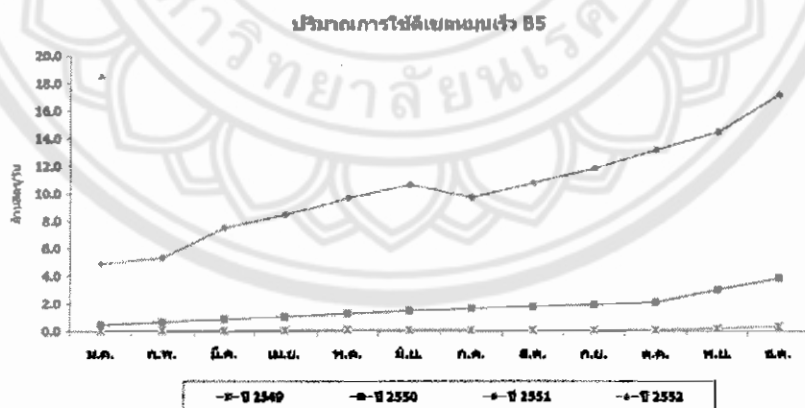


บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

2.1 ความสำคัญของน้ำมันไบโอดีเซลและความต้องการน้ำมันไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้จากชีวมวลจำพวกพืชน้ำมัน เช่น ถั่วเหลือง ปาล์ม มะพร้าว เป็นต้น ซึ่งเป็นแหล่งพลังงาน ไม้รู้หมด (renewable energy) สามารถปลูกทดแทนได้ ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง พืชจะดึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศไปใช้ จึงเป็นหนทางควบคุมปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศและลดปัญหาโลกร้อน การเผาไหม้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลบริสุทธิ์ (B100) เกิดขึ้นได้สมบูรณ์กว่าและให้อิเสษที่สะอาดกว่าน้ำมันดีเซล ไม่ก่อให้เกิดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เนื่องจากในไบโอดีเซลไม่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ช่วยลดปริมาณไฮโดรคาร์บอนลงร้อยละ 65 ลดปริมาณเขม่าลงร้อยละ 45 และลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ลงร้อยละ 41 แต่ปริมาณแก๊สไนโตรเจนออกไซด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ร้อยละ 6) ซึ่งแก้ไขได้โดยการปรับแต่งเครื่องยนต์ให้เหมาะสม



หน่วย : ล้านลิตร

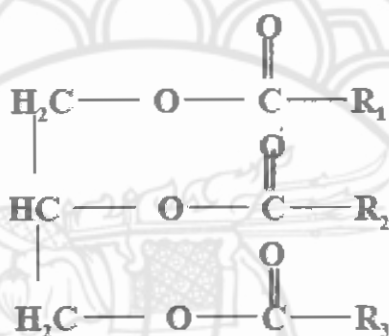
ปี พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
2549	0.046	0.054	0.056	0.088	0.134	0.115	0.103	0.092	0.094	0.111	0.190	0.320	0.117
2550	0.465	0.670	0.889	1.072	1.285	1.505	1.667	1.793	1.934	2.103	3.008	3.826	1,685
2551	4.016	5.330	7.512	8.453	9.666	10.650	9.709	10.782	11.824	13.183	14.440	17.155	10,302
2552	18.378												

ที่มา กระทรวงพลังงาน

รูปที่ 2.1 แสดงปริมาณการใช้ดีเซลหมุนเร็ว B5 (ไบโอดีเซล)

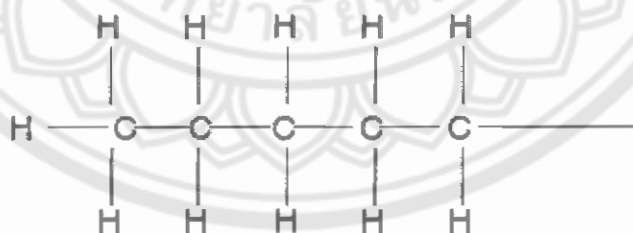
2.2 น้ำมันที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

ไขมันและน้ำมัน เป็นเอสเทอร์ (Ester) ที่เกิดจากกลีเซอรอล (Glycerol) ซึ่งเป็นไตรไฮดริคแอลกอฮอล์ (Trihydric alcohol) กับกรดไขมัน เรียกว่า กลีเซอรอลเอสเทอร์ (Glycerol esters) หรือกลีเซอไรด์ (Glycerides) กลีเซอไรด์ ที่พบแบ่งได้เป็น 3 ชนิดตามจำนวนกรดไขมัน คือ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ และไตรกลีเซอไรด์ โดยที่อุณหภูมิห้องกลีเซอไรด์ที่เป็นของแข็งเรียกว่า ไขมัน (Fats) ถ้าเป็นของเหลวเรียกว่า น้ำมัน (Oils) ไขมันหรือน้ำมัน โดยทั่วไปเป็นสารประเภทไตรกลีเซอไรด์ที่มีสูตรโครงสร้างทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงโมเลกุลของน้ำมันหรือไขมัน

โดย R ในภาพประกอบ 1 แทน ไฮโดรคาร์บอนโซ่ยาว คือมีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเท่านั้น โดยมีคาร์บอนอะตอมต่อกันเป็นโซ่ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงไฮโดรคาร์บอนโซ่ยาว

แต่ละโซ่ของไฮโดรคาร์บอนจะมีจำนวนคาร์บอนอะตอมไม่เท่ากัน โดยทั่วไปมีจำนวนคาร์บอนระหว่าง 11-19 ตัว นอกจากนี้แล้วโซ่คาร์บอนอาจอิมตัว หรือไม่อิมตัวก็ได้ โซ่คาร์บอนอิมตัว หมายถึง พันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนเป็นพันธะเดี่ยวทั้งหมด ส่วนโซ่คาร์บอนไม่อิมตัว คือ มีพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนเป็นพันธะคู่ ซึ่งอาจจะมีเพียงหนึ่งพันธะหรือ

มากกว่าก็ได้ และการที่มีจำนวนพันธะคู่มากจะทำให้มีความอิ่มตัวสูง โดยน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ มีกรดไขมันเป็นองค์ประกอบแตกต่างกัน ไปดังแสดงในตาราง 2.1

เนื่องจากน้ำมันพืช และสัตว์มีกรดไขมันชนิดต่างกันเป็นองค์ประกอบ โดยมีปริมาณของกรดไขมันอยู่ในโครงสร้างถึงร้อยละ 94 – 96 % ของน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ทำให้คุณสมบัติทั้งทางเคมี และกายภาพของน้ำมันแต่ละชนิดแตกต่างกันซึ่งคุณสมบัติ และค่าความร้อนของน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตาราง 2.2

โมเลกุลส่วนใหญ่ของน้ำมันพืชมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) มากกว่ากรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) ดังนั้นจึงปรากฏเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง สำหรับโมเลกุลของไขมันสัตว์มีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว จึงปรากฏเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง และทำให้ไขมันสัตว์มีลักษณะเฉพาะ คือ มีจุดหลอมเหลวสูงและมีความหนืดสูง นอกจากนี้ยังมีจุดขุ่นตัวและจุดเทตัวสูงกว่าน้ำมันพืชอีกด้วย

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบกรดไขมันหลักของน้ำมันพืชต่าง ๆ

น้ำมันชนิดดิบ	องค์ประกอบกรดไขมันหลัก (%)						
	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
น้ำมันปาล์มโอสลิน	0.1-0.5	0.5-1.5	38.0-43.5	3.5-5.0	39.8-46.0	10.0-13.5	0-0.6
น้ำมันปาล์มลเดียร์น	0.1-0.5	1.0-2.0	48.0-74.0	3.9-6.0	15.5-3.60	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
น้ำมันเมล็ดเรพ	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	2.0-5.4	2.0-5.4	17.7-28.0	49.8-59.0	5.0-11.0

ที่มา : เครือข่ายสารสนเทศด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติและค่าความร้อนของน้ำมันชนิดต่าง ๆ

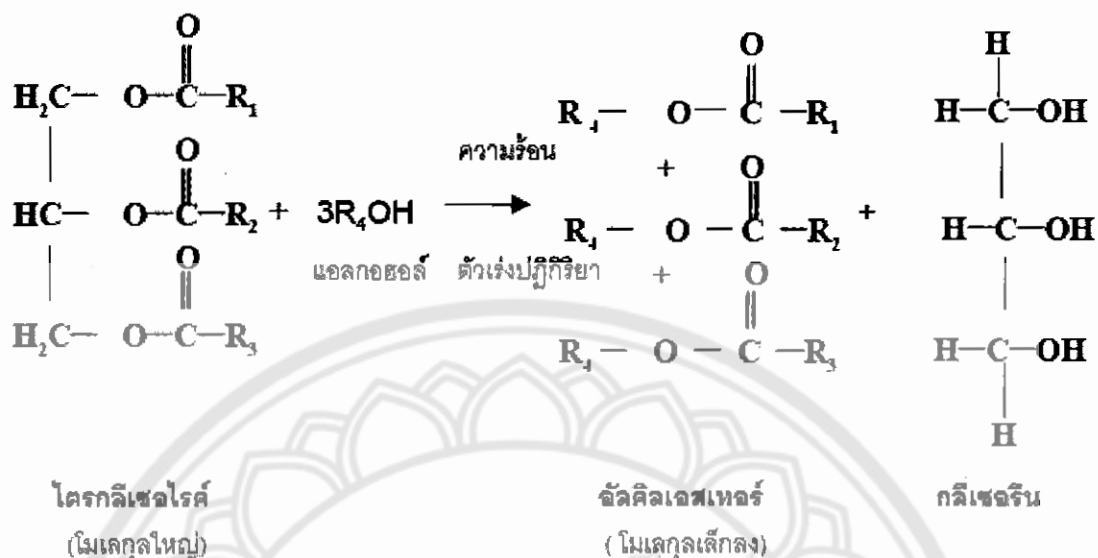
น้ำมัน	ความถ่วงจำเพาะ (ที่ 21 °C) (กรัม/มล.)	ความหนืด (ที่ 21 °C) (เซนติสโตก)	ค่าความร้อน (กิโลจูล / กก.)
ถั่วเหลือง	0.918	57.2	39,350
ทานตะวัน	0.918	60.0	39,490
มะพร้าว	0.915	51.9	37,540
ถั่วลิสง	0.914	67.1	39,470
ปาล์ม	0.898	88.6	39,550
เมล็ดในปาล์ม	0.904	66.3	37,720
เมล็ดสบู่ดำ	0.915	36.9 (วัดที่ 38 °C)	39,000
น้ำมันดีเซล	0.845	3.8	46,800

ที่มา : เครื่องขายสารสนเทศด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน (Transesterification)

ไบโอดีเซล คือ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตมาจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ โดยผ่านขบวนการที่ทำให้โมเลกุลเล็กลงให้อยู่ในรูปเอทิลเอสเทอร์ (Ethyl esters) หรือ เมทิลเอสเทอร์ (Methyl esters) ซึ่งคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล กระบวนการนี้เรียกว่า กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน (Transesterification) โมเลกุลของน้ำมันส่วนใหญ่คือ ไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นสารเอสเทอร์ 3 ตัว เกาะกันอยู่กับโมเลกุลของกลีเซอริน โมเลกุลในน้ำมันพืชสามารถเรียกได้อีกชื่อว่ากลีเซอรอลเอสเทอร์ ประมาณ 20 % ของโมเลกุลน้ำมันพืช คือ กลีเซอรอล หรือ กลีเซอไรด์ ตัวกลีเซอรินนี้เองที่ทำให้ น้ำมันพืชเหนียวหนืด ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน กลีเซอรินที่จะถูกกำจัดออกจาก น้ำมันพืชกรดไขมันจะถูกแยกออกเพื่อทำให้โมเลกุลเล็กลงเพื่อลดความหนืด (Viscosity) เนื่องจาก น้ำมันพืชทั่วไปเป็นสารประกอบประเภท ไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งตามธรรมชาติจะมีความหนืดสูง มีผลมาจากการที่มีมวลโมเลกุลใหญ่ สามารถนำมาทำให้มีมวลโมเลกุลเล็กลงเพื่อให้ความหนืดลดลงได้ โดยใช้กระบวนการที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน ซึ่งจะได้น้ำมันที่มีความหนืดลดลง

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันคือ ปฏิกิริยาแตกพันธะของเอสเทอร์ ด้วยแอลกอฮอล์โดยมีกรด (Acid) หรือเบส (Alkali) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ เอสเทอร์และกลีเซอริน ในทางทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์จะต้องใช้อัตราส่วนโดยโมลของแอลกอฮอล์กับน้ำมัน เป็น 3 : 1 ดังรูป 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

แอลกอฮอล์ที่ใช้ ได้แก่ เมทานอล หรือเอทานอล โดยที่เมทานอลมักจะนิยมใช้มากกว่า เนื่องจากมีราคาถูก และเป็นแอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลเล็ก ทำให้สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับไขมันหรือน้ำมันได้ง่าย ถ้าใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาก็จะสามารถละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอลในระหว่างเตรียมสารได้ง่ายด้วยซึ่งสารที่ได้นี้ถูกเรียกว่า โซเดียมเมธีอกไซด์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โซเดียมเมธีอกไซด์ (NaOCH₃) โซเดียมเอธีอกไซด์ (NaOC₂H₅) หรือโพแทสเซียมเมธีอกไซด์ (KOCH₃) เป็นต้น ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบสได้รับความนิยมมากกว่าเนื่องจากเบสให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง ปฏิกิริยาเกิดได้สมบูรณ์ และให้ผลดีที่อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยาค่าต่ำกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด อย่างไรก็ตามการใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะต้องให้แอลกอฮอล์ และไขมันหรือน้ำมันที่นำมาใช้นั้นไม่มีน้ำหรือความชื้นปนเพราะจะทำให้เกิดปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชัน (Saponification) ซึ่งจะทำให้เกิดสบู่ ทำให้เกิดอัลคิลเอสเทอร์น้อยลง และทำให้การแยกกลีเซอรินออกจากเอสเทอร์ยาก แต่ถ้าแอลกอฮอล์ ไขมันหรือน้ำมันมีปริมาณน้ำปนอยู่มากก็อาจใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแทนที่จะใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา กรดที่ใช้ส่วนใหญ่คือ กรดซัลฟูริก (H₂SO₄) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) แต่วิธีง่ายกว่าคือเพิ่มกระบวนการไล่่น้ำออกจากน้ำมันเสียก่อน หลังจากปฏิบัติสิ้นสุดลงผลิตภัณฑ์ที่จะได้ถูกแยกออกเป็น 2 ชั้น โดยชั้นบนเป็นอัลคิลเอสเทอร์ ส่วนชั้นล่างเป็นกลีเซอริน ซึ่งจะถูกแยกออกจากสารละลายชั้นบนโดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่น ชนิดของอัลคิลเอสเทอร์ที่เป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมันที่ใช้เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยา

2.4 ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส

เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน เช่น Sodium hydroxide, Potassium hydroxide เป็นต้น โดยจะมีการเร่งปฏิกิริยาที่เร็วกว่าการใช้กรดหลายเท่า จึงมักนิยมใช้วิธีการนี้ในการผลิตไบโอดีเซล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ Sodium hydroxide และ Potassium hydroxide ซึ่งมีราคาถูกกว่าสารชนิดอื่น ๆ

กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีระดับการเปลี่ยนแปลงไขมัน เป็นเมทิลเอสเทอร์ที่สูงในระยะเวลาอันสั้น แต่ก็พบว่ามีข้อเสียหลายประการ เช่น การแยกกลีเซอรอลทำได้ยาก มีการรบกวนของ Free fatty acid และการมีน้ำในปฏิกิริยา การกำจัดกรดหรือเบสที่ปะปนอยู่กับเมทิลเอสเทอร์ที่ได้และจำเป็นต้องทำการบำบัดน้ำเสียในภายหลัง

2.5 ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล

2.5.1 การเตรียมน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยา

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจะถูกเตรียมให้เหมาะสมก่อนเข้าทำปฏิกิริยา โดยหากเป็นน้ำมันพืชดิบจำเป็นต้องผ่านกระบวนการแยกขางเหนียว และลดกรดให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก วัตถุดิบที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 5% แล้ว จะถูกนำไปขจัดน้ำออกโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ประมาณ 20 นาที

2.5.2 การหาปริมาณ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้เมทิลแอลกอฮอล์หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เมทานอล เข้าทำปฏิกิริยากับน้ำมันพืชดิบ โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เลือกใช้ เมทานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์เพราะมีราคาถูก โดยเมทานอลต้องไม่มีน้ำเจือปนเกินกว่า 1% การเตรียม สารละลายกระทำโดยการนำโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เตรียมเป็นไปตามปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในวัตถุดิบ หากกรดไขมันอิสระมีปริมาณสูงก็ต้องใช้ NaOH ในสัดส่วนที่สูง

2.5.3 การทำปฏิกิริยา

น้ำมันที่ถูกขจัดน้ำแล้วจากนั้นจึงเติมสารละลายแอลกอฮอล์ที่ผสมตัวเร่งปฏิกิริยาลงไปอย่างช้า ๆ สัดส่วนน้ำมันต่อสารละลายแอลกอฮอล์โดยน้ำหนักเท่ากับ 3:1 จนถึง 20:1 ทำการกวนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างทั่วถึง อุณหภูมิในช่วงทำปฏิกิริยาประมาณ 55 องศาเซลเซียส การเกิดปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ได้เมทิลเอสเทอร์และกลีเซอริน แต่ปฏิกิริยานี้ผันกลับได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหยุดกวนเพื่อแยกผลผลิตตัวใดตัวหนึ่งออก เมื่อ

หุคควนกลีเซอรินซึ่งมีความหนาแน่นสูงกว่า (ประมาณ 1.26 กรัม/มิลลิลิตร) จะแยกชั้นออกจากชั้นเมธิลเอสเทอร์ โดยแยกตัวตกลงมาที่ก้นถัง ดังนั้นในชั้นเมธิลเอสเทอร์จะเหลือกลีเซอรินอยู่น้อย

2.5.4 การแยกกลีเซอริน

กลีเซอรินจะถูกถ่ายออกใส่ภาชนะ โดยการถ่ายออกทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์ในขณะที่ยังร้อนอยู่เพราะหากทิ้งไว้ให้เย็น ชั้นกลีเซอรินจะกลายเป็นของแข็ง

2.5.5 การล้างสิ่งปนเปื้อนออก

เมธิลเอสเทอร์ที่ได้ยังปนเปื้อนด้วยสารอื่น ๆ เช่น สบู่ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดไขมันอิสระหรือน้ำมัน กลีเซอรินที่ละลายอยู่ในชั้นเมธิลเอสเทอร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาและน้ำมันที่ทำปฏิกิริยาไม่หมด การล้างสิ่งปนเปื้อนสามารถทำได้ 4 วิธีคือ

2.5.5.1 การล้างโดยใช้ฟองอากาศ (Bubble Washing)

โดยทั่วไปมักใช้น้ำตั้งแต่ 25-50% ของน้ำมันไบโอดีเซล โดยเทน้ำลงไปผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลในถังที่จะใช้ทำกระบวนการขจัดสารตกค้างจากนั้นติดตั้ง airpump และ airstone ใช้สำหรับผลิตออกซิเจนให้กับน้ำ โดยเราจะเปิดให้ airpump และ airstone ทำงาน 6-8 ชั่วโมง จากนั้นตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมงก็จะเกิดการแยกชั้นของน้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำ โดยชั้นของน้ำจะอยู่ด้านล่าง และในการขจัดสารตกค้างครั้งแรกชั้นของน้ำที่ได้จะขุ่น ดังนั้นควรทำการขจัดสารตกค้าง 3-4 ครั้งจนกว่าน้ำที่ได้จากการขจัดสารตกค้างจะใส และมีค่า pH = 7 การ Washing วิธีนี้สามารถทำได้ง่าย ใช้น้ำในการขจัดสารตกค้างน้อย, เครื่องมือหาได้ง่าย สะดวก

2.5.5.2 การล้างโดยใช้การสเปรย์ (Mist-Washing)

โดยใช้การฉีดสเปรย์น้ำที่อยู่บนถังที่จะใช้ทำกระบวนการขจัดสารตกค้างลงไปที่น้ำมันไบโอดีเซล โดยไม่ต้องเขย่าถังและปล่อยสเปรย์น้ำอย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดชั้นของอิมัลชันจากนั้นตัดทิ้งไว้เพื่อรอให้เกิดการแยกชั้นของน้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำ โดยชั้นของน้ำจะอยู่ด้านล่างและในการขจัดสารตกค้างครั้งแรกชั้นของน้ำที่ได้จะขุ่น ดังนั้นควรทำการขจัดสารตกค้าง 3-4 ครั้งจนกว่าน้ำที่ได้จากการขจัดสารตกค้างจะใส และมีค่า pH 7 การขจัดสารตกค้างวิธีนี้ใช้ปริมาณน้ำมากกว่าในการขจัดสารตกค้างแต่ละครั้ง, ใช้อุปกรณ์มาก และผลลัพท์ที่ออกมา มักจะเป็นปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์

2.5.5.3 การล้างโดยการกวน (Stir Washing)

โดยใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนที่ติดอยู่กับถังที่จะใช้ทำกระบวนการขจัดสารตกค้างโดยเราจะเทน้ำไปผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลประมาณ 1/3 ของน้ำมันไบโอดีเซล แล้วทำการเปิดสวิทช์ให้ตัวกวนทำงานประมาณ 5 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง ก็จะเกิดการ แยกชั้นระหว่างน้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำ โดยชั้นของน้ำจะอยู่ด้านล่าง และในการขจัดสารตกค้างครั้งแรกชั้นของน้ำที่ได้จะขุ่น ดังนั้นควรทำการขจัดสารตกค้าง 3-4 ครั้งจนกว่าน้ำที่ได้จากการขจัดสารตกค้างจะใสและมีค่า pH 7 กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่เร็วและมีประสิทธิภาพ ไม่เกิดการบดบังของปฏิกิริยา และ ไม่เกิดออกซิเดชันทำให้เกิดการขจัดสารตกค้างที่มีประสิทธิภาพและแม่นยำ

2.5.5.4. การล้างโดยการผสมกับน้ำ (Mix Washing)

เริ่มโดยเทน้ำประมาณ 50% ของน้ำมันไบโอดีเซล เข้าไปผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลในถังที่จะใช้ทำกระบวนการขจัดสารตกค้างจากนั้นปิดฝาตั้งทิ้งไว้ประมาณ 12 ชั่วโมง ก็จะเกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำมันไบโอดีเซลกับน้ำ โดยชั้นของน้ำจะอยู่ด้านล่าง และในการขจัดสารตกค้างครั้งแรกชั้นของน้ำที่ได้จะขุ่น ดังนั้นควรทำการขจัดสารตกค้าง 3-4 ครั้งจนกว่าน้ำที่ได้จากการขจัดสารตกค้างจะใส และมีค่า pH 7

2.6 การใช้คลื่นไมโครเวฟในการเร่งปฏิกิริยาเคมี

การให้ความร้อนคือการเร่งปฏิกิริยาเคมี ซึ่งแหล่งความร้อนที่ใช้กันส่วนใหญ่มาจากแหล่งความร้อนภายนอก เช่น ตะเกียงก๊าซ electric plate heater ซึ่งการให้ความร้อนจากภายนอกนี้จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการนำความร้อน (the thermal conductivity) ของวัสดุที่ใช้ทำภาชนะซึ่งจะทำให้ภาชนะมีอุณหภูมิสูงกว่าของผสมที่เราต้องการเร่งปฏิกิริยา

ส่วนการใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นแหล่งพลังงานความร้อนนั้นจะเป็นการให้ความร้อนที่ภายในของผสม(ของเหลว)ที่เราต้องการเร่งปฏิกิริยาได้โดยตรง ซึ่งคลื่นไมโครเวฟมีความสามารถที่จะทะลุผ่านภาชนะได้ ทำให้โมเลกุลของของผสมที่เราต้องการเร่งปฏิกิริยาเกิดการชนกันได้เร็วขึ้นซึ่งเมื่อเปรียบที่สภาวะเดียวกัน (ความดัน , อุณหภูมิ , ความเข้มข้นของสารเร่งปฏิกิริยา) อัตราการเกิดปฏิกิริยาของสารจะเกิดได้เร็วกว่าการ ให้ความร้อนแบบภายนอกมาก

คลื่นไมโครเวฟช่วยเร่งปฏิกิริยาได้โดยผ่านเข้าไปในโมเลกุลของน้ำมัน โมเลกุลของน้ำมันจะดูดซับพลังงานของคลื่นไมโครเวฟที่ผ่านเข้าไปและเกิดเป็นความร้อนขึ้น กระบวนการนี้เรียกว่า

การเกิดความร้อนในสารไดอิเล็กตริก (dielectric heating) คือ การที่โมเลกุลส่วนใหญ่ของน้ำมันนั้น เป็นโมเลกุลที่มีขั้วไฟฟ้าคือ มีประจุบวกและประจุลบที่ขั้วตรงกันข้าม เมื่อคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็น สนามไฟฟ้าผ่านเข้าไป โมเลกุลเหล่านี้ก็จะถูกเหนี่ยวนำและหมุนขั้วเพื่อปรับเรียงตัวตามสนามไฟฟ้า ของคลื่นนี้เป็นสนามที่เปลี่ยนแปลงสลับไปมาจึงส่งผลให้โมเลกุลเหล่านี้หมุนกลับไปมา ทำให้เกิด ความร้อนขึ้น อีกทั้งคลื่นทั้งสองชนิดนี้ยังสามารถเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันร่วมกับตัวเร่ง ปฏิกิริยาแบบเบสได้อีกด้วย

คลื่นไมโครเวฟ มีลักษณะเด่น 3 ประการ

- การสะท้อนกลับ (Reflection) คลื่นไมโครเวฟเมื่อไปกระทบกับภาชนะที่เป็นโลหะหรือมี ส่วนผสมของโลหะคลื่นไมโครเวฟไม่สามารถทะลุผ่านภาชนะดังกล่าวได้จะสะท้อนกลับหมด คั้งนั้นสารที่ใส่ในภาชนะที่เป็นโลหะก็จะไม่เกิดความร้อน

- การส่งผ่าน (Transmission) คลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านภาชนะที่ทำด้วยแก้ว กระดาษ ไม้ เซรามิกและพลาสติกได้เพราะภาชนะดังกล่าวไม่มีส่วนผสมของโลหะจึงเป็นภาชนะที่ ใช้ได้ดีในเตาไมโครเวฟ

- การดูดซึม (Absorption) ปกติอาหารโดยทั่วไปจะประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำในอาหาร ซึ่งจะดูดซึมคลื่นไมโครเวฟทำให้อาหารร้อนอย่างรวดเร็วและอีกนัยหนึ่งเมื่อ โมเลกุลของน้ำดูดซึม คลื่นไมโครเวฟแล้วจะสลายตัวในทันทีที่ไม่เหมาะสมในอาหาร

2.7 การวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วย Gas Chromatography

หลักการ คือ ทำการแยกองค์ประกอบของสารที่กระจายอยู่ระหว่างเฟสที่ไม่ผสมกันสอง เฟส คือ เฟสอยู่กับที่ (stationary phase) และ เฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) องค์ประกอบของสาร ตัวอย่างซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างจากเฟสทั้งสองจะเคลื่อนที่ผ่านด้วยอัตราเร็วที่ แตกต่างกัน เมื่อองค์ประกอบของสารเคลื่อนที่ผ่านออกมาจากระบบจะถูกชะแล้วผ่านไปยังเครื่อง ตรวจจับซึ่งจะทำการรายงานผลออกมาในรูปแบบของโครมาโตแกรมเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไปสิ่งที่ ทำให้เทคนิคโครมาโตกราฟีแต่ละเทคนิคมีความแตกต่างกันคือ เฟสเคลื่อนที่สำหรับแก๊สโครมาโต กราฟีจะมีเฟสเคลื่อนที่เป็นแก๊สนั่นเอง

ลักษณะของเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีโดยทั่วไป จะประกอบด้วยส่วนต่างๆ 4 ส่วน ดังนี้

2.7.1 Gas supply unit แก๊สที่ใช้เป็นเฟสเคลื่อนที่จะต้องเป็นแก๊สเฉื่อย โดยปกติแล้วจะใช้ ไนโตรเจน ฮีเลียม อาร์กอน หรือคาร์บอน ไดออกไซด์ ซึ่งการเลือกชนิดของแก๊สจะขึ้นกับชนิดของ เครื่องตรวจจับ เฟสเคลื่อนที่นี้จะถูกนำเข้าสู่เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟีผ่านทางตัวควบคุมอัตราการ ไหลเพื่อรักษาให้มีอัตราการไหลคงที่ถ้าอัตราการไหลมีการเปลี่ยนแปลงไปเพียง 1 เปอร์เซ็นต์จะทำ

ให้เวลาในการหน่วงเหนี่ยวเปลี่ยนไป 1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อจะให้ความแม่นยำมีค่าไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ จะต้องทำการควบคุมอัตราการไหลให้มีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน +0.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นเรื่องยากในการควบคุมเพราะเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการทำโปรแกรมอุณหภูมิก็จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดและอัตราการไหลของแก๊ส ดังนั้นเครื่องมือในรุ่นใหม่ๆ จึงมีระบบไมโครโปรเซสเซอร์ในการควบคุมอัตราการไหลเพื่อแก้ไขปัญหา

2.7.2 Sampling unit หลังจากที่เปิดให้แก๊สพาหะผ่านเข้าสู่ส่วนต่างๆ ของเครื่องมือแล้ว สารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์จะถูกฉีดผ่านมาทางส่วนของ Sampling unit ที่ประกอบด้วยเครื่องฉีดสารและตู้อบ ซึ่งในส่วนนี้สารตัวอย่างจะถูกทำให้ระเหยกลายเป็นไอแล้วส่งผ่านเข้าสู่คอลัมน์เพื่อทำการแยกองค์ประกอบต่างๆ การใช้เครื่องฉีดสารแต่ละชนิดจะขึ้นกับสถานะของตัวอย่างและชนิดของคอลัมน์แต่วิธีการที่ง่ายที่สุดคือการใช้เข็มฉีดสารตัวอย่างผ่านทาง septum ไปยังส่วนที่ทำให้สารระเหยกลายเป็นไอซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของสารประมาณ 50 องศาเซลเซียส สำหรับแพ็คคอลัมน์สารตัวอย่างที่ฉีดจะต้องมีปริมาณ 10-20 ไมโครลิตร ในขณะที่แคปิลารีคอลัมน์จะใช้ตัวอย่างเพียง 10-3 ไมโครลิตร โดยใช้ตัว splitter สำหรับเครื่องมือในปัจจุบันจะมีระบบฉีดสารแบบอัตโนมัติ มีระบบที่คอยควบคุมอุณหภูมิของตู้อบเพื่อให้วิเคราะห์ได้เร็วขึ้นสามารถทำความสะอาดคอลัมน์ปรับปรุงประสิทธิภาพของการแยกสามารถเลือกการระเหยสำหรับการฉีดสารเข้าสู่คอลัมน์โดยตรงจากส่วนบนของคอลัมน์และสามารถลดปัญหาการสลายตัวของสารที่ไม่เสถียรได้

2.7.3 Column unit คอลัมน์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดในการแยกสาร โดยทั่วไปแล้วคอลัมน์สำหรับแก๊สโครมาโตกราฟี มี 2 ประเภทคือ แพ็คคอลัมน์ และแคปิลารีคอลัมน์ แพ็คคอลัมน์จะมี solid support ซึ่งโดยส่วนใหญ่คือ diatomaceous earth เป็นตัวยึดเฟสอยู่กับที่ มีความยาว 1.5-10 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2-4 มิลลิเมตร ในขณะที่แคปิลารีคอลัมน์มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในน้อยกว่าระดับมิลลิเมตรถึง 10 เท่า และสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ wall-coated open tubular (WCOT) ซึ่งผนังภายในถูกเคลือบไว้ด้วยเฟสอยู่กับที่ที่เป็นของเหลว และ support-coated open tubular (SCOT) ซึ่งผนังภายในถูกเคลือบไว้ด้วยสาร เช่น diatomaceous earth เป็นชั้นบางๆ เพื่อคูดซับเฟสอยู่กับที่โดยทั่วไปแล้ว SCOT จะมีประสิทธิภาพน้อยกว่า WCOT แต่อย่างไรก็ตามทั้งคู่ก็มี ประสิทธิภาพที่ดีกว่าแพ็คคอลัมน์นอกจากคอลัมน์แล้วในส่วนนี้ยังต้องมีตู้อบที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิคอลัมน์ อุณหภูมิของคอลัมน์จะต้องถูกควบคุมไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงเกินกว่า 10 องศาเซลเซียส ซึ่งโดยทั่วไปอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆและมีค่าสูงกว่าจุดเดือดของตัวอย่างในช่วง 2-30 นาทีในช่วงของการชะสาร อุณหภูมิที่ต่ำจะทำให้การแยกที่ดีแต่จะทำให้เวลาในการชะสารเพิ่มขึ้น และถ้าตัวอย่างมีช่วงของการเดือดที่กว้างจะต้องอาศัยการทำโปรแกรมอุณหภูมิเข้าช่วย

2.7.4 Detector unit เครื่องตรวจวัดเป็นอุปกรณ์ขั้นสุดท้ายของแก๊สโครมาโตกราฟี ทำหน้าที่ในการตรวจวัดสารที่ถูกชะออกมาจากคอลัมน์แล้วส่งสัญญาณไฟฟ้าไปยังระบบประมวลผล ซึ่งในปัจจุบันจะใช้ระบบการควบคุมผ่านทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะให้รายละเอียดของ โครมาโตแกรม ข้อมูลของ Peak (พื้นที่ความสูง ความกว้างเป็นต้น) การสอบเทียบ การคำนวณ การรายงานผล และ สถิติเครื่องตรวจวัดมีหลายประเภท แต่ละประเภทมีลักษณะเฉพาะตัวแปรในการทำงาน และ ประสิทธิภาพที่แตกต่างกันออกไป ในตารางที่ 1 แสดงเครื่องตรวจวัดต่างๆ ไปที่ใช้ในเครื่องมือแก๊ส โครมาโตกราฟีเครื่องตรวจวัดและท่อที่เชื่อมระหว่างคอลัมน์กับเครื่องตรวจวัดจะต้องรักษาอุณหภูมิ ให้สูงกว่าอุณหภูมิของตู้อบไม่เกิน 15 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างเกิดการควบแน่น ตรงบริเวณท่อหรือเครื่องตรวจวัดซึ่งจะส่งผลให้เกิดสัญญาณรบกวนและลดประสิทธิภาพในการ ตอบสนองของเครื่องตรวจวัดได้

2.8 ตัวอย่างการทดลองที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 การทดลองของ Nezihe Azcan , Aysegul Danisman

เป็นการทดลองการนำเอาน้ำมันที่สกัดจากเมล็ด rapeseed มาผลิตน้ำมันไบโอดีเซล โดย ใช้ ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟโดยการทดสอบจะมีการเปลี่ยนแปลงตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่าง sodium hydroxide และ potassium hydroxide โดยตัวแปรของปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของตัวเร่ง ปฏิกิริยา โดยปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองชนิดจะใช้ปริมาณในการทดลองแต่ละครั้งเท่ากันคือ 0.5% 1.0% 1.5% ค่อน้ำหนักของน้ำมัน เวลาที่ใช้ทดลองคือ 1 ,3 ,5 นาทีและอุณหภูมิของปฏิกิริยาที่ 313 K, 323 K, 333 K มีการคำนวณปริมาณไตรกลีเซอไรด์ด้วยวิธี gas chromatography ส่วนผลที่ได้ และความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลจะแสดงออกมาในลักษณะของเปอร์เซ็นต์ของไบโอดีเซลต่อ น้ำหนักที่ได้น้ำหนัก

2.8.2 การทดลองของ J. Hernando, P. Leton, M.P. Matia, J.L. Novella, J. Alvarez-Builla

เป็นการทดลองผลิตด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 แบบ คือ

- แบบกะ (batch)
- แบบต่อเนื่อง (flow system)

ในการทดลองแบบกะมีจุดประสงค์เพื่อทดลองหาตัวแปรที่ดีที่สุดเพื่อนำไปใช้ในการ ทดลองการผลิตแบบต่อเนื่อง และเปรียบเทียบระหว่างการผลิตแบบธรรมดาและการผลิตแบบใช้ คลื่นไมโครเวฟ

ผลที่ได้คือการผลิตโดยคลื่นไมโครเวฟสามารถผลิตได้เร็วกว่าและได้น้ำมันที่สะอาดกว่า แบบธรรมดาซึ่งจะใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาสร้างเครื่องผลิตโดยคลื่นไมโครเวฟต่อไป

2.8.3 การทดลองของ Nezihe Azcan , Aysegul Danisman

เป็นการทดลองโดยใช้ cottonseed oil โดยเป็นการศึกษาหาสภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการผลิต (ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาการเกิดปฏิกิริยา อุณหภูมิ) เพื่อเปรียบเทียบกับการผลิตแบบธรรมดา วิธีการทดลองทำโดยใช้อัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันเท่ากับ 6:1 กำหนดปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยน้ำหนักคือ 0.5% , 1.0% , 1.5% w/w กำหนดอุณหภูมิที่ 323 K, 328 K, 333 K , 338 K ทดลองที่เวลา 3 4 5 6 7 และ 8 นาที

ผลที่ได้จากการทดลองคือสภาวะที่เหมาะสมคือที่ เวลาการทดลองที่ 7 นาที ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 1.5% ที่อุณหภูมิ 333 K ซึ่งสามารถผลิตไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์มากที่สุดซึ่งการผลิตแบบธรรมดาใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที การหาปริมาณของไตรกลีเซอไรด์ทำโดยการใช้ gas chromatography

