae, Canola, or Palm Oils—Diesel Microemulsion Fuels: Phase Behaviors, Viscosity, and Combustion Properties. *International Journal of Green Energy*, 8: 748-767.

- Do, L. D., Withayapayanon, A., Harwell, J. H., & Sabatini, D. A. 2009. Environmentally Friendly Vegetable Oil Microemulsions Using Extended Surfactants and Linkers. *J Surfact Deterg*, 12: 91-99.
- Espinosa, E. A. M., Rodríguez, R. P., Pérez, L. G., Sierens, R., & Verhelst, S. 2015. Emulsification of animal fats and vegetable oils for their use as a diesel engine fuel: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(47): 623-633.
- Fernandes, D. M., Santos, D. Q., Vieira, D. F., Munoz, R. A. A. 2014. Development of an algorithm for correction of specific gravity of biodiesel. *Renewable Energy*, 63: 507e510.
- Fernando, S., & Hanna, M. 2004. Development of a Novel Biofuel Blend Using Ethanol-Biodiesel-Diesel Microemulsions: EB-Diesel. *Energy & Fuels*, 18: 1695-1703.
- Fregolente, P. B. L., & Maciel, M. R. W. 2012. Water absorbing material to removal water from biodiesel and diesel. *Procedia Engineering*, 42: 1983 – 1988.
- Fregolente, P. B. L., Fregolente, L. V., & Maciel, M. R. W. 2012. Water Content in Biodiesel, Diesel, and Biodiesel–Diesel Blends. *journal of Chemical & Engineering data*, 57: 1817–1821.
- Gnanaprakasam, A., Sivakumar, V. M., Sivakumar, A., Thirumarimurugan, M., & Kannadasan, T. 2013. Recent Strategy of Biodiesel Production from Waste Cooking Oil and Process Influencing Parameters: A Review. *Journal of Energy*, 1: 1-10.
- Graciaa, A. 1982. HLB, CMC, and Phase Behavior as Related to Hydrophobe Branching. *Journal of Colloid and Interface Science*, 89: 209-216.
- Guo, Y., Wei, H., Yang, F., Li, D., Fang, W., & Lin, R. 2009. Study on volatility and flash point of the pseudo-binary mixtures of sunflowerseed-based biodiesel+ethanol. *Journal of Hazardous Materials*, 167: 625–629.
- Hong, I. K., Lee, J. R. & Lee, S. B. 2015. Fuel properties of canola oil and lard biodiesel blends: Higher heating value, oxidative stability, and kinematic viscosity. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 22: 335–340.
- Hossain, A. B. M. S., & Boyce, A. N. 2009. Biodiesel Production from Waste Sunflower cooking oil as an Environmental Recycling Process and Renewable Energy. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 15: 312-317.

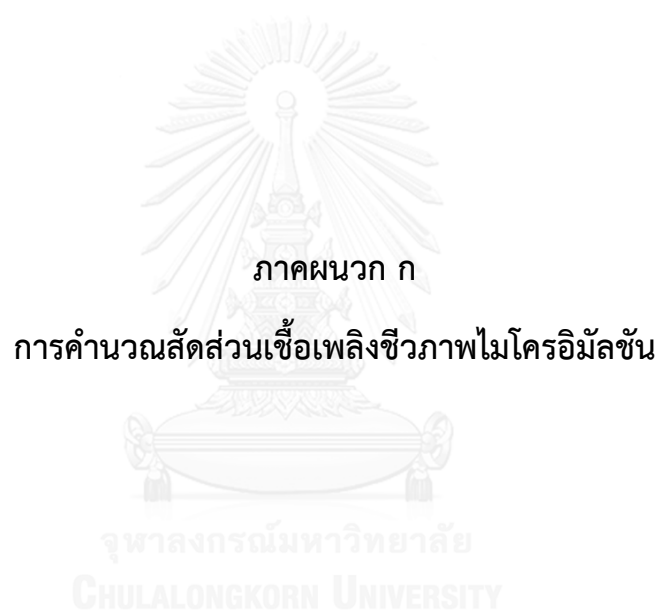
- Hou, C. T., & Shaw J. F. 2008. *Biocatalysis and Bioenergy* (Vol. 1): John Wiley & Sons.
- Knothe, G., Gerpen, J. V., & Krahl, J. 2005. *The Biodiesel Handbook* (Vol. 1): AOCS.
- Koh, E., & Surh, J. 2015. Food types and frying frequency affect the lipid oxidation of deep frying oil for the preparation of school meals in Korea. *Food Chemistry*, 174: 467–472.
- Kotwal, M., Deshpande, S. S., & Srinivas, D. 2011. Esterification of fatty acids with glycerol over Fe–Zn double-metal cyanide catalyst. *Catalysis Communications*, 12: 1302–1306.
- Lee, S., & Shah, Y.T. 2013. *Biofuel and Bioenergy: Processes and Technologies*: CRC press.
- Leung, D. Y. C., & Guo, Y. 2006. Transesterification of neat and used frying oil: Optimization for biodiesel production. *Fuel Processing Technology*, 81: 883–890.
- Li, X., Wu, X., Liu, R., Jin, Q., & Wang, Q. 2015. Effect of frying conditions on fatty acid profile and total polar materials via viscosity. *Journal of Food Engineering*, 166: 349–355.
- Ma, F., & Hanna, M. A.,. 1999. Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology*(70): 1-15.
- Macharoen, K. 2010. *HLB of Tween 80/ Span 80 Effect on Microemulsions system for Methotrexate delivery*. Chulalongkorn University.
- Man, Y. B. C., Moh, M.H., & Voort, F. R. V. D. 1999. Determination of Free Fatty Acids in Crude Palm Oil and Refined-Bleached-Deodorized Palm Olein Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76: 485-490.
- Mejía, J. D., Salgado, N., & Orrego, C. E. 2013. Effect of blends of Diesel and Palm-Castor biodiesels on viscosity, cloud point and flash point. *Industrial Crops and Products*, 43: 791– 797.
- Meng, X., Chen, G., & Wang, Y. 2008. Biodiesel production from waste cooking oil via alkali catalyst and its engine test. *Fuel Processing Technology*, 89: 851 – 857.

- Mirghani, M. E. S., Kabbashi, N. A., Alam, M. Z., Qudsieh, I. Y., & Alkatib, M. F. R. 2011. Rapid Method for the Determination of Moisture Content in Biodiesel Using FTIR Spectroscopy. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 88: 1897–1904.
- Mostafa, N. A., Maher, A., & Abdelmoez, W. . 2013. Production of mono-, di-, and triglycerides from waste fatty acids through esterification with glycerol. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 4: 900-907.
- Neto, D. A. A., Fernandes, M. R., Barros Neto, E. L., Castro Dantas, T. N., & Moura, M. C. P. A. 2013. Effect of Biodiesel/Diesel-based Microemulsions on the Exhaust emissions of a Diesel engine. *Brazilian Journal of Petroleum and Gas*, 7: 141-153.
- Owolabi, R. U., Osiyemi, N. A., Amosa, M. K., & Ojewumi, M. E. . 2011. Biodiesel from Household/Restaurant Waste Cooking Oil (WCO). *Chemical Engineering & Process Technology*, 2: 112.
- Patil, P. D., Chavan, N.S., & Sabale, A.B. 2011. Sonneratia Alba J. Smith- A Vital source of Gamma linolenic acid (GLA). *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 5: 172-175.
- Phankosol, S., Sudaprasert, K., Lilitchan, S., Aryusuk, K., & Krisnangkura, K. 2014. Estimation of Density of Biodiesel. *Energy & Fuels*, 1: 4633-4641.
- Pratas, M. J., Freitas, S. V. D., Oliveira, M. B., Monteiro, S. C., Lima, A. S., & Coutinho, J. A. P. 2011. Biodiesel Density: Experimental Measurements and Prediction Models. *Energy & Fuels*, 25: 2333-2340.
- Reijnders, L., & Huijbregts, M. A. J. 2009. *Biofuels for Road Transport A Seed to Wheel Perspective*: Green Energy and Technology.
- Rosen, M. J. 2004. *Surfactants and Interfacial Phenomena* (Vol. 3): John Wiley & Sons.
- Rukunudin, I. H., White, P. J., Bern, C. J., & Bailey, T. B. 1998. A Modified Method for Determining Free Fatty Acids from Small Soybean Oil Sample Sizes. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 75: 563-568.
- Sanli, H., Canakci, M. & Alptekin, E. 2014. Predicting the higher heating values of waste frying oils as potential biodiesel feedstock. *Fuel*, 115: 850–854.

- Sarin, A., Arora, R., Singh, N. P., Sarin, R., Malhotra, R. K. & Kundu, K. 2009. Effect of blends of Palm-Jatropha-Pongamia biodiesels on cloud point and pour point. *Energy*, 34: 2016–2021.
- Schick, M. J., & Hubbard, A. T. 2008. *Microemulsions Properties and Applications*: CRC press.
- Schwab, A. W., Bagby, M. O., & Freedman B. 1987. Preparation and properties of diesel fuels from vegetable oils. *Fuel*, 66: 1372-1378.
- Sengupta, D., & Pike, R. W. 2013. *Chemicals from Biomass Integrating Bioprocesses into Chemical Production Complexes for Sustainable Development*: CRC press.
- Silva, T. A. R. D., Santos, D. Q., Lima, A. P. D., & Neto, W. B., . 2013. Model For The Correction of The Specific Gravity Of Biodiesel from Residual oil. *Independent Journal of Management & Production*, 4: 136-147.
- Stedile, T., Ender, L., Meier, H.F., Simionatto, E.L., & Wiggers, V.R. 2015. Comparison between physical properties and chemical composition of bio-oils derived from lignocellulose and triglyceride sources. *Renewable and Sustainable Energy*, 50: 92-108.
- Stoytcheva, M. 2011. *Biodiesel - Feedstocks and Processing Technologies*: InTech.
- Tan, C. P., & Man, C. Y. B. 1999. Differential scanning calorimetric analysis for monitoring the oxidation of heated oils. *Food Chemistry*, 67: 177-184.
- Tat, M. E., & Gerpen, J. H. V. 2000. The Specific Gravity of Biodiesel and Its Blends with Diesel Fuel. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 77: 115-119.
- Tiwari, A. K., Kumar, A., & Raheman, H. 2007. Biodiesel production from jatropha oil (*Jatropha curcas*) with high free fatty acids: An optimized process. *Biomass and Bioenergy*, 31: 569–575.
- Verissimo, M. I. S. G., M. T. S. R. 2011. Assessment on the use of biodiesel in cold weather: Pour point determination using a piezoelectric quartz crystal. *Fuel*, 90: 2315–2320.
- Verma, P., Sharma, M. P. & Dwivedi, G. 2016. Evaluation and enhancement of cold flow properties of palm oil and its biodiesel. *Energy Reports*, 2: 8-13.

- Yang, S. T., Enshasy, H. A. E., & Thongchul, N. 2013. *Bioprocessing Technologies in Biorefinery for Sustainable Production of Fuels, Chemicals, and Polymers* (Vol. 1): John Wiley & Sons.
- Zhang, Y., Dube, M. A., Mclean, D. D., & Kates, M. 2003. Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment. *Bioresour. Technol.*, 89: 1-16.
- ณัฐพร สรสุชาติ. 2557. การใช้ซอร์บิแทนเอสเทอร์ทดแทนสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิจวรรณ อนันตรกิตติ. 2557. ผลของโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภัทรติกรณ์ รักษ์ศักดิ์ศรี. 2555. การผลิตและตรวจสอบคุณภาพของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่มีกรดไขมันอิสระแตกต่างกัน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิภาวรรณ กาฬสุวรรณ. 2550. ผลของการใช้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองกับปาล์มโอเลอินที่มีผลต่อการเกิดสารประกอบมีซัลเฟอร์ระหว่างกระบวนการทอดมันฝรั่งแบบน้ำมันท่วม. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศศิวิมล วิชาดี. 2557. ผลของไกลคอลอีเทอร์ต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริณี เพ็งปรีชา. 2557. ผลของลักษณะสมบัติของน้ำมันพืชต่อลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมด้วยวิธีการไมโครอิมัลชันโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.





ตัวอย่างที่ ก-1 ตัวอย่างการคำนวณสัดส่วนในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เพื่อศึกษาวิฤภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากแผนภาพสามเหลี่ยม

เตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมัน (น้ำมันพืชใช้แล้ว/ดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร) 5 มิลลิลิตร ผสมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุประเภทแอลคิลแอลกอฮอล์อีทอกซีเลทที่มีอีทอกซีเลท 1 กลุ่ม (EO₁) ที่ความเข้มข้น 0.025 โมลาร์ สารลดแรงตึงผิวรวมไอโซออกทานอล (Isooctanol) 0.2 โมลาร์ และเอทานอล 1 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned}
 \text{EO}_1 &= \frac{(\text{Molar}) \times (\text{MW}) \times (\text{Volume})}{(\% \text{ Purity}) \times (\text{Density})} \\
 &= \frac{(0.025 \text{ mol/l}) \times (217.15 \text{ g/mol}) \times (6 \text{ ml}) \times \left(\frac{1 \text{ l}}{1,000 \text{ ml}}\right)}{(0.99) \times (0.837 \text{ g/ml})} \\
 &= 0.0275 \text{ ml} \\
 \\
 \text{Isooctanol} &= \frac{(\text{Molar}) \times (\text{MW}) \times (\text{Volume})}{(\% \text{ Purity}) \times (\text{Density})} \\
 &= \frac{(0.02 \text{ mol/l}) \times (130.23 \text{ g/mol}) \times (6 \text{ ml}) \times \left(\frac{1 \text{ l}}{1,000 \text{ ml}}\right)}{(0.99) \times (0.833 \text{ g/ml})} \\
 &= 0.1315 \text{ ml} \\
 \\
 \text{EO}_1 + \text{Isooctanol} &= 0.0275 + 0.1315 = 0.1590 \text{ ml} \\
 \text{Total} &= 6 + 0.1590 = 6.1590 \text{ ml}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{EO}_1 + \text{Isooctanol (\%)} &= \frac{(\text{Volume of surfactant and cosurfactant}) \times (100)}{(\text{Total})} \\
 &= \frac{(0.1590 \text{ ml}) \times (100)}{(6.1590 \text{ ml})} \\
 &= 2.58 \text{ \% by volume}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Oil (\%)} &= \frac{(\text{Volume of oil}) \times (100)}{(\text{Total})} \\
 &= \frac{(5 \text{ ml}) \times (100)}{(6.1590 \text{ ml})} \\
 &= 81.18 \text{ \% by volume}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ethanol (\%)} &= \frac{(\text{Volume of ethanol}) \times (100)}{(\text{Total})} \\
 &= \frac{(1 \text{ ml}) \times (100)}{(6.1590 \text{ ml})} \\
 &= 16.24 \text{ \% by volume}
 \end{aligned}$$

$$\text{Total (\%)} = 2.58 + 81.18 + 16.24 = 100\%$$

ตัวอย่างที่ ก-2 ตัวอย่างการคำนวณสัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ปริมาตรรวม 10 มิลลิลิตร

น้ำมัน (น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ/ดีเซลที่อัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร) ร้อยละ 60 โดยปริมาตร

สารลดแรงตึงผิวแอลคิลแอลกอฮอล์อีทอกซีเลทที่มีเอทิลีนออกไซด์ 1 กลุ่ม (EO₁) ผสมไอโซออกทานอล (Isooctanol) อัตราส่วน 1:8 โดยโมล ร้อยละ 20 โดยปริมาตร

เอทานอล ร้อยละ 20 โดยปริมาตร

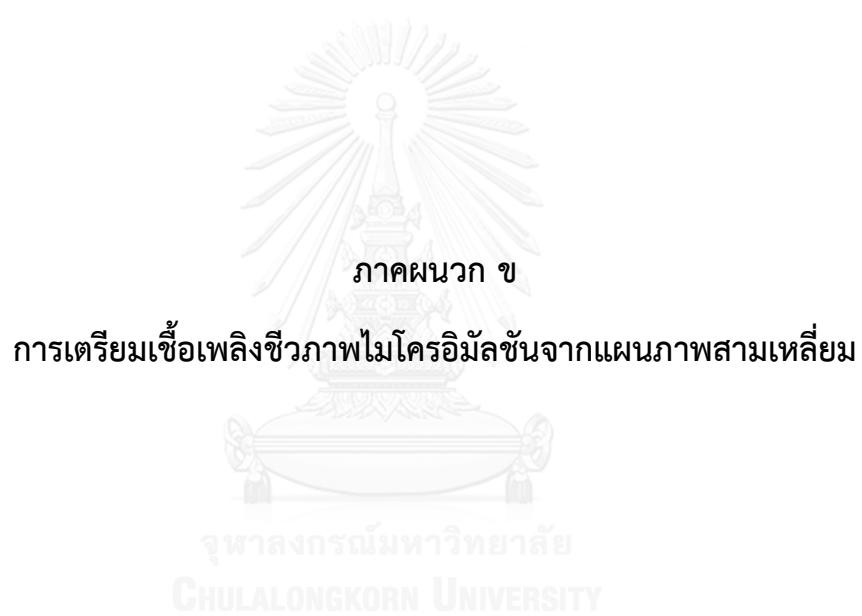
$$\begin{aligned}
 \text{EO}_1 &= \frac{(\text{Molar}) \times (\text{MW}) \times (\text{Volume})}{(\% \text{ Purity}) \times (\text{Density})} \\
 &= \frac{\left(\frac{1}{8} \text{ mol/l}\right) \times (217.15 \text{ g/mol}) \times (10 \text{ ml}) \times \left(\frac{1 \text{ l}}{1,000 \text{ ml}}\right)}{(0.99) \times (0.837 \text{ g/ml})} \\
 &= 0.0459 \text{ ml}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Isooctanol} &= \frac{(\text{Molar}) \times (\text{MW}) \times (\text{Volume})}{(\% \text{ Purity}) \times (\text{Density})} \\
 &= \frac{(1 \text{ mol/l}) \times (130.23 \text{ g/mol}) \times (10 \text{ ml}) \times \left(\frac{1 \text{ l}}{1,000 \text{ ml}}\right)}{(0.99) \times (0.833 \text{ g/ml})} \\
 &= 1.0958 \text{ ml}
 \end{aligned}$$

$$\text{EO}_1 + \text{Isooctanol} = 0.0459 + 1.0958 = 1.1417 \text{ ml}$$

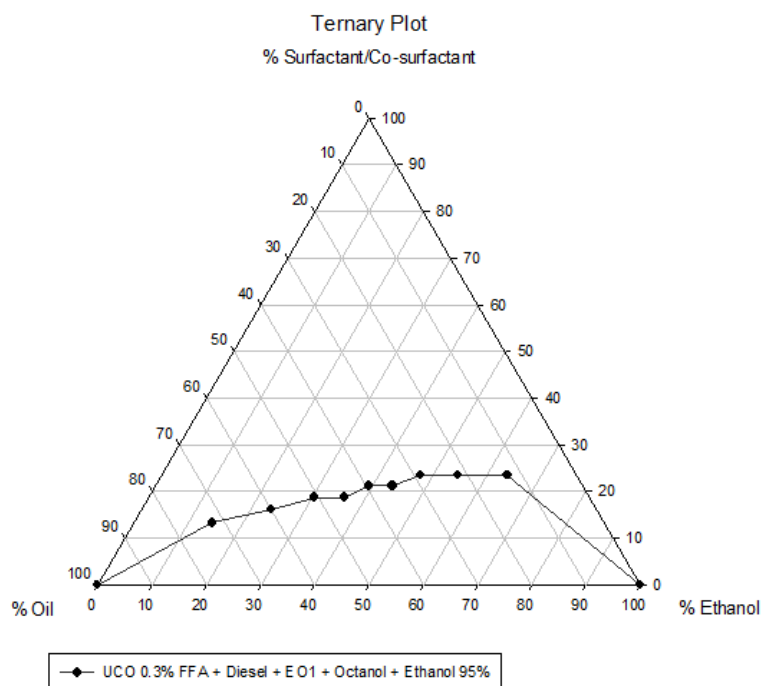
Surfactant/Cosurfactant	1.1417 ml	EO ₁	0.0459 ml	
Surfactant/Cosurfactant	2 ml	EO ₁	=	$\frac{(2 \text{ ml}) \times (0.0459 \text{ ml})}{(1.1417 \text{ ml})}$
			=	0.0804 ml
Surfactant/Cosurfactant	1.1417 ml	Isooctanol	1.0958 ml	
Surfactant/Cosurfactant	2 ml	Isooctanol	=	$\frac{(2 \text{ ml}) \times (1.0958 \text{ ml})}{(1.1417 \text{ ml})}$
			=	1.9120 ml
EO ₁ + Isooctanol (20%)		=	1.9120 + 0.0804	= 2 ml
Oil (60%)		=	6 ml	
Ethanol (20%)		=	2 ml	
Total (100%)		=	10 ml	





ตารางที่ ข-2 สัดส่วนของขอบเขตการละลายเป็นเนื้อเดียวกันการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ (0.3%FFA)/น้ำมันดีเซล (%Oil) สารลดแรงตึงผิว/ออกทานอล (%Surfactant/Cosurfactant) และเอทานอล (%Ethanol)

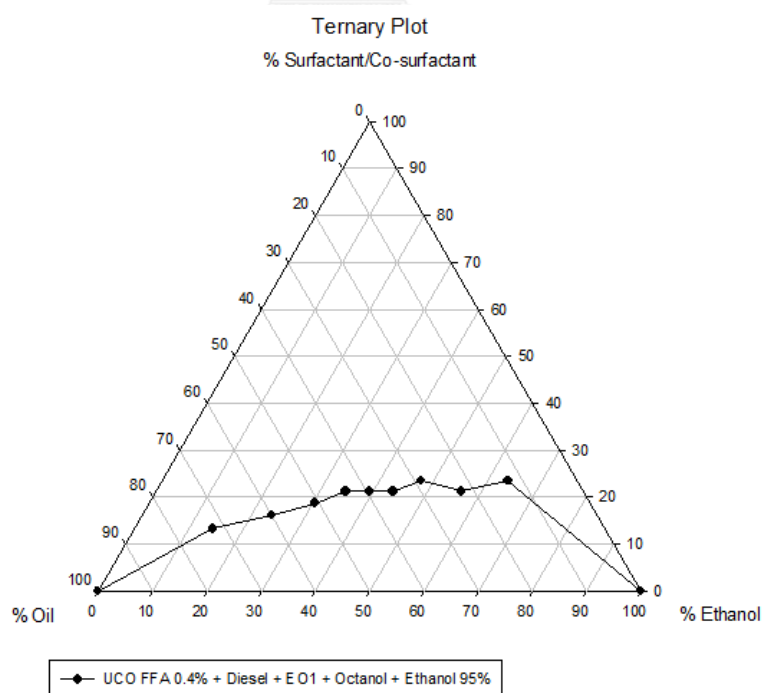
%Ethanol	%Oil	%Surfactant/Cosurfactant
0	100	0
14	72	13
24	60	16
30	51	19
36	45	19
39	39	21
44	35	21
48	29	24
55	22	24
64	13	24
100	0	0



ภาพที่ ข-2 แผนภาพสามเหลี่ยมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ใช้ น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ (0.3%FFA) และสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล

ตารางที่ ข-3 สัดส่วนของขอบเขตการละลายเป็นเนื้อเดียวกันการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ (0.4%FFA)/น้ำมันดีเซล (%Oil) สารลดแรงตึงผิว/ออกทานอล (%Surfactant/Cosurfactant) และเอทานอล (%Ethanol)

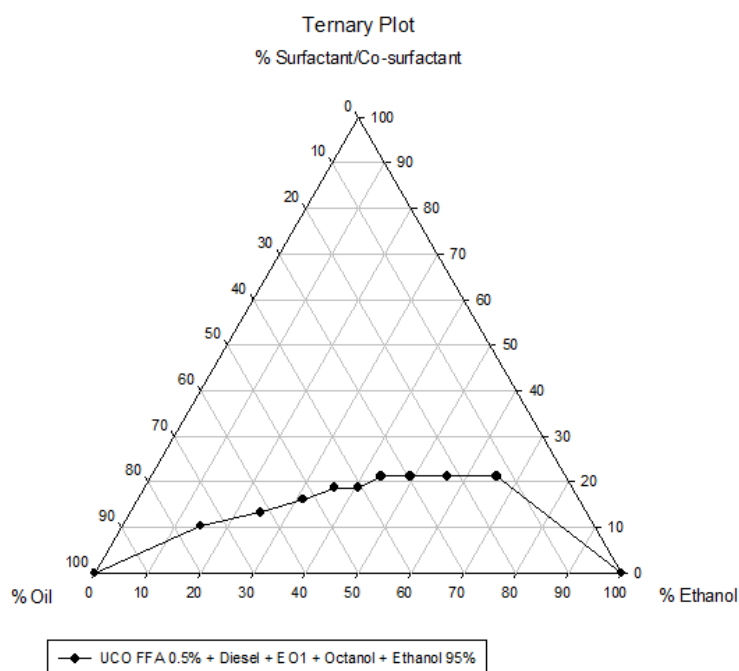
%Ethanol	%Oil	%Surfactant/Cosurfactant
0	100	0
14	72	13
24	60	16
30	51	19
35	44	21
39	39	21
44	35	21
48	29	24
56	23	21
64	13	24
100	0	0



ภาพที่ ข-3 แผนภาพสามเหลี่ยมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ใช้ น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ (0.4%FFA) และสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล

ตารางที่ ข-4 สัดส่วนของขอบเขตการละลายเป็นเนื้อเดียวกันการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ (0.5%FFA)/น้ำมันดีเซล (%Oil) สารลดแรงตึงผิว/ออกทานอล (%Surfactant/Cosurfactant) และเอทานอล (%Ethanol)

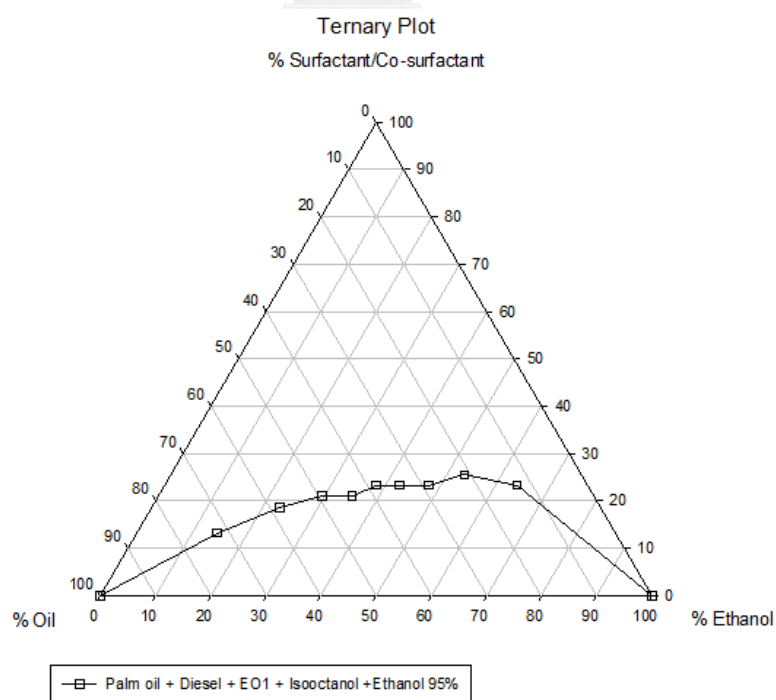
%Ethanol	%Oil	%Surfactant/Cosurfactant
0	100	0
15	75	10
25	62	13
31	52	16
36	45	19
41	41	19
44	35	21
49	30	21
56	23	21
66	13	21
100	0	0



ภาพที่ ข-4 แผนภาพสามเหลี่ยมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ใช้ น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ (0.5%FFA) และสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล

ตารางที่ ข-5 สัดส่วนของขอบเขตการละลายเป็นเนื้อเดียวกันการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันพืชบริสุทธิ์/น้ำมันดีเซล (%Oil) สารลดแรงตึงผิว/ไอโซออกทานอล (%Surfactant/Cosurfactant) และเอทานอล (%Ethanol)

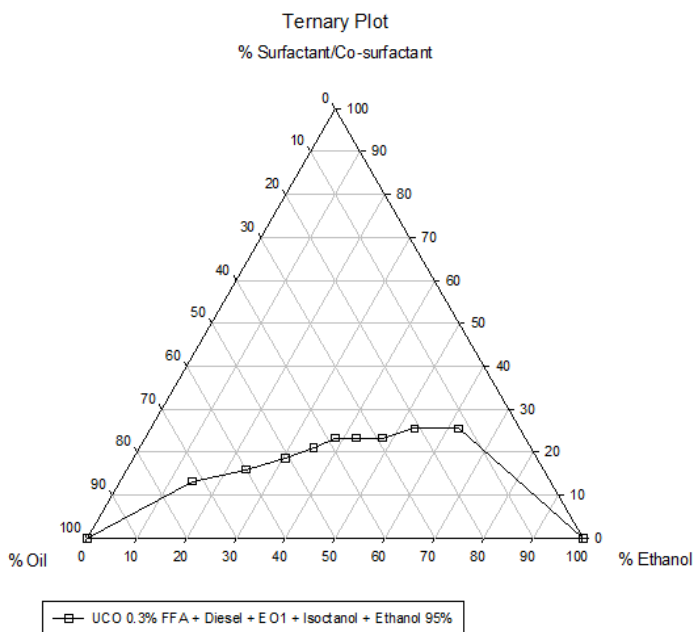
%Ethanol	%Oil	%Surfactant/Cosurfactant
0	100	0
14	72	13
23	58	19
30	49	21
35	44	21
38	38	23
43	34	23
48	29	23
53	21	26
64	13	23
100	0	0



ภาพที่ ข-5 แผนภาพสามเหลี่ยมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ใช้น้ำมันพืชบริสุทธิ์ และสารลดแรงตึงผิวร่วมไอโซออกทานอล

ตารางที่ ข-6 สัดส่วนของขอบเขตการละลายเป็นเนื้อเดียวกันการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพ ไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ (0.3%FFA)/น้ำมันดีเซล (%Oil) สารลดแรงตึงผิว/ไอโซออกทานอล (%Surfactant/Cosurfactant) และเอทานอล (%Ethanol)

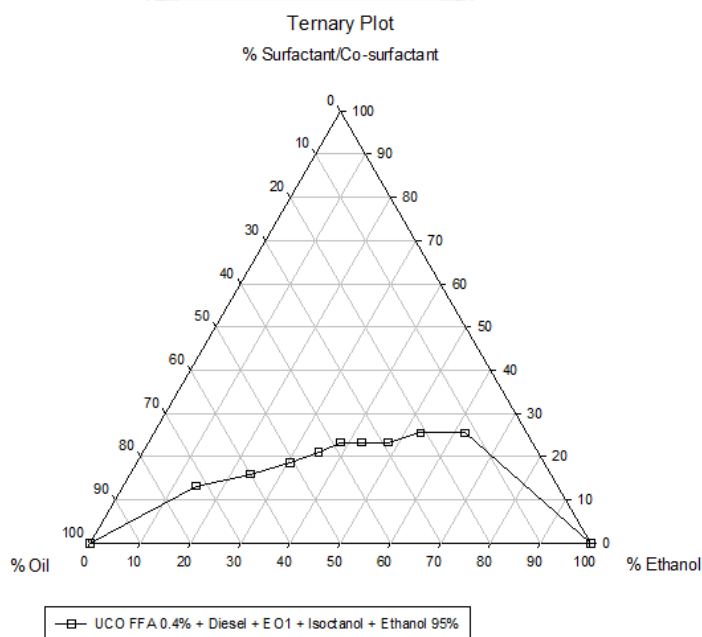
%Ethanol	%Oil	%Surfactant/Cosurfactant
0	100	0
14	72	13
24	60	16
31	51	19
35	44	21
38	38	23
43	34	23
48	29	23
53	21	26
62	12	26
100	0	0



ภาพที่ ข-6 แผนภาพสามเหลี่ยมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ใช้น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ (0.3%FFA) และสารลดแรงตึงผิวร่วมไอโซออกทานอล

ตารางที่ ข-7 สัดส่วนของขอบเขตการละลายเป็นเนื้อเดียวกันการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ (0.4%FFA)/น้ำมันดีเซล (%Oil) สารลดแรงตึงผิว/ไอโซออกทานอล (%Surfactant/Cosurfactant) และเอทานอล (%Ethanol)

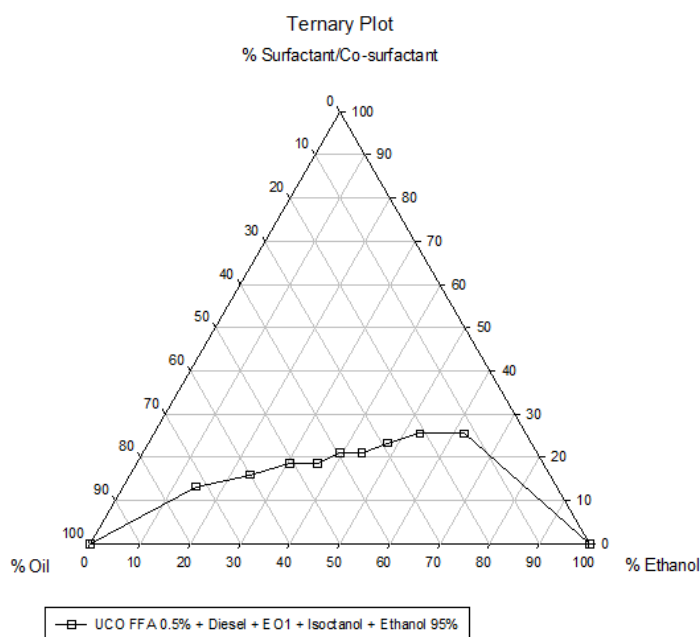
%Ethanol	%Oil	%Surfactant/Cosurfactant
0	100	0
14	72	13
24	60	16
31	51	19
35	44	21
38	38	23
43	34	23
48	29	23
53	21	26
62	12	26
100	0	0



ภาพที่ ข-7 แผนภาพสามเหลี่ยมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ใช้ น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ (0.4%FFA) และสารลดแรงตึงผิวร่วมไอโซออกทานอล

ตารางที่ ข-8 สัดส่วนของขอบเขตการละลายเป็นเนื้อเดียวกันการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ (0.5%FFA)/น้ำมันดีเซล (%Oil) สารลดแรงตึงผิว/ไอโซออกทานอล (%Surfactant/Cosurfactant) และเอทานอล (%Ethanol)

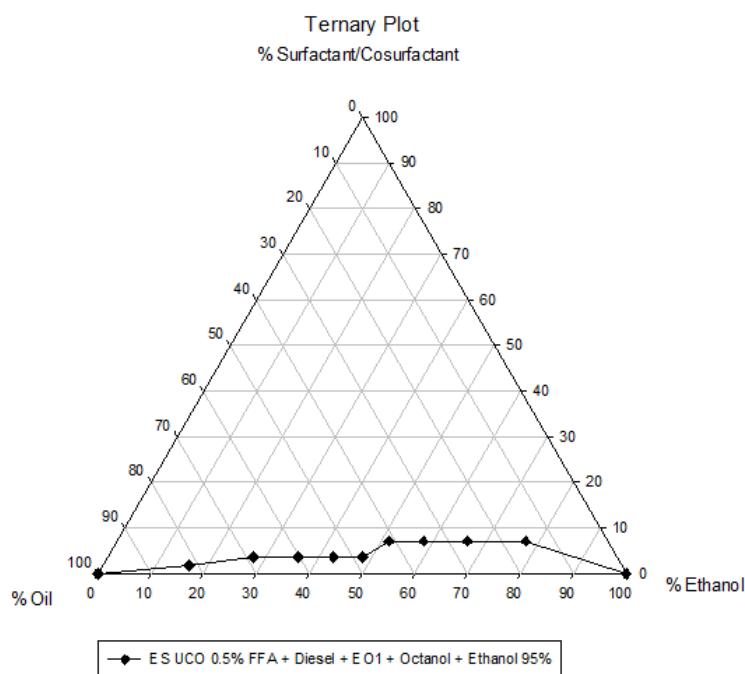
%Ethanol	%Oil	%Surfactant/Cosurfactant
0	100	0
14	72	13
24	60	16
31	51	19
36	45	19
39	39	21
44	35	21
48	29	23
53	21	26
62	12	26
100	0	0



ภาพที่ ข-8 แผนภาพสามเหลี่ยมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ใช้น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ (0.5%FFA) และสารลดแรงตึงผิวร่วมไอโซออกทานอล

ตารางที่ ข-12 สัดส่วนของขอบเขตการละลายเป็นเนื้อเดียวกันการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ (0.5%FFA)/น้ำมันดีเซล (%Oil) สารลดแรงตึงผิว/ออกทานอล (%Surfactant/Cosurfactant) และเอทานอล (%Ethanol)

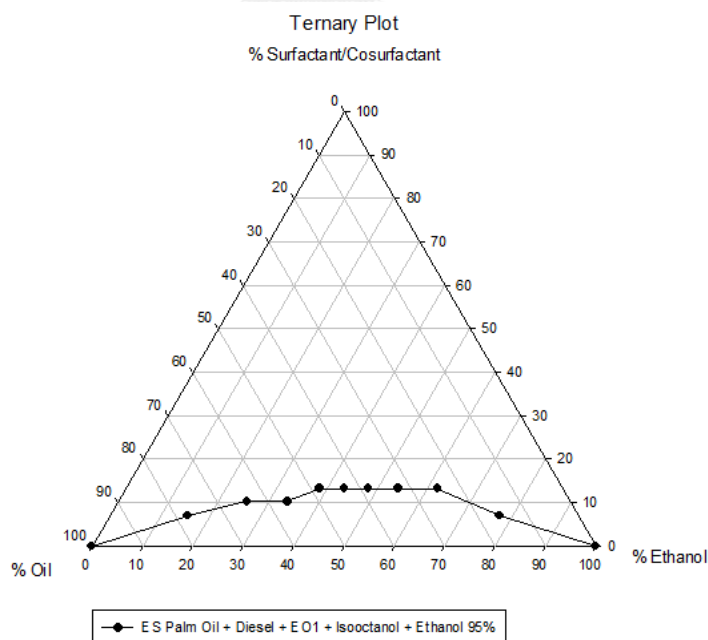
%Ethanol	%Oil	%Surfactant/Cosurfactant
0	100	0
16	82	2
28	69	4
36	60	4
43	54	4
48	48	4
52	41	7
58	35	7
66	27	7
77	15	7
100	0	0



ภาพที่ ข-12 แผนภาพสามเหลี่ยมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ใช้น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ (0.5%FFA) และสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล

ตารางที่ ข-13 สัดส่วนของขอบเขตการละลายเป็นเนื้อเดียวกันการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ/น้ำมันดีเซล (%Oil) สารลดแรงตึงผิว/ไอโซออกทานอล (%Surfactant/Cosurfactant) และเอทานอล (%Ethanol)

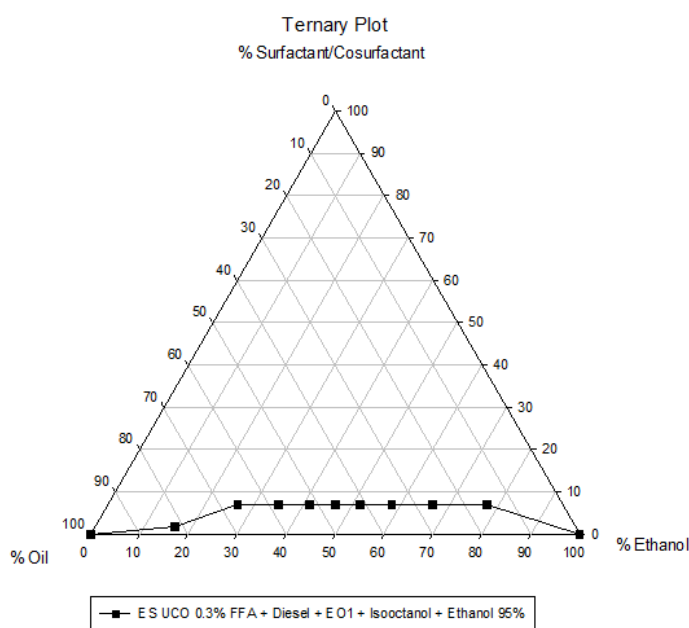
%Ethanol	%Oil	%Surfactant/Cosurfactant
0	100	0
15	77	7
26	64	10
34	56	10
39	48	13
43	43	13
48	39	13
54	33	13
62	25	13
77	15	7
100	0	0



ภาพที่ ข-13 แผนภาพสามเหลี่ยมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ใช้น้ำมันพืชบริสุทธิ์ที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ และสารลดแรงตึงผิวรวมไอโซออกทานอล

ตารางที่ ข-14 สัดส่วนของขอบเขตการละลายเป็นเนื้อเดียวกันการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ (0.3%FFA)/น้ำมันดีเซล (%Oil) สารลดแรงตึงผิว/ไอโซออกทานอล (%Surfactant/Cosurfactant) และเอทานอล (%Ethanol)

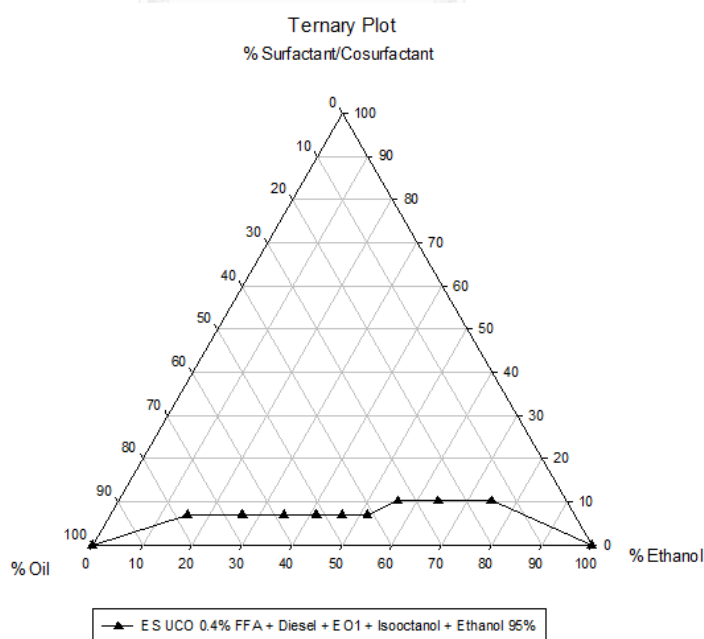
%Ethanol	%Oil	%Surfactant/Cosurfactant
0	100	0
16	82	2
28	69	4
36	60	4
41	52	7
46	46	7
52	41	7
58	35	7
66	27	7
77	15	7
100	0	0



ภาพที่ ข-14 แผนภาพสามเหลี่ยมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ใช้น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ (0.3%FFA) และสารลดแรงตึงผิวร่วมไอโซออกทานอล

ตารางที่ ข-15 สัดส่วนของขอบเขตการละลายเป็นเนื้อเดียวกันการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ (0.4%FFA)/น้ำมันดีเซล (%Oil) สารลดแรงตึงผิว/ไอโซออกทานอล (%Surfactant/Cosurfactant) และเอทานอล (%Ethanol)

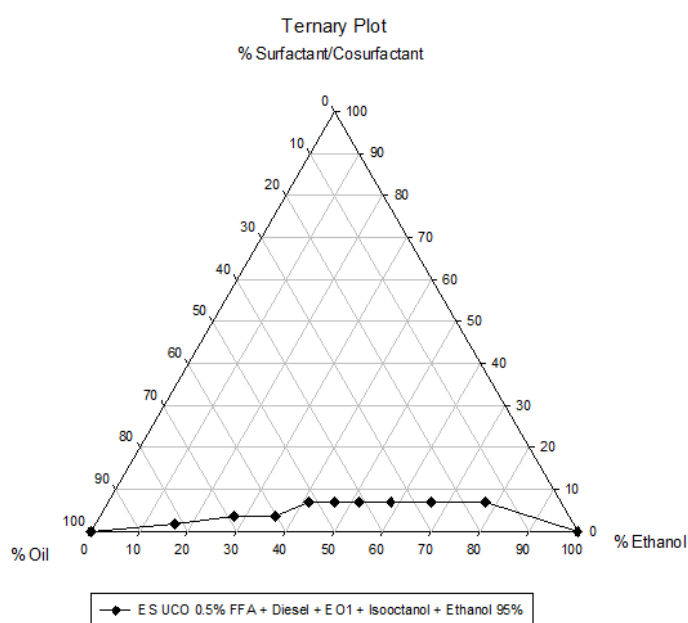
%Ethanol	%Oil	%Surfactant/Cosurfactant
0	100	0
15	77	7
27	66	7
35	58	7
41	52	7
46	46	7
52	41	7
56	34	10
64	26	10
75	15	10
100	0	0



ภาพที่ ข-15 แผนภาพสามเหลี่ยมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ใช้น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ (0.4%FFA) และสารลดแรงตึงผิวร่วมไอโซออกทานอล

ตารางที่ ข-16 สัดส่วนของขอบเขตการละลายเป็นเนื้อเดียวกันการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ประกอบด้วย น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ (0.5%FFA)/น้ำมันดีเซล (%Oil) สารลดแรงตึงผิว/ไอโซออกทานอล (%Surfactant/Cosurfactant) และเอทานอล (%Ethanol)

%Ethanol	%Oil	%Surfactant/Cosurfactant
0	100	0
16	82	2
28	69	4
36	60	4
41	52	7
46	46	7
52	41	7
58	35	7
66	27	7
77	15	7
100	0	0



ภาพที่ ข-16 แผนภาพสามเหลี่ยมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ใช้น้ำมันพืชใช้แล้วที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ (0.5%FFA) และสารลดแรงตึงผิวร่วมไอโซออกทานอล



วิธีการศึกษา ค-1 การคำนวณร้อยละปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้ว

คำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระจากการไตเตรท ดังสมการที่ ค.1

$$\%FFA = \frac{\text{ปริมาตร NaOH ที่ใช้ไตเตรท} \times \text{ความเข้มข้นของ NaOH} \times \text{โมเลกุลของกรดไขมัน}}{\text{น้ำหนักของน้ำมันพืชตัวอย่าง}} \dots(\text{ค.1})$$

$$\%FFA = \frac{\text{ปริมาตร NaOH ที่ใช้ไตเตรท(ml)} \times \text{ความเข้มข้นของ NaOH ที่แน่นอน(N)} \times 28.2^* \text{ g}}{\text{น้ำหนักของน้ำมันพืชตัวอย่าง(g)}}$$

*โมเลกุลของกรดโอเลอิก = 282 กรัม

วิธีการศึกษา ค-2 การคำนวณค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

คำนวณหาค่าความหนาแน่นจากการชั่งน้ำหนักสารที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ดังสมการที่ ค.2

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนักของเชื้อเพลิงชีวภาพ (g)}}{\text{ปริมาตรของเชื้อเพลิงชีวภาพ (ml)}} \dots(\text{ค.2})$$

วิธีการศึกษา ค-3 วิธีการศึกษาค่าความเป็นกรดของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

1. ชั่งเชื้อเพลิงชีวภาพปริมาตร 10 กรัมเทลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เตรียมแอลกอฮอล์ โดยใช้เอทานอล (Ethyl alcohol) ที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
3. ผสมเอทานอลที่เตรียมไว้ลงในตัวอย่างน้ำมันพืชใช้แล้วที่เตรียมไว้ในข้อ 1
4. เตรียมฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ร้อยละ 0.1 โดยชั่งฟีนอล์ฟทาลีน 5.0 กรัมละลายในเมทานอล 1,000 มิลลิลิตร
5. เติมฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ร้อยละ 0.1 ประมาณ 3-5 หยด
6. เขย่าให้ตัวอย่างน้ำมันพืชใช้แล้วละลายในแอลกอฮอล์
7. นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียสเพื่อให้ตัวอย่างน้ำมันพืชใช้แล้วละลายในแอลกอฮอล์ได้ดีขึ้น
8. เตรียมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล โดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5.61 กรัมละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร และใส่บิวเรตขนาด 25 มิลลิลิตร

9. ไตเตรทสารละลายตัวอย่างด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนกระทั่งได้สารละลายตัวอย่างที่มีสีชมพูคงตัวเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง
10. จดบันทึกปริมาตรของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่ใช้ในการไตเตรททดลอง 3 ซ้ำ
11. นำค่าที่ได้ไปคำนวณร้อยละค่าความเป็นกรดในน้ำมันพืชใช้แล้ว

คำนวณหาร้อยละค่าความเป็นกรดจากการไตเตรท ดังสมการที่ ค.3

$$\% \text{Acid value} = \frac{\text{ปริมาตร KOH ที่ใช้ไตเตรท(ml)} \times \text{ความเข้มข้นของ KOH(N)} \times 5.61}{\text{น้ำหนักของน้ำมันพืชตัวอย่าง(g)}} \quad \dots(\text{ค.3})$$

วิธีการศึกษา ค-4 วิธีการศึกษาจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

1. นำเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันใส่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ
2. ควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องทำความเย็น โดยเริ่มจากอุณหภูมิ 14 องศาเซลเซียส
3. ลดอุณหภูมิลงที่อัตรา 1 องศาเซลเซียสต่อ 5 นาที
4. สังเกตอุณหภูมิที่เกิดผลึกเป็นอุณหภูมิแรก และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. บันทึกอุณหภูมิแรกที่เกิดผลึก และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

วิธีการศึกษา ค-5 วิธีการศึกษาจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

1. นำเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันใส่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ
2. ควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องทำความเย็น โดยเริ่มจากอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส
3. ลดอุณหภูมิลงและสังเกตการไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพโดยเอียงหลอดทดลองในแนวขนานกับพื้นเป็นเวลา 5 วินาที
4. ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. บันทึกอุณหภูมิแรกที่ไม่เกิดการไหลเท และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

วิธีการศึกษา ค-6 วิธีการศึกษาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

1. ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงชีวภาพลงใน Crucible 0.5 กรัม
2. เตรียม Crucible ใส่ Combustion chamber
3. เปิดถังออกซิเจนที่ความดันเกจ 430 psi และกดปุ่มเติมออกซิเจน
4. เติมน้ำ 2 ลิตรลงในกระบอกและนำเข้าเครื่อง Bomb calorimeter กดปุ่มเริ่มเพื่อให้เครื่องเริ่มทำงาน
5. เครื่องจะคำนวณค่าความร้อนและนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

วิธีการศึกษา ค-7 วิธีการศึกษาปริมาณกากรคาร์บอนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

1. ชั่งน้ำหนัก Crucible ก่อนใส่เชื้อเพลิงชีวภาพ ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
2. ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงชีวภาพใน Crucible 0.5 กรัม
3. เมื่อวัดค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb calorimeter เสร็จสิ้น ชั่งน้ำหนัก Crucible หลังการเผาไหม้
4. คำนวณปริมาณกากรคาร์บอนและนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

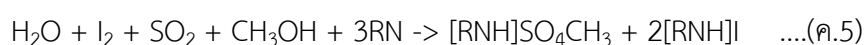
คำนวณหาปริมาณกากรคาร์บอนจากการชั่งน้ำหนัก ดังสมการที่ ค.4

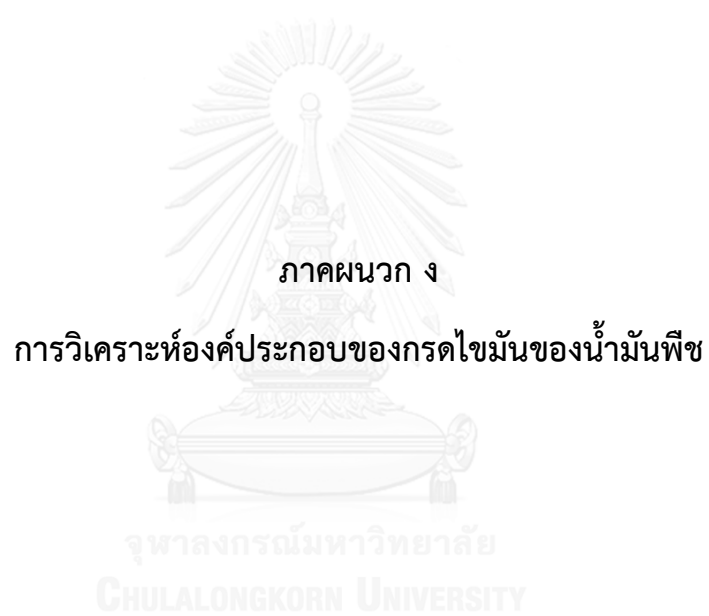
$$\text{ปริมาณกากรคาร์บอน (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนัก Crucible ก่อนเผา}) - (\text{น้ำหนัก Crucible หลังเผา})}{(\text{น้ำหนักเชื้อเพลิงชีวภาพ})} \times 100 \quad \dots (\text{ค.4})$$

วิธีการศึกษา ค-8 วิธีการศึกษาปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

1. ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงชีวภาพใน Syringes ประมาณ 0.1 กรัม
2. ฉีดเชื้อเพลิงชีวภาพลงในคอลัมน์เพื่อไตเตรทตามสมการของ Karl Fisher ดังสมการที่ ค.5
3. เครื่องไตเตรทจะคำนวณผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำในเชื้อเพลิงชีวภาพ
4. บันทึกผลและนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

สมการมาตรฐานของปฏิกิริยา Karl Fisher ดังสมการที่ ค.5





ตารางที่ ง-1 ผลการตรวจวัดองค์ประกอบของคาร์บอนของกรดไขมันในน้ำมันพืชบริสุทธิ์

Peak no.	RT (min)	Width (min)	Area (pA*s)	Height (pA)	Area (%)
1	10.451	0.031	11.849	5.603	0.281
2	12.560	0.028	36.128	20.322	0.856
3	14.513	0.032	1428.391	717.643	33.860
4	16.280	0.036	186.554	81.924	4.422
5	16.485	0.034	2024.079	952.477	47.980
6	16.527	0.026	41.644	24.580	0.987
7	16.869	0.031	429.385	221.570	10.178
8	17.412	0.040	14.266	5.251	0.338
9	17.916	0.044	26.825	8.816	0.636
10	18.094	0.044	19.441	6.117	0.461

ตารางที่ ง-2 ผลการตรวจวัดองค์ประกอบของคาร์บอนของกรดไขมันในน้ำมันพืชใช้แล้วที่มี ปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.3

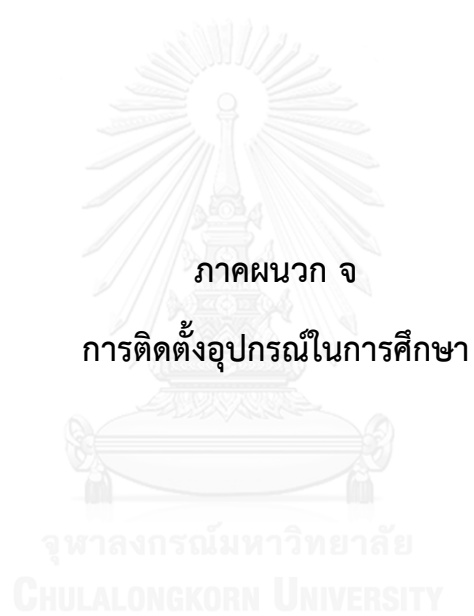
Peak no.	RT (min)	Width (min)	Area (pA*s)	Height (pA)	Area (%)
1	10.456	0.031	13.853	6.993	0.275
2	12.565	0.031	42.278	21.052	0.839
3	14.522	0.031	1766.996	836.387	35.052
4	14.757	0.030	9.782	5.057	0.194
5	16.287	0.037	210.860	90.569	4.183
6	16.492	0.033	2164.272	991.584	42.932
7	16.876	0.031	473.341	235.847	9.390
8	17.418	0.036	13.159	5.550	0.261
9	17.923	0.053	37.217	9.960	0.738
10	18.101	0.063	22.904	5.045	0.454
11	19.480	0.064	37.939	8.013	0.753
12	21.322	0.128	82.521	7.929	1.637
13	21.400	0.078	40.654	6.658	0.806
14	21.660	0.113	67.648	7.712	1.342
15	21.785	0.133	57.717	5.269	1.145

ตารางที่ ง-3 ผลการตรวจวัดองค์ประกอบของคาร์บอนของกรดไขมันในน้ำมันพืชใช้แล้วที่มี ปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.4

Peak no.	RT (min)	Width (min)	Area (pA*s)	Height (pA)	Area (%)
1	12.571	0.029	42.182	22.279	0.894
2	14.527	0.032	1658.493	784.487	35.164
3	14.761	0.030	13.320	6.917	0.282
4	16.292	0.035	207.323	92.161	4.396
5	16.497	0.032	2178.161	998.822	46.182
6	16.881	0.032	579.957	287.619	12.296
7	16.976	0.031	14.978	7.701	0.318
8	17.928	0.038	22.037	9.035	0.467

ตารางที่ ง-4 ผลการตรวจวัดองค์ประกอบของคาร์บอนของกรดไขมันในน้ำมันพืชใช้แล้วที่มี ปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.5

Peak no.	RT (min)	Width (min)	Area (pA*s)	Height (pA)	Area (%)
1	10.446	0.029	12.372	6.603	0.296
2	12.562	0.031	36.353	18.735	0.871
3	14.519	0.031	1555.683	773.909	37.257
4	16.286	0.033	193.979	89.127	4.646
5	16.487	0.031	1835.614	877.376	43.962
6	16.530	0.024	34.892	22.257	0.836
7	16.873	0.031	401.199	199.584	9.608
8	17.416	0.033	11.348	5.017	0.272
9	17.924	0.043	29.521	9.580	0.707
10	19.478	0.055	40.289	10.281	0.965
11	19.668	0.051	24.245	6.960	0.581

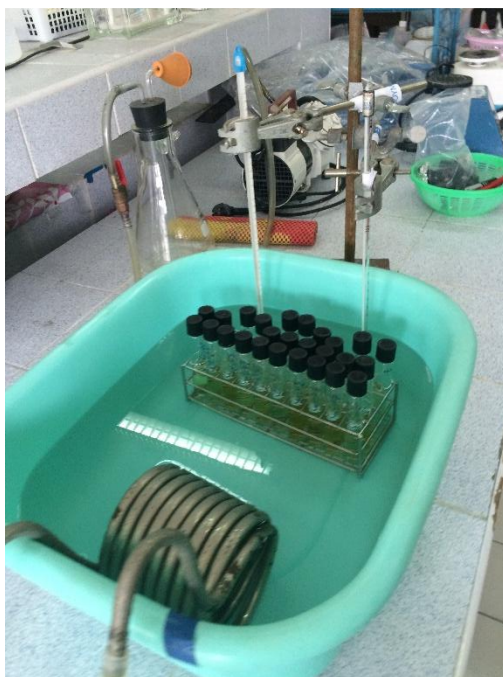




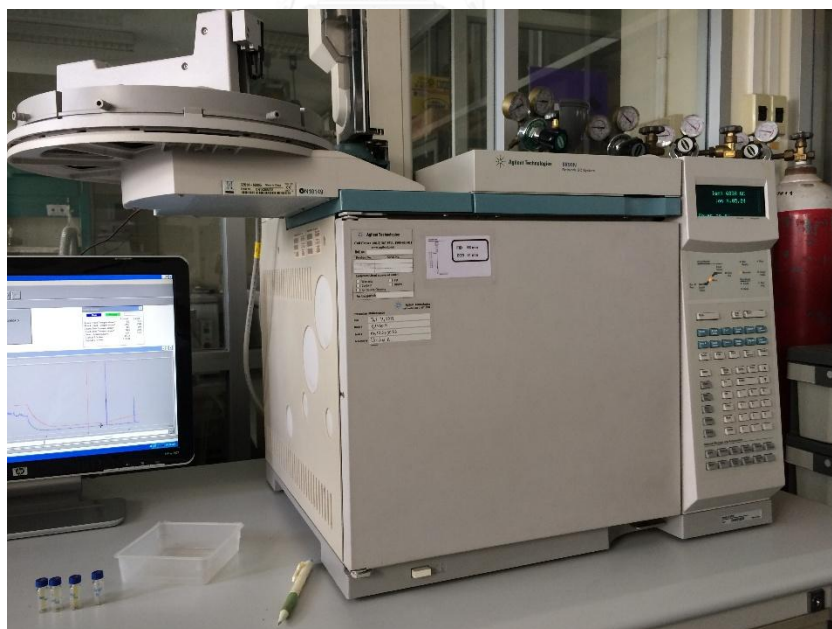
ภาพที่ จ-1 การติดตั้งอุปกรณ์ในการศึกษาการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยวิธีเอสเทอร์ฟิเคชัน



ภาพที่ จ-2 การติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดความหนืดเชิงจลนศาสตร์ตามมาตรฐาน ASTM D445



ภาพที่ จ-3 การติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดจุดขุ่น จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน



ภาพที่ จ-4 อุปกรณ์การแยกองค์ประกอบของสารด้วยวิธีทาง Gas chromatography

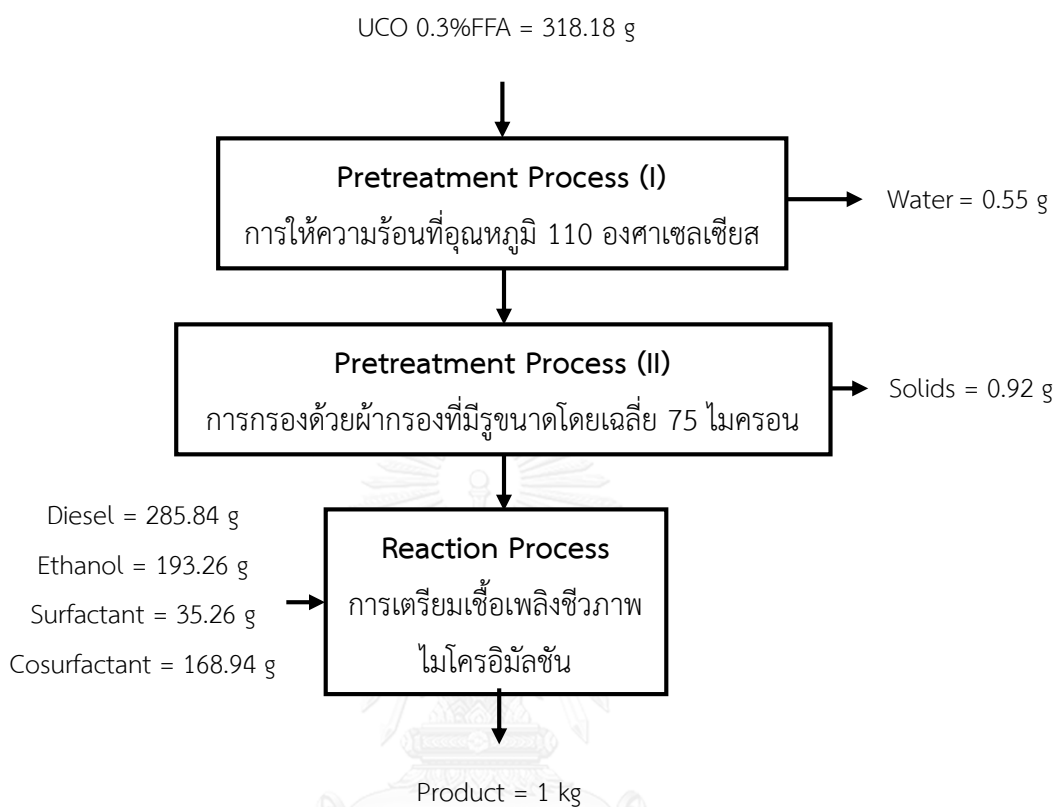


ภาพที่ จ-5 การติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

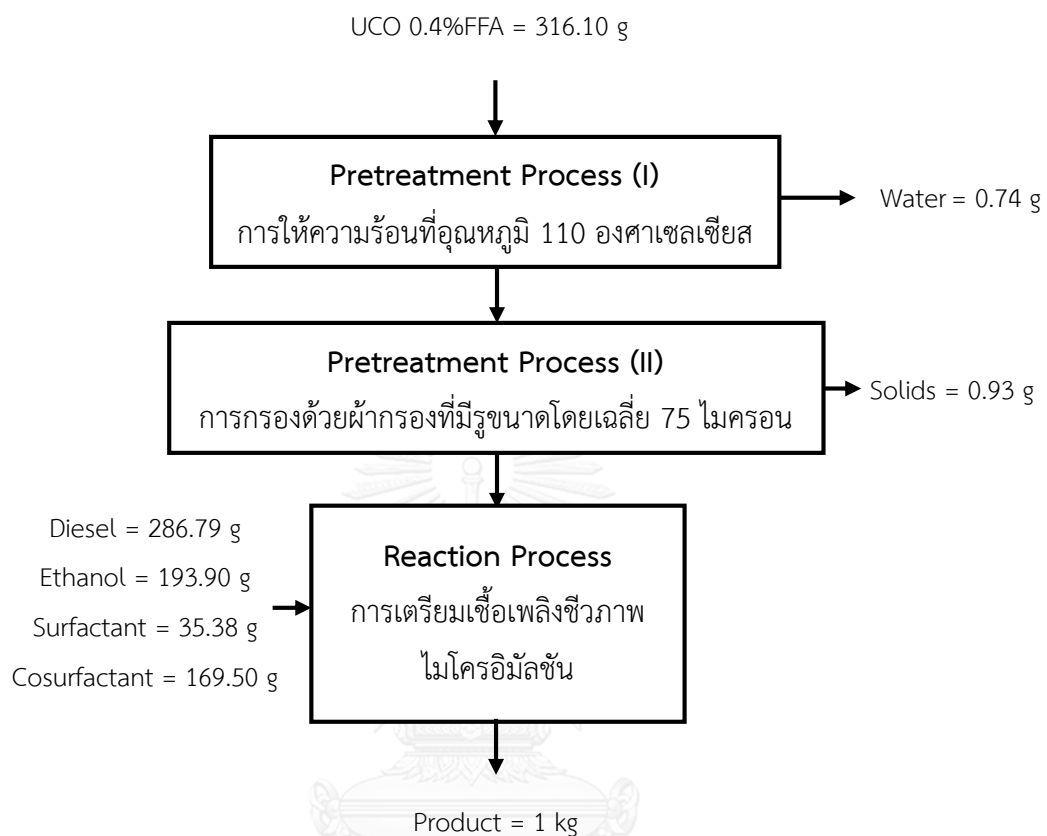


ภาพที่ จ-6 การติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดปริมาณน้ำของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

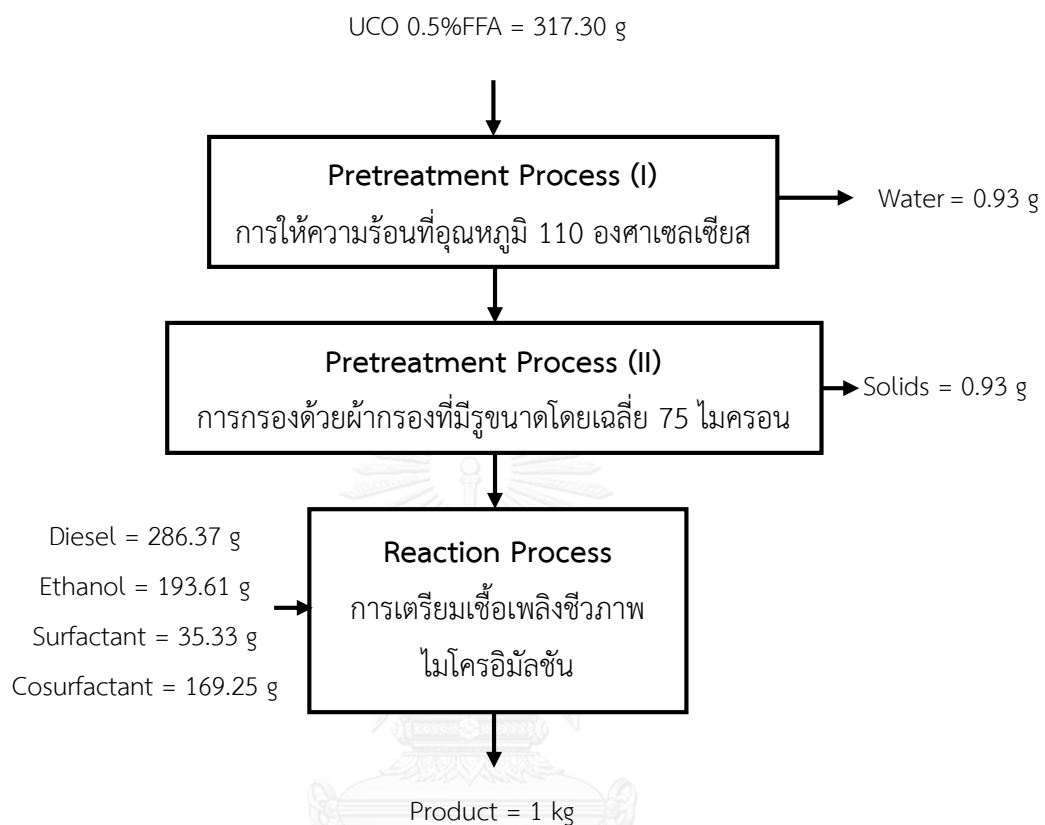




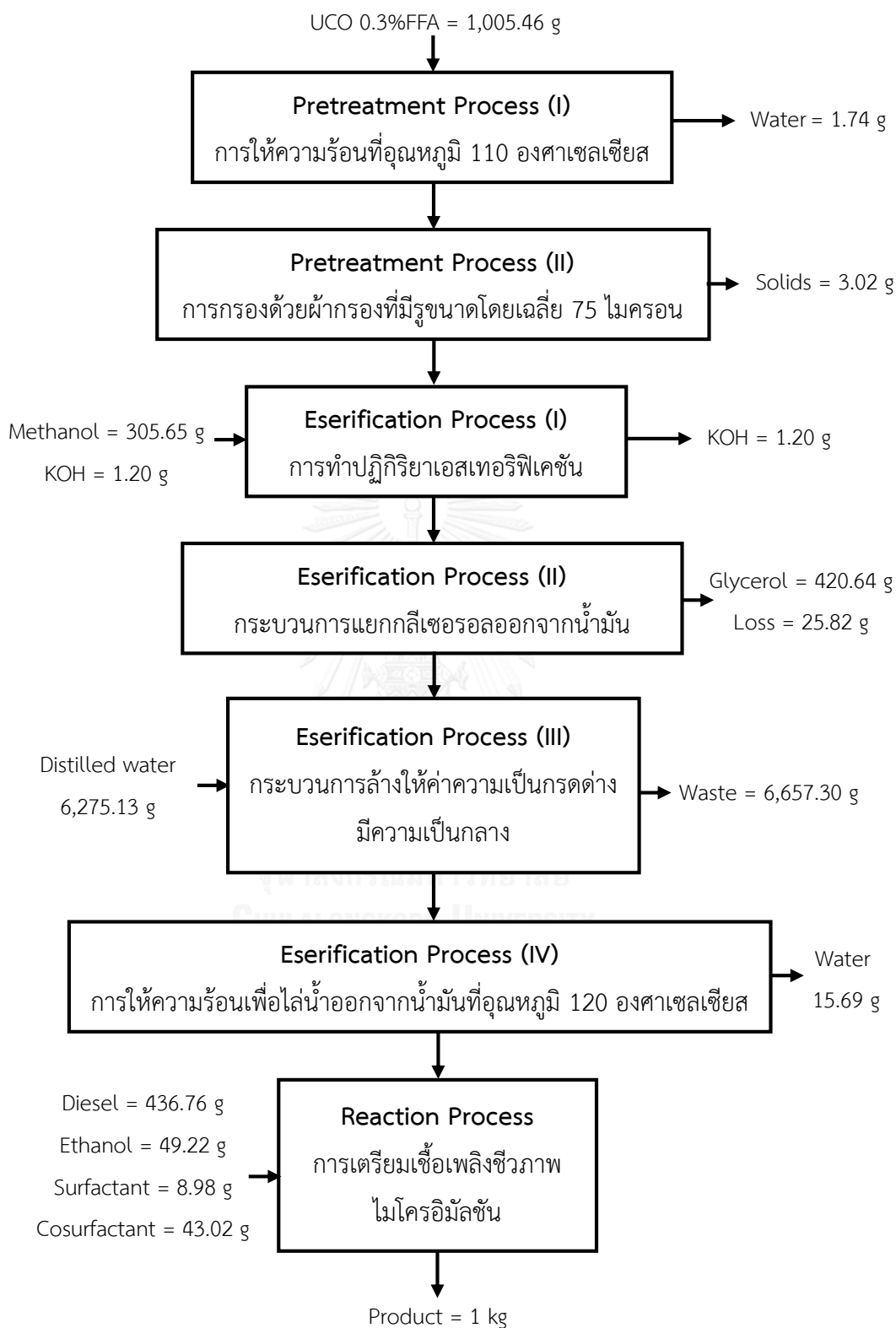
ภาพที่ ฉ-1 สมดุลมวลสารในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.3 ที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ



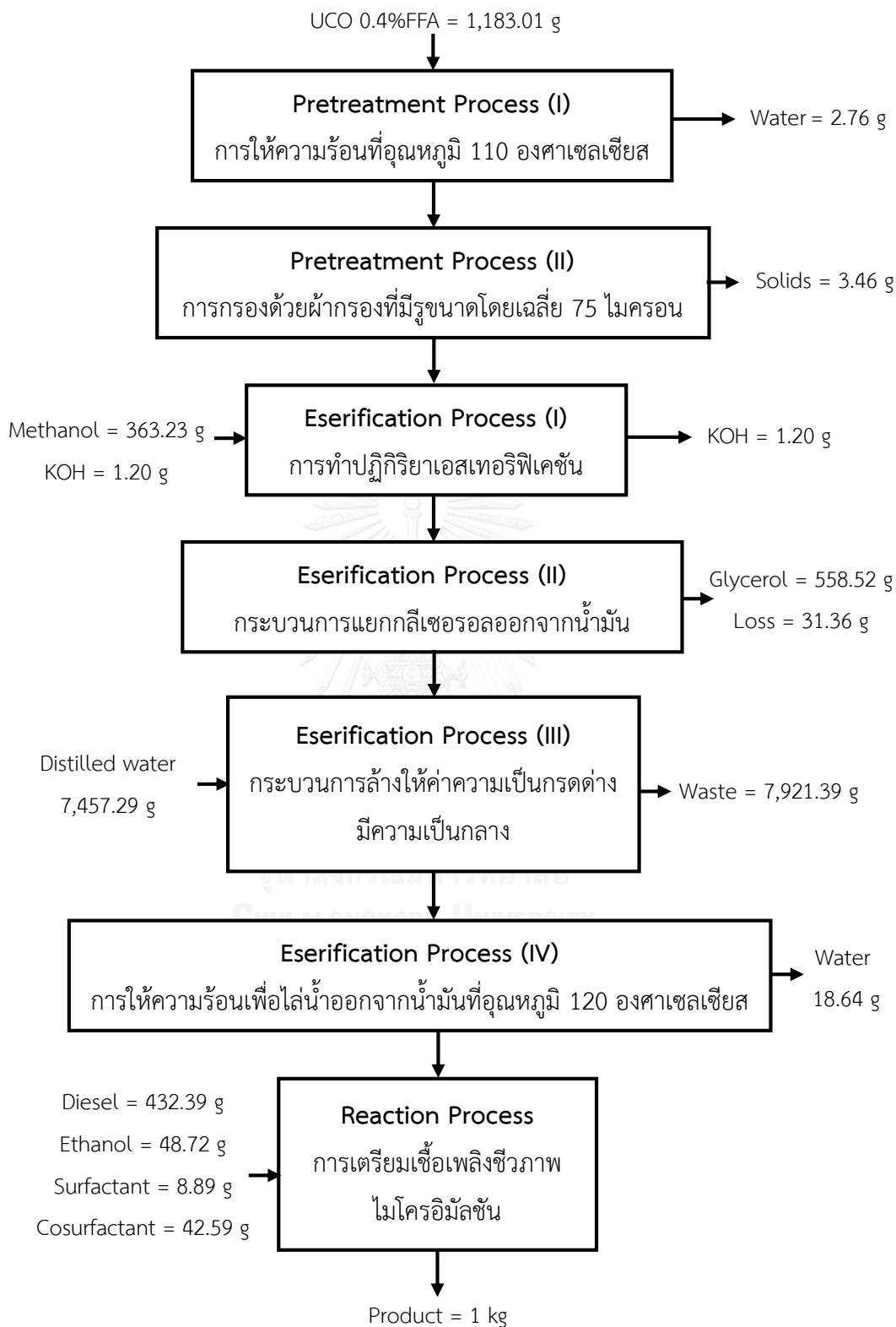
ภาพที่ ฉ-2 สมดุลมวลสารในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.4 ที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ



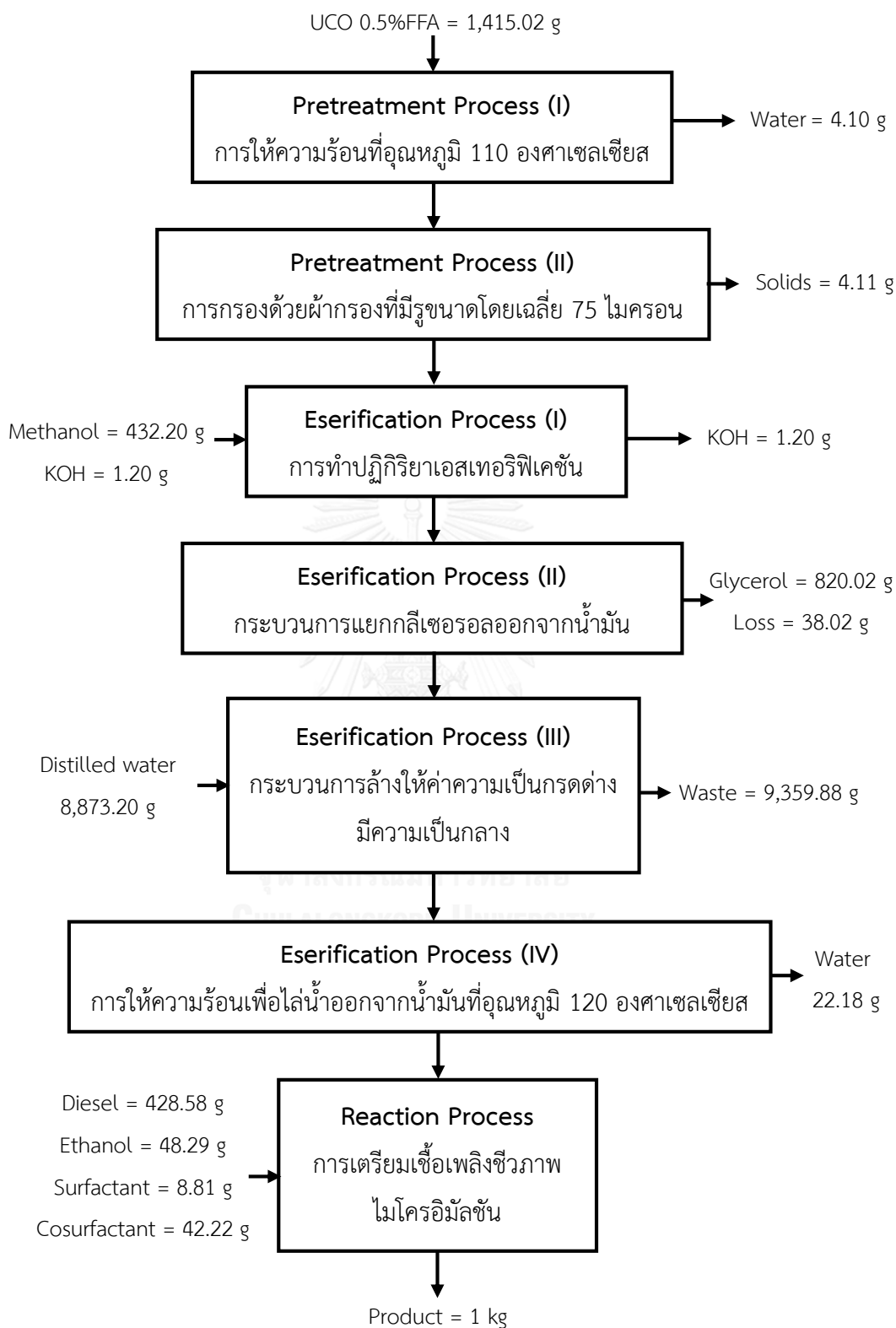
ภาพที่ ฉ-3 สมดุลมวลสารในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.5 ที่ผ่านกระบวนการบำบัดทางกายภาพ



ภาพที่ ๔-4 สมดุลมวลสารในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.3 ที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ



ภาพที่ ฉ-5 สมดุลมวลสารในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.4 ที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ



ภาพที่ ๖-6 สมดุลมวลสารในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.5 ที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชนารดี เพนานนท์ เกิดเมื่อวันที่ 20 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2534 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) เกียรตินิยมอันดับ 2 จากคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2556 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2557

ผลงานวิจัยส่วนหนึ่งจากงานวิจัยฉบับนี้ได้เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมครั้งที่ 28 ประจำปี 2559 ระหว่างวันที่ 10-11 พฤศจิกายน 2559 ที่โรงแรม เดอะ ทวิน ทาวเวอร์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในชื่อหัวข้อ การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชใช้แล้ว กรณีศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืช

