

การใช้ซอร์บิแทนเอสเทอร์ทดแทนสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์  
ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน



นางสาวณัฐพร สรสุชาติ

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 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Application of Sorbitan Esters as Alternative of Synthetic Surfactant  
to Produce Biofuel from Palm Oil by Microemulsion Process

Miss Nutthaporn Sorrasuchart



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 2014  
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้ซอร์บิแทนเอสเทอร์ทดแทนสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน
โดย	นางสาวณัฐพร สรสุชาติ
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิสุทธิ์ เพ็ชรมนกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว)

.....กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.อรอนงค์ ลาภปริสุทธิ)

.....กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.ดาว สุวรรณแสง จันเจริญ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร.เชาวลิต เสนานุรักษ์วรกุล)

ณัฐพร สรสุชาติ : การใช้ซอร์บิแทนเอสเทอร์ทดแทนสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน (Application of Sorbitan Esters as Alternative of Synthetic Surfactant to Produce Biofuel from Palm Oil by Microemulsion Process) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.สุธา ขาวเจียร, 129 หน้า.

จากปัญหาด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน นำไปสู่การศึกษาและพัฒนาการใช้ประโยชน์จากน้ำมันพืชเพื่อนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ เนื่องจากเป็นพลังงานที่สะอาดและช่วยลดการพึ่งพาน้ำมันนำเข้าน้ำมัน อย่างไรก็ตามการใช้ไขมันพืชอาจเกิดปัญหาเมื่อนำมาใช้งานกับเครื่องยนต์เนื่องจากน้ำมันพืชมีความหนืดสูง จึงต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันพืช กระบวนการไมโครอิมัลชัน ใช้เอทานอลในการลดความหนืดของน้ำมันพืช โดยมีสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมเป็นตัวประสาน เพื่อให้เชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันพืช ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้ซอร์บิแทนเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวทดแทนสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ โดยใช้สารลดแรงตึงผิว ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือสแปน 20 ซอร์บิแทนโมโนโอเลต หรือสแปน 80 และ ซอร์บิแทนไตรโอเลต หรือสแปน 85 ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล ผลการทดลองพบว่า น้ำมันปาล์มผสมดีเซล ที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ที่สัดส่วนร้อยละ 60 โดยปริมาตร สแปน 80 ผสมออกทานอล ที่อัตราส่วน 1:8 โดยปริมาตร ที่สัดส่วนร้อยละ 20 โดยปริมาตร และเอทานอล ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 ที่สัดส่วนร้อยละ 20 โดยปริมาตร สามารถทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ในขณะที่ใช้สารลดแรงตึงผิวในปริมาณน้อย เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงกับน้ำมันไบโอดีเซล

ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่อนิสิต	.....
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก	.....
ปีการศึกษา	2557		

# # 5570189321 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS: PALM OIL / BIOFUEL / MICROEMULSION / SURFACTANT / SORBITAN ESTERS / COSURFACTANT

NUTTHAPORN SORRASUCHART: Application of Sorbitan Esters as Alternative of Synthetic Surfactant to Produce Biofuel from Palm Oil by Microemulsion Process. ADVISOR: ASSOC. PROF. SUTHA KHAODHIAR, Ph.D., 129 pp.

The current energy and environmental issues lead to the study and development of the production of biofuels from vegetable oil. Biofuel, a clean energy, can reduce the dependence on imported petroleum. However, direct use of vegetable oil can cause engine durability problems due to their high viscosity. Microemulsion is one of the methods that can be used to improve the properties of vegetable oil. In the process, ethanol is used to reduce the viscosity of the vegetable oil while surfactants and co-surfactants are used to formulate reverse phase micelles. This study investigates the application of sorbitan esters as alternative of synthetic surfactants to produce microemulsion based biofuel. Three sorbitan esters, sorbitan monolaurate (span20), sorbitan monooleate (span80), and sorbitan trioleate (span85) and three alcohol (butanol, hexanol, and octanol) were used as surfactants and co-surfactants, respectively. It was found that palm oil blend with diesel at a ratio of 1:1 by volume at 60 percent by total volume, span 80 mixed with octanol at a ratio of 1:8 by mole at 20 percent by total volume, and ethanol purity 99 percent at 20 percent by total volume could be used to formulated biofuel at the smallest volume fraction. The properties of microemulsion based biofuel depends on the properties of the sorbitan esters and alcohol. The results show that microemulsion with appropriate sorbitan esters can be used to produce biofuel with comparable properties to those of biodiesel.

Department: Environmental  
Engineering

Student's Signature .....

Advisor's Signature .....

Field of Study: Environmental  
Engineering

Academic Year: 2014

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากรองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆมาโดยตลอด และขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล ที่กรุณาเป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.อรอนงค์ ลากปรีสุทธิ อาจารย์ ดร. ดาว สุวรรณแสง จันเจริญ และดร.เชาวลิต เสนานุรักษ์วรกุล ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำแนะนำ ทิชม แก่ไขเพื่อความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นของงานวิจัย

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ในทุกๆรายวิชาตลอดระยะเวลาที่ศึกษา และขอขอบคุณ คุณรามนรี เนตรวิเชียร คุณนวลกมล อารมณ์พงษ์ และอาจารย์ ดร.อัมพิรา เจริญแสง สำหรับการช่วยเหลือและให้คำแนะนำในระหว่างการดำเนินงานวิจัย

ขอกราบขอบคุณบุคคลสำคัญสูงสุดในชีวิต บิดา มารดา ครอบครัวผู้อยู่เบื้องหลังความสำเร็จในครั้งนี้ สำหรับกำลังใจและคำแนะนำ รวมทั้งสนับสนุนและให้โอกาสทางการศึกษาเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจและช่วยเหลือตลอดระยะเวลาที่ศึกษาและดำเนินงานวิจัยตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ .....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐาน.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	4
2.1 น้ำมันพืช (Vegetable Oil).....	4
2.2 น้ำมันปาล์ม (Palm Oil).....	7
2.3 น้ำมันดีเซล (Diesel Oil) .....	8
2.3.1 น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรถบรรทุกเร็ว (Automotive Diesel Oil).....	9
2.3.2 น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรถบรรทุกช้า (Industrial Diesel Oil).....	9
2.4 เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel).....	9
2.4.1 ของแข็ง .....	10
2.4.2 ของเหลว.....	10
2.4.3 ก๊าซชีวภาพ .....	10

2.5 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	11
2.5.1 การใช้โดยตรงและการผสม (Direct Use and Blending).....	11
2.5.2 กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis).....	11
2.5.3 กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) .....	12
2.5.4 วิธีไมโครอิมัลชัน (Microemulsion).....	12
2.6 ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion).....	12
2.6.1 แบ่งตามชนิดของของเหลวที่เป็นวัฏภาคภายในและวัฏภาคภายนอก .....	13
2.6.1.1 อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in Water Emulsion, O/W Emulsion) .....	13
2.6.1.2 อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (Water in Oil Emulsion, W/O Emulsion) .....	13
2.6.1.3 อิมัลชันเชิงซ้อน (Multiple Emulsion).....	13
2.6.2 แบ่งตามระบบของ Winsor.....	14
2.6.2.1 Winsor Type I.....	14
2.6.2.2 Winsor Type II.....	14
2.6.2.3 Winsor Type III.....	14
2.6.2.4 Winsor Type IV.....	14
2.7 แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary Phase Diagram).....	15
2.8 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) .....	16
2.8.1 สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก (Cationic Surfactant).....	17
2.8.2 สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ (Anionic Surfactant) .....	17
2.8.3 สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (Nonionic Surfactant).....	17
2.8.4 สารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุบวกและประจุลบ (Amphoteric Surfactant หรือ Zwitterionic Surfactant).....	17
2.9 สารลดแรงตึงผิวกึ่งสังเคราะห์ (Semisynthetic Surfactant).....	18



2.10 ค่าความชอบน้ำ หรือค่าเอชแอลบี (Hydrophile-Lipophile Balance, HLB) .....	19
2.11 เอทานอล (Ethanol).....	20
2.12 คุณสมบัติเชื้อเพลิง (Fuel Property) .....	21
2.12.1 ความหนืด (Viscosity).....	21
2.12.2 จุดขุ่น (Cloud Point) .....	22
2.12.3 จุดไหลเท (Pour Point).....	22
2.12.4 จุดวาบไฟ (Flash Point).....	22
2.12.5 ความหนาแน่น (Density).....	23
2.12.6 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity).....	23
2.12.7 ค่าซีเทน (Cetane Number) .....	23
2.12.8 ปริมาณกำมะถัน (Sulphur Content).....	24
2.12.9 ปริมาณน้ำและตะกอน (Water and Sediment).....	24
2.12.10 กากคาร์บอน (Carbon Residue) .....	24
2.12.11 ปริมาณเถ้า (Ash Content).....	24
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	25
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย .....	36
3.1 แผนการทดลอง .....	36
3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี .....	38
3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ .....	38
3.2.2 สารเคมี .....	38
3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย .....	41
3.3.1 การทดลองช่วงที่ 1 หาสัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพ .....	41
3.3.1.1 การศึกษาวิฤภาคของไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม .....	41

3.3.1.2	ศึกษาความเหน็ดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	43
3.3.2	การทดลองช่วงที่ 2 การศึกษาวัฏภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมต่างๆ.....	45
3.3.3	การทดลองช่วงที่ 3 การศึกษาความเหน็ดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	48
3.3.4	การทดลองช่วงที่ 4 การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	50
3.3.4.1	การวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	50
3.3.4.2	การวัดขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	51
3.3.4.3	การวัดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ .....	52
3.3.4.4	การวัดจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	53
3.3.4.5	การวัดความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ .....	55
3.3.4.6	การวัดปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	55
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	57
4.1	สัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	57
4.1.1	การศึกษาวัฏภาคของไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม.....	57
4.1.1.1	ผลของสารลดแรงตึงผิว.....	58
4.1.1.2	ผลของสารลดแรงตึงผิวรวม .....	60
4.1.2	การศึกษาความเหน็ดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	63
4.1.2.1	ผลของเอทานอล .....	64
4.1.2.2	ผลของสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวรวม.....	65
4.2	การศึกษาวัฏภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมต่างๆ.....	66
4.3	การศึกษาความเหน็ดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	68
4.3.1	ผลของสารลดแรงตึงผิว .....	68
4.3.2	ผลของสารลดแรงตึงผิวรวม.....	70

4.3.3 ผลของอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม.....	72
4.4 การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล .....	74
4.4.1 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	74
4.4.1.1 ผลของสารลดแรงตึงผิว.....	75
4.4.1.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม .....	76
4.4.1.3 ผลของอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม .....	76
4.4.2 ขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	77
4.4.3 จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	80
4.4.4 จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	84
4.4.5 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	88
4.4.6 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	89
4.4.6.1 ผลของสารลดแรงตึงผิว.....	90
4.4.6.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม .....	90
4.4.6.3 ผลของอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม .....	91
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ และความสัมพันธ์กับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....	95
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	95
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	96
5.3 ความสัมพันธ์กับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม .....	96
รายการอ้างอิง .....	98
ภาคผนวก.....	103
ภาคผนวก ก.....	104
ภาคผนวก ข .....	106
ภาคผนวก ค.....	111

ภาคผนวก ง.....	121
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	129



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1	ค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่างๆ เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ..... 5
ตารางที่ 2-2	พื้นที่ปลูกให้ผลผลิตและผลผลิตพืชน้ำมันของประเทศระหว่างปี พ.ศ. 2547-2550.... 6
ตารางที่ 2-3	องค์ประกอบกรดไขมัน (Fatty Acid) ของน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ... 7
ตารางที่ 2-4	แสดงชนิดกลุ่มของสารลดแรงตึงผิว ความแตกต่าง และคุณสมบัติ..... 18
ตารางที่ 2-5	ค่าเอชแอลบีของตัวกระทำอิมัลชันบางชนิด ..... 20
ตารางที่ 2-6	แสดงความแตกต่างของงานวิจัยก่อนหน้านี้และงานวิจัยที่จะทำการศึกษา ..... 34
ตารางที่ 3-1	คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวที่ศึกษา ..... 39
ตารางที่ 3-2	คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ศึกษา..... 40
ตารางที่ 3-3	ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการศึกษาวัฏภาคของไมโครอิมัลชันโดยใช้ แผนภาพสามเหลี่ยม ..... 43
ตารางที่ 3-4	ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการศึกษาความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพ ..... 45
ตารางที่ 3-5	ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการศึกษาวัฏภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่างๆ ..... 46
ตารางที่ 3-6	ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการศึกษาความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพ ..... 49
ตารางที่ 3-7	ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการศึกษาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ ..... 50
ตารางที่ 3-8	ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการศึกษาขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพ .... 51
ตารางที่ 3-9	ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการวัดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ..... 52
ตารางที่ 3-10	ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการวัดจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพ ..... 54
ตารางที่ 3-11	ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการวัดความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ..... 55
ตารางที่ 3-12	ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการศึกษาปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพ ..... 56

ตารางที่ 4-1 การเกิดรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Single Phase) ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่สัดส่วนต่างๆ.....	66
ตารางที่ 4-2 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวต่อขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล .....	78
ตารางที่ 4-3 การเกิดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมนอลอเรต หรือสแปน 20 เป็นสารลดแรงตึงผิว ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่างๆ .....	81
ตารางที่ 4-4 การเกิดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมนโอลลีเอต หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่างๆ.....	82
ตารางที่ 4-5 การเกิดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนไตรโอลลีเอต หรือสแปน 85 เป็นสารลดแรงตึงผิว ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่างๆ .....	83
ตารางที่ 4-6 การเกิดจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมนอลอเรต หรือสแปน 20 เป็นสารลดแรงตึงผิว ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่างๆ.....	85
ตารางที่ 4-7 การเกิดจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมนโอลลีเอต หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่างๆ.....	86
ตารางที่ 4-8 การเกิดจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนไตรโอลลีเอต หรือสแปน 85 เป็นสารลดแรงตึงผิว ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่างๆ.....	87
ตารางที่ 4-9 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมด้วยอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่างๆ โดยใช้ซอร์บิแทนโมนโอลลีเอต หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว และใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม.....	93

ตารางที่ 4-10 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมนโอลิเอต หรือสแปน 80 เป็น  
 สารลดแรงตึงผิวผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโ  
 ดีเซล ..... 94



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2-1 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันพืช .....	4
ภาพที่ 2-2 ลักษณะของผลปาล์มน้ำมัน .....	7
ภาพที่ 2-3 การจัดเรียงตัวของตัวกระทำอิมัลชันแบบต่างๆ.....	13
ภาพที่ 2-4 รูปแบบของวิฏภาคที่เกิดขึ้นของไมโครอิมัลชัน.....	14
ภาพที่ 2-5 แผนภาพสามเหลี่ยม .....	15
ภาพที่ 2-6 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว.....	16
ภาพที่ 2-7 กลไกการทำงานของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม ในการทำให้น้ำมันรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน.....	17
ภาพที่ 2-8 โครงสร้างของเอทานอล.....	21
ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	37
ภาพที่ 3-2 ขั้นตอนการศึกษาวิฏภาคของไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม .....	42
ภาพที่ 3-3 ขั้นตอนการศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน .....	44
ภาพที่ 3-4 ขั้นตอนการศึกษาวิฏภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่างๆ .....	47
ภาพที่ 3-5 หลอดวัดความหนืดชนิด Canon-Fenske ในอ่างที่ควบคุมอุณหภูมิ .....	48
ภาพที่ 3-6 ขั้นตอนการศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ .....	49
ภาพที่ 3-7 ขั้นตอนการวัดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	53
ภาพที่ 3-8 ขั้นตอนการวัดจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพ .....	54
ภาพที่ 4-1 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวต่อการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงชีวภาพเมื่อใช้บิวทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม.....	58
ภาพที่ 4-2 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวต่อการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงชีวภาพเมื่อใช้เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม.....	59



ภาพที่ 4-3 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวต่อการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงชีวภาพเมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม .....	59
ภาพที่ 4-4 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงชีวภาพเมื่อใช้ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือสแปน 20 เป็นสารลดแรงตึงผิว .....	61
ภาพที่ 4-5 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงชีวภาพเมื่อใช้ซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว .....	61
ภาพที่ 4-6 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงชีวภาพเมื่อใช้ซอร์บิแทนไตรโอเลอิต หรือสแปน 85 เป็นสารลดแรงตึงผิว .....	62
ภาพที่ 4-7 สัดส่วนการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพที่เลือกในการวัดค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส .....	63
ภาพที่ 4-8 เปรียบเทียบค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว และใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ผสมกับเอทานอล และน้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) ในสัดส่วนต่างๆกัน.....	64
ภาพที่ 4-9 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้บิวทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม .....	69
ภาพที่ 4-10 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม .....	69
ภาพที่ 4-11 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม.....	70
ภาพที่ 4-12 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือสแปน 20 เป็นสารลดแรงตึงผิว .....	71
ภาพที่ 4-13 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว .....	71

ภาพที่ 4-14	เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนไตรโอเลอิต หรือสแปน 85 เป็นสารลดแรงตึงผิว.....	72
ภาพที่ 4-15	เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล.....	73
ภาพที่ 4-16	เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้บิวทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม.....	75
ภาพที่ 4-17	เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว .....	76
ภาพที่ 4-18	เปรียบเทียบผลของอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว และใช้บิวทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม.....	77
ภาพที่ 4-19	การเกิดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส .....	81
ภาพที่ 4-20	เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันไม่สามารถไหลได้ ที่อุณหภูมิ -5 องศาเซลเซียส .....	84
ภาพที่ 4-21	เปรียบเทียบผลของอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80 ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล .....	88
ภาพที่ 4-22	เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวต่อปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้บิวทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม .....	90
ภาพที่ 4-23	เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80 .....	91
ภาพที่ 4-24	เปรียบเทียบผลของอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80 ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล.....	92
ภาพที่ 5-1	ระบบการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน .....	97

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในภาวะราคาน้ำมันปิโตรเลียมที่สูงขึ้นอย่างมากในปัจจุบัน รวมถึงปริมาณความต้องการพลังงานในรูปเชื้อเพลิงฟอสซิลที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง นำไปสู่การพัฒนาพลังงานทางเลือกอย่างรวดเร็ว ซึ่งได้มีความสนใจในการนำเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชมาใช้เป็นพลังงานทดแทน ปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันที่น่าสนใจนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ ทั้งนี้เพราะปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ปลูกกันมากในประเทศไทย แต่มีข้อจำกัด คือ น้ำมันปาล์มมีความหนืดสูง ระเหยตัวได้น้อย และแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำ ด้วยคุณสมบัติหลายประการที่แตกต่างจากน้ำมันดีเซลที่ได้จากปิโตรเลียม โดยเฉพาะค่าความหนืด ทำให้ไม่สามารถใช้น้ำมันปาล์มในเครื่องยนต์ได้โดยตรง จำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันปาล์มก่อนนำไปใช้ในเครื่องยนต์ โดยกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ สามารถทำได้หลายวิธี คือ วิธีการใช้โดยตรงและการผสม (Direct Use and Blending) วิธีการแตกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) วิธีการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) และวิธีไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) (Ali และคณะ, 1994) โดยในการศึกษาวิจัยนี้จะใช้วิธีไมโครอิมัลชัน ซึ่งเป็นการผสมของน้ำมันปาล์ม น้ำมันดีเซล และเอทานอล โดยมีสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) และสารลดแรงตึงผิวร่วม (Co-Surfactant) เป็นตัวประสาน จนทำให้เกิดเป็นของเหลวใสที่มีอนุภาคเล็กขนาด 1-150 นาโนเมตร โดยวิธีไมโครอิมัลชันนั้นมีข้อดี คือ เชื้อเพลิงที่ได้มีการเผาไหม้สมบูรณ์ และเมื่ออุณหภูมิการเผาไหม้ลดลงส่งผลให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) และปริมาณฝุ่นละอองลดลง แต่มีข้อเสียคือ มีค่าซีเทนต่ำ ทำให้เกิดการจุดติดไฟที่เครื่องยนต์ช้า (Do และคณะ, 2011)

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้ซอร์บแทนเอสเทอร์เป็นสารลดแรงตึงผิวในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยใช้วิธีไมโครอิมัลชัน สารลดแรงตึงผิวกลุ่มซอร์บแทนเอสเทอร์มีชื่อเรียกทางการค้าว่า สแปน เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ได้จากธรรมชาติ ใช้แทนสารลดแรงตึงผิว

สังเคราะห์ เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวที่ได้จากธรรมชาติสามารถถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม และมีความเป็นพิษต่ำ ส่วนสารลดแรงตึงผิวรวมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ บิวทานอล (1-Butanol) เฮกซานอล (1-Hexanol) และออกทานอล (1-Octanol) โดยจะทำการศึกษาวงจรของไมโครอิมัลชัน และวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิงชีวภาพ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวที่ได้จากธรรมชาติ สารลดแรงตึงผิวรวม น้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล) และเอทานอลที่เหมาะสม ในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน
2. เพื่อศึกษาผลของชนิดสารลดแรงตึงผิวกลุ่มซอร์บิแทนเอสเทอร์ ต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน
3. เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์ม โดยใช้สารลดแรงตึงผิวที่ได้จากธรรมชาติชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

## 1.3 สมมติฐาน

การใช้สารลดแรงตึงผิวกลุ่มซอร์บิแทนเอสเทอร์ทดแทนสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ในการทำให้อเอทานอลและน้ำมันดีเซลซึ่งเป็นสารละลายมีขั้วและไม่มีขั้วสามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ โดยชนิดของซอร์บิแทนเอสเทอร์จะมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน โดยขึ้นอยู่กับค่าเอชแอลบีที่เหมาะสม โดยที่ชนิดของซอร์บิแทนเอสเทอร์ที่มีค่าเอชแอลบีต่ำ จะสามารถทำให้เกิดไมโครอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมันได้ดีกว่าซอร์บิแทนเอสเทอร์ที่มีค่าเอชแอลบีสูง ทำให้ได้เชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันที่มีค่าความหนืดของน้ำมันผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

#### 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการทดลองในห้องปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิตั้ง ณ ตึกปฏิบัติการรวม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีขอบเขตงานวิจัยดังนี้

1. ใช้ซอร์บิแทนเอสเตอร์เป็นสารลดแรงตึงผิว ประกอบด้วย ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือสแปน 20 ซอร์บิแทนโมโนโอเลต หรือสแปน 80 และซอร์บิแทนไตรโอเลต หรือสแปน 85 สารลดแรงตึงผิวรวมที่ใช้ ประกอบด้วย บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล
2. น้ำมันพืชที่ใช้ศึกษาคือ น้ำมันปาล์ม ซึ่งจะผสมกับน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ใช้เป็นตัวแทนของเพลิงที่ไม่มีซัลเฟอร์
3. ใช้เอทานอล เกรดทางการค้า ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 เป็นตัวแทนของเพลิงที่มีซัลเฟอร์
4. อุณหภูมิที่ทำการศึกษาค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ คือ ตั้งแต่ 15 ถึง 40 องศาเซลเซียส
5. อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมที่ใช้ศึกษาวิฤภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพ คือ ตั้งแต่ 1:2 ถึง 1:16 โดยโมล
6. คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ศึกษา ได้แก่ ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ (Kinematic Viscosity) ค่าความร้อน (Heat of Combustion) ขนาดอนุภาค (Droplet Size) จุดขุ่น (Cloud Point) จุดไหลเท (Pour Point) ความหนาแน่น (Density) และปริมาณเถ้า (Ash Content) เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

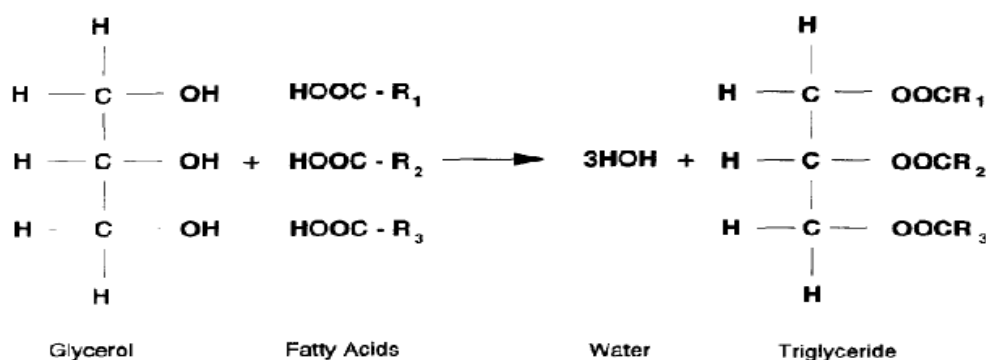
1. เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกสารลดแรงตึงผิวที่ได้จากธรรมชาติกับสารลดแรงตึงผิวรวมที่เหมาะสม ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน
2. เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากวัตถุดิบเป็นสารที่ได้จากธรรมชาติ

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 น้ำมันพืช (Vegetable Oil)

น้ำมันพืชคือ น้ำมันที่สกัดได้จากพืชชนิดต่างๆ มีความหนืดสูงและมีโครงสร้างโดยทั่วไปเป็นสารประกอบไตรเอซิลกลีเซอรอล (Triacylglycerols) หรือไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของกลีเซอรอล 1 โมเลกุล ซึ่งมีสูตรโครงสร้างเป็น  $C_3H_5$  เชื่อมต่อกับกรดไขมัน (Fatty Acid) 3 โมเลกุลด้วยพันธะเอสเทอร์ (Ali และคณะ, 1994) แสดงดังภาพที่ 2-1 โดยที่กรดไขมันในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ทั้งสามชนิดอาจจะเหมือนกันหรือแตกต่างกัน และจะมีปริมาณไขมันอยู่ในโครงสร้างถึงร้อยละ 94-96 ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้น้ำมันพืชแต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 2-1 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันพืช

(Ali และคณะ, 1994)

เนื่องด้วยคุณสมบัติของน้ำมันพืชโดยรวมใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากกว่าน้ำมันเบนซิน จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งมักใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบต่ำ เนื่องจากน้ำมันพืชมีคุณสมบัติการระเหยตัวต่ำ (Low Volatility) เมื่อป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้จะทำให้จุดระเบิดได้ช้า และยังระเหยตัวกลายเป็นไอน้อยเมื่อใช้กับเครื่องยนต์ที่มีความเร็วรอบสูง โดยทั่วไปน้ำมันพืชแต่ละชนิดจะให้ค่าความร้อนต่อน้ำหนักประมาณร้อยละ 83-85 ของน้ำมันดีเซล และมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล 10 เท่า แสดงดังตารางที่ 2-1 ส่งผลให้หัวฉีด

น้ำมัน ฉีดน้ำมันให้เป็นฝอยได้ยาก จึงเป็นปัญหาต่อการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ ทำให้เกิดการสันดาปไม่สมบูรณ์ และเกิดคราบเขม่าเกาะที่หัวฉีด ฉนวนลูกสูบ แหวน และวาล์ว ภายหลังการเผาไหม้ (นคร ทิพย์าวงศ์, 2553) และเมื่ออุณหภูมิต่ำลงน้ำมันพีซจะยังมีความหนืดสูงซึ่งจนอาจจะเกิดเป็นไขได้ ส่งผลให้เกิดปัญหาต่อระบบการใช้เชื้อเพลิง

ตารางที่ 2-1 ค่าความร้อนของน้ำมันพีซชนิดต่างๆ เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

ชนิดของน้ำมัน	ค่าความหนาแน่น ที่ 21 องศาเซลเซียส (กรัม/มิลลิลิตร)	ความหนืด ที่ 21 องศาเซลเซียส (เซนติพอยส์)	ค่าความร้อน (กิโลจูล/กิโลกรัม)
น้ำมันถั่วเหลือง	0.918	57.2	39,350
น้ำมันดอกทานตะวัน	0.918	60.0	39,490
น้ำมันมะพร้าว	0.915	51.9	37,540
น้ำมันถั่วลิสง	0.914	67.1	39,470
น้ำมันปาล์ม	0.898	88.6	39,550
น้ำมันเมล็ดในปาล์ม	0.904	66.3	39,720
น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ	0.915	36.9	39,000
น้ำมันดีเซล	0.845	3.8	46,800

ที่มา: พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล, 2544

การนำน้ำมันพีซไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพนั้นอาจทำได้โดยการปรับปรุงเครื่องยนต์ แต่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายมากในการปรับปรุงระบบหัวฉีดและห้องเครื่อง รวมไปถึงการเปลี่ยนวัสดุบางชนิดในระบบเชื้อเพลิงที่อาจถูกกัดกร่อน เช่น ยาง เป็นต้น ดังนั้นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด สามารถทำได้โดยการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันพีซ ซึ่งจะมีความยุ่งยากและใช้งบประมาณน้อยกว่าการปรับปรุงเครื่องยนต์ เช่น การลดค่าความหนืด เพิ่มการระเหยตัวเป็นไอให้ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เพื่อให้สะดวกต่อการป้อนเชื้อเพลิงเข้าห้องเผาไหม้ และทำให้เกิดการสันดาปที่สมบูรณ์ ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์ในระยะยาว เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลกับเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ พบว่า น้ำมันพีซมีความปลอดภัยและให้

มลพิษน้อยกว่า จึงถือว่าเป็นเชื้อเพลิงที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในด้านของราคาจะขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบรวมถึงองค์ประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง (เพทาย ตันธนวัฒน์ และ ธีราวุธ พงศ์ประยูร, 2551) นอกจากนี้การพิจารณาเลือกใช้พืชแต่ละชนิดยังขึ้นอยู่กับปริมาณพื้นที่เพาะปลูกที่เพียงพอและเหมาะสมกับแต่ละท้องถิ่น เช่น สหภาพยุโรปเลือกใช้เมล็ดเรพ เมล็ดดอกทานตะวัน สหรัฐอเมริกาใช้ถั่วเหลือง และเอเชียใช้มะพร้าว ปาล์มน้ำมัน งามะหุง และสบู่ดำ เป็นต้น

น้ำมันพืชที่สกัดได้มีอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น น้ำมันมะกอก (Olive Oil) น้ำมันงา (Sesame Oil) น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน (Sunflower Oil) น้ำมันรำข้าว (Rice Bran Oil) น้ำมันดอกคำฝอย (Safflower Oil) น้ำมันถั่วเหลือง (Soybean Oil) น้ำมันถั่วลิสง (Peanut Oil) และน้ำมันปาล์ม (Palm Oil) เป็นต้น ซึ่งพืชน้ำมันที่เป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิต และจัดเป็นพืชน้ำมันเศรษฐกิจของประเทศนั้นมีอยู่ 6 ชนิด คือ ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว ถั่วเหลือง ทานตะวัน มะหุง และถั่วลิสง จากการพิจารณาทั้งในด้านพื้นที่เพาะปลูกสำหรับประเทศไทยและปริมาณผลผลิตที่ได้ แสดงดังตารางที่ 2-2 พบว่า ปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันที่มีศักยภาพสูงสุดในการใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตารางที่ 2-2 พื้นที่ปลูกให้ผลผลิตและผลผลิตพืชน้ำมันของประเทศระหว่างปี พ.ศ. 2547-2550

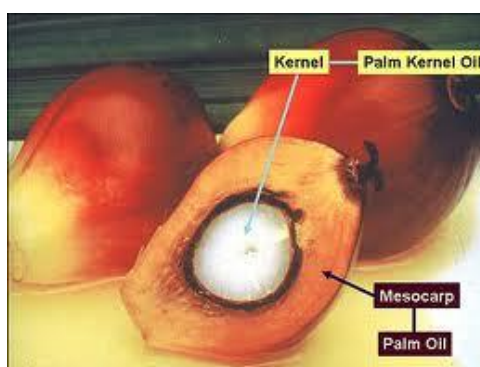
พืชน้ำมัน	2547		2548		2549		2550	
	พื้นที่ปลูก (พันไร่)	ผลผลิต (พันตัน)	พื้นที่ปลูก (พันไร่)	ผลผลิต (พันตัน)	พื้นที่ปลูก (พันไร่)	ผลผลิต (พันตัน)	พื้นที่ปลูก (พันไร่)	ผลผลิต (พันตัน)
ปาล์ม	1,932	5,182	2,026	5,003	2,374	6,715	2,663	6,390
มะพร้าว	1,690	2,126	1,659	1,940	1,614	1,815	1,598	1,722
ถั่วเหลือง	912	218	901	226	860	215	805	204
ทานตะวัน	179	22	263	38	208	24	191	23
มะหุง	83	10	84	10	81	10	81	10
ถั่วลิสง	250	65	249	67	239	65	201	54

ที่มา: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552



## 2.2 น้ำมันปาล์ม (Palm Oil)

น้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันที่สกัดได้จากผลของต้นปาล์มที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis* โดยผลปาล์มน้ำมันจะมีส่วนที่ให้น้ำมัน 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อของผลปาล์ม ซึ่งอยู่ระหว่างเปลือกกับกะลา (Palm Oil) และส่วนที่อยู่ในกะลาหรือในเมล็ดของปาล์มน้ำมัน (Palm Kernel Oil) แสดงดังภาพที่ 2-2 ซึ่งผลปาล์มน้ำมันจะให้น้ำมันร้อยละ 56 และจะมีลักษณะเป็นสีเหลืองส้มของแคโรทีน (Carotene)



ภาพที่ 2-2 ลักษณะของผลปาล์มน้ำมัน

(นิธิยา รัตนापนนท์ และพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2550: ออนไลน์)

ตารางที่ 2-3 องค์ประกอบกรดไขมัน (Fatty Acid) ของน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

กรดไขมัน	น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil)	น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (Palm Kernel Oil)
กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated Fatty Acid)	ร้อยละ 50	ร้อยละ 82
Caproic Acid (C6:0)	-	0.1 - 0.5
Caprylic Acid (C8:0)	-	3.4 - 5.9
Capric Acid (C10:0)	-	3.3 - 4.4
Lauric Acid (C12:0)	0.1 - 0.4	46.3 - 51.1
Myristic Acid (C14:0)	1.0 - 1.4	14.3 - 16.8
Palmitic Acid (C16:0)	40.9 - 47.5	6.5 - 8.9
Stearic Acid (C18:0)	3.8 - 4.8	1.6 - 2.6
Arachidic Acid (C20:0)	0 - 0.8	-

ตารางที่ 2-3 องค์ประกอบกรดไขมัน (Fatty Acid) ของน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (ต่อ)

กรดไขมัน	น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil)	น้ำมันเมล็ดในปาล์ม (Palm Kernel Oil)
กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acid)	ร้อยละ 50	ร้อยละ 18
C16:1 (Palmitoleic Acid)	0 - 0.6	-
Oleic Acid (C18:1 )	36.4 - 41.2	13.2 - 16.4
Linoleic Acid (C18:2)	9.2 - 11.6	2.2 - 3.4
Linolenic Acid (C18:3)	0 - 0.5	-

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร, 2550

### 2.3 น้ำมันดีเซล (Diesel Oil)

น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเหลวสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนหลายร้อยชนิด มีน้ำหนักโมเลกุลและคุณสมบัติทางกายภาพในช่วงกว้าง ได้มาจากการกลั่นน้ำมันดิบเพื่อแยกส่วนในหอกลั่นบรรยากาศหรือส่วนกลั่นตรง (Crude Distillation Unit) โดยอาศัยความแตกต่างของจุดเดือด โดยทั่วไปจุดเดือดของน้ำมันดีเซลจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 180-370 องศาเซลเซียส แต่เนื่องจากมีปริมาณความต้องการใช้น้ำมันดีเซลสูง จึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพโดยการแตกตัวโมเลกุลของน้ำมันหนักให้เป็นน้ำมันที่เบาขึ้น เพื่อให้สามารถผลิตน้ำมันที่มีคุณภาพและเพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งกระบวนการที่ใช้โดยทั่วไปมีหลายแบบ ได้แก่ การแตกตัวโดยใช้ความร้อน (Thermal Cracking) การแตกตัวโดยใช้สารเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking) และการแตกตัวโดยใช้ไฮโดรเจน (Hydro Cracking) โดยโรงกลั่นน้ำมันในประเทศไทยจะเลือกใช้กระบวนการที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำเข้าและปริมาณการผลิตน้ำมันแต่ละชนิด

น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งเป็นเครื่องยนต์แรงอัดสูง (High Compression) และจุดระเบิดเอง (Self Ignition Engine) โดยการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงเกิดจากความร้อนจากอากาศในกระบอกสูบที่มีแรงอัดสูง โดยไม่ต้องใช้หัวเทียน (ธเนศร์ เสนิงวงศ์ ณ อยุธยา, 2545) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

### 2.3.1 น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรถบรรทุกเร็ว (Automotive Diesel Oil)

เช่น รถยนต์ รถบรรทุก เรือประมง เรือโดยสาร รถแทรกเตอร์ และเครื่องจักรกลหนักทุกชนิดที่มีรอบหมุนเร็วเกิน 1,000 รอบต่อนาที โดยเครื่องยนต์ประเภทนี้จำเป็นต้องใช้น้ำมันที่มีค่าซีเทนสูงและมีการระเหยเร็ว เพื่อให้เครื่องยนต์เดินสะดวก ซึ่งรัฐบาลไทยกำหนดให้มีค่าซีเทนอย่างต่ำ 47 โดยทั่วไปเรียกว่า น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (HSD; High Speed Diesel Oil) หรือเป็นที่รู้จักกันในชื่อน้ำมันโซล่า ถ้าใช้กับเรือเดินสมุทรมักเรียกว่า Marine Gas Oil

### 2.3.2 น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรถบรรทุกช้า (Industrial Diesel Oil)

เช่น เครื่องยนต์ดีเซลขับเคลื่อนกังหันน้ำที่ตามโรงงานต่างๆ ซึ่งมีรอบการทำงานต่ำ อยู่ในช่วง 500-1,000 รอบต่อนาที โดยเครื่องยนต์ประเภทนี้ไม่จำเป็นต้องใช้น้ำมันที่มีค่าซีเทนสูงและการระเหยเร็วมากนัก รัฐบาลไทยกำหนดให้มีค่าซีเทนอย่างต่ำ 45 โดยทั่วไปเรียกว่า น้ำมันดีเซลหมุนช้า (LSD; Low Speed Diesel Oil) หรือเป็นที่รู้จักกันในชื่อน้ำมันซีโล่ ถ้าใช้กับเรือเดินสมุทรมักเรียกว่า Marine Diesel Oil เป็นน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (Distillate Fuel) และน้ำมันเตา (Fuel Oil, FO หรือ Heavy Fuel Oil, HFO) ในอัตราส่วนที่มีคุณสมบัติตรงตามข้อกำหนดของกระทรวงพาณิชย์

### 2.4 เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel)

เชื้อเพลิงชีวภาพคือเชื้อเพลิงที่ผลิตจากชีวมวล (Biomass) หรือสิ่งมีชีวิต ได้แก่ พืชและสัตว์ โดยพืชเป็นพลังงานชีวภาพรูปแบบหนึ่ง เนื่องจากเป็นพลังงานที่เกิดขึ้นเองโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthetic Process) ซึ่งพืชจะเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานสะสมในรูปของสารอินทรีย์ หรือที่เรียกว่า ชีวมวล (Biomass) และเมื่อเรานำเอาสารอินทรีย์เหล่านั้นมาผ่านกระบวนการที่เหมาะสมจะสามารถเปลี่ยนชีวมวลเหล่านั้นให้เป็นพลังงานที่เป็นประโยชน์ได้

เชื้อเพลิงชีวภาพจัดเป็นพลังงานหมุนเวียนเนื่องจากสามารถฟื้นฟูหรือสร้างขึ้นใหม่ได้ トラバ ใดที่ต้นไม้อและพืชไม่ถูกใช้ไปในอัตราที่รวดเร็วกว่าที่จะสามารถปลูกทดแทนให้เจริญเติบโตได้ทัน ซึ่งแตกต่างจากเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ได้จากถ่านหินและปิโตรเลียม ซึ่งจัดเป็นเชื้อเพลิงสิ้นเปลือง

เนื่องจากเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป นอกจากนี้เชื้อเพลิงชีวภาพยังมีสถานะที่หลากหลายทั้งในสถานะของแข็ง ของเหลว และก๊าซ จึงทำให้สะดวกในการนำไปใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ต่างๆ ยิ่งไปกว่านั้นการเผาเชื้อเพลิงชีวภาพไม่ก่อให้เกิดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น และยังก่อให้เกิดปริมาณก๊าซพิษน้อยกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ เมื่อเทียบกันในอัตราต่อหน่วย จึงถือเป็นการช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมได้อย่างมากเชื้อเพลิงชีวภาพแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบหลักๆ คือ

#### 2.4.1 ของแข็ง

ได้แก่ ไม้ ชีเสื่อย ฟางข้าว ชังข้าวโพด ชานอ้อย มูลสัตว์ ถ่าน เขา เปลือกสัตว์หรือเปลือกพืช อาทิ แกลบข้าว ฝ้าย ถั่วลิสง เป็นต้น โดยพลังงานชีวภาพชนิดแรกที่มีมนุษย์นำมาใช้ คือ ไม้ฟืน สามารถใช้ในการหุงต้มอาหารให้แสงสว่างและสร้างความอบอุ่นให้แก่ครัวเรือน

#### 2.4.2 ของเหลว ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่

2.4.2.1 แอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ มีสถานะเป็นของเหลวระเหยง่าย แอลกอฮอล์ที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงมี 2 ชนิดคือ เอทานอล และเมทานอล

2.4.2.2 น้ำมันจากพืชและสัตว์ ได้แก่ น้ำมันพืชบริสุทธิ์ น้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ไขมันสัตว์ และไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ และน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยผ่านกระบวนการทางเคมี

2.4.2.3 น้ำมันจากขยะ ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีคล้ายคลึงกับน้ำมันปิโตรเลียม สามารถสกัดจากขยะชีวมวลมาใช้งานได้

#### 2.4.3 ก๊าซชีวภาพ

ส่วนใหญ่ คือ ก๊าซมีเทนที่ได้จากการหมักมูลสัตว์หรือของเสียจากโรงเลี้ยงสัตว์ เช่น สุกร โค กระบือ เป็นต้น ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ รวมไปถึงก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตได้จากกระบวนการที่ทำให้โมเลกุลขนาดใหญ่มีขนาดเล็กลง (Cracking) และกระบวนการแยกไฮโดรเจนจากน้ำด้วยไฟฟ้า (Electrolysis)

ปัจจุบันยังมีการใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงชีวภาพอยู่ไม่มากนัก จึงได้มีการพยายามที่จะศึกษาค้นคว้าเพื่อให้มีการใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงชีวภาพได้มากขึ้น โดยเฉพาะในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น ในยุโรป มีการนำเชื้อเพลิงชีวภาพไปใช้เพื่อการผลิตไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าขนาดเล็กและใช้ในภาคเกษตรกรรม เป็นต้น ส่วนในประเทศไทยสามารถผลิตพลังงานใช้เองภายในประเทศได้เพียงบางส่วน ซึ่งไม่พอกับความต้องการใช้ที่ขยายตัวอย่างต่อเนื่องควบคู่ไปกับการเติบโตทางเศรษฐกิจ ปัจจุบันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ดำเนินการผลิตเชิงพาณิชย์และจำหน่ายอยู่ในประเทศไทยนั้น ได้แก่ เอทานอล น้ำมันแก๊สโซฮอล์ น้ำมันดีเซลปาล์ม (บริสุทธิ์) และไบโอดีเซล

## 2.5 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถผลิตได้หลายวิธี คือ การใช้โดยตรงและการผสม (Direct Use and Blending) กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) และวิธีไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) (Ma และคณะ, 1999) โดยจะแสดงดังต่อไปนี้

### 2.5.1 การใช้โดยตรงและการผสม (Direct Use and Blending)

การใช้โดยตรงคือ น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชแท้ๆ นิยมใช้ในเครื่องยนต์ทางการเกษตรที่มีความเร็วรอบต่ำ ส่วนแบบผสม คือ น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากการผสมระหว่างน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ กับน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันดีเซลหรืออื่นๆ ปัจจุบันไม่เป็นที่นิยมใช้ เพราะเกิดปัญหาการแยกชั้นของน้ำมันพืชออกจากน้ำมันดีเซล ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ตามมาได้

### 2.5.2 กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis)

เป็นกระบวนการเปลี่ยนจากสารประกอบหนึ่งชนิดไปเป็นสารประกอบอื่นๆ มากกว่าหนึ่งชนิด โดยใช้ความร้อนหรือใช้ความร้อนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา ทั้งนี้จะต้องจำกัดปริมาณอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ อุณหภูมิที่ใช้ใน

กระบวนการประมาณ 450-600 องศาเซลเซียส ซึ่งกระบวนการนี้ยากที่จะกำหนดหรือควบคุม เนื่องด้วยความหลากหลายทางปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ

### 2.5.3 กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification)

เป็นการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างไขมันหรือน้ำมัน (Triglyceride) กับแอลกอฮอล์ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอล โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา (Ma และคณะ, 1999) เพราะฉะนั้นการทำไบโอดีเซลบริสุทธิ์จึงเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยาก เพราะถ้าไบโอดีเซลมีส่วนผสมของโมโนกลีเซอไรด์ จะทำให้ไบโอดีเซลเกิดการแข็งตัวง่าย ทั้งนี้ถ้ามีสิ่งเจือปนอยู่ในไบโอดีเซลก็จะทำให้จุดขุ่น (Cloud Point) และจุดไหลเท (Pour Point) มีค่าสูงขึ้นด้วย (Ma และคณะ, 1999)

### 2.5.4 วิธีไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)

เป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืช โดยสามารถทำให้ของเหลวสองชนิดที่ไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ระหว่างแอลกอฮอล์ที่มวลโมเลกุลต่ำกับน้ำมันพืชที่ผสมกับน้ำมันดีเซล ให้เป็นคอลลอยด์ที่มีอนุภาคอยู่ในช่วง 1-150 นาโนเมตร ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นของเหลวใสที่รวมเป็นเนื้อเดียวกันได้โดยใช้ตัวทำละลาย เช่น เมทานอล เอทานอล และบิวทานอล ไมโครอิมัลชันที่เกิดจากเมทานอลกับน้ำมันพืชจะได้น้ำมันที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล (Ma และคณะ, 1999) แต่เมื่อนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์พบว่า มีการสะสมตัวของคราบซึ่งเป็นสารประกอบคาร์บอนเกาะรอบๆหัวฉีดและวาล์วของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นข้อเสียของน้ำมันที่ผลิตโดยวิธีนี้ (Ma และคณะ, 1999)

## 2.6 ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)

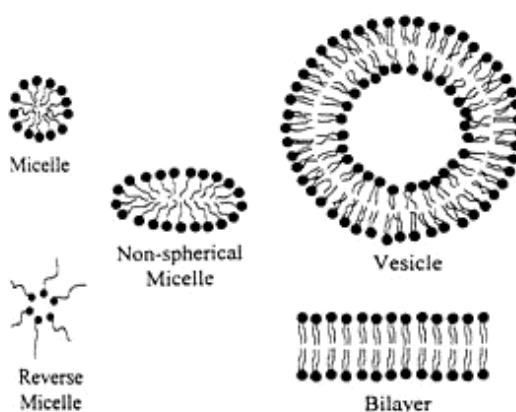
เป็นอิมัลชันที่มีขนาดหยดอนุภาคภายในเล็กอยู่ในช่วง 1-150 นาโนเมตร มีลักษณะโปร่งใส (Transparent) หรือโปร่งแสง (Translucent) เนื่องจากขนาดของหยดอนุภาคมีขนาดเล็กกว่าความยาวหนึ่งในสี่ของความยาวคลื่นแสง จึงไม่กระจายแสง ทำให้มองเห็นเป็นอิมัลชันใสเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า ซึ่งถือเป็นอิมัลชันที่มีเสถียรภาพและมีความขุ่นมัวน้อย โดยแบ่งชนิดของอิมัลชันได้ดังนี้

2.6.1 แบ่งตามชนิดของของเหลวที่เป็นวัฏภาคภายในและวัฏภาคภายนอก แบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

2.6.1.1 อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in Water Emulsion, O/W Emulsion) จะมีวัฏภาคภายในเป็นน้ำมัน วัฏภาคภายนอกเป็นน้ำ โดยสารลดแรงตึงผิวจะหันส่วนหัวที่มีขั้วซึ่งชอบน้ำออกด้านนอก และส่วนหางที่ไม่ชอบน้ำจะอยู่ด้านในน้ำมัน ทำให้เกิดโครงสร้างเป็นลักษณะที่เรียกว่า ไมเซลล์ (Micelle)

2.6.1.2 อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (Water in Oil Emulsion, W/O Emulsion) จะมีวัฏภาคภายในเป็นน้ำ วัฏภาคภายนอกเป็นน้ำมัน โดยสารลดแรงตึงผิวจะหันส่วนหัวซึ่งชอบน้ำเข้าด้านใน และหันส่วนหางที่ไม่ชอบน้ำออกด้านนอกซึ่งเป็นน้ำมัน ทำให้เกิดโครงสร้างเป็นลักษณะที่เรียกว่า รีเวิร์สไมเซลล์ (Reverse Micelle)

2.6.1.3 อิมัลชันเชิงซ้อน (Multiple Emulsion) จะมีวัฏภาคภายในซ้อนกันอยู่ ซึ่งเป็นของเหลวต่างชนิดกัน เช่น W/O/W หรือ O/W/O อิมัลชันเชิงซ้อนเหล่านี้สามารถกลับกลายเป็นอิมัลชันชนิดธรรมดาได้ เช่น W/O/W ซึ่งมีน้ำเป็นวัฏภาคภายนอก แต่วัฏภาคภายในเป็นน้ำมัน จะมีหยดเล็กๆ ของหยดน้ำซ้อนอยู่อีกที เมื่อกลับกลายเป็นอิมัลชันธรรมดาจะกลายเป็นชนิด O/W พบบ้างในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น Cold Cream ซึ่งเป็นชนิด O/W/O เป็นต้น



ภาพที่ 2-3 การจัดเรียงตัวของตัวกระทำอิมัลชันแบบต่างๆ  
(McClements, 1998)

## 2.6.2 แบ่งตามระบบของ Winsor ได้ 4 ประเภท (Nguyen และคณะ, 2010) คือ

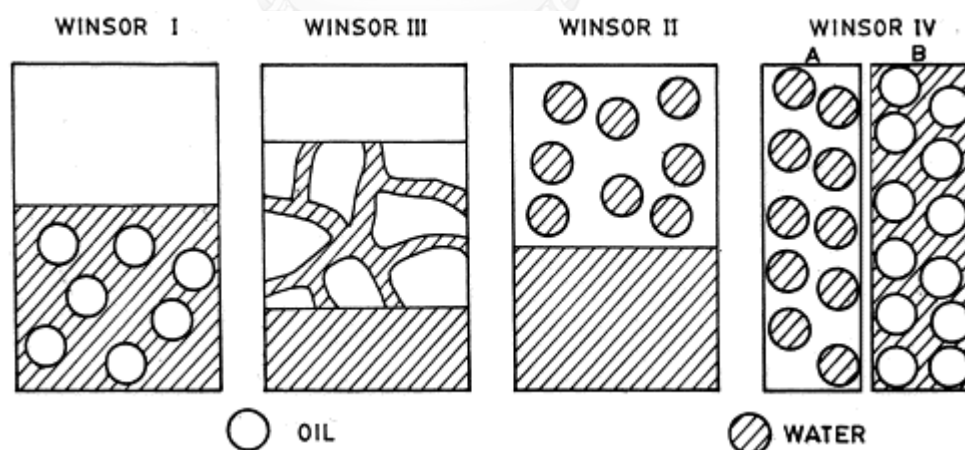
2.6.2.1 Winsor Type I เป็นระบบที่แยกเป็นสองวัฏภาค โดยมีการเกิดไมโครอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำอยู่ที่วัฏภาคด้านล่าง

2.6.2.2 Winsor Type II เป็นระบบที่แยกเป็นสองวัฏภาค โดยมีการเกิดไมโครอิมัลชันประเภทน้ำในน้ำมันอยู่ที่วัฏภาคด้านบน

2.6.2.3 Winsor Type III เป็นระบบที่แยกเป็นสามวัฏภาค โดยมีการเกิดไมโครอิมัลชันประเภทต่อเนื่องแบบคู่อยู่ที่วัฏภาคตรงกลาง โดยจะเกิดกับระบบที่มีส่วนประกอบของสารลดแรงตึงผิวในปริมาณน้อย

2.6.2.4 Winsor Type IV เป็นระบบที่มีวัฏภาคเดียว โดยอาจเป็นไมโครอิมัลชันประเภทน้ำมันในน้ำ หรือประเภทน้ำในน้ำมันขึ้นอยู่กับชนิดของสารลดแรงตึงผิว โดยจะเกิดกับระบบที่มีสารลดแรงตึงผิวในปริมาณมาก

การผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชันจะพิจารณา Winsor Type II เพราะมีลักษณะใส เป็นเนื้อเดียวกันเมื่อพิจารณาด้วยตาเปล่า



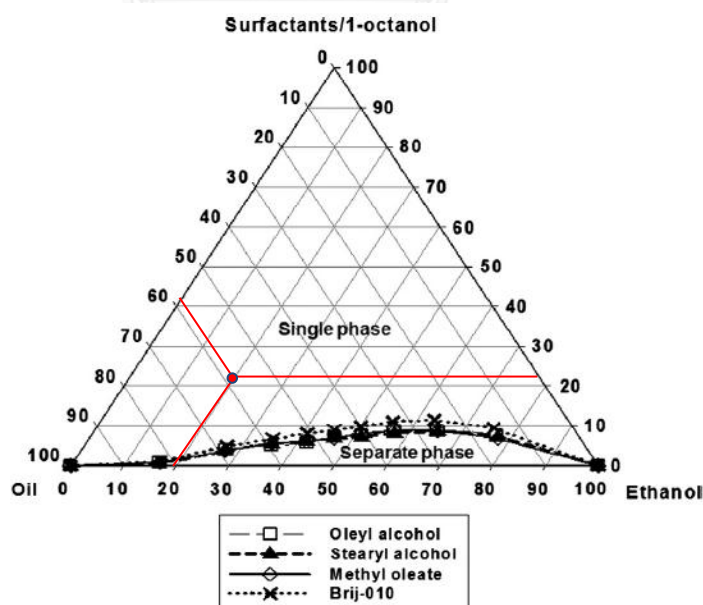
ภาพที่ 2-4 รูปแบบของวัฏภาคที่เกิดขึ้นของไมโครอิมัลชัน  
(Moulik และคณะ, 1998)



## 2.7 แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary Phase Diagram)

แผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของสารต่อการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการ ประกอบด้วย 3 แกน สร้างเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า โดยแต่ละส่วนประกอบจะอยู่ที่มุมของสามเหลี่ยม ได้แก่ สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม (มุมนบน) เอทานอล (มุมนขวา) และน้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซล (มุมนซ้าย) (Dunn และคณะ, 1994) ดังภาพที่ 2-5

แผนภาพสามเหลี่ยมนี้ จะแสดงการจำแนกเฟสของสาร ซึ่งแบ่งเป็นเฟสของสารที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะเห็นเป็นเฟสที่แยกชั้นกัน (Separate Phase) และเฟสของสารที่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะเห็นเป็นเฟสเดียว (Single Phase) ใช้ในการหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำให้สารผสมสามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ โดยนำมาประยุกต์ใช้กับการหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืชโดยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยสัดส่วนที่อ่านได้จากทั้ง 3 แกน รวมแล้วจะได้ค่าเท่ากับ 100 ซึ่งแต่ละจุดที่ได้จะสร้างจากการผสมสารลดแรงตึงผิวกับสารลดแรงตึงผิวร่วมที่อัตราส่วนและอุณหภูมิคงที่ เอทานอล และน้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซล ในสัดส่วนต่างๆ เพื่อหาจุดที่ทำให้สารผสมเริ่มเปลี่ยนจาก Separate Phase เป็น Single Phase จึงจะได้เส้นดังภาพที่ 2-5



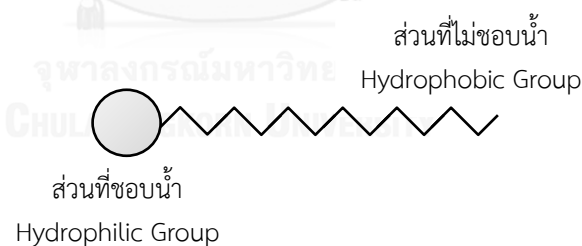
ภาพที่ 2-5 แผนภาพสามเหลี่ยม

(Arpornpong และคณะ, 2014)

พื้นที่ด้านล่างของเส้นกราฟแสดงสัดส่วนที่ทำให้เชื้อเพลิงแยกชั้นกัน (Separate Phase) และพื้นที่เหนือเส้นกราฟขึ้นไปแสดงสัดส่วนที่ทำให้เชื้อเพลิงรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ (Single Phase) โดยการพิจารณาเลือกสัดส่วนควรเลือกจุดที่อยู่เหนือเส้นกราฟขึ้นมาเล็กน้อย และเลือกสัดส่วนที่ใช้น้ำมันมาก ใช้สารเคมีน้อย จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้เลือกปริมาณสัดส่วนของน้ำมันพืชผสมกับน้ำมันดีเซลที่ร้อยละ 58 โดยปริมาตร สัดส่วนของเอทานอลร้อยละ 20 โดยปริมาตร และสัดส่วนของเมธิลโอลิเอต/ออกทานอล ร้อยละ 22 โดยปริมาตร ดังภาพที่ 2-5

## 2.8 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

สารลดแรงตึงผิวหรือมีชื่อเรียกอื่นๆ เช่น Emulsifiers Surfactants Emulsifying Agents และ Emulgents ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอินทรีย์ มีลักษณะโมเลกุลประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนหัวจะเป็นส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic Group) สามารถรวมตัวกับน้ำได้ดี และส่วนหางเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic Group) จะไม่รวมตัวกับน้ำแต่สามารถละลายในน้ำมันได้ดี ดังภาพที่ 2-6 ส่วนที่ไม่ชอบน้ำมักจะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน คือ มีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนใหญ่จะมาจากไขมันและน้ำมันตามธรรมชาติ รวมทั้งผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมและโพลีเมอร์สังเคราะห์



ภาพที่ 2-6 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว  
(ดัดแปลงมาจาก จิรสา กรงกรด, 2548: ออนไลน์)

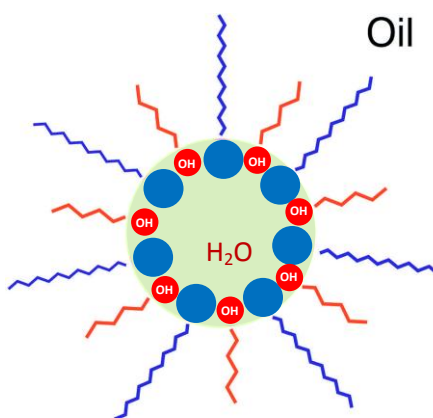
ลักษณะที่สำคัญของสารลดแรงตึงผิว คือ สามารถทำให้เฟสสองเฟสที่ต่างกันมารวมตัวเป็นเฟสเดียวกันได้โดยลดแรงเกาะหรือแรงตึงผิว (Surface Tension) ระหว่างกันของสารนั้นๆ ทำให้เกิดการรวมโมเลกุลที่มีน้ำหนักมากขึ้น สามารถทำให้เกิดกระบวนการต่างๆ ง่ายขึ้น เช่น การเกิดฟอง การทำให้เปียก และกระบวนการทำความสะอาด เป็นต้น เมื่อละลายน้ำจะเกิดการแตกตัว โดยส่วนหัวที่ชอบน้ำจะแสดงประจุและบ่งบอกคุณสมบัติของสารนั้นๆ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

**2.8.1 สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก (Cationic Surfactant)** เมื่อละลายน้ำส่วนหัวจะมีประจุบวก นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยใช้เคลือบผ้าเพื่อให้ความลื่นและป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ สารจำพวกนี้ไม่มีความสามารถในการทำความสะอาด และไม่มีฟอง แต่สามารถเกาะเส้นผมและพื้นผิวได้ดี ให้ความลื่นจึงนิยมนำมาใช้ในครีมนวดผมหรือปรับผ้านุ่ม

**2.8.2 สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ (Anionic Surfactant)** เมื่อละลายน้ำแล้วจะแตกตัวและส่วนหัวจะมีประจุเป็นลบ สารจำพวกนี้ถูกนำมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดต่างๆ เช่น น้ำยาล้างจาน ผงซักฟอก ตลอดจนผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น แชมพู ครีมนวดน้ำ และอื่นๆ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการทำความสะอาดดี มีฟองมาก และละลายน้ำได้ดี

**2.8.3 สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (Nonionic Surfactant)** เมื่อละลายน้ำแล้วจะไม่แตกตัว จึงไม่มีประจุ มีคุณสมบัติแตกต่างกันไป สารที่ไม่ละลายน้ำมักใช้เป็นตัวดับฟองและอิมัลซิไฟเออร์ ส่วนสารที่ละลายน้ำได้มักใช้เป็นสารทำความสะอาด

**2.8.4 สารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุบวกและประจุลบ (Amphoteric Surfactant หรือ Zwitterionic Surfactant)** เมื่อละลายน้ำจะแสดงประจุใดขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม โดยถ้าสภาพแวดล้อมเป็นกรดก็จะแสดงประจุบวก ถ้าสภาพแวดล้อมเป็นด่างก็จะแสดงประจุลบ คุณสมบัติหลักของสารกลุ่มนี้ คือ สามารถทนน้ำกระด้างอ่อนละมุนต่อผิว



ภาพที่ 2-7 กลไกการทำงานของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม ในการทำให้น้ำมันรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน

จากภาพที่ 2-7 แสดงกลไกการทำงานของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม ในการทำให้น้ำมันรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน โดยสารลดแรงตึงผิวจะหันส่วนหัวซึ่งชอบน้ำเข้าด้านในเพื่อไปจับกับเอทานอล และหันส่วนหางซึ่งเป็นสายไฮโดรคาร์บอนออกด้านนอกเพื่อไปจับกับน้ำมัน โดยมีสารลดแรงตึงผิวร่วมเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างสารลดแรงตึงผิว โดยสารลดแรงตึงผิวร่วมจะหันส่วนที่เป็นไฮดรอกซิลเข้าด้านในไปจับกับเอทานอล และหันส่วนหางซึ่งเป็นสายไฮโดรคาร์บอนออกไปจับกับน้ำมัน จึงทำให้เอทานอลและน้ำมัน ซึ่งเป็นสารละลายที่มีขั้วและไม่มีขั้วสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้

## 2.9 สารลดแรงตึงผิวกึ่งสังเคราะห์ (Semisynthetic Surfactant)

แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม ตามคุณสมบัติการแตกตัวในสารละลายน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 แสดงชนิดกลุ่มของสารลดแรงตึงผิว ความแตกต่าง และคุณสมบัติ

ชนิด	ประจุลบ	ประจุบวก	ไม่มีประจุ	มีทั้งประจุลบและบวก
ตัวอย่าง	Sodium Stearate, Calcium Oleate, Triethanolamine Stearate, Sodium Lauryl Sulfate	Cetyl Trimethyl ammonium Bromide, Benzalkonium Chloride	Sorbitan esters (Span <sup>®</sup> ), Polysorbates (Tween <sup>®</sup> ), Poloxamer	Lecithin, Amphoacetate, Betaine
คุณสมบัติ	มีคุณสมบัติในการชำระล้างที่ดี แต่มีความเป็นพิษจึงใช้ในรูปแบบยาใช้ภายนอกเท่านั้น	มีความเป็นพิษและก่อให้เกิดการระคายเคืองได้ง่ายไม่เข้ากันกับสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ	ความเป็นพิษน้อยและระคายเคืองน้อย จึงใช้ได้ทั้งยาทาน ยาฉีด และยาทาภายนอก	อ่อนโยนต่อผิวหนัง แต่ต้องปรับพีเอชให้เหมาะสมเพื่อป้องกันการระคายเคือง

ที่มา: วราภรณ์ จรรยาประเสริฐ, 2546

การจะประเมินว่าสารลดแรงตึงผิวนั้นเหมาะสมกับการใช้งานหรือไม่ ส่วนใหญ่จะประเมินจากค่าความสมดุลระหว่างกลุ่มชอบน้ำและกลุ่มไม่ชอบน้ำของสารลดแรงตึงผิว เรียกว่า ค่าเอชแอลบี (Hydrophil-Lipophile Balance, HLB) ซึ่งเป็นสัดส่วนร้อยละของกลุ่มชอบน้ำต่อกลุ่มไม่ชอบน้ำที่มีอยู่ในโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว

## 2.10 ค่าความชอบน้ำ หรือค่าเอชแอลบี (Hydrophile-Lipophile Balance, HLB)

สัดส่วนระหว่างส่วนที่ชอบน้ำกับส่วนที่ชอบน้ำมัน โดยคิดเป็นอัตราส่วนโดยน้ำหนักของมวลโมเลกุลส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) กับมวลโมเลกุลทั้งหมด คูณด้วย 20 (Griffin's Method) มีค่าตั้งแต่ 0-20 สารที่มีค่าเอชแอลบีเท่ากับ 0 คือ สารที่ในโมเลกุลมีแต่ส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ทั้งหมด ไม่ละลายในน้ำ และเมื่อค่าเอชแอลบีสูงขึ้น โมเลกุลจะมีส่วนที่ชอบน้ำมากขึ้น กระจายในน้ำได้ดีขึ้น เป็นค่าที่ใช้กำหนดวัตถุประสงค์การนำมาใช้งานของสาร

ค่า HLB	ตั้งแต่	1-3	ใช้เป็นสารกันการเกิดฟอง (Antifoaming Agent)
ค่า HLB	ตั้งแต่	3-6	เป็นอิมัลซิไฟเออร์ชนิดน้ำในน้ำมัน (Water in Oil Emulsifier)
ค่า HLB	ตั้งแต่	7-8	ใช้เป็นสารทำให้เปียก (Wetting Agent)
ค่า HLB	ตั้งแต่	8-18	เป็นอิมัลซิไฟเออร์ชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in Water Emulsifier)
ค่า HLB	ตั้งแต่	13-15	เป็นสารทำความสะอาด (Detergent)
ค่า HLB	ตั้งแต่	15-18	สารทำละลาย (Solubilizer)

การหาค่าของตัวกระทำอิมัลชันสำหรับชนิดเอสเทอร์ของกรดไขมัน สามารถหาได้จากสูตรต่อไปนี้คือ

$$\text{ค่าเอชแอลบี (HLB)} = 20 (1 - S/A)$$

A คือ ค่าความเป็นกรด (Acid Value) ของตัวกระทำอิมัลชัน

S คือ ค่าสปอนนิฟิเคชันของตัวกระทำอิมัลชัน

ตารางที่ 2-5 ค่าเอสแอลพีของตัวกระทำอิมัลชันบางชนิด

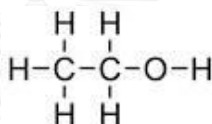
ชื่อทางการค้า	ชื่อทางเคมี (ชื่อสามัญ)	ค่าเอสแอลพี
Span85	Sorbitan Trioleate	1.8
Span65	Sorbitan Tristearate	2.1
Atmos150	Mono หรือ Diglyceride	3.2
Atmul500	Mono หรือ Diglyceride	3.5
Atmul84	Glycerol Monostearate	4.3
Span80	Sorbitan Monooleate	4.3
Span60	Sorbitan Monostearate	4.7
Span40	Sorbitan Monopalmitate	6.7
Span20	Sorbitan Monolaurate	8.6
Tween61	Polyoxyethylene Sorbitan Monostearate	9.6
Tween81	Polyoxyethylene Sorbitan Monooleate	10.0
Tween85	Polyoxyethylene Sorbitan Trioleate	11.0
Arlacel165	Glycerol Monostearate	11.0
Myrj45	Polyoxyethylene Monostearate	11.0
AtlasG-2127	Polyoxyethylene Monostearate	11.1
Myrj49	Polyoxyethylene Monolaurate	12.8

ที่มา: DeMan, 1990

## 2.11 เอทานอล (Ethanol)

เอทานอล หรือเอทิลแอลกอฮอล์ คือ แอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งที่เกิดจากการหมักพืชเพื่อเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาล จากนั้นจึงเปลี่ยนจากน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ โดยใช้เอนไซม์หรือกรดบางชนิดช่วยย่อย เพื่อให้เป็นแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ร้อยละ 95 โดยการกลั่น มีสูตรเคมี คือ  $C_2H_5OH$  ดังแสดงในภาพที่ 2-8 มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีพีเอชเป็นกลาง ความไวไฟและค่าออกเทนสูง โดยเอทา

นอลที่มีค่าความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.8 มีค่าออกเทนสูงถึง 113 มีโครงสร้างที่ประกอบไปด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นไฮดรอกซิลดีริเวทีฟของไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเกิดจากการแทนที่ไฮโดรเจน อะตอมด้วย Hydroxyl Group (OH) มีน้ำหนักโมเลกุล 46.07 ความหนาแน่น 0.789 กรัมต่อ มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว -114.1 องศาเซลเซียส จุดเดือด 78.5 องศาเซลเซียส แต่สามารถระเหยได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำ มีคุณสมบัติรวมตัวได้ดีกับน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ อื่นๆ เช่น อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม เป็นต้น และให้พลังความร้อนประมาณ 12,800 บีทียูต่อปอนด์ โดยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น ใช้ในการผลิตอาหารและเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ใช้เป็นตัว ทำละลายในอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์น้ำหอม และอื่นๆ ใช้เป็นสารฆ่าเชื้อโรค ใช้ผลิต เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ และใช้เป็นเชื้อเพลิง เป็นต้น



ภาพที่ 2-8 โครงสร้างของเอทานอล

(มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2554: ออนไลน์)

เนื่องจากเอทานอลมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุล โดยออกซิเจนจะจับตัวอยู่ใน รูปของอนุมูลไฮดรอกซิล ทำให้โมเลกุลของเอทานอลมีคุณสมบัติมีขั้ว (Polar) ซึ่งเอทานอลอย่างเดียว ไม่สามารถรวมตัวกับน้ำมันดีเซลได้นัก จึงต้องเติมสารพิเศษเพื่อให้รวมตัวกันได้ดี ร่วมกับการเติม สารอิมัลซิไฟเออร์และตัวปรับปรุงค่าซีเทนในปริมาณร้อยละ 1-2 เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติในการจุด ระเบิด ทำให้ปริมาณไฮโดรคาร์บอน (HC) ลดลงได้ถึงร้อยละ 20-40 และลดปริมาณฝุ่นและควันดำ

## 2.12 คุณสมบัติเชื้อเพลิง (Fuel Property)

### 2.12.1 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของการไหล หรือค่าความต้านทานต่อการไหล เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดในการ เก็บรักษาและการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งจะถูกวัดในหน่วยของ สโตกส์ (Stokes) หรือเซนติสโตกส์ (Centistokes) การวัดค่าความหนืดทำได้โดยการใช้เครื่องมือวัดความหนืดที่เรียกว่า วิสโคมิเตอร์

(Viscometer) โดยความหนืดจะขึ้นกับอุณหภูมิ ซึ่งจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น มีผลต่อระดับการอุ่น (Preheating) ที่ต้องการในการจัดการควบคุมการเก็บรักษา และการพ่นเป็นฝอยที่ดีได้ ถ้าหากน้ำมันมีความหนืดมากเกินไป มีผลทำให้สูบได้ยาก จุดติดไฟยากขึ้น และจัดการควบคุมได้ยากขึ้นด้วย ทำให้การกระจายตัวเป็นละอองหรือการพ่นเป็นฝอยของน้ำมันไม่ดีเท่าที่ควร เพราะละอองน้ำมันจะมีขนาดใหญ่และพุ่งเป็นสายไปไกล แทนที่จะกระจายพุ่งเป็นแบบฝอยเล็กๆ ทำให้น้ำมันรวมตัวกับอากาศไม่ดี จึงเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดน้อยลง แต่ถ้าน้ำมันมีความหนืดต่ำเกินไปจะทำให้การฉีดฝอยน้ำมันละเอียด แต่จะไม่พุ่งไปไกลเท่าที่ควร ส่งผลให้การเผาไหม้ไม่ดีและอาจจะทำให้เกิดการรั่วกลับในตัวปั๊มหัวฉีด สำหรับประเทศไทยได้มีการกำหนดค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสของน้ำมันไบโอดีเซลให้อยู่ระหว่าง 1.9 - 6.0 เซนติสโตกส์

### 2.12.2 จุดขุ่น (Cloud Point)

อุณหภูมิต่ำสุดที่ทำให้น้ำมันเริ่มขุ่นหรือเป็นฝ้าเมื่อถูกทำให้เย็นลง โดยจะสังเกตเห็นผลึกที่เกิดขึ้นภายในเชื้อเพลิง ซึ่งทำให้ส่วนที่กรองเชื้อเพลิงและเส้นท่อเกิดการอุดตันได้ โดยจุดขุ่นของน้ำมันไบโอดีเซลอยู่ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

### 2.12.3 จุดไหลเท (Pour Point)

อุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อเพลิงถูกทำให้เย็นลงขณะที่ยังคงสภาพการเป็นของไหล (Fluidity) อยู่ได้ ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้คร่าวๆ ถึงอุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกสูบได้ ยกตัวอย่างเช่น บริเวณภาคเหนือของประเทศ ในช่วงฤดูหนาวอุณหภูมิต่ำมาก น้ำมันจะก่อตัวเป็นเกล็ดขี้ผึ้งติดที่กรองน้ำมัน ดีเซล ขัดขวางการไหลของน้ำมันไปป้อนปั๊มหัวฉีด และถ้าสตาร์ทเครื่องไม่ติดอยู่นานปั๊มหัวฉีดอาจติดตายได้ โดยทั่วไปน้ำมันไบโอดีเซลมีจุดไหลเทอยู่ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

### 2.12.4 จุดวาบไฟ (Flash Point)

อุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อเพลิงสามารถถูกทำให้ร้อนจนกระทั่งเกิดไอของเชื้อเพลิงเพียงพอที่จะเกิดการจุดติดไฟเมื่อมีการให้ประกายไฟวิ่งผ่าน ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการเก็บสำรองน้ำมัน ซึ่งมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลของประเทศไทยกำหนดให้จุดวาบไฟไม่ต่ำกว่า 120 องศาเซลเซียส



### 2.12.5 ความหนาแน่น (Density)

อัตราส่วนระหว่างมวลต่อปริมาตรของเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิคงที่ มีประโยชน์ในการคำนวณเชิงปริมาณและการประเมินคุณสมบัติในการจุดติดไฟ ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์โดยตรง โดยเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันที่มีความหนาแน่นมากกว่าจะทำให้กำลังและโอกาสที่จะเกิดควันได้มากกว่า เนื่องจากมีมวลของเชื้อเพลิงที่จะเผาไหม้ได้มากกว่า โดยมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส จะกำหนดให้มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.86 - 0.90 กรัมต่อมิลลิลิตร

### 2.12.6 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักในหนึ่งหน่วยปริมาตรของน้ำมันต่อน้ำหนักของน้ำในปริมาตรที่เท่ากันที่อุณหภูมิหนึ่ง และเนื่องจากความถ่วงจำเพาะเป็นค่าอัตราส่วน จึงไม่มีหน่วยในการนับ โดยจะวัดความหนักเบาของน้ำมัน ความถ่วงจำเพาะยิ่งต่ำก็ยิ่งประหยัดน้ำมันดีเซล แต่ถ้าน้ำมันหนักมาก ค่าความร้อนของน้ำมันต่อหน่วยน้ำหนักจะลดลง ค่าซีเทนก็จะลดลงตามไปด้วย ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ มีคราบเขม่าคาร์บอนสะสมได้มาก จึงกำหนดให้มีความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วง 0.81 - 0.87

### 2.12.7 ค่าซีเทน (Cetane Number)

เป็นค่าที่แสดงคุณภาพการจุดติดไฟ (Ignition Quality) นับตั้งแต่ น้ำมันเริ่มถูกฉีดเข้าสู่ห้องเผาไหม้จนกระทั่งน้ำมันเกิดการติดไฟขึ้น ช่วงระยะเวลานี้ เรียกว่า ความล่าช้าในการจุดติดไฟ (Ignition Lag) น้ำมันดีเซลที่จุดติดได้เร็วหรือมีระยะเวลาความล่าช้าในการจุดติดไฟสั้นจะมีค่าซีเทนสูง ซึ่งจะช่วยให้เครื่องยนต์สตาร์ทติดได้ง่ายในอุณหภูมิต่ำๆ เครื่องยนต์ร้อนได้เร็วโดยไม่เกิดการสะดุดเพราะไม่ติดไฟ (Misfiring) หรือเกิดควันขาว ช่วยลดการเกิดคราบยางเหนียวและคราบเขม่าในเครื่องยนต์ ขจัดปัญหาการทำงานสะดุดในเครื่องยนต์อีกด้วย ส่วนน้ำมันที่จุดติดไฟได้ช้าจะมีระยะเวลาความล่าช้าในการจุดระเบิดยาว มีค่าซีเทนต่ำ ทำให้เกิดการสะดุดในเครื่องยนต์ได้ง่าย อย่างไรก็ตามค่าซีเทนสูงมากเกินไปก็ไม่เหมาะเพราะเครื่องจะไม่มีกำลัง การวัดหาค่าซีเทนต้องใช้วิธีการคำนวณออกมาเป็นค่าดัชนีซีเทน (Calculated Cetane Index) สำหรับประเทศไทยกำหนดให้น้ำมันไบโอดีเซลมีค่าซีเทนไม่ต่ำกว่า 51

### 2.12.8 ปริมาณกำมะถัน (Sulphur Content)

ปริมาณของกำมะถันในน้ำมันเชื้อเพลิง จะขึ้นอยู่กับแหล่งของน้ำมันดิบและกระบวนการกลั่นน้ำมัน โดยปริมาณกำมะถันในน้ำมันที่สูงเกินไป จะทำให้เกิดการกัดกร่อนของกำมะถันในน้ำมัน ซึ่งมีด้วยกัน 2 ลักษณะ คือ ลักษณะแรกเกิดจากการกัดกร่อนภายหลังการเผาไหม้ของสารประกอบของกำมะถัน เมื่อถูกเผาไหม้ก็จะเกิดก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ซึ่งเมื่อรวมกับน้ำ จะกลายเป็นสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรด และจะทำการกัดกร่อนชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ได้ ลักษณะที่สองเกิดจากกำมะถันในน้ำมันเชื้อเพลิงโดยตรง ทั้งนี้ได้มีการกำหนดให้มีปริมาณกำมะถันในน้ำมันไบโอดีเซลได้ไม่เกินร้อยละ 0.001 โดยน้ำหนัก

### 2.12.9 ปริมาณน้ำและตะกอน (Water and Sediment)

น้ำเป็นอันตรายต่อระบบปั๊มและหัวฉีดเพราะไม่มีคุณสมบัติหล่อลื่นโดยมีมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลกำหนดไม่ให้เกิดร้อยละ 0.05 โดยปริมาตร ถ้ามีมากเกินไปมาตรฐานเป็นผลให้เกิดสลัดจ์อุดตันที่หม้อกรองน้ำมันได้

### 2.12.10 กากคาร์บอน (Carbon Residue)

ปริมาณสารคาร์บอนที่เหลือตกค้างอยู่หลังจากน้ำมันได้ระเหยออกไปหมดแล้วที่อุณหภูมิสูงๆ ในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้แนวโน้มของน้ำมันที่จะทิ้งกากน้ำมันที่เป็นถ่านแข็งลงไปบนหัวเผาหรือหัวฉีด (วิซากร จารุศิริ, 2549) เมื่อส่วนประกอบของน้ำมันได้เกิดการระเหยกลายเป็นไอ โดยน้ำมันที่มีปริมาณกากคาร์บอนสูงจะมีแนวโน้มในการเกิดควันและคราบเขม่าคาร์บอนเกาะสะสมในห้องเผาไหม้บริเวณร่องแหวนลูกสูบและหัวฉีดได้ และไอเสียยังมีควันดำมากด้วย มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลโดยทั่วไปกำหนดไม่ให้เกิดร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก

### 2.12.11 ปริมาณเถ้า (Ash Content)

ปริมาณของเถ้าจะสัมพันธ์กับวัสดุอนินทรีย์หรือเกลือที่อยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งในน้ำมันดีเซลจะประกอบด้วยสารพวกที่ไม่สามารถเผาไหม้หมดได้ อยู่ในรูปของของแข็งสารอนินทรีย์ต่างๆ และในรูปของสารสบู่จำพวกโลหะที่ละลายในน้ำมันได้ ถ้ามีปริมาณเถ้าในเชื้อเพลิงเหลวมากเกินไป

จะทำให้มีกากปนเปื้อนอยู่ในอุปกรณ์การเผาไหม้ ซึ่งถ้ามีผลกระทบต่อส่วนปลายของหัวเผา และทำให้เกิดความเสียหายแก่วัสดุทนความร้อนอื่น ๆ เมื่อต้องอยู่ในสภาวะอุณหภูมิสูงๆ ตลอดจนทำให้เกิดการกัดกร่อนที่อุณหภูมิสูงและการชำรุดของอุปกรณ์ต่างๆ โดยมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลกำหนดปริมาณเถ้าไม่ให้เกินร้อยละ 0.02 โดยน้ำหนัก

### 2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรารคณา ประภาติกุล (2008) ศึกษาการผลิตไบโอดีโซฮอล์จากน้ำมันสบู่ดำด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน เนื่องจากน้ำมันสบู่ดำมีความหนืดสูง จึงต้องลดความหนืดของน้ำมันสบู่ดำก่อนที่จะนำไปใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล โดยมีเอทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ผสมกับสารลดแรงตึงผิวที่อัตราส่วน 0.5 จากการศึกษาชุดโตนารีเฟสไดอะแกรมพบว่า องค์ประกอบที่เหมาะสมคือ น้ำมันสบู่ดำ ร้อยละ 95 โดยปริมาตร สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วมร้อยละ 5 โดยปริมาตร และเนื่องจากน้ำมันไมโครอิมัลชันมีความหนืดสูง จึงถูกผสมกับน้ำมันดีเซลที่สัดส่วน 5:95 (เอ็มบี5) 10:90 (เอ็มบี10) และ 20:80 (เอ็มบี20) โดยปริมาตร เมื่อทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์และปริมาณไอเสียพบว่า น้ำมันเอ็มบีโดยเฉพาะเอ็มบี10 และเอ็มบี20 มีศักยภาพใกล้เคียงกับน้ำมันไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซล

นิจวรรณ อนันตรกิตติ (2014) ศึกษาผลของโครงสร้างสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุกลุ่มอีทอกซิลเอทอไซด์ที่มีค่าอีโอ ตั้งแต่ 1 ถึง 12 สารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้คือ ออกทานอล และ 2-เอทิลเฮกซานอล ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมแบบโซ่ตรงและแบบกิ่งก้าน ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพจะมีความหนืดต่ำสุด เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุกลุ่มอีทอกซิลเอทอไซด์ที่มีจำนวนอีโอ 1 (EO 1) เป็นสารลดแรงตึงผิวในทุกระบบ ที่อัตราส่วนของน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซล ที่ 1:1 โดยปริมาตร อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม (S/C Ratio) ที่ 1:8 โดยโมล โดยเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ ออกทานอล ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมแบบโซ่ตรง จะให้ค่าความหนืดของเชื้อเพลิงต่ำกว่าสารลดแรงตึงผิวร่วมแบบกิ่งก้าน เนื่องจากสาร

ลดแรงดึงผิวร่วมแบบโซ่ตรงจะเข้ากันได้ดีกว่ากับระบบของดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มมากกว่าสารลดแรงดึงผิวร่วมที่มีโครงสร้างแบบกิ่งก้าน

ศิริณี เพ็งปรีชา (2014) ศึกษาผลของลักษณะสมบัติของน้ำมันพืชต่อลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมด้วยวิธีการไมโครอิมัลชัน โดยการผสมน้ำมันพืชต่อน้ำมันดีเซลหรือไบโอดีเซล 1:1 โดยปริมาตร ที่สัดส่วนร้อยละ 75 โดยปริมาตร อัตราส่วนของสารลดแรงดึงผิวต่อสารลดแรงดึงผิวร่วมคงที่ (S/C) 1:8 โดยโมล ที่สัดส่วนร้อยละ 5 โดยปริมาตร และเอทานอลเกรดทางการค้า ความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 ที่สัดส่วนร้อยละ 20 โดยปริมาตร สารลดแรงดึงผิวชนิดไม่มีประจุที่ใช้ศึกษาคือ อีโอ1 อีโอ5 โอลิวแอลกอฮอล์ และ เมธิลโอลิเอต สารลดแรงดึงผิวร่วมที่ใช้ คือ ออกทานอล และ เอทิลีนไกลคอลบิวทิลอีเทอร์ (EGBE) จากการศึกษาน้ำมันปาล์มใช้แล้วที่บำบัดทางกายภาพ น้ำมันปาล์ม และน้ำมันถั่วเหลือง พบว่า น้ำมันทั้ง 3 ชนิดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงวิฤภาค เนื่องจากจำนวนอะตอมคาร์บอนในกรดไขมันของน้ำมันพืชแตกต่างกันเล็กน้อย และพบว่าน้ำมันพืชผสมไบโอดีเซลมีการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีกว่าน้ำมันพืชผสมดีเซล โดยเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ ออกทานอล เป็นสารลดแรงดึงผิวร่วมจะเกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีกว่าและใช้ปริมาณสารลดแรงดึงผิวน้อยกว่า

Ali และคณะ (1994) ศึกษาเชื้อเพลิงดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชพบว่า น้ำมันดีเซลมีโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างจากน้ำมันพืชคือ น้ำมันดีเซลประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนแบบโซ่ตรงหรือโซ่กิ่งและโครงสร้างแบบวงแหวน โดยโมเลกุลของน้ำมันพืชมีขนาดใหญ่กว่าเป็น 3 เท่าของโมเลกุลเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน และมีออกซิเจนอยู่ในโมเลกุล เมื่อนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงจะมีปัญหาการจุดติดไฟช้า เนื่องจากน้ำมันพืชมีอัตราการระเหยตัวต่ำ และเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากน้ำมันพืชมีความหนืดสูง ทำให้ผสมกับอากาศได้ไม่ดี คุณสมบัติด้านอื่นๆ ของน้ำมันพืชค่อนข้างใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซล จึงนำมาใช้ผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพโดยมีกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันพืช 4 วิธีหลักๆ คือ วิธีการเจือจาง (Dilution) วิธีไพโรไลซิส (Pyrolysis) วิธีไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) และวิธีทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) โดยเชื้อเพลิงชีวภาพจะมีความหนืด จุดชุน และจุดไหลเทสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล รวมถึงมีค่าความร้อนต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซล

เล็กน้อย แต่สามารถใช้ในเครื่องยนต์ได้ในระยะสั้น เนื่องจากสามารถย่อยสลายได้ แต่มีข้อดีคือช่วยลดการปลดปล่อยมลพิษอากาศได้

Dunn และคณะ (1994) ศึกษาความเหมาะสมของแอลกอฮอล์ไขมันไม่อิ่มตัว  $C_{18}$  ต่ออัลคานอลที่ผสมกัน เพื่อเพิ่มการละลายของเมทานอลในสารละลายไตรกลีเซอไรด์ โดยใช้แอลกอฮอล์ไขมัน 4 ตัว ได้แก่ ออลซิสโมนอิน ออลซิสไดอิน ออลซิสไตรอิน และ ออลทรานส์ไดอิน สารลดแรงตึงผิวร่วมอัลคานอลที่ใช้ศึกษาได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล ออกทานอล เดกคานอล และโดเดกคานอล ผลการศึกษาพบว่าอัลคานอลที่มีสายโซ่ยาวจะเกิดไมโครอิมัลชันได้ดีกว่าโดยใช้ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวต่ำกว่า และจะมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ลดลงตามความยาวโซ่ของอัลคานอลที่ลดลง

Ma และคณะ (1999) ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ โดยกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมี 4 วิธีหลักๆ คือ การใช้โดยตรงและการผสม (Direct Use and Blending) วิธีไมโครอิมัลชัน (Microemulsions) วิธีการแตกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) และวิธีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) ซึ่งวิธีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสามารถลดความหนืดของน้ำมันพืช แต่ตัวทำละลายอื่นๆรวมถึงน้ำมันพืชก็ส่งผลต่อเครื่องยนต์ เช่น เกิดคาร์บอนตกค้างและการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่น ไบโอดีเซลมีข้อจำกัดเรื่องราคาที่สูง เนื่องจากราคาของวัตถุดิบและกระบวนการผลิต แต่ก่อให้เกิดมลพิษน้อยและช่วยลดการพึ่งพาการนำเข้าเชื้อเพลิงปิโตรเลียมได้

Dantas และคณะ (2001) ศึกษากระบวนการไมโครอิมัลชันจากน้ำมันพืชที่แตกต่างกัน คือ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม และน้ำมันละหุ่ง โดยตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อไมโครอิมัลชัน คือ ธรรมชาติของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม และองค์ประกอบของน้ำมัน ในงานวิจัยนี้ใช้สารลดแรงตึงผิวคือ โซเดียมลอริลซัลเฟต และไดเอทานอลเอไมด์ สารลดแรงตึงผิวร่วมที่ใช้คือ เอทิลโพรพิลและไอโซเอมิลแอลกอฮอล์ จากผลการศึกษาพบว่า สามารถผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันถั่วเหลืองด้วยวิธีไมโครอิมัลชันโดยใช้ไอโซเอมิลแอลกอฮอล์ ผสมกับ ไดเอทานอลเอไมด์ ในอัตราส่วน 0.5 ทำให้ได้เชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติทาง

กายภาพและเคมีใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่สุด ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำวิธีไมโครอิมัลชันมาใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันพืชเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

Paul และคณะ (2001) ศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีไมโครอิมัลชันในงานต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการปั่นฟุน้ำมัน การผลิตเชื้อเพลิง ใช้ในการทำเครื่องสำอาง หรือแม้แต่ในอุตสาหกรรมอาหารและยา สำหรับการประยุกต์ใช้วิธีไมโครอิมัลชันในการผลิตเชื้อเพลิงนั้นพบว่า ช่วยลดการก่อตัวของเขม่า เมื่อน้ำระเหยไประหว่างการเผาไหม้ ความร้อนจะถูกปลดปล่อย ส่งผลให้อุณหภูมิการเผาไหม้ลดลง จึงลดอัตราการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์

Lin และคณะ (2003) ศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงอิมัลชันชนิดที่ 3 หรืออิมัลชันเชิงซ้อน (Multiple Emulsion) เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล โดยจะมีวัฏภาคภายในซ้อนกันอยู่ ซึ่งเป็นของเหลวต่างชนิดกัน คือ น้ำมันในน้ำในน้ำมัน (O/W/O) และน้ำในน้ำมันในน้ำ (W/O/W) สารลดแรงตึงผิวที่ใช้คือ ซอร์บิแทนโมโนโอเลอเตต หรือสแปน 80 ซึ่งมีค่าเอชแอลบีเท่ากับ 4.3 และ ทวิน 80 ซึ่งมีค่าเอชแอลบีเท่ากับ 15 จากการทดลองพบว่า ขนาดเฉลี่ยของอิมัลชันชนิด O/W/O ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มความเร็วของเครื่องในการผสม โดยค่าเอชแอลบีในช่วง 6-8 จะเกิดเป็นอิมัลชันที่เสถียร วิธีอิมัลชันนี้จะช่วยลดการปล่อยก๊าซไนโตรเจน และมีปริมาณคาร์บอนตกค้างน้อย

Knothe และคณะ (2005) ศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลและสารประกอบที่เกี่ยวข้อง โดยศึกษาผลของโครงสร้างของสารประกอบเปรียบเทียบกับส่วนประกอบเชื้อเพลิงดีเซลจากปิโตรเลียม ผลการศึกษาพบว่า ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์เพิ่มขึ้นตามความยาวของกรดไขมันหรือแอลกอฮอล์ในเอสเทอร์ของกรดไขมันหรือในอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน โดยความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของสารประกอบไขมันไม่อิ่มตัวขึ้นอยู่กับจำนวนพันธะคู่ กรดไขมันอิสระหรือสารประกอบที่มีหมู่ไฮดรอกซิล จะมีความหนืดเชิงจลนศาสตร์สูงกว่า โดยช่วงของค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของสารประกอบไขมันจะมากกว่าค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของไฮโดรคาร์บอนที่หลากหลายของดีเซลที่ได้จากปิโตรเลียม

Kerihuel และคณะ (2006) ศึกษาการใช้ไขมันสัตว์เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยสารลดแรงตึงผิวที่ใช้คือ ซอร์บิแทนเซสควิโกลีเอต หรือสแปน 83 ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมคือ เอทานอล พบว่าอิมัลชันที่เหมาะสมคือ เอทานอลร้อยละ 36.4 โดยปริมาตร สแปน 83 ร้อยละ 3.6 โดยปริมาตร น้ำร้อยละ 10 โดยปริมาตร และไขมันสัตว์ร้อยละ 50 โดยปริมาตร โดยความเร็วในการปั่นเหวี่ยงที่เหมาะสมคือ 500 รอบต่อนาที ทำให้ได้ไมโครอิมัลชันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 10 นาโนเมตร

Kwancharoen และคณะ (2007) ศึกษาความสามารถในการผสมดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล โดยวัดคุณสมบัติของเชื้อเพลิงและการปลดปล่อยก๊าซจากเครื่องยนต์ดีเซลพบว่า คุณสมบัติของเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับมาตรฐานน้ำมันดีเซล แต่จุดวาบไฟจะแตกต่างจากน้ำมันดีเซลเนื่องจากในเชื้อเพลิงมีส่วนผสมของเอทานอล ซึ่งส่งผลให้ค่าซีเทนสูงขึ้นอีกด้วย และมีค่าความร้อนต่ำกว่าร้อยละ 10 ของเอทานอลซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับดีเซล และพบว่ามีคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และไฮโดรคาร์บอน (HC) ลดลง แต่มีปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจนสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับดีเซล จากการทดลองจะได้อัตราส่วนที่เหมาะสมคือ น้ำมันดีเซล ร้อยละ 80 โดยปริมาตร ไบโอดีเซล ร้อยละ 15 โดยปริมาตร และเอทานอล ร้อยละ 5 โดยปริมาตร

Wang และคณะ (2008) ศึกษาผลของสายโซ่อัลคานอลต่อผิวสัมผัสของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน โดยใช้ เซทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (CTAC) เป็นสารลดแรงตึงผิว ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมอัลคานอลที่มีจำนวนคาร์บอนที่ต่างกัน ได้แก่ บิวทานอล เพนทานอล ไอโซเพนทานอล เฮกซานอล และออกทานอล พบว่าภายใต้สภาวะแวดล้อมเดียวกัน ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างไมโครอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันดีเซลโดยใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมในปริมาณน้อยที่สุด

Attaphong และคณะ (2011) ศึกษาพฤติกรรมเฟสของสารลดแรงตึงผิวคาร์บอกซิเลตในระบบรีเวิร์สไมเซลล์ไมโครอิมัลชันกลุ่มเอทิลีนออกไซด์ทั้งแบบโซ่ตรงและโซ่กิ่ง การศึกษากระทำโดยผสมสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวร่วม เอทานอล น้ำมันพืช และน้ำมันดีเซล โดยเปลี่ยนแปลง

อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมเป็น 1:8 1:16 และ 1:32 โดยโมล ในงานวิจัยนี้ สารลดแรงตึงผิวแบบโซ่ตรงที่มีจำนวนกลุ่มของเอทิลีนออกไซด์ต่ำ ใช้ในปริมาณน้อยก็ทำให้เกิดเป็นเฟสเดียวได้ และพบว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมนั้น ไม่มีผลต่อเฟสไมโครอิมัลชัน โดยอัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมที่ 1:32 โดยโมล นั้นยากในการเตรียม เนื่องจากปริมาณของสารลดแรงตึงผิวน้อย ดังนั้นจึงเลือกที่อัตราส่วน 1:16 โดยโมล โดยพิจารณาจากราคา ประสิทธิภาพ และข้อจำกัดในการเตรียม จากการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมันคาโนลาต่อน้ำมันดีเซลนั้นพบว่า เมื่อสัดส่วนของน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้น ความหนืดจะลดลง โดยความหนืดที่สัดส่วนของน้ำมันคาโนลาต่อน้ำมันดีเซล 1:1 โดยปริมาตรนั้นเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM ของน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 จึงเลือกใช้อัตราส่วนน้ำมันคาโนลาต่อน้ำมันดีเซลที่ 1:1 โดยปริมาตร

Do และคณะ (2011) ศึกษาเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันพืชด้วยวิธีรีเวิร์สไมเซลล์ไมโครอิมัลชันโดยผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซล เอทานอล สารลดแรงตึงผิว และสารลดแรงตึงผิวรวม สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ คือ โอริวแอลกอฮอล์ (OA) และ โอริวเอมีน (OAM) สารลดแรงตึงผิวรวมที่ใช้ คือ 2-เอทิลเฮกซานอล (EHL) ออกทานอล (OCT) 2-เอทิลเฮกซิลโนเตรต (EHN) และเอทิลีนไกลคอล บิวทิลอีเทอร์ (EGBE) น้ำมันพืชที่ศึกษา คือ น้ำมันสาหร่าย น้ำมันคาโนลา และน้ำมันปาล์ม โดยจะศึกษาเฟสไมโครอิมัลชัน อุณหภูมิ ความหนืด และคุณสมบัติในการเผาไหม้ เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงชีวภาพที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASTM ของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลประเภทที่ 2 จากการทดลองพบว่า ในเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันของน้ำมันสาหร่ายและน้ำมันคาโนลาผสมกับน้ำมันดีเซลที่ใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดโอริวแอลกอฮอล์ สามารถทนต่ออุณหภูมิได้ดีกว่าชนิดโอริวเอมีน โดยจะใช้อัตราส่วนโมลสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม (OA: EHL: EGBE) คือ 1:2:2 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ใช้สารลดแรงตึงผิวน้อยและทนต่ออุณหภูมิได้ดี เชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากวิธีไมโครอิมัลชันนี้จะให้ค่าความร้อนต่ำกว่ามาตรฐานน้ำมันดีเซลประเภทที่ 2 ประมาณร้อยละ 10 และมีการปลดปล่อยคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล แต่มีไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) สูง เนื่องจากมีการใช้สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวรวมที่มีสารประกอบของไนเตรท



Paul และคณะ (2011) ศึกษาผลของความยาวสายโซ่ของสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีผลต่อเฟสไมโครอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน โดยการสร้างแผนภูมิซูโดเทอร์นารีเฟส (Pseudo Ternary Phase) ที่มีองค์ประกอบของน้ำผสมกับ โพลีออกซีเอทิลีน ซอร์บิแทนโมโนลอเรต (โพลีซอร์เบต-20) อัลคานอล และเฮปแทน พบว่า ความหนืดจะเพิ่มขึ้นตามความยาวสายโซ่ของสารลดแรงตึงผิวร่วมที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสายโซ่ของสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ยาวขึ้นส่งผลให้ความมีขั้วลดลง จึงละลายในน้ำได้ไม่ดี ส่งผลให้ความหนืดเพิ่มมากขึ้นตามความยาวสายโซ่ของสารลดแรงตึงผิวร่วม

Arpornpong (2013) ศึกษาการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพทางเลือกใหม่จากน้ำมันพืชด้วยวิธีรีเวิร์สไมเซลล์ไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ 4 ชนิดคือ สเตียริวแอลกอฮอล์ โอริวแอลกอฮอล์ เมธิลโอลิเอต และบริจ-10 โดยผสมน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ในงานวิจัยนี้จะใช้สารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน คือ 1:8 1:4 1:1 และ 4:1 โดยโมล ผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้เมธิลโอลิเอตเป็นสารลดแรงตึงผิว และใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ช่วยให้น้ำมันรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี โดยสัดส่วนที่เหมาะสมคือ สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วมที่อัตราส่วน 1:8 โดยโมล ร้อยละ 22 โดยปริมาตร น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล ร้อยละ 58 โดยปริมาตร และ เอทานอล ร้อยละ 20 โดยปริมาตร สามารถลดความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพ เมื่อทดสอบการปล่อยไอเสียของน้ำมันพบว่า ลดการปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้

Arpornpong และคณะ (2014) ศึกษาสภาวะไมโครอิมัลชัน ความหนืด และขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ได้แก่ สเตียริวแอลกอฮอล์ โอริวแอลกอฮอล์ เมธิลโอลิเอต และบริจ-10 พบว่ากลุ่มที่ไม่อิมัลได้ในโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวไม่มีผลต่อสภาวะไมโครอิมัลชัน โดยเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้เมธิลโอลิเอตเป็นสารลดแรงตึงผิวจะมีค่าความหนืดต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงที่ใช้เมธิลโอลิเอตเป็นสารลดแรงตึงผิวจะมีอนุภาคไมโครอิมัลชันขนาดใหญ่ ซึ่งอยู่กันแบบหลวมๆทำให้เคลื่อนที่ได้ง่าย ส่งผลให้มีค่าความหนืดเชิงกลศาสตร์ต่ำ และเมื่อศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล ออกทานอล และเดคานอล พบว่าเมื่อความยาวสายโซ่ของสารลดแรงตึงผิวร่วมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวน้อยลงในการทำให้น้ำมันรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ในขณะที่ความหนืด

เชิงจลนศาสตร์เพิ่มขึ้นตามความยาวสายโซ่ของสารลดแรงตึงผิวร่วม โดยค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพจะลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากออกซิเจนในโครงสร้างของเอทานอลที่เติมลงไป

Kibbey และคณะ (2014) ศึกษาการใช้แบบจำลองทำนายค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน น้ำมันพืชที่ศึกษาคือ น้ำมันคาโนล่า น้ำมันจากสาหร่าย และน้ำมันจากเมล็ดปาล์ม โดยใช้โอริวเอมีนเป็นสารลดแรงตึงผิว และออกทิลแอลกอฮอล์เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 5 10 25 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่าแบบจำลองทำนายค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ได้ดีเกือบทุกระบบและทุกอุณหภูมิที่ศึกษา โดยเฉพาะในระบบที่มีปริมาณน้ำสูงมากประมาณร้อยละ 4 โดยการเกิดอนุภาคไมโครอิมัลชันมีผลกระทบน้อยที่สุดกับความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันในระบบที่ไม่มีการเติมน้ำ ขณะที่องค์ประกอบของของเหลวส่วนใหญ่มีผลกับค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ โดยค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น และค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

Wang และคณะ (2014) ศึกษาความสามารถในการละลายของน้ำมันชีวภาพในดีเซลด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยใช้สแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว เนื่องจากน้ำมันชีวภาพมีปริมาณน้ำสูงถึงร้อยละ 15 ถึง 25 โดยน้ำหนัก และมีปริมาณออกซิเจนสูง จึงทำให้ค่าความร้อนต่ำ เมื่อทำการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันพบว่า สัดส่วนที่เหมาะสมในการทำให้น้ำมันชีวภาพละลายในดีเซลได้ดีคือ น้ำมันชีวภาพต่อดีเซลร้อยละ 1:1 โดยปริมาตร ที่ความเข้มข้นของสแปน 80 ที่ 0.36 โมลาร์ และเมื่อเปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม บิวทานอล เพนทานอล เฮกซานอล เฮปทานอล และออกทานอล พบว่า เมื่อใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ความสามารถในการละลายของน้ำมันชีวภาพในดีเซลจะเพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ลดลง ส่งผลให้ค่าความร้อนลดลงด้วย อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมที่เหมาะสมคือ 0.40 โดยโมล และเมื่อศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพพบว่ามีคุณสมบัติใกล้เคียงกับดีเซล

## ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ เป็นการใช้สารลดแรงตึงผิวกลุ่มซอร์บิแทนเอสเทอร์ทดแทนสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงที่มีความหนืดใกล้เคียงมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล เนื่องจากน้ำมันพืชนั้นมีข้อจำกัดด้านความหนืด เมื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลอาจทำให้เกิดปัญหาได้ ดังนั้นจึงต้องทำการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันซึ่งมีความสนใจที่จะศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันพืชด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน ซึ่งเป็นวิธีที่ช่วยลดการก่อตัวของเขม่าระหว่างการเผาไหม้ ลดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) โดยสารลดแรงตึงผิวที่มีค่าเอชแอลบีต่ำกว่า 7 จะละลายน้ำได้ไม่ดีแต่จะละลายได้ดีในน้ำมัน จึงเกิดอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมัน (W/O) ส่วนสารลดแรงตึงผิวที่มีค่าเอชแอลบีสูงกว่า 7 จะละลายน้ำได้ดี จึงเกิดอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (O/W) หรืออาจกล่าวได้ว่า สารลดแรงตึงผิวที่มีค่าเอชแอลบีต่ำจะมีความเสถียรมากขึ้น และเหมาะสำหรับการใช้เป็นเชื้อเพลิงดีเซล โดยใช้ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มปริมาณการละลายมากขึ้น

งานวิจัยนี้เลือกใช้น้ำมันพืช คือ น้ำมันปาล์ม โดยผสมน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร (Attaphong และคณะ, 2011) ซึ่งพิจารณาจากค่าความหนืดและค่าใช้จ่ายของสารเคมี เนื่องจากยิ่งปริมาณน้ำมันดีเซลมาก ค่าความหนืดก็จะยิ่งลดลง โดยจะผสมกับเอทานอลเพื่อลดค่าความหนืดของน้ำมัน วิธีไมโครอิมัลชันนี้มีตัวแปรที่สำคัญ คือ สารลดแรงตึงผิว ซึ่งจะช่วยให้เป็นตัวประสานระหว่างเอทานอลและน้ำมันพืชที่ผสมกับน้ำมันดีเซล โดยจะเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวกลุ่มซอร์บิแทนเอสเทอร์ 3 ตัว คือ ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือสแปน 20 ซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80 และ ซอร์บิแทนไตรโอเลอิต หรือสแปน 85 ใช้ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมแบบโซ่ตรง คือ บิวทานอล (1-Butanol) เฮกซานอล (1-Hexanol) และ ออกทานอล (1-Octanol) ซึ่งจะเข้ากันได้ดีกับระบบของดีเซลผสมกับน้ำมันปาล์มมากกว่าสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีโครงสร้างแบบกิ่งก้าน (นิจวรรณ, 2557) โดยสารลดแรงตึงผิวร่วมนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของสารลดแรงตึงผิว โดยจะทำการหาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม เอทานอล และน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม (S/C Ratio) 1:8 โดยโมล (Arpornpong, 2013) เพื่อนำไปใช้เป็นสัดส่วนในการศึกษาวัฏภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม (S/C Ratio) 1:2 1:4 1:8 และ

1:16 โดยโมล เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมที่ทำให้สารผสมเกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำไปศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิงชีวภาพเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

ตารางที่ 2-6 แสดงความแตกต่างของงานวิจัยก่อนหน้านี้นี้และงานวิจัยที่จะทำการศึกษา

ผู้วิจัย	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	S:C	น้ำมัน	ผลการวิจัย
วันทนีย์ และ วิรินทร์ (2011)	อีโอ 1 อีโอ 3 อีโอ 5	บิวทานอล ออกทานอล	1:8	น้ำมันปาล์ม ผสมดีเซล ที่ 1:1 โดย ปริมาตร	อีโอ 1 ออกทานอล
วรารกรณ์ และวิศรา (2012)	อีโอ 1 อีโอ 3 อีโอ 5	บิวทานอล ออกทานอล	1:8	น้ำมันปาล์ม ใช้แล้ว, น้ำมันปาล์ม และน้ำมัน ถั่วเหลือง ผสมดีเซล ที่ 1:1 โดย ปริมาตร	อีโอ 1 ออกทานอล น้ำมัน ถั่วเหลือง
Arpompong (2013)	โอริว แอลกอฮอล์, สเตียริว แอลกอฮอล์, เมธิลโอลลีเอต และ บิจ-10	บิวทานอล ออกทานอล เตคานอล 2-เอทิลเฮกซานอล	1:8 1:4 1:1 4:1 8:1	น้ำมันปาล์ม ผสมดีเซล ที่ 1:1 โดย ปริมาตร	เมธิลโอลลีเอต ออกทานอล ที่ 1:8 โดยโมล น้ำมัน ร้อยละ 58 เอทานอลร้อยละ 20 สารลดแรงตึง ผิวร้อยละ 22

ตารางที่ 2-6 แสดงความแตกต่างของงานวิจัยก่อนหน้านี้นี้และงานวิจัยที่จะทำการศึกษา (ต่อ)

ผู้วิจัย	สารลดแรงตึงผิว	สารลดแรงตึงผิวรวม	S:C	น้ำมัน	ผลการวิจัย
นิจวรรณ (2014)	อีโอ 1 อีโอ 2 อีโอ 3 อีโอ 5 แพลนทาแคร์ 1200	ออกทานอล 2-เอทิลเฮกซานอล	1:8	น้ำมันปาล์ม ผสมดีเซล และไบโอดีเซล ที่ 1:1 โดย ปริมาตร	อีโอ 1 ออกทานอล ดีเซล
ศิริณี (2014)	อีโอ 1, อีโอ 5, โอริว แอลกอฮอล์, เมธิลโกลิเอต	ออกทานอล, เอทิลลีนไกลคอล บิวทิลอีเทอร์ (EGBE)	1:8	น้ำมันปาล์มใช้ แล้ว น้ำมัน ปาล์ม และ น้ำมันถั่วเหลือง ผสมดีเซลและ ไบโอดีเซล ที่ 1:1 โดย ปริมาตร	อีโอ 1 ออกทานอล ไบโอดีเซล
ณัฐพร (งานวิจัยที่ศึกษา)	สแปน 20 สแปน 80 สแปน 85	บิวทานอล เฮกซานอล ออกทานอล	1:2 1:4 1:8 1:16	น้ำมันปาล์ม ผสมดีเซล ที่ 1:1 โดย ปริมาตร	

งานวิจัยที่ศึกษา มีการเปลี่ยนสารลดแรงตึงผิวจากสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ได้จากธรรมชาติ ซึ่งพิจารณาจากค่าเอชแอลบีที่มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดไมโครอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน ทำให้สารผสมสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ โดยใช้ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวแบบโซ่ตรงที่มีความแตกต่างของความยาวสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน เนื่องจากเป็นสารลดแรงตึงผิวที่แตกต่างจากเดิม ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาหาสัดส่วนในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพจากแผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary Phase Diagram)

## บทที่ 3

### แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลของการใช้ซอร์บิแทนเอสเทอร์ทดแทนสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยดำเนินการทดลองในห้องปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ณ ตึกปฏิบัติการรวม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อพิจารณาแนวทางและความเป็นไปได้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย แสดงดังภาพที่ 3-1 ซึ่งแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น 4 ช่วง มีรายละเอียดดังนี้

การทดลองช่วงที่ 1 หาสัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

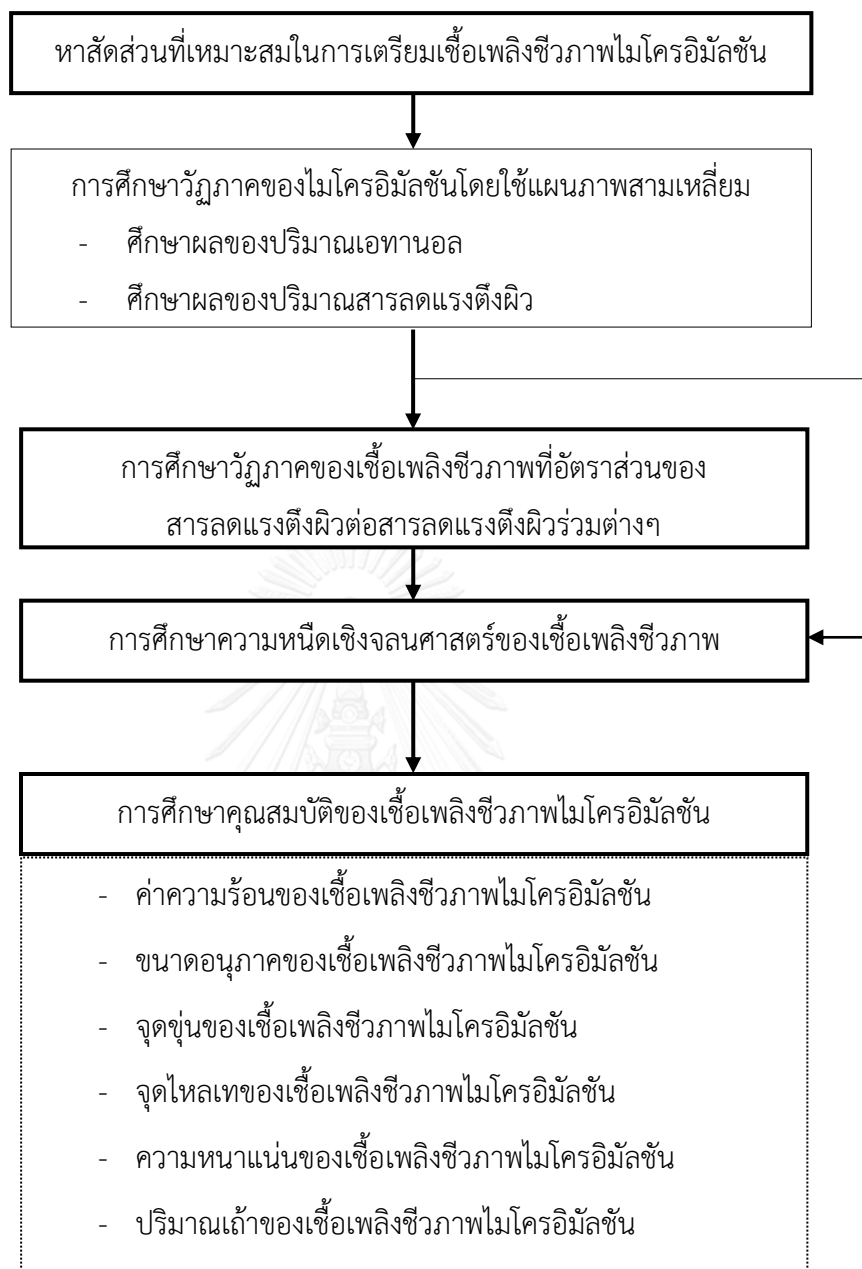
- การศึกษาวัฏภาคของไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม
- การศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

การทดลองช่วงที่ 2 การศึกษาวัฏภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมต่างๆ

การทดลองช่วงที่ 3 การศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

การทดลองช่วงที่ 4 การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

- ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน
- ขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน
- จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน
- จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน
- ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน
- ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน



ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

## 3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

### 3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดทดลอง (Test Tube) ขนาด 15 มิลลิลิตร
2. ตะแกรงใส่หลอดทดลอง (Rack)
3. ไมโครปิเปต (Micropipette) ขนาด 20 – 200 ไมโครลิตร
4. ไมโครปิเปตทิว (Micropipette Tip) ขนาด 20 – 200 ไมโครลิตร
5. ไมโครปิเปต (Micropipette) ขนาด 200 – 1000 ไมโครลิตร
6. ไมโครปิเปตทิว (Micropipette Tip) ขนาด 200 – 1000 ไมโครลิตร
7. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 50 มิลลิลิตร
8. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 100 มิลลิลิตร
9. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 250 มิลลิลิตร
10. ขวดเก็บตัวอย่างฝาเกลียว (Vial) ขนาด 100 มิลลิลิตร
11. ขวดเก็บตัวอย่างฝาเกลียว (Vial) ขนาด 500 มิลลิลิตร
12. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
13. อ่างควบคุมความเย็น (Cooling Bath)
14. อ่างควบคุมความร้อน (Heating Bath)
15. กระบอกฉีดยา (Syringe) ขนาด 250 ไมโครลิตร
16. เครื่องผสมสาร (Vortex Meter)
17. เครื่องวัดความหนืด (Viscometer) ชนิด Canon–Fenske
18. เครื่องชั่งละเอียดแบบ 4 ตำแหน่ง
19. ตู้อบ (Oven)

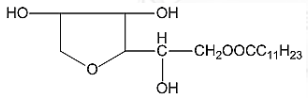
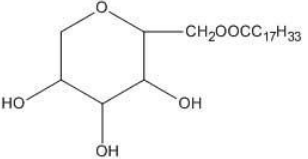
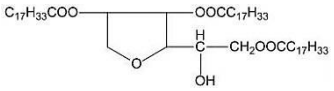
### 3.2.2 สารเคมี

1. น้ำมันปาล์ม จากบริษัท มรกตอินดัสตรีส์ จำกัด (มหาชน)
2. น้ำมันดีเซล (Blue Diesel) จากบริษัท ปตท จำกัด (มหาชน)
3. ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือสแปน 20 จากบริษัท เมอร์ค จำกัด


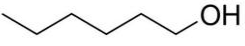
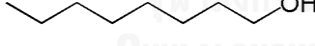


4. ซอร์บิทันโมโนโอเลอเตต หรือสแปน 80 จากบริษัท เมอร์ค จำกัด
5. ซอร์บิทันไตรโอเลอเตต หรือสแปน 85 จากบริษัท เมอร์ค จำกัด
6. บิวทานอล จากบริษัท อิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด
7. เฮกซานอล จากบริษัท อิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด
8. ออกทานอล จากบริษัท อิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด
9. เอทานอล ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 จากบริษัท อิตัลมาร์ (ประเทศไทย) จำกัด

ตารางที่ 3-1 คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวที่ศึกษา

สารลดแรงตึงผิว	โครงสร้าง	สูตร	HLB	น้ำหนักโมเลกุล (กรัมต่อโมล)	ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)
สแปน 20		$C_{18}H_{34}O_6$	8.6	346.46	1.032
สแปน 80		$C_{24}H_{44}O_6$	4.3	428.6	0.986
สแปน 85		$C_{60}H_{108}O_8$	1.8	957.49	0.956

ตารางที่ 3-2 คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ศึกษา

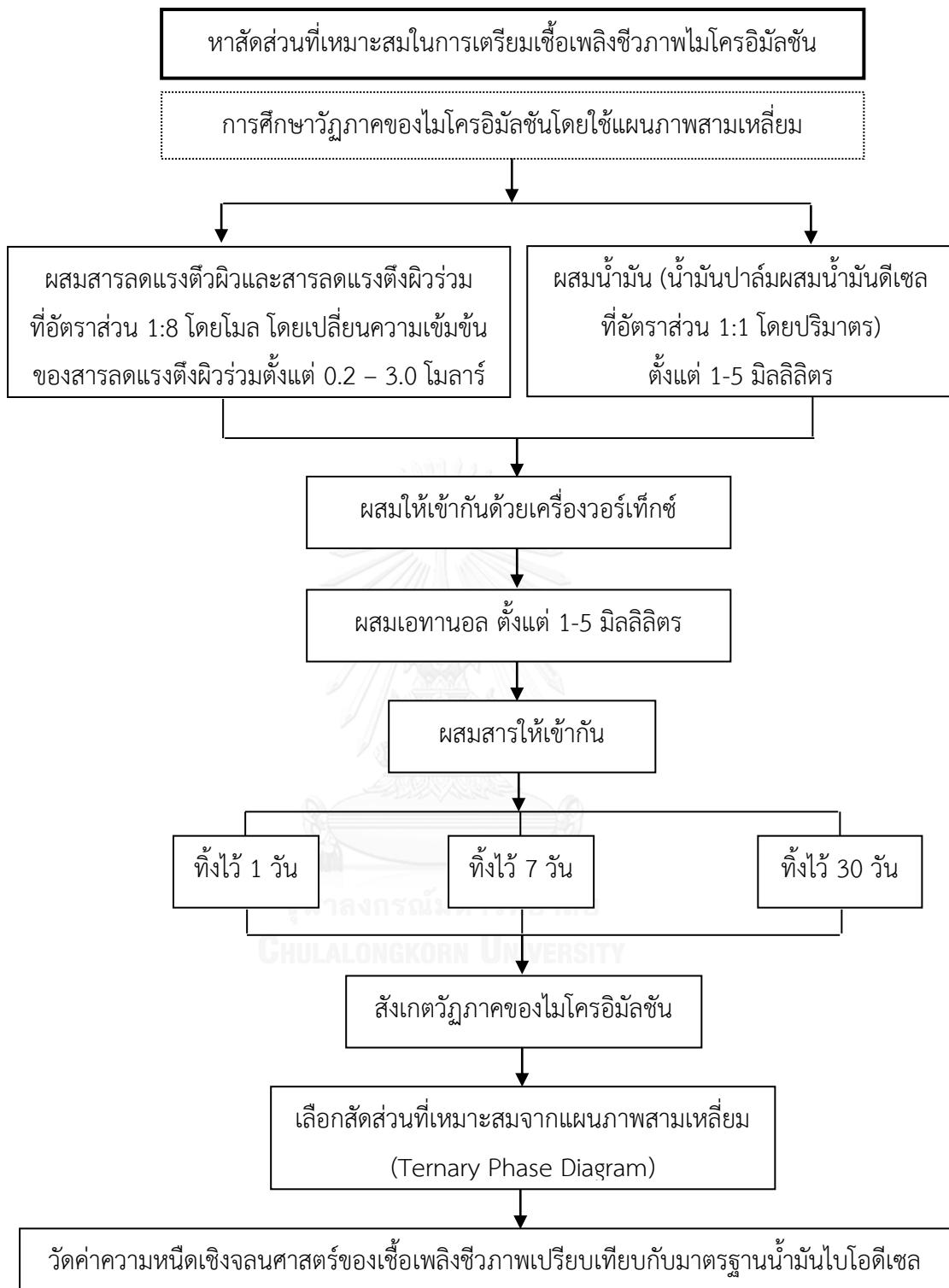
สารลดแรงตึงผิวร่วม	โครงสร้าง	สูตร	ร้อยละความบริสุทธิ์	น้ำหนักโมเลกุล (กรัมต่อโมล)	ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)
บิวทานอล		$C_4H_9OH$	99.5	74.12	0.81
เฮกซานอล		$C_6H_{13}OH$	98	102.17	0.81
ออกทานอล		$C_8H_{17}OH$	99	130.20	0.82

### 3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

#### 3.3.1 การทดลองช่วงที่ 1 หาสัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพ

##### 3.3.1.1 การศึกษาภูมิภาคของไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม

1. ผสมสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม ที่อัตราส่วน 1:8 โดยโมล ลงในหลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวร่วมตั้งแต่ 0.2 – 3.0 โมลาร์
2. ผสมน้ำมัน 1 มิลลิลิตร ในอัตราส่วนน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล 1:1 โดยปริมาตร (Attaphong และคณะ, 2011) แล้วผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องวอร์เท็กซ์
3. เติมน้ำเกลือ 5 มิลลิลิตร ผสมสารให้เข้ากัน
4. ทำตามตั้งแต่ข้อ 1 – 3 โดยเปลี่ยนปริมาณ น้ำมัน-เอทานอล เป็น 2-5, 3-5, 4-5, 5-5, 5-4, 5-3, 5-2, 5-1 มิลลิลิตร
5. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 7 และ 30 วัน แล้วสังเกตภูมิภาคของไมโครอิมัลชัน
6. ทำซ้ำโดยเปลี่ยนชนิดของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม จะได้สัดส่วนที่น้อยที่สุดที่จะทำให้น้ำมันรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ แสดงเป็นเส้นกราฟในแผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary Phase Diagram) ซึ่งจะได้เส้นกราฟทั้งหมด 9 เส้น
7. เลือกสัดส่วนที่เหมาะสมจากแผนภาพสามเหลี่ยม โดยนำไปตรวจสอบค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพให้ได้ค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลก่อนที่จะนำสัดส่วนที่ได้ไปใช้ในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน



ภาพที่ 3-2 ขั้นตอนการศึกษาวัฏภาคของไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม

ตารางที่ 3-3 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการศึกษาวิภูภาคของไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สารลดแรงตึงผิวกลุ่มซอร์บิแทนเอสเทอร์ ได้แก่ ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือสแปน 20 ซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80 และ ซอร์บิแทนไตรโอเลอิต หรือสแปน 85</li> <li>- สารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล</li> <li>- ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม</li> <li>- ปริมาณเอทานอลและน้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล)</li> <li>- ระยะเวลา 1 7 และ 30 วัน</li> </ul>
ตัวแปรตาม	<ul style="list-style-type: none"> <li>- วิภูภาคของไมโครอิมัลชัน</li> <li>- ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ</li> </ul>
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อัตราส่วนน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันดีเซล 1:1 โดยปริมาตร</li> <li>- อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล</li> </ul>

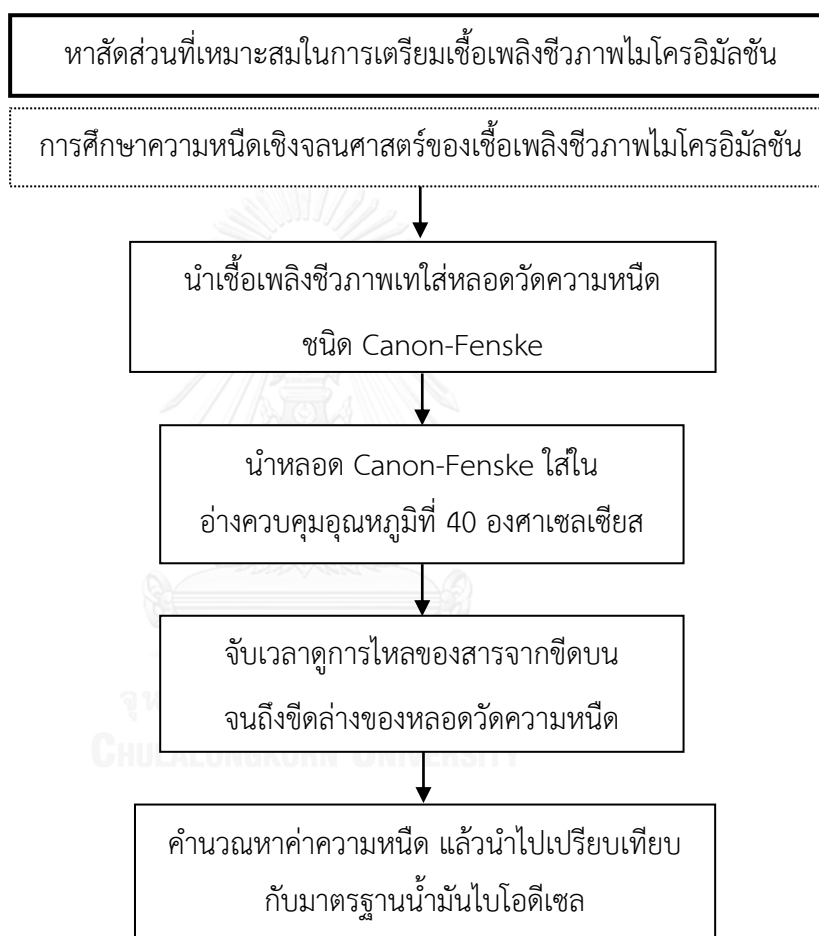
### 3.3.1.2 ศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

1. ผสมเชื้อเพลิงชีวภาพตามสัดส่วนที่เลือกจากแผนภาพสามเหลี่ยม เพื่อนำมาวัดค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ
2. ใส่เชื้อเพลิงชีวภาพลงในหลอด Canon-Fenske ที่อยู่ในอ่างควบคุมความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส
3. ใช้ลูกยางดูดเชื้อเพลิงชีวภาพขึ้นมาจนถึงขีดบนของหลอด แล้วจับเวลาที่เชื้อเพลิงชีวภาพเคลื่อนที่จากขีดบนจนถึงขีดล่าง

4. บันทึกผล แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ จากสูตร

$$\mu = Kt$$

โดยที่  $\mu$  คือ ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ (เซนติสโตกส์), K คือ ค่าคงที่ (0.01606 เซนติสโตกส์ต่อวินาที) และ t คือ เวลาที่สารเคลื่อนที่ในหลอดวัดความหนืด (วินาที)



ภาพที่ 3-3 ขั้นตอนการศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ตารางที่ 3-4 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการศึกษาความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรต้น	- ปริมาณเอทานอล - ปริมาณสารลดแรงตึงผิว
ตัวแปรตาม	ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ
ตัวแปรคงที่	- อัตราส่วนน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันดีเซล 1:1 โดยปริมาตร - อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม 1:8 โดยโมล - อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

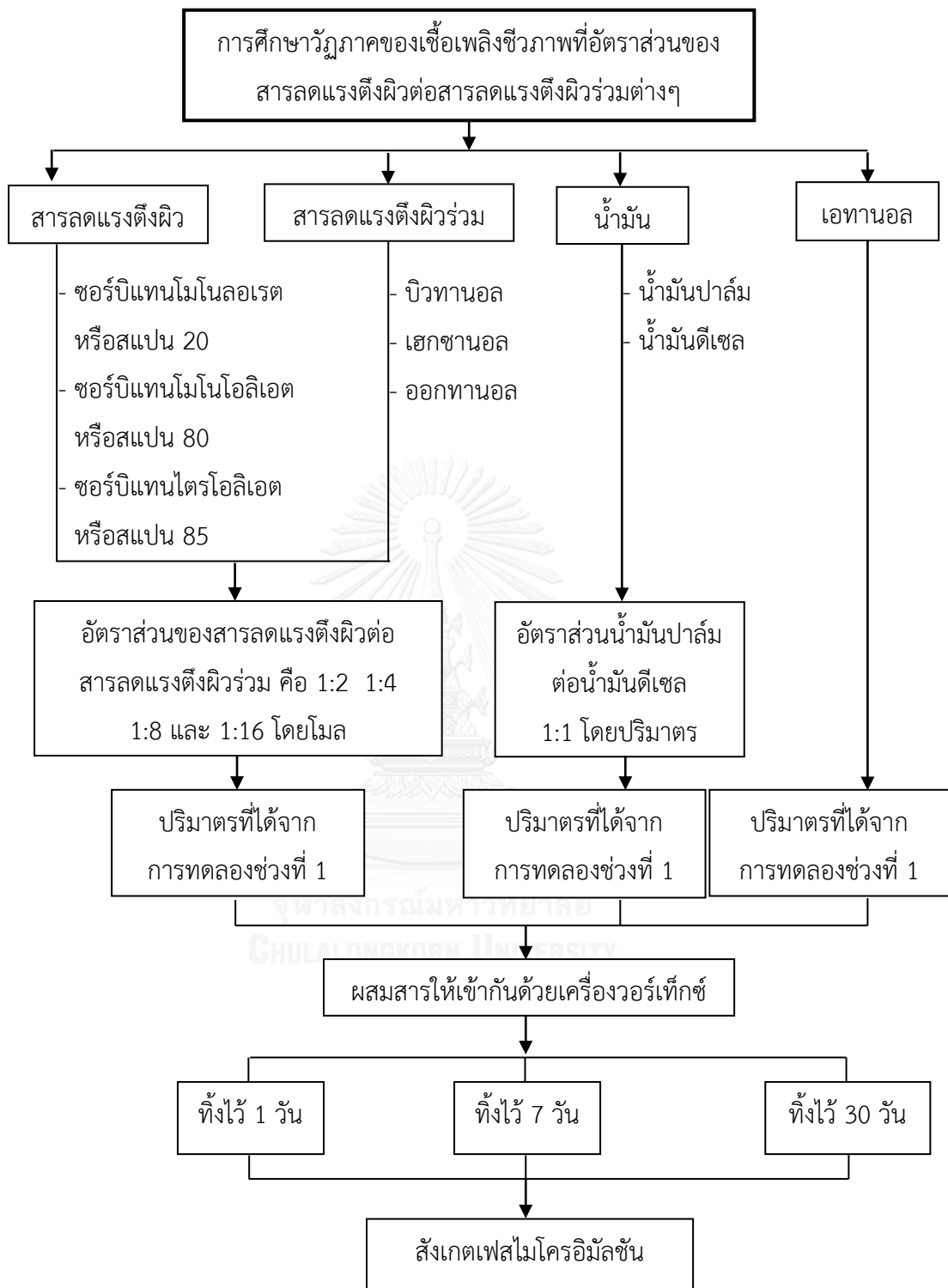
### 3.3.2 การทดลองช่วงที่ 2 การศึกษาวัฏภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมต่างๆ

1. ผสมสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวรวมที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม 1:2 1:4 1:8 และ 1:16 โดยโมล ลงในหลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร
2. ผสมน้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) ตามสัดส่วนโดยปริมาตรที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1 แล้วผสมสารให้เข้ากันด้วยเครื่องวอร์เท็กซ์
3. ผสมเอทานอล ตามสัดส่วนโดยปริมาตรที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1 แล้วผสมสารให้เข้ากัน โดยให้ได้ปริมาตรรวมเป็น 10 มิลลิลิตร
4. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 7 และ 30 วัน แล้วสังเกตวัฏภาคของไมโครอิมัลชัน

ตารางที่ 3-5 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการศึกษาวิภูภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่างๆ

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สารลดแรงตึงผิวกลุ่มซอร์บิแทนเอสเทอร์ ได้แก่ ซอร์บิแทนโมนอลอเรต หรือสแปน 20 ซอร์บิแทนโมนโอลิเอต หรือสแปน 80 และ ซอร์บิแทนไตรโอลิเอต หรือสแปน 85</li> <li>- สารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล</li> <li>- อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:2 1:4 1:8 และ 1:16 โดยโมล</li> <li>- ระยะเวลา 1 7 และ 30 วัน</li> </ul>
ตัวแปรตาม	<ul style="list-style-type: none"> <li>- วิภูภาคของไมโครอิมัลชัน</li> <li>- ความหนืดเชิงจลนศาสตร์</li> <li>- คุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน</li> </ul>
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อัตราส่วนน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันดีเซล 1:1 โดยปริมาตร</li> <li>- สัดส่วนโดยปริมาตรของสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม เอทานอล และน้ำมัน(น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล) ที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1</li> <li>- ปริมาตรรวมของเชื้อเพลิงชีวภาพ 10 มิลลิลิตร</li> </ul>





ภาพที่ 3-4 ขั้นตอนการศึกษาวิจัยภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมต่างๆ

### 3.3.3 การทดลองช่วงที่ 3 การศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ

1. นำเชื้อเพลิงชีวภาพเทใส่หลอดวัดความหนืดชนิด Canon-Fenske ที่อยู่ในอ่างควบคุมความเย็น (Cooling Bath) ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส
2. ใช้ลูกยางดูดเชื้อเพลิงชีวภาพขึ้นมาจนถึงขีดบนของหลอดวัดความหนืด แล้วจับเวลาการไหลของเชื้อเพลิงชีวภาพจากขีดบนจนถึงขีดล่าง แล้วบันทึกผล
3. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-2 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิจาก 15 องศาเซลเซียส เป็น 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส ในการปรับอุณหภูมิจะใช้อ่างควบคุมความเย็น (Cooling Bath) และอ่างควบคุมความร้อน (Heating Bath)
4. นำค่าที่ได้จากการทดลองไปคำนวณหาค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ (Kinematic Viscosity)

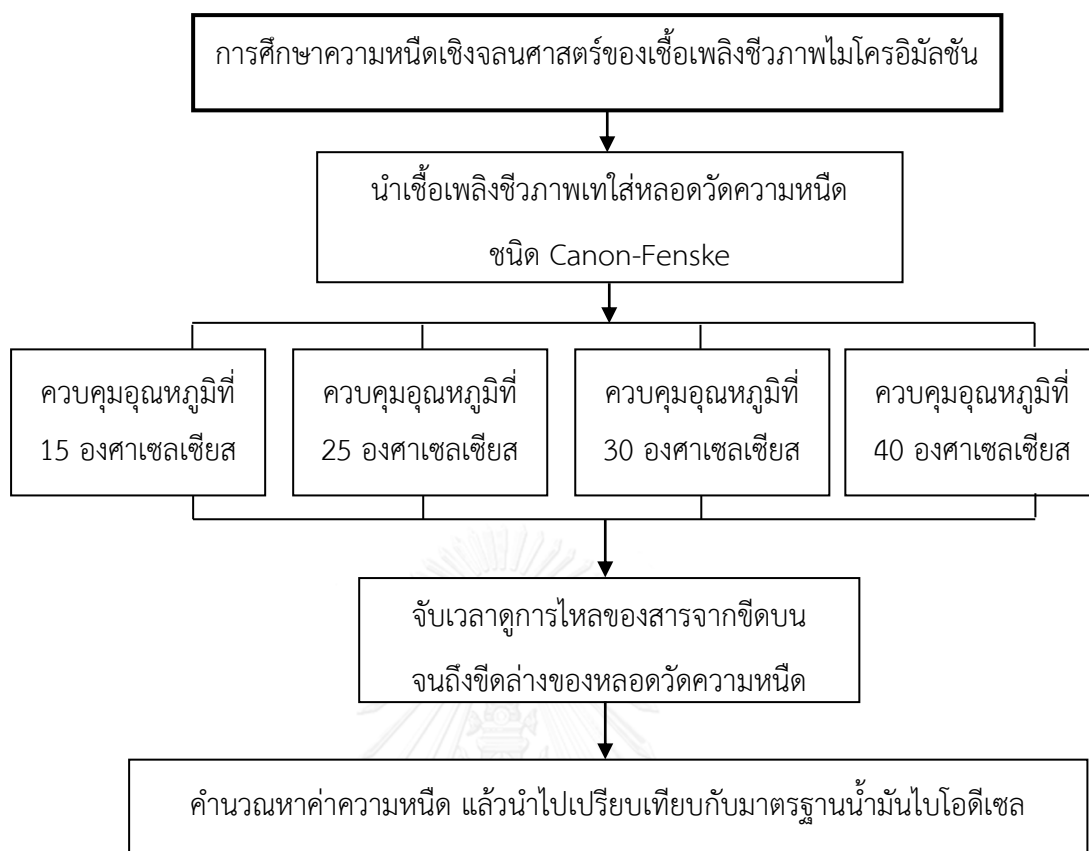
$$\text{จากสมการ } \mu = Kt$$

โดยที่  $\mu$  คือ ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ (เซนติสโตกส์), K คือ ค่าคงที่ (เซนติสโตกส์ต่อวินาที) และ t คือ เวลาที่สารเคลื่อนที่ในหลอดวัดความหนืด (วินาที)

5. ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
6. นำค่าความหนืดที่ได้ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซล โดยมาตรฐานความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลอยู่ที่ 1.9 - 6.0 เซนติสโตกส์



ภาพที่ 3-5 หลอดวัดความหนืดชนิด Canon-Fenske ในอ่างที่ควบคุมอุณหภูมิ



ภาพที่ 3-6 ขั้นตอนการศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตารางที่ 3-6 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการศึกษาความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรต้น	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สารลดแรงตึงผิวกลุ่มซอร์บิแทนเอสเทอร์ ได้แก่ ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือ สแปน 20 ซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80 และ ซอร์บิแทนไตรโอเลอิต หรือสแปน 85</li> <li>- สารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล</li> <li>- อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:2 1:4 1:8 และ 1:16 โดยโมล</li> <li>- อุณหภูมิ 15 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส</li> </ul>

ตารางที่ 3-6 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการศึกษาความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพ (ต่อ)

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรตาม	ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อัตราส่วนน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันดีเซล 1:1 โดยปริมาตร</li> <li>- สัดส่วนโดยปริมาตรของสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม เอทานอล และน้ำมัน(น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล) ที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1</li> </ul>

### 3.3.4 การทดลองช่วงที่ 4 การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

#### 3.3.4.1 การวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ

วัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 240 รายละเอียด ภาคผนวก ง ซึ่งเป็นการวัดปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อมีการเผาไหม้ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำทำให้ทราบปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยจากเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยส่งตัวอย่างตรวจวัดที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-7 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการศึกษาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรต้น	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สารลดแรงตึงผิวกลุ่มซอร์บิแทนเอสเตอร์ ได้แก่ ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือสแปน 20 ซอร์บิแทนโมนโอลิเอต หรือสแปน 80 และ ซอร์บิแทนไตรโอลิเอต หรือสแปน 85</li> <li>- สารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล</li> <li>- อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:4 1:8 และ 1:16 โดยโมล</li> </ul>

ตารางที่ 3-7 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการศึกษาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ (ต่อ)

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรตาม	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อัตราส่วนน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันดีเซล 1:1 โดยปริมาตร</li> <li>- สัดส่วนโดยปริมาตรของสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม เอทานอล และน้ำมัน(น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล) ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1</li> </ul>

### 3.3.4.2 การวัดขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพ

วัดขนาดอนุภาคไมโครอิมัลชันโดยใช้เทคนิค Dynamic light scattering (DLS) ทำการวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง Zetasizer 3600 (Malvern) รายละเอียด ภาคผนวก ง โดยส่งตัวอย่างตรวจวัดที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-8 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการศึกษาขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพ

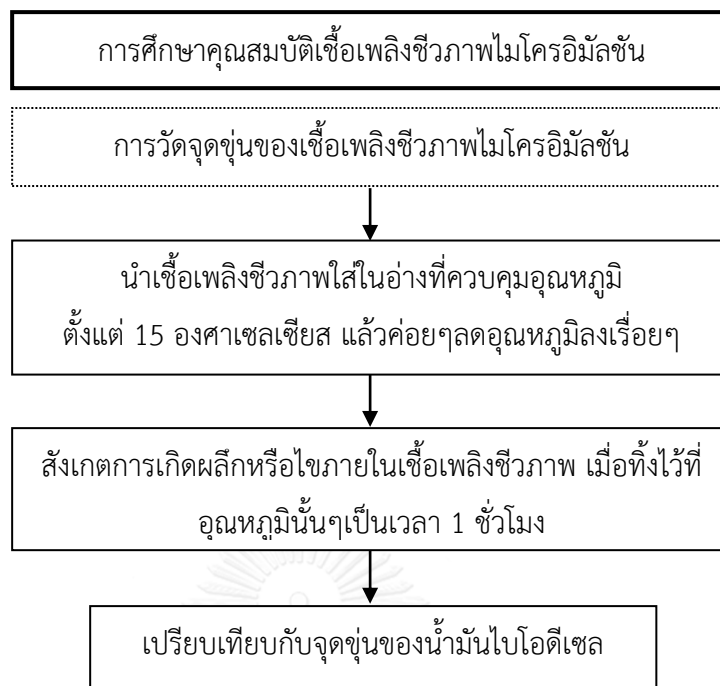
ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรต้น	สารลดแรงตึงผิวกลุ่มซอร์บิแทนเอสเตอร์ ได้แก่ ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือสแปน 20 ซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80 และ ซอร์บิแทนไตรโอเลอิต หรือสแปน 85
ตัวแปรตาม	ขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพ
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ใช้เอทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม</li> <li>- อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล</li> <li>- อัตราส่วนน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันดีเซล 1:1 โดยปริมาตร</li> <li>- สัดส่วนโดยปริมาตรของสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม เอทานอล และน้ำมัน(น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล) ที่ได้จากการทดลองครั้งที่ 1</li> </ul>

### 3.3.4.3 การวัดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ

1. นำเชื้อเพลิงชีวภาพใสในอ่างที่ควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่ 15 องศาเซลเซียส แล้วค่อยๆลดอุณหภูมิลงเรื่อยๆ
2. สังเกตการเกิดผลึกหรือไขภายในเชื้อเพลิงชีวภาพ เมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมินั้นๆเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วบันทึกผลการทดลอง
3. นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับจุดขุ่นของน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งอยู่ที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3-9 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการวัดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรต้น	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สารลดแรงตึงผิวกลุ่มซอร์บิแทนเอสเทอร์ ได้แก่ ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือสแปน 20 ซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80 และ ซอร์บิแทนไตรโอเลอิต หรือสแปน 85</li> <li>- สารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล</li> <li>- อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:2 1:4 1:8 และ 1:16 โดยโมล</li> <li>- อุณหภูมิตั้งแต่ 15 องศาเซลเซียสลงไป</li> </ul>
ตัวแปรตาม	จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อัตราส่วนน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันดีเซล 1:1 โดยปริมาตร</li> <li>- สัดส่วนโดยปริมาตรของสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม เอทานอล และน้ำมัน(น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล) ที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1</li> </ul>



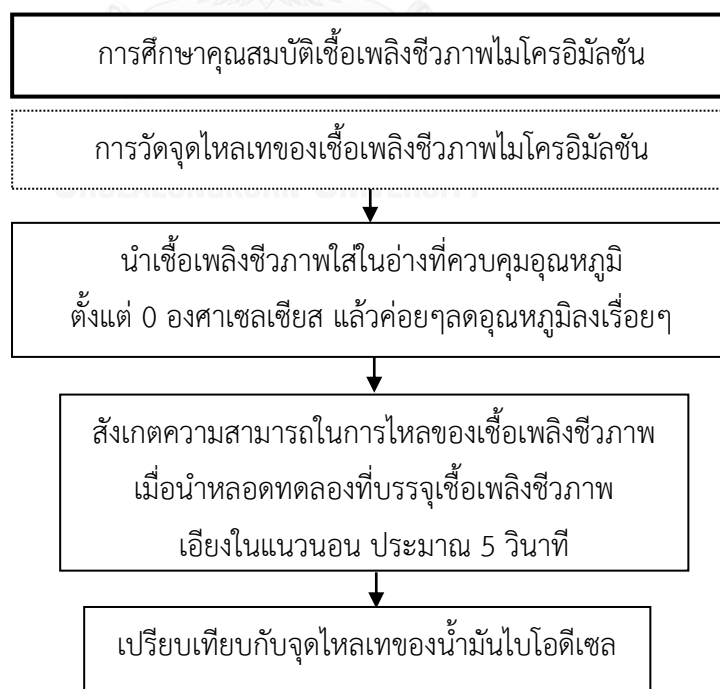
ภาพที่ 3-7 ขั้นตอนการวัดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ

#### 3.3.4.4 การวัดจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพ

1. นำเชื้อเพลิงชีวภาพใส่ในอ่างที่ควบคุมอุณหภูมิตั้งแต่ 0 องศาเซลเซียส แล้วค่อยๆลดอุณหภูมิลงเรื่อยๆ
2. สังเกตความสามารถในการไหลของเชื้อเพลิงชีวภาพ เมื่อนำหลอดทดลองที่บรรจุเชื้อเพลิงชีวภาพเพียงในแนวนอน ประมาณ 5 วินาที บันทึกผลการทดลอง
3. นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับจุดไหลเทของน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งอยู่ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3-10 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการวัดจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรต้น	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สารลดแรงตึงผิวกลุ่มซอร์บิแทนเอสเทอร์ ได้แก่ ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือ สแปน 20 ซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80 และ ซอร์บิแทนไตรโอเลอิต หรือสแปน 85</li> <li>- สารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล</li> <li>- อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:2 1:4 1:8 และ 1:16 โดยโมล</li> <li>- อุณหภูมิตั้งแต่ 0 องศาเซลเซียสลงไป</li> </ul>
ตัวแปรตาม	จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพ
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อัตราส่วนน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันดีเซล 1:1 โดยปริมาตร</li> <li>- สัดส่วนโดยปริมาตรของสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม เอทานอล และน้ำมัน(น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล) ที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1</li> </ul>



ภาพที่ 3-8 ขั้นตอนการวัดจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพ



### 3.3.4.5 การวัดความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ

หาจากการชั่งน้ำหนักต่อปริมาตร โดยคำนวณหาค่าความหนาแน่น จากสูตร

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

โดยที่  $\rho$  คือ ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร,  $m$  คือน้ำหนักของเชื้อเพลิงชีวภาพ มีหน่วยเป็นกรัม และ  $V$  คือ ปริมาตรของเชื้อเพลิงชีวภาพ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

ตารางที่ 3-11 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการวัดความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรต้น	อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม 1:2 1:4 1:8 และ 1:16 โดยโมล
ตัวแปรตาม	ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อัตราส่วนน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันดีเซล 1:1 โดยปริมาตร</li> <li>- สัดส่วนโดยปริมาตรของสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวรวม เอทานอล และน้ำมัน(น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล) ที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1</li> <li>- อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส</li> </ul>

### 3.3.4.6 การวัดปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ส่งตัวอย่างตรวจวัดพร้อมกับการหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยชั่งน้ำหนักหาปริมาณเถ้าที่หลงเหลืออยู่หลังการเผาไหม้ในเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ด้วยเครื่องชั่งละเอียดแบบ 4 ตำแหน่ง ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รายละเอียดภาคผนวก ง

ตารางที่ 3-12 ตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการศึกษาปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรต้น	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สารลดแรงตึงผิวกลุ่มซอร์บิแทนเอสเทอร์ ได้แก่ ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือ สเปน 20 ซอร์บิแทนโมโนโอลิเอต หรือสเปน 80 และ ซอร์บิแทนไตรโอลิเอต หรือสเปน 85</li> <li>- สารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล</li> <li>- อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:4 1:8 และ 1:16 โดยโมล</li> </ul>
ตัวแปรตาม	ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพ
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> <li>- อัตราส่วนน้ำมันปาล์มต่อน้ำมันดีเซล 1:1 โดยปริมาตร</li> <li>- สัดส่วนโดยปริมาตรของสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม เอทานอล และน้ำมัน(น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล) ที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1</li> </ul>

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

งานวิจัยนี้นำเสนอผลการศึกษาค่าการใช้ซอร์บิแทนเอสเทอร์ทดแทนสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยเริ่มต้นจากการศึกษาหาสัดส่วน ระหว่างสารลดแรงตึงผิวที่ได้จากธรรมชาติ สารลดแรงตึงผิวร่วม น้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล) และเอทานอลที่เหมาะสม ในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน ศึกษาผลของชนิดสารลดแรงตึงผิวกลุ่มซอร์บิแทนเอสเทอร์ ต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน และศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์ม โดยใช้สารลดแรงตึงผิวที่ได้จากธรรมชาติชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

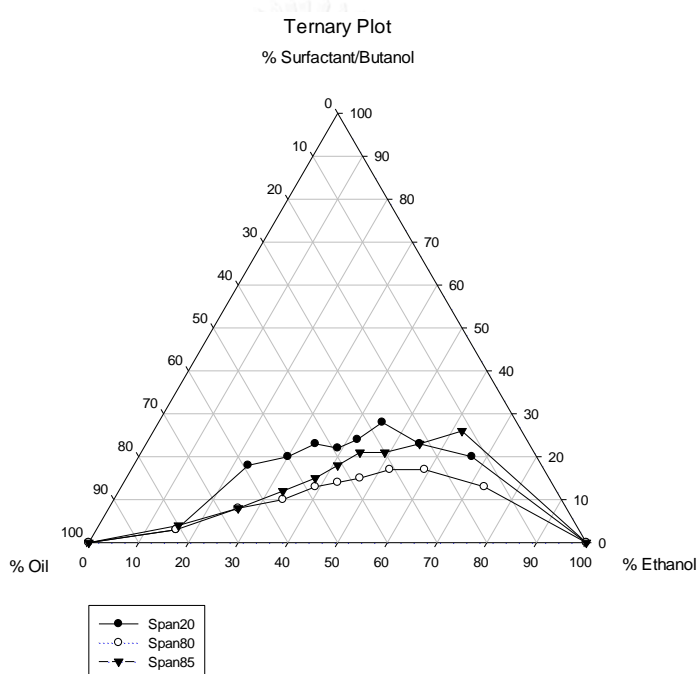
#### 4.1 สัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพ

##### 4.1.1 การศึกษาวัฏภาคของไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม

จากผลการทดลองศึกษาวัฏภาคของไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม ซึ่งแสดง สัดส่วนที่ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ (Single Phase) โดยพื้นที่ด้านล่าง ของเส้นกราฟจะแสดงสัดส่วนที่ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Separate Phase) และพื้นที่เหนือเส้นกราฟขึ้นไปจะเป็นสัดส่วนที่สามารถทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ได้ (Single Phase) โดยเปรียบเทียบสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือสแปน 20 ซอร์บิแทนโมโนโอเลต หรือสแปน 80 และซอร์บิแทนไตรโอเลต หรือสแปน 85 ที่ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ผสมกับ เอทานอล เกรดทางการค้า ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99 และ น้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) ในสัดส่วนต่างๆกัน จะได้แผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary Phase Diagram) ทั้งหมด 9 แผนภาพ รายละเอียด ภาคผนวก ค

#### 4.1.1.1 ผลของสารลดแรงตึงผิว

ภาพที่ 4-1, 2 และ 3 เป็นการเปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวต่อการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยใช้ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือสแปน 20 ซอร์บิแทนโมโนโอเลต หรือสแปน 80 และซอร์บิแทนไตรโอเลต หรือสแปน 85 เป็นสารลดแรงตึงผิว ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม 1:8 โดยโมล ผสมกับเอทานอล และน้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร)



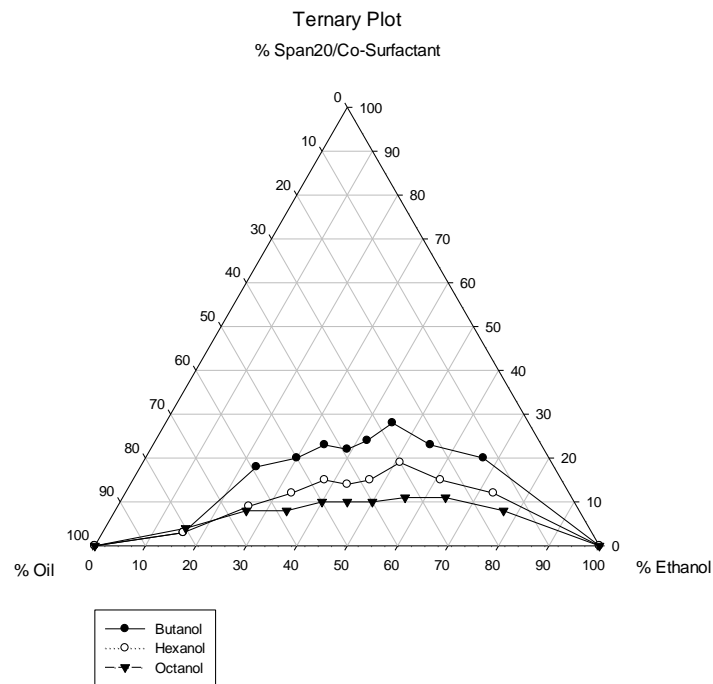
ภาพที่ 4-1 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวต่อการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงชีวภาพ  
เมื่อใช้บิวทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวรวม



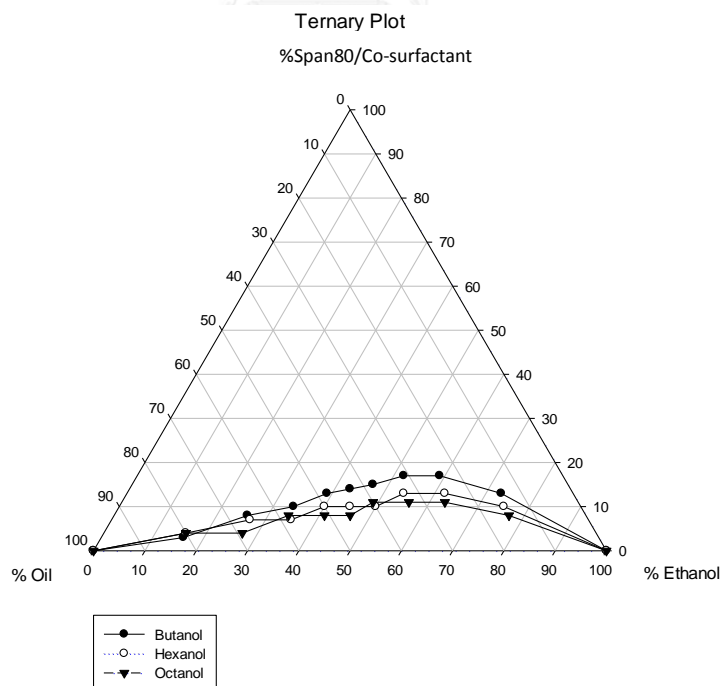
น้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซลมีความหนืดที่ยังไม่เหมาะสม การผสมแอลกอฮอล์จะทำให้ความหนืดของส่วนผสมลดลง แต่ปริมาณแอลกอฮอล์ที่มากขึ้นจะทำให้ไม่สามารถรวมตัวกับน้ำมันพืชผสมน้ำมันดีเซลโดยตรงได้ และมีความจำเป็นที่จะต้องเติมสารลดแรงตึงผิว จากภาพที่ 4-1, 2 และ 3 แสดงให้เห็นว่า โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวมีผลต่อการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของส่วนผสม กล่าวคือ เชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมนโอเลียด หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว จะใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่ำสุดในการทำให้น้ำมันรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Single Phase) เนื่องจากโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนโมนโอเลียด หรือ สแปน 80 มีสายคาร์บอนที่ยาวกว่าซอร์บิแทนโมนโอเลียด หรือสแปน 20 จึงสามารถละลายในเอทานอลได้มากกว่า ส่วนซอร์บิแทนไตรโอเลียด หรือสแปน 85 มีโครงสร้างที่มีความซับซ้อนน้อย จึงละลายในเอทานอลได้ไม่ดี ทำให้ต้องใช้สารลดแรงตึงผิวในปริมาณมากเพื่อให้สารผสมเกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับค่าความชอบน้ำ หรือค่าเฮชแอลบี (Hydrophile-Lipophile Balance) ของสารลดแรงตึงผิว โดยสารลดแรงตึงผิวที่มีค่าเฮชแอลบีตั้งแต่ 3-6 จะมีความสามารถทำให้เกิดไมโครอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันได้ดี ดังนั้นซอร์บิแทนโมนโอเลียด หรือสแปน 80 ที่มีค่าเฮชแอลบี 4.3 จึงมีความสามารถในการทำให้เกิดไมโครอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันได้ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวในปริมาณน้อยกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมนโอเลียด (ค่าเฮชแอลบี 8.6) และซอร์บิแทนไตรโอเลียด (ค่าเฮชแอลบี 1.8) เป็นสารลดแรงตึงผิว

#### 4.1.1.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม

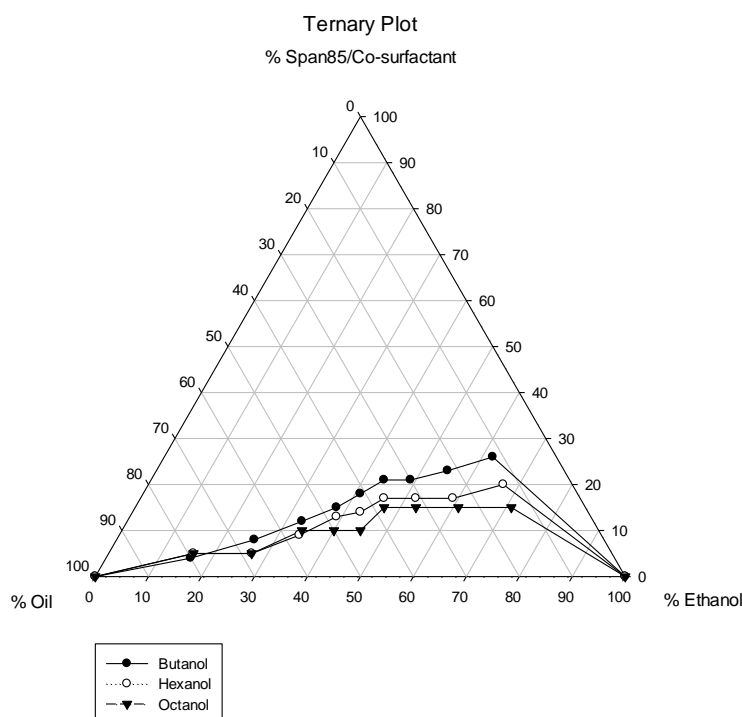
ภาพที่ 4-4, 5 และ 6 เป็นการเปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยใช้บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ผสมกับเอทานอล และน้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร)



ภาพที่ 4-4 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงชีวภาพเมื่อใช้ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือสแปน 20 เป็นสารลดแรงตึงผิว



ภาพที่ 4-5 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงชีวภาพเมื่อใช้ซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว



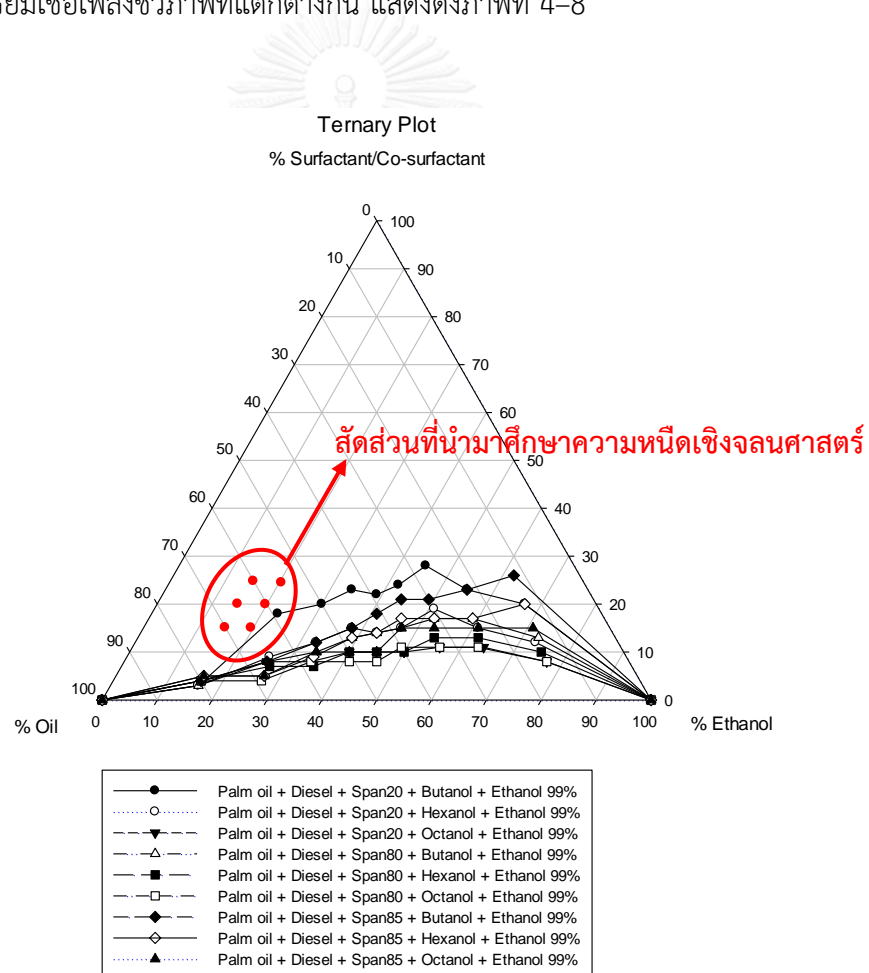
ภาพที่ 4-6 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงชีวภาพเมื่อใช้ซอร์บิแทนไตรโอเลต หรือสแปน 85 เป็นสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวร่วมจะทำให้ความต้องการปริมาณสารลดแรงตึงผิวลดลง ภาพที่ 4-4, 5 และ 6 แสดงให้เห็นว่า โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวร่วมมีผลโดยตรงต่อการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันของส่วนผสม กล่าวคือ เชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม จะมีความต้องการปริมาณสารลดแรงตึงผิวน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้บิวทานอลและเฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม เนื่องจากโครงสร้างของออกทานอลมีความยาวสายโซ่คาร์บอนที่เหมาะสมในการละลายในน้ำมันพืช โดยน้ำมันพืชมีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันที่มีคาร์บอนอยู่ระหว่าง 12-18 ตัว เมื่อใช้ออกทานอลที่มีอะตอมของคาร์บอน 8 ตัว จึงมีความสามารถในการละลายในน้ำมันได้มากกว่าบิวทานอลและเฮกซานอลที่มีอะตอมของคาร์บอน 4 และ 6 ตัวตามลำดับ ทำให้ลดปริมาณการใช้สารลดแรงตึงผิวในการทำให้น้ำมันรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งมีการเปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล ออกทานอล และเตคานอล พบว่าความยาวสายโซ่คาร์บอนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวลดลงในการทำให้น้ำมันรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Arpornpong และคณะ, 2014)



#### 4.1.2 การศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ

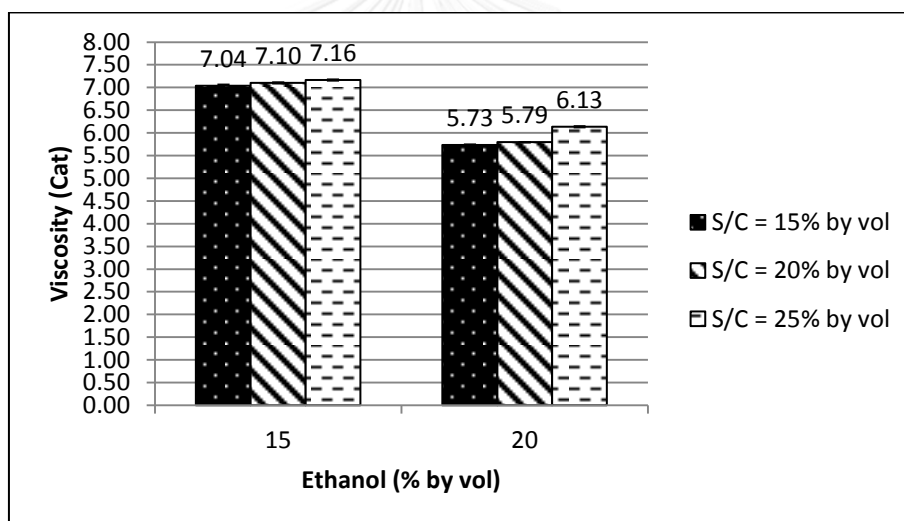
ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเมื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์ เนื่องจากความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์โดยตรง ในการศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพจะทำการเลือกสัดส่วนที่เหมาะสมจากแผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary Phase Diagram) แสดงดังภาพที่ 4-7 โดยจะเลือกสัดส่วนที่อยู่เหนือเส้นกราฟขึ้นไปเล็กน้อย ซึ่งพิจารณาจากสัดส่วนที่ใช้ปริมาณน้ำมันมาก และใช้สารเคมีในปริมาณน้อย โดยจะเปรียบเทียบค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในสัดส่วนการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพที่แตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 4-8



ภาพที่ 4-7 สัดส่วนการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพที่เลือกในการวัดค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

#### 4.1.2.1 ผลของเอทานอล

จากภาพที่ 4-8 ศึกษาผลของเอทานอลต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ปริมาณเอทานอล ร้อยละ 20 โดยปริมาตร มีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์อยู่ระหว่าง 5.73 – 6.13 เซนติสโตกส์ ต่ำกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ปริมาณเอทานอล ร้อยละ 15 โดยปริมาตร ซึ่งมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์อยู่ระหว่าง 7.04 – 7.16 เซนติสโตกส์ เนื่องจากเอทานอลเป็นตัวทำละลายน้ำมันที่มีประสิทธิภาพ เพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำมัน เมื่อเพิ่มปริมาณเอทานอลซึ่งเป็นตัวแทนวัฏภาคของน้ำในเชื้อเพลิงชีวภาพ ส่งผลให้ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพลดลง



ภาพที่ 4-8 เปรียบเทียบค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมโนโอเลียด หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว และใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ผสมกับเอทานอล และน้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) ในสัดส่วนต่างๆกัน

ปริมาณเอทานอลมีผลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ เช่น ค่าความร้อน ค่าซีเทน จุดวาบไฟ และปริมาณน้ำ (Kwancharon และคณะ, 2007) จึงควรเลือกใช้ปริมาณเอทานอลที่น้อยที่สุดที่ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่ง

กำหนดให้มีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์อยู่ระหว่าง 1.9 – 6.0 เซนติสโตกส์ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภาพที่ 4-8 แสดงให้เห็นว่า สัดส่วนของเอทานอลที่ให้ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์อยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลคือ สัดส่วนของเอทานอล ร้อยละ 20 โดยปริมาตร

#### 4.1.2.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม

จากภาพที่ 4-8 ศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้เอทานอล ร้อยละ 20 โดยปริมาตร พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม ร้อยละ 15 โดยปริมาตร มีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ 5.73 เซนติสโตกส์ เมื่อเพิ่มสัดส่วนของสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วมเป็นร้อยละ 20 และ 25 โดยปริมาตร เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์เพิ่มขึ้นเป็น 5.79 และ 6.13 เซนติสโตกส์ ตามลำดับ เนื่องจากความหนาแน่นของสารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนโมนโอเลต หรือสแปน 80 (1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) สูงกว่าความหนาแน่นของน้ำมันดีเซลผสมน้ำมันปาล์ม (0.89 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) นอกจากนี้ การเติมสารลดแรงตึงผิวจะมีผลต่อการเกิดไมโครอิมัลชัน และส่งผลกระทบต่อขนาดของอนุภาคไมโครอิมัลชัน และส่งผลกระทบต่อความหนืดอีกทางหนึ่ง (Dunn และคณะ, 1994) ดังนั้น ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมจึงเป็นปริมาณที่สำคัญต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ เมื่อผสมในเชื้อเพลิงชีวภาพในการทำให้เอทานอลและน้ำมันรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของสารลดแรงตึงผิวในเชื้อเพลิงชีวภาพ

จากผลการศึกษาวัฏภาคของไมโครอิมัลชันโดยใช้แผนภาพสามเหลี่ยม และการศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ ในการหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพ พบว่า สัดส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพที่สามารถใช้ได้กับสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมทุกชนิดที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ โดยมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพอยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล คือ น้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลที่

อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) ร้อยละ 60 โดยปริมาตร เอทานอล (เกรดทางการค้า ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99) ร้อยละ 20 โดยปริมาตร และสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม (อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล) ร้อยละ 20 โดยปริมาตร

#### 4.2 การศึกษาวิฤภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่างๆ

การศึกษาวิฤภาคไมโครอิมัลชันของเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยการผสมตามสัดส่วนที่ได้จากหัวข้อที่ 4.1 คือ น้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) ร้อยละ 60 โดยปริมาตร เอทานอล ร้อยละ 20 โดยปริมาตร และสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม ร้อยละ 60 โดยปริมาตร โดยเปรียบเทียบอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ 1:2 1:4 1:8 และ 1:16 โดยโมล เมื่อตั้งทิ้งไว้เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงวิฤภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เป็นเวลา 1 7 และ 30 วัน พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ทำการศึกษาทั้งหมด 36 หลอดการทดลองสามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ (Single Phase) และไม่เกิดการแยกชั้นหลังจากตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 วัน แสดงดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 การเกิดรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Single Phase) ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่สัดส่วนต่างๆ

หลอด ที่	สารลดแรง ตึงผิว	สารลดแรง ตึงผิวร่วม	สารลดแรงตึงผิวต่อ สารลดแรงตึงผิวร่วม	เกิด Single Phase		
				1วัน	7วัน	30วัน
1	สเปน 20	บิวทานอล	1:2	✓	✓	✓
2	สเปน 20	บิวทานอล	1:4	✓	✓	✓
3	สเปน 20	บิวทานอล	1:8	✓	✓	✓
4	สเปน 20	บิวทานอล	1:16	✓	✓	✓
5	สเปน 20	เฮกซานอล	1:2	✓	✓	✓
6	สเปน 20	เฮกซานอล	1:4	✓	✓	✓
7	สเปน 20	เฮกซานอล	1:8	✓	✓	✓

ตารางที่ 4-1 การเกิดรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน(Single Phase)ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่สัดส่วนต่างๆ(ต่อ)

หลอด ที่	สารลดแรง ตึงผิว	สารลดแรง ตึงผิวรวม	สารลดแรงตึงผิวต่อ สารลดแรงตึงผิวรวม	เกิด Single Phase		
				1วัน	7วัน	30วัน
8	สแปน 20	เฮกซานอล	1:16	✓	✓	✓
9	สแปน 20	ออกทานอล	1:2	✓	✓	✓
10	สแปน 20	ออกทานอล	1:4	✓	✓	✓
11	สแปน 20	ออกทานอล	1:8	✓	✓	✓
12	สแปน 20	ออกทานอล	1:16	✓	✓	✓
13	สแปน 80	บิวทานอล	1:2	✓	✓	✓
14	สแปน 80	บิวทานอล	1:4	✓	✓	✓
15	สแปน 80	บิวทานอล	1:8	✓	✓	✓
16	สแปน 80	บิวทานอล	1:16	✓	✓	✓
17	สแปน 80	เฮกซานอล	1:2	✓	✓	✓
18	สแปน 80	เฮกซานอล	1:4	✓	✓	✓
19	สแปน 80	เฮกซานอล	1:8	✓	✓	✓
20	สแปน 80	เฮกซานอล	1:16	✓	✓	✓
21	สแปน 80	ออกทานอล	1:2	✓	✓	✓
22	สแปน 80	ออกทานอล	1:4	✓	✓	✓
23	สแปน 80	ออกทานอล	1:8	✓	✓	✓
24	สแปน 80	ออกทานอล	1:16	✓	✓	✓
25	สแปน 85	บิวทานอล	1:2	✓	✓	✓
26	สแปน 85	บิวทานอล	1:4	✓	✓	✓
27	สแปน 85	บิวทานอล	1:8	✓	✓	✓
28	สแปน 85	บิวทานอล	1:16	✓	✓	✓
29	สแปน 85	เฮกซานอล	1:2	✓	✓	✓
30	สแปน 85	เฮกซานอล	1:4	✓	✓	✓

ตารางที่ 4-1 การเกิดรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน(Single Phase)ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่สัดส่วนต่างๆ(ต่อ)

หลอด ที่	สารลดแรง ตึงผิว	สารลดแรง ตึงผิวรวม	สารลดแรงตึงผิวต่อ สารลดแรงตึงผิวรวม	เกิด Single Phase		
				1วัน	7วัน	30วัน
31	สแปน 85	เฮกซานอล	1:8	✓	✓	✓
32	สแปน 85	เฮกซานอล	1:16	✓	✓	✓
33	สแปน 85	ออกทานอล	1:2	✓	✓	✓
34	สแปน 85	ออกทานอล	1:4	✓	✓	✓
35	สแปน 85	ออกทานอล	1:8	✓	✓	✓
36	สแปน 85	ออกทานอล	1:16	✓	✓	✓

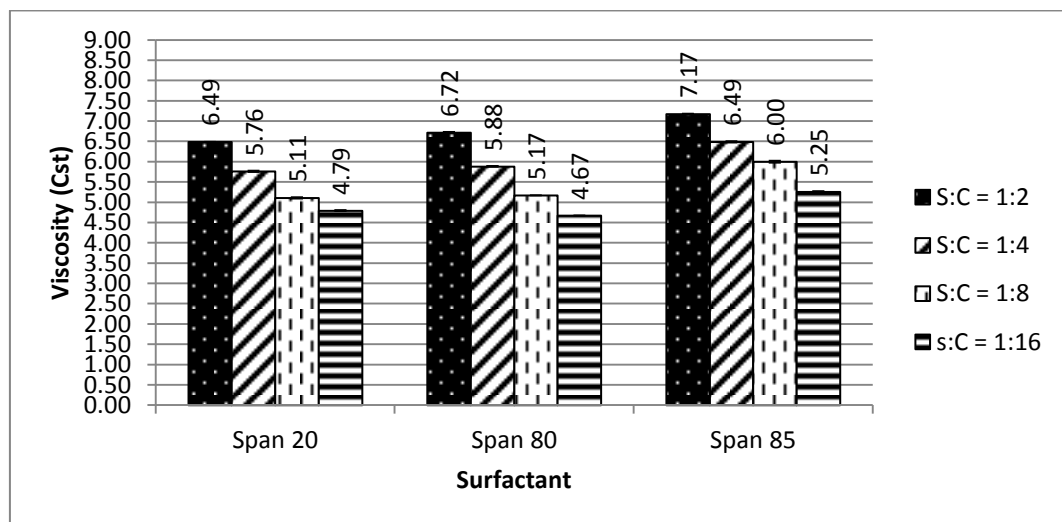
#### 4.3 การศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ

จากการทดลองศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิว ได้แก่ ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือสแปน 20 ซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80 และซอร์บิแทนไตรโอเลอิต หรือสแปน 85 ที่ผสมกับสารลดแรงตึงผิวรวม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมที่แตกต่างกัน คือ 1:2 1:4 1:8 และ 1:16 โดยโม่ ผสมกับเอทานอล และน้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) ในสัดส่วน น้ำมัน ร้อยละ 60 โดยปริมาตร เอทานอล ร้อยละ 20 โดยปริมาตร และสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวรวม ร้อยละ 20 โดยปริมาตร แสดงดังภาพที่ 4-9, 10, 11, 12, 13 และ 14

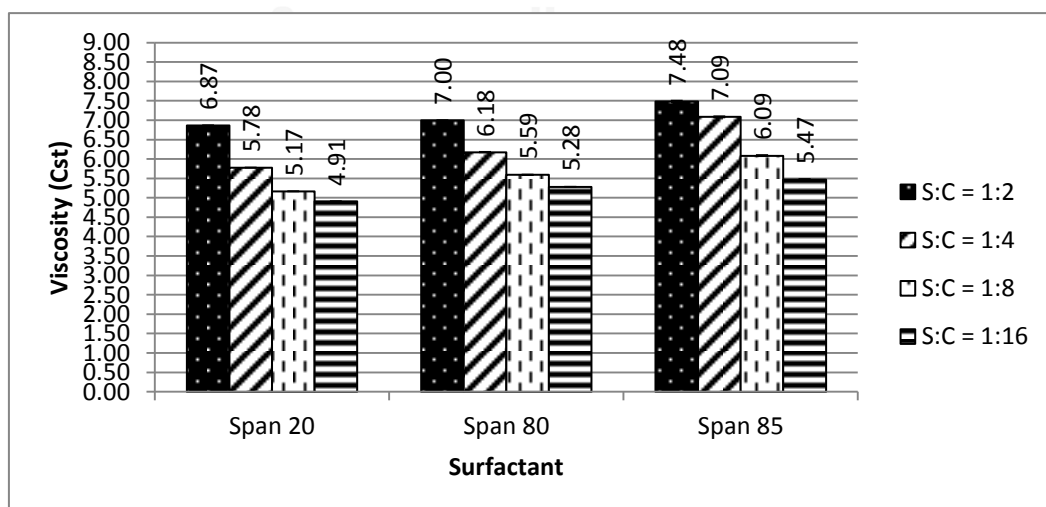
##### 4.3.1 ผลของสารลดแรงตึงผิว

ภาพที่ 4-9, 10 และ 11 เป็นการเปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือสแปน 20 ซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80 และซอร์บิแทนไตรโอเลอิต หรือสแปน 85 ต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือสแปน 20 เป็นสารลดแรงตึงผิว จะมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ต่ำกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์

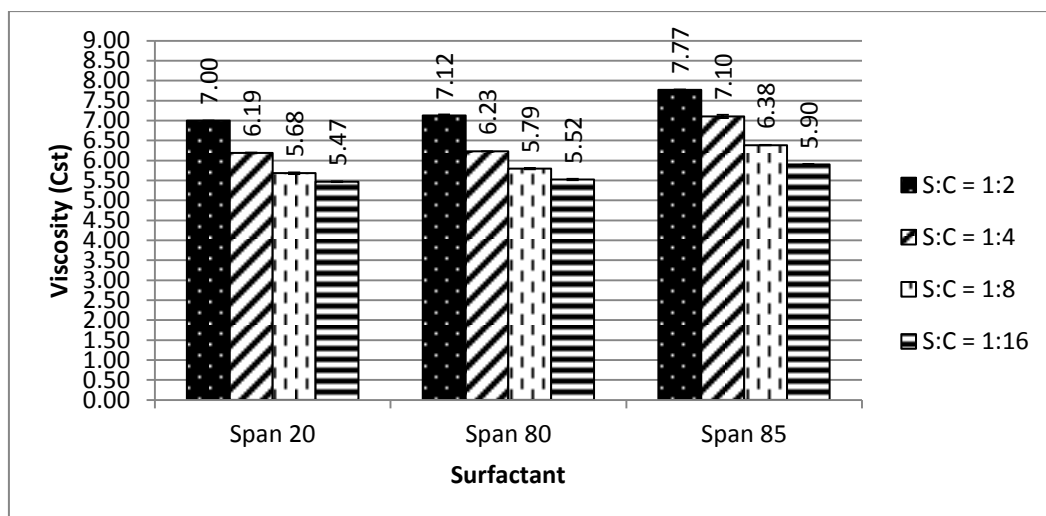
บิแทนโมโนโอเลต หรือสแปน 80 และซอร์บิแทนไตรโอเลต หรือสแปน 85 เป็นสารลดแรงตึงผิว เนื่องจากแรงระหว่างโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว โดยส่วนที่เป็นสายไฮโดรคาร์บอนของสารลดแรงตึงผิวที่จับกับน้ำมันจะเกิดแรงยึดเหนี่ยวกันระหว่างโมเลกุล ดังนั้นเมื่อสายไฮโดรคาร์บอนของสารลดแรงตึงผิวยาว จะสามารถจับกับน้ำมันได้มาก ส่งผลให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมาก ทำให้ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพสูง (Hickey และคณะ, 2010)



ภาพที่ 4-9 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้บิวทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม



ภาพที่ 4-10 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้เฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม

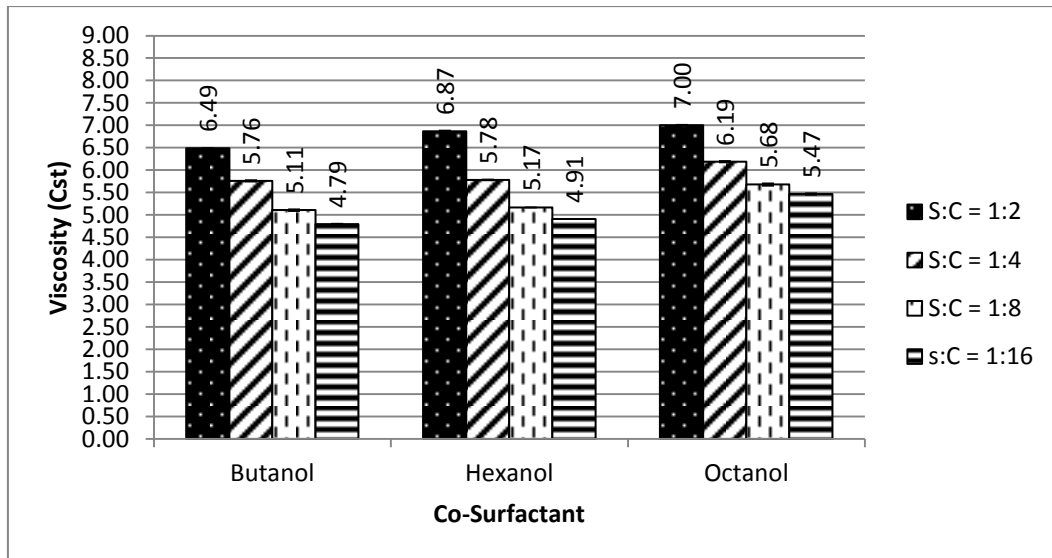


ภาพที่ 4-11 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม

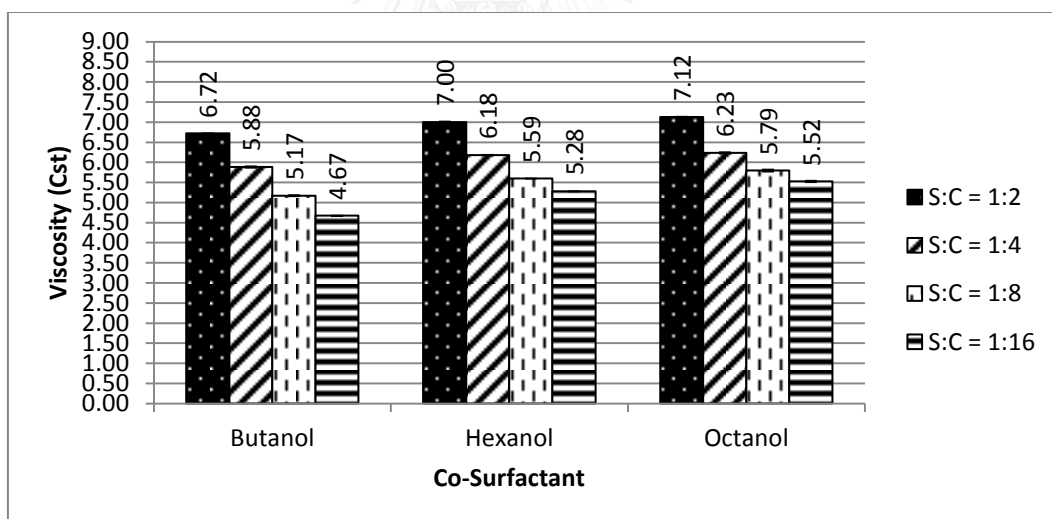
#### 4.3.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม

ภาพที่ 4-12, 13 และ 14 เป็นการเปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล ต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ บิวทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม มีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ต่ำกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ เฮกซานอลและออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม เนื่องจากแรงแวนเดอร์วาลส์ของพันธะไฮโดรคาร์บอน โดยสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของสารลดแรงตึงผิวร่วมจะไปจับกับอะตอมคาร์บอนในน้ำมัน ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกันระหว่างโมเลกุล เมื่อสารลดแรงตึงผิวร่วมมีสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนยาว จะสามารถจับกับน้ำมันได้มาก จึงเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมาก ส่งผลให้ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพเพิ่มขึ้นตามความยาวของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของสารลดแรงตึงผิวร่วม (Dunn และคณะ, 1994)

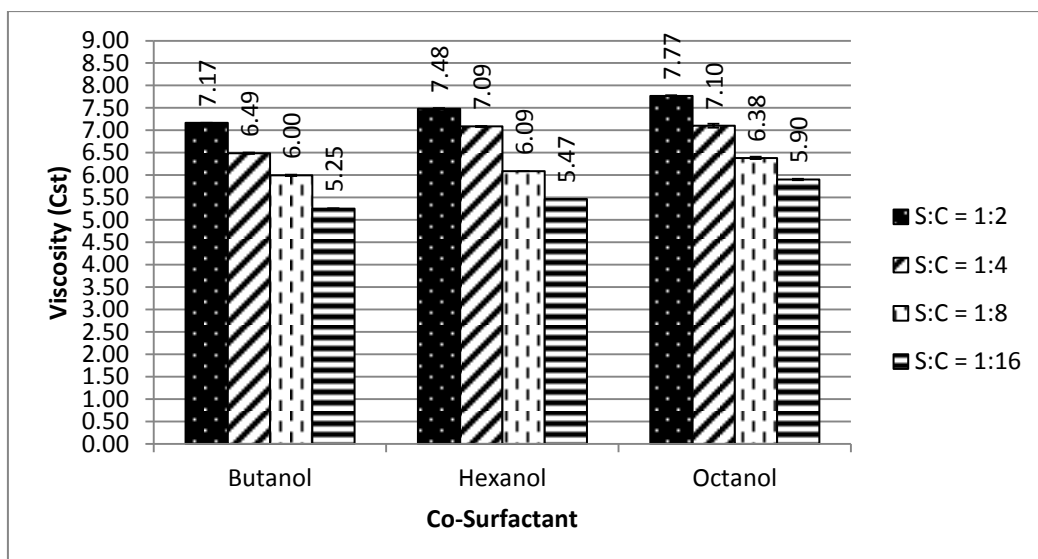




ภาพที่ 4-12 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือสแปน 20 เป็นสารลดแรงตึงผิว



ภาพที่ 4-13 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมโนโอเลียด หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว



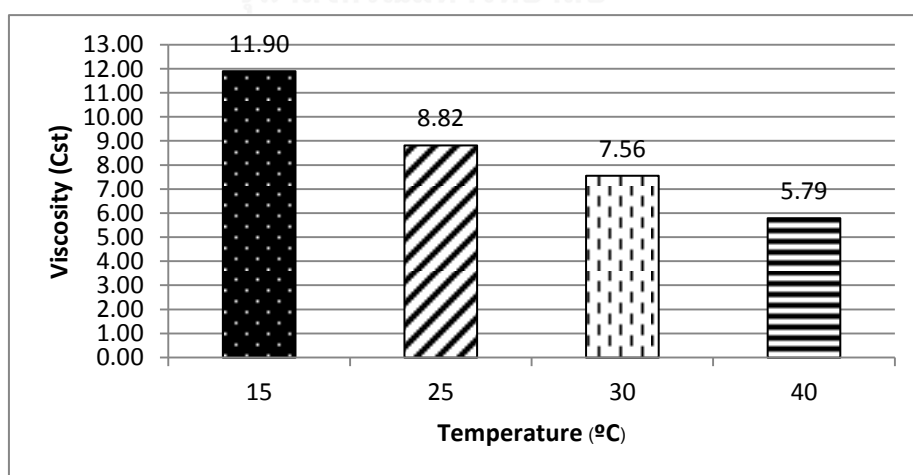
ภาพที่ 4-14 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนไตรโอเลอิต หรือสแปน 85 เป็นสารลดแรงตึงผิว

#### 4.3.3 ผลของอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม

จากภาพที่ 4-9, 10, 11, 12, 13 และ 14 เมื่อเปรียบเทียบผลของอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่างๆ ต่อความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสพบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมลดลง ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพลดลงด้วย เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวร่วมมีความเข้มข้นมากกว่าสารลดแรงตึงผิว จึงสามารถจับกับเอทานอลได้มาก ส่งผลให้อนุภาคไมโครอิมัลชันมีขนาดใหญ่ ซึ่งกระจายกันอยู่แบบหลวมๆ ส่งผลให้ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ต่ำ รวมถึงสารลดแรงตึงผิวร่วมมีสายไฮโดรคาร์บอนที่สั้นกว่า จึงมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อยกว่า ดังนั้นการใช้ปริมาณของสารลดแรงตึงผิวร่วมมาก จึงส่งผลให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ต่ำ (Din และ คณะ, 2009)

เมื่อเปรียบเทียบความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวรวมที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมนอลอเรต หรือสแปน 20 และ ซอร์บิแทนโมนโอเลอิต หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว ในอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม 1:8 และ 1:16 โดยโมล มีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพอยู่ระหว่าง 4.67 – 5.79 เซนติสโตกส์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล คือ 1.9 – 6.0 เซนติสโตกส์ ส่วนเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนไตรโอเลอิต หรือสแปน 85 เป็นสารลดแรงตึงผิว ในอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม 1:16 โดยโมล มีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพอยู่ระหว่าง 5.25 – 5.90 เซนติสโตกส์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

จากการทดลองศึกษาความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนโมนโอเลอิต หรือสแปน 80 ผสมกับสารลดแรงตึงผิวรวมออกทานอล ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม 1:8 โดยโมล ผสมกับ เอทานอล และน้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) ในสัดส่วน น้ำมัน ร้อยละ 60 โดยปริมาตร เอทานอล ร้อยละ 20 โดยปริมาตร และสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวรวม ร้อยละ 20 โดยปริมาตร เปรียบเทียบที่อุณหภูมิ 15 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 4-15



ภาพที่ 4-15 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมนโอเลอิต หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว ผสมกับสารลดแรงตึงผิวรวมออกทานอล

ภาพที่ 4-15 เป็นการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิต่อค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ พบว่าที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ 11.90 เซนติสโตกส์ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 25 30 และ 40 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพลดลงเหลือ 8.82 7.56 และ 5.79 เซนติสโตกส์ ตามลำดับ เนื่องจากความร้อนที่ส่งผ่านเชื้อเพลิงชีวภาพ มีผลต่อการสลายของแรงระหว่างโมเลกุลของสารผสม ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ลดลงเมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น (Kibbey และคณะ, 2014)

#### 4.4 การศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

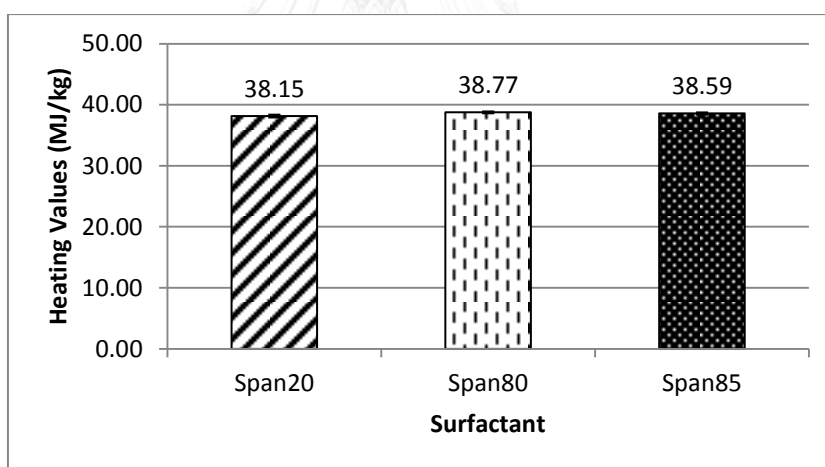
คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ตรวจวัด ได้แก่ ค่าความร้อน (Heat of Combustion) ขนาดอนุภาค (Droplet Size) จุดขุ่น (Cloud Point) จุดไหลเท (Pour Point) ความหนาแน่น (Density) และปริมาณเถ้า (Ash Content) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในการนำเชื้อเพลิงมาใช้งานกับเครื่องยนต์

##### 4.4.1 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพบ่งบอกถึงการบริโภคน้ำมันในเครื่องยนต์ดีเซล โดยทำการทดลองศึกษาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิว ได้แก่ ซอร์บิแทนโมโนโอเลต หรือสแปน 20 ซอร์บิแทนโมโนโอเลต หรือสแปน 80 และซอร์บิแทนไตรโอเลต หรือสแปน 85 ที่ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมที่แตกต่างกัน คือ 1:4 1:8 และ 1:16 โดยโมล ผสมกับเอทานอล และน้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) ในสัดส่วน น้ำมัน ร้อยละ 60 โดยปริมาตร เอทานอล ร้อยละ 20 โดยปริมาตร และสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม ร้อยละ 20 โดยปริมาตร แสดงดังภาพที่ 4-16, 17 และ 18

#### 4.4.1.1 ผลของสารลดแรงตึงผิว

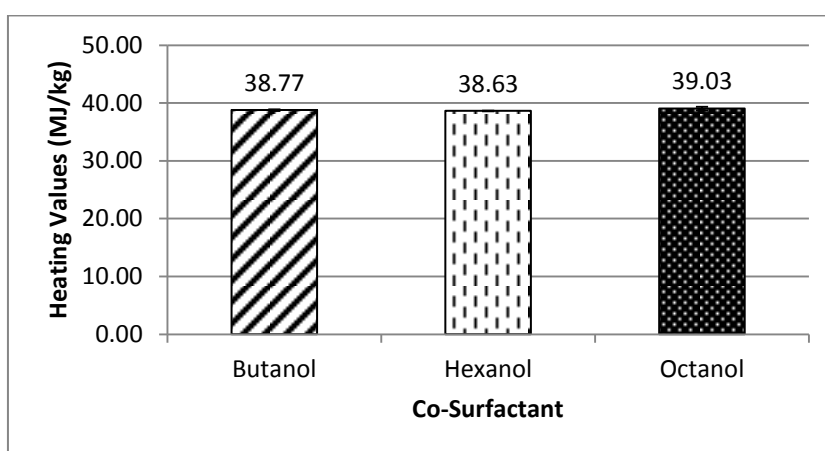
ภาพที่ 4-16 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพพบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนเอสเทอร์ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล มีค่าความร้อนอยู่ระหว่าง 38.15 – 38.77 เมกะจูลต่อกิโลกรัม โดยสารลดแรงตึงผิวไม่มีผลต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพมากนัก ในทางทฤษฎีแล้ว สารลดแรงตึงผิวที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนมาก จะส่งผลให้ค่าความร้อนเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย โดยเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจะให้ค่าความร้อนต่ำกว่าค่าความร้อนของน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล โดยน้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลจะมีค่าความร้อน 42.5 เมกะจูลต่อกิโลกรัม เนื่องจากเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันประกอบไปด้วยออกซิเจนซึ่งมาจากการเติมเอทานอลที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ จึงส่งผลให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพลดลง



ภาพที่ 4-16 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้บิวทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม

#### 4.4.1.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม

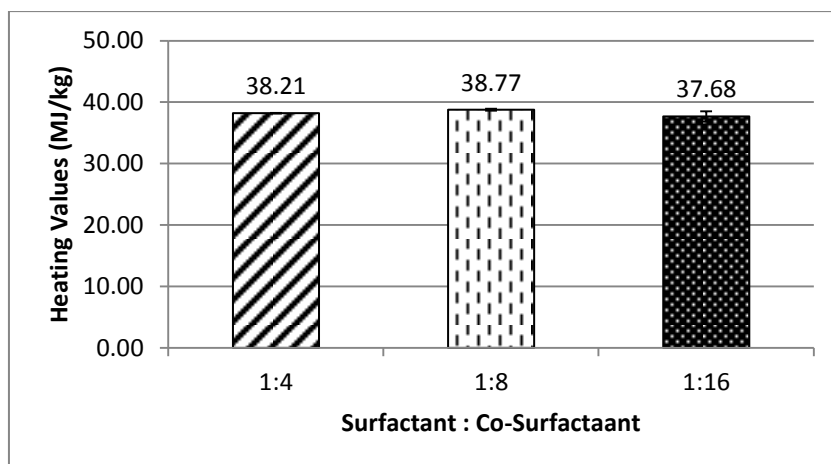
จากภาพที่ 4-17 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ พบว่าค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไม่แตกต่างกันมากนัก โดยเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม จะให้ค่าความร้อนสูงกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้บิวทานอลและเฮกซานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ซึ่งเป็นผลมาจากจำนวนอะตอมของคาร์บอนของสารลดแรงตึงผิวร่วม



ภาพที่ 4-17 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมโนโอลิเอต หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว

#### 4.4.1.3 ผลของอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม

จากภาพที่ 4-18 ศึกษาอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพ พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:16 โดยโมล มีค่าความร้อนต่ำสุด เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวมีความยาวของสายไฮโดรคาร์บอนยาวกว่าสารลดแรงตึงผิวร่วมมาก จึงมีผลต่อค่าความร้อนมากกว่า เมื่อลดปริมาณการใช้สารลดแรงตึงผิวลง ส่งผลให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพลดลงด้วย



ภาพที่ 4-18 เปรียบเทียบผลของอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว และใช้ปีทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม

จากผลการศึกษาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว และใช้เอทานอล เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ให้ค่าความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 39.03 เมกะจูลต่อกิโลกรัมซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งอาจถือว่าไม่แตกต่างกัน

#### 4.4.2 ขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ขนาดอนุภาคของไมโครอิมัลชันมีความสัมพันธ์กับค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ การทดลองศึกษาขนาดอนุภาคทำได้โดยใช้การวัดผ่านเทคนิคการกระจายแสง (Dynamic light scattering, DLS) โดยใช้เครื่องมือ Zetasizer Nano ที่อุณหภูมิตั้งที่ 25 องศาเซลเซียส สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ ได้แก่ ซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 20 ซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80 และซอร์บิแทนไตรโอเลอิต หรือสแปน 85 ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมเอทานอล ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ผสมกับ เอทานอล และน้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) ในสัดส่วน น้ำมันร้อยละ 60 โดยปริมาตร เอทานอลร้อยละ 20 โดยปริมาตร และสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม ร้อยละ 20 โดยปริมาตร แสดงดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวต่อขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวรวม ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม 1:8 โดยโมล

สารลดแรงตึงผิว	HLB	ครั้งที่	จุดสูงสุดของกราฟ	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (นาโนเมตร)	ความเข้มข้นของอนุภาค (ร้อยละ)	ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ (เซนติสโตกส์) (เซนติสโตกส์)
สแปน 20	8.6	1	1	1881	80.4	5.68
			2	1.254	19.6	
			3	0.000	0.0	
		2	1	1680	79.5	
			2	1.219	20.5	
			3	0.000	0.0	
		3	1	1824	78.9	
			2	1.239	21.1	
			3	0.000	0.0	
สแปน 80	4.3	1	1	997.1	55.2	5.79
			2	1.266	44.8	
			3	0.000	0.0	
		2	1	1079	55.1	
			2	1.274	44.9	
			3	0.000	0.0	
		3	1	1028	53.3	
			2	1.302	46.7	
			3	0.000	0.0	



ตารางที่ 4-2 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวต่อขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วมที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล (ต่อ)

สารลดแรงตึงผิว	HLB	ครั้งที่	จุดสูงสุดของกราฟ	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (นาโนเมตร)	ความเข้มข้นของอนุภาค (ร้อยละ)	ความหนืดเชิงจลนศาสตร์ (เซนติสโตกส์) (เซนติสโตกส์)
สแปน 85	1.8	1	1	2.004	86.1	6.38
			2	2886	13.9	
			3	0.000	0.0	
		2	1	1.823	82.2	
			2	2286	17.8	
			3	0.000	0.0	
		3	1	1.962	84.7	
			2	2628	15.3	
			3	0.000	0.0	

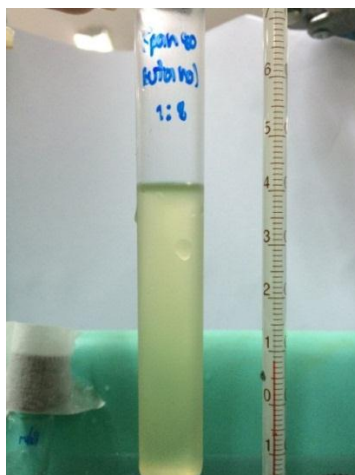
จากตารางที่ 4-2 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวต่อขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพพบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพมีขนาดอนุภาคไมโครอิมัลชันทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็กปนกันอยู่ แต่เนื่องจากวิธีการที่ใช้ตรวจวัดนี้ไม่ใช่วิธีตามมาตรฐาน ซึ่งในทางทฤษฎีแล้ว ไมโครอิมัลชันควรมีขนาดเดียวคือ อยู่ระหว่าง 1-150 นาโนเมตร ซึ่งเป็นขนาดของไมเซลล์ แต่ในงานวิจัยนี้ต้องการให้เกิดไมโครอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมัน ซึ่งเป็นอนุภาคของรีเวิร์สไมเซลล์ จึงควรมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของไมเซลล์ โดยอนุภาคขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้น อาจเป็นอิมัลชันเชิงซ้อนคือ น้ำมันในน้ำในน้ำมัน (O/W/O) ซึ่งไม่ใช่อนุภาคของรีเวิร์สไมเซลล์ที่ต้องการวัด ทำให้วิธีการนี้ไม่สามารถอธิบายได้อย่างชัดเจน

เมื่อพิจารณาอนุภาคขนาดเล็กของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิวต่างชนิดกัน เชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือสแปน 20 มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด เนื่องจากโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวมีขนาดเล็กกว่า เมื่อเข้าไปจับกับเอทานอลและน้ำมัน ส่งผลให้อนุภาคไมโครอิมัลชันมีขนาดเล็ก ในขณะที่เชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนไตรโอเลอเตต หรือสแปน 85 เป็นสารลดแรงตึงผิวซึ่งมีโครงสร้างใหญ่และมีสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนมาเกาะหลายตำแหน่ง ทำให้เกิดรีเวิร์สไมเซลล์ที่มี

ขนาดอนุภาคใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมนอลอเรต หรือสแปน 20 และซอร์บิแทนโมนโอลิเอต หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว เมื่อพิจารณาจากค่าเอชแอลบีของสารลดแรงตึงผิวพบว่า สารลดแรงตึงผิวที่มีค่าความชอบน้ำ หรือค่าเอชแอลบี (Hydrophile-Lipophile Balance, HLB) ต่ำ จะละลายในเอทานอลได้น้อย ส่งผลให้ไมโครอิมัลชันมีความเข้มข้นของขนาดอนุภาคเล็กอยู่มาก ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนโมนอลอเรต หรือสแปน 20 มีความเข้มข้นของอนุภาคขนาดใหญ่เยอะ ซึ่งกระจายกันอยู่แบบหลวมๆ จึงช่วยลดค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ ส่วนเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนโมนโอลิเอต หรือสแปน 80 ซึ่งมีอนุภาคขนาดใหญ่และขนาดเล็กกระจายกันอยู่เท่าๆกัน ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนไตรโอลิเอต หรือสแปน 85 มีความเข้มข้นของขนาดอนุภาคเล็กอยู่มาก จึงส่งผลให้มีแรงต้านทานการไหล เชื้อเพลิงชีวภาพจึงมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์สูง

#### 4.4.3 จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ คืออุณหภูมิต่ำสุดที่ทำให้เชื้อเพลิงชีวภาพเริ่มเกิดเป็นผลึก ซึ่งจะเห็นเป็นลักษณะขุ่น แสดงดังภาพที่ 4-19 โดยทำการศึกษาจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิว ได้แก่ ซอร์บิแทนโมนอลอเรต หรือสแปน 20 ซอร์บิแทนโมนโอลิเอต หรือสแปน 80 และซอร์บิแทนไตรโอลิเอต หรือ สแปน 85 ที่ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมที่แตกต่างกัน คือ 1:2 1:4 1:8 และ 1:16 โดยโมล ผสมกับเอทานอล และน้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) ในสัดส่วน น้ำมัน ร้อยละ 60 โดยปริมาตร เอทานอล ร้อยละ 20 โดยปริมาตร และสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม ร้อยละ 20 โดยปริมาตร แสดงดังตารางที่ 4-3, 4 และ 5



ภาพที่ 4-19 การเกิดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4-3 การเกิดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้เซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือสเปน 20 เป็นสารลดแรงตึงผิว ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่างๆ

Surfactant	Co-Surfactant	S:C ratio (โดยโมล)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)						
			15	12	10	8	6	4	2
สเปน 20	บิวทานอล	1:2	×	×	×	✓	✓	✓	✓
		1:4	×	×	×	✓	✓	✓	✓
		1:8	×	×	×	✓	✓	✓	✓
		1:16	×	×	×	✓	✓	✓	✓
	เฮกซานอล	1:2	×	×	×	✓	✓	✓	✓
		1:4	×	×	×	✓	✓	✓	✓
		1:8	×	×	×	✓	✓	✓	✓
		1:16	×	×	×	✓	✓	✓	✓
	ออกทานอล	1:2	×	×	✓	✓	✓	✓	✓
		1:4	×	×	✓	✓	✓	✓	✓
		1:8	×	×	✓	✓	✓	✓	✓
		1:16	×	×	✓	✓	✓	✓	✓

ข้อสังเกต

- ✓ คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเกิดผลึก
- ×
- ×
- คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันไม่เกิดผลึก

ตารางที่ 4-4 การเกิดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมนโอเลต หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่างๆ

Surfactant	Co-Surfactant	S:C ratio (โดยโมล)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)						
			15	12	10	8	6	4	2
สแปน 80	บิวทานอล	1:2	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
		1:4	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
		1:8	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
		1:16	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
	เฮกซานอล	1:2	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
		1:4	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
		1:8	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
		1:16	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
	ออกทานอล	1:2	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
		1:4	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
		1:8	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
		1:16	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓

ข้อสังเกต

- ✓ คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเกิดผลึก
- ✗ คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันไม่เกิดผลึก

ตารางที่ 4-5 การเกิดจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนไตรโอเลต หรือสแปน 85 เป็นสารลดแรงตึงผิว ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่างๆ

Surfactant	Co-Surfactant	S:C ratio (โดยโมล)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)						
			15	12	10	8	6	4	2
สแปน 85	บิวทานอล	1:2	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
		1:4	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
		1:8	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
		1:16	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
	เฮกซานอล	1:2	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
		1:4	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
		1:8	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
		1:16	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
	ออกทานอล	1:2	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
		1:4	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
		1:8	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
		1:16	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓

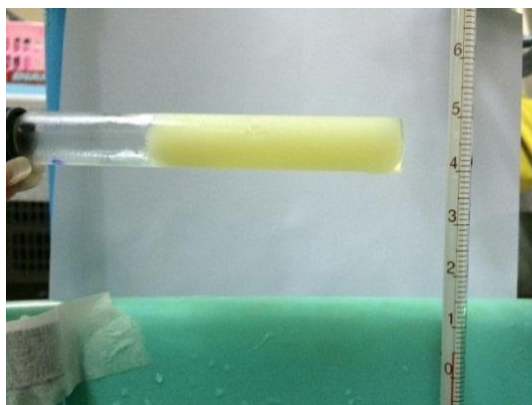
ข้อสังเกต

- ✓ คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเกิดผลึก
- ✗ คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันไม่เกิดผลึก

จากตารางที่ 4-3, 4 และ 5 เปรียบเทียบจุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันพบว่า จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมต่างชนิดกัน ที่อัตราส่วนของ สารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมต่างๆ ให้ผลที่ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยเชื้อเพลิงส่วนใหญ่ จะเกิดจุดขุ่นที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจะมีจุดขุ่นสูงกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำมันปาล์ม (น้ำมันปาล์มมีจุดขุ่นอยู่ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส และน้ำมันดีเซลมี จุดขุ่นอยู่ที่อุณหภูมิ -15 องศาเซลเซียส) และเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซลพบว่า มีจุดขุ่นผ่าน เกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลคือ ไม่เกิน 12 องศาเซลเซียส

#### 4.4.4 จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพ คืออุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อเพลิงชีวภาพยังมีสภาพเป็นของไหลอยู่ ได้ และเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าจุดไหลเท เชื้อเพลิงชีวภาพจะไม่สามารถไหลได้ แสดงดังภาพที่ 4-20 จาก การทดลองศึกษาจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิว ได้แก่ ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือสแปน 20 ซอร์บิแทนโมโนโอเลียด หรือสแปน 80 และซอร์บิแทนไตรโอเลียด หรือสแปน 85 ที่ ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล ที่อัตราส่วนของสารลด แรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมที่แตกต่างกัน คือ 1:2 1:4 1:8 และ 1:16 โดยโมล ผสมกับเอทา นอล และน้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) ในสัดส่วน น้ำมัน ร้อยละ 60 โดยปริมาตร เอทานอล ร้อยละ 20 โดยปริมาตร และสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึง ฝิวร่วม ร้อยละ 20 โดยปริมาตร แสดงดังตารางที่ 4-6, 7 และ 8



ภาพที่ 4-20 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันไม่สามารถไหลได้ที่อุณหภูมิ -5 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4-6 การเกิดจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือสแปน 20 เป็น สารลดแรงตึงผิว ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล ที่ อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่างๆ

Surfactant	Co-Surfactant	S:C ratio (โดยโมล)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
			0	-2	-4	-5	-6
สแปน 20	บิวทานอล	1:2	✓	✓	✓	✓	✗
		1:4	✓	✓	✓	✓	✗
		1:8	✓	✓	✓	✓	✗
		1:16	✓	✓	✓	✗	✗
	เฮกซานอล	1:2	✓	✓	✓	✗	✗
		1:4	✓	✓	✓	✗	✗
		1:8	✓	✓	✓	✗	✗
		1:16	✓	✓	✓	✗	✗
	ออกทานอล	1:2	✓	✓	✓	✗	✗
		1:4	✓	✓	✓	✗	✗
		1:8	✓	✓	✓	✗	✗
		1:16	✓	✓	✓	✗	✗

ข้อสังเกต

- ✗ คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่สามารถไหลเทได้
- ✓ คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่สามารถไหลเทได้

ตารางที่ 4-7 การเกิดจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมนโอเลียด หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่างๆ

Surfactant	Co-Surfactant	S:C ratio (โดยโมล)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
			0	-2	-4	-5	-6
สแปน 80	บิวทานอล	1:2	✓	✓	✓	✓	✗
		1:4	✓	✓	✓	✓	✗
		1:8	✓	✓	✓	✗	✗
		1:16	✓	✓	✓	✗	✗
	เฮกซานอล	1:2	✓	✓	✓	✓	✗
		1:4	✓	✓	✓	✓	✗
		1:8	✓	✓	✓	✗	✗
		1:16	✓	✓	✓	✗	✗
	ออกทานอล	1:2	✓	✓	✓	✓	✗
		1:4	✓	✓	✓	✓	✗
		1:8	✓	✓	✓	✗	✗
		1:16	✓	✓	✓	✗	✗

ข้อสังเกต

- ✗ คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่สามารถไหลเทได้
- ✓ คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่สามารถไหลเทได้



ตารางที่ 4-8 การเกิดจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนไตรโอเลียด หรือสแปน 85 เป็นสารลดแรงตึงผิว ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่างๆ

Surfactant	Co-Surfactant	S:C ratio (โดยโมล)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
			0	-2	-4	-5	-6
สแปน 85	บิวทานอล	1:2	✓	✓	✓	✓	✗
		1:4	✓	✓	✓	✓	✗
		1:8	✓	✓	✓	✗	✗
		1:16	✓	✓	✓	✗	✗
	เฮกซานอล	1:2	✓	✓	✓	✓	✗
		1:4	✓	✓	✓	✓	✗
		1:8	✓	✓	✓	✗	✗
		1:16	✓	✓	✓	✗	✗
	ออกทานอล	1:2	✓	✓	✓	✓	✗
		1:4	✓	✓	✓	✓	✗
		1:8	✓	✓	✓	✗	✗
		1:16	✓	✓	✓	✗	✗

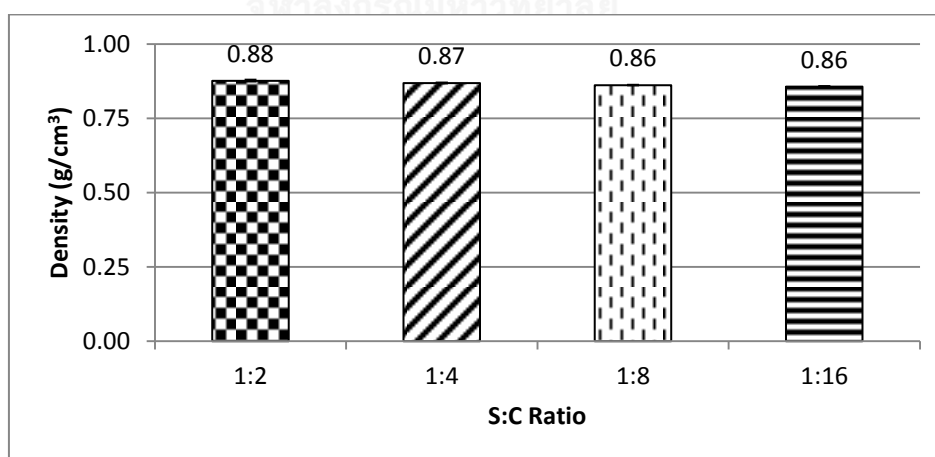
ข้อสังเกต

- ✗ คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ไม่สามารถไหลเทได้
- ✓ คือ เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่สามารถไหลเทได้

จากตารางที่ 4-6, 7 และ 8 เปรียบเทียบจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพจะเริ่มเกิดการแข็งตัวที่อุณหภูมิ -5 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อเพลิงชีวภาพยังสามารถไหลเทได้คือ -4 องศาเซลเซียส โดยสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วมไม่มีผลต่อจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพมากนัก แต่น้ำมันปาล์มที่เติมลงไปจะส่งผลต่อจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพ เนื่องจากธรรมชาติของน้ำมันปาล์มซึ่งมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง ส่งผลต่อจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลพบว่า จุดไหลเทผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลคือ ไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส

#### 4.4.5 ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

จากการทดลองศึกษาความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนโมโนโอเลต หรือสแปน 80 ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมที่แตกต่างกัน คือ 1:2 1:4 1:8 และ 1:16 โดยโมล ผสมกับ เอทานอล และน้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) ในสัดส่วน น้ำมัน ร้อยละ 60 โดยปริมาตร เอทานอล ร้อยละ 20 โดยปริมาตร และสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม ร้อยละ 20 โดยปริมาตร แสดงดังภาพที่ 4-21



ภาพที่ 4-21 เปรียบเทียบผลของอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนโมโนโอเลต หรือสแปน 80 ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล

จากภาพที่ 4-21 เปรียบเทียบผลของอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม ต่อค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพ พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมที่ 1:2 1:4 1:8 และ 1:16 โดยโมล มีค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพต่ำกว่าน้ำมันไบโอดีเซลคือ ไม่เกิน 0.89 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (Arpornpong, 2013) เนื่องจากความหนาแน่นของซอร์บิแทนโมนโอลิเอต หรือสแปน 80 (1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) สูงกว่าความหนาแน่นของสารลดแรงตึงผิวร่วม ออกทานอล (0.824 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) เมื่อใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวน้อย ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพลดลงเล็กน้อย

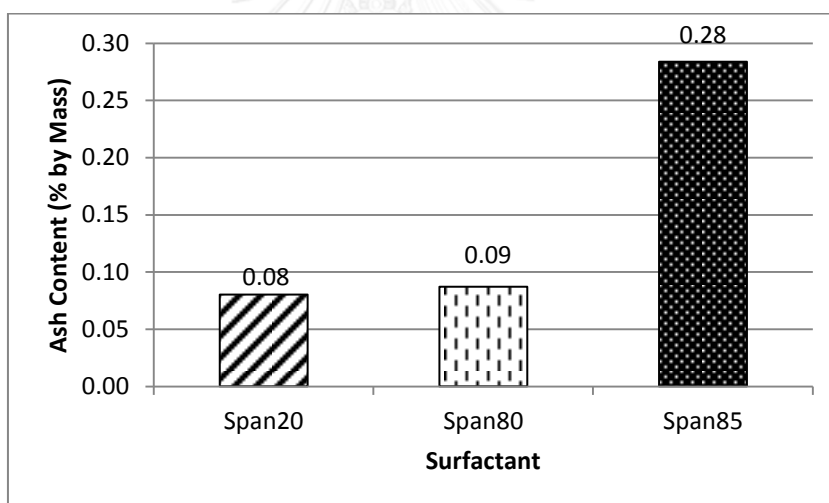
จากการวัดค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมนโอลิเอต หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว และใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม พบว่ามีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.86 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล

#### 4.4.6 ปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

จากการทดลองศึกษาปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิว ได้แก่ ซอร์บิแทนโมนโอเลต หรือสแปน 20 ซอร์บิแทนโมนโอลิเอต หรือสแปน 80 และ ซอร์บิแทนไตรโอลิเอต หรือสแปน 85 ที่ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วม ได้แก่ บิวทานอล เฮกซานอล และออกทานอล ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:4 1:8 และ 1:16 โดยโมล ผสมกับเอทานอล และน้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) ในสัดส่วน น้ำมันร้อยละ 60 โดยปริมาตร เอทานอลร้อยละ 20 โดยปริมาตร และสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วมร้อยละ 20 โดยปริมาตร แสดงดังภาพที่ 4-22, 23 และ 24

#### 4.4.6.1 ผลของสารลดแรงตึงผิว

ภาพที่ 4-22 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวต่อปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพหลังการเผาไหม้ พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมนอลอเรต หรือ สเปน 20 เป็นสารลดแรงตึงผิว มีปริมาณเถ้าร้อยละ 0.08 โดยน้ำหนัก เชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมนโอลลีเอต หรือ สเปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว มีปริมาณเถ้าร้อยละ 0.09 โดยน้ำหนัก และเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนไตรโอลลีเอต หรือ สเปน 85 เป็นสารลดแรงตึงผิว มีปริมาณเถ้าร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก ซึ่งผลที่ได้ อาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความผิดพลาดของวิธีการ โดยในทางทฤษฎี ปริมาณเถ้าจะเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนอะตอมของคาร์บอนในโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว เนื่องจากอะตอมของคาร์บอนมาก ภายหลังจากการเผาไหม้จึงมีแนวโน้มที่จะมีปริมาณเถ้ามากกว่าสารลดแรงตึงผิวที่มีอะตอมของคาร์บอนน้อย

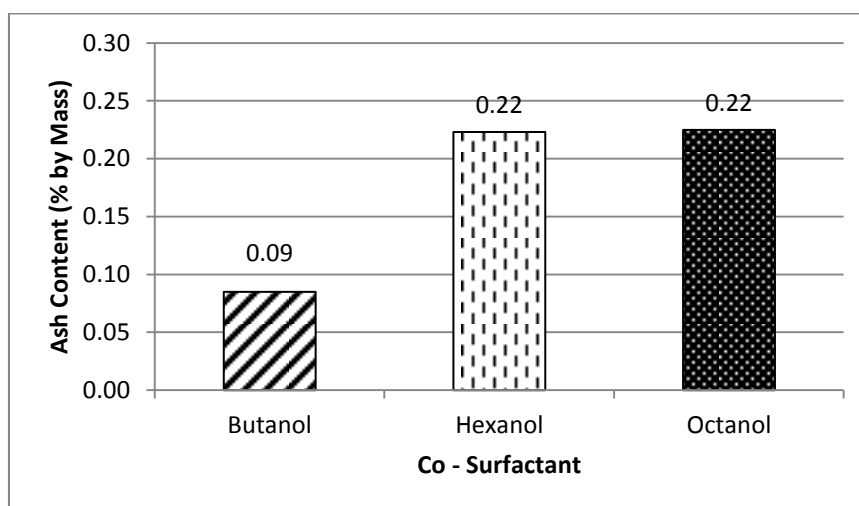


ภาพที่ 4-22 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวต่อปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้บิวทานอล เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม

#### 4.4.6.2 ผลของสารลดแรงตึงผิวร่วม

ภาพที่ 4-23 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพหลังการเผาไหม้ พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้บิวทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม มีปริมาณเถ้าร้อยละ 0.09 โดยน้ำหนัก ส่วนเชื้อเพลิงที่ใช้เฮกซานอลและออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม มีปริมาณ

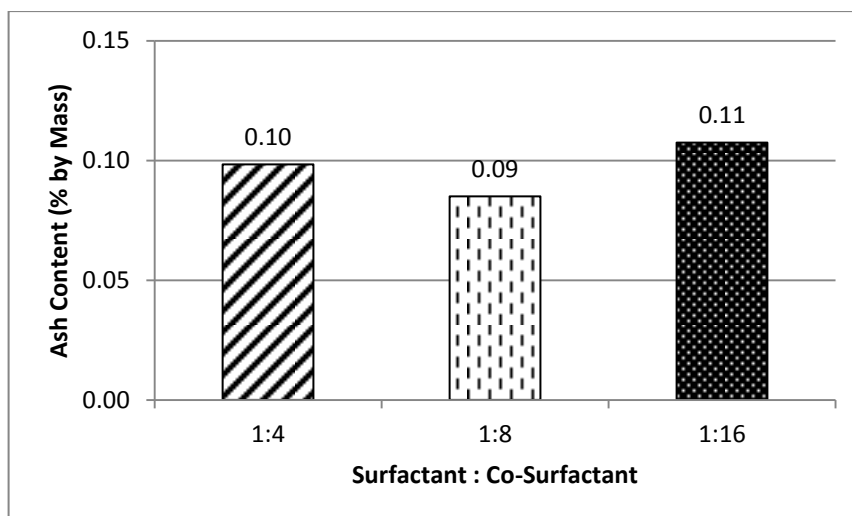
ถ้าร้อยละ 0.22 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความบริสุทธิ์ของสารลดแรงตึงผิวร่วม โดยสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีค่าความบริสุทธิ์มาก จะมีสิ่งปนเปื้อนน้อย ส่งผลให้ปริมาณเถ้าหลังการเผาไหม้น้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีค่าความบริสุทธิ์น้อย



ภาพที่ 4-23 เปรียบเทียบผลของสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนโมนโอเลอิต หรือสเปน 80

#### 4.4.6.3 ผลของอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม

จากภาพที่ 4-24 ศึกษาอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมที่มีผลต่อปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพ พบว่าภายหลังการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวภาพมีปริมาณเถ้าหลงเหลืออยู่ระหว่าง ร้อยละ 0.09- 0.11 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวร่วมมีจำนวนอะตอมคาร์บอนน้อย เมื่อเทียบกับสารลดแรงตึงผิว ดังนั้นการเพิ่มปริมาณของสารลดแรงตึงผิวร่วม จึงไม่มีผลต่อปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพ



ภาพที่ 4-24 เปรียบเทียบผลของอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วมต่อปริมาณ  
 แก๊สของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนโมโนโอเลต หรือสแปน 80 ผสมกับสารลด  
 แรงตึงผิวร่วมบิวทานอล

จากผลการศึกษาปริมาณแก๊สของเชื้อเพลิงชีวภาพเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนโมโนโอเลต หรือสแปน 80 ผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล มีปริมาณแก๊ส ร้อยละ 0.22 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีค่ามากกว่าปริมาณแก๊สของน้ำมันไบโอดีเซลคือ ไม่เกินร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากตัวอย่างที่ใช้วัดในเครื่องบอมป์แคลอรีมิเตอร์เป็นตัวอย่างปริมาณน้อยมาก รวมถึงเครื่องชั่งที่ใช้มีทศนิยม 4 ตำแหน่ง เท่านั้น จึงอาจมีความละเอียดไม่พอ ทำให้ค่าที่ออกมาอาจมีความคลาดเคลื่อนไปได้

ตารางที่ 4-9 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมด้วยอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมต่างๆ โดยใช้ซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว และใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวรวม

S:C	ค่าความหนืด (เซนติสโตกส์)	ค่าความร้อน (MJ/Kg)	จุดขุ่น (°C)	จุดไหลเท (°C)	ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )	ปริมาณเถ้า (%โดยน้ำหนัก)
1:2	7.12	-	8	-5	0.88	-
1:4	6.23	38.47	8	-5	0.87	0.23
1:8	5.79	39.03	8	-4	0.86	0.22
1:16	5.52	37.94	8	-4	0.86	0.20

จากตารางที่ 4-9 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมด้วยอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมต่างๆ พบว่า ปริมาณสารลดแรงตึงผิวรวมมีผลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยสารลดแรงตึงผิวรวมที่เพิ่มมากขึ้น ช่วยให้เชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ต่ำลง แต่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติในด้านอื่นๆ ไปด้วย แม้ว่าอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมจะไม่มีผลมากนักต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ แต่ควรเลือกอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมที่มีแนวโน้มที่จะส่งผลให้คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลมากที่สุด และเพื่อให้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Arpornpong, 2013) ดังนั้น อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวมที่เหมาะสมที่เลือกในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ คือ 1:8 โดยโมล

จากการศึกษาคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่สัดส่วนน้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) ร้อยละ 60 โดยปริมาตร เอทานอล ร้อยละ 20 โดยปริมาตร และสารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80 ผสมกับสารลดแรงตึงผิวรวมออกทานอล ร้อยละ 60 โดยปริมาตร ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวรวม 1:8 โดยโมล แสดงดังตารางที่ 4-10 พบว่า คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพส่วนใหญ่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล แต่มีปริมาณเถ้าเกินมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความไม่บริสุทธิ์ของสารและความผิดพลาดของวิธีการ

ตารางที่ 4-10 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทนโมนโอลิเอต หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิวผสมกับสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

พารามิเตอร์	มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล	ค่าที่วัดได้จากเชื้อเพลิงชีวภาพ
ค่าความหนืด	1.9 – 6.0 เซนติสโตกส์	5.79 เซนติสโตกส์
ค่าความร้อน	> 39.2 เมกะจูลต่อกิโลกรัม	39.03 เมกะจูลต่อกิโลกรัม
จุดขุ่น	< 12 องศาเซลเซียส	8 องศาเซลเซียส
จุดไหลเท	< 10 องศาเซลเซียส	- 4 องศาเซลเซียส
ความหนาแน่น	< 0.89 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	0.86 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
ปริมาณเถ้า	< ร้อยละ 0.02 โดยน้ำหนัก	ร้อยละ 0.22 โดยน้ำหนัก





## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ และความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

1. อัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพที่ให้ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ต่ำ และสามารถใช้ได้กับสารลดแรงตึงผิวทุกชนิดคือ น้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) ร้อยละ 60 โดยปริมาตร เอทานอล ร้อยละ 20 โดยปริมาตร และสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวร่วม (ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล) ร้อยละ 20 โดยปริมาตร
2. ชนิดสารลดแรงตึงผิวกลุ่มซอร์บิแทนเอสเทอร์มีผลต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้สารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือสแปน 20 จะมีค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ต่ำสุด สอดคล้องกับขนาดอนุภาคของไมโครอิมัลชันที่มีขนาดใหญ่ อนุภาคจึงกระจายกันอยู่แบบหลวมๆ ส่งผลให้ค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ต่ำ แต่ชนิดของสารลดแรงตึงผิวไม่มีผลต่อคุณสมบัติด้านอื่นๆมากนัก
3. การใช้ซอร์บิแทนเอสเทอร์ทดแทนสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชันสามารถลดค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลได้ โดยค่าความร้อน ความหนาแน่น จุดขุ่น และจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล แต่มีปริมาณต่ำกว่ามาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

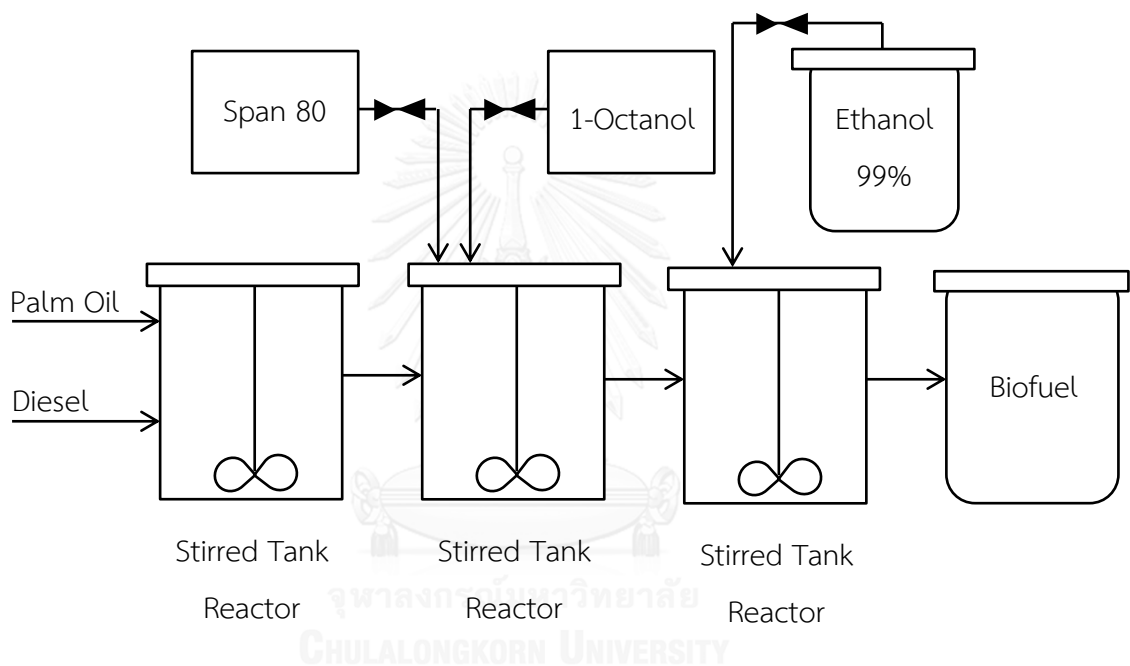
จากการศึกษา มีข้อเสนอแนะและการนำไปประยุกต์ใช้ดังต่อไปนี้

1. สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุมีความน่าสนใจที่จะนำมาใช้ในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เนื่องจากไม่ต้องเติมเกลือในกระบวนการ ทั้งนี้สารลดแรงตึงผิวที่เป็นผลผลิตที่ได้จากธรรมชาติจะไม่มีการปล่อยสารประกอบซัลเฟอร์ออกสู่บรรยากาศอีกด้วย จึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจในการนำมาศึกษาและพัฒนาต่อไป
2. เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันสามารถผลิตได้จากน้ำมันพืชหลากหลายชนิดที่นอกเหนือจากน้ำมันปาล์ม การเลือกใช้น้ำมันพืชชนิดใดนั้นควรพิจารณาทั้งในด้านพื้นที่เพาะปลูก ปริมาณผลผลิต และราคาตลาด ซึ่งอาจแตกต่างกันไปในแต่ละภูมิภาค
3. เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่เตรียมตามสัดส่วนที่เหมาะสมแล้ว สามารถนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลต่อไปได้ เพื่อสังเกตก๊าซไอเสียที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO<sub>x</sub>) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันดีเซล
4. การวัดปริมาณเก่าของเชื้อเพลิงชีวภาพอาจต้องใช้เชื้อเพลิงชีวภาพปริมาณมากในการทดสอบเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง ซึ่งอาจต้องใช้ความระมัดระวังในการใช้เครื่องมือ เนื่องจากต้องใช้ปริมาณความร้อนสูงในการทดสอบ จึงควรศึกษาเรื่องจุดวาบไฟของเชื้อเพลิงชีวภาพด้วย

## 5.3 ความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเป็นเชื้อเพลิงพลังงานทางเลือกที่ผลิตขึ้นเพื่อทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียม เนื่องจากเป็นพลังงานที่สะอาดและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย อีกทั้งยังให้คุณสมบัติบางประการที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล โดยเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันสามารถช่วย

ลดการปลดปล่อยมลพิษออกสู่บรรยากาศได้ อย่างไรก็ตาม ค่าใช้จ่ายในการผลิตของเชื้อเพลิงชีวภาพยังคงสูงเมื่อเปรียบเทียบกับราคาของน้ำมันดีเซล ซึ่งไม่สามารถแข่งขันกับน้ำมันดีเซลได้หากไม่ได้รับเงินสนับสนุนจากรัฐบาลในการส่งเสริมความสามารถในการแข่งขันด้านราคา โดยในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการปรับปรุงคุณสมบัติด้านความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพ เพื่อให้เป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้เป็นพลังงานทางเลือกได้ และสามารถผลิตเป็นเชื้อเพลิงที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ด้วยกระบวนการผลิตที่ใช้พลังงานน้อย และไม่ก่อให้เกิดของเสียจากกระบวนการผลิต



ภาพที่ 5-1 ระบบการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน

## รายการอ้างอิง

### ภาษาอังกฤษ

- Ali, Y. and Hanna, M.A. 1994. Alternative diesel fuels from vegetable oils. Bioresource Technology, 50(2): 153-163.
- Arpornpong, N. 2013. Alternative renewable biofuel from palm oil-diesel based reverse micelle microemulsions. Thesis proposal, Faculty of Hazardous waste, Chulalongkorn University.
- Arpornpong, N., Attaphong, C., Charoensaeng, A., Sabatini, D.A., and Khaodhiar, S. 2014. Ethanol-in-palm oil/diesel microemulsion-based biofuel: Phase behavior, viscosity, and droplet size. Fuel, 132(0): 101-106.
- Attaphong, C., Do, L., and Sabatini, D.A. 2011. Vegetable oil-based microemulsions using carboxylate-based extened surfactants and their potential as an alternative renewable biofuel. Fuel, 94(0): 606-613.
- Attaphong, C. and Sabatini, D.A. 2013. Phase behaviors of vegetable oil-based microemulsion fuels: the effects of temperatures, surfactants, oils, and water in ethanol. Energy and Fuels, 27(11): 6773-6780.
- Dantas, T., Silva, A.C., and Neto, A.A.D. 2001. New microemulsion systems using diesel and vegetable oils. Fuel, 80(1): 75-81.
- Din, K.U., Sheikh, M.S., and Dar, A.A. 2009. Interaction of a cationic gemini surfactant with conventional surfactants in the mixed micelle and monolayer formation in aqueous medium. Journal of Colloid and Interface Science, 333(2): 605-612.
- Do, L.D., Singh, V., Chen, L., Kibbey, T.C.G., Gollahalli, S.R., and Sabatini, D.A. 2011. Algae, canola, or palm oils-diesel microemulsion fuels: phase behaviors, viscosity, and combustion properties. Journal of Green Energy, 8(7): 748-767.
- Dunn, R.O. and Bagby, M.O. 1994. Solubilization of methanol and triglycerides: Unsaturated long-chain fatty alcohol/medium-chain alkanol mixed

- amphiphile systems. Journal of the American Oil Chemists' Society, 71(1): 101-108.
- Hickey, S., Hagan, S.A., Kudryashov, E., and Buckin, V. 2010. Analysis of phase diagram and microstructural transitions in an ethyl oleate/water/Tween 80/Span 20 microemulsion system using high-resolution ultrasonic spectroscopy. Journal of Pharmaceutics, 388(1-2): 213-222.
- Kerihuel, A., Kumar, M.S., Bellettre, J., and Tazerout M. 2006. Ethanol animal fat emulsions as a diesel engine fuel – Part 1: Formulations and influential parameters. Fuel, 85(17-18): 2640-2645.
- Kibbey, T.C.G., Chen, L., Do, L.D., and Sabatini, D.A. 2014. Predicting the temperature-dependent viscosity of vegetable oil/diesel reverse microemulsion fuels. Fuel, 116(0): 432-437.
- Knothe, G. and Steidley, A.R. 2005. Kinematic viscosity of biodiesel fuel components and related compounds. Influence of compound structure and comparison to petrodiesel fuel components. Fuel, 84(9): 1059-1065.
- Kwanchareon, P., Luengnaruemitchai, A., and Jai-In, S. 2007. Solubility of a diesel-biodiesel-ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine. Fuel, 86(7-8): 1053-1061.
- Lin, C.Y. and Wang, K.H. 2003. The fuel properties of three-phase emulsions as an alternative fuel for diesel engines. Fuel, 82(11): 1367-1375.
- Ma, F. and Hanna, M.A. 1999. Biodiesel production: a review. Bioresource Technology, 70(1): 1-15.
- Moulik, S.P. and Paul, B.K. 1998. Structure, dynamics and transport properties of microemulsions. Advances in Colloid and Interface Science, 78(2): 99-195.
- Paul, B.K. and Moulik, S.P. 2001. Uses and applications of microemulsions. Current Science, 80(8): 990-1001.
- Paul, S. and Panda, A.K. 2011. Physico-chemical studies on microemulsion: effect of cosurfactant chain length on the phase behavior, formation dynamics, structure parameters and viscosity of water/(polysorbate-20 + n-alkanol)/n-

heptane water-in-oil microemulsion. Journal of Surfactants and Detergents, 14(4): 473-486.

Wang, F., Fang, B., Zhang, Z., Zhang, S., and Chen, Y. 2008. The effect of alkanol chain on the interfacial composition and thermodynamic properties of diesel oil microemulsion. Fuel, 87(12): 2517-2522.

Wang, X.L., Yuan, X.Z., Huang, H.J., Leng, L.J., Li, H., Peng, X., Wang, H., Liu, Y., and Zeng, G.M. 2014. Study on the solubilization capacity of bio-oil in diesel by microemulsion technology with Span80 as surfactant. Fuel Processing Technology, 118(0): 141-147.



## ภาษาไทย

- กรมวิชาการเกษตร. 2550. การแปรรูปปาล์มน้ำมัน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.doa.go.th/palm/linkTechnical/oil%20palm%20processing.html>.
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552. ปริมาณผลผลิตพืชน้ำมันของประเทศไทย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th>.
- จิสสา กรงกรด. 2548. สารลดแรงตึงผิว. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp\\_7\\_2548\\_surfactant.pdf](http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp_7_2548_surfactant.pdf).
- มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2554. ไบโอดีเซล. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://share.psu.ac.th/blog/eng-biodiesel/21054?locale=en>.
- ธเนศร์ เสนีวงศ์ ณ อยุธยา. 2545. ดีเซลเบนซินเรื่องหมูหมู. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: มติชน. 368 หน้า.
- วารสารณ จรรยาประเสริฐ. 2546. อิมัลชัน. กรุงเทพมหานคร: คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. นคร ทิพย์วงศ์. 2553. เทคโนโลยีการเปลี่ยนแปลงสภาพชีวมวล. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 240 หน้า.
- นิจวรรณ อนันตรกิตติ. 2557. ผลของเอทีลินออกไซด์ต่อคุณสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิธิยา รัตนาปนนท์ และพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2550. ปาล์มน้ำมัน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com>.
- เพทชาย ต้นธนวัฒน์ และ ถิรารุท พงศ์ประยูร. 2551. การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มโดยใช้วิธีไมโครอิมัลชัน. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ฉบับที่ 3. (กันยายน - ธันวาคม).
- พิสมัย เจนวนิชปัญจกุล. 2544. ไบโอดีเซลพลังงานทางเลือก. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 16. (กันยายน-ธันวาคม).

- วิชชากร จารุศิริ. 2549. การแปรรูปน้ำมันพืช น้ำมันเครื่อง และพลาสติกใช้แล้วให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวบนเครื่องปฏิกรณ์แบบกึ่งต่อเนื่อง. กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช. สถาบันวิจัยพลังงาน. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วันทนีย์ จรัสโพธิ์รัตนกุล และวรินทร์ กิตติธรรมวงศ์. 2554. เชื้อเพลิงชีวภาพจากกระบวนการไมโครอิมัลชัน. งานวิจัยหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรางคณา ประภาติกุล. 2551. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำโดยใช้เทคนิคไมโครอิมัลชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม หลักสูตรนานาชาติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วราภรณ์ ว่องไวพิจารณ์ และ วริศรา ตันตวงศ์. 2555. การนำน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์มใช้แล้วมาผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยวิธีการไมโครอิมัลชัน. งานวิจัยหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริณี เพ็งปรีชา. 2557. ผลของลักษณะสมบัติของน้ำมันพืชต่อลักษณะสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมด้วยวิธีการไมโครอิมัลชันโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.









ภาพที่ ก-1 การติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดความหนืดเชิงจลนศาสตร์  
ของเชื้อเพลิงชีวภาพ ที่อุณหภูมิตั้งที่ 40 องศาเซลเซียส



ภาพที่ ก-2 การติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดจุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ภาคผนวก ข

การคำนวณสัดส่วนในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตัวอย่างที่ ข-1 การคำนวณสัดส่วนในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพเพื่อศึกษาวิฤภาคของไมโครอิมัลชันจากแผนภาพสามเหลี่ยม (Ternary Phase Diagram)

เตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพโดยใช้สารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80 ที่ความเข้มข้น 0.025 โมลาร์ สารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล 0.2 โมลาร์ ผสมกับน้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) 5 มิลลิลิตร และเอทานอล 1 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \text{ออกทานอล} &= \frac{\text{ความเข้มข้น} \times \text{มวลโมเลกุล} \times \text{ปริมาตร}}{\text{ร้อยละความบริสุทธิ์} \times \text{ความหนาแน่น}} \\ &= \frac{0.2 \frac{\text{โมล}}{\text{ลิตร}} \times 130.23 \frac{\text{กรัม}}{\text{โมล}} \times 6 \text{ มิลลิลิตร} \times \frac{1 \text{ ลิตร}}{1000 \text{ มิลลิลิตร}}}{0.99 \times 0.824 \frac{\text{กรัม}}{\text{มิลลิลิตร}}} \\ &= 0.1916 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80} &= \frac{\text{ความเข้มข้น} \times \text{มวลโมเลกุล} \times \text{ปริมาตร}}{\text{ร้อยละความบริสุทธิ์} \times \text{ความหนาแน่น}} \\ &= \frac{0.025 \frac{\text{โมล}}{\text{ลิตร}} \times 428.6 \frac{\text{กรัม}}{\text{โมล}} \times 6 \text{ มิลลิลิตร} \times \frac{1 \text{ ลิตร}}{1000 \text{ มิลลิลิตร}}}{1 \times 1 \frac{\text{กรัม}}{\text{มิลลิลิตร}}} \\ &= 0.0643 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ออกทานอล} + \text{ซอร์บิแทนโมโนโอเลอิต หรือสแปน 80} &= 0.1916 + 0.0643 \\ &= 0.2559 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรรวม} &= 6 + 0.2559 \\ &= 6.2559 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ร้อยละของเอทานอล} &= \frac{\text{ปริมาณเอทานอล} \times 100}{\text{ปริมาตรรวมของสารผสม}} \\
 &= \frac{1 \text{ มิลลิลิตร} \times 100}{6.2559 \text{ มิลลิลิตร}} \\
 &= 15.985 \text{ โดยปริมาตร}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ร้อยละของน้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมดีเซล)} &= \frac{\text{ปริมาณน้ำมัน} \times 100}{\text{ปริมาตรรวมของสารผสม}} \\
 &= \frac{5 \text{ มิลลิลิตร} \times 100}{6.2559 \text{ มิลลิลิตร}} \\
 &= 79.925 \text{ โดยปริมาตร}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ร้อยละของสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวรวม} &= \frac{\text{ปริมาณสารลดแรงตึงผิวผสมสารลดแรงตึงผิวรวม} \times 100}{\text{ปริมาตรรวมของสารผสม}} \\
 &= \frac{0.2559 \text{ มิลลิลิตร} \times 100}{6.2559 \text{ มิลลิลิตร}} \\
 &= 4.09 \text{ โดยปริมาตร}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาตรรวม ร้อยละ} &= 15.985 + 79.925 + 4.09 \\
 &= 100 \text{ โดยปริมาตร}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ ข-2 การคำนวณอัตราส่วนในการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ปริมาตรรวม 10 มิลลิลิตร

น้ำมัน (น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร) ร้อยละ 60 โดยปริมาตร

เอทานอล (เกรดทางการค้า ความบริสุทธิ์ร้อยละ99) ร้อยละ 20 โดยปริมาตร

สารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนโมโนโอเลิเอต หรือสแปน 80 ผสมสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล ที่อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารลดแรงตึงผิวร่วม 1:8 โดยโมล ร้อยละ 20 โดยปริมาตร

$$\begin{aligned}
 \text{ออกทานอล} &= \frac{\text{ความเข้มข้น} \times \text{มวลโมเลกุล} \times \text{ปริมาตร}}{\text{ร้อยละความบริสุทธิ์} \times \text{ความหนาแน่น}} \\
 &= \frac{1 \frac{\text{โมล}}{\text{ลิตร}} \times 130.23 \frac{\text{กรัม}}{\text{โมล}} \times 10 \text{ มิลลิลิตร} \times \frac{1 \text{ ลิตร}}{1000 \text{ มิลลิลิตร}}}{0.99 \times 0.824 \frac{\text{กรัม}}{\text{มิลลิลิตร}}} \\
 &= 1.5964 \text{ มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ซอร์บิแทนโมโนโอเลิเอต หรือสแปน 80} &= \frac{\text{ความเข้มข้น} \times \text{มวลโมเลกุล} \times \text{ปริมาตร}}{\text{ร้อยละความบริสุทธิ์} \times \text{ความหนาแน่น}} \\
 &= \frac{0.125 \frac{\text{โมล}}{\text{ลิตร}} \times 428.6 \frac{\text{กรัม}}{\text{โมล}} \times 10 \text{ มิลลิลิตร} \times \frac{1 \text{ ลิตร}}{1000 \text{ มิลลิลิตร}}}{1 \times 1 \frac{\text{กรัม}}{\text{มิลลิลิตร}}} \\
 &= 0.5358 \text{ มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ออกทานอล} + \text{ซอร์บิแทนโมโนโอเลิเอต หรือสแปน 80} &= 1.5964 + 0.5358 \\
 &= 2.1322 \text{ มิลลิลิตร}
 \end{aligned}$$

ในสารลดแรงตึงผิวปริมาตร 2.1322 มิลลิลิตร มีออกทานอลอยู่ 1.5964 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \text{ถ้าให้สารลดแรงตึงผิวมีปริมาตร } 2 \text{ มิลลิลิตร ต้องใช้ออกทานอล} &= \frac{1.5964 \times 2}{2.1322} \\ &= 1.4974 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

ในสารลดแรงตึงผิวปริมาตร 2.1322 มิลลิลิตร มีสแปน 80 อยู่ 0.5358 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \text{ถ้าให้สารลดแรงตึงผิวมีปริมาตร } 2 \text{ มิลลิลิตร ต้องใช้สแปน 80} &= \frac{0.5358 \times 2}{2.1322} \\ &= 0.5026 \text{ มิลลิลิตร} \end{aligned}$$

$$\text{ออกทานอล + ซอร์บิทานโมโนโอเลต หรือสแปน 80} = 1.4974 + 0.5026$$

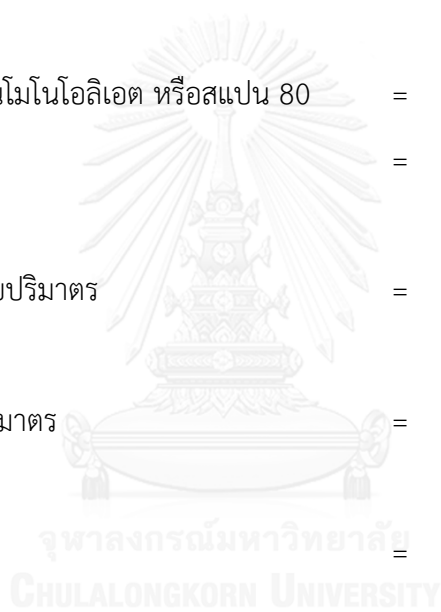
$$\text{ร้อยละ 20 โดยปริมาตร} = 2 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{เอทานอล ร้อยละ 20 โดยปริมาตร} = 2 \text{ มิลลิลิตร}$$

$$\text{น้ำมัน ร้อยละ 60 โดยปริมาตร} = 6 \text{ มิลลิลิตร}$$

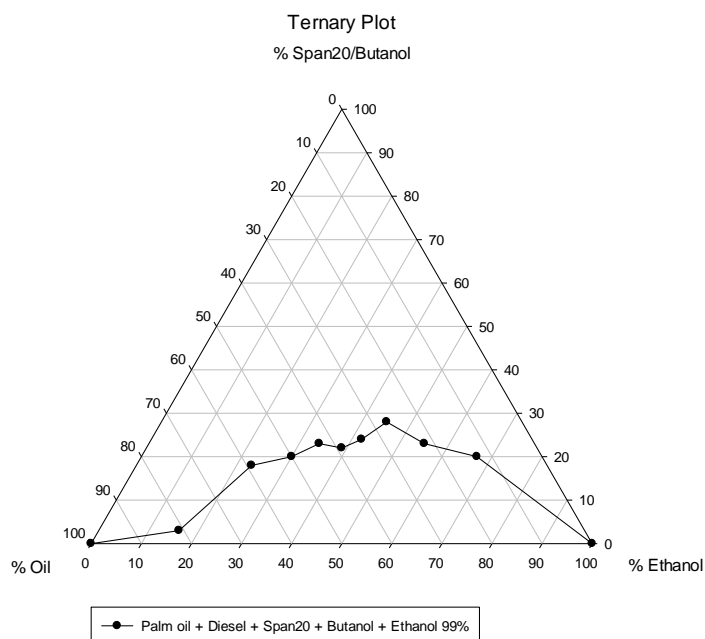
$$\text{ปริมาตรรวม} = 2 + 2 + 6$$

$$= 10 \text{ มิลลิลิตร}$$





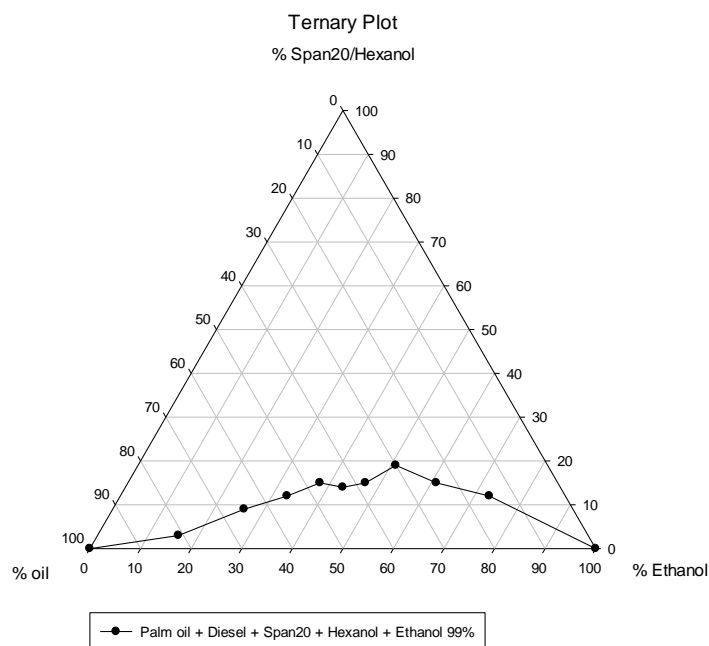




ภาพที่ ค-1 แผนภาพสามเหลี่ยมของสารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือ สเปน 20 กับสารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล

ตารางที่ ค-1 สัดส่วนการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ทำให้น้ำมันรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม น้ำมันดีเซล ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือ สเปน 20 บิวทานอล และ เอทานอล ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99

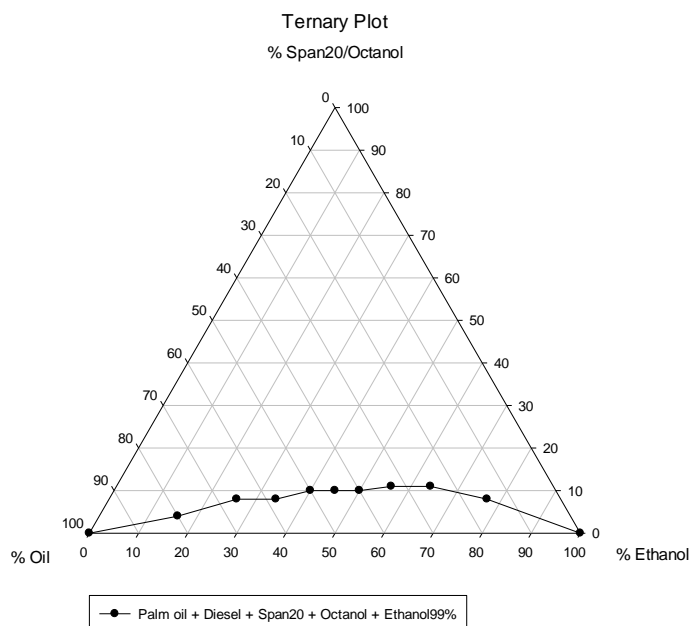
เอทานอล	สเปน20/บิวทานอล	น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล
0.0000	0.0000	100.0000
16.0000	3.0000	81.0000
23.0000	18.0000	59.0000
30.0000	20.0000	50.0000
34.0000	23.0000	43.0000
39.0000	22.0000	39.0000
42.0000	24.0000	34.0000
45.0000	28.0000	27.0000
55.0000	23.0000	22.0000
67.0000	20.0000	13.0000
100.0000	0.0000	0.0000



ภาพที่ ค-2 แผนภาพสามเหลี่ยมของสารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือ สเปน 20 กับสารลดแรงตึงผิวร่วมเฮกซานอล

ตารางที่ ค-2 สัดส่วนการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ทำให้น้ำมันรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ได้ ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม น้ำมันดีเซล ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือ สเปน 20 เฮกซานอล และ เอทานอล ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99

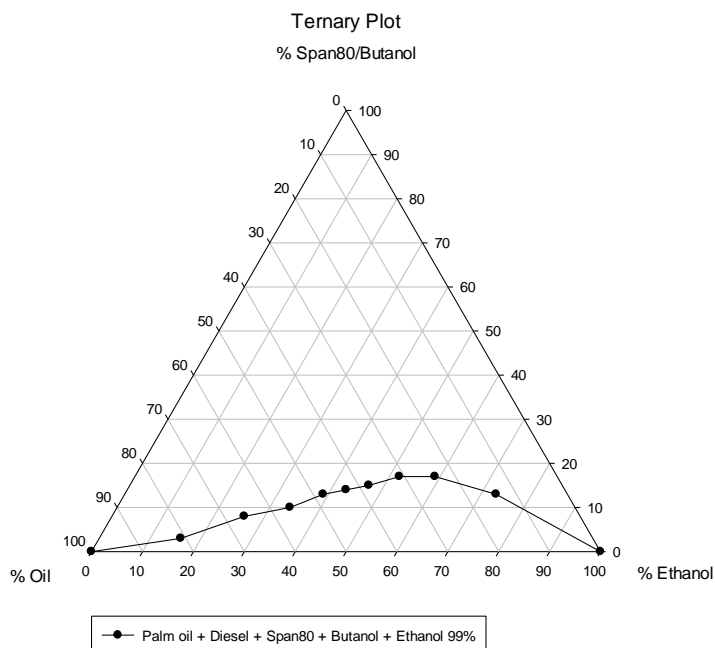
เอทานอล	สเปน20/เฮกซานอล	น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล
0.0000	0.0000	100.0000
16.0000	3.0000	81.0000
26.0000	9.0000	65.0000
33.0000	12.0000	55.0000
38.0000	15.0000	47.0000
43.0000	14.0000	43.0000
47.0000	15.0000	38.0000
51.0000	19.0000	30.0000
61.0000	15.0000	24.0000
73.0000	12.0000	15.0000
100.0000	0.0000	0.0000



ภาพที่ ค-3 แผนภาพสามเหลี่ยมของสารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือ สเปน 20 กับสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล

ตารางที่ ค-3 สัดส่วนการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ทำให้น้ำมันรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม น้ำมันดีเซล ซอร์บิแทนโมโนลอเรต หรือ สเปน 20 ออกทานอล และ เอทานอล ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99

เอทานอล	สเปน20/ออกทานอล	น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล
0.0000	0.0000	100.0000
16.0000	4.0000	80.0000
26.0000	8.0000	66.0000
34.0000	8.0000	58.0000
40.0000	10.0000	50.0000
45.0000	10.0000	45.0000
50.0000	10.0000	40.0000
56.0000	11.0000	33.0000
64.0000	11.0000	25.0000
77.0000	8.0000	15.0000
100.0000	0.0000	0.0000

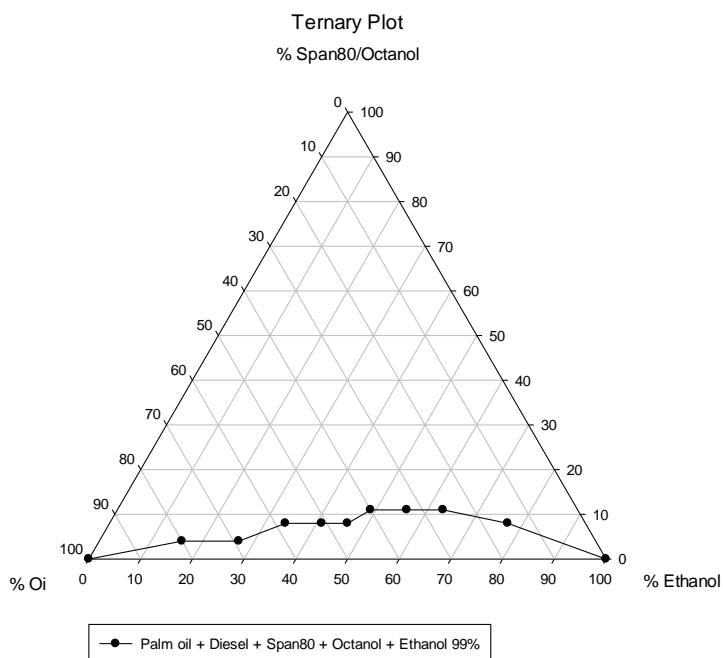


ภาพที่ ค-4 แผนภาพสามเหลี่ยมของสารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนโมโนโอเลต หรือ สเปน 80 กับสารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล

ตารางที่ ค-4 สัดส่วนการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ทำให้น้ำมันรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ได้ ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม น้ำมันดีเซล ซอร์บิแทนโมโนโอเลต หรือ สเปน 80 บิวทานอล และ เอทานอล ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99

เอทานอล	สเปน80/บิวทานอล	น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล
0.0000	0.0000	100.0000
16.0000	3.0000	81.0000
26.0000	8.0000	66.0000
34.0000	10.0000	56.0000
39.0000	13.0000	48.0000
43.0000	14.0000	43.0000
47.0000	15.0000	38.0000
52.0000	17.0000	31.0000
59.0000	17.0000	24.0000
73.0000	13.0000	14.0000
100.0000	0.0000	0.0000

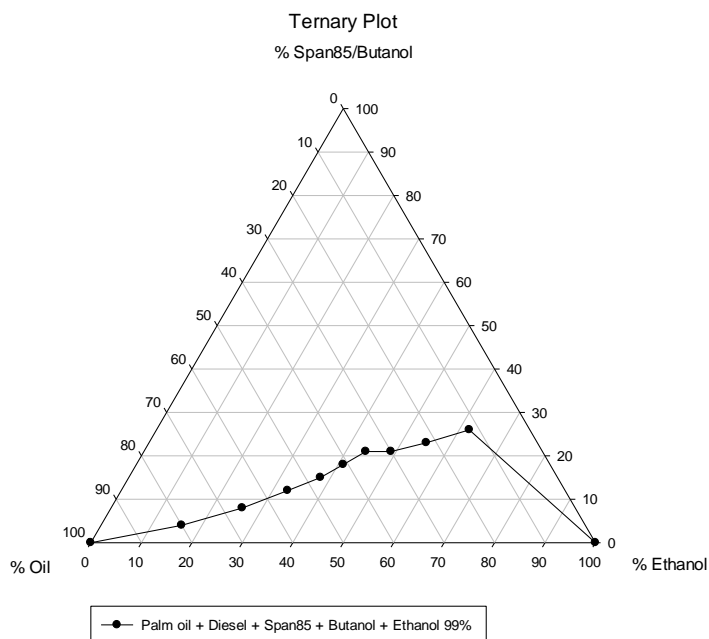




ภาพที่ ค-6 แผนภาพสามเหลี่ยมของสารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนโมโนโอเลต หรือ สเปน 80 กับสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล

ตารางที่ ค-6 สัดส่วนการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ทำให้น้ำมันรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม น้ำมันดีเซล ซอร์บิแทนโมโนโอเลต หรือ สเปน 80 ออกทานอล และ เอทานอล ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99

เอทานอล	สเปน80/ออกทานอล	น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล
0.0000	0.0000	100.0000
16.0000	4.0000	80.0000
27.0000	4.0000	69.0000
34.0000	8.0000	58.0000
41.0000	8.0000	51.0000
46.0000	8.0000	46.0000
49.0000	11.0000	40.0000
56.0000	11.0000	33.0000
63.0000	11.0000	26.0000
77.0000	8.0000	15.0000
100.0000	0.0000	0.0000



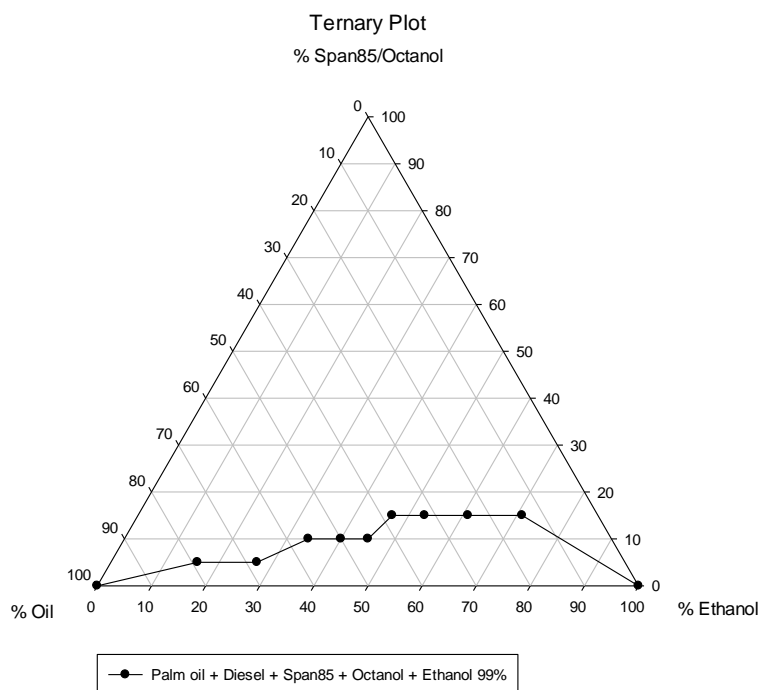
ภาพที่ ค-7 แผนภาพสามเหลี่ยมของสารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนไตรโอเลต หรือ สเปน 85 กับสารลดแรงตึงผิวร่วมบิวทานอล

ตารางที่ ค-7 สัดส่วนการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ทำให้น้ำมันรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ได้ ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม น้ำมันดีเซล ซอร์บิแทนไตรโอเลต หรือ สเปน 85 บิวทานอล และ เอทานอล ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99

เอทานอล	สเปน85/บิวทานอล	น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล
0.0000	0.0000	100.0000
16.0000	4.0000	80.0000
26.0000	8.0000	66.0000
33.0000	12.0000	55.0000
38.0000	15.0000	47.0000
41.0000	18.0000	41.0000
44.0000	21.0000	35.0000
49.0000	21.0000	30.0000
55.0000	23.0000	22.0000
62.0000	26.0000	12.0000
100.0000	0.0000	0.0000



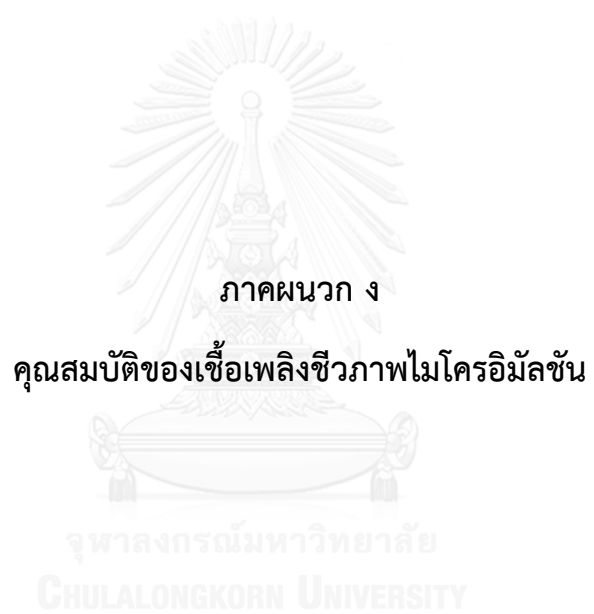




ภาพที่ ค-9 แผนภาพสามเหลี่ยมของสารลดแรงตึงผิวซอร์บิแทนไตรโอเลต หรือ สเปน 85 กับสารลดแรงตึงผิวร่วมออกทานอล

ตารางที่ ค-9 สัดส่วนการเตรียมเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ทำให้น้ำมันรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ได้ ประกอบด้วย น้ำมันปาล์ม น้ำมันดีเซล ซอร์บิแทนไตรโอเลต หรือ สเปน 85 ออกทานอล และ เอทานอล ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99

เอทานอล	สเปน85/ออกทานอล	น้ำมันปาล์มผสมน้ำมันดีเซล
0.0000	0.0000	100.0000
16.0000	5.0000	79.0000
27.0000	5.0000	68.0000
34.0000	10.0000	56.0000
40.0000	10.0000	50.0000
45.0000	10.0000	45.0000
47.0000	15.0000	38.0000
53.0000	15.0000	32.0000
61.0000	15.0000	24.0000
71.0000	15.0000	14.0000
100.0000	0.0000	0.0000



ตารางที่ ง-1 ผลการทดลองวัดค่าความหนืดเชิงกลศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทน โมโนลอเรต หรือสแปน 20 เป็นสารลดแรงตึงผิว

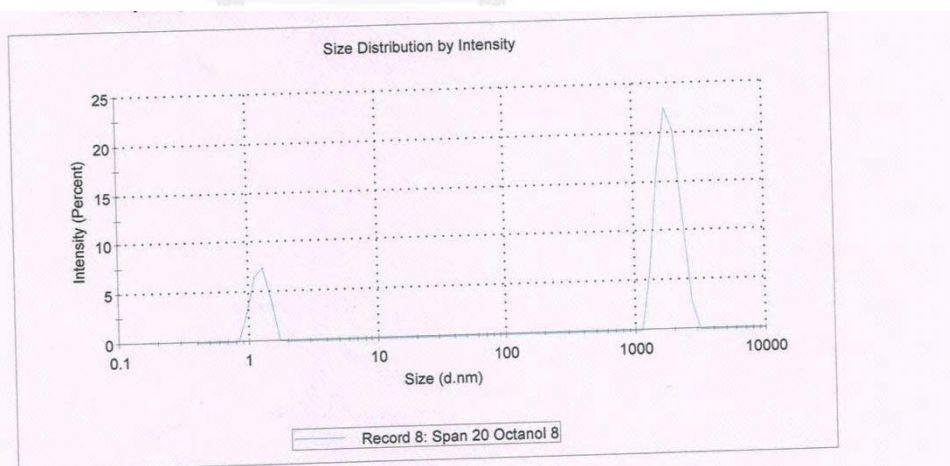
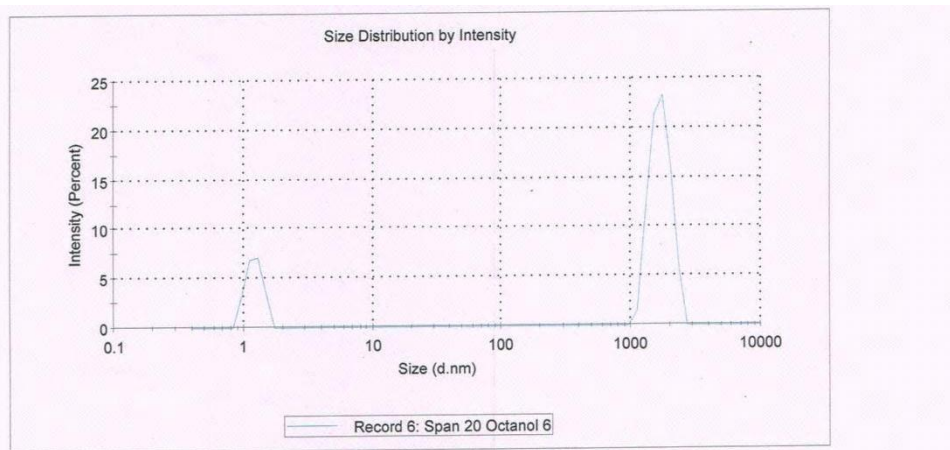
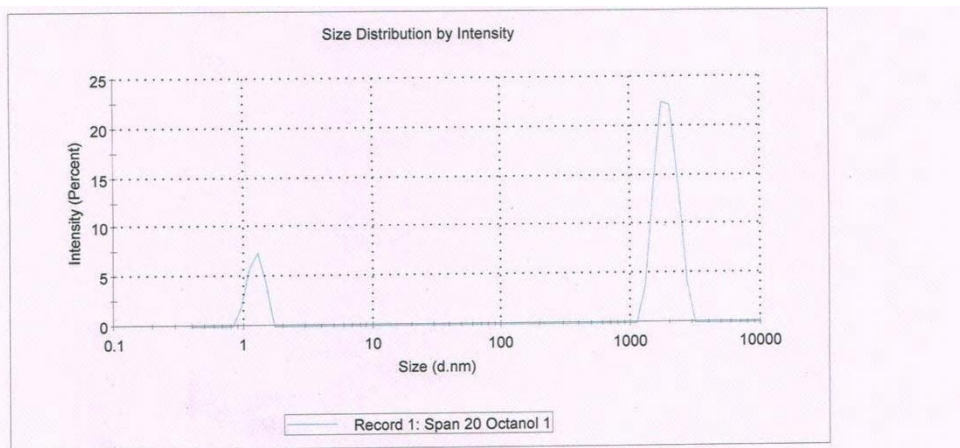
สารลดแรงตึงผิวร่วม	สารลดแรงตึงผิวต่อ สารลดแรงตึงผิวร่วม	ค่าความหนืด (เซนติสโตกส์)				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD
บิวทานอล	1:2	6.49	6.49	6.49	6.49	0.0000
	1:4	5.78	5.75	5.75	5.76	0.0173
	1:8	5.09	5.12	5.11	5.11	0.0153
	1:16	4.80	4.79	4.79	4.79	0.0058
เฮกซานอล	1:2	6.87	6.87	6.87	6.87	0.0000
	1:4	5.78	5.78	5.78	5.78	0.0000
	1:8	5.17	5.17	5.17	5.17	0.0000
	1:16	4.91	4.91	4.91	4.91	0.0000
ออกทานอล	1:2	7.00	7.00	7.00	7.00	0.0000
	1:4	6.18	6.20	6.19	6.19	0.0100
	1:8	5.70	5.67	5.67	5.68	0.0173
	1:16	5.48	5.46	5.46	5.47	0.0115

ตารางที่ ง-2 ผลการทดลองวัดค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทน โมนโอไลเอต หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิว

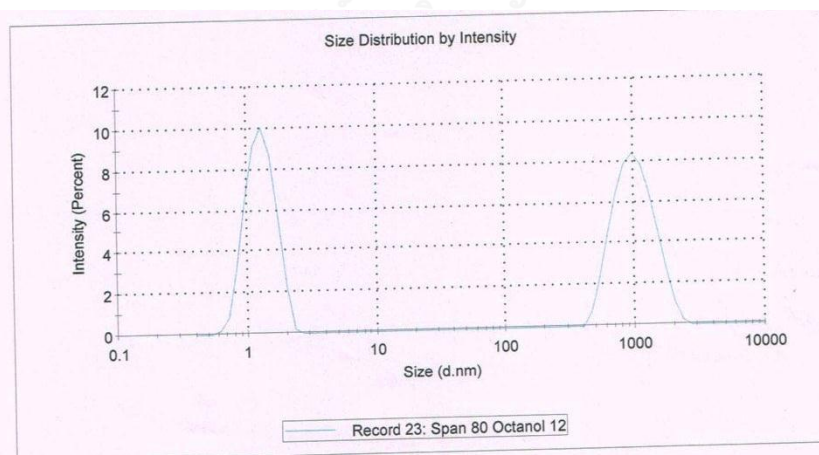
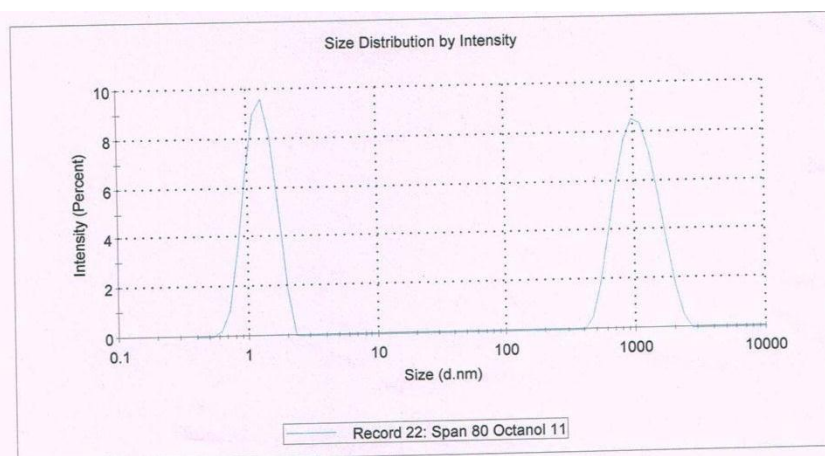
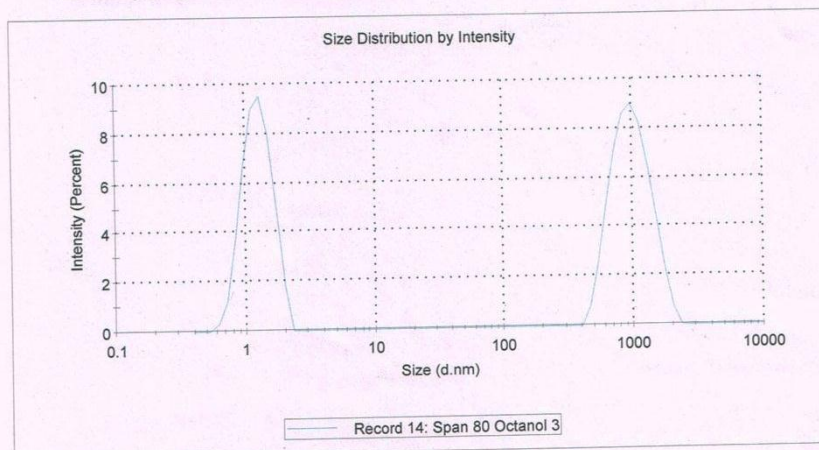
สารลดแรงตึงผิวร่วม	สารลดแรงตึงผิวต่อ สารลดแรงตึงผิวร่วม	ค่าความหนืด (เซนติสโตกส์)				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD
บิวทานอล	1:2	6.73	6.71	6.71	6.72	0.0115
	1:4	5.89	5.88	5.88	5.88	0.0058
	1:8	5.17	5.17	5.17	5.17	0.0000
	1:16	4.67	4.67	4.67	4.67	0.0000
เฮกซานอล	1:2	7.00	7.00	7.00	7.00	0.0000
	1:4	6.18	6.18	6.17	6.18	0.0058
	1:8	5.60	5.59	5.59	5.59	0.0058
	1:16	5.28	5.28	5.28	5.28	0.0000
ออกทานอล	1:2	7.15	7.10	7.12	7.12	0.0252
	1:4	6.23	6.23	6.23	6.23	0.0000
	1:8	5.81	5.78	5.79	5.79	0.0153
	1:16	5.54	5.51	5.52	5.52	0.0153

ตารางที่ ง-3 ผลการทดลองวัดค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ซอร์บิแทน ไตรโอลลีเอต หรือสแปน 85 เป็นสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวร่วม	สารลดแรงตึงผิวต่อ สารลดแรงตึงผิวร่วม	ค่าความหนืด (เซนติสโตกส์)				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	SD
บิวทานอล	1:2	7.18	7.16	7.17	7.17	0.0100
	1:4	6.50	6.47	6.49	6.49	0.0153
	1:8	6.02	5.97	6.00	6.00	0.0252
	1:16	5.27	5.24	5.25	5.25	0.0153
เฮกซานอล	1:2	7.50	7.47	7.48	7.48	0.0153
	1:4	7.10	7.08	7.08	7.09	0.0115
	1:8	6.10	6.07	6.09	6.09	0.0153
	1:16	5.48	5.46	5.47	5.47	0.0100
ออกทานอล	1:2	7.78	7.76	7.77	7.77	0.0100
	1:4	7.15	7.07	7.09	7.10	0.0416
	1:8	6.39	6.38	6.38	6.38	0.0058
	1:16	5.91	5.89	5.90	5.90	0.0100

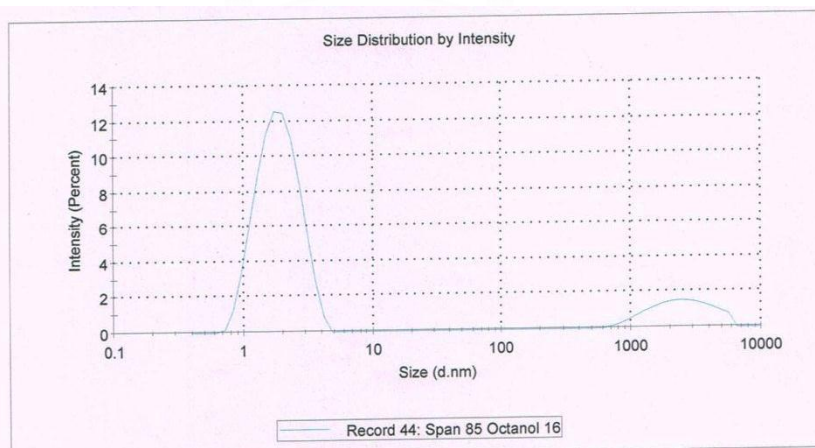
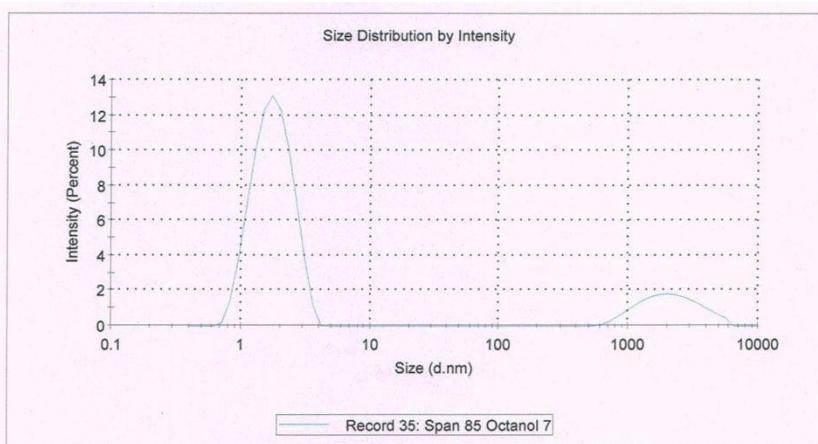
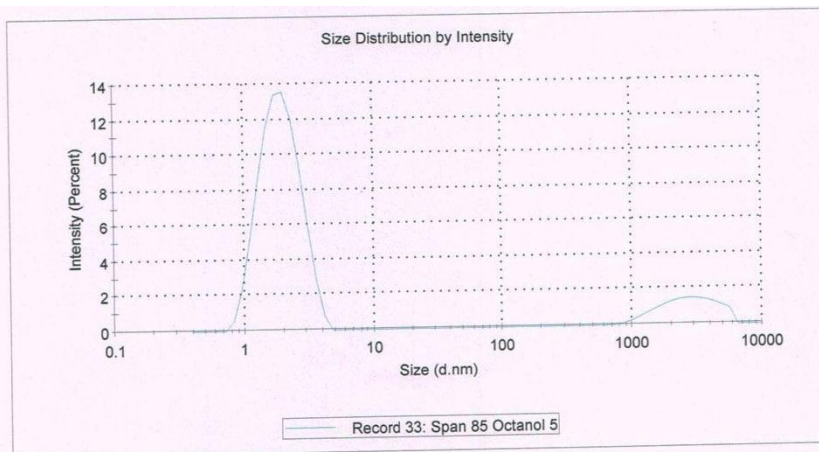


ภาพที่ ง-1 ขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ ซอร์บิแทนโมนอลอเรต หรือสแปน 20 เป็นสารลดแรงตึงผิวและใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม



ภาพที่ ง-2 ขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ โซร์บิแทนโมนโอลิเอต หรือสแปน 80 เป็นสารลดแรงตึงผิวและใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม





ภาพที่ ง-3 ขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใช้ ซอร์บิแทนไตรโอเลียด หรือสแปน 85 เป็นสารลดแรงตึงผิวและใช้ออกทานอลเป็นสารลดแรงตึงผิวรวม

### วิธีการทดลอง ง-1 ขั้นตอนการวัดค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

1. ชั่งเชื้อเพลิงชีวภาพใส่ลงใน crucible ประมาณ 0.5 กรัม
2. นำ crucible ใส่ตรงที่วางตัวอย่าง (Sample Holder) แล้วนำชุดที่วางตัวอย่างที่เตรียมเสร็จแล้วใส่ในตัว combustion chamber
3. เต็มออกซิเจนในบอมบ์ โดยการเปิดวาล์วของถังแก๊สออกซิเจน ตั้งความดันเกจไว้ที่ 430 พีเอสไอ จากนั้นกดปุ่มเติมออกซิเจน เมื่อความดันถึง 430 พีเอสไอ เครื่องจะตัดอัตโนมัติ
4. เติมน้ำลงในกระบอกสแตนเลสประมาณ 2000 มิลลิลิตร แล้วนำเข้าเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ กดปุ่มสตาร์ท เครื่องจะเริ่มทำงาน
5. เมื่อเครื่องทำงานเสร็จให้เปิดฝา นำออกซิเจนบอมบ์ออกมาไล่ก๊าซออก เปิดฝานำที่วางตัวอย่างออกไปแขวนไว้ที่เตรียมตัวอย่าง
6. เครื่องจะคำนวณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพออกมา จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซล

### วิธีการทดลอง ง-2 ขั้นตอนการวัดขนาดอนุภาคของเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยเครื่อง Zetasizer Nano

1. นำเชื้อเพลิงชีวภาพใส่ในช่องใส่ตัวอย่างและทิ้งให้อุณหภูมิระหว่างตัวอย่างและช่องใส่ตัวอย่างสมดุล อุณหภูมิควรควบคุมไว้ที่  $\pm 0.3$  องศาเซลเซียส
2. บันทึกรายละเอียดของตัวอย่าง เวลาที่ทำการวัดและระยะเวลาที่ใช้ในการวัด อุณหภูมิ ดัชนีการหักเหของแสง ความหนืดของตัวกลาง ความเข้มข้นของอนุภาค ความยาวคลื่นของเลเซอร์ และมุมกระเจิง
3. ตรวจสอบความเข้มข้นของแสงกระเจิงของตัวอย่าง โดยควรมีค่าสูงกว่าความเข้มข้นของแสงกระเจิงของตัวกลาง
4. ทำซ้ำ 3 ครั้ง และบันทึกผล

### วิธีการทดลอง ง-3 ขั้นตอนการวัดปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพ

1. ชั่งน้ำหนักถ้วย crucible ก่อนใส่เชื้อเพลิงชีวภาพ ด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียด
2. ชั่งน้ำหนักเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใส่ในถ้วย crucible ด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียด
3. นำตัวอย่างเข้าเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์เพื่อวัดค่าความร้อน เมื่อเสร็จสิ้นให้นำถ้วย crucible หลังการเผามาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียด
4. คำนวณหาปริมาณเถ้าของเชื้อเพลิงชีวภาพ แล้วเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล

$$\text{จากสูตร} \quad \frac{\text{น้ำหนักถ้วยหลังเผา} - \text{น้ำหนักถ้วยเปล่า}}{\text{ปริมาตรเชื้อเพลิงชีวภาพที่ใส่ในถ้วย}} \times 100$$

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวณัฐพร สรสุชาติ เกิดเมื่อวันที่ 7 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2533 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในปีการศึกษา 2554 และ เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2555

ผลงานวิจัยส่วนหนึ่งจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการเทคโนโลยี สิ่งแวดล้อมประจำปี ครั้งที่ 26 สวสท.57 จัดที่โรงแรมเดอะ ทวิน ทาวเวอร์ รongเมือง กรุงเทพฯ ในชื่อหัวข้อ การใช้ซอร์บิแทนเอสเทอร์ทดแทนสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ในการผลิตเชื้อเพลิง ชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน วันที่ 11 - 12 ธันวาคม 2557