

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีหรือแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

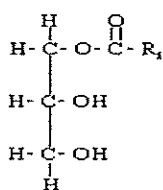
ไบโอดีเซล คือ เชื้อเพลิงที่ผลิตจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่ผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างไขมันให้เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล

2.1 ไขมันและน้ำมัน

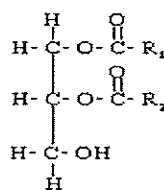
ไขมันและน้ำมันพืชที่พบทั่วไปในพืชและสัตว์เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) 90-98 เปอร์เซ็นต์ที่เหลือจะเป็นไดกลีเซอไรด์ (Diglycerides) โมโนกลีเซอไรด์ (Monoglycerides) กรดไขมันอิสระ (Free fatty acids) ฟอสโฟลิปิด (Phospholipids) ซัลเฟอร์ (Sulphur) โทคอฟีรอล (Tocopherols) ฟอสฟาไทด์ (Phosphatides) คาร์โรทีน (Carotenes) และน้ำอึกเล็กน้อย (Srivastava and Prasad, 2000)

2.1.1 โมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์

โมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์เป็นเอสเทอร์ของกลีเซอรอลกับกรดไขมันหนึ่งและสองโมเลกุล ตามลำดับ และมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเหลืออยู่ แสดงดังรูปที่ 2.1 โดยโมโนกลีเซอไรด์จะมีหมู่ไฮดรอกซิลเหลืออยู่ 2 หมู่ กลีเซอไรด์ทั้งสองชนิดนี้ไม่ค่อยพบในธรรมชาติแต่จะพบในไขมันที่เกิดการไฮโดรไลซิสที่ไม่สมบูรณ์



1-โมโนกลีเซอไรด์

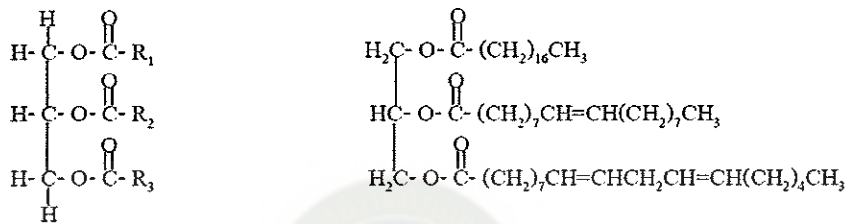


1.2-ไดกลีเซอไรด์

รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของโมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์

2.1.2 ไตรกลีเซอไรด์

ไตรกลีเซอไรด์หรือไตรเอซิลกลีเซอรอลเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน 3 โมเลกุล และกลีเซอรอล 1 โมเลกุล โครงสร้างทั่วไปของไตรกลีเซอไรด์ และตัวอย่าง โครงสร้างโมเลกุลของ ไตรกลีเซอไรด์ แสดงดังรูปที่ 2.2 ในน้ำมันพืชจะมีไตรกลีเซอไรด์ตามธรรมชาติที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง หรือมากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว จึงมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ส่วนไขมันจากสัตว์จะ ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวสูงจะมีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง (Ma and Hanna, 1999)



สูตรทั่วไปไตรกลีเซอไรด์

ตัวอย่างโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์

รูปที่ 2.2 โครงสร้างตัวอย่างโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์

ที่มา : Srivastava and Prasad (2000)

2.1.3 กรดไขมัน (Fatty Acid)

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์ปลายข้างหนึ่งของโมเลกุลเป็นหมู่คาร์บอกซิล ปลายอีกข้างหนึ่งมีลักษณะเป็นสายโซ่ยาวของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ทำให้กรดไขมันไม่ละลายในน้ำ ในธรรมชาติกรดไขมันมีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่และเป็นสายโซ่ยาวที่อิ่มตัวหรือไม่อิ่มตัว กรดไขมันที่พบในพืชและสัตว์จะมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่อยู่ระหว่าง 14-22 อะตอม โดยเฉพาะจำนวนคาร์บอนเท่ากับ 16 และ 18 อะตอม สามารถพบได้มากที่สุด (อาภัสสรา, 2537) โครงสร้างทางเคมีของกรดไขมันทั่วไป แสดงดังตารางที่ 2.1 และองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืชแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ชื่อสามัญ ชื่อตามระบบ IUPAC และสูตรโมเลกุลของกรดไขมัน

ชื่อสามัญ	ชื่อตามระบบ IUPAC	จำนวนคาร์บอน : พันธะคู่	สูตรโมเลกุล
Lauric acid	Dodecanoic acid	12:0	$C_{12}H_{24}O_2$
Myristic acid	Tetradecanoic acid	14:0	$C_{14}H_{28}O_2$
Palmitic acid	Hexadecanoic acid	16:0	$C_{16}H_{32}O_2$
Stearic acid	Octadecanoic acid	18:0	$C_{18}H_{36}O_2$
Arachidic acid	Elcosanoic acid	20:0	$C_{20}H_{40}O_2$
Behenic acid	Docosanoic acid	22:0	$C_{22}H_{44}O_2$
Lignoceric acid	Tetracosanoic acid	24:0	$C_{24}H_{48}O_2$
Oleic acid	<i>cis</i> -9-Octadecenoic acid	18:1	$C_{18}H_{34}O_2$
Linoleic acid	<i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12-Octadecadienoic acid	18:2	$C_{18}H_{32}O_2$
Linolenic acid	<i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12, <i>cis</i> -15-Octadecatrienoic acid	18:3	$C_{18}H_{30}O_2$
Erueic acid	<i>cis</i> -13-Docosenoic acid	22:1	$C_{22}H_{42}O_2$

ที่มา : Srivastava and Prasad (2000)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืช

น้ำมัน	ส่วนประกอบของกรดไขมัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)								
	16:0	18:0	20:0	22:0	24:0	18:1	22:1	18:2	18:3
Corn	12	2	Tr	0	0	25	0	6	Tr
Cottonseed	28	1	0	0	0	13	0	58	0
Crambe	2	1	2	1	1	19	59	9	7
Linseed	5	2	0	0	0	20	0	18	55
Peanut	11	2	1	2	1	48	0	32	1
Rapeseed	3	1	0	0	0	64	0	22	8
Safflower	9	2	0	0	0	12	0	78	0
H.O.Safflower	5	2	Tr	0	0	79	0	13	0
Sesame	13	4	0	0	0	53	0	30	0
Soya bean	12	3	0	0	0	23	0	55	6
Sunflower	6	3	0	0	0	17	0	74	0

หมายเหตุ : Tr = traces

ที่มา : Srivastava and Prasad (2000)

2.2 การนำน้ำมันพืชมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซล

มนุษย์ได้มีการนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลมานานแล้ว โดยสามารถแบ่งการใช้งานได้เป็น 3 ลักษณะคือ ใช้้ำมันพืชโดยตรง (Direct Use) หรือ ใช้ผสมกับน้ำมันดีเซล (Blending) น้ำมันพืชผสมน้ำมันก๊าด (Veggie/Kero Mix) และ ไบโอดีเซล (Biodiesel)

2.2.1 ใช้้ำมันพืชโดยตรงหรือใช้ผสมกับน้ำมันดีเซล (Direct Use or Blending)

เป็นวิธีการนำน้ำมันพืชบริสุทธิ์หรือน้ำมันพืชที่ผ่านการใช้แล้วมาเดินเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งจำเป็นต้องมีถึงน้ำมันดีเซลเพื่อใช้ในการสตาร์ทเครื่องยนต์ และใช้ก่อนหยุดเครื่องยนต์ สิ่งสำคัญของการใช้น้ำมันพืชโดยตรงคือ ต้องมีการอุ่นน้ำมันในทุกจุดที่มีน้ำมันผ่านได้แก่ ถังน้ำมัน ท่อทางเดินน้ำมัน ชุดกรองน้ำมัน ควรทำการอุ่นน้ำมันที่อุณหภูมิเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส การนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรงเป็นวิธีการที่ใช้น้ำมันในราคาที่ถูกกลง โดยเฉพาะการนำน้ำมันพืชซึ่งยังไม่ผ่านกระบวนการกลั่นมาใช้

การที่จะนำมาใช้ได้อย่างเหมาะสมจำเป็นต้องอาศัยความร้อนในการหลอมเหลวไขที่แข็ง และลดความหนืดของน้ำมัน แต่วิธีการนี้อาจส่งผลเสียต่อสภาพเครื่องยนต์เมื่อใช้เป็นเวลานาน

2.2.2 น้ำมันพืชผสมน้ำมันก๊าด (Viggie/Kero Mix)

เป็นการผสมระหว่างน้ำมันพืชกับน้ำมันก๊าด น้ำมันที่ได้จากวิธีการนี้เหมาะกับกรณีจำเป็นต้องการใช้น้ำมันอย่างเร่งด่วนในภูมิภาคเขตร้อน อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำมันก๊าดและน้ำมันพืชจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของพื้นที่ใช้งาน เริ่มที่อัตราส่วนผสมตั้งแต่ น้ำมันพืชร้อยละ 10 น้ำมันก๊าดร้อยละ 90 จนถึงน้ำมันพืชร้อยละ 40 น้ำมันก๊าดร้อยละ 60 สำหรับอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมคือ ที่น้ำมันพืชร้อยละ 20 น้ำมันก๊าดร้อยละ 80 (กระทรวงพลังงาน, 2550) ปัจจุบันมีการนำวิธีดังกล่าวไปใช้งานน้อยลง เนื่องจากราคาของน้ำมันก๊าดค่อนข้างสูง และหากผสมกับปริมาณของน้ำมันก๊าดที่น้อยเกินไป จะส่งผลกระทบต่อเครื่องยนต์จากปัญหาการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันผสม

2.2.3 ไบโอดีเซล (Biodiesel)

วิธีการผลิตไบโอดีเซลโดยทั่วไปคือ การนำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรดหรือเบส จะได้ไบโอดีเซลซึ่งอยู่ในรูปของอัลคิลเอสเทอร์และผลพลอยได้เป็นกลีเซอรอล ไบโอดีเซลที่ได้จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาก สามารถนำไปเติมในเครื่องยนต์ดีเซลได้ทุกชนิดทั้งเดิม โดยตรงและผสมตามสัดส่วน

2.3 การควบคุมคุณภาพไบโอดีเซล

ในปีคริสต์ศักราช 1994 ประเทศเยอรมันได้มีการร่างมาตรฐานไบโอดีเซลเป็นครั้งแรก (DIN V 51606) สำหรับพืชน้ำมัน เพื่อให้ผู้ผลิตรถยนต์ยอมรับการใช้ไบโอดีเซล และในปีคริสต์ศักราช 1997 เยอรมันได้ปรับปรุงร่างมาตรฐานไบโอดีเซลใหม่เป็น DIN E 51606 สำหรับเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Methyl Ester, FAME) เพื่อให้ผู้ผลิตรถยนต์ยอมรับและผู้ใช้เกิดความมั่นใจมากขึ้น ต่อมาผู้ร้องเรียนเกี่ยวกับการใช้ไบโอดีเซลแล้วทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับเครื่องยนต์ เนื่องจากสถานีบริการบางแห่งจำหน่ายไบโอดีเซลคุณภาพต่ำ ทำให้ผู้ใช้ไบโอดีเซลขาดความเชื่อถือ ต่อมาปีคริสต์ศักราช 1999 ผู้ผลิตและผู้จำหน่ายไบโอดีเซลจึงได้ก่อตั้งกลุ่มปฏิบัติการควบคุมคุณภาพไบโอดีเซล (Working Group on Quality Management Biodiesel) "Arbeitsgemeinschaft Qualitäts Management Biodiesel e.V." (AGQM) เพื่อตรวจติดตามผู้ผลิตและผู้จำหน่ายไบโอดีเซลให้มีคุณภาพดีสม่ำเสมอ โดยมีฝ่ายสัญลักษณ์ติดตามสถานีบริการ เพื่อแสดงให้ผู้ใช้เกิดความมั่นใจในคุณภาพไบโอดีเซล และสำหรับการค้าในกลุ่มประชาคมยุโรปมีมาตรฐานไบโอดีเซล (DIN EN 14214) ขึ้นในปีคริสต์ศักราช 2002 (กรมธุรกิจพลังงาน, 2547) โดยข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันแสดงดังตารางที่ 2.3 และข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ	
1	เมทิลเอสเทอร์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่น้อยกว่า 96.5 ไม่น้อยกว่า 860	EN14103
2	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °C	กิโลกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร	และ ไม่สูงกว่า 900 ไม่น้อยกว่า 3.5	ASTM D 1298
3	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C	เซนติสโตกส์	และ ไม่สูงกว่า 5.0	ASTM D 445
4	จุดวาบไฟ	องศาเซลเซียส	ไม่น้อยกว่า 120	ASTM D 93
5	กำมะถัน	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.0010	ASTM D 2622
6	กากดำ (ร้อยละ 10 ของ กากที่เหลือจากการ กลั่น)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.3	ASTM D 4530
7	จำนวนซีเทน		ไม่น้อยกว่า 51	ASTM D 613
8	เถ้าซัลเฟต	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.02	ASTM D 874
9	น้ำ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.05	ASTM D2709
10	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.0024	ASTM D 5452
11	การกัดกร่อนแผ่น ทองแดง		ไม่สูงกว่า หมายเลข 1	ASTM D 130
12	เกิดปฏิกิริยา ออกซิ เดชัน ณ อุณหภูมิ 110 °C	ชั่วโมง	ไม่น้อยกว่า 6	EN 14112

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ ^a	
13	ค่าความเป็นกรด	mg KOH / g	ไม่สูงกว่า 0.05	ASTM D 664
14	ค่าไอโอดีน	g Iodine / 100 g	ไม่สูงกว่า 120	EN 14111
15	กรดลิโนเลนิกเมทิล เอสเทอร์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 12.0	EN 14103
16	เมทานอล	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14110
17	โมนอกลิเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.80	EN 14105
18	ไดกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 141105
19	ไตรกลีเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 141105
20	กลีเซอรินอิสระ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.20	EN 141105
21	กลีเซอรินทั้งหมด	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.25	EN 141105
22	โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมโพแทสเซียม)	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	ไม่สูงกว่า 5.0	EN 141105 และ EN 141109
	โลหะกลุ่ม 2 (โซเดียมโพแทสเซียม)	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	ไม่สูงกว่า 5.0	EN 14538
23	ฟอสฟอรัส	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า 0.0010	ASTM D 4951
24	สารเติมแต่ง (ถ้ามี)		ให้เป็นไปตามที่ได้รับเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจ พลังงาน	

หมายเหตุ :^a วิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นที่เทียบเท่าก็ได้ แต่ในกรณีที่มีข้อโต้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดใน
รายละเอียดแนบท้ายประกาศนี้

ที่มา : กรมธุรกิจพลังงาน (2550)

ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร
(ไบโอดีเซลชุมชน)

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	วิธีทดสอบ ^a		
1	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °C	กิโลกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร	ไม่ต่ำกว่าและ ไม่สูงกว่า	860 900	ASTM D 1298
2	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C	เซนติสโตกส์	ไม่ต่ำกว่าและ ไม่สูงกว่า	1.9 8.0	ASTM D 445
3	จุดวาบไฟ	องศาเซลเซียส	ไม่ต่ำกว่า	120	ASTM D 93
4	กำมะถัน	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.0015	ASTM D 2622
5	จำนวนซีเทน	-	ไม่ต่ำกว่า	47	ASTM D 613
6	น้ำและตะกอน	ร้อยละโดยปริมาตร	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 2709
7	การกัดกร่อนแผ่น ทองแดง	-	ไม่สูงกว่า	หมายเลข 3	ASTM D 130
8	เสถียรภาพต่อการ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 °C	ชั่วโมง	ไม่ต่ำกว่า	6	EN 14112
9	ค่าความเป็นกรด	mg KOH / g	ไม่สูงกว่า	0.80	ASTM D 664
10	กลีเซอรินอิสระ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 6584
11	กลีเซอรินทั้งหมด	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	1.5	EN 6584
12	สี	-		ม่วง ^b	ตรวจพิจารณาด้วย สายตา
13	สารเติมแต่ง (ถ้ามี)	-		ให้เป็นไปตามที่ได้รับเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจ พลังงาน	

หมายเหตุ ^aวิธีทดสอบอาจใช้วิธีอื่นที่เทียบเท่าก็ได้ แต่ในกรณีที่มิใช่ข้อได้แย้งให้ใช้วิธีที่กำหนดในรายละเอียด
ตั้งท้ายประกาศนี้

^bใช้สารประกอบประเภท 1,4-dialkylamino anthraquinone
และ alkyl derivatives of azobenzene – 4 –azo-2-naphthol

ที่มา : กรมธุรกิจพลังงาน (2549)

สารตั้งต้นและไบโอดีเซลที่ผลิตได้เป็นสารจากธรรมชาติและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยไม่เป็นพิษ ส่วนการใช้สารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซลที่ต่างกันจะส่งผลถึงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีต่างกันด้วย โดยคุณสมบัติของน้ำมันต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของน้ำมันต่าง ๆ

น้ำมันพืช	ความหนืด (mm / s)	ดัชนี ซีเทน	จุด หมอก ควัน ($^{\circ}$ C)	จุดไหลเท ($^{\circ}$ C)	จุดวาบไฟ ($^{\circ}$ C)	ความ หนาแน่น (Kg/L)	ค่าความ ร้อน (MJ/Kg)
เมล็ดถั่วลิสง	4.9 (37.8 $^{\circ}$ C)	54	5	-	176	0.883	33.6
เมล็ดถั่วเหลือง	4.5 (37.8 $^{\circ}$ C)	45	1	-	178	0.885	33.5
เมล็ดบาบาสสุ (Babassu)	3.6 (37.8 $^{\circ}$ C)	63	4	-	127	0.875	31.8
ปาล์ม	5.7 (40 $^{\circ}$ C)	62	13	-	164	0.880	33.5
เมล็ดทานตะวัน	4.6 (37.8 $^{\circ}$ C)	49	1	-	183	0.860	33.5
ไขวัว	-	-	12	9	96	-	-
ดีเซล	3.06 (40 $^{\circ}$ C)	50	-	16	76	0.855	43.8
ไบโอดีเซลผสม ร้อยละ 20	3.2 (40 $^{\circ}$ C)	51	-	16	128	0.859	43.2

ที่มา : Fukuda et al. (2001)

2.3 น้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้ว

เนื่องจากต้นทุนการผลิตจะขึ้นอยู่กับราคาของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ซึ่งที่ผ่านมานิยมใช้น้ำมันพืชใหม่ (Fresh Vegetable Oil) มาผลิตเป็นไบโอดีเซล ในแง่ของร้อยละของผลได้ (Yield) นั้นค่อนข้างดี แต่ราคาของน้ำมันพืชก็ยังคงสูงอยู่ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซล การนำน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วมาเป็นวัตถุดิบจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากมีราคาถูกมากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพืชใหม่ นอกจากนี้ยังมีปริมาณมาก หาได้จากร้านอาหาร หรือตามบ้านเรือนต่างๆ ทั้งยังช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ที่เกิดขึ้นจากการทิ้งน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วลงในแหล่งน้ำอีกด้วย ซึ่งที่ผ่านมามีเพียงการนำน้ำมันเหล่านี้ไปผสมกับอาหารสัตว์เท่านั้น ทำให้เหลือทิ้งอีกเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการนำน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลจะทำให้เกิดประโยชน์คุ้มค่าทั้งในแง่ของเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม

2.3.1 ปริมาณน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้ว

จากการสำรวจปริมาณการใช้ไขมันพืชในอุตสาหกรรมอาหารในประเทศไทย ซึ่งเป็นงานวิจัยของพุทธรชาด และคณะ (2546) แสดงดังตารางที่ 2.6 พบว่าจากกระบวนการผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรม และฟาสต์ฟู้ดทั้งประเทศมีการใช้น้ำมัน 83.15 ล้านลิตรต่อปี และน้ำมันเหลือใช้ถึง 16.49 ล้านลิตร คิดเป็นร้อยละ 67 ของปริมาณที่เหลือทั้งประเทศ

Supple et al. (2002) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้ว โดยแบ่งน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเป็น 2 ลักษณะคือ ถ้ามีปริมาณของกรดไขมันอิสระน้อยกว่าร้อยละ 15 จะเรียกว่า เหลลโล่กรีต (Yellow Grease) และถ้ามีปริมาณของกรดไขมันอิสระมากกว่าร้อยละ 15 จะเรียกว่า บราวน์กรีต (Brown Grease) สำหรับลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วจะแตกต่างกัน น้ำมันที่ยังไม่ผ่านความร้อน ดังนั้นจึงต้องศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะเหล่านี้และวิธีการปรับปรุงคุณภาพก่อนที่จะนำไปผลิตเป็นไบโอดีเซล

ตารางที่ 2.6 ปริมาณน้ำมันพืชที่ใช้และปริมาณน้ำมันพืชที่เหลือจากกระบวนการผลิต

ภาค/จังหวัด	จำนวน โรงงาน	น้ำมันพืชที่ใช้		น้ำมันพืชที่เหลือ	
		ลิตร/ปี	ร้อยละ	ลิตร/ปี	ร้อยละ
กรุงเทพมหานคร	464	16,558,267	20	5,310,276	32
ปริมณฑล	137	29,404,612	35	5,778,219	35
ภาคกลาง	47	4,923,024.7	6	1,349,320	8
ภาคตะวันออก	49	22,588,212	27	2,090,434	13
ตะวันออกเฉียงเหนือ	78	1,671,611	2	576,257	3
ภาคใต้	75	3,737,029	5	876,120	5
ภาคเหนือ	55	4,265,067	5	510,050	8
รวม	905	83,147,825	100	16,490,676	100

ที่มา : พุทธรชาด และคณะ (2546)

2.3.2 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้ว

เนื่องจากการใช้น้ำมันพืชมาประกอบอาหารและใช้ความร้อนที่ต่างกันย่อมส่งผลถึงลักษณะทั้งทางกายและเคมีของน้ำมัน ซึ่งส่วนใหญ่กรรมวิธีในการประกอบอาหารด้วยน้ำมันก็คือ การทอด โดยใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 160-200 องศาเซลเซียส และใช้เวลาการทอดช่วงหนึ่ง จากการศึกษาพบว่าลักษณะทางกายภาพของน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วเปลี่ยนไปคือ ความหนืดเพิ่มขึ้น ความจุความร้อนจำเพาะเพิ่มขึ้น และมีการเปลี่ยนสีของน้ำมันที่เข้มข้น น้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วจะมีลักษณะทางเคมีที่เปลี่ยนไปเนื่องจากความร้อน ซึ่งก่อให้เกิด Degraded Compound ได้แก่ Fixed Oxidation Compound กรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ Non-polar Oligomer และ Cyclic Monomers เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการปนเปื้อนของอาหาร และเครื่องปรุงรสอีกด้วย ซึ่งการที่น้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วมีคุณสมบัติแตกต่างจากน้ำมันใหม่นี้เอง ทำให้กระบวนการสังเคราะห์เป็นสารเอสเทอร์ จึงมีความแตกต่างจากการผลิตเอสเทอร์ด้วยน้ำมันพืชใหม่ไปบ้าง (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2547)

จากการศึกษาของ Mittelbach and Enzelsberger (1999) ทำการทดลองโดยให้ความร้อนกับน้ำมันงูที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง แล้วจึงนำน้ำมันงูที่ผ่านความร้อนนี้มาทำปฏิกิริยากับเมทานอล โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง เมื่อวิเคราะห์เอสเทอร์ที่ผลิตได้ด้วยวิธี HPSEC Analysis พบว่ามี Dimeric Fatty Acid Methyl Ester และมีสารประกอบ โอลิโกเมอร์ (Oligomeric) เกิดขึ้นทำให้น้ำมันมีน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นและค่าการละลายลดลง นอกจากนี้เอสเทอร์ที่ผลิตได้จากน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วจะมีคุณสมบัติในการเป็นเชื้อเพลิงต่างไป เช่น ความหนืดเพิ่มขึ้น ค่าความสามารถในการเผาไหม้ลดลง ทำให้เกิด Conradson Carbon Residue (CCR) ซึ่งจากผลดังกล่าวจะทำให้เพิ่มปริมาณของกลีเซอไรด์และสบู่

2.3.3 การบำบัดน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้ว (Pre-treatment)

เนื่องจากการใช้น้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วมักจะมีสารปนเปื้อนหลายชนิดซึ่งอาจส่งผลถึงคุณภาพของไบโอดีเซล ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพหรือการบำบัดน้ำมันก่อนนำมาทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การฉีดด้วยไอน้ำ (Steam Injection) การทำให้เป็นกลางโดยใช้คอลัมน์โครมาโทกราฟี (Column Chromatography Neutralization) และการระเหยภายใต้สุญญากาศ (Film Vacuum Evaporation) ซึ่งวิธีการเหล่านี้จะช่วยให้น้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วมีความบริสุทธิ์มากขึ้น เพื่อนำไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันต่อไป โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

Supple et al. (2002) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วด้วยการฉีดด้วยไอน้ำ การทำให้ตกตะกอน และการกลั่น ตามด้วยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสกับน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้ว โดยเรียกว่าบำบัดครั้งที่ 1 และทำซ้ำตามวิธีการเดิมในการบำบัดครั้งที่ 2 ซึ่งผลจากการบำบัดปรากฏว่าลักษณะทางกายภาพและเคมีที่ต่างไปจากก่อนการบำบัดให้ผลดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วก่อนและหลังการบำบัด

คุณสมบัติ	ตัวอย่างที่ 1			ตัวอย่างที่ 2		
	ไม่ได้ บำบัด	บำบัด ครั้งที่ 1	บำบัด ครั้งที่ 2	ไม่ได้ บำบัด	บำบัด ครั้งที่ 1	บำบัด ครั้งที่ 2
ปริมาณน้ำ (ร้อยละ)	1.1	0.5	0.4	1.4	0.6	0.4
ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	0.937	0.925	0.921	0.39	0.929	0.922
ความหนืดแบบคินเมติก (ตารางมิลลิเมตรต่อวินาที)	190.2	130.1	85.3	201.3	110.2	70.1
ค่าความเป็นกรด (mg KOH/g)	5.3	4.4	3.9	6.3	4.9	4.3
ค่าไอโอดีน	104.3	103.7	105.2	115.3	117.2	116.2
Peroxide Value (meq/kg)	5.6	5.3	4.6	6.3	5.7	4.4
ค่าสปอนิฟิเคชัน	204.5	194.2	184.2	195.1	194.3	193.9
Unsaponifiable Matter (ร้อยละน้ำหนักต่อน้ำหนัก)	3.9	2.7	1.9	4.9	3.0	2.1
ค่าพลังงานความร้อน (กิโลจูลต่อกรัม)	37.2	38.8	38.6	37.9	38.3	39.1

ที่มา : Supple et al. (2002)

ลักษณะสำคัญที่เปลี่ยนไปของน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วหลังการปรับปรุงคุณภาพคือ ปริมาณความชื้นลดลง ปริมาณกรดไขมันอิสระลดลง ความหนืดลดลง และมีค่าพลังงานความร้อน (Energy Value) มากขึ้น และเมื่อนำน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วที่ผ่านการบำบัดมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันกับเมทานอล โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเท่ากับ 6:1 ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ได้ร้อยละของผลได้ของเมทิลเอสเทอร์เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันที่ยังไม่ผ่านกระบวนการบำบัดจากร้อยละ 67.5 ไปเป็นร้อยละ 83.5

Ki-Teak et al. (2002) ได้ทดลองใช้วิธีการบำบัดน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วด้วยวิธีการแยกสารโดยใช้คอลัมน์ (Column Chromatography) จากการทดลองพบว่าเมื่อผ่านกระบวนการนี้จะทำให้น้ำมันมีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยทำการทดลองกับไขมันที่ได้จากร้านอาหารที่มีปริมาณกรดไขมันร้อยละ 10.6 และมีปริมาณน้ำร้อยละ 0.2 ไหลผ่านคอลัมน์ที่บรรจุร้อยละ 50 ของแมกนีเซียมซิลิเกต (Magnesium Silicate) กับร้อยละ 50 ของอะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminium Oxide) หลังจากผ่านกระบวนการแล้วสามารถลดกรดไขมันอิสระจากร้อยละ 10.6 เป็นร้อยละ 0.23 และลดปริมาณน้ำจากร้อยละ 0.2 เป็นร้อยละ 0.02 ซึ่งก่อนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมัน มีค่าร้อยละการแปลงผันเป็นไบโอดีเซลเท่ากับร้อยละ 25 แต่หลังการปรับปรุงจะมีค่าร้อยละการแปลงผันเป็นไบโอดีเซลสูงถึงร้อยละ 96

Cvengros and Cvengrosova (2004) ได้ทำการทดลองน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วซึ่งผ่านการบำบัดมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอล โดยทำการทดลองแบบสองขั้นตอน และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 90 นาที โดยขั้นตอนแรกจะทำให้กรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันถูกทำให้เป็นกลางกับเบสก่อนและถูกแยกออกไปในรูปของสบู่ เนื่องจากน้ำมันจะมีปริมาณพอลิเมอร์ผสมอยู่จึงต้องใช้ถ่านกัมมันต์กำจัดพอลิเมอร์ออกโดยวิธีการดูดซับ นอกจากนี้วิธีการระเหยภายใต้สุญญากาศก็มีความเหมาะสมต่อการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้ว โดยทำการระเหยน้ำมันลดลงนั้นต้องทำที่อุณหภูมิ 200-280 องศาเซลเซียส และความดัน 0.1-8 มิลลิบาร์ภายหลังการบำบัดน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้ว พบว่าเกิดร้อยละของผลได้เป็นไบโอดีเซลสูงถึงร้อยละ 96

2.4 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล

2.4.1 กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification Process)

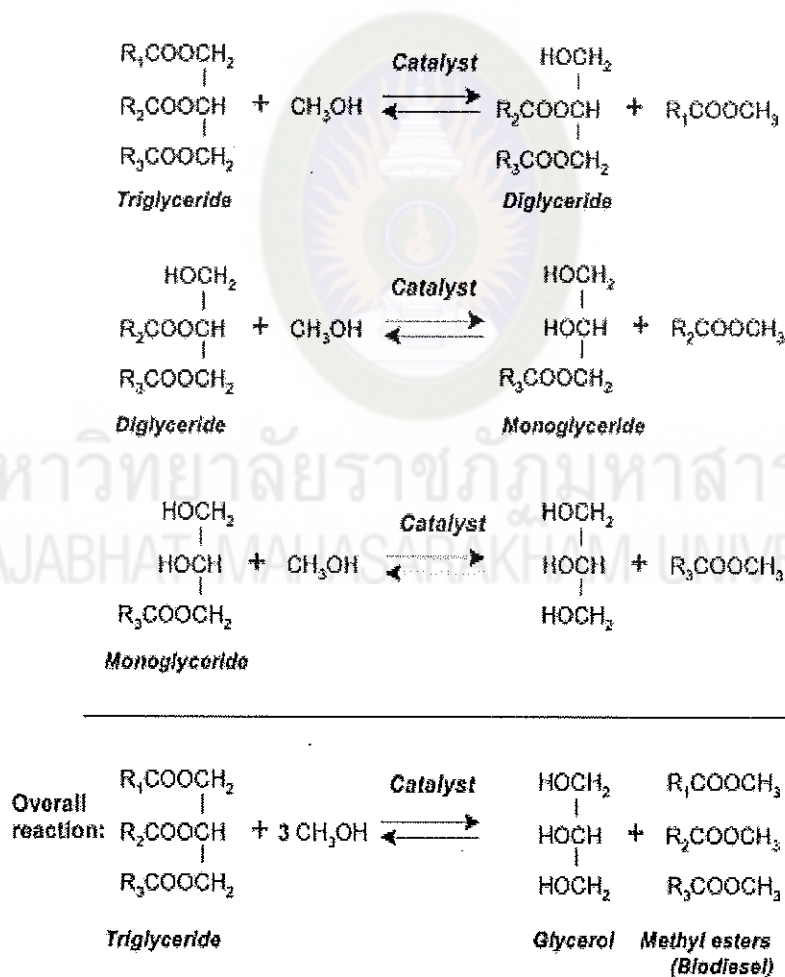
เป็นกระบวนการที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีข้อดี คือเป็นเทคโนโลยีที่มีการลงทุนไม่สูง เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิและความดันต่ำ ร้อยละของผลผลิต (%yield) ของปฏิกิริยาสูงถึง 98% แต่กระบวนการนี้จะไม่เหมาะกับวัตถุดิบที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง เนื่องจากจะเกิดสบู่ และส่งผลให้ร้อยละของผลผลิตของกระบวนการผลิตลดลง

2.4.2 กระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification Process)

เป็นกระบวนการที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและสามารถใช้ได้กับวัตถุดิบที่มีค่ากรดไขมันอิสระทุกระดับ ส่วนใหญ่นิยมใช้กับวัตถุดิบที่มีค่ากรดไขมันอิสระมากกว่า 5 % แต่ข้อด้อย คือใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน และใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าการใช้เบสเป็นสารเร่งปฏิกิริยา จึงทำให้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยสูงกว่า

2.4.3 กระบวนการ 2 ขั้นตอน (Two-Stage Process)

เป็นกระบวนการที่เกิดปฏิกิริยา 2 แบบโดยขั้นตอนที่ 1 เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน และขั้นตอนที่ 2 เกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน สามารถใช้ได้กับน้ำมันที่มีค่ากรดไขมันอิสระสูง ในขณะเดียวกันก็มีการใช้พลังงานต่ำ โดยอาศัยหลักการ คือใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เปลี่ยนกรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมันให้เป็นสารเอสเทอร์ก่อนโดยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน จากนั้นจึงใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ถึงแม้ว่ากระบวนการนี้จะใช้พลังงานต่ำกว่ากระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้นตอนเดียว แต่หากวัตถุดิบมีค่ากรดสูงมาก ๆ กระบวนการในขั้นตอนแรกจะใช้เวลาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของไบโอดีเซลสูงขึ้นตามไปด้วย โดยในการทดลองนี้ได้เลือกการผลิตโดยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน เนื่องจากข้อได้เปรียบในการใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาสั้นเมื่อเทียบกับกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ที่มา : Cvengros and Cvengrosova (2004)

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันประกอบด้วยปฏิกิริยา 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก น้ำมันพืชหรือไตรกลีเซอไรด์ (TG) ทำปฏิกิริยากับเมทานอล (CH_3OH) เกิดเป็นเอสเทอร์ตัวที่ 1 (R_1COOCH_3) หรือไบโอดีเซลกับไดกลีเซอไรด์ (DG) จากนั้นไดกลีเซอไรด์ (DG) ทำปฏิกิริยากับเมทานอล เกิดเป็นเอสเทอร์ตัวที่ 2 (R_2COOCH_3) กับโมโนกลีเซอไรด์ และในขั้นตอนสุดท้าย โมโนกลีเซอไรด์ (MG) ทำปฏิกิริยากับเมทานอลเกิดเป็นเอสเทอร์ตัวที่ 3 (R_3COOCH_3) กับกลีเซอริน ปฏิกิริยานี้จะสมบูรณ์ก็ต่อเมื่อผ่านการแยกเอสเทอร์ออกจากชั้นของกลีเซอริน หลังจากปฏิกิริยาเสร็จสิ้น

2.5 ผลของปัจจัยและสภาวะการผลิตต่อคุณสมบัติไบโอดีเซล

2.5.1 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยามีความสัมพันธ์กับร้อยละของผลผลิต การให้อุณหภูมิที่สูงเกินไปจะส่งผลได้ร้อยละของผลผลิตต่ำ โดยอุณหภูมิที่ใช้ต้องต่ำกว่าจุดเดือดของแอลกอฮอล์เพื่อหลีกเลี่ยงการระเหย โดยควรอยู่ในช่วง $50-60^\circ\text{C}$ สำหรับเมทานอล และ 70°C สำหรับเอทานอล (Hanna, 1999)

2.5.2 เวลาในการทำปฏิกิริยา

อัตราการเปลี่ยนแปลงจากกรดไขมันเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันมีความสัมพันธ์กับเวลา โดยในช่วงแรกอัตราการเปลี่ยนแปลงจะต่ำ เนื่องจากแอลกอฮอล์เริ่มแพร่กระจายสู่น้ำมัน หลังจากนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงจะสูงขึ้น พบว่าการใช้เวลาน้อยกว่า 90 นาที จะได้ร้อยละของผลผลิตสูงสุด (จิราวัลย์, 2530)

2.5.3 อัตราส่วน โมลของแอลกอฮอล์

ทางทฤษฎีปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันต้องใช้แอลกอฮอล์ 3 โมล ต่อไตรกลีเซอไรด์ 1 โมล โดยจะได้เอสเทอร์ 3 โมล และกลีเซอริน 1 โมล ตามลำดับ แต่ในทางปฏิบัติอัตราส่วนโมลของแอลกอฮอล์มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเพราะเป็นปฏิกิริยาแบบสมดุล และอัตราส่วนโมลมีผลต่อการเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาดังนี้ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาแบบกรดจะใช้โมลแอลกอฮอล์ต่อโมลน้ำมันในอัตราส่วน 30 : 1 และ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบสจะใช้โมลแอลกอฮอล์ต่อโมลน้ำมันในอัตราส่วน 6 : 1 (จิราวัลย์, 2530)

2.5.4 ชนิดของแอลกอฮอล์

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เมทานอลมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่สูงกว่าการใช้เอทานอล โดยพบว่าปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้เอทานอลผสมกับเมทานอลในอัตราส่วน โมลเท่ากันที่ 3 : 3 เมื่อเสร็จสิ้นปฏิกิริยา เอสเทอร์ที่เกิดขึ้นจะเป็นเมทิลเอสเทอร์ 62.6% และเกิดเอทิลเอสเทอร์ 30.21% และเมทานอลสามารถเกิดปฏิกิริยาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันได้ที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าการใช้เอทานอล รวมทั้งใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยกว่า (Hanna, 1999)

2.5.5 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่าระบบที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จึงเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซล ข้อดีของระบบนี้ คือ เกิดปฏิกิริยาได้ดีที่อุณหภูมิ และความดันต่ำ ผลได้ของผลิตภัณฑ์มาก และใช้เวลาในการผลิตน้อย ในกระบวนการปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่มีเบสเป็นตัวเร่งนั้นมีข้อจำกัด คือ กระบวนการที่มีเบสเป็นตัวเร่งจะเกิดปฏิกิริยาได้ง่ายกับกรดไขมันอิสระ ในสถานะที่เป็นเบสโดยกรดไขมันอิสระจะเข้าทำปฏิกิริยากับเบสแล้วเกิดเป็นสบู่ และน้ำโดยสบู่ที่เกิดขึ้นเป็นสาเหตุให้เกิดอิมัลชันซึ่งมีผลให้ขั้นตอนการแยกไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์นั้นยุ่งยากมากขึ้น ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาคควรมีกรดไขมันอิสระน้อยกว่า 5% โดยน้ำหนัก โดยต้องใช้เบสและแอลกอฮอล์ที่ปราศจากน้ำด้วย ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีข้อดีคือ ไม่ทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระทำให้ไม่ต้องมีขั้นตอนการปรับสภาพน้ำมันเหมาะสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันประกอบอาหารที่ใช้แล้ว เพราะน้ำมันประเภทนี้จะมีปริมาณของกรดไขมันอิสระอยู่มาก แต่มีข้อเสียคือ การใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีอัตราการเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าการใช้การใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Wang et al, 2007)

2.5.6 การกำจัดสิ่งเจือปนในไบโอดีเซล

2.5.6.1 ใช้น้ำในการกำจัดสิ่งเจือปน

การใช้น้ำในการกำจัดสิ่งเจือปนมีข้อดีคือสามารถกำจัดกลีเซอรินและแอลกอฮอล์ที่เหลือออกจากไบโอดีเซลได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือ เพิ่มค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย, เวลาในการผลิต, เสียผลผลิตส่วนหนึ่ง และเกิดอิมัลชันขึ้นซึ่งมีผลทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้น (วิโรจน์ และจินดา, 2548)

2.5.6.2 กำจัดสิ่งเจือปนแบบแห้ง

การใช้การแลกเปลี่ยนไอออน หรือ การใช้ผงของสารประกอบประเภทซิลิเกต ทั้งสองวิธีนี้สามารถลดปริมาณกลีเซอรินอิสระ และสามารถกำจัดสบู่ได้เป็นอย่างดี และยังมีข้อได้เปรียบกว่าการใช้ น้ำคือไม่เกิดปัญหาในด้านการบำบัดน้ำเสีย, ใช้เวลาในการกำจัดสิ่งเจือปนน้อย, ไม่เกิดอิมัลชัน แต่การใช้ผงของสารประกอบประเภทแมกนีเซียมซิลิเกตให้ผลในการกำจัดแอลกอฮอล์ออกจากไบโอดีเซลได้ดีกว่าการใช้ไอออนเรซิน (ศิตา, 2548)

2.5.7 ความชื้นและกรดไขมันอิสระ

ความชื้นและกรดไขมันอิสระมีผลต่อทั้งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันและปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน กล่าวคือ การมีความชื้นหรือน้ำในระบบอาจทำให้เกิดอิมัลชันเกิดขึ้นซึ่งมีผลต่อค่าความหนืด

ของไบโอดีเซล และกรดไขมันอิสระ หากมีกรดไขมันอิสระมากกว่า 5% จะมีผลต่อการเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาคั่งที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้างต้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานวิจัยภายในประเทศ

สุขวนิตย์ (2547) ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างกรดไขมันในน้ำมันดอกทานตะวันและแอลกอฮอล์ โดยแปรอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:3, 1:4, 1:6, 1:10, 1:15 และ 1:20 ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสได้แก่ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโซเดียมเมทอกไซด์ (NaOCH₃) ให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ต่ำที่สุด เนื่องจากของผสมระหว่างโซเดียมเมทอกไซด์ (NaOCH₃) และแอลกอฮอล์สามารถระเหยได้ง่าย นอกจากนี้การละลายของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในเมทานอลยังดีกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโซเดียมเมทอกไซด์ (NaOCH₃) ในความเข้มข้นเท่ากัน ข้อดีของ KOH อีกประการคือ ไม่ก่อให้เกิดพิษเหมือนกับอีกสองตัวและปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันที่ใช้ KOH เข้มข้น 1% โดยน้ำหนักเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดต่ำสุด และให้ร้อยละผลิตภัณฑ์สูงสุดถึงประมาณ 92.07% ในขณะที่เมื่อใช้ KOH เข้มข้น 1.5% ร้อยละผลิตภัณฑ์จะลดลงเป็น 80.89%

วุฒินนท์ ดันวราวุฒิกุล และสุชนก อัสวสันติ (2549) ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืชใช้แล้วและแอลกอฮอล์ โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยศึกษาผลของประมาณ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และโซเดียมซัลเฟต (Na₂SO₄) ต่อการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันปาล์มที่ใช้แล้วต่อเมทานอลที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไบโอดีเซล พบว่าปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และโซเดียมซัลเฟต (Na₂SO₄) ที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ไบโอดีเซล คือ 1.0% และ 5.0% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และอัตราส่วนโดยโมลน้ำมันปาล์มใช้แล้วต่อเมทานอลที่เหมาะสมคือ 1:9

นพพรช (2551) สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กล่าวว่า การผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทยปัจจุบันใช้น้ำมันจากปาล์มเป็นวัตถุดิบหลัก แต่ต้องประสบกับปัญหาน้ำมันปาล์มไม่เพียงพอต่อการบริโภค ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสำโรงโดยการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันในไมโครเวฟ จากการศึกษาพบว่า การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสำโรงด้วยตัวทำละลายเฮกเซน โดยกำหนดเงื่อนไขในการอบเมล็ดที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส จากความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยประมาณร้อยละ 9 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้ง ให้เหลือความชื้นในเมล็ดร้อยละ 7 และร้อยละ 5 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้ง พบว่า เมล็ดที่อบด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสให้เหลือความชื้นในเมล็ดร้อยละ 5

ของมาตรฐานน้ำหนักแห้งให้ปริมาณน้ำมันมากที่สุด แต่เมล็ดที่อบด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสให้เหลือความชื้นร้อยละ 7 ของมาตรฐานน้ำหนักแห้งนั้นประหยัดพลังงานและต้นทุนในการอบมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบราคาค่าไฟฟ้ากับปริมาณน้ำมันที่ได้ โดยสามารถสกัดน้ำมันได้ประมาณร้อยละ 33.36 ของน้ำหนักเมล็ด มีค่าความหนืดที่ 34.60 cSt และการศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดลำโรง โดยเปรียบเทียบระหว่างเมทานอลและเอทานอล ที่อัตราส่วน โมลแอลกอฮอล์ต่อน้ำมัน 3:1 6:1 9:1 12:1 และ 15:1 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง 2 ชนิด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 พบว่า เมทานอลที่อัตราส่วน โมลแอลกอฮอล์ต่อ น้ำมัน 12:1 ทำปฏิกิริยาให้เอสเทอร์ในปริมาณมากที่สุด โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาในไมโครเวฟนาน 50 วินาที จากนั้นทำการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่า เมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดลำโรงมีค่าซีเทน 61.90 และค่าความหนืดประมาณ 4.39 cSt ค่าไอโอดีน 64.29 ซึ่งอยู่ในค่ามาตรฐานที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนดไว้ เนื่องจากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันช่วยปรับปรุงให้ค่าความหนืดของน้ำมันเหมาะสมกับการใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลยิ่งขึ้น

พงษ์พรรณ และพีริยา (2551) สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยมหิดล ได้ศึกษาการสกัดน้ำมันและผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่ายน้ำกร่อย 3 ชนิด ได้แก่ สาหร่ายพวงองุ่น สาหร่ายขนนก และสาหร่ายมงกุฎหนาม โดยเปรียบเทียบวิธีการทำแห้งแต่ละวิธี ประกอบด้วยวิธี freeze dry วิธีอบแห้ง วิธีตากแดด และวิธีผึ่งลม พบว่าวิธีทำแห้งโดยใช้วิธี freeze dry เป็นวิธีที่ดีที่สุด เพราะให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้โดยวิธีซอล์กลูเทมากที่สุด หลังจากนั้นทำการตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำมันพบว่า น้ำมันจากสาหร่ายพวงองุ่น สาหร่ายขนนก และสาหร่ายมงกุฎมีปริมาณน้ำมัน 3.62, 3.46 และ 2.8% ตามลำดับ เมื่อนำน้ำมันที่ได้จากการสกัดมาผลิตไบโอดีเซลโดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลของสาหร่ายพวงองุ่นคือ ที่อัตราส่วน โดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลเท่ากับ 1:15 ที่เวลา 8 ชั่วโมง อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ และใช้ความเร็วในการกวนที่ 500 รอบต่อนาที สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลของสาหร่ายขนนกคือ ที่อัตราส่วน โดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลเท่ากับ 1:15 ที่เวลา 8 ชั่วโมง อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.5 เปอร์เซ็นต์ และใช้ความเร็วในการกวนที่ 400 รอบต่อนาที สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลของสาหร่ายมงกุฎหนามคือ ที่อัตราส่วน โดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลเท่ากับ 1:12 ที่เวลา 8 ชั่วโมง อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ และใช้ความเร็วในการกวนที่ 500 รอบต่อนาที ทั้งนี้ได้ปริมาณไบโอดีเซลจากสาหร่ายพวงองุ่น สาหร่ายขนนก และสาหร่ายมงกุฎหนาม เท่ากับ 55.58% 58.36% และ 49.29% ตามลำดับ และไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากสาหร่ายทุกชนิดประกอบด้วยเมทิลลิโนเลเอท เป็นส่วนใหญ่

2. งานวิจัยต่างประเทศ

Tomasevic and Siler – Marinkovic (2003) ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันดอกทานตะวันที่ทำกรไล่น้ำออกแล้ว (Refined Sunflower Oil) และน้ำมันที่ผ่านการทอดอาหารแล้วด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา วัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพและปริมาณของไบโอดีเซลหรือเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ ดังนั้นในการทดลองจึงกำหนดปัจจัยที่จะศึกษาดังนี้ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันใช้เป็น 4.5:1, 6:1 และ 9:1 ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์) ใช้ 0.4-2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมัน และเวลา อุณหภูมิที่ใช้คือ 30 นาที และ 25 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน 6:1 ให้ปริมาณเอสเทอร์มากที่สุด ส่วนชนิดและตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่าถ้าใช้ 1 เปอร์เซ็นต์ของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จะให้ปริมาณเอสเทอร์และคุณภาพของไบโอดีเซลดีที่สุด

Meher et al. (2005) ได้นำเอาน้ำมันจาก Karanja Oil (เป็นน้ำมันที่สกัดมาจากพืชที่มีชื่อว่า Pongamia pinnata ไม่สามารถนำมาบริโภคได้) มาผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา งานศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซล ดังนั้นจึงเลือกปัจจัยที่จะศึกษาคือ ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยา และอัตราเร็วของการกวนผสม แล้วนำไบโอดีเซลที่ผลิตได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ด้วยวิธี High performance liquid chromatography จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 ทำปฏิกิริยาภายใต้อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และใช้อัตราเร็วของการกวนผสม 360 รอบต่อนาที คือสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลจาก Karanja Oil โดยภายใต้สภาวะดังกล่าวสามารถให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์สูงกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ภายในเวลา 15 นาที

Ramadhas et al. (2005) ได้ทำการศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมัน Rubber Seed Oil ซึ่งเป็นน้ำมันที่ไม่สามารถนำมาใช้บริโภคได้ เนื่องจาก Rubber Seed Oil มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงถึง 17 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่ยากสำหรับการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Alkaline Catalyst) เนื่องจากวัตถุประสงค์มีกรดไขมันอิสระเป็นส่วนประกอบในปริมาณมาก ในการทำปฏิกิริยากรดไขมันอิสระจะไวต่อการทำปฏิกิริยากับเบสที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นสบู่ (Soap) สบู่ที่เกิดขึ้นนั้นจะส่งผลกระทบต่อการแยกชั้นระหว่างเอสเทอร์ (Ester) กับ กลีเซอริน (Glycerin) ให้แยกออกจากกันยากขึ้น เพราะฉะนั้นกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบ 2 ขั้นตอน จึงถูกนำมาใช้ในงานศึกษานี้ โดยมีปัจจัยหลักที่ศึกษาได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมัน ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ทั้งในขั้นที่ 1 และ 2 อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยา และเวลาของการทำปฏิกิริยา และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่กำหนดให้แต่ละขั้นตอนใช้เวลา 30 นาทีเช่นกัน เริ่มต้นในขั้นตอนที่ 1 เติมตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด (Acid Catalyst) ลงในน้ำมันเปลี่ยนกรดไขมันอิสระให้ไปเป็นโมโนเอสเทอร์ (Mono-Ester) เพื่อทำให้ปริมาณกรดไขมัน

อิสระในน้ำมันลดลงให้น้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ โดยในการทดลองใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด จากผลการทดลองพบว่า สภาพที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ Maximum Conversion Efficiency พร้อมทั้งสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันให้น้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ คือ ใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 6:1 ปริมาณกรดซัลฟิวริก 0.5 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 40-50 องศาเซลเซียส ใช้เวลาทำปฏิกิริยา 20-30 นาที ส่วนขั้นตอนที่ 2 เป็นปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน คือเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ผลที่ได้คือ โมโนเอสเทอร์ และกลีเซอรอล จากการทดลองพบว่าสภาพที่เหมาะสมเพื่อที่จะให้ได้ Maximum Conversion Efficiency สำหรับขั้นที่ 2 คือ ต้องใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 9:1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาอยู่ในช่วง 40-50 องศาเซลเซียส และใช้เวลาทำปฏิกิริยา 30 นาที นอกจากนั้นยังวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากน้ำมัน Rubber seed พบว่า มีความถ่วงจำเพาะ 0.874 จุดวาบไฟ (Flash Point) 130 องศาเซลเซียส จุดหมอกควัน (Cloud Point) 4 องศาเซลเซียส ความหนืด (Viscosity) ที่ 40 องศาเซลเซียส มีค่า 5.81 มิลลิเมตรต่อวินาที ค่า Calorific Value 36.50 เมกะจูลต่อกิโลกรัม จุดไหลเท (Pour Point) -8 องศาเซลเซียส และค่าความเป็นกรด (Acid Value) 0.1188 มิลลิกรัม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัมของน้ำมัน ซึ่งคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงดังกล่าวของไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากน้ำมัน Rubber seed เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM 6751 พบว่า มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน เพราะฉะนั้นไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากน้ำมัน Rubber seed จึงสามารถใช้น้ำมันดีเซลได้

กรอบแนวคิดในการวิจัย

เนื่องจากต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลจะขึ้นอยู่กับราคาของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ซึ่งที่ผ่านมานิยมใช้น้ำมันพืชใหม่ (Fresh Vegetable Oil) มาผลิตเป็นไบโอดีเซล ในแง่ของร้อยละของผลได้ (Yield) นั้นค่อนข้างดี แต่ราคาของน้ำมันพืชก็ยังคงสูงอยู่ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซล การนำน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วมาเป็นวัตถุดิบจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ได้ได้รับความสนใจมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากมีราคาถูกมากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพืชใหม่ นอกจากนี้ยังมีปริมาณมาก หาได้จากร้านอาหาร หรือตามบ้านเรือนต่าง ๆ ทั้งยังช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการทิ้งน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วลงในแหล่งน้ำอีกด้วย ซึ่งที่ผ่านมามีเพียงการนำน้ำมันเหล่านี้ไปผสมกับอาหารสัตว์เท่านั้น ทำให้เหลือทิ้งอีกเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการนำน้ำมันที่ผ่านการใช้ทอดแล้วมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลจะทำให้เกิดประโยชน์คุ้มค่าทั้งในแง่ของเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม