

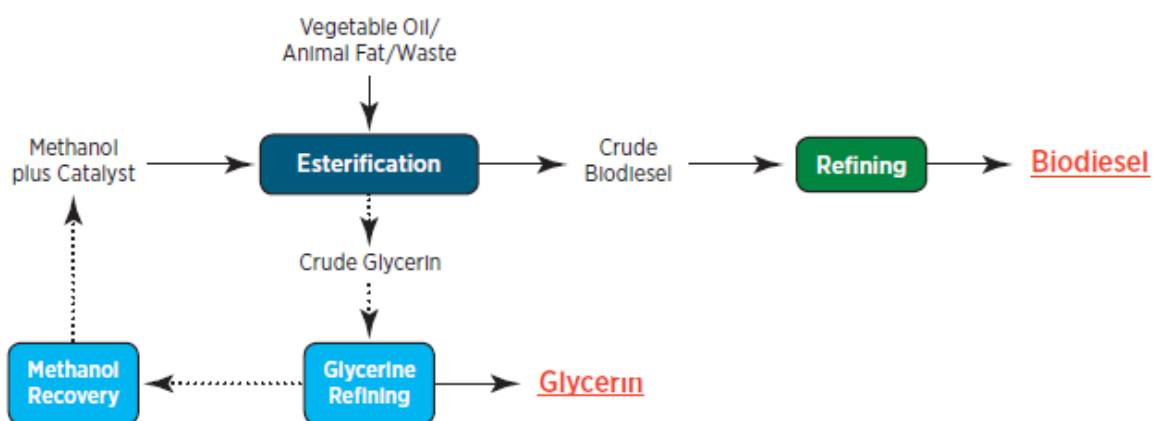
บทที่ 25 รายละเอียดข้อมูลเชื้อเพลิงชีวภาพประเภท ไบโอดีเซล (Bio-diesel)

1. ข้อมูลทั่วไป

ไบโอดีเซล (Bio-diesel) เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนที่ผลิตจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์และแอลกอฮอล์ผ่านปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) ได้เป็นน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งถือเป็นน้ำมันชีวภาพประเภทหนึ่งที่สามารถประยุกต์ใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลและใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลจากแหล่งปิโตรเคมีได้

น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ เป็นสารประกอบประเภทไตรกลีเซอไรด์ ที่มีธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างโมเลกุล ในขณะที่น้ำมันดีเซลจะมีเฉพาะธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ จึงทำให้น้ำมันพืชและน้ำมันดีเซลมีโครงสร้างโมเลกุล สมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ต่างกัน เช่น น้ำมันพืชจะมีความถ่วงจำเพาะสูงและความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 10 เท่า จะทำให้ฉีดน้ำมันเป็นฝอยได้ยาก เกิดปัญหาในการป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงและการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ อีกทั้งน้ำมันพืชสามารถระเหยเป็นไอได้ยากกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้จุดระเบิดได้ยากเครื่องยนต์สตาร์ทติดยาก และหลงเหลือเป็นคราบเขม่าที่หัวฉีด เป็นต้น ดังนั้นจึงไม่สามารถนำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มาใช้แทนน้ำมันดีเซลได้โดยตรง แต่ต้องนำน้ำมันทั้งสองชนิดไปผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อปรับปรุงโครงสร้างโมเลกุลให้มีความคล้ายคลึงกับน้ำมันดีเซลที่ได้จากแหล่งปิโตรเคมี ได้เป็นน้ำมันไบโอดีเซล โดยได้แสดงคุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่มีองค์ประกอบกรดไขมันแตกต่าง ตามลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลดังตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ [1,2,3,4,5]

สารตั้งต้นอีกชนิดหนึ่งสำหรับการผลิตไบโอดีเซลคือ แอลกอฮอล์ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลกลุ่มที่มีสายโซ่สั้น ได้แก่ เมทานอล (Methanol : CH_3OH) เอทานอล (Ethanol : $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) และบิวทานอล ($\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$) เนื่องจากแอลกอฮอล์กลุ่มนี้มีต้นทุนต่ำ และสมบัติเมทานอลเป็นที่ต้องการมากกว่าเอทานอล แม้จะมีความเป็นพิษสูงเนื่องจากการใช้ในการผลิตไบโอดีเซลต้องใช้เทคโนโลยีที่เรียบง่าย



ภาพที่ 1 กระบวนการสังเคราะห์ไบโอดีเซล [6]

ตารางที่ 1 คุณสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่มีองค์ประกอบกรดไขมันแตกต่างกัน [2]

ชนิดของกรดไขมัน	อิ่มตัว 12:0, 14:0, 16:0, 18:0, 20:0, 22:0	ไม่อิ่มตัว 1 พันธะ 16:1, 18:1, 20:1, 22:1	ไม่อิ่มตัวหลายพันธะ 18:2, 18:3
ค่าซีเทน	สูง	ปานกลาง	ต่ำ
จุดขุ่น	สูง	ปานกลาง	ต่ำ
เสถียรภาพต่อการเกิด ปฏิกิริยาออกซิเดชัน	สูง	ปานกลาง	ต่ำ
NOX Emission	ลดลง	เพิ่มขึ้นเล็กน้อย	เพิ่มขึ้นอย่างมาก

ตารางที่ 2 ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน [7]

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ ๑/
๑	เมทิลเอสเทอร์ร้อยละโดยน้ำหนัก (Methyl Ester, %wt.)	ไม่ต่ำกว่า	๙๖.๕	EN ๑๔๑๐๓
๒	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ ๑๕ °ซ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร (Density at 15 °C kg/m ³)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	๘๖๐ ๘๐๐	ASTM D ๑๒๙๘
๓	ความหนืด ณ อุณหภูมิ ๔๐ °ซ เซนติสโตกส์ (Viscosity at 40 °C cSt)	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	๓.๕ ๕.๐	ASTM D ๔๔๕
๔	จุดวาบไฟ องศาเซลเซียส (Flash Point, °C)	ไม่ต่ำกว่า	๑๒๐	ASTM D ๙๓
๕	กำมะถัน ร้อยละโดยน้ำหนัก (Sulphur, %wt.)	ไม่สูงกว่า	๐.๐๐๑๐	ASTM D ๒๖๒๒
๖	กากถ่าน ร้อยละโดยน้ำหนักจากร้อยละ ๑๐ ของส่วน ที่เหลือจากการกลั่น (Carbon Residue, %wt.) on 10% Distillation Residue	ไม่สูงกว่า	๐.๓๐	ASTM D ๔๕๓๐
๗	จำนวนซีเทน (Cetane Number)	ไม่ต่ำกว่า	๕๑	ASTM D ๖๑๓
๘	เถ้าซัลเฟต ร้อยละโดยน้ำหนัก (Sulphated Ash, %wt.)	ไม่สูงกว่า	๐.๐๒	ASTM D ๘๗๔

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงสุด		วิธีทดสอบ ๑/
๙	น้ำ มิลลิลิตร/กิโลกรัม (Water, mg/kg)	ไม่สูงกว่า	๕๐๐	EN ISO ๑๒๙๓๗
๑๐	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด มิลลิลิตร/กิโลกรัม (Total Contamination, mg/kg)	ไม่สูงกว่า	๒๔	EN ๑๒๖๖๒
๑๑	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)	ไม่สูงกว่า	หมายเลข ๑	ASTM D ๑๓๐
๑๒	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ชั่วโมง ณ อุณหภูมิ ๑๑๐ °ซ (Oxidation Stability at 110 °C hr.)	ไม่ต่ำกว่า	๑๐	EN ๑๕๗๕๑
๑๓	ค่าความเป็นกรด มิลลิลิตรโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์/ กรัม (Acid Value, mg KOH/g)	ไม่สูงกว่า	๐.๕๐	ASTM D ๖๖๔
๑๔	ค่าไอโอดีน กรัมไอโอดีน/๑๐๐ กรัม (Iodine Value, g Iodine/100g)	ไม่สูงกว่า	๑๒๐	EN ๑๔๑๑๑
๑๕	กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Linolenic Acid Methyl Ester, %wt.)	ไม่สูงกว่า	๑๒.๐	EN ๑๔๑๐๓
๑๖	เมทานอล ร้อยละโดยน้ำหนัก (Methanol, % wt.)	ไม่สูงกว่า	๐.๒๐	EN ๑๔๑๑๐
๑๗	โมนอกลิเซอไรด์ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Monoglyceride, %wt.)	ไม่สูงกว่า	๐.๗๐	EN ๑๔๑๐๕
๑๘	ไดกลีเซอไรด์ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Diglyceride, %wt.)	ไม่สูงกว่า	๐.๒๐	EN ๑๔๑๐๕
๑๙	ไตรกลีเซอไรด์ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Triglyceride, %wt.)	ไม่สูงกว่า	๐.๒๐	EN ๑๔๑๐๕
๒๐	กลีเซอรินอิสระ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Free glycerin, %wt.)	ไม่สูงกว่า	๐.๐๒	EN ๑๔๑๐๕
๒๑	กลีเซอรินทั้งหมด ร้อยละโดยน้ำหนัก (Total glycerin, %wt.)	ไม่สูงกว่า	๐.๒๕	EN ๑๔๑๐๕
๒๒	โลหะกลุ่ม ๑ (โซเดียมและโปแตสเซียม) มิลลิลิตร/กิโลกรัม (Group I metals (Na +K), mg/kg)	ไม่สูงกว่า	๕.๐	EN ๑๔๕๓๘

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงสุด		วิธีทดสอบ ๑/
	โลหะกลุ่ม ๒ (แคลเซียมและแมกนีเซียม) มิลลิกรัม/กิโลกรัม (Group II metals (Ca + Mg), mg/kg)	ไม่สูงกว่า	๕.๐	EN ๑๔๕๓๘
๒๓	ฟอสฟอรัส ร้อยละโดยน้ำหนัก (Phosphorus, %wt.)	ไม่สูงกว่า	๐.๐๐๑๐	EN ๑๔๑๐๗
๒๔	จุดขุ่น องศาเซลเซียส (Cloud Point : CP, °C)	รายงาน ๒/		
๒๕	จุดอุดตันการไหลที่อุณหภูมิห้อง องศาเซลเซียส Cold Flow Plugging Point : CFPP, °C)	รายงาน ๒/		
๒๖	สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additives, If Any)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจาก อธิบดี		

ถึงแม้ว่าน้ำมันดีเซลที่ได้จากแหล่งปิโตรเคมีและไบโอดีเซลที่ได้จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์จะมีโครงสร้างทางเคมี สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีที่คล้ายคลึงกัน แต่คุณสมบัติบางประการยังมีความแตกต่างกันอยู่บ้าง แสดงดังตารางที่ 3 หรือสามารถพิจารณาได้จาก

1. น้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อถูกเผาไหม้แล้วจะเปลี่ยนรูปเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในขณะที่ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสะอาด ไม่มีกำมะถันเป็นส่วนประกอบ หากเกิดการรั่วไหลออกสู่ธรรมชาติจะสามารถสลายตัวได้ง่ายกว่าน้ำมันดีเซล และไม่เป็นพิษ (Non-toxic)
2. น้ำมันดีเซลเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบภายในโครงสร้าง ในขณะที่ไบโอดีเซลมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบภายในโครงสร้าง ทำให้มีเขม่าดำและไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ที่มีมลพิษน้อยกว่าการใช้้ำมันดีเซลเนื่องจากเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์
3. ไบโอดีเซลมีค่าซีเทนสูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้เครื่องยนต์สตาร์ทติดง่าย เดินเรียบ
4. ไบโอดีเซลมีจุดวาบไฟสูงกว่าน้ำมันดีเซลมาก จึงมีความปลอดภัยในการเก็บรักษา การบรรจุและการขนส่งมากกว่าน้ำมันดีเซล
5. ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นสูงกว่าน้ำมันดีเซล เมื่อนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลเพียง 1-2% หรือใช้เป็นสารเติมแต่งในน้ำมันดีเซลจะช่วยเพิ่มสมบัติในการหล่อลื่นได้
6. ไบโอดีเซลมีพันธะคู่ภายในโครงสร้าง ซึ่งจะมีปริมาณแตกต่างกันตามชนิดของพืช ทำให้ไบโอดีเซลสามารถเกิดออกซิเดชันได้เร็วกว่าน้ำมันดีเซล จึงไม่สามารถเก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน
7. ไบโอดีเซลมีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซลประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

8. ไบโอดีเซลเป็นพลังงานหมุนเวียน สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบทางการเกษตร แต่น้ำมันดีเซลได้จากแหล่งปิโตรเลียม

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบสมบัติระหว่างน้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซล^[6]

Fuel Property	Diesel	Biodiesel (No. 1-B grade)
Fuel standard	ASTM D975	ASTM D6751
Higher heating value (Btu/gal)	~138,490	~119,550
Lower heating value (Btu/gal)	~129,488	~127,960
Kinematic viscosity, @ 40°C (104°F)	1.3 – 4.1	4.0 – 6.0
Specific gravity @ 15.5°C (60°F)	0.85	0.88
Density, lb/gal @ 15.5°C (60°F)	7.1	7.3
Carbon (wt %)	87	77
Hydrogen (wt %)	13	12
Oxygen, by dif. (wt %)	0	11
Sulfur (ppm)	15	0 – 15
Boiling point (°C)	180 – 340	315 – 350
Flash point (°C)	60 – 80	100 – 170
Cloud point (°C)	(-35) – 5	(-3) – 15
Pour point (°C)	(-35) – (-15)	(-5) – (10)
Cetane number	40 – 55	47 – 65

2. กระบวนการสังเคราะห์

น้ำมันพืชหรือสารชีวมวลที่นิยมนำมาผลิตไบโอดีเซล เช่น ดอกทานตะวัน (Sun flower) ปาล์ม (Palm) ถั่วเหลือง (Soybean) สนูปดำ (Jatropha curcas) เป็นต้น ซึ่งการใช้สารชีวมวลที่ต่างชนิดกัน จะทำให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันด้วยเช่นกัน แสดงสมบัตินี้ดังตารางที่ 4^[8,9]

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบคุณสมบัติ Bio-diesel และน้ำมันพืช^[9]

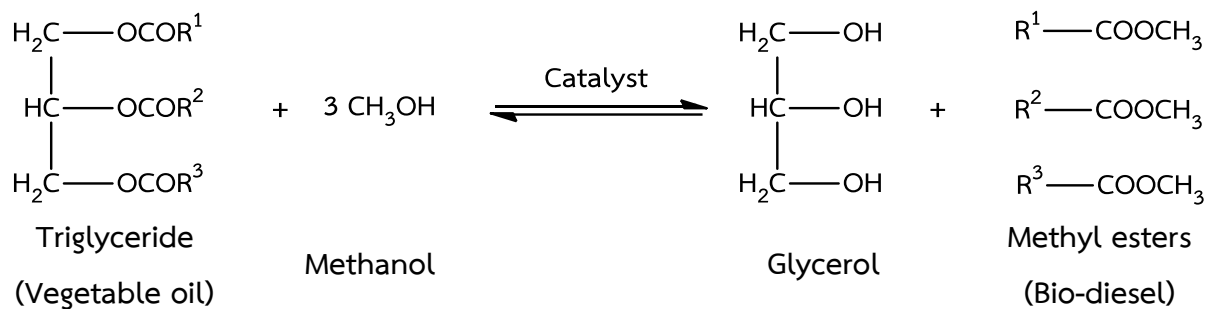
Properties	Bio-diesel (Vegetable oil methyl ester)				
	Peanut	Soybean	Palm	Sunflower	Linseed
Kinematic viscosity at 37.8 °C	4.9	4.5	5.7	4.6	3.59 ^a
Cetane number	54	45	62	49	52
Lower heating value (MJ/l)	33.6	33.5	33.5	33.5	35.3
Cloud point	5	1	13	1	-

Properties	Bio-diesel (Vegetable oil methyl ester)				
	Peanut	Soybean	Palm	Sunflower	Linseed
Pour point	-	-7	-	-	-15
Flash point	176	178	164	183	172
Density (g/ml)	0.883	0.885	0.88	0.86	0.874
Carbon residue (wt%)	-	1.74	-	-	1.83

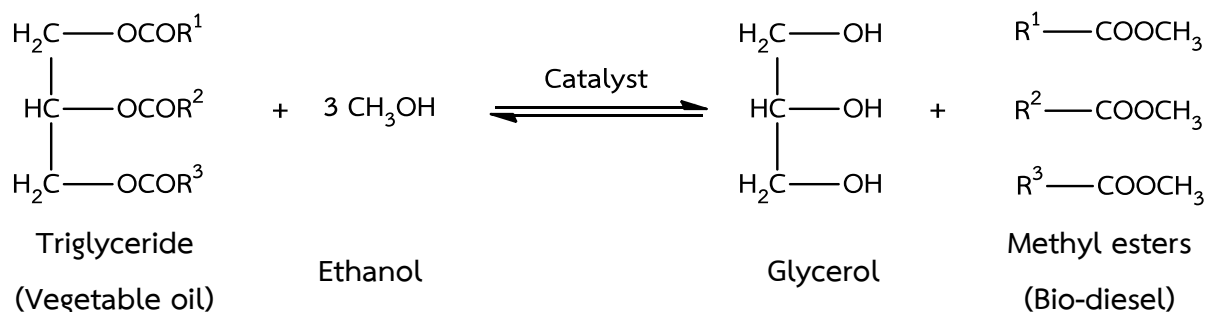
^a At 40 °C

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification)

การสังเคราะห์ไบโอดีเซลเกิดจากการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ โดยใช้กรด เบส หรือเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide : NaOH) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide : KOH) เป็นต้น ซึ่งสามารถใช้แอลกอฮอล์ 2 ประเภทคือ เมทานอลจะได้เมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester) เป็นผลิตภัณฑ์ ดังภาพที่ 2 ในขณะที่หากใช้เอทานอลเป็นสารตั้งต้น จะได้ผลิตภัณฑ์คือ เอทิลเอสเทอร์ (Ethyl ester) ดังภาพที่ 3 โดยทั้งสองกระบวนการนี้จะได้ผลิตภัณฑ์ร่วมคือกลีเซอรอล (Glycerol) ^[10,11]

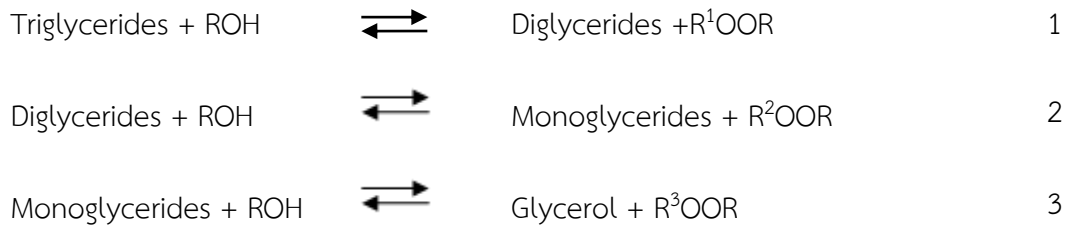


ภาพที่ 2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเมื่อใช้เมทานอล ^[3]



ภาพที่ 3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเมื่อใช้เอทานอล ^{modify by [3]}

กระบวนการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันทั้งสองกระบวนการดังกล่าวข้างต้น จะประกอบด้วย ขั้นตอนย่อย 3 ขั้นตอน แสดงดังสมการที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ โดยขั้นตอนแรกเป็นการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ให้เป็นไดกลีเซอไรด์ ต่อมาไดกลีเซอไรด์จะทำปฏิกิริยากับเมทานอลเกิดเป็นโมโนกลีเซอไรด์ และในขั้นตอนสุดท้ายโมโนกลีเซอไรด์ทำปฏิกิริยากับเมทานอลเกิดเป็นเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลและไดกลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์ร่วม ^[12]



ปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำมันผสมกับแอลกอฮอล์ซึ่งต้องขึ้นกับเวลา อุณหภูมิและการกวน เนื่องจากแอลกอฮอล์และน้ำมันไม่เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง โดยปกติปฏิกิริยาทางเคมีจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงและภายใต้สภาวะการกวนอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มการถ่ายเทมวลระหว่างขั้นตอน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเมทานอลกับเอทานอล เมื่อใช้เมทานอลการเกิดอิมัลชันจะเกิดขึ้นระหว่างการทำปฏิกิริยาได้ง่ายและไม่เสถียรเร็วกว่าเอทานอล อย่างไรก็ตาม การใช้เอทานอลจะมีข้อดีในด้านความเสถียรของการเกิดอิมัลชัน แต่การแยกและการทำให้ไบโอดีเซลบริสุทธิ์สามารถทำได้ยาก

การสังเคราะห์เมทิลเอสเทอร์จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสามารถสังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน โดยจะได้ผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และเนื่องจากเมทานอลมีจุดเดือดประมาณ 68 °C ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ที่ความดันบรรยากาศ จะอยู่ในช่วงระหว่าง 50-60 °C ดังนั้นการผลิตไบโอดีเซลจะต้องคำนึงถึงขั้นตอนการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อให้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยสามารถควบคุมปริมาณไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ไม่ให้หลงเหลือในไบโอดีเซลมากเกินไปตามมาตรฐานกำหนด อีกทั้งต้องกำจัดสารเร่งปฏิกิริยา แยกแอลกอฮอล์และกลีเซอรินที่เหลืออยู่ออกได้หมด เพื่อให้ได้ไบโอดีเซลที่มีคุณภาพตามมาตรฐานกำหนด สามารถจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้พร้อมทั้งได้ผลผลิตสูงสุดและเกิดการสูญเสียน้อยที่สุด ทำให้ต้นทุนในการผลิตต่ำ สามารถแข่งขันในด้านราคาในตลาดได้ ^[13,14]

3. บริษัทผู้ผลิตและจัดจำหน่าย

3.1 บริษัทผู้ผลิต Bio-diesel

3.1.1 ภายในประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 รายชื่อบริษัทผู้ผลิต Bio-diesel ภายในประเทศไทย ^[15]

บริษัทผู้ผลิต	ที่อยู่	เบอร์โทร	ประเทศ	Website
บริษัท เพียวไบโอดีเซล จำกัด	7/4 ถ. ปกรณสงเคราะห์ ราษฎร์ ต. มาบตาพุด อ. เมืองระยอง จ. ระยอง	038- 693223	ไทย	www.purebiodies el.co.th
บริษัท น้ำมันพืชปทุม จำกัด	29/3 หมู่ 6 ถ. ปทุมธานี- ลาดหลุมแก้ว ต. คูบาง หลวง อ. ลาดหลุมแก้ว จ. ปทุมธานี	02- 5812348	ไทย	http://www.patu moil.co.th/
บริษัท เอไอ เอ็นเนอร์จี จำกัด	55/2 หมู่ 8 ถ. เศรษฐกิจ 1 ต. คลองมะเดื่อ อ. กระทุ่มแบน จ. สมุทรสาคร	034- 877485	ไทย	www.aienergy.co. th
บริษัท วีระสุวรรณ จำกัด	53/6 หมู่ 5 ถ. เศรษฐกิจ ต. นาดี อ. เมือง จ. สมุทรสาคร	034- 425163	ไทย	www.verasuwan. com
บริษัท บางจาก ปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)	210 หมู่ 1 ซอยสุขุมวิท 64 ถนนสุขุมวิท แขวงบาง จาก เขตพระโขนง กรุงเทพฯ	02- 1408999	ไทย	https://www.ban gchak.co.th/
บริษัท ไปโอเอ็นเนอร์ยี พลัส จำกัด	344 หมู่ 2 ถ. อุดม สรยุทธ ต. คลองจิก อ. บางปะอิน จ. พระนครศรีอยุธยา	035- 258895	ไทย	-
บริษัท พลังงานบริสุทธิ์ จำกัด	507 หมู่ 9 ถ. กบินทร์บุรี- นครราชสีมา ต. หนองกี่ อ. กบินทร์บุรี จ. ปราจีนบุรี	-	ไทย	http://www.energ yabsolute.co.th/i ndex.asp
บริษัท ไทยโอลีโอเคมี จำกัด (บริษัท โกลบอล กรีนเคมีคอล จำกัด (มหาชน))	8 ซอย จี 12 ถ. ปกรณสง เคราะห์ราษฎร์ ต. มาบตา พุด อ. เมืองระยอง จ. ระยอง	038- 687 872	ไทย	http://www.gscpl c.com/th/about# who-we-are

บริษัทผู้ผลิต	ที่อยู่	เบอร์โทร	ประเทศ	Website
บริษัท บี.กริม กรีน เพาเวอร์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด	217 หมู่ 15 ต.ทาแซะ อ. ทาแซะ จ. ชุมพร	077 599 026	ไทย	http://www.bgrimmpower.com/th
บริษัท บางจากไบโอฟู เอล จำกัด	28 หมู่ 9 ต. บางกระสั้น อ. บางปะอิน จ. พระนครศรีอยุธยา	035 276 500	ไทย	http://www.bangchakbiofuel.co.th
บริษัท ไบโอดีเซลเนอรัจี้ จำกัด	150 ต.โคกกรวด อ.เมือง จ.นครราชสีมา	089- 4222750	ไทย	-

3.1.2 ต่างประเทศ แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 รายชื่อบริษัทผู้ผลิต Bio-diesel ในต่างประเทศ [16,17,18]

Manufactures	Address	Contact	Country	Website
Agrar Technik GmbH	Sohraer Str. 8, 09627 Bobritzsch-Hilbersdorf,	+49 37325 6453	Germany	http://www.agrartechnik-im-einsatz.de/de/index.php
Oiltek Sdn. Bhd.	Lot 6, Jalan Pasaran 23/5, Section 23, 40300 Shah Alam, Selangor Darul Ehsan	603-5542 8288	Malaysia	http://www.oiltek.com.my/
Golden Hope Plantations Bhd.	Menara Pnb, 10, 50400, 201-A, Jalan Tun Razak, Kuala Lumpur, 50450 Kuala Lumpur, Federal Territory of Kuala Lumpur	60 3 2161 9022	Malaysia	-
CREMER OLEO GmbH & Co. KG	Glockengiesserwall 320095 Hamburg, Germany	+49 40 3 20 11-0	Germany	http://www.cremeroleo.com/

Manufactures	Address	Contact	Country	Website
Biofutures International	Academy House London Road Camberley Surrey London, GU15 3HL	44 20 7776	UK	www.biofuelsdigest.com
Biodiesel Producer Ltd.	158 Plemings Road Barnawartha, VIC 3688	-	Australia	http://www.biodieselproducers.com.au
Smorgon Fuels Pty Ltd	9-11 Maria St, Laverton North VIC 3026	61-3- 83600606	Australia	smorgonfuels.lookchem.com

3.2 บริษัทผู้จัดจำหน่าย Bio-diesel

3.2.1 ภายในประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 รายชื่อบริษัทผู้จำหน่าย Bio-diesel ภายในประเทศไทย ^[19]

บริษัทผู้จำหน่าย	ที่อยู่	เบอร์โทร	ประเทศ	Website
บริษัท เพียวไบโอดีเซล จำกัด	7/4 ถ. ปกรณสงเคราะห์ ราษฎร์ ต. มาบตาพุด อ. เมืองระยอง จ. ระยอง	038- 693223	ไทย	www.purebiodiesel.co.th
บริษัท น้ำมันพืชปทุม จำกัด	29/3 หมู่ 6 ถ. ปทุมธานี- ลาดหลุมแก้ว ต. คูบาง หลวง อ. ลาดหลุมแก้ว จ. ปทุมธานี	02- 5812348	ไทย	http://www.patmoil.co.th/
บริษัท เอไอ เอ็นเนอร์จี จำกัด	55/2 หมู่ 8 ถ. เศรษฐกิจ 1 ต. คลองมะเดื่อ อ. กระทุ่มแบน จ. สมุทรสาคร	034- 877485	ไทย	www.aienergy.co.th
บริษัท วีระสุวรรณ จำกัด	53/6 หมู่ 5 ถ. เศรษฐกิจ ต. นาดี อ. เมือง จ. สมุทรสาคร	034- 425163	ไทย	www.verasuwan.com

บริษัทผู้จำหน่าย	ที่อยู่	เบอร์โทร	ประเทศ	Website
บริษัท บางจาก ปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)	210 หมู่ 1 ซอยสุขุมวิท 64 ถนนสุขุมวิท แขวงบาง จาก เขตพระโขนง กรุงเทพฯ	02- 1408999	ไทย	<a href="https://www.ban
gchak.co.th/">https://www.ban gchak.co.th/
บริษัท บางจากไบโอฟู เอล จำกัด	28 หมู่ 9 ต. บางกระสัน อ. บางปะอิน จ. พระนครศรีอยุธยา	035- 276500	ไทย	<a href="http://www.bang
chakbiofuel.co.th">http://www.bang chakbiofuel.co.th
บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)	555 ถ. วิภาวดีรังสิต แขวง จตุจักร เขตจตุจักร กรุงเทพฯ	02- 5372000	ไทย	<a href="http://www.pttpl
c.com">http://www.pttpl c.com
บริษัท เชลลแห่งประเทศไทย จำกัด	10 ถ. สุนทรโกษา แขวง คลองเตย เขตคลองเตย กรุงเทพฯ	02- 2626000	ไทย	<a href="http://www.shell.
co.th">http://www.shell. co.th
บริษัท เชฟรอน (ไทย) จำกัด	1404 ถ. พระราม 3 แขวง ช่องนนทรี เขตยานนาวา กรุงเทพฯ	02- 6964000	ไทย	<a href="http://www.chevronthai
land.com">www.chevronthai land.com
บริษัท ปิโตรนาส รีเทล (ประเทศไทย) จำกัด	91 อาคารซีทีไอทาวเวอร์ ชั้น 21 ถ. รัชดาภิเษก แขวงคลองเตย เขต คลองเตย กรุงเทพฯ	02- 6635881-5	ไทย	<a href="http://www.pli-
petronas.com">www.pli- petronas.com
บริษัท บี.กริม กรีน เพาเวอร์ คอร์ปอเรชัน จำกัด	217 หมู่ 15 ต.ทาแซะ อ. ทาแซะ จ. ชุมพร	077- 599026	ไทย	<a href="http://www.bgrim
mpower.com/th">http://www.bgrim mpower.com/th
บริษัท ไบโอดีเซลเนอรั ยีพลัส จำกัด	344 หมู่ 2 ถ. อุดม สรยุทธ ต. คลองจิก อ. บางปะอิน จ. พระนครศรีอยุธยา	035- 258895	ไทย	-
บริษัท พลังงานบริสุทธิ์ จำกัด	507 หมู่ 9 ถ. กบินทร์บุรี- นครราชสีมา ต. หนองกี่ อ. กบินทร์บุรี จ. ปราจีนบุรี	02- 2482488	ไทย	<a href="http://www.energ
yabsolute.co.th/i
ndex.asp">http://www.energ yabsolute.co.th/i ndex.asp

บริษัทผู้จำหน่าย	ที่อยู่	เบอร์โทร	ประเทศ	Website
บริษัท ไทยโอลิโอเคมี จำกัด	8 ซอย จี 12 ถ. ปกรณสงเคราะห์ราษฎร์. มาบตาพุด อ. เมืองระยอง จ. ระยอง	038 687 872	ไทย	http://www.ggcplc.com/th/about#who-we-are

3.2.2 ต่างประเทศ แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 รายชื่อบริษัทผู้จำหน่าย Bio-diesel ในต่างประเทศ

Manufactures	Address	Contact	Country	Website
Oiltek Sdn. Bhd.	Lot 6, Jalan Pasaran 23/5, Section 23, 40300 Shah Alam, Selangor Darul Ehsan	603-5542 8288	Malaysia	http://www.oiltek.com.my/
Golden Hope Plantations Bhd.	Menara Pnb, 10, 50400, 201-A, Jalan Tun Razak, Kuala Lumpur, 50450 Kuala Lumpur, Federal Territory of Kuala Lumpur	60 3 2161 9022	Malaysia	http://www.goldehope.com.my/
Biofutures International	Academy House London Road Camberley Surrey London, GU15 3HL	44 20 7776	UK	www.biofuelsdigest.com
Biodiesel Production	158 Plemings Road Barnawartha, VIC 3688	-	Australia	http://www.biodieselproducers.com.au
CREMER OLEO GmbH & Co. KG	Glockengiesserwall 320095 Hamburg	+49-40-3 2011-0	Germany	http://www.cremeroleo.com/
Smorgon Fuels Pty Ltd.	9-11 Maria St, Laverton North VIC 3026	61-3- 83600606	Australia	smorgonfuels.loomchem.com

Manufactures	Address	Contact	Country	Website
Agrar Technik GmbH	Sohraer Str. 8, 09627 Bobritzsch-Hilbersdorf,	+49 37325 6453	Germany	http://www.agrartechnik-im-einsatz.de/de/index.php

4. การนำไปประยุกต์ใช้ Bio-diesel ในอุตสาหกรรม

น้ำมันปาล์มที่ได้จากเนื้อของปาล์ม (CPO) หรือน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล นำไปผ่านเข้าสู่กระบวนการแยกสิ่งเจือปนออกจากน้ำมันพืช น้ำมันพืชที่ได้จะถูกนำไปผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เพื่อผลิตเป็นเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรอล จากนั้นจึงจะทำการแยกเมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรอลออกจากกัน ก่อนจะนำเมทิลเอสเทอร์ไปทำให้บริสุทธิ์ โดยผ่านกระบวนการแยกสิ่งเจือปนออกสำหรับนำไปผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซลสำหรับรถยนต์ สารเมทิลเอสเทอร์อาจนำไปผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจน (hydrogenation) เพื่อผลิตเป็นกรดไขมันชนิดแอลกอฮอล์ (fatty alcohol) และได้กลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ ก่อนเข้าสู่กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ ต่อไป [20]

4.1 ใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงหรือน้ำมันทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซล

ประเทศที่ผลิตไบโอดีเซลในแบบอุตสาหกรรมและใช้กันมาก ได้แก่ เยอรมนี ออสเตรีย ฝรั่งเศส อิตาลี สวีเดนและสหรัฐอเมริกา โดยทั่วไปการใช้ไบโอดีเซลในต่างประเทศ จะนำไปผสมเป็นสูตรต่างๆ ดังนี้

- B2 (ไบโอดีเซล 2 % : ดีเซล 98 %) มีจำหน่ายในมลรัฐมินนิโซตา ประเทศสหรัฐอเมริกา
- B5 (ไบโอดีเซล 5% : ดีเซล 95 %) มีจำหน่ายทั่วไปในประเทศฝรั่งเศส
- B20 (ไบโอดีเซล 20% : ดีเซล 80%) เป็นน้ำมันผสมที่ใช้เฉพาะกลุ่มรถยนต์ ไม่ได้มีการจำหน่ายให้แก่ผู้บริโภคเป็นการทั่วไป คณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติและสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา แนะนำให้ใช้ตามกฎหมายยานยนต์เชื้อเพลิงทดแทนของประเทศ

- B40 (ไบโอดีเซล 40 % : ดีเซล 60%) เป็นสูตรที่ใช้ในรถยนต์ขนส่งมวลชนในประเทศฝรั่งเศส เพื่อผลในการลดมลพิษ

- B100 (ไบโอดีเซล 100 %) เป็นน้ำมันไบโอดีเซล 100 เปอร์เซ็นต์ ใช้กับรถยนต์ที่ผลิตมาโดยเฉพาะ มีใช้ในประเทศเยอรมนีและออสเตรีย โดยได้รับการรับรองจากบริษัทผู้ผลิตรถยนต์รายใหญ่ของประเทศ

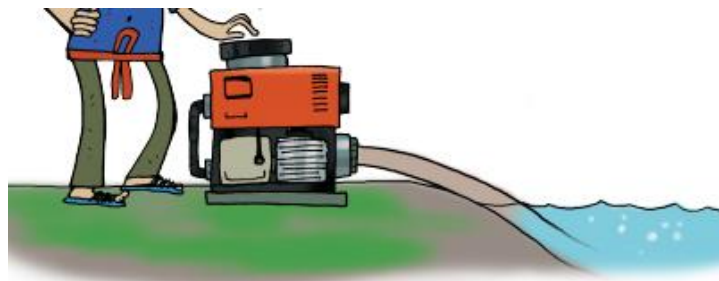
สำหรับประเทศไทยมีการนำไบโอดีเซลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ 2 ลักษณะ คือ (1) น้ำมันดีเซลหมุนเร็วธรรมดา มีไบโอดีเซลผสมอยู่ในน้ำมันดีเซล 2.5-3 % โดยปริมาตร และ (2) น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว B5 มีไบโอดีเซลผสมอยู่ในน้ำมันดีเซล 4-5 % โดยปริมาตร น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว B5 จะมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานเดียวกันกับน้ำมันดีเซลที่ผลิตจากปิโตรเลียม แต่จะเพิ่มคุณภาพในข้อกำหนดเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปัจจุบันผู้ประกอบการรถยนต์ยอมรับการใช้ น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว B5 เพื่อใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทน

น้ำมันดีเซลในรถยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ ซึ่งในต่างประเทศโดยเฉพาะประเทศแถบยุโรป มีการจำหน่ายน้ำมันดีเซล B5 ใช้เชิงพาณิชย์กันอย่างแพร่หลาย



ภาพที่ 4 รถยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว B5 [20]

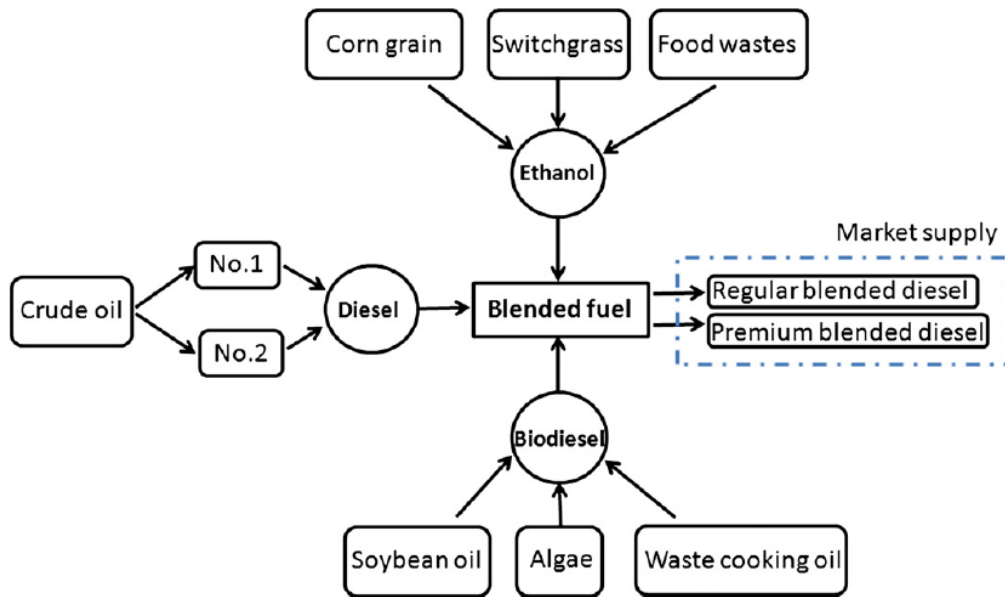
ส่วนกรณีการนำไบโอดีเซล B100 มาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง ต้องใช้กับรถยนต์ที่ผลิตมาเพื่อใช้กับน้ำมัน B100 เท่านั้น B100 ซึ่งเหมาะกับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำหรือพวกเครื่องจักรกลการเกษตร เนื่องจากไบโอดีเซลมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซลทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับระบบการป้อนน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้ หัวฉีด และปั๊ม น้ำมัน ทำให้การฉีดน้ำมันเป็นฝอยยากและเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ สมรรถนะของเครื่องยนต์ต่ำลง นอกจากนี้ ไบโอดีเซลยังทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดเป็นยางเหนียวเกาะอยู่ตามลูกสูบ แหวนและวาล์วได้ง่ายกว่าน้ำมันดีเซล และยังทำปฏิกิริยากับชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่เป็นยางทำให้เกิดการบวมและร้าวซึมได้ ผู้ประกอบรถยนต์จึงยังไม่ยอมรับการใช้ น้ำมัน B100 กับรถยนต์ทั่วไป



ภาพที่ 5 เครื่องจักรกลการเกษตร [20]

4.2 ใช้เป็นสารตั้งต้นร่วมกับสารอื่นๆ สำหรับปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมัน

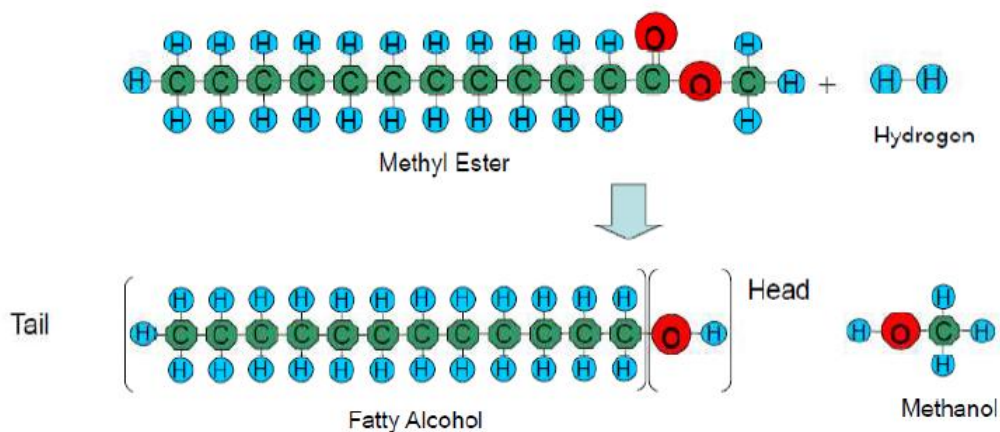
เป็นที่รู้จักกันดีว่า ไบโอดีเซลสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กได้แล้ว ยังสามารถประยุกต์ใช้ในเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ อย่างรถบรรทุกได้ด้วย โดยจะต้องมีการปรับปรุงและพัฒนาคุณสมบัติบางประการ ให้มีความเหมาะสมกับเครื่องยนต์ โดยงานวิจัยของ J. Lin และคณะ ได้ผสมเชื้อเพลิง 3 ชนิดคือ ดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอลเข้าด้วยกัน ดังภาพที่ 6 เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลให้ดียิ่งขึ้นและตอบสนองความต้องการด้านน้ำมันในตลาดโลก [21]



ภาพที่ 6 แผนผังการผลิตน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอล

4.3 การนำผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลไปใช้งาน ^[19]

4.2.1 แพตตีแอลกอฮอล์ (Fatty Alcohol) คือ สารสังเคราะห์ที่ได้จากการนำเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้จากการนำน้ำมันในเมล็ดปาล์มหรือน้ำมันมะพร้าวมาผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation) แพตตีแอลกอฮอล์เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์ เพื่อสุขอนามัยส่วนบุคคล เช่น สบู่ เครื่องสำอาง ยาสีฟัน และการผลิตสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เพื่อใช้ในการซักล้างและทำความสะอาด ซึ่งสามารถสร้างรายได้และมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจให้ประเทศอย่างมาก และลดการนำเข้าพัตตีแอลกอฮอล์จากต่างประเทศ



ภาพที่ 7 โครงสร้างและปฏิกิริยาของ Fatty Alcohol จาก Methyl Ester ^[19]

4.2.2 กลีเซอรอล (Glycerol)

การเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันจะได้กลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ ประมาณ 10% ซึ่งส่วนใหญ่แล้วนิยมนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสบู่เป็นหลัก แต่อย่างไรก็ตามกลีเซอรอลหรือกลีเซอริน สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้ เช่น ใช้เป็นสารเติมแต่งในการผลิตสบู่เพื่อปรับปรุงสมบัติ ใช้ในการผลิตไนโตรกลีเซอรินเพื่อผลิตวัตถุระเบิด ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ใช้ในการผลิตหมักพิมพ์และสารหล่อลื่นของแม่พิมพ์ เป็นต้น และเนื่องจากกลีเซอรินมีคุณสมบัติเด่นคือเป็นสารให้ความชุ่มชื้นและทำให้ผิวนุ่ม จึงถูกใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อุตสาหกรรมเภสัชกรรม สำหรับการผลิตครีมและโลชั่น ได้อีกด้วย ^[1,22]

5. ความรู้และข่าวสารใหม่ๆ

ในระยะ 1-3 ปีข้างหน้า ภาพรวมตลาดไบโอดีเซลจะเติบโตต่อเนื่อง ตามความต้องการใช้น้ำมันดีเซลที่เพิ่มขึ้น โดยมีแรงหนุนจากการขยายตัวของภาคขนส่งและการเพิ่มขึ้นต่อเนื่องของจำนวนรถเครื่องยนต์ดีเซล (คาดขยายตัวเฉลี่ย 5-6% ต่อปี) นโยบายส่งเสริมการผลิตและใช้ไบโอดีเซลเป็นส่วนผสมในน้ำมันดีเซล 7% (B7) ของภาครัฐ และยังมีแผนจะผลักดันการใช้ไบโอดีเซลผสมในน้ำมันเป็น 10% (B10) ในอนาคต รวมทั้งการดำเนินโครงการนำร่องการใช้น้ำมันดีเซลที่มีส่วนผสมไบโอดีเซล 20% (B20) ในรถบรรทุกขนาดใหญ่ คาดว่าการแข่งขันรุนแรงขึ้นจากการขยายการลงทุนและการเข้ามาของผู้ประกอบการรายใหม่ การที่ธุรกิจไบโอดีเซลที่มีทิศทางเติบโตอย่างต่อเนื่องจากการสนับสนุนของภาครัฐในการใช้พลังงานทดแทน กอปรกับเป็นอุตสาหกรรมที่ได้รับการส่งเสริมจาก BOI (อาทิ ยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคลสำหรับกำไรสุทธิที่ได้จากการประกอบกิจการเป็นเวลา 8 ปี ยกเว้นภาษีนำเข้าเครื่องจักร เป็นต้น) อาจจูงใจให้ผู้ประกอบการทั้งรายเดิมในตลาดขยายกำลังการผลิตและผู้ประกอบการรายใหม่ อาทิ โรงกลั่นน้ำมัน โรงสกัดน้ำมันปาล์ม ขยายการลงทุนเข้ามาทำธุรกิจผลิตและจำหน่ายไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ จากแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan : AEDP) ที่กำหนดเป้าหมายพื้นที่เพาะปลูกปาล์ม น้ำมันในปี 2560 ไว้ที่ 5 ล้านไร่ และเพิ่มเป็น 5.5 ล้านไร่ในปี 2562 มีผลผลิตปาล์มน้ำมัน 15.40 ล้านตัน และ 16.66 ล้านตัน ตามลำดับ จะทำให้สามารถผลิตน้ำมันปาล์มดิบไม่น้อยกว่า 3 ล้านตัน/ปีและนำมาใช้ผลิตไบโอดีเซลได้สูงสุด 6-7 ล้านลิตร/วัน ในปี 2560-2562 โดยมีการคาดการณ์ว่ากำลังการผลิตไบโอดีเซลจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังตารางที่ 9 แต่อย่างไรก็ตาม การจัดการด้านผลผลิตน้ำมันปาล์มและความสำเร็จของนโยบายพลังงานทดแทนของทางการในการบริหารจัดการสัดส่วนการผสมไบโอดีเซลให้สอดคล้องกับปริมาณการผลิตน้ำมันปาล์มดิบในประเทศ จะมีความสำคัญต่อทิศทางอุตสาหกรรมไบโอดีเซลอย่างมาก เพราะจะมีผลโดยตรงต่อความเพียงพอของวัตถุดิบและยังอาจส่งผลกระทบต่อความผันผวนของต้นทุนวัตถุดิบ อีกทั้งราคาวัตถุดิบปาล์ม น้ำมันที่อาจถูกแทรกแซงราคาจากทางการเพื่อช่วยเหลือเกษตรกร จะยังเป็นความไม่แน่นอนด้านต้นทุนการผลิตของโรงงานไบโอดีเซลในบางช่วงเวลา ^[15]

ตารางที่ 9 การคาดการณ์กำลังการผลิตไบโอดีเซลในอนาคต ^[15]

Palm oil potential	2015	2017	2019	2026
Target of palm planting area (million rai)	4.50	5.00	5.50	7.50
Palm Feedstock (million tons/year)	14.34	15.40	16.66	21.40
Crude Palm Oil (million tons/year)	2.58	2.93	3.17	4.28
Remained Crude Palm Oil (million tons/year)	1.56	1.85	2.03	2.93
Maximum Production of Biodiesel (million litres/day)	5.60	6.50	7.10	10.00

เอกสารอ้างอิง

- [1] Romano, S. D., & Sorichetti, P. A. (2010). Dielectric spectroscopy in biodiesel production and characterization. *Springer Science & Business Media*.
- [2] Knothe, G., Dunn, R. O., & Bagby, M. O. (1997). Biodiesel: the use of vegetable oils and their derivatives as alternative diesel fuels.
- [3] Van, G. J., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D., & Knothe, G. (2004). Biodiesel production technology. *National Renewable Energy Laboratory, NRRL/SR-510-36244*.
- [4] Romano, S. D., González, S. E., & Laborde, M. A. (2006). Biodiesel. In: *Combustibles Alternativos, 2nd edn. Ediciones Cooperativas, Buenos Aires*.
- [5] Fukuda, H., Kondo, A., & Noda, H. (2001). Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *Journal of bioscience and bioengineering, 92(5)*, 405-416.
- [6] T, L. A., & Robert, L. M. C. (2016). Biodiesel Handling and Use Guide (Fifth Edition).
- [7] ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน. (2556). เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน. เล่ม 130 ตอนพิเศษ 158ง.
- [8] Chatterjee, S., & Rokhum, L. (2017). Extraction of a cardanol based liquid bio-fuel from waste natural resource and decarboxylation using a silver-based catalyst. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 72*, 560-564.

- [9] Agarwal, A. K. (2007). Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. *Progress in energy and combustion science*, 33(3), 233-271.
- [10] Meher, L. C., Sagar, D. V., & Naik, S. N. (2006). Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 10(3), 248-268.
- [11] Chakkrapong, C. (2012). Comparison of Biodiesel Production from Palm Oil Using KF/Ca-Al and KF/Sr-Al Catalyst. *Burapha Sci. J.*, 17(2), 22-27
- [12] Murugesan, A., Umarani, C., Chinnusamy, T. R., Krishnan, M., Subramanian, R., & Neduzchezain, N. (2009). Production and analysis of bio-diesel from non-edible oils—a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(4), 825-834.
- [13] Freedman, B. E. H. P., Pryde, E. H., & Mounts, T. L. (1984). Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 61(10), 1638-1643.
- [14] Zhou, W., Konar, S. K., & Boocock, D. G. (2003). Ethyl esters from the single-phase base-catalyzed ethanolysis of vegetable oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80(4), 367-371.
- [15] นรินทร์ ต้นไพบูลย์. (2559). แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2559-61 อุตสาหกรรมไบโอดีเซล. *Krungsri Research*
- [16] บริษัทนิวโไบโอดีเซล [Online]. Available from: <http://www.pk-logistics.com/2.0/th/newbiodiesel.php>
- [17] ยุทธศักดิ์ คณาสวัสดิ์. มาเลเซีย...ยักษ์ใหญ่ของเอเชียด้านไบโอดีเซล. [Online]. Available from: http://www.boi.go.th/thai/download/publication_boi_today/90/boitoday_jul_24_06.pdf
- [18] Bio-fuel database in east asia [Online]. Available from: <http://hoteye.jp/customer/nef/indonesia/index.htm>
- [19] กรมธุรกิจพลังงาน. (2553). เรื่อง การศึกษาดูงานเกี่ยวกับการผลิตและผลผลิตจากไบโอดีเซล. *ประจำปีงบประมาณ 2553*
- [20] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. พลังงาน ปัจจัยสำคัญของชีวิต. [Online] 2550. Available from: http://www.eppo.go.th/images/Information_service/Publication/Book/Biodiesel.pdf
- [21] Lin, J., Gaustad, G., & Trabold, T. A. (2013). Profit and policy implications of

producing biodiesel–ethanol–diesel fuel blends to specification. *Applied energy*, 104, 936-944.

- [22] Biomethanol as a second-generation biofuel for transportation [Online]. Available from: www.biofuels-tech.com