

การปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลโดยการเติมสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์



นางสาวเพ็ญทิพย์ ทองธรรมชาติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVING COLD FLOW PROPERTIES OF BIODIESEL BY ADDITION OF SYNTHETIC POUR
POINT DEPRESSANTS

Miss Pentip Thongtummachart



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Petrochemistry and Polymer Science
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2015
Copyright of Chulalongkorn University

เพ็ญทิพย์ ทองธรรมชาติ : การปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลโดยการเติมสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ (IMPROVING COLD FLOW PROPERTIES OF BIODIESEL BY ADDITION OF SYNTHETIC POUR POINT DEPRESSANTS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.สมใจ เพ็งปรีชา, 177 หน้า.

งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของปาล์มไบโอดีเซล (B100) โดยใช้สารเติมแต่งทั้งหมด 5 ประเภท ดังนี้คือ ตัวทำละลายอินทรีย์ 3 ชนิด คือ โทลูอีน, น้ำมันก๊าด และไซลีน สารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ 2 ชนิด คือ ไดเอทิลีนไกลคอลไอโซโพรพิลเมทิลอีเธอร์ (DEGPE) และไดเอทิลีนไกลคอลโมโนบิวทิลอีเธอร์อะซีเตท (DEGBA) สารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ 5 ชนิด คือ Viscoplex 1-330, PPDs, 2P-23, Additive A และ Keroflux 6312 สารละลายเอทิลีนไวนิลอะซีเตทโคพอลิเมอร์ในโทลูอีน (MV-1055 และ EVATANE 28-05) และสารลดจุดเริ่มไหลที่สังเคราะห์จากน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันมะพร้าว ทำการสังเคราะห์โดยผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้แอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่กิ่ง 2 ชนิด คือไอโซโพรพานอล และ 2-บิวทานอล นอกจากนี้ยังทำการศึกษาผลของการทำงานร่วมกันของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์และสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ที่ดีที่สุดของทั้งสองประเภท ทำการทดสอบค่าจุดหมอก (CP) จุดไหลเท (PP) และจุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (CFPP) เพื่อประเมินความสามารถในการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำโดยการผสมลงในน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 1,000 – 200,000 ส่วนในล้านส่วน ผลการศึกษาพบว่าสารเติมแต่งทุกประเภท สามารถปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของปาล์มไบโอดีเซลได้ และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารเติมแต่งประเภทต่างๆ พบว่าสารลดจุดเริ่มไหลผสม (mixed PPDs) สามารถปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำได้ดีที่สุด ที่ความเข้มข้น 200,000 ส่วนในล้านส่วน สามารถลดค่าจุดหมอก (CP), จุดไหลเท (PP) และจุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (CFPP) เป็น 6 องศาเซลเซียส ($\Delta CP = 10$ องศาเซลเซียส), 3 องศาเซลเซียส ($\Delta PP = 9$ องศาเซลเซียส) และ 5.5 องศาเซลเซียส ($\Delta CFPP = 6.5$ องศาเซลเซียส) ตามลำดับ นอกจากนี้การวิเคราะห์หาอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก (Crystallization temperature) โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC) พบว่าสารลดจุดเริ่มไหลผสม (mixed PPDs) สามารถลดอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกได้สูงที่สุด โดยอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกลดลงเป็น 2.93 องศาเซลเซียส ($\Delta T_c = 6.67$ องศาเซลเซียส) โดยผลวิเคราะห์จากเทคนิค DSC แสดงให้เห็นว่าสารเติมแต่งทุกประเภทสามารถลดอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกในปาล์มไบโอดีเซลได้

สาขาวิชา ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5572406923 : MAJOR PETROCHEMISTRY AND POLYMER SCIENCE

KEYWORDS: PALM BIODIESEL/COLD FLOW PROPERTIES/DIFFERENTIAL SCANNING CALORIMETRY

PENTIP THONGTUMMACHART: IMPROVING COLD FLOW PROPERTIES OF BIODIESEL BY ADDITION OF SYNTHETIC POUR POINT DEPRESSANTS. ADVISOR: ASSOC. PROF.SOMCHAI PENGPRECHA, Ph.D., 177 pp.

This research aims to study the effect of five types of additives to improve the cold flow properties of palm biodiesel, which are organic solvents (toluene, kerosene and xylene), glycol ether ((diethylene glycol isopropyl methyl ether (DEGPE) and diethylene glycol monobutyl ether acetate (DEGBA)), commercial pour point depressants (Viscoplex 1-330, PPDs, 2P-23, Additive A and Keroflux 6312), ethylene-vinyl acetate solution in toluene (MV-1055 and EVATANE 28-05) and synthesized pour point depressants ((isopropyl ester of soybean (SIE), 2-butyl ester of soybean (SBE), isopropyl ester of coconut (CIE) and 2-butyl ester of coconut (CBE)), which was synthesized via esterification with branched chain alcohols (isopropanol or 2-butanol). In parallel, the effect of mixed PPDs (commercial pour point depressants + synthesized pour point depressants) has been studied. In addition, cloud point (CP), pour point (PP) and cold filter plugging point (CFPP) of palm biodiesel blended with additive at various concentrations ranging from 1,000 to 200,000 ppm were also studied. The result showed that all additives could improve the cold flow properties of palm biodiesel. However, the mixed PPDs at 200,000 ppm showed the best result as the reported cloud point (CP), pour point (PP) and cold filter plugging point (CFPP) were 6°C ($\Delta CP = 10^\circ C$), 3°C ($\Delta PP = 9^\circ C$), 5.5 ($\Delta CFPP = 6.5^\circ C$), respectively. In addition, the crystallization temperatures (T_c) of palm biodiesel and its blend were characterized by DSC technique. It was found that the mixed PPDs showed the best reduction of the crystallization temperature to 2.93°C ($\Delta T_c = 6.67^\circ C$). DSC analyses showed that all additives decrease crystallization temperature of the palm biodiesel.

Field of Study: Petrochemistry and
Polymer Science

Student's Signature
Advisor's Signature

Academic Year: 2015

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ายิ่งในการให้ความรู้ แนวคิด คำแนะนำ และความเห็น และตรวจแก้ไขข้อผิดพลาด ตลอดจนให้ความช่วยเหลือต่างๆ ซึ่งมีส่วนสำคัญมากในการทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วิมลรัตน์ ตระการพุกฤษ และ ดร.อนุรักษ์ วินิตสร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความคิดเห็น รวมถึงคำแนะนำในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในสาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้ตลอดหลักสูตรการศึกษา

ขอขอบคุณสำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในห้องปฏิบัติการเพื่อทำงานวิจัยตลอดระยะเวลาทำการวิจัย และขอบคุณบุคลากรสำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ให้ความรู้ที่เกี่ยวข้อง คำแนะนำ และช่วยเหลือต่างๆ ในการทำงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณบริษัท น้ำมันพืชปทุม จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลและสนับสนุนการทดสอบในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณบริษัท บางจากไบโอฟลูเอล จำกัด บริษัท พลังงานบริสุทธิ์ จำกัด (มหาชน) บริษัท พี.กริม กรีนเพาเวอร์ จำกัด บริษัท แพน เอเชีย จำกัด บริษัท ยูเอซี โกลบอล จำกัด (มหาชน) บริษัท ซีนิธ ไซเอนซ์ จำกัด บริษัท อินพีเนียม จำกัด และบริษัท BASF (ไทย) จำกัด สำหรับการอนุเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลและสารลดจุดเริ่มไหม้เชิงพาณิชย์ที่ใช้ในงานวิจัย

นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อนร่วมหัวข้อมวิจัย ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และกำลังใจในการแก้ปัญหาต่างๆ และขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ภายในสาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาและคอยให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่น้องทุกคนที่ให้การสนับสนุนทุนทรัพย์ ให้คำปรึกษาต่างๆ อันเป็นประโยชน์ รวมทั้งผู้อยู่เบื้องหลังที่เป็นกำลังใจในการทำวิจัยในครั้งนี้ จนสำเร็จการศึกษาได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป.....	ฐ
สารบัญตาราง.....	ท
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 น้ำมันดีเซล (Diesel fuel).....	6
2.1.1 ชนิดของน้ำมันดีเซล.....	6
2.1.2 คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล.....	7
2.2 ไบโอดีเซล (Biodiesel).....	9
2.2.1 วัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล.....	10
2.2.2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืชและไขมันสัตว์.....	16
2.2.3 ประเภทของไบโอดีเซล.....	17
2.2.4 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล.....	18
2.2.5 เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลในเชิงพาณิชย์.....	21
2.2.6 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม.....	23

2.2.7	สมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของไบโอดีเซล.....	24
2.2.8	มาตรฐานของไบโอดีเซล.....	27
2.2.9	โรงงานการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย	31
2.2.10	สัดส่วนการใช้ไบโอดีเซล.....	32
2.2.11	ประโยชน์ของการใช้ไบโอดีเซล.....	33
2.3	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	34
2.3.1	กลไกและจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน.....	35
2.3.2	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา	37
2.3.3	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ.....	42
2.3.4	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้แอลกอฮอล์ในสถานะเหนือจุดวิกฤต.....	42
2.3.5	แอลกอฮอล์ที่ใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	43
2.3.6	ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	43
2.4	สมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ (Cold flow properties).....	46
2.4.1	เกณฑ์คุณภาพสำหรับการประเมินสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซล.....	46
2.4.2	ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซล	50
2.4.3	กลไกของสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ	51
2.4.4	การปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ	52
2.4.5	สารลดจุดเริ่มไหล (Pour Point Depressants, PPDs).....	54
2.5	ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification)	54
2.5.1	ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่กิ่ง.....	56
2.6	เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC Technique).....	56
2.7	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	57
บทที่ 3	เครื่องมือและวิธีการทดลอง.....	64

3.1 สารตั้งต้นและสารเคมี.....	64
3.1.1 สารตั้งต้นที่ใช้ในการทดลอง	64
3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	64
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง	65
3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	65
3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	71
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย	72
3.3.1 วิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล (Palm biodiesel).....	72
3.3.2 วิเคราะห์โครงสร้างของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ (Commercial pour point depressants).....	72
3.3.3 สังเคราะห์สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ (Synthetic pour point depressants) และวิเคราะห์โครงสร้างของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์.....	73
3.3.4 ศึกษาผลของตัวทำละลายอินทรีย์ สารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ สารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ สารละลายพอลิเมอร์ และสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล.....	74
3.3.5 ศึกษาผลการทำงานร่วมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ และสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล	75
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	76
4.1 ศึกษาสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล.....	76
4.1.1 วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography).....	76
4.1.2 วิเคราะห์อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล โดยใช้เทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry).....	77
4.1.3 ตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM.....	78

4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างและศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ (Commercial pour point depressants).....	79
4.3 การสังเคราะห์สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ (Synthetic pour point depressants)	83
4.3.1 ผลการสังเคราะห์สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ (Pour point depressants).....	83
4.3.2 การศึกษาสมบัติของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ (Synthetic pour point depressants).....	84
4.4 การศึกษาผลของตัวทำละลายอินทรีย์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและสมบัติอื่นๆ ของ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล	87
4.4.1 คุณสมบัติของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด.....	87
4.4.2 การศึกษาผลของตัวทำละลายอินทรีย์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมัน ปาล์มไบโอดีเซล	87
4.4.3 การศึกษาผลของตัวทำละลายอินทรีย์ต่อสมบัติอื่นๆ.....	89
4.5 การศึกษาผลของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและสมบัติอื่นๆ ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล.....	94
4.5.1 คุณสมบัติของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ ทั้ง 2 ชนิด.....	94
4.5.2 การศึกษาผลของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล.....	95
4.5.3 การศึกษาผลของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ต่อสมบัติอื่นๆ.....	98
4.6 การศึกษาผลของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและสมบัติ อื่นๆ ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล	102
4.6.1 การศึกษาผลของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล.....	102
4.6.2 การศึกษาผลของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ต่อสมบัติอื่นๆ	105
4.7 การศึกษาผลของสารละลายพอลิเมอร์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและสมบัติอื่นๆ ของ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล	109

4.7.1	คุณสมบัติเอทิลีนไวนิลอะซีเตทโคพอลิเมอร์ (Ethylene vinyl acetate copolymer).....	109
4.7.2	การศึกษาผลของสารละลายพอลิเมอร์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล	110
4.7.3	การศึกษาผลของสารละลายพอลิเมอร์ต่อสมบัติอื่นๆ.....	113
4.8	การศึกษาผลของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและสมบัติอื่นๆ ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล	117
4.8.1	การศึกษาผลของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล.....	117
4.8.2	การศึกษาผลของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ต่อสมบัติอื่นๆ	121
4.9	การศึกษาผลการทำงานร่วมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ และสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและสมบัติอื่นๆ ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล	126
4.9.1	การศึกษาผลการทำงานร่วมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ และสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล	126
4.9.2	การศึกษาผลของการทำงานร่วมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ และสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ต่อสมบัติอื่นๆ	129
4.10	การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารเติมแต่งที่มีผลต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล	132
4.10.1	ค่าจุดหมอก (Cloud point, CP)	133
4.10.2	ค่าจุดไหลเท (Pour point, PP).....	133
4.10.3	จุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (Cold filter plugging point, CFPP).....	134
4.10.4	วิเคราะห์หาอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก (Crystallization temperature) โดยใช้เทคนิค DSC.....	135
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	137
5.1	สรุปผลการทดลอง.....	137

5.1.1	ศึกษาสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล	137
5.1.2	การวิเคราะห์โครงสร้างและศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ (Commercial pour point depressants).....	137
5.1.3	การสังเคราะห์สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ (Synthetic pour point depressants).....	137
5.1.4	การศึกษาผลของตัวทำลายอินทรีย์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและสมบัติ อื่นๆ ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล.....	138
5.1.5	การศึกษาผลของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและ สมบัติอื่นๆ ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล	138
5.1.6	การศึกษาผลของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและ สมบัติอื่นๆ ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล	139
5.1.7	การศึกษาผลของสารละลายพอลิเมอร์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและสมบัติ อื่นๆ ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล.....	139
5.1.8	การศึกษาผลของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและ สมบัติอื่นๆ ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล	140
5.1.9	การศึกษาผลการทำงานร่วมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ และสารลดจุดเริ่ม ไหลสังเคราะห์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและสมบัติอื่นๆ	140
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	141
	รายการอ้างอิง.....	142
	ภาคผนวก.....	146
	ภาคผนวก ก. ¹ H-NMR สเปกตรัม และ DSC เทอร์โมแกรม.....	147
	ภาคผนวก ข. การคำนวณ.....	157
	ภาคผนวก ค. ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติต่างๆ ของปาล์มไบโอดีเซล.....	159
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	177

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 กระบวนการแตกสลายทางความร้อน (thermal cracking or pyrolysis)	19
รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (transesterification reaction).....	21
รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	35
รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับเมทานอล.....	35
รูปที่ 2.5 กลไกของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์	36
รูปที่ 2.6 กลไกของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส.....	37
รูปที่ 2.7 เครื่องมือสำหรับทดสอบหาจุดหมอก (Cloud Point)	47
รูปที่ 2.8 เครื่องสำหรับทดสอบหาจุดไหลเท (Pour Point).....	48
รูปที่ 2.9 เครื่องมือสำหรับหาจุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (Cold Filter Plugging Point)	49
รูปที่ 2.10 เครื่องมือสำหรับการทดสอบการไหลที่อุณหภูมิต่ำ (Low-Temperature Flow Test)..	50
รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของสารลดจุดเริ่มไหล (Pour Point Depressants, PPDs)	54
รูปที่ 2.12 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดไขมันและเมทานอล	55
รูปที่ 3.1 เครื่องวัดความหนาแน่นแบบอัตโนมัติ (Digital density meter).....	65
รูปที่ 3.2 เครื่องวัดความหนืดแบบอัตโนมัติ (Auto-Viscometer)	66
รูปที่ 3.3 เครื่องวัดจุดวาบไฟ (Flash point testing).....	67
รูปที่ 3.4 เครื่องไทเทรตแบบอัตโนมัติ (Automatic titrator)	67
รูปที่ 3.5 เครื่องวัดจุดหมอกและจุดไหลเท.....	68
รูปที่ 3.6 เครื่องวัดค่าจุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ.....	69
รูปที่ 3.7 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี.....	69
รูปที่ 3.8 เครื่องฟลูอิดเรียวทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์	70
รูปที่ 3.9 เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์.....	70

รูปที่ 3.10 เครื่องดีฟเฟอร์นเซียสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์.....	71
รูปที่ 4.1 อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล (B100) โดยใช้เทคนิคดีฟเฟอร์นเซียสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC)	78
รูปที่ 4.2 FT-IR สเปกตรัมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ Viscoplex 1-330.....	80
รูปที่ 4.3 FT-IR สเปกตรัมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs	81
รูปที่ 4.4 FT-IR สเปกตรัมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ 2P-23	81
รูปที่ 4.5 FT-IR สเปกตรัมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ Additive A.....	82
รูปที่ 4.6 FT-IR สเปกตรัมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ Keroflux 6312.....	82
รูปที่ 4.7 อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ 2-Butyl ester of soybean (SBE) โดยใช้เทคนิคดีฟเฟอร์นเซียสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC)	86
รูปที่ 4.8 อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ 2-Butyl ester of coconut (CBE) โดยใช้เทคนิคดีฟเฟอร์นเซียสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC).....	86
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด กับค่าจุดหมอก.....	88
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด กับค่าจุดไหลเท.....	89
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด กับค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C	90
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด กับค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C	92
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด กับค่าจุดวาบไฟ.....	93
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด กับค่าความเป็นกรด.....	94

รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารในกลุ่มไมไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด กับค่าจุดหมอก.....	96
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารในกลุ่มไมไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด กับค่าจุดไหลเท.....	96
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารในกลุ่มไมไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด กับค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C	99
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารในกลุ่มไมไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด กับค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C	100
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารในกลุ่มไมไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด กับค่าจุดวาบไฟ.....	101
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารในกลุ่มไมไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด กับค่าความเป็นกรด.....	102
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด กับค่าจุดหมอก.....	103
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด กับค่าจุดไหลเท.....	104
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด กับค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C	106
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด กับค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C	107
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด กับค่าจุดวาบไฟ.....	108
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด กับค่าความเป็นกรด.....	109
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด กับค่าจุดหมอก.....	112

รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด กับค่าจุดไหลเท.....	112
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด กับค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C	113
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด กับค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C	115
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด กับจุดวาบไฟ	116
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด กับค่าความเป็นกรด.....	117
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด กับค่าจุดหมอก	118
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด กับค่าจุดไหลเท.....	119
รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด กับค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C	122
รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด กับค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C	123
รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด กับจุดวาบไฟ	124
รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด กับค่าความเป็นกรด.....	125
รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) กับค่าจุดหมอก.....	127
รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) กับค่าจุดไหลเท	127

รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) กับค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C.....	129
รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) กับค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C.....	130
รูปที่ 4.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) กับค่าจุดวาบไฟ.....	131
รูปที่ 4.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) กับค่าความเป็นกรด	132
รูปที่ 4.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารเติมแต่งชนิดต่างๆ กับค่าจุดหมอก	133
รูปที่ 4.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารเติมแต่งชนิดต่างๆ กับค่าจุดไหลเท.....	134
รูปที่ 4.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารเติมแต่งชนิดต่างๆ กับค่าจุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ.....	135
รูปที่ 4.48 อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกของปาล์มไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC)	136
รูปที่ ก.1 ¹ H-NMR สเปกตรัมของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ Isopropyl ester of soybean (SIE)	147
รูปที่ ก.2 ¹ H-NMR สเปกตรัมของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ 2-Butyl ester of soybean (SBE).....	147
รูปที่ ก.3 ¹ H-NMR สเปกตรัมของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ Isopropyl ester of coconut (CIE).....	148
รูปที่ ก.4 ¹ H-NMR สเปกตรัมของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ 2-Butyl ester of coconut (CBE)	148
รูปที่ ก.5 DSC เทอร์โมแกรมของปาล์มไบโอดีเซล (B100).....	149

รูปที่ ก.6 DSC เทอร์โมแกรมของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ 2-Butyl ester of soybean (SBE).....	149
รูปที่ ก.7 DSC เทอร์โมแกรมของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ 2-Butyl ester of coconut (CBE)	150
รูปที่ ก.8 DSC เทอร์โมแกรมของปาล์มไบโอดีเซล (B100) ผสมด้วยโพลูอิน ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm.....	150
รูปที่ ก.9 DSC เทอร์โมแกรมของปาล์มไบโอดีเซล (B100) ผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลไอโซโพรพิลเมทิลอีเธอร์ (DEGPE) ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm.....	151
รูปที่ ก.10 DSC เทอร์โมแกรมของปาล์มไบโอดีเซล (B100) ผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลโมโนบิวทิลอีเธอร์อะซีเตท (DEGMA) ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm.....	151
รูปที่ ก.11 DSC เทอร์โมแกรมของปาล์มไบโอดีเซล (B100) ผสมสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ Viscoplex 1-330 ที่ความเข้มข้น 50,000 ppm.....	152
รูปที่ ก.12 DSC เทอร์โมแกรมของปาล์มไบโอดีเซล (B100) ผสมสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs ที่ความเข้มข้น 50,000 ppm	152
รูปที่ ก.13 DSC เทอร์โมแกรมของปาล์มไบโอดีเซล (B100) ผสมสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ 2P-23 ที่ความเข้มข้น 50,000 ppm.....	153
รูปที่ ก.14 DSC เทอร์โมแกรมของปาล์มไบโอดีเซล (B100) ผสมสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ Additive A ที่ความเข้มข้น 50,000 ppm.....	153
รูปที่ ก.15 DSC เทอร์โมแกรมของปาล์มไบโอดีเซล (B100) ผสมสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ Keroflux 6312 ที่ความเข้มข้น 50,000 ppm.....	154
รูปที่ ก.16 DSC เทอร์โมแกรมของปาล์มไบโอดีเซล (B100) ผสมสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ Isopropyl ester of soybean (SIE) ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm.....	154
รูปที่ ก.17 DSC เทอร์โมแกรมของปาล์มไบโอดีเซล (B100) ผสมสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ 2-Butyl ester of soybean (SBE) ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm.....	155
รูปที่ ก.18 DSC เทอร์โมแกรมของปาล์มไบโอดีเซล (B100) ผสมสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ Isopropyl ester of coconut (CIE) ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm.....	155

รูปที่ ก.19 DSC เทอร์โมแกรมของปาล์มไบโอดีเซล (B100) ผสมสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์
 2-Butyl ester of coconut (CBE) ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm..... 156

รูปที่ ก.20 DSC เทอร์โมแกรมของปาล์มไบโอดีเซล (B100) ผสมสารลดจุดเริ่มไหลผสม
 (Mixed PPDs) ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm..... 156



สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 แสดงวัตถุดิบหลักสำหรับการผลิตไบโอดีเซลในแต่ละประเทศ..... 11

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันชนิดต่าง ๆ..... 15

ตารางที่ 2.3 ปริมาณของน้ำมันและกำลังการผลิตของวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซลแต่ละชนิด..... 16

ตารางที่ 2.4 สารมาตรฐานสำหรับเลขซีเทน 27

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM และ EN 28

ตารางที่ 2.6 กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2552..... 29

ตารางที่ 2.7 โรงงานผู้ผลิตไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (B100) ในประเทศไทย. 31

ตารางที่ 2.8 การเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด เบส กรด เอมีน และ แอลกอฮอล์ในภาวะเหนือจุดวิกฤต 45

ตารางที่ 2.9 แสดงอัตราสูงต่ำของจุดไหลเท (Pour point) ของน้ำมันดีเซลชนิดต่างๆ ตามที่ กรมธุรกิจพลังงานได้ประกาศกำหนดไว้..... 48

ตารางที่ 2.10 แสดงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลที่ได้จากชนิดของน้ำมันและ แอลกอฮอล์ที่แตกต่างกัน..... 51

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล 77

ตารางที่ 4.2 คุณภาพของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลตามมาตรฐาน 79

ตารางที่ 4.3 ความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญในสารลดจุดเริ่มไหลเชิง พาณิชยทั้ง 5 ชนิด โดยใช้เครื่องฟลูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปคโตรมิเตอร์ (FT-IR)..... 80

ตารางที่ 4.4 ลักษณะทางกายภาพ ร้อยละของการเปลี่ยนแปลง และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ ของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด..... 83

ตารางที่ 4.5 สมบัติของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด..... 85

ตารางที่ 4.6 ค่าจุดหมอก (CP) ค่าจุดไหลเท (PP) และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก (Crystallization temperature) โดยใช้เทคนิค DSC ของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด..... 85

ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติของโทลูอีน (Toluene) น้ำมันก๊าด (Kerosene) และไซลีน (Xylene).....	87
ตารางที่ 4.8 คุณสมบัติสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด.....	94
ตารางที่ 4.9 ค่าจุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกโดยใช้เทคนิค DSC ของพาล์มไบโอดีเซลผสมด้วยสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ ทั้ง 2 ชนิด ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm.....	97
ตารางที่ 4.10 ค่าจุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก โดยใช้เทคนิค DSC ของพาล์มไบโอดีเซลผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ ทั้ง 5 ชนิด ที่ความเข้มข้น 50,000 ppm.....	104
ตารางที่ 4.11 คุณสมบัติเอทิลีนไวนิลอะซิเตทโคพอลิเมอร์ (Ethylene vinyl acetate copolymer).....	109
ตารางที่ 4.12 ค่าจุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก โดยใช้เทคนิค DSC ของพาล์มไบโอดีเซล ผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ ทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm.....	119
ตารางที่ 4.13 ค่าจุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก โดยใช้เทคนิค DSC ของพาล์มไบโอดีเซล ผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm.....	128
ตารางที่ 4.14 อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก (Crystallization temperature) โดยใช้เทคนิค DSC ของพาล์มไบโอดีเซลและพาล์มไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ.....	136
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบค่าจุดหมอก (Cloud point, CP) และค่าจุดไหลเท (Pour point, PP)ของพาล์มไบโอดีเซล (B100) และพาล์มไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งประเภทต่างๆ.....	159
ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C) และค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40°C) ของพาล์มไบโอดีเซล (B100) และพาล์มไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งประเภทต่างๆ.....	165
ตารางที่ ค.3 จุดวาบไฟ (Flash Point) และค่าความเป็นกรด (Acid value) ของพาล์มไบโอดีเซล (B100) และพาล์มไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งประเภทต่างๆ.....	171

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

จากสถานการณ์ในปัจจุบันจะพบว่าภาพรวมการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของประเทศไทยปรับตัวเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว พบว่าในปี พ.ศ. 2557 มีปริมาณการจำหน่ายเฉลี่ย 56.34 ล้านลิตรต่อวัน ซึ่งเป็นปริมาณการใช้สูงสุดของปริมาณการใช้น้ำมันภายในประเทศทั้งหมด (www.doeb.go.th) ไบโอดีเซลจึงถือเป็นเชื้อเพลิงทดแทนที่มีบทบาทสำคัญในการนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงประเภทน้ำมันดีเซลเนื่องจากสามารถผลิตได้จากธรรมชาติ และมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ประกอบกับทางภาครัฐโดยกระทรวงพลังงานได้กำหนดนโยบายเพื่อสร้างความมั่นคงและเสถียรภาพทางด้านพลังงาน อีกทั้งช่วยลดการสูญเสียเงินตราออกนอกประเทศ และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร เพื่อเป็นการพัฒนาศักยภาพทางด้านพลังงานอย่างยั่งยืน จึงมีการส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนประเภทไบโอดีเซล โดยมีกำหนดให้ปี พ.ศ. 2558 มีการใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมในน้ำมันดีเซล 6.5 – 7 โดยปริมาตร

ไบโอดีเซล คือเชื้อเพลิงทดแทนประเภทดีเซลจากธรรมชาติ โดยสามารถผลิตได้จากน้ำมันพืช ไขมันสัตว์ และน้ำมันพืชที่ใช้แล้วผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) โดยทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ อาจจะมีหรือไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาก็ได้ ผลผลิตที่ได้คือสารประกอบเอสเทอร์และกลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้

สำหรับประเทศไทยมีพืชน้ำมันที่สามารถใช้ในการผลิตไบโอดีเซลได้หลากหลายชนิด เช่น น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันงา น้ำมันดอกทานตะวัน น้ำมันละหุ่ง น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันมะพร้าว สาหร่าย และสบู่ดำ โดยปาล์มน้ำมันจะเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้สำหรับการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย เนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตต่ำ ให้ผลผลิตต่อไร่สูง และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ตลอดทั้งปี ปาล์มน้ำมันจะประกอบด้วยกรดปาล์มมิติก (Palmitic acid, C16:0) และกรดโอเลอิก (Oleic acid, C18:1) ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังประกอบด้วยกรดลิโนเลอิก (Linoleic acid, C18:2) ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และกรดสเตียริก (Stearic acid, C18:0) ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากปาล์มน้ำมันมีปริมาณกรดปาล์มมิติก ซึ่งเป็นกรดไขมันอิ่มตัว ดังนั้นทำให้เป็นน้ำมันที่ค่อนข้างอิมตัว

สำหรับข้อดีของไบโอดีเซลคือสามารถนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่ต้องทำการปรับแต่งเครื่องยนต์ เป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้การใช้ไบโอดีเซลยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ มีค่าซีเทนที่สูง และ

จุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีความปลอดภัยในการใช้งานและการขนส่ง สำหรับข้อดีของไบโอดีเซลในทางเศรษฐศาสตร์คือสามารถช่วยเพิ่มราคาพืชผลทางการเกษตรภายในประเทศ และลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศได้ ส่วนข้อด้อยของไบโอดีเซล คือให้ค่าพลังงานความร้อนที่ต่ำและมีการปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนสูง สำหรับปัญหาที่สำคัญมากประการหนึ่งของไบโอดีเซล คือสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำไม่ดี โดยเฉพาะไบโอดีเซลที่ผลิตโดยใช้ปาล์มน้ำมันเป็นวัตถุดิบ จะมีจุดหมอกและจุดไหลเทที่สูงกว่าไบโอดีเซลที่ผลิตจากวัตถุดิบชนิดอื่นๆ เนื่องจากไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มน้ำมันจะมีกรดไขมันอิสระชนิดอิ่มตัวอยู่มาก จึงเกิดการแข็งตัวของไขมันที่อุณหภูมิต่ำได้ง่าย เป็นสาเหตุให้เกิดการอุดตันของท่อและไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงได้ ซึ่งนำไปสู่การขาดเชื้อเพลิงและหลายปัญหาในระหว่างการติดเครื่องยนต์ ดังนั้นสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจึงเป็นสมบัติสำคัญสำหรับการพิจารณาเพื่อนำไบโอดีเซลไปใช้งาน

เกณฑ์สำหรับประเมินสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซล จะพิจารณาจาก 4 ปัจจัย คือจุดหมอก (Cloud point, CP) จุดไหลเท (Pour point, PP) จุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (Cold filter plugging point, CEPP) และการทดสอบการไหลที่อุณหภูมิต่ำ (Low-temperature flow test, LTFT) โดยทั่วไปแล้วไบโอดีเซลจะมีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำด้อยกว่าน้ำมันดีเซล โดยจุดหลอมเหลวของเมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์จะขึ้นอยู่กับความยาวของสายโซ่ และระดับความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันที่นำมาเป็นวัตถุดิบ สารประกอบอิ่มตัวที่มีสายโซ่ยาวจะแสดงพฤติกรรมที่อุณหภูมิต่ำที่ไม่ดี ดังนั้นไบโอดีเซลบริสุทธิ์ที่ได้มาจากสารประกอบที่มีความอิ่มตัวสูง เช่น เมทิลเอสเทอร์ของปาล์ม น้ำมันหรือไขมันสัตว์ จะมีปัญหาได้เมื่อนำไปใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ หรือในฤดูหนาวโดยเฉพาะพื้นที่ทางภาคเหนือของประเทศไทย

วิธีการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลสามารถทำได้หลากหลายวิธีคือการผสมน้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซล การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันกับแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่ยาวหรือมีสายโซ่กิ่ง การตกผลึกสารที่มีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำไม่ดีออกไปก่อน การเติมสารเติมแต่งทางเคมีที่ช่วยในการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ และการพัฒนาสารที่ช่วยปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำหรือสารลดจุดเริ่มไหลสำหรับใช้น้ำมันไบโอดีเซล

ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล โดยทำการศึกษาผลของตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvents) สารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ (Glycol ether) สารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ (Commercial pour point depressants, PPDs) สารละลายพอลิเมอร์ โดยจะเป็นการเตรียมสารพอลิเมอร์ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ และสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ โดยสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์จะทำการสังเคราะห์แอลคิลเอสเทอร์จากน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันมะพร้าว ด้วยแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่กิ่งผ่านปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันเพื่อใช้เป็น

สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ในน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล รวมทั้งศึกษาผลการทำงานร่วมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์และสารลดจุดเริ่มสังเคราะห์เพื่อใช้ทดแทนหรือใช้ร่วมกัน ซึ่งจะช่วยลดปริมาณการใช้สารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ที่มีราคาสูง และต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 สังเคราะห์แอลคิลเอสเทอร์จากน้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันมะพร้าวด้วยแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่กิ่ง เพื่อใช้เป็นสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ในน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

1.2.2 ทดสอบสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ สารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ สารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ สารละลายพอลิเมอร์ สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ และสารลดจุดเริ่มไหลผสมระหว่างสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์กับสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์

1.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาทฤษฎีและค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.3.2 ทาสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ ตัวทำละลายอินทรีย์ สารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ สารพอลิเมอร์ และน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

1.3.2.1 วิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography)

1.3.2.2 วิเคราะห์อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC)

1.3.2.3 ตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM

การทดสอบ	วิธีการทดสอบ
1.ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C)	ASTM D 4052
2.ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40°C)	ASTM D 445
3.จุดวาบไฟ (Flash Point)	ASTM D 93
4.ค่าความเป็นกรด (Acid value)	ASTM D 664
5.จุดหมอก (Cloud Point)	ASTM D 2500
6.จุดไหลเท (Pour Point)	ASTM D 97

1.3.3 ศึกษาผลของตัวทำละลายอินทรีย์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ตัวทำละลายอินทรีย์ 3 ชนิด คือ โทลูอิน น้ำมันก๊าด และไซลีน โดยทำการผสมกับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่ความเข้มข้นต่างๆ กันคือ 1,000, 5,000, 10,000, 50,000, 100,000 และ 200,000 ppm เพื่อทำการทดสอบสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ และตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM ดังรายการทดสอบในหัวข้อ 1.3.2.3

1.3.4 ศึกษาผลของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล สารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ 2 ชนิด คือ ไดเอทิลีนไกลคอลไอโซโพรพิลเมทิลอีเธอร์ (Diethylene glycol isopropyl methyl ether) และไดเอทิลีนไกลคอลโมโนบิวทิลอีเธอร์อะซิเตท (Diethylene glycol monobutyl ether acetate) โดยทำการผสมกับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน คือ 1,000, 5,000, 10,000, 50,000, 100,000 และ 200,000 ppm เพื่อทำการทดสอบสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ และตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM ดังรายการทดสอบในหัวข้อ 1.3.2.3

1.3.5 ศึกษาผลของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล สารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ 5 ชนิด คือ Viscoplex 1-330, PPDs, 2P-23, Additive A และ Keroflux 6312 โดยทำการผสมกับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่ความเข้มข้นต่างๆ กันคือ 1,000, 5,000, 10,000 และ 50,000 ppm เพื่อทำการทดสอบสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ และตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM ดังรายการทดสอบในหัวข้อ 1.3.2.3

1.3.6 ศึกษาผลของสารละลายพอลิเมอร์ โดยทำการเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ในตัวทำละลายอินทรีย์ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน พอลิเมอร์ที่เลือกใช้คือ เอทิลีนไวนิลอะซิเตทโคพอลิเมอร์ (Ethylene vinyl acetate copolymer, EVA) และตัวทำละลายอินทรีย์คือ โทลูอิน โดยทำการผสมกับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่ความเข้มข้นต่างๆ กันคือ 1,000, 5,000, 10,000, 50,000, 100,000 และ 200,000 ppm เพื่อทำการทดสอบสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ และตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM ดังรายการทดสอบในหัวข้อ 1.3.2.3

1.3.7 สังเคราะห์แอลคิลเอสเทอร์จากน้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันมะพร้าว โดยผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่กิ่ง คือไอโซโพรพานอล และ 2-บิวทานอล อัตราส่วนของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์เป็น 1:20 โดยโมล และกรดซัลฟิวริก 2% ของน้ำหนักน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ตั้งรีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง และคำนวณหาร้อยละของการเปลี่ยนแปลง (%conversion) และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ (%product yield)

1.3.8 วิเคราะห์โครงสร้าง และพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrometry (FT-IR) และวิเคราะห์โครงสร้างและพิสูจน์เอกลักษณ์

สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ด้วยเทคนิค Nuclear Magnetic Resonance ($^1\text{H-NMR}$) เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีและศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารลดจุดเริ่มไหลทั้งสองประเภท

1.3.9 ศึกษาผลของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล โดยทำการผสมกับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน คือ 1,000, 5,000, 10,000, 50,000, 100,000 และ 200,000 ppm เพื่อทำการทดสอบสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ และตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM ดังรายการทดสอบในหัวข้อ 1.3.2.3

1.3.10 ศึกษาผลการทำงานร่วมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์และสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล โดยเลือกสารลดจุดเริ่มไหลที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำที่ดีที่สุดของทั้ง 2 ประเภท มาทำการผสมในอัตราส่วน 1:1 แล้วนำมาผสมกับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน คือ 1,000, 5,000, 10,000, 50,000, 100,000 และ 200,000 ppm เพื่อทำการทดสอบสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ และตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM ดังรายการทดสอบในหัวข้อ 1.3.2.3

1.3.11 วิเคราะห์ข้อมูล สรุปผล และเขียนวิทยานิพนธ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้แอลคิลเอสเทอร์จากน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันมะพร้าว เพื่อใช้ทดแทนหรือใช้ร่วมกับสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ สำหรับปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมันดีเซล (Diesel fuel) [1]

น้ำมันดีเซล (Diesel fuel) เป็นผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ โดยมีช่วงจุดเดือดระหว่าง 180-370 องศาเซลเซียส ซึ่งมีช่วงจุดเดือดและความข้นใสสูงกว่าน้ำมันเบนซินและน้ำมันก๊าด เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์ที่มีมูลฐานการทำงานแตกต่างจากเครื่องยนต์เบนซิน การจุดระเบิดของเครื่องยนต์ดีเซลใช้ความร้อนที่เกิดจากการอัดอากาศภายในกระบอกสูบ แล้วฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปเพื่อทำการเผาไหม้ แต่การจุดระเบิดของเครื่องยนต์เบนซินจะเป็นการจุดระเบิดจากหัวเทียน เครื่องยนต์ดีเซลในสมัยแรกๆ จะมีขนาดใหญ่มาก เพราะต้องการให้มีความทนต่อความร้อนและแรงอัดสูงๆ ได้ เช่น ใช้เป็นเครื่องต้นกำลังในการผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม และใช้ในเรือ ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาสร้างเครื่องยนต์ให้มีขนาดเล็กลง แต่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่น ใช้เป็นเครื่องต้นกำลังของเครื่องมือและอุปกรณ์หลายชนิดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เช่น รถไฟ รถบรรทุก รถแทรกเตอร์ เรือประมง เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันดีเซลให้เหมาะสมกับเครื่องยนต์ที่ใช้งานนั้นๆ

2.1.1 ชนิดของน้ำมันดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซลสามารถนำไปใช้งานได้หลายด้าน จึงมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันดีเซลแต่ละชนิดให้เหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งสามารถแบ่งชนิดของน้ำมันดีเซลไว้หลายชนิด สำหรับประเทศไทยได้แบ่งประเภทน้ำมันดีเซลออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.1.1.1 น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบหมุนเร็วที่ใช้กับยานยนต์ (Automotive Diesel Oil หรือ Gas Oil)

น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบหมุนเร็ว ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลทั้งรถ เรือและเครื่องจักรกลทุกชนิดที่มีรอบหมุนเร็วสูงกว่า 1,000 รอบต่อนาที เช่น รถยนต์ รถบรรทุก เรือประมง เรือโดยสาร รถแทรกเตอร์ และเครื่องจักรกลหนัก เครื่องยนต์ประเภทนี้จำเป็นต้องใช้น้ำมันที่มีค่าซีเทนสูงและมีการระเหยเร็ว น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทนี้จะเรียกว่า น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (High Speed Diesel Oil, HSD) บางครั้งเรียกว่า โซล่า หรือ Gas oil แต่ถ้าใช้กับเรือเดินสมุทรมักเรียกว่า Marine Gas Oil

2.1.1.2 น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบหมุนปานกลางหรือหมุนช้า (Industrial Diesel Oil)

น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบหมุนปานกลางหรือหมุนช้า จะใช้กับเครื่องยนต์ซึ่งมีรอบการทำงานต่ำ ประมาณ 300–1,000 รอบต่อนาที เช่น เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ที่ใช้กับเรือประมง เรือเดินสมุทร และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ตามโรงงานต่างๆ เครื่องยนต์ประเภทนี้ไม่ต้องการน้ำมันดีเซลที่มีค่าซีเทนสูงมากนัก และการระเหยอาจช้ากว่าได้ น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทนี้เรียกว่า น้ำมันดีเซลหมุนช้า (Low Speed Diesel Oil, LSD) ซึ่งในตลาดเป็นที่รู้จักกันว่าน้ำมันซีโล่ ถ้าใช้กับเรือเดินสมุทรมักเรียกว่า Marine Diesel Oil เป็นน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (Distillate Fuel) และน้ำมันเตา (Fuel Oil, FO หรือ Heavy Fuel Oil, HFO)

2.1.2 คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล

คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันดีเซล มีดังนี้ คือ

2.1.2.1 จำนวนซีเทน (Cetane number) เป็นค่าที่ใช้วัดคุณภาพของน้ำมันดีเซลในด้านคุณสมบัติในการจุดระเบิด (Ignition quality) จำนวนซีเทนต้องมีค่าสูงพอกับความเร็วยรอบของเครื่องยนต์ ซึ่งจะทำให้การติดเครื่องยนต์ง่าย ไม่เกิดการน็อกในเครื่องยนต์ และเป็นการประหยัดการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงด้วย การหาค่าจำนวนซีเทน สามารถทดสอบได้ในห้องปฏิบัติการ โดยการใช้ น้ำมันเดินเครื่องยนต์ดีเซลมาตรฐานสูงเดี่ยวที่สามารถปรับอัตราส่วนการอัดได้ โดยนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับน้ำมันมาตรฐานที่มีส่วนผสมของ Normal cetane ($C_{16}H_{34}$) กับ Alpha Methyl Naphthalene ($C_{11}H_{10}$) เช่น น้ำมันดีเซลที่มีค่าจำนวนซีเทนเท่ากับ 60 ก็จะมีคุณสมบัติการจุดระเบิดหรือการป้องกันการน็อกได้ดีเท่ากับน้ำมันมาตรฐานที่มีส่วนผสมของ Normal cetane 60 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร กับ Alpha Methyl Naphthalene 40 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร

2.1.2.2 ดัชนีซีเทน (Calculated Cetane Index) เนื่องจากการหาค่าซีเทนโดยวิธีการเดินเครื่องยนต์มาตรฐาน (Engine Test) จะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย เวลา และการลงทุนมาก จึงมีวิธีง่ายกว่าและค่าที่ได้ใกล้เคียงกับความจริง ซึ่งสามารถหาได้จากวิธีการคำนวณ

2.1.2.3. การติดไฟ (Ignition quality) คุณสมบัติการติดไฟของน้ำมันดีเซลจะแสดงถึงความสามารถในการติดเครื่องยนต์ได้เร็วเมื่อเครื่องยนต์มีอุณหภูมิต่ำ การป้องกันการน็อกในเครื่องยนต์ระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในกระบอกสูบ การเผาไหม้อย่างรวดเร็ว และประสิทธิภาพการเผาไหม้สูง คุณสมบัติต่างๆเหล่านี้จะแสดงออกมาเป็นค่าจำนวนซีเทน (Cetane number)

2.1.2.4 ความสะอาด (Cleanliness) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญ น้ำมันดีเซลจะต้องมีความสะอาดทั้งก่อนและหลังการเผาไหม้ เช่น จะต้องมิตะกอน น้ำ กากถ่าน หรือเขม่ามันน้อยที่สุดที่จะทำได้ สำหรับน้ำมันดีเซล เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลจะต้องใช้ปั๊มและหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในการเผาไหม้

2.1.2.5 การกระจายเป็นฝอย (Fluidity-atomization) คุณสมบัติข้อนี้อยู่ที่ความหนืดหรือความข้นใสของน้ำมันดีเซล ความหนืดที่พอเหมาะจะทำให้น้ำมันกระจายเป็นฝอยได้ดี และความหนืดของน้ำมันดีเซลจะมีผลต่อระบบปั๊มของน้ำมันเชื้อเพลิงด้วย เพราะน้ำมันจะทำหน้าที่หล่อลื่นลูกสูบปั๊ม (plunger)

2.1.2.6 การระเหยตัว (Volatility) โดยทั่วไปการวัดอัตราการระเหยจะวัดค่าอุณหภูมิที่น้ำมันระเหยเป็นไอแล้วกลั่นตัวกลับเป็นของเหลว ความสามารถในการระเหยตัวของน้ำมันจะมีผลต่อจุดเดือด (Boiling point) จุดวาบไฟ (Flash point) และจุดติดไฟ (Fire point) ของน้ำมันดีเซลด้วย โดยช่วงจุดเดือดของน้ำมันดีเซลทั่วไปมีค่าประมาณ 138–385 องศาเซลเซียส

2.1.2.7 ปริมาณกำมะถัน (Sulphur content) กำมะถันในน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อเกิดการเผาไหม้จะกลายเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO₃) แล้วทำปฏิกิริยากับน้ำหรือความชื้นกลายเป็นกรดกำมะถัน ซึ่งจะสามารถกัดกร่อนชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์ นอกจากนั้นจะทำให้น้ำมันหล่อลื่นเป็นตะกอนชั้นเหนียว (Sludge) ทำหน้าที่หล่อลื่นได้ไม่ดี และทำให้เครื่องยนต์สกปรกได้

2.1.2.8 ความหนืด (Viscosity) ความหนืดของน้ำมันจะมีอิทธิพลต่อรูปร่างของละอองน้ำมันที่ฉีดออกมาจากหัวฉีด กรณีที่น้ำมันมีความหนืดสูงจะทำให้การฉีดเป็นละอองฝอยไม่ดี ละอองน้ำมันมีขนาดใหญ่ น้ำมันจะพุ่งไหลเป็นสาย ทำให้น้ำมันเกิดการรวมตัวกับอากาศไม่ดี ทำให้การสันดาปเกิดไม่สมบูรณ์ แต่ในกรณีที่น้ำมันเชื้อเพลิงมีความหนืดต่ำเกินไปจะทำให้ น้ำมันที่พุ่งออกมาเป็นละอองฝอยละเอียดมาก จึงพุ่งออกไปได้ไม่ไกลเท่าที่ควร การสันดาปก็จะเกิดขึ้นได้ไม่ดี เช่นเดียวกัน ส่งผลให้กำลังและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ก็จะลดต่ำลงเช่นเดียวกัน

2.1.2.9 ความหนาแน่น (Density) ความหนาแน่นของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ควรอยู่ในช่วง 0.81–0.87 g/cm³ โดยน้ำมันที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า 0.81 g/cm³ อาจจะทำให้เครื่องยนต์มีกำลังลดต่ำลง ในขณะที่น้ำมันที่มีความหนาแน่นสูงกว่า 0.87 g/cm³ อาจจะทำให้เกิดปัญหาควันดำได้

2.1.2.10 จุดวาบไฟ (Flash point) จุดวาบไฟถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อความปลอดภัยในการเก็บรักษาและการขนส่ง นอกจากนี้ยังประโยชน์อีกข้อหนึ่งของจุดวาบไฟคือ ใช้ในการตรวจสอบกรณีที่มีน้ำมันชนิดอื่นเจือปน

2.1.2.11 กากถ่าน (Ash) ปริมาณกากถ่าน หากมีมากจะมีแนวโน้มให้เกิดเขม่าสะสมในห้องเผาไหม้ได้มาก และไอเสียมีควันมากด้วย

โดยทั่วไปน้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลนั้น ต้องใช้เวลาเล็กน้อยในการระเหยและผสมกับอากาศในห้องเผาไหม้ก่อนเกิดการลุกไหม้ได้ด้วยตัวเอง ช่วงเวลานี้เรียกว่า Ignition delay ทำให้ในช่วงนี้มีการสะสมของน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ เมื่อเกิดการลุกไหม้จึงมีการเผาไหม้อย่างรุนแรง ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงต้องหาวิธีลดช่วง Ignition delay ให้เหลือน้อยที่สุด ซึ่งกระทำได้โดยการเลือกความดันของหัวฉีดน้ำมันและการออกแบบห้องเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ที่เหมาะสม และสิ่งที่สำคัญที่สุดคือ คุณภาพของน้ำมันดีเซลที่นำมาใช้กับเครื่องยนต์

2.2 ไบโอดีเซล (Biodiesel) [2]

ไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียนจากวัสดุทางชีวภาพ สำหรับภาษาอังกฤษเรียกว่า “Bio” หรือ “ไบโอ” จึงได้ชื่อว่า “ไบโอดีเซล” สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบที่สามารถทดแทนและหมุนเวียนได้จากธรรมชาติ เช่น น้ำมันพืช หรือไขมันจากสัตว์ โดยผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างไขมันให้เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน ซึ่งผลิตจากกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) และมีสมบัติที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลถือเป็นพลังงานทางเลือกที่มีบทบาทสำคัญที่ถูกคิดค้นเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทดีเซล สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรงหรือนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลที่สัดส่วนต่างๆ โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องยนต์

ไบโอดีเซลที่ผลิตได้จะต้องมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดมาตรฐานคุณสมบัติของไบโอดีเซล เพื่อให้ได้รับการยอมรับจากทั้งภาคอุตสาหกรรมผู้ผลิตรถยนต์และผู้ค้าน้ำมัน โดยสหรัฐอเมริกาได้กำหนดมาตรฐานคุณสมบัติของไบโอดีเซล คือ ASTM D 6751 สหภาพยุโรปได้กำหนดมาตรฐานคุณสมบัติของไบโอดีเซล คือ EN 14214 และสำหรับในประเทศไทย คุณสมบัติของไบโอดีเซลได้ถูกกำหนดไว้ใน *ประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน เรื่อง “กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ.2552”*

ไบโอดีเซล ถูกคิดค้นและนำมาทดลองใช้ในเครื่องยนต์เป็นผลสำเร็จครั้งแรกเมื่อวันที่ 10 สิงหาคม ค.ศ.1893 โดย "รูดอล์ฟ ดีเซล" (Rudolf C. Diesel : ค.ศ. 1858 - 1913) ซึ่งเป็นวิศวกร ชาวเยอรมัน ผู้ประดิษฐ์เครื่องยนต์ที่มีชื่อว่า "ดีเซล" เป็นผลสำเร็จในปี ค.ศ.1893 และจดสิทธิบัตร ในปีถัดมา โดยการทดลองได้นำเครื่องยนต์ลูกสูบเดี่ยวที่ทำจากเหล็กยาว 3 เมตร ซึ่งมีล้อเฟืองติดอยู่ที่ฐาน มาทดลองใช้กับน้ำมันไบโอดีเซล ที่ผลิตจากจากเมล็ดถั่วเหลืองได้เป็นผลสำเร็จเป็นครั้งแรก หลังจาก

นั้นได้นำไบโอดีเซลที่ผลิตมาจากน้ำมันถั่วเหลืองมาทดลองกับเครื่องยนต์อีกครั้งในงานเวิร์ลด์ แพร่ ที่กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส ในปี ค.ศ. 1898

สำหรับประเทศไทยไบโอดีเซลเกิดขึ้นจากแนวพระราชดำริในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เมื่อ 20 ปีมาแล้ว พระองค์ได้ทรงเล็งเห็นว่าประเทศไทยจะประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำมันในอนาคต จึงได้ทรงดำริให้โครงการส่วนพระองค์จิตรลดาฯ ร่วมดำเนินงานวิจัยกับหน่วยงานต่างๆ โดยทรงให้มีพระราชดำริให้นำพืชผลการเกษตรมาเป็นวัตถุดิบสำหรับมาผลิตเป็นพลังงานทดแทน เพื่อให้สามารถพึ่งพาตัวเองได้ในด้านพลังงาน รวมทั้งเพื่อแก้ปัญหาหาค่าพืชผลทางการเกษตรตกต่ำที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต โครงการไบโอดีเซลจึงได้ริเริ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2528 โดยทรงมีพระราชดำริให้สร้างโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มขนาดเล็กขึ้นครั้งแรกที่สหกรณ์นิคมอ่าวลึก จ.กระบี่ ปัจจุบันพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวได้ทรงจดสิทธิบัตรการใช้ น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ผสมกับน้ำมันดีเซล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลกับกรมทรัพย์สินทางปัญญาไว้เรียบร้อยแล้ว

2.2.1 วัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล [3-6]

น้ำมันพืชและไขมันสัตว์ทุกชนิดสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซลได้ แต่การเลือกน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ชนิดใดมาเป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตไบโอดีเซล จะต้องพิจารณาถึงปริมาณและองค์ประกอบของน้ำมันในพืชและไขมันสัตว์ชนิดนั้นๆ รวมไปถึงราคาและความเหมาะสมของปริมาณการเพาะปลูกพืชน้ำมันในพื้นที่นั้นๆ ด้วย เช่น ปาล์มน้ำมันและมะพร้าวเป็นพืชน้ำมันที่มีการปลูกมากในประเทศไทย ปาล์มน้ำมันปลูกมากในประเทศมาเลเซีย ถั่วเหลืองปลูกมากในประเทศสหรัฐอเมริกา เมล็ดเรพ และทานตะวันปลูกมากในกลุ่มประเทศยุโรป เป็นต้น

สำหรับประเทศไทยพืชน้ำมันที่ปลูกมากที่สุด คือ ปาล์มน้ำมันและมะพร้าว จึงถือเป็นวัตถุดิบหลักสำหรับนำมาผลิตไบโอดีเซล นอกจากพืชน้ำมันที่เกษตรกรทำการเพาะปลูกเชิงพาณิชย์อย่างเป็นทางการแล้ว ยังมีแหล่งพืชน้ำมันที่น่าสนใจ เช่น สนุ่นดำ ซึ่งไม่ใช่พืชน้ำมันที่สามารถรับประทานได้ จึงเหมาะที่จะใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซลได้เช่นกัน นอกจากนี้ น้ำมันพืชและไขมันจากสัตว์ที่ใช้แล้ว ก็สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลได้เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 2.1 แสดงวัตถุดิบหลักสำหรับการผลิตไบโอดีเซลในแต่ละประเทศ [3]

ประเทศ	วัตถุดิบที่ใช้
สหรัฐอเมริกา	ถั่วเหลือง, น้ำมันที่ใช้แล้ว, ถั่วลิสง
แคนาดา	เมล็ดเรพ, ไขมันสัตว์, ถั่วเหลือง, มัสตาร์ด, เมล็ดลินิน
เม็กซิโก	ไขมันสัตว์, น้ำมันที่ใช้แล้ว
เยอรมนี	เมล็ดเรพ
อิตาลี	เมล็ดเรพ, น้ำมันดอกทานตะวัน
ฝรั่งเศส	เมล็ดเรพ, น้ำมันดอกทานตะวัน
สเปน	น้ำมันเมล็ดฝ้าย, น้ำมันดอกทานตะวัน
กรีซ	น้ำมันเมล็ดฝ้าย
สหราชอาณาจักร	เมล็ดเรพ, น้ำมันที่ใช้แล้ว
สวีเดน	เมล็ดเรพ
ไอร์แลนด์	น้ำมันที่ใช้แล้ว, ไขมันสัตว์
อินเดีย	สบู่ดำ, ถั่วเหลือง, เมล็ดเรพ, น้ำมันดอกทานตะวัน, ถั่วลิสง
มาเลเซีย	ปาล์มน้ำมัน
อินโดนีเซีย	ปาล์มน้ำมัน, สบู่ดำ, มะพร้าว
สิงคโปร์	ปาล์มน้ำมัน
ฟิลิปปินส์	มะพร้าว, สบู่ดำ
ไทย	ปาล์มน้ำมัน, สบู่ดำ, มะพร้าว
จีน	สบู่ดำ, น้ำมันที่ใช้แล้ว, เมล็ดเรพ
บราซิล	ถั่วเหลือง, ปาล์มน้ำมัน, น้ำมันละหุ่ง, น้ำมันเมล็ดฝ้าย
อาร์เจนตินา	ถั่วเหลือง
ญี่ปุ่น	น้ำมันที่ใช้แล้ว
นิวซีแลนด์	น้ำมันที่ใช้แล้ว, ไขมันสัตว์

การเลือกใช้วัตถุดิบชนิดใดจะพิจารณาจากปัจจัย 2 ข้อหลักๆ คือราคาต้นทุนในการผลิตต่ำ และความสามารถในการผลิตสูง สำหรับพืชน้ำมันที่นิยมใช้ในการผลิตไบโอดีเซลคือ ถั่วเหลือง ดอกทานตะวัน ปาล์มน้ำมัน เมล็ดเรพ เป็นต้น [6]

โดยทั่วไปสามารถแบ่งกลุ่มของวัตถุดิบที่ใช้สำหรับการผลิตไบโอดีเซลได้เป็น 5 ประเภทหลักๆ คือ [4]

2.2.1.1 พืชน้ำมันที่สามารถรับประทานได้ (Edible vegetable oil) เช่น เมล็ด
เรพ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันถั่วลิสง (peanut) น้ำมันดอกทานตะวัน ปาล์มน้ำมัน และน้ำมันมะพร้าว

ปาล์มน้ำมัน (Palm oil)

ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชน้ำมันที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพภูมิอากาศแบบเขตร้อนชื้น สามารถเพาะปลูกได้ง่าย ให้ผลผลิตสูง และสามารถเก็บเกี่ยวได้ตลอดทั้งปี จึงส่งผลให้มีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำ พื้นที่การเพาะปลูกปาล์มน้ำมันที่เหมาะสมส่วนใหญ่จะอยู่ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยประเทศที่มีการเพาะปลูกมากที่สุดคือ ประเทศมาเลเซีย อินโดนีเซีย และประเทศไทย ตามลำดับ สำหรับประเทศไทยปาล์มน้ำมันถือเป็นพืชน้ำมันหลักที่ทางภาครัฐได้มีการส่งเสริมให้ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย เนื่องจากเป็นพืชที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงสูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่น โดยปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตน้ำมันต่อไร่สูงกว่าเมล็ดเรพซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซลในประเทศแถบยุโรปถึง 5 เท่า และสูงกว่าถั่วเหลืองที่ใช้กันมากในสหรัฐอเมริกาถึง 10 เท่า

น้ำมันปาล์มจะประกอบด้วยกรดปาล์มมิติก (Palmitic acid, C16:0) และกรดโอเลอิก (Oleic acid, C18:1) เป็นส่วนใหญ่ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ และประกอบด้วยกรดไขมันอื่นๆ เช่น กรดลินโนเลอิก (Linoleic acid, C18:2) ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และกรดสเตียริก (Stearic acid, C18:0) ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันปาล์มประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวเป็นส่วนใหญ่ ส่งผลให้น้ำมันปาล์มดิบ (Crude palm oil, CPO) สามารถเก็บรักษาได้ตามธรรมชาติ เนื่องจากมีสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติ (Tocotrienols) ที่สามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความหนืดที่อุณหภูมิห้องของน้ำมันปาล์มจะมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 10 เท่า ดังนั้นเพื่อลดความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบให้มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลจึงต้องมีการให้ความร้อนอย่างน้อย 92 องศาเซลเซียส โดยการให้ความร้อนแก่น้ำมันปาล์มดิบ นอกจากจะช่วยลดความหนืดแล้วยังส่งผลให้การไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงไหลได้อย่างราบรื่น และป้องกันการอุดตันกรองน้ำมันเชื้อเพลิงโดยไม่มีผลต่อระบบหัวฉีดอีกด้วย

น้ำมันมะพร้าว (Coconut oil)

น้ำมันมะพร้าวเป็นพืชน้ำมันที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง โดยประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกมะพร้าวประมาณ 2 ล้านไร่ มีผลผลิตประมาณ 1.3-1.4 ล้านตันต่อปี สามารถเพาะปลูกได้ทุกภาคของประเทศและสามารถผลิตได้เป็นอันดับ 5 ของโลก นอกจากนี้ยังมีกำลังการผลิตที่ขยายตัวเพิ่มขึ้นในทุกๆปี แต่ผลผลิตของมะพร้าวส่วนใหญ่นำมาใช้เพื่อการบริโภค หากจะนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลทางภาครัฐจะต้องส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกมะพร้าวมากขึ้น

น้ำมันมะพร้าวจะประกอบด้วยกรดลอริก (Lauric oil, C12:0) เป็นส่วนใหญ่ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีความอิ่มตัวสูง มีค่าไอโอดีนอยู่ที่ 7-12 กรัมไอโอดีนต่อ

100 กรัม น้ำมันมะพร้าวจะมีคุณสมบัติพิเศษคือ สามารถผสมกับน้ำมันดีเซลได้ง่าย โดยที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส น้ำมันมะพร้าวจะเป็นผลึกของแข็งสีขาว แต่เมื่อผสมกับน้ำมันดีเซลจะสามารถกลายเป็นของเหลวใสได้ ซึ่งเป็นคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากน้ำมันชนิดอื่นๆ

น้ำมันถั่วเหลือง (Soybean oil)

น้ำมันถั่วเหลือง เป็นพืชน้ำมันที่นิยมใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซลมากที่สุดในสหรัฐอเมริกาและประเทศอิตาลี สำหรับในประเทศไทยเริ่มทำการเพาะปลูกถั่วเหลืองตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526 โดยมีการปลูกมากที่สุดทางภาคเหนือ รองลงมาได้แก่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง แต่เนื่องจากสภาพภูมิอากาศของประเทศไม่เหมาะสม จึงทำให้ได้ผลผลิตต่อไร่ต่ำ สำหรับประเทศไทยน้ำมันถั่วเหลืองจึงไม่มีศักยภาพเพียงพอที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล

ข้อดีของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลืองคือ สามารถลดการแพร่กระจายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากการใช้น้ำมันดีเซลได้ถึง 78 เปอร์เซ็นต์ และยังทำให้การหล่อลื่นของเครื่องยนต์ดีขึ้นด้วย ซึ่งจะเป็นการยืดอายุการใช้งาน และลดค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาเครื่องยนต์ ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลืองจะประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง จึงส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายที่อุณหภูมิสูงขึ้น สำหรับค่าความหนืด และค่าความถ่วงจำเพาะของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันถั่วเหลืองที่ได้จะมีค่าที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

2.2.1.2 พืชน้ำมันที่ไม่สามารถรับประทานได้ (Non-edible vegetable oil)

เช่น สบู่ดำ หยีน้า (Karanja) น้ำมันฝ้าย (cottonseed oil) น้ำมันเมล็ดยางพารา น้ำมันเมล็ดฝ้าย

สบู่ดำ (Jatropha curcas Linn)

สบู่ดำ เป็นพืชน้ำมันอย่างหนึ่งที่ภาครัฐมีนโยบายส่งเสริมให้ปลูกเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซลชุมชน เนื่องจากเป็นพืชที่สามารถเพาะปลูกได้ง่ายและไม่ต้องดูแลมาก ทนต่อสภาพแล้งและน้ำท่วมทำให้ปลูกได้ในพื้นที่ทั่วทุกภาค สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ภายในหนึ่งปี หลังจากการเพาะปลูก และเป็นพืชที่มีอายุยืน อีกทั้งสามารถปลูกได้ในพื้นที่แห้งแล้ง น้ำมันที่บีบได้จากผลสบู่ดำสามารถนำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำสำหรับการเกษตรแทนน้ำมันดีเซลได้โดยไม่ต้องมีการปรับแต่งเครื่องยนต์

สบู่ดำมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Jatropha curcas* Linn. ปริมาณของน้ำมันจากเมล็ด สบู่ดำจะมีประมาณ 30–40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และน้ำมันจากตัวมันเองจะมีค่าประมาณ 45–60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สบู่ดำเป็นพืชน้ำมันทางเลือกที่เหมาะสมอีกชนิดหนึ่งที่ผู้เชี่ยวชาญด้าน เนื่องจากสบู่ดำเป็นพืชรับประทานไม่ได้ซึ่งแตกต่างจากพืชน้ำมันชนิดอื่น จึงทำให้ราคาไม่ผันผวน และไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้บริโภคภายในประเทศ ทำให้ราคาค้นทุนในการผลิตต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปาล์มน้ำมัน

เมล็ดยางพารา (Rubberseed oil)

เมล็ดยางพาราสามารถให้ปริมาณน้ำมันประมาณ 50–60 เปอร์เซ็นต์ และจากเนื้อภายในจะให้ไขมันประมาณ 40–50 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันเมล็ดยางพาราจะประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวคือกรดปาล์มมิติกและกรดสเตียริกประมาณ 10.2 และ 8.7 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวคือกรดโอเลอิก กรดลิโนเลอิก และกรดลิโนเลนิกประมาณ 24.6, 39.6 และ 16.3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

2.2.1.3 น้ำมันที่ใช้แล้ว (waste or recycled oil) คือ น้ำมันที่ใช้แล้วจากการปรุงอาหาร

น้ำมันพืชใช้แล้วเป็นวัตถุดิบอีกประเภทหนึ่งที่มีความสนใจเพิ่มขึ้นเนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่ราคาถูกและสามารถหาได้ง่าย ทางภาครัฐจึงส่งเสริมให้นำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ ซึ่งนอกจากจะเป็นประโยชน์ทางด้านพลังงานแล้ว ยังช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและด้านสาธารณสุข ในปัจจุบันมีการบริโภคน้ำมันพืชสูงกว่า 100 ล้านตันต่อปี สำหรับประเทศไทยมีการบริโภคน้ำมันพืชกว่า 800,000 ตันต่อปี โดยประเมินว่าน่าจะมีน้ำมันพืชใช้แล้วเหลือมากกว่า 100 ล้านลิตรต่อปี ดังนั้นน้ำมันพืชใช้แล้วจึงเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพเพียงพอในการนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลได้ แต่เนื่องจากน้ำมันพืชใช้แล้วจะมีปริมาณน้ำและกรดไขมันอิสระปริมาณมาก การทำให้น้ำระเหยออกไปและการทำให้น้ำมันพืชใช้แล้วมีความเป็นกลาง (drying and neutralization) จึงมีความจำเป็นก่อนที่จะนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาผลิตเป็นไบโอดีเซล

2.2.1.4 ไขมันจากสัตว์ (Animals fats) เช่น ไขมันจากไก่ และผลพลอยได้จากไขมันปลา

ไบโอดีเซลยังสามารถผลิตได้จากไขมันสัตว์แต่ยังมีปริมาณการผลิตที่น้อย ไขมันจากสัตว์ส่วนใหญ่จะมีความหนืดสูงและอยู่ในสถานะของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากไขมันสัตว์จะประกอบด้วยกรดไขมันที่มีความอิ่มตัวสูง ดังนั้นเมทิลเอสเทอร์ของไขมันจากสัตว์ก็จะมีค่าความหนาแน่น ความหนืด และจำนวนซีเทนที่สูงด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าจุลินทรีย์ที่ได้อีกก็จะมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ส่วนคุณสมบัติด้อยอีกข้อหนึ่งคือ สมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำไม่ดี

2.2.1.5 น้ำมันอื่นๆ

สาหร่าย (Algae)

สาหร่ายเป็นพืชอีกชนิดที่ได้รับความสนใจจากทั่วโลกเพื่อนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล ซึ่งสามารถให้ผลผลิตต่อไร่ต่อปีมากกว่าปาล์มน้ำมัน 10–30 เท่า แต่อย่างไรก็ตามต้นทุนในการสกัดน้ำมันจากสาหร่ายยังมีราคาสูงอยู่ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีและการวิจัยต่อไป นอกจากนี้การเพาะเลี้ยงสาหร่ายยังเป็นการช่วยลดสารพิษในแหล่งน้ำและลดก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศได้อีกทางหนึ่งด้วย

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันชนิดต่าง ๆ [4]

น้ำมัน	กรดไขมันอิ่มตัว					กรดไขมันไม่อิ่มตัว			
	<C10:0	C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C16:1	C18:1	C18:2	C18:3
น้ำมันปาล์ม		0.1	1.0	42.8	4.5		40.5	10.2	0.2
น้ำมันมะพร้าว	14	51.0	18.5	7.5	3.0		5.0	1.0	
น้ำมันถั่วเหลือง				13.9	2.1		23.2	56.2	4.3
น้ำมันเมล็ดฝ้าย				28	11		13	58	0
น้ำมันถั่วลิสง				11	2		48	32	1
น้ำมันข้าวโพด				12	2		25	6	Tr
น้ำมันทานตะวัน				6.4	2.9		17.7	72.9	0.0
น้ำมันงา				13.1	3.9		52.8	30.2	
เมล็ดเรพ			0.0	3.5	0.9		64.1	22.3	8.2
สบู่ดำ	0.1		0.1	15.1	7.1	0.9	44.7	31.4	0.2
เมล็ดยางพารา				10.2	8.7		24.6	39.6	16.3
ไขมันวัว			3.1	23.8	12.7	4.7	47.2	2.6	0.8
น้ำมันหมู			1.3	23.5	13.5	2.6	41.7	10.7	0.0
ไขมันไก่			0.50	24.00	5.80	5.80	38.20	23.80	1.90

ตารางที่ 2.3 ปริมาณของน้ำมันและกำลังการผลิตของวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซลแต่ละชนิด [3]

วัตถุดิบ	ปริมาณน้ำมัน (%)	กำลังการผลิต (L/ha/year)
ละหุ่ง	53	1,413
สบู่ดำ	Seed : 35 – 40 Kernel : 50 – 60	1,892
น้ำมันสะเดา	20 – 30	-
ถั่วเหลือง	15 – 20	446
ทานตะวัน	25 – 35	952
เมล็ดเรพ	38 – 46	1,190
ปาล์มน้ำมัน	30 – 60	5,950
น้ำมันถั่วลิสง	45 – 55	1,059
น้ำมันมะกอก	45 – 70	1,212
ข้าวโพด	48	172
มะพร้าว	63 – 65	2,689
เมล็ดฝ้าย	18 – 25	325
น้ำมันรำข้าว	15 – 23	828
น้ำมันงา	-	696
เมล็ดยางพารา	40 – 50	80 – 120
สาหร่าย (low oil content)	30	58,700
สาหร่าย (medium oil content)	50	97,800
สาหร่าย (high oil content)	70	136,900

2.2.2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ [7]

2.2.2.1 ลิพิด (Lipid)

ลิพิดเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไขมันหรือมีลักษณะคล้ายไขมันซึ่งพบในพืชและสัตว์ โดยทั่วไปจะมีสมบัติไม่ละลายน้ำแต่จะละลายได้ดีในตัวทำละลายชนิดไม่มีขั้ว เช่น อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม เบนซีน เฮกเซน และชนิดมีขั้วเล็กน้อย เช่น แอลกอฮอล์ และอะซิโตน เป็นต้น

2.2.2.2 ไขมันและน้ำมัน (Fat and Oil)

ไขมันและน้ำมันเป็นสารในกลุ่มเดียวกันที่เรียกว่าลิพิด (Lipid) โดยทั้งไขมันและน้ำมันเป็นสารที่มีสมบัติใกล้เคียงกันเป็นสารประกอบประเภทเอสเทอร์ โดยไขมันเป็นเอสเทอร์ที่มีสถานะของแข็ง ส่วนน้ำมันเป็นเอสเทอร์ที่มีสถานะของเหลวที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เฮกเซน คลอโรฟอร์ม พบได้ทั้งในสัตว์และพืช

ไขมันมีชื่อทางเคมีว่าไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ซึ่งเป็นสารประกอบที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอล 1 โมเลกุล กับกรดไขมัน 3 โมเลกุล

2.2.2.3 กรดไขมัน (Fatty acid)

กรดไขมัน เป็นสารประกอบอินทรีย์ชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยโซ่คาร์บอนที่เกาะกันเป็นเส้นตรงที่มีจำนวนคาร์บอนแตกต่างกัน กรดไขมันที่มีในธรรมชาติมักมีจำนวนอะตอมคาร์บอนเป็นจำนวนคู่ และมีหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) เป็นหมู่ฟังก์ชัน โดยกรดไขมันมี 2 ประเภท คือ กรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจะมีพันธะคู่ระหว่างคาร์บอน 1 แห่ง หรือ 2 แห่ง ไขมันและน้ำมันจะมีชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่แตกต่างกัน เช่น ไขวัวมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวโมเลกุลยาวจำนวนมากจึงส่งผลให้มีจุดหลอมเหลวสูง ทำให้มีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิปกติ ส่วนน้ำมันมะพร้าวมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวโมเลกุลสั้นจำนวนมาก มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวจำนวนมากน้อยกว่าจึงมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า และอยู่ในสถานะของเหลวที่อุณหภูมิปกติ

น้ำมันพืชและไขมันสัตว์จะมีกรดไขมันชนิดต่างๆ เป็นองค์ประกอบ โดยมีปริมาณของกรดไขมันในโครงสร้างถึงร้อยละ 94-96 ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้สมบัติของน้ำมันแต่ละชนิดมีสมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพแตกต่างกันไปตามสมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ น้ำมันพืชโดยส่วนใหญ่จะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบของกรดไขมันระหว่าง 12-18 อะตอม และมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวแตกต่างกัน ซึ่งสามารถทดสอบด้วยค่าไอโอดีน (Iodine value) น้ำมันพืชที่มีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูงจะมีค่าไอโอดีนต่ำ และเมื่อมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวลดลงหรือมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพิ่มสูงขึ้นค่าไอโอดีนจะสูงขึ้นตามลำดับ

2.2.3 ประเภทของไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลสามารถแบ่งประเภทของน้ำมันที่นำมาใช้งานได้เป็น 3 ประเภท

2.2.3.1 น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์

ไบโอดีเซลประเภทนี้คือ น้ำมันพืชแท้ๆ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันหมู ซึ่งสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยตรงไม่ต้องผสมหรือเติมสารเคมีอื่นๆ หรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของน้ำมัน

น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่นำมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลจะมีปัญหาค่อนข้างมาก เนื่องจากคุณสมบัติของมันต่างกับน้ำมันดีเซลมาก ทำให้เกิดปัญหาในเรื่องการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ เครื่องยนต์สะดุด มีผลต่อลูกสูบและวาล์ว และมีความหนืดสูง ความหนืดสูงจะส่งผลให้อุณหภูมิต่ำลงทำให้เครื่องยนต์สตาร์ทติดยาก แต่มีข้อดีคือ ราคาถูก และสามารถใช้กับเครื่องยนต์รอบต่ำได้

2.2.3.2 ไบโอดีเซลแบบลูกผสม

ไบโอดีเซลประเภทนี้เป็นลูกผสมระหว่างน้ำมันพืช (หรือไขมันสัตว์) กับ น้ำมันก๊าด หรือน้ำมันดีเซลเพื่อให้ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลให้มากที่สุด เช่น โคโคดีเซล (coco-diesel) เป็นการผสมกันระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าด หรือปาล์มดีเซล (palm-diesel) เป็นการผสมระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลชนิดนี้จะลดปัญหาเรื่อง ความหนืดลงไปได้บางส่วน แต่ยังคงประสบปัญหาคือเมื่ออากาศเย็นจะส่งผลให้เกิดปัญหาการอุดตันของ เครื่องยนต์คือ ใส์กรองจะอุดตันเร็วกว่าปกติ คุณสมบัติส่วนใหญ่จะใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เครื่องยนต์ เดินเรียบไม่มีปัญหาเรื่องสะดุดเหมือนไบโอดีเซลประเภทแรก และเครื่องสตาร์ทติดได้ง่ายกว่า (แต่ ควรมีการอุ่นน้ำมันก่อน) เหมาะสำหรับการใช้กับเครื่องยนต์รอบต่ำ หรือเครื่องจักรกลทางการเกษตร

2.2.3.3 ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์

ไบโอดีเซลประเภทนี้ต้องผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่าทรานส์เอส เทอริฟิเคชัน (Transesterification) คือการนำน้ำมันพืชหรือสัตว์ที่มีกรดไขมันชนิดต่างๆ เป็น องค์ประกอบไปทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ได้เป็น สารประกอบเอสเทอร์ โดยจะเรียกชนิดของไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ใน การทำปฏิกิริยา ไบโอดีเซลชนิดเอสเทอร์นี้จะมีคุณสมบัติที่เหมือนกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด ทำให้ไม่มี ปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ สามารถนำมาใช้กับรถยนต์ได้ ข้อดีคือจำนวนซีเทน (cetane number) สูงกว่า น้ำมันดีเซล คือจุดติดไฟได้ง่ายกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้การจุดระเบิดทำได้ดี การสันดาปเกิดสมบูรณ์ เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) น้อย ไม่มีควันดำและก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกสู่สิ่งแวดล้อม ความหนืดคงที่ ข้อเสียคือ ต้นทุนสูงกว่าการผลิตไบโอดีเซลประเภทอื่นๆ เครื่องยนต์ให้กำลังต่ำกว่า น้ำมันดีเซล มีการสร้างแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เพิ่มขึ้น และจะต้องมีการดัดแปลงส่วนประกอบ ภายในเครื่องยนต์ในส่วนที่เป็นยาง (rubber) ซึ่งอาจถูกไบโอดีเซลทำลายได้ แต่สามารถนำมาใช้กับ เครื่องยนต์รอบสูงอย่างรถยนต์ได้ปกติ

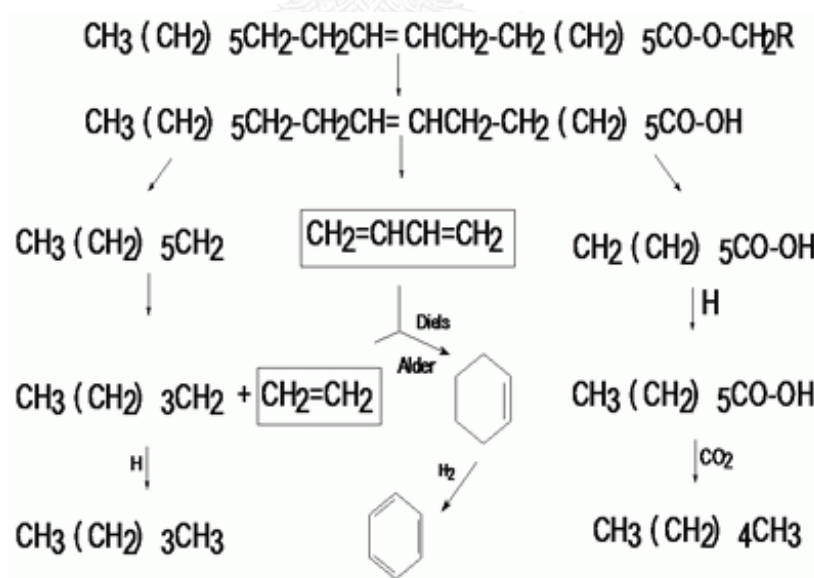
2.2.4 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล [3, 6]

ทั่วโลกได้มีความพยายามในการพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของน้ำมันพืชให้มีสมบัติที่ ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ทั้งนี้จะสังเกตได้ว่าน้ำมันพืชส่วนใหญ่จะมีค่าความหนืดสูง และความสามารถ ในการระเหยต่ำ (Low volatility) และโดยส่วนใหญ่จะประกอบด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว ดังนั้นเพื่อ เป็นการแก้ปัญหาดังกล่าวจึงนำน้ำมันพืชนั้นมาผลิตเป็นไบโอดีเซล โดยไบโอดีเซลสามารถผลิตได้ หลายวิธีดังนี้คือ กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal cracking or pyrolysis) กระบวนการผสม (Dilution) กระบวนการไมโครอิมัลชัน (Micro-emulsion) และกระบวนการ ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification)

2.2.4.1 กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal cracking or pyrolysis)

กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน เป็นกระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนของสารอินทรีย์จากสารหนึ่งชนิดไปเป็นสารประกอบอื่นๆ มากกว่าหนึ่งชนิด โดยใช้ความร้อนหรือใช้ความร้อนร่วมกันกับการทำงานร่วมกันของตัวเร่งปฏิกิริยา ทั้งนี้จะต้องจำกัดปริมาณของอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการประมาณ 450–600 องศาเซลเซียส สารประกอบที่ผ่านกระบวนการนี้จะถูกทำให้มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลง ทำให้ยากที่จะควบคุมให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ เนื่องด้วยความหลากหลายทางปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์ วัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการแตกสลายด้วยความร้อนได้แก่ น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ กรดไขมันธรรมชาติ (Natural fatty acid) และเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

นักวิจัยหลายคนได้มีการศึกษากระบวนการแตกสลายด้วยความร้อนของไตรกลีเซอไรด์ ผลิตแอลเคน แอลคีน alkadines อะโรเมติกและกรดคาร์บอกซิลิก พบว่ากระบวนการแตกสลายด้วยความร้อนจะเกิดขึ้นได้ง่าย มีของเสียเกิดขึ้นน้อยและไม่ก่อให้เกิดมลพิษ นอกจากนี้ยังพบว่ากระบวนการแตกสลายด้วยความร้อนจะทำให้มีค่าซีเทนสูง ความหนืดต่ำ แต่มีข้อเสียคือค่ากำมะถัน ปริมาณเถ้า และกากถ่าน รวมถึงค่าจุดไหลเทอยู่ในเกณฑ์ที่สูง กลไกของกระบวนการแตกสลายทางความร้อน แสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการแตกสลายทางความร้อน (thermal cracking or pyrolysis) [6]

2.2.4.2 กระบวนการผสม (Dilution)

กระบวนการผสมจะการนำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มาใช้โดยตรงคือการนำน้ำมันพืชแท้ๆ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันหมูมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรงโดยไม่ต้องผสมกับสารเคมีอื่นๆ หรือไม่ต้องนำมาเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของน้ำมัน สำหรับกระบวนการผสม (Dilution) จะเป็นการผสมระหว่างน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันดีเซลชนิดอื่นๆ เพื่อให้ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด

ในปี ค.ศ. 1980 ประเทศบราซิลได้มีการทดลองใช้น้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลเพื่อใช้ในเครื่องยนต์ Caterpillar พบว่าการผสมน้ำมันพืช 10 เปอร์เซ็นต์ จะให้ผลการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เป็นปกติโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ที่จะส่งผลเสียให้กับเครื่องยนต์ นอกจากนี้ยังพบว่าการผสมน้ำมันพืช 20 เปอร์เซ็นต์ และน้ำมันดีเซล 80 เปอร์เซ็นต์ ยังสามารถนำมาใช้งานเพื่อเป็นเชื้อเพลิงได้อีกด้วย

2.2.4.3 กระบวนการไมโครอิมัลชัน (Micro-emulsion)

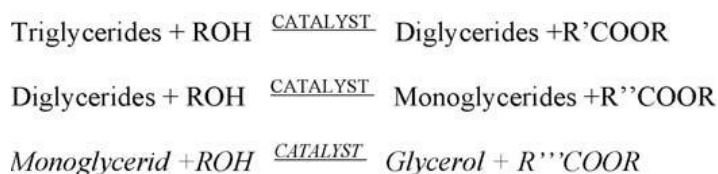
กระบวนการไมโครอิมัลชัน คือคอลลอยด์ที่กระจายตัวในสถานะสมดุลโดยมีอนุภาคในคอลลอยด์ส่วนมากอยู่ในช่วง 1–150 นาโนเมตร เป็นวิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาความหนืดในน้ำมันพืชให้มีความหนืดลดลง โดยใช้ควบคู่กับตัวทำละลาย เช่น เมทานอล เอทานอล บิวทานอล 1-บิวทานอล และเฮกเซนอล ไมโครอิมัลชันที่เกิดจากเมทานอลกับน้ำมันพืชจะได้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ข้อเสียของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตโดยวิธีนี้คือ เมื่อนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์พบว่าการสะสมตัวของคราบ (ซึ่งเป็นสารประกอบคาร์บอน) เกาะรอบๆ หัวฉีดและวาล์วของเครื่องยนต์

2.2.4.4 กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification)

กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เป็นการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดไขมันหรือน้ำมัน (triglyceride) กับแอลกอฮอล์ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ โดยทั่วไปกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะมีสองกระบวนการหลักคือ กระบวนการที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะช่วยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาและร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้

กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ถือเป็นกระบวนการที่ง่ายและมีต้นทุนในการผลิตต่ำ แอลกอฮอล์ที่นิยมใช้คือเมทานอล เนื่องจากเป็นแอลกอฮอล์ข้อได้เปรียบ คือมีราคาถูกและมีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่เหมาะสม เพราะเป็นแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่สั้นที่สุดและเป็นของเหลวที่มีขี้ผึ้ง ซึ่งจะช่วยเพิ่มอัตราในการทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ได้มากที่สุด สำหรับตัวเร่ง

ปฏิกิริยาที่นิยมใช้คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส (Base catalyst) โดยทั่วไปมักจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นต้น



รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (transesterification reaction) [6]

2.2.5 เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลในเชิงพาณิชย์

เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลในเชิงพาณิชย์มีอยู่หลายแบบ ได้แก่ แบบไม่ต่อเนื่อง (Batch technology) แบบต่อเนื่องด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน หรือแบบต่อเนื่องที่ใช้ทั้งปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันและทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันควบคู่กันไป

2.2.5.1 เทคโนโลยีการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch technology)

เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลแบบไม่ต่อเนื่อง โดยการป้อนน้ำมันเข้าเครื่องแบบถังตามด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ละลายในเมทานอล ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้มากที่สุดคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ รองลงมา คือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ภายใต้ภาวะการกวนอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ น้ำมัน ตัวเร่งปฏิกิริยา และแอลกอฮอล์ผสมเข้ากัน และเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจึงหยุดกวนเพื่อให้กลีเซอรอลที่เกิดขึ้น แยกตัวออกจากผลิตภัณฑ์ที่ได้ และลดการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ จากนั้นทำการแยกชั้นของเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรอลออกจากกัน ต่อมาแยกแอลกอฮอล์ออกจากชั้นกลีเซอรอล และชั้นเมทิลเอสเทอร์ และทำเมทิลเอสเทอร์ให้เป็นกลางด้วยกรด ล้างด้วยน้ำอุ่น ตามด้วยสารละลายกรดเจือจางเพื่อกำจัดเมทานอลและเกลือที่เหลืออยู่จากการทำปฏิกิริยา และทำให้แห้ง จากนั้นนำผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์สุดท้ายที่ได้เข้าสู่ถังเก็บ ส่วนกลีเซอรอลจะถูกทำให้เป็นกลางและล้างด้วยน้ำ เทคโนโลยีนี้ต้นทุนในการผลิตต่ำ แต่คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะไม่สม่ำเสมอ และมีกำลังในการผลิตต่ำ

2.2.5.2 เทคโนโลยีการผลิตแบบต่อเนื่องด้วยวิธีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Continuous Transesterification Technology)

เทคโนโลยีการผลิตแบบต่อเนื่องด้วยวิธีทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลโดยการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืชหรือ

ไขมันสัตว์ เพื่อเปลี่ยนให้เป็นโมโนแอลคิลเอสเทอร์ (Mono-alkyl ester) และกลีเซอรอล โดยการทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้โดยทั่วไปคือ ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดหรือเบส โรงงานผลิตไบโอดีเซลในเชิงพาณิชย์ส่วนใหญ่มักใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส เพราะตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสจะเร่งปฏิกิริยาได้เร็วกว่า ใช้ปริมาณเมทานอลน้อยกว่า และใช้ระยะเวลาเร็วกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยจึงมีราคาถูกกว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสที่นิยมใช้คือโซเดียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากราคาถูกกว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แต่กระบวนการนี้จะไม่เหมาะกับวัตถุดิบที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง และเนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาเบสจะทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน (Saponification) กับกรดไขมันอิสระเกิดเป็นสบู่ขึ้น และทำให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (%product yield) ของไบโอดีเซลลดลง เทคโนโลยีนี้จะมีการลงทุนสูงกว่าเทคโนโลยีการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง แต่จะส่งผลให้คุณภาพของไบโอดีเซลที่ได้มีคุณภาพดีกว่า และมีกำลังการผลิตสูงกว่า

2.2.5.3 เทคโนโลยีการผลิตแบบต่อเนื่องที่ใช้ทั้งวิธีเอสเทอร์ฟิเคชันและทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

เทคโนโลยีการผลิตแบบต่อเนื่องที่ใช้ทั้งวิธีเอสเทอร์ฟิเคชันและทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นเทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลแบบ 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน และขั้นตอนที่สองเป็นปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน กระบวนการนี้สามารถใช้ได้กับวัตถุดิบหลายชนิดรวมทั้งน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง เช่น ไขมันสัตว์ และน้ำมันพืชใช้แล้ว เป็นต้น โดยในขั้นแรกเป็นกระบวนการทำเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืชด้วยแอลกอฮอล์ โดยมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันให้เป็นเอสเทอร์และน้ำก่อน เนื่องจากในปฏิกิริยานี้จะมีน้ำเกิดขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์ร่วม กรดจะรวมตัวกับน้ำอยู่ด้านล่างทำให้สูญเสียตัวเร่งปฏิกิริยาและประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาลดลง จึงจำเป็นต้องแยกน้ำออกด้วยวิธีการระเหย การปล่อยให้แยกหรือกระบวนการปั่นเหวี่ยง น้ำที่ถูกแยกออกจะเป็นของผสมของน้ำกับเมทานอล จากนั้นทำเมทิลเอสเทอร์ให้เป็นกลางด้วยเบสและทำให้แห้ง ไตรกลีเซอไรด์และเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากขั้นตอนนี้ผ่านเข้ากระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันในขั้นที่สองโดยจะใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เทคโนโลยีนี้จะได้รับร้อยละของผลิตภัณฑ์ (%product yield) มากกว่าสองประเภทแรก แต่หากวัตถุดิบมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกระบวนการในขั้นต้นแรกจะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นส่งผลให้ต้นทุนการผลิตต่อเนื่องของไบโอดีเซลสูงขึ้นด้วย

2.2.6 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม

2.2.6.1 กระบวนการสกัดน้ำมันจากน้ำมันปาล์ม

การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil, CPO) โดยการนำเอาผลปาล์มที่ผ่านกระบวนการหนึ่งมาทำการสกัด โดยการบีบอัดน้ำมันออกจากผลของน้ำมันปาล์มด้วยเครื่องสกัดได้ผลผลิต 2 ประเภท คือ น้ำมันปาล์มที่ได้จากเนื้อปาล์ม และปาล์มเมล็ดใน น้ำมันปาล์มที่สกัดจากผลน้ำมันปาล์มยังคงเป็นน้ำมันปาล์มดิบที่มีส่วนประกอบของกรดไขมันอิสระ สี กลิ่น และสิ่งเจือปนอื่นๆ ซึ่งไม่เหมาะที่จะใช้เพื่อการบริโภค รวมทั้งใช้ในการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจะประกอบด้วยสารที่ไม่พึงประสงค์ เช่น Phospholipids Lecithin กรดไขมันอิสระ เป็นต้น รวมทั้งคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของน้ำมันปาล์มดิบ เช่น ความชื้น ยางเหนียว ไข กลิ่น สี เป็นต้น จะเป็นปัญหาและอุปสรรคต่อการต่อการผลิตไบโอดีเซลจึงจำเป็นต้องทำให้บริสุทธิ์ก่อน

2.2.6.2 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันจะประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

2.2.6.2.1 กระบวนการปรับสภาพน้ำมันปาล์มดิบ (Pre-treatment) เป็นการสกัดยางเหนียว สิ่งสกปรกและน้ำออกจากน้ำมันปาล์มดิบ

2.2.6.2.2 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification reaction step) โดยการนำน้ำมันพืชบริสุทธิ์มาผสมแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล (Methanol) และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ภายใต้อุณหภูมิสูง ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซล และมีกลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้

2.2.6.2.3 กระบวนการแยกกลีเซอรอล (Separator) ออกจากผลิตภัณฑ์หลังจากตั้งทิ้งไว้ และปล่อยให้เกิดการแยกชั้น ไบโอดีเซลที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าจะแยกอยู่ชั้นบน ส่วนกลีเซอรอลจะอยู่ชั้นล่าง

2.2.6.2.4 กระบวนการทำความสะอาด (Washing) เป็นการนำเอาไบโอดีเซลที่แยกออกมาไปล้างน้ำเพื่อล้างแอลกอฮอล์ ตัวเร่งปฏิกิริยา และสารปนเปื้อนอื่นๆ ที่สามารถละลายน้ำได้ออก

2.2.6.2.5 กระบวนการกำจัดน้ำออกจากไบโอดีเซล (Drying) ทำให้ไบโอดีเซลที่ได้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น

2.2.6.2.6 กระบวนการนำเมทานอลกลับมาใช้ใหม่ (Methanol recovery) เป็นกระบวนการกลั่น เพื่อดึงเมทานอลที่เหลือจากปฏิกิริยากลับมาใช้หมุนเวียนในกระบวนการผลิตซ้ำอีก

2.2.6.2.7 กระบวนการระเหยเป็นไอ (Evaporation unit) เป็นกระบวนการทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ (Technical grade)

2.2.6.3 กระบวนการกลั่นกลีเซอรอล (Glycerol distillation)

กลีเซอรอลซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ยังมีมูลค่าและสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆต่อไปได้ เช่น อุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง เป็นต้น หากต้องการเพิ่มมูลค่าของกลีเซอรอลจะต้องนำมาทำให้บริสุทธิ์ โดยผ่านกระบวนการกลั่น (Distillation unit) เพื่อให้ได้ Pharmaceutical Grade Glycerine ซึ่งจะมีความบริสุทธิ์ของกลีเซอรอลที่ 99.5 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป

2.2.7 สมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของไบโอดีเซล [7]

ไบโอดีเซลเป็นผลผลิตที่ได้จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่ผ่านกระบวนการทางเคมี ทำให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตามเนื่องจากน้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลมีองค์ประกอบและมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน ทำให้ไบโอดีเซลยังคงมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากน้ำมันดีเซลในบางประการ ซึ่งคุณสมบัติบางประการถือเป็นข้อได้เปรียบและคุณสมบัติบางประการก็เป็นข้อเสียเปรียบ ข้อได้เปรียบของไบโอดีเซล เช่น ไบโอดีเซลมีจุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีความปลอดภัยในการขนส่งมากกว่า และจำนวนซีเทน (Cetane number) ที่บอกถึงสมบัติการจุดติดไฟของไบโอดีเซลก็มีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซลด้วย ส่วนข้อเสียเปรียบของไบโอดีเซล เช่น มีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำต่ำกว่าน้ำมันดีเซล และความหนาแน่นสูงกว่าน้ำมันดีเซล เป็นต้น

คุณสมบัติต่างๆ ที่มีผลต่อการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง คือ

2.2.7.1 คุณสมบัติเกี่ยวกับการระเหย (Volatility)

2.2.7.1.1 อุณหภูมิการกลั่น

อุณหภูมิการกลั่น คือการวัดความสามารถในการระเหยของน้ำมันเชื้อเพลิง โดยการกลั่น วิธีการทดสอบคือทำให้เชื้อเพลิงกลายเป็นไอ แล้ววัดบันทึกอุณหภูมิของไอเชื้อเพลิงสำหรับแต่ละเปอร์เซ็นต์ของน้ำมัน สมบัติข้อนี้มีความสำคัญต่อการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล โดยเฉพาะในเครื่องยนต์รอบปานกลางและรอบสูง การใช้เชื้อเพลิงที่ระเหยง่ายเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดลงหรือหยดน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดออกจากหัวฉีดไม่สามารถไปไกลได้เท่าที่ควร โดยทั่วไปช่วงการกลั่นของน้ำมันควรต่ำสุด โดยไม่ทำให้สมบัติด้านอื่นๆ ของน้ำมันเปลี่ยนไป เช่น จุดวาบไฟ การลุกติดไฟ และค่าความร้อน เป็นต้น

2.2.7.1.2 จุดวาบไฟ (Flash point)

จุดวาบไฟ คืออุณหภูมิเมื่อน้ำมันดีเซลได้รับความร้อนแล้วสามารถทำให้เกิดของผสมระหว่างอากาศและไอของน้ำมันเหนือของเหลว แล้วสามารถเกิดการลุกติดไฟได้เมื่อมี

ประกายไฟเพียงเล็กน้อย โดยจุดวาบไฟเป็นค่าที่แสดงถึงความปลอดภัยในการเก็บรักษา ซึ่งมีความสำคัญในด้านความปลอดภัยในการขนส่งและการใช้งานเท่านั้น แต่ไม่มีความสำคัญต่อการเผาไหม้และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์โดยตรง

2.2.7.1.3 ค่าความร้อนขั้นสูง (Higher heating value)

ค่าความร้อนขั้นสูง คือปริมาณความร้อนที่เชื้อเพลิงปลดปล่อยออกมาเมื่อมีการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งค่าความร้อนจะรวมความร้อนจากการควบแน่นไอน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาและความชื้นของเชื้อเพลิงด้วย โดยทั่วไปค่านี้จะนิยามวัดด้วยมาตรฐาน ASTM D 4809 สำหรับน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการขนส่งและตามมาตรฐาน ASTM D 4868

2.2.7.2 คุณสมบัติเกี่ยวกับการไหล (Fluidity)

2.2.7.2.1 ค่าความหนืด (Viscosity)

ค่าความหนืดเป็นค่าแสดงความต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของของไหลซึ่งเกิดจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ดังนั้นน้ำมันที่มีค่าความหนืดสูงจะมีการต้านทานการไหลได้มากกว่าน้ำมันที่มีค่าความหนืดต่ำ ค่าความหนืดจะมีหน่วยเป็นพอยส์ (poise, P) ซึ่งมีค่าเท่ากับแรงที่ใช้เคลื่อนที่ของไหลขนาดพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตรต่อวินาที สำหรับค่าความหนืดคิเนมาติก (Kinematic viscosity) คืออัตราส่วนระหว่างความหนืดต่อความหนาแน่นซึ่งมีหน่วยเป็น สโตกส์ (stoke, St) การวัดค่าความหนืดคิเนมาติกจะใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 445 โดยค่าความหนืดทั้งสองประเภทจะนิมรรายงานในหน่วยเซนติพอยส์ (cP) และเซนติสโตกส์ (cSt)

2.2.7.2.2 จุดหมอก (Cloud point) และจุดไหลเท (Pour point)

จุดหมอก คืออุณหภูมิที่ไขของน้ำมันดีเซลรวมตัวจนสามารถมองเห็นเป็นกลุ่มคล้ายหมอกได้ ซึ่งอาจจะส่งผลให้เกิดการอุดตันไส้กรองและท่อนำส่งน้ำมันได้ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากในเขตหนาว สำหรับประเทศไทยไม่มีข้อกำหนดในคุณสมบัติข้อนี้

จุดไหลเทเป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับปริมาณไขของน้ำมันดีเซลเช่นเดียวกับจุดหมอก แต่จะใช้ความสามารถในการไหลในการวัดแทนตามมาตรฐานจุดไหลเทคือ อุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่น้ำมันเชื้อเพลิงยังคงสภาพเป็นของไหล (Fluidity)

จุดหมอกและจุดไหลเทจะเป็นสมบัติของเชื้อเพลิงที่สำคัญสำหรับประเมินสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อต้องการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำหรือในประเทศเมืองหนาว เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำองค์ประกอบของพาราฟินของน้ำมันดีเซลอาจแยกออกเป็นไข ซึ่งจะอุดตันทางเดินของน้ำมันเชื้อเพลิงและหม้อกรองเชื้อเพลิงได้ ทำให้เครื่องยนต์ผิดปกติและดับในที่สุด ซึ่งขึ้นอยู่กับแหล่งน้ำมันดิบและอุณหภูมิการกลั่นของน้ำมันชนิดนั้นๆ

2.2.7.2.3 ค่าความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นเป็นค่าที่บอกถึงน้ำหนักของน้ำมันเชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรที่อุณหภูมิคงที่ ซึ่งจะผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์โดยตรง ความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงอาจจะอยู่ในรูปความถ่วงจำเพาะ API โดยทั่วไปความหนาแน่นของน้ำมันดีเซลจะมีค่าระหว่าง 0.81–0.87 กรัมต่อมิลลิลิตร

2.2.7.3 คุณสมบัติเกี่ยวกับความสะอาด

2.2.7.3.1 สี (Color)

น้ำมันดีเซลปกติจะมีสีชาอ่อนเพื่อป้องกันการปลอมปน จึงมีข้อกำหนดให้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วมีสีไม่เกิน 2.0 ส่วนน้ำมันดีเซลหมุนช้าให้มีสีเข้มมาก คือ 4.5–7.5

2.2.7.3.2 ปริมาณคาร์บอนคงเหลือและปริมาณเถ้า (Carbon residue and Ash content)

ปริมาณคาร์บอนคงเหลือและปริมาณเถ้าเป็นค่าที่บ่งบอกถึงสารเหลืออยู่หลังจากการเผาไหม้ในรูปกากคาร์บอนและสารอนินทรีย์ตามลำดับ

2.2.7.3.3 ปริมาณกำมะถัน (Sulfur content)

ปริมาณกำมะถันส่วนใหญ่จะบอกเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของกำมะถันในน้ำมันดีเซล ซึ่งปริมาณกำมะถันที่สูงเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพของสารหล่อลื่นเพิ่มขึ้นและมีการปล่อยแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_2 และ SO_3) ในปริมาณมาก ซึ่งแก๊สดังกล่าวนอกจากจะเป็นมลพิษแล้วยังทำให้เกิดการกัดกร่อนและเหนียวน้ำให้เกิดคราบคาร์บอนในกระบอกสูบอีกด้วย ในปัจจุบันปริมาณกำมะถันของน้ำมันดีเซลกำหนดให้มีค่าสูงไม่เกินร้อยละ 0.005 ร้อยละโดยน้ำหนัก

ค่าอื่นๆ เช่น ค่าเถ้า ปริมาณน้ำจัดเป็นข้อกำหนดเพิ่มเติมในด้านความสะอาดของน้ำมันเชื้อเพลิง

2.2.7.4 คุณสมบัติของการจุดติดไฟ (Ignition Quality)

การจุดระเบิดหรือการติดไฟได้เองจะเร็วหรือช้าขึ้นกับประเภทของสารไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิง โดยพาราฟินติดไฟได้เร็วที่สุดตรงกันข้ามกับพวกอะโรมาติกซึ่งติดไฟได้ช้า โดยเฉพาะอะโรมาติกที่มีจำนวนวงแหวนมาก การวัดจึงใช้ไฮโดรคาร์บอนสองประเภทดังกล่าวเป็นหลัก เรียกว่า จำนวนซีเทน

2.2.7.4.1 จำนวนซีเทน (Cetane number)

จำนวนซีเทน คือค่าที่บอกถึงคุณภาพของการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงโดยจะใช้อุณหภูมิติดไฟได้เอง (Auto-ignition Temperature, ATI) ของน้ำมันเป็นตัวชี้วัด ซึ่งอุณหภูมินี้เป็น

อุณหภูมิที่เชื้อเพลิงสามารถลุกไหม้ได้เองในบรรยากาศที่ปราศจากประกายไฟ เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลใช้หลักการการจุดระเบิดด้วยการอัดอากาศให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนเชื้อเพลิงสามารถจุดระเบิดได้เองแทนการจุดระเบิดด้วยหัวเทียน ทำให้ค่านี้อาจมีความสำคัญต่อน้ำมันดีเซล โดยเลขซีเทนจะมีสารอ้างอิงมาตรฐาน แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สารมาตรฐานสำหรับเลขซีเทน [7]

Compound	Cetane number	Auto-ignition Temperature (°C)
n-Hexadecane (Cetane)	100	202
1-methylnaphthalene	0	529
Heptamethylnonane	15	472

โดยทั่วไปน้ำมันดีเซลจะประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนหลายชนิดผสมกัน เป็นองค์ประกอบซึ่งอุณหภูมิติดไฟได้เองของสารประกอบต่างๆมีค่าตามลำดับดังนี้ สารประกอบแอมโรแมติก < สารประกอบแอลเคนโซ่กิ่ง < สารประกอบแอลเคนแบบวง < สารประกอบแอลเคนโซ่ตรงโดยลำดับดังกล่าวจะตรงกันข้ามกับกรณีของค่าซีเทน

2.2.7.4.2 ดัชนีซีเทน (Calculated Cetane Index)

เนื่องจากการวัดจำนวนซีเทนจำเป็นต้องใช้เครื่องยนต์และเสียเวลามากจึงใช้วิธีการคำนวณแทน ซึ่งประมาณค่าความถ่วงจำเพาะและช่วงอุณหภูมิการกลั่นที่ 50 เปอร์เซ็นต์ค่าที่ได้เรียกดัชนีซีเทน (Calculated Cetane Index) ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าจำนวนซีเทนมาก จึงสามารถใช้แทนกันได้

2.2.8 มาตรฐานของไบโอดีเซล

การกำหนดมาตรฐานของไบโอดีเซลเพื่อให้ได้รับการยอมรับจากทั้งภาคอุตสาหกรรมผู้ผลิตรถยนต์และผู้ค้าน้ำมัน สหรัฐอเมริกาได้กำหนดมาตรฐานคุณสมบัติของไบโอดีเซลคือ ASTM D 6751 สหภาพยุโรปได้กำหนดมาตรฐานคุณสมบัติของไบโอดีเซลคือ EN 14214 สำหรับในประเทศไทยคุณสมบัติของไบโอดีเซลได้ถูกกำหนดไว้ใน *ประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน เรื่อง “กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ.2552”* [8]

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM และ EN [3]

คุณสมบัติ	น้ำมันดีเซล ASTM D975	ไบโอดีเซล		วิธีการทดสอบ	
		ASTM D6751	EN 14214	ASTM	EN
ความหนาแน่น 15°C (kg/m ³)	850	880	860 – 900	D 1298	EN ISO 3675 /12185
ความหนืด 40 °C (cSt)	2.6	1.9 – 6.0	3.5 – 5.0	D 445	EN ISO 3104
จำนวนซีเทน	40 – 50	Min. 47	Min. 51	D 613	EN ISO 5165
ค่าไอโอดีน	38.3	-	Max. 120	-	EN 14111
ค่าความร้อน (MJ/kg)	42 – 46	-	35	-	EN 14214
ค่าความเป็นกรด (mg KOH/g)	0.062	Max. 0.50	Max. 0.5	D 664	EN 14104
จุดไหลเท (°C)	-35	(-15) – (-16)	-	D 97	-
จุดวาบไฟ (°C)	60 – 80	Min. 100 – 170	>120	D 93	ISO DIS 3679
จุดหมอก (°C)	-20	(-3) – (-12)	-	D 2500	-
จุดจุดดับไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (°C)	-25	19	Max. +5	D 6371	EN 14214
การกัดกร่อนแผ่นทองแดง	1	Max. 3	Min. 1	D 130	EN ISO 2160
คาร์บอน (%wt)	84 – 87	77	-	-	-
ไฮโดรเจน (%wt)	12 – 16	12	-	-	-
ออกซิเจน (%wt)	0 – 0.31	1	-	-	-
ปริมาณเมทานอล %(m/m)	-	-	Max. 0.20	-	EN 14110
ปริมาณน้ำและตะกอน (%vol)	0.05	Max. 0.05	Max. 500 ^b	D 2709	EN ISO 12937
ปริมาณเถ้า %(m/m)	0.01	0.02	0.02		EN 14214
กำมะถัน %(m/m)	0.05	Max. 0.05	10 ^b	D 5453	EN ISO 20846
เถ้าซิลิเกต %(m/m)	-	Max. 0.02	Max. 0.02	D 874	EN ISO 3987
ฟอสฟอรัส %(m/m)	-	Max. 0.001	10 ^b	D 4951	EN 14107
กลีเซอรินอิสระ %(m/m)	-	Max. 0.02	Max. 0.02	D 6584	EN14105 /14106
กลีเซอรินทั้งหมด %(m/m)	-	Max. 0.24	0.25	D 6584	EN 14105
โมนอกลิเซอไรด์ %(m/m)	-	0.52	0.8	-	EN 14105
ไดกลีเซอไรด์ %(m/m)	-	-	0.2	-	EN 14105
ไตรกลีเซอไรด์ %(m/m)	-	-	0.2	-	EN 14105
CCR 100% (%mass)	0.17 (0.1) ^d	Max. 0.05	Max. 0.03	D 4530	EN ISO 10370
อุณหภูมิของการกลั่น (%)	-	Max. 360°C	-	D 1160	-
เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110°C (hr)	-	3 min	6 min	D 675	EN 14112
คุณสมบัติการหล่อลื่น (HFRR; µm)	685	314	-	-	-

ตารางที่ 2.6 กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ.2552

รายการ	ข้อกำหนด	เกณฑ์มาตรฐาน		วิธีทดสอบ
1	เมทิลเอสเทอร์, ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่ต่ำกว่า	96.5	EN 14103
2	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °ซ, กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	ไม่ต่ำกว่าและ ไม่สูงกว่า	860 900	ASTM D 1298
3	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °ซ, เซนติสโตกส์	ไม่ต่ำกว่าและ ไม่สูงกว่า	3.5 5.0	ASTM D 445
4	จุดวาบไฟ, องศาเซลเซียส	ไม่ต่ำกว่า	120	ASTM D 93
5	กำมะถัน, ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 2622
6	กากถ่าน (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น), ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.30	ASTM D 4530
7	จำนวนซีเทน	ไม่ต่ำกว่า	51	ASTM D 613
8	เถ้าซิลิเกต, ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 874
9	น้ำ, ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.050	EN ISO 12937
10	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด, ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.0024	EN 12662
11	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง	ไม่สูงกว่า	หมายเลข 1	ASTM D 130
12	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส, ชั่วโมง	ไม่ต่ำกว่า	10	EN 14112
13	ค่าความเป็นกรด, มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม	ไม่สูงกว่า	0.50	ASTM D 664
14	ค่าไอโอดีน, กรัมไอโอดีน/100 กรัม	ไม่สูงกว่า	120	EN 14111
15	กรดคลอรีนเลนิกเมทิลเอสเทอร์, ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	12.0	EN 14103
16	เมทานอล, ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14110
17	โมโนกลีเซอไรด์, ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.80	EN 14105
18	ไดกลีเซอไรด์, ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
19	ไตรกลีเซอไรด์, ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
20	กลีเซอรินอิสระ, ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.02	EN 14105
21	กลีเซอรินทั้งหมด, ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.25	EN 14105
22	โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและโพแทสเซียม), มิลลิกรัม/กิโลกรัม โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม), มิลลิกรัม/กิโลกรัม	ไม่สูงกว่า	5.0	EN 14108 และ EN 14109 pr EN 14538
23	ฟอสฟอรัส, ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 4951
24	สารเติมแต่ง (ถ้ามี)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดี กรมธุรกิจพลังงาน		

2.8.1.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลได้ดังนี้

1) ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสะอาด ไม่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ทำให้ไอเสียที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ไม่ก่อให้เกิดภาวะฝนกรด เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เมื่อถูกเผาไหม้แล้วกำมะถันในน้ำมันดีเซลจะเปลี่ยนรูปเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และกรดซัลฟิวริกหรือกรดกำมะถันตามลำดับ เกิดเป็นมลพิษทางอากาศเมื่อฝนตกจะชะล้างมลพิษเหล่านี้เกิดเป็นฝนกรดได้

2) น้ำมันดีเซลไม่มีออกซิเจนอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล และมีองค์ประกอบของสาร Aromatic compound ถึงร้อยละ 20-40 ขณะที่ไบโอดีเซลไม่มีสารประกอบประเภท Aromatic compound แต่มีออกซิเจนอยู่ในโครงสร้างโมเลกุลถึงร้อยละ 10-12 ดังนั้นเมื่อใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ไอเสียที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กและมีวันดำต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล

3) ไบโอดีเซลมีจุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซล จึงมีค่าการจุดระเบิดในเครื่องยนต์ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

4) น้ำมันดีเซลไม่มีพันธะคู่ในโครงสร้างโมเลกุล ขณะที่ไบโอดีเซลมีพันธะคู่ในน้ำมันพืชซึ่งมีปริมาณที่แตกต่างกันตามชนิดของน้ำมันพืชที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบ ทำให้ไบโอดีเซลไม่เสถียรเกิดออกซิเดชันได้เร็วกว่าน้ำมันดีเซล และมีระยะเวลาการเก็บรักษาหลังการผลิตสั้นกว่าน้ำมันดีเซล

5) ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องยนต์ได้ดี

นอกจากนี้ยังพบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชต่างชนิดกันจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันพืชเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ถึงร้อยละ 94-96 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักโมเลกุล ทำให้คุณสมบัติของน้ำมันมีคุณสมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพเป็นไปตามกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นเมื่อนำน้ำมันพืชชนิดนั้นๆ มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ไบโอดีเซลที่ได้จะมีคุณสมบัติตามกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบนั้นๆ ด้วย

2.2.9 โรงงานการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย

ปัจจุบันรายชื่อผู้ผลิตไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (B100) ที่ได้รับความเห็นชอบการจำหน่ายหรือมีไว้เพื่อจำหน่ายไบโอดีเซลจากกรมธุรกิจพลังงานจำนวน 10 ราย

ตารางที่ 2.7 โรงงานผู้ผลิตไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (B100) ในประเทศไทย

ลำดับ	บริษัท	จังหวัด	กำลังการผลิต (ลิตรต่อวัน)	วัตถุดิบที่ใช้
1	บมจ.บางจากปิโตรเลียม	กรุงเทพฯ	50,000	น้ำมันพืชใช้แล้ว CPO, RBDPO
2	บมจ.พลังงานบริสุทธิ์	ปราจีนบุรี	800,000	Palm Stearine CPO
3	บจ.น้ำมันพืชปทุม	ปทุมธานี	1,400,000	RBDPO, RBDPS, CPO
4	บจ.บี กริม กรีน เพาเวอร์	ชุมพร	200,000	Palm Stearine
5	บมจ.เอ ไอ เอ็นเนอร์จี	สมุทรสาคร	500,000	RBDPO, RBDPS
6	บจ.วีระสุวรรณ	สมุทรสาคร	200,000	Palm Stearine, RBDPO
7	บจ.ไทยโอลีโอเคมี	ระยอง	685,800	CPO
8	บจ.นิว ไบโอดีเซล	สุราษฎร์ธานี	260,000	CPO
9	บจ.แอ็บโซลูท เพาเวอร์ พี	ระยอง	300,000	RBDPO, Palm Stearine
10	บจ.บางจากไบโอฟลูเอล	พระนครศรีอยุธยา	300,000	CPO, Palm Stearine

หมายเหตุ : CPO คือ Crude Palm Oil
RBDPO คือ Refined Bleached Deodorized Palm Oil
RBDPS คือ Refined Bleached Deodorized Palm Stearine
ข้อมูลเมื่อเดือน เมษายน 2558

2.2.10 สัดส่วนการใช้ไบโอดีเซล

ประเทศที่ผลิตไบโอดีเซลในแบบอุตสาหกรรมและใช้กันมาก ได้แก่ เยอรมนี ออสเตรเลีย ฝรั่งเศส อิตาลี สวีเดน และสหรัฐอเมริกา วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคือ น้ำมันเมล็ดเรพ นอกจากนี้ยังมีการใช้น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม น้ำมันลินซีด ไชมันส์ตว์ และน้ำมันพืชใช้แล้ว โดยทั่วไปการใช้ไบโอดีเซลในต่างประเทศจะนำไปผสมเป็นสูตรต่างๆ ดังนี้

- B2 (ไบโอดีเซล2%:ดีเซล98%) มีจำหน่ายในมลรัฐมินนิโซตา ประเทศสหรัฐอเมริกา
- B5 (ไบโอดีเซล5%:ดีเซล95%) มีจำหน่ายทั่วไปในประเทศฝรั่งเศส
- B20 (ไบโอดีเซล20%:ดีเซล80%) เป็นน้ำมันผสมที่มีใช้เฉพาะกลุ่มรถยนต์ ไม่ได้มีการจำหน่ายให้แก่ผู้บริโภคเป็นการทั่วไป คณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติและสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา แนะนำให้ใช้ตามกฎหมายยานยนต์เชื้อเพลิงทดแทนของประเทศ
- B40 (ไบโอดีเซล40%:ดีเซล60%) เป็นสูตรที่ใช้ในรถยนต์ขนส่งมวลชนในประเทศฝรั่งเศส เพื่อผลในการลดมลพิษ
- B100 (ไบโอดีเซล 100%) เป็นน้ำมันไบโอดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์ ใช้กับรถยนต์ที่ผลิตมาโดยเฉพาะมีใช้ในประเทศเยอรมนีและออสเตรีย โดยได้รับการรับรองจากบริษัทผู้ผลิตรถยนต์รายใหญ่ของประเทศ

สำหรับประเทศไทยมีการนำไบโอดีเซลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ 2 ลักษณะ คือ

1. น้ำมันดีเซลหมุนเร็วธรรมดา มีไบโอดีเซลผสมอยู่ในน้ำมันดีเซล 2.5 – 3 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร
2. น้ำมันดีเซลหมุนเร็วบี 5 มีไบโอดีเซลผสมอยู่ในน้ำมันดีเซล 4–5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร น้ำมันดีเซลหมุนเร็วบี 5 จะมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานเดียวกันกับน้ำมันดีเซลที่ผลิตจากปิโตรเลียม แต่จะเพิ่มคุณภาพในข้อกำหนดเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปัจจุบันผู้ประกอบการรถยนต์ยอมรับการใช้ น้ำมันดีเซลหมุนเร็วบี 5 เพื่อใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลในรถยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ ซึ่งในต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศแถบยุโรปมีการจำหน่ายน้ำมันดีเซลบี 5 ใช้เชิงพาณิชย์กันอย่างแพร่หลาย

ส่วนกรณีการนำไบโอดีเซล B100 มาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงต้องใช้กับรถยนต์ที่ผลิตมาเพื่อใช้กับน้ำมัน B100 เท่านั้น เนื่องจากไบโอดีเซลมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลทำให้เกิดปัญหากับระบบการป้อนน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้ หัวฉีด และปั๊มน้ำมัน ทำให้การฉีดน้ำมันเป็นฝอยได้ยากและ

เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ สมรรถนะของเครื่องยนต์ต่ำลง นอกจากนี้ไบโอดีเซลยังทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นยางเหนียวเกาะอยู่ตามลูกสูบ แหวนและวาล์วได้ง่ายกว่าน้ำมันดีเซล และยังทำปฏิกิริยากับชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่เป็นยางทำให้เกิดการบวมและรั่วซึมได้ ผู้ประกอบรถยนต์จึงยังไม่ยอมรับการใช้ น้ำมัน B100 กับรถยนต์ทั่วไป

2.2.11 ประโยชน์ของการใช้ไบโอดีเซล

2.2.11.1 ด้านสิ่งแวดล้อม

การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดมลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ เนื่องจากไบโอดีเซลไม่มีสารกำมะถันและสารประกอบอะโรมาติกจึงเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดช่วยลดมลพิษทางอากาศได้มาก โดยสามารถลดปริมาณซัลเฟอร์คาร์บอนมอนอกไซด์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนรวมถึงฝุ่นละอองและควันดำออกสู่สภาพแวดล้อมได้ ในทางตรงกันข้ามไบโอดีเซลสามารถเพิ่มไนโตรเจนได้มากกว่าน้ำมันดีเซล นอกจากนี้ยังลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas) เพราะผลิตได้จากพืชและไม่มีปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสามารถย่อยสลายได้เองตามกระบวนการชีวภาพ

คณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติ (National Biodiesel) และสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อม (US Environment Protection Agency) ของประเทศสหรัฐอเมริกาได้ทำวิจัยและทดลองใช้น้ำมันไบโอดีเซลสูตรต่างๆกับเครื่องยนต์ดีเซล และได้รายงานว่าเป็นไบโอดีเซลสูตร B100 และ B20 สามารถลดมลพิษปลดปล่อยจากการเผาไหม้ได้อย่างมีนัยสำคัญ ในกรมอุทกหารเรือกองทัพเรือก็ได้รายงานผลการทดลองใช้น้ำมันไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 145 แรงม้าว่าสามารถลดควันดำได้มากกว่าร้อยละ 40 การใช้ไบโอดีเซลสามารถลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกเพราะผลิตจากพืช การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ยังเป็นการช่วยลดการนำน้ำมันที่ใช้แล้วไปประกอบอาหารซ้ำ

2.2.11.2 ด้านสมรรถนะเครื่องยนต์

การผสมไบโอดีเซลในระดับร้อยละ 1-2 สามารถช่วยเพิ่มดัชนีการหล่อลื่นให้กับน้ำมันดีเซลได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ไบโอดีเซลสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ให้ดีขึ้น เนื่องจากในไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ประมาณร้อยละ 10 ทำให้การผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และเป็นการเพิ่มอัตราส่วนปริมาตรของอากาศต่อน้ำมันได้เป็นอย่างดีจึงทำให้การจุดระเบิดทำได้ดี การสันดาปสมบูรณ์ กำลัของเครื่องยนต์ไม่ลดลง ถึงแม้ว่าค่าความร้อนของไบโอดีเซลจะต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณร้อยละ 10 แต่ข้อดีนี้ไม่มีผลกระทบต่อการใช้งาน เนื่องจากการใช้ไบโอดีเซลทำให้เกิดการเผาไหม้ได้ดีขึ้น

ไบโอดีเซลมีจุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซล จึงมีความปลอดภัยในการเก็บรักษาดีกว่าน้ำมันดีเซล อีกทั้งยังมีค่าซีเทนสูงกว่าน้ำมันดีเซลจึงส่งผลให้ไบโอดีเซลมีสมบัติการจุดติดไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซล จึงสามารถใช้ไบโอดีเซลผสมในน้ำมันดีเซลได้ถึงร้อยละ 5 โดยไม่ต้องมีการปรับแต่งเครื่องยนต์

2.2.11.3 ด้านเศรษฐศาสตร์

การใช้ไบโอดีเซลช่วยสร้างงานในชนบทด้วยการสร้างตลาดพลังงานไว้รองรับผลผลิตทางการเกษตรที่เหลือจากการบริโภคสามารถช่วยเหลือเกษตรกรภายในประเทศได้ โดยเป็นการเพิ่มมูลค่าพืชผลทางการเกษตร การใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบจากพืชผลทางการเกษตรภายในประเทศ จึงช่วยประหยัดเงินตราในการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศได้

2.2.11.4 ด้านความมั่นคงทางด้านพลังงาน

การใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศถือเป็นการเสริมสร้างความมั่นคงและเสถียรภาพทางด้านพลังงานของประเทศ สามารถลดผลกระทบจากวิกฤตการณ์พลังงานซึ่งจะมีผลกระทบต่อเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างสูง

2.2.11.5 ด้านการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงภายในประเทศ

ประเทศไทยมีสัดส่วนการใช้น้ำมันดีเซลสูงกว่าน้ำมันเบนซินมาก ซึ่งเป็นปริมาณสูงสุดสำหรับการบริโภคน้ำมันภายในประเทศ ตลาดน้ำมันดีเซลในประเทศไทยมีมูลค่ามากกว่าน้ำมันเบนซินถึง 2 เท่า และในอนาคตมีแนวโน้มที่โรงกลั่นอาจจะผลิตน้ำมันดีเซลได้ไม่เพียงพอต่อการใช้งานภายในประเทศ ดังนั้นการใช้ไบโอดีเซลจึงช่วยลดความไม่สมดุลของการผลิตของโรงกลั่นได้

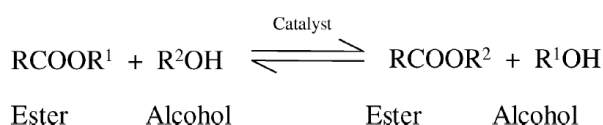
2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน [2]

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน (Transesterification reaction) ถูกคิดค้นโดย Rochleder ในปี ค.ศ. 1864 โดยอธิบายการเตรียมไกลคอลจากการเกิดเอทานอไลซิสของน้ำมันละหุ่ง

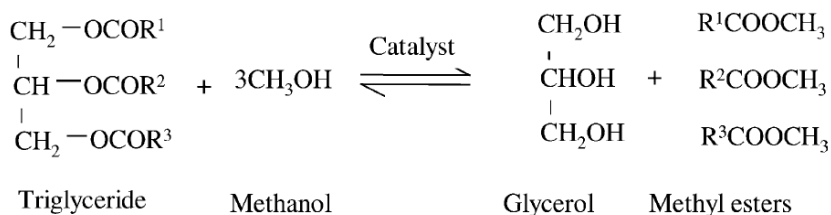
ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน คือปฏิกิริยาการเปลี่ยนหมู่แอลคอกซิล (Alkoxyl group, RO⁻) ของเอสเทอร์ด้วยแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กกว่า หรืออาจเรียกว่าปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยแอลกอฮอล์ (Alcoholysis reaction) กระบวนการนี้นิยมใช้อย่างกว้างขวางสำหรับการผลิตไบโอดีเซล โดยมีทั้งใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับปรับปรุงสมบัติทางเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่ผลิตจากไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ให้ดีขึ้น โดยเฉพาะในการลดค่าความหนืดของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ โดยส่วนใหญ่ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันจะใช้แอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่สั้นในการทำปฏิกิริยา คือ เมทานอลซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ที่มีราคาถูกและมีสมบัติ

ทางกายภาพและทางเคมีที่เหมาะสม เพราะเป็นแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่สั้นที่สุด และเป็นของเหลวที่มีค่าสูง ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มอัตราในการทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซอไรด์ได้มากที่สุด

โดยทฤษฎีปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometry) ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน จะประกอบด้วยอัตราส่วนโดยโมลของสารตั้งต้น 3:1 ระหว่างแอลกอฮอล์ต่อไตรกลีเซอไรด์ แต่ในทางปฏิบัติจะพบว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสามารถผันกลับได้ ดังนั้นหากต้องการเพิ่มผลิตภัณฑ์ เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (FAMES) หรือไบโอดีเซลให้มีปริมาณสูงขึ้น จำเป็นต้องมีการเพิ่มจำนวนโมลของแอลกอฮอล์ เพื่อผลักดันให้ปฏิกิริยาไปข้างหน้าให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ได้มากที่สุด



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [2]



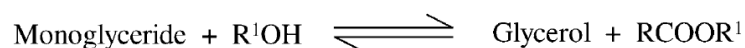
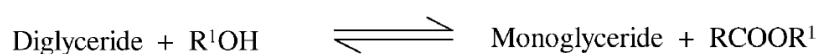
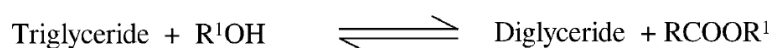
รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับเมทานอล [2]

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะมีอยู่หลายปัจจัย โดยปัจจัยที่สำคัญ คือ ปริมาณและชนิดของแอลกอฮอล์ ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ ทั้งนี้รวมไปถึงอุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และอัตราการกวน นอกจากนี้ยังพบว่าความชื้นและปริมาณของกรดไขมันอิสระของวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลจะมีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วย โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา คือ 50 – 75 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา คือ 2 ชั่วโมง จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์คือไบโอดีเซลและกลีเซอรอลแยกออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์ [9]

2.3.1 กลไกและจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [2]

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นแอลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมันและกลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ โดยที่ชั้นของกลีเซอรอลจะอยู่ด้านล่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ไตรกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์จะเป็นตัวกลางในปฏิกิริยานี้

สำหรับกลไกในการเกิดปฏิกิริยาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะประกอบด้วยปฏิกิริยาที่ผันกลับได้และเกิดต่อเนื่องกันไป โดยไตรกลีเซอไรด์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไดกลีเซอไรด์ โมโนกลีเซอไรด์ และสุดท้ายได้เป็นกลีเซอรอล ดังรูปที่ 2.5 โดยจะมีเอสเทอร์เกิดขึ้นหนึ่งโมลของปฏิกิริยาในแต่ละขั้นตอน แม้ว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ แต่สมดุลของปฏิกิริยาจะโน้มเอียงไปทางผลิตภัณฑ์ คือเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty acid ester) และกลีเซอรอล

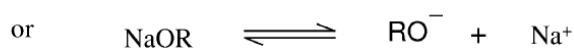
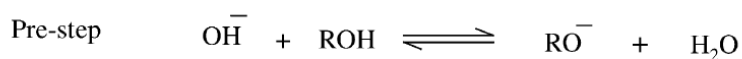


รูปที่ 2.5 กลไกของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์ [2]

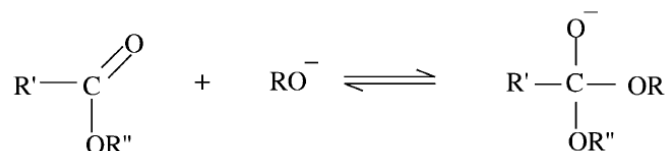
เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ดังนั้นต้องใช้แอลกอฮอล์ที่เกินกว่าจุดสมดุลเล็กน้อยเพื่อผลักดันให้ปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้าได้อย่างสมบูรณ์ ปริมาณของแอลกอฮอล์ที่มากเกินพอจะทำให้เกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนแรก และสามารถเกิดการผันกลับได้ในขั้นตอนที่สอง นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันจะเร็วขึ้นเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส

กลไกของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส จะเกิดเป็น 3 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2.6

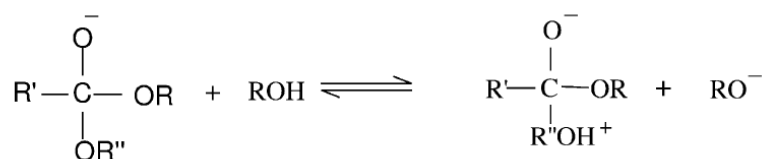
ขั้นแรก	แอลคอกไซด์ไอออน (alkoxide ion) จะเข้าทำต่ออะตอมของคาร์บอนตรงหมู่คาร์บอนิลของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ เพื่อเกิดเป็น tetrahedral intermediate
ขั้นตอนที่สอง	tetrahedral intermediate จะเข้าทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เพื่อสร้างเป็นแอนไอออนของแอลกอฮอล์ คือแอลคอกไซด์ไอออน (alkoxide ion)
ขั้นสุดท้าย	เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของ tetrahedral intermediate ส่งผลให้เกิดเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน และไตรกลีเซอไรด์



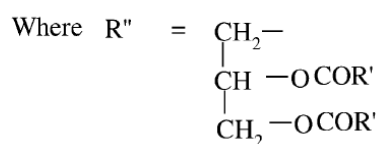
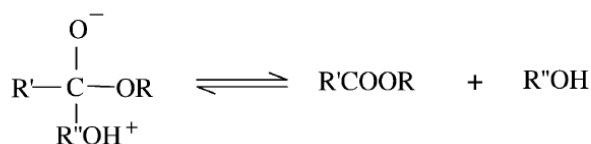
Step. 1.



Step. 2.



Step. 3.



$\text{R}' =$ Carbon chain of fatty acid

$\text{R} =$ Alkyl group of alcohol

รูปที่ 2.6 กลไกของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส [2]

วิธีการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

วิธีผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน แบ่งเป็น 2 วิธีหลักๆ คือ

1. วิธีที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน
2. วิธีที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

2.3.2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา [9]

การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซลนั้นมีอยู่หลายวิธี โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้จะเป็นสารเคมีที่มีสมบัติเป็น กรด เบส หรือตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิต เช่น เอนไซม์จากพืช รา แบคทีเรียหรือสัตว์ต่างๆ การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

ชนิดที่เป็นเบสจะมีประสิทธิภาพมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดที่เป็นกรด เนื่องจากจะทำให้เกิดอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่สูงและใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า นอกจากนี้ยังส่งผลให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้สูงกว่าการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสจะเป็นสาเหตุให้เกิดสะพอนิฟิเคชันกับกรดไขมันอิสระซึ่งอยู่ในน้ำมันพืชหรือไตรกลีเซอไรด์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลมีค่าความเป็นกรดสูง จึงควรใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดที่เป็นกรดแทน

2.3.2.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (Base catalyst)

วิธีนี้จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีสมบัติเป็นเบส โดยทั่วไปมักจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ซึ่งจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรม วิธีนี้จะมีข้อเสียคือ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจะต้องมีลักษณะที่เหมาะสม คือต้องมีปริมาณกรดไขมันอิสระน้อย เพราะกรดไขมันอิสระจะเกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน (Saponification) กับเบสเกิดเป็นสบู่ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์คือไบโอดีเซลลดลง สำหรับกรณีที่มีกรดไขมันอิสระในปริมาณสูง จะต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณมากขึ้นซึ่งจะเป็นการสิ้นเปลือง และน้ำมันควรมีน้ำปนอยู่ในปริมาณน้อย เพราะน้ำจะเป็นสาเหตุในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) กับแอลคิลเอสเทอร์บางตัวเกิดเป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันจากกรดไขมันอิสระ โดยทั่วไปจะสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้คือ

1) ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสแบบเอกพันธ์ (Homogenous base catalyst)

ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาเบสแบบเอกพันธ์จะมีหลากหลายชนิดสำหรับการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืช ที่นิยมใช้คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โซเดียมเมทอกไซด์ (NaOCH₃) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และโพแทสเซียมเมทอกไซด์ (KOCH₃)

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะดีกว่าการใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เนื่องจากทำให้เกิดสบู่และสามารถแยกกลีเซอรอลออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่าย ส่งผลให้มีต้นทุนในการผลิตต่ำ

โซเดียมเมทอกไซด์ (NaOCH₃)

การใช้โซเดียมเมทอกไซด์ (NaOCH₃) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ เพราะจะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนของ CH₃O⁻ และ Na⁺ และไม่ทำให้เกิดเป็นน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังพบว่าใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ยังไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตที่สูง

โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดที่เป็นเบสที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน Encinar และคณะ ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษาพบว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพสูงกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ และยังมีการรายงานอีกว่าสามารถแยกกลีเซอรอลออกจากไบโอดีเซลได้ง่ายกว่าเมื่อใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

โพแทสเซียมเมทอกไซด์ (KOCH₃)

โพแทสเซียมเมทอกไซด์ (KOCH₃) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส ที่สามารถใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันได้ แต่ยังเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้กันน้อยในกลุ่มของนักวิจัย

2) ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสแบบวิวิธพันธ์ (Heterogenous base catalyst)

ตัวเร่งปฏิกิริยาเบสแบบวิวิธพันธ์จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกับระบบ แต่จะมีประสิทธิภาพสูงเพราะสามารถนำมาใช้งานได้หลายครั้ง แต่ปัญหาหลักสำหรับการใช้งานตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทนี้คือ การกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาจากเมทิลเอสเทอร์จะต้องใช้พลังงาน ปริมาณน้ำ และเวลาในปริมาณมากซึ่งจะทำให้เป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรและมีต้นทุนในการผลิตที่สูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามตัวเร่งปฏิกิริยาเบสแบบวิวิธพันธ์ที่เป็นของแข็ง สามารถแยกออกได้โดยการกรอง และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้ง ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นของแข็งที่นิยมใช้ในกลุ่มนี้ได้แก่ ออกไซด์ของโลหะอัลคาไลน์, ซีโอไลท์, KNO₃/Al₂O₃, BaO, SRO, CaO, MgO เป็นต้น

2.3.2.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด (Acid catalyst)

วิธีนี้จะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีสมบัติเป็นกรด ถึงแม้ว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีสมบัติเป็นเบสจะมีประสิทธิภาพและเป็นที่ยอมรับมากกว่าสำหรับกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทนี้จะไม่เหมาะสำหรับวัตถุดิบที่มีปริมาณน้ำและมีค่าความเป็นกรดสูง ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีสมบัติเป็นเบสจะสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดเป็นสบู่ได้ และจะเพิ่มความยุ่งยากในขั้นตอนของการล้างผลิตภัณฑ์ สำหรับน้ำมันที่ไม่ได้ใช้ในการบริโภคโดยส่วนใหญ่จะมีค่าความเป็นกรดสูง ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงนิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเป็นกรดแทน แต่ปัญหาของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเป็นกรดคือ จะต้องใช้แอลกอฮอล์ในปริมาณมาก และอุณหภูมิสูง อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้า นอกจากนี้การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดยังมีผลต่อการกัดกร่อนของอุปกรณ์ รวมถึงส่งผลต่อปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมด้วย

ตัวเร่งปฏิกิริยากรดทั้งแบบเอกพันธ์และวิวิธพันธ์ สามารถนำมาใช้ได้ทั้งสองแบบสำหรับกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดที่นิยมใช้คือ กรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดฟอสฟอริก (H₃PO₄) และซัลโฟเนตของกรดอินทรีย์

โดยทั่วไปแล้วกรดไขมันอิสระของน้ำมันพืชที่ใช้สำหรับรับประทานจะมีค่าต่ำ ซึ่งการจะนำน้ำมันเหล่านี้มาผลิตเป็นไบโอดีเซลนอกจากจะมีค่าใช้จ่ายสูงแล้วยังจะส่งผลต่อสัดส่วนการบริโภคน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ อีกด้วย ดังนั้นทางเลือกที่สำคัญคือการนำน้ำมันที่ใช้แล้วหรือน้ำมันที่ไม่ใช่สำหรับการบริโภคมาเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซลแทน แต่กรดไขมันอิสระของน้ำมันที่ไม่ใช่สำหรับการรับประทานโดยส่วนใหญ่ก็จะมีค่าสูง ดังนั้นการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรดจึงเหมาะสมสำหรับวัตถุดิบประเภทนี้

โดยทั่วไปตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดจะใช้สำหรับกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันแบบ 2 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกน้ำมันจะทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาค่าความเป็นกรดของผลิตภัณฑ์จะลดลงเมื่อทำปฏิกิริยากับเมทานอลอีกครั้ง โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส การปรับสภาพเบื้องต้นของน้ำมันจะสามารถลดกรดไขมันอิสระลงได้ประมาณครึ่งหนึ่ง ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ขั้นตอนต่อไปก็คือการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันอีกครั้งหนึ่งโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ดังนั้นสำหรับวัตถุดิบที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงจึงแนะนำให้ใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันแบบ 2 ขั้นตอน

ข้อเสียของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด คือจะต้องใช้เวลานานมากในการทำปฏิกิริยา และการมีน้ำในน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจะทำให้ปริมาณไบโอดีเซลที่ได้เป็นผลิตภัณฑ์ลดลง เพราะน้ำจะส่งผลให้แอลคิลเอสเทอร์เปลี่ยนไปเป็นกรดไขมันอิสระ อีกทั้งการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยายังไม่เหมาะกับการผลิตในระดับอุตสาหกรรมเพราะความเป็นกรดของตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถสร้างความสึกกร่อนต่ออุปกรณ์ต่างๆ ได้มากกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส โดยทั่วไปจะสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้คือ

1) ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดแบบเอกพันธ์ (Homogenous acid catalyst)

Dorado และคณะ, Canakci and Gerpan, and Talens และคณะ ได้ลดค่าความเป็นกรดของวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลโดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันแบบ 2 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากรดที่ละลายในเมทานอลสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันซึ่งจะทำให้ค่าความเป็นกรดลดลง และหลังจากนั้นก็ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เบสอีกครั้ง ถึงแม้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดที่เป็นกรดจะมีราคาถูกกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดที่เป็นเบส แต่การใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะใช้ปริมาณแอลกอฮอล์ในการทำปฏิกิริยามากกว่า นอกจากนี้ยังต้องใช้อุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติพิเศษจึงทำให้มีต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นด้วย

2) ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous acid catalyst)

ตัวเร่งปฏิกิริยากรดแบบวิวิธพันธ์จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความต้องการมากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยากรดแบบเอกพันธ์ทั้งนี้เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ไม่ละลายในเมทานอลและในน้ำมันที่

นำมาเป็นวัตถุดิบ ซึ่งสามารถแยกออกได้ง่ายโดยการกรองและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวจะนิยมใช้สำหรับปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ กรดเมทานอลิกซัลฟิวริก (Methanolic sulfuric acid) เฟอริกซัลเฟต (Ferric sulfate) กรดซัลโฟนิก (Sulfonic acid) และเมทานอลิกไฮโดรเจนคลอไรด์ (Methanolic hydrogen chloride) ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล่านี้จะละลายในเมทานอลได้เมื่อมีการกวนผสม ซึ่งถ้าเป็นการเร่งปฏิกิริยาด้วยกรดบรอนสเตด (Bronsted acid) เช่น กรดซัลโฟนิก หรือกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) จะทำให้ได้แอลคิลเอสเทอร์ที่มีปริมาณมาก แต่เนื่องจากปฏิกิริยาจะดำเนินไปอย่างช้าๆ อาจจะต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน คือ สัดส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ การใช้แอลกอฮอล์ที่มากเกินไป จะช่วยให้เกิดแอลคิลเอสเทอร์ในปริมาณมากขึ้น แต่มีข้อเสียคือกระบวนการดิงกลีเซอรอลจะยากขึ้นด้วย ดังนั้นการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะใช้เวลาในการผลิตไบโอดีเซลนานกว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส และต้องใช้ปริมาณแอลกอฮอล์ในอัตราส่วนที่สูงกว่าด้วย

2.3.2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาเอนไซม์

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์สามารถใช้เอนไซม์ที่มาจากพืช รา แบคทีเรียหรือสัตว์ต่างๆ เพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ การใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีข้อดีคือ ปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิห้อง และปฏิกิริยาจะเกิดในภาวะที่ไม่รุนแรง ทำให้ไม่ต้องสิ้นเปลืองพลังงานเหมือนกับการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสหรือกรด อีกทั้งการใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยายังทำให้ไม่เกิดสบู่ และไม่มีปัญหาสำหรับการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์สามารถล้างไบโอดีเซลได้ง่าย และยังสามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยาเอนไซม์กลับมาใช้ใหม่ได้

นอกจากนี้การใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยายังสามารถนำมาใช้กับวัตถุดิบที่มีค่ากรดไขมันอิสระสูงและมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์ (%conversion) สูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ แต่ปัญหาสำคัญของการใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาคือมีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่นานกว่าจึงไม่เหมาะสมกับการผลิตในระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ และยังมีกรเติมสารบางชนิดเข้าไปในกระบวนการผลิตซึ่งอาจเข้าไปขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ หรืออาจจะส่งผลให้เอนไซม์เสียสภาพไป เช่น เมทานอลจะไปขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ไลเปส ถ้าใช้ในปริมาณที่มากเกินไป

เอนไซม์ที่นิยมใช้ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันคือ เอนไซม์ไลเปส (Lipase) ซึ่งไลเปสเป็นเอนไซม์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการต่างๆ เช่น ไฮโดรไลซิสของกลีเซอรอล แอลกอฮอล์ไลซิส และแอซิโดไลซิส (Acidolysis) นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันและเอสเทอร์ฟิเคชันได้อีกด้วย ส่วนปัจจัยต่างๆ

ที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ไลเปสในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ได้แก่ อุณหภูมิ ค่า pH ชนิดของเอนไซม์ ปริมาณน้ำ และตัวทำละลายที่ใช้ เป็นต้น

2.3.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ (Transesterification via radio frequency microwaves)

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้คลื่นไมโครเวฟความถี่สูง โดยการใช้คลื่นไมโครเวฟในการผลิตไบโอดีเซลสามารถที่จะลดเวลาในการทำปฏิกิริยาจากชั่วโมงเป็นนาที และจากนาทีให้เป็นวินาทีได้ เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟส่วนใหญ่จะประกอบด้วยคลื่นอินฟราเรดและคลื่นวิทยุ ซึ่งโดยทั่วไปคลื่นไมโครเวฟจะมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 1 มิลลิเมตรถึง 1 เมตรในช่วงความถี่ 300 MHz จาก 300 GHz

2.3.4 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้แอลกอฮอล์ในสถานะเหนือจุดวิกฤต (Transesterification using super critical alcohol)

การผลิตไบโอดีเซลโดยวิธีนี้จะมีการใช้แอลกอฮอล์ในภาวะเหนือจุดวิกฤต (Super critical alcohol) เข้ามาประยุกต์ใช้ ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อผลิตไบโอดีเซลโดยใช้แอลกอฮอล์ในภาวะเหนือวิกฤตจะมีอยู่ 2 ปฏิกิริยา คือ

1. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์
2. ปฏิกิริยาแอลคิลเอสเทอร์ฟิเคชัน (alkyl esterification) ของกรดไขมันอิสระ

โดยปฏิกิริยาทั้งสองสามารถเกิดขึ้นได้ในวิธีการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้แอลกอฮอล์ในภาวะเหนือวิกฤต และวิธีการผลิตโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากสิ่งมีชีวิตเท่านั้น วิธีการผลิตโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดที่เป็นเบสไม่สามารถเกิดปฏิกิริยานี้ได้ เนื่องจากกรดไขมันอิสระในน้ำมันจะลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดที่เป็นเบสลง และยังทำให้เกิดสารที่ไม่ต้องการ นอกจากนี้ยังมีปัญหาในการขั้นตอนของแยกผลิตภัณฑ์อีกด้วย [7]

ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้แอลกอฮอล์ในภาวะเหนือจุดวิกฤต ได้แก่ อุณหภูมิ เสถียรภาพของแอลกอฮอล์ในภาวะเหนือวิกฤต อัตราส่วนของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์ ชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา รวมไปถึงกรดไขมันอิสระและปริมาณน้ำของน้ำมันในการทำปฏิกิริยา อย่างไรก็ตามการผลิตไบโอดีเซลโดยวิธีนี้จะต้องใช้ความดันและอุณหภูมิสูงในการทำปฏิกิริยา และแอลกอฮอล์ในภาวะเหนือจุดวิกฤตจะต้องอยู่ในเฟสเดียวกันด้วย

2.3.5 แอลกอฮอล์ที่ใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

แอลกอฮอล์ที่นิยมใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันคือ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล และบิวทานอล โดยเฉพาะเมทานอลจะนิยมใช้มากที่สุดเนื่องจากมีราคาถูก และยังมีข้อดีในเรื่องคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี คือ เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก มีความเป็นขั้วสูงซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวของเมทานอลสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับกลีเซอไรด์ของน้ำมันได้อย่างรวดเร็ว และสามารถละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ดี โดยทางทฤษฎีแล้วปริมาณสารสัมพันธ์ (stoichiometry) ของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ประกอบด้วยอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ต่อกลีเซอไรด์คือ 3:1 แต่ในทางปฏิบัติเราจะพบว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสามารถผันกลับได้ ดังนั้นเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์จำเป็นต้องเพิ่มโมลของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

2.3.6 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน [2]

2.3.6.1 ผลของกรดไขมันอิสระและความชื้น

กรดไขมันอิสระและความชื้นของวัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลจะเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน สำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส วัตถุดิบที่นำมาใช้จะต้องมีลักษณะเฉพาะคือ จะต้องมีการดไขมันอิสระไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ ไตรกลีเซอไรด์จะต้องมีค่าความเป็นกรดต่ำ และต้องไม่มีน้ำปนอยู่ เพราะน้ำเป็นสาเหตุทำให้เกิดสบู่ขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยา เนื่องจากสบู่ที่เกิดขึ้นจะไปลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลง นอกจากนั้นยังส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลคือทำให้มีค่าความหนืดสูงขึ้น ทำให้น้ำมันมีลักษณะเป็นเจล และยากต่อการแยกผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้ออกจากกลีเซอรอลด้วย

กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) ที่มีอยู่ในน้ำมันวัตถุดิบยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดสบู่ได้ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นน้ำมันที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบควรมีค่าความเป็นกรด (Acid value) ต่ำ เพราะการมีกรดไขมันอิสระในน้ำมันวัตถุดิบที่มากเกินไปจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้ มีปริมาณน้อยลง สำหรับน้ำมันวัตถุดิบที่ค่าความเป็นกรดสูงจะนิยมใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบบ 2 ขั้นตอน โดยในขั้นแรกจะต้องนำน้ำมันมาทำการลดค่าความเป็นกรดลง โดยให้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันซึ่งใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Acid esterification) แล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่อไปในขั้นตอนที่ 2

2.3.6.2 ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน ถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลอย่างมากต่อการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ ดังนั้นแอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยาจะต้องใช้ในปริมาณที่มากเกินพอเพื่อที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดไปทางขวามากขึ้นซึ่งก็จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้นเช่นกัน อัตราส่วนที่เหมาะสมของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันคือ 6 : 1 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่มีผลต่อค่าความเป็นกรดเปอร์ออกไซด์ ปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน และค่าไอโอดีนของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้ นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้นยังมีผลต่อการแยกกลีเซอรอลออกจากไบโอดีเซลได้ยากขึ้น เนื่องจากแอลกอฮอล์จะไปเพิ่มความสามารถในการละลายของกลีเซอรอลในระบบ ซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นลดลง

2.3.6.3 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถใช้กับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันจะสามารถแบ่งได้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส กรด และเอนไซม์ ซึ่งแม้แต่ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสแต่ละตัวก็จะมีประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน แต่โดยทั่วไปจะนิยมใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสเนื่องจากมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด แต่เนื่องจากน้ำมันบางชนิดที่มีกรดไขมันอิสระในปริมาณสูงและอาจจะมีน้ำผสมอยู่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่ควรเลือกใช้จึงต้องเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด จากการศึกษาพบว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสที่ความเข้มข้น 0.5 – 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะทำให้ได้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ 94 – 99 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่าการเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส ไม่ได้ช่วยทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เกิดมากขึ้น แต่กลับเพิ่มค่าใช้จ่ายในขั้นตอนของการล้างตัวเร่งปฏิกิริยาเบสออกจากผลิตภัณฑ์ที่ได้

ถึงแม้ว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสจะให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้สูงในระยะเวลาอันสั้น แต่ก็ยังมีข้อเสียอยู่บางประการคือ ต้องใช้พลังงานสูง กระบวนการแยกกลีเซอรอลออกจากไบโอดีเซลทำได้ยาก นอกจากนี้ยังกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ออกจากผลิตภัณฑ์ได้ยาก คือจะต้องใช้ปริมาณน้ำในการล้างผลิตภัณฑ์ในปริมาณสูง ดังนั้นการใช้เอนไซม์ไลเปสมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อแก้ปัญหาดังที่กล่าวนี้ โดยจะพบว่าหากใช้เอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะสามารถแยกกลีเซอรอลซึ่งเป็นผลพลอยได้ออกจากไบโอดีเซลได้ง่าย แต่ข้อเสียคือมีราคาแพง

ตารางที่ 2.8 การเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด เบส กรด เอมีน และ แอลกอฮอล์ในภาวะเหนือจุดวิกฤต [10]

ตัวแปร	ตัวเร่งปฏิกิริยา ชนิดเบส	ตัวเร่งปฏิกิริยา ชนิดกรด	ตัวเร่งปฏิกิริยา เอมีนไลเปส	แอลกอฮอล์ในภาวะ เหนือจุดวิกฤต
อุณหภูมิในการทำ ปฏิกิริยา (°C)	60 – 70	55 – 80	30 – 40	239 – 385
กรดไขมันอิสระใน วัตถุดิบ	เกิดสบู่	เกิดเอสเทอร์	เกิดเมทิลเอสเทอร์	เกิดเอสเทอร์
ปริมาณน้ำในวัตถุดิบ	มีผลต่อปฏิกิริยา	มีผลต่อปฏิกิริยา	ไม่มีผลต่อปฏิกิริยา	
ปริมาณเมทิลเอสเทอร์	ปกติ	ปกติ	สูง	ดี
การแยกกลีเซอรอล	ยาก	ยาก	ง่าย	
การทำให้เมทิล เอสเทอร์บริสุทธิ์	ทำการล้างซ้ำ	ทำการล้างซ้ำ	ไม่ต้อง	
ต้นทุนในการผลิต	ถูก	ถูก	ค่อนข้างแพง	ปานกลาง

2.3.6.4 ผลของเวลาและอุณหภูมิการทำปฏิกิริยา

อัตราในการเกิดผลิตภัณฑ์จะแปรผันโดยตรงกับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือถ้าใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ได้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น สำหรับอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันอย่างมาก พบว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้เองที่อุณหภูมิห้องแต่ต้องใช้เวลาานานมาก ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเดือดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ เช่น ถ้าใช้เอทานอลอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 60 – 70 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส เป็นต้น

2.3.6.5 ผลของอัตราการกวนผสม

อัตราการกวนผสมเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเพราะน้ำมันหรือไขมันสัตว์ ที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลนั้นไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นในระบบจึงต้องมีการกวนผสมเพื่อให้เนื้อสารเกิดการสัมผัสกัน ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจึงจะสามารถเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์

2.4 สมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ (Cold flow properties) [3, 4, 11, 12]

สมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ (cold flow properties) ของไบโอดีเซล เป็นสมบัติที่สำคัญมากสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำหรือในเขตภูมิอากาศแบบอบอุ่นและแบบอาร์คติก ซึ่งถือว่าเป็นปัญหาสำคัญในการนำน้ำมันไบโอดีเซลไปใช้งาน โดยจะพบว่าพฤติกรรมของเชื้อเพลิงหลายชนิดรวมถึงไบโอดีเซลเมื่ออยู่ภายใต้อุณหภูมิต่ำของสภาพแวดล้อมที่ลดต่ำลง เชื้อเพลิงที่ใช้จะมีพฤติกรรมกลายเป็นของแข็ง (Solidification) บางส่วนในสภาพอากาศหนาว ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการอุดตันของท่อและไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิง นำไปสู่การขาดน้ำมันเชื้อเพลิง และอีกหลากหลายปัญหาในระหว่างการผลิตเครื่องยนต์

สำหรับเกณฑ์คุณภาพที่สำคัญในการพิจารณาคุณสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซล จะพิจารณา 4 ปัจจัย ดังนี้คือ

1. จุดหมอก (Cloud Point, CP)
2. จุดไหลเท (Pour Point, PP)
3. จุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (Cold Filter Plugging Point, CEPP)
4. การทดสอบการไหลที่อุณหภูมิต่ำ (Low-Temperature Flow Test, LTFT)

สมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลนั้นจะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิต สำหรับไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มและไขมันสัตว์จะมีประสิทธิภาพต่ำที่สุด ในขณะที่ไบโอดีเซลที่ผลิตจากเมล็ดเรพจะมีประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นไบโอดีเซลที่ผลิตได้ในประเทศไทยซึ่งใช้น้ำมันปาล์มเป็นวัตถุดิบหลักจึงมีข้อด้อยในเรื่องสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

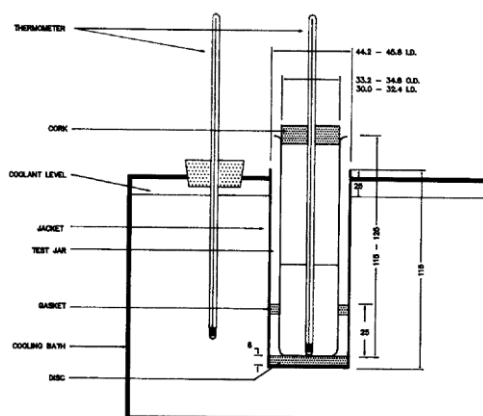
2.4.1 เกณฑ์คุณภาพสำหรับการประเมินสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซล

2.4.1.1 จุดหมอก (Cloud Point, CP)

จุดหมอก คืออุณหภูมิต่ำที่ไขมันเชื้อเพลิงรวมตัวกันเกิดเป็นผลึกของไข (Wax) ที่สามารถมองเห็นคล้ายกลุ่มหมอก เมื่อทำให้อุณหภูมิลดต่ำลงด้วยอัตราเร็วคงที่ สามารถทำการทดสอบได้ตามมาตรฐาน ASTM D 2500 โดยทั่วไปจุดหมอกจะมีค่าสูงกว่าหรือเท่ากับจุดไหลเท น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวโมเลกุลใหญ่ จะมีจุดหมอกสูง เนื่องจากเกิดการตกผลึกได้ง่ายเมื่อใช้งานที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ทำให้เกิดการอุดตันของไส้กรองน้ำมันอย่างรวดเร็ว ขัดขวางการฉีดพ่นน้ำมันเป็นฝอยเข้าห้องเครื่องยนต์

สำหรับประเทศไทยยังไม่มีกำหนดค่าจุดหมอก (Cloud Point) สำหรับน้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลทั้งนี้เนื่องมาจากตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อน การหาค่าจุดหมอกสามารถทำการทดสอบได้โดยใส่น้ำมันดีเซลหรือน้ำมันไบโอดีเซลไว้ในภาชนะใสแล้วทำการลด

อุณหภูมิด้วยอัตราเร็วคงที่จนสามารถมองเห็นผลึกที่คล้ายกลุ่มหมอกได้ ทำให้การทดสอบนี้จะมี ความคลาดเคลื่อนจากผู้ทดลองสูง โดยทั่วไปจุดเกิดหมอกจะมีค่าประมาณ 10 – (-)20 องศาเซลเซียส สำหรับในยุโรปนิยมใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐาน EN 23015



รูปที่ 2.7 เครื่องมือสำหรับทดสอบหาจุดหมอก (Cloud Point)

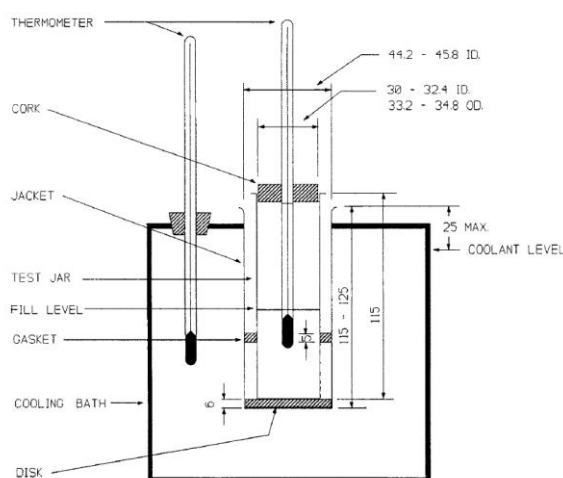
2.4.1.2 จุดไหลเท (Pour Point, PP)

จุดไหลเท คืออุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่น้ำมันเชื้อเพลิงยังคงสภาพเป็นของไหล (Fluidity) ซึ่งเป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับปริมาณไขของน้ำมันเชื้อเพลิงเช่นเดียวกับจุดเกิดหมอก แต่จะใช้ความสามารถในการไหลในการวัดแทน สามารถทำการทดสอบได้ตามมาตรฐาน ASTM D 97 โดยทั่วไปจุดไหลเทจะมีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าจุดหมอกประมาณ 5 – 11 องศาเซลเซียส โดยจุดไหลเทจะขึ้นกับอยู่กับชนิดและปริมาณของไข (Wax) ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันเป็นหลัก จุดไหลเทถือเป็นข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิงที่จำเป็นเมื่อต้องใช้งานในภาวะอุณหภูมิต่ำ ไขหรือผลึกที่แยกตัวออกมาจะอุดตันท่อส่งเชื้อเพลิงและหม้อกรอง น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่มีกรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) โมเลกุลใหญ่ปริมาณมาก จะส่งผลให้มีจุดไหลเทสูงกว่า น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากวัตถุดิบประเภทอื่น ๆ

สำหรับประเทศไทย กรมธุรกิจพลังงานไม่ได้มีการกำหนดค่าสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลประเภทประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (B100) มีเพียงการกำหนดจุดไหลเท (Pour point) ของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วธรรมดา น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว B5 และน้ำมันดีเซลหมุนช้า ดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 แสดงอัตราสูงต่ำของจุดไหลเท (Pour point) ของน้ำมันดีเซลชนิดต่างๆ ตามที่กรมธุรกิจพลังงานได้ประกาศกำหนดไว้

ชนิดของน้ำมันดีเซล	จุดไหลเท (Pour Point)
น้ำมันดีเซลหมุนเร็วธรรมดา	ไม่สูงกว่า 10 องศาเซลเซียส
น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว B5	ไม่สูงกว่า 10 องศาเซลเซียส
น้ำมันดีเซลหมุนช้า	ไม่สูงกว่า 16 องศาเซลเซียส

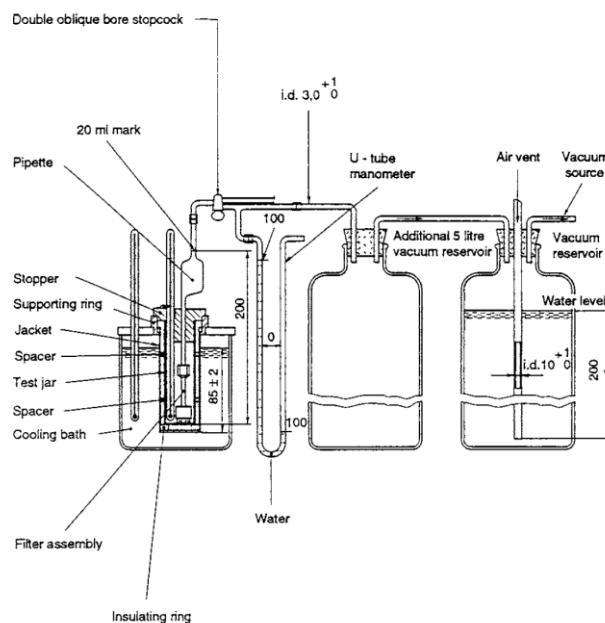


รูปที่ 2.8 เครื่องสำหรับทดสอบหาจุดไหลเท (Pour Point)

2.4.1.3 จุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (Cold Filter Plugging Point, CEPP)

จุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ จะเป็นวิธีการทดสอบที่พัฒนาขึ้นเพื่อทำนายพฤติกรรมการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิต่ำ การทดสอบจุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ จะทำการทดสอบโดยใช้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง 20 มิลลิลิตร ให้ไหลผ่านไส้กรองขนาด 45 ไมครอน ภายใต้ความดัน 0.0194 atm จะทำการบันทึกอุณหภูมิทุกๆ 1 องศาเซลเซียส โดยน้ำมันเชื้อเพลิงจะต้องไหลผ่านไส้กรองได้ภายในเวลา 60 วินาที

ดังนั้นจุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ คืออุณหภูมิสูงสุดที่บันทึกทุกๆ 1 องศาเซลเซียส ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่ผ่านไส้กรองตามมาตรฐานในเวลาที่กำหนด เมื่อทำให้อุณหภูมิต่ำลง สามารถทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 6371

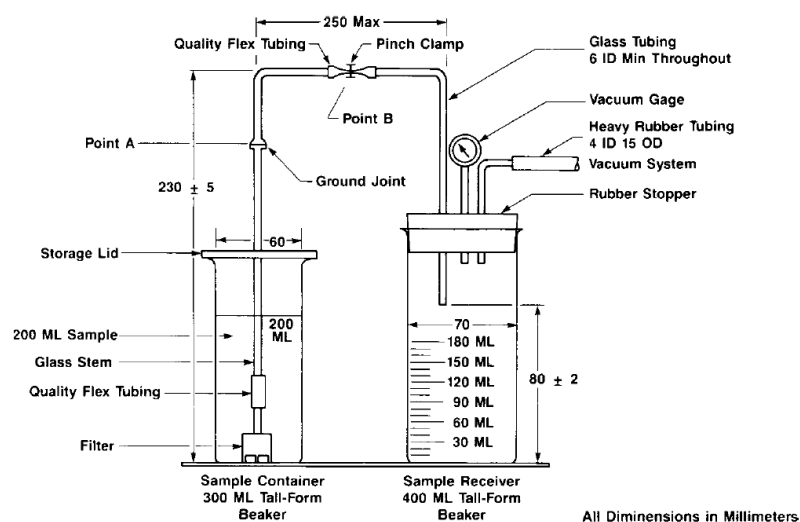


รูปที่ 2.9 เครื่องมือสำหรับหาจุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (Cold Filter Plugging Point)

2.4.1.4 การทดสอบการไหลที่อุณหภูมิต่ำ (Low-Temperature Flow Test, LTFT)

การทดสอบการไหลที่อุณหภูมิต่ำ จะเป็นการวัดประสิทธิภาพการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันเชื้อเพลิงเช่นเดียวกัน โดยจะใช้ปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิง 180 มิลลิลิตร ใช้อัตราการลดลงของอุณหภูมิคงที่คือ 1 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง โดยให้ไหลผ่านไส้กรองขนาด 17 ไมครอน ภายใต้ความดัน 0.197 atm

ดังนั้นการทดสอบการไหลที่อุณหภูมิต่ำ คืออุณหภูมิที่ต่ำสุดที่บันทึกได้ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผ่านการไหลในสภาวะที่กำหนด สามารถทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 4539



รูปที่ 2.10 เครื่องมือสำหรับการทดสอบการไหลที่อุณหภูมิต่ำ (Low-Temperature Flow Test)

โดยทั่วไปแล้วน้ำมันไบโอดีเซลจะมีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำที่ต่ำกว่าน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม จุดหลอมเหลวของเมทิลเอสเทอร์บริสุทธิ์จะขึ้นอยู่กับความยาวของสายโซ่และระดับของความไม่อิ่มตัวของสายโซ่ สารประกอบอิ่มตัวที่มีสายโซ่ยาวจะแสดงพฤติกรรมที่อุณหภูมิต่ำที่ไม่ดี ดังนั้นน้ำมันไบโอดีเซลบริสุทธิ์ที่ได้มาจากสารที่มีสารประกอบอิ่มตัวสูง เช่น เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มหรือไขมันจากสัตว์ อาจส่งผลกระทบต่อการใช้งานของน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่ออุณหภูมิต่ำลงในฤดูหนาวสำหรับในบางพื้นที่ทางภาคเหนือของประเทศไทย

2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซล [11]

ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของปาล์มไบโอดีเซล จะขึ้นอยู่ความยาวสายโซ่ และระดับความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันจากวัตถุดิบที่นำมาผลิต โดยไบโอดีเซลที่ผลิตจากวัตถุดิบที่มีสายโซ่ยาว และมีปริมาณของกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณมาก จะส่งผลให้มีความสามารถในการไหลที่อุณหภูมิต่ำลดลง วัตถุดิบที่มีข้อด้อยในเรื่องนี้คือ ปาล์มน้ำมันและไขมันสัตว์ ในทางตรงกันข้ามไบโอดีเซลที่ผลิตจากวัตถุดิบที่มีสายโซ่สั้นและมีกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณน้อยก็จะส่งผลให้มีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำที่ดีกว่า เช่น ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมัน คาโนลา น้ำมันมะกอก น้ำมันจากเมล็ดเรพ และน้ำมันจากดอกทานตะวัน เป็นต้น ซึ่งจะมีค่าจุดหมอกและจุดไหลเทต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 แสดงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลที่ได้จากชนิดของน้ำมันและ แอลกอฮอล์ที่แตกต่างกัน [11]

ชนิดของ น้ำมัน	ชนิดของ แอลกอฮอล์	CP (°C)	PP (°C)	CFPP (°C)	LTFT (°C)
น้ำมันคาโนลา	เมทานอล	1	-9		
น้ำมันมะพร้าว	เอทานอล	5	-3		
น้ำมันดอกทานตะวัน (กรดโอเลอิกสูง)	เมทานอล			-12	
น้ำมันมะกอก	เมทานอล	-2	-3	-6	
น้ำมันปาล์ม	เมทานอล	13	16		
น้ำมันเมล็ดเรพ	เมทานอล	-2	-9	-8	
	เอทานอล	-2	-15		
น้ำมันถั่วเหลือง	เมทานอล	0	-2	-2	0
	เอทานอล	1	-4		
	ไอโซโพรพานอล	-9	-12		
	2-บิวทานอล	-12	-15		
ไขมันสัตว์	เมทานอล	17	15	9	20
	เอทานอล	15	12	8	13
น้ำมันที่ใช้แล้ว	เมทานอล			-1	

นอกจากนี้ยังพบว่าสิ่งเจือปนอื่นๆ ปริมาณเล็กน้อยที่ผสมอยู่ในน้ำมันไบโอดีเซล อาจส่งผลต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลได้ เช่น แอลกอฮอล์ และกรดไขมันอิสระ เป็นต้น

2.4.3 กลไกของสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ [13]

การทำงานของเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิต่ำจะส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิงรวมตัวกันและเริ่มก่อตัวเป็นเจล ทำให้เกิดเป็นผลึกของแข็งขึ้นภายในโมเลกุลของเหลวของน้ำมันเชื้อเพลิง ผลึกของแข็งที่เกิดขึ้นจะเกิดจากการที่โมเลกุลของเหลวของน้ำมันเชื้อเพลิงสร้างสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์โดยสร้างแรงกระทำระหว่างโมเลกุล สมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์จะถูกสร้างขึ้นเมื่ออุณหภูมิของของเหลวลดต่ำกว่าจุดหลอมเหลว (Melting point) ของน้ำมันเชื้อเพลิง

กระบวนการเกิดผลึกจะประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกจะเรียกว่าการเกิดนิวเคลียส (Nucleation) คือการที่โมเลกุลของเหลวจะเริ่มจับตัวกันเกิดเป็นผลึกของแข็งจำนวนมาก (Crystal lattices) ขั้นตอนที่สองจะเป็นขั้นตอนการเติบโตของผลึก ซึ่งผลึกจะค่อยๆ โตขึ้นจากในขั้นตอนแรก ในขณะที่ผลึกค่อยๆ โตขึ้นก็จะส่งผลให้เกิดเป็นชั้นของผลึกเกิดขึ้น และเกิดการรวมตัวกันเป็นผลึกของแข็งขนาดใหญ่ การเติบโตของผลึกอย่างต่อเนื่องจะส่งผลให้น้ำมันเชื้อเพลิงเริ่มกลายเป็นของแข็งที่ไม่สามารถไหลได้เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ทำให้เกิดปัญหาการขาดน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ได้

2.4.4 การปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ [11]

ถึงแม้ว่าไบโอดีเซลจะมีข้อดีมากมายหลายประการ แต่สมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลก็ยังคงเป็นประเด็นสำคัญในหลายปีที่ผ่านมา ในหลายๆ งานวิจัยจะแสดงให้เห็นว่าเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ได้ เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้สมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลลดลงเมื่ออุณหภูมิเข้าใกล้ 0 องศาเซลเซียส ในเวลากลางคืนอุณหภูมิของโลกจะลดต่ำลง ซึ่งจะส่งผลให้สารประกอบเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันจะกลายเป็นของแข็ง และเกิดเป็นผลึกซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการอุดตันภายในท่อส่งน้ำมันและตัวกรองในเครื่องยนต์ได้ ณ อุณหภูมิต่ำ สารพาราฟินที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จะปรากฏให้เห็นในน้ำมันดีเซล และเกิดเป็นผลึกของแข็งซึ่งกระจายตัวอยู่ในของเหลว ซึ่งจะประกอบด้วยสารประกอบแอลคินสายสั้นๆ และสารประกอบอะโรมาติก

การปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลสามารถทำได้หลากหลายวิธี ดังนี้คือ

2.4.4.1 การผสมเมทิลเอสเทอร์ หรือเอทิลเอสเทอร์จากกรดไขมันกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม (Blending of fatty acid methyl/ ethyl ester with conventional diesel fuel)

การผสมเมทิลเอสเทอร์ หรือเอทิลเอสเทอร์จากกรดไขมันกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม เป็นวิธีการที่ใช้งานกันมากที่สุดเพราะมีราคาค่อนข้างถูก ไม่มีขั้นตอนกระบวนการเพิ่มเติม และเชื้อเพลิงที่ผสมได้ก็มีความสมบัติตามมาตรฐาน ไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อการทำงานของเครื่องยนต์ และสามารถปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2.4.4.2 การเตรียมเอสเทอร์ของกรดไขมันทำกับแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่กิ่ง

(Preparation of fatty esters with branched chain alcohols)

ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน หรือปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่กิ่งแทนการใช้เมทานอลในการทำปฏิกิริยาเป็นวิธีการเปลี่ยนโซ่กิ่งของเมทิลเอสเทอร์ให้เป็นหมู่ของแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่กิ่ง หรือมีขนาดใหญ่ขึ้น สามารถเพิ่มความเกะกะ (Steric effect) ให้กับโครงสร้างของไบโอดีเซล จึงส่งผลให้สามารถ

ขัดขวางการเกิดเป็นผลึก ทำให้การการจับตัวผลึกในไบโอดีเซลเกิดขึ้นได้ยากขึ้น ตัวอย่างของ แอลกอฮอล์สายโซ่กิ่งที่สามารถลดค่าจุดหมอกและจุดไหลเทของไบโอดีเซล ได้แก่ ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์, ไอโซบิวทิลแอลกอฮอล์ และ 2-บิวทิลแอลกอฮอล์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่า แอลกอฮอล์ที่ใช้จะสามารถปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลได้ แต่เนื่องจาก แอลกอฮอล์เหล่านี้จะมีราคาแพงกว่าเมทานอล ในระดับอุตสาหกรรมจึงไม่เป็นที่นิยมใช้

2.4.4.3 การตกผลึกลำดับส่วน หรือการทำให้เย็น

(Crystallization Fractionation or Winterization)

การตกผลึกลำดับส่วน หรือการทำให้เย็น เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลได้ โดยจะเป็นกระบวนการตกผลึกของสารที่มีจุดหลอมเหลวสูง และมีปริมาณน้อยออกจากร้ำมันไบโอดีเซล ทำให้น้ำมันที่ได้มีความใส สามารถป้องกันการเกิดเป็นผลึกไขมันแข็งตัวได้เมื่ออุณหภูมิต่ำลง เป็นวิธีการที่ทำให้ไขมันน้อยๆ ลดต่ำลงอย่างช้าๆ จะทำให้สารผสมของเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน เข้าสู่สมดุลที่อุณหภูมิหนึ่งระหว่างจุดหมอกและจุดไหลเท หลังจากนั้นจึงทำการแยกผลึกที่ตกตะกอนช้าๆ หลายครั้ง ผ่านการกรองหรือการเหวี่ยงแยก (Centrifugation) ส่งผลให้เกิดการสูญเสียเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัวไปด้วย เมื่อมันถูกยึดจับอยู่ในผลึกที่ตกตะกอน หลังจากนั้นนำไปผ่านการกรอง วิธีการนี้จะมีข้อเสียคือร้อยละผลผลิตของผลิตภัณฑ์มีค่าต่ำ (%Product yield) เนื่องจากการตกผลึกเอาไขมันบางส่วนออกไป แต่ส่งผลให้ไบโอดีเซลที่ได้จะมีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำที่ดีขึ้น

2.4.4.4 การใช้สารเติมแต่งที่ช่วยปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ

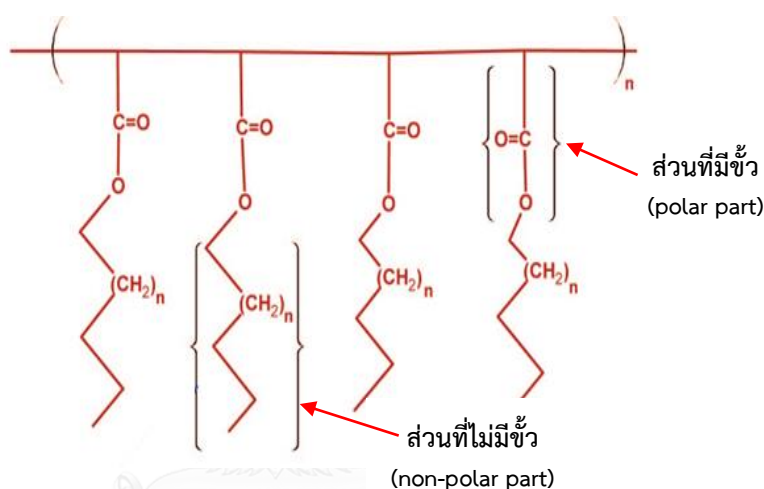
(Use of chemical additives)

วิธีการนี้เป็นวิธีที่มีความน่าสนใจมากที่สุดในอุตสาหกรรมไบโอดีเซล เนื่องจากสามารถปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำได้ดี โดยสามารถลดจุดหมอกและจุดเริ่มไหลได้ โดยใช้สารเติมแต่งที่สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำในปริมาณน้อย และไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติอื่นๆ ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้

สารเติมแต่งทางเคมีที่ใช้สำหรับปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ โดยส่วนใหญ่จะเรียกว่าสารลดจุดเริ่มไหล (Pour Point Depressants, PPDs) เพื่อทำให้ไขมันจุดหมอกและจุดไหลเทให้มีค่าลดลง

2.4.5 สารลดจุดเริ่มไหล (Pour Point Depressants, PPDs)

สารลดจุดเริ่มไหล (Pour Point Depressants, PPDs) จะมีโครงสร้างสำคัญ 2 ส่วน คือส่วนที่มีขั้ว (Polar part) และส่วนที่ไม่มีขั้ว (Non-polar part) เมื่ออุณหภูมิของไบโอดีเซลลดต่ำลง สารลดจุดเริ่มไหลที่เติมลงไปไบโอดีเซล โมเลกุลในส่วนที่มีขั้วจะเป็นส่วนที่เข้าไปขัดขวางการจับตัวเป็นผลึกของแข็งน้ำมันเชื้อเพลิง ทำให้เกิดผลึกเป็นของแข็งได้ยากขึ้น ในขณะที่ส่วนที่ไม่มีขั้วก็ จะทำปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของผลึก จนกลายเป็นผลึกของแข็งขนาดใหญ่ โดยสารลดจุดเริ่มไหลที่เติมลงไปจะมีหน้าที่ในการลดจุดหมอกและจุดไหลเทของน้ำมันเชื้อเพลิงได้

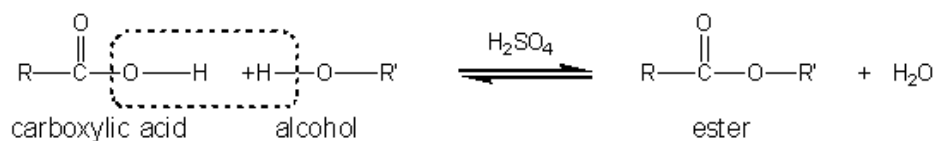


รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของสารลดจุดเริ่มไหล (Pour Point Depressants, PPDs)

2.5 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification)

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันสามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับผลิตไบโอดีเซลได้ โดยจะเป็นปฏิกิริยาทางเคมีของกรดไขมัน โดยทั่วไปกรดไขมันอิสระที่เสื่อมสภาพหรือน้ำมันที่ใช้แล้วจะสามารถทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์และกรด ได้เป็นแอลคิลเอสเทอร์และน้ำ ซึ่งกระบวนการนี้จะแตกต่างจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เนื่องจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันจะสามารถเกิดได้โดยตรงระหว่างโมเลกุลของแอลกอฮอล์และโมเลกุลของกรดไขมัน ทำให้ในขั้นกลาง (Intermediate step) ของการแยกสายโซ่กรดไขมันออกจากกลีเซอรอลไม่ปรากฏขึ้นในระบบ ด้วยเหตุผลนี้เองปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันจึงไม่มีการสร้างกลีเซอรอลเกิดขึ้น

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดไขมันและเมทานอล โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โมเลกุลของกรดไขมันจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของเมทานอล เพื่อเกิดเป็นเมทิลเอสเทอร์และโมเลกุลของน้ำ ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดไขมันและเมทานอล

ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยทั่วไปจะเหมาะสมสำหรับวัตถุดิบคือ น้ำมันพืชบริสุทธิ์ และไขมันจากสัตว์ที่มีสิ่งปนเปื้อนต่ำ เช่น กรดไขมันอิสระ และโปรตีนซัลเฟต ซึ่งจะเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาในระหว่างกระบวนการผลิต และผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลที่ได้

สำหรับในกรณีน้ำมันที่ใช้แล้วที่ได้จากการปรุงอาหารในร้านอาหาร หรือถึงดักเก็บไขมันในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โดยทั่วไปจะมีสีเหลืองคล้ำหรือสีน้ำตาล ซึ่งเกิดจากกระบวนการสลายตัวทางความร้อนและทางเคมีของน้ำมัน ดังนั้นเมื่อน้ำมันสัมผัสกับน้ำก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ซึ่งก็คือปฏิกิริยาการย่อยสลายของกรดไขมัน โดยทั่วไปหากทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสจะทำให้เกิดเป็นสบู่ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลได้ ซึ่งจะต้องกำจัดออกทำให้สูญเสียพลังงานและค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังต้องใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นซึ่งจะเป็นการเพิ่มต้นทุนในกระบวนการผลิต หรืออาจจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดไม่สมบูรณ์ได้ สำหรับกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันที่นำมาเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซล โดยทั่วไปหากมีปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ จะส่งผลให้เกิดสบู่ได้ในกรณีที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส

ดังนั้นสำหรับปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด จะเหมาะสมสำหรับวัตถุดิบที่มีการเสื่อมสภาพแล้ว เช่น ไขมันของสัตว์ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง และน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ซึ่งจะมีปริมาณกรดไขมันอิสระมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์จะทำให้มีความยากสำหรับการผลิตไบโอดีเซลเนื่องจากปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีความเข้มข้นมากขึ้น จะต้องมีการทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันซ้ำและต้องกำจัดน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ และขั้นตอนทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์ ในปัจจุบันการวิธีการผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบที่มีกรดไขมันอิสระสูง (Ultra-high-free fatty acid) ยังคงเป็นเทคโนโลยีที่ทำได้ยากและยังมีค่าใช้จ่ายในการผลิตที่สูง

สำหรับปัญหาหลักสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบประเภทนี้ ก็คือ

1. กระบวนการแยกและกระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์เป็นขั้นตอนที่ทำให้เกิดการสูญเสียผลิตภัณฑ์ และเพิ่มต้นทุนในการผลิต

2. ปริมาณกำมะถันที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ได้ มีปริมาณเกินกว่าที่มาตรฐาน ASTM D 6751 กำหนด ซึ่งปริมาณกำมะถันในไบโอดีเซลที่ได้ต้องมีค่าไม่เกิน 15 ppm และการกำจัดกำมะถันออกยังเป็นกระบวนการที่มีราคาแพงและยังมีประสิทธิภาพต่ำ
3. กระบวนการทำไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์โดยวิธีการล้างด้วยน้ำ จะเป็นกระบวนการที่มีราคาสูงและสิ้นเปลืองทรัพยากรอีกด้วย

2.5.1 ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่กิ่ง

ปฏิกริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่กิ่ง คือปฏิกริยา เอสเทอร์ฟิเคชันโดยทั่วไประหว่างไตรกลีเซอไรด์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ โดยจะทำการเปลี่ยนแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกริยาจากเดิมที่ใช้เมทานอลมาเป็นแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่กิ่ง หรือแอลกอฮอล์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อเป็นการเปลี่ยนโซ่กิ่งของเมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester) ซึ่งสามารถเพิ่มความเกะกะ (Steric effect) ให้กับโครงสร้างของไบโอดีเซลที่ได้ ส่งผลดีในเรื่องปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลให้ดีขึ้น เป็นผลมาจากความเกะกะของโครงสร้างไบโอดีเซล ที่จะส่งผลให้สามารถขัดขวางการเกิดเป็นผลึก ทำให้เกิดการจับตัวผลึกในไบโอดีเซลได้ยากขึ้น

ตัวอย่างของแอลกอฮอล์สายโซ่กิ่งที่สามารถเพิ่มสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลให้ดีขึ้น ได้แก่ ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ ไอโซบิวทิลแอลกอฮอล์ และ 2-บิวทิลแอลกอฮอล์ เป็นต้น

2.6 เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC Technique)

เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC) เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ทางความร้อนของวัสดุ (Thermal analysis) ซึ่งสามารถประยุกต์นำมาใช้วิเคราะห์กับวัสดุได้หลากหลายชนิด เช่น แก้ว เซรามิก พลาสติก และยาง เป็นต้น เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ หรือเรียกสั้นๆ ว่า เครื่อง DSC เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Heat flow) ของตัวอย่างเมื่อได้รับความร้อนเมื่อเทียบกับตัวอย่างอ้างอิง โดยจะเป็นการดูการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดหรือกระบวนการคายความร้อน (Endothermic or exothermic processes) และการเปลี่ยนแปลงความจุความร้อน (Heat capacity changes) ของวัสดุ หลักการพื้นฐานของเครื่อง DSC คือการนำภาตใส่ตัวอย่าง 2 ภาตไปผ่านการให้ความร้อนพร้อมๆ กัน ด้วยอัตราคงที่ ภาตแรกจะเป็นภาตสำหรับบรรจุตัวอย่าง (Sample pan) ส่วนภาตที่สองจะเป็นภาตอ้างอิง (Reference pan) ซึ่งจะเป็นภาตเปล่า ความร้อนที่ให้กับสารตัวอย่าง (Heat flow) จะมีค่าสอดคล้องกับพลังงานที่ให้กับ

สารตัวอย่างที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะไป และวัดในหน่วยมิลลิวัตต์ (milliwatts, mW) เมื่อนำค่าพลังงานความร้อนมาคูณด้วยเวลาที่ใช้ จะได้เป็นค่าปริมาณพลังงาน ในหน่วยมิลลิวัตต์วินาที (mW.s) หรือมิลลิจูล (mJ) โดยพลังงานที่ให้กับสารตัวอย่างจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี (Enthalpy) ของสารตัวอย่าง

เทคนิค DSC จะเป็นการวิเคราะห์ที่นำมาใช้อย่างแพร่หลายตั้งแต่ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี พลาสติก เซรามิก ยาง อิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ รวมไปถึงอุตสาหกรรมทางด้านอาหารและยา ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ทั้งในงานสำหรับวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ และงานวิจัย

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเทคนิค DSC เช่น

- วิเคราะห์อุณหภูมิการหลอมเหลวของวัสดุ (Melting temperature หรือ Tm)
- วิเคราะห์อุณหภูมิสถานะคล้ายแก้วของวัสดุ (Glass transition temperature หรือ Tg)
- วิเคราะห์อุณหภูมิการเกิดผลึกของวัสดุ (Crystallization temperature หรือ Tc)
- วิเคราะห์ปริมาณผลึกของวัสดุพอลิเมอร์ (%Crystallinity)
- วิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของสาร (Purity) เป็นต้น

สำหรับเทคนิค DSC สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซล และไบโอดีเซลที่มีการเติมสารลดจุดเริ่มไหลหรือสารเติมแต่ง เมื่อทำให้อุณหภูมิของตัวอย่างค่อยๆ ลดต่ำลงด้วยอัตราเร็วคงที่ จะสามารถวัดหาอุณหภูมิจุดที่เกิดผลึกของไบโอดีเซล (Crystallization temperature) ได้ ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ประเมินสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลร่วมกับการทดสอบอื่นๆ เช่น จุดหมอก (CP) จุดไหลเท (PP) และจุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (CFPP) สำหรับข้อดีของการใช้เทคนิคนี้คือ เป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่าย ใช้ปริมาณตัวอย่าง และเวลาในการทดสอบน้อย

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

I. Lee และคณะ (1995) [14] ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลปกติ และไบโอดีเซลที่ได้จากการทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่กิ่ง คือไอโซโพรพิลเอสเทอร์ และ 2-บิวทิลเอสเทอร์ของน้ำมันถั่วเหลือง (10wt% palmitate) ผลการศึกษาโดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC) พบว่าสารทั้งสองชนิดจะตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำกว่าเมทิลเอสเทอร์ปกติ คือ 7 – 11 องศาเซลเซียส และ 12 – 14 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

X. Lang และคณะ (2001) [15] ศึกษาการสังเคราะห์และตรวจสอบสมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ โดยเมทิล, เอทิล, 2-โพรพิล และบิวทิลเอสเทอร์สามารถเตรียมได้จากน้ำมัน

คาโนลาและน้ำมันเมล็ดฝ้าย ส่วนเมทิลและเอทิลเอสเทอร์สามารถเตรียมได้จากน้ำมันเมล็ดเรพและน้ำมันดอกทานตะวัน โดยผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน และใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และ/หรือโซเดียมแอลกอฮอล์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากการศึกษาจะพบว่าเมทิลและเอทิลเอสเทอร์ที่เตรียมได้มีค่าความหนืด, จุดหมอกและจุดไหลเทที่ใกล้เคียงกัน ส่วนค่าความหนาแน่นจะมีค่าสูงกว่าน้ำมันดีเซล 2 – 7 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าความหนาแน่นของเมทิล ~2-โพรพิล > เอทิล > บิวทิลเอสเทอร์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าบิวทิลเอสเทอร์มีความสามารถในการลดค่าจุดหมอก (-6 ถึง -10 องศาเซลเซียส) และจุดไหลเท (-13 ถึง -16 องศาเซลเซียส) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่มีค่าจุดหมอกและจุดไหลเทเท่ากับ -8 และ -15 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

C.W. Chiu และคณะ (2004) [16] ศึกษาวิธีการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลือง โดยทำการศึกษาผลของการผสมน้ำมันก๊าด 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และผลของสารช่วยปรับปรุงการไหล 4 ชนิด ทำการแปรปริมาณ 0.1 – 2 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาพบว่าการผสมกับน้ำมันก๊าดทำให้จุดเยือกแข็งของไบโอดีเซลที่ได้ต่ำลง ส่งผลให้ค่าจุดหมอกและจุดไหลเทลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้สารลดจุดเริ่มไหลทั้ง 4 ชนิด ช่วยลดค่าจุดหมอกได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ต้องใช้ร่วมกับน้ำมันก๊าด โดยไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองที่ผสมด้วยสารช่วยปรับปรุงการไหล 0.2 เปอร์เซ็นต์ และน้ำมันก๊าด 20 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดจุดไหลเทได้ 27 องศาเซลเซียส ผลของสารช่วยปรับปรุงการไหล หรือสารลดจุดไหลเทของไบโอดีเซล โดยส่วนใหญ่จะทำให้เกิดผลึกรูปเข็มขนาดเล็ก (10 – 100 มิลลิเมตร) ซึ่งผลึกดังกล่าวจะทำหน้าที่ในการลดการเพิ่มขนาดของผลึก และลดอัตราการเติบโตของผลึกอย่างมีนัยสำคัญ

B.R. Moser และคณะ (2006) [17] ศึกษาวิธีการสังเคราะห์อนุพันธ์ของกรดไขมันชนิดไฮดรอกซีเทอร์ โดยทำการสังเคราะห์จากอนุพันธ์ของอิพอกซีไดไซโซโพรพิลโอลลีเอตทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์หลายชนิด โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าจุดหมอกและจุดไหลเทมีค่าลดลงเมื่อใช้แอลกอฮอล์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น โดย isopropyl 9(10)-(2-ethylhexoxy)-10(9)-hydroxystearate จะมีค่าจุดหมอกและจุดเริ่มไหลต่ำสุดอยู่ที่ -23 และ -24 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

P.V. Bhale และคณะ (2009) [18] ศึกษาการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันต้นมะขาง (Mahua methyl ester, MME) โดยทำการศึกษาผลของเอทานอล น้ำมันก๊าด และสารลดจุดเริ่มไหล (Lubrizol 7671) ผลการศึกษาพบว่าเมื่อผสมกับเอทานอล 20 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดจุดหมอกได้ 10 องศาเซลเซียส และจุดไหลเทลดลงได้ 11 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับการผสมด้วยน้ำมันก๊าด 20 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดจุดหมอกได้ 13 องศาเซลเซียส และจุดไหลเทลดลงได้ 15 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าการผสมด้วยน้ำมันก๊าดสามารถปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของ MME ได้ดีกว่าการผสมด้วยเอทานอล

นอกจากนี้ผลการศึกษาเพิ่มเติมยังพบอีกว่าการเติมสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ 2 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลที่ดีใกล้เคียงกับการผสมด้วยเอทานอล 20 เปอร์เซ็นต์ โดยการผสมด้วยเอทานอล 20 เปอร์เซ็นต์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้และช่วยลดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ได้เกือบ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพทางความร้อน

P.C. Smith และคณะ (2009) [19] ศึกษาการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันคาโนลา โดยทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ เช่น เมทานอล เอทานอล และบิวทานอล จากนั้นนำไบโอดีเซลที่ได้ผ่านปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน และปฏิกิริยาแอลคอกซิเลชัน คือการเติมหมู่แอลคอกซิชนิดต่างๆ ได้แก่ เมทอกซี เอทอกซี และบิลทอกซี ในภาวะที่เหมาะสม ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มความยาวของหมู่แอลคอกซิเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราในการเกิดปฏิกิริยาลดลง สำหรับผลการศึกษาการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลพบว่าการเติมเมทอกซี และเอทอกซีส่งผลให้จุดหมอกของไบโอดีเซลมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเมทิลและเอทิลเอสเทอร์ ตามลำดับ ในขณะที่การเติมหมู่บิลทอกซี ซึ่งมีหมู่แอลคอกซีที่มีสายโซ่ยาวจะทำให้ค่าจุดหมอกมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับบิวทิลเอสเทอร์ คือมีค่าลดลงจาก -3 เป็น -4 องศาเซลเซียส

C. Boshui และคณะ (2010) [20] ศึกษาอิทธิพลของสารช่วยปรับปรุงการไหลที่อุณหภูมิต่ำ (cold-flow improvers) และพฤติกรรมของความหนืดกับอุณหภูมิของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้สารช่วยปรับปรุงการไหล 3 ชนิด คือโอเลฟินส์-เอสเทอร์โคพอลิเมอร์ (Olefin-ester copolymers, OECP) เอทิลีนไวนิลอะซิเตตโคพอลิเมอร์ (Ethylene vinyl acetate copolymer, EACP) และโพลีเมทิลอะคริเลต (Polymethyl acrylate, PMA) ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ดังนี้ คือ 0.00, 0.01, 0.03 และ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่า OECP ที่ปริมาณ 0.03 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีประสิทธิภาพสูงสุดสามารถลดจุดเริ่มไหลได้ 8 องศาเซลเซียส และค่าจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (Cold filter plugging point, CEPP) ได้ถึง 6 องศาเซลเซียส และยังสามารถช่วยลดความหนืดของไบโอดีเซลที่อุณหภูมิต่ำได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังพบว่า OECP สามารถทำหน้าที่เป็นสารต้านการเกิดผลึกและการเพิ่มขนาดของผลึกที่อุณหภูมิต่ำได้

M. Guru และคณะ (2010) [21] ศึกษาถึงผลของการเติมแมกนีเซียม (Mg) ในไบโอดีเซลที่ผลิตจากไขมันไก่ โดยทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซล เช่น จุดไหลเท ความหนืด และจุดวาบไฟ ผลการศึกษาพบว่า การเติมแมกนีเซียมทำให้ไม่เกิดการกักคร่อน และมีค่าจำนวนซีเทนสูงขึ้น แต่ยังมีข้อเสียบางประการ เช่น จุดไหลเทสูง ความหนืดสูง และจุดวาบไฟสูง จึงได้มีการสังเคราะห์แมกนีเซียม เมื่อทำการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารแมกนีเซียม (Mg) จาก 0 เป็น 16 มิลลิโมลต่อลิตร มีผลทำให้จุดไหลเท ความหนืด และจุดวาบไฟของไบโอดีเซลที่ได้มีค่าลดลง ปริมาณของแมกนีเซียม 16 มิลลิโมลต่อลิตร สามารถทำให้จุดไหลเทลดลง 7 องศาเซลเซียส และความหนืดลดลงจาก 5.184 เป็น 4.812 เซนติสโตกส์ และจุดวาบไฟลดลงจาก 129 เป็น 122 องศาเซลเซียส

สามารถสรุปได้ว่าการปรับปรุงสมบัติเหล่านี้สนับสนุนความคิดที่ว่า การเติมสารในสายโซ่ขนาดเล็กของสารไฮโดรคาร์บอนมีผลการการแตกตัวโดยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเอทานอลและเมทานอล รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแอลกอฮอล์ เช่น อีเทอร์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบพื้นฐานของเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยนักวิจัยทั่วโลกได้ให้ความสนใจศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการผสมเอทานอลและเมทานอลในน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซล เพื่อลดปัญหาเรื่องความหนืดของไบโอดีเซล

H. Joshi และคณะ (2010) [22] ศึกษาการปรับปรุงของสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันจากสัตว์ปีกด้วยการเติมเอทานอล ไอโซโพรพานอล และบิวทานอล โดยทำการศึกษาค่าจุดหมอก จุดไหลเท ค่าความหนืด ค่าจุดวาบไฟ ค่าความเป็นกรดและค่าความชื้นจากการทดลองเห็นได้ว่าการผสมเอทานอลลงในเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ทำให้มีความหนืดลดลง ในขณะที่ผสมไอโซโพรพานอลและบิวทานอลลงไปทำให้มีความหนืดเพิ่มมากขึ้น แต่ค่าความหนืดที่ได้ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ ASTM D 6751 และ EN 14214 อย่างไรก็ตามพบว่า การผสมด้วยแอลกอฮอล์ ส่งผลให้จุดวาบไฟที่ได้ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งพบว่าการผสมด้วยบิวทานอลให้จุดวาบไฟที่สูงกว่าการผสมด้วยไอโซโพรพานอลและเอทานอล โดยการผสมด้วยบิวทานอล 5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีจุดวาบไฟเพิ่มสูงขึ้นเป็น 55 องศาเซลเซียส (น้ำมันดีเซล No.2 มีจุดวาบไฟ 52 องศาเซลเซียส) สิ่งที่น่าสนใจที่สุดจากงานวิจัยฉบับนี้คือ การผสมแอลกอฮอล์ลงในเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันมีส่วนในการปรับปรุงค่าความเป็นกรดให้เพิ่มขึ้นตามปริมาณของแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้นด้วย สำหรับผลการศึกษาสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ พบว่าการผสมด้วยแอลกอฮอล์ทั้ง 3 ชนิดสามารถช่วยลดค่าจุดหมอก จุดไหลเท และจุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำได้ โดยพบว่าการผสมด้วยไอโซโพรพานอล และบิวทานอลให้ผลที่ดีใกล้เคียงกัน ซึ่งให้ผลที่ดีกว่าการผสมด้วยเอทานอลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณความชื้นของไบโอดีเซลที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนในการผสมด้วยเอทานอลเมื่อเปรียบเทียบกับ การผสมด้วยไอโซโพรพานอลและบิวทานอล นอกจากนี้ยังไม่พบการแยกชั้นของแอลกอฮอล์และเมทิลเอสเทอร์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิกัดด้วย

T.Q. Chastek และคณะ (2011) [23] ศึกษาวิธีการสำหรับการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันคาโนลา ทำการศึกษาการลดลงของจุดเยือกแข็งโดยใช้ methyl stearate ในตัวทำละลายที่แตกต่างกันทั้งหมด 7 ชนิด และ methyl palmitate ในตัวทำละลายที่แตกต่างกันทั้งหมด 3 ชนิด โดยไม่ใช้การทำนายประสิทธิภาพของการละลายจาก Hildebrand equation ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการทำนายผลกระทบต่อจุดเยือกแข็งของ methyl stearate ในตัวทำละลายแอลเคน (เพนเทน) ได้ถึง 4 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ได้ยังมีความคลาดเคลื่อนที่สูงสำหรับตัวทำละลายชนิดอื่นๆ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการละลายในช่วงกว้างของตัวทำละลายแต่ละชนิด ตัวทำละลายที่ให้ผลที่ดีที่สุดสำหรับการลดลงของจุด

เยือกแข็งคือโพลีเอสเตอร์ นอกจากนี้สารเติมแต่งประเภทสารพอลิเมอร์หลายชนิด ยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารลดจุดไหลเท (Pour point depressants, PPDs) ในไบโอดีเซลที่มีประสิทธิภาพ จากผลการทดลองโดยใช้พอลิเมอร์ที่มากกว่า 13 ชนิด ซึ่งรวมถึงพอลิเมอร์ในกลุ่ม alkyl methacrylate ทั้งแบบโฮโมพอลิเมอร์และโคพอลิเมอร์ พบว่า poly(lauryl methacrylate) homopolymer สามารถช่วยในการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลได้ดีที่สุด

Y. Wang และคณะ (2011) [24] ศึกษาการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันที่ใช้แล้วโดยใช้สารลดแรงตึงผิวและการตกผลึกลำดับส่วนของสารชำระล้าง (detergent fractionation) สารลดแรงตึงผิวทั้ง 5 ชนิดที่ใช้ในการศึกษา คือ Sugar esters (S270 และ S1570), Silicone oil (TSA 750S), Polyglycerol ester (LOP-120DP) และ Diesel conditioner (DDA) จากผลการศึกษาพบว่าสารลดแรงตึงผิวชนิด Polyglycerol ester (LOP-120DP) มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดค่าจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (Cold filter plugging point, CEPP) ของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันที่ใช้แล้ว โดยการผสม LOP-120DP 0.02 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สามารถลดค่า CFPP จาก -10 เป็น -16 องศาเซลเซียส สำหรับผลการศึกษาการตกผลึกลำดับส่วนของสารชำระล้างของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันที่ใช้แล้วสามารถทำได้โดย ขั้นตอนแรกคือการผสมไบโอดีเซลให้เกิดผลึกบางส่วน โดยทำการผสมสารละลายของสารชำระล้าง (sodium dodecylsulfate) โดยปราศจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (magnesium sulfate) ขั้นตอนที่สองคือทำการแยกโดยใช้การปั่นเหวี่ยง การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการตกผลึกลำดับส่วนของสารชำระล้างจะใช้ Orthogonal experimental design โดยปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ ปริมาณของสารชำระล้าง ปริมาณของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และปริมาณน้ำ พบว่าปริมาณของสารชำระล้าง 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปริมาณของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และปริมาณน้ำ 150 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สามารถลดค่า CFPP ของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันที่ใช้แล้ว (Liquid biodiesel from waste cooking oil, LBWCO) ได้สูงสุดจาก -10 เป็น -17 องศาเซลเซียส และได้ร้อยละของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 73.1 เปอร์เซ็นต์

N. Usta และคณะ (2011) [25] ศึกษาสมบัติของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดยาสูบ โดยทำการตรวจสอบและปรับปรุงสมบัติของไบโอดีเซลที่ได้ให้เป็นไปตามมาตรฐาน EN 14214 จากการศึกษาพบว่าความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และค่าไอโอดีนของไบโอดีเซลที่ได้ไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากคุณสมบัติต่างๆ ของไบโอดีเซลที่ได้โดยส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของกรดไขมันจากน้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบ จากนั้นจึงทำการศึกษาผลของสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้ง 6 ชนิด คือ Tert-butylhydroquinone, Butylated hydroxytoluene, Propyl gallate, Pyrogallol, a-tocopherol และ Butylated hydroxyanisole ผลการศึกษาพบว่า Pyrogallol เป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีประสิทธิภาพสูงสุด และสามารถ

ช่วยปรับปรุงค่าไอโอดีตินได้ด้วย นอกจากนี้ยังทำการศึกษาศสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดยาสูบและน้ำมันที่ใช้แล้ว รวมถึงผลของการผสมไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดยาสูบ 70 เปอร์เซ็นต์ และไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันที่ใช้แล้ว 30 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาพบว่า การผสมไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดยาสูบด้วยไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันที่ใช้แล้วซึ่งมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวมาก จะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (Cold filter plugging point, CEPP) และเมื่อทำการศึกษาค่าของสารช่วยปรับปรุงการไหลทั้ง 4 ชนิดคือ CCFI1, CCFI2, ethylene-vinyl acetate copolymer และ octadecene-1-maleic anhydride copolymer พบว่า octadecene-1-maleic anhydride copolymer จะให้ประสิทธิภาพสูงสุด

C. Echim และคณะ (2012) [26] ศึกษาการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลจากน้ำมันพืช และไขมันสัตว์ที่มีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่มีความอิ่มตัวสูง วัตถุประสงค์สำหรับงานวิจัยฉบับนี้คือการนำไบโอดีเซลที่ผลิตจากปาล์มน้ำมัน ไขมันสัตว์ และสบู่ดามาผสมกับเมทิลเอสเทอร์ที่มีความไม่อิ่มตัวสูงกว่า เช่น ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลืองและเมล็ดเรพ และทำการศึกษาศสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำเปรียบเทียบกับการใช้สารช่วยปรับปรุงการไหล นอกจากนี้ยังทำการศึกษาอิทธิพลในการกำจัดองค์ประกอบที่มีอยู่ในไบโอดีเซลในปริมาณเล็กน้อย เช่น steryl glucosides และ monoglycerides โดยทำการศึกษาค่าจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (Cold Filter Plugging Point, CEPP) อัตราส่วนที่เหมาะสมและการเลือกใช้สารช่วยปรับปรุงการไหลสำหรับการใช้งานที่สภาพภูมิอากาศ 0 ± 1 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปค่า CFPP ของไบโอดีเซลที่ได้จะมีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำไม่ดี ซึ่งสามารถปรับปรุงได้โดยการผสมกับไบโอดีเซลที่มีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำที่ดีกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าการกำจัดองค์ประกอบที่มีอยู่ในไบโอดีเซลปริมาณน้อย จะไม่ส่งผลในการปรับปรุงค่า CEPP ของไบโอดีเซล

L.A. Quinchia และคณะ (2012) [27] ศึกษาสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของวัตถุดิบที่ผลิตจากน้ำมันพืชหลากหลายชนิด เพื่อนำไปใช้เป็นสารช่วยปรับปรุงความหนืด และสารเติมแต่งสำหรับลดจุดไหลเท โดยในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาค่าจุดไหลเท การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC) การวัดค่าความหนืดที่อุณหภูมิต่ำ และความเข้มข้นของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (polyunsaturated fatty acids, PUFAs) ซึ่งพบว่าเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซล จากผลการศึกษาพบว่า น้ำมันดอกทานตะวัน (SO) ผสมกับสารลดจุดไหลเท จะสามารถลดจุดไหลเทจาก -18 เป็น -36 องศาเซลเซียส สำหรับน้ำมันดอกทานตะวันที่มีปริมาณกรดโอเลอิกสูง (HOSO) เมื่อผสมกับสารลดจุดไหลเท จะสามารถลดจุดไหลเทจาก -18 เป็น -21 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้เอทิลเซลลูโลส (ethyl cellulose, EC) เป็นสารในการปรับปรุงความหนืด ทำให้อัตราในการเกิดผลึกของ HOSO เกิดช้าลง ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันกับการใช้สารลดจุดไหลเทในการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซล

ดีเซล สำหรับเทคนิค DSC สามารถนำมาใช้วิเคราะห์อุณหภูมิในการเกิดผลึกของน้ำมันจากพืชได้ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วและมีความแม่นยำกว่าการหาจุดไหลเท ตามมาตรฐาน ASTM D 97

S.Y. Giraldo และคณะ (2013) [28] ศึกษาการเปรียบเทียบผลของสารปรับปรุงการไหลที่อุณหภูมิต่ำ (cold flow improver) สำหรับไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม โดยใช้กลีเซอรอลคีทัล (glycerol ketals), กลีเซอรอลอะซิเตต (glycerol acetates) และแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่กิ่งที่เป็นอนุพันธ์ของเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ 1, 3, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยทำการศึกษาถึงผลที่มีต่อจุดไหลเท และจุดหมอก นอกจากนี้ยังทำการศึกษาการเกิดผลึกของไบโอดีเซลบริสุทธิ์ และไบโอดีเซลที่มีการเติมสารช่วยปรับปรุงการไหลโดยใช้เทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC) พบว่าสารช่วยปรับปรุงการไหลที่ดีที่สุดคือ 2-บิวทิลเอสเทอร์ เมื่อเติมในปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดอุณหภูมิจุดไหลเทและจุดหมอกได้ถึง 6 องศาเซลเซียส และผลจากเทคนิค DSC แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่เกิดผลึกในไบโอดีเซลมีค่าลดลงเป็นลำดับ เมื่อมีการเติมสารไตรอะซิเตต > ไอโซโพรพิลเอสเทอร์ > คีทัล > 2-บิวทิลเอสเทอร์

Lv. Pengmei และคณะ (2013) [29] ศึกษาการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล โดยศึกษาผลของการเติมสารเติมแต่งที่ช่วยในการปรับปรุงการไหลที่อุณหภูมิต่ำคือ DEP (ชื่อทางการค้า) พอลิกลีเซอรอลเอสเทอร์ (Polyglycerol ester, PGE) และ Self-made PA (ในห้องปฏิบัติการ) ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของการเกิดผลึกของปาล์มเมทิลเอสเทอร์ใกล้เคียงกับจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (CFPP) และยังพบว่าสารเติมสารช่วยปรับปรุงการไหลเพียงชนิดเดียวจะให้ผลเฉพาะการลดลงของจุดเริ่มไหล สำหรับการลดลงของค่า CEPP ต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของสารช่วยปรับปรุงการไหลทั้ง 3 ชนิด โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดคือ DEP:PGE:PA = 3:1:1 หรือ 2:2:1 ทำให้สามารถลดค่า CEPP ได้ถึง 7 องศาเซลเซียส

บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการทดลอง

3.1 สารตั้งต้นและสารเคมี

3.1.1 สารตั้งต้นที่ใช้ในการทดลอง

1. น้ำมันปาล์มไปโอดีเซล จากบริษัท น้ำมันพืชปทุม จำกัด
บริษัท บางจากไปโอฟลูเอล จำกัด และบริษัท พลังงานบริสุทธิ์ จำกัด (มหาชน)
2. น้ำมันมะพร้าวธรรมชาติ 100% (แบบสกัดเย็น) ตราอะกริไลฟ์
3. น้ำมันถั่วเหลือง ตราอรุ่น

3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ไอโซโพรพานอล (Isopropanol) : analytical grade; Merck
2. 2-บิวทานอล (2-Butanol) : analytical grade; Merck
3. โทลูอีน (Toluene) : analytical grade; Merck
4. น้ำมันก๊าด (Kerosene) : analytical grade; Sigma Aldrich
5. ไชลีน (Xylene) : analytical grade; Carlo Erba
6. กรดซัลฟิวริก (Conc. Sulfuric acid) : analytical grade; Merck
7. เฮกเซน (Hexane) : analytical grade; Lab-Scan
8. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) : analytical grade; Merck
9. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)
10. โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfate anhydrous) : analytical grade; Merck
11. คลอโรฟอร์ม-D (Chloroform-D) : NMR spectroscopy grade; Merck
12. โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลท (Potassium hydrogen phthalate) :
analytical grade; Merck
13. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide)
14. ไดเอทิลีนไกลคอลไอโซโพรพิลเมทิลอีเธอร์ (Diethylene glycol isopropyl methyl ether); Tokyo Chemical Industry Co., Ltd.

15. ไดเอทิลีนไกลคอลโมโนบิวทิลอีเธอร์อะซีเตท (Diethylene glycol monobutyl ether acetate); Tokyo Chemical Industry Co., Ltd
16. เอทิลีนไวนิลอะซีเตทโคพอลิเมอร์ (Ethylene vinyl acetate copolymer); TPI Polene Public Co., Ltd. และ Akema Innovative Chemistry Co., Ltd.
17. Viscoplex 1-330 : Commercial Pour Point Depressants; Pan Asia Co., Ltd.
18. PPDs : Commercial Pour Point Depressants; UAC Global Public Co., Ltd.
19. 2P-23 : Commercial Pour Point Depressants; Zenith Science Co., Ltd.
20. Additive A : Commercial Pour Point Depressants; Infineum Co., Ltd.
21. Keroflux 6312 : Commercial Pour Point Depressants; BASF (Thai) Co., Ltd.

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องวัดความหนาแน่นแบบอัตโนมัติ (Digital density meter)
เครื่องวัดความหนาแน่นแบบอัตโนมัติ (Density meter) ยี่ห้อ Metrohm Siam รุ่น DMA 4500 ใช้สำหรับวัดค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน ASTM D 4052



รูปที่ 3.1 เครื่องวัดความหนาแน่นแบบอัตโนมัติ (Digital density meter)

2. เครื่องวัดความหนืดแบบอัตโนมัติ (Auto-Viscometer)

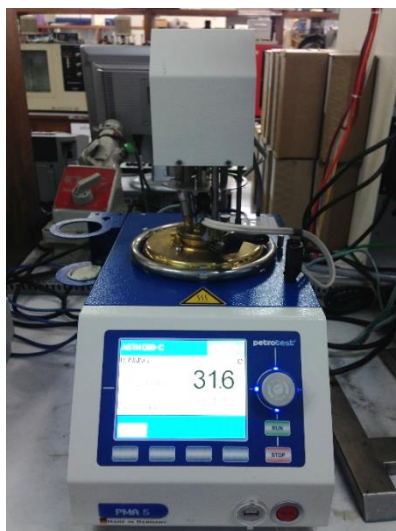
เครื่องวัดความหนืดแบบอัตโนมัติ ยี่ห้อ CANNON รุ่น CAV[®]2000 series ใช้สำหรับวัดค่า ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน ASTM D 445 จะเป็นการวัดความหนืดแบบคิเนมาติก (Kinematic viscosity) โดยหลักการของการวัดค่าความหนืดแบบคิเนมาติก คือการวัดเวลาในการไหลของของเหลวปริมาณหนึ่งที่ไหลภายใต้แรงโน้มถ่วงโลก ผ่านอุปกรณ์วัดความหนืด Capillary แก้วที่ผ่านการสอบเทียบมาตรฐานแล้ว แล้วนำค่าเวลาที่ได้ไปคำนวณ มีหน่วยเป็น สโตกส์ (Stoke) Viscometer tube ในช่วง 0.5 - 50 เซนติสโตกส์ อุณหภูมิในอ่างทดสอบ (Bath) คือ 40 องศาเซลเซียส โดยใช้ Silicone oil สำหรับควบคุมอุณหภูมิภายในอ่างทดสอบ (Bath) มีระบบ Dual solvent system สำหรับทำความสะอาด Viscometer tube คือ โทลูอีน (Toluene) และเฮกเซน (Hexane)



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดความหนืดแบบอัตโนมัติ (Auto-Viscometer)

3. เครื่องวัดจุดวาบไฟ (Flash point testing)

เครื่องวัดจุดวาบไฟ (แบบปิด) ยี่ห้อ Petrotest รุ่น PMA5 Pensky-Martens closed-cup ตามมาตรฐาน ASTM D 93 Procedure C จุดวาบไฟ (Flash point) คือการหาอุณหภูมิต่ำสุดของน้ำมันที่ทำให้เกิดไอน้ำมันเป็นปริมาณมากพอ และเมื่อสัมผัสกับเปลวไฟก็จะทำให้เกิดการลุกไหม้ทันที อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 3.0 ± 0.5 องศาเซลเซียสต่อนาที อัตราการกววน 90 - 120 รอบต่อนาที สามารถวัดจุดวาบไฟได้ในช่วง 40 - 360 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดจุดวาบไฟ (Flash point testing)

4. เครื่องไทเทรตแบบอัตโนมัติ (Automatic titrator)

เครื่องไทเทรตแบบอัตโนมัติ แบบ Potentiometric สำหรับหาค่าความเป็นกรดของน้ำมันไบโอดีเซล ยี่ห้อ Metrohm รุ่น 798 MPT Titrino ตามมาตรฐาน ASTM D 664 หลักการจะเป็นการไทเทรตโดยการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ซึ่งก็คือจุดยุติ (End point) สามารถวัดค่าศักย์ไฟฟ้าได้ในช่วง $-1,200$ ถึง $+1,200$ มิลลิโวลต์ ความละเอียด 0.1 มิลลิโวลต์ มีระบบกวนสารแบบ Magnetic stirrer



รูปที่ 3.4 เครื่องไทเทรตแบบอัตโนมัติ (Automatic titrator)

5. เครื่องวัดจุดหมอกและจุดไหลเท

เครื่องวัดจุดหมอกและจุดไหลเท ยี่ห้อ Stanhope-seta รุ่น Seta Cloud point and Pour Point Cryostat 93531-7 ตามมาตรฐาน ASTM D 2500 และ ASTM D 97 ตามลำดับ อ่างควบคุมอุณหภูมิ แบ่งช่องควบคุมอุณหภูมิเป็น 4 ช่อง ใช้ของเหลวเป็นตัวกลางในการควบคุมอุณหภูมิ คือ Ethylene Glycol Monobutyl Ether ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิในช่วง 0 ถึง -51 องศาเซลเซียส แต่ละช่องสามารถรองรับหลอดทดสอบ (Test Jar) ได้ 4 หลอดทดสอบ



รูปที่ 3.5 เครื่องวัดจุดหมอกและจุดไหลเท

6. เครื่องวัดค่าจุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ

เครื่องวัดค่าจุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (cold filter plugging point, CEPP) ยี่ห้อ ISL รุ่น FPP5Gs ตามมาตรฐาน ASTM D 6371 สามารถวัดค่าจุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำได้ในช่วง +50 ถึง -50 องศาเซลเซียส ระบบของเครื่องเป็นแบบ Built-in cooling



รูปที่ 3.6 เครื่องวัดค่าจุดจุดต้นไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ

7. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography)

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น 7890A ตามมาตรฐาน EN 14103 คอลัมน์ที่ใช้ คือ Capillary column CARBOWAX/20M ขนาด 0.250 มิลลิเมตร ยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 ไมโครเมตร ซึ่งสามารถใช้ในช่วงอุณหภูมิ 60 - 220 องศาเซลเซียส Detector ที่ใช้คือ Flame ionization detector (FID)



รูปที่ 3.7 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

8. เครื่องฟูริเยร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR)

เครื่องฟูริเยร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR) ยี่ห้อ Perkin รุ่น Frontier ความยาวคลื่น $650 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ Detector ที่ใช้คือ MIR TGS ใช้สำหรับวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีและศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสาร



รูปที่ 3.8 เครื่องฟูริเยร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์

9. เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (NMR Spectrometer)

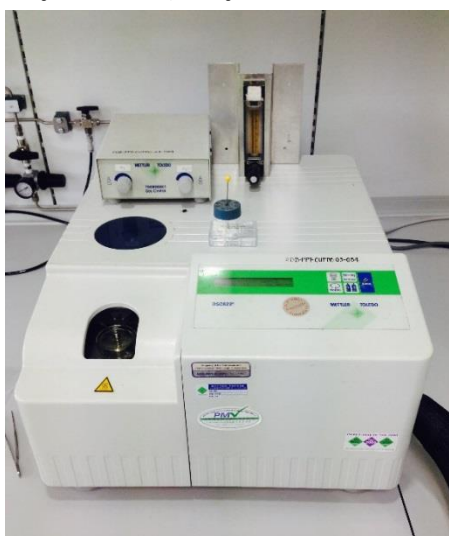
เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ ยี่ห้อ Varian รุ่น Mercury (400MHz) ความถี่ 400 MHz ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ Sun Blade-100 เป็น Work Station ใช้ Console เป็น Mercury Plus และ Magnet ของ Oxford



รูปที่ 3.9 เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์

10. เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC)

เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น DSC822e ตัวอย่างจะถูกวางบนจานอะลูมิเนียมที่อยู่ภายในเตาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ โดยภายในเตาจะมีสารมาตรฐานอ้างอิงซึ่งเป็นงานอะลูมิเนียมเปล่า เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับตัวอย่างภายใต้สภาวะเดียวกัน ช่วงอุณหภูมิที่ทดสอบ 0 – 500 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน (Heating rate) 0.01 – 20 เคลวินต่อนาที ความถูกต้องของอุณหภูมิ ± 0.2 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.10 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์

11. เครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary Evaporator)
12. เครื่องซังน้ำหนักร ซึ่งได้ละเอียดถึงทศนิยม 2 ตำแหน่ง
13. เครื่องซังน้ำหนักร ซึ่งได้ละเอียดถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. นาฬิกาจับเวลา
2. เทอร์โมมิเตอร์
3. เตาให้ความร้อน แบบมีเครื่องคนแม่เหล็ก (Hot plate and stirrer)
4. เครื่องแก้ว ประกอบด้วย ปีกเกอร์, ขวดกั่นกลม, กรวยแยก, กระจบอกลง, เครื่องควบแน่น, กรวยแก้ว, ปิเปต, บิวเรต และขวดสำหรับใส่ตัวอย่าง
5. กระดาษกรอง เบอร์ 1

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.3.1 วิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล (Palm biodiesel)

1. วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography)
2. วิเคราะห์อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential scanning calorimetry)
3. ตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM
 - 1) ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C)
ตามมาตรฐาน ASTM D 4052
 - 2) ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40°C)
ตามมาตรฐาน ASTM D 445
 - 3) จุดวาบไฟ (Flash point) ตามมาตรฐาน ASTM D 93
 - 4) ค่าความเป็นกรด (Acid value) ตามมาตรฐาน ASTM D 664
 - 5) จุดหมอก (Cloud point) ตามมาตรฐาน ASTM D 2500
 - 6) จุดไหลเท (Pour point) ตามมาตรฐาน ASTM D 97
 - 7) จุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (Cold filter plugging point)
ตามมาตรฐาน ASTM D 6371

3.3.2 วิเคราะห์โครงสร้างของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ (Commercial pour point depressants)

วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีและศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ 5 ชนิด Viscoplex 1-330, PPDs, 2P-23, Additive A และ Keroflux 6312 โดยใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrometry (FT-IR)

3.3.3 สังเคราะห์สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ (Synthetic pour point depressants) และวิเคราะห์โครงสร้างของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์

วิธีการสังเคราะห์สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์

1. นำน้ำมัน (น้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันมะพร้าว) 200 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลม (round bottom flask) ขนาด 1,000 มิลลิลิตร
2. เติมแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่กิ่ง (ไอโซโพรพานอล หรือ 2-บิวทานอล) โดยใช้อัตราส่วนของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์เป็น 1 : 20 โดยโมล
3. เติมกรดซัลฟิวริก (ตัวเร่งปฏิกิริยา) โดยใช้ปริมาณของกรด 2% โดยน้ำหนักของน้ำมัน
4. ตั้งรีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทดสอบการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์รีฟเคชันด้วยเทคนิค Thin layer chromatography (TLC) โดยเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) ที่ใช้คือ Hexane : Ethyl acetate ในอัตราส่วน 90 : 10%v/v
5. หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาตั้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาแยกโดยใช้กรวยแยก (separatory funnel) ขนาด 1000 มิลลิลิตร
6. เติมเฮกเซนลงในกรวยแยกที่มีผลิตภัณฑ์อยู่ เพื่อใช้เป็นตัวสกัด ประมาณ 200 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
7. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทำให้บริสุทธิ์ โดยทำการล้างของผสมโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 2 โมลาร์ และน้ำที่ปราศจากไอออน (DI water)
8. หลังจากนั้นนำมากำจัดน้ำที่เหลือจากการล้างผลิตภัณฑ์ โดยการใส่สารโซเดียมซัลเฟตแอนไฮไดรึส (Sodium sulfate anhydrous)
9. นำของผสมที่ได้มารองโดยใช้กระดาษกรอง หลังจากนั้นนำไปสกัดเอาเฮกเซนที่เหลือจากการสกัดออกโดยใช้เครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary Evaporator)
10. คำนวณหาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ (%product yield) โดยใช้สูตรในการคำนวณดังนี้

$$\text{ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้} = \frac{\text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้}}{\text{น้ำหนักของน้ำมัน}} \times 100$$

11. พิสูจน์เอกลักษณ์ของสารลดจุดเริ่มไหลที่สังเคราะห์ได้ โดยใช้เทคนิค Nuclear Magnetic Resonance ($^1\text{H-NMR}$) และคำนวณหาร้อยละของการเปลี่ยนแปลง (%conversion)

3.3.4 ศึกษาผลของตัวทำละลายอินทรีย์ สารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ สารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ สารละลายพอลิเมอร์ และสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

ตัวทำละลายอินทรีย์ที่เลือกใช้ มีทั้งหมด 3 ชนิด คือ

1. โทลูอีน (Toluene)
2. น้ำมันก๊าด (Kerosene)
3. ไชลีน (Xylene)

สารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ มีทั้งหมด 2 ชนิด คือ

1. ไดเอทิลีนไกลคอลไอโซโพรพิลเมทิลอีเธอร์ (Diethylene glycol isopropyl methyl ether, DEGPE)
2. ไดเอทิลีนไกลคอลโมโนบิวทิลอีเธอร์อะซิเตท (Diethylene glycol monobutyl ether acetate, DEGBA)

สารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ มีทั้งหมด 5 ชนิด คือ

1. Viscoplex 1-330
2. PPDs
3. 2P-23
4. Additive A
5. Keroflux 6312

สารละลายพอลิเมอร์เอทิลีนไวนิลอะซิเตทโคพอลิเมอร์ 2 ชนิด คือ EVA MV-1055 และ EVATANE 28-05

โดยจะเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ที่ 2 ความเข้มข้น คือ

1. เอทิลีนไวนิลอะซิเตทโคพอลิเมอร์ความเข้มข้น 10 %w/v ของโทลูอีน
2. เอทิลีนไวนิลอะซิเตทโคพอลิเมอร์ ความเข้มข้น 20 %w/v ของโทลูอีน

สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ มีทั้งหมด 4 ชนิด คือ

1. Isopropyl ester of soybean (SIE)
2. 2-Butyl ester of soybean (SBE)
3. Isopropyl ester of coconut (CIE)
4. 2-Butyl ester of coconut (CBE)

โดยนำสารเติมแต่งทั้ง 5 ประเภท มาการผสมกับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน คือ 1,000, 5,000, 10,000, 50,000, 100,000 และ 200,000 ppm เพื่อทำการทดสอบสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ และตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM ตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM ดังนี้ คือ

1. ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C) ตามมาตรฐาน ASTM D 4052
2. ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40°C) ตามมาตรฐาน ASTM D 445
3. จุดวาบไฟ (Flash point) ตามมาตรฐาน ASTM D 93
4. ค่าความเป็นกรด (Acid value) ตามมาตรฐาน ASTM D 664
5. จุดหมอก (Cloud point) ตามมาตรฐาน ASTM D 2500
6. จุดไหลเท (Pour point) ตามมาตรฐาน ASTM D 97
7. จุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (Cold filter plugging point) ตามมาตรฐาน ASTM D 6371

3.3.5 ศึกษาผลการทำงานร่วมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ และสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

โดยเลือกสารที่ให้ผลการทดสอบสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำที่ดีที่สุดของทั้ง 2 ประเภท ทำการผสมในอัตราส่วน 1 : 1 แล้วนำมาผสมกับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน คือ 1,000, 5,000, 10,000, 50,000, 100,000 และ 200,000 ppm เพื่อทำการทดสอบสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ และตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM ดังนี้ คือ

1. ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C) ตามมาตรฐาน ASTM D 4052
2. ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40°C) ตามมาตรฐาน ASTM D 445
3. จุดวาบไฟ (Flash point) ตามมาตรฐาน ASTM D 93
4. ค่าความเป็นกรด (Acid value) ตามมาตรฐาน ASTM D 664
5. จุดหมอก (Cloud point) ตามมาตรฐาน ASTM D 2500
6. จุดไหลเท (Pour point) ตามมาตรฐาน ASTM D 97
7. จุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (Cold filter plugging point) ตามมาตรฐาน ASTM D 6371

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

4.1.1 วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography)

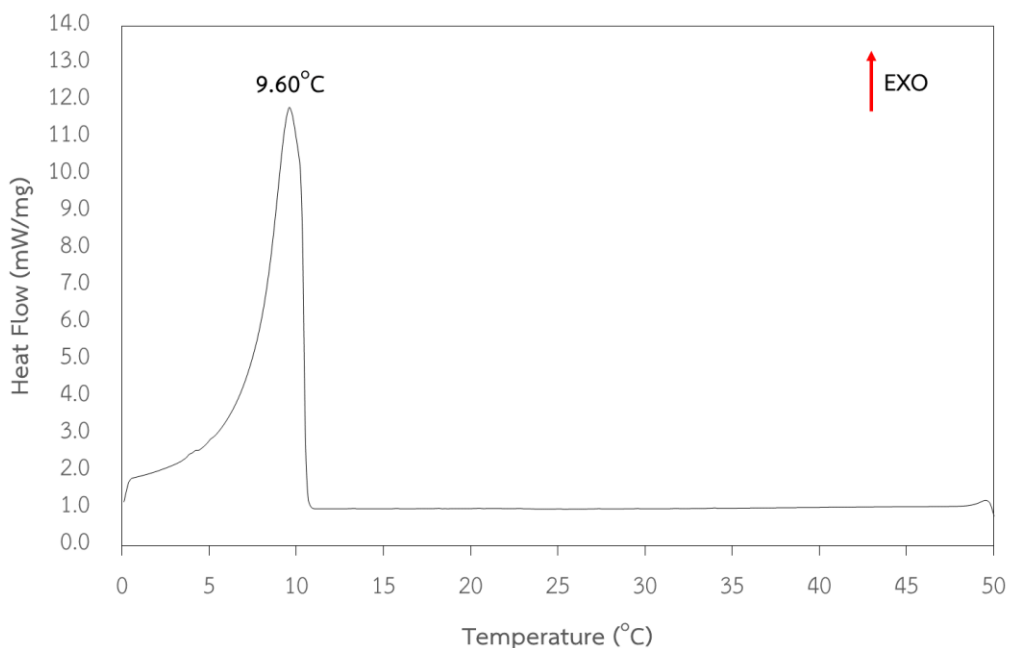
องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลสามารถวิเคราะห์โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี แสดงในตารางที่ 4.1 ผลจากการวิเคราะห์พบว่าน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลจะประกอบด้วยกรดปาล์มมิก (Palmitic acid, C16:0) และกรดโอเลอิก (Oleic acid, C18:1) เป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีปริมาณ 43.22 และ 39.82 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอื่นๆ เช่น กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid, C18:2) ประมาณ 9.85 เปอร์เซ็นต์ และกรดสเตียริก (Stearic acid, C18:0) ประมาณ 3.14 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลจะประกอบด้วยกรดไขมันทั้งชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวสายโซ่ยาวในปริมาณมาก จึงส่งผลให้น้ำมันปาล์มไบโอดีเซลมีข้อด้อยในเรื่องสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ (Cold flow properties) มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบอื่นๆ โดยจะมีค่าจุดหมอกและจุดไหลเทสูง [12, 30]

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

องค์ประกอบของกรดไขมัน		ปริมาณกรดไขมัน (%wt)
Myristic acid	C14:0	1.34
Pentadanoic	C15:0	0.04
Palmitic acid	C16:0	43.22
Heptadecanoic acid	C17:0	0.10
Heptadecenoic acid	C17:1	0.03
Stearic acid	C18:0	3.14
Oleic acid	C18:1	39.82
Linoleic acid	C18:2	9.85
Linolenic acid	C18:3	0.20
Arachidic acid	C20:0	0.37
Gondoic acid	C20:1	0.16
Erucic acid	C22:1	0.12
Docosadienoic acid	C22:2	0.08
Other		1.53

4.1.2 วิเคราะห์อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry)

เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC) สามารถนำมาประยุกต์เพื่อใช้อธิบายกระบวนการเกิดผลึก และวิเคราะห์หาอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลและน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่ผสมกับสารลดจุดเริ่มไหลได้ หรือสารเติมแต่งประเภทต่างๆ ได้ จากรูปที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล (B100) หรือ DSC curve ผลจากการวิเคราะห์พบว่ากระบวนการเกิดผลึกของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลจะเป็นกระบวนการคายความร้อน (Exothermic process) [27, 29] โดยเมื่อทำให้อุณหภูมิของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลค่อยๆ ลดต่ำลง ด้วยอัตราเร็วคงที่ ระบบจะเข้าสู่สมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ เมื่ออุณหภูมิของปาล์มไบโอดีเซลมีค่าลดต่ำกว่าจุดหลอมเหลว ค่าเอนโทรปีของระบบจะลดต่ำลง ทำให้พบอุณหภูมิจุดที่เริ่มเกิดผลึก (Crystallization temperature) ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลได้ โดยอุณหภูมิจุดที่เริ่มเกิดผลึกของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 9.60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.1 อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล (B100) โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC)

4.1.3 ตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM

การตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลพื้นฐาน พบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2552 ตามประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน แสดงในตารางที่ 4.2 สำหรับคุณสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล (จุดหมอก, จุดไหลเท และจุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ) ทางกรมธุรกิจพลังงานไม่ได้มีการกำหนดอัตราสูงต่ำของปาล์มไบโอดีเซลเหล่านี้ไว้

ตารางที่ 4.2 คุณภาพของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลตามมาตรฐาน

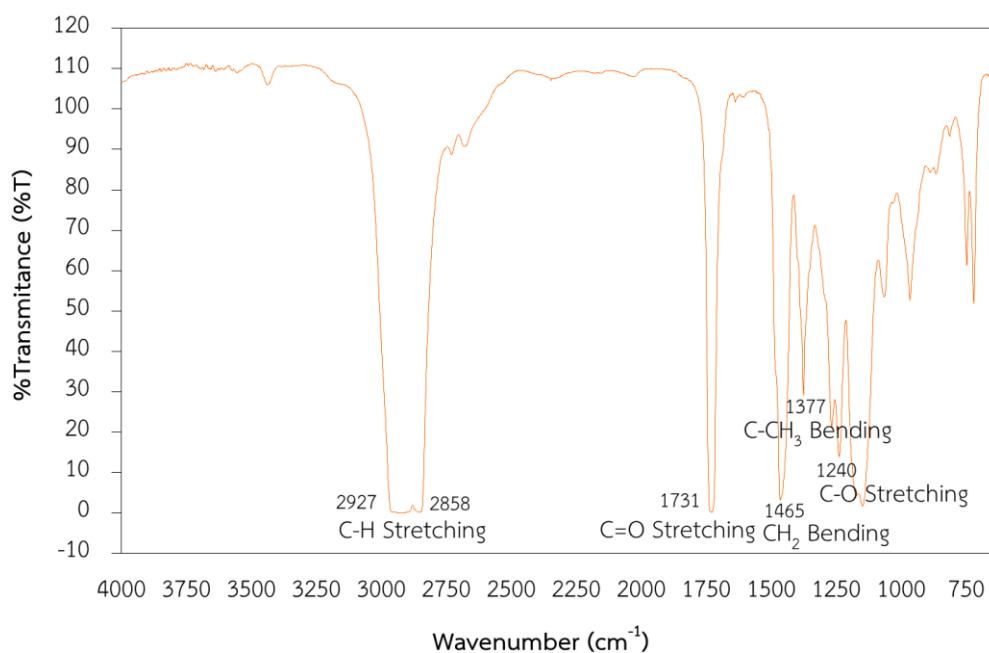
คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย
ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C	ASTM D 4052	875.7	kg/m ³
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C	ASTM D 445	4.488	cSt
จุดวาบไฟ	ASTM D 93	168	°C
ค่าความเป็นกรด	ASTM D 664	0.1408	mgKOH/g
จุดหมอก	ASTM D 2500	16	°C
จุดไหลเท	ASTM D 97	12	°C
จุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ	ASTM D 6371	12	°C
น้ำ	EN ISO 12937	0.0299	%wt

4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างและศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ (Commercial pour point depressants)

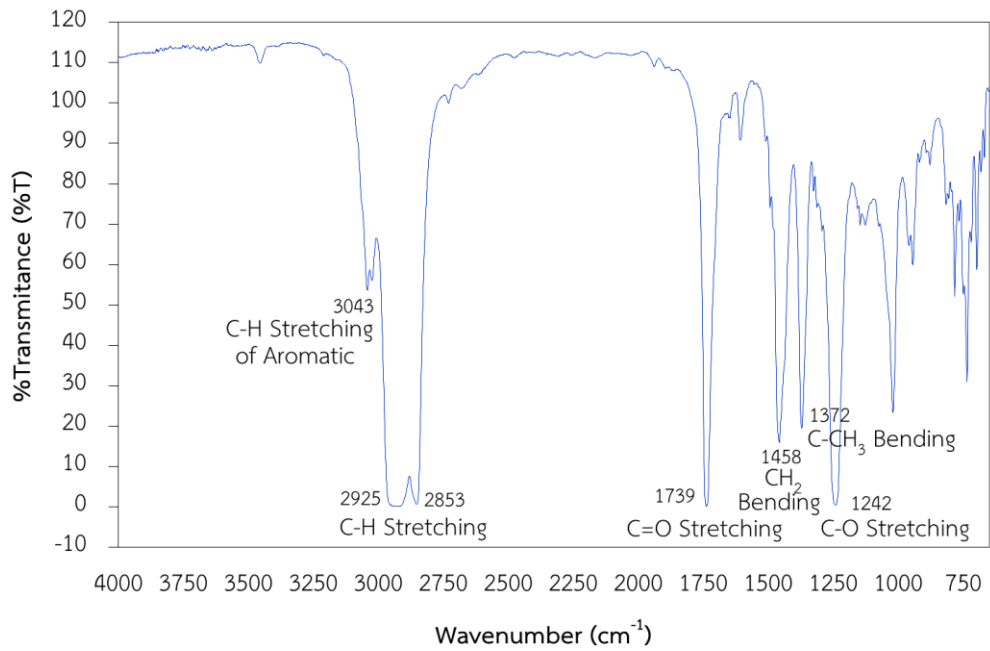
การวิเคราะห์โครงสร้างและศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด (Viscoplex 1-330, PPDs, 2P-23, Additive A และ Keroflux 6312) สามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่องฟลูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR) จากตารางที่ 4.3 แสดงความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันสำคัญที่พบในสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด พบว่าสเปกตรัมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด จะปรากฏพีคของ C=O stretching ของหมู่คาร์บอนิลในช่วงเลขคลื่น 1730 – 1740 cm⁻¹ และพีคของ C-O stretching ของหมู่เอสเทอร์ในช่วงเลขคลื่น 1240 – 1243 cm⁻¹ นอกจากนี้ยังปรากฏพีคของ C-H stretching ที่แสดงถึง โครงสร้างของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ในช่วงเลขคลื่น 2853 – 2930 cm⁻¹ นอกจากนี้จะพบว่าสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs เพียงชนิดเดียวที่ปรากฏพีคของ C-H stretching ของวงอะโรมาติกที่เลขคลื่น 3043 cm⁻¹ แสดงให้เห็นว่าสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs จะมีสารประกอบอะโรมาติกอยู่ในโครงสร้างด้วย สเปกตรัมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด แสดงในรูปที่ 4.2 – 4.6

ตารางที่ 4.3 ความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญในสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด โดยใช้เครื่องฟลูอริเยร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR)

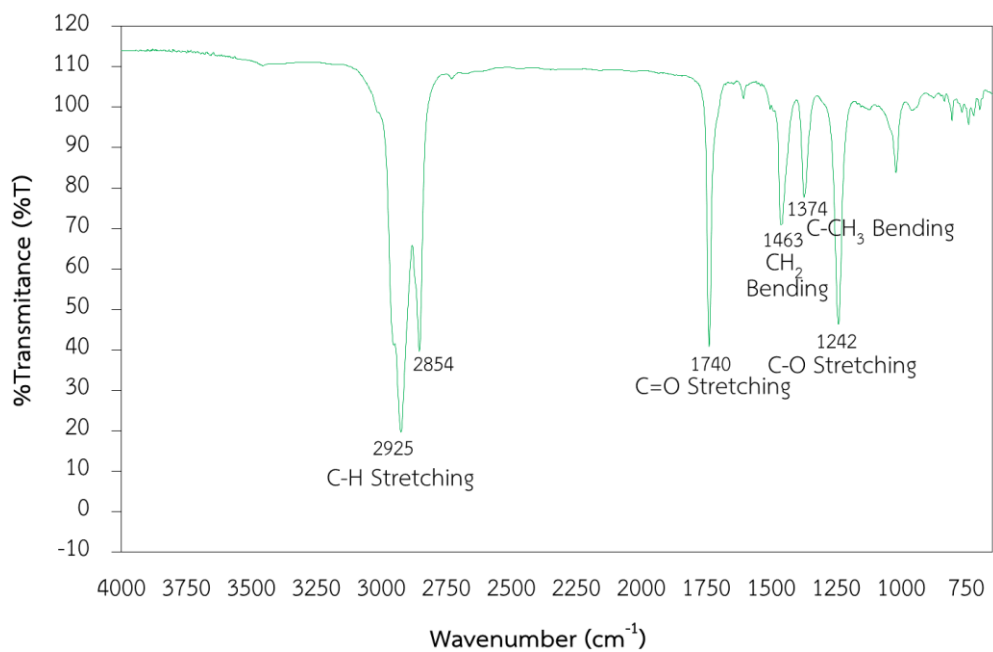
Assignment	Wave number (cm ⁻¹)				
	Viscoplex 1-330	PPDs	2P-23	Additive A	Keroflux 6312
C-H Stretching of aromatic	-	3043	-	-	-
O-CH ₃ , C-H Stretching	2927	2925	2925	2926	2930
C-CH ₃ , C-H Stretching	2858	2853	2854	2855	2856
C=O Stretching	1731	1739	1740	1738	1738
CH ₂ Bending	1465	1458	1463	1464	1464
C-CH ₃ Bending	1377	1372	1374	1372	1373
C-O Stretching	1240	1242	1242	1243	1243



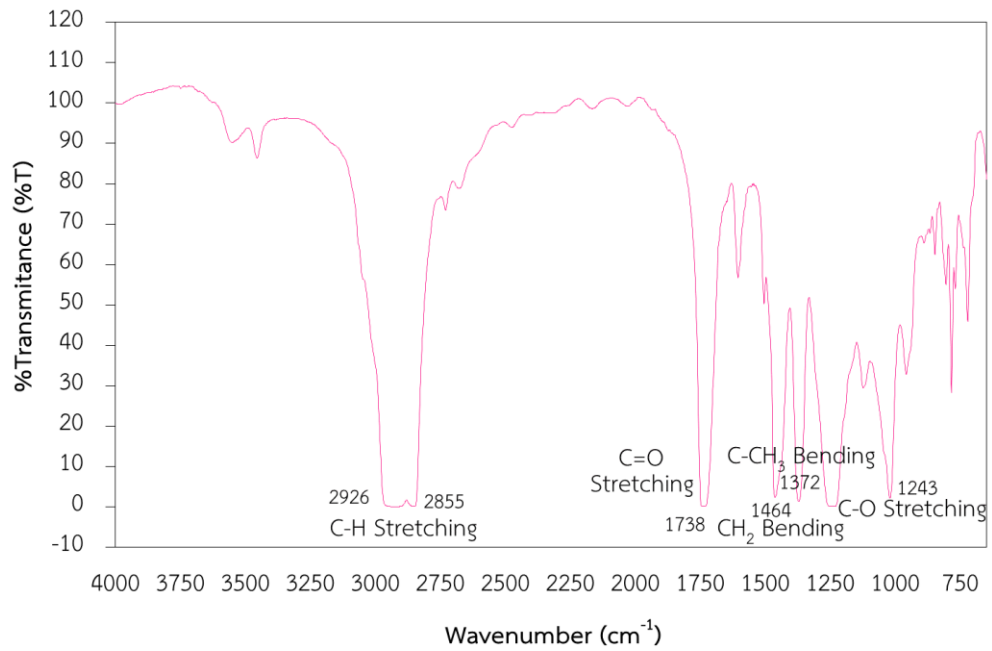
รูปที่ 4.2 FT-IR สเปกตรัมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ Viscoplex 1-330



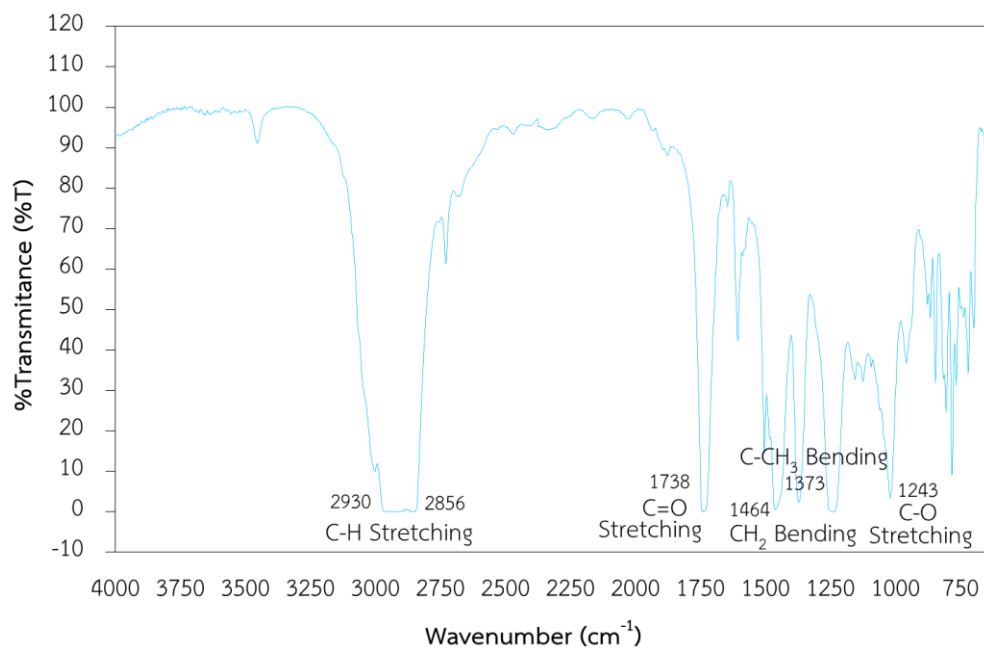
รูปที่ 4.3 FT-IR สเปกตรัมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs



รูปที่ 4.4 FT-IR สเปกตรัมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ 2P-23



รูปที่ 4.5 FT-IR สเปกตรัมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ Additive A



รูปที่ 4.6 FT-IR สเปกตรัมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ Keroflux 6312

4.3 การสังเคราะห์สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ (Synthetic pour point depressants)

4.3.1 ผลการสังเคราะห์สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ (Pour point depressants)

สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด คือ Isopropyl ester of soybean (SIE), 2-Butyl ester of soybean (SBE), Isopropyl ester of coconut (CIE) และ 2-Butyl ester of coconut (CBE) สามารถสังเคราะห์ได้โดยผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันมะพร้าวกับแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่กิ่ง คือไอโซโพรพานอล และ 2-บิวทานอล โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์เป็น 1:20 โดยโมล และกรดซัลฟิวริก 2% โดยน้ำหนักของน้ำมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ตั้งรีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ลักษณะทางกายภาพ ร้อยละของการเปลี่ยนแปลง (%conversion) และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ (%product yield) ของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ลักษณะทางกายภาพ ร้อยละของการเปลี่ยนแปลง และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด

Synthetic PPDs	Appearance	%conversion	%product yield
Isopropyl ester of soybean, SIE	ของเหลวใส สีเหลือง	98.53	83.71
2-Butyl ester of soybean, SBE	ของเหลวใส สีเหลือง	96.03	73.71
Isopropyl ester of coconut, CIE	ของเหลวใส ไม่มีสี	99.08	74.24
2-Butyl ester of coconut, CBE	ของเหลวใส ไม่มีสี	97.74	61.48

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าลักษณะทางกายภาพของสารลดจุดเริ่มไหลที่สังเคราะห์ได้จะเป็นของเหลวใส และมีสีตามวัตถุดิบที่นำมาสังเคราะห์ โดย Isopropyl ester of soybean (SIE) และ 2-Butyl ester of soybean (SBE) ซึ่งสังเคราะห์จากน้ำมันถั่วเหลือง ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะมีสีเหลืองเช่นเดียวกับน้ำมันถั่วเหลือง ในขณะที่ Isopropyl ester of coconut (CIE) และ 2-Butyl ester of coconut (CBE) ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะเป็นใส ไม่มีสี เช่นเดียวกับน้ำมันมะพร้าว ร้อยละของการเปลี่ยนแปลง (%conversion) และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ (%product yield) ที่ได้จะอยู่ในช่วง 96.03 – 99.08 เปอร์เซ็นต์ และ 61.48 – 83.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยจะเห็นได้ว่าร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีการสูญเสียไปบางส่วนในขั้นตอนของการล้างผลิตภัณฑ์

4.3.2 การศึกษาสมบัติของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ (Synthetic pour point depressants)

ผลการศึกษาสมบัติของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ (Synthetic pour point depressants) ทั้ง 4 ชนิด แสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C และปริมาณน้ำของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทุกชนิดจะมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของไบโอดีเซลตามที่กรมธุรกิจพลังงานประกาศกำหนด โดยค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C และค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C ของสารลดจุดเริ่มไหลที่สังเคราะห์จากน้ำมันถั่วเหลืองจะมีค่าสูงกว่าน้ำมันมะพร้าว ทั้งนี้เนื่องจากค่าความหนาแน่นจะขึ้นอยู่กับจำนวนพันธะคู่ที่เพิ่มขึ้น สำหรับค่าความหนืดก็จะขึ้นอยู่กับความยาวสายโซ่ของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลัก โดยน้ำมันถั่วเหลืองประกอบด้วยกรดกรดลิโนเลอิก (Linoleic acid, C18:2) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีพันธะคู่ในปริมาณสูงและมีสายโซ่ที่ยาวกว่าน้ำมันมะพร้าวที่ประกอบด้วยกรดลอริก (Lauric acid, C12:0) เป็นองค์ประกอบหลัก [5, 12] และปริมาณน้ำที่ได้จะมีค่าที่ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.0227 – 0.0399 %wt สำหรับค่าความเป็นกรด พบว่าค่าความเป็นกรดของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ 2 ชนิด คือ SBE และ CBE จะมีค่าความเป็นกรดที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

สำหรับผลการศึกษาสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ (Cold flow properties) ของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด แสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งจะประกอบด้วยค่าจุดหมอก (CP) ค่าจุดไหลเท (PP) และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก (Crystallization temperature) โดยใช้เทคนิค DSC พบว่าสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ CBE จะมีค่าจุดหมอกและค่าจุดไหลเทต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ตัวอื่นๆ โดยจะมีค่าคือค่าจุดหมอกและจุดไหลเทคือ -13 และ -19°C ตามลำดับ รองลงมาคือ CIE < SBE < SIE ตามลำดับ และผลการวิเคราะห์อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก (Crystallization temperature) โดยใช้เทคนิค DSC แสดงดังรูปที่ 4.7 – 4.8 ตามลำดับ จะพบว่าให้ผลไปในทิศทางเดียวกันคือ CBE จะมีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกต่ำกว่า SBE โดยอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกคือ -39.22 และ -26.39°C ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันมะพร้าวจะประกอบด้วยกรดลอริก (Lauric acid, C12:0) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเป็นกรดไขมันอิ่มตัวที่มีสายโซ่สั้นกว่า ในขณะที่น้ำมันถั่วเหลืองจะประกอบด้วยกรดลิโนเลอิก (Linoleic acid, C18:2) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว ทำให้สารลดจุดเริ่มไหลที่สังเคราะห์จากน้ำมันมะพร้าวจะมีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำดีกว่าน้ำมันถั่วเหลือง [5] และเมื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา จะพบว่าการสังเคราะห์โดยใช้ 2-บิวทานอล จะให้สมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าการสังเคราะห์โดยใช้ไอโซโพรพานอลทั้งในการสังเคราะห์จากน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันมะพร้าว ทั้งนี้เนื่องจากหมู่แอลกอฮอล์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และมีสายโซ่กิ่งจะช่วยเพิ่มความเกะกะ (Steric effect) ให้กับโครงสร้าง

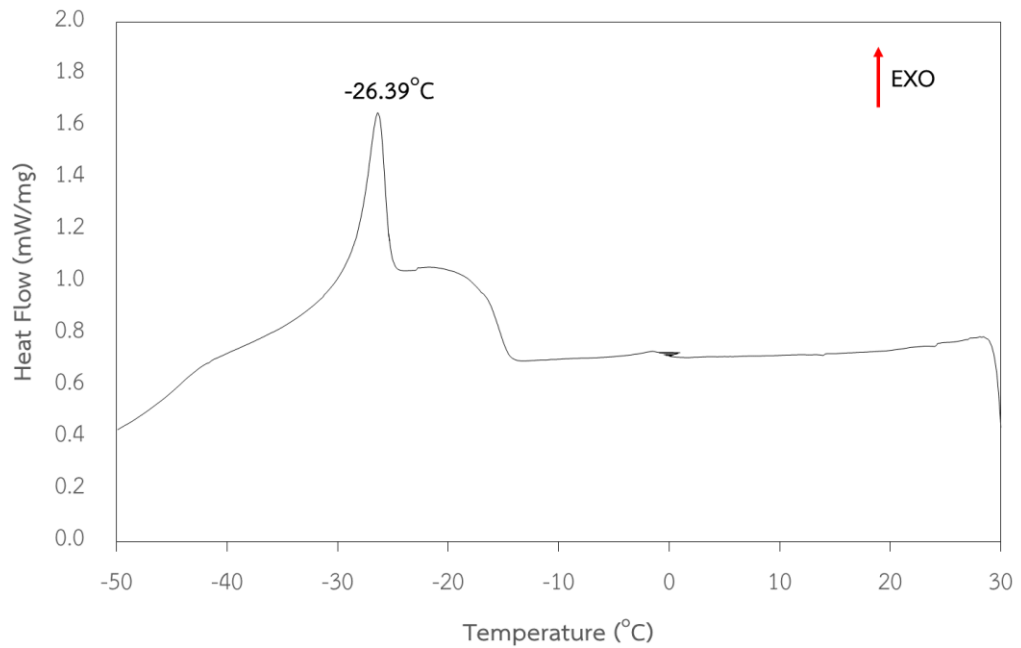
ของสารลดจุดเริ่มไหลที่สังเคราะห์ได้ ผลจากความเกาะเกาะของโครงสร้างของสารลดจุดเริ่มไหลที่สังเคราะห์ได้ จะส่งผลให้เกิดการขัดขวางการเกิดผลึก จึงทำให้มีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ ที่ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ I. Lee และคณะ (1995), X. Lang และคณะ (2001) และ S.Y. Giraldo และคณะ (2013)

ตารางที่ 4.5 สมบัติของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด

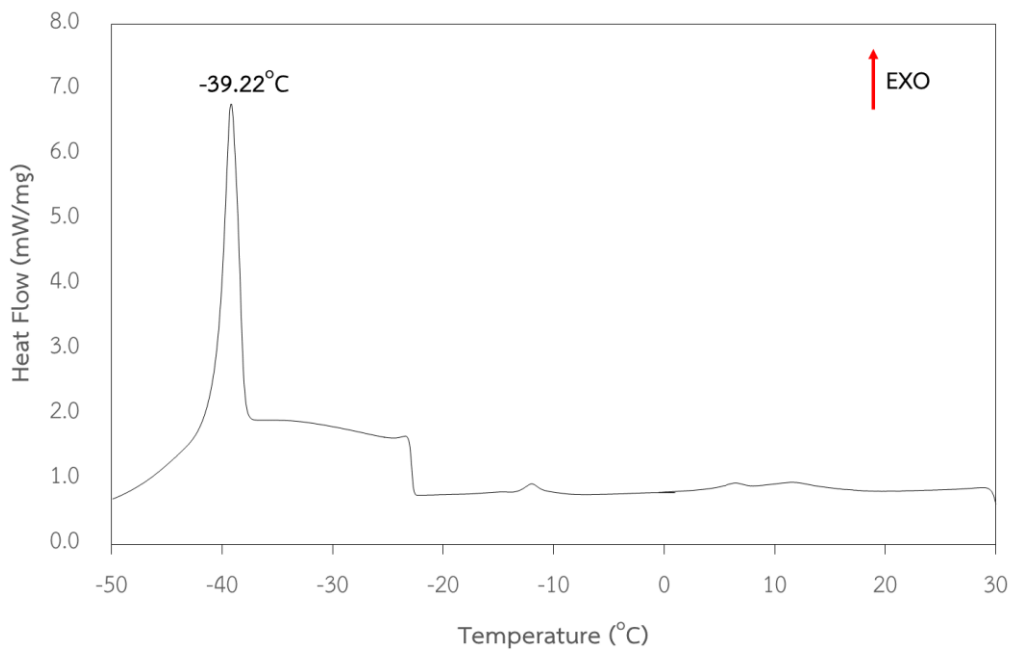
สารลดจุดเริ่มไหล สังเคราะห์	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (kg/m ³)	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (cSt)	ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g)	น้ำ (%wt)
SIE	884.7	4.903	0.2424	0.0399
SBE	871.6	5.431	1.0966	0.0290
CIE	869.0	3.957	0.2412	0.0326
CBE	868.8	3.987	0.8993	0.0227

ตารางที่ 4.6 ค่าจุดหมอก (CP) ค่าจุดไหลเท (PP) และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก (Crystallization temperature) โดยใช้เทคนิค DSC ของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด

สารลดจุดเริ่มไหล สังเคราะห์	จุดหมอก (°C)	จุดไหลเท (°C)	อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก (°C)
SIE	-2	-6	-
SBE	-6	-10	-26.39
CIE	-9	-14	-
CBE	-13	-19	-39.22



รูปที่ 4.7 อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ 2-Butyl ester of soybean (SBE) โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC)



รูปที่ 4.8 อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ 2-Butyl ester of coconut (CBE) โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC)

4.4 การศึกษาผลของตัวทำละลายอินทรีย์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและสมบัติอื่นๆ ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

4.4.1 คุณสมบัติของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด

ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติของโทลูอีน (Toluene) น้ำมันก๊าด (Kerosene) และไซลีน (Xylene)

คุณสมบัติ	โทลูอีน	น้ำมันก๊าด	ไซลีน
ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (kg/m ³)	871.5	812.9	871.1
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C (cSt)	0.240	1.576	0.559
จุดวาบไฟ (°C)	4 ⁽²⁾	82 ⁽¹⁾	30 ⁽²⁾
จุดหลอมเหลว (°C)	-95 ⁽²⁾	-20 ⁽²⁾	-47.4 ⁽²⁾
จุดเดือด (°C)	109 – 111 ⁽¹⁾	175 – 325 ⁽¹⁾	137 – 140 ⁽¹⁾
ค่าความร้อนของการเผาไหม้ (MJ/kg)	40.58	46.20	40.90

หมายเหตุ : (1) ข้อมูลจาก Specification of organic solvents

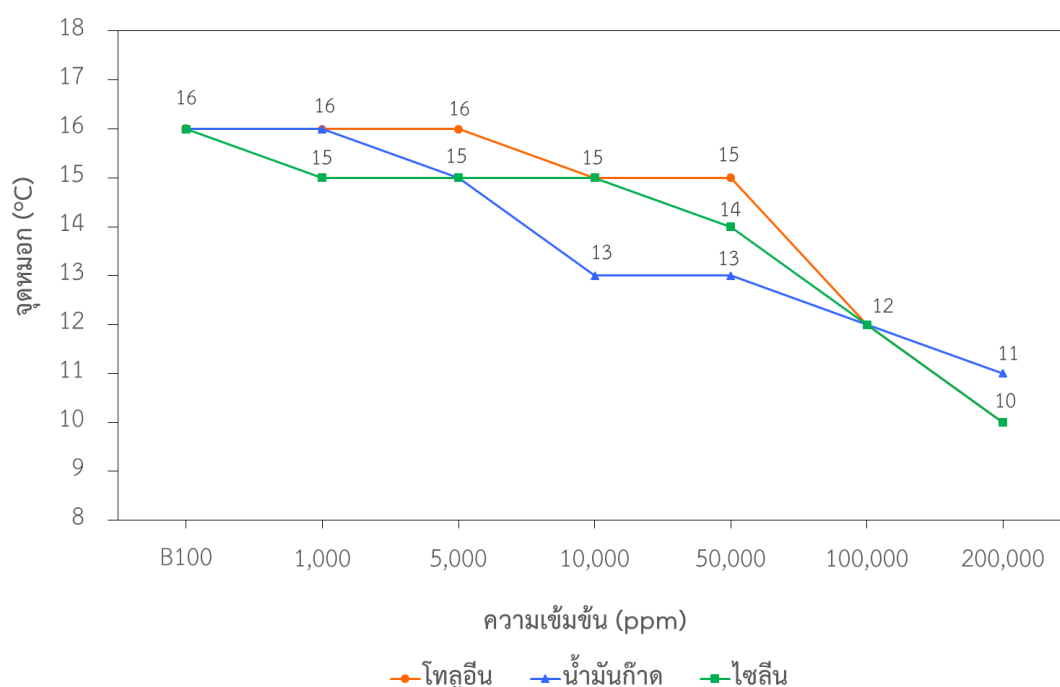
(2) ข้อมูลจาก Wikipedia

4.4.2 การศึกษาผลของตัวทำละลายอินทรีย์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvents) ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล (B100) โดยตัวทำละลายอินทรีย์ที่เลือกใช้มีทั้งหมด 3 ชนิด คือ โทลูอีน (Toluene) น้ำมันก๊าด (Kerosene) และไซลีน (Xylene) โดยโทลูอีนและไซลีนจะเป็นตัวแทนของตัวทำละลายอินทรีย์ในกลุ่มของสารประกอบอะโรมาติก สำหรับน้ำมันก๊าดเป็นตัวแทนของตัวทำละลายอินทรีย์ในกลุ่มของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน โดยจะทำการผสมตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด กับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน ตั้งแต่ 1,000, 5,000, 10,000, 50,000, 100,000 และ 200,000 ppm

จุดหมอก (Cloud point, CP) ของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด เมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.9 พบว่าจุดหมอกจะลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อความเข้มข้นของตัวทำละลายอินทรีย์เพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้นของตัวทำละลายอินทรีย์ 200,000 ppm สามารถลดจุดหมอกได้ 5 – 6°C โดยเมื่อผสมกับโทลูอีนและไซลีนทำให้จุดหมอกลดลงเป็น 10°C ($\Delta CP = 6^\circ C$) และเมื่อผสมกับน้ำมันก๊าดทำให้จุดหมอกลดลงเป็น 11°C ($\Delta CP = 5^\circ C$) เช่นเดียวกับจุดไหลเท (Pour point, PP) ของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด เมื่อผสมในปาล์มไบโ

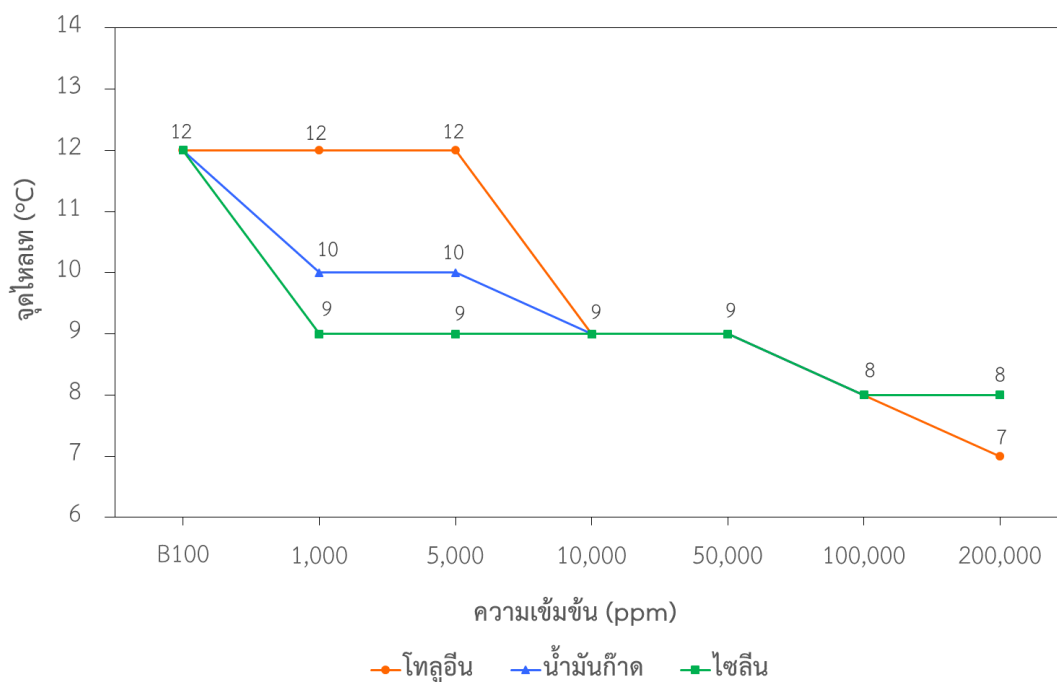
ดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.10 พบว่าจุดไหลเทจะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อความเข้มข้นของตัวทำละลายอินทรีย์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับค่าจุดหมอก สำหรับการผสมด้วยโทลูอีนจะต้องผสมที่ความเข้มข้นสูงถึง 10,000 ppm จึงจะสามารถลดค่าจุดไหลเทเป็น 9°C ($\Delta\text{PP} = 3^{\circ}\text{C}$) และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโทลูอีนเป็น 200,000 ppm ปรากฏว่าจุดไหลเทลดลงเพียงเล็กน้อยเป็น 7°C ($\Delta\text{PP} = 5^{\circ}\text{C}$) สำหรับการผสมด้วยน้ำมันก๊าดและไซลีนที่ความเข้มข้นต่ำๆ (1,000 – 5,000 ppm) จุดไหลเทลดลงเป็น 10°C ($\Delta\text{PP} = 2^{\circ}\text{C}$) และ 9°C ($\Delta\text{PP} = 3^{\circ}\text{C}$) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่ความเข้มข้นของตัวทำละลายอินทรีย์ต่ำๆ ไซลีนจะสามารถลดค่าจุดไหลเทได้ดีกว่าน้ำมันก๊าด แต่เมื่อผสมน้ำมันก๊าดและไซลีนที่ความเข้มข้นสูงขึ้นพบว่าจะให้ผลที่เหมือนกัน โดยที่ความเข้มข้น 200,000 ppm จะลดค่าจุดไหลเทเป็น 8°C ($\Delta\text{PP} = 4^{\circ}\text{C}$)



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด กับค่าจุดหมอก

จากการศึกษาพบว่าตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของปาล์มไบโอดีเซลได้ [13] โดยโทลูอีนจะมีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากโทลูอีนจะมีค่าจุดหลอมเหลว (Melting point) ที่ต่ำที่สุด และมีโมเลกุลที่มีขนาดเล็กที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดอื่นๆ แต่จะต้องผสมที่ความเข้มข้นสูงถึง 100,000 ppm ขึ้นไป จึงจะสามารถช่วยลดค่าจุดหมอกและจุดไหลเทได้ 4°C ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ P.V. Bhale และคณะ (2009) พบว่าการผสมด้วยเอทานอลและน้ำมันก๊าดจะสามารถปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของเมทิล

เอสเทอร์จากน้ำมันต้นมะขาง (Mahua methyl ester, MME) ได้ แต่ต้องผสมที่ความเข้มข้นสูงถึง 20 เปอร์เซ็นต์ และงานวิจัยของ T.Q. Chastek และคณะ (2011) ทำการศึกษาวิธีการสำหรับการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันคาโนลา พบว่าการผสมด้วยโทลูอีนจะให้ผลที่ดีที่สุดสำหรับการลดลงของจุดเยือกแข็ง



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด กับค่าจุดไหลเท

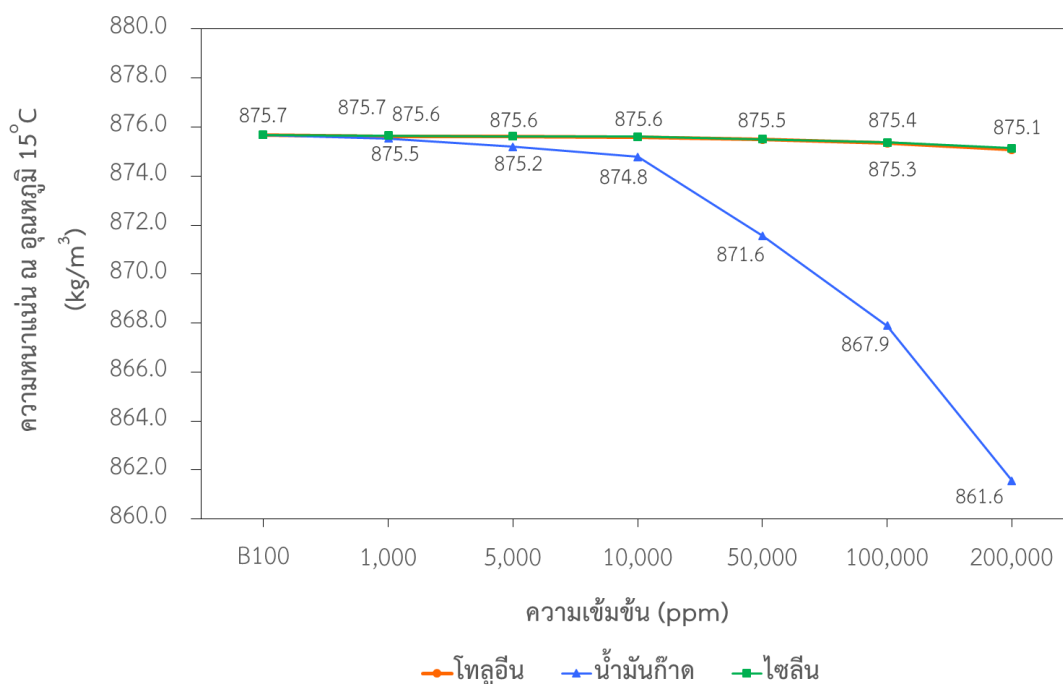
4.4.3 การศึกษาผลของตัวทำละลายอินทรีย์ต่อสมบัติอื่นๆ

4.4.3.1 ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C)

ค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C) ของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด เมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.11 พบว่าค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของตัวทำละลายอินทรีย์เพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 861.6 – 875.7 kg/m³ จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อผสมด้วยโทลูอีนและไซลีน ค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C จะลดลงเพียงเล็กน้อยอยู่ในช่วงแคบๆ คือ 875.1 – 875.7 kg/m³ ซึ่งแตกต่างจากการผสมด้วยน้ำมันก๊าดพบว่าค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C จะมีแนวโน้มลดลงอย่างมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด โดยจะมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 861.6 – 875.7 kg/m³ คิดเป็น 1.61 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C ที่ได้ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานข้อกำหนดของกรมธุรกิจพลังงาน โดยได้กำหนดค่าความหนาแน่น

ณ อุณหภูมิ 15°C ของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันต้องมีค่าอยู่ในช่วง 860 – 900 kg/m³

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าการผสมด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด ส่งผลให้ค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C ของพอล์มไบโอดีเซลมีค่าลดลง โดยเฉพาะการผสมด้วยน้ำมันก๊าดจะลดค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C ได้มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันก๊าดมีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับโทลูอินและไซลีน โดยมีค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C ของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด จะมีค่าเท่ากับ 812.9, 871.5 และ 871.1 kg/m³ ตามลำดับ ค่าความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิง จะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงน้ำหนักของน้ำมันเชื้อเพลิงต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรที่อุณหภูมิคงที่ โดยจะมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์โดยตรง ดังนั้นค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C ของพอล์มไบโอดีเซลที่มีค่าลดลงเมื่อผสมด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด อาจมีส่วนช่วยให้การฉีดเป็นละอองฝอยของหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้เกิดได้ดีขึ้น และช่วยให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ [5]

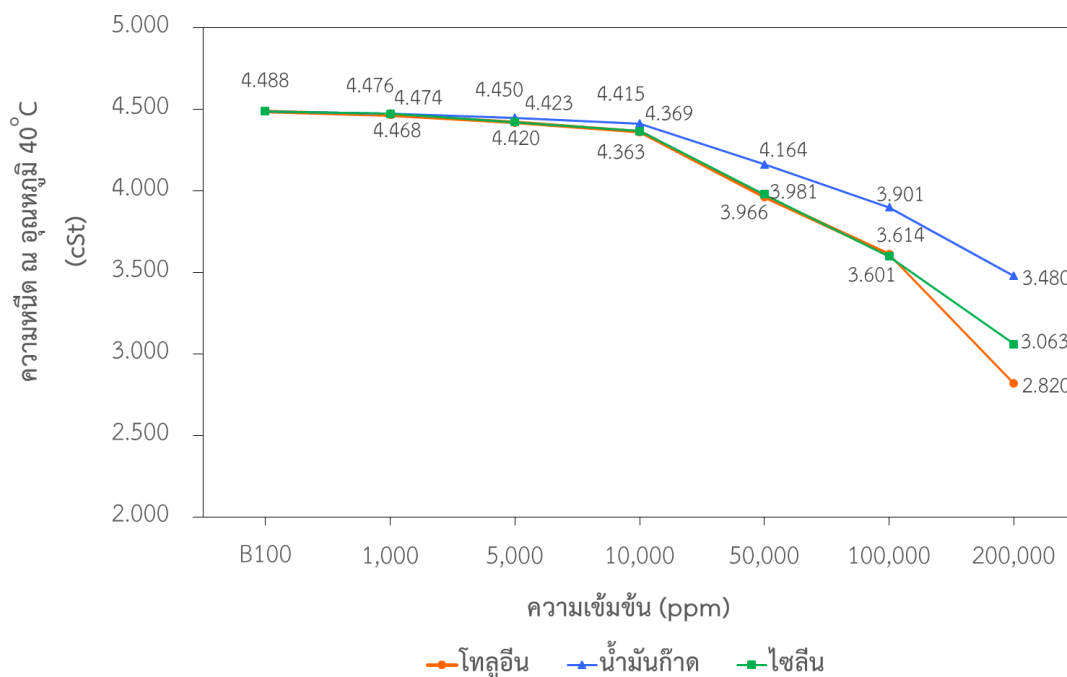


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด กับค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C

4.4.3.2 ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40°C)

ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40°C) ของตัวทำละลายอินทรีย์ ทั้ง 3 ชนิด เมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.12 พบว่าค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C จะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของตัวทำละลายอินทรีย์เพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 2.820 – 4.476 cSt ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm พบว่าการผสมด้วยโทลูอีนจะทำให้ค่าความหนืดของปาล์มไบโอดีเซลลดลงได้มากที่สุด โดยค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C ลดลงเป็น 2.820 cSt คิดเป็น 37.17 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการผสมด้วยไซลีนและน้ำมันก๊าด ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C จะลดลงเป็น 3.063 cSt และ 3.480 cSt คิดเป็น 31.75 และ 22.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้การผสมด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดที่ความเข้มข้น 200,000 ppm จะมีค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานข้อกำหนดของกรมธุรกิจพลังงาน โดยกำหนดให้ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C ของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันต้องมีค่าอยู่ในช่วง 3.5 – 5.0 cSt

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าการผสมด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด ส่งผลให้ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C ของปาล์มไบโอดีเซลมีค่าลดลง โดยเฉพาะการผสมด้วยโทลูอีนจะลดค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C ได้มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากโทลูอีนมีค่าความหนืดน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันก๊าดและไซลีน โดยมีค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C ของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด จะมีค่า เท่ากับ 0.240, 1.576 และ 0.559 cSt ตามลำดับ โดยค่าความหนืดจะเป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับการไหล ซึ่งจะเป็นค่าแสดงความต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเนื่องจากการเคลื่อนที่ของของไหล ที่เกิดจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีผลต่อรูปร่างของละอองฝอยน้ำมันเชื้อเพลิงที่ฉีดออกมาจากหัวฉีด ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C ของปาล์มไบโอดีเซลที่มีค่าลดลงเมื่อผสมด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด อาจจะมีส่วนช่วยให้การฉีดเป็นละอองฝอยของหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น และระยะทางการฟุ้งกระจายเกิดได้ดีขึ้น [12, 31]

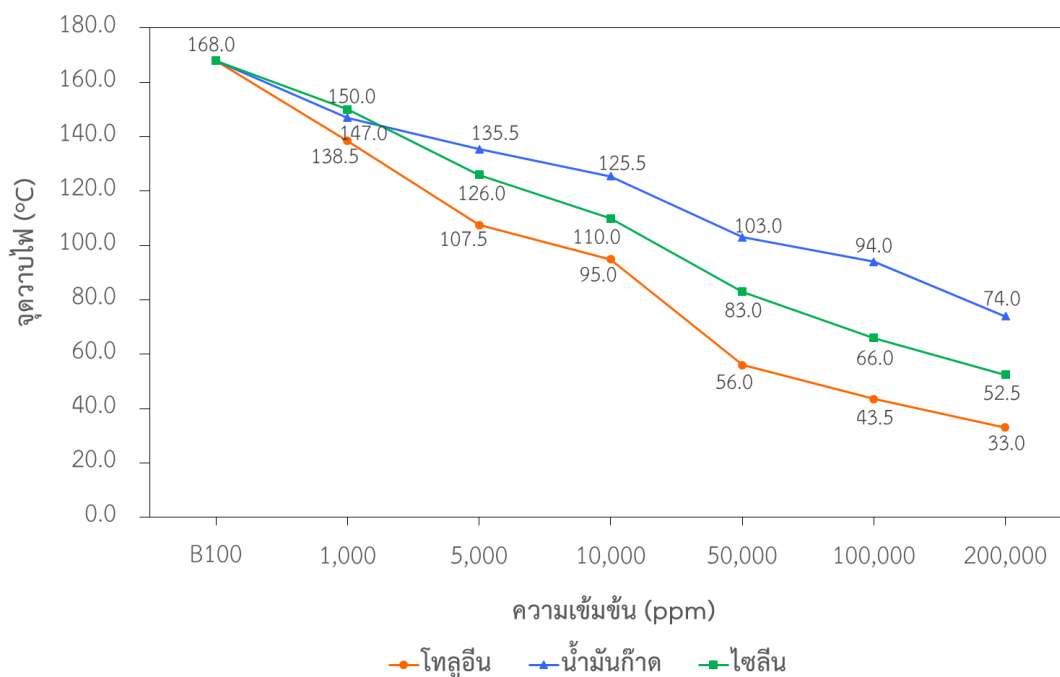


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด กับค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C

4.4.3.3 จุดวาบไฟ (Flash point)

ค่าจุดวาบไฟ (Flash point) ของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด เมื่อผสมในพอลิเมอร์ไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.13 พบว่าจุดวาบไฟจะมีค่าลดลงอย่างชัดเจน เมื่อความเข้มข้นของตัวทำละลายอินทรีย์เพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm การผสมด้วยโพลูอิน น้ำมันก๊าด และไซลีนทำให้ค่าจุดวาบไฟลดลงเป็น 33.0°C, 74.0°C และ 52.5°C ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานเป็นอย่างมาก โดยตามเกณฑ์มาตรฐานข้อกำหนดของกรมธุรกิจพลังงาน จุดวาบไฟของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 120°C

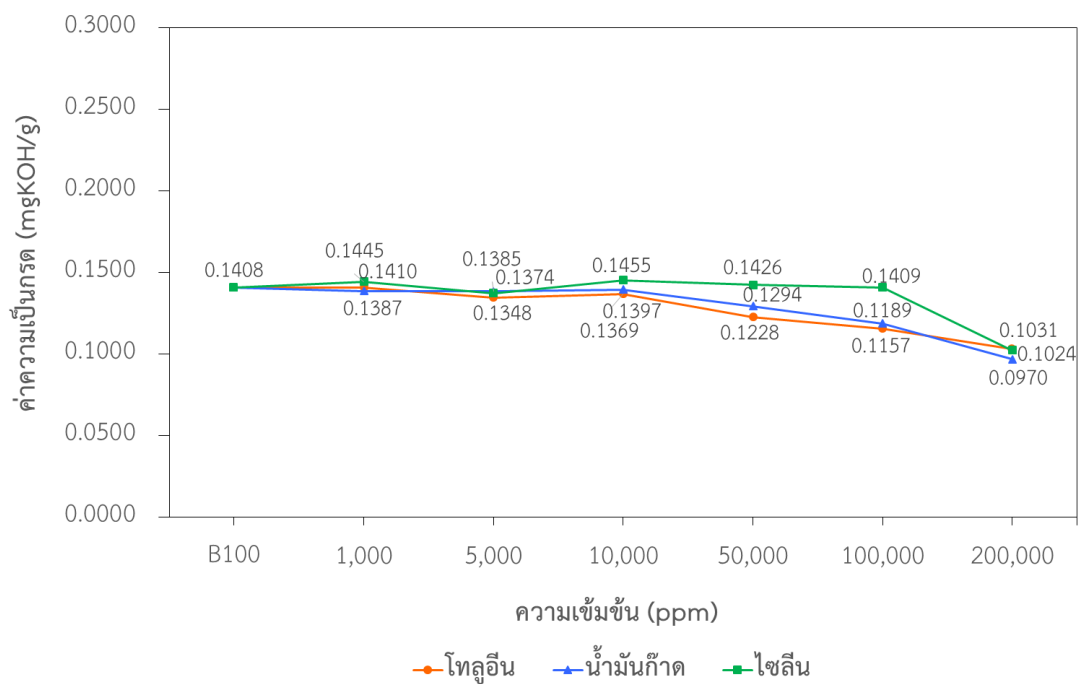
จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าการผสมด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด จะมีผลต่อการลดลงของจุดวาบไฟของพอลิเมอร์ไบโอดีเซลอย่างมาก ผลของตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีผลต่อจุดวาบไฟคือ โพลูอิน > ไซลีน > น้ำมันก๊าด ตามลำดับ โดยจะพบว่าการผสมด้วยน้ำมันก๊าดจะให้ค่าจุดวาบไฟสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำมันก๊าดมีค่าจุดวาบไฟที่สูงกว่าตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดอื่นๆ โดยมีจุดวาบไฟคือ 82°C เนื่องจากน้ำมันก๊าดจะเป็นของผสมไฮโดรคาร์บอนที่มีค่าความหนืดสูงกว่าตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดอื่นๆ จึงส่งผลให้มีจุดวาบไฟสูงด้วย รองลงมาคือไซลีนและโพลูอิน จะมีค่าจุดวาบไฟคือ 30°C และ 4°C ตามลำดับ



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด กับค่าจุดวาบไฟ

4.4.3.4 ค่าความเป็นกรด (Acid value)

ค่าความเป็นกรด (Acid value) ของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด เมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.14 พบว่าค่าความเป็นกรดจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของตัวทำละลายอินทรีย์เพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.0970 – 0.1445 mgKOH/g ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm การผสมด้วยน้ำมันก๊าดจะทำให้ค่าความเป็นกรดลดลงมากที่สุด ค่าความเป็นกรดจะลดลงเป็น 0.0970 mgKOH/g คิดเป็น 31.11 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการผสมด้วยโทลูอินและไลซีน ค่าความเป็นกรดลดลงเป็น 0.1031 และ 0.1024 mgKOH/g คิดเป็น 26.78 และ 27.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งค่าความเป็นกรดที่ได้ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน โดยได้กำหนดค่าความเป็นกรดของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน ต้องมีค่าไม่สูงกว่า 0.50 mgKOH/g



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด กับค่าความเป็นกรด

4.5 การศึกษาผลของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและสมบัติอื่นๆ ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

4.5.1 คุณสมบัติของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ ทั้ง 2 ชนิด

ตารางที่ 4.8 คุณสมบัติสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด

คุณสมบัติ	DEGPE	DEGBA
ความบริสุทธิ์ (%)	99.7 ⁽¹⁾	99.3 ⁽¹⁾
ความถ่วงจำเพาะ 20°C (g/cm ³)	0.9066 ⁽¹⁾	0.9784 ⁽¹⁾
จุดวาบไฟ (°C)	61.2 ⁽²⁾	115 ⁽²⁾
จุดหลอมเหลว (°C)	-	-32 ⁽²⁾
จุดเดือด (°C)	169.5 – 199.5 ⁽²⁾	237 – 241 ⁽²⁾
น้ำ (%wt)	- ⁽¹⁾	0.0 ⁽¹⁾
ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g)	- ⁽¹⁾	0.0 ⁽¹⁾

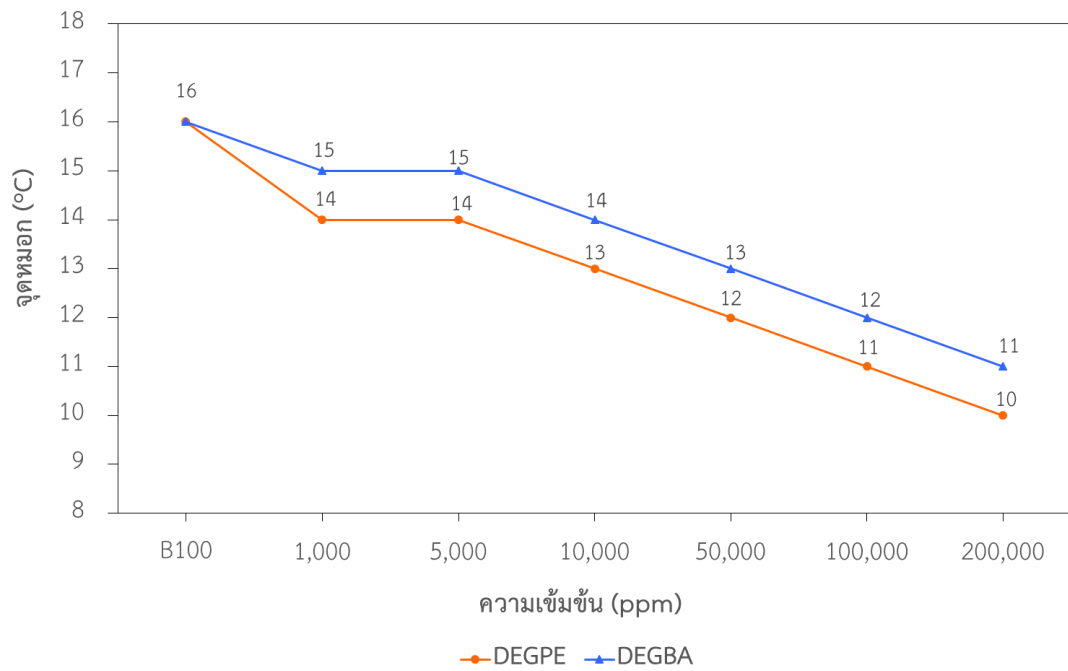
หมายเหตุ : (1) ข้อมูลจาก Certificate of Analysis

(2) ข้อมูลจาก www.chemspider.com

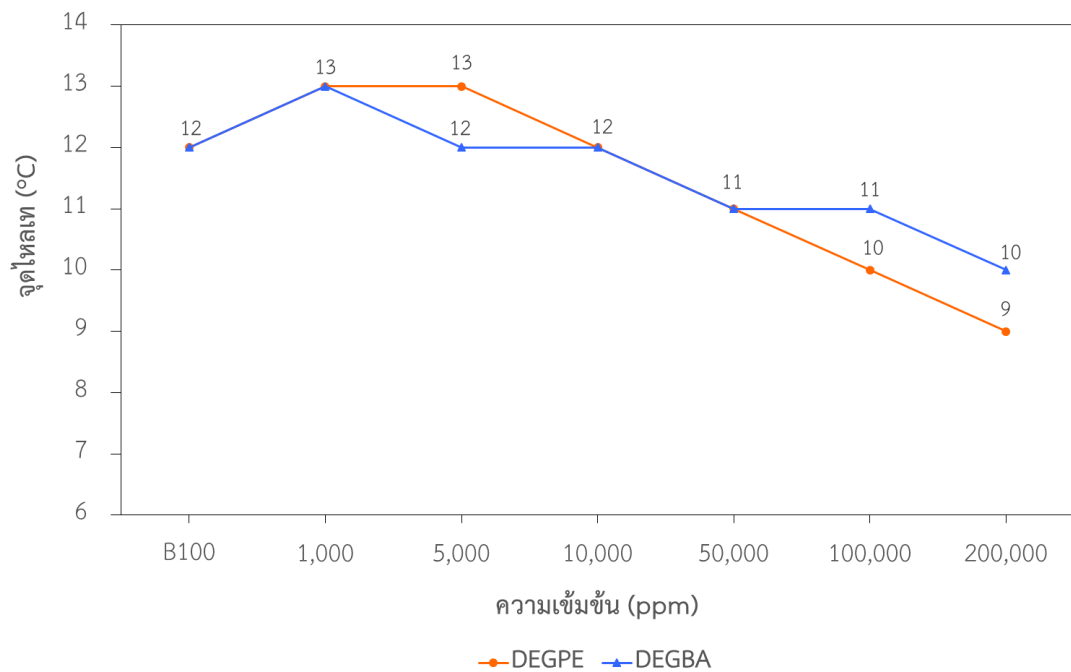
4.5.2 การศึกษาผลของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ (Glycol ether) ที่มีผลต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล (B100) สารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ที่เลือกใช้มีทั้งหมด 2 ชนิด คือ ไดเอทิลีนไกลคอลไอโซโพรพิลเมทิลอีเธอร์ (Diethylene glycol isopropyl methyl ether, DEGPE) และไดเอทิลีนไกลคอลโมโนบิวทิลอีเธอร์อะซีเตท (Diethylene glycol monobutyl ether acetate, DEGBA) โดยจะทำการผสมสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์กับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน ตั้งแต่ 1,000, 5,000, 10,000, 50,000, 100,000 และ 200,000 ppm

จุดหมอก (Cloud point, CP) ของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด เมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.15 พบว่าจุดหมอกจะลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อความเข้มข้นสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์เพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้นของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ 200,000 ppm สามารถลดจุดหมอกได้ $5 - 6^{\circ}\text{C}$ โดยเมื่อผสมกับไดเอทิลีนไกลคอลไอโซโพรพิลเมทิลอีเธอร์ (DEGPE) สามารถลดค่าจุดหมอกได้มากกว่าการผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลโมโนบิวทิลอีเธอร์อะซีเตท (DEGBA) ซึ่งทำให้ค่าจุดหมอกลดลงเป็น 10°C ($\Delta\text{CP} = 6^{\circ}\text{C}$) และ 11°C ($\Delta\text{CP} = 5^{\circ}\text{C}$) ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าจุดไหลเท (Pour point, PP) ของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด เมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.16 พบว่าจุดไหลเทจะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อความเข้มข้นของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับค่าจุดหมอก ที่ความเข้มข้นต่ำๆ (1,000 – 5,000 ppm) พบว่าค่าจุดไหลเทจะมีค่าเพิ่มขึ้น 1°C และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด จะเห็นว่าค่าจุดไหลเทของปาล์มไบโอดีเซลมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm สามารถลดค่าจุดไหลเทได้เพียง $2 - 3^{\circ}\text{C}$ โดยเมื่อผสมกับไดเอทิลีนไกลคอลไอโซโพรพิลเมทิลอีเธอร์ (DEGPE) สามารถลดค่าจุดไหลเทได้มากกว่าการผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลโมโนบิวทิลอีเธอร์อะซีเตท (DEGBA) ซึ่งทำให้ค่าจุดไหลเทลดลงเป็น 9°C ($\Delta\text{PP} = 3^{\circ}\text{C}$) และ 10°C ($\Delta\text{PP} = 2^{\circ}\text{C}$) ตามลำดับ



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด กับค่าจุดหลอม



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด กับค่าจุดไหลเท

ตารางที่ 4.9 ค่าจุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกโดยใช้เทคนิค DSC ของพาล์มไบโอดีเซลผสมด้วยสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ ทั้ง 2 ชนิด ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm

ไกลคอลอีเธอร์	จุดจุดตันไส้กรอง ที่อุณหภูมิต่ำ (°C)	อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก (°C)
พาล์มไบโอดีเซล (B100)	12.0	9.60
DEGPE	8.5	5.53
DEGBA	8.5	6.27

ค่าจุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (CFPP) และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก (Crystallization temperature) ของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ ทั้ง 2 ชนิด แสดงในตารางที่ 4.9 พบว่าค่าจุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกจะมีค่าลดลงเมื่อผสมด้วยสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ ทั้ง 2 ชนิด ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm พบว่าค่าจุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำของการผสมด้วยสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ ทั้ง 2 ชนิด มีค่าลดลงเท่ากันเป็น 8.5°C ($\Delta\text{CFPP} = 3.5^{\circ}\text{C}$) แต่เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก จะพบว่าการผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลไอโซพรพิลเมทิลอีเธอร์ (DEGPE) จะมีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกต่ำกว่าการผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลโมโนบิวทิลอีเธอร์อะซีเตท (DEGBA) โดยมีค่าลดลงเป็น 5.53°C ($\Delta\text{Tc} = 4.07^{\circ}\text{C}$) และ 6.27°C ($\Delta\text{Tc} = 3.33^{\circ}\text{C}$) ตามลำดับ

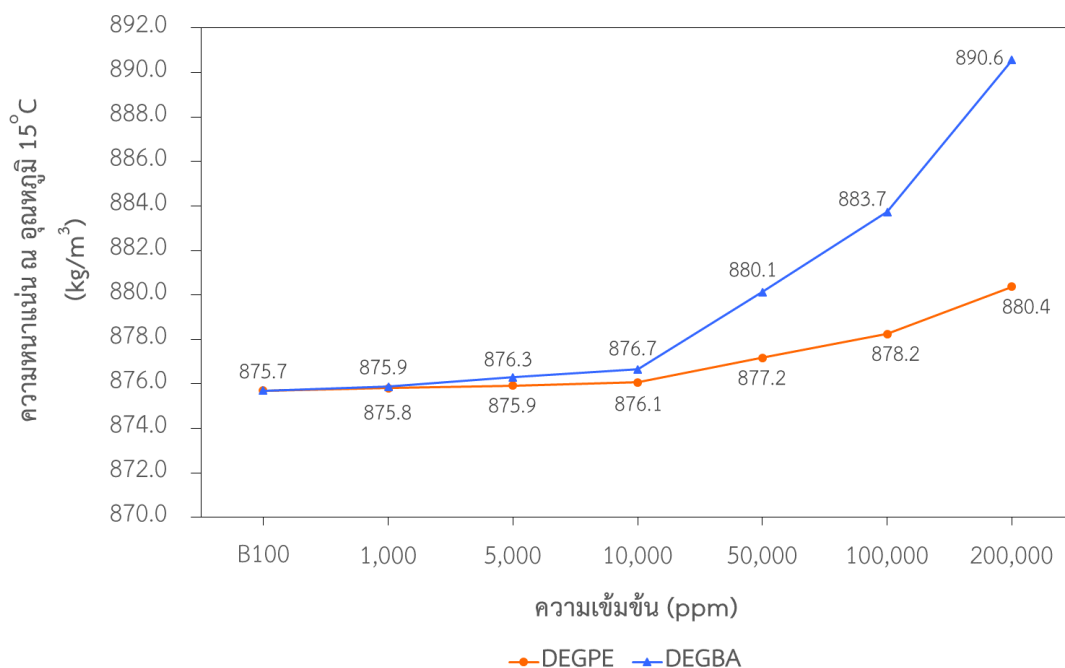
จากการศึกษาพบว่าสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของพาล์มไบโอดีเซลได้ โดยจะสามารถลดค่าจุดหมอก, จุดไหลเท, จุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกให้ลดลง และพบว่าจะสามารถลดค่าจุดหมอกได้ดีกว่าจุดไหลเท เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด จะพบว่าการผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลไอโซพรพิลเมทิลอีเธอร์ (DEGPE) จะสามารถลดค่าจุดหมอก, จุดไหลเท และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกได้ดีกว่าการผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลโมโนบิวทิลอีเธอร์อะซีเตท (DEGBA) เนื่องจากไดเอทิลีนไกลคอลไอโซพรพิลเมทิลอีเธอร์ (DEGPE) เป็นสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่า และมีสายโซ่ที่สั้นกว่า จึงสามารถเข้าไปขัดขวางการเกิดผลึกในพาล์มไบโอดีเซลได้ดีกว่า

4.5.3 การศึกษาผลของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ต่อสมบัติอื่นๆ

4.5.3.1 ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C)

ค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C) ของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด เมื่อผสมในพอลิเมอร์ไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.17 พบว่าค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อความเข้มข้นของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์เพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 875.8 – 890.6 kg/m³ ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm การผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลไอโซโพรพิลเมทิลอีเธอร์ (DEGPE) จะเพิ่มค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C เป็น 880.4 kg/m³ คิดเป็น 0.54 เปอร์เซ็นต์ และการผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลโมโนบิวทิลอีเธอร์อะซีเตท (DEGBA) จะเพิ่มค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C เป็น 890.6 kg/m³ คิดเป็น 1.70 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C ที่ได้ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานข้อกำหนดของกรมธุรกิจพลังงาน

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าการผสมด้วยสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด ส่งผลให้ค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C ของพอลิเมอร์ไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยจะพบว่าการผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลโมโนบิวทิลอีเธอร์อะซีเตท (DEGBA) จะเพิ่มค่าความหนาแน่นได้มากกว่าการผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลไอโซโพรพิลเมทิลอีเธอร์ (DEGPE) ทั้งนี้เนื่องจาก DEGBA มีค่าความถ่วงจำเพาะที่ 20°C มากกว่า DEGPE โดยจะมีค่าเท่ากับ 0.9784 g/cm³ และ 0.9066 g/cm³ ตามลำดับ ดังนั้นค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C ของพอลิเมอร์ไบโอดีเซลที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผสมด้วยสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด อาจส่งผลให้ความสามารถในการฉีกเป็นละอองฝอยของหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้เกิดได้ต่ำลง ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ได้ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ได้โดยตรง [5, 12]



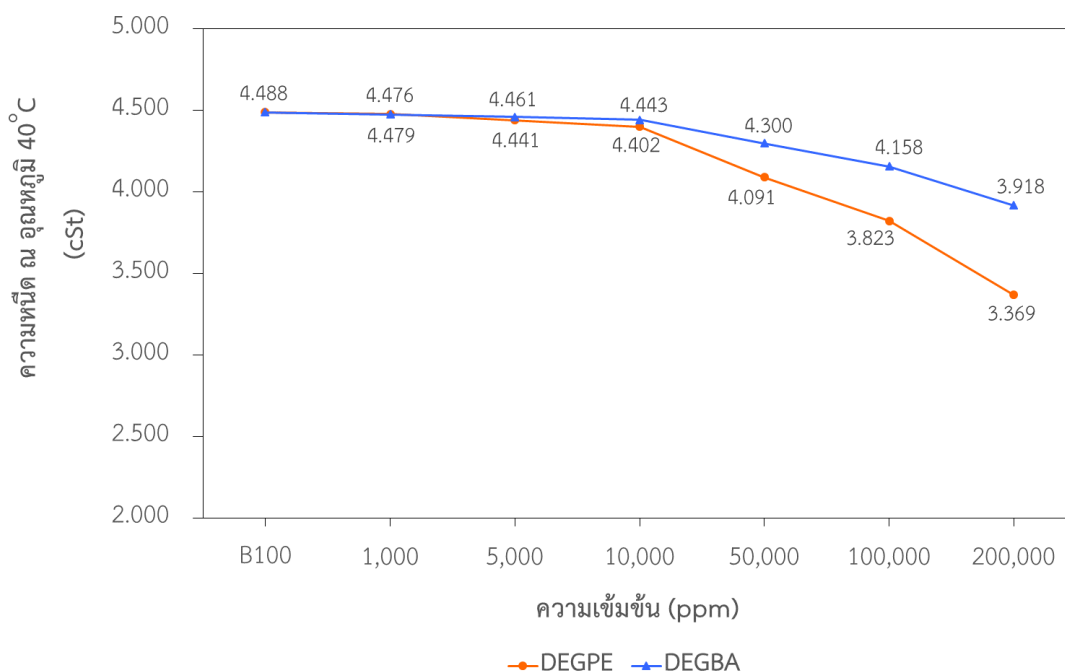
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด กับค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C

4.5.3.2 ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40°C)

ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40°C) ของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด เมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.18 พบว่าค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C จะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์เพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 3.369 – 4.479 cSt ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm การผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลไอโซโพรพิลเมทิลอีเธอร์ (DEGPE) จะสามารถลดค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C เป็น 3.369 cSt คิดเป็น 24.93 เปอร์เซ็นต์ และการผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลโมโนบิวทิลอีเธอร์อะซีเตท (DEGBA) จะลดค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C เป็น 3.918 cSt คิดเป็น 12.70 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C ที่ได้ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานข้อกำหนดของกรมธุรกิจพลังงานทุกตัว ยกเว้นการผสมด้วย DEGPE ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm ที่จะส่งผลให้ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานเล็กน้อย

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าการผสมด้วยสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด ส่งผลให้ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C ของปาล์มไบโอดีเซลมีแนวโน้มลดลง โดยจะพบว่าการผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลไอโซโพรพิลเมทิลอีเธอร์ (DEGPE) จะสามารถลดค่าความหนืดได้มากกว่าการผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลโมโนบิวทิลอีเธอร์อะซีเตท (DEGBA) ดังนั้นค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ

40°C ของพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์ที่มีค่าลดลงเมื่อผสมด้วยสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด อาจจะมีผลต่อการฉีดเป็นละอองฝอยขนาดเล็กของน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งจะทำให้เกิดการเผาไหม้ได้สมบูรณ์มากขึ้น [12, 31]



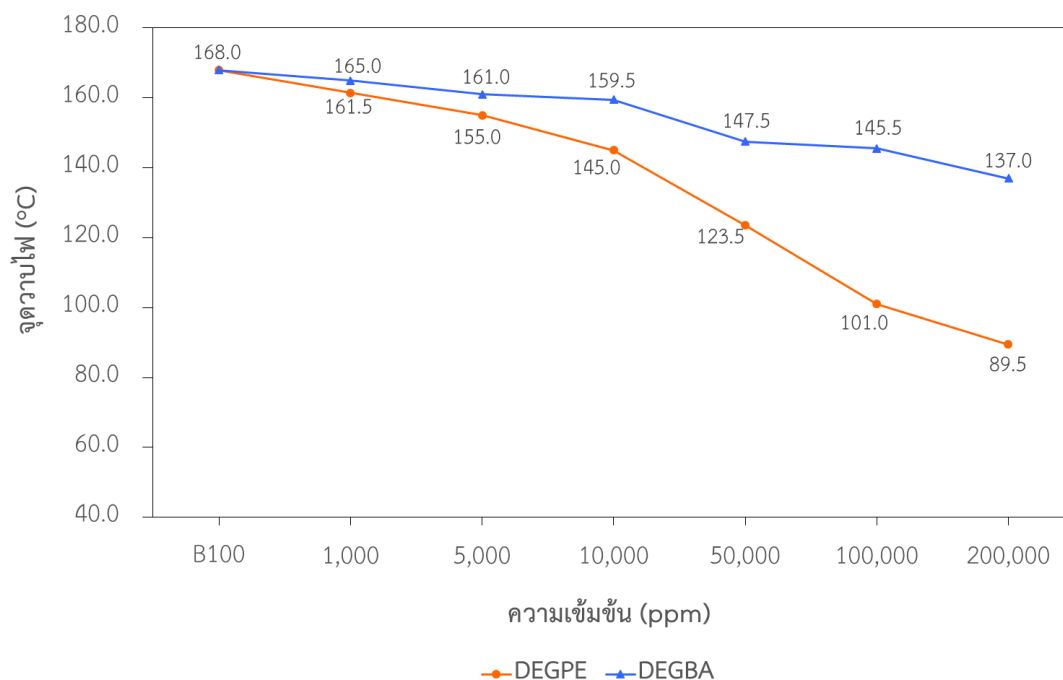
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด กับค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C

4.5.3.3 จุดวาบไฟ (Flash point)

ค่าจุดวาบไฟ (Flash point) ของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด เมื่อผสมในพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์ (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.19 พบว่าจุดวาบไฟจะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อความเข้มข้นของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์เพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm การผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลไอโซโพรพิลเมทิลอีเธอร์ (DEGPE) จะทำให้ค่าจุดวาบไฟลดลงเป็น 89.5°C นอกจากนี้ยังพบว่า การผสมด้วย DEGPE ที่ความเข้มข้น 100,000 ppm ขึ้นไป ส่งผลให้ค่าจุดวาบไฟมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน สำหรับการผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลโมโนบิวทิลอีเธอร์อะซีเตท (DEGBA) จะทำให้ค่าจุดวาบไฟลดลงเป็น 137.0°C ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในทุกๆ ความเข้มข้น

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าการผสมด้วยสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด ส่งผลให้จุดวาบไฟของพอลิเมอร์โพลีเอสเตอร์มีค่าลดลง โดยการผสมด้วย DEGPE จะมีผลต่อการลดลงของ

ค่าจุดวาบไฟได้มากกว่าการผสมด้วย DEGBA ทั้งนี้เนื่องจาก DEGPE มีค่าจุดวาบไฟและค่าจุดเดือดที่ต่ำกว่า DEGBA จึงทำให้เมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซลก็จะส่งผลให้ค่าจุดวาบไฟลดลงมากกว่าด้วย

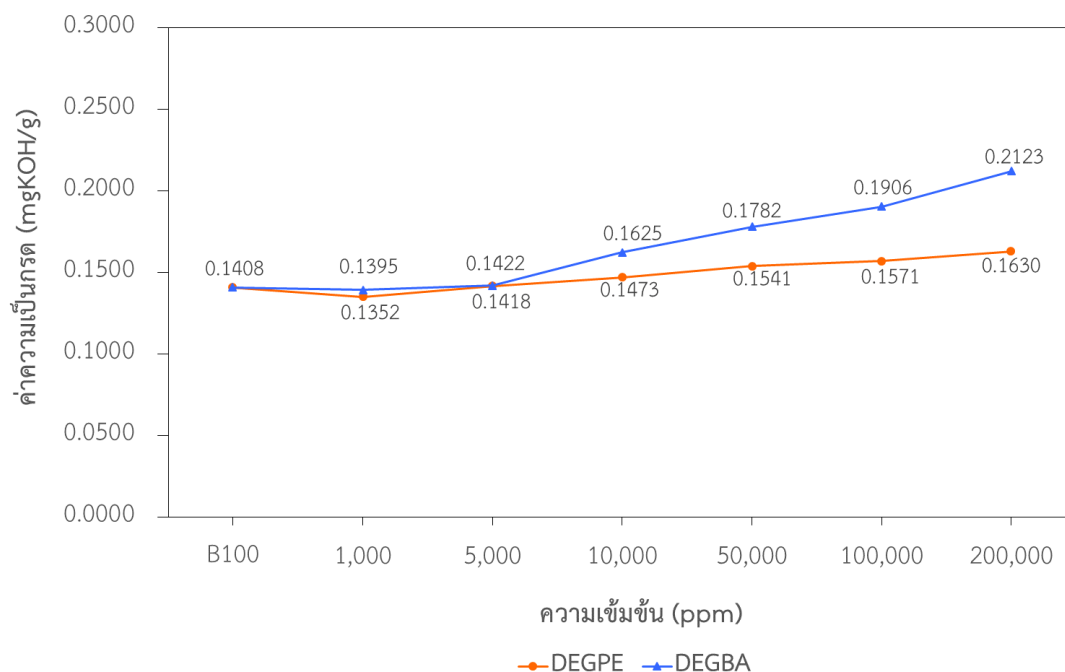


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด กับค่าจุดวาบไฟ

4.5.3.4 ค่าความเป็นกรด (Acid value)

ค่าความเป็นกรด (Acid value) ของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด เมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.20 พบว่าค่าความเป็นกรดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์เพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.1352 – 0.2123 mgKOH/g ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm การผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลไอโซโพรพิลเมทิลอีเธอร์ (DEGPE) ค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้นเป็น 0.1630 mgKOH/g คิดเป็น 15.77 เปอร์เซ็นต์ และการผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลโมโนบิวทิลอีเธอร์อะซีเตท (DEGBA) ค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้นเป็น 0.2123 mgKOH/g คิดเป็น 50.78 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าความเป็นกรดที่ได้ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานข้อกำหนดของกรมธุรกิจพลังงาน

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าการผสมด้วยสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด จะส่งผลให้ค่าความเป็นกรดของปาล์มไบโอดีเซลมีค่าเพิ่มขึ้น โดยจะพบว่าการผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลโมโนบิวทิลอีเธอร์อะซีเตท (DEGBA) จะเพิ่มค่าความเป็นกรดได้มากกว่าการผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลไอโซโพรพิลเมทิลอีเธอร์ (DEGPE)



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิด กับค่าความเป็นกรด

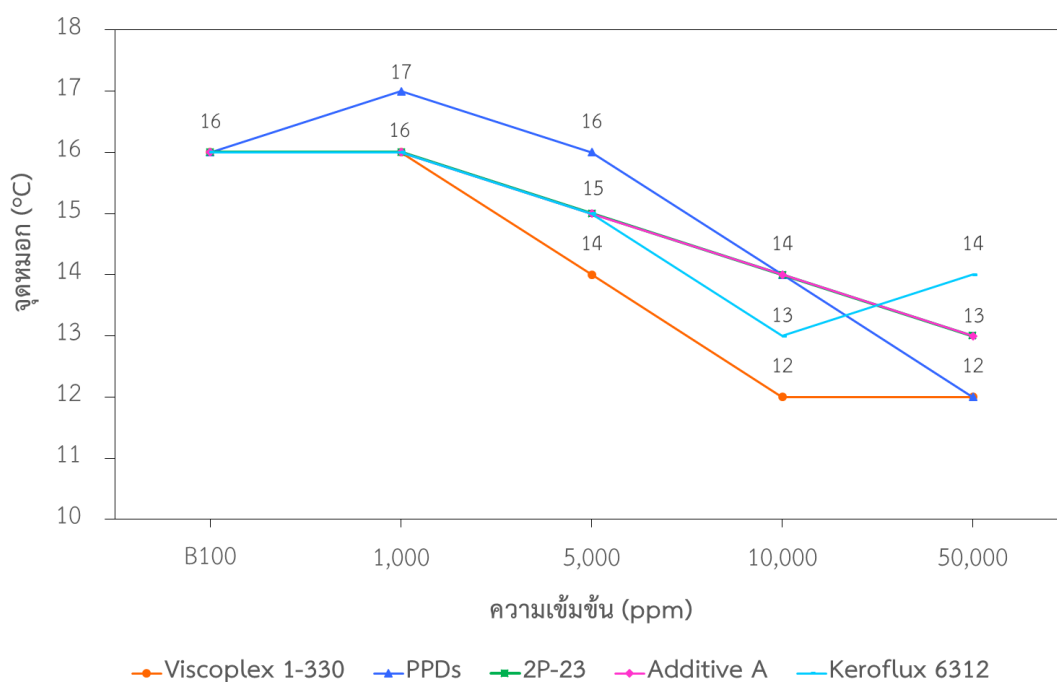
4.6 การศึกษาผลของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและสมบัติอื่นๆ ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

4.6.1 การศึกษาผลของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

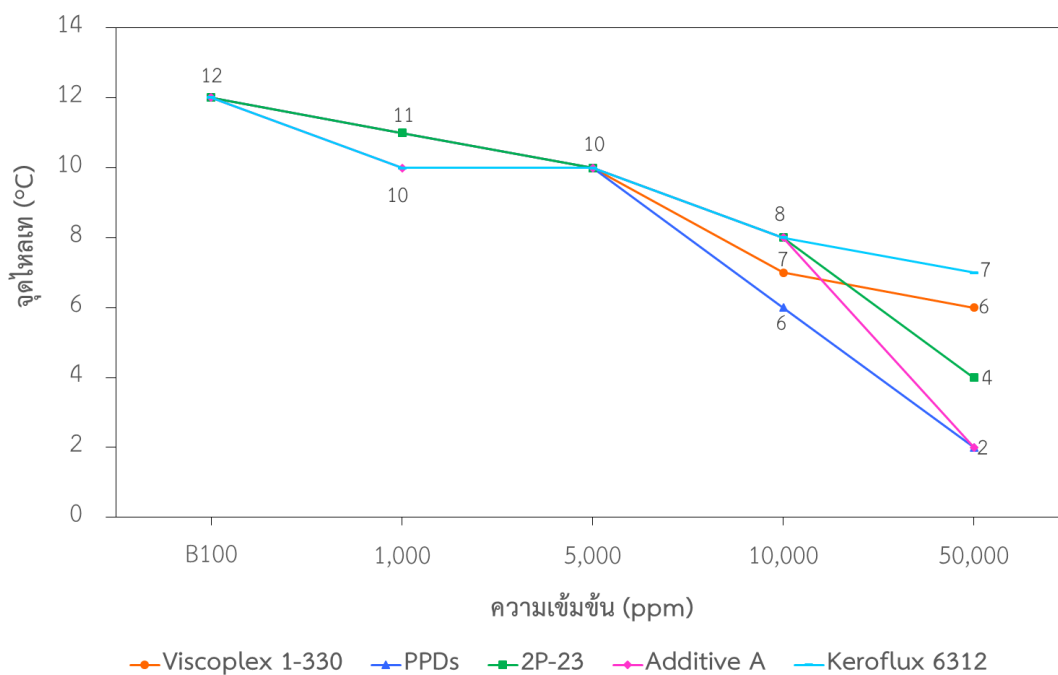
งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ (Commercial pour point depressants) ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล (B100) โดยสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ที่ใช้ทั้งหมดมี 5 ชนิด คือ Viscoplex 1-330 (Pan-Asia), PPDs (UAC), 2P-23 (Zeith), Additive A (Infineum), Keroflux 6312 (BASF) จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีและศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ พบว่าสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิดเป็นสารประกอบในกลุ่มเอสเทอร์ มีเพียงชนิดเดียวที่จะประกอบด้วยสารอะโรมาติกอยู่ด้วย คือ สารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs (UAC) โดยจะทำการผสมสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์กับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน ตั้งแต่ 1,000, 5,000, 10,000 และ 50,000 ppm

จุดหมอก (Cloud point, CP) ของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด เมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.21 พบว่าจุดหมอกจะลดลง

เล็กน้อยเมื่อความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์เพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ 50,000 ppm สามารถลดจุดหมอกได้เพียง 2 – 4°C โดยเมื่อผสมกับสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ Viscoplex 1-330 และ PPDs สามารถลดค่าจุดหมอกได้มากที่สุด ทำให้ค่าจุดหมอกลดลงเป็น 12°C ($\Delta CP = 4^\circ C$) นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าที่ความเข้มข้น 50,000 ppm ของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ Keroflux 6312 มีค่าจุดหมอกเพิ่มขึ้นเป็น 14°C ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์เกิดการจับรวมตัวกันเอง ส่งผลให้ไม่สามารถกระจายตัวในน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลได้ดี จึงไม่สามารถยับยั้งการเกิดผลึก ส่งผลให้จุดหมอกมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับค่าจุดไหลเท (Pour point, PP) ของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด เมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.22 พบว่าจุดไหลเทจะมีค่าลดลงมากกว่าการลดลงของค่าจุดหมอกอย่างมาก เมื่อความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์เพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ 50,000 ppm สามารถลดค่าจุดไหลเทได้สูงถึง 5 – 10°C โดยเมื่อผสมกับสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs และ Additive A สามารถลดค่าจุดไหลเทได้มากที่สุด ทำให้ค่าจุดไหลเทลดลงเป็น 2°C ($\Delta PP = 10^\circ C$)



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด กับค่าจุดหมอก



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด กับค่าจุดไหลเท

ตารางที่ 4.10 ค่าจุดอดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก โดยใช้เทคนิค DSC ของพอลิโพรพิลีนผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ ทั้ง 5 ชนิด ที่ความเข้มข้น 50,000 ppm

สารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์	จุดอดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (°C)	อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก (°C)
พอลิโพรพิลีน (B100)	12.0	9.60
Viscoplex 1-330	6.0	6.83
PPDs	5.0	5.85
2P-23	6.0	6.31
Additive A	10.0	7.63
Keroflux 6312	7.0	6.42

ค่าจุดอดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (CFPP) และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก (Crystallization temperature) ของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ ทั้ง 5 ชนิด แสดงในตารางที่ 4.10 พบว่าค่าจุดอดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกจะมีค่าลดลง เมื่อผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ ทั้ง 5 ชนิด ที่ความเข้มข้น 50,000 พบว่าสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์

PPDs (UAC) จะสามารถลดค่าจุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกได้มากที่สุด โดยมีค่าลดลงเป็น 5.0°C ($\Delta\text{CFPP} = 7.0^{\circ}\text{C}$) และ 5.85 ($\Delta\text{Tc} = 3.75^{\circ}\text{C}$) ตามลำดับ สำหรับสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์อื่นๆ จะสามารถลดค่าจุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก โดยจะมีค่าลดลงอยู่ในช่วง $2.0 - 6.0^{\circ}\text{C}$ และ $1.97 - 3.29^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ

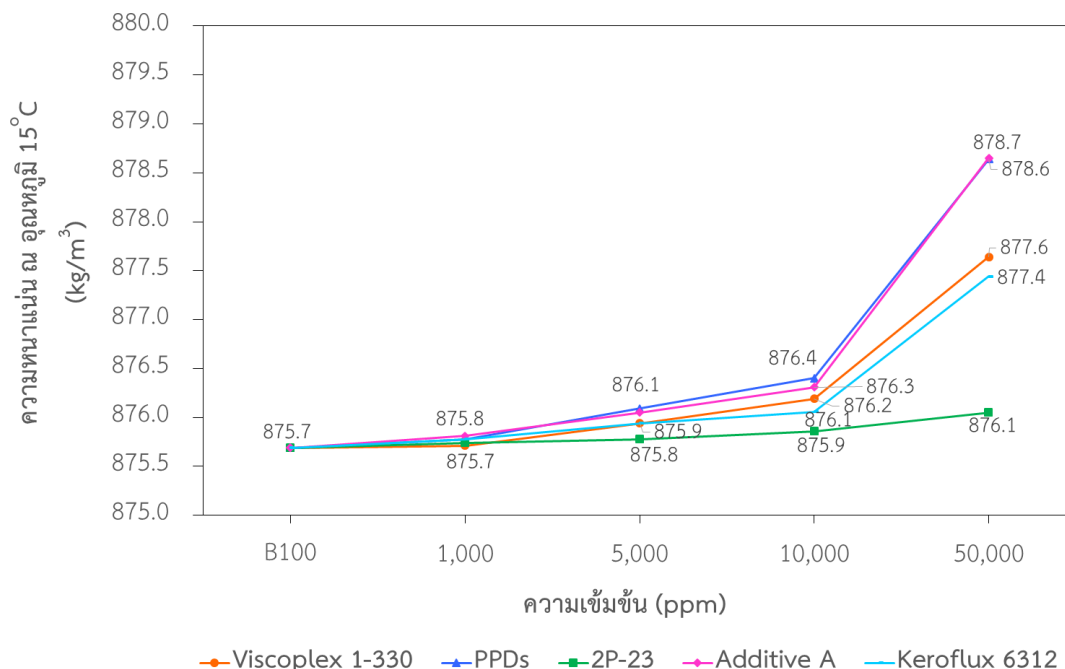
จากการศึกษาผลของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด ที่มีต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของพอลัมไบโอดีเซลจะเห็นได้ว่าสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของพอลัมไบโอดีเซลได้ โดยสามารถลดค่าจุดหมอก, จุดไหลเท, จุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกได้ โดยจะพบว่าจะสามารถลดค่าจุดไหลเทได้ดีกว่าจุดหมอก และเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด พบว่าสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs (UAC) สามารถลดค่าจุดหมอก จุดไหลเท จุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ จะสามารถยับยั้งการเกิดผลึกและการรวมตัวของผลึกในโครงสร้างไบโอดีเซลได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ C.W. Chiu และคณะ (2004) และ P.V. Bhale และคณะ (2009) โดยผลของสารช่วยปรับปรุงการไหล หรือสารลดจุดเริ่มไหลในเชิงพาณิชย์ของไบโอดีเซล โดยส่วนใหญ่จะทำให้เกิดผลึกที่มีขนาดเล็ก ซึ่งผลึกดังกล่าวจะทำหน้าที่ในการลดการเพิ่มขนาดของผลึก และลดอัตราการเติบโตของผลึก

4.6.2 การศึกษาผลของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ต่อสมบัติอื่นๆ

4.6.2.1 ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C)

ค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C) ของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด เมื่อผสมในพอลัมไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.23 พบว่าค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์เพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง $875.7 - 878.7 \text{ kg/m}^3$ คิดเป็น 0.34 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้น 50,000 ppm การผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ Additive A จะเพิ่มค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C ได้มากที่สุด ค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C จะเพิ่มขึ้นเป็น 878.7 kg/m^3 คิดเป็น 0.34 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ Viscoplex 1-330 ค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C จะเพิ่มขึ้นเป็น 878.6 kg/m^3 คิดเป็น 0.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ 2P-23 จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C น้อยที่สุด ค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C เพิ่มขึ้นเป็น 876.1 kg/m^3 คิดเป็น 0.04 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C ที่ได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานข้อกำหนดของกรมธุรกิจพลังงาน

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าการผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C ของพอล์มไบโอดีเซล

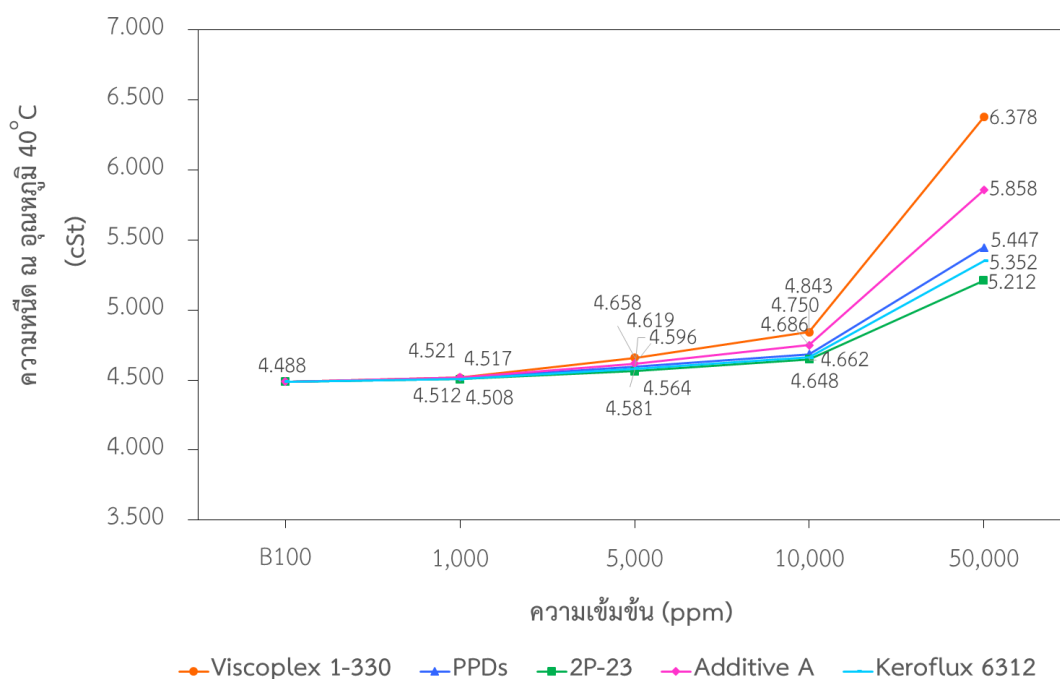


รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด กับค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C

4.6.2.2 ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40°C)

ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40°C) ของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด เมื่อผสมในพอล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.24 พบว่าค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์เพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 4.508 – 6.378 cSt ที่ความเข้มข้น 50,000 ppm ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C การผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ Viscoplex 1-330 จะส่งผลให้ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C เพิ่มขึ้นมากที่สุด ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C จะเพิ่มขึ้นเป็น 6.378 cSt คิดเป็น 42.11 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์อื่นๆ ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับดังนี้ Additive A > PPDs > Keroflux 6312 > 2P-23 ตามลำดับ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าการผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด ที่ความเข้มข้น 50,000 ppm จะส่งผลให้มีค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าการผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด จะส่งผลให้ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C ของปาล์มไบโอดีเซลมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ Viscoplex 1-330 โดยค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C ของปาล์มไบโอดีเซลที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด อาจส่งผลให้การฉีดยาน้ำมันเชื้อเพลิงไม่ดี ละอองน้ำมันมีขนาดใหญ่ ทำให้น้ำมันรวมตัวกับอากาศได้น้อย ทำให้การเผาไหม้เกิดไม่สมบูรณ์ภายในเครื่องยนต์ได้ [12, 31] โดยทั่วไปอัตราส่วนในการผสม (Treat rate) ของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ที่แนะนำคือ 1,000 ppm [23]

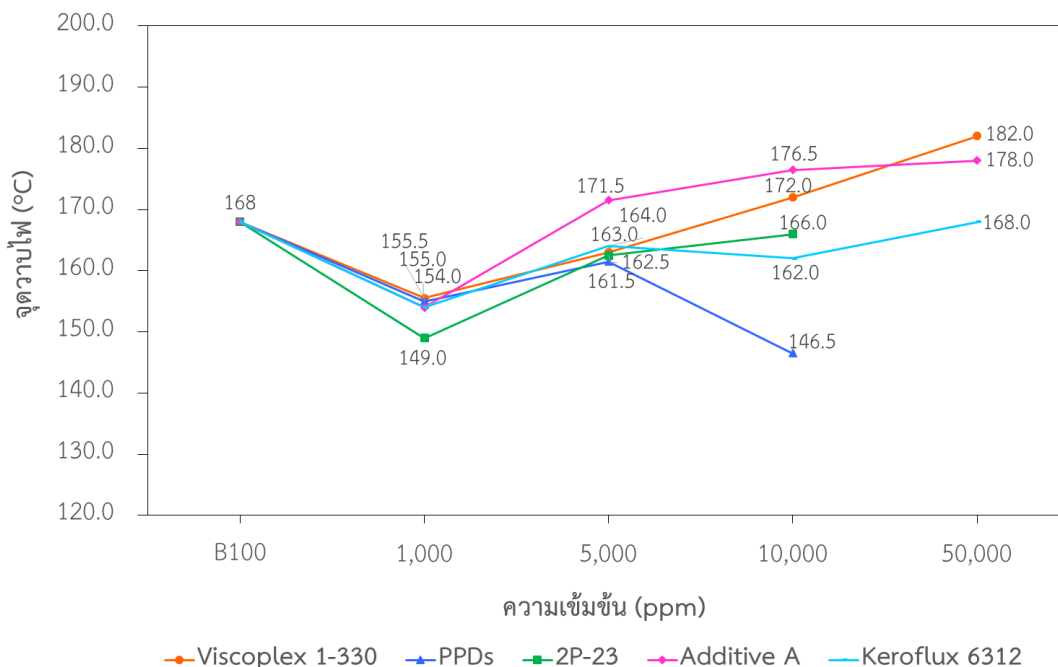


รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด กับค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C

4.6.2.3 จุดวาบไฟ (Flash point)

ค่าจุดวาบไฟ (Flash point) ของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด เมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.25 พบว่าค่าจุดวาบไฟที่ได้มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานในทุกชนิด เมื่อความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าการผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ Viscoplex 1-330, Additive A และ Keroflux 6312 ส่งผลให้จุดวาบไฟของปาล์มไบโอดีเซลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่การผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs และ 2P-23 ส่งผลให้จุดวาบไฟของปาล์มไบโอดีเซลมี

แนวโน้มลดลงเล็กน้อยเช่นกัน จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าการผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ ทั้ง 5 ชนิด ไม่มีผลต่อค่าจุดวาบไฟของปาล์มไบโอดีเซล



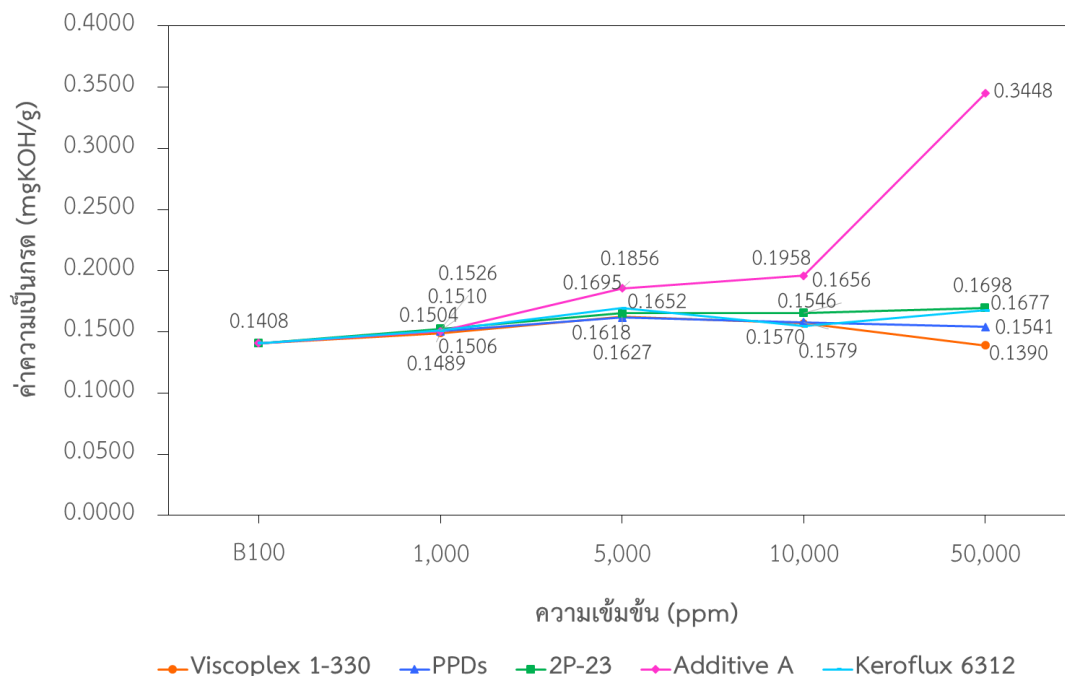
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด กับค่าจุดวาบไฟ

4.6.2.4 ค่าความเป็นกรด (Acid value)

ค่าความเป็นกรด (Acid value) ของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด เมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.26 พบว่าค่าความเป็นกรดจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์เพิ่มขึ้นในการผสมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ 4 ชนิดคือ Viscoplex 1-330, PPDs, 2P-23 และ Keroflux 6312 โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.1390 – 0.1698 mgKOH/g ยกเว้นการผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ Additive A ที่จะทำให้ค่าความเป็นกรดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ชนิดอื่นๆ ที่ความเข้มข้น 50,000 ppm ค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้นเป็น 0.3448 mgKOH/g

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าการผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 4 ชนิด (Viscoplex 1-330, PPDs, 2P-23 และ Keroflux 6312) จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดของปาล์มไบโอดีเซล มีเพียงสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ Additive A เพียงชนิดเดียว

ที่ทำให้ค่าความเป็นกรดสูงมากกว่าสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ชนิดอื่นๆ แต่ค่าความเป็นกรดที่ได้ก็
ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด
กับค่าความเป็นกรด

4.7 การศึกษาผลของสารละลายพอลิเมอร์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและสมบัติอื่นๆ ของ น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

4.7.1 คุณสมบัติเอทิลีนไวนิลอะซีเตทโคพอลิเมอร์ (Ethylene vinyl acetate copolymer)

ตารางที่ 4.11 คุณสมบัติเอทิลีนไวนิลอะซีเตทโคพอลิเมอร์ (Ethylene vinyl acetate copolymer)

Properties	MV-1055	EVATANE 28-05
Density (g/cm ³)	0.953	0.95
Melt Flow Index (g/10min)	8.0	5 – 8
Vinyl Acetate content (%wt)	28	27 – 29

หมายเหตุ : ข้อมูลจาก Certificate of Analysis

4.7.2 การศึกษาผลของสารละลายพอลิเมอร์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิตำ่ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของสารละลายพอลิเมอร์ในตัวทำละลายโทลูอีน ที่มีต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิตำ่ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล (B100) โดยพอลิเมอร์ที่เลือกใช้คือ เอทิลีนไวนิลอะซิเตทโคพอลิเมอร์ (Ethylene vinyl acetate copolymer) ทั้งหมด 2 ชนิด คือ EVA MV-1055 และ EVA EVATANE 28-05 ทำการเตรียมที่มีความเข้มข้น คือ 10%w/v และ 20%w/v ของโทลูอีน เพื่อนำมาศึกษาผลที่มีต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิตำ่ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล (B100)

สำหรับการเลือกใช้เอทิลีนไวนิลอะซิเตทโคพอลิเมอร์เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ยาวของโพลีเอทิลีน และมีหมู่ไวนิลอะซิเตทเกาะกระจายอยู่บนสายโซ่โมเลกุล ซึ่งจะสามารถเพิ่มความเกะกะ (Steric effect) ให้กับโครงสร้างของโคพอลิเมอร์ได้ นอกจากนี้โดยทั่วไปแล้วจะพบว่าสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์โดยส่วนใหญ่ก็จะเป็นสารในกลุ่มโคพอลิเมอร์ เช่น เอทิลีนไวนิล อะซิเตท โคพอลิเมอร์ หรือสารในกลุ่มโอเลฟิน-เอสเทอร์ โคพอลิเมอร์ [16] และสำหรับการเลือกใช้โทลูอีนเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ เนื่องจากจากการศึกษาผลของตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีผลต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิตำ่ของปาล์มไบโอดีเซล พบว่าโทลูอีนจะสามารถปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิตำ่ของปาล์มไบโอดีเซลได้สูงสุด

สารละลายพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จะมีทั้งหมด 4 ชนิดคือ

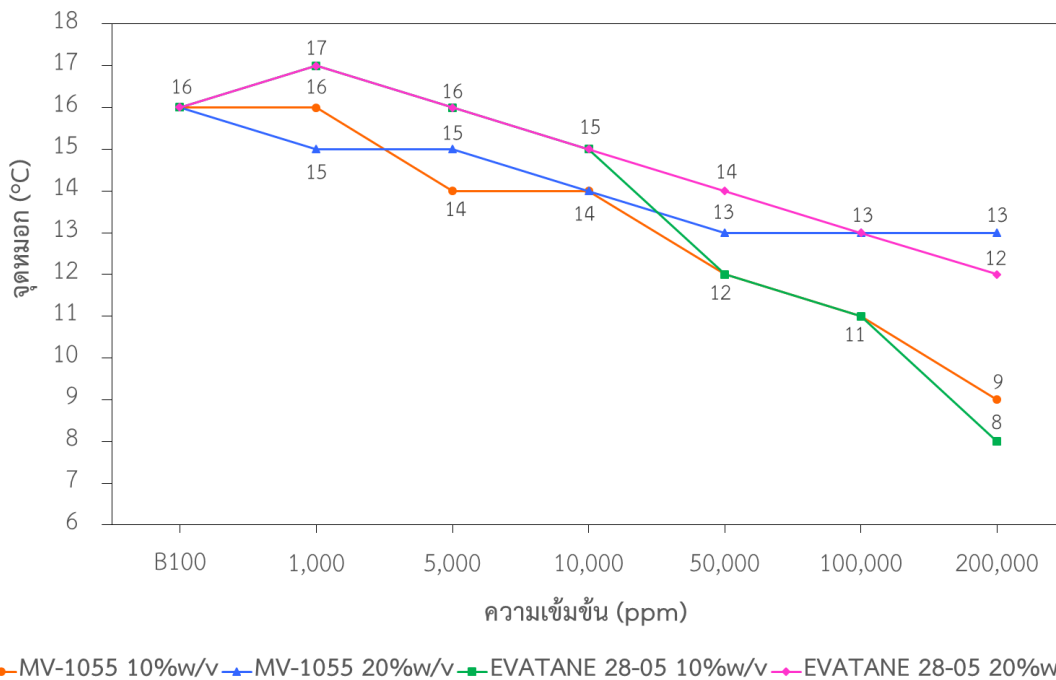
1. EVA MV-1055 10%w/v
2. EVA MV-1055 20%w/v
3. EVA EVATANE 28-05 10%w/v
4. EVA EVATANE 28-05 20%w/v

โดยจะทำการผสมสารละลายพอลิเมอร์ที่เตรียมได้กับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน ตั้งแต่ 1,000, 5,000, 10,000, 50,000, 100,000 และ 200,000 ppm

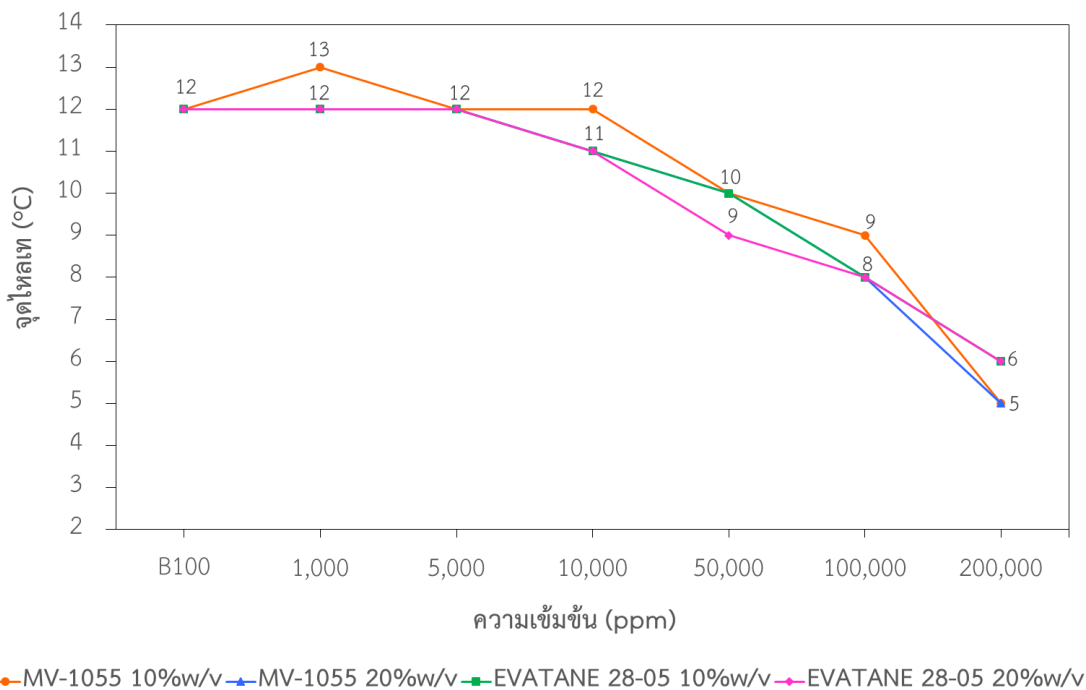
จุดหมอก (Cloud point, CP) ของสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 10%w/v และ 20%w/v ของโทลูอีน เมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.27 พบว่าจุดหมอกจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm สารละลายพอลิเมอร์ EVA MV-1055 และ EVA EVATANE 28-05 ความเข้มข้น 10%w/v ของโทลูอีนทำให้ค่าจุดหมอกลดลงเป็น 9°C ($\Delta\text{CP} = 7^{\circ}\text{C}$) และ 8°C ($\Delta\text{CP} = 8^{\circ}\text{C}$) ตามลำดับ สำหรับสารละลายพอลิเมอร์ EVA MV-1055 และ EVA EVATANE 28-05 ความเข้มข้น 20%w/v ของโทลูอีนทำให้ค่าจุดหมอกลดลงน้อยกว่าเป็น 13°C ($\Delta\text{CP} = 3^{\circ}\text{C}$) และ 12°C ($\Delta\text{CP} = 4^{\circ}\text{C}$) ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าจุดไหลเท (Pour point, PP) ของสารละลาย

พอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 10%w/v และ 20%w/v ของโทลูอีน เมื่อผสมในพาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.28 พบว่าจุดไหลเทจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อความเข้มข้นของตัวทำละลายอินทรีย์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับค่าจุดหมอก ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm สารละลายพอลิเมอร์ EVA MV-1055 และ EVA EVATANE 28-05 ความเข้มข้น 10%w/v ของโทลูอีนทำให้ค่าจุดไหลเทลดลงเป็น 5°C ($\Delta\text{PP} = 7^{\circ}\text{C}$) ในขณะที่สารละลายพอลิเมอร์ EVA MV-1055 และ EVA EVATANE 28-05 ความเข้มข้น 20%w/v ของโทลูอีน ค่าจุดไหลเทลดลงเป็น 6°C ($\Delta\text{CP} = 6^{\circ}\text{C}$)

จากการศึกษาผลของสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของพาล์มไบโอดีเซลจะเห็นได้ว่าการผสมด้วยสารละลายพอลิเมอร์ความเข้มข้น 10%w/v ของโทลูอีนจะสามารถลดค่าจุดหมอกและจุดไหลเทได้ดีกว่าสารละลายพอลิเมอร์ที่เตรียมที่ความเข้มข้น 20%w/v ของโทลูอีน นอกจากนี้ยังพบว่าสารละลายพอลิเมอร์เอทิลีนไวนิลอะซีเตตโคพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 10%w/v ของโทลูอีน จะสามารถลดค่าจุดหมอกและจุดไหลเทได้มากกว่า $1 - 2^{\circ}\text{C}$ เมื่อเปรียบเทียบกับ การผสมด้วยโทลูอีนเพียงอย่างเดียว เนื่องจากการเติมสารพอลิเมอร์ลงในน้ำมันพาล์มไบโอดีเซลสามารถป้องกันการรวมตัวของ การเกิดผลึกของไบโอดีเซลที่อุณหภูมิต่ำได้ โดยสารพอลิเมอร์จะละลายเป็นผลึกเล็กๆ และสามารถเข้าไปป้องกันการรวมตัวของผลึกไบโอดีเซลได้ ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อสารละลายพอลิเมอร์มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ไม่ได้ส่งผลให้ประสิทธิภาพของสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากความสามารถในการกระจายตัวของสารละลายพอลิเมอร์ในพาล์มไบโอดีเซลมีน้อยลง [23]



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด กับค่าจุดหลอม



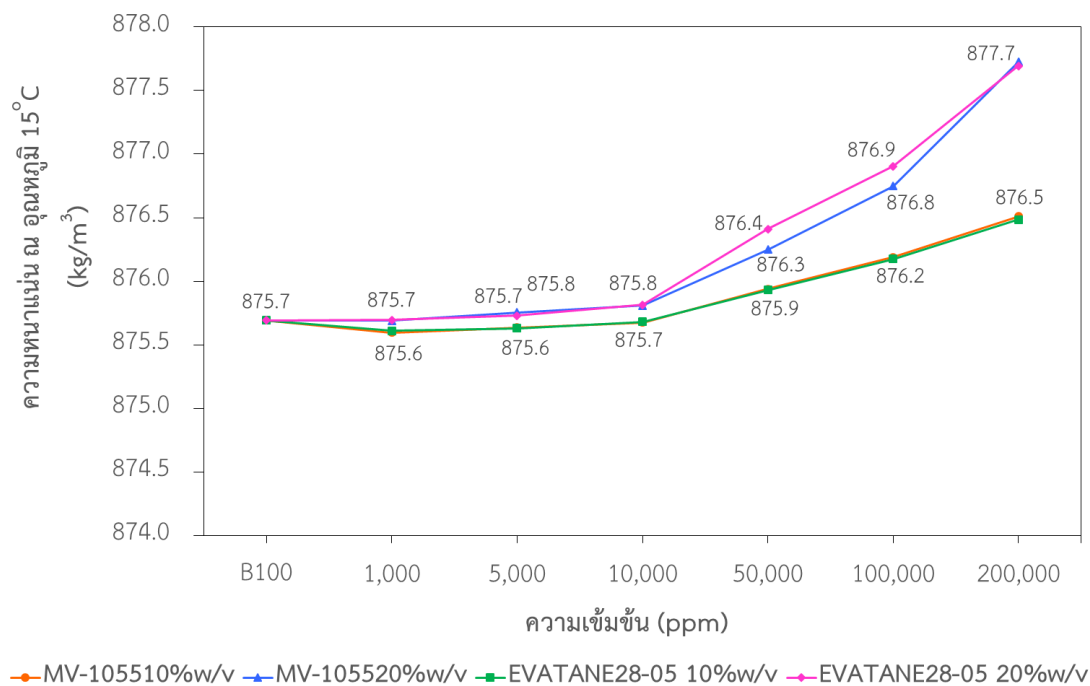
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด กับค่าจุดไหลเท

4.7.3 การศึกษาผลของสารละลายพอลิเมอร์ต่อสมบัติอื่นๆ

4.7.3.1 ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C)

ค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C) ของสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 10%w/v และ 20%w/v ของโทลูอีน เมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.29 พบว่าค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 875.6 – 877.7 kg/m³ คิดเป็น 0.23 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm สารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด ความเข้มข้น 10%w/v ของโทลูอีน จะมีค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C เพิ่มขึ้นเป็น 876.5 kg/m³ และสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด ความเข้มข้น 20%w/v ของโทลูอีน จะทำให้ค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C เพิ่มขึ้นเป็น 877.7 kg/m³ โดยค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C ที่ได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานข้อกำหนดของกรมธุรกิจพลังงาน

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าการผสมด้วยสารละลายพอลิเมอร์ความเข้มข้น 20%w/v ของโทลูอีน จะเพิ่มค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C ได้มากกว่าสารละลายพอลิเมอร์ความเข้มข้น 10%w/v ของโทลูอีน ทั้งนี้เนื่องมาจากความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ที่ใช้สูงกว่า จึงส่งผลมีค่าความหนาแน่นมากกว่า โดยการศึกษาจะพบว่าสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C ของปาล์มไบโอดีเซลมากนัก

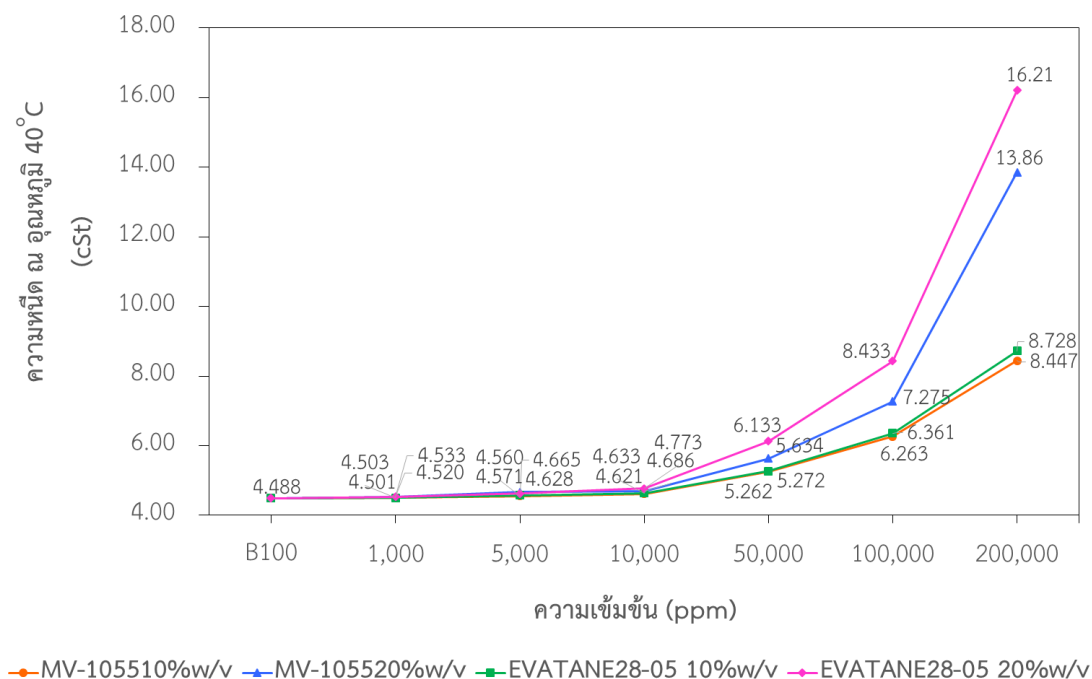


รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด กับค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C

4.7.3.2 ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40°C)

ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40°C) ของสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 10%w/v และ 20%w/v ของโพลูอิน เมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.30 พบว่าค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 4.501 – 16.21 cSt ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm สารละลายพอลิเมอร์ EVA MV-1055 และ EVA EVATANE 28-05 ความเข้มข้น 10%w/v ของโพลูอิน ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C เพิ่มขึ้นเป็น 8.447 และ 8.728 cSt ตามลำดับ และสารละลายพอลิเมอร์ EVA MV-1055 และ EVA EVATANE 28-05 ความเข้มข้น 20%w/v ของโพลูอิน ทำให้ค่าความหนืด เพิ่มขึ้นเป็น 13.86 และ 16.21 cSt ตามลำดับ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าการผสมด้วยสารละลาย พอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด ที่เตรียมที่ความเข้มข้น 10%w/v และ 20%w/v ของโพลูอิน ที่ความเข้มข้น 50,000 ppm ขึ้นไป ส่งผลให้มีค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานข้อกำหนดของกรมธุรกิจพลังงาน ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าการผสมด้วยสารละลายพอลิเมอร์ความเข้มข้น 20%w/v ของโพลูอิน จะเพิ่มค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C ได้มากกว่าสารละลายพอลิเมอร์ความเข้มข้น 10%w/v ของโพลูอิน ทั้งนี้เนื่องมาจากความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ที่สูงขึ้น จึงส่งผลให้ปาล์มไบโอดีเซลที่ได้มีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังนั้นค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C ของปาล์มไบโอดีเซลที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อผสมด้วยสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิดที่ความเข้มข้น 10%w/v และ 20%w/v ของโพลูอิน ย่อมจะส่งผลให้มีปัญหาในการฉีดเป็นละอองฝอยของน้ำมันเชื้อเพลิง ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ได้ [12, 31]

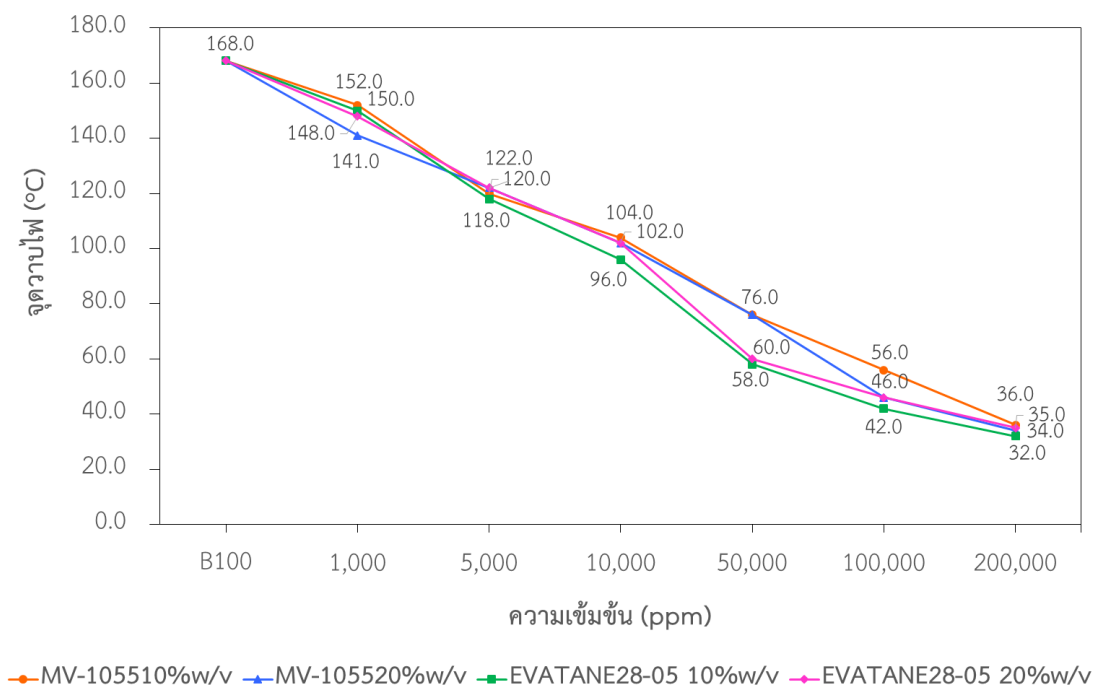


รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด กับค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C

4.7.3.3 จุดวาบไฟ (Flash point)

ค่าจุดวาบไฟ (Flash point) ของสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 10%w/v และ 20%w/v ของโพลูอิน เมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.31 พบว่าจุดวาบไฟจะมีค่าลดลงชัดเจน เมื่อความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น โดยจะพบว่าการผสมด้วยสารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้น 10,000 ppm ขึ้นไป จุดวาบไฟที่ได้จะมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานข้อกำหนดของกรมธุรกิจพลังงาน สำหรับที่ความเข้มข้น 200,000 ppm จุดวาบไฟของปาล์มไบโอดีเซลที่ผสมด้วยสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด จะมีค่าลดลงเหลือเพียง 32 – 36°C

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าการผสมด้วยสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด จะส่งผลให้จุดวาบไฟของปาล์มไบโอดีเซลลดลงอย่างมาก ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกับการผสมด้วยตัวทำละลายโพลูอิน แสดงว่าจุดวาบไฟที่มีค่าลดลงเป็นผลมาจากโพลูอินที่ใช้เป็นตัวทำละลายอยู่ในสารละลายพอลิเมอร์

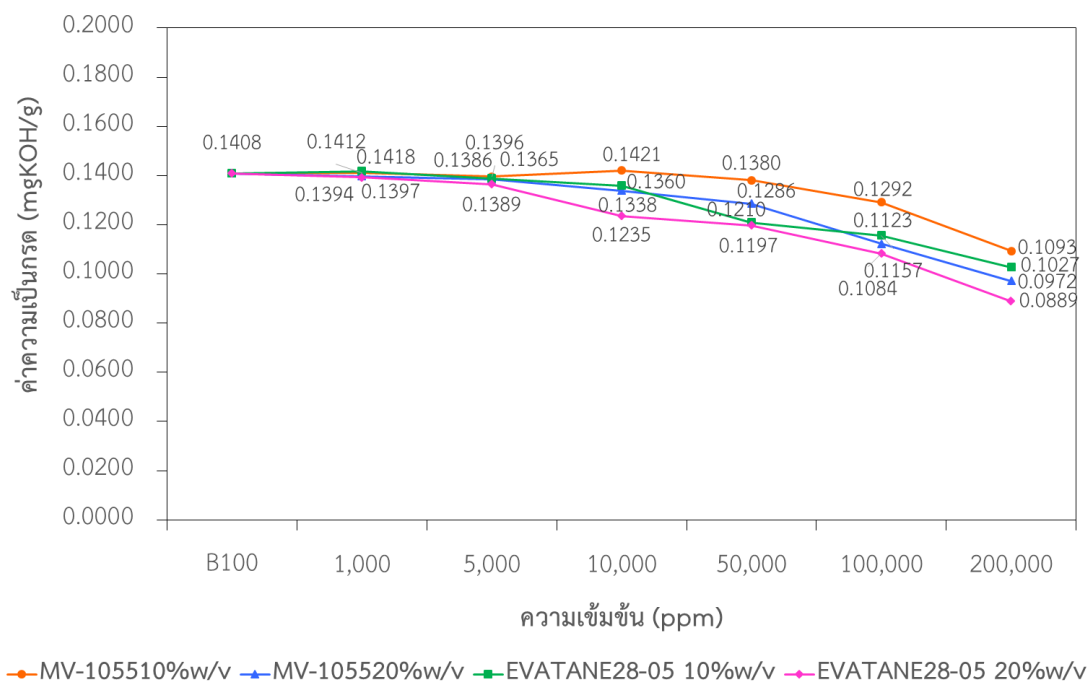


รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด กับจุดวาบไฟ

4.7.3.4 ค่าความเป็นกรด (Acid value)

ค่าความเป็นกรด (Acid value) ของสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 10%w/v และ 20%w/v ของโทลูอีน เมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.32 พบว่าค่าความเป็นกรดจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นสารละลายพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.0889 – 0.1421 mgKOH/g คิดเป็น 36.86 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm สารละลายพอลิเมอร์ EVA MV-1055 และ EVA EVATANE 28-05 ความเข้มข้น 10%w/v ของโทลูอีน ค่าความเป็นกรดลดลงเป็น 0.1093 และ 0.1027 mgKOH/g ตามลำดับ และสารละลายพอลิเมอร์ EVA MV-1055 และ EVA EVATANE 28-05 ความเข้มข้น 20%w/v ของโทลูอีน ทำให้ค่าความเป็นกรดลดลงเป็น 0.0972 และ 0.0889 mgKOH/g ตามลำดับ โดยค่าความเป็นกรดที่ได้ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานข้อกำหนดของกรมธุรกิจพลังงาน

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าการผสมด้วยสารละลายพอลิเมอร์ความเข้มข้น 20%w/v ของโทลูอีนจะส่งผลให้ค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้นมากกว่าสารละลายพอลิเมอร์ความเข้มข้น 10%w/v ของโทลูอีน



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด กับค่าความเป็นกรด

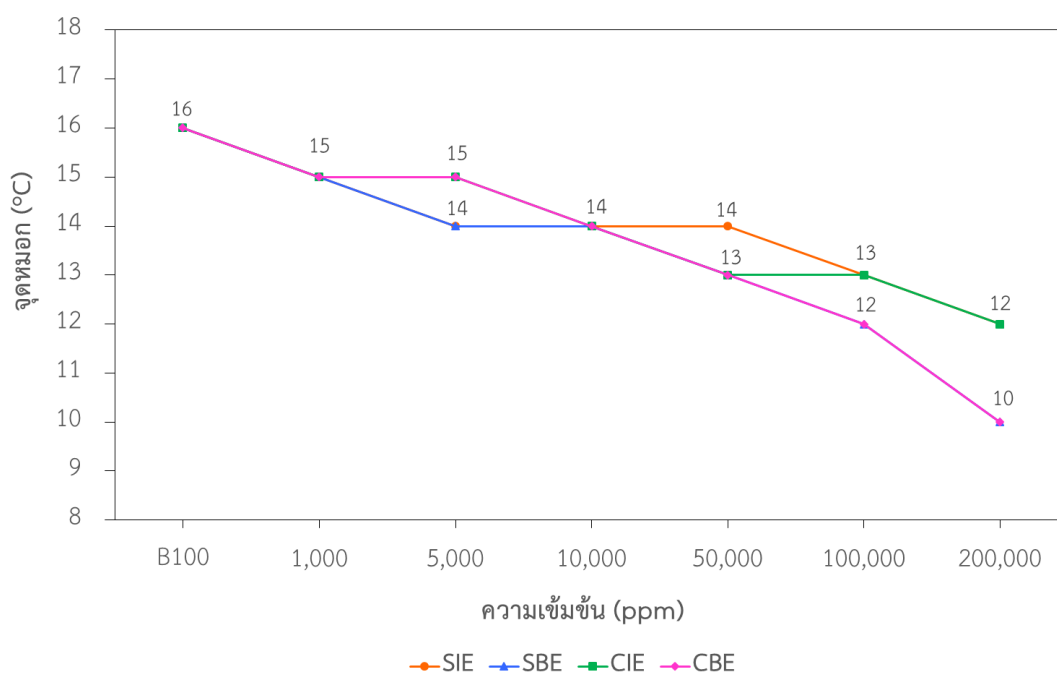
4.8 การศึกษาผลของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและสมบัติอื่นๆ ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

4.8.1 การศึกษาผลของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

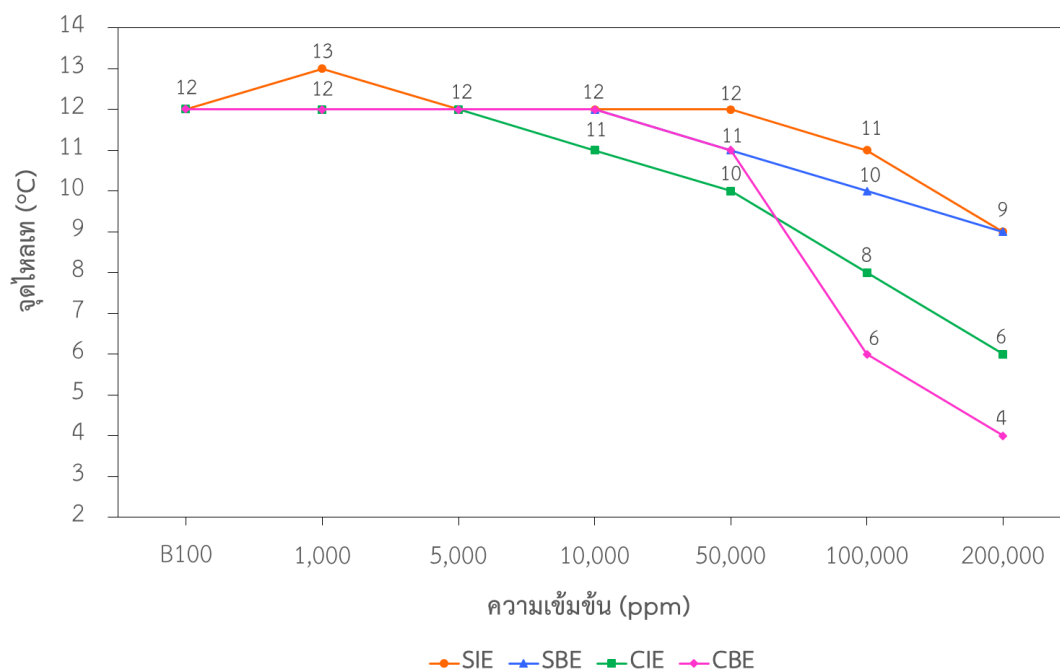
งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ (Synthetic pour point depressants) ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล (B100) สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ที่ใช้ทั้งหมดมี 4 ชนิด คือ Isopropyl ester of soybean (SIE), 2-Butyl ester of soybean (SBE), Isopropyl ester of coconut (CIE) และ 2-Butyl ester of coconut (CBE) โดยจะทำการผสมสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์กับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน ตั้งแต่ 1,000, 5,000, 10,000, 50,000, 100,000 และ 200,000 ppm

จุดหมอก (Cloud point, CP) ของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด เมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.33 พบว่าจุดหมอกจะลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์เพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้นของตัวทำละลายอินทรีย์ 200,000 ppm พบว่า 2-Butyl ester of soybean (SBE) และ 2-Butyl ester of coconut

(CBE) สามารถลดค่าจุดหมอกได้มากกว่าการผสมด้วย Isopropyl ester of soybean (SIE) และ Isopropyl ester of coconut (CIE) โดยสามารถลดค่าจุดหมอกเป็น 10°C ($\Delta\text{CP} = 6^{\circ}\text{C}$) และ 12°C ($\Delta\text{CP} = 4^{\circ}\text{C}$) ตามลำดับ เช่นเดียวกับค่าจุดไหลเท (Pour point, PP) ของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด เมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.34 พบว่าจุดไหลเทจะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับค่าจุดหมอก โดยจุดไหลเทจะลดลงอย่างชัดเจนจะต้องผสมที่ความเข้มข้นสูงถึง 200,000 ppm ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm พบว่าการผสมด้วย 2-Butyl ester of coconut (CBE) จะสามารถลดจุดไหลเทได้มากที่สุด โดยจะลดจุดไหลเทเป็น 4°C ($\Delta\text{PP} = 8^{\circ}\text{C}$) รองลงมาคือการผสมด้วย Isopropyl ester of coconut (CIE) ซึ่งสามารถลดจุดไหลเทเป็น 6°C ($\Delta\text{PP} = 6^{\circ}\text{C}$) สำหรับการผสมด้วย Isopropyl ester of soybean (SIE) และ 2-Butyl ester of soybean (SBE) จะลดจุดไหลเทได้น้อยที่สุด โดยจะลดจุดไหลเทเป็น 9°C ($\Delta\text{PP} = 3^{\circ}\text{C}$)



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด กับค่าจุดหมอก



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด กับค่าจุดไหลเท

ตารางที่ 4.12 ค่าจุดอุณหภูมิตั้งใจที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก โดยใช้เทคนิค DSC ของพาล์มไบโอดีเซล ผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ ทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm

สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์	จุดอุณหภูมิตั้งใจที่อุณหภูมิต่ำ (°C)	อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก (°C)
พาล์มไบโอดีเซล (B100)	12.0	9.60
Isopropyl ester of soybean (SIE)	9.5	7.56
2-Butyl ester of soybean (SBE)	8.5	7.51
Isopropyl ester of coconut (CIE)	9.5	6.85
2-Butyl ester of coconut (CBE)	8.0	6.06

ค่าจุดอุณหภูมิตั้งใจที่อุณหภูมิต่ำ (CFPP) และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก (Crystallization temperature) ของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ ทั้ง 4 ชนิด แสดงในตารางที่ 4.12 พบว่าค่าจุดอุณหภูมิตั้งใจที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกจะมีค่าลดลง เมื่อผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ ทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm พบว่าสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ 2-Butyl ester of coconut (CBE) จะสามารถลดค่าจุดอุณหภูมิตั้งใจที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก

ได้มากที่สุดโดยมีค่าลดลงเป็น 8.0°C ($\Delta\text{CFPP} = 4.0^{\circ}\text{C}$) และ 6.06 ($\Delta\text{Tc} = 3.54^{\circ}\text{C}$) ตามลำดับ สำหรับสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์อื่นๆ จะสามารถลดค่าจุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกได้ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าลดลงอยู่ในช่วง $2.5 - 3.5^{\circ}\text{C}$ และ $2.04 - 2.75^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ

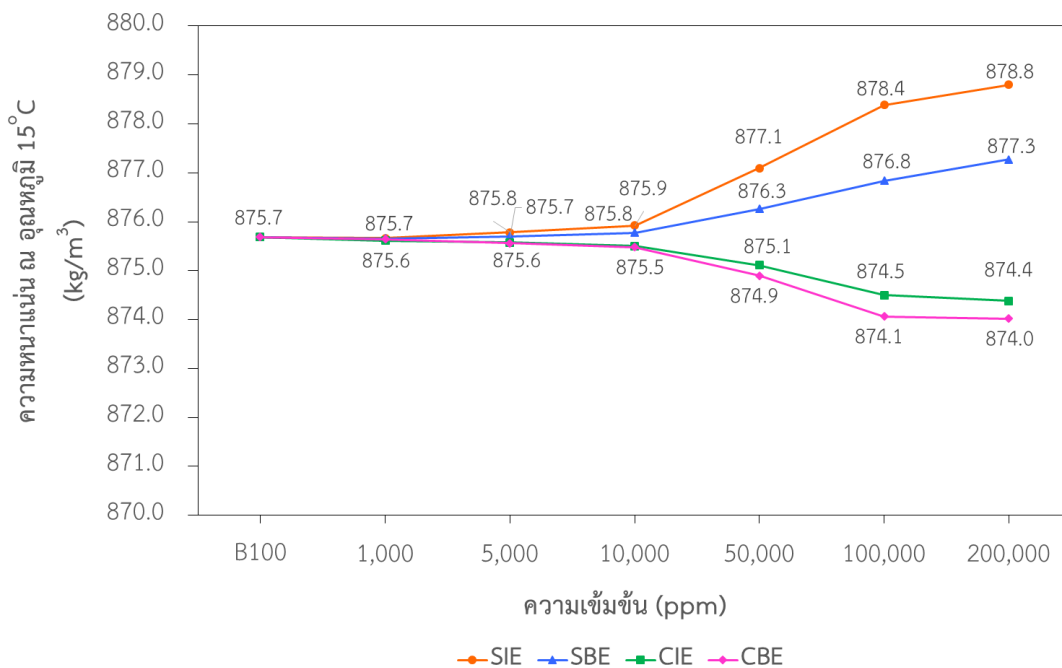
จากการศึกษาผลของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด ที่มีต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของพอลิโพรพิลีนจะเห็นได้ว่าสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของพอลิโพรพิลีนได้ โดยสามารถลดค่าจุดหมอก, จุดไหลเท, จุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกได้ และพบว่าจะสามารถลดค่าจุดไหลเทได้ดีกว่าจุดหมอกเช่นเดียวกับกรณีการใช้สารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด พบว่าสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ 2-Butyl ester of coconut (CBE) จะสามารถลดค่าจุดหมอก จุดไหลเท จุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกได้มีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมาคือสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ Isopropyl ester of coconut (CIE) ทั้งนี้เนื่องจากสารลดจุดเริ่มไหลที่สังเคราะห์จากน้ำมันมะพร้าวมีคุณสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำดีกว่าสารลดจุดเริ่มไหลที่สังเคราะห์จากน้ำมันถั่วเหลือง เพราะน้ำมันมะพร้าวจะประกอบด้วยกรดลอริก (Lauric acid, C12:0) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีสายโซ่สั้นกว่าน้ำมันถั่วเหลืองที่ประกอบด้วยกรดลิโนเลอิก (Linoleic acid, C18:2) เป็นองค์ประกอบหลัก ทำให้สารลดจุดเริ่มไหลที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันมะพร้าวจะมีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำดีกว่าน้ำมันถั่วเหลือง [5, 12] ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.3.2 นอกจากนี้ยังเห็นได้ว่าการใช้แอลกอฮอล์ต่างชนิดกันในการสังเคราะห์จะให้สมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำที่แตกต่างกัน โดยจะพบว่า 2-บิวทานอลจะให้สมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าไอโซโพรพานอล ซึ่งจะให้ค่าจุดหมอกและจุดไหลเทต่ำกว่าประมาณ 2°C เนื่องจากหมู่แอลกอฮอล์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และมีสายโซ่กิ่งมากกว่าจะช่วยเพิ่มความเกะกะ (Steric effect) ให้กับโครงสร้างของสารลดจุดเริ่มไหลที่สังเคราะห์ได้ ผลจากความเกะกะของโครงสร้างของสารลดจุดเริ่มไหลที่สังเคราะห์ได้ ส่งผลให้สามารถขัดขวางการเกิดผลึกเมื่อนำมาผสมในพอลิโพรพิลีนได้ จึงทำให้มีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำที่ดีกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ I. Lee และคณะ (1995), X. Lang และคณะ (2001) และ S.Y. Giraldo และคณะ (2013) โดยจะพบว่า 2-Butyl ester จะให้สมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำที่ดีที่สุด

4.8.2 การศึกษาผลของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ต่อสมบัติอื่นๆ

4.8.2.1 ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C)

ค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C) ของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด เมื่อผสมในพาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.35 พบว่าค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C มีค่าใกล้เคียงกันเมื่อความเข้มข้นสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์เพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 874.0 – 878.8 kg/m³ คิดเป็น 0.19 – 0.35 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm การผสมด้วย Isopropyl ester of soybean (SIE) และ 2-Butyl ester of soybean (SBE) ค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 875.7 – 878.8 kg/m³ ในทางตรงกันข้ามเมื่อผสมด้วย Isopropyl ester of coconut (CIE) และ 2-Butyl ester of coconut (CBE) ค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C จะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 874.0 – 875.6 kg/m³ โดยค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C ที่ได้ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานข้อกำหนดของกรมธุรกิจพลังงาน

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าการผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์จากน้ำมัน ถั่วเหลืองจะมีค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C สูงกว่าการผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์จากน้ำมันมะพร้าว โดยสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์จากน้ำมันถั่วเหลืองจะมีค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C มากกว่า สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์จากน้ำมันมะพร้าว โดยจะมีค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C เท่ากับ 871.6 – 884.7 kg/m³ และ 868.8 – 869.0 kg/m³ ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะน้ำมันถั่วเหลืองจะประกอบด้วยกรดไขมันคือกรดลิโนเลอิก (Linoleic acid, C18:2) เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูงจึงส่งผลให้มีค่าความหนาแน่นมากกว่าน้ำมันมะพร้าวที่ประกอบด้วยกรดลอริก (Lauric acid, C12:0) เป็นองค์ประกอบหลักซึ่งเป็นกรดไขมันอิ่มตัว เนื่องจากเชื้อเพลิงที่มีค่าความหนาแน่นสูงจะประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณมาก [12] โดยการศึกษาจะพบว่าการผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C ของพาล์มไบโอดีเซลมากนัก



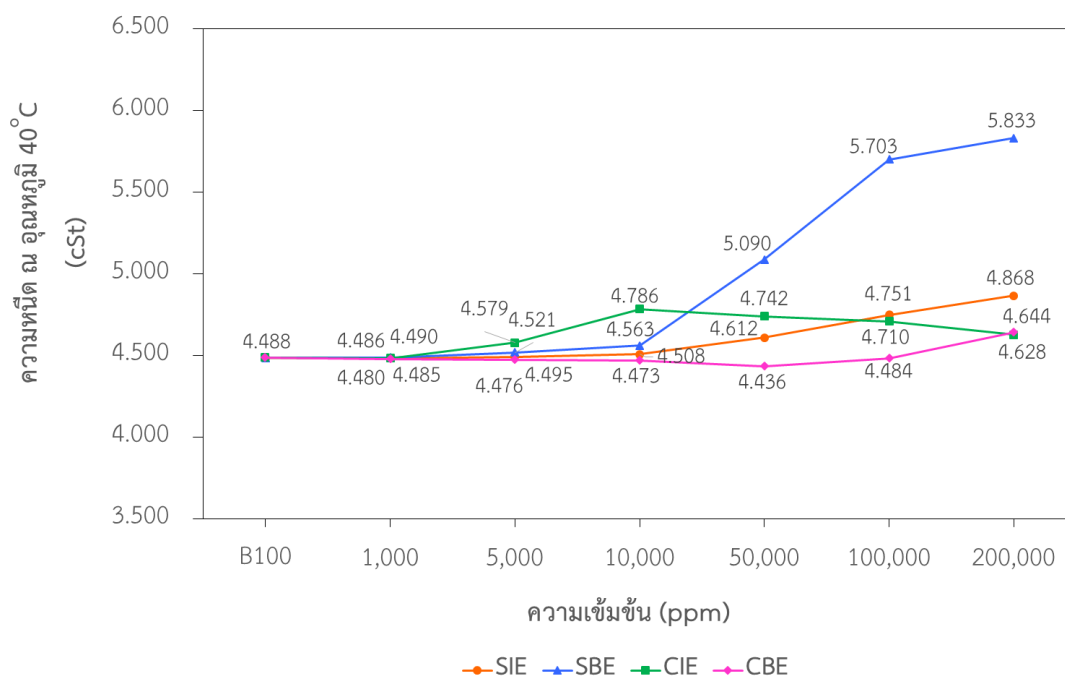
รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด กับค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C

4.8.2.2 ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40°C)

ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40°C) ของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด เมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.36 พบว่าค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์เพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 4.436 – 5.833 cSt ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm การผสมด้วย 2-Butyl ester of soybean (SBE) จะส่งผลให้ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับอย่างชัดเจน ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 5.833 cSt คิดเป็น 29.97 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการผสมด้วย Isopropyl ester of soybean (SIE), Isopropyl ester of coconut (CIE) และ 2-Butyl ester of coconut (CBE) จะส่งผลให้ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C เพิ่มขึ้นเป็น 4.868, 4.628 และ 4.644 cSt ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็น 8.47, 3.12 และ 3.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าการผสมด้วย 2-Butyl ester of soybean (SBE) ที่ความเข้มข้น 100,000 และ 200,000 ppm จะมีค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C ซึ่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานเล็กน้อย

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าการผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด จะส่งผลให้ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C ของปาล์มไบโอดีเซลมีค่าเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าการ

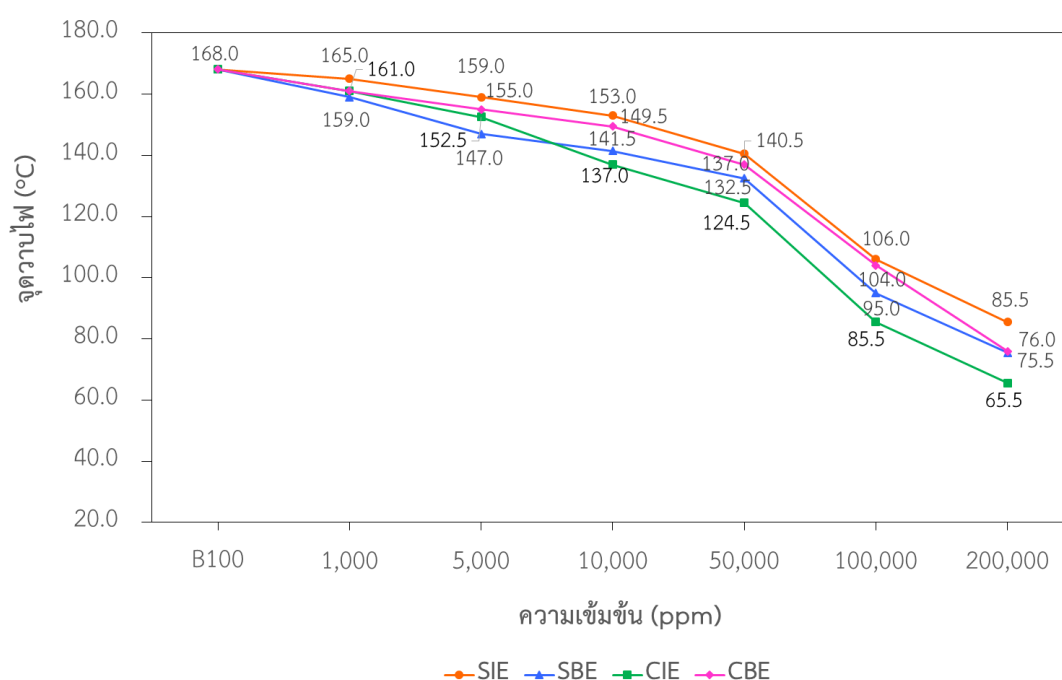
ผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์จากน้ำมันถั่วเหลืองจะมีค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C สูงกว่า การผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์จากน้ำมันมะพร้าวเช่นเดียวกับกรณีค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C เพราะสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์จากน้ำมันถั่วเหลืองจะมีค่าความหนืด มากกว่าสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์จากน้ำมันมะพร้าว โดยจะมีค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C เท่ากับ 4.903 – 5.431 cSt และ 3.957 – 3.987 cSt ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากค่าความหนืดของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความยาวสายโซ่ของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันที่นำมาใช้ในการสังเคราะห์ น้ำมันถั่วเหลืองที่ประกอบด้วยกรดลิโนเลอิก (Linoleic acid, C18:2) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งจะมีความยาวสายโซ่มากกว่าน้ำมันมะพร้าวที่ประกอบด้วยกรดลอริก (Lauric acid, C12:0) เป็นองค์ประกอบหลัก จึงแสดงค่าความหนืดที่สูงกว่า [12, 31] นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าการใช้แอลกอฮอล์ 2-บิวทานอลจะส่งผลให้ค่าความหนืดสูงกว่าการใช้ไอโซโพรพานอล โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนในกรณีของการสังเคราะห์สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์จากน้ำมันถั่วเหลือง ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้แอลกอฮอล์ที่มีขนาดใหญ่กว่าจะส่งผลให้มีค่าความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด กับค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C

4.8.2.3 จุดวาบไฟ (Flash point)

ค่าจุดวาบไฟ (Flash point) ของสารลดจุดเริ่มไหลสี่งเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด เมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.37 พบว่าจุดวาบไฟจะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลสี่งเคราะห์เพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm การผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลสี่งเคราะห์ Isopropyl ester of soybean (SIE), 2-Butyl ester of soybean (SBE), Isopropyl ester of coconut (CIE) และ 2-Butyl ester of coconut (CBE) ทำให้ค่าจุดวาบไฟ ลดลงเป็น 85.5°C, 75.5°C, 65.5°C และ 76.0°C ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าการผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลสี่งเคราะห์ทั้ง 4 ชนิดจะส่งผลให้จุดวาบไฟของปาล์มไบโอดีเซลมีค่าลดลง



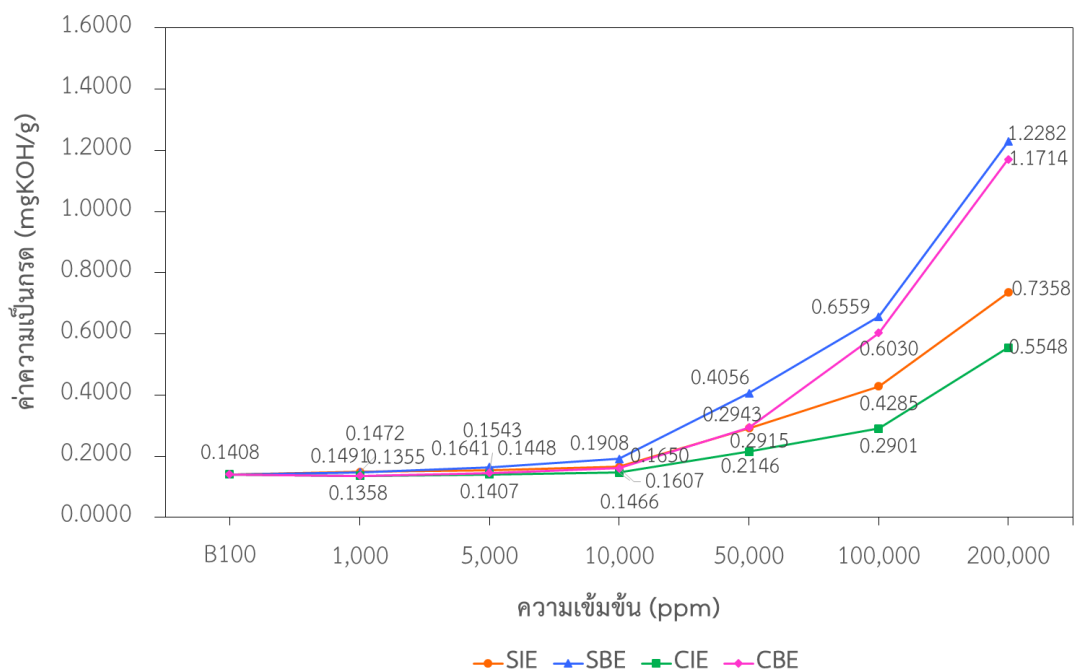
รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลสี่งเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด กับจุดวาบไฟ

4.8.2.4 ค่าความเป็นกรด (Acid value)

ค่าความเป็นกรด (Acid value) ของสารลดจุดเริ่มไหลสี่งเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด เมื่อผสมในปาล์ม ไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.38 พบว่าค่าความเป็นกรดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลสี่งเคราะห์เพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.1355 – 1.2282 mgKOH/g ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm การผสมด้วย 2-Butyl ester of soybean (SBE) จะส่งผลให้ค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้นมากที่สุด ค่าความเป็นกรด

เพิ่มขึ้นเป็น 1.2282 mgKOH/g สำหรับการผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์อื่นๆ พบว่าค่าความเป็นกรดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังนี้ คือการผสมด้วย 2-Butyl ester of coconut (CBE) > Isopropyl ester of soybean (SIE) > Isopropyl ester of coconut (CIE) โดยมีค่าความเป็นกรดคือ 1.1714, 0.7358 และ 0.5548 mgKOH/g ตามลำดับ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าการผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้นสูงๆ จะส่งผลให้ค่าความเป็นกรดสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าการผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด จะส่งผลให้ค่าความเป็นกรดของปาล์มไบโอดีเซลมีค่าเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าการผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์จากน้ำมันถั่วเหลืองจะเพิ่มค่าความเป็นกรดได้มากกว่าสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์จากน้ำมันมะพร้าว



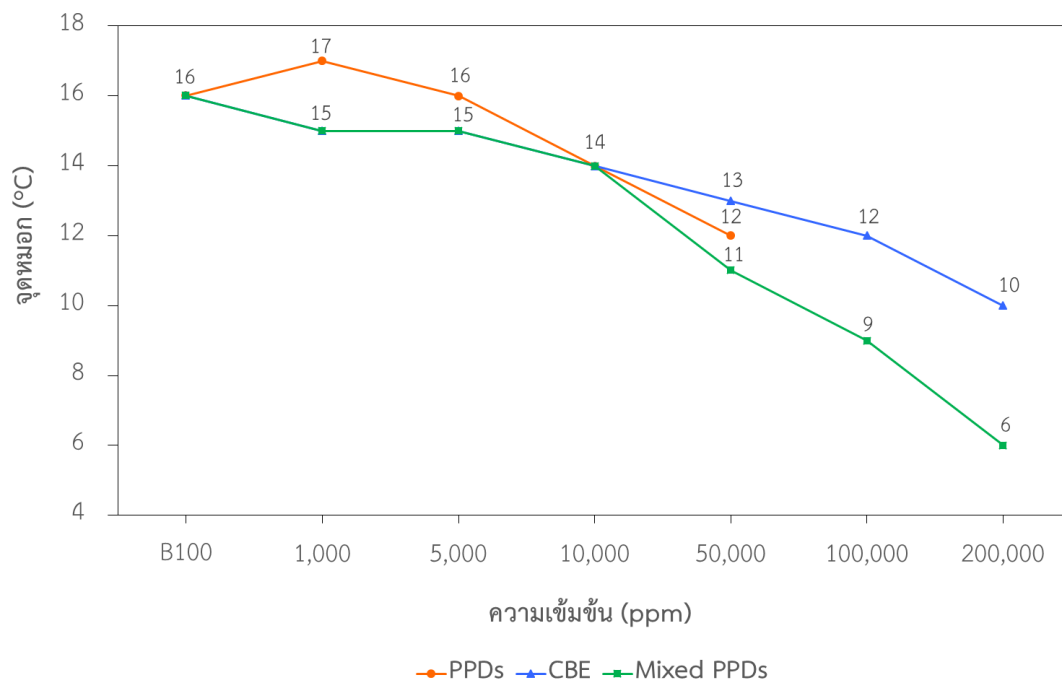
รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด กับค่าความเป็นกรด

4.9 การศึกษาผลการทำงานร่วมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ และสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและสมบัติอื่นๆ ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

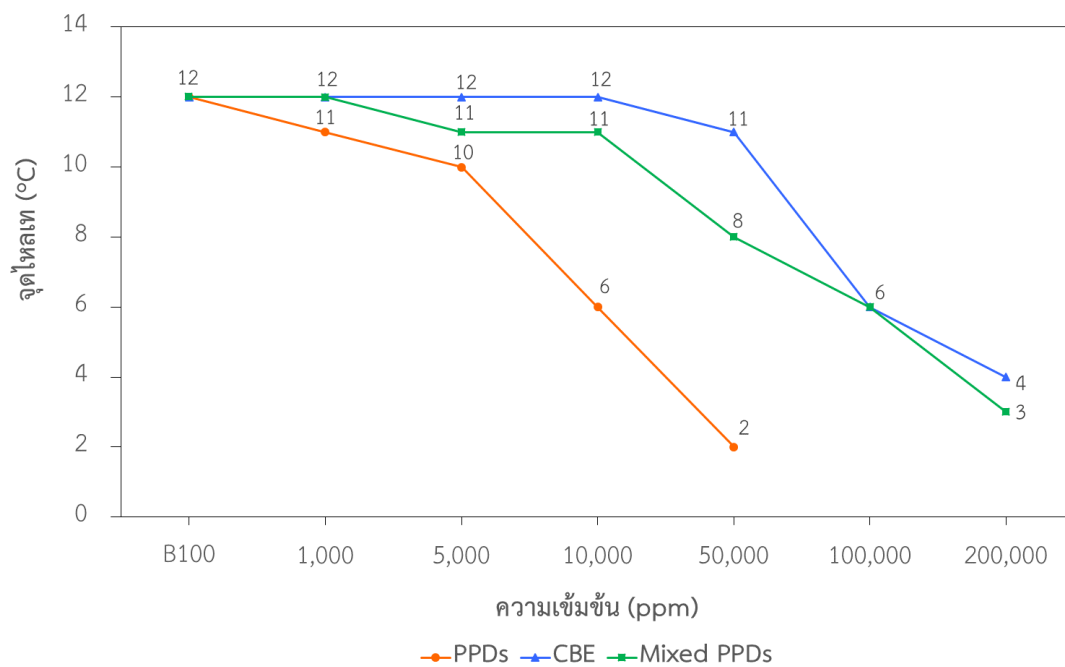
4.9.1 การศึกษาผลการทำงานร่วมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ และสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของการทำงานร่วมกันของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ (Commercial pour point depressants) และสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ (Synthetic pour point depressants) โดยทำการเลือกสารลดจุดเริ่มไหลทั้ง 2 ประเภท ที่ให้ผลการทดสอบสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำที่ดีที่สุด ผสมกันในอัตราส่วน 1:1 จากผลการศึกษาจะพบว่าสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs และสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ 2-Butyl ester of coconut (CBE) จะมีประสิทธิภาพสูงสุดในการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของปาล์มไบโอดีเซลในแต่ละประเภท โดยจะทำการผสมสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) กับน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน ตั้งแต่ 1,000, 5,000, 10,000, 50,000, 100,000 และ 200,000 ppm

จุดหมอก (Cloud point, CP) ของสารลดจุดเริ่มไหลผสมเมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน เมื่อเปรียบเทียบกับสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์และสังเคราะห์ทั้ง 2 ประเภท แสดงในรูปที่ 4.39 พบว่าจุดหมอกจะลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลผสมเพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหล 200,000 ppm ทำให้ค่าจุดหมอกลดลงเป็น 6°C ($\Delta\text{CP} = 10^{\circ}\text{C}$) โดยจะเห็นได้ว่าสารลดจุดเริ่มไหลผสมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารลดจุดเริ่มไหลทั้ง 2 ประเภทได้ เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้น 50,000 ppm สารลดจุดเริ่มไหลผสมจะสามารถช่วยลดค่าจุดหมอกได้มากกว่าการใช้สารลดจุดเริ่มไหลแต่ละประเภทเพียงชนิดเดียว โดยจะทำให้ค่าจุดหมอกลดลงเป็น 11°C ($\Delta\text{CP} = 5^{\circ}\text{C}$) ในขณะที่สารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs และสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ CBE ทำให้ค่าจุดหมอกลดลงเป็น 12°C ($\Delta\text{CP} = 4^{\circ}\text{C}$) และ 13°C ($\Delta\text{CP} = 3^{\circ}\text{C}$) ตามลำดับ สำหรับจุดไหลเท (Pour point, PP) ของสารลดจุดเริ่มไหลผสมเมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน เมื่อเปรียบเทียบกับสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์และสังเคราะห์ทั้ง 2 ประเภทแสดงในรูปที่ 4.40 พบว่าจุดไหลเทจะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลผสมเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับค่าจุดหมอก ที่ความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหล 200,000 ppm ทำให้ค่าจุดไหลเทลดลงเป็น 3°C ($\Delta\text{PP} = 9^{\circ}\text{C}$) แต่เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหล 50,000 ppm จะเห็นได้ว่าสารลดจุดเริ่มไหลผสม ลดค่าจุดไหลเทลดลงเป็น 8°C ($\Delta\text{PP} = 4^{\circ}\text{C}$) ซึ่งสามารถช่วยลดค่าจุดไหลเทได้ดีกว่าการผสมสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ CBE เพียง 3°C แต่ก็ยังมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs ที่สามารถลดจุดไหลเทเป็น 2°C ($\Delta\text{PP} = 10^{\circ}\text{C}$)



รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) กับค่าจุดหมอก



รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) กับค่าจุดไหลเท

ตารางที่ 4.13 ค่าจุดอุณหภูมิตั้งขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก โดยใช้เทคนิค DSC ของพอลิเมอร์ไอบีโอดีเซล ผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm

สารลดจุดเริ่มไหล	จุดอุณหภูมิตั้งขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ (°C)	อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก (°C)
พอลิเมอร์ไอบีโอดีเซล (B100)	12.0	9.60
PPDs	5.0	5.85
2-Butyl ester of coconut (CBE)	8.0	6.06
Mixed PPDs	5.5	2.93

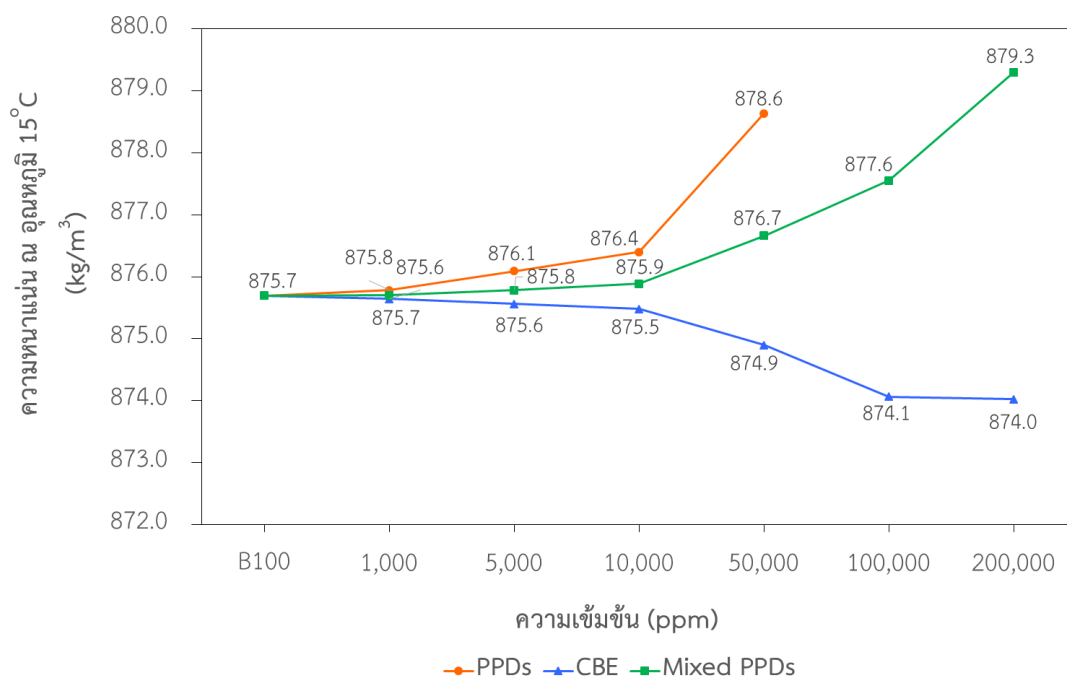
ค่าจุดอุณหภูมิตั้งขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ (CFPP) และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก (Crystallization temperature) ของสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) แสดงในตารางที่ 4.13 เมื่อผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) พบว่าค่าจุดอุณหภูมิตั้งขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกจะมีค่าลดลง โดยค่าจุดอุณหภูมิตั้งขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ของสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) จะมีค่าลดลงมากกว่าการใช้สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ 2-Butyl ester of coconut (CBE) เพียงชนิดเดียว แต่การใช้สารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs ยังให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าสำหรับอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก ของการใช้สารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) พบว่าจะสามารถลดได้มากกว่าการใช้สารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์และสังเคราะห์เพียงชนิดเดียว ที่ความเข้มข้น 200,000 พบว่าสารลดจุดเริ่มผสม (Mixed PPDs) สามารถลดค่าจุดอุณหภูมิตั้งขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ (CFPP) และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก (Crystallization temperature) เป็น 5.5°C ($\Delta\text{CFPP} = 6.5^{\circ}\text{C}$) และ 2.93 ($\Delta\text{Tc} = 6.67^{\circ}\text{C}$) ตามลำดับ

จากการศึกษาผลของสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) ที่มีต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของพอลิเมอร์ไอบีโอดีเซล พบว่าการใช้สารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) จะสามารถลดค่าจุดหลอมและอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกได้มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้สารลดจุดเริ่มไหลทั้ง 2 ประเภทเพียงชนิดเดียว แต่สำหรับค่าจุดไหลเทและจุดอุณหภูมิตั้งขึ้นที่อุณหภูมิต่ำจะพบว่าการใช้สารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการใช้สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ 2-Butyl ester of coconut (CBE) เพียงชนิดเดียว แต่ยังมีประสิทธิภาพที่ด้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs

4.9.2 การศึกษาผลของการทำงานร่วมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ และสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ต่อสมบัติอื่นๆ

4.9.2.1 ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C)

ค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C) ของสารลดจุดเริ่มไหลผสมเมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน เมื่อเปรียบเทียบกับสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์และสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 2 ประเภท แสดงในรูปที่ 4.41 พบว่าค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลผสมเพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 875.7 – 879.3 kg/m³ จะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C ของปาล์มไบโอดีเซลที่ได้จะมีค่าที่อยู่ระหว่างสารลดจุดเริ่มไหลทั้ง 2 ประเภท และจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs โดยค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C ที่ได้ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานข้อกำหนดของกรมธุรกิจพลังงาน

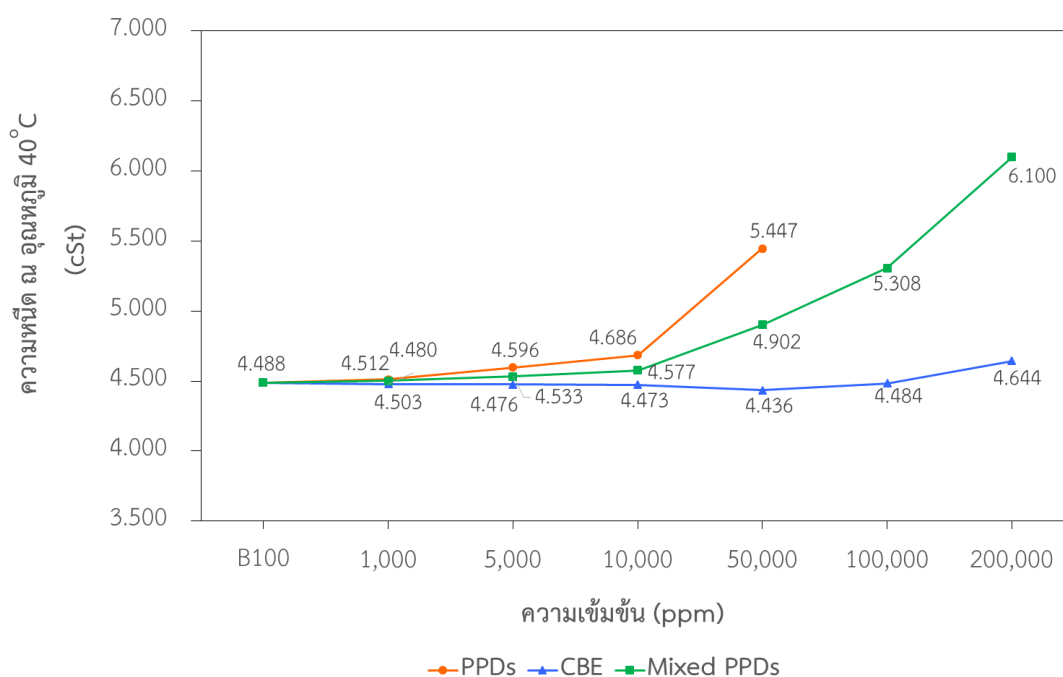


รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) กับค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C

4.9.2.2 ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40°C)

ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40°C) ของสารลดจุดเริ่มไหลผสมเมื่อผสมในปาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน เมื่อเปรียบเทียบกับสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์และสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 2 ประเภท แสดงในรูปที่ 4.42 พบว่าค่าความ

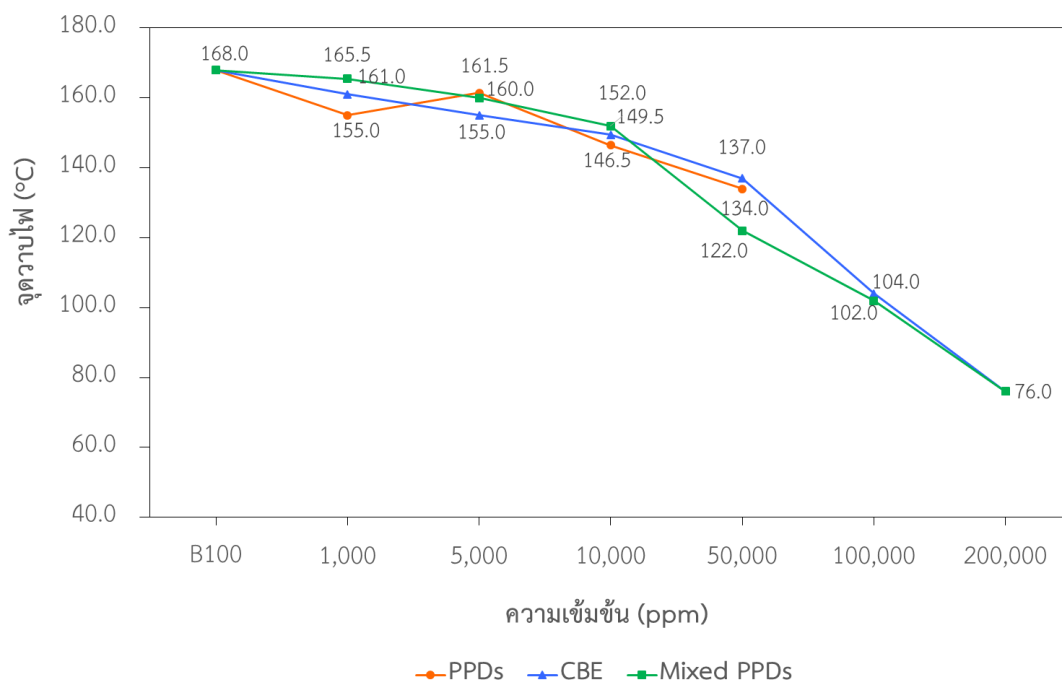
หนืด ณ อุณหภูมิ 40°C จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลผสมเพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 4.503 – 6.100 cSt จะเห็นได้ว่าค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C ของพอลิเมอร์โอดีเซลที่ได้จะมีค่าที่อยู่ระหว่างสารลดจุดเริ่มไหลทั้ง 2 ประเภท และจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs เช่นเดียวกับค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว นอกจากนี้จะพบว่า การผสมด้วยสารลดจุดเริ่มไหลผสมที่ความเข้มข้น 100,000 ppm ขึ้นไปจะทำให้ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานข้อกำหนดของกรมธุรกิจพลังงาน



รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) กับค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C

4.9.2.3 จุดวาบไฟ (Flash point)

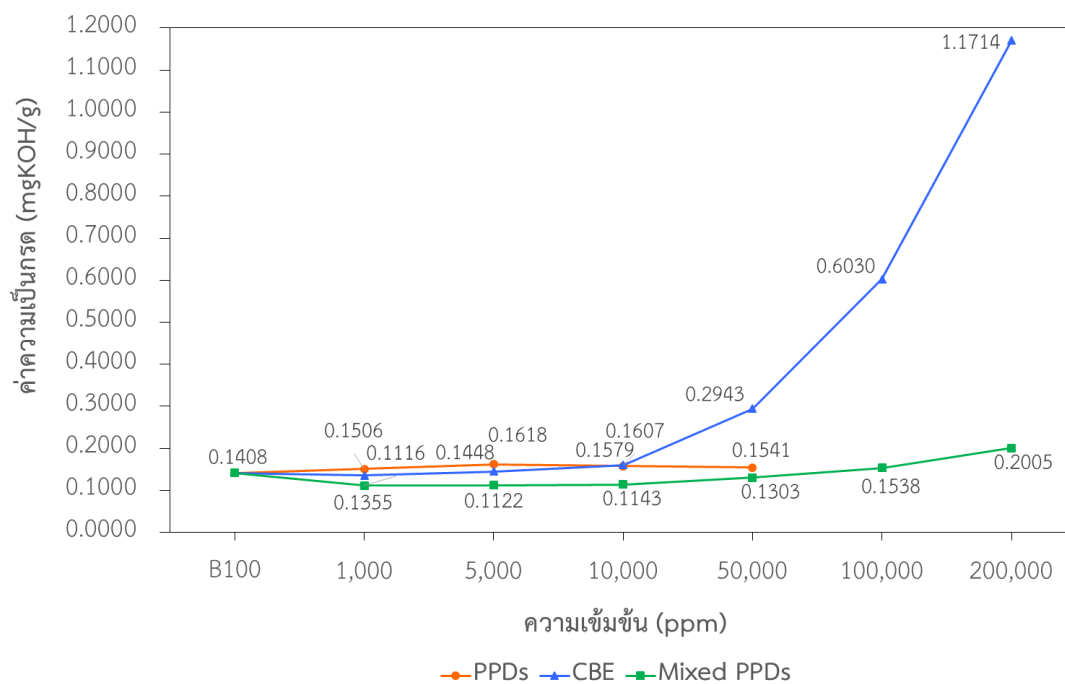
ค่าจุดวาบไฟ (Flash point) ของสารลดจุดเริ่มไหลผสมเมื่อผสมในพอลิเมอร์โอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน เมื่อเปรียบเทียบกับสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์และสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 2 ประเภท แสดงในรูปที่ 4.43 พบว่าจุดวาบไฟจะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลผสมเพิ่มขึ้น โดยจะเริ่มเห็นการลดลงของจุดวาบไฟอย่างชัดเจนที่ความเข้มข้น 100,000 ppm ขึ้นไป ซึ่งจะทำให้ค่าจุดวาบไฟลดลงเป็น 102.0°C ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน



รูปที่ 4.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) กับค่าจุดวาบไฟ

4.9.2.4 ค่าความเป็นกรด (Acid value)

ค่าความเป็นกรด (Acid value) ของสารลดจุดเริ่มไหลผสมเมื่อผสมในพาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน เมื่อเปรียบเทียบกับสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์และสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 2 ประเภท แสดงในรูปที่ 4.44 พบว่าค่าความเป็นกรดจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นสารลดจุดเริ่มไหลผสมเพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.1116 – 0.2005 mgKOH/g ซึ่งค่าความเป็นกรดที่ได้ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน



รูปที่ 4.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) กับค่าความเป็นกรด

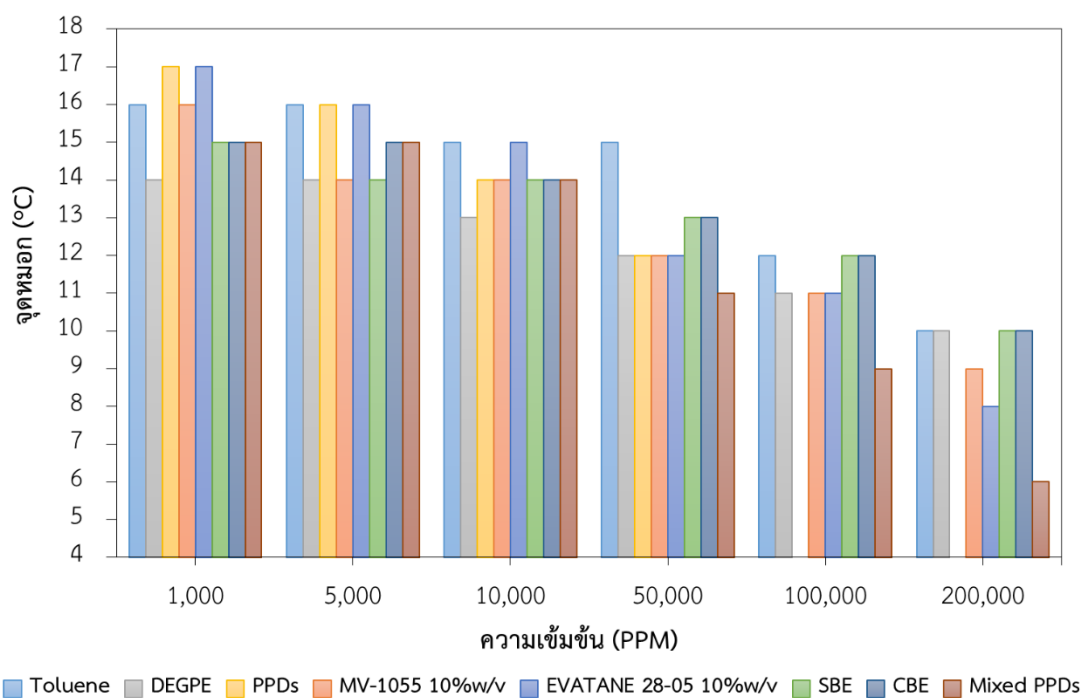
4.10 การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารเติมแต่งที่มีผลต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

สมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของปาล์มไบโอดีเซลสามารถพิจารณาได้จากหลายปัจจัย โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของสารเติมแต่งชนิดต่างๆ ที่นำมาศึกษาเพื่อใช้ปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของปาล์มไบโอดีเซล โดยใช้การทดสอบจุดหมอก (Cloud point, CP) จุดไหลเท (Pour point, PP) จุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (Cold filter plugging point, CFPP) และวิเคราะห์หาอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก (Crystallization temperature) ของปาล์มไบโอดีเซลและปาล์มไบโอดีเซลที่ผสมกับสารเติมแต่งชนิดต่างๆ โดยใช้เทคนิค DSC

ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารเติมแต่งที่ทำการศึกษาคือ ตัวทำละลายอินทรีย์ สารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ สารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ สารละลายพอลิเมอร์ และสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ที่มีผลต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล โดยจะนำสารเติมแต่งชนิดต่างๆ จะทำการผสมที่ความเข้มข้น 200,000 ppm ยกเว้นในกรณีของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs (UAC) เพียงชนิดเดียวที่จะทำการผสมที่ความเข้มข้น 50,000 ppm สามารถแสดงได้ตามรายการทดสอบ ดังนี้

4.10.1 ค่าจุดหมอก (Cloud point, CP)

จุดหมอก (Cloud point, CP) ของสารเติมแต่งชนิดต่างๆ เมื่อผสมในพอลิเมอร์ไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.45 พบว่าจุดหมอกจะมีค่าลดลงเมื่อผสมกับสารเติมแต่งชนิดต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นเดียวกัน จะพบว่าค่าจุดหมอกที่ลดลงจะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยจะมีค่าลดลงประมาณ 1 – 2°C แต่เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นสูงขึ้นไปตั้งแต่ 100,000 ppm ขึ้นไป จะเห็นได้ว่าสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mix PPDs) จะสามารถลดค่าจุดหมอกได้มากกว่าสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ โดยจะสามารถลดค่าจุดหมอกได้มากกว่าสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ 2 – 4°C ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm สารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) จะสามารถลดค่าจุดหมอกได้มากที่สุดโดยจะลดลงเป็น 6°C ($\Delta CP = 10^\circ C$) และเมื่อเปรียบเทียบกับสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ พบว่าสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) สามารถลดค่าจุดหมอกได้มากกว่าสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ ได้ถึง 4°C

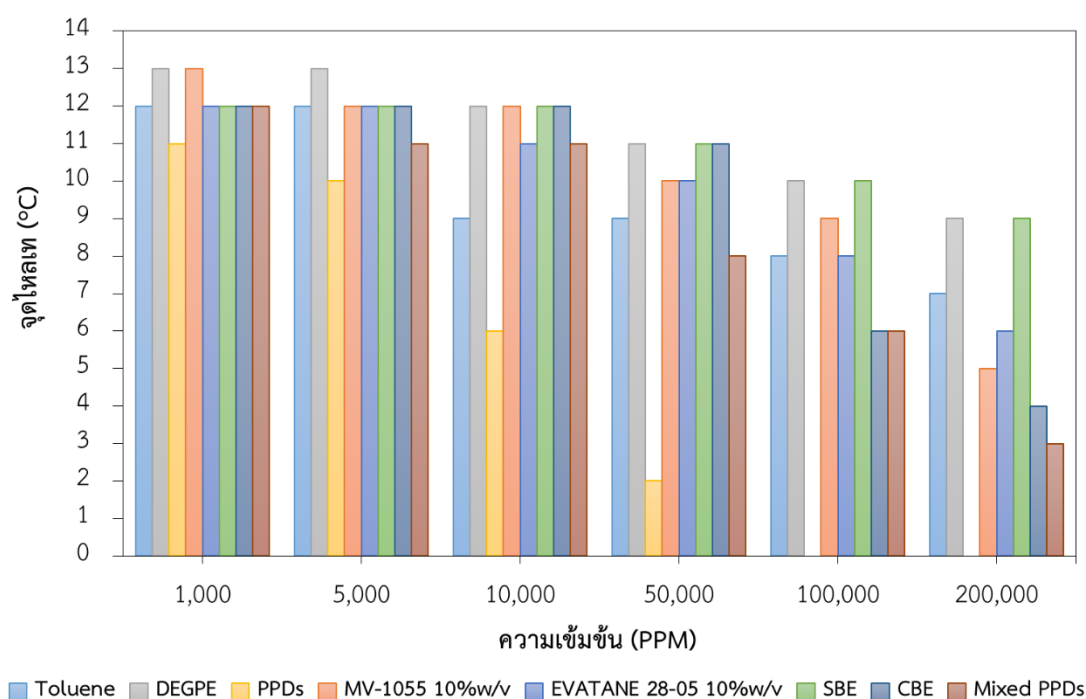


รูปที่ 4.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารเติมแต่งชนิดต่างๆ กับค่าจุดหมอก

4.10.2 ค่าจุดไหลเท (Pour point, PP)

จุดไหลเท (Pour point, PP) ของสารเติมแต่งชนิดต่างๆ เมื่อผสมในพอลิเมอร์ไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.46 พบว่าจุดไหลเทจะมีค่าลดลงเมื่อผสมกับสารเติมแต่งชนิดต่างๆ โดยจะเห็นได้ว่าสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อ

เปรียบเทียบกับสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ โดยสามารถลดค่าจุดไหลเทได้มากที่สุด ที่ความเข้มข้น 50,000 ppm ค่าจุดไหลเทลดลงเป็น 2°C ($\Delta\text{PP} = 10^{\circ}\text{C}$) แต่เมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นเดียวกัน จะพบว่า สารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) มีแนวโน้มที่ในการลดค่าจุดไหลเทได้ดีกว่าสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ ที่ความเข้มข้นของสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) 200,000 ppm จะสามารถลดค่าจุดไหลเทเป็น 3°C ($\Delta\text{PP} = 9^{\circ}\text{C}$) ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs แต่ต้องใช้ปริมาณของสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) ที่มากกว่า

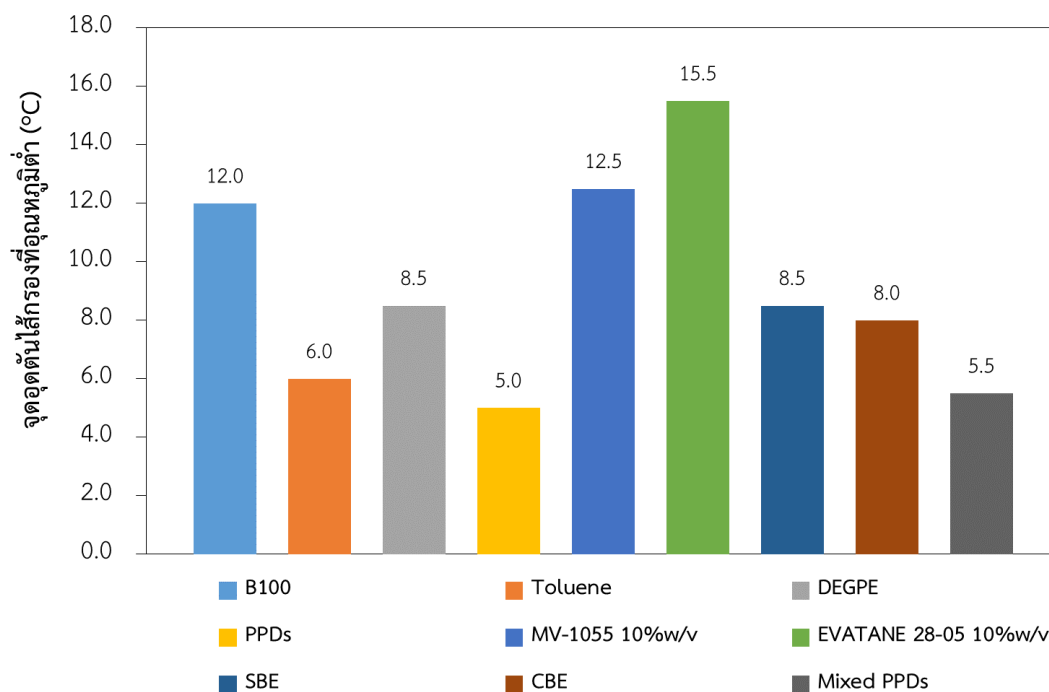


รูปที่ 4.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารเติมแต่งชนิดต่างๆ กับค่าจุดไหลเท

4.10.3 จุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (Cold filter plugging point, CFPP)

จุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (Cold filter plugging point, CFPP) ของสารเติมแต่งชนิดต่างๆ เมื่อผสมในพาล์มไบโอดีเซล (B100) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แสดงในรูปที่ 4.47 โดยค่าจุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำพาล์มไบโอดีเซลเริ่มต้นคือ 12.0°C โดยจะเห็นได้ว่าสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ โดยสามารถลดค่าจุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำได้มากที่สุด ที่ความเข้มข้น 50,000 ppm ค่าจุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำลดลงเป็น 5°C ($\Delta\text{CFPP} = 7^{\circ}\text{C}$) และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ ที่ความเข้มข้นเดียวกัน พบว่าสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) จะสามารถลดค่าจุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำได้มากที่สุด โดยที่ความเข้มข้น 200,000 ppm จะสามารถลดค่าจุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำลดลงเป็น 5.5°C ($\Delta\text{CFPP} = 6.5^{\circ}\text{C}$) ซึ่งให้ผลที่ใกล้เคียงกันกับการใช้สารลดจุดเริ่มไหล

เชิงพาณิชย์ PPDs แต่ต้องใช้ปริมาณของสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) ที่มากกว่า เช่นเดียวกับค่าจุดไหลเท



รูปที่ 4.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารเติมแต่งชนิดต่างๆ กับ ค่าจุดอุณหภูมิตั้งขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ

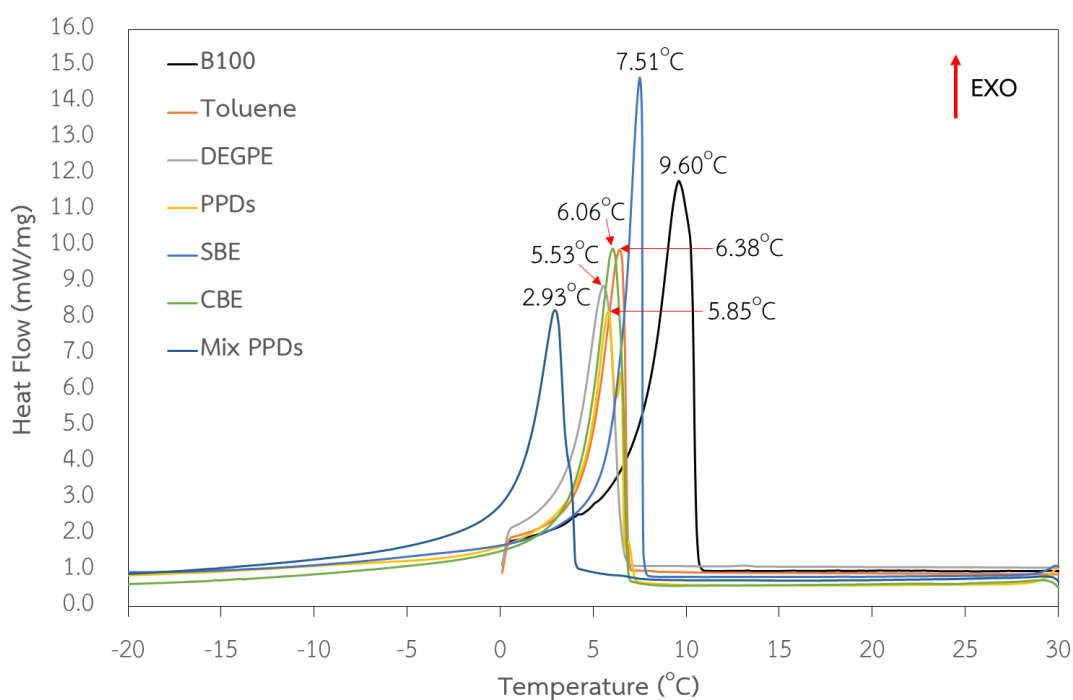
4.10.4 วิเคราะห์หาอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก (Crystallization temperature) โดยใช้เทคนิค DSC

อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล (B100) และปาล์มไบโอดีเซลที่ผสมกับสารเติมแต่งต่างๆ โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimetry, DSC) แสดงในตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.48 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์จะพบว่ากระบวนการเกิดผลึกของปาล์มไบโอดีเซลและปาล์มไบโอดีเซลที่ผสมกับสารเติมแต่งชนิดต่างๆ ที่นำมาศึกษาเพื่อใช้ปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำนั้น จะเป็นกระบวนการคายความร้อน (Exothermic process) โดยเมื่อทำให้อุณหภูมิค่อยๆ ลดต่ำลง ด้วยอัตราเร็วคงที่ ผลึกของปาล์มไบโอดีเซลและปาล์มไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ ก็จะเริ่มเกิดขึ้น โดยอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกของปาล์มไบโอดีเซลเริ่มต้นคือ 9.60°C พบว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดผลึกจะมีค่าลดลงเมื่อผสมกับสารเติมแต่งชนิดต่างๆ จะเห็นได้ว่าสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) จะสามารถลดอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกในปาล์มไบโอดีเซลได้มากที่สุด รองลงมาจะเป็นไดเอทิลีนไกลคอลไอโซโพรพิลเมทิลอี

เธอร์ (DEGPE) และสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกได้เป็น 2.93°C ($\Delta T_c = 6.67^{\circ}\text{C}$), 5.53°C ($\Delta T_c = 4.07^{\circ}\text{C}$) และ 5.85°C ($\Delta T_c = 3.75^{\circ}\text{C}$) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.14 อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก (Crystallization temperature) โดยใช้เทคนิค DSC ของ ปาล์มไบโอดีเซลและปาล์มไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ

ปาล์มไบโอดีเซลผสม	อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก ($^{\circ}\text{C}$)
ปาล์มไบโอดีเซล (B100)	9.60
โทลูอีน	6.38
ไดเอทิลีนไกลคอลไอโซโพรพิลเมทิลอีเธอร์ (DEGPE)	5.53
สารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs	5.85
สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ SBE	7.51
สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ CBE	6.06
สารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs)	2.93



รูปที่ 4.48 อุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกของปาล์มไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ โดยใช้เทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ศึกษาสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

น้ำมันปาล์มไบโอดีเซล (B100) จะประกอบด้วยกรดปาล์มมิติก (Palmitic acid, C16:0) และกรดโอเลอิก (Oleic acid, C18:1) เป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีปริมาณ 43.22 และ 39.82 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลจะประกอบด้วยกรดไขมันทั้งชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวสายโซ่ยาวในปริมาณมาก จึงส่งผลให้มีข้อด้อยในเรื่องสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำ (Cold flow properties) โดยจะมีค่าจุดหมอก (Cloud point, CP) จุดไหลเท (Pour point, PP) จุดอุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ (Cold Filter Plugging Point, CFPP) และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึก (Crystallization temperature) คือ 16°C, 12°C, 12.0°C และ 9.60°C ตามลำดับ ซึ่งจะมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุดิบประเภทอื่นๆ สำหรับคุณสมบัติของปาล์มไบโอดีเซลอื่นๆ พบว่ามีคุณสมบัติที่อยู่ในมาตรฐานข้อกำหนดของกรมธุรกิจพลังงาน

5.1.2 การวิเคราะห์โครงสร้างและศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ (Commercial pour point depressants)

การวิเคราะห์โครงสร้างและศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ ทั้ง 5 ชนิด (Viscoplex 1-330, PPDs, 2P-23, Additive A และ Keroflux 6312) สามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR) พบว่าสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด จะเป็นสารประกอบในกลุ่มเอสเทอร์ นอกจากนี้ยังพบว่าสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs (UAC) เพียงชนิดเดียวที่มีสารประกอบอะโรมาติกอยู่ในโครงสร้างด้วย

5.1.3 การสังเคราะห์สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ (Synthetic pour point depressants)

สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด คือ Isopropyl ester of soybean (SIE), 2-Butyl ester of soybean (SBE), Isopropyl ester of coconut (CIE) และ 2-Butyl ester of coconut (CBE) สามารถสังเคราะห์ได้โดยผ่านปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันถั่วเหลืองและ

น้ำมันมะพร้าวกับแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่กิ่ง คือไอโซโพรพานอล และ 2-บิวทานอล โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยสารลดจุดเริ่มไหลที่สังเคราะห์ได้ทั้ง 4 ชนิดจะมีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำกว่าปาล์มไบโอดีเซล โดยจะมีค่าจุดหมอก จุดไหลเท และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกที่มีค่าต่ำ โดยสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ที่มีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำที่ดีที่สุดคือ 2-Butyl ester of coconut (CBE) โดยจะมีค่าจุดหมอก จุดไหลเท และอุณหภูมิที่เกิดผลึกต่ำที่สุด โดยมีค่าคือ -13°C , -19°C และ -39.22°C ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์จะขึ้นอยู่กับความยาวของสายโซ่ และระดับความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้การใช้แอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่กิ่งและมีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะมีผลให้โครงสร้างของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ที่ได้มีความเกะกะ (Steric effect) ซึ่งจะสามารถขัดขวางการเกิดผลึกเมื่อนำมาผสมในปาล์มไบโอดีเซลได้ จึงส่งผลให้สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ที่สังเคราะห์โดยใช้น้ำมันมะพร้าว และ 2-บิวทานอล (2-Butyl ester of coconut, CBE) มีสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำที่ดีที่สุด

5.1.4 การศึกษาผลของตัวทำละลายอินทรีย์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและสมบัติอื่นๆ ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

ตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของปาล์มไบโอดีเซลได้ โดยตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำคือโทลูอิน พบว่าสามารถลดค่าจุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำที่ใกล้เคียงกับการใช้สารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs และสารลดจุดเริ่มไหลผสม (mixed PPDs) เนื่องจากโทลูอินจะมีค่าจุดหลอมเหลว (Melting point) ที่ต่ำที่สุดและมีโมเลกุลที่มีขนาดเล็กที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดอื่นๆ แต่การผสมด้วยตัวทำละลายอินทรีย์จะมีผลต่อสมบัติอื่นๆ ของปาล์มไบโอดีเซล โดยจะพบว่าค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C และค่าความเป็นกรดจะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน ยกเว้นค่าจุดวาบไฟพบว่าการผสมด้วยตัวทำละลายอินทรีย์จะทำให้ค่าจุดวาบไฟมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

5.1.5 การศึกษาผลของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและสมบัติอื่นๆ ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

สารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิดสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของปาล์มไบโอดีเซลได้ โดยไดเอทิลีนไกลคอลไอโซโพรพิลเมทิลอีเธอร์ (Diethylene glycol isopropyl methyl ether, DEGPE) จะสามารถลดค่าจุดหมอกและจุดไหลเทได้ดีกว่าการผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลโมโนบิวทิลอีเธอร์อะซิเตท (Diethylene glycol monobutyl ether acetate,

DEGBA) นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าการผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลไอโซโพรพิลเมทิลอีเธอร์ (DEGPE) สามารถลดจุดหมอก และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกได้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ สำหรับผลของสารในกลุ่มไกลคอลอีเธอร์ทั้ง 2 ชนิดที่มีผลต่อสมบัติอื่นๆ ของพอลิเมอร์ไโอดีเซลพบว่าค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C และค่าความเป็นกรดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน ยกเว้นค่าจุดวาบไฟของไดเอทิลีนไกลคอลไอโซโพรพิลเมทิลอีเธอร์ (DEGPE) ที่ความเข้มข้น 100,000 ppm ขึ้นไป จะมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

5.1.6 การศึกษาผลของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและสมบัติอื่นๆ ของน้ำมันพอลิเมอร์ไโอดีเซล

สารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิดสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของพอลิเมอร์ไโอดีเซลได้ โดยจะสามารถลดค่าจุดไหลเทได้ดีกว่าจุดหมอก และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด พบว่าสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs (UAC) สามารถลดค่าจุดหมอก จุดไหลเท จุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกในพอลิเมอร์ไโอดีเซลได้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีประสิทธิภาพในการลดค่าจุดไหลเทได้มากที่สุด คิดเป็นอัตราการลดลงเท่ากับ 83.33 เปอร์เซ็นต์ สำหรับผลของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ทั้ง 5 ชนิด ที่มีผลต่อสมบัติอื่นๆ ของพอลิเมอร์ไโอดีเซลพบว่า ค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C ค่าจุดวาบไฟ และค่าความเป็นกรดจะอยู่ในมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน ยกเว้นค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C ที่ความเข้มข้น 50,000 ppm จะทำให้พอลิเมอร์ไโอดีเซลที่ได้มีค่าความหนืดสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ได้

5.1.7 การศึกษาผลของสารละลายพอลิเมอร์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและสมบัติอื่นๆ ของน้ำมันพอลิเมอร์ไโอดีเซล

สารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิด สามารถปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของพอลิเมอร์ไโอดีเซลได้ พบว่าการผสมด้วยสารละลายพอลิเมอร์ความเข้มข้น 10%w/v ของโพลูอินสามารถลดค่าจุดหมอกและจุดไหลเทได้ดีกว่าสารละลายพอลิเมอร์ที่เตรียมที่ความเข้มข้น 20%w/v ของโพลูอิน และเมื่อเปรียบเทียบเกรดของพอลิเมอร์พบว่า EVA MV-1055 มีความสามารถในการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่า EVATANE 28-05 โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนสำหรับการทดสอบจุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะสามารถลดได้มากกว่าถึง 3°C นอกจากนี้ยังพบว่าสารละลายพอลิเมอร์ EVA ที่ความเข้มข้น 10%w/v ของโพลูอิน จะสามารถลดค่าจุดหมอกและจุดไหลเทได้มากกว่า 1 – 2°C เมื่อเปรียบเทียบกับผลของการผสมด้วยโพลูอินเพียงอย่างเดียว สำหรับ

ผลของสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 4 ชนิดที่มีผลต่อสมบัติอื่นๆ ของปาล์มไบโอดีเซล พบว่าค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C และค่าความเป็นกรดจะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน แต่ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C และจุดวาบไฟพบว่าจะมีค่าไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

5.1.8 การศึกษาผลของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและสมบัติอื่นๆ ของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล

สารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิดที่ทำการสังเคราะห์โดยการเปลี่ยนโซ่กิ่งของเมทิลเอสเทอร์ โดยใช้แอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่กิ่ง และมีขนาดใหญ่ขึ้น พบว่า 2-บิวทิลเอสเทอร์ของทั้งน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันมะพร้าว จะสามารถปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าไอโซโพรพิลเอสเทอร์ โดยจะพบว่าสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ 2-Butyl ester of coconut (CBE) จะมีความสามารถปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของปาล์มไบโอดีเซลได้ดีที่สุด รองลงมาคือ Isopropyl ester of coconut (CIE) ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์จะขึ้นอยู่กับความยาวของสายโซ่และระดับความไม่อิ่มตัวของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลัก และแอลกอฮอล์นำมาสังเคราะห์ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ 2-Butyl ester of coconut (CBE) จะมีประสิทธิภาพในการลดค่าจุดไหลเทได้มากที่สุด คิดเป็นอัตราการลดลงเท่ากับ 66.67 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ สำหรับผลของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิดที่มีผลต่อสมบัติอื่นๆ ของปาล์มไบโอดีเซล พบว่าค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C และค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C จะมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน แต่ค่าจุดวาบไฟและค่าความเป็นกรดจะมีค่าไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเล็กน้อย

5.1.9 การศึกษาผลการทำงานร่วมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ และสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ต่อสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำและสมบัติอื่นๆ

สารลดจุดเริ่มไหลผสม (mixed PPDs) ที่ได้จากการผสมของสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs (UAC) และสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ 2-Butyl ester of coconut (CBE) พบว่าการใช้สารลดจุดเริ่มไหลผสมสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของปาล์มไบโอดีเซลได้มีประสิทธิภาพกว่าการใช้สารลดจุดเริ่มไหลทั้ง 2 ประเภทเพียงชนิดเดียว โดยสารลดจุดเริ่มไหลผสม (mixed PPDs) จะมีความสามารถในการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของปาล์มไบโอดีเซลได้ดีที่สุด ซึ่งสามารถลดค่าจุดหมอก จุดไหลเท จุดจุดตันไส้กรองที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกได้สูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ โดยจะมีประสิทธิภาพในการลดค่าจุดไหลเทได้ดีที่สุด คิดเป็นอัตราการลดลง

สูงถึง 75.00 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับใช้สารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์และสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ สำหรับผลของสารลดจุดเริ่มไหลผสม (mixed PPDs) ที่มีผลต่อสมบัติอื่นๆ ของพอลัมไบโอดีเซล พบว่าค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C และค่าความเป็นกรดที่ได้จะมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน แต่ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C และจุดวาบไฟจะมีค่าไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. สารลดจุดเริ่มไหลที่สังเคราะห์ได้ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับปรุงสมบัติการไหลที่อุณหภูมิต่ำของพอลัมไบโอดีเซลได้ด้วยการผสมด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น โทลูอีน ซึ่งอาจจะให้ผลที่ดีใกล้เคียงกับการใช้สารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์



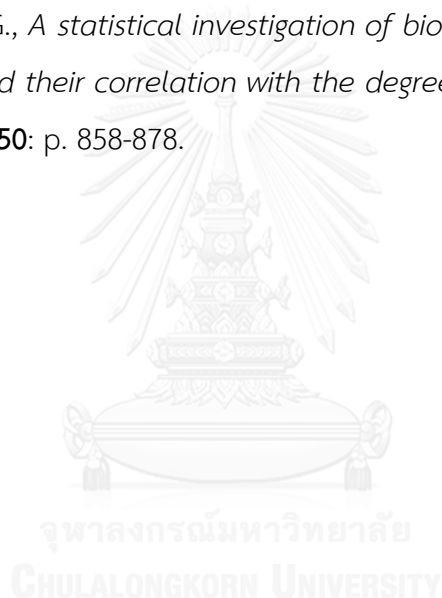
รายการอ้างอิง

1. ประเสริฐ เทียนนิมิตร., ขวัญชัย สันทิพย์สมบูรณ์ และ ปานเพชร ชินินทร, เชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น. 2532: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน). 157-173.
2. Meher, L., D. Vidyasagar, and S. Naik, *Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2006. **10**(3): p. 248-268.
3. Atabani, A.E., A.S. Silitonga, I.A. Badruddin, T.M.I. Mahlia, H.H. Masjuki, and S. Mekhilef, *A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012. **16**(4): p. 2070-2093.
4. Kumar, N., Varun., and S.R. Chauhan, *Performance and emission characteristics of biodiesel from different origins : A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013. **21**: p. 633-658.
5. Silitonga, A.S., H.H. Masjuki, T.M.I. Mahlia, H.C. Ong, W.T. Chong, and M.H. Boosroh, *Overview properties of biodiesel diesel blends from edible and non-edible feedstock*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013. **22**: p. 346-360.
6. Singh, S.P. and D. Singh, *Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel : A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010. **14**: p. 200-216.
7. สุภาพร สุทธิภักดิ์., ผลของตัวทำละลายร่วมต่อการผลิตไบโอดีเซลในเมทานอลภาวะเหนือวิกฤต, ภาควิชาเคมีเทคนิค. 2550, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพมหานคร.
8. กรมธุรกิจพลังงาน, ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน พ.ศ.2552, กรมธุรกิจพลังงาน, 2009. p. 43-45.
9. Shahid, E.M. and Y. Jamal, *Production of biodiesel : A technical review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011. **15**: p. 4732-4745.

10. Marchetti, J.M., V.U. Miguel, and A.F. Errazu, *Possible methods for biodiesel production*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2007. **11**: p. 1300-1311.
11. ERHAN, S.Z., R.O. DUNN, G. KNOTHE, and B.R. MOSER, *Fuel properties and performance of biodiesel*. Biocatalyst and Bioenergy, 2008: p. 1-57.
12. Hoekmana, S.K., A. Brocha, C. Robbinsa, E. Cenicerosa, and M. Natarajanb, *Review of biodiesel composition, properties, and specifications*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012. **16**: p.143-169.
13. Dwivedi, G. and M.P. Sharma, *Impact of cold flow properties of biodiesel on engine performance*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014. **31**: p. 650-656.
14. Lee, I., L.A. Johnson, and E.G. Hammond, *Use of branched-chain esters to reduce the crystallization temperature of biodiesel*. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1995. **72**: p. 1155-1160.
15. Lang, X., A.K. Dalai, N.N. Bakhshi, M.J. Reaney, and P.B. Hertz, *Preparation and characterization of bio-diesels from various bio-oils*. Bioresource Technology, 2001. **80**: p. 53-62.
16. Chiu, C.W., L.G. Schumacher, and G.J. Suppes, *Impact of cold flow improvers on soybean biodiesel blend*. Biomass and Bioenergy, 2004. **27**(5): p. 485-491.
17. Moser, B.R. and S.Z. Erhan, *Synthesis and evaluation of a series of α -hydroxy ethers derived from isopropyl oleate*. American Oil Chemist's Society, 2006. **83**: p. 959-963.
18. Bhale, P.V., N.V. Deshpande, and S.B. Thombre, *Improving the low temperature properties of biodiesel fuel*. Renewable Energy, 2009. **34**(3): p. 794-800.
19. Smith, P.C., Y. Ngothai, Q.D. Nguyen, and B.K. O'Neill, *Alkoxylation of biodiesel and its impact on low-temperature properties*. Fuel, 2009. **88**(4): p. 605-612.

20. Boshui, C., S. Yuqiu, F. Jianhua, W. Jiu, and W. Jiang, *Effect of cold flow improvers on flow properties of soybean biodiesel*. Biomass and Bioenergy, 2010. **34**(9): p. 1309-1313.
21. Guru, M., A. Koca, O. Can, C. Cinar, and F. Sahin, *Biodiesel production from waste chicken fat based sources and evaluation with Mg based additive in a diesel engine*. Renewable Energy, 2010. **35**(3): p. 637-643.
22. Joshi, H., B.R. Moser, J. Toler, W.F. Smith, and T. Walker, *Effects of blending alcohols with poultry fat methyl esters on cold flow properties*. Renewable Energy, 2010. **35**(10): p. 2207-2210.
23. Chastek, T.Q., *Improving cold flow properties of canola-based biodiesel*. Biomass and Bioenergy, 2011. **35**(1): p. 600-607.
24. Wang, Y., S. Ma, M. Zhao, L. Kuang, J. Nie, and W.W. Riley, *Improving the cold flow properties of biodiesel from waste cooking oil by surfactants and detergent fractionation*. Fuel, 2011. **90**(3): p. 1036-1040.
25. Usta, N., B. Aydogan, A.H. Con, E. Uguzdogan, and S.G. Ozkal, *Properties and quality verification of biodiesel produced from tobacco seed oil* Energy Conversion and Management, 2011. **52**: p. 2031-2039.
26. Echim, C., J. Maes, and W.D. Greyt, *Improvement of cold filter plugging point of biodiesel from alternative feedstocks*. Fuel, 2012. **93**: p. 642-648.
27. Quinchiac, L.A., M.A. Delgadoa, J.M. Francoa, H.A. Spikes, and C. Gallegos, *Low-temperature flow behaviour of vegetable oil-based lubricants*. Industrial Crops and Products, 2012. **37**: p. 383-388.
28. Giraldo, S.Y., L.A. Rios, and N. Suárez, *Comparison of glycerol ketals, glycerol acetates and branched alcohol-derived fatty esters as cold-flow improvers for palm biodiesel*. Fuel, 2013. **108**: p. 709-714.

29. Lv, P., Y. Cheng, L. Yang, Z. Yuan, H. Li, and W. Luo, *Improving the low temperature flow properties of palm oil biodiesel: Addition of cold flow improver*. Fuel Processing Technology, 2013. **110**: p. 61-64.
30. Dwivedi, A.K., V.L. Sharma, N. Kumaria, S.T. Kiran Kumar, P.K. Srivastava, A.H. Ansari, J.P. Maikhuri, G. Gupta, J.D. Dhar, R. Roy, B.S. Joshi, P.K. Shukla, M. Kumar, and S. Singh, *Synthesis of disulfide esters of dialkylaminocarbothioic acid as potent, non-detergent spermicidal agents*. Bioorg Med Chem, 2007. **15**(21): p. 6642-6648.
31. Giakoumis, E.G., *A statistical investigation of biodiesel physical and chemical properties, and their correlation with the degree of unsaturation*. Renewable Energy, 2013. **50**: p. 858-878.

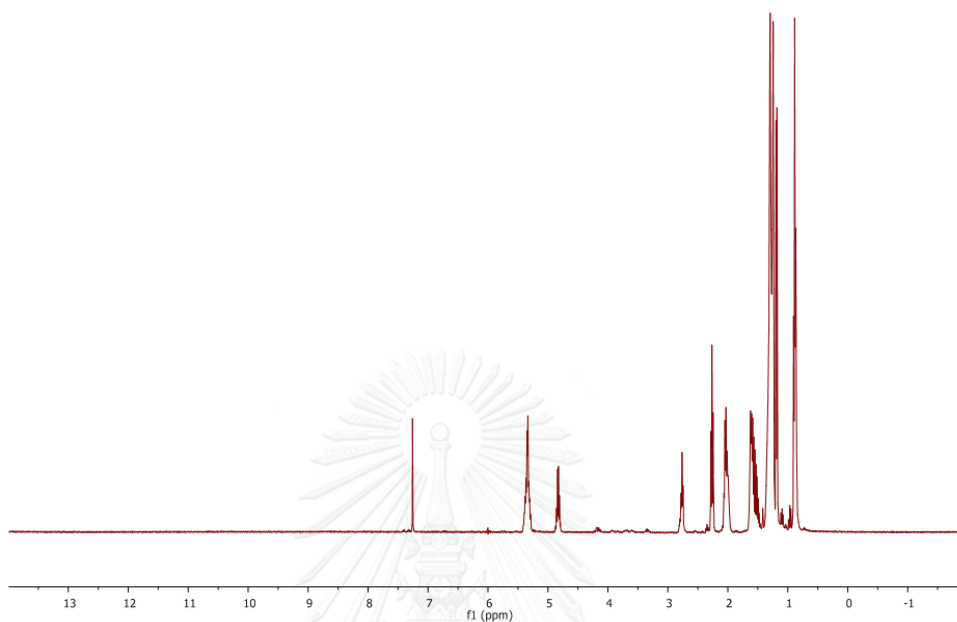
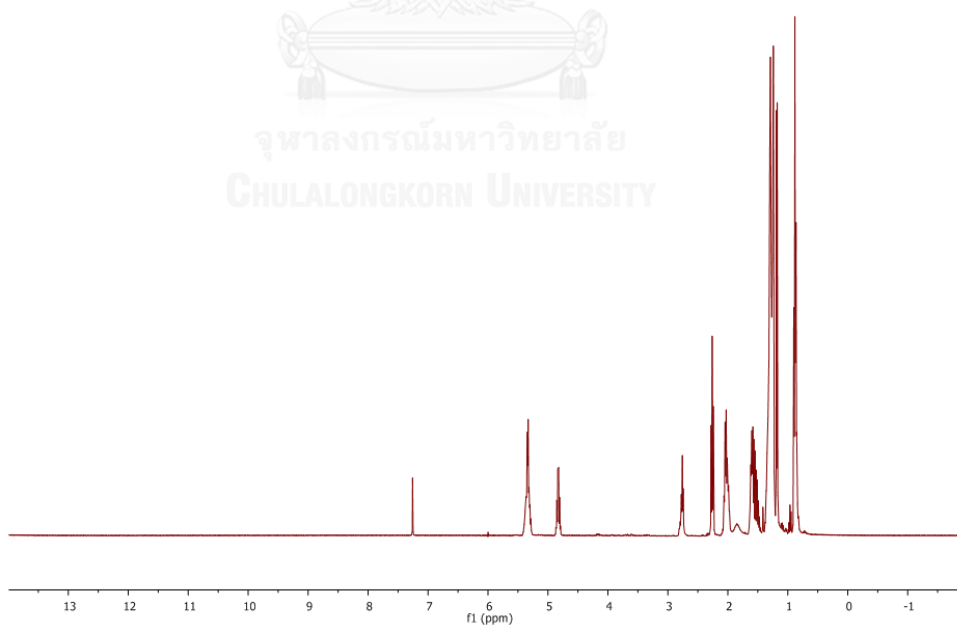




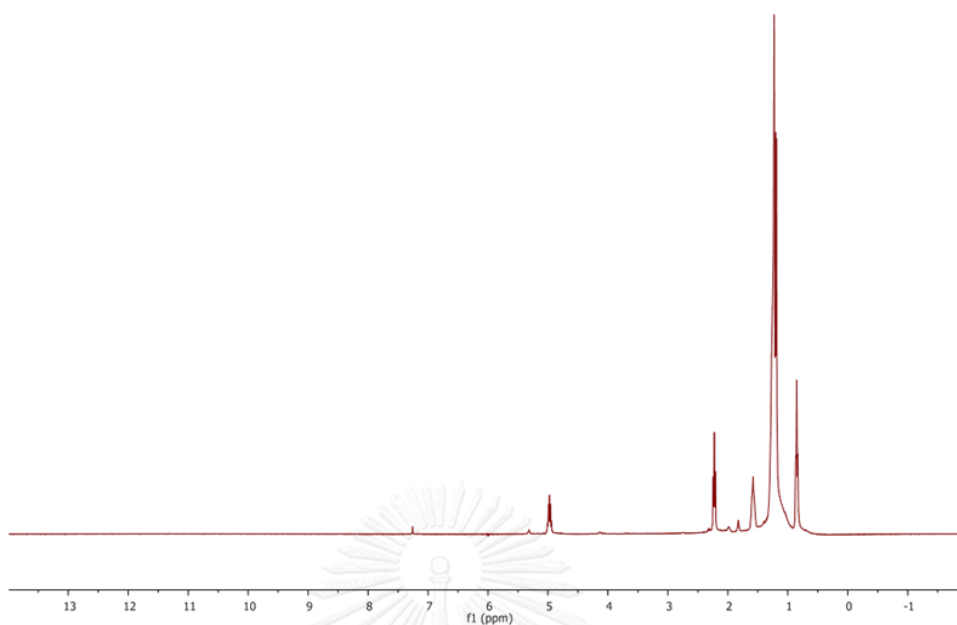
ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก.

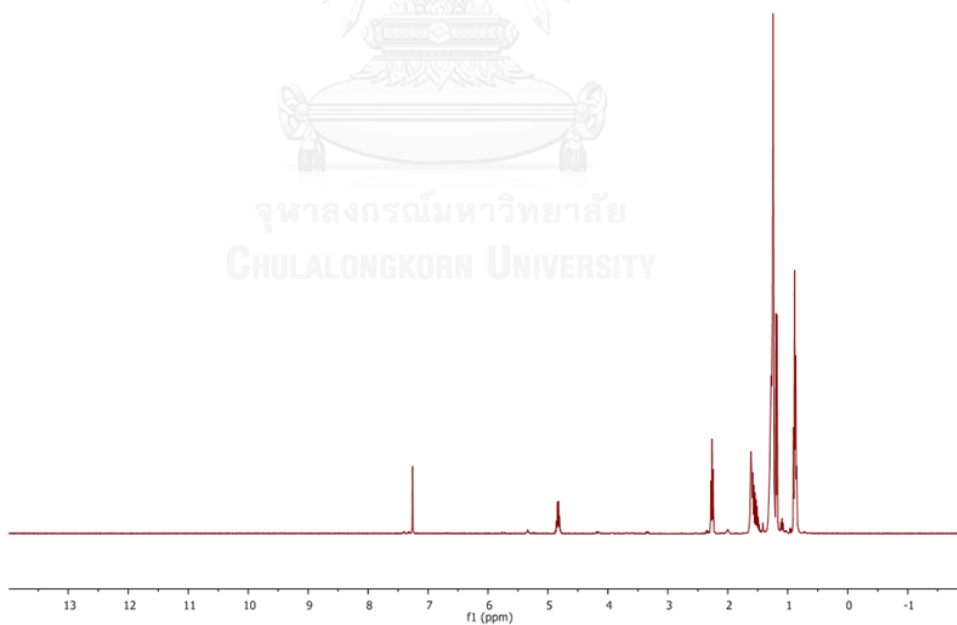
 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัม และ DSC เทอร์โมแกรมPROTON_01
SIE 20hrs.(1/2/58)รูปที่ ก.1 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ Isopropyl ester of soybean (SIE)PROTON_01
Soybean+2-butanol 20 hrs. (0)รูปที่ ก.2 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ 2-Butyl ester of soybean (SBE)

PROTON_01
coconut oil 20 hrs

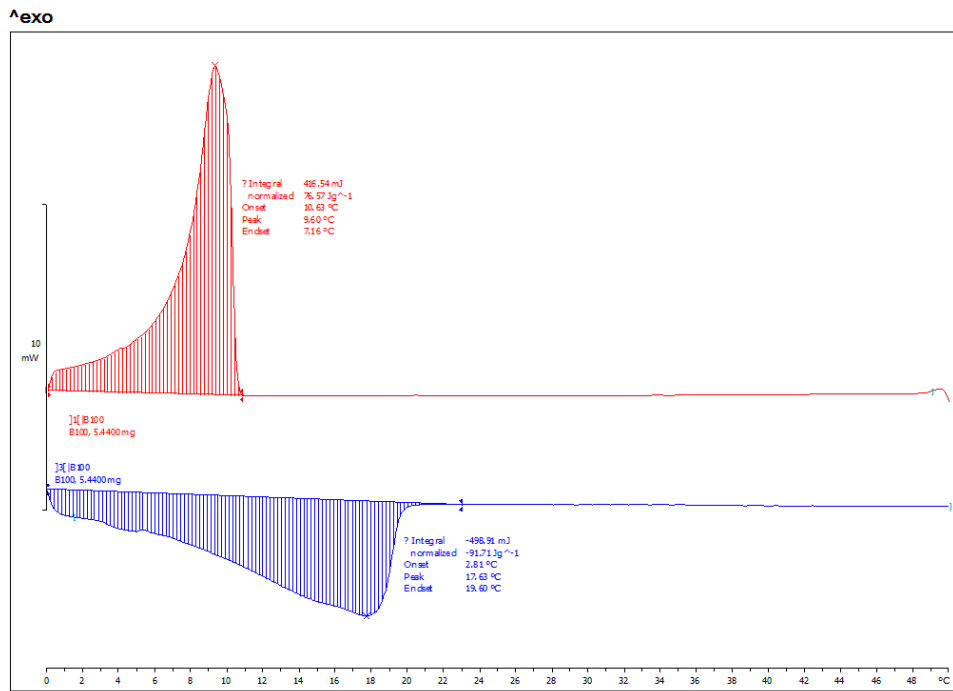


รูปที่ ก.3 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ Isopropyl ester of coconut (CIE)

PROTON_01
CBE 20hrs.(1/2/58)

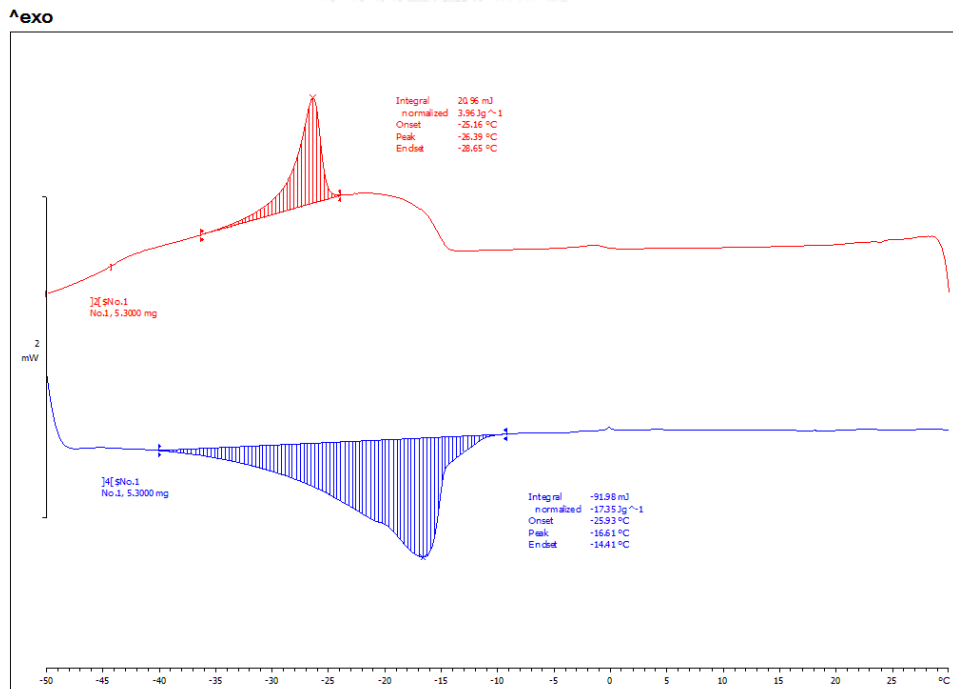


รูปที่ ก.4 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ 2-Butyl ester of coconut (CBE)



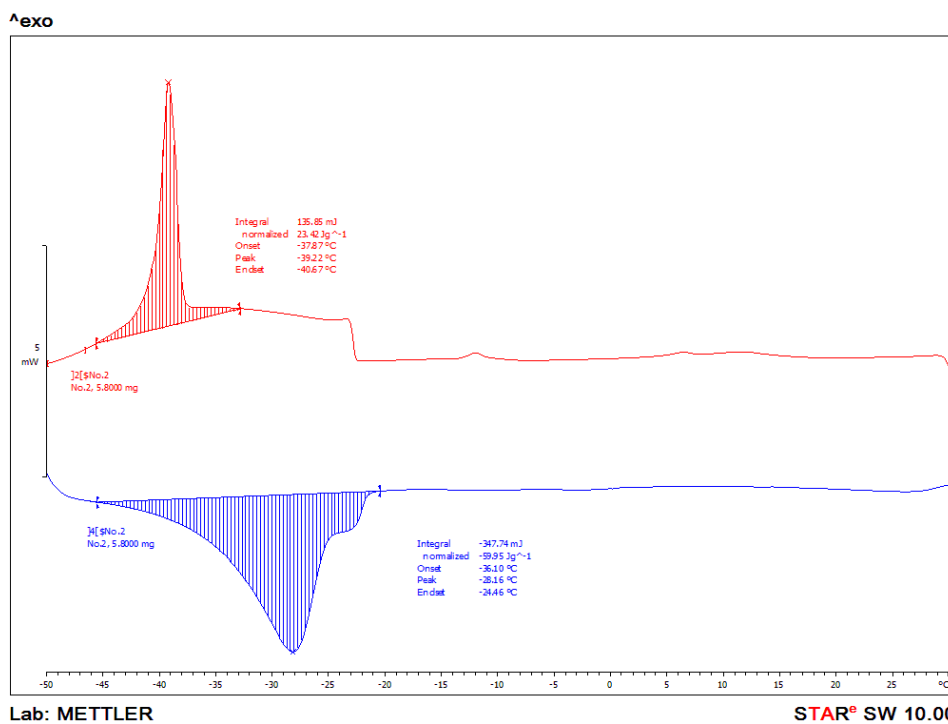
Lab: METTLER STAR® SW 10.00

รูปที่ ก.5 DSC เทอร์โมแกรมของพาล์มไบโอดีเซล (B100)

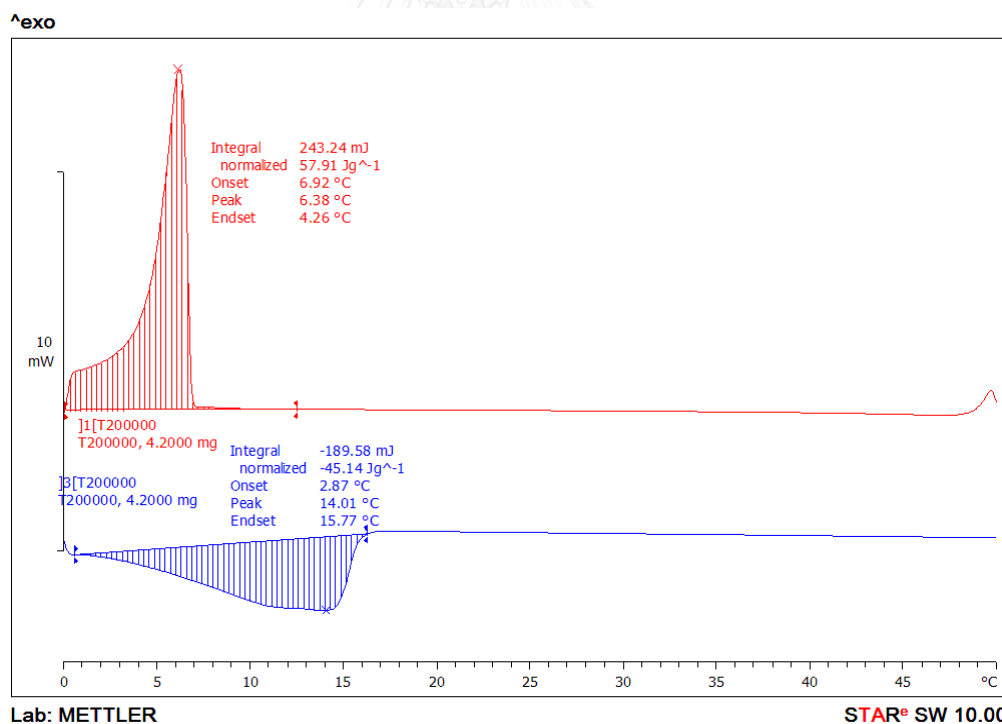


Lab: METTLER STAR® SW 10.00

รูปที่ ก.6 DSC เทอร์โมแกรมของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ 2-Butyl ester of soybean (SBE)

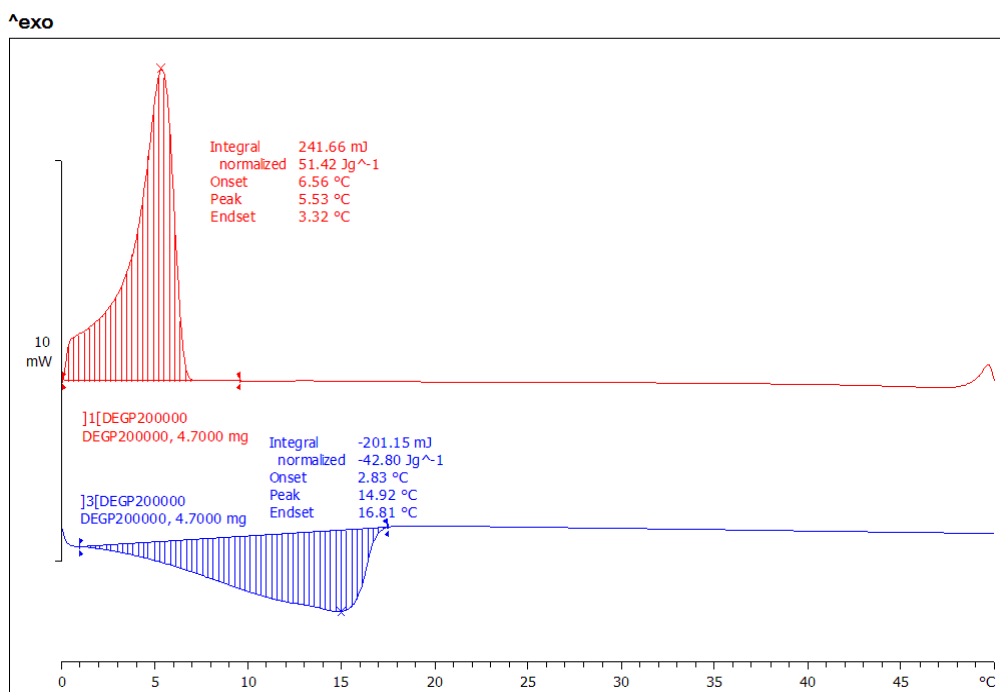


รูปที่ ก.7 DSC เทอร์โมแกรมของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ 2-Butyl ester of coconut (CBE)

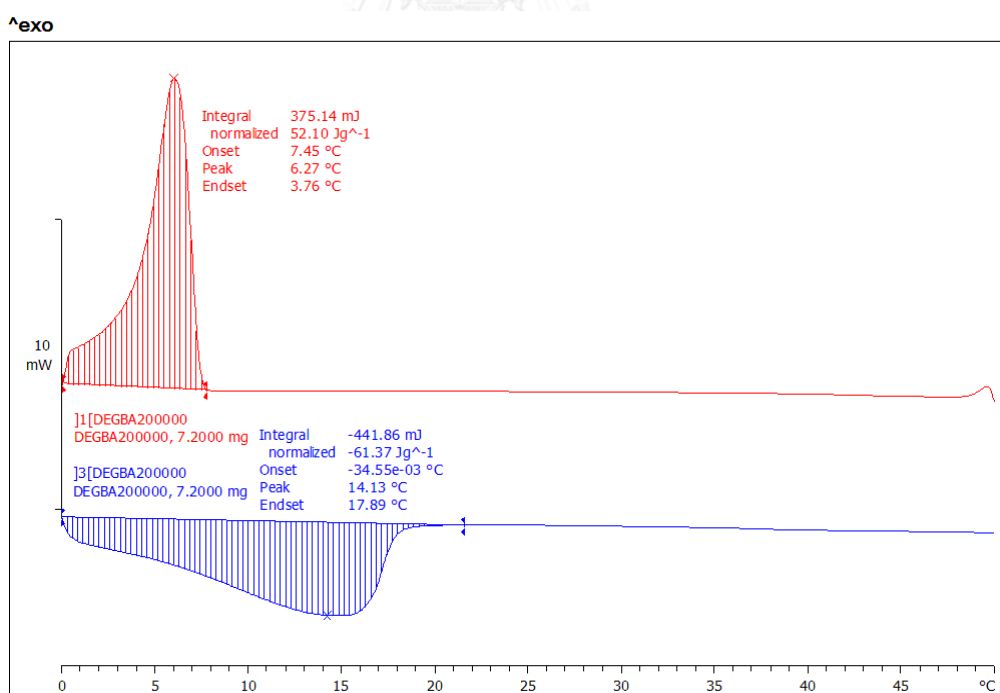


รูปที่ ก.8 DSC เทอร์โมแกรมของพอลิบูทีน (B100) ผสมด้วยไทลูอิน ที่ความเข้มข้น

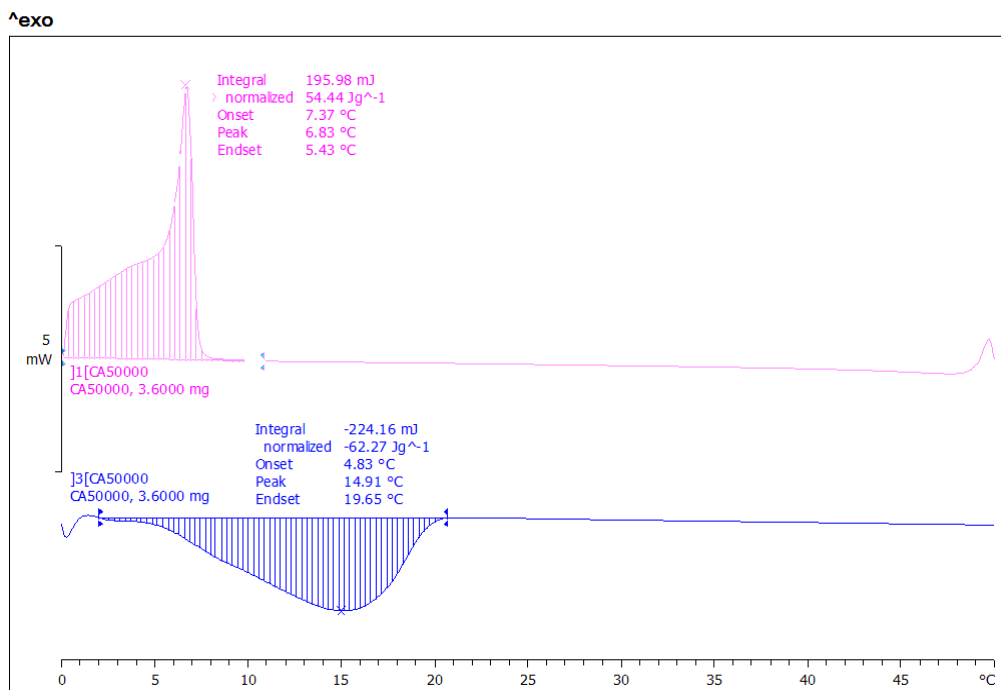
200,000 ppm



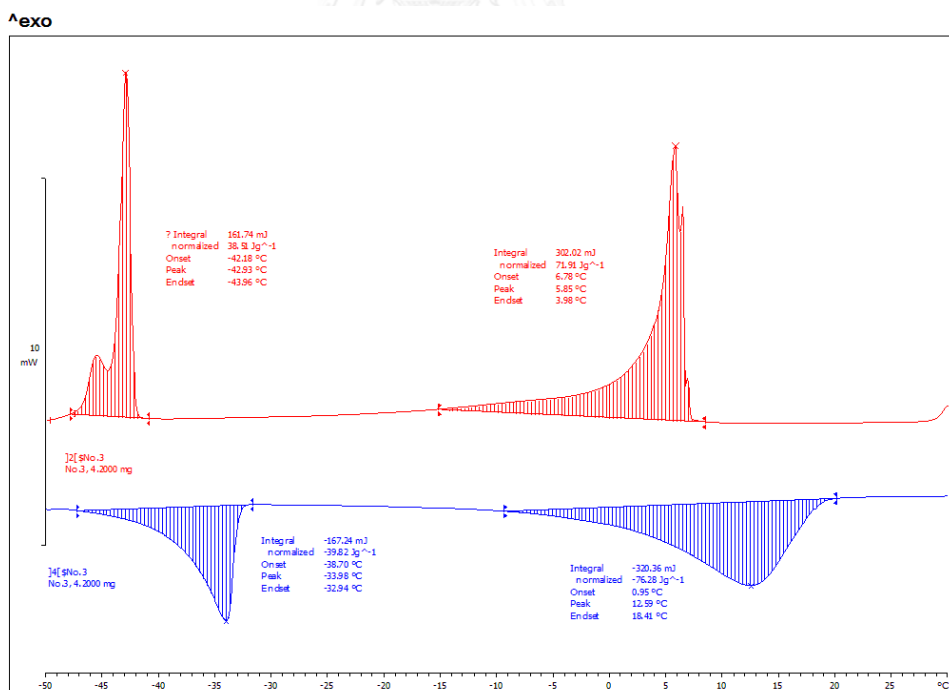
รูปที่ ก.9 DSC เทอร์โมแกรมของพอล์มไบโอดีเซล (B100) ผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลไอโซโพรพิล เมทิลอีเธอร์ (DEGPE) ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm



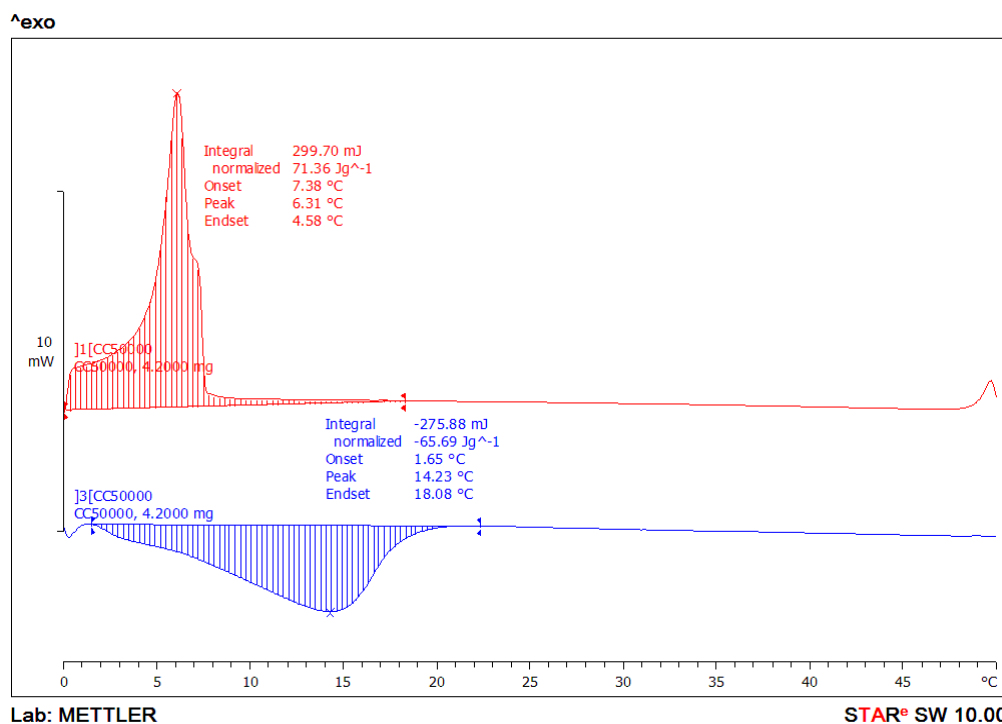
รูปที่ ก.10 DSC เทอร์โมแกรมของพอล์มไบโอดีเซล (B100) ผสมด้วยไดเอทิลีนไกลคอลโมโนบิวทิล อีเธอร์อะซีเตท (DEGBA) ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm



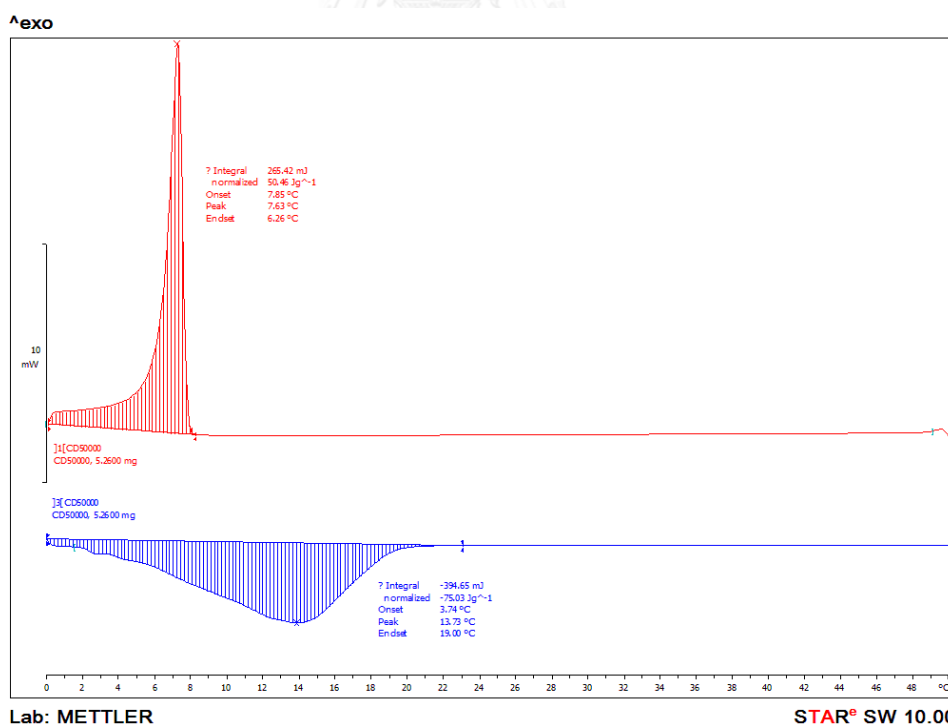
รูปที่ ก.11 DSC เทอร์โมแกรมของพอล์มไบโอดีเซล (B100) ผสมสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ Viscoplex 1-330 ที่ความเข้มข้น 50,000 ppm



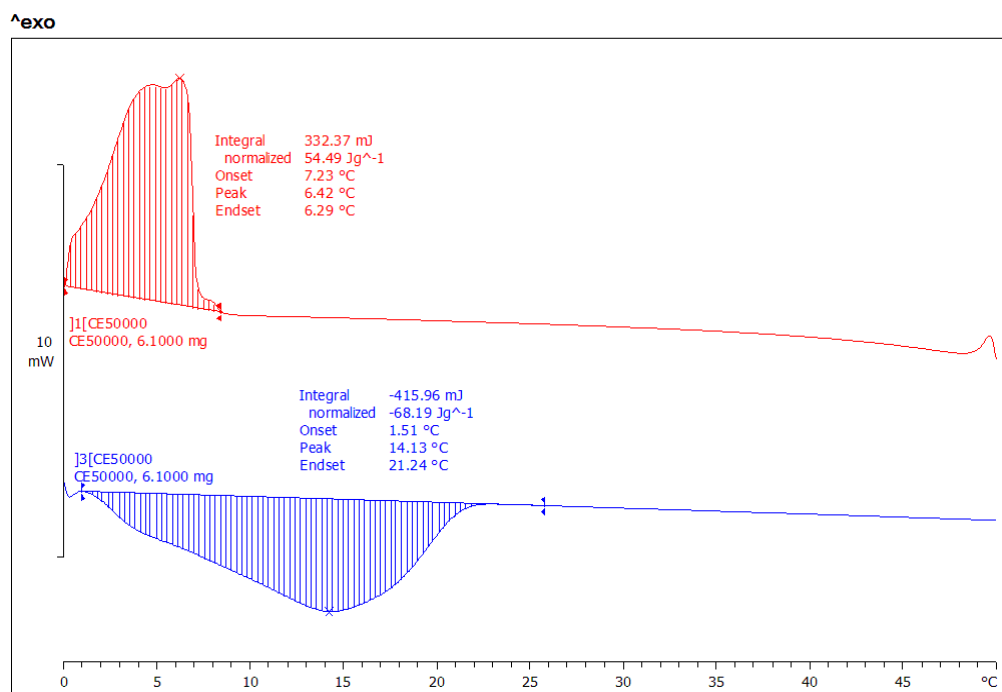
รูปที่ ก.12 DSC เทอร์โมแกรมของพอล์มไบโอดีเซล (B100) ผสมสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ PPDs ที่ความเข้มข้น 50,000 ppm



รูปที่ ก.13 DSC เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ไบโอดีเซล (B100) ผสมสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ 2P-23 ที่ความเข้มข้น 50,000 ppm



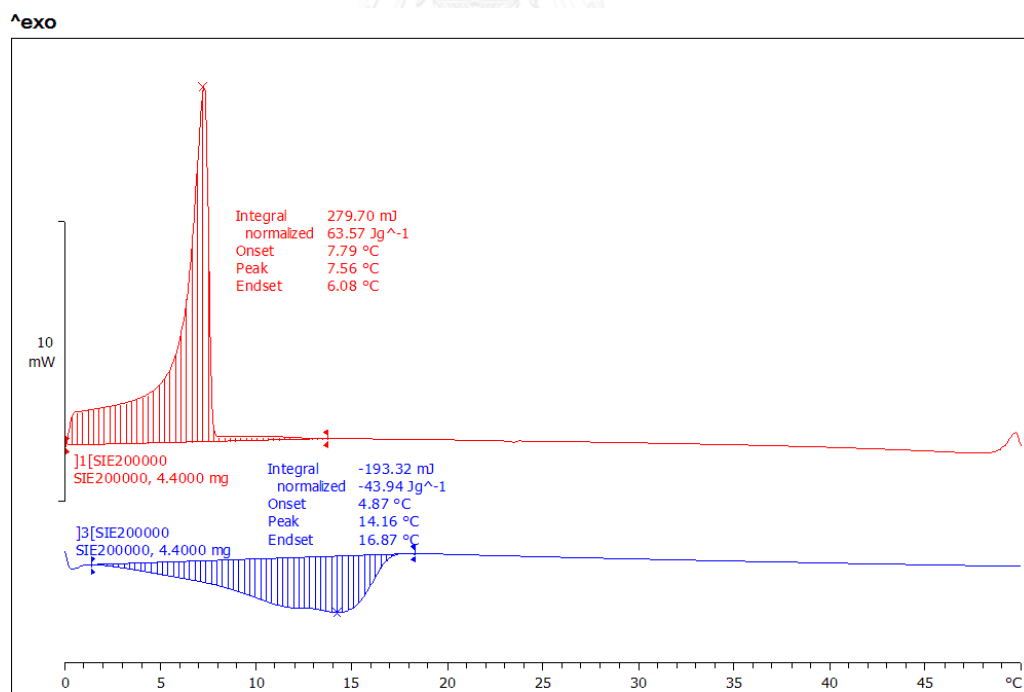
รูปที่ ก.14 DSC เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ไบโอดีเซล (B100) ผสมสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์ Additive A ที่ความเข้มข้น 50,000 ppm



Lab: METTLER

STAR[®] SW 10.00

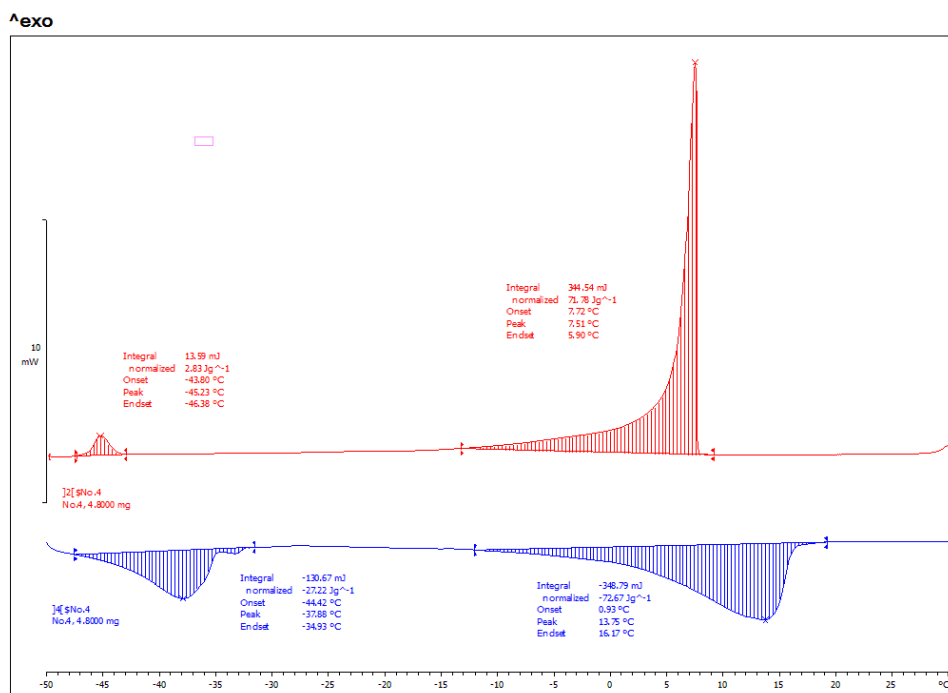
รูปที่ ก.15 DSC เทอร์โมแกรมของปาล์มไบโอดีเซล (B100) ผสมสารลดจุดเริ่มไหลเชิงพาณิชย์
Keroflux 6312 ที่ความเข้มข้น 50,000 ppm



Lab: METTLER

STAR[®] SW 10.00

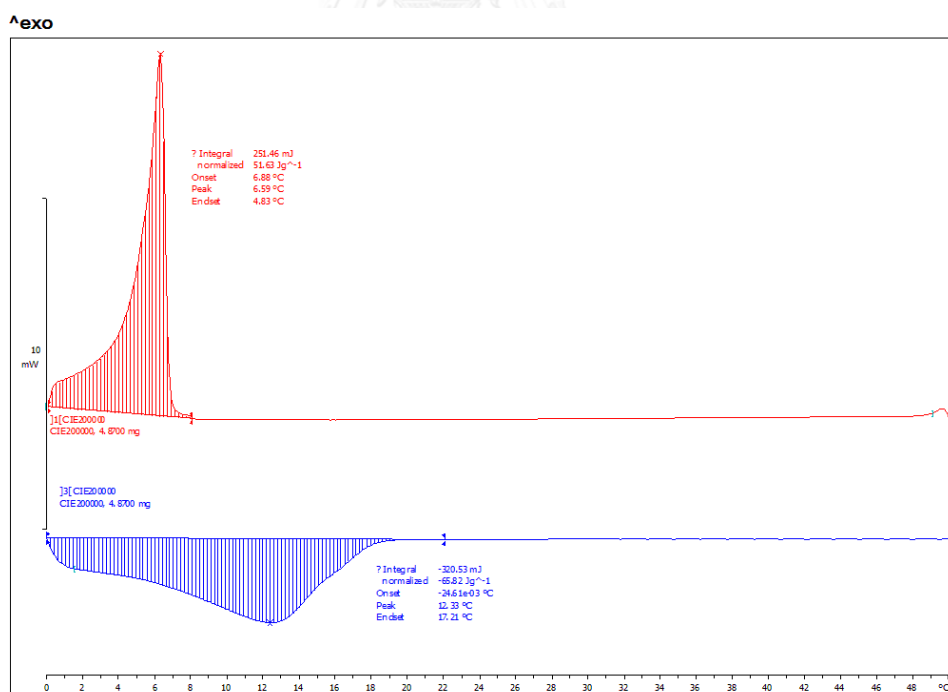
รูปที่ ก.16 DSC เทอร์โมแกรมของปาล์มไบโอดีเซล (B100) ผสมสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์
Isopropyl ester of soybean (SIE) ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm



Lab: METTLER

STAR® SW 10.00

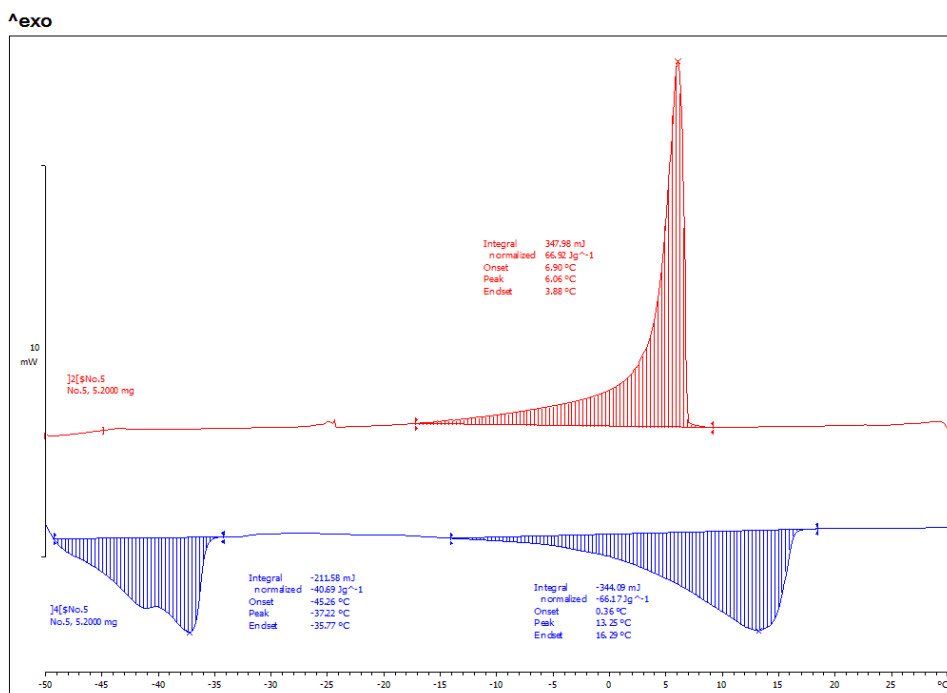
รูปที่ ก.17 DSC เทอร์โมแกรมของปาล์มไบโอดีเซล (B100) ผสมสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ 2-Butyl ester of soybean (SBE) ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm



Lab: METTLER

STAR® SW 10.00

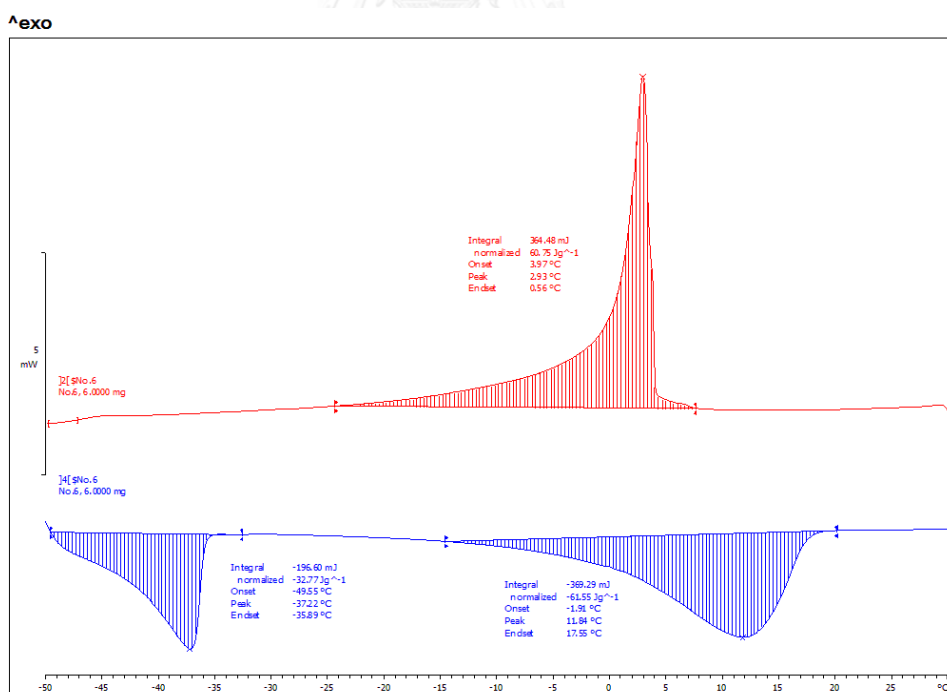
รูปที่ ก.18 DSC เทอร์โมแกรมของปาล์มไบโอดีเซล (B100) ผสมสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ Isopropyl ester of coconut (CIE) ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm



Lab: METTLER

STAR® SW 10.00

รูปที่ ก.19 DSC เทอร์โมแกรมของพาล์มไบโอดีเซล (B100) ผสมสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์ 2-Butyl ester of coconut (CBE) ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm



Lab: METTLER

STAR® SW 10.00

รูปที่ ก.20 DSC เทอร์โมแกรมของพาล์มไบโอดีเซล (B100) ผสมสารลดจุดเริ่มไหลผสม (Mixed PPDs) ที่ความเข้มข้น 200,000 ppm

ภาคผนวก ข.

การคำนวณ

1. การคำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ (%product yield) ของสารลดจุดเริ่มไหลสังเคราะห์

ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ (%product yield)

โดยใช้สูตรในการคำนวณ ดังนี้

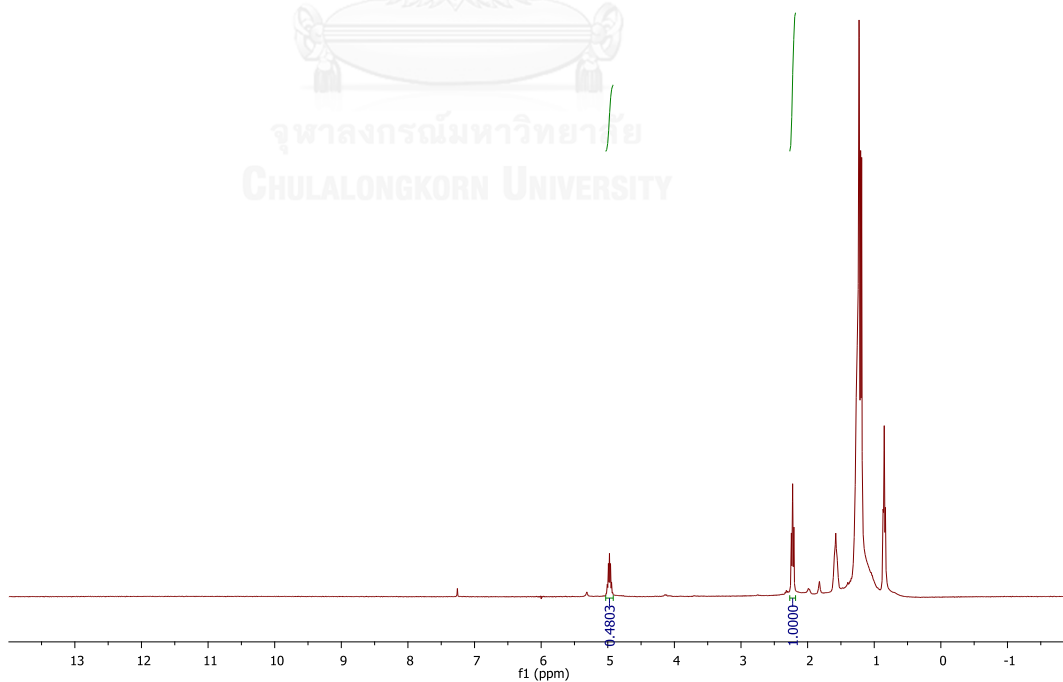
$$\text{ร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้} = \frac{\text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้}}{\text{น้ำหนักของน้ำมัน}} \times 100$$

2. การคำนวณร้อยละของการเปลี่ยนแปลง (%conversion)

ร้อยละของการเปลี่ยนแปลง (%conversion)

โดยใช้สูตรในการคำนวณ Isopropyl ester คือ

$$\% \text{ conversion} = [2I_{\text{OCH}}/I_{\text{CH}_2}] \times 100$$

เมื่อ I_{OCH} = Integration value of the methane protons, appear at δ 4.98 ppm I_{CH_2} = Integration value of the methylene protons, appear at δ 2.25 ppmPROTON_01
coconut oil 20 hrs

$$\% \text{ conversion of Isopropyl ester} = [(2 \times 0.4803) / (1)] \times 100$$

$$= 96.06\%$$

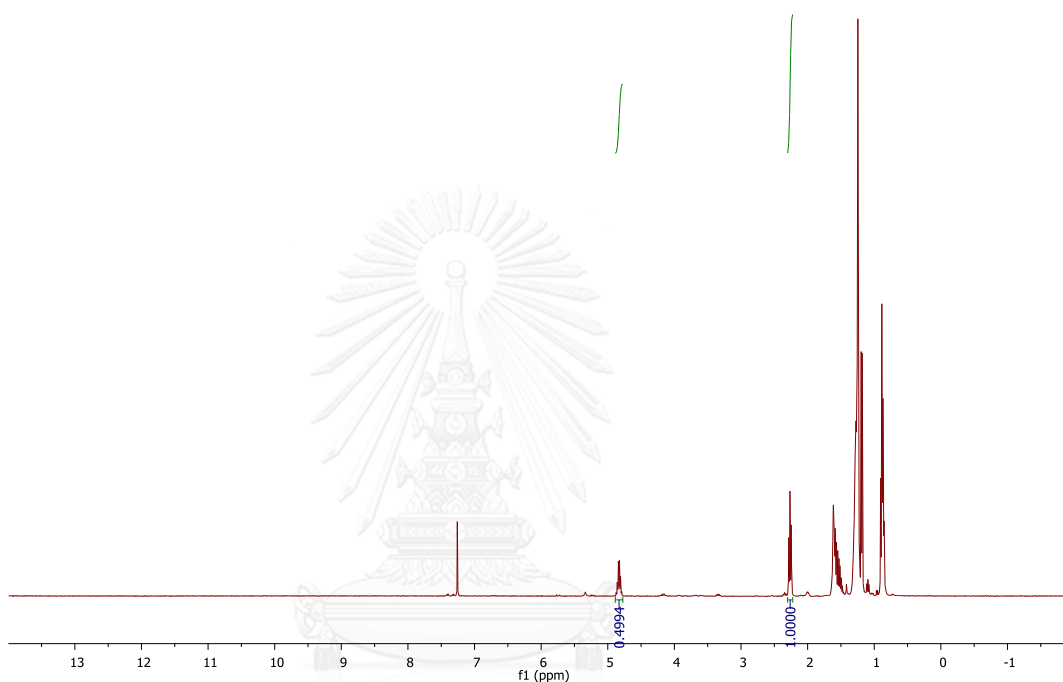
โดยใช้สูตรในการคำนวณ 2-Butyl ester คือ

$$\% \text{ conversion} = [2I_{\text{OCH}}/I_{\text{CH}_2}] \times 100$$

เมื่อ I_{OCH} = Integration value of the methine protons, appear at δ 4.83 ppm

I_{CH_2} = Integration value of the methylene protons, appear at δ 2.25 ppm

PROTON_01
CBE 20hrs.(1/2/58)



$$\begin{aligned} \% \text{ conversion of Isopropyl ester} &= [(2 \times 0.4994) / (1)] \times 100 \\ &= 99.88\% \end{aligned}$$

3. การคำนวณค่าความเป็นกรด (Acid value)

$$\text{Acid value (mgKOH/g)} = \frac{(A - B) \times N \times 56.1}{W}$$

เมื่อ

A = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่างจนถึงจุดยุติ (มิลลิลิตร)

B = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่ใช้ในการไทเทรตแบลงค์ (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 0.1 นอร์มัล

W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

ภาคผนวก ค.

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติต่างๆ ของพาร์ลัมไบโอดีเซล

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบค่าจุดหมอก (Cloud point, CP) และค่าจุดไหลเท (Pour point, PP) ของพาร์ลัมไบโอดีเซล (B100) และพาร์ลัมไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งประเภทต่างๆ

สารเติมแต่ง	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าจุดหมอก (°C)			ค่าจุดไหลเท (°C)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
พาร์ลัมไบโอดีเซล (B100)	-	16.0	16.0	16.0	12.0	12.0	12.0
โทลูอีน	1,000	16.0	16.0	16.0	12.0	12.0	12.0
	5,000	16.0	16.0	16.0	12.0	12.0	12.0
	10,000	15.0	15.0	15.0	8.0	10.0	9.0
	50,000	15.0	15.0	15.0	9.0	9.0	9.0
	100,000	12.0	12.0	12.0	8.0	8.0	8.0
	200,000	10.0	10.0	10.0	7.0	7.0	7.0
น้ำมันก๊าด	1,000	16.0	16.0	16.0	11.0	9.0	10.0
	5,000	15.0	15.0	15.0	10.0	10.0	10.0
	10,000	13.0	13.0	13.0	9.0	9.0	9.0
	50,000	13.0	13.0	13.0	9.0	9.0	9.0
	100,000	12.0	12.0	12.0	8.0	8.0	8.0
	200,000	11.0	11.0	11.0	8.0	8.0	8.0
ไซลีน	1,000	15.0	15.0	15.0	9.0	9.0	9.0
	5,000	15.0	15.0	15.0	9.0	9.0	9.0
	10,000	15.0	15.0	15.0	9.0	9.0	9.0
	50,000	14.0	14.0	14.0	9.0	9.0	9.0
	100,000	12.0	12.0	12.0	8.0	8.0	8.0
	200,000	10.0	10.0	10.0	8.0	8.0	8.0

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบค่าจุดหมอก (Cloud point, CP) และค่าจุดไหลเท (Pour point, PP) ของพอล์มไบโอดีเซล (B100) และพอล์มไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งประเภทต่างๆ (ต่อ)

สารเติมแต่ง	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าจุดหมอก (°C)			ค่าจุดไหลเท (°C)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
ไดเอทิลีนไกลคอลไอโซโพรพิลเมทิลอีเธอร์ (DEGPE)	1,000	14.0	14.0	14.0	13.0	13.0	13.0
	5,000	14.0	14.0	14.0	13.0	13.0	13.0
	10,000	13.0	13.0	13.0	12.0	12.0	12.0
	50,000	12.0	12.0	12.0	11.0	11.0	11.0
	100,000	11.0	11.0	11.0	10.0	10.0	10.0
	200,000	10.0	10.0	10.0	8.0	10.0	9.0
ไดเอทิลีนไกลคอลโมโนบิวทิลอีเธอร์อะซีเตท (DEGBA)	1,000	15.0	15.0	15.0	13.0	13.0	13.0
	5,000	15.0	15.0	15.0	12.0	12.0	12.0
	10,000	14.0	14.0	14.0	12.0	12.0	12.0
	50,000	13.0	13.0	13.0	11.0	11.0	11.0
	100,000	12.0	12.0	12.0	11.0	11.0	11.0
	200,000	11.0	11.0	11.0	10.0	10.0	10.0
Viscoplex 1-330	1,000	15.0	17.0	16.0	11.0	11.0	11.0
	5,000	14.0	14.0	14.0	10.0	10.0	10.0
	10,000	12.0	12.0	12.0	8.0	6.0	7.0
	50,000	12.0	12.0	12.0	6.0	6.0	6.0
PPDs	1,000	18.0	16.0	17.0	11.0	11.0	11.0
	5,000	17.0	15.0	16.0	10.0	10.0	10.0
	10,000	14.0	14.0	14.0	6.0	6.0	6.0
	50,000	12.0	12.0	12.0	1.0	3.0	2.0

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบค่าจุดหมอก (Cloud point, CP) และค่าจุดไหลเท (Pour point, PP) ของพอล์มไบโอดีเซล (B100) และพอล์มไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งประเภทต่างๆ (ต่อ)

สารเติมแต่ง	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าจุดหมอก (°C)			ค่าจุดไหลเท (°C)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
2P-23	1,000	16.0	16.0	16.0	11.0	11.0	11.0
	5,000	15.0	15.0	15.0	10.0	10.0	10.0
	10,000	14.0	14.0	14.0	8.0	8.0	8.0
	50,000	13.0	13.0	13.0	4.0	4.0	4.0
Additive A	1,000	15.0	17.0	16.0	10.0	10.0	10.0
	5,000	15.0	15.0	15.0	10.0	10.0	10.0
	10,000	14.0	14.0	14.0	9.0	7.0	8.0
	50,000	13.0	13.0	13.0	2.0	2.0	2.0
Keroflux 6312	1,000	16.0	16.0	16.0	10.0	10.0	10.0
	5,000	15.0	15.0	15.0	10.0	10.0	10.0
	10,000	13.0	13.0	13.0	8.0	8.0	8.0
	50,000	14.0	14.0	14.0	7.0	7.0	7.0
MV-1055 10%w/v	1,000	16.0	16.0	16.0	13.0	13.0	13.0
	5,000	14.0	14.0	14.0	12.0	12.0	12.0
	10,000	14.0	14.0	14.0	12.0	12.0	12.0
	50,000	12.0	12.0	12.0	10.0	10.0	10.0
	100,000	11.0	11.0	11.0	9.0	9.0	9.0
	200,000	8.0	10.0	9.0	5.0	5.0	5.0

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบค่าจุดหมอก (Cloud point, CP) และค่าจุดไหลเท (Pour point, PP) ของพอลิมไบโอดีเซล (B100) และพอลิมไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งประเภทต่างๆ (ต่อ)

สารเติมแต่ง	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าจุดหมอก (°C)			ค่าจุดไหลเท (°C)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
MV-1055 20%w/v	1,000	15.0	15.0	15.0	12.0	12.0	12.0
	5,000	15.0	15.0	15.0	12.0	12.0	12.0
	10,000	14.0	14.0	14.0	11.0	11.0	11.0
	50,000	13.0	13.0	13.0	10.0	10.0	10.0
	100,000	13.0	13.0	13.0	8.0	8.0	8.0
	200,000	13.0	13.0	13.0	6.0	4.0	5.0
EVATANE 28-05 10%w/v	1,000	16.0	18.0	17.0	12.0	12.0	12.0
	5,000	16.0	16.0	16.0	12.0	12.0	12.0
	10,000	15.0	15.0	15.0	11.0	11.0	11.0
	50,000	12.0	12.0	12.0	10.0	10.0	10.0
	100,000	11.0	11.0	11.0	9.0	7.0	8.0
	200,000	8.0	8.0	8.0	6.0	6.0	6.0
EVATANE 28-05 20%w/v	1,000	17.0	17.0	17.0	12.0	12.0	12.0
	5,000	16.0	16.0	16.0	12.0	12.0	12.0
	10,000	15.0	15.0	15.0	11.0	11.0	11.0
	50,000	14.0	14.0	14.0	9.0	9.0	9.0
	100,000	13.0	13.0	13.0	8.0	8.0	8.0
	200,000	12.0	12.0	12.0	6.0	6.0	6.0

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบค่าจุดหมอก (Cloud point, CP) และค่าจุดไหลเท (Pour point, PP) ของพอลิเมอร์ไบโอดีเซล (B100) และพอลิเมอร์ไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งประเภทต่างๆ (ต่อ)

สารเติมแต่ง	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าจุดหมอก (°C)			ค่าจุดไหลเท (°C)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
Isopropyl ester of soybean (SIE)	1,000	15.0	15.0	15.0	13.0	13.0	13.0
	5,000	14.0	14.0	14.0	12.0	12.0	12.0
	10,000	14.0	14.0	14.0	12.0	12.0	12.0
	50,000	14.0	14.0	14.0	12.0	12.0	12.0
	100,000	13.0	13.0	13.0	11.0	11.0	11.0
	200,000	12.0	12.0	12.0	9.0	9.0	9.0
2-Butyl ester of soybean (SBE)	1,000	16.0	14.0	15.0	12.0	12.0	12.0
	5,000	14.0	14.0	14.0	12.0	12.0	12.0
	10,000	14.0	14.0	14.0	12.0	12.0	12.0
	50,000	13.0	13.0	13.0	11.0	11.0	11.0
	100,000	12.0	12.0	12.0	10.0	10.0	10.0
	200,000	10.0	10.0	10.0	9.0	9.0	9.0
Isopropyl ester of coconut (CIE)	1,000	15.0	15.0	15.0	12.0	12.0	12.0
	5,000	15.0	15.0	15.0	12.0	12.0	12.0
	10,000	14.0	14.0	14.0	11.0	11.0	11.0
	50,000	13.0	13.0	13.0	10.0	10.0	10.0
	100,000	13.0	13.0	13.0	7.0	9.0	8.0
	200,000	12.0	12.0	12.0	6.0	6.0	6.0

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบค่าจุดหมอก (Cloud point, CP) และค่าจุดไหลเท (Pour point, PP) ของพอลิมไบโอดีเซล (B100) และพอลิมไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งประเภทต่างๆ (ต่อ)

สารเติมแต่ง	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าจุดหมอก (°C)			ค่าจุดไหลเท (°C)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
2-Butyl ester of coconut (CBE)	1,000	15.0	15.0	15.0	12.0	12.0	12.0
	5,000	15.0	15.0	15.0	12.0	12.0	12.0
	10,000	14.0	14.0	14.0	12.0	12.0	12.0
	50,000	13.0	13.0	13.0	11.0	11.0	11.0
	100,000	12.0	12.0	12.0	6.0	6.0	6.0
	200,000	10.0	10.0	10.0	3.0	5.0	4.0
Mixed PPDs (PPDs + CBE)	1,000	15.0	15.0	15.0	12.0	12.0	12.0
	5,000	15.0	15.0	15.0	11.0	11.0	11.0
	10,000	14.0	14.0	14.0	11.0	11.0	11.0
	50,000	12.0	10.0	11.0	8.0	8.0	8.0
	100,000	9.0	9.0	9.0	6.0	6.0	6.0
	200,000	6.0	6.0	6.0	4.0	2.0	3.0

ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C) และค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40°C) ของพอล์มไบโอดีเซล (B100) และพอล์มไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งประเภทต่างๆ

สารเติมแต่ง	ความเข้มข้น (ppm)	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (kg/m ³)			ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (cSt)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
พอล์มไบโอดีเซล (B100)	-	875.69	875.69	875.7	4.487	4.489	4.488
โทลูอิน	1,000	875.63	875.63	875.6	4.466	4.469	4.468
	5,000	875.62	875.62	875.6	4.419	4.421	4.420
	10,000	875.60	875.60	875.6	4.363	4.363	4.363
	50,000	875.49	875.49	875.5	3.962	3.970	3.966
	100,000	875.34	875.34	875.3	3.600	3.627	3.614
	200,000	875.07	875.08	875.1	2.812	2.827	2.820
น้ำมันก๊าด	1,000	875.54	875.54	875.5	4.474	4.477	4.476
	5,000	875.21	875.20	875.2	4.449	4.450	4.450
	10,000	874.78	874.78	874.8	4.414	4.415	4.415
	50,000	871.56	871.56	871.6	4.163	4.165	4.164
	100,000	867.89	867.89	867.9	3.901	3.901	3.901
	200,000	861.54	861.57	861.6	3.478	3.481	3.480
ไซลีน	1,000	875.66	875.66	875.7	4.475	4.472	4.474
	5,000	875.63	875.63	875.6	4.422	4.424	4.423
	10,000	875.61	875.61	875.6	4.368	4.370	4.369
	50,000	875.51	875.51	875.5	3.978	3.983	3.981
	100,000	875.38	875.38	875.4	3.592	3.610	3.601
	200,000	875.13	875.13	875.1	3.065	3.060	3.063

ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C) และค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40°C) ของพอล์มไบโอดีเซล (B100) และพอล์มไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งประเภทต่างๆ (ต่อ)

สารเติมแต่ง	ความเข้มข้น (ppm)	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (kg/m ³)			ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (cSt)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
ไดเอทิลีนไกลคอลไอโซโพรพิลเมทิลอีเธอร์ (DEGPE)	1,000	875.80	875.82	875.8	4.475	4.482	4.479
	5,000	875.91	875.93	875.9	4.439	4.442	4.441
	10,000	876.05	876.08	876.1	4.401	4.403	4.402
	50,000	877.16	877.17	877.2	4.090	4.091	4.091
	100,000	878.24	878.25	878.2	3.822	3.823	3.823
	200,000	880.36	880.38	880.4	3.368	3.370	3.369
ไดเอทิลีนไกลคอลโมโนบิวทิลอีเธอร์อะซีเตท (DEGBA)	1,000	875.87	875.88	875.9	4.474	4.478	4.476
	5,000	876.29	876.31	876.3	4.461	4.461	4.461
	10,000	876.65	876.66	876.7	4.442	4.444	4.443
	50,000	880.12	880.14	880.1	4.298	4.301	4.300
	100,000	883.72	883.74	883.7	4.157	4.159	4.158
	200,000	890.54	890.57	890.6	3.918	3.918	3.918
Viscoplex 1-330	1,000	875.71	875.71	875.7	4.514	4.519	4.517
	5,000	875.94	875.94	875.9	4.658	4.658	4.658
	10,000	876.19	876.19	876.2	4.841	4.844	4.843
	50,000	877.64	877.64	877.6	6.377	6.378	6.378
PPDs	1,000	875.78	875.78	875.8	4.512	4.512	4.512
	5,000	876.09	876.09	876.1	4.595	4.596	4.596
	10,000	876.40	876.39	876.4	4.686	4.685	4.686
	50,000	878.64	878.63	878.6	5.446	5.447	5.447

ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C) และค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40°C) ของปาล์มไบโอดีเซล (B100) และปาล์มไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งประเภทต่างๆ (ต่อ)

สารเติมแต่ง	ความเข้มข้น (ppm)	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (kg/m ³)			ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (cSt)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
2P-23	1,000	875.74	875.74	875.7	4.508	4.508	4.508
	5,000	875.78	875.78	875.8	4.564	4.564	4.564
	10,000	875.86	875.86	875.9	4.647	4.648	4.648
	50,000	876.05	876.05	876.1	5.212	5.212	5.212
Additive A	1,000	875.81	875.81	875.8	4.521	4.521	4.521
	5,000	876.05	876.05	876.1	4.619	4.619	4.619
	10,000	876.31	876.31	876.3	4.750	4.749	4.750
	50,000	878.65	878.65	878.7	5.857	5.858	5.858
Keroflux 6312	1,000	875.78	875.77	875.8	4.507	4.508	4.508
	5,000	875.94	875.93	875.9	4.582	4.580	4.581
	10,000	876.06	876.05	876.1	4.664	4.660	4.662
	50,000	877.44	877.44	877.4	5.352	5.351	5.352
MV-1055 10%w/v	1,000	875.59	875.60	875.6	4.502	4.499	4.501
	5,000	875.63	875.64	875.6	4.561	4.558	4.560
	10,000	875.67	875.68	875.7	4.621	4.62	4.621
	50,000	875.93	875.95	875.9	5.289	5.234	5.262
	100,000	876.19	876.19	876.2	6.258	6.268	6.263
	200,000	876.50	876.52	876.5	8.393	8.500	8.447

ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C) และค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40°C) ของปาล์มไบโอดีเซล (B100) และปาล์มไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งประเภทต่างๆ (ต่อ)

สารเติมแต่ง	ความเข้มข้น (ppm)	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (kg/m ³)			ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (cSt)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
MV-1055 20%w/v	1,000	875.69	875.69	875.7	4.519	4.521	4.520
	5,000	875.76	875.75	875.8	4.664	4.665	4.665
	10,000	875.81	875.81	875.8	4.682	4.689	4.686
	50,000	876.27	876.23	876.3	5.613	5.654	5.634
	100,000	876.78	876.72	876.8	7.295	7.255	7.275
	200,000	877.80	877.65	877.7	13.89	13.83	13.86
EVATANE 28-05 10%w/v	1,000	875.61	875.61	875.6	4.504	4.502	4.503
	5,000	875.63	875.63	875.6	4.572	4.569	4.571
	10,000	875.67	875.69	875.7	4.637	4.629	4.633
	50,000	875.92	875.94	875.9	5.249	5.294	5.272
	100,000	876.18	876.17	876.2	6.377	6.344	6.361
	200,000	876.46	876.51	876.5	8.819	8.636	8.728
EVATANE 28-05 20%w/v	1,000	875.69	875.70	875.7	4.533	4.533	4.533
	5,000	875.73	875.73	875.7	4.627	4.629	4.628
	10,000	875.82	875.81	875.8	4.772	4.773	4.773
	50,000	876.43	876.39	876.4	6.145	6.121	6.133
	100,000	876.94	876.87	876.9	8.409	8.456	8.433
	200,000	877.72	877.67	877.7	16.29	16.12	16.21

ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C) และค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40°C) ของปาล์มไบโอดีเซล (B100) และปาล์มไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งประเภทต่างๆ (ต่อ)

สารเติมแต่ง	ความเข้มข้น (ppm)	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (kg/m ³)			ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (cSt)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
Isopropyl ester of soybean (SIE)	1,000	875.66	875.67	875.7	4.483	4.486	4.485
	5,000	875.78	875.79	875.8	4.493	4.496	4.495
	10,000	875.93	875.92	875.9	4.508	4.508	4.508
	50,000	877.09	877.11	877.1	4.612	4.612	4.612
	100,000	878.38	878.40	878.4	4.746	4.757	4.751
	200,000	878.80	878.80	878.8	4.857	4.880	4.868
2-Butyl ester of soybean (SBE)	1,000	875.65	875.67	875.7	4.488	4.492	4.490
	5,000	875.70	875.70	875.7	4.520	4.521	4.521
	10,000	875.78	875.77	875.8	4.562	4.563	4.563
	50,000	876.26	876.27	876.3	5.082	5.097	5.090
	100,000	876.84	876.84	876.8	5.786	5.620	5.703
	200,000	877.28	877.27	877.3	5.806	5.860	5.833
Isopropyl ester of coconut (CIE)	1,000	875.60	875.63	875.6	4.484	4.487	4.486
	5,000	875.56	875.59	875.6	4.564	4.594	4.579
	10,000	875.48	875.53	875.5	4.844	4.728	4.786
	50,000	875.09	875.13	875.1	4.739	4.745	4.742
	100,000	874.52	874.48	874.5	4.721	4.699	4.710
	200,000	874.53	874.23	874.4	4.612	4.644	4.628

ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (Density at 15°C) และค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (Viscosity at 40°C) ของปาล์มไบโอดีเซล (B100) และปาล์มไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งประเภทต่างๆ (ต่อ)

สารเติมแต่ง	ความเข้มข้น (ppm)	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C (kg/m ³)			ค่าความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C (cSt)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
2-Butyl ester of coconut (CBE)	1,000	875.61	875.68	875.6	4.479	4.480	4.480
	5,000	875.56	875.56	875.6	4.475	4.477	4.476
	10,000	875.48	875.48	875.5	4.472	4.473	4.473
	50,000	874.89	874.90	874.9	4.434	4.437	4.436
	100,000	874.06	874.07	874.1	4.489	4.479	4.484
	200,000	874.00	874.06	874.0	4.642	4.647	4.644
Mixed PPDs (PPDs + CBE)	1,000	875.70	875.70	875.7	4.500	4.506	4.503
	5,000	875.78	875.79	875.8	4.533	4.533	4.533
	10,000	875.89	875.89	875.9	4.577	4.577	4.577
	50,000	876.66	876.66	876.7	4.902	4.902	4.902
	100,000	877.55	877.56	877.6	5.308	5.308	5.308
	200,000	879.29	879.31	879.3	6.092	6.108	6.100

ตารางที่ ค.3 จุดวาบไฟ (Flash Point) และค่าความเป็นกรด (Acid value) ของพาล์มไบโอดีเซล (B100) และพาล์มไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งประเภทต่างๆ

สารเติมแต่ง	ความเข้มข้น (ppm)	จุดวาบไฟ (°C)			ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
พาล์มไบโอดีเซล (B100)	-	161	175	168.0	0.1414	0.1402	0.1408
โทลูอิน	1,000	136	141	138.5	0.1399	0.1421	0.1410
	5,000	106	109	107.5	0.1359	0.1336	0.1348
	10,000	96	94	95.0	0.1341	0.1397	0.1369
	50,000	56	56	56.0	0.1223	0.1234	0.1228
	100,000	43	44	43.5	0.1138	0.1177	0.1157
	200,000	32	34	33.0	0.1058	0.1004	0.1031
น้ำมันก๊าด	1,000	149	145	147.0	0.1412	0.1362	0.1387
	5,000	133	138	135.5	0.1371	0.1399	0.1385
	10,000	125	126	125.5	0.1391	0.1404	0.1397
	50,000	106	100	103.0	0.1297	0.1291	0.1294
	100,000	96	92	94.0	0.1195	0.1184	0.1189
	200,000	76	72	74.0	0.0980	0.0961	0.0970
ไซลีน	1,000	152	148	150.0	0.1443	0.1448	0.1445
	5,000	126	126	126.0	0.1394	0.1354	0.1374
	10,000	110	110	110.0	0.1521	0.1389	0.1455
	50,000	86	80	83.0	0.1408	0.1443	0.1426
	100,000	66	66	66.0	0.1390	0.1427	0.1409
	200,000	51	54	52.5	0.1025	0.1024	0.1024

ตารางที่ ค.3 จุดวาบไฟ (Flash Point) และค่าความเป็นกรด (Acid value) ของพาล์มไบโอดีเซล (B100) และพาล์มไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งประเภทต่างๆ (ต่อ)

สารเติมแต่ง	ความเข้มข้น (ppm)	จุดวาบไฟ (°C)			ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
ไดเอทิลีนไกลคอลไอโซโพรพิลเมทิลเอเธอร์ (DEGPE)	1,000	158	165	161.5	0.1353	0.1350	0.1352
	5,000	158	152	155.0	0.1427	0.1409	0.1418
	10,000	142	148	145.0	0.1465	0.1480	0.1473
	50,000	125	122	123.5	0.1536	0.1545	0.1541
	100,000	99	103	101.0	0.1557	0.1586	0.1571
	200,000	88	91	89.5	0.1634	0.1627	0.1630
ไดเอทิลีนไกลคอลโมโนบิวทิลเอเธอร์อะซีเตท (DEGBA)	1,000	161	169	165.0	0.1404	0.1386	0.1395
	5,000	158	164	161.0	0.1428	0.1416	0.1422
	10,000	157	162	159.5	0.1630	0.1620	0.1625
	50,000	150	145	147.5	0.1788	0.1777	0.1782
	100,000	147	144	145.5	0.1914	0.1898	0.1906
	200,000	135	139	137.0	0.2120	0.2126	0.2123
Viscoplex 1-330	1,000	154	156	155.0	0.1532	0.1445	0.1489
	5,000	158	168	163.0	0.1637	0.1616	0.1627
	10,000	168	176	172.0	0.1565	0.1576	0.1570
	50,000	188	176	182.0	0.1418	0.1363	0.1390
PPDs	1,000	150	160	155.0	0.1505	0.1506	0.1506
	5,000	159	164	161.5	0.1619	0.1617	0.1618
	10,000	144	149	146.5	0.1607	0.1552	0.1579
	50,000	N/A			0.1578	0.1505	0.1541

ตารางที่ ค.3 จุดวาบไฟ (Flash Point) และค่าความเป็นกรด (Acid value) ของพอลิเมอร์ไอบีโอดีเซล (B100) และพอลิเมอร์ไอบีโอดีเซลผสมสารเติมแต่งประเภทต่างๆ (ต่อ)

สารเติมแต่ง	ความเข้มข้น (ppm)	จุดวาบไฟ (°C)			ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
2P-23	1,000	148	150	149.0	0.1534	0.1518	0.1526
	5,000	159	166	162.5	0.1651	0.1652	0.1652
	10,000	167	165	166.0	0.1660	0.1652	0.1656
	50,000	N/A			0.1695	0.1701	0.1698
Additive A	1,000	156	152	154.0	0.1469	0.1540	0.1504
	5,000	173	170	171.5	0.1846	0.1865	0.1856
	10,000	176	177	176.5	0.1968	0.1948	0.1958
	50,000	176	180	178.0	0.3453	0.3443	0.3448
Keroflux 6312	1,000	154	154	154.0	0.1520	0.1501	0.1510
	5,000	162	166	164.0	0.1657	0.1734	0.1695
	10,000	158	166	162.0	0.1546	0.1547	0.1546
	50,000	164	172	168.0	0.1675	0.1678	0.1677
MV-1055 10%w/v	1,000	152	-	152.0	0.1420	0.1405	0.1412
	5,000	120	-	120.0	0.1394	0.1398	0.1396
	10,000	104	-	104.0	0.1415	0.1428	0.1421
	50,000	76	-	76.0	0.1378	0.1383	0.1380
	100,000	56	-	56.0	0.1296	0.1289	0.1292
	200,000	36	-	36.0	0.1088	0.1097	0.1093

ตารางที่ ค.3 จุดวาบไฟ (Flash Point) และค่าความเป็นกรด (Acid value) ของพาล์มไบโอดีเซล (B100) และพาล์มไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งประเภทต่างๆ (ต่อ)

สารเติมแต่ง	ความเข้มข้น (ppm)	จุดวาบไฟ (°C)			ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
MV-1055 20%w/v	1,000	141	-	141.0	0.1393	0.1402	0.1397
	5,000	122	-	122.0	0.1385	0.1387	0.1386
	10,000	102	-	102.0	0.1344	0.1332	0.1338
	50,000	76	-	76.0	0.1290	0.1281	0.1286
	100,000	46	-	46.0	0.1116	0.1130	0.1123
	200,000	34	-	34.0	0.0978	0.0965	0.0972
EVATANE 28-05 10%w/v	1,000	150	-	150.0	0.1421	0.1414	0.1418
	5,000	118	-	118.0	0.1385	0.1392	0.1389
	10,000	96	-	96.0	0.1357	0.1363	0.1360
	50,000	58	-	58.0	0.1201	0.1218	0.1210
	100,000	42	-	42.0	0.1150	0.1164	0.1157
	200,000	32	-	32.0	0.1033	0.1022	0.1027
EVATANE 28-05 20%w/v	1,000	148	-	148.0	0.1398	0.1389	0.1394
	5,000	122	-	122.0	0.1374	0.1355	0.1365
	10,000	102	-	102.0	0.1225	0.1245	0.1235
	50,000	60	-	60.0	0.1192	0.1203	0.1197
	100,000	46	-	46.0	0.1094	0.1073	0.1084
	200,000	35	-	35.0	0.0886	0.0892	0.0889

ตารางที่ ค.3 จุดวาบไฟ (Flash Point) และค่าความเป็นกรด (Acid value) ของพาล์มไบโอดีเซล (B100) และพาล์มไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งประเภทต่างๆ (ต่อ)

สารเติมแต่ง	ความเข้มข้น (ppm)	จุดวาบไฟ (°C)			ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
Isopropyl ester of soybean (SIE)	1,000	162	168	165.0	0.1492	0.1490	0.1491
	5,000	157	161	159.0	0.1540	0.1546	0.1543
	10,000	150	156	153.0	0.1644	0.1656	0.1650
	50,000	136	145	140.5	0.2921	0.2909	0.2915
	100,000	106	106	106.0	0.4279	0.4290	0.4285
	200,000	85	86	85.5	0.7360	0.7356	0.7358
2-Butyl ester of soybean (SBE)	1,000	158	160	159.0	0.1476	0.1467	0.1472
	5,000	149	145	147.0	0.1633	0.1648	0.1641
	10,000	138	145	141.5	0.1907	0.1908	0.1908
	50,000	127	138	132.5	0.4047	0.4065	0.4056
	100,000	95	95	95.0	0.6555	0.6562	0.6559
	200,000	77	74	75.5	1.2276	1.2287	1.2282
Isopropyl ester of coconut (CIE)	1,000	158	164	161.0	0.1362	0.1353	0.1358
	5,000	152	153	152.5	0.1406	0.1407	0.1407
	10,000	132	142	137.0	0.1468	0.1463	0.1466
	50,000	122	127	124.5	0.2144	0.2148	0.2146
	100,000	84	87	85.5	0.2900	0.2902	0.2901
	200,000	63	68	65.5	0.5549	0.5546	0.5548

ตารางที่ ค.3 จุดวาบไฟ (Flash Point) และค่าความเป็นกรด (Acid value) ของปาล์มไบโอดีเซล (B100) และปาล์มไบโอดีเซลผสมสารเติมแต่งประเภทต่างๆ (ต่อ)

สารเติมแต่ง	ความเข้มข้น (ppm)	จุดวาบไฟ (°C)			ค่าความเป็นกรด (mgKOH/g)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
2-Butyl ester of coconut (CBE)	1,000	160	162	161.0	0.1361	0.1349	0.1355
	5,000	151	159	155.0	0.1451	0.1444	0.1448
	10,000	149	150	149.5	0.1608	0.1605	0.1607
	50,000	134	140	137.0	0.2942	0.2943	0.2943
	100,000	106	102	104.0	0.6033	0.6026	0.6030
	200,000	74	78	76.0	1.1712	1.1715	1.1714
Mixed PPDs (PPDs + CBE)	1,000	165	166	165.5	0.1114	0.1118	0.1116
	5,000	156	164	160.0	0.1112	0.1132	0.1122
	10,000	152	152	152.0	0.1139	0.1146	0.1143
	50,000	112	132	122.0	0.1294	0.1312	0.1303
	100,000	94	110	102.0	0.1531	0.1544	0.1538
	200,000	74	78	76.0	0.2007	0.2003	0.2005

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเพ็ญทิพย์ ทองธรรมชาติ เกิดวันที่ 9 ตุลาคม 2527 ที่จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2548 ปัจจุบันรับราชการในตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2555

การประชุมทางวิชาการ

21 April 2015 “Improving the cold flow properties of biodiesel by addition of synthetic pour point depressants”

Poster presentation at The 6th research symposium on petrochemical and materials technology and The 21th PPC symposium on petroleum, petrochemicals and polymers 2015 Chaloem Rajakumari 60 Building, Chulalongkorn University Bangkok, Thailand.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY