

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นเชื้อเพลิงทดแทนทางเลือกนอกเหนือจากเชื้อเพลิงดีเซลที่ผลิตจากปิโตรเลียมธรรมชาติ เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนดีเซลที่ผลิตได้จากแหล่งทรัพยากรหมุนเวียนได้ เช่น น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ หรือสาหร่าย ซึ่งได้จากการนำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่มีกรดไขมันมาผ่านกระบวนการทางเคมีกับแอลกอฮอล์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์หรือไบโอดีเซล และกลีเซอรอล ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติในการเผาไหม้ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมมากและสามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ดีเซลทุกชนิด (ตารางที่ 2.1) และคุณสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของไบโอดีเซล คือ สามารถย่อยสลายได้เองตามกระบวนการทางชีวภาพในธรรมชาติ (Biodegradation) และไม่เป็นพิษ (Non - toxic) ต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ทำให้การสันดาปของเครื่องยนต์มีความสมบูรณ์กว่าน้ำมันดีเซล การปลดปล่อยปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจึงน้อยกว่าและเนื่องจากไม่มีกำมะถันในไบโอดีเซลจึงไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการเกิดภาวะฝนกรด เนื่องจากสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการใช้ไบโอดีเซลแทนการใช้น้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมจึงเป็นการช่วยลดมลภาวะในอากาศอีกด้วย อีกทั้งยังสามารถเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรเพราะไบโอดีเซลผลิตมาจากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ (กองบรรณาธิการ, 2548)

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไบโอดีเซลเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล
(พัชรินทร์ เงินใบอ่อน, 2551)

Fuel Property	Diesel	Biodiesel
Fuel Standard	ASTM D975	ASTM D6751
Lower Heating Value, Btu/gal	-129,050	-118,170
Kinematic Viscosity, @ 40 °C	1.3-4.1	4.0-6.0
Specific Gravity Kg/l @ 60 °F	0.85	0.88
Density, lb/gal @ 15 °C	7.079	7.328
Water and Sediment, vol%	0.05 max	0.05 max
Carbon, wt%	87	77
Hydrogen, wt%	13	12
Oxygen, wt%	0	11
Sulfur, wt%	0.05 max	0.0 to 0.0024
Boiling Point, °C	180 to 340	315 to 350
Flash Point, °C	60 to 80	100 to 170
Cloud point, °C	-15 to 5	-3 to 12
Pour Point, °C	-35 to -15	-15 to 10
Cetane Number	40-55	48-65
Lubricity SLOCLE, grams	2,000-5,000	>7,000
Lubricity HFRR, microns	300-600	< 3,000

2.2 สถานการณ์การผลิตไบโอดีเซลของโลก

การพัฒนาอย่างเป็นรูปธรรมของไบโอดีเซลเกิดขึ้นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2528 เมื่อออสเตรเลียได้ตั้งโรงงานต้นแบบในการผลิตไบโอดีเซลจาก Rapeseed oil เป็นครั้งแรกและในปี พ.ศ. 2533 ได้มีการผลิตเป็นการค้าครั้งแรก ในระยะแรกไบโอดีเซลตั้งใจจะใช้กับเครื่องจักรกลทางการเกษตรซึ่งได้รับการรับรองจากผู้ผลิตรถแทรกเตอร์เกือบทุกยี่ห้อเป็นอย่างดี ต่อมามีการเปลี่ยนตำแหน่งของตลาดไปเป็นยานพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลซึ่งได้รับการสนับสนุนอย่างดีจากกลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ต่าง ๆ เช่น Ford, Mercedes, Massey-Ferguson, John Deere เป็นต้น นอกจากนั้นเพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นต่อผู้บริโภค ออสเตรเลียยังได้ออกมาตรฐานไบโอดีเซลฉบับแรกสำหรับ Rapeseed-Methyl-Ester (ON C 1190) ในปี พ.ศ. 2534 และสำหรับ Fatty acid-Methyl-Ester (ON C 1191) ในปี พ.ศ. 2540 ประเทศอื่น ๆ ก็ได้ออกมาตรฐานไบโอดีเซลแต่ละชนิด

ตามมา ได้แก่ ฝรั่งเศสและอิตาลีในปี พ.ศ. 2536 สาธารณรัฐเช็กโกสโลวาเกียในปี พ.ศ. 2537 สวีเดนในปี พ.ศ. 2539 (SS 15 54 36) และสหรัฐอเมริกาในปี พ.ศ. 2532 (ASTM) มีผลงานวิจัยตีพิมพ์เกี่ยวกับคุณสมบัติของไบโอดีเซล เช่น ผลการทดลองใช้กับเครื่องยนต์ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ซึ่งมีผลงานวิจัยออกมาอย่างต่อเนื่อง และในปี พ.ศ. 2539 ได้มีการจัดตั้ง European Biodiesel Board ซึ่งมีสมาชิกประกอบไปด้วยประเทศผู้ผลิตไบโอดีเซลที่สำคัญของโลก ทำหน้าที่ในการกำหนดทิศทางการพัฒนาไบโอดีเซล (จุฬาลักษณ์ โรจนานุกุล, 2549)

2.3 ปริมาณการใช้ไบโอดีเซลและแนวโน้มในอนาคต

ปริมาณการใช้ไบโอดีเซลในต่างประเทศมีแนวโน้มสูงขึ้น เช่น ประเทศเยอรมนี (มีการผลิตไบโอดีเซลมากที่สุดเป็นอันดับ 1 รองลงมาได้แก่ ฝรั่งเศส อเมริกาและอิตาลี) ได้จำหน่ายไบโอดีเซลสำหรับยานยนต์มีอัตราสูงขึ้นโดยมีปริมาณการจำหน่ายไบโอดีเซลในปี พ.ศ. 2545 เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2541 คิดเป็นร้อยละ 450 โดยสถาบันบริการที่จำหน่ายไบโอดีเซลในประเทศเยอรมนีมีมากกว่า 1,400 แห่งและจะขยายเพิ่มขึ้นอีกกว่า 1,000 แห่งในระยะเวลาอันใกล้ สำหรับประเทศฝรั่งเศสมีการใช้ไบโอดีเซล B5 (ไบโอดีเซลผสมสัดส่วนร้อยละ 5) ในน้ำมันดีเซลสำหรับรถประจำทางกว่า 4,000 คัน ใช้ไบโอดีเซล B30 (ไบโอดีเซลผสมสัดส่วนร้อยละ 30) เพื่อลดมลภาวะ แนวโน้มการตลาดไบโอดีเซลในสหภาพยุโรปมีการขยายตัวอีกมาก โดยในปี พ.ศ. 2548 มีการบังคับให้ใช้เชื้อเพลิงทดแทนในภาคการขนส่งคิดเป็นร้อยละ 2 ของปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด ซึ่งจะทำให้มีความจำเป็นต้องใช้พื้นที่เพาะปลูกพืชไร่สำหรับไบโอดีเซลและเอทานอล รวมประมาณ 4.5 ล้านไร่ สำหรับการคาดคะเนแนวโน้มการผลิตของประเทศสหรัฐอเมริกาและกลุ่มประเทศยุโรป พบว่า ในปี พ.ศ. 2563 ประเทศสหรัฐอเมริกาและกลุ่มประเทศยุโรปจะมีความต้องการไบโอดีเซลได้ 27.1 และ 23.3 พันล้านลิตรตามลำดับ ซึ่งสามารถทดแทนความต้องการใช้น้ำมันปิโตรเลียมดีเซลของประเทศสหรัฐอเมริกาและกลุ่มประเทศยุโรปได้คิดเป็นร้อยละ 11.31 และ 11.29 ตามลำดับ (จุฬาลักษณ์ โรจนานุกุล, 2549)

สำหรับประเทศไทยได้มีการกำหนดเป้าหมายโดยมีการสนับสนุนให้ใช้ไบโอดีเซลทั้งในส่วนของการผลิตไบโอดีเซลระดับชุมชนและการผลิตไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์โดยมีการส่งเสริมให้ชุมชนผลิตไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซลร้อยละ 1 ของการใช้น้ำมันดีเซลในปี พ.ศ. 2554 หรือเทียบเท่าการผลิตไบโอดีเซล 0.8 ล้านลิตรต่อวัน โดยมีเป้าหมายในการใช้ไบโอดีเซลอยู่ที่ 8.5 ล้านลิตรต่อวัน ภายในปี 2555 (กรมธุรกิจพลังงาน, 2552)

2.4 การผลิตไบโอดีเซล

เนื่องจากไบโอดีเซลได้จากการนำน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ หรือไขมันสัตว์มาผ่านกระบวนการต่าง ๆ จนสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลได้ โดยการผลิตไบโอดีเซลในปัจจุบันพบว่ามีวิธีการหลักอยู่ 4 วิธีคือ การนำมาใช้โดยตรงและเป็นน้ำมันผสม (Direct and blending) กระบวนการไมโครอิมัลชัน (Microemulsions) กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis or thermal cracking) และกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันหรือแอลกอฮอล์ไลซิส (Transesterification or alcoholysis)

2.4.1 การนำมาใช้โดยตรงและเป็นน้ำมันผสม

การนำมาใช้โดยตรง คือ การนำน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชแท้ ๆ เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันหมู มาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงโดยตรงกับเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลหรือสารเคมีอื่น ๆ หรือไม่ต้องนำมาผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติใด ๆ ของน้ำมัน ส่วนแบบเป็นน้ำมันผสม คือ เป็นการผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำมันพืช (หรือ ไขมันสัตว์) กับน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันดีเซลหรือสารเคมีอื่น ๆ เพื่อให้ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลให้มากที่สุด เช่น ไบโอดีเซลที่ประจวบคีรีขันธ์ซึ่งเป็นการผสมระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าด หรือ ปาล์มดีเซล (กองบรรณาธิการ, 2548)

2.4.2 กระบวนการทำเป็นไมโครอิมัลชัน

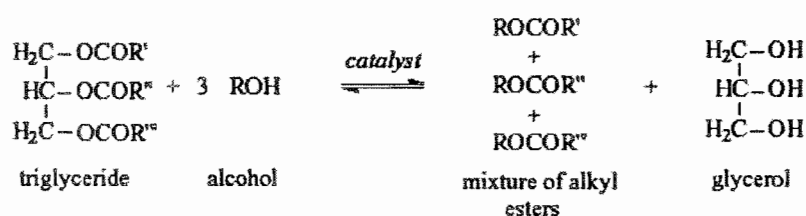
การทำเป็นไมโครอิมัลชัน เป็นการกระจายของอนุภาคของเหลวที่แขวนลอยในตัวกลางของเหลวอีกชนิดหนึ่งอย่างสมดุลโดยมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 1 – 150 นาโนเมตร โดยของเหลวทั้งสองชนิดจะไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันและกระจายตัวอยู่ได้ด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดมีประจุและไม่มีประจุ (จักรพงษ์ ไชยบุรี, 2548) ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งเพื่อแก้ปัญหาค่าความหนืดสูงในน้ำมันพืชให้มียาค่าความหนืดลดลง โดยใช้ร่วมกับตัวทำละลาย เช่น เมทานอล เอทานอล และ 1 – บิวทานอล (Srivasyava & Prasad, 2000) ไมโครอิมัลชันที่เกิดจากเมทานอลกับน้ำมันพืชจะได้น้ำมันที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่เมื่อนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์พบว่าการสะสมตัวของคราบ (ซึ่งเป็นสารประกอบคาร์บอน) เกาะรอบ ๆ หัวฉีดและวาล์วของเครื่องยนต์ซึ่งเป็นข้อเสียของน้ำมันที่ผลิตโดยวิธีนี้

2.4.3 กระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน

เป็นกระบวนการเปลี่ยนสารประกอบหนึ่งชนิดไปเป็นสารประกอบอื่น ๆ มากกว่าหนึ่งชนิดโดยใช้ความร้อนเพียงอย่างเดียวหรือใช้ความร้อนร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา ทั้งนี้ต้องจำกัดปริมาณอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการด้วยเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการประมาณ 450 – 600 องศาเซลเซียส สารประกอบที่ผ่านกระบวนการแตกสลายด้วยความร้อนหรือไพโรไลซิสจะถูกทำให้มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลง ซึ่งกระบวนการนี้ยากที่จะกำหนดหรือควบคุมให้ได้ผลิตตามที่ต้องการเนื่องด้วยความหลากหลายทางปฏิกิริยาและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ วัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการไพโรไลซิส ได้แก่ น้ำมันพืช ไขมันสัตว์ กรดไขมันธรรมชาติ (Natural fatty acid) และเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Ma & Hanna, 1999)

2.4.4 กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

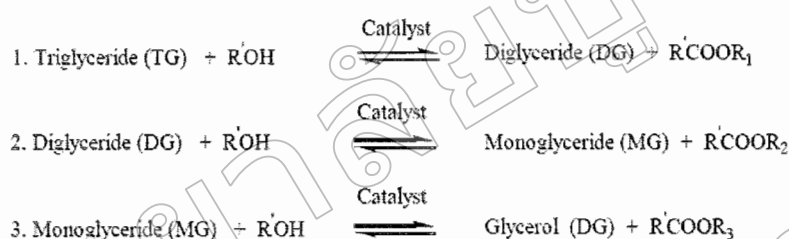
เนื่องจากปฏิกิริยาในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่มีความสำคัญทั้งในเชิงพาณิชย์และเป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในการผลิตไบโอดีเซลมากที่สุดซึ่งเป็นวิธีการเตรียมเอสเทอร์ของกรดไขมันที่นอกเหนือไปจากไตรกลีเซอรอล เนื่องจากน้ำมันพืชทั่วไปเป็นสารประกอบประเภทไตรกลีเซอไรด์ซึ่งตามธรรมชาติจะมีความหนืดสูงโดยมีผลมาจากการที่มีมวลโมเลกุลขนาดใหญ่สามารถนำมาทำให้มีมวลโมเลกุลเล็กลงเพื่อให้ความหนืดลดลงได้โดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันนี้ อีกทั้งเป็นวิธีที่เหมาะสมและสะดวกกว่าวิธีการแตกตัวไขมันแล้วนำกรดไขมันที่ได้ไปทำให้เป็นเอสเทอร์อีกต่อหนึ่ง โดยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างไขมันหรือน้ำมัน (Triglyceride) กับแอลกอฮอล์ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอล โดยมีตัวเร่งในปฏิกิริยา (ภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับแอลกอฮอล์

ที่มา : (Demirbas, 2008)

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ประกอบด้วยปฏิกิริยาย่อยแบบผันกลับได้ 3 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรก น้ำมันพืชหรือไตรกลีเซอไรด์ (TG) ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (ROH) เกิดเป็นอัลคิลเอสเทอร์ (Alkyl ester) หรือไบโอดีเซลกับไดกลีเซอไรด์ (DG) จากนั้นไดกลีเซอไรด์ทำปฏิกิริยาต่อกับแอลกอฮอล์เกิดเป็นอัลคิลเอสเทอร์กับโมโนกลีเซอไรด์ (MG) ในขั้นตอนสุดท้าย โมโนกลีเซอไรด์ทำปฏิกิริยาต่อกับแอลกอฮอล์เกิดเป็นอัลคิลเอสเทอร์กับกลีเซอรอล กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันแสดงดังภาพที่ 2.2 ซึ่งจากกลไกข้างล่างนี้พบว่าแต่ละขั้นตอนย่อยจะได้ 1 โมลของเอสเทอร์



ภาพที่ 2.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์
ที่มา : (Fukuda, Kondo, & Noda, 2001)

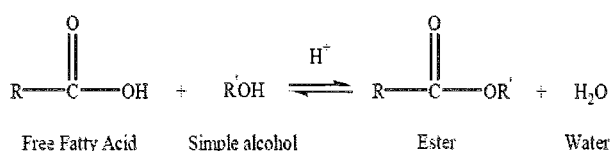
ในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เอสเทอร์ของกรดไขมันหรือไบโอดีเซลที่ได้สามารถเตรียมได้จากแอลกอฮอล์ประเภท โมโนไฮดรอกซีโมเลกุลเล็ก เช่น เมทานอลและเอทานอล ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นอัลคิลเอสเทอร์ ได้แก่ เมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester) และเอทิลเอสเทอร์ (Ethyl ester) ของกรดไขมันตามลำดับ โดยเฉพาะเมทานอลซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันได้ง่ายที่สุด สำหรับแอลกอฮอล์ตัวอื่น ๆ ที่มีมวลโมเลกุลขนาดใหญ่ขึ้นจะเกิดปฏิกิริยากับน้ำมันบางชนิดเท่านั้น ข้อสำคัญคือ แอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยาจะต้องปราศจากน้ำหรือมีน้ำปนเปื้อนน้อยที่สุดซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์และไม่มีผลเสียต่อตัวเร่งปฏิกิริยา ในปฏิกิริยาอาจใช้กรดหรือด่างเป็นตัวเร่งก็ได้ เช่น NaOH และ KOH หรือกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid; H_2SO_4) เป็นต้น แต่เนื่องจากด่างจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีกว่าในแง่ของความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาและให้ผลผลิตที่สูงกว่าที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แต่ข้อสำคัญคือน้ำมันหรือไขมันที่นำมาทำปฏิกิริยาจะต้องทำให้บริสุทธิ์ปราศจากน้ำและเป็นกลางก่อนทำปฏิกิริยา ถ้าสภาวะไม่เป็นไปตามนี้แล้วจะทำให้เกิดสบู่จากปฏิกิริยา สaponification ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในรูปของอิมัลชัน (Emulsion) เป็นผลทำให้การแยกเอสเทอร์ออกจากกลีเซอรอลทำได้ยากขึ้น Tomasevie and Siler – Marinkovic (2003) ได้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลด้วย

กระบวนการ ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ด่าง NaOH และ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยวัตถุดิบที่ใช้ได้จากน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารแล้วและน้ำมันดอกทานตะวันที่ทำกรไล่น้ำออกแล้ว (Refined sunflower oil) โดยมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและปริมาณของเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลที่ผลิตได้ ซึ่งพบว่าอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 ให้ปริมาณของไบโอดีเซลมากที่สุด ส่วนชนิดและตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าถ้าใช้ปริมาณของ KOH เป็นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักจะให้ปริมาณและคุณภาพของไบโอดีเซลดีที่สุด

2.4.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

1. ผลของความชื้นและกรดไขมันอิสระ

เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง (NaOH, KOH, และคาร์โบเนต เป็นต้น) กลีเซอไรด์และแอลกอฮอล์ที่ใช้จะต้องปราศจากน้ำปนเปื้อนเพราะน้ำเป็นสาเหตุทำให้เกิดสบู่อขึ้นในระหว่างการทำปฏิกิริยาโดยสบู่อที่เกิดขึ้นจะไปลดประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลง นอกจากนั้นยังส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของไบโอดีเซลคือทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้น ทำให้น้ำมันมีลักษณะเป็นเจลและยากต่อการแยกไบโอดีเซลออกจากกลีเซอรอลด้วย จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่ทำให้ปฏิกิริยาการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเกิดสบู่อได้นอกจากน้ำแล้วยังมีกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) ที่มีอยู่ในน้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ดังนั้นในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา น้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบควรมีค่าความเป็นกรด (Acid value) ไม่เกิน 4 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม เพราะการมีกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบที่มากเกินไปจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ (ไบโอดีเซล) น้อยลง แต่สำหรับน้ำมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบที่มีค่าความเป็นกรดสูง (มากกว่า 4 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม) จะต้องนำน้ำมันมาทำการลดค่าความเป็นกรดลง โดยการใช้กรดเป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Acid esterification) ซึ่งดังแสดงในภาพที่ 2.3 แล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่อ (Ramadhas, Jayaraj, & Muraleedharan, 2005)



ภาพที่ 2.3 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification)

ที่มา: (ทัศนีย์ สวัสดิ์พาณิชย์, 2550; Khan, 2002)

2. ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน

อัตราส่วนโดยโมลระหว่างแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลอย่างมากต่อการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ ดังนั้น แอลกอฮอล์ที่ใช้ในปฏิกิริยาจะต้องมีปริมาณที่มากเกินไปเพื่อที่จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดไปทางขวามากขึ้นซึ่งก็จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้นเช่นกัน สัดส่วนในปฏิกิริยาพบว่าต้องใช้ 3 โมลของแอลกอฮอล์ต่อ 1 โมลของไตรกลีเซอไรด์ ดังนั้นยิ่งใช้อัตราส่วนมากเท่าไรก็จะทำให้ได้เอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) มากขึ้นเท่านั้นและภายในเวลาที่สั้นลงด้วย อัตราส่วน 6:1 เป็นค่าที่ถูกใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมพบว่าได้เมทิลเอสเทอร์มากกว่าร้อยละ 98 (Fukuda et al., 2001)

3. ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้สามารถแบ่งได้เป็น ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด ค่าง กรด และเอนไซม์ กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้ค่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดเร็วกว่าเมื่อใช้กรดเป็นตัวเร่ง แต่อย่างไรก็ตามกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอิสระในปริมาณมากและมีน้ำผสมอยู่ด้วยการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเหมาะสมกว่า (Ma & Hanna, 1999) และพบว่า การเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาค่างไม่ได้เป็นการช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดมากขึ้น แต่กลับเพิ่มค่าใช้จ่ายในขั้นตอนของการล้างเอาตัวเร่งปฏิกิริยาค่างออกจากผลิตภัณฑ์

4. ผลของเวลาและอุณหภูมิการทำปฏิกิริยา

Meher, Sagar, and Naik (2006) พบว่าอัตราการเกิดไบโอดีเซลจะแปรผันโดยตรงกับเวลา นั่นคือ ถ้าเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้นก็จะทำให้ได้ปริมาณเอสเทอร์มากขึ้นเช่นกัน อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตามถ้าเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาให้เพียงพอ ปฏิกิริยาก็จะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์เช่นกันภายใต้การทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้องแต่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเดือดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ เช่น ถ้าเป็นเมทานอลอุณหภูมิที่ใช้คือ 60–70 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ (โดยใช้ค่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา)

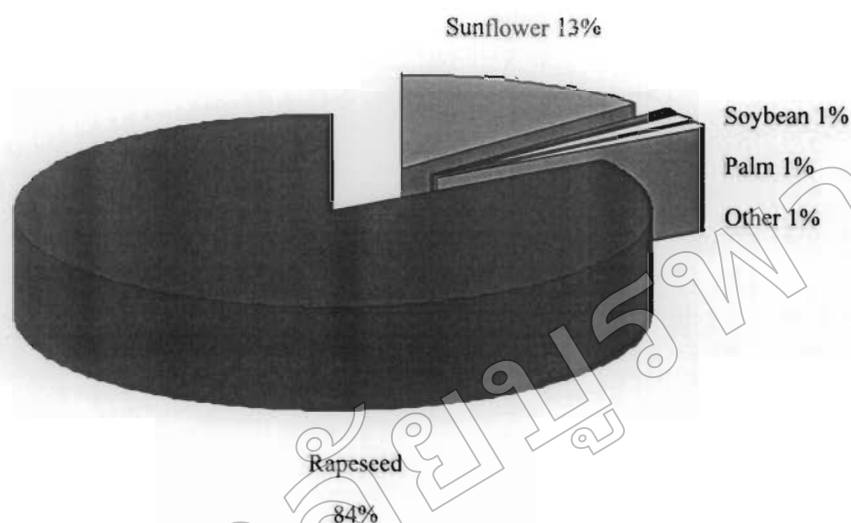
5. ผลของอัตราการกวนผสม

การกวนผสมถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมากสำหรับปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เพราะน้ำมันหรือไขมันที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลนั้นไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นจึงต้องมีการกวนผสมให้เนื้อสารสัมผัสกันปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

จึงจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์และได้เป็นไบโอดีเซล Meher et al. (2006) ได้ศึกษาถึงการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ด่าง KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยนำเอาน้ำมันจาก Karanja oil ซึ่งเป็นน้ำมันที่สกัดมาจากพืชที่ไม่สามารถนำมาบริโภคได้ที่มีชื่อว่า *Pongamia pinnata* การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล คือ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยา และอัตราเร็วของการกวนผสม แล้วนำไบโอดีเซลที่ผลิตได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ด้วยวิธี High performance liquid chromatography ซึ่งจากการทดลองพบว่า ที่ความเข้มข้นของ KOH ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 ทำปฏิกิริยาภายใต้อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และใช้อัตราเร็วของการกวนผสม 360 รอบต่อนาที คือสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจาก Karanja oil โดยภายใต้สภาวะดังกล่าวนี้สามารถให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงกว่าร้อยละ 85

2.5 วัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล

เนื่องจากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ทุกชนิดสามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล จากภาพที่ 2.4 จะเห็นได้ว่า Rapeseed oil เป็นวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตไบโอดีเซลมากที่สุด โดยมีสัดส่วนร้อยละ 84 ของวัตถุดิบทั้งหมด โดย Rapeseed oil นั้นมีคุณสมบัติที่ดีเนื่องจากมีกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Oleic acid) สูงทำให้มีความคงตัวและสามารถใช้ในฤดูหนาวได้ วัตถุดิบรองลงมาได้แก่ น้ำมันทานตะวันซึ่งมีสัดส่วนร้อยละ 13 ของวัตถุดิบทั้งหมดซึ่งใช้ในประเทศอิตาลีและฝรั่งเศสตอนใต้ ลำดับต่อมาได้แก่น้ำมันถั่วเหลืองที่ใช้ในอเมริกาซึ่งมีค่า Iodine number มากกว่า 115 ซึ่งแสดงว่ามีลำดับกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง นอกจากนั้นวัตถุดิบอื่น ๆ ได้แก่ น้ำมันปาล์มใช้ในประเทศมาเลเซีย น้ำมันมะกอกและ Linseed oil ใช้ในประเทศสเปน น้ำมันเมล็ดคอตตอนใช้ในประเทศกรีซ ไขวัวใช้ในประเทศไอร์แลนด์ น้ำมันหมู (Lard) และน้ำมันที่ใช้แล้ว ใช้ในประเทศออสเตรเลีย และน้ำมันใช้แล้วและไขมันสัตว์ (Waste oil and fat) ใช้ในประเทศอเมริกา



ภาพที่ 2.4 วัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล

ที่มา: (จุฬาลักษณ์ โรจนานุกุล, 2549; Korbitz, 1999)

Ghadge and Raheman (2006) ได้ทำการศึกษาโดยการนำเอาพืชน้ำมันที่ไม่สามารถนำมาใช้เป็นอาหารได้ (Non - edible oil) ซึ่งในประเทศอินเดียมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดและมีความน่าสนใจที่จะนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล ซึ่งหนึ่งในนั้นคือ น้ำมัน Mahua oil แต่เนื่องจากน้ำมันชนิดนี้มีปริมาณกรดไขมันอิสระ อยู่ในปริมาณสูงถึงร้อยละ 20 ซึ่งถ้าน้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงมากกว่าร้อยละ 1 เมื่อนำเอาน้ำมันนั้นมาผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้เกิดสบู่ขึ้นโดยสบู่จะไปทำให้การแยกชั้นระหว่างไบโอดีเซลกับกลีเซอรอลเป็นไปได้อย่างขึ้น ดังนั้น Ghadge and Raheman (2006) จึงสนใจที่จะศึกษาน้ำมัน Mahua oil มาทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันกับเมทานอลก่อนโดยใช้กรด H_2SO_4 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมัน จากนั้นจึงนำเอาน้ำมันที่ผ่านกระบวนการเอสเทอริฟิเคชันไปผลิตไบโอดีเซลโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาต่อไป

สำหรับประเทศไทยนั้นมีการเพาะปลูกพืชน้ำมัน 6 ชนิดคือ ปาล์มน้ำมัน มะพร้าว ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ละหุ่ง และงา โดยในจำนวนพืชทั้ง 6 ชนิดนี้ ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีรายงานปริมาณผลผลิตในแต่ละปีสูงที่สุดรองลงมาเป็นมะพร้าวและถั่วเหลืองตามลำดับ (ตารางที่ 2.2) ซึ่งจะเห็นได้ว่า ปาล์มน้ำมันและมะพร้าวเป็นพืชที่เหมาะสมในการนำมาผลิตไบโอดีเซลซึ่งการผลิตปาล์มน้ำมันของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2548 พบว่ามีพื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิตปาล์มน้ำมันรวมทั้งสิ้น 2,004.16 ล้านไร่ สามารถผลิตปาล์มน้ำมันได้ 0.88 ล้านตันหรือคิดเป็นร้อยละ 2.63 ของการผลิต

ปาล์มน้ำมันรวมของโลก ส่วนผลผลิตน้ำมันมะพร้าวของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2548 พบว่าสามารถผลิตน้ำมันมะพร้าวได้ 0.052 ล้านตันหรือคิดเป็นร้อยละ 1.58 ของการผลิตน้ำมันมะพร้าวรวมของโลก

นอกจากผลผลิตทางการเกษตรจากพืชน้ำมันแล้ว น้ำมันพืชใช้แล้วก็ยังเป็นอีกแหล่งวัตถุดิบหนึ่งที่มีศักยภาพสูงในการนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล เนื่องจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นของเหลือใช้จากการประกอบอาหารและมีราคาต่ำกว่าน้ำมันพืชใหม่ และเนื่องจากน้ำมันพืชดังกล่าวนอกจากจะไม่ได้ใช้ให้เกิดประโยชน์แล้วยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพและยังก่อให้เกิดมลภาวะอีกด้วย สำหรับประเทศไทย สถานจัดการและอนุรักษ์พลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ รายงานผลการสำรวจน้ำมันพืชใช้แล้วภายใต้โครงการการสำรวจน้ำมันพืชที่ใช้แล้วเพื่อนำมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล ในปี พ.ศ. 2548 พบว่าน้ำมันพืชที่เหลือจากแหล่งที่ใช้น้ำมันทั้งหมดทั่วประเทศ มีปริมาณรวมปีละ 74.5 ล้านลิตร อย่างไรก็ตามการนำน้ำมันพืชใช้แล้วมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลมีปัญหาในการรวบรวมและปัญหาด้านคุณภาพน้ำมันเนื่องจากน้ำมันได้ผ่านการทอดที่อุณหภูมิสูงหลายครั้งและมีการปนเปื้อนจากกระบวนการทำอาหารทำให้ต้องทำการควบคุมคุณภาพน้ำมันทั้งก่อนและหลังการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน จึงจะผลิตได้ไบโอดีเซลที่มีคุณภาพตามมาตรฐานกำหนด

ตารางที่ 2.2 ปริมาณการผลิตพืชน้ำมันของประเทศไทยปี พ.ศ. 2543-2547

ที่มา : (จุฬาลักษณ์ ไรจนานุกูล, 2549; สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2547)

(หน่วย : พันตัน)

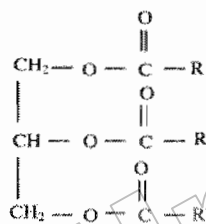
ปี พ.ศ.	ปาล์มน้ำมัน	มะพร้าว	ถั่วเหลือง	ถั่วลิสง	ละหุ่ง	งา
2543	3,343	1,400	312	132	9	39
2544	4,097	1,396	261	261	9	39
2545	4,001	1,418	260	260	10	40
2546	4,903	1,432	231	231	10	40
2547	5,182	1,499	240	240	10	41

การผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันนั้นจะใช้วัตถุดิบหลัก 3 ชนิด คือ น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ แอลกอฮอล์ และตัวเร่งปฏิกิริยา โดยน้ำมันพืชจะเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซล น้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบสามารถสกัดจากพืชน้ำมันได้ทุกชนิด

การพิจารณาเลือกพืชชนิดใดมาใช้นั้นจะต้องคำนึงถึงปริมาณและองค์ประกอบของน้ำมันในพืชชนิดนั้นและความเหมาะสมของปริมาณการเพาะปลูกพืชน้ำมันในพื้นที่นั้น ๆ ด้วย

2.5.1 ไขมันและน้ำมัน

ไขมันและน้ำมัน คือ เอสเทอร์ของกรดคาร์บอกซิลิกโซ่ยาวและกลีเซอรอล เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) มีโครงสร้างเป็น C_3H_5 เชื่อมต่อกับกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 ถึง 30 ตัว (ภาพที่ 2.5) และมีคุณสมบัติคือไม่สามารถละลายน้ำได้ สามารถเกิดขึ้นเองได้ตามธรรมชาติ (Ma & Hanna, 1999) โดยโมเลกุลของไขมันประกอบด้วยกรดไขมัน 3 โมเลกุลและกลีเซอริน 1 โมเลกุลโดยที่มีปริมาณของกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างถึงร้อยละ 94-96 ของน้ำหนักโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ ปกติไขมันหรือน้ำมันมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบ



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์

ที่มา : (Zhang, Dube, McLean, & Kates, 2003)

โดยทั่วไปในน้ำมันพืชจะประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์เป็นส่วนใหญ่ จึงทำให้คุณสมบัติของน้ำมันแต่ละชนิดทั้งทางเคมีและกายภาพ แตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ (ตารางที่ 2.3) อีกทั้งน้ำมันพืชเป็นสารที่ไม่อยู่ตัวเมื่อสัมผัสอากาศจะถูกออกซิไดส์ได้ง่าย และเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรส์ได้ที่อุณหภูมิสูง เมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรส์แล้วน้ำมันจะมีสภาพเป็นสารเหนียวขึ้นโดยทั่วไป ค่าไอโอดีนของน้ำมันพืชจะเป็นดัชนีชี้บอกถึงปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีอยู่ในน้ำมันนั้น ๆ ซึ่งบอกถึงความง่ายของการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรส์ด้วยเนื่องจากน้ำมันจากพืชหรือสัตว์มีความแตกต่างกันที่สถานะเท่านั้น โดยน้ำมันจะมีลักษณะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องเนื่องจากโมเลกุลส่วนใหญ่ของน้ำมันพืชมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) มากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) แต่ไขมันจะมีลักษณะเป็นของแข็งที่อ่อนและมีลักษณะคล้ายไข เนื่องจากไขมันสัตว์มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวนั่นเอง โดยปกติหน้าที่สำคัญของไขมันและน้ำมันคือ เป็นโครงสร้างที่สำคัญของ

เชื้อหุ้มเซลล์และเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตโดยไขมันและน้ำมันมักพบได้ทั้งในพืชและสัตว์ โดยในพืชมักพบอยู่ในส่วนของผลและเมล็ด เช่น ปาล์ม มะพร้าว ถั่วเหลือง เมล็ดฝ้าย เมล็ดทานตะวัน และรำข้าว เป็นต้น ส่วนในสัตว์มักพบสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อไขมัน เช่น ไขมันวัว ซึ่งในไขมันและน้ำมันจะมีกรดไขมันหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ (ตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.3 ชนิดกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ

ที่มา : (อนุรักษ์ ปิตรีกษ์สกุล, 2548)

น้ำมันชนิดคิบั	องค์ประกอบกรดไขมันหลัก (ร้อยละ)						
	C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3
น้ำมันปาล์ม	0-0.5	0.5-2.0	39.3-47.5	3.5-6.0	36.0-44.0	9.0-12.0	0-0.5
น้ำมันปาล์มโอสัน	0.1-0.5	1.5	38.0-43.5	3.5-5.0	39.8-46.0	10.0-13.5	0-0.6
น้ำมันปาล์มสเตียริน	0.1-0.5	1.0-2.0	48.0-74.0	3.9-6.0	15.5-36.0	3.0-10.0	0.5
น้ำมันเมล็ดในปาล์ม	45.0-55.0	14.0-18.0	6.5-10.0	1.0-3.0	12.0-19.0	1.0-3.5	0-0.2
น้ำมันมะพร้าว	45.1-53.2	16.8-21.0	7.5-10.2	2.0-4.0	5.0-10.0	1.0-2.5	0
น้ำมันถั่วลิสง	0-0.1	0-0.1	8.0-14.0	1.0-4.5	35.0-67.0	13.0-43.0	0-0.3
น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ	0	0	14.9	6.0	41.2	37.4	0
น้ำมันเมล็ดรพี	0	0-0.2	1.5-6.0	0.5-3.1	8.0-60.0	11.0-23.0	5.0-13.0
น้ำมันถั่วเหลือง	0-0.1	0-0.2	8.0-13.5	2.0-5.4	17.7-28.0	49.8-59.0	5.0-11.0

หมายเหตุ C12:0 คือ Lauric acid, C14:0 คือ Myristic acid, C16:0 คือ Palmitic acid, C18:0 คือ Stearic acid, C18:1 คือ Oleic acid, C18:2 คือ Linoleic acid, C18:3 คือ Linolenic acid

จากตารางที่ 2.4 แสดงชนิดของกรดไขมันซึ่งพบในน้ำมันพืชส่วนใหญ่ พร้อมทั้งแสดงจุดเดือด (Boiling point) และจุดหลอมเหลว (Melting point) ของกรดไขมันแต่ละชนิด ตั้งแต่กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 8 อะตอมจนถึงจำนวนคาร์บอน 22 อะตอม ซึ่งจุดหลอมเหลวจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนคาร์บอนในกรณีที่เป็นกรดไขมันอิ่มตัวและกรณีที่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว จุดหลอมเหลวจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนเท่ากัน

ตารางที่ 2.4 สูตรโครงสร้าง จุดหลอมเหลว และจุดเดือดของกรดไขมันชนิดต่าง ๆ

ที่มา : (อนุรักษ์ ปิตรีกษ์สกุล, 2548)

ชื่อกรดไขมัน	อะตอมคาร์บอน : พันธะคู่	โครงสร้างทางเคมี	จุดเดือด (°C)	จุดหลอมเหลว (°C)
Caprylic	C8	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	239	16.5
Capric	C10	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	269	31.3
Lauric	C12	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	304	43.6
Myristic	C14	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	332	58
Palmitic	C16:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	349	62.9
Palmitoleic	C16:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	*	33
Stearic	C18:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	371	69.9
Oleic	C18:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	*	16.3
Linoleic	C18:2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	230	- 5
Linolenic	C18:3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	*	- 11
Arachidic	C20:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	*	75.2
Eicoseno	C20:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$	*	23
Behenic	C22:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$	*	80
Eurcic	C22:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$	*	34

หมายเหตุ * ไม่มีข้อมูล

2.5.2 แอลกอฮอล์ที่ใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

แอลกอฮอล์ที่นำมาใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน คือ เมทานอล เอทานอล โพรพานอล และบิวทานอล โดยเฉพาะเมทานอลถูกใช้มากที่สุดเพราะมีราคาถูกอีกทั้งยังมีข้อดีในส่วนของคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี คือ เป็น โมเลกุลขนาดเล็กมีขั้ว ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวของเมทานอลสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับกลีเซอไรด์ได้อย่างรวดเร็วและสามารถละลาย NaOH ได้ดี อีกทั้งในปัจจุบันเอทานอลเริ่มได้รับความนิยมมากขึ้นเนื่องจากสามารถสังเคราะห์ได้จากผลิตผลทางการเกษตรจึงไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมโดยตามสัดส่วนของปฏิกิริยาเคมีพบว่าเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ต้องใช้อัตราส่วนโดยโมลแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเป็น 3:1 แต่ในทางปฏิบัติต้องใช้อัตราส่วนที่มากกว่านั้น หลังปฏิกิริยาสิ้นสุดผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นของผสมระหว่าง เอสเทอร์ กลีเซอรอล แอลกอฮอล์ ตัวเร่งปฏิกิริยา ไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์

เพราะฉะนั้นการทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์จึงเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยาก เพราะถ้าไบโอดีเซลมีส่วนผสมของโมโนกลีเซอไรด์จะทำให้ไบโอดีเซลเกิดการแข็งตัวง่าย ทั้งนี้ถ้ามีสิ่งเจือปนอยู่ในไบโอดีเซลก็จะทำให้จุดหมอกควัน (Cloud point) และจุดไหลเท (Pour point) มีค่าสูงขึ้นด้วย

2.5.3 ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจะช่วยทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและผลิตภัณฑ์เกิดได้ดีขึ้น โดยชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแบ่งได้ดังนี้ (Marchetti, Miguel, & Errazu, 2007)

2.5.3.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดด่าง (Alkali catalyst)

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดด่างที่ใช้กันโดยทั่วไปคือ NaOH หรือ KOH ตามลำดับ โดยเฉพาะ NaOH ถูกเลือกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพราะมีราคาถูก หาได้ง่ายและไวต่อการเกิดปฏิกิริยาโดยปริมาณ NaOH ที่ใช้จะแปรผันตามปริมาณกรดไขมันอิสระที่อยู่ในวัตถุดิบ ซึ่งควรใช้ทำปฏิกิริยากับเมทานอลหรือเอทานอล โดยน้ำมันที่ใช้อาจเป็นชนิดใดก็ได้ เช่น น้ำมันดิบ (Crude oil) หรือน้ำมันที่ใช้แล้ว เป็นต้น โดยก่อนทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันควรเปลี่ยนจากรูปต่าง (NaOH, KOH) ไปเป็นในรูปของสารประกอบอัลคอกไซด์ (Alcoxy) ก่อน โดยการเตรียมสารประกอบอัลคอกไซด์เป็นไปดังปฏิกิริยาเคมีในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ปฏิกิริยาเคมีในการเตรียมสารอัลคอกไซด์

ที่มา: (Marchetti et al., 2007)

การเกิดปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดด่างนี้จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าเมื่อเทียบกับการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอีกทั้งยังให้ผลิตภัณฑ์ (ไบโอดีเซล) ในปริมาณที่สูงด้วย (Ma & Hanna, 1999) แต่ก็มีข้อจำกัดสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดด่าง คือ ถ้ามีน้ำและปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) อยู่ในระบบของการเกิดปฏิกิริยาในปริมาณมากจะทำให้มีสบู่เกิดขึ้นแทนที่จะได้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นผลิตภัณฑ์

2.5.3.2 ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด (Acid catalyst)

ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดที่ใช้กันโดยทั่วไป คือ กรด H_2SO_4 , HCl , Ferric sulfate และ Sulfonic acid (Demirbas, 2009) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะทำให้ได้ผลผลิต คือ น้ำมันไบโอดีเซล ในปริมาณมากแต่ปฏิกิริยาจะเกิดช้ามาก อาจจะใช้เวลามากกว่า 1 วันกว่าปฏิกิริยาจะเกิดอย่างสมบูรณ์ แต่ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดสามารถใช้ได้ดีกับกลีเซอไรด์ที่มีส่วนประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวและน้ำในปริมาณสูงได้ เช่น ในน้ำมันที่ใช้แล้ว เป็นต้น

2.5.3.3 เอนไซม์ไลเปส (Lipase)

เอนไซม์ไลเปสถูกนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการต่าง ๆ เช่น ไฮโดรไลซิสของกลีเซอรอล แอลกอฮอล์ไลซิสและแอซิดไลซิส (Acidolysis) ข้อดีของเอนไซม์ไลเปสคือสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ไม่มีของเสียออกมาจากกระบวนการ แต่ข้อเสียของเอนไซม์คือมีราคาค่อนข้างแพง (Fukuda et al., 2001)

2.5.3.4 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalyst)

เป็นการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันในระบบ เช่น ZrO_2 , ZnO , KNO_3/ZrO_2 , KNO_3/KL และ Zeolite เป็นต้น ซึ่งในการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้จะช่วยแก้ปัญหาการเกิดสบู่ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเมื่อใช้เบสเป็นตัวเร่งในระบบที่มีน้ำในปฏิกิริยา (Jitputti et al., 2006) จะเห็นได้ว่าชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันมีทั้งตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด เอนไซม์ไลเปสและตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ แต่ในการผลิตไบโอดีเซลในเชิงอุตสาหกรรมพบว่ามักเป็นปฏิกิริยาที่ใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สูงสุด ด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2549)

1. เป็นกระบวนการทางเคมีที่ใช้สภาวะในการผลิตที่อุณหภูมิและความดันต่ำและใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาสั้นกว่าการใช้กรดเป็นสารเร่งปฏิกิริยา
2. เป็นกระบวนการที่ให้ผลได้ (Yield) สูง และควบคุมการผลิตได้ง่าย
3. ไม่ต้องใช้วัสดุที่ต้องทนต่อความดันสูงในการสร้างอุปกรณ์การผลิต ทำให้ค่าใช้จ่ายในการสร้างอุปกรณ์การผลิตต่ำลง

อย่างไรก็ตามในการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจะต้องคำนึงถึงการทำให้ปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์เพื่อให้ได้ผลได้สูงสุดและเกิดการสูญเสียให้น้อยที่สุด

นอกจากนั้นแล้วยังต้องให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีความบริสุทธิ์ตามมาตรฐานที่กำหนดด้วยเพื่อให้ต้นทุนในการผลิตต่ำสุดมีราคาที่สามารถแข่งขันได้และมีผลิตภัณฑ์ที่สามารถจำหน่ายได้ในเชิงพาณิชย์ ซึ่งปัจจัยที่มีความสำคัญต่อผลได้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ได้แก่ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนระหว่างน้ำมันและแอลกอฮอล์ ชนิดและความเข้มข้นของสารเร่งปฏิกิริยา การผสมสารตั้งต้น และความบริสุทธิ์ของสารตั้งต้น เป็นต้น

2.6 ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล

1. การเตรียมน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยา

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจะถูกนำมาเตรียมให้เหมาะสมก่อนเข้าทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยก่อนขั้นตอนการทำปฏิกิริยาต้องทำการวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด และปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันพืชเนื่องจากทั้งน้ำมันพืชใหม่และน้ำมันพืชใช้แล้วจะมีค่าความเป็นกรดในปริมาณที่แตกต่างกัน เช่น ถ้าเป็นน้ำมันปาล์มดิบจะต้องผ่านกระบวนการแยกยางเหนียวและลดกรดให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่าร้อยละ 1 ก่อนหากเป็นไขมันพืชจะถูกลดปริมาณกรดไขมันอิสระก่อนถ้าหากมีค่าสูงกว่าร้อยละ 1 จะต้องผ่านกระบวนการลดกรดเช่นเดียวกัน น้ำมันที่ใช้ทอดแล้วก่อนจะผ่านกระบวนการจะถูกนำมาขจัดโปรตีนโดยการทำการปฏิกิริยากับกรดไนตริกและล้างด้วยน้ำ แต่ในกรณีที่วัตถุดิบมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่าร้อยละ 1 แล้วจะถูกนำไปขจัดน้ำออกโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาทีโดยมีการกวนเพื่อให้การระเหยของน้ำเป็นไปได้อย่างทั่วถึง (ชาคริต ทองอุไร, สันหัชชัย กลิ่นประทุม, จริญญา บุญกาญจน์ และพิมพ์พรณ เกียรติชิมกุล, 2544)

การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดก่อนทำปฏิกิริยา จะทำให้ทราบถึงปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาที่ต้องใช้ในการทำปฏิกิริยา ซึ่งจะส่งผลให้ได้ผลผลิตสูง เกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์และลดสูญเสียน้ำมัน จากนั้นจึงทำการเตรียมน้ำมันเพื่อพร้อมเข้าทำปฏิกิริยา และควบคุมอุณหภูมิไว้ตามที่กำหนดโดยทั่วไปจะใช้อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาที่ 60-70 องศาเซลเซียส

2. การเตรียมสารละลายแอลกอฮอล์ (สารเร่งปฏิกิริยา)

แอลกอฮอล์ส่วนใหญ่ที่ถูกเลือกใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันได้แก่ เมทานอลและเอทานอลเพื่อให้เกิดเมทิลเอสเทอร์และเอทิลเอสเทอร์ตามลำดับ ขั้นตอนการเตรียมสารละลายแอลกอฮอล์ (สารเร่งปฏิกิริยา) คือ การผสมค่า NaOH หรือ KOH ที่ใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยากับเมทานอลหรือเอทานอลในสัดส่วนที่เหมาะสมโดยในการผสมต้องระมัดระวังไม่ให้มีน้ำปะปนลงไป จากนั้นจึงเตรียมพร้อมในการป้อนเข้าทำปฏิกิริยากับน้ำมันต่อไปซึ่งในการเตรียม

สารละลายแอลกอฮอล์ (สารเร่งปฏิกิริยา) นั้นจะต้องใช้ปริมาณของค่า NaOH หรือ KOH สำหรับทำน้ำมันให้เป็นกลางบวกกับปริมาณ NaOH หรือ KOH สำหรับเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

3. การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

น้ำมันที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยาแล้ว จะถูกทำให้เย็นลงจนมีอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงเติมสารละลายแอลกอฮอล์ที่เตรียมไว้ก่อนแล้วลงไปอย่างช้า ๆ ทำการกวนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างทั่วถึงเป็นเวลาประมาณ 15 นาทีซึ่งอุณหภูมิในขณะนี้จะลดลงเหลือประมาณ 65 องศาเซลเซียส ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจากปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหยุดการกวนเพื่อแยกผลผลิตออกมาโดยเมื่อหยุดการกวนกลีเซอรอลซึ่งมีความหนาแน่นสูงกว่า (ประมาณ 1.26 กรัม/มิลลิลิตร) จะแยกชั้นออกมาจากอัลคิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซล ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาจะสามารถดำเนินต่อไปได้อย่างช้า ๆ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 12 ชั่วโมง

4. การแยกกลีเซอรอล

หลังจากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแล้ว จะเกิดผลผลิต 2 ชนิด คือ สารเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลและกลีเซอรอล โดยเมื่อทำการทิ้งให้แยกชั้นซึ่งใช้เวลาประมาณ 12 ชั่วโมง ไบโอดีเซลจะแยกชั้นอยู่ด้านบน กลีเซอรอลซึ่งจะแยกชั้นอยู่ด้านล่างของคอลัมน์จะถูกแยกออกไป และในส่วนของไบโอดีเซลจะถูกนำไปผ่านขั้นตอนการล้างสิ่งปนเปื้อนออกและการขจัดน้ำออกขั้นสุดท้ายในลำดับขั้นต่อไป

5. การล้างสิ่งปนเปื้อนออก

ในขณะนี้อัลคิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลยังคงถูกปนเปื้อนด้วยสารอื่น ๆ เช่น สบู่ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างค่าที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและกรดไขมันอิสระหรือน้ำมันกลีเซอรอลที่ละลายอยู่ในชั้นอัลคิลเอสเทอร์ ค่าที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แอลกอฮอล์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาและน้ำมันที่ทำปฏิกิริยาไม่หมด ดังนั้นจึงต้องทำการขจัดออกด้วยการล้างด้วยน้ำหลาย ๆ ครั้งโดยการล้างครั้งแรก ๆ ไม่ต้องทำการเขย่าหรือกวนเนื่องจากสบู่เป็นสารอิมัลซิฟาย (Emulsify) ทำให้อัลคิลเอสเทอร์ซึ่งเป็นสาร ไม่มีขั้ว (Non-polar) สามารถรวมตัวกับน้ำซึ่งเป็นสารมีขั้ว (Polar) เกิดเป็นสารอิมัลชันซึ่งจะรวมเป็นเนื้อเดียวกันและทำการแยกออกจากกันได้ยาก

6. การขจัดน้ำออกขั้นสุดท้าย

เมื่อด่างสิ่งปนเปื้อนออกหมดแล้ว ขั้นสุดท้ายคือการขจัดน้ำล้างที่หลงเหลืออยู่ในชั้นอัลทิลเอสเทอร์ออก โดยการให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลาอย่างน้อย 20 นาที และตั้งทิ้งไว้จนเย็นที่อุณหภูมิห้องก็สามารถนำไปใช้งานได้

2.7 คุณสมบัติและมาตรฐานของไบโอดีเซล

เนื่องจากไบโอดีเซลเป็นผลผลิตที่ได้จากน้ำมันพืชที่นำมาผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลมีองค์ประกอบและมีโครงสร้างที่แตกต่างกันทำให้ไบโอดีเซลยังคงมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากน้ำมันดีเซลซึ่งบางคุณสมบัติเป็นข้อได้เปรียบและบางคุณสมบัติเป็นข้อเสียเปรียบ เมื่อนำไบโอดีเซลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล เช่น ไบโอดีเซลมีจุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มีความปลอดภัยในการขนส่งมากกว่า เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วสามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติของไบโอดีเซลกับน้ำมันดีเซลได้ดังนี้ (ประกาศิต คุณพระศิลา, 2550).

1. ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสะอาดไม่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบทำให้ไอเสียที่ปล่อยออกจากเครื่องยนต์ไม่ก่อให้เกิดภาวะฝนกรดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ โดยเมื่อถูกเผาไหม้แล้วกำมะถันในน้ำมันดีเซลจะเปลี่ยนรูปเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์และกรดซัลฟิวริกหรือกรดกำมะถันตามลำดับ เกิดเป็นมลพิษทางอากาศ เมื่อฝนตกจะชะล้างมลพิษเหล่านี้ทำให้เกิดเป็นฝนกรดได้
2. ไบโอดีเซลไม่มีสารประกอบประเภท Aromatic compound แต่มีออกซิเจนอยู่ในโครงสร้างโมเลกุลถึงร้อยละ 10-12 ในขณะที่น้ำมันดีเซลไม่มีออกซิเจนอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล และมีองค์ประกอบของสาร Aromatic compound ถึงร้อยละ 20-40 ทำให้เมื่อใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ไอเสียที่เกิดขึ้นมีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กและมีควันดำต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล
3. ไบโอดีเซลมีจุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซลจึงมีค่าการจุดระเบิดในเครื่องยนต์ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล
4. ไบโอดีเซลมีพันธะคู่ในน้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตในขณะที่น้ำมันดีเซลไม่มีพันธะคู่ในโครงสร้างโมเลกุล โดยพันธะคู่ในไบโอดีเซลมีปริมาณที่แตกต่างกันตามชนิดของน้ำมันพืชทำให้ไบโอดีเซลไม่เสถียรตัว เกิดออกซิเดชันได้เร็วกว่าน้ำมันดีเซลและมีระยะการเก็บรักษาหลังการผลิตสั้นกว่าน้ำมันดีเซล
5. ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีกว่าน้ำมันดีเซลทำให้ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องยนต์ได้ดี ไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันพืชต่างชนิดกันจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน

ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันพืชเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างของ ไตรกลีเซอไรด์ถึงร้อยละ 94-96 ของน้ำหนักโมเลกุลทำให้คุณสมบัติของน้ำมันมีคุณสมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพเป็นไปตามกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบอยู่ ดังนั้นเมื่อน้ำมันพืชชนิดนั้น ๆ มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งไบโอดีเซลที่ผลิตได้จะมีคุณสมบัติตามกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบนั้น ๆ ด้วย

ปัจจุบันน้ำมันไบโอดีเซลมีการผลิตจำหน่ายเป็นการค้าในสหภาพยุโรปและประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งต้องมีคุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนด เช่น ประเทศเยอรมัน ได้กำหนดมาตรฐาน DINE 51606 ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ประกาศใช้มาตรฐาน ASTM D 6751 เป็นมาตรฐานการซื้อขายไบโอดีเซล และมาตรฐานอื่น ๆ ที่กำหนดขึ้นในแต่ละประเทศ สำหรับในประเทศไทยยังไม่มี การกำหนดมาตรฐานในการทดสอบแต่มีประกาศของกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง การกำหนดลักษณะ และคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2552 ซึ่งประกอบด้วย พารามิเตอร์รวม 23 ตัวบวกกับอีกหนึ่งเมื่อมีการใช้สารเติมแต่งในน้ำมันไบโอดีเซล

พารามิเตอร์ในข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2552 เทียบกับมาตรฐานสากล มาตรฐาน ASTM D 6751 เป็นหลัก ประกอบด้วย พารามิเตอร์ดังนี้ คือ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552)

1. ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester)

ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ แสดงถึงความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลและการเกิดปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลที่สมบูรณ์ มาตรฐานกำหนดให้มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 96.5 โดยน้ำหนัก เมื่อปริมาณเอสเทอร์น้อยกว่าที่กำหนด ชีบออกถึงยังมีโมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ หรือไตรกลีเซอไรด์ อยู่ในไบโอดีเซลในปริมาณสูงกว่าที่กำหนด ส่งผลให้ความหนืดของไบโอดีเซลมีค่าสูง และ เกี่ยวเนื่องกับการอุดตันในหัวฉีด หรือกระบอกสูบของเครื่องยนต์

2. ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส (Density)

ความหนาแน่นเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบระบบหัวฉีดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง ดีเซล ค่าความหนาแน่นเป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณของพลังงานเชื้อเพลิง เมื่อค่าความหนาแน่นมีค่ามากก็จะให้พลังงานความร้อนมากขึ้นตามไปด้วยเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงในปริมาณเดียวกัน ความหนาแน่นของไบโอดีเซลจากวัตถุดิบน้ำมันพืชแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ปริมาณเมทานอลที่ตกค้างในไบโอดีเซลยังเป็นสาเหตุให้ความหนาแน่นมีค่าต่ำอีกด้วย

3. ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (Kinematic viscosity)

ความหนืดเกี่ยวข้องกับการไหล การฉีดเป็นฝอยของหัวฉีดในห้องเผาไหม้ การฉีดเป็นฝอยขนาดเล็กจะทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ ความหนืดของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับชนิด

ของน้ำมันพืชที่เป็นวัตถุดิบ ความหนืดยังเป็นดัชนีแสดงการเสื่อมสภาพของไบโอดีเซลเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันอีกทางหนึ่ง

4. จุดวาบไฟ (Flash point)

จุดวาบไฟเป็นค่าอุณหภูมิต่ำสุดเมื่อเปลวไฟผ่านเหนือไอของน้ำมันแล้วทำให้น้ำมันติดไฟมาตรฐานกำหนดให้มีค่าจุดวาบไฟมากกว่า 120 องศาเซลเซียส ปริมาณเมทธานอลที่หลงเหลือในไบโอดีเซลทำให้จุดวาบไฟมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานได้ จุดวาบไฟมีผลต่อการขนส่ง เคลื่อนย้ายและการจัดเก็บปริมาณเมทธานอลที่ยังคงเหลืออยู่ในไบโอดีเซลในปริมาณมากกว่าร้อยละ 0.2 ส่งผลให้จุดวาบไฟมีค่าต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส

5. กำมะถัน (Sulfur)

ไบโอดีเซล เป็นเชื้อเพลิงที่มีปริมาณกำมะถันต่ำเนื่องจากน้ำมันพืชดิบที่ใช้ในการผลิต มักมีองค์ประกอบของกำมะถันต่ำกว่า 15 ส่วนในล้านส่วน องค์ประกอบกำมะถันในน้ำมันเมื่อถูกเผาไหม้จะเปลี่ยนเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งถูกปล่อยออกมาพร้อมไอเสียจากเครื่องยนต์และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

6. คากถ่าน ร้อยละ 10 ของคากที่เหลือจากการกลั่น (Carbon residue)

ปริมาณคากถ่านมีความสัมพันธ์กับปริมาณกลีเซอไรด์, กรดไขมันอิสระ, สาร และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ยังหลงเหลืออยู่ในไบโอดีเซลหากมีปริมาณคากถ่านสูงกว่าข้อกำหนดขึ้นไปถึงยังคงมีสารต่าง ๆ ที่กล่าวข้างต้นหลงเหลืออยู่ในไบโอดีเซล นอกจากนั้นยังแสดงถึงแนวโน้มของปริมาณคากถ่านที่เหลืออยู่หลังจากการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ คากถ่านมีผลต่อการอุดตันในหัวฉีดหรือที่ลูกสูบทำให้กำลังของเครื่องยนต์ลดลง เครื่องยนต์สกปรกและต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องบ่อยครั้ง

7. จำนวนซีเทน (Cetane number)

จำนวนซีเทน คือ พารามิเตอร์ที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการจุดติดไฟ (Ignition) ของเครื่องยนต์ดีเซล จำนวนซีเทนที่สูงช่วยให้การสตาร์ทเครื่องยนต์ได้ง่ายทั้งยังช่วยลดควันขาวที่เกิดขึ้นได้อีกด้วย โดยหลักการ จำนวนซีเทนจะสัมพันธ์กับเวลาหน่วงการจุดติดไฟ (Ignition delay time) โดยเมื่อจำนวนซีเทนสูง เวลาหน่วงการจุดติดไฟจะมีค่าสั้น

8. เถ้าซัลเฟต (Sulfate ash)

เถ้าซัลเฟตเกิดจากการเผาไหม้ของสารปนเปื้อนในไบโอดีเซลเนื่องมาจากการตกค้างของสาร และตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณเถ้าซัลเฟตมีผลต่อการอุดตันในเครื่องยนต์

9. น้ำ (Water)

ปริมาณน้ำในน้ำมันทำให้การเผาไหม้ไม่สิ้นจากนั้นน้ำในไบโอดีเซลยังเป็นสาเหตุให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลติกระหว่างน้ำกับเอสเทอร์เกิดเป็นกรดไขมันอิสระซึ่งส่งผลต่อการกัดกร่อนในเครื่องยนต์และเป็นตัวเร่งให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังเก็บน้ำมันซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หัวฉีดอุดตัน

10. สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด (Total contaminate)

สารปนเปื้อนในน้ำมันไบโอดีเซลส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันและปฏิกิริยาข้างเคียง เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสบู่ของกรดไขมันอิสระและตัวเร่งปฏิกิริยาเบส ตัวเร่งปฏิกิริยาและสารที่ไม่สะปอนิฟาย ได้แก่ ไขมันที่ไม่อยู่ในรูปของกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ Fatty alcohol สารประกอบไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์อย่างแข็ง Triterpene alcohol สารประกอบแคโรทีน วิตามิน และอื่น ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุดิบน้ำมันพืชเริ่มต้น โดยทั่วไปสิ่งปนเปื้อนทั้งหมดจะถูกกำจัดออกจากไบโอดีเซลในขั้นตอนการล้างน้ำ สิ่งปนเปื้อนในไบโอดีเซลมีผลเสียต่อเครื่องยนต์หลายด้าน เช่น คุณสมบัติด้านความเสถียรของไบโอดีเซลระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากสารประกอบของสารที่ไม่สะปอนิฟายเปลี่ยนสภาพกลายเป็นสารที่มีผลในการลดคุณสมบัติด้านความเสถียรของไบโอดีเซล

11. การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper strip corrosion)

การกัดกร่อนแผ่นทองแดงแสดงการกัดกร่อนของน้ำมันต่อโลหะที่ใช้เป็นชิ้นส่วนในเครื่องยนต์ดีเซลเนื่องจากปริมาณกรด เช่น กรดไขมันอิสระและสารประกอบซัลเฟอร์ในน้ำมันซึ่งค่าการกัดกร่อนนี้มีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์

12. ค่าของกรด (Acid value)

แสดงความเป็นกรดในน้ำมันไบโอดีเซล เป็นผลมาจากปริมาณกรดไขมันอิสระในวัตถุดิบน้ำมันพืชและปริมาณกรดที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลซึ่งมีผลต่อการกัดกร่อนในเครื่องยนต์ทำให้อายุการใช้งานของปั๊มและไส้กรองน้ำมันลดลง นอกจากนี้ยังแสดงถึงการเสื่อมสภาพของน้ำมันเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลติกจากปริมาณน้ำที่ปนอยู่ในน้ำมันและผลของสถานะในการจัดเก็บ

13. กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ (Linolenic acid methyl ester contents)

แสดงถึงพันธะคู่หรือความไม่อิ่มตัวของไบโอดีเซลซึ่งมีแนวโน้มทำให้เกิดพอลิเมอร์ในเครื่องยนต์ทำให้เกิดการอุดตันและการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่อง ปริมาณกรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันพืชที่เลือกมาใช้เป็นวัตถุดิบ

14. เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส (Oxidation stability)

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากการเกิดสารประเภทเพอร์ออกไซด์ (Peroxide linkage) ขึ้นระหว่างพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่อยู่ในโครงสร้างของไบโอดีเซล ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดเมื่อน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศโดยที่ความร้อนและแสงแดดมีผลช่วยเร่งปฏิกิริยา ในขณะที่โลหะ เช่น ทองแดงและตะกั่วก็เป็นตัวเร่งให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น ผลของปฏิกิริยาทำให้เกิดสารพอลิเมอร์ (Oxidation polymerization) และเกิดของแข็งที่ไม่ละลายในไบโอดีเซล เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนอกจากจะขึ้นกับประเภทและคุณสมบัติของน้ำมันพืชที่เป็นวัตถุดิบแล้วยังขึ้นกับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลอีกด้วย โดยกระบวนการผลิตที่มีการให้ความร้อนสูงแก่ไบโอดีเซลเป็นระยะเวลานานอาจส่งผลให้เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ มาตรฐานที่กำหนดให้มีความสูงกว่า 6 ชั่วโมง ที่ 110 องศาเซลเซียส

15. ค่าไอโอดีน (Iodine value)

ค่าไอโอดีนแสดงพันธะคู่ในน้ำมันซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของน้ำมันพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล ค่าไอโอดีนต่ำแสดงถึงการมีส่วนกรดไขมันอิ่มตัวในโครงสร้างไบโอดีเซลสูงทำให้ไม่มีแนวโน้มในการเกิดออกซิเดชัน นอกจากนี้ค่าไอโอดีนยังมีความสัมพันธ์กับจุดบุ่นซึ่งแสดงถึงอุณหภูมิที่น้ำมันเริ่มเกิดไขหรือจับตัวเป็นก้อนแข็ง ไบโอดีเซลที่มีค่าไอโอดีนต่ำจะมีจุดบุ่นสูงซึ่งมีผลต่อการใช้งานสภาพอากาศเย็น ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบมีค่าไอโอดีน 50-55 ประกาศกรมธุรกิจพลังงานกำหนดให้ค่าไอโอดีนไม่สูงกว่า 120 กรัม ไอโอดีน/100 กรัม

16. เมทานอล (Methanol content)

เมทานอลเป็นสารตั้งต้นที่เหลือจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลซึ่งจำเป็นต้องกำจัดออกให้หมดก่อนนำไบโอดีเซลออกจำหน่ายจึงต้องมีปริมาณต่ำในผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล จุดวาบไฟขั้นต่ำของไบโอดีเซล คือ 130 องศาเซลเซียส เมทานอลมีค่าจุดวาบไฟต่ำ ถ้ายังมีเมทานอลปะปนอยู่ในไบโอดีเซลจะทำให้ไบโอดีเซลมีจุดวาบไฟต่ำลงด้วยซึ่งมีผลต่อความปลอดภัยในการเก็บรักษา การขนส่งและการนำมาใช้ในเครื่องยนต์ เมทานอลมีความเข้มข้นมากกว่า 5% จะมีผลกระทบต่อค่าซีเทนและความหล่อลื่นของน้ำมัน

17. โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ (Monoglyceride, diglyceride and triglyceride)

ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์แสดงถึงความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาในการผลิตไบโอดีเซล ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ที่เหลือจากการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ไม่สมบูรณ์ส่งผลให้เกิดการอุดตันบริเวณหัวฉีด กระบอกสูบและวาล์วภายในเครื่องยนต์

18. กลีเซอรินอิสระ (Free glycerin)

ปริมาณกลีเซอรินที่ยังเหลืออยู่ในไบโอดีเซลเนื่องมาจากการแยกกลีเซอรินไม่สมบูรณ์ทำให้มีปัญหาการแยกชั้นของกลีเซอรินในการจัดเก็บไบโอดีเซลรวมถึงการสะสมที่บริเวณด้านล่างของถังน้ำมัน กลีเซอรินมีผลต่อการอุดตันที่หัวฉีดและระบบลำเลียงน้ำมัน

19. กลีเซอรินทั้งหมด (Total glycerin)

กลีเซอรินทั้งหมดคือปริมาณของกลีเซอรินอิสระและปริมาณกลีเซอรินในโมเลกุลโมโนกลีเซอไรด์ ไคกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ ที่เจือปนในองค์ประกอบไบโอดีเซลซึ่งเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันไม่สมบูรณ์มีผลก่อให้เกิดการอุดตันที่บริเวณหัวฉีดและไส้กรองและปัญหาการใช้งานในสภาพอากาศอากาศเย็น

20. โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและโพแทสเซียม) โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียม และแมกนีเซียม)

เป็นการวัดปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาด่าง, สบู่ และโลหะหนักจากน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการล้างไบโอดีเซลที่หลงเหลือในผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล แคลเซียมยังมีคุณสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีสำหรับกระบวนการพอลิเมอไรซ์ของเอสเทอร์อีกด้วย ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานกำหนดให้ปริมาณโลหะกลุ่ม 1 และโลหะกลุ่ม 2 ไม่สูงกว่าอย่างละ 5.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

21. ฟอสฟอรัส (Phosphorus)

ฟอสฟอรัสเป็นสารที่ปนเปื้อนอยู่ในวัตถุดิบน้ำมันพืชตั้งแต่เริ่มต้นหากไม่ทำการกำจัดออกจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล จะทำให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีฟอสฟอรัสปะปนอยู่ด้วย ซึ่งจะทำให้ความเสียหายให้กับอุปกรณ์คตะไลติกส์ คอนเวอร์เตอร์ (Catalytic converter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการแพร่มลพิษ จากการที่มาตรฐานของการแพร่มลพิษเป็นกฎข้อบังคับมากขึ้น อุปกรณ์ Catalytic converter จึงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล

22. สารเติมแต่ง (Additive)

เป็นสารผสมที่เติมลงในไบโอดีเซลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ ช่วยชะล้างและทำความสะอาดเครื่องยนต์ หรืออื่น ๆ ไม่มีการระบุวิธีทดสอบที่แน่ชัดแต่ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน