

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมันดีเซล

ในปัจจุบันน้ำมันดีเซลมีความสำคัญอย่างมากทั้งในภาคอุตสาหกรรม การคมนาคม และการเกษตร เพราะเครื่องยนต์ส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องยนต์ดีเซลที่ให้แรงบิดสูงมากกว่าเครื่องยนต์เบนซิน

น้ำมันดีเซลที่มีจำหน่ายในประเทศไทยประกอบไปด้วย น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องรอบเร็ว (Automotive Diesel Oil: ADO) หรือน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (High speed diesel) น้ำมันดีเซลชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้เป็นเครื่องยนต์ที่มีความเร็วรอบสูง (สูงกว่า 1000 รอบต่อนาที) และน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องรอบช้า (Industrial Diesel Oil : IDO) หรือน้ำมันดีเซลหมุนช้า (Low speed diesel) เหมาะสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ที่มีความเร็วรอบ (500 – 1000 รอบต่อนาที) น้ำมันดีเซลที่นำมาใช้นั้นจะต้องมีสมบัติตรงตามมาตรฐานของน้ำมันดีเซลในประเทศไทย ซึ่งแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานของน้ำมันดีเซลในประเทศไทย

ข้อกำหนด	อัตราสูงสุด	น้ำมันดีเซล		วิธีทดสอบ
		เครื่องรอบเร็ว	เครื่องรอบช้า	
1. ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6/15.6 องศาเซลเซียส	ไม่ต่ำกว่า	0.81	-	ASTM D 1298
	ไม่สูงกว่า	0.87	0.92	
2. ค่าซีเทน หรือดัชนีซีเทน	ไม่ต่ำกว่า	47	45	ASTM D 613
3. ความหนืด (เซนติสโตกส์) ณ. อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ณ. อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	ไม่ต่ำกว่า	1.8	-	ASTM D 445
	ไม่สูงกว่า	4.1	8	
	ไม่สูงกว่า	-	6	
4. จุดไหลเท (องศาเซลเซียส)	ไม่สูงกว่า	10	16	ASTM D 97
5. ปริมาณกำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ไม่สูงกว่า	0.05	1.5	ASTM D 2622

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานของน้ำมันดีเซลในประเทศไทย (ต่อ)

ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	น้ำมันดีเซล		วิธีทดสอบ
		เครื่องรอบเร็ว	เครื่องรอบช้า	
6. การกักคร่อนแผ่นทองแดง	ไม่สูงกว่า	1	-	ASTM D 130
7. ปริมาณน้ำและตะกอน (ร้อยละ โดยปริมาตร)	ไม่สูงกว่า	0.05	0.3	ASTM D 2709
8. ปริมาณเถ้า ร้อยละ โดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.01	0.02	ASTM D 482
9. จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส)	ไม่สูงกว่า	52	52	ASTM D 93
10. อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้ โดยปริมาตรในอัตราร้อยละ 90 (องศาเซลเซียส)	ไม่สูงกว่า	357	-	
11. สี	ไม่ต่ำกว่า	-	4.5	ASTM D 86
	ไม่สูงกว่า	4	7.5	
12. คุณสมบัติการหล่อลื่น ทดสอบโดยเครื่อง HFRR (ไมโครเมตร)	ไม่สูงกว่า	460	-	CEC F-06-A-96

ที่มา : ประกาศกรมทะเบียนการค้า พ.ศ. 2545

2.2 น้ำมันไบโอดีเซล

คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติได้มีมติให้ไบโอดีเซลหมายถึง เชื้อเพลิงที่ได้จากน้ำมันพืชหรือสัตว์ที่ผ่านกระบวนการทางเคมี แล้วเกิดเป็นสารที่เรียกว่าเอสเทอร์ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ น้ำมันดีเซลชีวภาพที่ผลิตจากน้ำมันหรือไขมันชนิดต่างๆจะมีสมบัติต่างกันดัง ตารางที่ 2.2

2.3 การนำน้ำมันไบโอดีเซลมาใช้งาน

โดยส่วนใหญ่ปัญหาของการนำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มาใช้แทนน้ำมันดีเซล มักจะเกี่ยวข้องกับสมบัติของน้ำมันที่ต่างกัน จึงไม่เหมาะที่จะนำเอาน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์โดยตรง จึงมีวิธีการต่างๆเพื่อทำให้สมบัติของน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานเป็นเชื้อเพลิงได้ดังนี้ (Fangrui, M. และMilford, A.H. 1999)

ตารางที่ 2.2 สมบัติของน้ำมัน ไบโอดีเซลจากน้ำมันชนิดต่างๆ

สมบัติ พืชน้ำมัน	ความหนืด (mm ² /sec)	ซีเทน นัมเบอร์	ค่าความร้อน (MJ/L)	จุด หมอก (°C)	จุดวาบ ไฟ (°C)	ความ หนาแน่น (g/L)	กำมะถัน (%wt)
Peanut	4.9(37.8°C)	54	33.6	5	176	0.883	-
Soy beam	4.5(37.8°C)	45	33.5	1	178	0.885	-
Babassu	3.6(37.8°C)	53	31.8	4	127	0.879	-
Palm	5.7(37.8°C)	52	33.5	13	164	0.88	-
Sunflower	4.6(37.8°C)	49	33.5	1	183	0.86	-
Tallow	-	-	-	12	96	-	-
Rapeseed	4.2(40°C)	51-59.7	32.8	-	-	0.882	-
Used rapeseed	9.48(30°C)	53	36.7	-	192	0.895	0.002

ที่มา : Barnwal B.K. และSharman M.P. (2005)

2.3.1 การนำมาใช้โดยตรงและการผสม (Direct use and blending)

ในทางปฏิบัติไม่สามารถใช้น้ำมันพืชทดแทนน้ำมันดีเซลได้เลยทันที จึงได้มีการนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนต่างๆแต่ก็ยังพบปัญหาคือ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ และการเกิดคราบสกปรกในเครื่องยนต์

2.3.2 การทำเป็นไมโครอิมัลชัน (Micro emulsions)

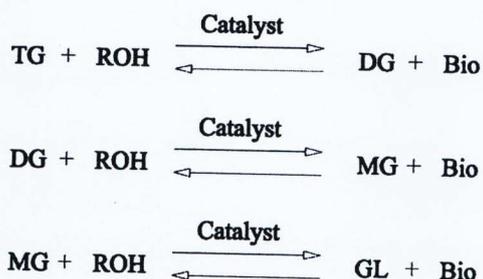
โดยการนำน้ำมันจากพืชหรือสัตว์กับตัวทำละลายเช่น เมทานอล หรือ เอทานอล ด้วยอัตราส่วนต่างๆ วิธีนี้สามารถแก้ปัญหาความหนืดได้ แต่ยังคงมีปัญหาในเรื่องของการอุดตันที่หัวฉีด

2.3.3 การแตกสลายด้วยความร้อน (Thermal cracking)

เป็นการนำน้ำมันพืชมาให้ความร้อน เพื่อให้ไขมันแตกตัวในระดับโมเลกุล ซึ่งจะทำให้ความหนืดของน้ำมันพืชลดลง แต่วิธีการนี้เครื่องมือจะมีราคาแพง และควบคุมการผลิตได้ยาก

2.3.4 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification หรือ Alcoholysis) เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์ที่ได้จากพืชหรือสัตว์กับแอลกอฮอล์ มีกรด ค่าง หรือเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดเป็นเอสเทอร์หรือน้ำมันไบโอดีเซล ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแสดงดังรูปที่ 1.1

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้ โดยไตรกลีเซอไรด์ (TG) จะถูกเปลี่ยนเป็นไดกลีเซอไรด์ (DG) กับน้ำมันไบโอดีเซล ไคกลีเซอไรด์ (DG) จะเปลี่ยนเป็นโมโนกลีเซอไรด์ (MG) และเป็นกลีเซอรอล (GL) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลำดับขั้นของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (วิชิตา, 2549)

น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสามารถผลิตได้จากน้ำมันพืชหรือไขมันหลายชนิดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลเป็นมาตรฐานเดียวกัน ซึ่ง ASTM (American Society of Testing & Materials) ได้กำหนดมาตรฐาน D 6751 สำหรับน้ำมันไบโอดีเซล ดังแสดงในตารางที่ 2.3 นอกจากนี้ในแต่ละประเทศอาจใช้วัตถุดิบในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลแตกต่างกัน ดังแสดงตารางที่ 2.4 และในตารางที่ 2.5 จะแสดงถึงการเปรียบเทียบสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากพืชชนิดต่างๆเทียบกับน้ำมันดีเซล

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล

คุณสมบัติ	หน่วย	มาตรฐาน DIN 51606	มาตรฐาน US ASTM
จุดวาบไฟ	องศาเซลเซียส	ไม่น้อยกว่า 100	ไม่น้อยกว่า 100
ปริมาณน้ำและตะกอน	ร้อยละโดยปริมาตร		ไม่มากกว่า 0.05
ปริมาณกากถ่าน	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่มากกว่า 0.3	ไม่มากกว่า 0.05
ปริมาณเถ้า	ร้อยละโดยน้ำหนัก		ไม่มากกว่า 0.02
ความหนืด ที่ 40 องศาเซลเซียส	เซนติสโตกส์	3.5 - 5.0	1.9 - 6.5
ปริมาณกำมะถัน	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่มากกว่า 0.01	
ค่าซีเทน		ไม่น้อยกว่า 49	ไม่น้อยกว่า 40

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล (ต่อ)

คุณสมบัติ	หน่วย	มาตรฐาน DIN 51606	มาตรฐาน US ASTM
จุดหมอก	องศาเซลเซียส		3 องศาเซลเซียส
การกัดกร่อนแผ่นทองแดง		ไม่มากกว่า 1	ไม่มากกว่า 3B
ค่าความเป็นกรดทั้งหมด	มิลลิกรัม KOH/กรัม	ไม่มากกว่า 0.5	ไม่มากกว่า 0.8
กลีเซอรินอิสระ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่มากกว่า 0.02	ไม่มากกว่า 0.02
ปริมาณกลีเซอรินทั้งหมด	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่มากกว่า 0.25	ไม่มากกว่า 0.24

ที่มา : Pacific Biodiesel, Inc. (2003)

ตารางที่ 2.4 การเลือกใช้วัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลของประเทศต่างๆ

ชนิดน้ำมัน	ประเทศ
น้ำมันจากเมล็ดเรพ(Rape Seed) 80% น้ำมันทานตะวัน 10%	อิตาลี และฝรั่งเศส
น้ำมันถั่วเหลือง (Soy Bean)	อเมริกา
น้ำมันปาล์ม (Palm Oil)	มาเลเซีย
น้ำมันมะกอก (Olive Oil)	สเปน
น้ำมันเมล็ดฝ้าย (Cotton Seed Oil)	กรีซ
น้ำมันจาโทรฟาเคอร์แคส (Jatropha Curcas Oil)	นิคารากัว
ไขวัว (Beef Tallow)	ไอร์แลนด์
น้ำมันพืชใช้แล้ว (Used Frying Oil)	ออสเตรเลีย

ที่มา : Pacific Biodiesel, Inc. (2003)

ตารางที่ 2.5 สมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากพืชชนิดต่างๆเทียบกับน้ำมันดีเซล

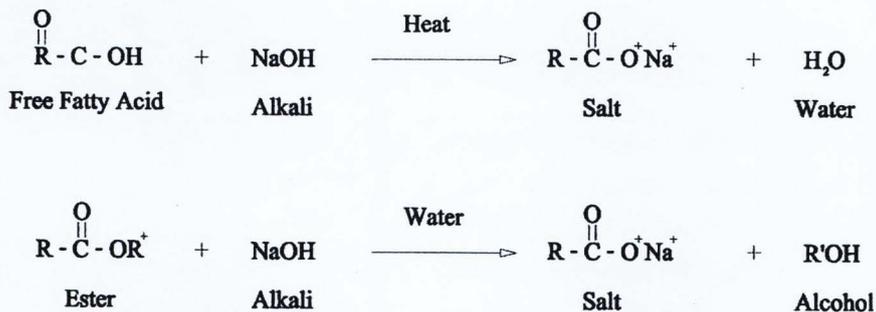
ไบโอดีเซลจากน้ำมัน	ความถ่วงจำเพาะ (กรัม/มิลลิลิตร)	จุดวาบไฟ (°C)	ค่าซีเทน	ค่าความร้อน (กิโลจูล/กิโลกรัม)
ปาล์ม	0.887	167	62 -65	39300
เมล็ดเรพ	0.883	> 170	58	37100
ถั่วเหลือง	na	na	51 -53	na
ทานตะวัน	na	na	52	na
น้ำมันดีเซล	0.81 - 0.87	> 52	> 47	46800

ที่มา : พิสมัย (2544)



2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันประกอบไปด้วย แอลกอฮอล์ ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปคือ เมทานอล หรือเอทานอล โดยเฉพาะเมทานอล เนื่องจากเป็นแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ทำให้สามารถละลายตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดี และราคาไม่แพงมาก สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน นิยมใช้สารพวก กรด หรือด่าง นอกจากนี้ความเข้มข้นของสารตั้งต้น จะป็นตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณของผลผลิตที่จะเกิดขึ้น ดังนั้น อัตราส่วนจำนวน โมลของแอลกอฮอล์กับน้ำมันพืชหรือ ไตรกลีเซอไรด์ จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ถ้าอัตราส่วนจำนวน โมลของแอลกอฮอล์กับน้ำมันพืชที่สูงขึ้น จะมีการเพิ่มขึ้นของกลีเซอรินในเมทานอล ทำให้การแยกกลีเซอรินออกยากขึ้น และเมื่อกลีเซอรินยังคงละลายอยู่ในสารละลายจะทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ส่งผลให้ผลผลิตน้อยลง และหากอัตราส่วนจำนวน โมลของแอลกอฮอล์กับน้ำมันพืชมีค่าต่ำเกินไปก็จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์ ในการทำปฏิกิริยา ปริมาณของกรดไขมันอิสระควรมีน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ และสารตั้งต้นทุกตัวควรปราศจากน้ำ เพราะจะทำให้ได้ปริมาณไบโอดีเซลลดลงอันเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification) จากกรดไขมันอิสระ ทำให้เกิดน้ำขึ้นในปฏิกิริยา และน้ำจะเป็นสาเหตุของการเกิดสบู่ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification) (วิชูดา, 2549)

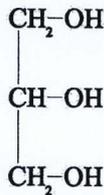
ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่อุณหภูมิต่างกันจะให้ปริมาณของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ต่างกัน จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่อุณหภูมิสูงจะให้ผลผลิตของไบโอดีเซลสูงตามไปด้วย (Freedman et al, 1984) และที่อุณหภูมิสูงกว่า 60°C จะไม่มียผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา (Darnoko D. and Cheryan M., 2000)



2.5 กลิเซอรินที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

กลิเซอรินสามารถทำได้จากหลายวิธีด้วยกัน เช่น การสังเคราะห์จาก โพรพิลีน การหมักจาก น้ำตาล และเกิดจากการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืช หรือไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ เนื่องจากโมเลกุลของกลิเซอรินมีพันธะไฮโดรเจนทำให้กลิเซอริน เป็นของเหลวหนืด กลิเซอรินบริสุทธิ์จะไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ และ โครงสร้างคล้ายน้ำตาลจึงทำให้กลิเซอรินมีรสหวาน สามารถนำเอากลิเซอรินไปใช้ประโยชน์ในหลายๆด้าน เช่น ใช้เป็นสารกันบูด ใช้แทนน้ำตาลเพื่อเพิ่มความหวาน และใช้ในอุตสาหกรรมสบู่ เป็นต้น

กลิเซอรินประกอบไปด้วยกลิเซอรอลและน้ำ ซึ่งกลิเซอรอล เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่ง มีสูตรทางเคมีคือ $C_3H_5(OH)_3$ เป็นสารที่สามารถละลายได้ในน้ำและแอลกอฮอล์ โครงสร้างของกลิเซอรินแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของกลิเซอริน (Fukuda et al., 2001)

กลิเซอรินที่ได้จากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน จะประกอบด้วยกลิเซอริน 58–82% โซเดียมคลอไรด์ 6–8% เมทานอล 1–2 % น้ำ 10–12% สารประกอบอินทรีย์ 1–2% ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเอสเทอร์และกรดไขมันอิสระ

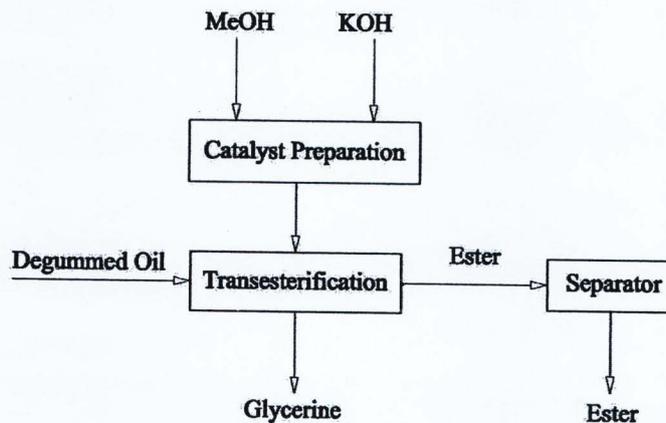
2.5.1 การนำกลิเซอรินมาใช้ประโยชน์

ได้มีการนำเอากลิเซอรินมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมในหลายๆ ด้านอย่างแพร่หลาย เช่นผลิตภัณฑ์ดูแลช่องปาก (Oral – care product) โดยกลิเซอรินจะนำมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ยาสีฟัน และน้ำยาบ้วนปาก เนื่องจากกลิเซอรินมีสมบัติในการเก็บรักษาความชื้นได้ดี มีการระเหยต่ำ ทำให้ยาสีฟันไม่แข็งตัวเมื่อบรรจุอยู่ในหลอด และเป็นตัวกลางสำหรับส่วนผสมชนิดอื่นๆที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ ในอุตสาหกรรมการผลิตภัณฑ์อาหาร ยังมีการนำเอากลิเซอรินมาอยู่ในรูปวัตถุเจือปนในอาหาร (Food additive) เช่น ผลิตภัณฑ์เค้ก โดยกลิเซอรินทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายและตัวดูดความชื้น การเติมกลิเซอรินลงไปจะทำให้เค้กคงความชุ่มชื้นและช่วยลดปัญหาการเกิดรา และในผลิตภัณฑ์ประเภทผลไม้อบแห้งและลูกอม กลิเซอรินจะทำหน้าที่ควบคุมการระเหย ช่วยลดการตกผลึกเป็นเกร็ด (Graining) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่นุ่ม นอกจากนี้ยังมีการใช้กลิ

เซอรินในผลิตภัณฑ์ยา (Prescription drugs) เพื่อเพิ่มปริมาณในการรักษาความชื้นทั้งยาผง และยาที่เป็นน้ำเชื่อม และเป็นตัวทำละลายสารที่เป็นองค์ประกอบต่างๆ สำหรับยาเม็ดประเภทแคปซูล (Capsule) กลีเซอรินที่เคลือบบนยาเม็ดจะทำหน้าที่เป็น Plasticizer ส่วนยาแก้ไอและยากลิ้วคอ มักจะผสมกลีเซอรินเพื่อเพิ่มความหวาน

2.6 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบบกะ “Batch”

ในกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล จากการผลิตจากเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ “batch” ถือเป็นเทคโนโลยีพื้นฐานที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วไป เพราะมีราคาไม่แพงสามารถควบคุมคุณภาพได้ตามต้องการ จากรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นถึง การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ระหว่างน้ำมัน ทำปฏิกิริยากับ เมทานอล โดยมีโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาได้แก่ กลีเซอริน และเอสเทอร์ หรือน้ำมันไบโอดีเซล



รูปที่ 2.4 การผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบบกะ “Batch”

(Noritake, 2546)

การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันข้างต้น พบว่ามีการผลิตด้วยขบวนการความร้อน ซึ่งเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีความสะดวก ไม่ซับซ้อน แต่ยังคงใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาก่อนข้างนานและใช้พลังงานสูง นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาและทดลองการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันภายใต้คลื่นไมโครเวฟ ซึ่งสามารถช่วยลดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาลงได้มาก แต่ต้องอาศัยความชำนาญในการดัดแปลงเพื่อนำคลื่นไมโครเวฟมาใช้งาน และยังคงใช้พลังงานที่สูงอยู่

และจากการทดลองเบื้องต้นของหน่วยวิจัยทางระบบอุณหภาพได้มีการนำเทคนิคสนามไฟฟ้าเข้ามาช่วยในกระบวนการทำปฏิกิริยาพบว่า สามารถลดระยะเวลาและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาลงได้ ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสนามไฟฟ้า

2.7 สมบัติไดอิเล็กตริก (Dielectric properties)

สารที่มีสมบัติไดอิเล็กตริก คือ สารที่มีสมบัติเป็นฉนวนที่สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้ และค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเป็นค่าที่บอกความสามารถในการเก็บประจุของสารนั้นๆ หรือบอกให้ทราบว่าค่าความจุของตัวเก็บประจุที่ใช้สาร ไดอิเล็กตริกนั้นๆ จะเพิ่มขึ้นเป็นกี่เท่าตัวของตัวเก็บประจุสูญญากาศ

โดยที่สารทุกชนิดจะประกอบด้วยส่วนย่อยที่เรียกว่า โมเลกุล ซึ่งปกติโมเลกุลจะประกอบไปด้วยกลุ่มโปรตอน และกลุ่มอิเล็กตรอน โดยมีจุดศูนย์กลางมวลร่วมกันและอยู่ภายใต้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลและแรงยึดเหนี่ยวภายในอะตอม เมื่อมีแรงจากสนามไฟฟ้ามากระทำกับโมเลกุลและแรงยึดเหนี่ยวภายในอะตอม เมื่อมีแรงจากสนามไฟฟ้ามากระทำกับ โมเลกุลจะทำให้โมเลกุลเกิดการแยกประจุ โดยที่กลุ่มประจุบวกจะถูกผลักไปในทิศทางตามแรงสนามไฟฟ้า และกลุ่มประจุลบจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่สวนกัน ดังนั้น โมเลกุลทุกโมเลกุลของสาร ก็จะก่อตัวเป็นโมเมนต์ขั้วคู่ (Dipole moment) เล็กๆ และชี้ในทิศทางเดียวกับทิศของสนามไฟฟ้าที่ให้เข้าไป ซึ่งสารไดอิเล็กตริกประเภทนี้เป็นสารประเภทโมเลกุลไม่มีขั้ว (Non polar molecule) นอกจากนี้ยังมีสารไดอิเล็กตริกบางชนิดที่มีโมเลกุลก่อตัวเป็น โมเมนต์ขั้วคู่อยู่แล้ว แต่ทิศทางของขั้วคู่ไฟฟ้า (Electric dipole) ชี้ในทิศทางที่ไม่เป็นระเบียบ และเมื่อมีแรงจากสนามไฟฟ้าภายนอกมากระทำต่อโมเลกุล จะทำให้ขั้วคู่เล็กๆ เหล่านี้เรียงตัวในทิศทางเดียวกันอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งเรียกโมเลกุลประเภทนี้ว่า โมเลกุลมีขั้ว (Polar molecule) และเรียกโมเมนต์ประเภทนี้ว่า (Permanent dipole)

2.8 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant)

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก เป็นสมบัติไดอิเล็กตริกในสนามไฟฟ้าสถิต (Dielectrics in static electric fields) คือ เมื่อให้สนามไฟฟ้าแก่สารไดอิเล็กตริกในอุดมคติ จะไม่มีการนำพาของประจุเกิดขึ้น จะมีแต่เพียงการจัดเรียงประจุกันใหม่อย่างจำกัดเท่านั้น จึงต้องอาศัยโมเมนต์ขั้ว (Dipole moment) และเรียกว่าการเกิดขั้วหรือการเกิดโพลาริเซชัน (Polarization) การเกิดโพลาริเซชันในระดับอะตอมนั้นเป็นการเกิดการจัดของอิเล็กตรอนในอะตอมที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของนิวเคลียส สำหรับในวัสดุไอออนนิกจะมีการเกิดโพลาริเซชันแบบไอออนนิกเกี่ยวข้องกับการจัดสัมพันธ์ของแคตไอออนและแอนไอออนเพิ่มเติมเข้ามาอีก โดยสนามไฟฟ้าที่ใช้จะไปทำการจัดวางทิศทางของ

โมเลกุลภายในวัสดุเสียใหม่ ส่วนการเกิดโพลาริเซชันแบบประจุอวกาศ (Space charge polarization) นั้นเกี่ยวข้องกับการขนส่งของพาหะนำประจุที่เป็นไปอย่างจำกัดจนกระทั่งพาหะเหล่านี้มาหยุดรวมกันอยู่ที่บริเวณกำแพงพลังงานศักย์ ซึ่งอาจเป็นขอบเฟส (Phase boundary) ก็ได้ (สุรพล, 2535)

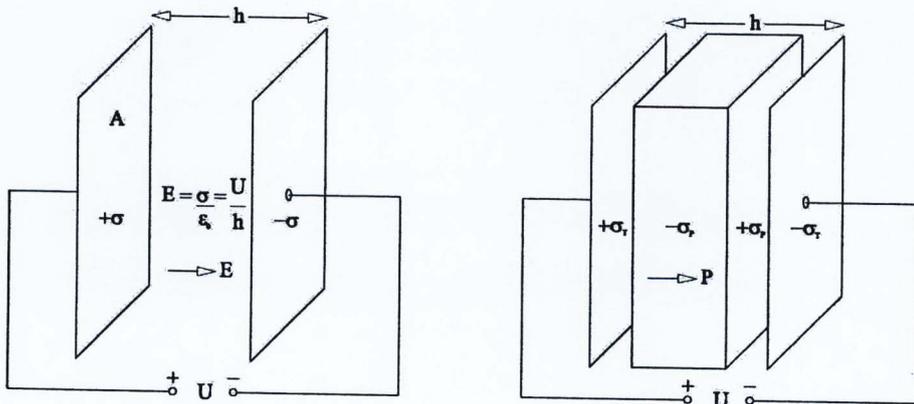
โดยปกติแล้ว ขั้วคู่ไฟฟ้าจะประกอบด้วยสองจุดประจุที่มีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงกันข้ามกันและอยู่ห่างกันเป็นระยะ δx ซึ่งค่าโมเมนต์ขั้วคู่ p ของแต่ละขั้วคู่นั้นสามารถหาได้จากสมการที่ 2.1

$$p = Q\delta x \tag{2.1}$$

วัสดุที่มีการเกิดโพลาริเซชันนั้นก็เปรียบเสมือนกับปริซึมขั้วคู่มูลฐาน (Elementary dipolar prisms) ที่มีความหนาแน่นประจุของพื้นผิวด้านที่อยู่ตรงปลายปริซึมด้านหนึ่งเป็น $+\sigma_p$ และอีกด้านเป็น $-\sigma_p$ สำหรับค่าโมเมนต์ขั้วคู่ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของวัสดุนั้นจะเรียกว่า การเกิดขั้วโพลาริเซชัน p และสามารถมีการเปลี่ยนแปลงไปได้ในแต่ละย่าน

ความสัมพันธ์ที่สำคัญหลายอย่างนั้น สามารถพบได้จากการพิจารณาถึงอิทธิพลของการนำสารไดอิเล็กตริกมาใส่เข้าไปในช่องว่างที่อยู่ระหว่างแผ่นระนาบคู่ขนานของตัวเก็บประจุ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 จากทฤษฎีของเกาส์ (Gauss's theorem) นั้นสนามไฟฟ้า E ทั้งที่อยู่ระหว่างและที่ตั้งฉากอยู่กับแผ่นระนาบคู่ขนานที่มีความหนาแน่นประจุบนพื้นผิวเป็น σ และมีสูญญากาศกั้นอยู่ จะมีค่าดังสมการที่ 2.2

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \tag{2.2}$$



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.5 ไดอิเล็กตริกที่อยู่ระหว่างระนาบคู่ของตัวเก็บประจุ

เนื่องจากการให้ความต่างศักย์ขนาดเท่ากันแก่ทั้งสถานะ (a) และ (b) ดังนั้น E จึงเป็นเช่นเดิมแต่ในกรณี (b) นั้น ความหนาแน่นประจุที่มาจากกรเกิดโพลาริเซชัน σ_p บนผิวหน้าของสารไดอิเล็กตริกจะไปหักล้างกันกับความหนาแน่นประจุรวม σ_T บางส่วนที่อยู่บนแผ่นระนาบด้วยเหตุนี้ความหนาแน่นประจุยังผลที่ทำให้เกิด E ในกรณี (b) จึงลดลงเหลือเพียง $\sigma_T - \sigma_p$ และจะได้

$$E = \frac{\sigma_T - \sigma_p}{\epsilon_0} \quad (2.2)$$

2.9 สนามไฟฟ้าในวงจรไดอิเล็กตริก

หากนำประจุไฟฟ้าที่มีขั้วต่างกันนำมาวางบริเวณใกล้กัน แรงที่กระทำระหว่างประจุนั้นเรียกว่าสนามไฟฟ้า ปริมาณสนามไฟฟ้าจะมีมากหรือน้อยอาจแสดงหรือวัดได้ในรูปของแรงที่เกิดขึ้นโดยใช้กฎของ กูลอมบ์ (Coulomb's law) ซึ่งขึ้นอยู่กับประจุ (q) และความเข้มหรือความเครียดสนามไฟฟ้า (สำรวจ, 2528)

ไดอิเล็กตริกก็คือฉนวนไฟฟ้า ซึ่งมีช่องว่างพลังงาน (Energy gap) ของฉนวนไฟฟ้ากว้าง 3 อิเล็กตรอน - โวลต์ ($1.6 \times 10^{-19} J$) ขึ้นไป ไดอิเล็กตริกชนิดต่างๆจะถูกกำหนดด้วยค่าคงตัวไดอิเล็กตริกหรือค่าเพอร์มิตติวิตี (ϵ) ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ความหนาแน่นของฟลักซ์ไฟฟ้า (D) และสนามไฟฟ้า (E) ดังสมการที่ 2.3

$$D = \epsilon E \quad (2.3)$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \quad (2.4)$$

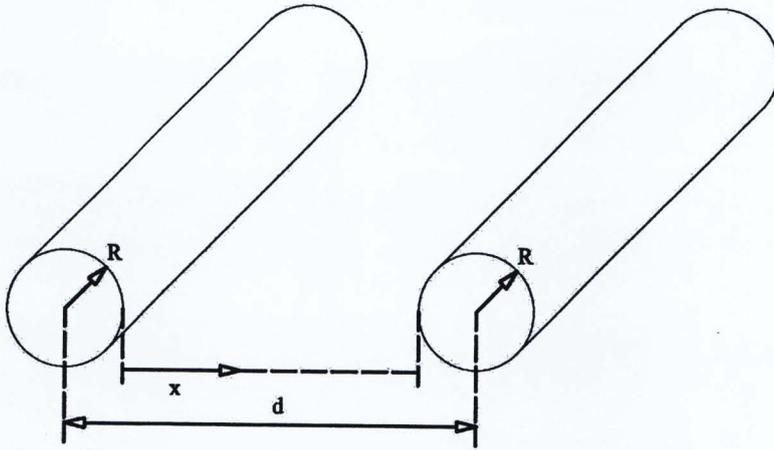
โดยที่

$$\epsilon_0 = \text{Permittivity of free space } (8.85 \times 10^{-12} \text{ ฟารัดต่อเมตร})$$

$$\epsilon_r = \text{Relative permittivity}$$

2.9.1 สนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดแบบแท่งวางขนานกัน

ในกรณีที่ใช้อิเล็กโทรดทรงกระบอกที่มีประจุตรงข้ามกันวางขนานกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 จะสามารถหาสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ผิวของอิเล็กโทรดได้จากสมการที่ 2.5



รูปที่ 2.6 อีเล็กโทรดแบบแท่งคู่

$$E = \frac{V}{2} \frac{\sqrt{d^2 - 4R^2}}{\left[(R-x)(d-2R) - x^2 \right] \ln \left[\frac{d}{2R} + \sqrt{\left[\frac{d}{2R} \right]^2 - 1} \right]} \quad (2.5)$$

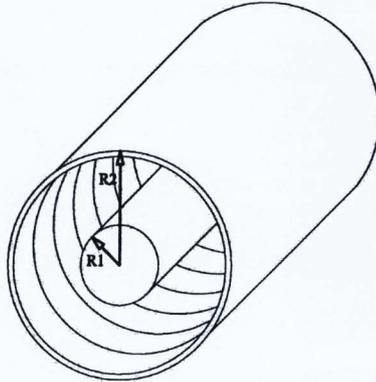
เมื่อ

- E = ค่าความเข้มสนามไฟฟ้า (V/cm)
 V = แรงดันที่ป้อนสู่ขั้วอีเล็กโทรด (V)
 d = ระยะห่างระหว่างอีเล็กโทรด (cm)
 R = รัศมีของอีเล็กโทรด (cm)
 x = ความเข้มสนามไฟฟ้าในแนวแกน x (cm)

จากสมการที่ 2.5 พบว่าระยะห่างระหว่างอีเล็กโทรด (d) ที่มากขึ้นมีผลทำให้ความเข้มสนามไฟฟ้า (E) ลดลง นอกจากนี้ รัศมีของอีเล็กโทรด (R) ก็มีผลต่อความเข้มของสนามไฟฟ้าเช่นเดียวกัน

2.9.2 สนามไฟฟ้าในอิเล็กโทรดแบบแท่งกับวงแหวน

สนามไฟฟ้าจากอิเล็กโทรดแบบแท่งกับวงแหวนจะมีสนามไฟฟ้ากระจายอย่างสม่ำเสมอรอบแกนกลาง สนามไฟฟ้าจะมีทิศในแนวรัศมี ลักษณะของอิเล็กโทรดแสดงดังรูปที่ 2.7 และสามารถคำนวณค่าของความเข้มสนามไฟฟ้า (E) ได้จากสมการที่ 2.6



รูปที่ 2.7 ลักษณะของ อิเล็กโทรดแบบแท่งกับวงแหวน

$$E = \frac{V}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \cdot \frac{1}{R_1} \quad (2.6)$$

เมื่อ

E	=	ค่าความเข้มสนามไฟฟ้า (V/m)
V	=	แรงดันที่ป้อนสู่ขั้วอิเล็กโทรด (kV)
R_1	=	รัศมีของอิเล็กโทรดแบบแท่ง (m)
R_2	=	รัศมีของอิเล็กโทรดแบบวงแหวน (m)

จากสมการที่ 2.6 จะพบว่าค่าของ R_1 กับ R_2 จะมีผลต่อค่าความเข้มสนามไฟฟ้า (E) กล่าวคือ หากค่า $\ln(R_2/R_1)$ มีค่าต่ำจะทำให้ค่าความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าสูง ในทางกลับกันหากค่า $\ln(R_2/R_1)$ มีค่าสูงขึ้นก็จะทำให้ค่าความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าต่ำลง

2.10 การศึกษาด้านจลนศาสตร์ทางเคมี (Chemical kinetics)

2.10.1 อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (Rate of chemical reaction)

การศึกษาถึงอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของปฏิกิริยาเคมีหนึ่งๆ โดยทั่วไปมักพิจารณาจากอัตราการลดลงของสารตั้งต้น หรืออัตราการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์ ต่อหน่วยเวลา เช่น สมการ $A + 2B \rightarrow C$

$$\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยา} = -\frac{dC_A}{dt} = -\frac{1}{2} \frac{dC_B}{dt} = \frac{dC_C}{dt} \quad (2.7)$$

เมื่อ

C_A , C_B และ C_C คือความเข้มข้นของสารตั้งต้น A , B และ C ตามลำดับ

หรือหากพิจารณาความสัมพันธ์จากการลดลงของสารตั้งต้นจะสามารถเขียนความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นของการเกิดปฏิกิริยาได้ดังความสัมพันธ์

$$r = kC_A^m C_B^n \quad (2.8)$$

เมื่อ r คือ อัตราการเกิดปฏิกิริยา k คือ ค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาที่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ m และ n ค่าของอันดับของปฏิกิริยาโดยทั่วไปหาได้จาก $m + n$ ดังนั้นในกรณีการศึกษาปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล หรือ ทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่าสามารถสร้างความสัมพันธ์ของการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง ไนมัน และเมทานอล (Kusdiana and Saka, 2001) ได้ดังความสัมพันธ์



ซึ่งจากความสัมพันธ์ในสมการที่ 1 จะเห็นได้ว่า 1 โมลของน้ำมันพืชใช้แล้ว (Triglycerides, TG) จะทำปฏิกิริยาพอลิกับเมทานอล (MeOH) 3 โมล เพื่อผลิตน้ำมันไบโอดีเซล (Methyl esters, ME) จำนวน 3 โมล และกลีเซอริน (G) 1 โมล ทำให้หาอัตราการเกิดปฏิกิริยา (r) และค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยา (k) ได้ดังความสัมพันธ์

$$r = kC_{TG}^m C_{MeOH}^n \quad (2.10)$$

เมื่อ C_{TG} คือความเข้มข้นของ Triglycerides และ C_{MeOH} คือความเข้มข้นของเมทานอล

2.10.2 Arrhenius equation

Arrhenius equation คือศึกษาศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยา (k) กับอุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา (T) โดยจะหาได้จากสมการ

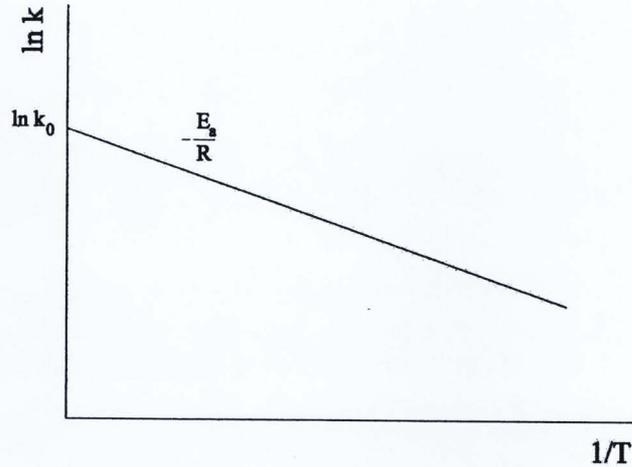
$$k = (k_0) \left(e^{-\frac{E_a}{RT}} \right) \quad (2.11)$$

เมื่อ k_0 คือ pre-exponential factor E_a คือ activation energy (kJ/mol) R คือ universal gas constant ($8.314 J/mol.K$) และ T คืออุณหภูมิ (K) จากสมการข้างต้นอาจแสดงความสัมพันธ์ในรูป

$$\ln k = \left(-\frac{E_a}{R} \right) \frac{1}{T} + \ln k_0 \quad (2.12)$$

หากทำการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง $\ln k$ และ $1/T$ จะสามารถหาค่า Activation energy (E_a) จากความชันของกราฟที่ได้ $\left(-\frac{E_a}{R} \right)$ และ Pre-exponential factor (k_0) จากจุดตัดในแกนในแนวตั้ง ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 Arrhenius plot of $\ln k$ and $1/T$

ค่า Activation Energy (E_a) หรือค่าพลังงานก่อกัมมันต์ ที่หาได้จากความสัมพันธ์ตามสมการของ Arrhenius จะแสดงถึงค่าพลังงานต่ำที่สุดที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นได้ ดังนั้นหากค่าพลังงานก่อกัมมันต์มีค่าสูงแสดงให้ทราบได้ว่าปฏิกิริยาดังกล่าวต้องการพลังงานเพื่อป้อนให้กับระบบในปริมาณมากในการทำปฏิกิริยา ส่วน ค่า Pre-exponential Factor (k_0) หรืออาร์เรเนียสแฟกเตอร์ จะแสดงถึงค่าความถี่ของการปะทะ หรือการชนกันระหว่าง โมเลกุลเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา ดังนั้นหากมีค่าสูง แสดงให้เห็นว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้นด้วย

2.11 การคำนวณต้นทุนการผลิต

การศึกษาแนวโน้มของต้นทุนการผลิตในอนาคตอาศัยการคำนวณทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกระบบการผลิต

$$C_B = \frac{\dot{C}_P}{\dot{E}_P} \quad (2.13)$$

เมื่อ

C_B	=	ต้นทุนต่อหน่วยการผลิตของน้ำมันไบโอดีเซล (บาท/ลิตร)
\dot{C}_P	=	ต้นทุนรวมรายปี (บาท/ปี)
\dot{E}_P	=	ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ในแต่ละปี (ลิตร/ปี)

การหาต้นทุนรวมของการผลิตจะทำการคำนวณจากการทำสมมูลต้นทุน ดังสมการ

เมื่อ

$$\dot{C}_P = \dot{C}_C + \dot{C}_E + \dot{C}_{O\&M} \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned} \dot{C}_P &= \text{ต้นทุนรวมรายปี (บาท/ปี)} \\ \dot{C}_C &= \text{มูลค่าเงินลงทุนสุทธิ (มูลค่าเงินลงทุนที่หักมูลค่าซากแล้ว)} \\ &\quad \text{(บาท/ปี)} \\ \dot{C}_E &= \text{ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ใช้ในการผลิต (บาท/ปี)} \\ \dot{C}_{O\&M} &= \text{ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและบำรุงรักษา (บาท/ปี)} \end{aligned}$$

ในการคำนวณค่าต้นทุนรวมรายปีจะต้องปรับมูลค่าเงินในการคำนวณค่าใช้จ่ายในแต่ละส่วนตามช่วงเวลาดังนี้

2.11.1 การคำนวณมูลค่าปัจจุบัน จะต้องมีการปรับค่าใช้จ่ายในส่วนของเงินลงทุนในส่วนของมูลค่าซาก ณ ปีปัจจุบัน ให้เป็นมูลค่าเงินรายปีที่เท่ากันทุกปี ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังความสัมพันธ์

$$\dot{C}_C = NC_{C,PW} \times CRF \quad (2.15)$$

$$NC_{C,PW} = C_{C,PW} - \frac{S_n}{(1+i)^n} \quad (2.16)$$

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2.17)$$

เมื่อ

$$NC_{C,PW} = \text{มูลค่าเงินลงทุนลบด้วยมูลค่าซาก ณ ปีปัจจุบัน}$$

$$C_{C,PW} = \text{มูลค่าเงินลงทุน ณ ปี ปัจจุบัน (บาท)}$$

$$S_n = \text{มูลค่าซาก ณ ปีที่ } n$$

$$CRF = \text{Capital recovery factor}$$

$$i = \text{Discount rate}$$

$$n = \text{อายุโครงการ (ปี)}$$

2.11.2 การคำนวณค่าใช้จ่ายในส่วนของการใช้พลังงาน และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการและการบำรุงรักษา ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทุกปี อีกทั้งยังมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามอัตรา

เพิ่มขึ้นของต้นทุนทางด้านพลังงานและอัตราค่าเงินบาทของประเทศ ทำให้การคำนวณต้องมีการปรับมูลค่าเงินให้เป็นเงินในปีปัจจุบันก่อน และจึงปรับให้เป็นมูลค่าเงินรายปีที่เท่ากับทุกปี ซึ่งคำนวณได้ดังความสัมพันธ์

$$PW = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=1}^n \frac{F_o(1+e)^t}{(1+i)^t} \quad (2.18)$$

เมื่อ	PW	=	ค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการที่มีมูลค่าเทียบเท่าปีปัจจุบัน (บาท)
	F_t	=	ค่าใช้จ่ายรายปีที่มีมูลค่าตามปีที่ t และ $t = 1, 2, 3, \dots, n$
	F_o	=	ค่าใช้จ่าย ณ.ปีปัจจุบัน
	e	=	escalation rate ของค่าใช้จ่ายนั้นๆ
	n	=	อายุโครงการ (ปี)

จากนั้นทำการคำนวณค่าใช้จ่ายทั้งในส่วนของการใช้พลังงาน (\dot{C}_E) และการดำเนินงานและบำรุงรักษา ($\dot{C}_{O\&M}$) ให้มีมูลค่าเท่ากับทุกปีดังความสัมพันธ์

$$\dot{C} = PW \times CRE \quad (2.19)$$

เมื่อ \dot{C} = ค่าใช้จ่ายรายปีที่มีมูลค่าปัจจุบันเท่ากับทุกปี (บาท/ปี)

2.12 การทดสอบสมบัติน้ำมันไบโอดีเซล

ในการนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลทั่วไป ต้องมีการทดสอบสมบัติเบื้องต้นที่ประกอบไปด้วย การทดสอบจุดขุ่นตัว ซึ่งจะบอกให้ทราบถึงอุณหภูมิต่ำสุดของเชื้อเพลิงนั้น ไปใช้โดยไม่เกิดการอุดตันในระบบส่งจ่ายเชื้อเพลิง การทดสอบจุดเทตัวที่บ่งบอกอุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อเพลิงยังสามารถไหลได้ การทดสอบความหนืดหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ความข้นใสของน้ำมัน ซึ่งจะบอกได้ถึงความสามารถที่เชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ การทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเป็นตัวแปรที่สำคัญในการนำเชื้อเพลิง ไปใช้งานทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล โดยจะใช้มาตรฐานการทดสอบตามตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติน้ำมันไบโอดีเซล

การทดสอบ	มาตรฐาน
จุดขุ่นตัว (Cold Point)	ASTM D2500
จุดเทตัว (Pour Point)	ASTM D97
ความหนืด (Viscosity)	ASTM D88
ค่าความร้อน (Heating Value)	ASTM D240