

การศึกษาเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันรำข้าวและเอทานอลด้วย
วิธีไมโครอิมัลชันเพื่อใช้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2561

**STUDY OF BIOFUELS FROM RICE BRAN OIL AND
ETHANOL BY MICROEMULSION TECHNIQUE
FOR COMPRESSION IGNITION ENGINE**



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the

Degree of Master of Engineering in Mechanical and Process

System Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2018

การศึกษาเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันรำข้าวและเอทานอลด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน
เพื่อใช้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รศ. ดร.อติชาติ วงศ์กอบลาภ)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร.อรรถพล มณีแดง)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



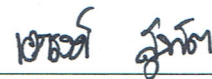
(ผศ. ดร.สุวิมล วงศ์สกุลเดช)

กรรมการ



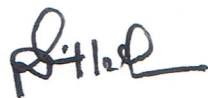
(อ. ดร.สุพรรณิ จันทรภิรมณ์)

กรรมการ



(อ. ดร.เอกรังค์ สุขจิต)

กรรมการ



(ศ. ดร.สันติ แม่นศิริ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ชกร ชานิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ศกตวรรณ เพิ่มบุญ : การศึกษาเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันรำข้าวและเอทานอลด้วยวิธี
ไมโครอิมัลชันเพื่อใช้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (STUDY OF BIOFUELS
FROM RICE BRAN OIL AND ETHANOL BY MICROEMULSION TECHNIQUE
FOR COMPRESSION IGNITION ENGINE) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ดร.อรรถพล มณีแดง, 104 หน้า.

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่การศึกษาและผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมจากน้ำมันรำข้าวและเอทานอล โดยวิธีไมโครอิมัลชันที่ใช้สารลดแรงตึงผิวในระบบผสมเป็นตัวประสาน สารลดแรงตึงผิวในระบบผสมที่ทำการศึกษา ได้แก่ สารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ กลุ่มที่ 1 คือ Span 80 และ Tween 80 ผสมกับสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ กลุ่มที่ 2 ได้แก่ Dehydol LS 1 TH Dehydol LS 3 TH Dehydol LS 7 TH และ Dehydol LS 12 TH ทำการศึกษาที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารลดแรงตึงผิวทั้งสองกลุ่มคือ 1.0:0.0, 0.7:0.3, 0.4:0.6 และ 0.0:1.0 ทำการศึกษาความสามารถในการละลายเข้ากันได้ระหว่างสารลดแรงตึงผิวในระบบผสมกับสารร่วมลดแรงตึงผิวที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1, 1:5, 1:10, 1:20 และ 1:30 จากนั้นทำศึกษาการเกิดวัฏภาคไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เพื่อกำหนดองค์ประกอบและขอบเขตของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เหมาะสม จากนั้นทำการศึกษสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมได้ ซึ่งได้แก่ ความหนืดเชิงจลน์ ความถ่วงจำเพาะ จุดวาบไฟ จุดขุ่น จุดไหลเท และค่าความร้อนเชื้อเพลิง พร้อมเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานลักษณะและคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร พ.ศ. 2549 และจากศึกษาประสิทธิภาพและการปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์โดยการทดสอบกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดหนึ่งสูบพบว่า ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารลดแรงตึงผิวและสารร่วมลดแรงตึงผิวที่ 1:30 สมบัติทางเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันส่วนใหญ่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน เชื้อเพลิงชีวภาพมีประสิทธิภาพทางความร้อนใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่การจุดระเบิดช้ากว่าเนื่องจากมีความหนืดสูงกว่ามีอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่า การปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนน้อยกว่าน้ำมันดีเซล

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนักศึกษา ศกตวรรณ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ath

SAKONWAN PHOEMBOON : STUDY OF BIOFUELS FROM RICE
BRAN OIL AND ETHANOL BY MICROEMULSION TECHNIQUE FOR
COMPRESSION IGNITION ENGINE. THESIS ADVISOR : ASST. PROF.
ATTHAPHON MANEEDAENG, Ph.D. 104 PP.

BIOFUELS/MICROEMULSION/ COMPRESSION IGNITION ENGINE

This research focuses on the study of biofuel prepared from rice bran oil and ethanol using microemulsion technique which binary surfactant system as emulsifiers. A first group of nonionic surfactants used were Span 80 and Tween 80 was mixed with another group of nonionic surfactants, such as Dehydol LS 1 TH, Dehydol LS 3 TH, Dehydol LS 7 TH, and Dehydol LS 12 TH in various molar ratios of 1.0:0.0, 0.7:0.3, 0.4:0.6, and 0.0:1.0. The solubility of binary surfactants and co-surfactant was investigated at ratios of in 1:1, 1:5, 1:10, 1:20, and 1:30. Microemulsion phase behaviors were experimentally investigated in order to optimize the fuel components and single-phase boundaries at 40°C. Besides, properties of microemulsion-based biofuels were examined through kinematics viscosity, specific gravity, flash point, cloud point, pour point, and higher heating value and comparing with the standard and quality for biodiesel using in agricultural machinery in year 2006. The experimental results revealed that the fuel efficiencies and gas emission from the compression ignition engine at the molar ratio of 1:30 of binary surfactants to co-surfactant were comparable to the standard properties of biodiesel and diesel. Biofuels prepared in this work resulted in similar thermal efficiency compared with diesel, but the ignition is a little slower because the higher viscosity. The fuel consumption was higher than

commercial diesel. The amount of emitted gasses from combustion chamber such as carbon monoxide and carbon dioxide were similarly to diesel, but microemulsion-based biofuels produced less NO_x comparing to diesel.



School of Chemical Engineering

Academic year 2018

Student's Signature ด.ช. ชัยวัฒน์

Advisor's Signature อ.ดร. ชัยวัฒน์

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยได้ เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความกรุณาอนุเคราะห์ช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรถพล มณีแดง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดี โดยตลอด ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อดิชาติ วงศ์กอบลาภ, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิมล วงศ์สกุลเกษัช, อาจารย์ ดร.สุพรรณิ จันทรภิรมณ์ และอาจารย์ ดร.เอกรงค์ สุขจิต คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้แนวคิดและคำแนะนำเพิ่มเติม ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่กรุณาตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ตลอดจนให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอนให้วิชาความรู้ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องที่กรุณาให้คำแนะนำและช่วยเหลือประสานงานให้สำเร็จได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดเหนือสิ่งอื่นใด บิดา มารดา ผู้เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนช่วยเหลือในทุกด้าน จนกระทั่งประสบความสำเร็จ

ศกถาวรณ เพิ่มบุญ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
2 ปริศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel).....	5
2.2 น้ำมันพืช (Vegetable oil).....	5
2.3 น้ำมันรำข้าว (Rice bran oil).....	8
2.4 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ.....	9
2.4.1 การใช้โดยตรงหรือการผสมกับน้ำมันดีเซล.....	9
2.4.2 ไพโรไลซิส.....	10
2.4.3 ทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน.....	10
2.4.4 โมโนโครอิมัลชัน.....	11
2.5 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant).....	11
2.5.1 ชนิดของสารลดแรงตึงผิว.....	12
2.5.2 การจัดเรียงตัวของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว.....	14

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.3	การแบ่งสารลดแรงตึงผิวตามคุณความชอบน้ำและน้ำมัน (HLB system)...	16
2.6	อิมัลชัน (Emulsion).....	17
2.6.1	ชนิดของอิมัลชัน.....	17
2.6.1.1	แบ่งตามลักษณะภายนอกที่มองเห็น.....	17
2.6.1.2	แบ่งตามชนิดของเหลวที่เป็นวัฏภาคภายในและวัฏภาคภายนอก..	18
2.6.2	ลักษณะการเกิดไมโครอิมัลชัน.....	19
2.7	แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบ (Ternary phase diagram).....	20
2.8	น้ำมันดีเซล (Diesel fuel).....	21
2.9	น้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel).....	22
2.10	สมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง.....	24
2.10.1	ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity).....	24
2.10.2	ความหนืดเชิงจลน์ (Kinematic viscosity).....	24
2.10.3	จุดวาบไฟ (Flash point).....	24
2.10.4	จุดขุ่น (Cloud point).....	24
2.10.5	จุดไหลเท (Pour point).....	25
2.10.6	ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (Heating value).....	25
2.11	ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์.....	25
2.11.1	ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific Fuel Consumption).....	25
2.11.2	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (Brake Thermal Efficiency).....	26
2.12	การปล่อยมลพิษไอเสีย.....	26
2.12.1	คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide).....	26
2.12.2	ออกไซด์ของไนโตรเจน (Nitrogen oxides).....	26
2.12.3	ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon).....	27
2.13	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	32
3.1	วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย.....	32
3.1.1	วัสดุและอุปกรณ์.....	32
3.1.2	สารเคมี.....	32
3.2	วิธีดำเนินการวิจัย.....	34
3.3	การทดสอบการละลายของสารลดแรงตึงผิว.....	37
3.4	การศึกษาแผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบ.....	38
3.5	การทดสอบสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	39
3.5.1	การทดสอบความหนืด (มาตรฐาน ASTM D445).....	39
3.5.2	การทดสอบความถ่วงจำเพาะ (มาตรฐาน ASTM D1298).....	42
3.5.3	การทดสอบจุดวาบไฟ (มาตรฐาน ASTM D93).....	42
3.5.4	การทดสอบจุดจุดุ่น และจุดไหลเท (มาตรฐาน ASTM D92).....	43
3.5.5	การทดสอบหาค่าความร้อนเชื้อเพลิง (มาตรฐาน ASTM D240).....	44
3.6	การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยว.....	45
3.6.1	รายละเอียดเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ.....	45
3.6.2	การติดเครื่องยนต์.....	45
3.6.3	การทดสอบเครื่องยนต์.....	46
3.6.4	ขั้นตอนทดสอบ.....	46
3.7	การทดสอบมลพิษไอเสีย.....	48
3.7.1	ขั้นตอนการทดสอบ.....	48
4	ผลการดำเนินการวิจัย.....	50
4.1	บทนำ.....	50
4.2	ความสามารถการละลายได้ของสารลดแรงตึงผิวในสารร่วมลดแรงตึงผิว ที่อัตราส่วนโดยโมลต่าง ๆ.....	50

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3	การศึกษาวงศาไมโครอิมัลชัน.....	51
4.3.1	วงศาไมโครอิมัลชันเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของ สารลดแรงตึงผิว (S1:S2).....	51
4.3.2	วงศาไมโครอิมัลชันเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมลของ สารลดแรงตึงผิวต่อสารร่วมลดแรงตึงผิว (S:C).....	52
4.4	ความหนืดเชิงจลน์ (Kinematic viscosity) ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	58
4.4.1	ความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของ สารลดแรงตึงผิว (S1:S2).....	58
4.4.2	ความหนืดเชิงจลน์เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิว ต่อสารร่วมลดแรงตึงผิว (S:C).....	58
4.5	ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity).....	60
4.6	จุดวาบไฟ (Flash point).....	62
4.7	จุดขุ่น (Cloud point).....	64
4.8	จุดไหลเท (Pour point).....	65
4.9	ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (Higher heating value).....	67
4.10	ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์.....	68
4.10.1	ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	68
4.10.2	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	71
4.10.3	คุณลักษณะการเผาไหม้ในเครื่องยนต์.....	74
4.11	การปล่อยไอเสีย.....	77
4.11.1	การปล่อยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์.....	77
4.11.2	การปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน.....	80
4.11.3	การปล่อยไฮโดรคาร์บอน.....	82
4.11.4	การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์.....	85

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	87
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	87
5.1.1	การเกิดวัฏภาคไมโครอิมัลชัน.....	87
5.1.2	สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....	87
5.1.3	ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์.....	88
5.1.4	การปล่อยไอเสีย.....	88
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	88
5.3	ข้อเสนอแนะงานวิจัยต่อไป.....	89
	รายการอ้างอิง.....	90
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	94
	ประวัติผู้เขียน.....	104

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	องค์ประกอบของกรดไขมันหลักของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ ที่ใช้เพื่อการบริโภค.....6
2.2	สมบัติทางกายภาพบางประการของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ.....7
2.3	C_{20} และ CMC ของสารลดแรงตึงผิวชนิดคู่และการเปรียบเทียบกับสารลดแรงตึงผิว ปกติที่อุณหภูมิ 25°C..... 13
2.4	สมบัติน้ำมันดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะ และคุณภาพของ น้ำมันดีเซล พ.ศ. 2556.....21
2.5	ลักษณะและคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร พ.ศ. 2549.....23
3.1	สมบัติของสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ.....33
3.2	สมบัติของสารร่วมลดแรงตึงผิว.....34
3.3	สมบัติของเอทานอล.....34
3.4	ตัวแปรที่ใช้ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันในงานวิจัยนี้.....35
3.5	อัตราส่วนโดยปริมาตรภายในวัฏภาคสามเหลี่ยมที่นำ มาศึกษาความหนืด.....40
4.1	จุดวาบไฟของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....63
4.2	จุดจุดนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....64
4.3	จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน.....66
4.4	ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงตัวอย่าง.....75

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันพืช.....5
2.2	องค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์.....6
2.3	ส่วนประกอบของเมล็ดข้าว.....8
2.4	กระบวนการสกัดน้ำมันรำข้าว.....9
2.5	ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification).....10
2.6	โครงสร้างของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว (Surfactant).....11
2.7	สารลดแรงตึงผิวชนิดคู่ (Gemini surfactant).....13
2.8	องค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์.....15
2.9	Critical micelle concentration (CMC).....15
2.10	ลักษณะการเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิว.....16
2.11	ช่วงค่า HLB ของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้บอกประเภทของการเกิดไมโครอิมัลชันต่าง ๆ.....17
2.12	การแบ่งอิมัลชันตามชนิดของเหลวที่เป็นวัฏภาคภายในและวัฏภาคภายนอก.....18
2.13	ประเภทการเกิดไมโครอิมัลชันแบบ แผนภาพ Winsor.....19
2.14	ประเภทการเกิดไมโครอิมัลชัน แบบแผนผังปลา (Fish diagram).....20
2.15	แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบ (Ternary phase diagram).....20
2.16	ปริมาณการใช้ B100 เพื่อผสมและจำหน่ายเป็นน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว และดีเซลบี 5.....23
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....36
3.2	ทดสอบการละลายระหว่างสารลดแรงตึงผิวกับสารร่วมลดแรงตึงผิว.....38
3.3	ตัวอย่างแผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบ.....39
3.4	ตำแหน่งภายในแผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบที่นำมาทดสอบหาความหนืด.....40
3.5	เครื่องมือวัดความหนืด (Capillary viscometer).....41
3.6	เครื่องมือในการวัดความหนืดของเชื้อเพลิง.....41
3.7	เครื่องมือวัดความถ่วงจำเพาะ (Hydrometer).....42
3.8	เครื่องมือในการวัดจุดวาบไฟ.....43
3.9	ลักษณะของเชื้อเพลิงตัวอย่างที่เกิดความขุ่นมัว.....44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 Bomb-calorimeter LECO รุ่น AC-600.....	45
3.11 ตู้ควบคุมแสดงการทำงานของเครื่องยนต์.....	47
3.12 เครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว.....	47
3.13 เครื่องตรวจวัดแก๊สไอเสีย.....	48
4.1 ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวระบบผสม.....	51
4.2 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบเมื่อสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม (Span 80:Dehydol LS 1 TH ในอัตราส่วนโดยโมล 0.4:0.6).....	52
4.3 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบ เมื่อสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม (Span 80:Dehydol LS 1 TH ในอัตราส่วนโดยโมล 0.7:0.3).....	53
4.4 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบเมื่อสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม (Span 80:Dehydol LS 3 TH ในอัตราส่วนโดยโมล 0.4:0.6).....	53
4.5 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบเมื่อสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม (Span 80:Dehydol LS 3 TH ในอัตราส่วนโดยโมล 0.7:0.3).....	54
4.6 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบเมื่อสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม (Span 80:Dehydol LS 7 TH ในอัตราส่วนโดยโมล 0.4:0.6).....	54
4.7 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบเมื่อสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม (Span 80:Dehydol LS 7 TH ในอัตราส่วนโดยโมล 0.7:0.3).....	55
4.8 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบเมื่อสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม (Tween 80:Dehydol LS 1 TH ในอัตราส่วนโดยโมล 0.4:0.6).....	55
4.9 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบเมื่อสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม (Tween 80:Dehydol LS 1 TH ในอัตราส่วนโดยโมล 0.7:0.3).....	56
4.10 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบเมื่อสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม (Tween 80:Dehydol LS 3 TH ในอัตราส่วนโดยโมล 0.4:0.6).....	56
4.11 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบเมื่อสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม (Tween 80:Dehydol LS 3 TH ในอัตราส่วนโดยโมล 0.7:0.3).....	57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบเมื่อสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม (Tween 80:Dehydol LS 7 TH ในอัตราส่วน โดยโมล 0.4:0.6).....	57
4.13 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบเมื่อสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม (Tween 80:Dehydol LS 7 TH ในอัตราส่วน โดยโมล 0.7:0.3).....	58
4.14 การเปรียบเทียบความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มี Span 80 เป็นองค์ประกอบ และอัตราส่วนโดยปริมาตรภายในแผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบน้ำมันรำข้าว 40% เอทานอล 30% และ S:C 30%.....	59
4.15 การเปรียบเทียบความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มี Tween 80 เป็นองค์ประกอบ และอัตราส่วนโดยปริมาตรภายในแผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบน้ำมันรำข้าว 40% เอทานอล 30% และ S:C 30%.....	60
4.16 ค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันในระบบ Span 80.....	61
4.17 ค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันในระบบ Tween 80.....	61
4.18 ค่าความร้อนเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันในระบบ Span 80.....	67
4.19 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันในระบบ Tween 80.....	68
4.20 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเมื่อเปลี่ยนแปลง อัตราส่วนโดยโมล S1:S2.....	69
4.21 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันเมื่อเปลี่ยนแปลง ชนิดของสารลดแรงตึงผิว S2.....	70
4.22 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ในระบบ Span 80:Dehydol LS 1 TH = 0.4:0.6 เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณสารร่วมลดแรงตึงผิว.....	71
4.23 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมล S1:S2.....	72
4.24 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดสารลดแรงตึงผิว S2.....	73
4.25 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในระบบ Span 80:Dehydol LS 1 TH = 0.4:0.6 เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณสารร่วมลดแรงตึงผิว.....	74
4.26 คุณลักษณะการเผาไหม้ที่โหลดของเครื่องยนต์ 25%.....	76

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.27 คุณลักษณะการเผาไหม้ที่ไหลของเครื่องยนต์ 50%.....	76
4.28 คุณลักษณะการเผาไหม้ที่ไหลของเครื่องยนต์ 75%.....	77
4.29 การปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณสารลดแรงตึงผิว S2.....	78
4.30 การปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์เมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดสารลดแรงตึงผิว S2.....	78
4.31 การปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ในระบบสารลดแรงตึงผิว Span 80:Dehydol LS 1 TH = 0.4:0.6 เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณสารร่วมลดแรงตึงผิว.....	79
4.32 ออกไซด์ของไนโตรเจน เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิว S1:S2.....	80
4.33 ออกไซด์ของไนโตรเจน เมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดของสารลดแรงตึงผิว S2.....	81
4.34 ออกไซด์ของไนโตรเจนในระบบ Span 80:Dehydol LS 1 TH = 0.4:0.6 เมื่อเปลี่ยนแปลงสารร่วมลดแรงตึงผิว.....	81
4.35 การปล่อยไฮโดรคาร์บอนเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารลดแรงตึงผิว S2.....	83
4.36 การปล่อยไฮโดรคาร์บอน เมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดของสารลดแรงตึงผิว S2.....	83
4.37 การปล่อยไฮโดรคาร์บอนเมื่อใช้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันในระบบ Span 80:Dehydol LS 1 TH = 0.4:0.6 แล้วเปลี่ยนแปลงปริมาณสารร่วมลดแรงตึงผิว.....	84
4.38 การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารลดแรงตึงผิว S2.....	85
4.39 การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดของสารลดแรงตึงผิว S2.....	86
4.40 การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อใช้เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันในระบบ Span 80:Dehydol LS 1 TH = 0.4:0.6 และเปลี่ยนแปลงปริมาณสารร่วมลดแรงตึงผิว.....	86

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

การดำเนินชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบันล้วนมีความเกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน ซึ่งพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงส่วนใหญ่เป็นพลังงานจากทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไป และต้องใช้เวลาอีกยาวนานในการเกิดขึ้นมาใหม่ด้วยวิธีทางธรรมชาติ ทำให้ทั่วโลกตระหนักถึงการแสวงหาพลังงานทางเลือกอื่น เพื่อนำมาใช้ทดแทนพลังงานที่ได้จากธรรมชาติ โดยแนวทางหนึ่งในการหาพลังงานทดแทนที่ได้รับความสนใจคือ การพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพซึ่งเป็นพลังงานที่ได้จากพืช สัตว์ น้ำมันจากไขมันสัตว์ หรือน้ำมันจากพืชหลากหลายชนิด เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันรำข้าว น้ำมันดอกทานตะวัน เป็นต้น

สำหรับในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ น้ำมันปาล์มเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจที่ถูกใช้เป็นแหล่งผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยในประเทศไทยมีผลผลิตน้ำมันปาล์มดิบเป็น อันดับที่ 3 ของโลกรองจากอินโดนีเซียและมาเลเซีย (เชษฐชูดา เชื้อสุวรรณ, 2561) แต่เนื่องจาก ความตื่นตัวในการเสาะหาแหล่งพลังงานทดแทน น้ำมันปาล์มจึงได้รับความนิยมในการนำมาใช้ ผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ ผลจากความตื่นตัวนี้ทำให้น้ำมันปาล์มเป็นที่ต้องการอย่างมาก และเริ่มมี ราคาสูงขึ้น (ไทยรัฐ, 2559) ในช่วงปี พ.ศ. 2554 ถึง 2561 และเมื่อวันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2562 ราคา น้ำมันปาล์มปรับตัวสูงขึ้นจากเดิม 14-15 บาท เนื่องจากทางกรมการค้าได้ขอความร่วมมือให้ขาย น้ำมันปาล์มให้สอดคล้องกับต้นทุน นอกจากนี้จึงเกิดงานวิจัยที่ศึกษาหาแหล่งพลังงานชีวภาพอื่น ๆ ในการนำมาผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ เช่น เชื้อเพลิงชีวภาพจาก น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันละหุ่ง น้ำมันข้าวโพด และ น้ำมันรำข้าว ซึ่งแนวโน้มในปี พ.ศ. 2560 ถึง 2562 ประเทศไทยสามารถผลิต ข้าวเปลือกได้ 30 ถึง 32 ล้านตัน ข้าวส่วนใหญ่ที่ผลิตได้ เมื่อผ่านการขัดสีจะนำไปบริโภค ภายในประเทศหรือส่งออก โดยแนวโน้มทางอุตสาหกรรมข้าวไทยคาดว่า ราคาข้าวมีแนวโน้ม เติบโตค่อนข้างช้า (วาริรัตน์ เพชรสีม่วง, 2560) ด้วยความสามารถในการผลิตข้าวของไทย หากนำ รำข้าวมาสกัดเป็นน้ำมันรำข้าวจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าให้แก่ข้าว

อย่างไรก็ตาม การนำน้ำมันพืชมาใช้กับเครื่องยนต์โดยตรงอาจก่อให้เกิดปัญหา ต่อเครื่องยนต์ เช่น ความหนืดสูง การระเหยตัวต่ำ และเกิดเป็นไขได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง (นคร ทิพยาวงศ์, 2553) จึงต้องมีการปรับปรุงสมบัติทางเชื้อเพลิงของน้ำมันพืชก่อนนำไปใช้งานใน

เครื่องยนต์ ซึ่งมีด้วยกัน 4 วิธี ได้แก่ การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลโดยตรง การสลายตัวด้วยความร้อน (Pyrolysis) ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) และไมโครอิมัลชัน (Microemulsion)

วิธีการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือ วิธีทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน อย่างไรก็ตามวิธีนี้จะให้ผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้คือ กลีเซอริน ซึ่งจำเป็นจะต้องแยกกลีเซอรินออกจากน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนจึงจะสามารถนำเชื้อเพลิงชีวภาพไปใช้ได้ กระบวนการแยกกลีเซอรินเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและมีค่าใช้จ่าย ทำให้กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยไมโครอิมัลชันเริ่มได้รับความสนใจ เนื่องจากไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี ไม่ต้องกำจัดผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ข้างเคียง ไม่ต้องแยกตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา จึงช่วยลดค่าใช้จ่ายในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

ไมโครอิมัลชันคือ การผสมของเหลวสองชนิดที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ให้สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้โดยใช้ตัวประสาน ซึ่งก็คือ สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ทำให้เกิดอนุภาคคอลลอยด์ที่มีขนาดเล็กมาก (10-100 นาโนเมตร) สารผสมที่ได้จะรวมเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อมองด้วยตาเปล่าจะมีลักษณะใส โปร่งแสง

จากงานวิจัยของ Halide และ Kabir-ud-Din ทำการศึกษาสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม และพบว่าสารลดแรงตึงผิวในระบบผสมให้สมบัติทางพื้นผิวที่ดีกว่าในระบบเดี่ยว ในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันรำข้าวกับเอทานอลด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวในระบบผสมสององค์ประกอบ สารลดแรงตึงผิวชนิดแรกคือ สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ที่นิยมใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน ได้แก่ Sorbitan monoolate (Span 80) และ Polysorbate 80 (Tween 80) ซึ่งมีราคาสูงเมื่อต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ผสมกับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุคือ Dehydol LS 1 TH Dehydol LS 3 TH Dehydol LS 7 TH และ Dehydol LS 12 TH ซึ่งมีราคาถูกกว่าและมีจำหน่ายในประเทศไทย เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการผลิต จากนั้นทำการศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้ ได้แก่ ค่าความหนืด ความตึงผิวเฉพาะ ค่าความร้อน จุดขุ่น จุดไหลเท และ จุดวาบไฟ โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานลักษณะและคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร พ.ศ. 2549 จากนั้นนำเชื้อเพลิงชีวภาพไปทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลหนึ่งสูบ เพื่อคำนวณค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (BSFC) ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (BTE) และการปล่อยมลพิษไอเสีย ได้แก่ การปล่อยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน ไฮโดรคาร์บอน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากนี้มีหลายงานวิจัยที่ชี้ให้เห็นว่า เมื่อนำเชื้อเพลิงชีวภาพไปทดสอบกับเครื่องยนต์ให้ผลที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และมีการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนที่น้อยกว่าน้ำมันดีเซล

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ให้อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิว สารร่วมลดแรงตึงผิว เอทานอล และน้ำมันรำข้าวที่เกิดเป็นวุ้นภาคไมโครอิมัลชัน และมีเสถียรภาพทางอุณหพลศาสตร์

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวในระบบผสมที่มีต่อสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันรำข้าวที่ผลิตด้วยวิธีการไมโครอิมัลชัน

1.2.3 ให้อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิว สารร่วมลดแรงตึงผิว เอทานอล และน้ำมันรำข้าว ที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้พัฒนาเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีสมบัติใกล้เคียงกับมาตรฐาน

1.2.4 เพื่อศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันที่ผลิตด้วยวิธีไมโครอิมัลชันเปรียบเทียบกับมาตรฐานลักษณะและคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร พ.ศ. 2549

1.2.5 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซลหนึ่งสูบ เมื่อใช้เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

1.2.6 เพื่อศึกษาการปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลหนึ่งสูบ เมื่อใช้เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

1.3 สมมติฐานการวิจัย

สารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุที่นำมาศึกษาคือ Sorbitan monoolate (Span 80) และ Polysorbate 80 (Tween 80) ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีประสิทธิภาพที่ทำให้เกิดไมโครอิมัลชันของน้ำมันพืช และเอทานอลได้ แต่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาสูง จึงเกิดแนวคิดในการนำ Sorbitan monoolate (Span 80) และ Polysorbate 80 (Tween 80) มาผสมกับสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุที่ผลิตภายในประเทศ ได้แก่ Dehydol LS 1 TH Dehydol LS 3 TH Dehydol LS 7 TH และ Dehydol LS 12 TH จากงานวิจัยของ Kabir-ud-Din และคณะ (2009) พบว่า สารลดแรงตึงผิวในระบบผสมแสดงความสามารถในการลดแรงตึงผิวได้ดีกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิวในระบบเดี่ยว ดังนั้นวิธีไมโครอิมัลชันในระบบผสมมีแนวโน้มที่จะเกิดวุ้นภาคไมโครอิมัลชันได้ดีกว่าในระบบเดี่ยว มีความน่าสนใจที่จะนำมาใช้ศึกษาในการบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการทดลองในระดับปฏิบัติการที่อุณหภูมิห้อง ความดันบรรยากาศ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมเคมี อาคารเครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีกำหนดขอบเขตของงานวิจัย ดังนี้

1.4.1 สารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ กลุ่มที่ 1 (S1) ได้แก่ Sorbitan monooleate (Span 80) และ Polysorbate 80 (Tween 80)

1.4.2 สารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ กลุ่มที่ 2 (S2) ได้แก่ Dehydol LS 1 TH, Dehydol LS 3 TH, Dehydol LS 7 TH และ Dehydol LS 12 TH

1.4.3 สารร่วมลดแรงตึงผิวที่ใช้ศึกษาคือ 1-Octanol

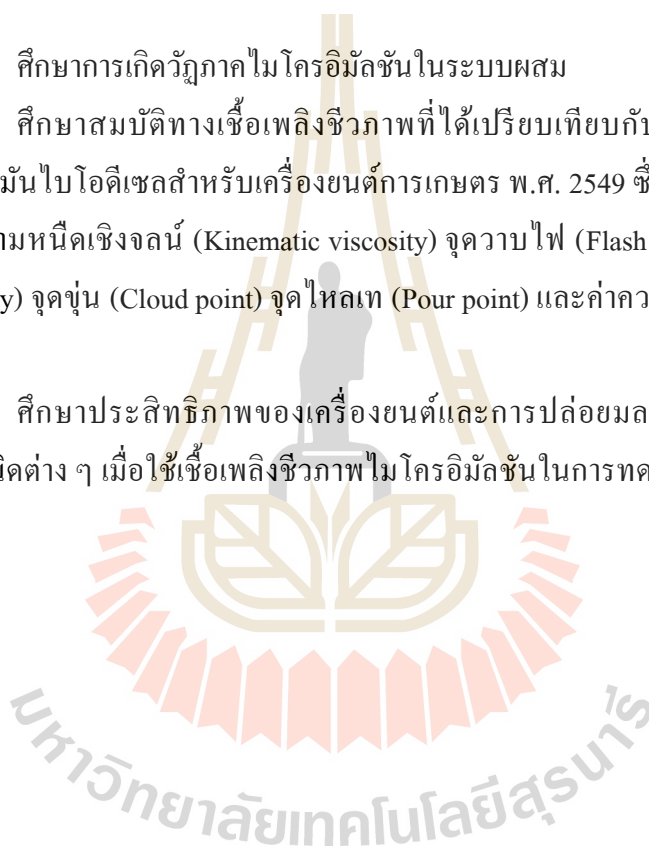
1.4.4 น้ำมันพืชที่ใช้ศึกษาคือ น้ำมันรำข้าว

1.4.5 ศึกษาการละลายเข้ากันได้ของสารลดแรงตึงผิวและสารร่วมลดแรงตึงผิวในระบบผสม

1.4.6 ศึกษาการเกิดวัฏภาคไมโครอิมัลชันในระบบผสม

1.4.7 ศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้เปรียบเทียบกับมาตรฐานลักษณะและคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร พ.ศ. 2549 ซึ่งทำการวิเคราะห์ตัวแปรดังต่อไปนี้ ความหนืดเชิงจลน์ (Kinematic viscosity) จุดวาบไฟ (Flash point) ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) จุดขุ่น (Cloud point) จุดไหลเท (Pour point) และค่าความร้อนเชื้อเพลิง (Higher heating value)

1.4.8 ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์และการปล่อยมลพิษไอเสียและวิเคราะห์ปริมาณแก๊สชนิดต่าง ๆ เมื่อใช้เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันในการทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว



บทที่ 2

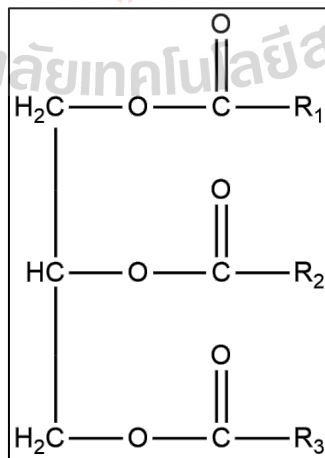
ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เชื้อเพลิงชีวภาพ (Biofuel)

เชื้อเพลิงชีวภาพคือ เชื้อเพลิงที่ได้จากสิ่งมีชีวิต เช่น ผลิตผลจากการย่อยสลายของพืชหรือสัตว์ มูลสัตว์ น้ำมันจากสัตว์ น้ำมันจากพืชบางชนิด เป็นต้น ซึ่งสามารถเป็นแหล่งพลังงานที่มาทดแทนเชื้อเพลิงที่ได้จาก ปิโตรเลียม และถ่านหิน โดยเชื้อเพลิงชีวภาพสามารถจัดกลุ่มดังนี้

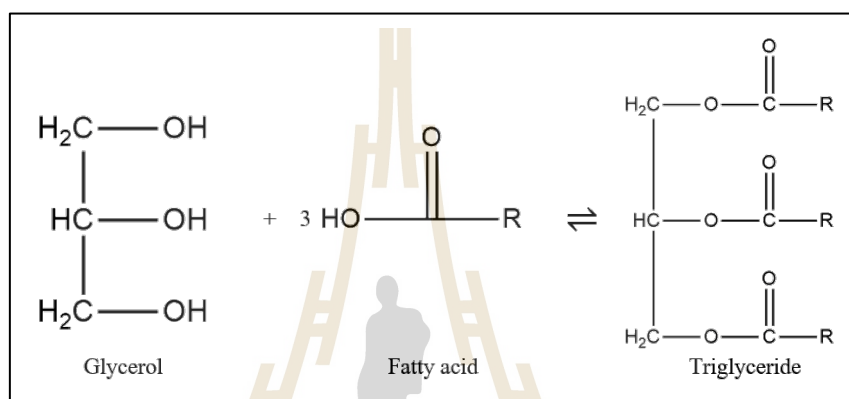
1. ประเภทของแข็ง ได้แก่ พืชแห้ง เช่น ไม้ หญ้าแห้ง ฟาง เป็นต้น พืชผักต่าง ๆ เช่น ข้าวโพด ข้าว มันสำปะหลัง ถั่ว ฟ้าย ปาล์ม เป็นต้น
2. ประเภทของเหลว ได้แก่ เอทานอล เมทานอล บิวทานอล เป็นต้น นอกจากนี้ยังนำมันที่ได้จากของเสียต่าง ๆ เช่น การสกัดน้ำมันที่คล้ายปิโตรเลียมจากของเสีย ผลิตที่ได้เป็นมีเทนและน้ำมันจากขยะ
3. ประเภทแก๊ส เกิดจากการสลายตัวตามธรรมชาติที่ได้จากการหมักขยะมูลฝอย นอกจากนี้ยังมีไฮโดรเจนที่ผลิตจากน้ำโดยกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis) หรือผลิตโดยการแตกตัวของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น

2.2 น้ำมันพืช (Vegetable oil)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันพืช

พืชหลายชนิดสามารถนำมาสกัดน้ำมันได้ เช่น ปาล์ม ถั่วลิสง ถั่วเหลือง ดอกทานตะวัน ดอกคำฝอย มะพร้าว ละหุ่ง รำข้าว เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ในการบริโภคน้ำมันพืชที่ได้มีความหนืดสูง เพราะมีไตรกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบหลัก แสดงโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันพืช ดังรูปที่ 2.1 ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) เป็นไขมันที่ประกอบด้วยกรดไขมันสามโมเลกุลรวมตัวกับกลีเซอรอลหนึ่งโมเลกุล เป็นพลังงานสะสมในสัตว์ และใช้สะสมใต้ผิวหนังเพื่อรักษาอุณหภูมิของร่างกาย



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์

โดยทั่วไปน้ำมันพืชมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบระหว่าง 12 ถึง 18 อะตอม องค์ประกอบของกรดไขมันหลักของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของกรดไขมันหลักของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ ที่ใช้เพื่อการบริโภค

(Hui และคณะ, 1996)

องค์ประกอบ กรดไขมัน	น้ำมันพืช (%)								
	มะพร้าว	เมล็ดใน ปาล์ม	ปาล์ม	ถั่วลิสง	เมล็ดเรพ	ถั่วเหลือง	ทานตะวัน	ข้าวโพด	รำข้าว
C<12:0	15	-	-	-	-	-	-	-	-
C12:0*	47.5	50.4	0.2	-	-	0.1	-	-	-
C14:0	18.1	17.3	1.1	-	0.1	0.2	0.1	0.1	0.3
C16:0	8.8	7.9	44.0	8.1	3.5	10.7	6.0	12.9	15.0
C18:0	2.6	2.3	4.5	1.5	1.5	3.9	4.0	2.5	1.7
อื่น ๆ (C20:0, C22:0, C14:0)	0.1	-	0.4	4.2	0.9	0.2	1.1	-	0.6

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของกรดไขมันหลักของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ ที่ใช้เพื่อการบริโภค
(Hui และคณะ, 1996) (ต่อ)

องค์ประกอบ กรดไขมัน	น้ำมันพืช (%)								
	มะพร้าว	เมล็ดใน ปาล์ม	ปาล์ม	ถั่วลิสง	เมล็ดเรพ	ถั่วเหลือง	ทานตะวัน	ข้าวโพด	รำข้าว
ปริมาณกรดไขมัน อิ่มตัวทั้งหมด	92.1	86	50.2	13.8	6.0	15.0	11.2	15.4	17.6
C16:1	-	-	0.1	-	0.2	0.3	<1.0	-	-
C18:1	6.2	11.8	39.2	49.9	60.1	22.8	16.5	33.1	43.0
C18:2	1.6	2.1	10.1	35.4	20.1	50.8	71.7	48.8	37.4
อื่น ๆ (C18:3, C20:1, C22:1, C24:0)	Trace	Trace	0.4	Trace	11.2	6.8	0.6	2.6	1.5
ปริมาณกรด ไขมันไม่อิ่มตัว ทั้งหมด	7.8	13.9	49.7	85.3	91.6	80.7	88.8	84.5	81.9

*หมายเหตุ: ตัวอย่าง C12:0 หมายถึง โนโมเลกุลมี 12 คาร์บอนอะตอมไม่มีพันธะคู่ในโมเลกุล

ความนิยมในการนำน้ำมันพืชมาผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ สาเหตุเพราะสมบัติของน้ำมันพืชสามารถปรับให้มีความใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลได้ แต่โดยส่วนใหญ่จะนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบหมุนปานกลางและหมุนช้า เช่น เครื่องยนต์ดีเซลขับเคลื่อนกำลังที่ติดตั้งตามโรงงานต่าง ๆ ซึ่งมีรอบการทำงานต่ำ ประมาณ 500-1,000 รอบต่อนาที เครื่องยนต์ประเภทนี้ไม่ต้องการน้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนสูงมากนัก สมบัติของน้ำมันพืชแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพบางประการของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ (นิจวรรณ อนันตกริตติ, 2556)

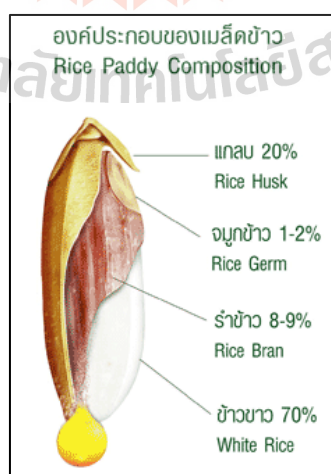
ชนิดของน้ำมัน	ค่าความหนาแน่น, 21°C (g/ml)	ความหนืด, 21°C (cP)	ค่าความร้อน (MJ/kg)
น้ำมันถั่วเหลือง	0.918	57.2	39.350
น้ำมันดอกทานตะวัน	0.918	60.0	39.490
น้ำมันมะพร้าว	0.915	51.9	37.540
น้ำมันถั่วลิสง	0.914	67.1	39.470
น้ำมันปาล์ม	0.898	88.6	39.550
น้ำมันรำข้าว	0.920	59.3	33.730
น้ำมันดีเซล	0.845	3.8	46.800

2.3 น้ำมันรำข้าว (Rice bran oil)

ประเทศไทยมีพื้นที่นาข้าวประมาณ 70 ล้านไร่ ข้าวที่ได้จากการเก็บเกี่ยวมีประมาณ 32 ล้านตันต่อปี (20.5 ล้านตันข้าวสาร) เมื่อผ่านการขัดสีแล้ว รำข้าวที่เหลือจะปริมาณประมาณ 2.88 ล้านตันต่อปี ในรำข้าวจะมีองค์ประกอบของน้ำมัน 17% ของน้ำหนักรำข้าว ดังนั้นสามารถสกัดน้ำมันรำข้าวได้ประมาณ 5 แสนตันต่อปี ภายในประเทศมีความต้องการบริโภคข้าว 10-12 ล้านตันข้าวสารและที่เหลือคือข้าวที่ส่งออก ซึ่งประเทศไทยส่งออกข้าวคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 24% ของปริมาณการส่งออกข้าวทั่วโลก ตามด้วยอินเดีย (22%) และเวียดนาม (17%) อย่างไรก็ตามอุตสาหกรรมข้าวไทยมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากโครงการรับจำนำข้าว ทำให้ฤดูกาลผลิตปี พ.ศ. 2554 และ 2555 ข้าวไทยมีราคาสูงขึ้นและสูงกว่าตลาดโลก และประเทศไทยประสบปัญหาความวุ่นวายทางการเมือง ทำให้การระบายข้าวสู่ตลาดโลกเกิดการสะดุด โดยปริมาณข้าวเปลือกคงค้างอยู่ที่ 41.3 ล้านตัน รายงานเมื่อวันที่ 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2556 (วาริรัตน์ เพชรลีช่วง, 2559)

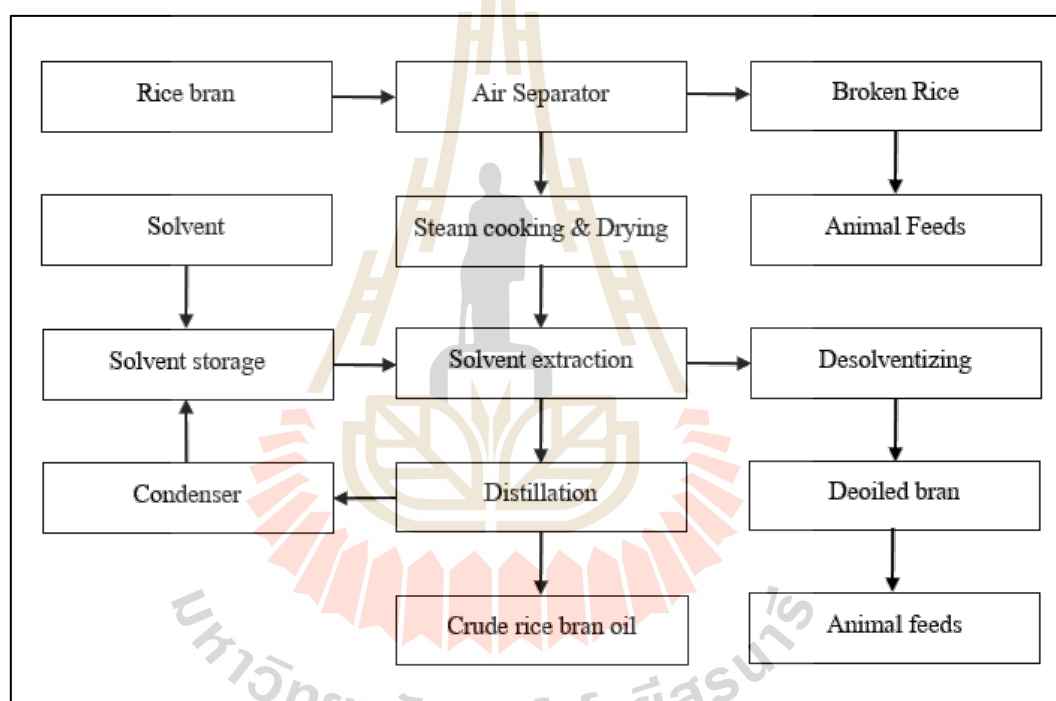
จากที่ได้กล่าวไปข้างต้น นอกจากการจำหน่ายข้าวภายในประเทศ และการส่งออกแล้ว ข้าวเปลือกสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่า เช่น ขนมหั่นกึ่งเดียว เนยขาว ครีมเทียมที่ปราศจากไขมันทรานส์ ผลิตภัณฑ์อาหารเสริม เครื่องสำอาง และน้ำมันรำข้าว เป็นต้น ซึ่งตัวน้ำมันรำข้าวนี้เองที่มีความน่าสนใจในการนำมาต่อยอดผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ เนื่องจากตามข้อมูลตารางที่ 2.2 น้ำมันรำข้าวมีความหนืดน้อยกว่าน้ำมันปาล์ม

น้ำมันรำข้าวคือ น้ำมันที่ได้จากการสกัดส่วนที่อยู่ระหว่างส่วนเปลือกนอกของเมล็ดข้าว (แกลบ) กับข้าวขาว แสดงส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดข้าวดังรูปที่ 2.3 แกลบและรำข้าวโดยทั่วไปแล้วเกษตรกรนำไปผลิตอาหารสัตว์หรือปุ๋ย ซึ่งการสกัดน้ำมันรำข้าวจัดเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ข้าว



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของเมล็ดข้าว

เมื่อเข้าสู่กระบวนการสกัดน้ำมันรำข้าว (Rice bran oil extraction process) จะได้น้ำมันรำข้าวประมาณ 17% ของน้ำหนักรำข้าว และหากนำน้ำมันรำข้าวที่ได้ไปกลั่นเพื่อเพิ่มความบริสุทธิ์ยิ่งขึ้นจะได้น้ำมันรำข้าวประมาณ 12% ของน้ำหนักรำข้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบ กระบวนการสกัดเริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบโดยการนำรำข้าวเข้าสู่เครื่องแยกด้วยลม (Air separation) เพื่อแยกสิ่งแปลกปลอม เช่น ฟัน ฟางข้าว เมล็ดข้าว เป็นต้น จากนั้นใช้ไอน้ำความร้อนสูง เพื่อหยุดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของเอนไซม์ไลเปส (Lipase) ในรำข้าว แล้วนำเข้าสู่กระบวนการสกัดโดยใช้เฮกเซน (Hexane) เป็นตัวทำละลาย โดยสารที่สกัดได้ จะนำไปกลั่นเพื่อแยกเฮกเซนออกจากน้ำมันรำข้าว กระบวนการสกัดน้ำมันรำข้าวแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กระบวนการสกัดน้ำมันรำข้าว

2.4 กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

2.4.1 การใช้โดยตรงหรือการผสมกับน้ำมันดีเซล

การใช้โดยตรงหรือการผสมกับน้ำมันดีเซล (Direct use or blending) น้ำมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์หากนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง หรือนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยไม่ผสมหรือเติมสารเคมีอื่น เนื่องจากน้ำมันที่ได้จากพืช หรือสัตว์มีความหนืดสูง จะส่งผลต่อหัวฉีดน้ำมัน ทำให้ฉีดน้ำมันเป็นฝอยได้ยาก เกิดอุปสรรคในการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงเข้า

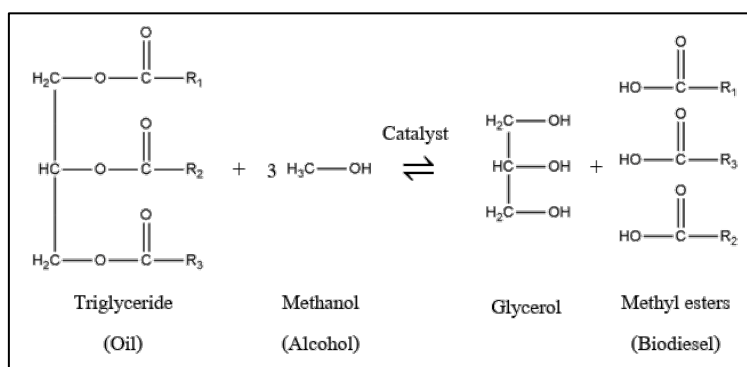
คู่มือเผาไหม้ ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และน้ำมันที่ได้จากพืชหรือสัตว์นั้นระเหยเป็นไอได้ช้าและน้อยมาก ทำให้เกิดการจุดระเบิดยาก หลงเหลือคราบเขม่าเกาะติดที่อุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ เป็นสาเหตุที่ทำให้วิธีการนี้ไม่ได้รับความนิยม เนื่องจากไม่สามารถแก้ปัญหาเรื่องความหนืด และปัญหาอื่น ๆ ได้

2.4.2 ไพโรไลซิส

ไพโรไลซิส (Pyrolysis) คือ ปฏิกิริยาการสลายโมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงด้วยความร้อนในสถานะที่ไม่มีอากาศ โดยการใช้ความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงสลายโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนให้เกิดขึ้นเป็นสารประกอบอื่นหลายชนิด เช่น อัลเคน (Alkane) อัลคีน (Alkene) อัลไคน์ (Alkyne) รวมถึงสารประกอบอะโรมาติก (Aromatic compound) และกรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic acid) โดยเมื่อน้ำมันพืชผ่านกระบวนการไพโรไลซิสจะพบว่า ปริมาณของซัลเฟอร์ น้ำ และตะกอน เป็นที่ยอมรับได้ แต่ปริมาณเถ้าคาร์บอน และจุลชีพยังไม่เป็นที่ยอมรับเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล

2.4.3 ทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน

ทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) หรือแอลกอฮอล์ไลซิส (Alcoholysis) เป็นปฏิกิริยาที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อลดความหนืดของไตรกลีเซอไรด์ โดยเปลี่ยนน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่เป็นสารประกอบประเภทไตรกลีเซอไรด์ให้เป็นสารประกอบประเภทอัลคิลเอสเทอร์ โดยทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ ซึ่งแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในการแทนที่ ได้แก่ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล และบิวทานอล แต่แอลกอฮอล์ที่นิยมใช้ในปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันคือ เมทานอล และเอทานอล โดยเฉพาะเมทานอลเนื่องจากมีราคาถูก และมีสมบัติทางเคมีและกายภาพที่ดี เรียกว่า “ปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ไลซิส” โดยมีผลิตภัณฑ์อื่นที่ได้คือ กลีเซอรอล แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification)

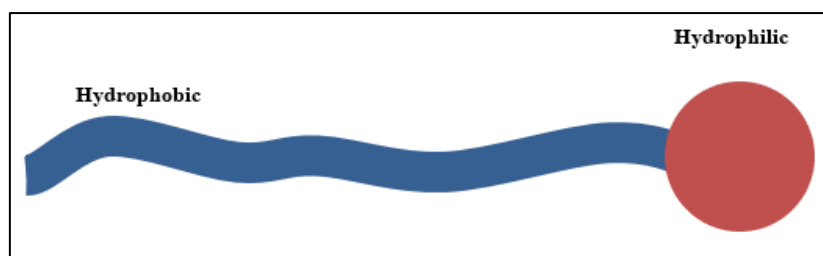
ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้จึงต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าได้เร็วขึ้น ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันสามารถใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาได้หลายประเภททั้งในรูปของแข็งและของเหลว

2.4.4 ไมโครอิมัลชัน

วิธีไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) เป็นวิธีการลดความหนืดของน้ำมันพืชที่นำมาใช้กับเครื่องยนต์ โดยการทำให้ให้เกิดสารประเภทอิมัลชันอนุภาคขนาดเล็กกระจายตัวของเหลว ซึ่งเดิมมันไม่อาจจะกลายเป็นเนื้อเดียวกันให้ได้ขนาดอนุภาคขนาด 10-100 nm โดยใช้สารลดแรงตึงผิว และสารร่วมลดแรงตึงผิวช่วยในการประสานของเหลวทั้งสองชนิดที่ไม่รวมตัวกันให้เป็นสารเนื้อเดียวกันได้ วิธีไมโครอิมัลชันเป็นการผสมระหว่างน้ำมันพืช เอทานอล สารลดแรงตึงผิว และสารร่วมลดแรงตึงผิว เพื่อให้เกิดของผสมเนื้อเดียวกันที่มีความเสถียรทางอุณหพลศาสตร์ กระบวนการนี้สามารถแก้ปัญหาความหนืดของน้ำมันพืชที่สูงได้ (Ma และ Hanna, 1999) ข้อดีของกระบวนการไมโครอิมัลชันคือ ต้นทุนในการผลิตต่ำ ใช้อุปกรณ์ไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการผลิต ได้รับน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ 100% เนื่องจากไม่มีปฏิกิริยาเคมีมาเกี่ยวข้อง แต่อาจได้สมบัติของเชื้อเพลิงไม่เป็นไปตามมาตรฐานในทุกสมบัติที่กำหนด

2.5 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

สารลดแรงตึงผิว คือสารสามารถกระทำต่อพื้นผิวระหว่างวัฏภาคได้ และส่งผลต่อสมบัติพื้นผิวระหว่างวัฏภาค คำว่า “Surfactant” มาจากคำว่า “Surface Active Agent” โดยลักษณะของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวมีส่วนที่สำคัญจะมี 2 ส่วน คือ ส่วนหัวที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และส่วนหางที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) แสดงลักษณะ โครงสร้างของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

ส่วนหางของสารลดแรงตึงผิวเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน คือ มีธาตุคาร์บอน และไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนหัวเป็นหมู่ฟังก์ชันที่อาจมีประจุหรือไม่มีประจุก็ได้ การที่สองส่วนมีสมบัติตรงข้ามกัน ทำให้สารลดแรงตึงผิวสามารถเป็นตัวประสานระหว่างสอง ภูมิภาคที่มีสภาพขั้วต่างกันให้สามารถผสมเข้ากันได้ เช่น น้ำและน้ำมัน ที่ปกติไม่รวมตัวกัน และแยกชั้นอย่างชัดเจน แต่เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวลงไป สารลดแรงตึงผิวจะทำการประสาน ระหว่างผิวน้ำและน้ำมัน ทำให้สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันเนื่องจากไปลดแรงตึงผิวที่เกิดขึ้น โดยส่วนใหญ่แล้วสารลดแรงตึงผิวที่รู้จักกันจะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด ที่ใช้ในครัวเรือนและอุตสาหกรรม เช่น น้ำยาล้างจาน ผงซักฟอก ยาสระผม น้ำยาล้างจาน ครีมนวด ผสม เป็นต้น สารลดแรงตึงผิวแบ่งออกเป็นหลายกลุ่ม ขึ้นอยู่กับประจุไฟฟ้าบนโมเลกุล โดยพิจารณา เมื่อละลายและแตกตัวในน้ำ โดยสามารถแยกได้เป็น 5 ประเภทหลัก

2.5.1 ชนิดของสารลดแรงตึงผิว

1) สารลดแรงตึงผิวแบบประจุลบ (Anionic surfactant) คือ สารลดแรงตึงผิวที่ เมื่อแตกตัวในน้ำแล้วส่วนหัวแสดงประจุไฟฟ้าเป็นประจุลบ ซึ่งในเชิงพาณิชย์สารลดแรงตึงผิว ประจุลบมักอยู่ในรูปของ Carboxylic acid salts, Sulfonic acid salts, Sulfuric acid ester salts และ Phosphoric and polyphosphoric acid ester ใช้ในการผลิตสบู่ แชมพูสระผม ผงซักฟอก น้ำยา ล้างจาน ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดต่าง ๆ เป็นต้น

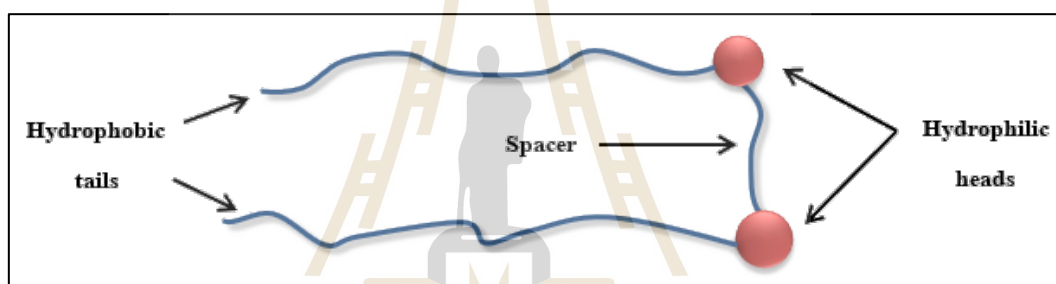
2) สารลดแรงตึงผิวแบบประจুবวก (Cationic surfactant) คือ สารลดแรงตึงผิวที่ เมื่อแตกตัวในน้ำส่วนหัวแสดงประจุไฟฟ้าเป็นประจুবวก ส่วนมากเป็นสารจำพวก Long-chain amines and their salts, Quaternary ammonium salts ซึ่งจะไม่สามารถทำงานได้ภายใต้สภาพที่ สารละลายเป็นกรด เนื่องจากเกลือแอมโมเนียจะสูญเสียประจুবวก ทำให้เกิดการตกตะกอน สารลด แรงตึงผิวประจুবวกส่วนมากมีความเป็นพิษ สามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียได้ บางตัวจึงใช้เป็นสารกัน เสียน และยังใช้ผลิตครีมนวดผมเพื่อไปหักล้างประจุจากการสระผมด้วยแชมพู เป็นต้น

3) สารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ (Nonionic surfactant) คือ สารลดแรงตึงผิว ที่ชนิดนี้ไม่แตกตัวในน้ำจึงไม่มีประจุ ส่วนมากพบสารกลุ่มโพลีเอสเตอร์ (Polyether) หรือ โพลีไฮดรอกซี (Polyhydroxy) สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุส่วนมากไม่มีฟอง มีความสามารถ ในการทำความสะอาดได้ดีมากทุกสภาวะ เช่น น้ำกระด้าง กรดต่าง เป็นต้น และมักนิยมนำมาใช้เป็น ตัวประสาน (Emulsifier) เนื่องจากมีสมบัติที่เหมาะสมกว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดอื่น

4) สารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุลบและประจুবวก (Amphoteric surfactant หรือ Zwitterionic) คือ เมื่อแตกตัวสารกลุ่มนี้จะแสดงประจุใดประจุหนึ่งขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม หากสภาพแวดล้อมมีความเป็นกรด สารจะแตกตัวและแสดงประจুবวก หากสภาพแวดล้อมมี

ความเป็นต่าง เมื่อสารแตกตัวจะแสดงประจุลบ สมบัติหลักของสารลดแรงตึงผิวชนิดนี้คือจะไม่ระคายเคืองต่อผิว และสามารถทำงานได้ทั้งในสภาพที่เป็นกรดและด่าง

5) สารลดแรงตึงผิวชนิดคู่ (Gemini surfactant) สารลดแรงตึงผิวชนิดคู่นี้มีส่วนหัวที่ชอบน้ำ (Hydrophilic head) 2 หัว และส่วนหางที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic tails) 2 หาง เชื่อมต่อกันด้วยสายเชื่อม (Linkage หรือ Spacer) ความยาวของสายเชื่อมนี้อาจทำให้สมบัติของสารเปลี่ยนไปด้วย สารลดแรงตึงผิวชนิดคู่ได้รับความสนใจในด้านการศึกษาและเชิงพาณิชย์ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1993 เมื่อมีการเผยแพร่สมบัติของสารลดแรงตึงผิวที่ดีกว่าสารลดแรงตึงผิวเดิม ซึ่งสารลดแรงตึงผิวชนิดคู่นี้มีประสิทธิภาพในการลดแรงตึงผิวได้ดีกว่าสารลดแรงตึงผิวปกติอย่างมาก และมีค่าความเข้มข้นวิกฤตการเกิดไมเซลล์ (CMC) ต่ำกว่า 10-10,000 เท่า ลักษณะของสารลดแรงตึงผิวชนิดคู่ ดังรูปที่ 2.7 และตัวอย่างของสารลดแรงตึงผิวชนิดคู่ ดังตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.7 สารลดแรงตึงผิวชนิดคู่ (Gemini surfactant)

ตารางที่ 2.3 C_{20} และ CMC ของสารลดแรงตึงผิวชนิดคู่และการเปรียบเทียบกับสารลดแรงตึงผิวปกติที่อุณหภูมิ 25°C

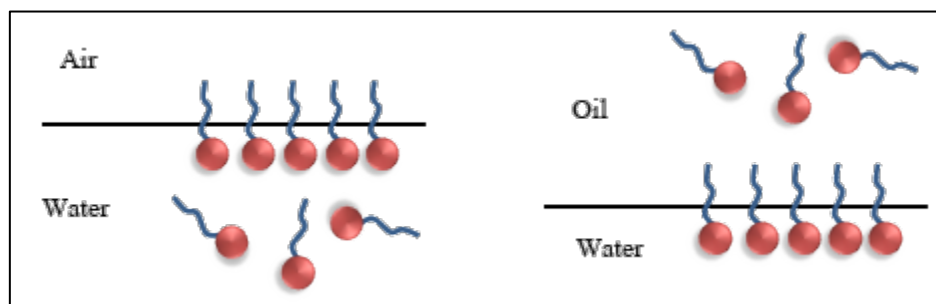
Compound	Medium	C_{20} (10^{-6}) M	CMC (10^{-6}) M	Reference
Conventional surfactant				
$C_{11}H_{23}COO^-Na^+$	H_2O	5,000	20,000	Zhu, 1993
$C_{12}H_{25}SO_3^-Na^+$	H_2O	4,400	9,800	Zhu, 1991
$C_{12}H_{25}SO_4^-Na^+$	H_2O	3,100	8,200	Zhu, 1990
$C_{12}H_{25}N^+(CH_3)_3 \cdot Br$	H_2O	8,000	16,000	Rosen, 1996
$C_{12}H_{25}N^+(CH_3)_3 \cdot Cl^-$	0.1 M NaCl	1,950	5,760	Li, 2001

ตารางที่ 2.3 C_{20} และ CMC ของสารลดแรงตึงผิวชนิดคู่และการเปรียบเทียบกับสารลดแรงตึงผิวปกติที่อุณหภูมิ 25°C (ต่อ)

Compound	Medium	C_{20} (10^{-6}) M	CMC (10^{-6}) M	Reference
$C_{11}H_{23}CONHCH[(CH_2)_3NHC(NH_2)_2^+]$ $COOCH_3 \cdot Cl^-$	H ₂ O	630	6,000	Perez, 1998
$C_{11}H_{23}CONHCH[(CH_2)_3NHC(NH_2)_2^+]$ $COOCH_3 \cdot Cl^-$	0.1 M NaCl	50	270	Perez, 1998
Gemini surfactant				
$[C_{10}H_{21}OCH_2CH(OCH_2COO^-Na^+)$ $CH_2]_2O$	H ₂ O	4	84	Zhu, 1993
$[C_{10}H_{21}OCH_2CH(OCH_2CH_2CH_2SO_3^-$ $Na^+)]_2O$	H ₂ O	8	33	Zhu, 1992
$[C_{10}H_{21}OCH_2CH(SO_4^-Na^+)CH_2OCH_2]_2$	H ₂ O	1	13	Zhu, 1990
$[C_{12}H_{25}N^+(CH_3)_2CH_2]_2 \cdot 2Br^-$	H ₂ O	-	840	Zana, 1991
$[C_{12}H_{25}N^+(CH_3)_2CH_2CHOH]_2 \cdot 2Br^-$	H ₂ O	129	700	Rosen, 1996
$[C_{12}H_{25}N^+(CH_3)_2CH_2]_2CHOH \cdot 2Cl^-$	0.1 M NaCl	0.9	936	Song, 1996
$[C_{12}H_{25}N^+(CH_3)_2CH_2CHOH]_2 \cdot 2Br^-$	0.1 M NaCl	0.9	21	Rosen, 1996
$(C_{11}H_{23}CONHCH[(CH_2)_3NHC(NH_2)_2^+]$ $CONHCH_2)_2 \cdot 2Cl^-$	H ₂ O	1.9	9.5	Perez, 1998
$(C_{11}H_{23}CONHCH[(CH_2)_3NHC(NH_2)_2^+]$ $CONHCH_2)_2 \cdot 2Cl^-$	0.1 M NaCl	1	9.2	Perez, 1998

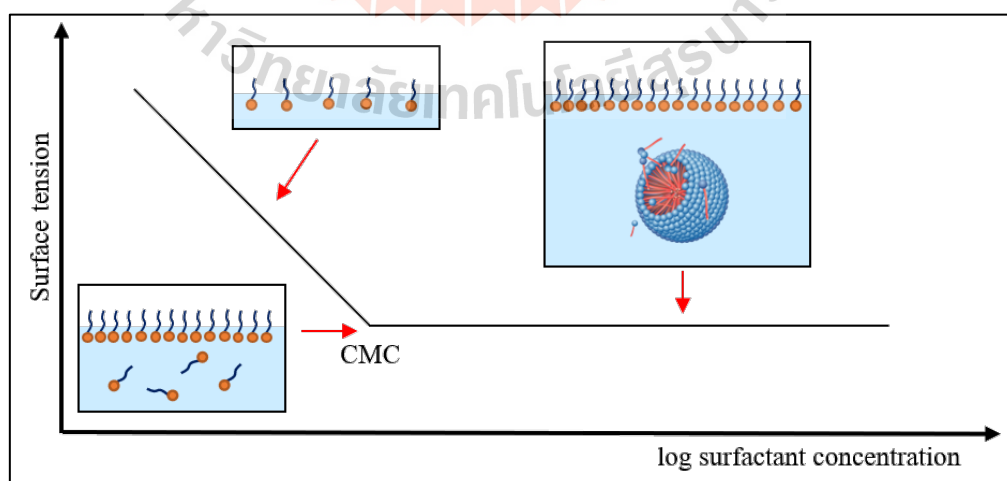
2.5.2 การจัดเรียงตัวของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว

เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวลงในน้ำ โมเลกุลของสารจะรวมตัวกันบริเวณผิวสัมผัสระหว่างวัฏภาค เช่น ระหว่างน้ำกับอากาศ หรือน้ำกับน้ำมัน โดยส่วนหัวที่มีขั้วจะหันลงในน้ำ ส่วนหางจะหันไปทางอากาศ ทั้งนี้ทิศทางของโมเลกุลขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างสภาพความเป็นขั้วระหว่างวัฏภาคทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 2.8



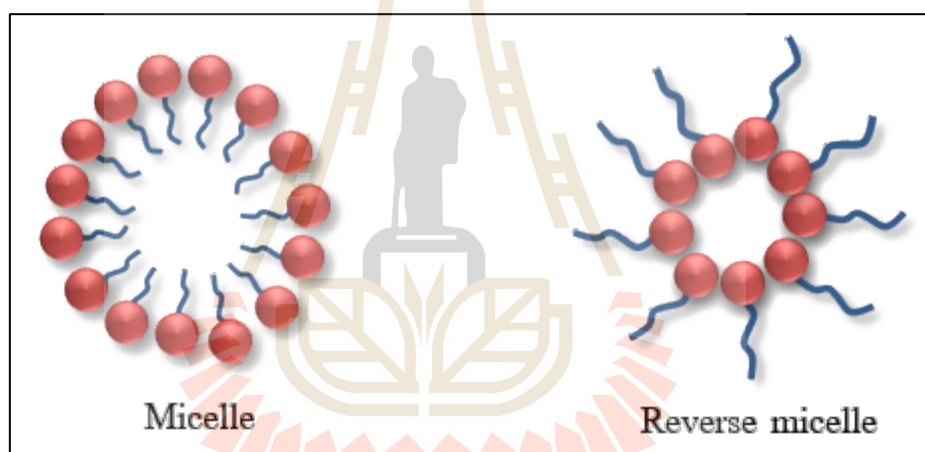
รูปที่ 2.8 การจัดเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิวในสถานะต่าง ๆ

เมื่อโมเลกุลสารลดแรงตึงผิวมีจำนวนมากขึ้น หรือสารลดแรงตึงผิวมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นจะทำให้แรงตึงผิวระหว่างผิววฏภาคลดลง ทำให้บริเวณผิวสัมผัสอิมตัวไปด้วยโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว และในสารละลายจะมีโมเลกุลที่ไม่สามารถแทรกเข้าไปได้กระจายตัวอยู่บริเวณผิวสัมผัสในน้ำมากขึ้นจนเห็นโมเลกุลด้านที่ไม่ชอบน้ำเข้าหากัน เกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า “ไมเซลล์ (Micelle)” โดยความเข้มข้นที่เกิดการรวมตัวของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวเป็นไมเซลล์จะเรียกว่า “ค่าความเข้มข้นวิกฤตการเกิดไมเซลล์ (Critical Micelle Concentration, CMC)” ซึ่งเป็นจุดที่มีความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวน้อยที่สุดที่ทำให้แรงตึงผิวมีค่าต่ำสุด จุดวิกฤตการเกิดไมเซลล์นี้แม้จะมีการเพิ่มความเข้มข้นหรือปริมาณของสารลดแรงตึงผิวอีก แต่จะไม่ทำให้แรงตึงผิวของของเหลวลดลงเพราะ โมเลกุลสารลดแรงตึงผิวที่รวมตัวเป็นไมเซลล์ไม่มีบทบาทการลดแรงตึงผิวระหว่างผิววฏภาค แต่จะทำให้เกิดวฏภาคไมเซลล์เพิ่มจำนวนมากขึ้น ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 Critical micelle concentration (CMC)

ค่าความเข้มข้นวิกฤตการเกิดไมเซลล์ เป็นค่าที่บ่งบอกประสิทธิภาพในการทำงานของสารลดแรงตึงผิว เช่น สารลดแรงตึงผิวมีค่า CMC ต่ำ แสดงว่าใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวน้อยในการลดแรงตึงผิวของสารละลายให้ได้ต่ำที่สุด แต่ถ้าสารลดแรงตึงผิวมีค่า CMC สูง แสดงว่าจะใช้ปริมาณสารลดแรงตึงผิวมาก โดยปกติในสารละลายมีขี้ เช่น น้ำ รูปร่างของไมเซลล์จะมีลักษณะที่สารลดแรงตึงผิวหันส่วนหางที่ไม่ชอบน้ำจับตัวกันอยู่ภายใน และปกคลุมด้วยส่วนหัวที่ชอบน้ำอยู่ภายนอก โดยมีการจัดเรียงตัวเป็นทรงกลม เรียกว่า “ไมเซลล์แบบธรรมดา (Normal micelle)” แต่ในทางตรงข้ามในสารละลายไม่มีขี้ การจัดเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิวในไมเซลล์จะเป็นแบบที่ส่วนหัวที่ชอบน้ำจะรวมตัวกันอยู่ภายใน และส่วนหางก็จะหันออกสู่ภายนอกสารละลายที่ไม่มีขี้ เรียกว่า “ไมเซลล์แบบกลับทิศ (Reverse micelle)” แสดงลักษณะความแตกต่างของไมเซลล์แบบธรรมดา และไมเซลล์แบบกลับทิศ แสดงดังรูปที่ 2.10

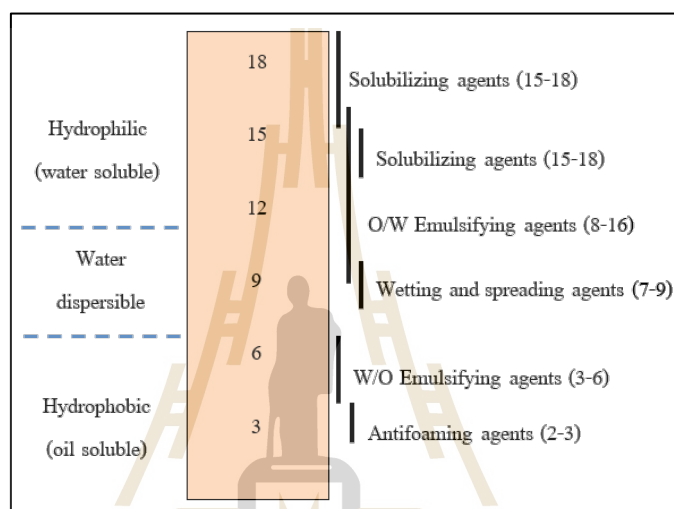


รูปที่ 2.10 ลักษณะการเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิว

2.5.3 การแบ่งสารลดแรงตึงผิวตามดุลความชอบน้ำและน้ำมัน (HLB system)

ระบบ HLB (Hydrophilic-Lipophilic Balance) เป็นระบบที่ใช้แบ่งสมบัติของสารลดแรงตึงผิวตามสมดุลของความชอบน้ำและน้ำมันของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวที่ชอบน้ำมากกว่าจะมีค่า HLB สูง และละลายน้ำได้ดี ขณะที่สารลดแรงตึงผิวที่มีความชอบน้ำมันมากกว่าจะมีค่า HLB ต่ำ และละลายในน้ำมันได้ดี สามารถพิจารณาการนำสารลดแรงตึงผิวไปประยุกต์ในงานต่าง ๆ ได้จากค่าสมดุลระหว่างกลุ่มชอบน้ำและกลุ่มชอบน้ำมัน หากพิจารณาในกลุ่มของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้เป็นตัวประสาน (Emulsifier) โดยทั่วไปสารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB สูง คือ 8-18 ($HLB > 7$) ละลายน้ำได้ดี เหมาะกับอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ

ส่วนสารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB ต่ำ คือ 4-6 ($HLB < 7$) ละลายน้ำได้ไม่ดี จึงเหมาะสมกับอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (ปิยธร และปรีชา, 2540 อ้างถึงใน นิจวรรณ อนันตรกิตติ, 2556) ส่วนค่า HLB ระหว่าง 6-8 มักใช้เป็นสารลดความชื้นจึงไม่แนะนำให้ใช้ และค่า HLB ต่ำกว่า 4 และมากกว่า 18 จะมีค่าแรงตึงผิวต่ำจึงไม่นิยมใช้ หรือต้องพิจารณาการใช้สารร่วมลดแรงตึงผิว (Co-surfactant) ซึ่งเป็นสารประเภทแอลกอฮอล์ที่มีความยาวของโซ่ไฮโดรคาร์บอนปานกลาง (C4-C8) หรือเกลือเพื่อให้ระบบผสมเกิดเป็นสารไมโครอิมัลชัน แสดงช่วงของ HLB ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ช่วงค่า HLB ของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้บอกประเภทของการเกิดไมโครอิมัลชันต่าง ๆ

2.6 อิมัลชัน (Emulsion)

อิมัลชัน คือ การทำให้สารสองชนิดที่ไม่สามารถละลายเข้าด้วยกัน ให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันได้โดยอาศัยตัวประสาน เรียกว่า “ตัวทำอิมัลชัน (Emulsifier)” อิมัลชันที่เกิดขึ้นหากมองด้วยตาเปล่าจะสังเกตเห็นเป็นเนื้อเดียวกัน แต่หากใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูง จะสังเกตเห็นเป็นสอง ภูมิภาคคือ เห็นของเหลวชนิดหนึ่งเป็นอนุภาคขนาดเล็ก เรียกว่า “ภูมิภาคภายใน (Internal or Dispersed phase)” กระจายตัวอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่ง เรียกว่า “ภูมิภาคภายนอก (External or Continuous phase)” โดยอิมัลชันแต่ละชนิดสามารถแบ่งออกได้ ดังนี้

2.6.1 ชนิดของอิมัลชัน

2.6.1.1 แบ่งตามลักษณะภายนอกที่มองเห็น

1. มาโครอิมัลชัน (Macroemulsion) คือ อิมัลชันขุ่นขาวที่พบทั่วไป อนุภาคของภูมิภาคภายในมีขนาด 2,000-20,000 nm (2-20 μm) มาโครอิมัลชันมีขนาดอนุภาค

ของวิภาคภายในขนาดใหญ่ทำให้เกิดการกระเจิงแสงจึงมองเห็นเป็นลักษณะสีขาวขุ่น
มาโครอิมัลชันเป็นอิมัลชันที่พบมากสุดในอุตสาหกรรมอาหาร ยา และเครื่องสำอาง

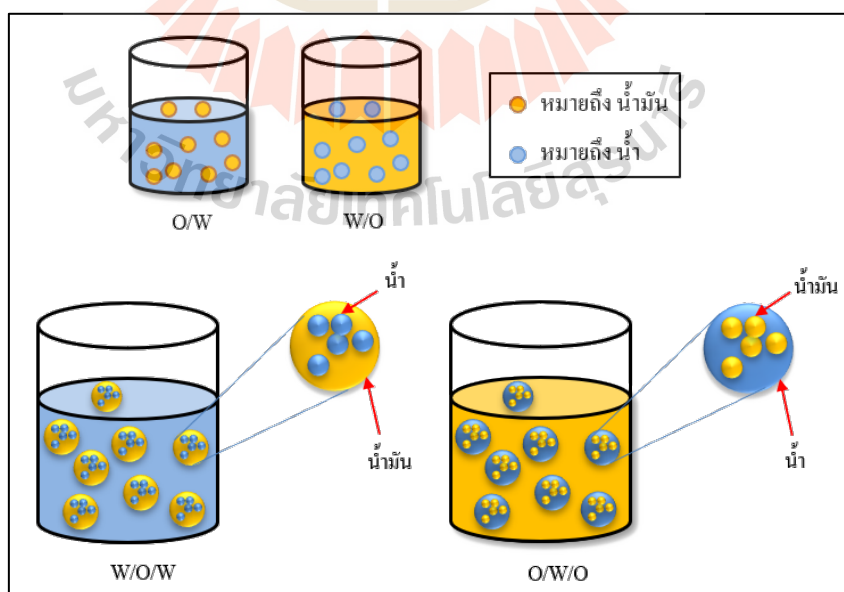
2. ไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) มีลักษณะโปร่งใสเนื่องจากอนุภาค
ของวิภาคภายในมีขนาด 10-100 nm (0.01-0.1 μm) ไมโครอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคภายในเล็กมาก
จะทำให้ไม่เกิดการกระเจิงแสงหรือเกิดการกระเจิงแสงน้อยมากจึงมองเห็นอิมัลชันในลักษณะ
โปร่งใสหรือโปร่งแสง

2.6.1.2 แบ่งตามชนิดของเหลวที่เป็นวิภาคภายในและวิภาคภายนอก

1. อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in water emulsion, O/W emulsion)
ส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิวที่มีขั้วซึ่งชอบน้ำจะอยู่ด้านนอก วิภาคภายในคือ น้ำมัน วิภาค
ภายนอกคือน้ำ เรียกการเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิวนี้ว่า “ไมเซลล์ (Micelle)”

2. อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (Water in oil emulsion, W/O emulsion) คือ
ส่วนหางของสารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีขั้วซึ่งชอบน้ำมันจะอยู่ด้านนอก วิภาคภายในเป็นน้ำ วิภาค
ภายนอกเป็นน้ำมัน ส่วนหัวหรือส่วนที่มีขั้วเป็นแกน และส่วนหางจะหันออกสู่สารละลายที่ไม่มีขั้ว
เรียกการเรียงตัวของสารลดแรงตึงผิวนี้ว่า “ไมเซลล์แบบกลับทิศ (Reverse micelle)”

3. อิมัลชันเชิงซ้อน (Multiple emulsion) คือ อิมัลชันที่มีวิภาคภายใน
ในซ้อนกันอยู่ ซึ่งเป็นของเหลวต่างชนิดกัน เช่น W/O/W (Water/Oil/Water) หรือ O/W/O
(Oil/Water/Oil)



รูปที่ 2.12 การแบ่งอิมัลชันตามชนิดของเหลวที่เป็นวิภาคภายในและวิภาคภายนอก

2.6.2 ลักษณะการเกิดไมโครอิมัลชัน

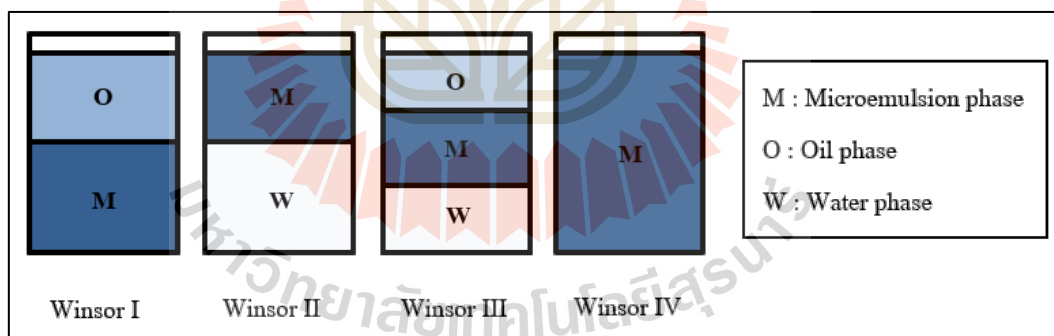
ลักษณะการเกิดไมโครอิมัลชันมี 4 แบบ ได้แก่

1) Winsor type I (Oil in water, O/W) คือ การใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB สูง ($HLB > 7$) ละลายอยู่ในชั้นน้ำ และมีโมเลกุลบางส่วนของน้ำมันเข้าไปอยู่ในชั้นน้ำโดยทั่วไป เรียกว่า ไมเซลล์ (Micelle)

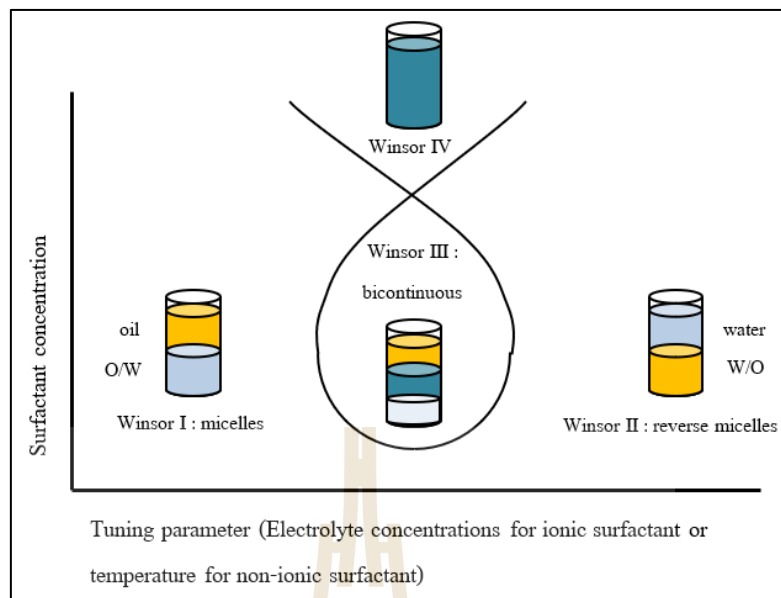
2) Winsor type II (Water in oil, W/O) หรือเรียกว่า “ไมเซลล์แบบกลับทิศ (Reverse micelle)” คือ เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB ต่ำ ($HLB < 7$) โดยการเกิดไมโครอิมัลชันแบบนี้จะเกิดจากสารลดแรงตึงผิวที่มีค่า HLB ต่ำละลายอยู่ในชั้นน้ำมัน และมีโมเลกุลบางส่วนของน้ำเข้าไปอยู่ในชั้นน้ำมันจะเกิดไมโครอิมัลชันในทิศทางตรงข้ามกับไมเซลล์

3) Winsor type III หรือ Middle phase เป็นระบบที่แยกเป็น 3 ภูมิภาค โดยเกิดไมโครอิมัลชันอยู่ที่ภูมิภาคตรงกลาง ชั้นบนเป็นน้ำมันและชั้นล่างเป็นน้ำ โดยจะเกิดกับระบบที่มีส่วนประกอบของสารลดแรงตึงผิวในปริมาณน้อย

4) Winsor type IV เกิดจากสารลดแรงตึงผิวมีความเข้มข้นสูงมาก ทำให้ในระบบไม่มีการแยกชั้นเกิดขึ้นระหว่างชั้นน้ำ ชั้นน้ำมัน และสารลดแรงตึงผิว ซึ่งจะเกิดบริเวณด้านบนของรูปที่ 2.13



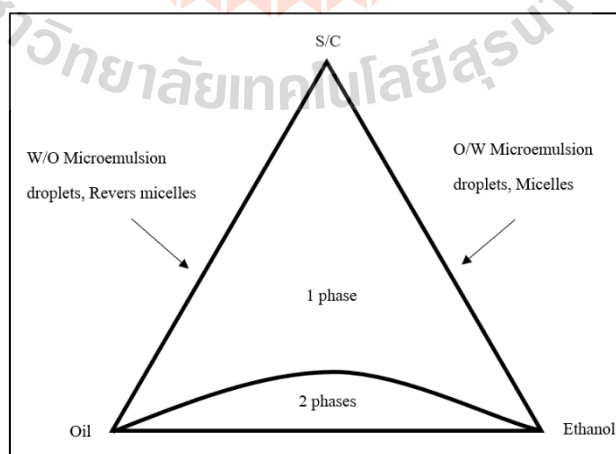
รูปที่ 2.13 ประเภทการเกิดไมโครอิมัลชันแบบ แผนภาพ Winsor



รูปที่ 2.14 ประเภทการเกิดไมโครอิมัลชัน แบบแผนผังปลา (Fish diagram)

2.7 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบ (Ternary phase diagram)

แผนภาพสามเหลี่ยมด้านเท่าประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ ได้แก่ สารลดแรงตึงผิวและสารร่วมลดแรงตึงผิว (S/C) เอทานอล และน้ำมัน ปริมาณทั้งหมดเมื่อมีการผสม สารลดแรงตึงผิว สารร่วมลดแรงตึงผิว น้ำมัน และเอทานอล เมื่อคำนวณส่วนประกอบทั้งหมดจะได้ 100% โดยปริมาตร ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบ (Ternary phase diagram)

2.8 น้ำมันดีเซล (Diesel fuel)

น้ำมันดีเซล คือ น้ำมันเชื้อเพลิงใช้สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลได้จากการกลั่นน้ำมันดิบในโรงกลั่นน้ำมัน (เช่น เดียวกับน้ำมันเบนซิน) มีจุดเดือดอยู่ที่ 180-370 °C เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ที่มีแรงอัดสูง (High compression) และสามารถจุดระเบิดได้เอง การจุดระเบิดของเชื้อเพลิงชนิดนี้เกิดขึ้นจากความร้อนของแรงอัดสูงของอากาศในกระบอกสูบ โดยไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้หัวเทียน

ลักษณะจำเพาะน้ำมันดีเซล

1. จุดเดือด 250-350 °C
2. จำนวนคาร์บอนอะตอม C13-C14
3. ประกอบด้วยสายไฮโดรคาร์บอนที่มีแขนตรงเป็นหลัก
4. มีองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น กำมะถัน ออกซิเจน และไนโตรเจน เป็นต้น

ประเภทน้ำมันดีเซล

1. น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (High speed diesel) หรือเรียกทั่วไปว่า น้ำมันโซล่า เป็นน้ำมันที่ใช้สำหรับเครื่องยนต์ที่มีรอบหมุนมากกว่า 1000 รอบ/นาที ถือเป็นชนิดน้ำมันดีเซลที่มีจำหน่ายมากในปัจจุบันตามสถานีบริการน้ำมันต่าง ๆ สำหรับใช้ในรถกระบะ รถบรรทุก รถโดยสารเครื่องปั่นไฟขนาดเล็ก เป็นต้น

2. น้ำมันดีเซลหมุนช้า (Low speed diesel) เป็นน้ำมันที่ใช้สำหรับเครื่องยนต์ที่มีรอบหมุน 300-1000 รอบ/นาที มีจำหน่ายเฉพาะสำหรับเครื่องยนต์บางประเภทเท่านั้น เช่น รถไฟ เรือยนต์ เครื่องปั่นไฟขนาดใหญ่ เป็นต้น

สมบัติของน้ำมันดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2556 แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สมบัติน้ำมันดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2556

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ
1	ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6°C	0.81 – 0.87	-	ASTM D1298
2	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C (cSt)	1.8 - 4.1	< 8.0	ASTM D445
3	จุดไหลเท (°C)	< 10	> 16	ASTM D92
4	จุดวาบไฟ (°C)	< 52	> 52	ASTM D93
5	กำมะถัน (%wt.)	< 0.005	> 1.5	ASTM D2622

ตารางที่ 2.4 สมบัติน้ำมันดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2556 (ต่อ)

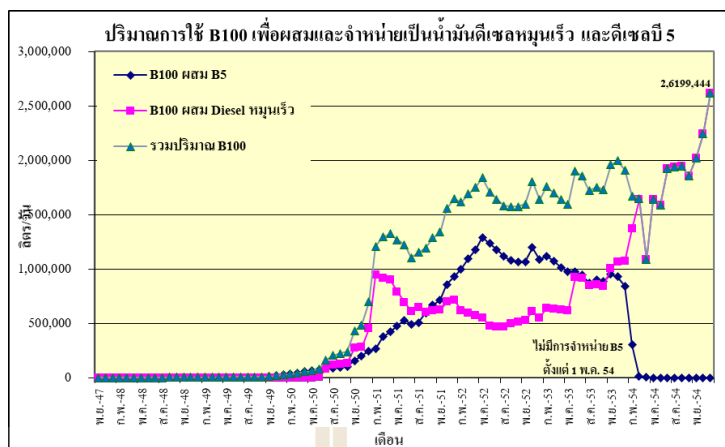
รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ
6	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (g/m ³)	< 25	-	ASTM D2274
7	จำนวนซีเทน	< 50	> 45	ASTM D613
8	เถ้า (%wt.)	< 0.01	> 0.02	ASTM D482
9	กากถ่าน (%wt.)	< 0.05	-	ASTM D189
10	น้ำและตะกอน (%vol.)	< 0.05	> 0.3	ASTM D2709
11	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง	< หมายเลข 1	-	ASTM D130
12	การกลั่น (°C)	< 357	-	ASTM D86
13	Polycyclic aromatic hydrocarbon (%wt.)	< 11	-	ASTM D2425
14	สี ความเข้มสี	เหลือง < 4.0	น้ำตาล 4.5-7.5	ASTM D1500
15	สารเติมแต่ง (ถ้ามี)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจาก อธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน		

2.9 น้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel)

น้ำมันไบโอดีเซลทางด้านเคมีนั้น หมายถึง แอลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Alkyl ester of fatty acid) มีสูตรทางเคมีคือ R1COOR2 ในขณะที่ทางการผลิต น้ำมันไบโอดีเซลคือ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากการสกัดผลผลิตทางการเกษตร ให้เป็นน้ำมันสะอาด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเหมาะสำหรับใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำ

แม้กระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจะมีกลีเซอรินเป็นผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ แต่ก็จะไม่ มีของเสียเหลือทิ้ง เพราะส่วนที่เหลือจากกระบวนการแยกสารสามารถนำไปใช้งานอื่นได้ ในขณะที่น้ำมันปิโตรเลียมเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป แต่ผลผลิตทางการเกษตรสามารถผลิตได้ตลอด และด้วยเทคโนโลยีทางการเกษตรสมัยใหม่สามารถเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรเพื่อตอบสนองความต้องการน้ำมันเชื้อเพลิงได้

ข้อมูลจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน พบว่าปริมาณการใช้ น้ำมันดีเซลมีมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ปริมาณการใช้ B100 เพื่อผสมและจำหน่ายเป็นน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว และดีเซลบี 5

โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ได้กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ. 2549 ไว้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ลักษณะและคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร พ.ศ.2549

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ
1	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (kg/m ³)	860 - 900	ASTM D 1298
2	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C (cST)	8.0 - 1.9	ASTM D 445
3	จุดวาบไฟ (°C)	> 120	ASTM D 93
4	กำมะถัน (%wt)	< 0.0015	ASTM D 2622
5	จำนวนซีเทน	> 47	ASTM D 613
6	เถ้าซัลเฟต (%wt)	< 0.02	ASTM D 874
7	น้ำและตะกอน (%vol)	< 0.2	ASTM D 2709
8	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง	< หมายเลข 3	ASTM D 130
9	ค่าความเป็นกรด (mg KOH/g)	< 0.80	ASTM D 664
10	กลีเซอรินอิสระ (%wt)	< 0.02	ASTM D 6584
11	กลีเซอรินทั้งหมด (%wt)	< 1.5	ASTM D 6584
12	สี	ม่วง	ตรวจพินิจด้วยสายตา
13	สารเติมแต่ง (ถ้ามี)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจาก อธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน	

2.10 สมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

2.10.1 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

ความถ่วงจำเพาะ เป็นอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างค่าความหนาแน่นของวัตถุกับค่าความหนาแน่นของของไหลมาตรฐาน โดยส่วนใหญ่แล้วหากของไหลมาตรฐานคือน้ำ ซึ่งสามารถใช้ทำนายการเผาไหม้ของน้ำมัน หากน้ำมันมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงหมายถึงมีองค์ประกอบของโมเลกุลอะโรมาติกมาก ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ในเครื่องยนต์ เกิดเขม่ามาก ค่าซีเทนจะมีค่าลดลง นิยมกำหนดค่าความถ่วงจำเพาะตามสถาบันปิโตรเลียมแห่งสหรัฐอเมริกา (American petroleum institute) คือ หน่วยของ API

$$\text{ความถ่วงเอพีไอ (API Gravity)} = \frac{141.5}{\text{ความถ่วงจำเพาะ } 15.6/15.6^{\circ}} - 131.5 \quad (2.1)$$

2.10.2 ความหนืดเชิงจลน์ (Kinematic viscosity)

ความหนืดเชิงจลน์ เป็นอีกหนึ่งสมบัติที่สำคัญของน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันที่มีความหนืดสูงจะส่งผลให้หัวฉีดเกิดการอุดตัน หากไม่สามารถฉีดน้ำมันให้เป็นละออง เมื่อเชื้อเพลิงสัมผัสกับอากาศจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้การเผาไหม้เกิดไม่สมบูรณ์

2.10.3 จุดวาบไฟ (Flash point)

จุดวาบไฟเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่สารจะให้ไอระเหยออกมาได้มากพอ และสามารถลุกติดไฟได้เมื่อมีแหล่งกำเนิดไฟ การหาจุดวาบไฟนี้ ทำได้จากการทดลอง โดยนำสารที่ต้องการหาจุดวาบไฟใส่ในภาชนะโลหะ จากนั้นค่อยๆ เพิ่มความร้อนให้สูงขึ้น พร้อมกับจุดไฟในช่วงที่อุณหภูมิสูงขึ้นแต่ละช่วง จนได้แสงวาบขึ้นเป็นครั้งแรก ซึ่งสารแต่ละชนิดจะมีจุดวาบไฟแตกต่างกันไป การบันทึกค่า จะต้องบันทึกอุณหภูมิแรกที่สารลุกติดไฟแล้วดับไป หากเกิดการลุกติดไฟโดยไม่ดับ ให้ลดอุณหภูมิของเชื้อเพลิงลงแล้วทำการทดสอบใหม่

2.10.4 จุดขุ่น (Cloud point)

จุดขุ่น คือ อุณหภูมิที่เริ่มปรากฏให้เห็นความขุ่นจากการตกผลึกกลายเป็นไขในเชื้อเพลิง โดยการลดอุณหภูมิของเชื้อเพลิงลงภายใต้การควบคุม จุดนี้มีความสำคัญสำหรับเชื้อเพลิง เพราะหากเชื้อเพลิงมีจุดขุ่นสูงเกินไป ทำให้ตกผลึกได้ง่าย อาจส่งผลให้หม้อกรองตัน การฉีดพ่นเชื้อเพลิงเป็นฝอยได้ยากและเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์

2.10.5 จุดไหลเท (Pour point)

จุดไหลเท คือ อุณหภูมิต่ำที่สุดที่เชื้อเพลิงยังสามารถไหลเทได้ ไขที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงจะตกผลึก เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าจุดไหลเทของเชื้อเพลิงนั้น เชื้อเพลิงจะไหลได้ยากและเริ่มหยุดไหล การหยุดไหลจะส่งผลต่อเครื่องจักรที่ทำงานที่อุณหภูมิต่ำ ๆ

2.10.6 ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (Heating value)

ค่าความร้อนเชื้อเพลิง คือ ปริมาณพลังงานความร้อนที่ได้ออกมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง หน่วยของค่าความร้อนคือ (MJ/kg) สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องหาค่าพลังงาน (Calorimeter) การทำงานของ Bomb calorimeter จะใช้หลักการของ Direct calorimetry ซึ่งเป็นการวัดปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อเกิดการเผาไหม้ตัวอย่างเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยตัวอย่างจะถูกบรรจุในถ้วย (Ignition cup) และ เต็มด้วยออกซิเจนภายใต้ความดันสูง (High pressure) จากนั้นให้กระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่าน Fuse wire และทำให้เกิดการจุดระเบิด (Ignites) เนื่องจาก Calorimeter จะถูกหุ้มด้วยฉนวนเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนถ่ายเทออกไปสู่สถานะแวดล้อมการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำทำให้ทราบปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยจากตัวอย่างเชื้อเพลิง และปริมาณพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ (Heat of combustion) ออกมาในปริมาณที่แตกต่างกัน

2.11 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ หมายถึง เปอร์เซ็นต์ของปริมาณความร้อนที่ได้รับจากการสันดาปของเชื้อเพลิง ที่เปลี่ยนเป็นพลังงานกล ให้เราได้ใช้ประโยชน์ความร้อนที่ได้จากการสันดาปจะไม่เปลี่ยนเป็นพลังงานกลทั้งหมดเนื่องจากการสูญเสียไปในกรณีต่าง ๆ ซึ่งประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สามารถศึกษาได้จากการคำนวณ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ และประสิทธิภาพเชิงความร้อน

2.11.1 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific Fuel Consumption)

ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยมวลต่อกำลังหนึ่งหน่วยที่ผลิตได้จากเครื่องยนต์ภายในระยะเวลาหนึ่งหน่วย (ชัยยง ศิริพรมงคชชัย, 2558) โดยการทดสอบเครื่องยนต์การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะถูกวัดเป็นอัตราการไหลของมวล ซึ่งเครื่องยนต์ ขนาดใหญ่จะมีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก ดังนั้น ในการเปรียบเทียบการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ของเครื่องยนต์ที่มีขนาดแตกต่างกันในรูปแบบของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (Brake Specific Fuel Consumption, bsfc) ซึ่งเป็นอัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิงต่อหน่วยกำลังเบรกที่ผลิตออกมา โดยคำนวณได้จากสมการ

$$\text{BSFC} = \frac{\dot{m}_f}{P_b} \quad (2.2)$$

โดยที่ BSFC คือ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (g/kW-hr)

\dot{m}_f คือ อัตราการไหลของมวลเชื้อเพลิง (kg/s)

2.11.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (Brake Thermal Efficiency)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก เป็นค่าที่บ่งบอกให้ทราบถึงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ สามารถเปลี่ยนความร้อนที่ได้รับจากเชื้อเพลิงไปเป็นงานได้มากน้อยเพียงใด สามารถกำหนด ประสิทธิภาพความร้อนได้เป็น 2 แบบ คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกจะมีค่าประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ เครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้าขนาดใหญ่อาจมีค่ามากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ โดยคำนวณได้จากสมการ

$$\eta_b = \frac{P_b}{\dot{m}_f Q_{HV}} \quad (2.3)$$

โดยที่ η_b คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก

Q_{HV} คือ ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (kJ/kg)

2.12 การปล่อยมลพิษไอเสีย

2.12.1 คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide)

คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นก๊าซพิษ ไม่มีสีไม่มีกลิ่น ที่เกิดขึ้นในเครื่องยนต์ที่มีการเผาไหม้เมื่อมีออกซิเจนไม่เพียงพอ ซึ่งส่งผลให้คาร์บอนไม่สามารถทำปฏิกิริยาให้เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ได้ เชื้อเพลิงบางส่วนจึงไม่ถูกเผาไหม้และทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลโดยทั่วไปแล้วการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ที่ประมาณ 10 ถึง 500 ppm ซึ่งการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ส่วนใหญ่ มักเกิดกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ

2.12.2 ออกไซด์ของไนโตรเจน (Nitrogen oxides)

ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เป็นมลพิษหลักของเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นมลพิษควบคุม โดยส่วนใหญ่จะประกอบด้วยไนตริกออกไซด์ (Nitric Oxide, NO) ประมาณ

ร้อยละ 70 ถึง 80 และไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen Dioxide, NO₂) ประมาณร้อยละ 20 เป็นสารพิษที่เป็นอันตรายต่อทางเดินระบบหายใจ อีกทั้งยังทำปฏิกิริยากับอากาศทำให้เกิดเป็นโอโซน ซึ่งเป็นสาเหตุในการเกิดหมอกควัน ทั้งนี้ปริมาณของออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลโดยทั่วไปแล้วอยู่ที่ ประมาณ 50 ถึง 1000 ppm

ไนตริกออกไซด์ (NO) เป็นแก๊สที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น สามารถสังเคราะห์ได้โดยตรงจากไนโตรเจนและออกซิเจนภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง



กลไกที่ทำให้เกิดไนโตรเจนออกไซด์จากการเผาไหม้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลไก ดังนี้

1. การเกิด Prompt NO_x เกิดจากโมเลกุลของไนโตรเจนในอากาศทำปฏิกิริยากับไฮโดรคาร์บอนเมื่อมีการเผาไหม้ โดยจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเผาไหม้ที่ส่วนผสมเชื้อเพลิงที่หนา
2. การเกิด Fuel NO_x เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของไนโตรเจน เช่น แอมโมเนีย (NH₃) เป็นต้น แต่ในการเกิดไนโตรเจนออกไซด์จากเชื้อเพลิงจะมีปริมาณที่น้อยมาก
3. การเกิด Thermal NO_x เกิดจากไนโตรเจนในอากาศเมื่ออยู่ในที่อุณหภูมิสูงอย่างห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ บางส่วนของไนโตรเจนอะตอมคู่ (N₂) จะแตกตัวเป็นไนโตรเจนอะตอมเดี่ยว (N) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้ง่ายกว่า ดังนั้น เมื่อเกิดอุณหภูมิสูงจะส่งผลให้มีการเกิดไนโตรเจนออกไซด์ที่สูงขึ้น

กลไกการเกิดไนโตรเจนออกไซด์ตามที่กล่าวมาข้างต้นยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการเกิดไนโตรเจนออกไซด์ เช่น ความดัน อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง เป็นต้น นอกจากนี้ การเกิดไนโตรเจนออกไซด์ภายในห้องเผาไหม้จะเกิดขึ้นไม่เท่ากันด้วย

2.12.3 ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon)

ไฮโดรคาร์บอน (HC) พบในสถานะแก๊สในไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลที่ประกอบไปด้วยไฮโดรคาร์บอนชนิดต่าง ๆ ที่เกิดจากน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลและน้ำมันหล่อลื่น โดยเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนมีคุณลักษณะที่เป็นคาร์บอนชนิดโซ่สั้น ในทางตรงกันข้ามไฮโดรคาร์บอนของน้ำมันหล่อลื่นประกอบไปด้วยโลหะหนัก ซึ่งทั่วไปแล้วไฮโดรคาร์บอนจะมีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็น C_nH_m โดย n คือ จำนวนอะตอมของคาร์บอน และ m คือ จำนวนอะตอมของไฮโดรเจนมาตรฐานมลพิษไอเสียในเครื่องยนต์ไฮโดรคาร์บอนโดยปกติแล้วเกิดขึ้นจากสารประกอบของเชื้อเพลิงที่ยังไม่ถูกเผาไหม้ หรือมีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ส่วนใหญ่จะเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กที่

แตกต่างจากโมเลกุลขนาดใหญ่ที่ถูกเผาไหม้แต่เผาไหม้ไม่หมด ไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันไปจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมและรูปร่างที่แตกต่างกัน สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลโดยทั่วไปแล้ว การปล่อยไฮโดรคาร์บอนอยู่ที่ประมาณ 20 ถึง 300 ppm สาเหตุการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของไฮโดรคาร์บอนมาจากหลายแหล่ง ดังนี้

1. ภายในห้องเผาไหม้ที่มีซอกหรือช่องแคบ ๆ ที่เชื้อเพลิงสามารถเข้าไปอยู่ตามซอกต่าง ๆ เมื่อถูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นในจังหวะการอัด ความดันในกระบอกสูบจะดันให้เชื้อเพลิงเข้าไปติดตาม ซอกหรือช่องต่าง ๆ เมื่อเกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงในส่วนนี้จะไม่เกิดการเผาไหม้หรือเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

2. บริเวณผนังกระบอกสูบเมื่อเปลวไฟลามไปถึงผนังสูบ กระบอกสูบ ซึ่งบริเวณดังกล่าวมี อุณหภูมิต่ำเนื่องจากอยู่ใกล้ระบบระบายความร้อนจึงส่งผลให้เปลวไฟดับ ทำให้เชื้อเพลิงบางส่วน ไม่ถูกเผาไหม้

3. ไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นจากสารหล่อลื่นสามารถดูดซับและปล่อยไฮโดรคาร์บอนได้ เป็น ผลให้เชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนนั้นไม่สามารถเผาไหม้ได้ ไฮโดรคาร์บอนในไอเสียจะส่งกลิ่น และทำให้อวัยวะต่าง ๆ ในร่างกายเกิดการระคายเคือง อีกทั้งยังทำปฏิกิริยากับอากาศเกิดเป็นหมอกควัน

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kabir-ud-Din และคณะ (2009) ศึกษาความสัมพันธ์เมื่อผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดคู่ประจุบวก (butanediyl- α , ω -bis (dimethylcetylammmonium bromide) หรือ G4) กับสารลดแรงตึงผิวประจุบวก (CPC) สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (AOT) และสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Brij56) พบว่า เมื่อผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดคู่ ทำให้ประสิทธิภาพในการลดแรงตึงผิวของสารลดแรงตึงผิวชนิดเดิมมีมากขึ้น โดยที่เรียงลำดับดังนี้ $G4-CPC > G4-Brij56 > G4-AOT$

Lin Lin และคณะ (2009) ศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากน้ำมันรำข้าวด้วยวิธีทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้หลายสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D6751 และ DIN V51606 และเมื่อนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์พบว่า ให้พลังงานใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่อัตราการเผาไหม้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อทดสอบหามลพิษพบว่า CO Hydrocarbon และเขม่าต่ำลดลง แต่ NO_x เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่ง Ch.Narasimha และคณะ (2013) ทำการศึกษามลพิษที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากน้ำมันรำข้าว โดยทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซล และได้ผลลัพธ์เช่นเดียวกัน

Qi และคณะ (2010) ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซลลูกสูบเดี่ยวเมื่อใช้เชื้อเพลิงระหว่างเอทานอล ไบโอดีเซล-น้ำ ที่เกิดจากวิธีไมโครอิมัลชัน เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซลพบว่า เมื่อใช้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันความสิ้นเปลืองน้ำมันเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่จะลดการเกิดควันและการปล่อยแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ลดลงเล็กน้อย

Chodchanok และคณะ (2012) ศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันคาโนลาด้วยกระบวนการไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวในกลุ่มคาร์บอกซิเลต 4 ชนิด ได้แก่ C16-17 4PO 2EO carboxylate, C16-17 4PO 5EO carboxylate, C16-18 4PO 2EO carboxylate และ C16-18 4PO 5EO carboxylate โดยใช้อัตราส่วนโมลระหว่างสารลดแรงตึงผิวกับสารร่วมลดแรงตึงผิวคือ 1:8 1:16 1:32 จากนั้นทำการสร้างแผนภูมิสามเหลี่ยมเพื่อศึกษาลักษณะของน้ำมันไบโอดีเซล โดยแบ่งเป็น 5 หัวข้อ คือ ผลกระทบของชนิดสารลดแรงตึงผิว ผลกระทบของอัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวและสารร่วมลดแรงตึงผิว ผลกระทบของอัตราส่วนระหว่างน้ำมันคาโนลาและน้ำมันดีเซล ผลที่เกิดขึ้นเมื่อเติมสารเติมแต่ง และผลที่เกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ พบว่าสถานะที่มีความใกล้เคียงกับมาตรฐาน ASTM สำหรับน้ำมันดีเซลหมายเลข 2 คือที่อัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวกับสารลดแรงตึงผิวรวมเป็น 1:16 อัตราส่วนระหว่างน้ำมันคาโนลากับน้ำมันดีเซลเป็น 50:50 และเมื่อเติมเอทานอลที่ 24% เชื้อเพลิงมีความเสถียรที่อุณหภูมิ 0-40 °C

Dalia Emam Mohamed และคณะ (2013) ศึกษาพฤติกรรมการเกิดไมเซลล์ในระบบผสมระหว่างสารลดแรงตึงผิวชนิดคู่ประจุบวก (ph-5-ph และ ph-10-ph) กับสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (CTAB) โดยศึกษาในอัตราส่วนโมลต่างๆ ตั้งแต่ 1.0-0.0 ของ ph-5-ph และ ph-10-ph พบว่าระบบผสมระหว่าง ph-5-ph กับ CTAB มีประสิทธิภาพลดลง เมื่ออัตราส่วนโมลของ ph-5-ph มากขึ้น และระบบผสมระหว่าง ph-10-ph กับ CTAB มีประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่ออัตราส่วนโมลของ ph-10-ph มากขึ้น

Dantas Neto และคณะ (2013) ศึกษาผลพิษของแก๊สจากเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันไบโอดีเซล โดยศึกษาน้ำมันดีเซลที่ผสมด้วยน้ำมันไบโอดีเซลในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของ B5:NP5EO:น้ำกลั่น และ B20 : NP5EO : น้ำกลั่น ซึ่งได้แก่ 81:15:4 77:15:8 และ 73:15:12 พบว่า ในน้ำมันไบโอดีเซลมีความหนืด ความหนาแน่น และจุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซล มีความกัดกร่อนมากกว่าเล็กน้อย และมีการลดลงของแก๊สมลพิษ ได้แก่ CO, NO_x และเขม่าควันดำ แต่ไฮโดรคาร์บอนที่ไม่ถูกเผาไหม้มีมากขึ้น ซึ่งชี้ให้เห็นว่าน้ำมันไบโอดีเซลช่วยลดในเรื่องของแก๊สมลพิษได้มากกว่าใช้น้ำมันดีเซล

Halide และคณะ (2014) ศึกษาประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวชนิดคู่ประจุบวก (Alkanediyl- α - ω -vis (Hexadecyldimethylammonium bromide)) กับสารลดแรงตึงผิวประจุบวก

โซเดียม (Hexadecyldimethyl ammonium bromide, CTAB) ในอัตราส่วนโดยโมล ระหว่าง 0.0-1.0 พบว่า สารลดแรงตึงผิวในระบบผสมแสดงให้เห็นสมบัติทางพื้นผิวที่ดีกว่าในระบบเดี่ยว

Marieta Balcan และคณะ (2014) ศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันคอลลซา (Colza oil) เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิว AOT และ Brij30 ในอัตราส่วนระหว่างน้ำมันดีเซลกับน้ำมันคอลลซาเป็น 1:1 โดยน้ำหนัก แบ่งหัวข้อการศึกษาเป็น 2 หัวข้อคือ ศึกษาวัฏภาคไมโครอิมัลชันและพฤติกรรมของระบบน้ำมันดีเซลผสมกับน้ำมันคอลลซา จากการทดลองพบว่า น้ำมันดีเซลและน้ำมันคอลลซาสามารถผสมกับน้ำแล้วเกิดเป็นไมโครอิมัลชันโดยใช้ AOT และ Brij30 เป็นสารลดแรงตึงผิว และใช้ i-butanol เป็นสารร่วมลดแรงตึงผิว พื้นที่ของวัฏภาคไมโครอิมัลชันมีขนาดลดลงสัมพันธ์กับความไม่มีขั้วของสารลดแรงตึงผิว แต่พื้นที่ของวัฏภาคไมโครอิมัลชันจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวระบบผสม (สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบกับสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ)

Noukamol Arpornpong และ คณะ (2014) ผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันจากการผสมระหว่าง เอทานอล น้ำมันปาล์ม และน้ำมันดีเซล โดยใช้สารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ ได้แก่ Oleyl alcohol, Stearyl alcohol, Methyl oleate และ Brij-010 สารร่วมลดแรงตึงผิว คือ 1-Butanol, 1-Octanol และ 1-Decanol แบ่งศึกษาเป็น 3 หัวข้อ ได้แก่ ผลกระทบของชนิดของสารลดแรงตึงผิว ผลกระทบของสารร่วมลดแรงตึงผิวและความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อเผาไหม้ โดยศึกษาที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารลดแรงตึงผิวกับสารร่วมลดแรงตึงผิวที่ 1:8 และอัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างน้ำมันปาล์มและน้ำมันดีเซล เป็น 1:1 ที่อุณหภูมิ 25 °C พบว่า สารลดแรงตึงผิวมีผลต่อความหนืดมากกว่าสารลดแรงตึงผิวรวม สารละลายมีส่วนที่เป็นวัฏภาคไมโครอิมัลชันมากขึ้นเมื่อสายโซ่คาร์บอนในสารร่วมลดแรงตึงผิวยาวขึ้น (1-octanol) แต่ไปลดขนาดอนุภาคของไมโครอิมัลชัน

Vivek Patidar และคณะ (2014) ศึกษาพฤติกรรมของเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน เพื่อเป็นอีกแนวทางในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพเนื่องจากการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีทรานเอสเทอร์ฟิเคชันจะเกิดกลีเซอรินเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงซึ่งต้องอาศัยกระบวนการแยกสารในการกำจัด ทำการทดลองโดยใช้น้ำมันคารานจ์ (Karanj oil) สารลดแรงตึงผิวที่ใช้คือ Span 80 และ Span 85 พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากระบบที่ใช้ Span 80 ให้สมบัติที่ดีกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากระบบที่ใช้ Span 85 เนื่องจากมีความหนืดใกล้เคียงกับมาตรฐาน ASTM

Mongkolchai Assawadithalerd และคณะ (2016) ศึกษาการผลิตน้ำมันดีโซฮอล (Diesohol) จากน้ำมันสบู่ดำด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิว กลุ่ม Alcohol ethoxylate (LS) ประกอบด้วย LS1, LS3 และ LS7 พบว่า LS1 มีความสามารถในการผลิตน้ำมันดีโซฮอลจากสบู่ดำ

ได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ LS3 และ LS7 การเพิ่มเอทานอลในส่วนผสมมีแนวโน้มลดความหนืดของเชื้อเพลิงได้ดี

Pankaj Dubey และคณะ (2016) ศึกษาสมรรถนะและการปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลหนึ่งสูบ เมื่อใช้เชื้อเพลิงที่ผลิตจากน้ำมันสุญ์ดากับน้ำมันสนในอัตราส่วน 50%-50% โดยปริมาตรเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลที่ความเร็วรอบคงที่ และเปลี่ยนแปลงโหลดของเครื่องยนต์ 0, 35, 65 และ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีความใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาก และมีการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์น้อยกว่าน้ำมันดีเซล

Jie Liang และคณะ (2018) ศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยวิธีไมโครอิมัลชันในระบบผสม ระหว่างสารลดแรงตึงผิว Span 80 และ Tween 80 จากนั้นศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงและนำไปทดสอบกับเครื่องยนต์ พบว่า อัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวที่ดีที่สุดคือ $\text{Span 80/Tween 80} = 7/3$ ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มีค่าความร้อนใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

B. Ashok และคณะ (2019) ศึกษาผลกระทบของ n-octanol ที่ผสมในเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันของเมล็ดต้นกระทิง (*Calophyllum Inophyllum*) ซึ่งศึกษา 5 ตัวอย่างด้วยกัน โดยเปลี่ยนแปลงปริมาตรของ n-octanol ตั้งแต่ 10-50 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นจนถึงตัวอย่างที่มี n-octanol 30 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นค่อย ๆ ลดลง เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของ n-octanol มีการจุดระเบิดต่ำกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ผสม n-octanol เนื่องจาก n-octanol มีค่าซีเทนน้อย เชื้อเพลิงชีวภาพที่มีส่วนผสมของ n-octanol สูง มีการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ และออกไซด์ของไนโตรเจนสูงกว่า แต่ปล่อยไฮโดรคาร์บอนต่ำกว่า เชื้อเพลิงชีวภาพที่ไม่ผสม n-octanol

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์





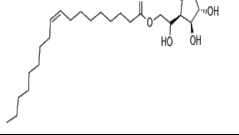
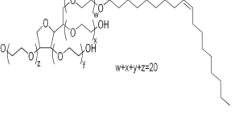
- 1) หลอดทดลองแบบฝาเกลียว (Test tube with screw cap)
- 2) บิวเรต (Burette)
- 3) ปิเปต (Pipette)
- 4) ตะแกรงใส่หลอดทดลอง (Rack)
- 5) ขวดเก็บตัวอย่างฝาเกลียว (Vial)
- 6) อ่างควบคุมความร้อนแบบเขย่า (Shaking water bath)
- 7) เครื่องชั่งดิจิตอลแบบละเอียด (Balance)
- 8) เครื่องวัดความหนืด (Capillary kinematic viscometer)
- 9) เครื่องวัดค่าความร้อน (Bomb calorimeter)
- 10) เครื่องมือวัดจุดวาบไฟ (Flash point)
- 11) ชุดทดสอบประสิทธิภาพด้วยเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว
- 12) เครื่องมือวัดมลพิษ TESTO รุ่น TESTO 350
- 13) เครื่องมือวัดมลพิษ HORIBA รุ่น MEXA-584L

3.1.2 สารเคมี


- 1) น้ำมันรำข้าว (Commercial grade)
- 2) เอทานอล ความบริสุทธิ์ 99.8% (ACS reagent grade) จาก Carlo Alba
- 3) ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์ 1 (Dehydol LS1 TH, EO1) ค่าความบริสุทธิ์ 99.7% จากบริษัท ไทยอีทอกซีเลท จำกัด
- 4) ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์ 2 (Dehydol LS2 TH, EO2) ค่าความบริสุทธิ์ 99.7% จากบริษัท ไทยอีทอกซีเลท จำกัด
- 5) ดีไฮดอลเอทีลินออกไซด์ 7 (Dehydol LS3 TH, EO7) ค่าความบริสุทธิ์ 99.7% จากบริษัท ไทยอีทอกซีเลท จำกัด

- 6) ดีไฮดอลเอทิลีนออกไซด์ 12 (Dehydol LS12 TH, EO12) ค่าความบริสุทธิ์ 99.7% จากบริษัท ไทยอีทอกซีเลท จำกัด
- 7) ออกทานอล (1-Octanol) ค่าความบริสุทธิ์ 99.0% จากบริษัท เอเพกซ์ เคมีเคิล จำกัด
- 8) Span 80 หรือ Sorbitane monooleate จาก Sigma Aldrich
- 9) Tween 80 หรือ Polyoxyethylene (20) sorbitan monooleate จาก Acros Organics

ตารางที่ 3.1 สมบัติของสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ

สารตัวอย่าง	สูตรโมเลกุล	สูตรโครงสร้าง	มวล โมเลกุล (g/mole)	ความ หนาแน่น (g/cm ³) ที่ 70°C	HLB
Dehydol LS 1 TH	C ₁₂₋₁₄ -(EO) ₁ OH		217.15	0.837	3.6
Dehydol LS 3 TH	C ₁₂₋₁₄ -(EO) ₃ OH		305.19	0.890	7.9
Dehydol LS 7 TH	C ₁₂₋₁₄ -(EO) ₇ OH		481.27	0.949	12.1
Dehydol LS 12 TH	C ₁₂₋₁₄ -(EO) ₁₂ OH		701.37	0.988	14.6
Span 80	C ₂₄ H ₄₄ O ₆		428.60	0.986	4.3
Tween 80	C ₆₄ H ₁₂₄ O ₂₆		1,310	1.07	15.0

ตารางที่ 3.2 สมบัติของสารร่วมลดแรงตึงผิว

สารตัวอย่าง	สูตรโมเลกุล	สูตรโครงสร้าง	มวลโมเลกุล (g/mole)	ความหนาแน่น (g/m ³) @70 °C	HLB
1-Octanol	C ₈ H ₁₇ OH		130.23	0.812	5.1

ตารางที่ 3.3 สมบัติของเอทานอล

สารตัวอย่าง	สูตรโมเลกุล	สูตรโครงสร้าง	มวลโมเลกุล (g/mole)	ความหนาแน่น (g/m ³) @70 °C
Ethanol	C ₂ H ₆ O		46.07	1.59

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้เป็นการเตรียมและศึกษาสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ได้จากวิธีไมโครอิมัลชัน โดยใช้น้ำมันรำข้าวผสมกับเอทานอลบริสุทธิ์ ซึ่งจะมีสารลดแรงตึงผิวและสารร่วมลดแรงตึงผิวเป็นตัวช่วยประสาน สำหรับสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ Span 80 Tween 80 โดยจะผสมกับสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ ได้แก่ Dehydrol LS1 TH Dehydrol LS 3 TH Dehydrol LS 7 TH และ Dehydrol LS 12 TH เกิดเป็นระบบสารผสมสององค์ประกอบของสารลดแรงตึงผิวแบบไร้ประจุสองชนิด (Binary Mixed Nonionic Surfactants) และสารร่วมลดแรงตึงผิวที่ใช้คือ 1-Octanol เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวในการผสมน้ำมันรำข้าวและเอทานอลให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ จากนั้นวิเคราะห์สมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่เตรียมได้ โดยตัวแปรและสภาวะที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพแสดงดังตารางที่ 3.4 และสามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ช่วงการทดลอง ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งมีแผนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

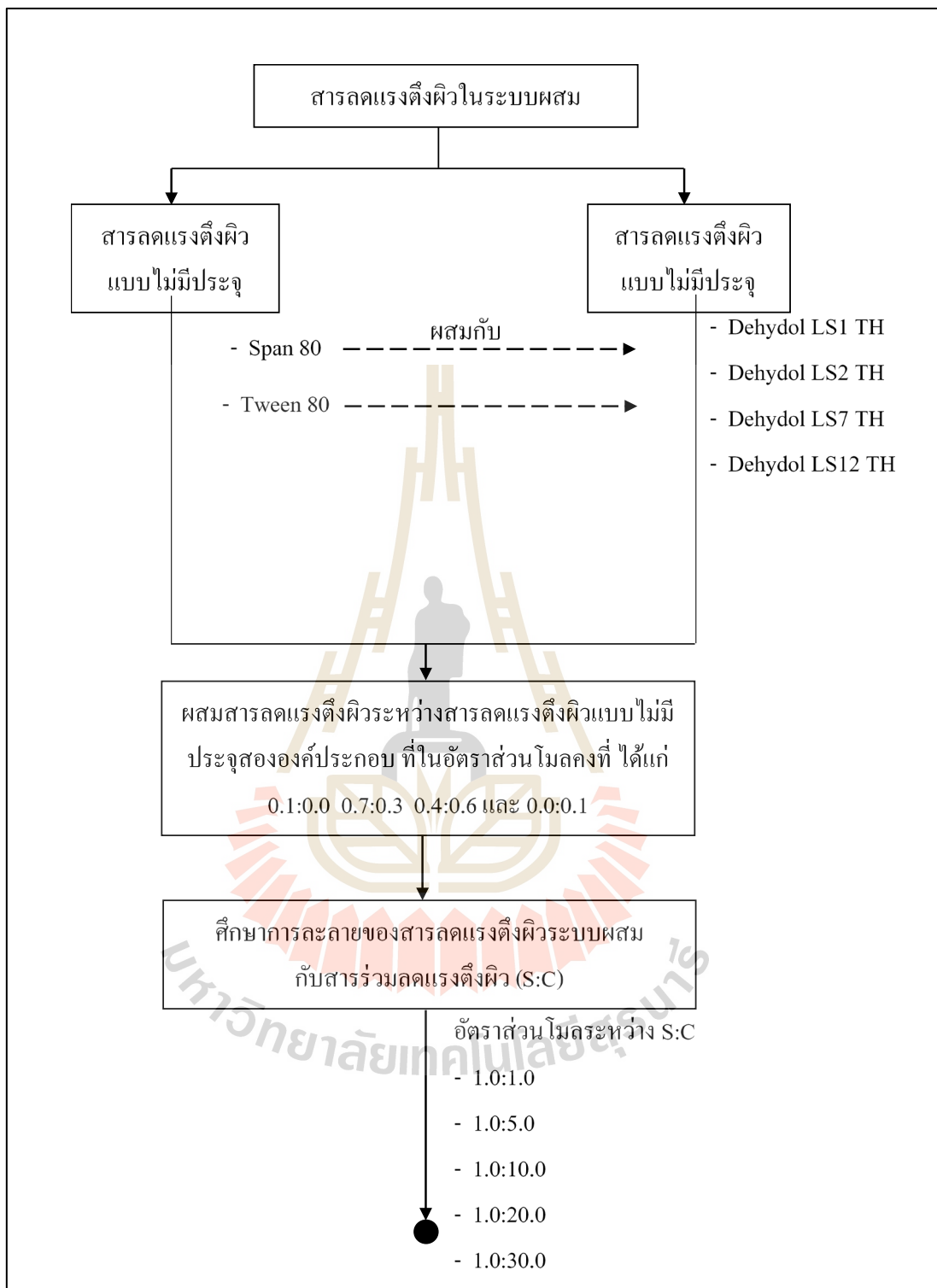
การทดลองช่วงที่ 1 ศึกษาความสามารถการละลายได้ของสารลดแรงตึงผิวในสารร่วมลดแรงตึงผิวที่อัตราส่วนโดยโมลต่าง ๆ

การทดลองช่วงที่ 2 ศึกษาความสามารถในการเกิดวฏภาคไมโครอิมัลชันในกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีในระบบผสมผ่านแผนผังวฏภาคสารผสมสามองค์ประกอบ

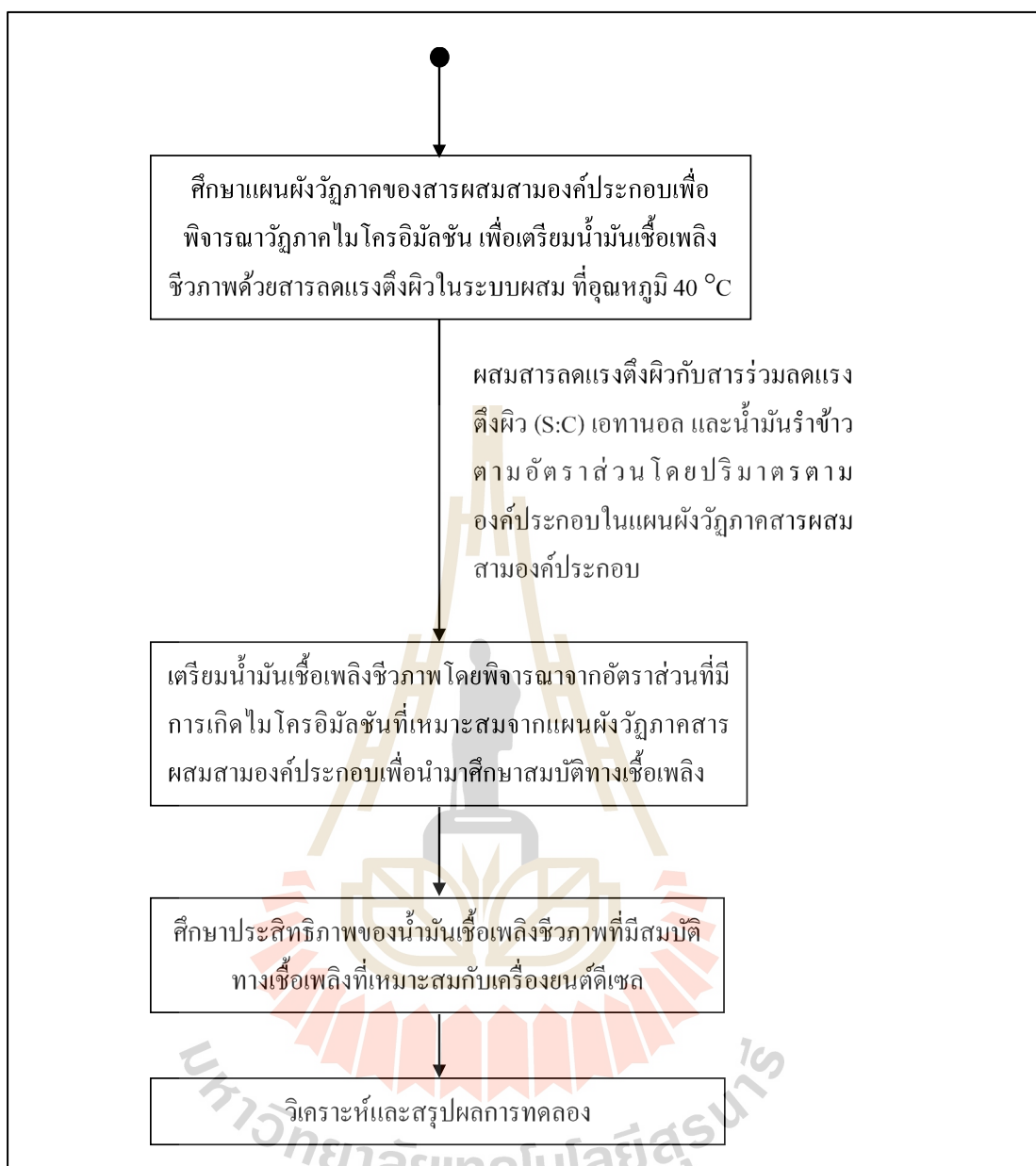
- การทดลองช่วงที่ 3 เตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพโดยเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมจากแผนผังภูมิภาคที่ศึกษาจากการทดลองที่ 2 ที่มีการเกิดภูมิภาคไมโครอิมัลชัน เพื่อนำมาศึกษาสมบัติทางเชื้อเพลิงที่สำคัญ ได้แก่ ความหนืด ความถ่วงจำเพาะ จุดวาบไฟ จุดขุ่น จุดไหลเท และค่าความร้อนสูง
- การทดลองช่วงที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพเมื่อนำเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีสมบัติทางเชื้อเพลิงที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 3 ไปทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลหนึ่งสูบ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพขงเครื่องยนต์และการปล่อยไอเสีย

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรที่ใช้ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันในงานวิจัยนี้

ชนิดของตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง สารเคมี สภาวะ หรือสมบัติ
ตัวแปรต้น	<ul style="list-style-type: none"> - สารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ <ul style="list-style-type: none"> • นำเข้าจากต่างประเทศ: Span 80, Tween 80 • ผลิตภายในประเทศ: Dehydol LS1 TH Dehydol LS 3 TH Dehydol LS 7 TH และ Dehydol LS 12 TH - สารร่วมลดแรงตึงผิว คือ 1-Octanol - เอทานอล - น้ำมันรำข้าว
ตัวแปรต้น	อัตราส่วนโดยโมลของสารลดแรงตึงผิวในระบบผสมต่อสารร่วมลดแรงตึงผิว ในช่วง 1.0:1.0 ถึง 1.0:30.0
ตัวแปรคงที่	<ul style="list-style-type: none"> - อัตราส่วนโมลของสารลดแรงตึงผิวในระบบผสมแบบสององค์ประกอบ ได้แก่ 1.0:0.0 0.7:0.3 0.4:0.6 และ 0.0:1.0 - อุณหภูมิในการศึกษาภูมิภาคไมโครอิมัลชันของน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ คือ 40°C
ตัวแปรตาม	<ul style="list-style-type: none"> - สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ ความหนืด ความถ่วงจำเพาะ อุณหภูมิการกลั่น และค่าความร้อนต่ำ



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

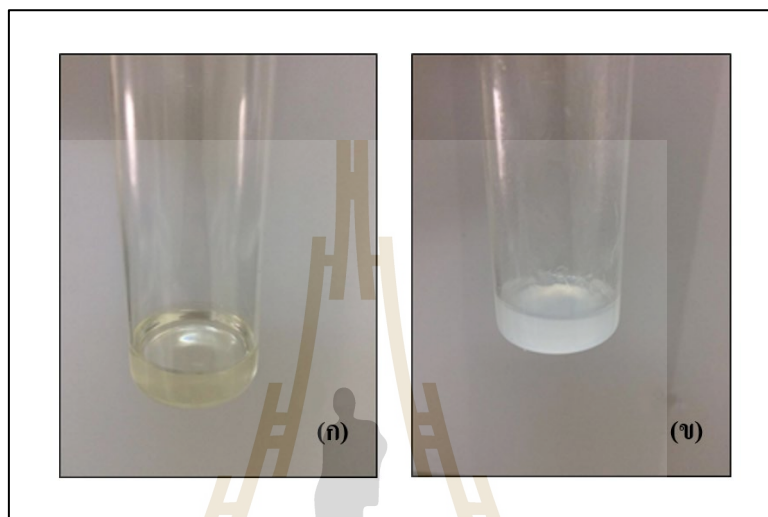


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย (ต่อ)

3.3 การทดสอบการละลายของสารลดแรงตึงผิว

1. ผสมสารลดแรงตึงผิวในระบบผสมระหว่างสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ (S1) ได้แก่ Span 80 และ Tween 80 กับสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุ (S2) ได้แก่ Dehydol LS1 TH Dehydol LS 3 TH Dehydol LS7 TH และ Dehydol LS12 TH ในอัตราส่วนโมล (S1:S2) 1.0:0.0, 0.7:0.3, 0.4:0.6 และ 0.0:1.0

2. ทดสอบการละลายระหว่างสารลดแรงตึงผิวกับสารร่วมลดแรงตึงผิวคือ 1-Octanol ในอัตราส่วน โมล (S:C) 1.0:1.0, 1.0:5.0, 1.0:10.0, 1.0:20.0 และ 1.0:30.0 ดังรูปที่ 3.2 (ก) แสดงตัวอย่างของสารลดแรงตึงผิวที่สามารถละลายเข้ากันได้ และรูปที่ 3.2 (ข) แสดงตัวอย่างของสารลดแรงตึงผิวที่ไม่สามารถละลายเข้ากันได้



รูปที่ 3.2 ทดสอบการละลายระหว่างสารลดแรงตึงผิวกับสารร่วมลดแรงตึงผิว

(ก) สารลดแรงตึงผิวผสมที่สามารถละลายเข้ากันได้

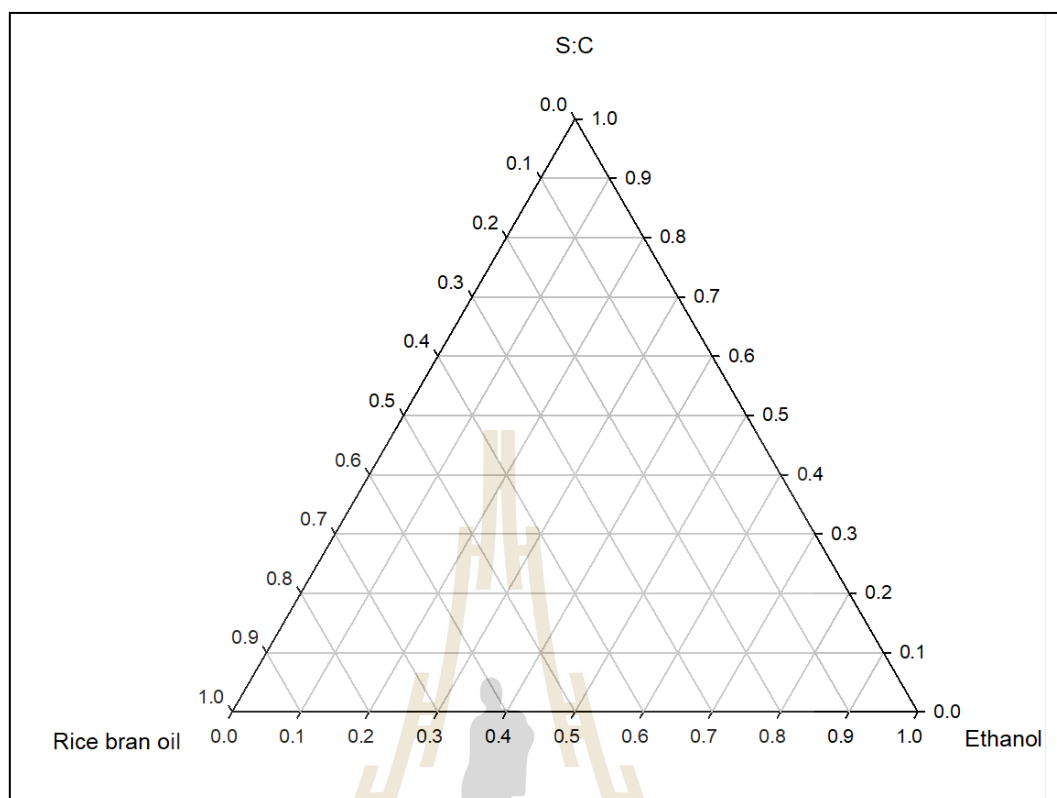
(ข) สารลดแรงตึงผิวผสมที่ไม่สามารถละลายเข้ากันได้

3.4 การศึกษาแผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบ

1. ศึกษาวิถุภาคไมโครอิมัลชันผ่านแผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบเพื่อเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน ที่อุณหภูมิคงที่ 40 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวแบบผสมและสารร่วมลดแรงตึงผิว : น้ำมันรำข้าว : เอทานอล ตามอัตราส่วนโดยปริมาตรภายในแผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบ เตรียมของผสมในระบบปิดของหลอดทดลองแบบฝาเกลียว

2. นำหลอดทดลองที่มีสารผสม 3 องค์ประกอบ มาเขย่าในอ่างควบคุมความร้อนแบบเขย่าเป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อให้ระบบเข้าสู่สมดุล บันทึกผลการทดลองทุก 12 ชั่วโมง โดยสังเกตจำนวนวิถุภาคที่เกิดขึ้นในหลอดทดลอง

3. บันทึกผลการทดลอง และสร้างวิถุภาคไมโครอิมัลชันในแผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบของระบบที่ทำการศึกษา



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างแผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบ

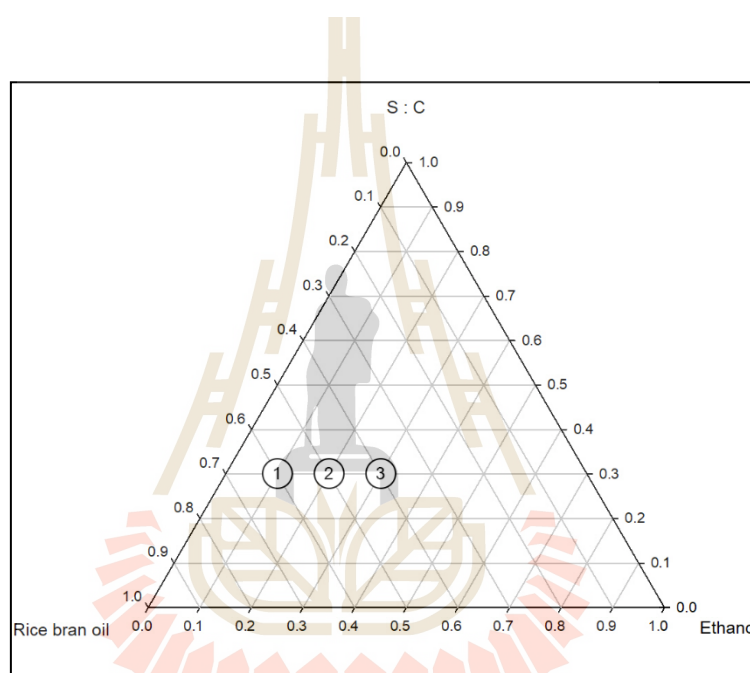
3.5 การทดสอบสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

3.5.1 การทดสอบความหนืด (มาตรฐาน ASTM D445)

ศึกษาความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพโดยเลือกจุดที่นำไปทดสอบ 3 จุดจากภูมิภาคสามเหลี่ยม จุดที่ 1 อัตราส่วนโดยปริมาตรของน้ำมันรำข้าว 60 เปอร์เซ็นต์ สารลดแรงตึงผิวต่อสารร่วมลดแรงตึงผิว 30 เปอร์เซ็นต์ และเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์ จุดที่ 2 น้ำมันรำข้าว 50 เปอร์เซ็นต์ สารลดแรงตึงผิวต่อสารร่วมลดแรงตึงผิว 30 เปอร์เซ็นต์ และเอทานอล 20 เปอร์เซ็นต์ จุดที่ 3 น้ำมันรำข้าว 40 เปอร์เซ็นต์ สารลดแรงตึงผิวต่อสารร่วมลดแรงตึงผิว 30 เปอร์เซ็นต์ และเอทานอล 30 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 3.5 และรูปที่ 3.4

ตารางที่ 3.5 ร้อยละโดยปริมาตรภายในวฏภาคสามเหลี่ยมที่นำมาศึกษาความหนืด

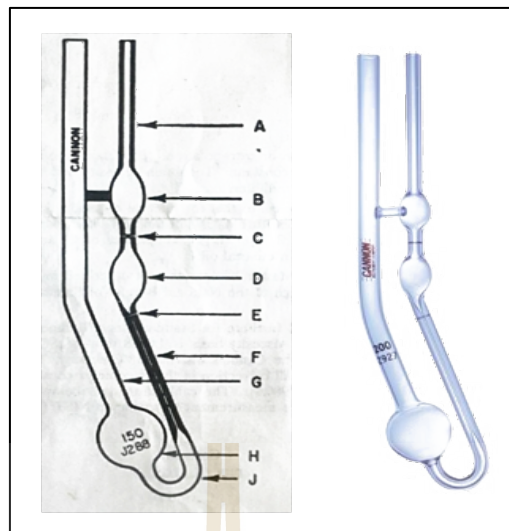
จุดที่	น้ำมันรำข้าว (%)	S:C (%)	เอทานอล (%)
1	60	30	10
2	50	30	20
3	40	30	30



รูปที่ 3.4 ตำแหน่งภายในแผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบที่นำมาทดสอบหาความหนืด

วิธีการทดสอบ

1. ทำความสะอาดเครื่องวัดความหนืด (Capillary viscometer)
2. คั่วเครื่องมือวัดความหนืดให้ทางด้าน A จุ่มในน้ำมันตัวอย่าง จากนั้นใช้ Suction ดูดอีกทางหนึ่งจนถึงจุด E จากนั้นนำ Capillary viscometer ไปแขวนในอ่างควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 3.5 เครื่องมือวัดความหนืด (Capillary viscometer)

3. ใช้ Suction ปรับให้ระดับบนของน้ำมันตัวอย่างอยู่สูงกว่าจุด C จากนั้นปล่อยให้ น้ำมันไหลโดยอิสระภายใต้แรงโน้มถ่วงโลก เริ่มจับเวลาเมื่อน้ำมันตัวอย่างไหลผ่านจุด C และหยุดเมื่อไหลผ่านจุด E บันทึกเวลาที่ได้เป็นวินาที



รูปที่ 3.6 เครื่องมือในการวัดความหนืดของเชื้อเพลิง

4. คำนวณค่าความหนืดในหน่วย cSt โดยนำเวลาที่บันทึกคูณกับ ค่าคงที่ที่แน่นอนมากับเครื่องมือวัด

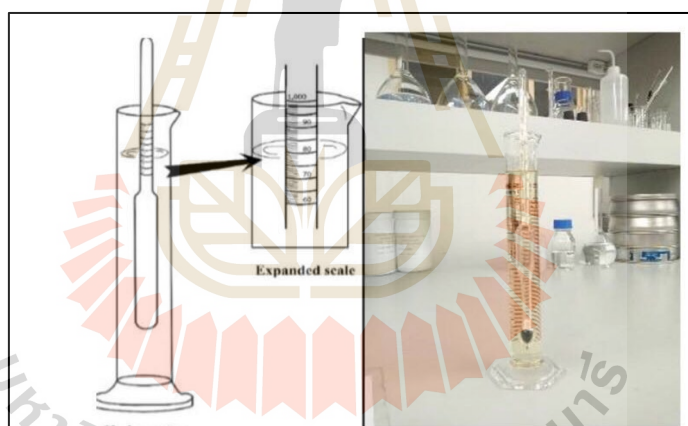
3.5.2 การทดสอบความถ่วงจำเพาะ (มาตรฐาน ASTM D1298)

1. เขย่าตัวอย่างน้ำมันที่ต้องการทดสอบให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน เทลงในกระบอกตวงเล็กน้อยเพื่อล้างทำความสะอาดกระบอกตวงจนสะอาดแล้วเททิ้งไป จากนั้นจึงเทตัวอย่างน้ำมันลงไปประมาณ 3 ใน 4 ของกระบอกตวงหรือมากกว่าเล็กน้อย พยายามอย่าให้มีฟองอากาศ

2. ค่อย ๆ จุ่มไฮโดรมิเตอร์ลงไป แล้วปล่อยให้ลอยตัวหยุดนิ่งโดยอิสระ ไม่เกาะติดข้างแก้วของกระบอกตวง

3. อ่านค่าความถ่วง API ที่ขีดระดับของไฮโดรมิเตอร์ซึ่งตรงกับระดับเชื้อเพลิง (ผิวโค้งล่าง) โดยให้สายตาอยู่ในระดับเดียวกับระดับน้ำมัน แล้วบันทึกค่า

4. นำค่าความถ่วง API และค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ไปเปิดตารางแปลงค่า (แนบมากับไฮโดรมิเตอร์) จะได้ค่าความถ่วง API ที่อุณหภูมิ 60 องศาฟาเรนไฮด์ (15.6 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 3.7 เครื่องมือวัดความถ่วงจำเพาะ (Hydrometer)

3.5.3 การทดสอบจุดวาบไฟ (มาตรฐาน ASTM D93)

1. เทตัวอย่างเชื้อเพลิงลงในถ้วยทดสอบจนถึงขีดบอกระดับด้านใน โดยระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ

2. หลังจากเทตัวอย่างทดสอบแล้ว วางถ้วยทดสอบลงในตำแหน่งปรับอุณหภูมิของเครื่องมือวัดจุดวาบไฟ จากนั้นปรับเทอร์โมมิเตอร์สำหรับอ่านค่า โดยให้เทอร์โมมิเตอร์อยู่ในเชื้อเพลิงตัวอย่าง แต่ไม่สัมผัสกับถ้วยทดสอบ

3. จุดไฟและปรับเปลวไฟให้มีลักษณะเป็นทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 ถึง 4 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เครื่องมือในการวัดจุดวาบไฟ

4. เมื่อปรับอุณหภูมิของตัวอย่างเชื้อเพลิงจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการทดสอบ ให้เคลื่อนเปลวไฟผ่านเชื้อเพลิงตัวอย่าง สังเกตการวาบไฟของเชื้อเพลิง หากไม่เกิดการวาบไฟ ปรับอุณหภูมิของเชื้อเพลิงตัวอย่างให้สูงขึ้นครั้งละ 2 องศาเซลเซียส บันทึกผลเมื่อเชื้อเพลิงเกิดการติดไฟชั่วขณะแล้วดับ

3.5.4 การทดสอบจุดชุน และจุดไหลเท (มาตรฐาน ASTM D92)

1. กรองเชื้อเพลิงตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง เพื่อกำจัดฝุ่นผงที่เจือปนในน้ำมัน
2. เขย่าเชื้อเพลิงตัวอย่างจากนั้นเทใส่หลอดแก้วปริมาตร 45 มิลลิลิตร
3. ปิดฝาและใส่เทอร์โมมิเตอร์ โดยให้เทอร์โมมิเตอร์ต่ำกว่าผิวหน้าของตัวอย่าง แต่ไม่แตะหลอดแก้ว
4. ลดอุณหภูมิของเชื้อเพลิงตัวอย่าง และบันทึกค่าอุณหภูมิที่เชื้อเพลิงตัวอย่างเกิดความชุนมั่ว
5. ลดอุณหภูมิของเชื้อเพลิงตัวอย่างจนเชื้อเพลิงไม่สามารถไหลได้ บันทึกค่าอุณหภูมิจุดไหลเท



รูปที่ 3.9 ลักษณะของเชื้อเพลิงตัวอย่างที่เกิดความขุ่นมัว

3.5.5 การทดสอบหาค่าความร้อนเชื้อเพลิง (มาตรฐาน ASTM D240)

การทดสอบหาค่าความร้อนทดสอบด้วยเครื่องมือ วิเคราะห์พลังงานความร้อน (Bomb calorimeter) LECO รุ่น AC-600 โดยทดสอบด้วยวิธีการทดสอบดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักของเชื้อเพลิงตัวอย่างประมาณ 0.5 กรัม
2. นำตัวอย่างบรรจุในถ้วยบรรจุของลูกบอมบ์
3. จากนั้นนำ Lead wire ผูกไว้ที่ลวดเหนือถ้วยบรรจุตัวอย่าง ให้ปลายของ Lead wire แตะกับเชื้อเพลิงตัวอย่าง
4. ปิดฝาลูกบอมบ์ จากนั้นเติมออกซิเจนเข้าสู่ลูกบอมบ์
5. นำเข้าเครื่อง Bomb calorimeter กดปุ่มสีเขียวที่เครื่อง เครื่องจะทำการวัดค่าความร้อนโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 3.10 Bomb-calorimeter LECO รุ่น AC-600

3.6 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว

3.6.1 รายละเอียดเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

Engine: Type 1 Cylinder, 4 strokes, water cooled, stroke 110 mm, bore 87.5 mm, Capacity 661 cc. Diesel mode: Power 3.5 kW, Speed 1500 rpm, CR range 12:1-18:1. Injection variation: 0-25 Deg BTDC. ECU Petrol Mode: Power 3.5 kW @ 1500 rpm, Speed range 1200-1500 rpm, CR range 6:1-10:1

Dynamometer: Type eddy current, water cooled, with loading unit

Data acquisition device: NI USB-6210, 16-bit, 250kS/s

Piezo powering unit: Make-Apex, Model AX-409

Software: “Enginesoft” Engine performance analysis software

ECU software: peMonitor & peViewer software

3.6.2 การติดเครื่องยนต์

1. ตรวจสอบน้ำมันเครื่องว่ามีปริมาณที่เหมาะสมหรือไม่ ถ้าน้ำมันเครื่องต่ำกว่าขีดที่กำหนดให้ เติมน้ำมันที่ควบคุมห้องปฏิบัติการให้ทราบ
2. เปิดวาล์วน้ำของน้ำหล่อเย็นและน้ำที่ใช้เป็นโหลดของเครื่องยนต์
3. เปิดเครื่องสูบน้ำหล่อเย็น ตรวจสอบดูว่าทำงานเป็นปกติหรือไม่ จากนั้นปรับการไหลให้เหมาะสม (ประมาณ 18-20 ลิตรต่อนาที)

4. ปรับโหลดให้ต่ำ โดยเปิดวาล์วเข้าไดนาโมมิเตอร์เพียงเล็กน้อย
5. เปิดวาล์วน้ำมันของถังน้ำมันเข้าสู่เครื่องยนต์
6. เปิดสวิตช์ไฟ ไฟสีแดงบนแผงบังคับจะติด จากนั้นกดปุ่มสตาร์ทเครื่องยนต์
7. ในการกดปุ่มสตาร์ทไม่ควรกดแช่นานกว่า 10 วินาที ถ้าเครื่องยนต์ไม่ติดให้ปล่อยปุ่มก่อน แล้วค่อยลองกดใหม่ และเมื่อเครื่องยนต์ติดแล้วให้ปล่อยปุ่มสตาร์ททันที
8. ในระหว่างนี้อาจปรับอัตราการจ่ายน้ำมันให้เหมาะสม

3.6.3 การทดสอบเครื่องยนต์

การทดสอบนี้ควรจะใช้คนร่วมปฏิบัติการและจัดบันทึกค่าประมาณ 4 คนเป็นอย่างต่ำ คือ

- คนที่ 1 อ่านค่าแรงดันน้ำมันเครื่อง อุณหภูมิน้ำมันเครื่อง และควบคุมการติดเครื่องยนต์
- คนที่ 2 อ่านค่าอุณหภูมิ ณ จุดต่าง ๆ แรงบิด และความเร็วรอบ พร้อมทั้งควบคุมการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อให้ความเร็วรอบตามต้องการ
- คนที่ 3 ตรวจสอบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง อัตราการไหลของอากาศ
- คนที่ 4 ควบคุมการไหลของน้ำและบันทึกความดันของน้ำที่เข้าสู่ไดนาโมมิเตอร์

3.6.4 ขั้นตอนทดสอบ

1. ในกรณีที่เครื่องยนต์เย็นอยู่ก่อน เมื่อเครื่องยนต์ติดแล้วควรปล่อยให้เครื่องยนต์เดินเบา ประมาณ 5 นาที จึงเริ่มการทดสอบ
2. ณ ที่โหลดเบาที่สุด ทำการปรับการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อให้รอบการทำงานเป็นไปตามที่กำหนด โดยประมาณว่าสามารถมีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้ความเร็วรอบตามที่ต้องการแล้ว บันทึกผลของ ค่าต่าง ๆ ที่ต้องการลงในตาราง
3. สำหรับการวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงจะใช้นาฬิกาจับอัตราน้ำมันเชื้อเพลิงที่ เครื่องยนต์ใช้ โดยใช้ถังตวงที่ติดมากับชุดจ่ายน้ำมันของเครื่องยนต์และติดตั้งอยู่บริเวณผนังห้อง
4. เปลี่ยนแปลงให้อัตราการไหลเข้าของน้ำเข้าสู่ไดนาโมมิเตอร์เพิ่มขึ้น จากนั้นปรับการจ่าย น้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อให้รอบกลับมาคงที่เหมือนเดิม ระวังในการเพิ่ม โหลดนั้นถ้ามากขึ้นอย่างรวดเร็วอาจทำให้เครื่องยนต์ดับได้ และเมื่อความเร็วรอบคงที่ตามที่ต้องการแล้วจึงจดบันทึกค่าลงในตาราง

5. เมื่อทดสอบเสร็จสิ้นแล้วให้ปิดเครื่องยนต์ ปิดวาล์วจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง ปิดวาล์วน้ำที่เข้าสู่ ไดนาโมมิเตอร์ และปล่อยให้เครื่องสูบน้ำหล่อเย็นทำงานต่อสักระยะเวลาหนึ่ง จนกระทั่ง เครื่องยนต์เย็นลงพอสมควร แล้วจึงปิดเครื่องสูบน้ำหล่อเย็น

6. ปิดวาล์วน้ำทั้งหมด ปิดสวิตช์ไฟ ถ้าเครื่องยนต์จะไม่ใช้งานเป็นเวลานาน ให้ทำการถอดขั้วแบตเตอรี่ออก



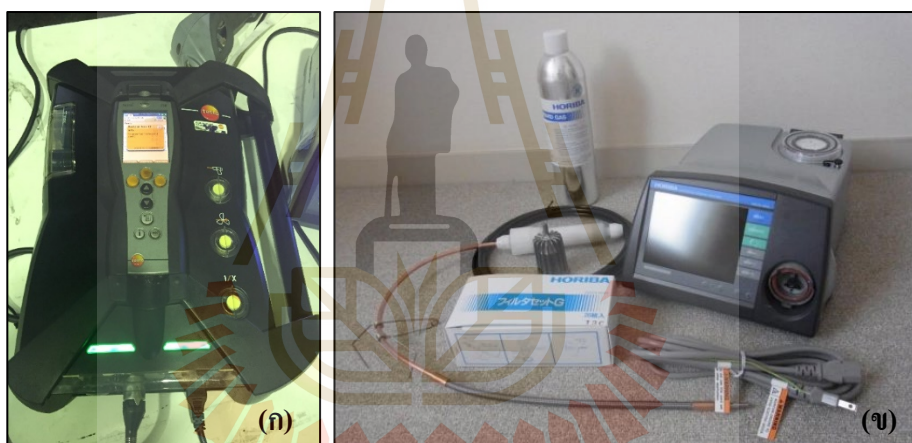
รูปที่ 3.11 คู่มือควบคุมแสดงการทำงานของเครื่องยนต์



รูปที่ 3.12 เครื่องยนต์ดีเซลสูบน้ำ

3.7 การทดสอบมลพิษไอเสีย

การทดสอบมลพิษไอเสียจะใช้เครื่องมือวัดจากไอเสียที่ออกมาจากเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยว เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วยเครื่องมือ TESTO รุ่น TESTO 350 เครื่องมือวัด HORIBA รุ่น MEXA-584L แสดงดังรูปที่ 3.13 มลพิษไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการสันดาปของรถยนต์และเครื่องยนต์สันดาปภายในอื่น ๆ ที่เป็นมลพิษในอากาศและถูกควบคุมประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ออกไซด์ของไนโตรเจน (Oxides of Nitrogen) คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide) และเขม่าควันดำ (Particulate Matter/Smoke/Soot) มลพิษเหล่านี้สร้างมลภาวะให้กับสิ่งแวดล้อม โดยสาเหตุที่ทำให้เกิดมลพิษไอเสียคือการที่เครื่องยนต์สันดาปไม่สมบูรณ์ การแตกตัวของไนโตรเจนและสิ่งแปลกปลอมที่ไม่พึงประสงค์ในเชื้อเพลิงและอากาศ



รูปที่ 3.13 เครื่องตรวจวัดแก๊สไอเสีย

(ก) เครื่องมือวัด TESTO รุ่น TESTO 350

(ข) เครื่องมือวัด HORIBA รุ่น MEXA-584L

3.7.1 ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำการติดเครื่องยนต์แล้วปล่อยให้เครื่องยนต์เดินเบา จนเครื่องยนต์อยู่ในช่วงที่เหมาะสม สำหรับการทดสอบ (อุณหภูมิน้ำมันเครื่องอยู่ที่ประมาณ 70 องศาเซลเซียส)
2. เริ่มทำการทดสอบด้วยการปรับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ให้อยู่ที่ 1,500 รอบต่อนาที แล้วปรับการจ่ายโหลดให้กับเครื่องยนต์ที่ 27 นิวตันเมตร ซึ่งเมื่อจ่ายโหลดให้กับเครื่องยนต์ความเร็วรอบจะลดลง จึงต้องเร่งปรับความเร็วให้คงที่ตามที่กำหนด

3. ทำการวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง ด้วยการจับเวลาอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง โดยใช้ปริมาตรในการวัดที่ 50 มิลลิลิตร
4. ทำการตรวจวัดมลพิษไอเสียด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สไอเสีย ณ บริเวณปลายท่อไอเสียของ เครื่องยนต์
5. บันทึกข้อมูลผลการทดสอบ ได้แก่ อุณหภูมิแก๊สไอเสีย และอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง



บทที่ 4

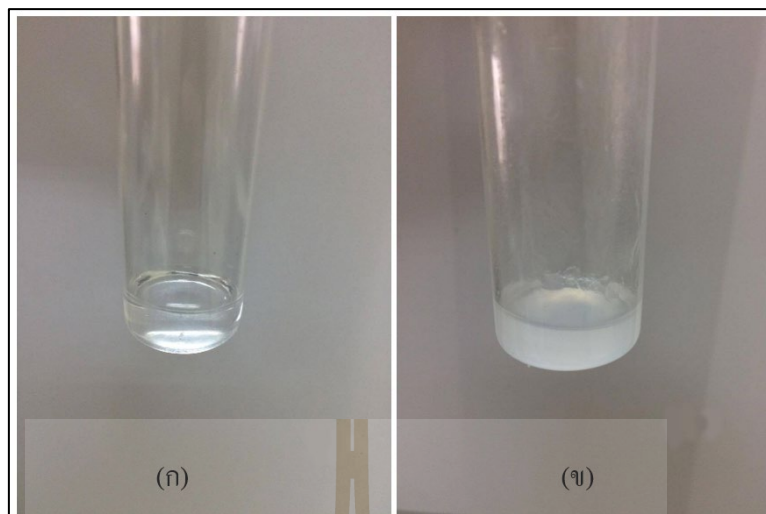
ผลการดำเนินการวิจัย

4.1 บทนำ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากน้ำมันรำข้าวด้วยวิธีการไมโครอิมัลชันในระบบผสม ซึ่งในแต่ละตัวอย่างประกอบไปด้วย 3 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ น้ำมันรำข้าว เอทานอล สารลดแรงตึงผิว 2 ชนิด คือ Span 80 และ Tween 80 ผสมกับ Dehydol LS 1 TH, Dehydol LS 3 TH, Dehydol LS 7 TH และ Dehydol LS 12 TH สารร่วมลดแรงตึงผิว คือ 1-Octanol โดยศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิว 2 ชนิด ผลของอัตราส่วนระหว่างสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวรวม ที่มีผลต่อสมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ เปรียบเทียบกับมาตรฐานลักษณะและคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร พ.ศ.2549

4.2 ความสามารถในการละลายได้ของสารลดแรงตึงผิว ในสารร่วมลดแรงตึงผิวที่อัตราส่วนโดยโมลต่าง ๆ

ศึกษาความสามารถการละลายได้ของสารลดแรงตึงผิว ในสารร่วมลดแรงตึงผิวรวม (S:C) ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1, 1:5, 1:10, 1:20 และ 1:30 โดยการเตรียมตัวอย่างในปริมาตร 3 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ในอ่างควบคุมความร้อนแบบเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง พบว่า สารลดแรงตึงผิวทั้ง 2 ชนิดสามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้ ยกเว้นสารลดแรงตึงผิว Dehydol LS 12 TH ที่ไม่สามารถละลายได้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส อาจเนื่องมาจาก Dehydol LS 12 TH มีลักษณะเป็นของเหลวข้นละลายได้ยากกว่า Dehydol LS 1 TH, Dehydol LS 3 TH และ Dehydol LS 7 TH เมื่อพิจารณาจากค่า HLB ของ Dehydol LS 12 TH มีค่าสูง (HLB = 14.6) บ่งบอกว่า Dehydol LS 12 TH มีความเป็นขั้วสูง ทำให้ละลายเข้ากับ 1-Octanol ที่มีความเป็นขั้วต่ำได้ยาก Dehydol LS 12 TH จึงไม่เหมาะในการนำมาศึกษาในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวระบบผสม

(ก) สารลดแรงตึงผิวที่สามารถละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้

(ข) สารลดแรงตึงผิวไม่สามารถละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้

4.3 การศึกษาวัฏภาคไมโครอิมัลชัน

หลังจากทำการศึกษาการละลายได้ของสารลดแรงตึงผิวในสารร่วมลดแรงตึงผิวแล้ว จากนั้นศึกษาการเกิดวัฏภาคไมโครอิมัลชันผ่านแผนผังวัฏภาคสารผสมสามองค์ประกอบ โดยศึกษาที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารลดแรงตึงผิวต่อสารร่วมลดแรงตึงผิว 1:5, 1:10, 1:20 และ 1:30 ในแต่ละตัวอย่างประกอบด้วย น้ำมันรำข้าว เอทานอล และสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม S1:S2 อัตราส่วนโดยโมล 1.0:0.0, 0.7:0.3, 0.4:0.6 และ 0.0:1.0 ผสมทั้ง 3 องค์ประกอบตามอัตราส่วนโดยปริมาตรในแผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบทั้ง 36 จุด เมื่อผสมส่วนประกอบต่าง ๆ แล้วทิ้งไว้ให้ระบบเข้าสู่สมดุลในอ่างควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าเป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส ผลจากการสังเกตวัฏภาคที่เกิดขึ้นในหลอดทดลอง ดังนี้

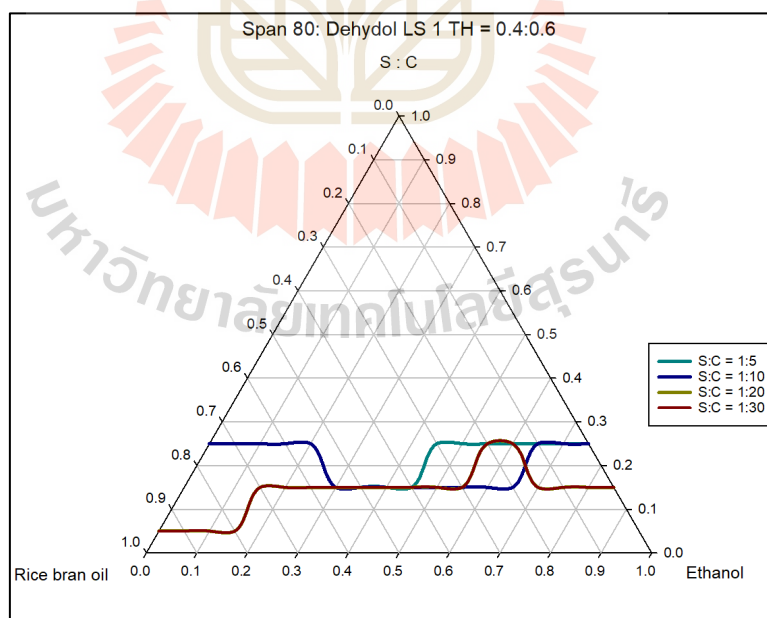
4.3.1 วัฏภาคไมโครอิมัลชันเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิว (S1:S2)

จากรูปที่ 4.2 ถึงรูปที่ 4.5 พบว่าในระบบผสมของสารลดแรงตึงผิว Span 80 กับ Dehydol LS 1 TH และ Dehydol LS 3 TH เมื่อลดปริมาณของ Dehydol LS 1 TH และ Dehydol LS 3 TH ลง การเกิดวัฏภาคไมโครอิมัลชันมีแนวโน้มลดลง แตกต่างจากระบบอื่น ๆ จากรูปที่ 4.6 ถึงรูปที่ 4.13 ที่พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวในกลุ่ม S1 นั่นคือ Span 80 และ Tween 80 มีแนวโน้มเกิดวัฏภาคไมโครอิมัลชันได้ดีขึ้น

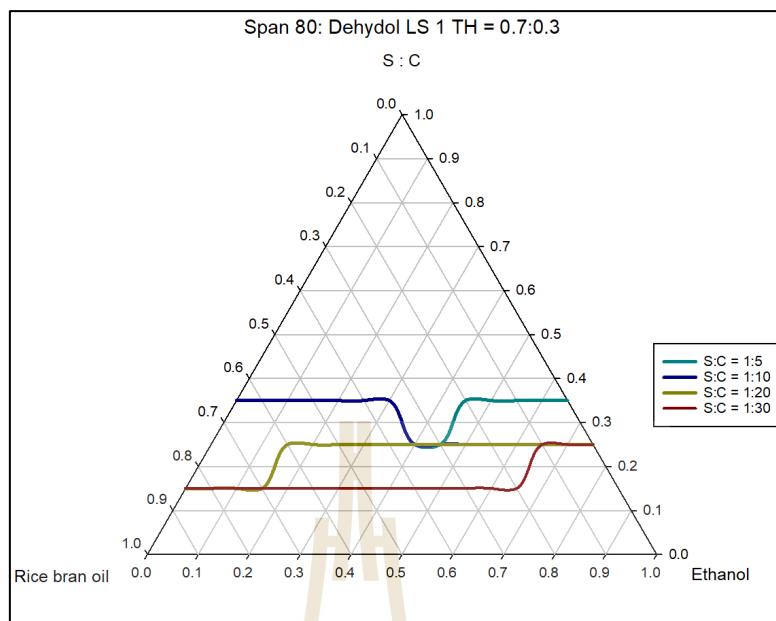
ในระบบผสมระหว่าง Span 80 กับ Dehydol LS 3 TH มีพฤติกรรมการเกิดวิกฤตไมโครอิมัลชันได้ไม่ดีนัก เนื่องจากความสามารถของ Dehydol LS 3 TH ในระบบเดี่ยวมีพื้นที่การเกิดวิกฤตไมโครอิมัลชันน้อย และจากค่า HLB ของทั้ง Span 80 และ Dehydol LS 3 TH มีค่าต่ำ (4.3 และ 7.9 ตามลำดับ) ทำให้สารลดแรงตึงผิวในระบบผสมนี้จับตัวกับเอทานอลได้ไม่ดีนัก แตกต่างจากในระบบผสมระหว่าง Span 80 กับ Dehydol LS 7 TH ที่ค่า HLB ของ Dehydol LS 7 TH สูง (12.1) ช่วยให้อิมัลชันจับตัวกับเอทานอลได้ดีขึ้น

4.3.2 วิกฤตไมโครอิมัลชันเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมลของสารลดแรงตึงผิวต่อสารร่วมลดแรงตึงผิว (S:C)

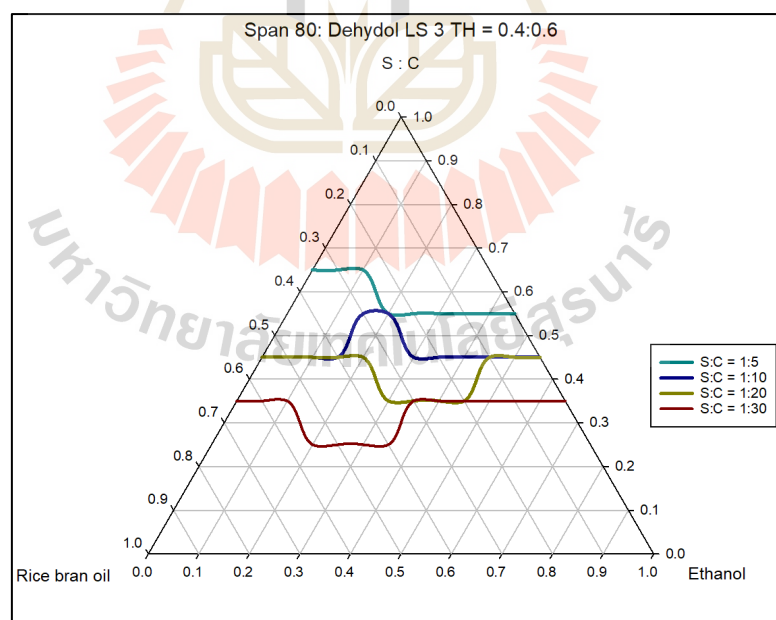
สารร่วมลดแรงตึงผิวทำหน้าที่ช่วยให้สารลดแรงตึงผิวทำงานได้ดีขึ้น ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.2 ถึงรูปที่ 4.13 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของสารร่วมลดแรงตึงผิว การเกิดวิกฤตไมโครอิมัลชันมีแนวโน้มเกิดได้ดีขึ้น จนถึงจุดที่เหมาะสม สังเกตได้จากรูปที่ 4.8, รูปที่ 4.9, รูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.13 เมื่อเพิ่มอัตราส่วน S:C จาก 1:20 เป็น 1:30 การเกิดวิกฤตไมโครอิมัลชันมีความใกล้เคียงกัน โดยในแต่ละระบบผสมต้องทดลองเพื่อหาอัตราส่วน S:C ที่เหมาะสม เช่นจากรูปที่ 4.2 พบว่า การเพิ่มปริมาณของสารร่วมลดแรงตึงผิวส่งผิวต่อการเกิดวิกฤตไมโครอิมัลชันเพียงเล็กน้อย



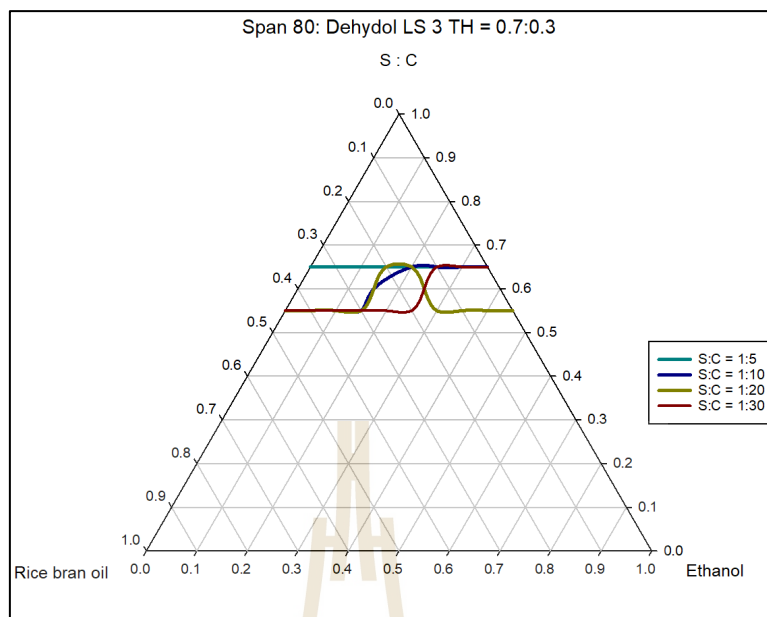
รูปที่ 4.2 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบเมื่อสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม (Span 80:Dehydol LS 1 TH ในอัตราส่วนโดยโมล 0.4:0.6)



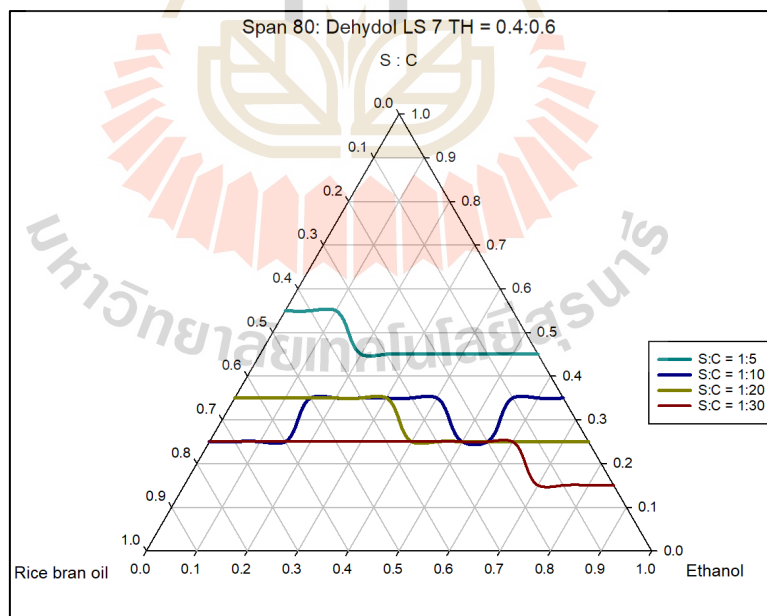
รูปที่ 4.3 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบ เมื่อสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม
(Span 80:Dehydrol LS 1 TH ในอัตราส่วนโดยโมล 0.7:0.3)



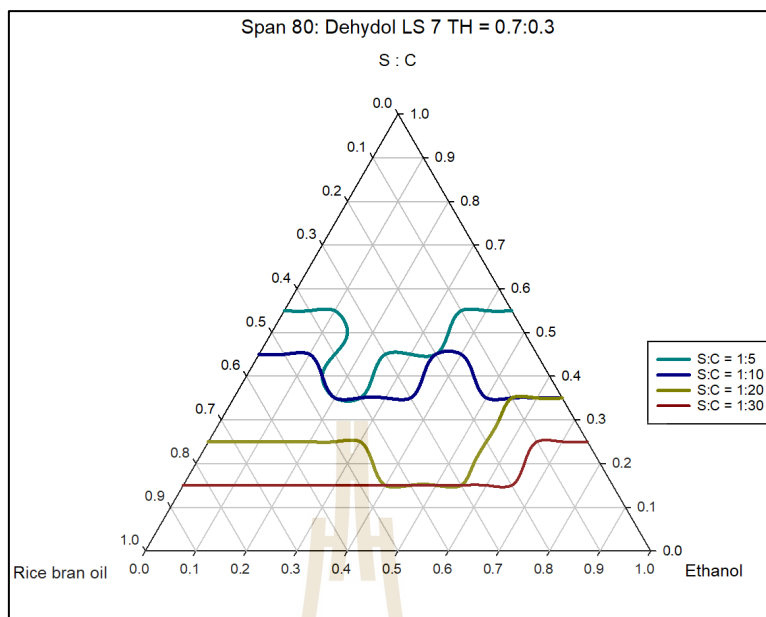
รูปที่ 4.4 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบเมื่อสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม
(Span 80:Dehydrol LS 3 TH ในอัตราส่วนโดยโมล 0.4:0.6)



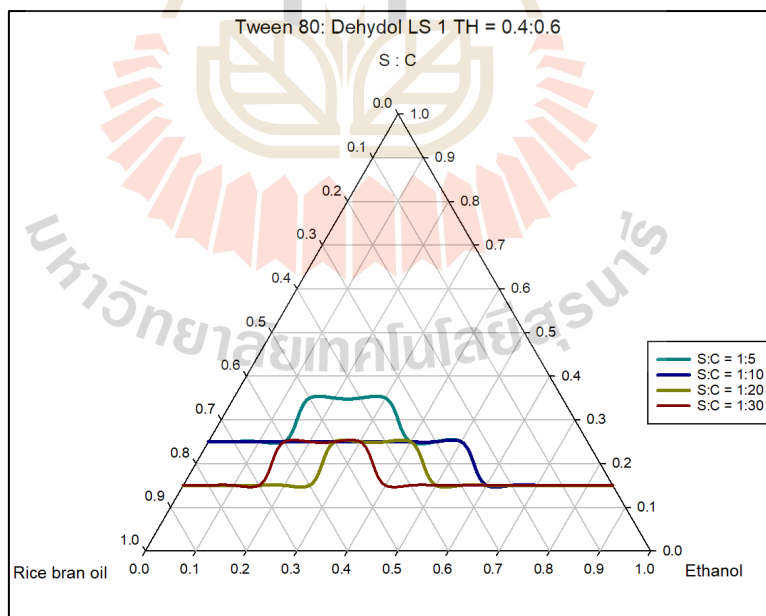
รูปที่ 4.5 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบเมื่อสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม
(Span 80:Dehydrol LS 3 TH ในอัตราส่วน โดยโมล 0.7 :0.3)



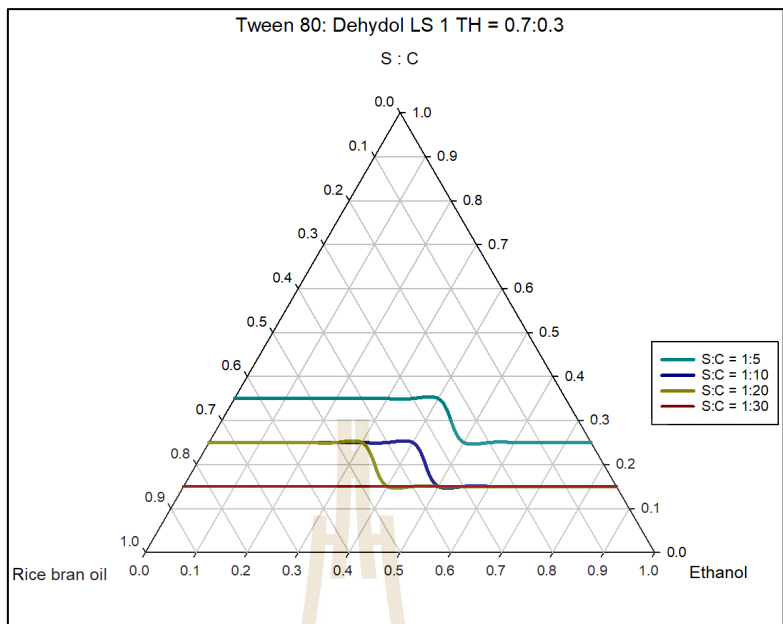
รูปที่ 4.6 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบเมื่อสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม
(Span 80:Dehydrol LS 7 TH ในอัตราส่วน โดยโมล 0.4:0.6)



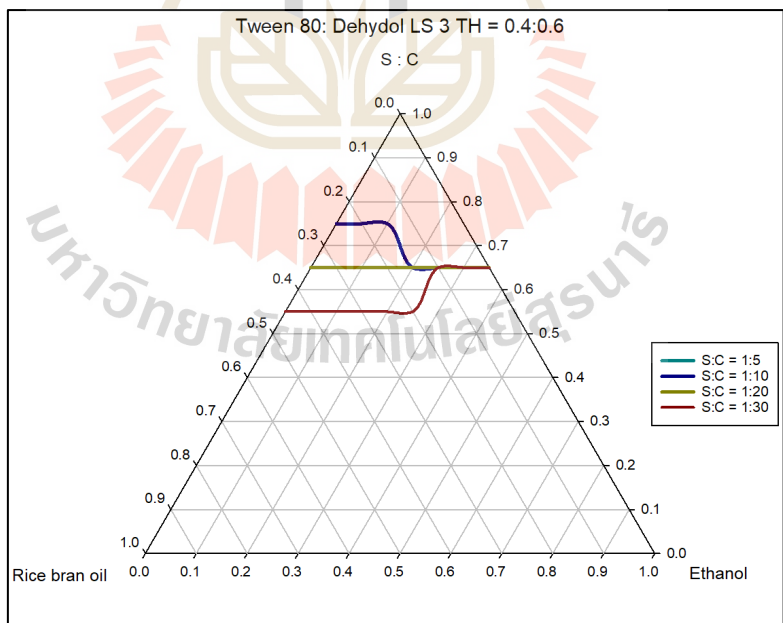
รูปที่ 4.7 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบเมื่อสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม
(Span 80:Dehydrol LS 7 TH ในอัตราส่วน โดยโมล 0.7:0.3)



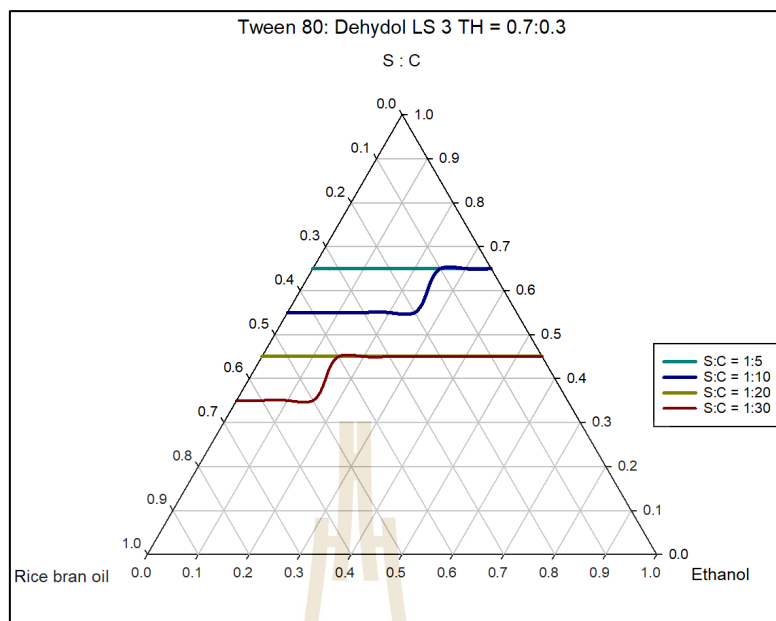
รูปที่ 4.8 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบเมื่อสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม
(Tween 80:Dehydrol LS 1 TH ในอัตราส่วน โดยโมล 0.4:0.6)



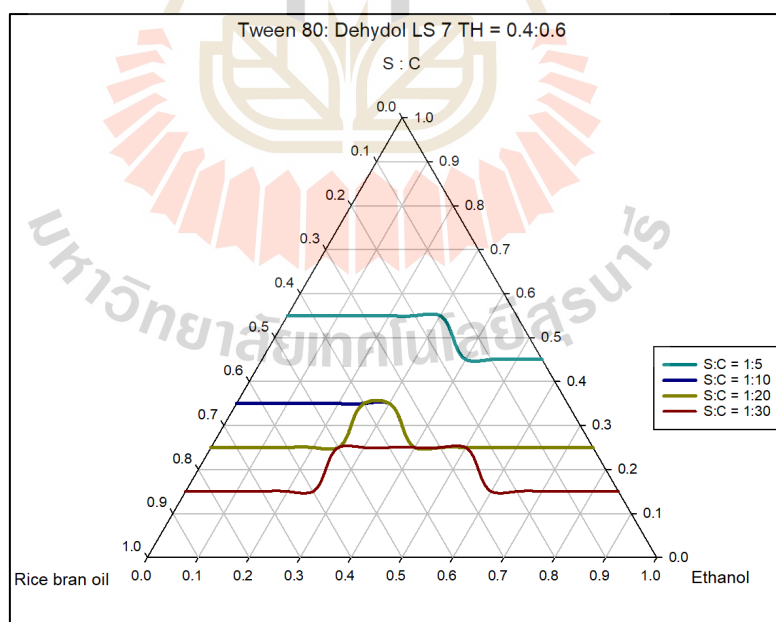
รูปที่ 4.9 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบเมื่อสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม (Tween 80:Dehydrol LS 1 TH ในอัตราส่วนโดยโมล 0.7:0.3)



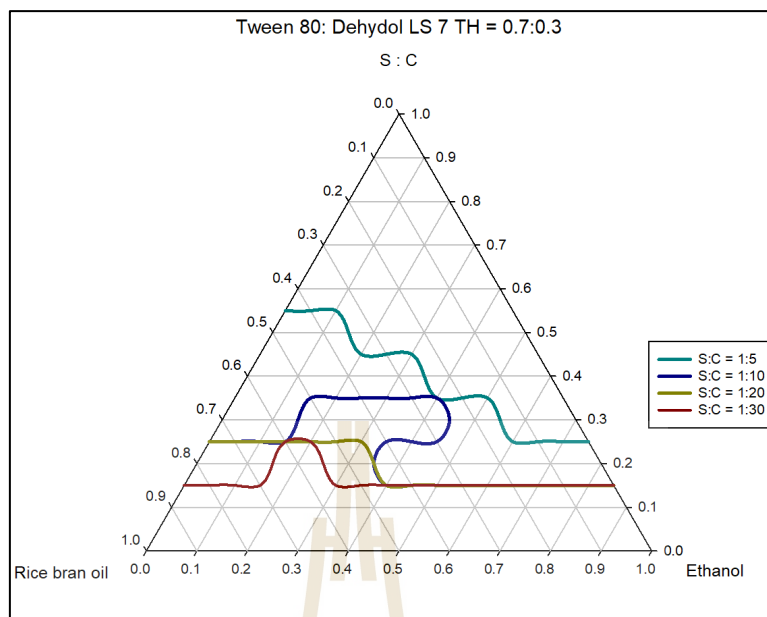
รูปที่ 4.10 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบเมื่อสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม (Tween 80:Dehydrol LS 3 TH ในอัตราส่วนโดยโมล 0.4:0.6)



รูปที่ 4.11 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบเมื่อสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม
(Tween 80:Dehydrol LS 3 TH ในอัตราส่วนโดยโมล 0.7:0.3)



รูปที่ 4.12 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบเมื่อสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม
(Tween 80:Dehydrol LS 7 TH ในอัตราส่วนโดยโมล 0.4:0.6)



รูปที่ 4.13 แผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบเมื่อสารลดแรงตึงผิวในระบบผสม
(Tween 80:Dehydrol LS 7 TH ในอัตราส่วนโดยโมล 0.7:0.3)

4.4 ความหนืดเชิงจลน์ (Kinematic viscosity) ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

ศึกษาความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพโดยเลือกจุดที่นำไปทดสอบ 3 จุดจากแผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบ จุดที่ 1 อัตราส่วนโดยปริมาตรของน้ำมันรำข้าวร้อยละ 60 สารลดแรงตึงผิวต่อสารร่วมลดแรงตึงผิวร้อยละ 30 และเอทานอลร้อยละ 10 จุดที่ 2 น้ำมันรำข้าวร้อยละ 50 สารลดแรงตึงผิวต่อสารร่วมลดแรงตึงผิวร้อยละ 30 และเอทานอลร้อยละ 20 จุดที่ 3 น้ำมันรำข้าวร้อยละ 40 สารลดแรงตึงผิวต่อสารร่วมลดแรงตึงผิวร้อยละ 30 และเอทานอลร้อยละ 30

4.4.1 ความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิว (S1:S2)

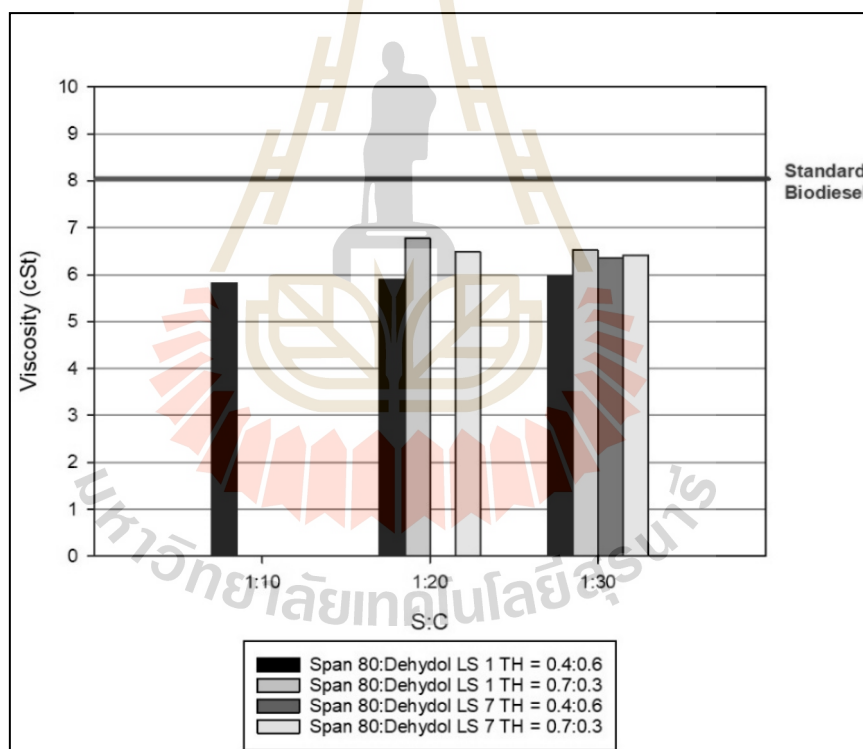
จากตารางที่ 2.5 มาตรฐานลักษณะและคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร พ.ศ. 2549 ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซล ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ควรต่ำกว่า 8 cSt เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 445 พบว่าที่จุดที่ 1 และ 2 ในแผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบมีค่าความหนืดสูงกว่ามาตรฐานจึงไม่นำมาใช้ในการพิจารณา

จากรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 เมื่อเพิ่มปริมาณของสารลดแรงตึงผิวกลุ่ม S1 ความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากความหนืดของสารลดแรงตึงผิวกลุ่ม S1 มีค่าสูงกว่ากลุ่ม S2 และเมื่อเปลี่ยนสารลดแรงตึงผิวกลุ่ม S2 จาก Dehydrol LS 1

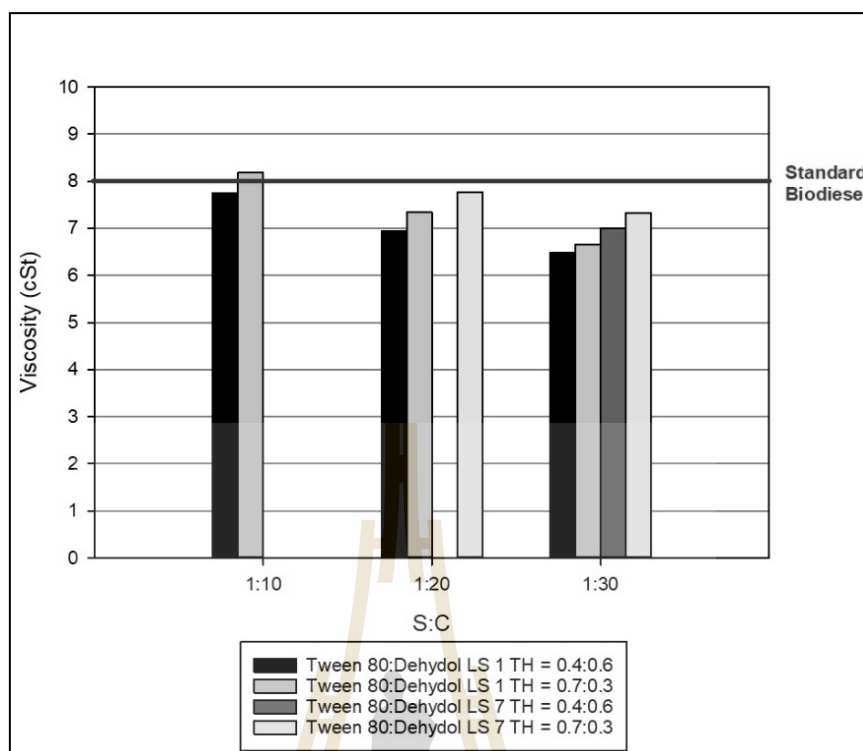
เป็น Dehydol LS 3 TH พบว่าความหนืดมีค่าสูงขึ้น เนื่องมาจากความหนืดของ Dehydol LS 3 TH สูงกว่า Dehydol LS 1 TH เช่นกัน

4.4.2 ความหนืดเชิงจลน์เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวต่อสารร่วมลดแรงตึงผิว (S:C)

จากรูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มี Span 80 เป็นองค์ประกอบพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ 1-Octanol ความหนืดเชิงจลน์มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่เมื่อพิจารณารูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มี Tween 80 เป็นองค์ประกอบ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของ 1-Octanol ความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลง เนื่องจาก 1-Octanol มีความหนืดน้อยกว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของ 1-Octanol ทำให้เชื้อเพลิงที่ได้มีความหนืดลดลง (ณัฐพร ธรรมสุชาติ, 2557)



รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มี Span 80 เป็นองค์ประกอบ และอัตราส่วน โดยปริมาตรภายในแผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบน้ำมันรำข้าว 40% เอทานอล 30% และ S:C 30%

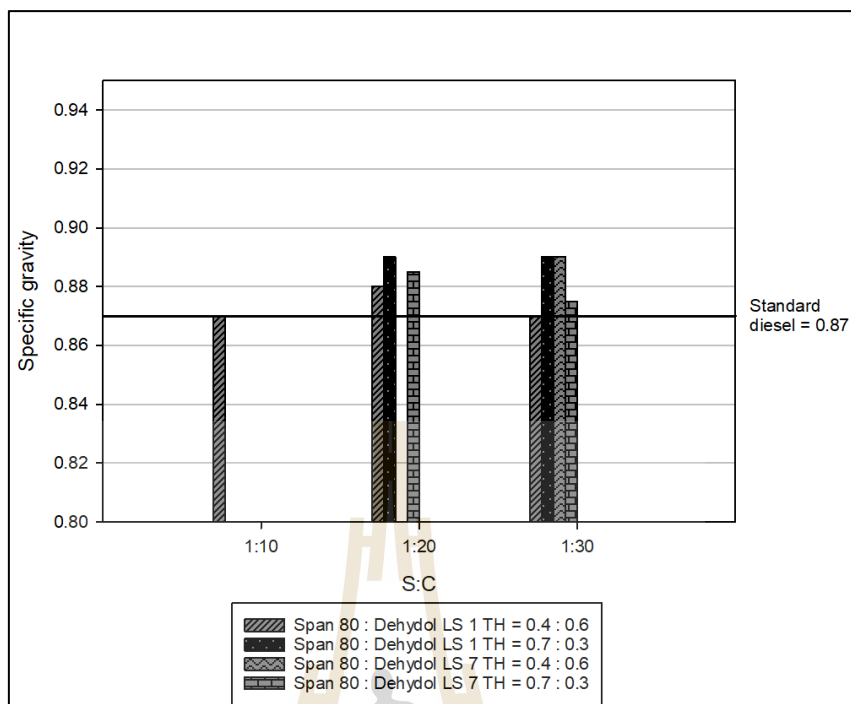


รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบความหนืดเชิงจลน์ของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มี Tween 80 เป็นองค์ประกอบ และอัตราส่วน โดยปริมาตรภายในแผนภาพสามสมสามองค์ประกอบน้ำมันรำข้าว 40% เอทานอล 30% และ S:C 30%

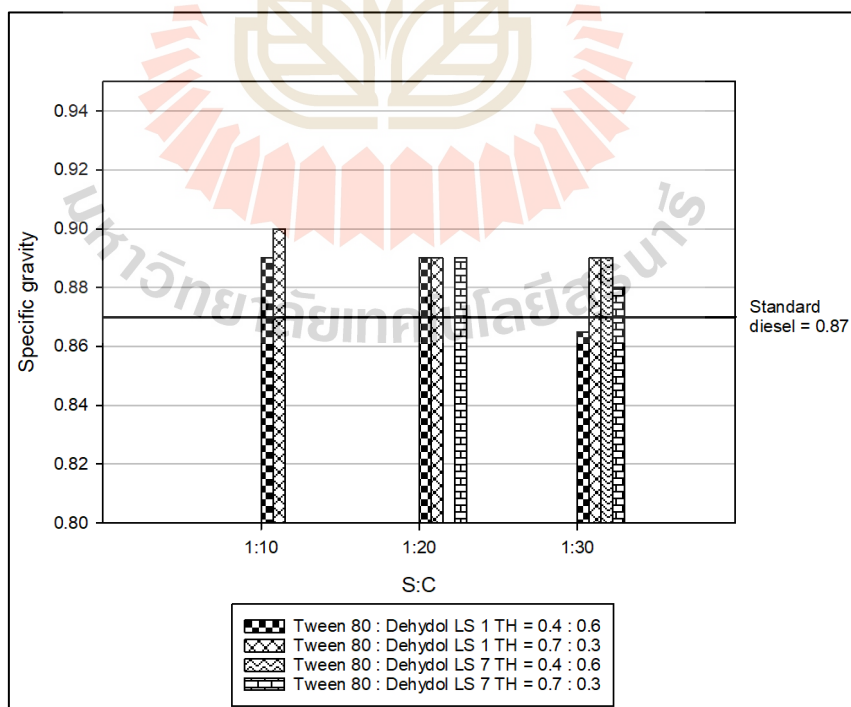
4.5 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

ค่าความถ่วงจำเพาะ คือ อัตราส่วนของความหนาแน่นของเชื้อเพลิงต่อความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน ความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงมีผลต่อการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ หากเชื้อเพลิงมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงบ่งบอกว่ามีสารประกอบอะโรมาติกอยู่มาก (Diesel fuels Technical Review, 2007) ทำให้เกิดการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ ดังรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่อุณหภูมิ 15.6 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันรำข้าวที่ผลิตด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่ามาตรฐานน้ำมันดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานเล็กน้อย โดยค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน มีค่าอยู่ระหว่าง 0.865-0.900



รูปที่ 4.16 ค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันในระบบ Span 80



รูปที่ 4.17 ค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันในระบบ Tween 80

จากรูปที่ 4.16 เมื่อลดปริมาณของ Dehydol LS 1 TH ค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อลดปริมาณของ Dehydol LS 7 TH ค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพมีแนวโน้มลดลง และการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารร่วมลดแรงตึงผิว ไม่ส่งผลต่อค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพมากนัก

จากรูปที่ 4.17 ที่อัตราส่วน S:C คือ 1:10 เมื่อลดปริมาณของ Dehydol LS 7 TH ค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพมีแนวโน้มลดลง ที่อัตราส่วน S:C คือ 1:30 เมื่อลดปริมาณของ Dehydol LS 1 TH ค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อลดปริมาณของ Dehydol LS 7 TH ค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพมีแนวโน้มลดลง เช่นเดียวกับระบบ Span 80 เนื่องจากค่าความถ่วงจำเพาะแปรผกผันกับความหนาแน่นของสาร ซึ่งความหนาแน่นของ Dehydol LS 1 TH < Dehydol LS 3 TH < Dehydol LS 7 TH ส่งผลให้เมื่อเพิ่มปริมาณของ Dehydol LS 7 TH ค่าความถ่วงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพจึงมีแนวโน้มลดลง

4.6 จุดวาบไฟ (Flash point)

จุดวาบไฟสัมพันธ์กับการระเหย (Volatility) ของเชื้อเพลิงบ่งบอกถึงการระเหยกลายเป็นไอมากพอที่จะลุกติดไฟได้ ซึ่งจุดวาบไฟไม่ได้มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในเครื่องยนต์ แต่ช่วยในด้านการป้องกันอัคคีภัยในการเก็บรักษาเชื้อเพลิงชีวภาพ จุดวาบไฟของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังตารางที่ 4.1

จุดวาบไฟของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีค่าอยู่ที่ประมาณ 18-23 องศาเซลเซียส ผลที่ได้ใกล้เคียงกับผลการศึกษาเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้จากน้ำมันปาล์มด้วยวิธีไมโครอิมัลชันที่มีเอทานอล 99% เป็นส่วนประกอบ พบว่ามีจุดวาบไฟที่ 15 องศาเซลเซียส (Noukamol, 2013) เบื้องต้นคาดว่าเอทานอลส่งผลให้จุดวาบไฟของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีค่าต่ำมาก

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.1 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของ 1-Octanol จุดวาบไฟของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจาก 1-Octanol มีความสามารถในการระเหยเป็นไอได้น้อย (Amar Deep et al., 2014) ทำให้จุดวาบไฟมีค่าสูงขึ้น

ตารางที่ 4.1 จุดวาบไฟของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

สารลดแรงตึงผิว (S1:S2)	S:C	จุดวาบไฟ (°C)
Span 80:Dehydol LS 1 TH = 0.4:0.6	1:10	20
	1:20	20
	1:30	23
Span 80:Dehydol LS 1 TH = 0.7:0.3	1:10	-
	1:20	21
	1:30	23
Span 80:Dehydol LS 7 TH = 0.4:0.6	1:10	-
	1:20	-
	1:30	21
Span 80:Dehydol LS 7 TH = 0.7:0.3	1:10	-
	1:20	20
	1:30	23
Tween 80:Dehydol LS 1 TH = 0.4:0.6	1:10	18
	1:20	19
	1:30	21
Tween 80:Dehydol LS 1 TH = 0.7:0.3	1:10	20
	1:20	18
	1:30	23
Tween 80:Dehydol LS 7 TH = 0.4:0.6	1:10	-
	1:20	-
	1:30	23
Tween 80:Dehydol LS 7 TH = 0.7:0.3	1:10	-
	1:20	22
	1:30	20

4.7 จุดขุ่น (Cloud point)

จุดขุ่น คือ สมบัติของเชื้อเพลิงที่บ่งบอกถึงอุณหภูมิต่ำที่สุดที่สามารถนำเชื้อเพลิงไปใช้งานได้ (Diesel fuels Technical Review, 2007) โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการลดอุณหภูมิของเชื้อเพลิงชีวภาพ และบันทึกลักษณะของเชื้อเพลิงชีวภาพที่อุณหภูมิ 20, 25 และ 15 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เชื้อเพลิงชีวภาพทุกตัวอย่างมีลักษณะใส ไม่เกิดการขุ่นมัว ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เชื้อเพลิงชีวภาพเกิดการขุ่นมัว ยกเว้นกลุ่มตัวอย่างที่มีสารลดแรงตึงผิว Tween 80 เป็นส่วนผสม โดยตัวอย่างที่มีสารลดแรงตึงผิวในกลุ่มที่ 2 (S2) มาก มีแนวโน้มที่จะเกิดการขุ่นมัวในอุณหภูมิที่ต่ำกว่าตัวอย่างที่มีส่วนผสมของ S2 อยู่่น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม (ณัฐพร ธรรมสุชาติ, 2557) พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากน้ำมันรำข้าวมีจุดขุ่นสูงกว่า ซึ่งน้ำมันรำข้าวมีจุดขุ่นต่ำกว่าน้ำมันปาล์ม การที่เชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันรำข้าวมีจุดขุ่นสูงอาจเนื่องมาจาก การลดอุณหภูมิต่างผลให้ประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวในระบบผสมลดลง (S. Ajith, 1995) หากเชื้อเพลิงชีวภาพมีจุดขุ่นสูง จะทำให้เชื้อเพลิงเกิดไขที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้เกิดการอุดตันภายในเครื่องยนต์ อย่างไรก็ตามอุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2561 อยู่ที่ 27.5 องศาเซลเซียส ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวภาพนี้มีจุดขุ่นที่อุณหภูมิสูงที่สุดคือ 25 องศาเซลเซียส จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาในการนำไปใช้งาน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

สารลดแรงตึงผิว (S1:S2)	S:C	อุณหภูมิ		
		25°C	20°C	15°C
Span 80 : Dehydol LS 1 TH = 0.4 : 0.6	1:10	×	/	/
	1:20	×	/	/
	1:30	×	/	/
Span 80 : Dehydol LS 1 TH = 0.7 : 0.3	1:10	-	-	-
	1:20	×	/	/
	1:30	×	/	/
Span 80 : Dehydol LS 7 TH = 0.4 : 0.6	1:10	-	-	-
	1:20	-	-	-
	1:30	×	/	/

ตารางที่ 4.2 จุดขุ่นของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน (ต่อ)

สารลดแรงตึงผิว (S1:S2)	S:C	อุณหภูมิ		
		25 °C	20 °C	15 °C
Span 80:Dehydol LS 7 TH = 0.7:0.3	1:10	-	-	-
	1:20	×	/	/
	1:30	×	/	/
Tween 80:Dehydol LS 1 TH = 0.4:0.6	1:10	×	×	/
	1:20	×	×	/
	1:30	×	×	/
Tween 80:Dehydol LS 1 TH = 0.7:0.3	1:10	×	/	/
	1:20	×	×	/
	1:30	×	/	/
Tween 80:Dehydol LS 7 TH = 0.4:0.6	1:10	-	-	-
	1:20	-	-	-
	1:30	×	×	/
Tween 80:Dehydol LS 7 TH = 0.7:0.3	1:10	-	-	-
	1:20	×	/	/
	1:30	×	/	/

หมายเหตุ × หมายถึง สารไม่เกิดความขุ่นมัว

/ หมายถึง สารเกิดความขุ่นมัว

4.8 จุดไหลเท (Pour point)

จุดไหลเทของเชื้อเพลิง คือ อุณหภูมิต่ำที่สุดที่เชื้อเพลิงจะเริ่มหยุดไหล (Diesel fuels Technical Review, 2007) ทำการทดลอง โดนการลดอุณหภูมิของเชื้อเพลิงชีวภาพตัวอย่างลง และบันทึกลักษณะของเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ 0, -10 และ -15 องศาเซลเซียส พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพทุกตัวอย่างสามารถไหลเทได้ในทุกช่วงอุณหภูมิที่ทำการทดลอง จากมาตรฐานสมบัติของน้ำมันดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2556 น้ำมันดีเซลควรมีจุดไหลเทน้อยกว่า 10 องศาเซลเซียส ดังนั้นเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันนี้จึงสามารถนำไปใช้งานได้ จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 จุดไหลเทของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

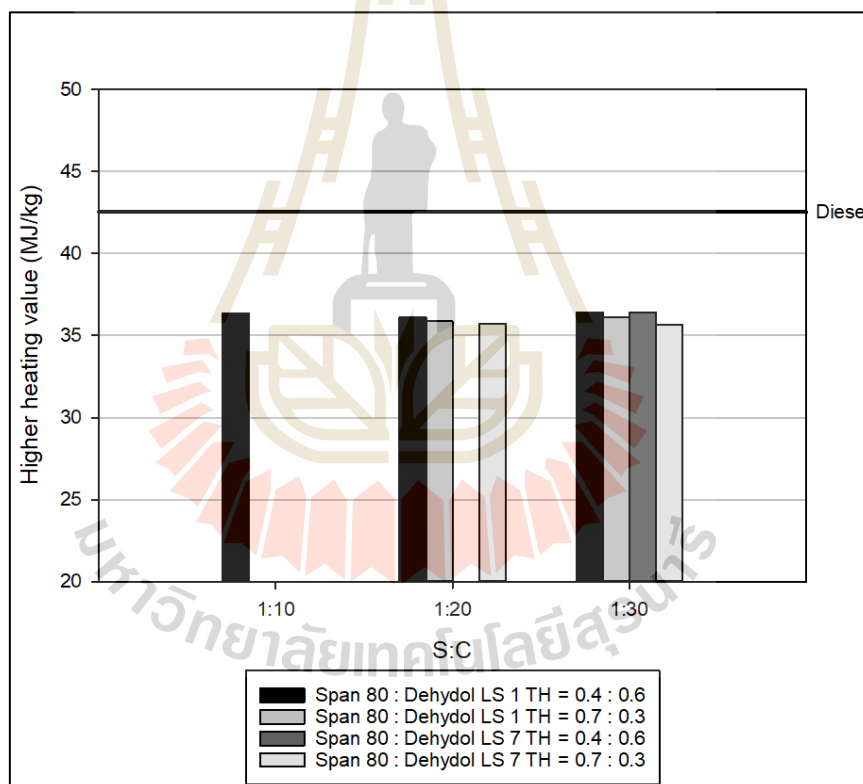
สารลดแรงตึงผิว (S1:S2)	S:C	อุณหภูมิ		
		0 °C	-10 °C	-15 °C
Span 80:Dehydol LS 1 TH = 0.4:0.6	1:10	/	/	/
	1:20	/	/	/
	1:30	/	/	/
Span 80:Dehydol LS 1 TH = 0.7:0.3	1:10	-	-	-
	1:20	/	/	/
	1:30	/	/	/
Span 80:Dehydol LS 7 TH = 0.4:0.6	1:10	-	-	-
	1:20	-	-	-
	1:30	/	/	/
Span 80:Dehydol LS 7 TH = 0.7:0.3	1:10	-	-	-
	1:20	/	/	/
	1:30	/	/	/
Tween 80:Dehydol LS 1 TH = 0.4:0.6	1:10	/	/	/
	1:20	/	/	/
	1:30	/	/	/
Tween 80:Dehydol LS 1 TH = 0.7:0.3	1:10	/	/	/
	1:20	/	/	/
	1:30	/	/	/
Tween 80:Dehydol LS 7 TH = 0.4:0.6	1:10	-	-	-
	1:20	-	-	-
	1:30	/	/	/
Tween 80:Dehydol LS 7 TH = 0.7:0.3	1:10	-	-	-
	1:20	/	/	/
	1:30	/	/	/

หมายเหตุ × หมายถึง สารไม่สามารถไหลเทได้

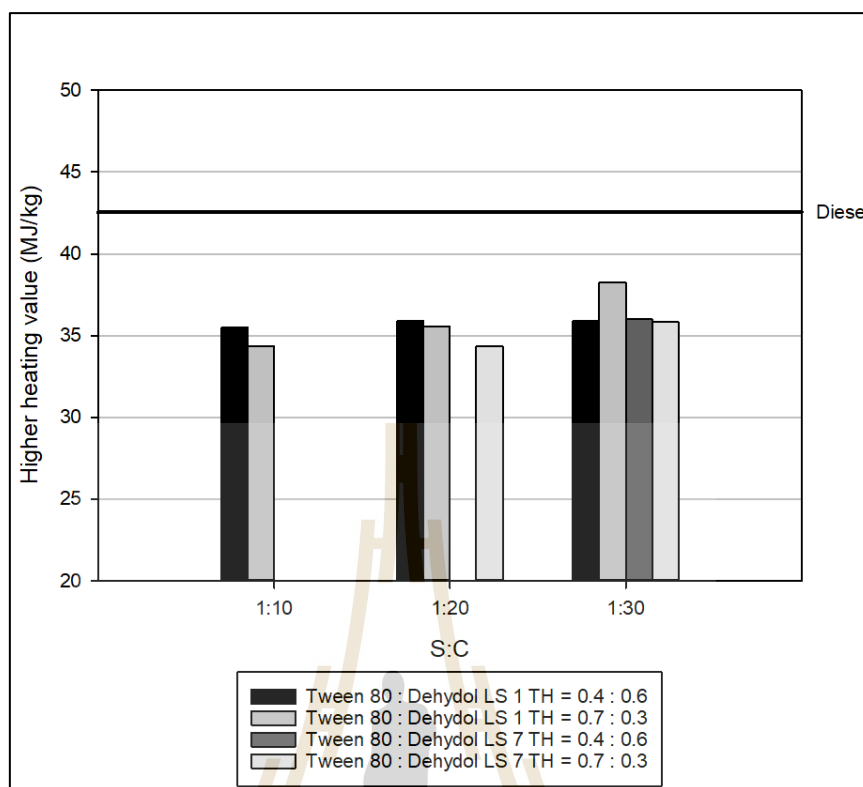
/ หมายถึง สารสามารถไหลเทได้

4.9 ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (Higher heating value)

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีค่าอยู่ระหว่าง 34.3502-38.2634 MJ/kg น้ำมันดีเซลมีค่าความร้อนอยู่ที่ 42.5360 MJ/kg เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ในทางทฤษฎีเชื้อเพลิงที่มีส่วนประกอบของคาร์บอนมาก จะส่งผลให้มีค่าความร้อนเชื้อเพลิงสูง (กระทรวงพลังงาน, 2562) แต่ในเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีส่วนผสมของเอทานอล และ 1-Octanol อยู่ทำให้มีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล และเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันรำข้าวมีค่าความร้อนเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์ม โดยค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มอยู่ที่ 36.6-39.6 MJ/kg (นิจวรรณ อนันตรกิตติ, 2556)



รูปที่ 4.18 ค่าความร้อนเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันในระบบ Span 80



รูปที่ 4.19 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันในระบบ Tween 80

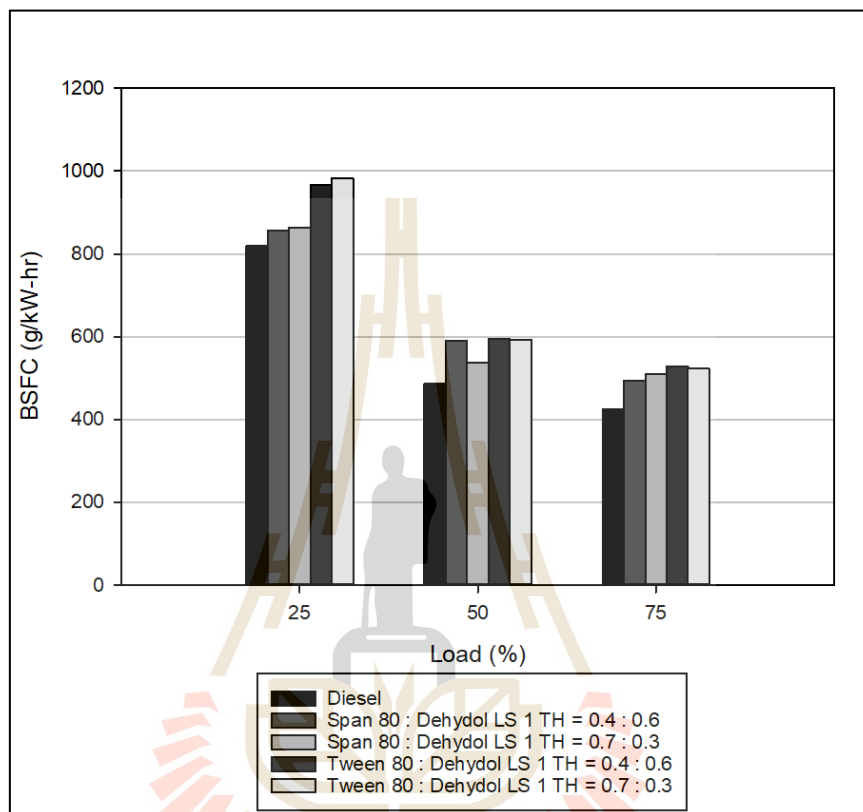
จากรูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.19 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน พบว่าเมื่ออัตราส่วนของ S2 ลดลง ค่าความร้อนเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากในสารลดแรงตึงผิว S2 มีองค์ประกอบของคาร์บอนน้อยกว่าสารลดแรงตึงผิว S1 เมื่อเปลี่ยนสารลดแรงตึงผิว S2 จาก Dehydrol LS 1 TH เป็น Dehydrol LS 7 TH พบว่าค่าความร้อนเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และเมื่อเพิ่มปริมาณของ 1-Octanol ค่าความร้อนมีความเปลี่ยนแปลงน้อยมากเช่นกัน ดังนั้นชนิดของสารลดแรงตึงผิว และปริมาณของ 1-Octanol ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความร้อนเชื้อเพลิงมากนัก

4.10 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

4.10.1 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

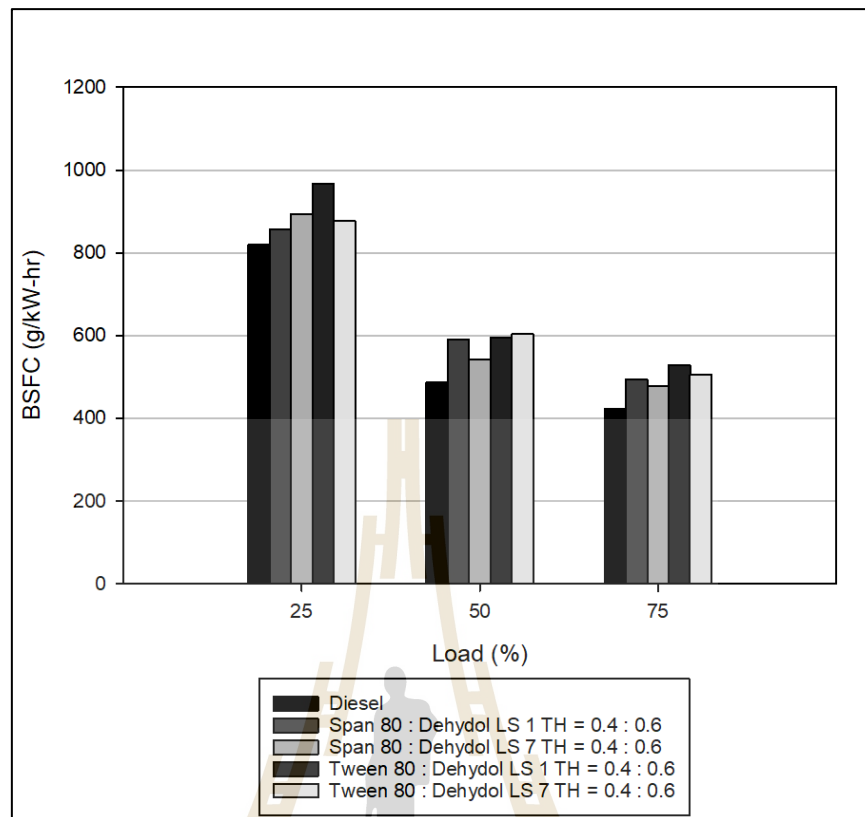
ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Brake specific fuel consumption: BSFC) ของเชื้อเพลิงชีวภาพคือ ปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้หมดไปต่อกำลังเบรคที่ได้จากเครื่องยนต์ พบว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากค่า

ความร้อนเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันต่ำกว่าน้ำมันดีเซล (Alireza et al., 2013) และเมื่อเพิ่มโหลดให้แก่เครื่องยนต์ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากผลของประสิทธิภาพเชิงความร้อน ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป



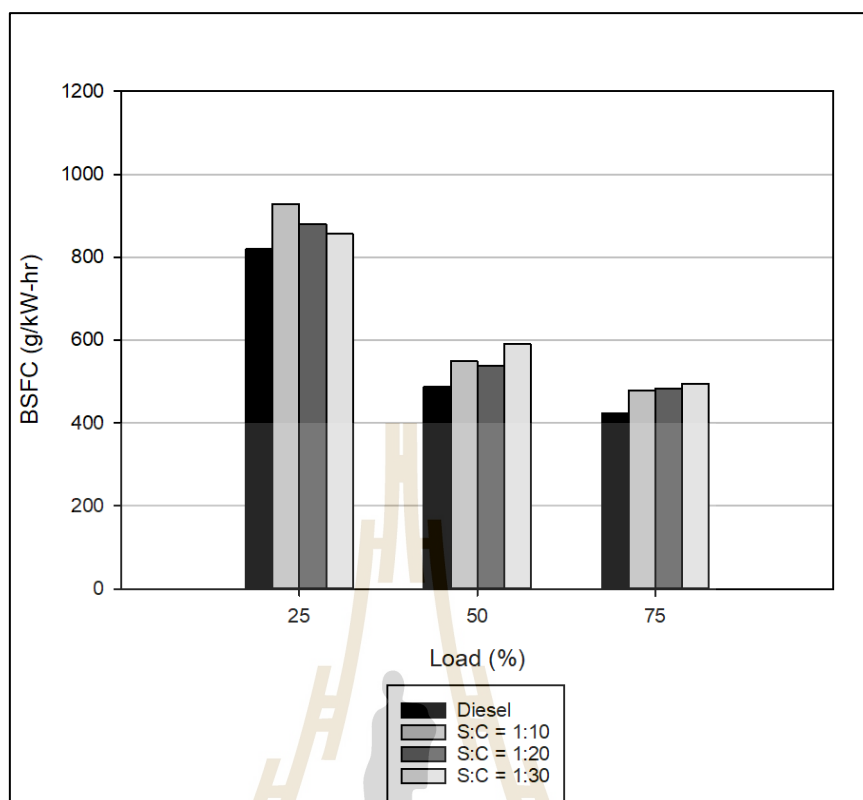
รูปที่ 4.20 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมล S1:S2

จากรูปที่ 4.20 เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของ S1:S1 ที่โหลด 25% ในระบบสารลดแรงตึงผิว Span 80 และ Tween 80 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเพิ่มปริมาณของสารลดแรงตึงผิว S2 ที่โหลด 50% ในระบบสารลดแรงตึงผิว Span 80 และ Tween 80 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณของสารลดแรงตึงผิว S2 ที่โหลด 75% ในระบบสารลดแรงตึงผิว Span 80 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในระบบ Tween 80 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีค่าลดลงเล็กน้อย เมื่อเพิ่มปริมาณของสารลดแรงตึงผิว S2



รูปที่ 4.21 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน
เมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดของสารลดแรงตึงผิว S2

จากรูปที่ 4.21 เมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดของสารลดแรงตึงผิว S2 โหลด 25% ในระบบสารลดแรงตึงผิว Span 80 พบว่า อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเพิ่มขึ้น และ ในระบบ Tween 80 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีค่าลดลง เมื่อเปลี่ยนสารลดแรงตึงผิว S2 จาก Dehydol LS 1 TH เป็น Dehydol LS 7 TH โหลด 50% ในระบบสารลดแรงตึงผิว Span 80 พบว่าอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันลดลง และในระบบ Tween 80 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเปลี่ยนสารลดแรงตึงผิว S2 จาก Dehydol LS 1 TH เป็น Dehydol LS 7 TH โหลด 75% ในระบบสารลดแรงตึงผิว Span 80 และ Tween 80 อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงลดลง เมื่อเปลี่ยนสารลดแรงตึงผิว S2 จาก Dehydol LS 1 TH เป็น Dehydol LS 7 TH



รูปที่ 4.22 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน ในระบบ

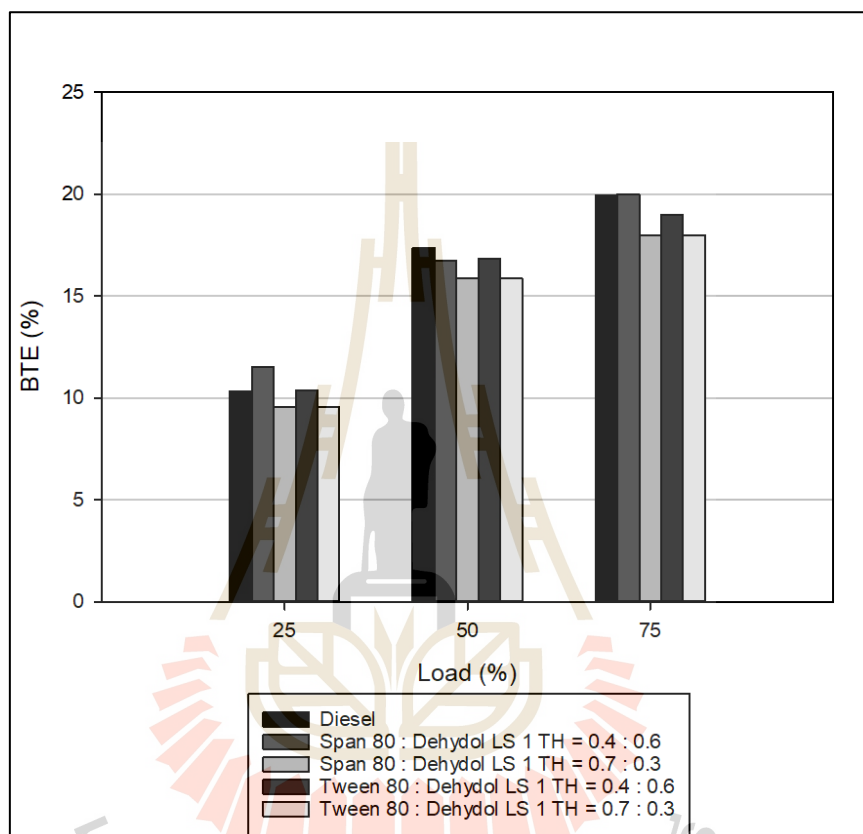
Span 80:Dehydol LS 1 TH = 0.4:0.6 เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณสารร่วมลดแรงตึงผิว

จากรูปที่ 4.22 เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของสารร่วมลดแรงตึงผิว ที่โหลด 25% เมื่อเพิ่มปริมาณของสารร่วมลดแรงตึงผิว 1-Octanol อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลง ที่โหลด 50% และ 75% เมื่อเพิ่มปริมาณสารร่วมลดแรงตึงผิว อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณของสารลดแรงตึงผิวในกลุ่ม S2 พบว่า ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลงขึ้นเล็กน้อย อาจมาจากปัจจัยของออกซิเจนอะตอมในสารลดแรงตึงผิวกลุ่ม S2 มากกว่ากลุ่ม S1 ช่วยให้การเผาไหม้ได้ดีขึ้น สอดคล้องกับการเปรียบเทียบเมื่อเปลี่ยนสารลดแรงตึงผิวกลุ่ม S2 จาก Dehydol LS 1 TH เป็น Dehydol LS 7 TH ที่ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากออกซิเจนอะตอมใน Dehydol LS 7 TH มากกว่า Dehydol LS 1 TH

4.10.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

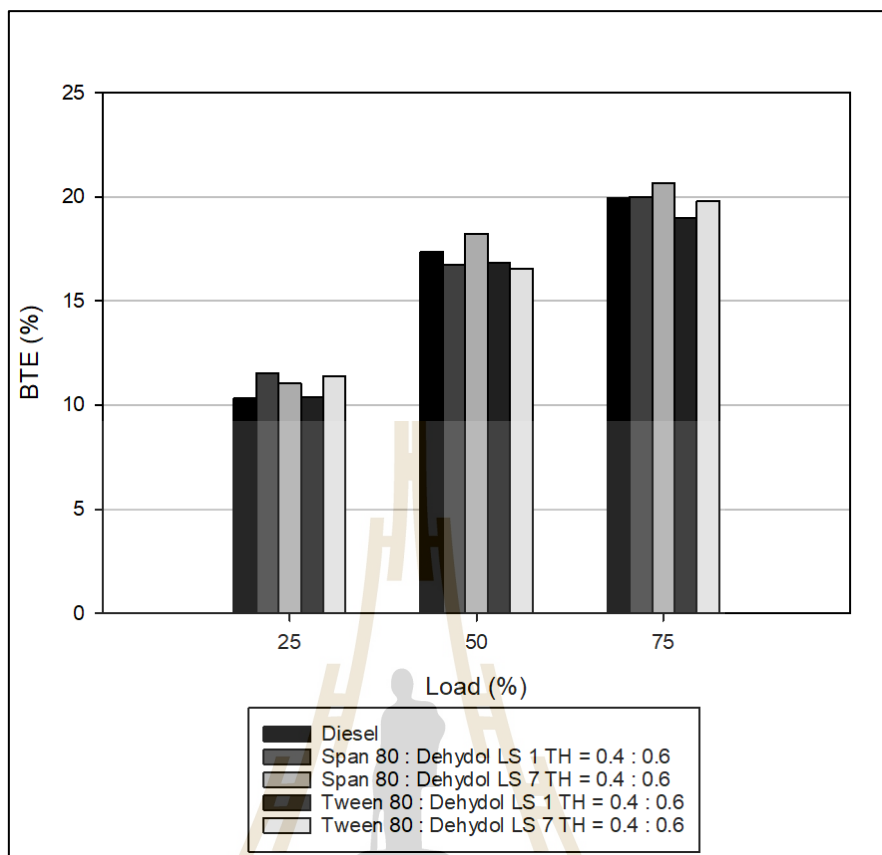
ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Brake thermal efficiency: BTE) ของเครื่องยนต์คือ อัตราส่วนของงานที่เครื่องยนต์ผลิตได้ ต่อค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่เครื่องยนต์ใช้ไป บ่งบอกถึงความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานกลซึ่งตามทฤษฎีแล้ว ประสิทธิภาพ

เชิงความร้อนจะแปรผกผันกับความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ เมื่อโหลดของเครื่องยนต์มากขึ้น เครื่องยนต์มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานกลมากขึ้นทำให้ความสิ้นเปลืองน้ำมันน้อยลง (N.L. Panwar, 2010) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีความใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล



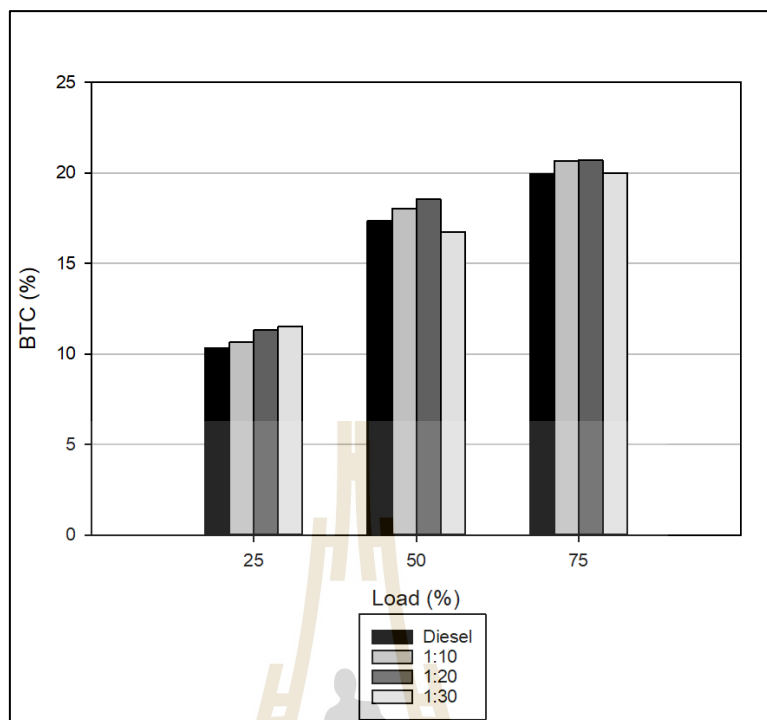
รูปที่ 4.23 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน โดยโมล S1:S2

จากรูปที่ 4.23 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิวในกลุ่ม S2 เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวในกลุ่ม S2 มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบอยู่มากซึ่งช่วยในการเผาไหม้



รูปที่ 4.24 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดสารลดแรงตึงผิว S2

จากรูปที่ 4.24 เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่มี Dehydol LS 7 TH เป็นองค์ประกอบ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์มีแนวโน้มสูงกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่มี Dehydol LS 1 TH เป็นองค์ประกอบ จากโครงสร้างของของสารทั้ง 2 ชนิดมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเท่ากันแต่ Dehydol LS 7 TH มี กลุ่ม Ethoxylated สูงกว่า ซึ่งมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ที่ช่วยในการเผาไหม้



รูปที่ 4.25 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนในระบบ Span 80:Dehydol LS 1 TH = 0.4:0.6
เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณสารร่วมลดแรงตึงผิว

จากรูปที่ 4.25 ที่โหลดของเครื่องยนต์ 25% ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณของสารร่วมลดแรงตึงผิว 1-Octanol จากนั้นเพิ่มโหลดของเครื่องยนต์เป็น 50% และ 75% พบว่า ที่ S:C คือ 1:20 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่ามากกว่าที่ 1:10 และ 1:30 กล่าวได้ว่าที่ S:C คือ 1:20 น่าจะมีความเหมาะสมในการนำไปใช้มากกว่า

4.10.3 คุณลักษณะการเผาไหม้ในเครื่องยนต์

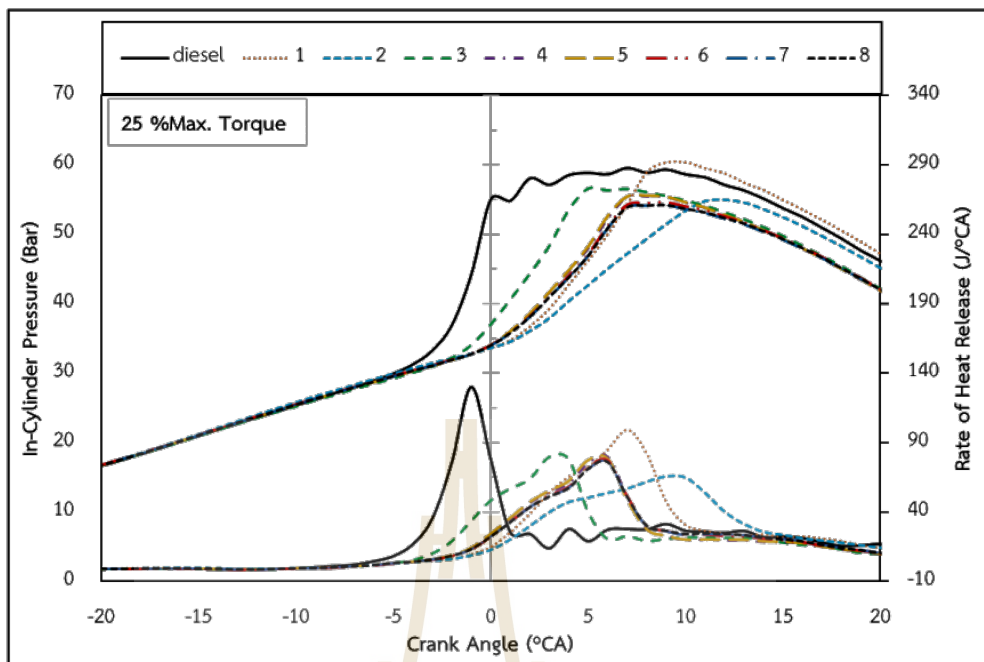
ในงานวิจัยนี้ทำการทดสอบคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ได้แก่ ความดันในกระบอกสูบ (In cylinder pressure) และอัตราการปลดปล่อยความร้อน (Rate of heat release) เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่นำมาทดสอบมี 8 ตัวอย่าง ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงแสดงดังตารางที่ 4.4 และผลของการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.26-4.28

ตารางที่ 4.4 ส่วนประกอบของเชื้อเพลิงตัวอย่าง

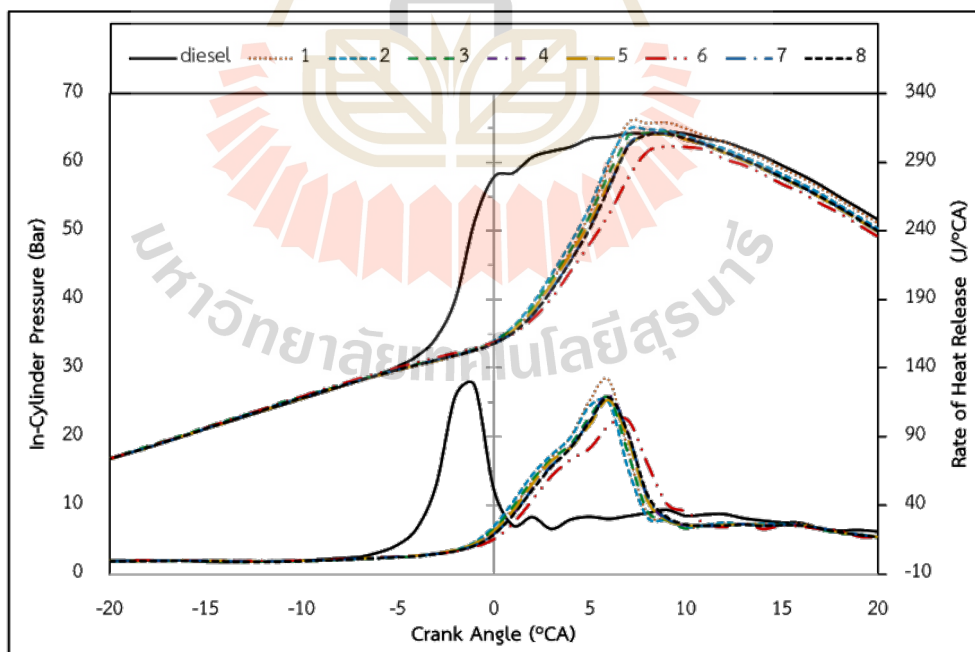
ตัวอย่างที่	S1	S2	S1:S2	S:C
1	Tween 80	Dehydol LS 1 TH	0.4:0.6	1:30
2	Tween 80	Dehydol LS 1 TH	0.7:0.3	1:30
3	Tween 80	Dehydol LS 7 TH	0.4:0.6	1:30
4	Span 80	Dehydol LS 1 TH	0.4:0.6	1:30
5	Span 80	Dehydol LS 1 TH	0.7:0.3	1:30
6	Span 80	Dehydol LS 7 TH	0.4:0.6	1:30
7	Span 80	Dehydol LS 1 TH	0.4:0.6	1:10
8	Span 80	Dehydol LS 1 TH	0.4:0.6	1:20

จากรูปที่ 4.24-4.26 ค่าความดันในกระบอกสูบสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มโหลดให้สูงขึ้น เนื่องจากที่รอบสูงขึ้นเครื่องยนต์ต้องการเชื้อเพลิงในการผลิตกำลังของเครื่องยนต์มากขึ้น เป็นสาเหตุที่ทำให้ความดันในกระบอกสูบสูงขึ้น

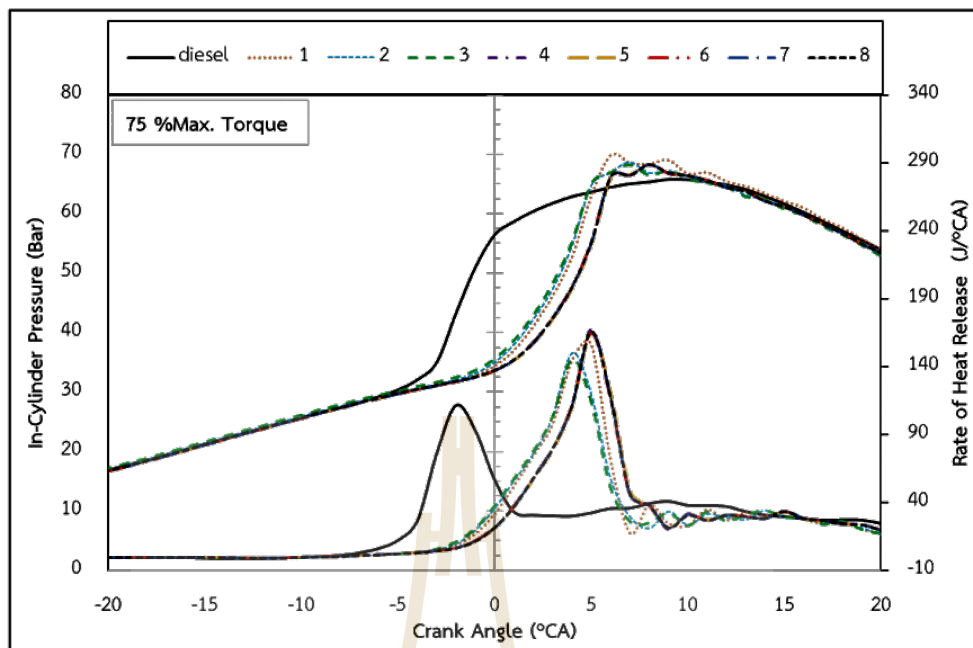
เมื่อพิจารณาที่อัตราการปลดปล่อยความร้อนเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีความล่าช้าในการจุดระเบิด เนื่องมาจากค่าความหนืดของเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้ฉีดเชื้อเพลิงเป็นละอองได้ยากกว่า เมื่อเพิ่มโหลดของเครื่องยนต์อัตราการปลดปล่อยความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันในแต่ละตัวอย่างใกล้เคียงกัน (Niti K. et al., 2019) อัตราการปลดปล่อยความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่โหลด 25% และ 50% มีค่าน้อยกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องมาจากเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล นอกจากนี้ 1-Octanol ระบุได้ยากอาจจะเป็นอีกปัจจัยที่ทำให้อัตราการปลดปล่อยความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันต่ำกว่าน้ำมันดีเซล แต่ที่โหลดของเครื่องยนต์ 75% อัตราการปลดปล่อยความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากเมื่อเพิ่มโหลดของเครื่องยนต์ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้นความสามารถในการระเหยของเอทานอล และ 1-Octanol เพิ่มขึ้น อัตราการปลดปล่อยความร้อนจึงเพิ่มขึ้น และในเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีองค์ประกอบของออกซิเจนอยู่มาก จึงมีส่วนช่วยในการเผาไหม้ (Mithun Das, 2018)



รูปที่ 4.26 คุณลักษณะการเผาไหม้ที่โหลดของเครื่องยนต์ 25%



รูปที่ 4.27 คุณลักษณะการเผาไหม้ที่โหลดของเครื่องยนต์ 50%

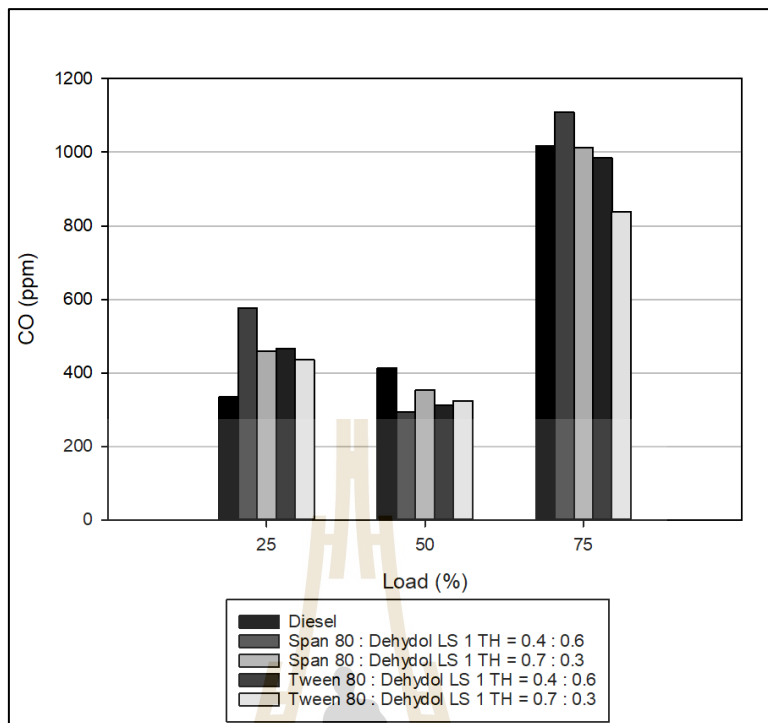


รูปที่ 4.28 คุณลักษณะการเผาไหม้ที่โหลดของเครื่องยนต์ 75%

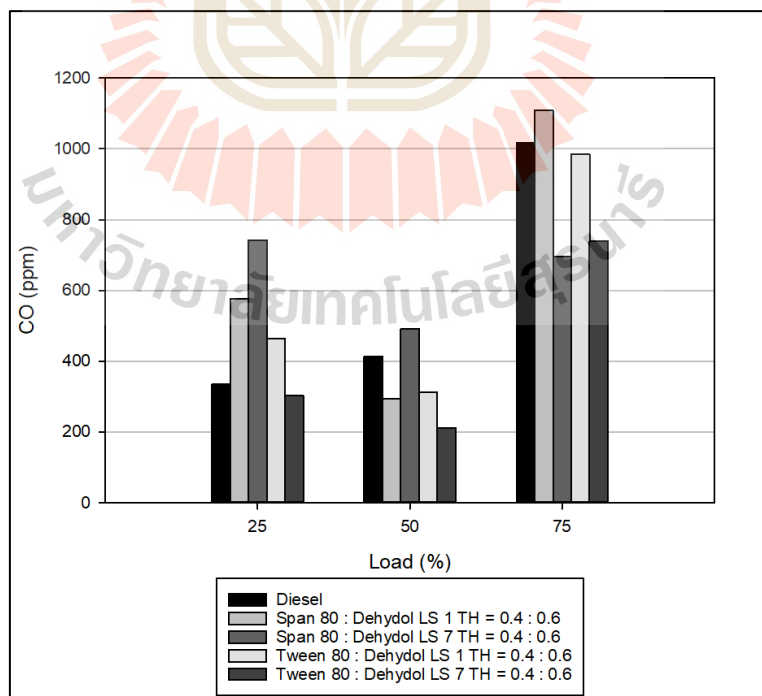
4.11 การปล่อยไอเสีย

4.11.1 การปล่อยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

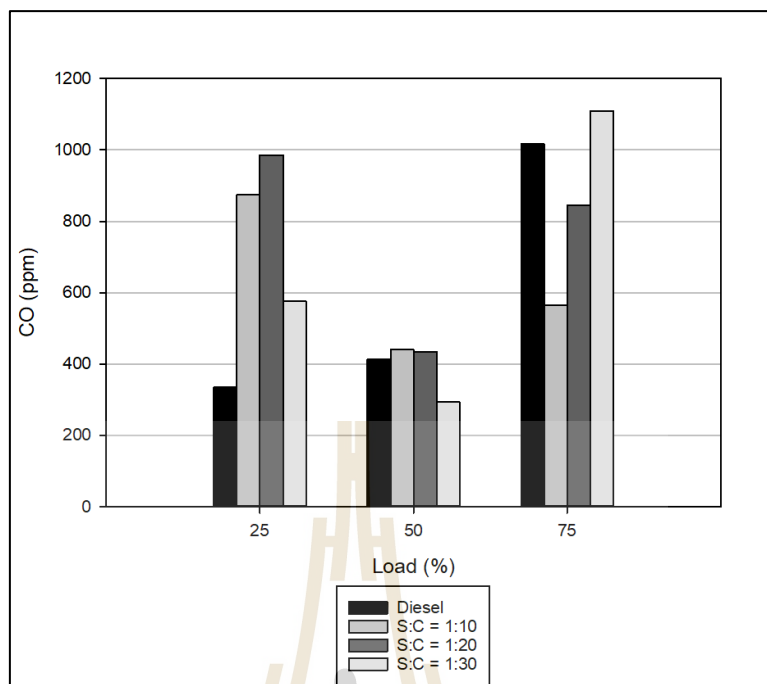
การปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO emission) ของเครื่องยนต์ขึ้นกับจำนวนของออกซิเจนอะตอมในเชื้อเพลิง และการป้อนออกซิเจนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ (B. Ashok at al., 2019) เมื่อพิจารณาการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์โดยรวม จากรูปที่ 4.27-4.29 ที่โหลดของเครื่องยนต์ต่ำ น้ำมันดีเซลมีแนวโน้มปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน อาจเนื่องมาจากเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลส่งผลให้การฉีดน้ำมันเป็นละอองได้ยากกว่า การผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศไม่ดีเท่ากับน้ำมันดีเซล ทำให้เกิดการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ (Niti Klinkaew at al., 2018) แต่เมื่อเพิ่มโหลดของเครื่องยนต์ การปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ของน้ำมันดีเซลและเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน อาจเนื่องมาจากโมเลกุลของออกซิเจนในเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน มีส่วนช่วยในการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (Pankaj D. and Rajesh G., 2016) ทำให้การปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล



รูปที่ 4.29 การปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณสารลดแรงตึงผิว S2



รูปที่ 4.30 การปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์เมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดสารลดแรงตึงผิว S2



รูปที่ 4.31 การปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ในระบบสารลดแรงตึงผิว Span 80:Dehydol LS 1 TH = 0.4:0.6 เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณสารร่วมลดแรงตึงผิว

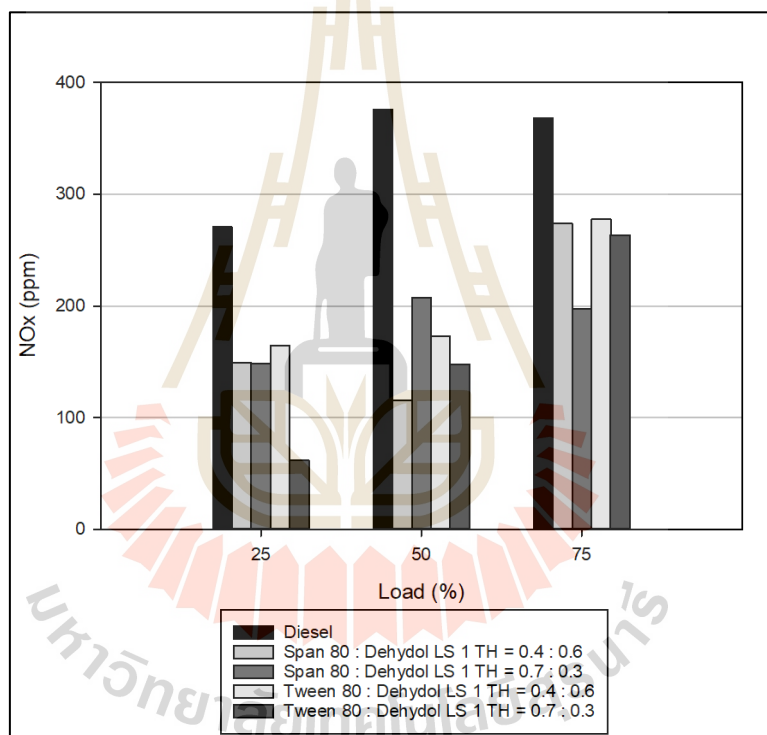
จากรูปที่ 4.29 ที่โหลดของเครื่องยนต์คือ 25% และ 75% พบว่าเมื่อลดปริมาณของสารลดแรงตึงผิว S2 การปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์มีแนวโน้มลดลง และที่โหลด 50% การปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของสารลดแรงตึงผิว S2

จากรูปที่ 4.30 ในระบบสารลดแรงตึงผิว Span 80 เมื่อเปลี่ยนสารลดแรงตึงผิว S2 จาก Dehydol LS 1 TH เป็น DehydolLS 7 TH การปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงอย่างมากในระบบ Tween 80 เมื่อเปลี่ยนชนิดของสารลดแรงตึงผิว S2 แนวโน้มการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

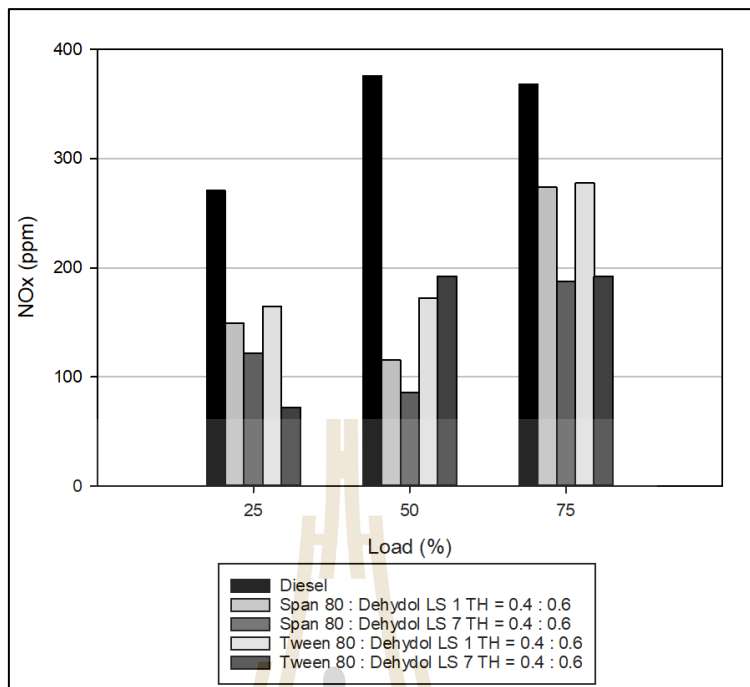
จากรูปที่ 4.31 เมื่อเพิ่มปริมาณของสารร่วมลดแรงตึงผิว พบว่าที่โหลดของเครื่องยนต์ 25% และ 50% อัตราส่วน S:C ที่ 1:20 มีการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์สูงกว่าที่อัตราส่วน 1:10 และ 1:30 และที่โหลดของเครื่องยนต์ 75% การปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของสารร่วมลดแรงตึงผิว อาจเนื่องมาจาก 1-Octanol มีความสามารถในการระเหยเป็นไอได้น้อย ทำให้เกิดการเผาไหม้ได้ยาก (Amar Deep at al., 2014) ส่งผลให้การเผาไหม้เป็นการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์จึงเกิดการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์มาก

4.11.2 การปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน

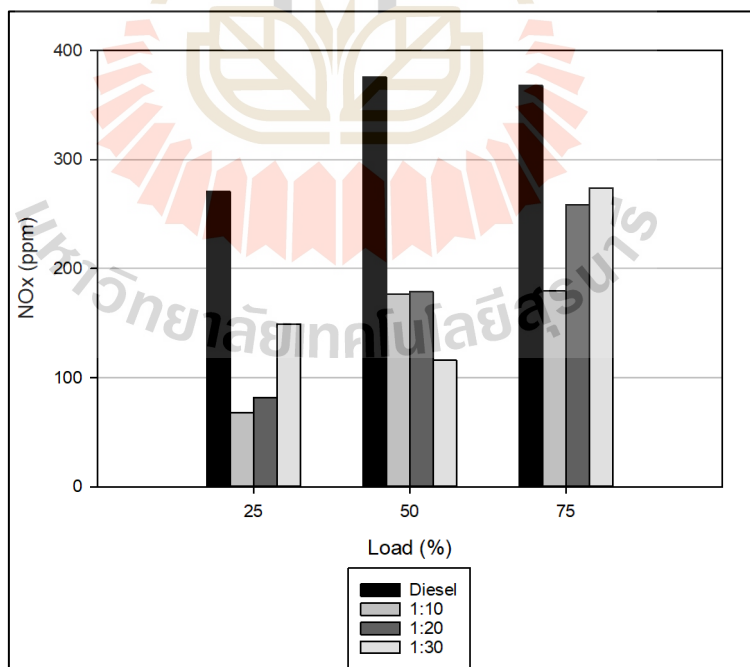
เนื่องจากส่วนผสมของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันไม่มีสารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นการเกิดออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) จะมาจากโมเลกุลของไนโตรเจนในอากาศ เมื่อเข้าสู่ห้องเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิและความดันสูง โมเลกุลของไนโตรเจน (N_2) จะแตกตัวและทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็น NO หรือ NO_2 (Jie Liang et al., 2018) เมื่อพิจารณาโดยรวมจากรูปที่ 4.30-4.32 พบว่า การปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนของน้ำมันดีเซลสูงกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน อาจเนื่องมาจากน้ำมันดีเซลมีค่าความร้อนที่สูงกว่า และอาจมีส่วนประกอบของไนโตรเจนภายในน้ำมันดีเซล



รูปที่ 4.32 ออกไซด์ของไนโตรเจน เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิว S1:S2



รูปที่ 4.33 ออกไซด์ของไนโตรเจน เมื่อเปลี่ยนชนิดของสารลดแรงตึงผิว S2



รูปที่ 4.34 ออกไซด์ของไนโตรเจนในระบบ Span 80:Dehydol LS 1 TH = 0.4:0.6 เมื่อเปลี่ยนแปลงสารร่วมลดแรงตึงผิว

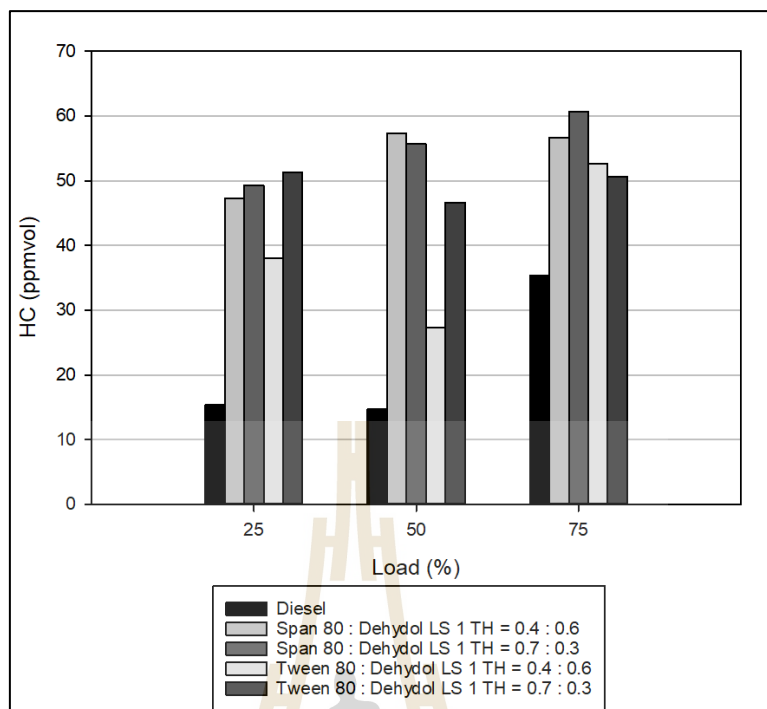
จากรูปที่ 4.32 ในระบบสารลดแรงตึงผิว Span 80 ที่โหลด 50% เมื่อลดปริมาณของสารลดแรงตึงผิว S2 การปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มโหลดของเครื่องยนต์ที่ 75% เมื่อลดปริมาณของสารลดแรงตึงผิว S2 การปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าลดลง ดังนั้นระบบ Span 80 การเกิดออกไซด์ของไนโตรเจนจะขึ้นกับอากาศที่ป้อนเข้าไปสู่ห้องเผาไหม้มากกว่า และในระบบสารลดแรงตึงผิว Tween 80 เมื่อลดปริมาณของ S2 การปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลง

จากรูปที่ 4.33 เมื่อเปลี่ยนชนิดของสารลดแรงตึงผิว S2 จาก Dehydol LS 1 TH เป็น Dehydol LS 7 TH การปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลง ยกเว้นที่โหลด 50% ในระบบสารลดแรงตึงผิว Tween 80

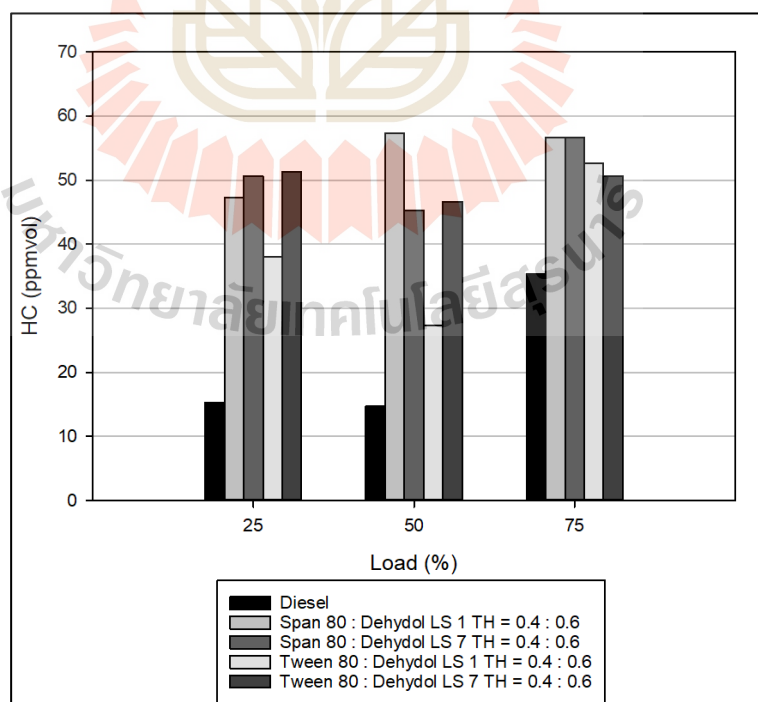
จากรูปที่ 4.34 ที่โหลดของเครื่องยนต์ 20% และ 75% การปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณของสารร่วมลดแรงตึงผิว แต่ที่โหลด 50% เมื่อเพิ่มปริมาณของสารร่วมลดแรงตึงผิว การปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนลดต่ำลง

4.11.3 การปล่อยไฮโดรคาร์บอน

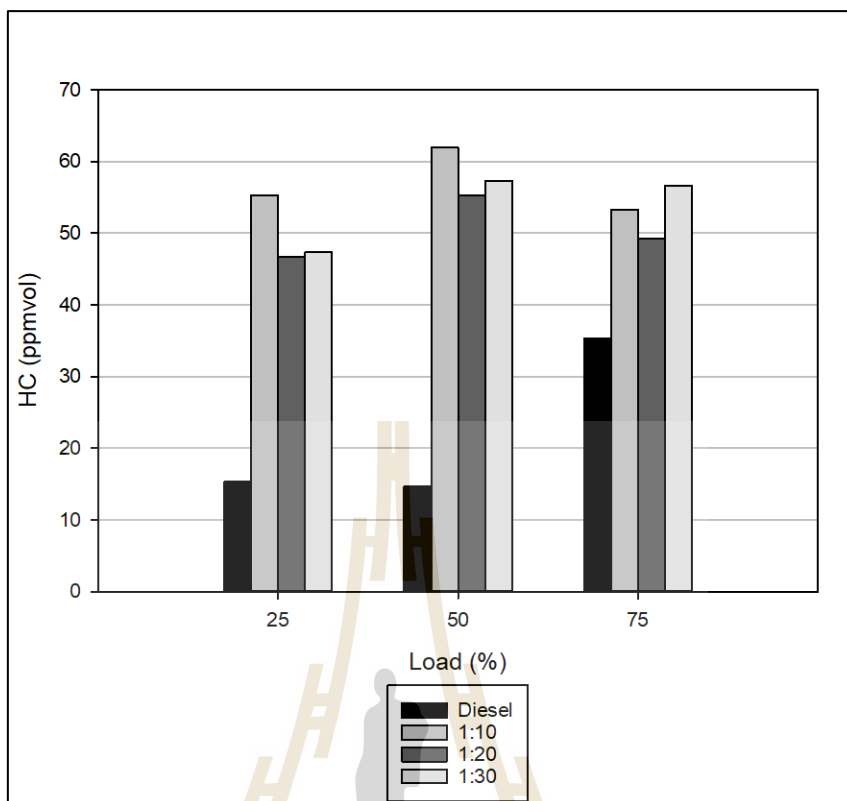
ไฮโดรคาร์บอน (HC) ที่พบในไอเสียของเครื่องยนต์ เกิดจากสารประกอบของเชื้อเพลิงที่เหลือจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ส่วนใหญ่จะเป็น โมเลกุลขนาดเล็กที่แตกตัวจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอน โมเลกุลใหญ่ เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมจากภาพที่ 4.33 - 4.35 พบว่า น้ำมันดีเซลปล่อยไฮโดรคาร์บอนน้อยกว่าเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เนื่องจากเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันผลิตจากน้ำมันพืชที่มีโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนขนาดใหญ่ทำให้เมื่อเกิดการเผาไหม้ยังคงเหลือไฮโดรคาร์บอนที่เป็นโมเลกุลขนาดเล็กมากกว่าน้ำมันดีเซล และความหนืดที่มากกว่า น้ำมันดีเซล ทำให้ฉีดเป็นละอองได้ยากกว่า ส่งผลให้พบไฮโดรคาร์บอนในไอเสียมากกว่า (Pankaj D. and Rajesh G., 2016)



รูปที่ 4.35 การปล่อยไฮโดรคาร์บอนเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารลดแรงตึงผิว S2



รูปที่ 4.36 การปล่อยไฮโดรคาร์บอน เมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดของสารลดแรงตึงผิว S2



รูปที่ 4.37 การปล่อยไฮโดรคาร์บอนเมื่อใช้เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันในระบบ Span 80:Dehydol LS 1 TH = 0.4:0.6 แล้วเปลี่ยนแปลงปริมาณสารร่วมลดแรงตึงผิว

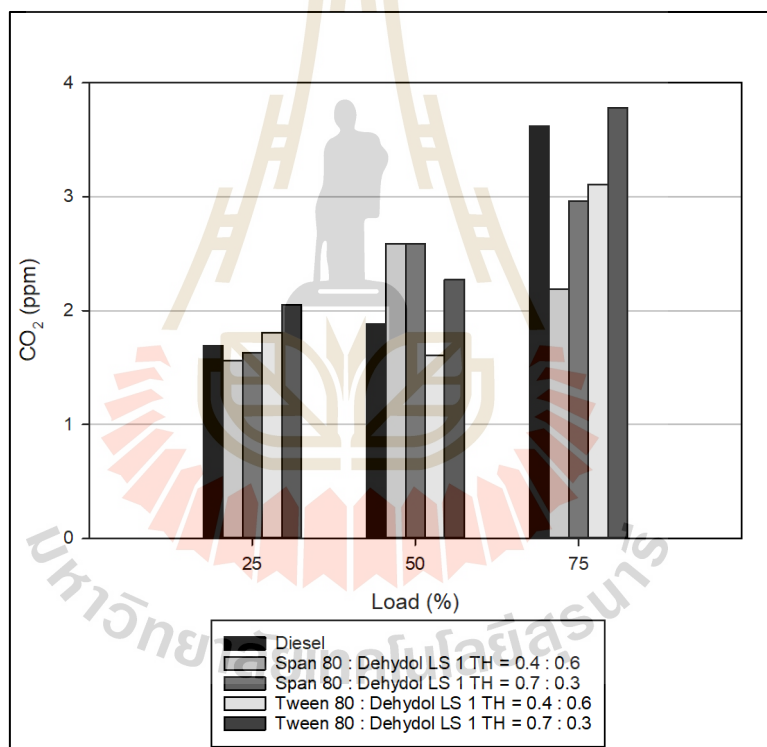
จากรูปที่ 4.35 พบว่าการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อใช้เชื้อเพลิงชีวภาพในระบบ Span 80 เมื่อลดปริมาณของสารลดแรงตึงผิว S2 การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และที่โหลด 25% และ 50% ในระบบ Tween 80 การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น เมื่อลดปริมาณของสารลดแรงตึงผิว S2 เนื่องมาจากสารลดแรงตึงผิวในกลุ่ม S1 มีโครงสร้างที่มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่ ส่งผลให้เมื่อเกิดการเผาไหม้แล้วหลงเหลือเป็นไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลเล็ก

จากรูปที่ 4.36 ที่โหลดต่ำ 25% ในระบบ Span 80 เมื่อเปลี่ยนสารลดแรงตึงผิว S2 จาก Dehydol LS 1 TH เป็น Dehydol LS 7 TH การปล่อยไฮโดรคาร์บอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มโหลดของเครื่องยนต์ไปที่ 50% การปล่อยไฮโดรคาร์บอนลดต่ำลง และในระบบสารลดแรงตึงผิว Tween 80 พบว่า เมื่อเปลี่ยนสารลดแรงตึงผิว S2 การปล่อยไฮโดรคาร์บอนเพิ่มขึ้นมาก อาจเนื่องมาจาก Dehydol LS 7 TH มีโครงสร้างทางเคมีที่ประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลใหญ่กว่า Dehydol LS 1 TH

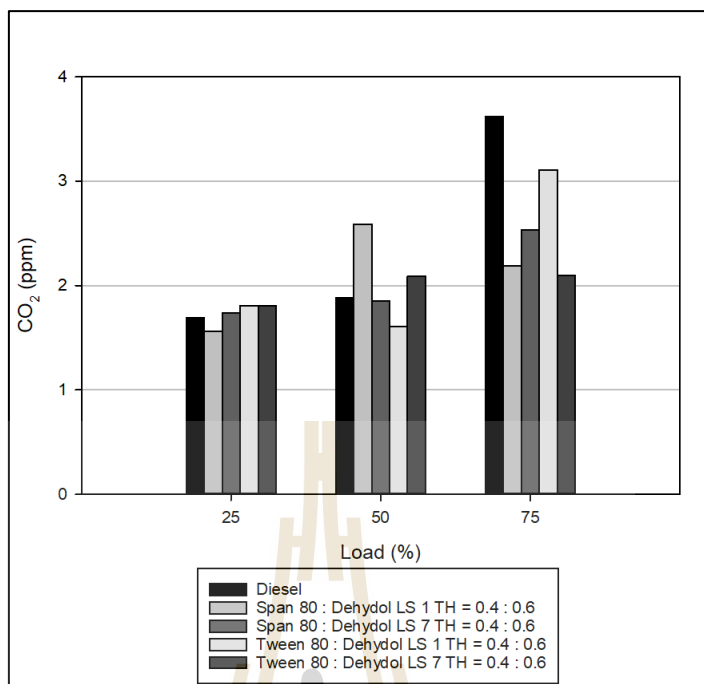
จากรูปที่ 4.37 พบว่า ที่อัตราส่วนสารลดแรงตึงผิวต่อสารร่วมลดแรงตึงผิว คือ 1:20 มีการปล่อยไฮโดรคาร์บอนต่ำกว่าที่อัตราส่วน 1:10 และ 1:30

4.11.4 การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์

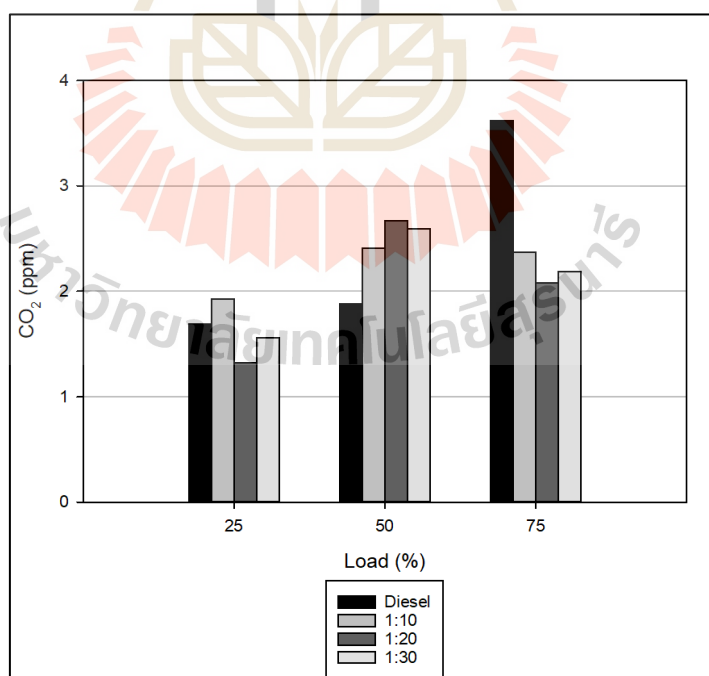
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ถูกปล่อยจากเครื่องยนต์ เกิดจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ภายในห้องเผาไหม้ ซึ่งในการวิจัยนี้พบว่าทั้งน้ำมันดีเซลและเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ที่น้อยมากไม่เกิน 4 ppm เมื่อพิจารณาโดยรวม ดังรูปที่ 4.38-4.40 พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เนื่องจากในเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบสูง ช่วยในการเผาไหม้ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ได้ดียิ่งขึ้น (Niti Klinkeaw at al., 2018)



รูปที่ 4.38 การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารลดแรงตึงผิว S2



รูปที่ 4.39 การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเปลี่ยนชนิดของสารลดแรงตึงผิว S2



รูปที่ 4.40 การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อใช้เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันในระบบ

Span 80:Dehydrol LS 1 TH = 0.4:0.6 และเปลี่ยนแปลงปริมาณสารร่วมลดแรงตึงผิว

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากน้ำมันรำข้าวด้วยวิธีไมโครอิมัลชัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ศึกษาการเกิดวัฏภาคไมโครอิมัลชัน สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพ ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน และการปล่อยไอเสียของเครื่องยนต์ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 การเกิดวัฏภาคไมโครอิมัลชัน

การศึกษากการเกิดวัฏภาคไมโครอิมัลชันโดยการสร้างแผนภาพสามองค์ประกอบในระบบต่าง ๆ พบว่า ระบบที่มีส่วนประกอบของ Dehydol LS 3 TH วัฏภาคไมโครอิมัลชันเกิดได้น้อยกว่าอื่น ๆ ในระบบที่มี Span 80 เป็นองค์ประกอบเกิดวัฏภาคไมโครอิมัลชันได้ดีกว่าเมื่อผสมกับ Dehydol LS 1 TH ระบบที่มี Tween 80 เป็นองค์ประกอบ การเกิดวัฏภาคไมโครอิมัลชันเกิดได้ดีเมื่อผสมกับทั้ง Dehydol LS 1 TH และ Dehydol LS 7 TH

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารลดแรงตึงผิวกับสารร่วมลดแรงตึงผิว พบว่า ที่อัตราส่วน 1:5 และ 1:10 ในทุกระบบเกิดวัฏภาคไมโครอิมัลชันได้น้อยกว่าที่อัตราส่วน 1:20 และ 1:30 และพบว่าในระบบที่มี Dehydol LS 1 TH เป็นองค์ประกอบ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วน 1:20 กับ 1:30 การเพิ่มปริมาณของสารร่วมลดแรงตึงผิวไม่ส่งผลให้เกิดวัฏภาคไมโครอิมัลชันเพิ่มขึ้นมากนัก

5.1.2 สมบัติของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน

จากการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงไมโครอิมัลชัน ได้แก่ ความหนืดเชิงจลน์ ความถ่วงจำเพาะ จุดวาบไฟ จุดขุ่น จุดไหลเท และค่าความร้อนเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับลักษณะและคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร พ.ศ. 2549 พบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันที่มีองค์ประกอบของน้ำมันรำข้าว เอทานอล และสารลดแรงตึงผิวกับสารลดแรงตึงผิวร่วม 60 30 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ 50 30 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อนำมาทดสอบความหนืดเชิงจลน์พบว่ามีความหนืดสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน แต่ที่องค์ประกอบ 40 30 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีสมบัติทางเชื้อเพลิงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

จากการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของสารลดแรงตึงผิวชนิดของสารลดแรงตึงผิว และการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารร่วมลดแรงตึงผิวพบว่า การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่าง ๆ ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันส่งผลกระทบต่อความถ่วงจำเพาะ จุดวาบไฟ จุดขุ่น จุดไหลเท และค่าความร้อนเชื้อเพลิงไม่มากนัก แต่จากการศึกษาความหนืดเชิงจลน์ การลดปริมาณของสารลดแรงตึงผิวในกลุ่ม S2 ส่งผลให้เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีความหนืดลดลง เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวในกลุ่ม S1 มีความสามารถในการลดแรงตึงผิวได้ดีกว่า

5.1.3 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

จากการศึกษาความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันพบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่าน้ำมันดีเซลเนื่องจากเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล และเมื่อเพิ่มโหลดของเครื่องยนต์ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีค่าลดลงเนื่องจากประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อใช้เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีความใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันมีความล่าช้าในการจุดระเบิดมากกว่าน้ำมันดีเซล เนื่องจากหลายปัจจัยได้แก่ เชื้อเพลิงไมโครอิมัลชันมีความหนืดสูง ค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล และการระเหยได้ยากของ 1-Octanol ที่เป็นองค์ประกอบ

5.1.4 การปล่อยไอเสีย

จากการศึกษาการปล่อยมลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ ได้แก่ การปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x), ไฮโดรคาร์บอน (HC) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) พบว่า ที่โหลดของเครื่องยนต์สูงการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ของเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันกับน้ำมันดีเซลมีความใกล้เคียงกัน แต่เชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนน้อยกว่าน้ำมันดีเซล และปล่อยไฮโดรคาร์บอนมากกว่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ Dehydol LS 1 TH และ Dehydol LS 7 TH มีความน่าสนใจในการนำมาใช้ผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เนื่องจากไม่ต้องนำเข้ามาผลิตได้ในประเทศ และมีความสามารถในการลดแรงตึงผิวได้ดีใกล้เคียงกับ Span 80 และ Tween 80
2. สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ Dehydol LS 3 TH และ Dehydol LS 12 TH ไม่ควรนำมาใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชัน เนื่องจาก Dehydol LS 3 TH มีความสามารถในการ

การทำให้เกีวภูมิภาคไมโครอิมัลชันได้น้อย และ Dehydol LS 12 TH ไม่สามารถละลายเข้ากับสารลดแรงตึงผิวชนิดอื่น หรือสารร่วมลดแรงตึงผิวได้

3. การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันสามารถผลิตได้จากน้ำมันพืชอื่น ๆ ได้นอกจากน้ำมันรำข้าว ซึ่งการเลือกใช้น้ำมันพืชควรพิจารณาในด้านของปริมาณการเพาะปลูก ผลผลิต ราคา ที่แตกต่างกันไปในแต่ละภูมิภาค

4. การเลือกเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันจากแผนภาพสารผสมสามองค์ประกอบ เพื่อนำไปทดสอบด้วยเครื่องยนต์ดีเซล ควรเลือกอัตราส่วนที่มีองค์ประกอบของน้ำมันสูง เนื่องจากเมื่อน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้ จะสามารถจุดระเบิดได้ดีกว่า

5. การทดสอบด้วยเครื่องยนต์ดีเซล ควรทดสอบตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวภาพไมโครอิมัลชันทุกตัวอย่างให้แล้วเสร็จในวันเดียวกัน จะได้ผลที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า เนื่องจากสภาพของอากาศที่ถูกดูดเข้าสู่เครื่องยนต์เพื่อนำไปใช้ในการเผาไหม้

5.3 ข้อเสนอแนะงานวิจัยต่อไป

การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยไมโครอิมัลชันสามารถผลิตได้จากน้ำมันพืชอื่น ๆ นอกจากน้ำมันรำข้าว ซึ่งในประเทศไทยมีผลผลิตทางการเกษตรมากมายที่สามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยวิธีไมโครอิมัลชันได้ ควรเลือกศึกษาน้ำมันที่มีผลผลิตสูงซึ่งแตกต่างกันไปในแต่ละท้องที่ อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพยังมีต้นทุนสูงเมื่อเทียบกับราคาของน้ำมันดีเซล โดยงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของน้ำมันพืชให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่สามารถนำไปใช้ได้ด้วยวิธีการผลิตที่ไม่ซับซ้อน ใช้พลังงานน้อย เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และไม่ก่อให้เกิดของเสียจากกระบวนการผลิตเพื่อลดการใช้ น้ำมันดีเซล

รายการอ้างอิง

- กรมธุรกิจพลังงาน (2556). สมบัติน้ำมันดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะ และคุณภาพของน้ำมันดีเซล [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.doeb.go.th>.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. คู่มือการบริหารจัดการพลังงานความร้อน [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://webkc.dede.go.th>.
- นิจวรรณ อนันตรกิตติ (2556). ผลของโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวแบบไม่มีประจุต่อคุณสมบัติของ เชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันปาล์มโดยวิธีไมโครอิมัลชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิติ กลิ่นแก้ว, ยงศธร โคตรบุตร, เอกกรงค์ สุขจิตร, การุญ พิงสุวรรณรักษ์ และสุพรรณิ จันทร์ภิรมณ์ (2561). ผลกระทบของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วต่อสมรรถนะ และคุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยวที่มีการปรับอัตราส่วนกำลังอัด. การประชุมวิชาการ เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14. ระหว่างวันที่ 13-15 มิถุนายน พ.ศ. 2561 ณ โนโวเทล ระยอง.
- นิติ กลิ่นแก้ว, สมเกียรติ หมายถมกลาง, ณัฐพล ที่รัก, อนุภาพ พุ่มพวง และเอกกรงค์ สุขจิต (2562). การศึกษาผลกระทบของน้ำมันละหุ่งในน้ำมันดีเซลผสมเอทานอล ต่อสมรรถนะและการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยว. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15. ระหว่างวันที่ 21-24 พฤษภาคม พ.ศ. 2562, จังหวัดนครราชสีมา.
- สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร องค์การมหาชน (2558). ปาล์มน้ำมัน [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://kasetinfo.ar.da.or.th>.
- ไทยรัฐ (2557). ย้อนรอยวิกฤตน้ำมันปาล์มขาดตลาด [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.thairath.co.th>
- วาริรัตน์ เพชรลีช่วง (2559). อุตสาหกรรมข้าว แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม [ออนไลน์]. ได้จาก: <https://www.krungsri.com>.
- Alemayehu Gashaw, Tewodros Getachew, Abile Teshita (2015). A Review of Biodiesel Production as Alternative Fuel. **Journal of Forest Product & Industries**. pp. 80-85.
- Alireza Shirmeshan¹, Morteza Almassi, Barat Ghobadian, Ali Mohammad Borghei and Gholamhassan Najafi (2013). Brake Specific Fuel Consumption of Diesel Engine by Using Biodiesel from Waste Cooking Oil. **World of Sciences Journal**. ISSN 2307-3071.

- Amar Deep, Naveen Kumar, Ashish Karnwal, Dhruv Gupta, Vipul Vibhanshu, Abhishek Sharma and Jitesh Singh Patel (2014). Assessment of the Performance and Emission Characteristics of 1-Octanol/Diesel Fuel Blends in a Water-Cooled Compression Ignition Engine. **SAE Technical Papers**. September 2014.
- B. Ashoka, K. Nanthagopala, Vivek Ananda, K.M. Aravinda, A.K. Jeevananthama and Saravanan Balusamyb (2019). Effects of n-octanol as a fuel blend with biodiesel on diesel engine characteristics. **Fuel**. 235(2019): 363-373.
- Chevron Products Company (2007). **Diesel Fuels Technical Review** (pp. 14,25-26). Chevron corporation.
- Chodchanok Attaphong, Linh Do, David A. Sabatini (2012). Vegetable oil-based microemulsion using carboxylate-based extended surfactant and their potential as an alternative renewable biofuel. **Fuel**. 94(2012): 606-613.
- Ch.Narasimha, M.Rajesh. Performance and Emissions Characteristics of Diesel Engine Fueled With Rice Bran Oil (2013). **International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)**.
- Dalia Emam Mohamed, Nabel A. Negm, Marwa R. Mishrif (2013). Micellization and Interaction Behaviors of Gemini cationic Surfactants-CTAB Mixed Surfactant Systems. **J Surfact Deterg**. 16:723–731.
- Dantas Neto, A. A., Fernandes, M. R., Barros Neto, E. L., Castro Dantas, T. N., Moura, M.C.P.A. (2013). Effect of Biodiesel/Diesel-based Microemulsions on the Exhaust Emissions of a diesel engine. **Brazilian Journal of Petroleum and Gas**. pp.141-153.
- Do, L.D.,Singh, V., Chen, L., Kibbey, T., Gollahalli, S.R. and Sabatini, D.A. (2011). Algae, canola, or palm oils-diesel microemulsion fuel; phase behaviors, viscosity, and combustion properties. **Journal of Green Energy**. 8(2011): 748-767.
- Fangrui Ma, Milford A. Hanna (1999). Biodiesel production: review. **Bioresource Technology** 70(1999): 1-15.
- Halide Akbas, Mesut Boz, Aylin Elemenli (2014). Interaction between cationic gemini surfactant and related single-chain surfactant in aqueous solutions. **Fluid Phase Equilibria**. 370(2014): 95-100.

- Jie Liang, Yingying Qian, Xingzhong Yuan, Lijian Leng, Guangming Zeng, Longbo Jiang, Jianguang Shao, Yuan Luo, Xiaowei Ding, Zhaoxue Yang and Xuemei Li (2018). Span80/Tween80 stabilized bio-oil-in-diesel microemulsion: Formation and combustion. **Renewable energy**. 126(2016): 774-782.
- Kabir-ud-Din, Mohamad Shafi Sheikh, Aijaz Ahmad Dar (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(2009): 605-601.
- Lin Lin, Dong Ying, Sumpun Chaitep, Saritporn Vittayapadung (2009). Biodiesel production from crude rice bran oil and properties as fuel. **Applied Energy**. 86(2009): 681–688.
- Ludmila Aricov, Elena-Livia Vasilescu (2014). Microemulsion systems containing diesel and colza oil as alternative fuels: Phase studies, interfacial tension and solubilization. **Fuel**. 117(2014): 251-258.
- Marieta Balcan, Florentina-Cristina Mihailescu, Dan-Florin Anghel, Ioana-Catalina Vacaresteanu, Ludmila Aricov, Elena-Livia Vasilescu (2014). Microemulsion systems containing diesel and colza oil as alternative fuels: Phase studies, interfacial tension and solubilization. **Fuel**. 117(2014): 251-258.
- Milton J. Rosen (2004). **Surfactants and interfacial phenomena**. John Wiley
- Naphatsarnan Phasukarratchai (2019). Phase behavior and biofuel properties of waste cooking oil-alcohol-diesel blending in microemulsion form. **Fuel**. 243 (2019) 125–132.
- Noukamol Arpornpong (2013). **Alternative renewable biofuel from palm oil-diesel based reverse micelle microemulsions**. A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy Program Chulalongkorn University.
- Noukamol Arpornpong, Chodchanok Attaphong, Ampira Charoensaeng, David A. Sabatini, Sutha Khaodhiar (2014). Ethanol-in-palm oil/diesel microemulsion-based biofuel Phase behavior, viscosity and droplet size. **Fuel**. 132(2014): 101-106.
- N.L. Panwar, Hemant Y. Shrirame, N.S. Rathore, Sudhakar Jindal and A.K. Kurchania (2010). Performance evaluation of a diesel engine fueled with methyl ester of castor seed oil. **Applied Thermal Engineering**. 30(2010): 245-249

Pankaj Dubey and Rajesh Gupta (2016). Study of the performance and emission characteristics for a dual fuel powered single cylinder diesel engine. **International Journal of Automotive and Mechanical Engineering (IJAME)**. Volume 13, Issue 2 pp. 3373-3388.

Qi, D.H. Chen, H., Matthews, R.D. and Bian, Y.Zh. Combustion and emission characteristics of ethanol-biodiesel-water micro-emulsions used in a direct injection compression ignition engine. **Fuel**. 89(2010): 958-964.

Vivek Patidar, Abhishek Chandra, Man Singh and R. K. Kale (2014). Phase behavior and physicochemical study of Karanj oil-ethanol microemulsion as alternative renewable biofuel. **Journal of Scientific & Industrial Research**.73(2014): 461-464.



ภาคผนวก ก

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Sakonwan Phoeboon and Atthaphon Maneedaeng, (2017). Microemulsion-Based Biofuels from Rice Bran Oil and Ethanol: Production and Fuel Properties. International Conference on Environmental Science and Technology (ICOEST). Budapest, Hungary. October, 19-23, 2017.



Microemulsion-Based Biofuels from Rice Bran Oil and Ethanol: Production and Fuel Properties

Sakonwan PHOEMBOON¹ and Attaphon MANEEDAENG*

Abstract

Due to environmental concerns and current fossil fuel situations, liquid biofuels have been increasingly explored and vegetable oils are the option of choice. Apart from their renewability and biodegradability, they have high oxygen but have no sulfur and aromatics, which is the main advantage of better fuel quality over the fossil fuel. However, the limitations of their use are the operation problems from low volatility and high viscosity of vegetable oil. The viscosity of vegetable oils can be reduced by a number of ways. However, microemulsion-based biofuel is an effective alternative energy which produced by using natural substances. This study aims to investigate the new microemulsion of rice bran oil and ethanol as main constituents emulsified by Tween 80 and Span 80 together with co-emulsifier of 1-Octanol, at different molar ratios of 1:5, 1:10, 1:20, and 1:30. Ternary phase diagrams of rice bran oil, ethanol, and emulsifier/co-emulsifier revealed that Span 80 exhibits an excellent emulsification as single phase microemulsion region is larger than obtained from Tween 80. This is due to the lower Hydrophilic-Lipophilic Balance (HLB) of Span 80 thus, it can greatly emulsify when a large amount of oil present in the mixture. In addition, 1-Octanol assisted and is capable working with both Tween 80 and Span 80. The increase in amount of 1-Octanol significant increases the single phase microemulsion region. In an aspect of fuel properties, the kinematic viscosity, higher heating value, and emission test of microemulsion-based biofuels were investigated in this work. It can be observed that the high amount of emulsifier, the higher viscosity obtained while higher ethanol amount could decrease the kinematic viscosity. The higher 1-Octanol and rice bran oil content resulted in larger value of higher heating value. The higher heating values increases with increasing molar ratios of emulsifier to co-emulsifier. The emission test revealed that NO_x release is less than of commercial diesel while HC and CO are relatively higher.

Keywords: Biofuel, Microemulsion, Rice bran oil, Surfactant

1. INTRODUCTION

Most of the current energy and fuel are derived from the natural resources. As the energy depletion is concerned, it makes the world aware of new energy alternatives to replace the natural fuels that are gradually run out. The ways to finding renewable energy have been of interest is to develop of biofuels which are energy derived from plants or animals i.e. oil from animal fat, oil from various plants such as oil, palm oil, oil, rice, oil, sunflower etc [1].

In Southeast Asia, palm oil is another source of energy that is of interest in the production of biofuels. However, due to the desire to find alternative energy sources or alternative energy, palm oil is popular in the production of biofuels that made palm oil has been very much needed and more expensive [2]. In 2011 – 2016, research was carried out to find other sources of biofuel, and rice bran oil may be an interesting alternative for Thailand [3] since Thailand is able to produce 31 million tons of paddy per a year. Most of the rice produced is processed and then consumed domestically or exported. But, rice price is expected to grow slowly [4]. With the ability to produce rice if the paddy is extracted into rice bran oil, it will be another way to increase rice value. However, if rice bran oil is used directly in the engine may cause problems with the engine due to its high viscosity, low evaporation, and become a wax when the temperature drops. Hence, it is important to improve the fuel properties of rice bran oil before use. There are four methods to lower the vegetable oil viscosity and improve fuel properties: 1. Mixed vegetable oil with diesel; 2. Pyrolysis; 3. Transesterification reaction and 4. Microemulsion.

^{1*} Corresponding author: School of Chemical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000 Thailand athaphon@su.ac.th

Even the most popular method of biofuel production is transesterification reaction, however, the transesterification will produce glycerin as a by-product. The separation of glycerin from biofuels is further required which is a difficult and costly processes. Hence, the production of biofuels by microemulsion has received attention. Because there is no chemical reaction, no more glycerin and this method reduces the cost of biofuel purification. Microemulsion is a mixture of two insoluble liquids that can be homogeneous by the use of emulsifier which is surfactants together with co-surfactant which is a short hydrocarbon chain alcohol. Surfactant and co-surfactant will cause very small size of colloidal particles (ranged in 10-100 nm). The mixture will become homogeneous and transparent.

In this research, the biofuels from rice oil and ethanol by microemulsion was investigated using different nonionic surfactants (Tween 80 and Span 80) and co-surfactant (1-Octanol). The microemulsion phase behavior was examined from ternary phase diagram. The fuel properties of biofuel was studied through the kinematic viscosity, higher heating value, and emission test.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Material

The materials used for biofuel production were: Rice bran oil (commercial food grade) and absolute ethanol 99.8% (ACS reagent grade) from Carlo Alba. Surfactants used are Span 80 (Sorbitane monooleate) from Sigma Aldrich and Tween 80 (Polyoxyethylene (20) sorbitan monooleate) from Acros Organics. Co-surfactant used is 1-Octanol 99.0% from Apex Chemical Co., Ltd.

The research focused to use the individual surfactant with different molar ratios of surfactant (S) to co-surfactant (C) of 1:5, 1:10, 1:20, and 1:30. The solubilization of S/C was found to completely dissolve in each other in all molar ratios.

2.2. Construction of ternary phase diagram of biofuel

The 5-mL Microemulsion biofuel was prepared with different compositions of three components of S/C, rice bran oil, and ethanol by v/v basis. Biofuel was formulated in 36 different formulas according to the composition points in ternary phase diagram. Then, All of 36 test tubes were added in the constant-temperature shaking water bath at 40 °C for 72 hr to allow the mixtures reach equilibrium. Monitoring the phase behavior (single or separate phase) in every 12 hr until 72 hr, and then the ternary phase diagrams were obtained.

2.3. Investigation of fuel properties of biofuel

After the ternary phase diagram was constructed, some microemulsion-based biofuel samples were collected to measure kinematic viscosity and higher heat value as seen in Figure 1 to investigate the effect of S/C ratios, types and amount of surfactant, types of microemulsion (water in oil, w/o and oil in water, o/w).

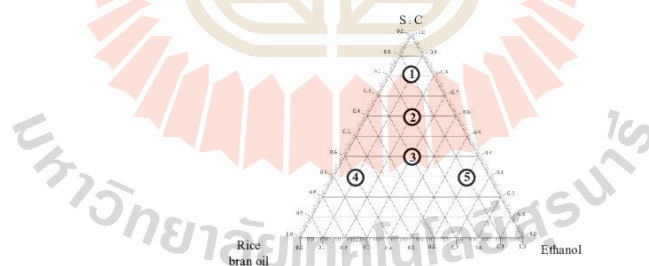


Figure 1. Selected points to sampling for further analysis on Ternary phase diagram

2.4. Analysis of exhaust gases from a diesel engine

The samples from ternary phase diagram were chose to investigate the exhaust gas from the combustion in a single cylinder diesel engine. The ternary composition at the point number 3 in Figure 1 in Tween 80 and Span 80 with 1-Octanol at molar ratios of 1:10 and 1:30 were used for this analysis. The microemulsion-based biofuel combusted in a single cylinder engine (Fuel analyzer TESTO 350 at ambient temperature of 27 °C) produced the exhaust gases of CO, CO₂ and NOx together with the exhaust temperature and amount of HC residue.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Microemulsion phase behavior

3.1.1. Effect of surfactants and co-surfactant

Tween 80

Ternary phase diagrams of microemulsion-based biofuels using Tween 80 with varying S/C molar ratios of 1:5, 1:10, 1:20, and 1:30 were observed in Figure 2. The single phase region (the areas of shaded region) in all four various systems are larger than their separate phase region where two or three phases were observed. The increase amount of 1-Octanol promotes solubilization of rice bran oil and ethanol and thus, single phase microemulsion increases as seen in Figure 2 (a) – (d). In addition, as observed in Figure 2. (a), when S/C molar ratio is 1:5, the ability of Tween 80 itself could not solubilize to homogeneous mixtures when rice bran oil is the main composition with less S/C amount, the separate phase areas in lower left edge in ternary phase diagram is relatively large. This is due to the hydrophilic-lipophilic molecular structure in Tween 80 (HLB = 15.0) which indicates that Tween 80 favors to solubilize in polar phase (ethanol). However, when the molar concentration of 1-Octanol increased, the HLB of Tween 80 decreased and thus, it promoted solubilization of rice bran oil and ethanol, and can be seen in Figure 2. (c) – (d) that the separate phase areas in lower left edge in ternary phase diagram become smaller and smaller. The promotion effects of 1-Octanol on ternary phase diagram of microemulsion-based biofuels are in good agreement with previous researches [5]

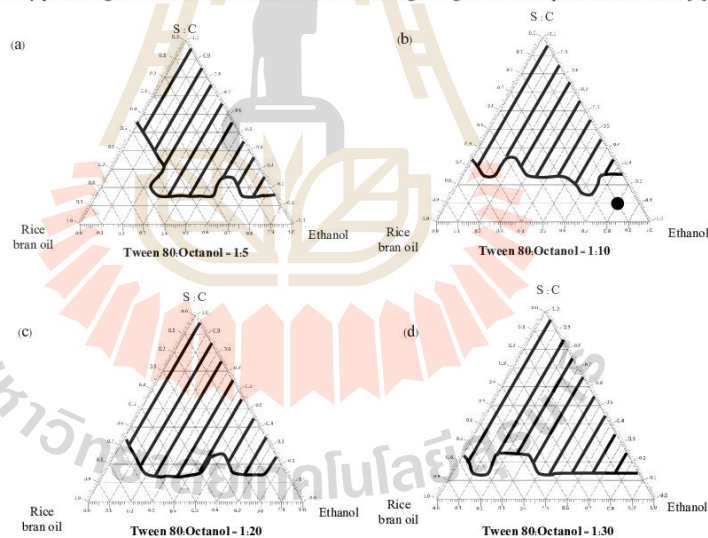


Figure 2. Ternary phase diagrams of microemulsion-based biofuels using Tween 80 with S/C molar ratios of (a) 1:5, (b) 1:10, (c) 1:20, and (d) 1:30

Span 80

Ternary phase diagrams of microemulsion-based biofuels using Span 80 with varying S/C molar ratios of 1:5, 1:10, 1:20, and 1:30 were observed in Figure 3. The single phase region (the areas of shaded region) in all four various systems are larger than their separate phase region as similarly seen in Tween 80 systems in Figure 2. However, the increase amount of 1-Octanol slightly assists to promote solubilization of rice bran oil and ethanol and thus, single phase microemulsion slightly increases as seen in Figure 3 (a)–(d). This is because of Span 80 capability to solubilize in rich-oil mixture by itself (HLB = 4.3) thus, the increase molar concentration of 1-Octanol is slightly significant. This indicates that Span 80 is more capable to produce microemulsion-based biofuels with slightly amount of 1-Octanol co-assistance.

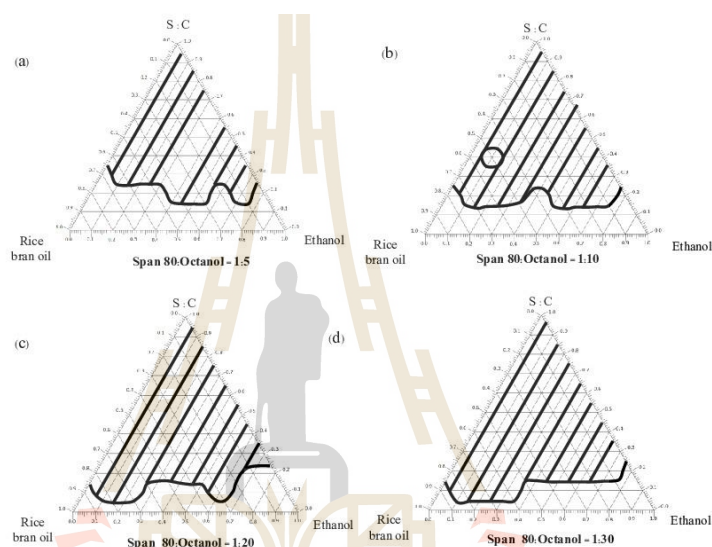


Figure 3. Ternary phase diagrams of microemulsion-based biofuels using Span 80 with S/C molar ratios of (a) 1:5, (b) 1:10, (c) 1:20, and (d) 1:30

3.2. Kinematic viscosity of microemulsion-based biofuels

3.2.1. Effect of surfactant and co-surfactant on kinematic viscosity

The kinematic viscosity of biofuels for selected systems from Figure 2-3 (point no. 1-3) with varying molar concentration of 1-Octanol and different types of surfactant are shown in Figure 4 (a) Tween 80 and (b) Span 80, respectively. It can be observed that the kinematic viscosity of microemulsion-based biofuels using both Tween 80 and Span 80 decreased as 1-Octanol molar concentration increased. This is because 1-Octanol has a lower viscosity compared to the used surfactant viscosity. Considering the kinematic viscosity in either Figure 2, (a) or (b) as v/v percent of S/C varied, the results showed that the kinematic viscosity increased with percent v/v of S/C increased. When the v/v percent of S/C increased, it means the amount of Tween 80 or Span 80 increased and thus, the influence of surfactant viscosity resulted in higher viscosity values. The standard of commercial biofuel (produced from transesterification method) and commercial diesel are approximately 8.0 and 4.0 cSt, respectively [6]. As can be seen in Figure 4, (b), the kinematic viscosity of biofuels from Span 80 systems are relatively close to the standard of commercial biofuel value while the kinematic viscosity of biofuels from Tween 80 systems could be tuned to be close to the standard value when the molar concentration of 1-Octanol increased.

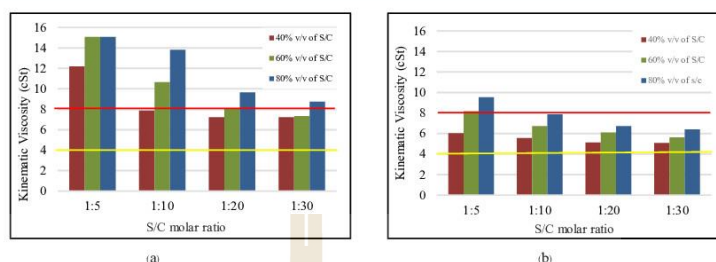


Figure 4. The kinematic viscosity of biofuels for selected systems from Figure 2-3 (point no. 1-3) with varying molar concentration of 1-Octanol and different types of surfactant (a) Tween 80 and (b) Span 80. The red and yellow lines indicate the standard value of commercial biodiesel from transesterification and diesel, respectively

3.2.2. Effect of w/o and o/w on kinematic viscosity

The kinematic viscosity of biofuels for selected systems from Figure 2-3 (point no. 4 (w/o) and 5 (o/w)) with varying molar concentration of 1-Octanol and different types of surfactant (a) Tween 80 and (b) Span 80 is shown in Figure 5. For the prepared biofuels with o/w microemulsion type in both Tween 80 and Span 80 systems, the kinematic viscosity were observed to be similarly and no significant difference because the amount of ethanol is more influent on the viscosity value of the mixtures. The kinematic viscosities of biofuels with w/o microemulsion type were observed to be very higher than the biofuels with o/w microemulsion type because of the existence of rice bran oil as a rich phase which has high viscosity. As can be seen in Figure 5. (a), the kinematic viscosity of microemulsion-based biofuels with w/o microemulsion of S/C molar ratio at 1:5 in Tween 80 system does not show up since this point appears two separate phases from lack of enough 1-Octanol.

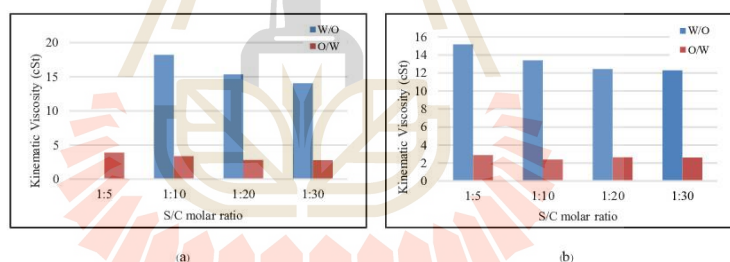


Figure 5. The kinematic viscosity of biofuels for selected systems from Figure 2-3 (point no. 4 (w/o) and 5 (o/w)) with varying molar concentration of 1-Octanol and different types of surfactant (a) Tween 80 and (b) Span 80

3.3. Higher heating value

3.3.1. Effect of surfactant and co-surfactant

The higher heating value of biofuels for selected systems from Figure 2 (at point no. 1-3) using Tween 80 at different molar concentration of 1-Octanol of 1:5 and 1:10 with varying S/C volume percent are shown in Figure 6. It can be seen that the more amount of 1-Octanol in the biofuels, the larger higher heating value obtained. It is due to 1-Octanol has a large value of higher heating value. In addition, when the amount of Tween 80 increased, it resulted in the larger values of higher heating value of biofuels due to there are so many hydrocarbon molecules in Tween 80 structure to combust in the oxidation reaction. The higher heating value

of commercial biofuel (produced from transesterification method) and commercial diesel are approximately 37.24 MJ/kg and 44.80 MJ/kg, respectively [7].

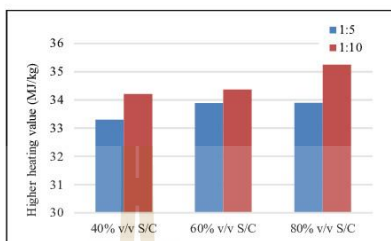


Figure 6. The higher heating value of biofuels for selected systems from Figure 2 (at point no. 1-3) using Tween 80 at different molar concentration of 1-Octanol of 1:5 and 1:10 with varying S/C volume percent

3.4. Emission test

The experimental results from emission test for exhaust gas temperature, unburn hydrocarbon (HC), carbon dioxide (CO₂), carbon monoxide (CO) and nitrogen oxides (NO_x) are shown in Figure 7-11, respectively. The ternary composition at the point number 3 in Figure 1 in Tween 80 and Span 80 with 1-Octanol at molar ratios of 1:10 and 1:30 were used for this analysis with two different load of 25 and 50 N-m. From Figure 7. (a) and (b) the exhaust temperatures resulted from biofuel combustion in a single cylinder diesel engine for both Tween 80 and Span 80 systems were similarly which indicated that the change in molar ratio of S/C were slightly significant. The main reason for exhaust temperature difference could be due to the load apply. Considering the amount of unburn hydrocarbons of biofuels from Tween 80 and Span 80 systems in Figure 8. (a) and (b), the amount of unburn hydrocarbons from the prepared biofuels remained higher than those of commercial diesel, which is a result from incomplete oxidation reaction due to amount of triglyceride in rice bran oil.

In Figure 8. (a), the molar ratio difference resulted in not so different unburn hydrocarbon remain while the significant difference in unburn hydrocarbon amount were observed in biofuels from Span 80 systems at both different load apply. It indicates that the increase in the molar concentration of 1-Octanol in biofuels when using Span 80 as emulsifier, it shall result in incomplete oxidation reaction in the combustion chamber in diesel engine. This problem could be solved by further addition of oxygen compounds (i.e. ethanol) to the mixtures. Considering Figure 9. (a) and (b), it can be observed that the prepared biofuels from both Tween 80 and Span 80 systems have similar results in CO₂ release comparable to commercial diesel. This can be due to the amount of free fatty acid content (as single chain hydrocarbons) while the HC remained much higher because of triglyceride with in good agreement in the further supporting experimental data of higher amount of CO release in the exhaust gases as seen in Figure 10. (a) and (b).

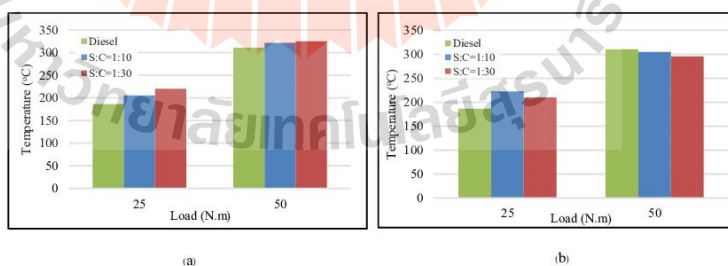


Figure 7. The exhaust gas temperature of prepared biofuels with different load (a) Tween 80 and (b) Span 80

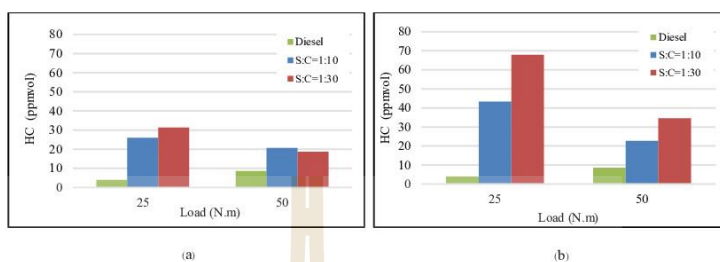


Figure 8. The amount of unburn hydrocarbon of biofuels with different load apply from (a) Tween 80 and (b) Span 80

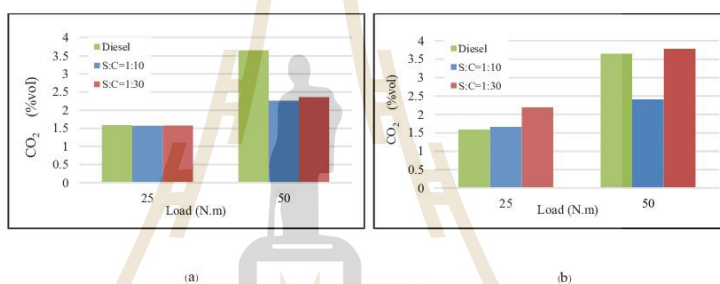


Figure 9. The amount of CO₂ release of biofuels with different load apply from (a) Tween 80 and (b) Span 80

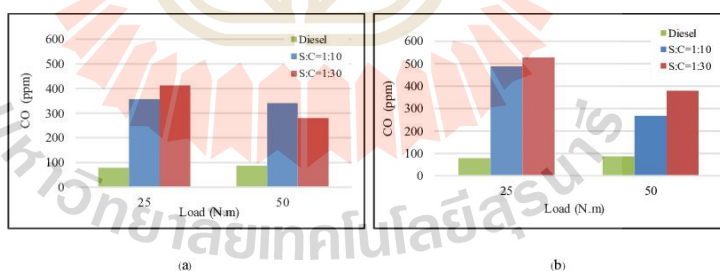


Figure 10. The amount of CO release of biofuels with different load apply from (a) Tween 80 and (b) Span 80

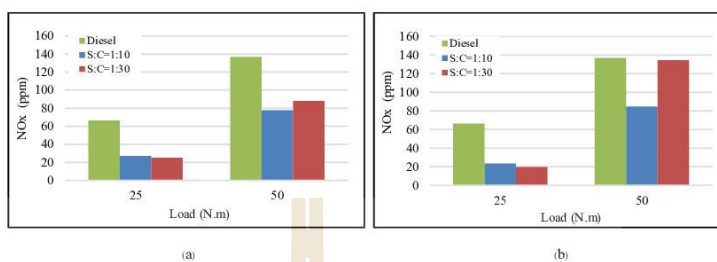


Figure 11. The amount of NOx release of biofuels with different load apply from a) Tween 80 and b) Span 80

Due to the co-existence of oxygen compounds (ethanol and 1-Octanol) in the prepared biofuels, the experimental data revealed that the amount of NOx release from the engine was relatively lower than from commercial diesel fuel as can be seen in Figure 11.(a) and (b). In addition, the increase in S/C molar ratio resulted in not very significant in NOx release while the higher load apply resulted in higher NOx release. Overall of the emission analysis results of the prepared biofuels from both Tween 80 and Span 80 systems revealed lower NOx generation together with higher HC, CO₂ and CO amounts from the prepared biofuels. The experimental results are similar to previous researches of biofuels containing vegetable oils [8], [9], [10] and [11].

4. CONCLUSIONS

Tween80 and Span80 have potential to emulsify rice bran oil and ethanol to form the single phase microemulsion of biofuels. The kinematic viscosity decreased with increasing ethanol and it could be higher with increasing Tween 80 or Span 80 amount. The higher 1-Octanol and rice bran oil content resulted in larger value of higher heating value. The higher heating values increased with increasing molar ratios of surfactant to co-surfactant. The emission test revealed that NOx release from biofuels is less than of commercial diesel while HC and CO are relatively higher due to incomplete combustion because of triglyceride in rice bran oil.

ACKNOWLEDGMENT

The authors have been grateful to the financial support from One Research One Graduate Scholarship (OROG), Suranaree University of Technology. This work was financially supported by National Research Council of Thailand, Institute of Research and Development, and Suranaree University of Technology for research and travel expenses for international conference.

REFERENCES

- [1]. G. Alemayehu, G. Tewodros, T. Abile, "A Review of Biodiesel Production as Alternative Fuel," *Journal of Forest Product & Industries*, pp. 80-85, Jan. 2015.
- [2]. (2016) Thairath news. [Online]. Available: <http://www.thairath.co.th/content/404997>
- [3]. N. Anantakakitti, *Effect of Nonionic Surfactant Structure on Fuel Properties of Microemulsion-Based Biofuel from Palm Oil*, M. Thai. thesis, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 2013.
- [4]. P. Vareerat. (1995) IO Rice webpage on Kningsri. [Oline]. Available: https://www.kningsri.com/bank/getmedia/7dfad653f0a-42b0-ae24-cfbf8f29ad84/IO_Rice_2016_TH.aspx
- [5]. P. Sirinee, "Microemulsion fuels from vegetable oil based renewable resource using mixed nonionic surfactant and cosurfactant systems," *UEE*, vol. 1: Issue 2, June 2014.
- [6]. (2013). Thailand Department of Energy Business Ministry of Energy website [Online]. Available: <http://www.doe.go.th/danotice/candle-diesel25-01-56.pdf>
- [7]. (2014) EERE webpage on AFDC. [Online]. Available: https://www.afdc.energy.gov/fuels/fuel_comparison_chart.pdf
- [8]. C.Narasimha, M.Rajesh. "Performance And Emissions Characteristics Of Diesel Engine Fuelled With Rice Bran Oil," *IJETT*, vol. 4: Issue 10, Oct. 2013.
- [9]. N. Dantas, A. A. et. al. "Effect of Biodiesel/Diesel-based Microemulsions on the Exhaust Emissions of a diesel engine," *Brazilian Journal of Petroleum and Gas*, vol. 7: pp. 141-153, 2013.
- [10]. Do, L.D., et. al., "Algae, canola, or palm oils-diesel microemulsion fuel: phase behaviors, viscosity, and combustion properties," *International Journal of Green Energy*, vol. 8: 748-767, Oct. 2011.
- [11]. D.H. Qi, H. Chen, R.D. Matthews, Y.Zh. Bian, "Combustion and emission characteristics of ethanol-biodiesel-water micro-emulsions used in a direct injection compression ignition engine," *Fuel*, vol. 89: pp. 958-964, May 2010.

ประวัติผู้เขียน

นางสาวศกฉวรรณ เพิ่มบุญ เกิดเมื่อวันที่ 29 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2536 จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนกันทรลักษณ์วิทยา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเบ็ญจะมะมหาราช และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี จากสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2558 หลังจากสำเร็จการศึกษาได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ในสาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในภาคการเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 ในขณะที่ศึกษาอยู่มีโอกาสดำเนินการวิจัยเรื่อง การศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจาก น้ำมันรำข้าวด้วยวิธีไมโครอิมัลชันในระบบผสม

ด้านผลงานวิจัยได้เสนอบทความเรื่อง Microemulsion-Based Biodiesel from Rice bran oil and Ethanol: Production and Fuel Properties เข้าร่วมในการประชุมทางวิชาการระดับนานาชาติ 3rd International Conference on Environmental Science and Technology (ICOEST) ที่ประเทศอังกฤษ

