

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

จากความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากรและการพัฒนาประเทศส่งผลให้ประเทศไทยต้องนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศเพิ่มขึ้น ประกอบกับราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกที่ค่อนข้างแปรปรวนในทิศทางที่สูงขึ้น และราคาน้ำมันพืชตกต่ำในบางช่วงเวลา ทำให้เกิดกระแสหันมาผลิตเชื้อเพลิงทดแทนจากพืชเกษตรเช่นปาล์ม มะพร้าว หรือน้ำมันใช้แล้ว โดยใช้กระบวนการทางเคมีทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (Transesterification) ผลผลิตที่ได้คือเมทิลเอสเทอร์หรือเอทิลเอสเทอร์ ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ได้รับการพิสูจน์มาแล้วว่าเป็นเชื้อเพลิงสะอาดที่สามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้ดี

ในปัจจุบันการผลิตเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลยังอยู่ในระดับทดลอง ยังไม่ได้มีการผลิตในระดับอุตสาหกรรมอย่างแท้จริง เนื่องจากปัญหาต้นทุนการผลิตที่สูง โดยต้นทุนหลักในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ไบโอดีเซลจะเป็นราคาของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งราคาของน้ำมันพืชซึ่งทำให้ราคาของไบโอดีเซลที่ผลิตได้จะไม่ต่ำไปกว่าราคาน้ำมันดีเซลในท้องตลาด ซึ่งในเชิงเศรษฐศาสตร์ การผลิตไบโอดีเซลจึงยังเป็นกระบวนการที่ไม่คุ้มค่าการลงทุน ดังนั้นในการที่จะขยายกระบวนการผลิตไบโอดีเซลไปสู่ระดับอุตสาหกรรมจึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มมูลค่าของผลผลิตพลอยได้ โดยในกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันนั้น จะเกิดกลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ ดังนั้นแนวคิดในเชิงเศรษฐศาสตร์แนวหนึ่ง คือ การทำกลีเซอรอลให้บริสุทธิ์เพื่อที่จะได้ใช้ประโยชน์จากกลีเซอรอลนั้นต่อไป กลีเซอรอลที่บริสุทธิ์จะมีราคาสูงกว่าเมทิลเอสเทอร์ สำหรับในงานวิจัยนี้คณะผู้ดำเนินการวิจัยต้องการที่จะเสนอแนวทางในการนำกลีเซอรอลที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันที่ไม่ต้องผ่านการทำความสะอาดใดๆ มาทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส (Glycerolysis) เพื่อให้ได้ผลผลิตคือโมโนกลีเซอไรด์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมาย เช่น ใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ในการผลิตอาหาร, ใช้ในการผลิต Alkyl resins, ใช้ในการผลิตเครื่องสำอาง, ยาง, และลิ่งทอ เป็นต้น โดยกระบวนการที่นำเสนอจะช่วยลดขั้นตอนของการทำความสะอาดกลีเซอรอลที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซล และเป็นการแปลงสภาพของกลีเซอรอลที่เป็นผลผลิตพลอยได้ที่ไม่ต้องผ่านกระบวนการบำบัดหรือทำให้บริสุทธิ์ ให้เปลี่ยนเป็นผลผลิตที่มีราคาสูงมากขึ้น

การตรวจเอกสาร

1. ปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์ม

ปาล์มน้ำมัน (Palm kernel) เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของภาคใต้รองจากยางพารา นิยมปลูกกันมากในจังหวัด กระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูลและตรัง ผลผลิตของปาล์มน้ำมันจะถูกนำไปแปรรูปเป็นน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีแนวโน้มการผลิตที่สูงขึ้นทุก ๆ ปี

กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มในประเทศไทยมี 3 วิธี คือกระบวนการผลิตแบบใช้ไอน้ำซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน, กระบวนการผลิตแบบย่างผลปาล์มหรือที่บน้ำมันผสมและกระบวนการผลิตแบบทอดผลปาล์ม ซึ่งจะได้น้ำมันปาล์ม 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ ถ้าได้จากเนื้อปาล์มในเมล็ดปาล์ม (Palm kernel) เรียกว่าน้ำมันเมล็ดปาล์ม (Palm kernel oil) และส่วนที่ได้จาก Mesocarp เรียกว่าน้ำมันปาล์ม (Palm oil) เมื่อนำน้ำมันปาล์มไปแยกส่วนและทำให้บริสุทธิ์จะได้ส่วนของเหลวที่เรียกว่าน้ำมันปาล์มโอเลอิน (Palm olein) ซึ่งเป็นน้ำมันปาล์มที่ใช้กันทั่วไปและได้ส่วนของแข็งที่เรียกว่า ปาล์มสเตอริน (Palm stearin)

น้ำมันปาล์มมีส่วนประกอบของกรดไขมันที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของปาล์ม น้ำมัน พื้นดินบริเวณเพาะปลูกและภูมิอากาศ น้ำมันเมล็ดปาล์มและน้ำมันปาล์มมีคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ต่างกัน เช่น น้ำมันจากเมล็ดปาล์มมีเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิ่มตัวสูง (78.82 %) ในขณะที่น้ำมันปาล์มมีเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน คือน ร้อยละ 48.05 และ 51.95 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) จึงนำไปใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำมันปาล์ม

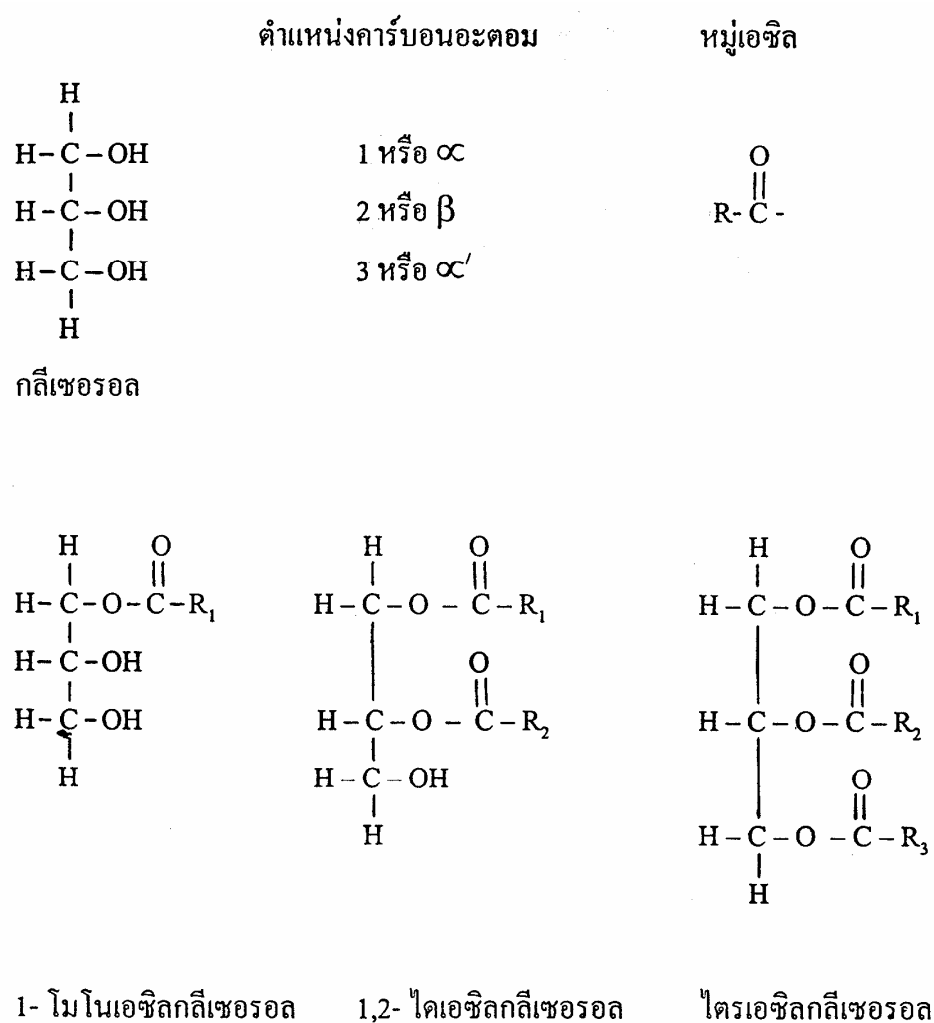
	น้ำมันเมล็ดปาล์ม	น้ำมันปาล์ม
Iodine Value	14 – 20	43 – 59
Acid Value	20	15
Saponification Value	240 – 257	195 – 210
Unaponification matter (%)	1	1
Colour (Lovibond)*	10Y:1R25	Y:2.5R
Total saturated fatty acid (%)	78.82	48.05
Total unsaturated acid (%)	21.18	51.95

*: cell, 5 in.

ที่มา : ดัดแปลงจากไฟจิตร จันทรวงศ์ (2530)

2. เอซิลกลีเซอรอล

เอซิลกลีเซอรอลหรือไขมันเป็นกลางเป็นเอสเทอร์ระหว่างกรดไขมันกับแอลกอฮอล์กลีเซอรอล ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเนื้อเยื่อ พบทั่วไปในน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ เอซิลกลีเซอรอลแบ่งออกเป็น ไตรเอซิลกลีเซอรอล (Triacylglycerol, TAG), ไดเอซิลกลีเซอรอล (Diacylglycerol, DAG) และโมโนเอซิลกลีเซอรอล (Monoacylglycerol)



ภาพที่ 1 โครงสร้างของเอซิลกลีเซอรอล

ที่มา : อภัสสรฯ ชมิทธ์ (2537)

2.1 ไตรเอซิลกลีเซอรอลหรือไตรกลีเซอไรด์

ไตรเอซิลกลีเซอรอลหรือไตรกลีเซอไรด์เป็นเอซิลกลีเซอรอลที่พบมากที่สุด ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีพันธะเอสเทอร์กับหมู่ไฮดรอกซิลทั้งสามหมู่ของกลีเซอรอลถ้าเป็นกรดไขมันชนิดเดียวกันเรียก ไตรเอซิลกลีเซอรอลธรรมดา (Simple triacylglycerol) เช่น ไตรปาล์มิตอิลกลีเซอรอล (Tripalmitoyl glycerol) แต่โดยทั่วไปจะประกอบด้วยกรดไขมันตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป เรียกว่าไตรเอซิลกลีเซอรอลผสม (Mixed triacylglycerol) เช่น 1-ปาล์มิตอิลไดสเทียโรอิลกลีเซอรอล (1-Palmitoyl distearoyl glycerol) ในน้ำมันปาล์มมีโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว 2 โซ่มากที่สุดร้อยละ 48 รองลงมา คือ ไตรเอซิลกลีเซอรอลที่ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว 1 โซ่ร้อยละ 34.6 ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลมีผลโดยตรงกับการตกผลึกของน้ำมัน

ตารางที่ 2 การจำแนกชนิดของการเรียงตัวของกรดไขมันในโครงสร้างไตรเอซิลกลีเซอรอลของน้ำมันปาล์มตามคุณสมบัติความอิ่มตัว

Triglyceride Type	Composition (%)
Trisaturated (GS ₃)	10.2
Disaturated (GS ₂ U)	48.0
Monosaturated (GSU ₂)	34.6
Triunsaturated (GU ₃)	6.8

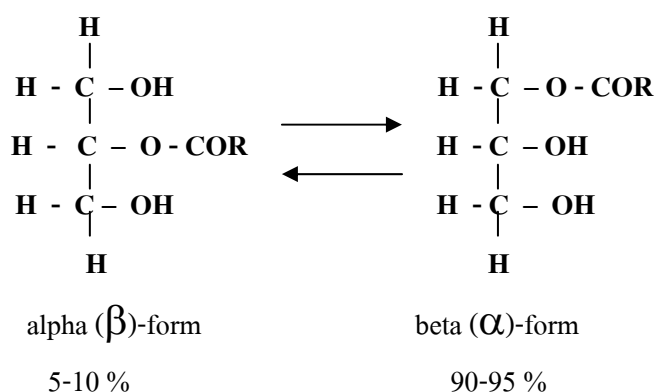
ที่มา : Hui (1996)

2.2 โมโน-และไดเอซิลกลีเซอรอล

โมโน-และไดเอซิลกลีเซอรอลเป็นเอสเทอร์ของกลีเซอรอลกับกรดไขมันเพียงหนึ่งและสองโมเลกุลตามลำดับและมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเหลืออยู่ ถ้าเป็นโมโนเอซิลกลีเซอรอลจะมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเหลืออยู่ 2 หมู่ เอซิลกลีเซอรอลทั้งสองชนิดนี้ไม่ค่อยพบมากในธรรมชาติ แต่จะพบในไขมันที่เกิดจากการไฮโดรไลซิสที่ไม่สมบูรณ์ โดยจะมีประโยชน์ในการนำไปใช้สังเคราะห์หรือตัดแปลงโครงสร้างไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจหรือนำโมโนเอซิลกลีเซอรอลไปใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ในผลิตภัณฑ์อาหาร ยาและเครื่องสำอางชนิดต่าง ๆ (Rosu *et al.*, 1997)

โนโนกลีเซอไรด์โดยทั่วไปมีโครงสร้าง 2 ไอโซเมอร์คือแบบ α และ β ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งโดยทั่วไปแล้วโนโนกลีเซอไรด์จะมีโครงสร้างแบบ α มากกว่าโครงสร้างแบบ β ที่มีความเสถียรที่ต่ำกว่า แต่ทั้งนี้การฟอร์มตัวของทั้งสองแบบจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย เช่นที่

อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ที่สภาวะสมดุลโมโนกลีเซอไรด์จะมีโครงสร้างแบบ α ถึง 82 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ที่สภาวะสมดุลมีโครงสร้างแบบ α ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ (Jungermann, 1991)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของโมโนกลีเซอไรด์

ที่มา : Jungermann (1991)

โมโนกลีเซอไรด์จัดอยู่ในพวก Nonionic surface-active materials ที่มี Polar group เป็นหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) และ Ester linkage โดยอิมัลซิไฟเออร์พวก Nonionic เป็น Emulsifying agents group ใหญ่ที่สุดและกำลังขยายตัวเร็วที่สุดเพราะไม่มีผลต่อความกระต้างของน้ำและ pH

โมโนกลีเซอไรด์บางตัวจัดเป็นพวก Hydrophobic เช่น Glyceryl monostearate แต่โมโนเอสเทอร์ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวบางตัวเป็น Hydrophilic เช่น Monooleate

3. กรดไขมัน (Fatty acid)

กรดไขมันเป็นกรดอินทรีย์ที่ส่วนใหญ่มีจำนวนคาร์บอน 4-24 อะตอม ปลายข้างหนึ่งเป็นหมู่คาร์บอกซิลปลายอีกข้างมีลักษณะเป็นสายโซ่ยาวของนอนโพลาร์ไฮโดรคาร์บอน ไฮโดรคาร์บอนทำให้กรดไขมันไม่ละลายน้ำ ในธรรมชาติกรดไขมันมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่และเป็นโซ่ยาวที่อิ่มตัว (ไม่มีพันธะคู่) หรือไม่อิ่มตัวคือมีพันธะคู่หรือมีพันธะสาม (Triple bond) 1 คู่หรือมากกว่า กรดไขมันแต่ละชนิดมีความยาวของโซ่ จำนวนและตำแหน่งของพันธะไม่อิ่มตัวแตกต่างกัน กรดไขมันที่พบในพืชและสัตว์จะไม่พบในรูปอิสระแต่จะอยู่รวมกันเป็นลิพิดด้วยพันธะโคเวเลนต์ ซึ่งถูกย่อยสลายได้ด้วยการใช้เอนไซม์และสารเคมี

กรดไขมันที่พบในพืชและสัตว์ชั้นสูงจะมีจำนวนคาร์บอนอะตอมเป็นเลขคู่ อยู่ระหว่าง 14 – 22 อะตอม โดยเฉพาะ C16 และ C18 พบมากที่สุด และถ้าหากมีพันธะคู่มากกว่า 1 คู่ก็จะเป็นแบบนอนคอนจูเกต (Nonconjugated double bond) (-CH=CH-CH₂-CH=CH-) โดยมีคอนฟิเจอร์ชันแบบซิส กรดไขมันที่มีสายโซ่ยาวๆ (C16-C18) ละลายน้ำไม่ได้ แต่เกลือของมันสามารถสร้างไมเซลล์ในน้ำได้และไมเซลล์สามารถคงอยู่ได้ด้วยอันตรกิริยาแบบไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic interaction) (อาภัสสรา ชมิดท์, 2537)

กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีปริมาณมากที่สุดในน้ำมันปาล์มคือกรดปาล์มิติกมีอยู่ประมาณร้อยละ 37.9 ถึง 47.7 และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมาก (Polyunsaturated fatty acid) ซึ่งได้แก่ กรดไลโนลิก มีร้อยละ 10.4 ถึง 13.4 และกรดแอลฟาไลโนเลนิกมีร้อยละ 0.1 ถึง 0.6 (ตารางที่ 3) นอกจากส่วนที่เป็นกรดไขมันแล้ว น้ำมันปาล์มยังมีส่วนที่ไม่สามารถเกิดสบู่ได้ ซึ่งได้แก่ คาโรทีนอยด์ (Carotenoid) และโทโคเฟอรอล (Tocopherol) สูง ซึ่งเมื่อผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้วปริมาณของคาโรทีนอยด์จะลดลง (MacLellan, 1983)

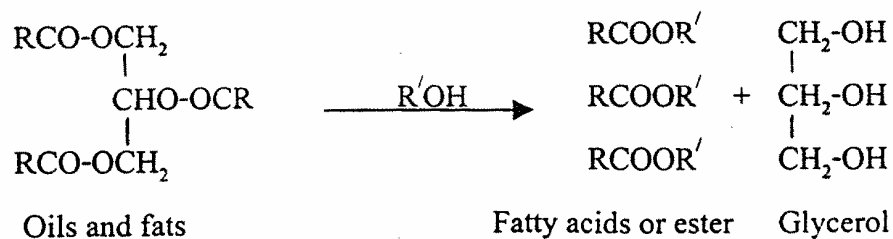
ตารางที่ 3 ปริมาณและคุณสมบัติของกรดไขมันในน้ำมันปาล์มโอเลอิน

กรดไขมัน	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	ปริมาณ (ร้อยละของกรดไขมันทั้งหมด)
ลอริก (Lauric)	44.2	0.1-1.1
ไมริสติก (Myristic)	52.0	0.9-1.4
ปาล์มิติก (Palmitic)	63.1	37.9-47.7
สเตียริก (Stearic)	69.6	4.0-4.8
โอเลิก (Oleic)	13.4	40.7-43.9
ไลโนลิก (Linoleic)	-17.0	10.4-13.4
ไลโนเลนิก (Linolenic)	-17.0	0.1-0.6

ที่มา : MacLellan (1983)

4. โอเลโอเคมีจากน้ำมันปาล์ม

โอเลโอเคมี คือ สารเคมีที่ได้จากน้ำมันและไขมัน ซึ่งสามารถใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนที่สำคัญในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย ขั้นตอนการย่อยสลาย (Hydrolysis) ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ กรดไขมัน หรือเอสเทอร์ของกรดไขมัน ตามลำดับดังภาพที่ 3



In hydrolysis, R/ = H., In alcoholysis, R/ = alkyl group.

ภาพที่ 3 ปฏิกริยากลีเซอไรไลซิส

ที่มา : Hui (1996)

กรดไขมันหรือเอสเทอร์ของไขมัน ใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นสำหรับการผลิต แอลกอฮอล์ แพตตีเอสเทอร์และสารประกอบแพตตีไนโตรเจน ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบโดยตรงหรือนำไปดัดแปลงหมู่โครงสร้างเพื่อผลิตสารอนุพันธ์ที่สำคัญในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้มากมาย ดังตัวอย่างแสดงภาพที่ 4 (Hui, 1996)

ตัวอย่างเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มรีไฟน์และไฮปาล์มสเตียร์รีน (ชาคริต และคณะ, 2544) มีส่วนประกอบดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ชนิดเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มรีไฟน์ (RBD Palm Oil) และไฮปาล์มสเตียร์รีน (Palm Stearin)

ชนิดเมทิลเอสเทอร์	RBD Palm Oil	Palm Stearin
Methyl Myristate, % wt.	1.19	0.05
Methyl Palmitate, % wt.	27.10	69.12
Methyl Palmitoleate, % wt.	1.78	0.21
Methyl Stearate, % wt.	7.25	7.63
Methyl Oleate, % wt.	42.93	21.72
Methyl Linoleate, % wt.	18.68	1.27
Methyl Linolenate, % wt.	1.07	0.00

ที่มา : ชาคริต และคณะ (2544)

4.1 การใช้ประโยชน์จากโมโนเอซิลกลีเซอรอล

โมโนเอซิลกลีเซอรอลมีใช้กันมากเพื่อเป็นอิมัลซิไฟเออร์ในอุตสาหกรรมอาหาร, ยาและเครื่องสำอาง (Thude *et al.*, 1997) นอกจากนี้ยังประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น ยา สีฟัน (Sonntag, 1982) Li และ Ward (1993) อธิบายว่าโมโนเอซิลกลีเซอรอลที่มี n-3-Polyunsaturated fatty acid เป็นองค์ประกอบ เช่น Eicosapentaenoic acid (EPA) และ Docosahexaenoic acid (DHA) สามารถช่วยป้องกันโรคต่างๆ ในคน ส่วน Monopentadecanoylglycerol ใช้ในผลิตภัณฑ์บำรุงรักษาเส้นผม (Hair care additive) (Bornscheuer, 1995) ในอุตสาหกรรมยามีการใช้โมโนเอซิลกลีเซอรอลเป็นสารช่วยยัดเกาะในยาเม็ด และผสมในตัวยาที่ต้องการให้ออกฤทธิ์นาน ส่วนอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้โมโนเอซิลกลีเซอรอลเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่, มاکารีน, ผลิตภัณฑ์นม, ลูกกวาดและเครื่องชูรส (Jackson and King, 1997) ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางมีการใช้โมโนเอซิลกลีเซอรอลเป็น Texturing agent เพื่อให้ครีมหรือโลชั่นมีความเข้มข้น และปรับปรุงความหนืดของครีมหรือโลชั่น (Stevenson *et al.*, 1993) นอกจากนี้ยังมีการใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ผสมในน้ำมันสำหรับใช้ในเครื่องจักร เนื่องจากโมโนเอซิลกลีเซอรอลมีคุณสมบัติเป็นสารหล่อลื่น (Lubricant) และคุณสมบัติเป็นพลาสติก (Plasticizing) (Coteron *et al.*, 1998)

สำหรับโมโนกลีเซอไรด์ Glycerol monostearate ที่ใช้เป็น Shortening agent ในการทำขนมเค้กอ่อนนุ่ม ทำให้ขนมฟูมีปริมาตรเพิ่มขึ้น 6–11 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนัก และใช้เป็น Softening agent และ Antistaling agent (สารป้องกันราและกลิ่นอับ) ในขนมปัง นอกจากนี้ยังใช้ส่วนผสมในการทำเนยเทียม จะได้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ตัว เมื่อถูกความร้อนจะหลอมตัวเป็นหยดของเหลวน้อยลงซึ่งนิยมใช้กันมากในการทำขนมหวาน, ตังเมและไอศกรีม

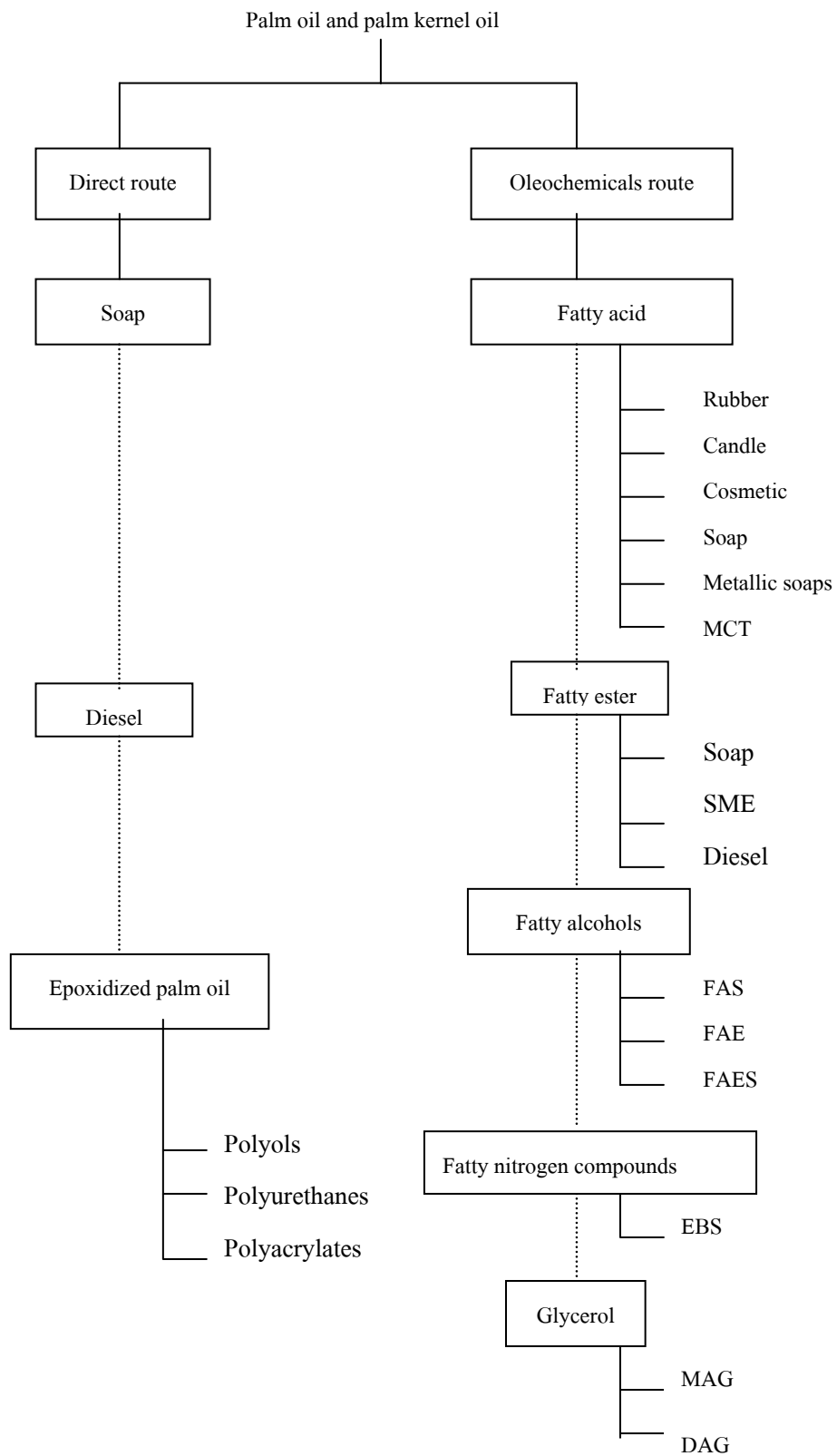
Glycerol oleostearate นิยมใช้เป็น Softening agent และ Antistaling agent (สารป้องกันราและกลิ่นอับ) ในขนมปัง

Glycerol monolaurate ใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ในอาหาร ใช้เป็นสารหล่อลื่น ใช้เป็น Dispersing agent เป็นตัวลดการเกิดฟองในสารละลายของโปรตีนและสารอื่นๆ

Glycerol monooleate ใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ในอาหารและยา

Glycerol monoricinoleate กินไม่ได้แต่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ดีมาก โดยใช้เป็น Plastisizer ในยางเทียมและเป็นตัวทำลายที่ทำให้สีน้ำมันละลายกับน้ำได้

นอกจากนี้ Glycerol monolaurate หรือ Monolaurin ยังมีสมบัติเป็นตัวยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์อีกด้วย (Sprong *et al.*, 1999)



ภาพที่ 4 แนวทางการใช้ประโยชน์ของน้ำมันปาล์มและน้ำมันจากเมล็ดปาล์ม
ที่มา : Hui (1996)

ตัวอย่างโมโนกลีเซอไรด์ที่มีจำหน่ายทั่วไป ได้แก่

โมโนกลีเซอไรด์ของ Hydrogenated tallow หรือ Tallow fatty acid

โมโนกลีเซอไรด์ของ Palm oil หรือ Palmitic acid

โมโนกลีเซอไรด์ของ Rosin

โมโนกลีเซอไรด์ของ Coconut oil หรือ Coconut oil mixed fatty acids

โมโนกลีเซอไรด์ของ Myristic acid

โมโนกลีเซอไรด์ของ Lauric acid

โมโนกลีเซอไรด์ของ Mixed vegetable หรือ Animal fats หรือ Fatty acids

โมโนกลีเซอไรด์ของ Oleic acid

โมโนกลีเซอไรด์ของ Soya fat หรือ Soya fatty acid

โมโนกลีเซอไรด์ของ Lard

โมโนกลีเซอไรด์ของ Peanut oil

โมโนกลีเซอไรด์ของ Castor oil

ทั้งหมดเป็นโมโนกลีเซอไรด์ที่ใช้กันแพร่หลายและผลิตออกมามาก แต่ก็ยังมี

โมโนกลีเซอไรด์อีกมากที่ยังไม่กล่าวถึงข้างต้น (นฤมล, 2521)

5. ปฏิกิริยาเคมีของกลีเซอรอล

การเกิดโพลิเมอร์ของกลีเซอรอลสามารถเกิดได้ในสภาวะ pH สูง (กรณีใช้ NaOH สูงและอุณหภูมิมากกว่า 200 องศาเซลเซียส) เกิดเป็น Polyglycerol โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถเร่งการเกิด Polymerization (Garti *et al.*, 1981 , Ikuya *et al.*, 1990 และ Lutz *et al.*, 1998) กลีเซอรอลสามารถทำปฏิกิริยากับตัวเองได้เป็น Polyglycerol ดังภาพที่ 5

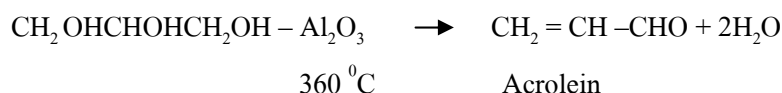


ภาพที่ 5 ปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์ไรเซชันของกลีเซอรอล

ที่มา : Jungermann (1991)

Polyglycerol เกิดได้โดยการให้ความร้อนกลีเซอรอลที่อุณหภูมิ 200-275 องศาเซลเซียส ในสภาวะปกติหรือลดความดัน โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมหรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์หรือโซเดียมอะซิเตส ปฏิกิริยาโดยทั่วไปจะควบคุมภายใต้บรรยากาศของคาร์บอนไดออกไซด์หรือไนโตรเจน

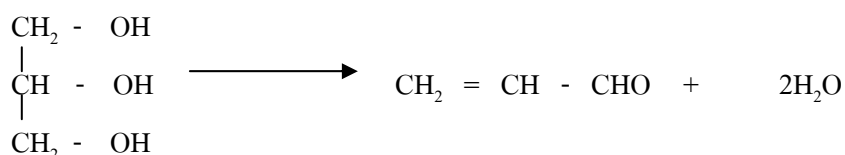
ปฏิกิริยา Dehydration ของกลีเซอรอลจะเกิด Acrolein มีลักษณะเป็นของเหลวใสจุดเดือด 52 องศาเซลเซียส มีกลิ่นฉุนที่แรงมาก ตัวอย่างการเกิด Acrolein ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ปฏิกิริยาการเกิด Acrolein

ที่มา : Jungermann (1991)

นฤมล (2521) กล่าวว่าที่อุณหภูมิตั้งแต่ 200 องศาเซลเซียส สามารถทำให้กลีเซอรอลแตกตัวให้ Acrolein และน้ำ ดังภาพที่ 7 สอดคล้องกับ Monick (1960) โดยปฏิกิริยาจะเกิดที่ pH ต่ำ



ภาพที่ 7 ปฏิกิริยาการแตกตัวของกลีเซอรอล

ที่มา : นฤมล (2521)

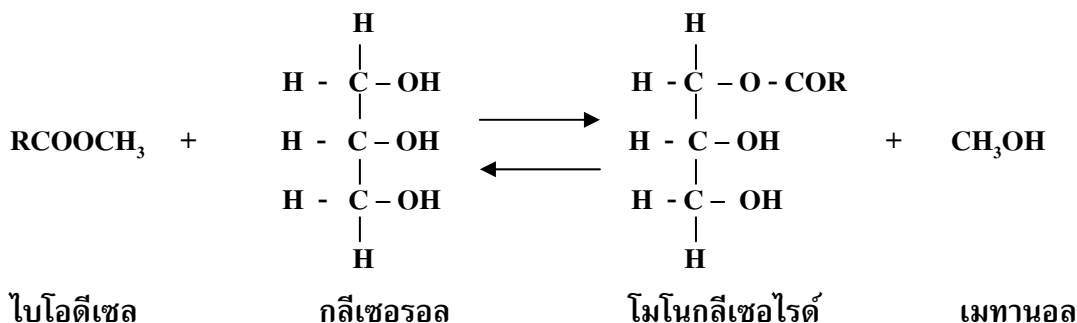
6. การสังเคราะห์โมโนเอซิลกลีเซอรอลหรือโมโนกลีเซอไรด์ด้วยปฏิกิริยาเคมี

6.1 การสังเคราะห์โมโนกลีเซอไรด์

Hui (1996) ได้แบ่งการผลิตโมโนกลีเซอไรด์ออกเป็น 3 วิธี ดังนี้

1. การทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันระหว่างกลีเซอรอลกับกรดไขมัน
2. การทำปฏิกิริยาของกลีเซอรอลฮาโลไฮไดริน (Glycerol halohydrins) กับเกลือกรดไขมัน (Fatty acid salt) ของอัลคาไลน์เมทัล (Alkali metals) หรือซิลเวอร์ (Silver)
3. การทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันของกลีเซอรอลกับไตรกลีเซอไรด์โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยในการทำปฏิกิริยา ซึ่งวิธีการนี้นิยมใช้ในการผลิตในระดับอุตสาหกรรม เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับกลีเซอรอลที่มากเกินไปและมีตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้ของผสมที่ประกอบด้วยโมโนกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาและตัวเร่งปฏิกิริยาเหลืออยู่

นอกจากนี้ Sonntag (1982) ยังได้บอกวิธีการผลิตโมโนกลีเซอไรด์โดยการทำปฏิกิริยาระหว่างเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลกับกลีเซอรอลอีกด้วยดังภาพที่ 8



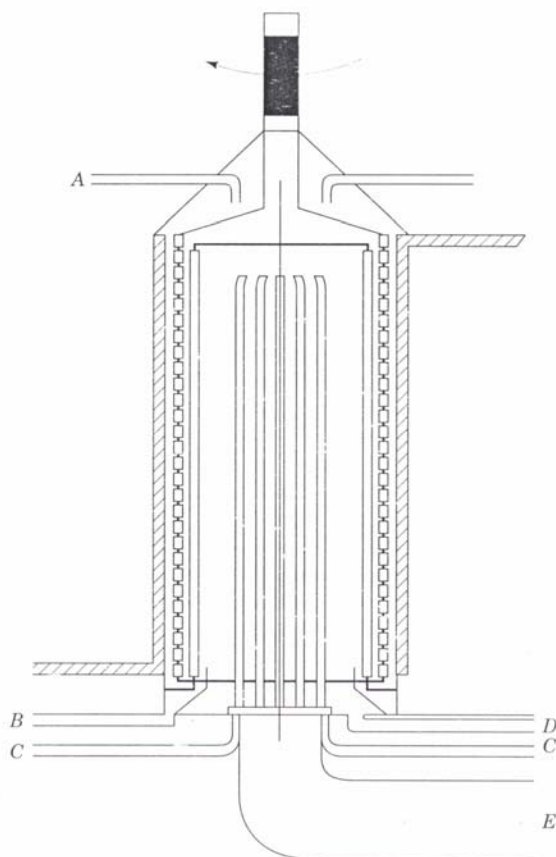
ภาพที่ 8 ปฏิกิริยาการเกิดโมโนกลีเซอไรด์จากไบโอดีเซล

ที่มา : Sonntag (1982)

6.2 วิธีการผลิตโมโนกลีเซอไรด์ทางการค้า

การผลิตโมโนกลีเซอไรด์ในระดับอุตสาหกรรม จะผลิตได้จากกระบวนการทำปฏิกิริยาแบบ Batch (Batch process) โดยการทำปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับกลีเซอรอลที่เกินพอ และมีตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยในการทำปฏิกิริยา ผลิตรวมที่ได้โดยทั่วไปมีปริมาณโมโนกลีเซอไรด์อยู่ในช่วง 35-50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือส่วนใหญ่จะเป็นไดกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ที่ไม่ทำปฏิกิริยาประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ กลีเซอรอล 3 - 4 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันอิสระ 1 - 3 เปอร์เซ็นต์

การจะได้ความเข้มข้นของโมโนกลีเซอไรด์ที่สูงขึ้นจากการใช้ถังปฏิกรณ์แบบ Batch สามารถทำได้โดยการเพิ่มสัดส่วนของกลีเซอรอลและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่สูงขึ้น แต่วิธีการนี้จะให้ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ที่ผลิตได้ต่อการทำปฏิกิริยาแต่ละ Batch ที่น้อยกว่าสัดส่วนของไขมันที่ถูกใช้ไปน้อย ซึ่งทำให้กระบวนการนี้มีความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์ที่ต่ำ โดยทั่วไปการทำให้ได้ความเข้มข้นของโมโนกลีเซอไรด์ที่สูงขึ้นจะใช้กระบวนการ Molecular distillation กระบวนการนี้จะให้ความเข้มข้นโมโนกลีเซอไรด์ประมาณ 80 - 90 เปอร์เซ็นต์ หรืออาจสูงกว่า รูปภาพตัดของเครื่อง Molecular distiller ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ภาพตัดเครื่อง Molecular distiller

ที่มา : Hui (1996)

การทำงานของ Molecular distiller หรือ Molecular still มีหลักการทำงานดังนี้ (Hui, 1996) หลังจากสารที่ทำปฏิกิริยาและผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดแล้วจะเข้าสู่เครื่อง Molecular still ทางด้านบน ของเหลวจะไหลเป็นฟิล์มบางๆ ภายในเครื่องแยก การแยกจะใช้ความร้อนจากผนังด้านข้างตลอดความยาวตามแนวตั้งของเครื่องและรักษาความดันให้น้อยกว่า 0.001 มิลลิเมตรปรอท

โดยของเหลวจากท่อ A ทางด้านบนของเครื่องจะไหลลงผ่านช่องว่างที่มีผนังให้ความร้อน ขณะที่แก๊สก็ระเหยอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน โมโนกลีเซอไรด์จะระเหยภายใต้ความดันที่ต่ำและความร้อนที่สูง ไอของโมโนกลีเซอไรด์จะระเหยเข้าไที่ยังใจกลางแก๊สและไปสัมผัสกับผิวของท่อควบแน่น ไอโมโนกลีเซอไรด์จะควบแน่นและตกลงมาตามช่อง D ขณะที่ของเหลวที่ยังไม่ระเหยก็ไหลออกทางช่อง B ความดันจะควบคุมผ่านทางช่อง C

6.3 การผลิตโมโนกลีเซอไรด์ความเข้มข้นสูง

โดยทั่วไปปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ที่ได้หลังทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสจะได้ประมาณ 35 – 50 เปอร์เซ็นต์ มีกรณีน้อยมากที่จะได้เปอร์เซ็นต์สูงถึง 55 – 60 เปอร์เซ็นต์ และจะมีไดกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาเหลืออยู่ด้วย กรณีหลังทำปฏิกิริยาได้โมโนกลีเซอไรด์ 35 เปอร์เซ็นต์ จะมีส่วนของไดกลีเซอไรด์เกิดขึ้น 46 – 48 เปอร์เซ็นต์ และส่วนที่เหลือจะเป็นไตรกลีเซอไรด์ หากสามารถทำปฏิกิริยาแล้วได้โมโนกลีเซอไรด์ 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือก็จะประกอบด้วยไดกลีเซอไรด์ประมาณ 40 – 41 เปอร์เซ็นต์ และไตรกลีเซอไรด์ 8 – 10 เปอร์เซ็นต์ (Hui, 1996)

Arrowsmith และ Ross (1945) ได้ใช้ไขมันวัวและกลีเซอรอลทำปฏิกิริยาที่ 210 – 220 องศาเซลเซียส โดยทำปฏิกิริยาภายใต้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยมวลไขมันเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังทำปฏิกิริยาเสร็จก็ทำการลดอุณหภูมิและปล่อยให้กลีเซอรอลแยกชั้นตกลงมาตามแรงโน้มถ่วงของโลกแล้วทำการแยกออกมา ตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกทำให้มีสภาพเป็นกลางด้วยการเติมกรดอะซิติกลงไป ทำการกลั่นโดยใช้อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส และใช้ความดัน 1 มิลลิเมตรปรอท ได้โมโนกลีเซอไรด์ สูงถึง 87 เปอร์เซ็นต์ของสารเริ่มต้น

Gooding และ Valteich (1940) ได้บรรยายถึงขั้นตอนทำให้ได้เปอร์เซ็นต์โมโนกลีเซอไรด์สุทธิที่สูง โดยการใส่ 450 ส่วนของน้ำมันถั่วลิสงกับ 300 ส่วนของกลีเซอรอลผสมกัน และให้ความร้อนที่ 170 – 205 องศาเซลเซียส หลังจากให้ความร้อนเพื่อไล่น้ำออกแล้วก็เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนต 16.2 ส่วนลงไป กวนให้สารทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง การทำปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ มีกลีเซอรอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาและสบู่โซเดียม 7 เปอร์เซ็นต์

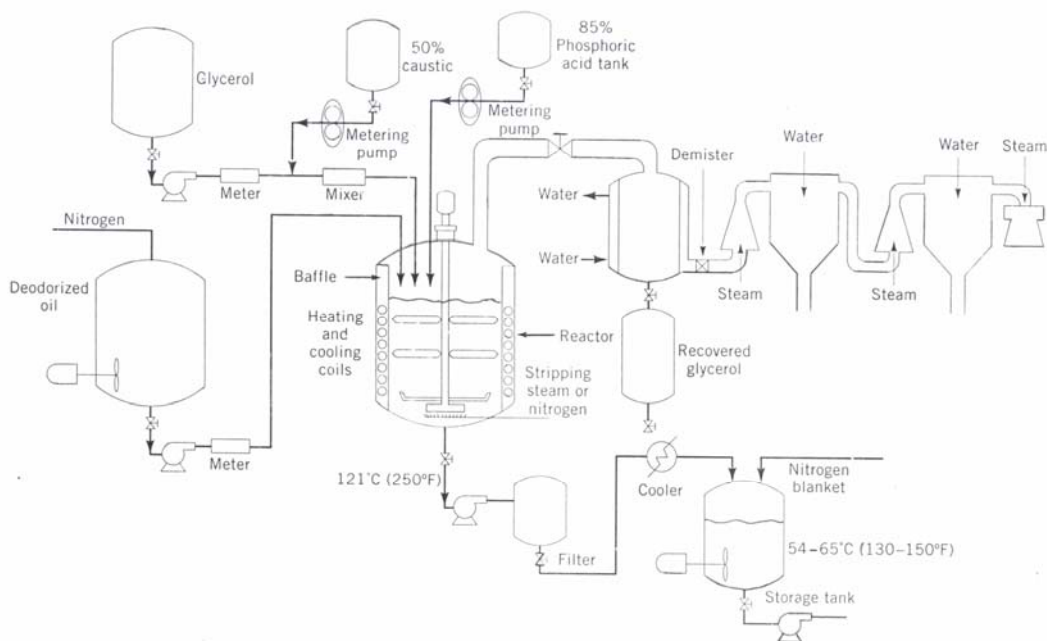
สารหลังทำปฏิกิริยาที่เหลือ 500 ส่วน จะถูกทำให้เป็นกลางด้วย กลีเซอรอลคลอไฮดรินที่ 150 องศาเซลเซียส กลีเซอรอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาจะถูกแยกออกมาอย่างรวดเร็ว โซเดียมคลอไรด์ที่เกิดในกระบวนการทำให้เป็นกลางจะมารวมอยู่ในชั้นของกลีเซอรอลที่แยกชั้นออกมา ในชั้นของเอสเทอร์จะมีกลีเซอรอลเหลืออยู่ประมาณ 27.2 เปอร์เซ็นต์ ของกลีเซอรอลทั้งหมดที่ใช้ และมีโมโนกลีเซอไรด์สูงถึง 80 – 82 เปอร์เซ็นต์

ปัจจุบันการผลิตเพื่อให้ได้ความเข้มข้นของโมโนกลีเซอไรด์ที่สูงขึ้น (มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์) กระทำโดยกระบวนการ 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือการทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสจะได้ความเข้มข้นของโมโนกลีเซอไรด์ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ สารหลังทำปฏิกิริยาจะถูกทำให้สะอาดขึ้นเพื่อกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาออกมา ขั้นตอนที่ 2 จะทำการแยกสารโดยใช้การเซน-

ตรีฟิวด้วย Molecular still ใช้อุณหภูมิประมาณ 148.8 องศาเซลเซียส ความดัน 0.001 มิลลิเมตรปรอท

6.4 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสโดยกระบวนการ Batch

เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการทั้งหมดควรทำจากสแตนเลส 316L รูปแสดงอย่างง่ายดังแสดงในภาพที่ 10 ถึงเก็บน้ำมันภายใต้แก๊สไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 55 – 60 องศาเซลเซียส จะถูกสูบผ่านมิเตอร์เพื่อวัดปริมาณสารที่ต้องการ ก่อนจะส่งไปยังถังปฏิกรณ์ กลีเซอรอลที่เก็บในถังจะถูกสูบผ่านท่อมาผสมกับ 50 เปอร์เซ็นต์ NaOH ภายในท่อ จากนั้นจะถูกส่งไปยังถังปฏิกรณ์ หลังจากการทำปฏิกิริยาลิ้นสุดลดกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 85 เปอร์เซ็นต์ ที่เก็บในถังสแตนเลสจะถูกใช้ เพื่อทำให้ตัวเร่งที่มีสภาพเป็นต่างมีความเป็นกลาง สารที่เข้าไปในถังปฏิกรณ์จะถูกผสมอย่างรวดเร็วด้วยใบพัดผสม ในบางครั้งจะใช้แก๊สไนโตรเจนพ่นจากด้านล่างถึงปฏิกรณ์เพื่อให้การผสมดีขึ้น ภายในถังปฏิกรณ์จะมีท่อด้านข้างที่ภายในเป็นไอน้ำที่มีความร้อนสูงเพื่อให้ความร้อนในการทำปฏิกิริยาและจะมีท่อน้ำสำหรับลดความร้อนของสารหลังทำปฏิกิริยา ด้านข้างภายในถังปฏิกรณ์จะมี Baffle เพื่อป้องกันการเกิดวอร์เทคของสารผสมในขณะกวนผสม ถังปฏิกรณ์ออกแบบให้สามารถทนต่อสภาพสุญญากาศได้เต็มที่และสามารถทนต่อความดันได้ถึง 75 psig. ตัวตักจับไอของสารที่ระเหยจากถังปฏิกรณ์มีด้วยกันถึง 3 เครื่อง ที่ใช้น้ำในการควบแน่นสารให้ควบแน่นตกลงมา กลีเซอรอลที่ควบแน่นออกมาจะตกลงมา ก่อนที่จะถูกนำไปใช้ในการทำปฏิกิริยาอีก สารในถังปฏิกรณ์จะถูกลดความร้อนลงแล้วจึงผ่านการกรอง



ภาพที่ 10 เครื่องมือที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสแบบ Batch

ที่มา : Hui (1996)

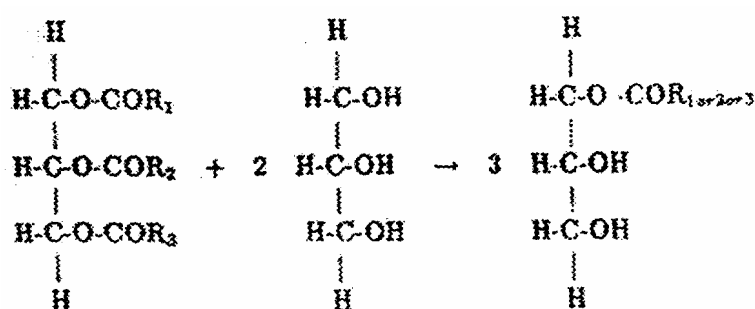
ขั้นตอนการทำปฏิกริยากลิเซอโรไลซิสแบบ Batch ตามภาพที่ 10

1. น้ำมันจะถูกสูบเข้าถังปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิ 82.2 – 85 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 25 – 50 มิลลิเมตรปรอท
2. กลิเซอรอลจะมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมอยู่ 0.1 – 0.3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก จะถูกส่งไปยังถังปฏิกรณ์ ทั้งกลีเซอรอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์จะไหลมาผสมกันในท่อ
3. สารทั้งสองจะถูกกวนผสมด้วยใบพัดกวนและมีการใช้แก๊สไนโตรเจนพ่นจากด้านล่างเพื่อช่วยในการผสมด้วย
4. สารถูกให้ความร้อนที่ 115.5 – 126.6 องศาเซลเซียส พร้อมกับการกวนและการพ่นแก๊สไนโตรเจนเพื่อดึงน้ำส่วนเกินของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกมา ภายในถังปฏิกรณ์จะรักษาความดันไว้ที่ 50 – 100 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งจะทำให้กลีเซอรอลบางส่วนสามารถระเหยเป็นไอควบแน่นออกมาและจะถูกควบแน่นภายในตัวควบแน่น
5. หลังดึงน้ำออกมาเป็นเวลา 15 – 30 นาที ที่อุณหภูมิ 121.1 – 126.6 องศาเซลเซียส จะทำการเพิ่มอุณหภูมิจนสูงถึง 165.5 – 204.4 องศาเซลเซียส โดยไม่มีการใช้ปั๊มลดความดันและแก๊สไนโตรเจนพ่นจากด้านล่าง มีเพียงใบพัดเท่านั้นที่ใช้ในการกวนผสม
6. การทำปฏิกริยาของสารผสมจะปล่อยให้มีการกวน 30 – 60 นาที ทั้งนี้เวลาการกวนขึ้นกับการทำปฏิกริยาของสารผสมและผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการ
7. เมื่อปฏิกริยาลิ้นสุดสารผสมจะถูกทำให้มีสมบัติเป็นกลางด้วยกรดฟอสฟอริก 85 เปอร์เซ็นต์
8. ปริมาณการเติมกรดลงไปต้องเพียงพอให้เกิดเกลือของกรดของโซเดียมกับกรดฟอสฟอริกและ pH ของสารผสมควรมีสภาพเป็นกรดเล็กน้อยหลังการทำการปรับสภาพเป็นกลาง (Neutralization)
9. กลิเซอรอลที่เหลือจากการทำปฏิกริยาจะถูกกำจัดออกด้วยการลดความดันลงเหลือ 0 – 3 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 176.6 องศาเซลเซียส โดยไอของกลีเซอรอลจะออกมา
10. ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะถูกทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 54.4 – 65.5 องศาเซลเซียส และผ่านการกรองต่อไปหรือทำการเซนตริฟิวเพื่อดึงกลีเซอรอลที่ไม่ทำปฏิกริยาและเกลือฟอสเฟตออกมา
11. ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกเก็บไว้ในถังสแตนเลสภายใต้แก๊สไนโตรเจน

7. การศึกษาเกี่ยวกับปฏิกริยากลิเซอโรไลซิส

Muniyappa *et al.* (1996) ได้เสนอให้นำกลีเซอรอลที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซลนั้นมาทำปฏิกริยากลิเซอโรไลซิสดังแสดงในภาพที่ 11 ซึ่งจะได้โมโนกลีเซอไรด์เป็นผลผลิตหลัก และมีไดกลีเซอไรด์และ/หรือไตรกลีเซอไรด์บางส่วน ในการทำปฏิกริยากลิเซอโรไลซิสจะใช้ไตรกลีเซอไรด์ประมาณ 25 - 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของกลีเซอรอล และโซเดียมไฮดรอกไซด์

ประมาณ 0.05 - 0.20 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ถึงปฏิกิริยาจะถูกให้ความร้อนภายใต้การลดความดันเพื่อดึงเอาอากาศออกและมีการป้อนแก๊สไนโตรเจนเข้าไปเพื่อช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชัน อุณหภูมิสูงสุดของปฏิกิริยาจะไม่เกิน 250 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเพียง 15 นาที หลังจากนั้นจะต้องทำการลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วเพื่อลดโอกาสในการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ กลีเซอรอลที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาจะตกตะกอนแยกตัวออกมา หรืออาจแยกโดยใช้การกลั่นสุญญากาศส่วนผลิตภัณฑ์คือโมโนกลีเซอไรต์ก็สามารถแยกได้โดยการกลั่นสุญญากาศเช่นกัน



ภาพที่ 11 การเกิดปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส

ที่มา : Muniyappa *et al.* (1996)

Jeromin *et al.* (1997) ได้ทำการผลิตโมโนกลีเซอไรต์โดยใช้เมทิลเอสเทอร์ทำปฏิกิริยากับกลีเซอรอล โดยใช้กลีเซอรอลที่มากเกินไปจากสัดส่วนโมลที่ทำปฏิกิริยากันพอดีกับเมทิลเอสเทอร์ 0.1 ถึง 3 โมล ทำปฏิกิริยาช่วงอุณหภูมิ 130 – 160 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 200 – 400 มิลลิบาร์ (150 – 300 mm Hg) ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH 0.1 – 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของเมทิลเอสเทอร์ หลังจากนั้นหยุดปฏิกิริยาด้วยการหล่อเย็นอย่างรวดเร็ว ให้อุณหภูมิของสารต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกทำลายหรือปรับสภาพให้เป็นกลางเมื่อส่วนของกลีเซอไรต์มีความเข้มข้นของโมโนกลีเซอไรต์และไดกลีเซอไรต์ 40 – 60 เปอร์เซ็นต์ เมทิลเอสเทอร์และกลีเซอรอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาจะถูกดึงออกมาด้วยการกลั่นสุญญากาศด้วย Laboratory thin film evaporator ความดัน 4 มิลลิบาร์ (3 mm Hg) ใช้อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส ประมาณ 4-5 นาที ความเข้มข้นของโมโนกลีเซอไรต์ เป็น 80 เปอร์เซ็นต์

Yong *et al.* (2001) ได้ศึกษาการกลั่นกลีเซอรอลดิบที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซลพบว่าในขั้นตอนการกลั่นเพื่อให้ได้กลีเซอรอลที่มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น ได้ควบคุมอุณหภูมิ 120 – 126 องศาเซลเซียส ความดัน 0.4 – 0.04 มิลลิบาร์ (0.3 - 0.03 mm Hg) pH ของสารก่อนกลั่นควรน้อยกว่า 5 เพื่อป้องกันการเกิดฟองในขั้นตอนการกลั่น การเกิดฟองเกิดมาจากสบู่ที่มีอยู่เมื่อใช้อุณหภูมิการกลั่นสูง ที่อุณหภูมิสูงโซเดียมไฮดรอกไซด์อิสระจะทำปฏิกิริยากับกรดไขมันได้เป็นสบู่ซึ่งทำให้เกิดฟองได้ง่ายขึ้น pH ของสารที่สูงชี้ให้เห็นว่ามีปริมาณของสบู่สูงด้วย

นอกจากนี้โซเดียมไฮดรอกไซด์ยังสามารถเร่งปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์ของกลีเซอรอลได้อีกด้วย (Garti *et al.*, 1981) เหตุผลที่ pH น้อยกว่า 5 เป็นค่าที่ป้องกันการเกิดฟองก็เนื่องจากที่ pH ดังกล่าวสบู่จะกลับไปเป็นกรดไขมัน

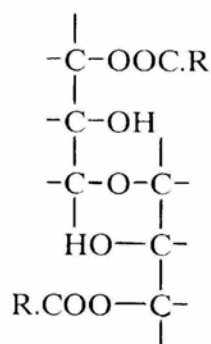
8. ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส

8.1 อุณหภูมิ

Somntag (1982) กล่าวว่าอุณหภูมิสูงสุดของการทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส สูงสุด 260 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิใช้กันทั่วไปในการผลิตโมโนกลีเซอไรด์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร จะไม่เกิน 255 องศาเซลเซียส เนื่องรสชาติ กลิ่น สี จะเสียไปเมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงกว่านี้ กลีเซอรอล เปลี่ยนสภาพเป็น Acrolein เมื่อใช้อุณหภูมิสูงกว่า 255 องศาเซลเซียส ภายใต้การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรด แต่การเกิด Acrolein จะไม่ค่อยพบบ่อยนักเมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นด่าง เมื่อใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 260 องศาเซลเซียส อากาศที่เข้าไปเมื่อใช้อุณหภูมิมากกว่า 200 องศาเซลเซียส ในการทำปฏิกิริยา จะทำให้เกิดสี, ความเป็นกรดและ Peroxide ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไขมัน จะใช้แก๊สไนโตรเจนในถังปฏิกิริยาเพื่อป้องกันการเสียสภาพของกลิ่นและสี สำหรับคาร์บอนไดออกไซด์ไม่นิยมใช้เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นด่าง เมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่สูงขึ้น อัตราการเกิดโมโนกลีเซอไรด์ก็จะสูงขึ้นด้วย ดังนั้นระหว่างเริ่มต้นของปฏิกิริยาสัดส่วนของโมโนกลีเซอไรด์จะต่ำและจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิการทำปฏิกิริยาที่สูงขึ้น แต่ปรากฏการณ์นี้จะกล่าวถึงน้อยมากเพราะหากใช้ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สูงก็สามารถให้ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ที่สูงได้ ซึ่งเป็นจริงเมื่อทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสโดยใช้ไตรกลีเซอไรด์หรือใช้กรดไขมัน และพบว่าเมื่อใช้กลีเซอรอลกับกรดไขมันในจำนวนโมลที่เท่ากันทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสจะเกิดเป็นไดกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์เป็นส่วนใหญ่เมื่อใช้อุณหภูมิการทำปฏิกิริยาที่ 180 องศาเซลเซียส (Kawai and Nobori, 1940)

ในขณะที่ถ้าทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส จะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายส่วนใหญ่เป็นโมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ การจะได้เปอร์เซ็นต์ Yield โมโนกลีเซอไรด์ที่สูงเมื่อทำปฏิกิริยาช่วงอุณหภูมิ 170-180 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลาการทำปฏิกิริยาที่นานขึ้น หรือใช้สัดส่วนของกลีเซอรอลที่สูงและตัวเร่งปฏิกิริยาที่สูง (Rheineck *et al.*, 1969)

Feuge และ Bailey (1946) กล่าวว่าอุณหภูมิการทำปฏิกิริยา 250 องศาเซลเซียส สามารถทำให้เกิดโพลิเมอร์ได้ตั้งภาพที่ 12 และบอกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาจะอยู่ที่ประมาณ 200 องศาเซลเซียส ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสจะใช้อุณหภูมิประมาณ 176.6 องศาเซลเซียส ในปฏิกิริยาแบบ Batch และใช้อุณหภูมิประมาณ 232.2 - 260 องศาเซลเซียส ในการทำปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง



ภาพที่ 12 โครงสร้างของโพลีเมอร์ที่อาจเกิดขึ้นได้เมื่อทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสที่ 250 องศาเซลเซียส

ที่มา : Feuge and Bailey (1946)

Rheinneck และคณะ (1969) ได้ทำการทดลองทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสที่อุณหภูมิ 225 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำมันเมล็ดป่าน พบว่าปริมาณโมโนกลีเซอไรด์จะลดต่ำลงหลังจากเพิ่มถึงจุดสูงสุด ทั้งนี้เป็นเพราะการเกิดโพลีเมอร์ (Polymerization)

8.2 ตัวเร่งปฏิกิริยา

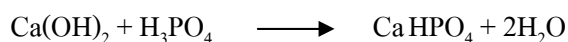
Sonntag (1982) กล่าวว่าปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของไขมันในอุตสาหกรรมจะใช้ NaOH หรือ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่สูงและราคาไม่แพง ในบางครั้งเกลือของโซเดียม เช่น NaOC_2H_5 หรือ $\text{NaOC}_4\text{H}_9\text{-t}$ ก็ใช้ โดยมีราคาที่สูงกว่า NaOH หรือ KOH เล็กน้อย

การผลิตโมโนกลีเซอไรด์ ที่ใช้กับอาหารจะใช้ Hydrated lime $\text{Ca}(\text{OH})_2$ เพราะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีที่ต่ำ เวลาการทำปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะไม่เกิน 4 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาจะใช้ประมาณ 0.05 - 0.20 เปอร์เซ็นต์โดยมวลของไขมัน ถ้าใช้ Hydrated lime เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะใช้ 0.06 - 0.10 เปอร์เซ็นต์

ปฏิกิริยาระหว่างไขมันและกลีเซอรอลโดยไม่ใช่ตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถทำได้ แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดได้เร็วเมื่ออุณหภูมิ เข้าใกล้ 287 องศาเซลเซียส

แม้ว่าการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยามีความจำเป็น แต่ถ้าไม่มีการกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาหลังปฏิกิริยาสิ้นสุดก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับได้ นอกจากนี้ในกรณีที่ใช้เป็น Food emulsifier จะเกิดปัญหา Soapy taste, ความคงตัวของสีและหากนำไปใช้ในอุณหภูมิสูงก็จะเกิดฟองได้

เทคนิคการปรับตัวเร่งปฏิกิริยาให้เป็นกลางจะใช้กรดฟอสฟอริก หลังจากนั้นจะผ่านการดูดซับด้วย Clay เพื่อดึงแคลเซียม, โซเดียมหรือโพแทสเซียมฟอสเฟตออก ซึ่งการใช้การดูดซับด้วย Clay และการกรองจะทำให้สูญเสียโมโนกลีเซอไรด์ ตัวอย่างการทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกลางแสดงดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ปฏิกิริยาปรับตัวเร่งปฏิกิริยาให้เป็นกลาง

ที่มา : Sonntag (1982)

การทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสที่อุณหภูมิสูงจะได้ผลพลอยได้หลังการปรับสภาพให้เป็นกลางคือแคลเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตที่สามารถเปลี่ยนเป็นผลึกโดยความร้อน ในรูป Polymeric metaphosphates ซึ่งจะทำให้เกิดการอุดตันในการกรอง

โดยทั่วไปตัวเร่งปฏิกิริยาจะเป็น NaOH อย่างไรก็ตามได้มีนักวิจัยได้แสดงให้เห็นถึงความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยาต่าง ๆ ตัวเร่งปฏิกิริยาของโลหะที่มีประจุบวก 3 จะไม่มีประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส และธาตุโลหะที่มีประจุบวก 2 จะมีประสิทธิภาพที่น้อยกว่าโลหะที่มีประจุบวก 1 (Elder and Richardson, 1940)

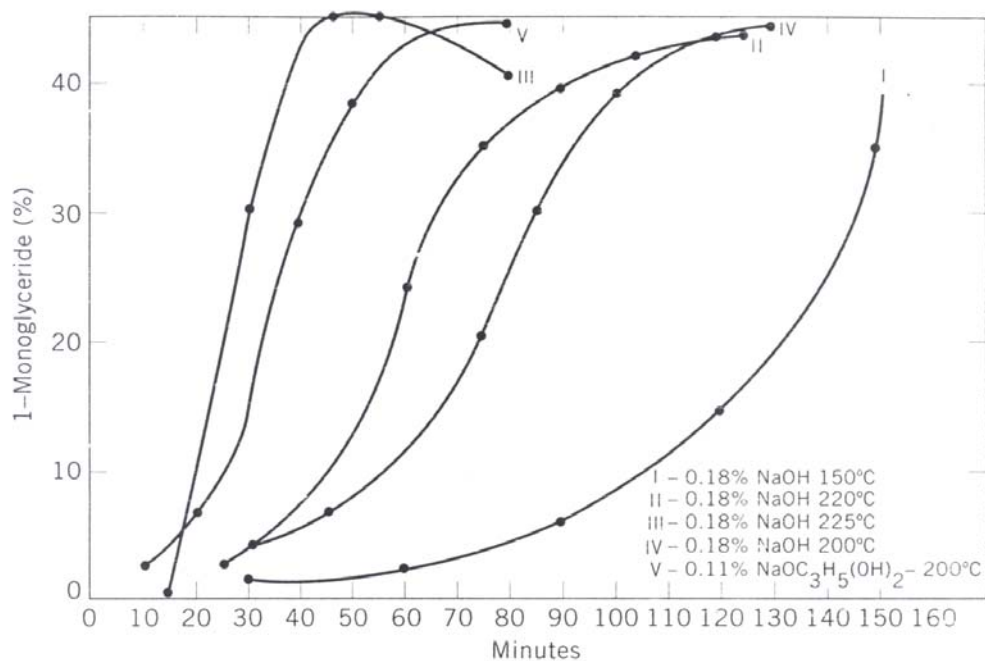
Christensen (1935) รายงานว่า Yield ของโมโนกลีเซอไรด์ที่สูงขึ้นเมื่อใช้ Glyceroxide แทน Alkali metal soap เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Rheineck *et al.* (1969) แสดงให้เห็นว่า Sodium glyceroxide มีประสิทธิภาพสูงกว่า NaOH ในการทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสระหว่างน้ำมันเมล็ดป่านกับกลีเซอรอลที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส จากภาพที่ 14 เมื่อเพิ่มปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มากขึ้น ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วขึ้น ขณะที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาไม่สามารถเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เมื่อเวลาผ่านไปนานถึง 150 นาที เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา NaOH 0.18 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปฏิกิริยาจะเข้าสู่สมดุลที่เวลา 2 และ 1 ชั่วโมง เมื่อทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 200 และ 225 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ขณะที่เมื่อใช้ NaOH 0.09 เปอร์เซ็นต์ 200 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาจะเข้าสู่สมดุลภายใน 135 นาที แต่เมื่อใช้ Sodium glyceroxide 0.11 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาจะเข้าสู่สมดุลอย่างรวดเร็วเพียง 75 นาที กลไกการเกิดปฏิกิริยาแสดงดังภาพที่ 15 แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่แท้จริงเป็น Sodium glyceroxide ไม่ใช่ NaOH

Birnbaum และ Lederer (1963), Eckay และ Clark (1963), Ross, *et al.*, (1946) ให้ความสำคัญในการทำให้เป็นกลาง เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับระหว่างการกลั่นเพื่อ

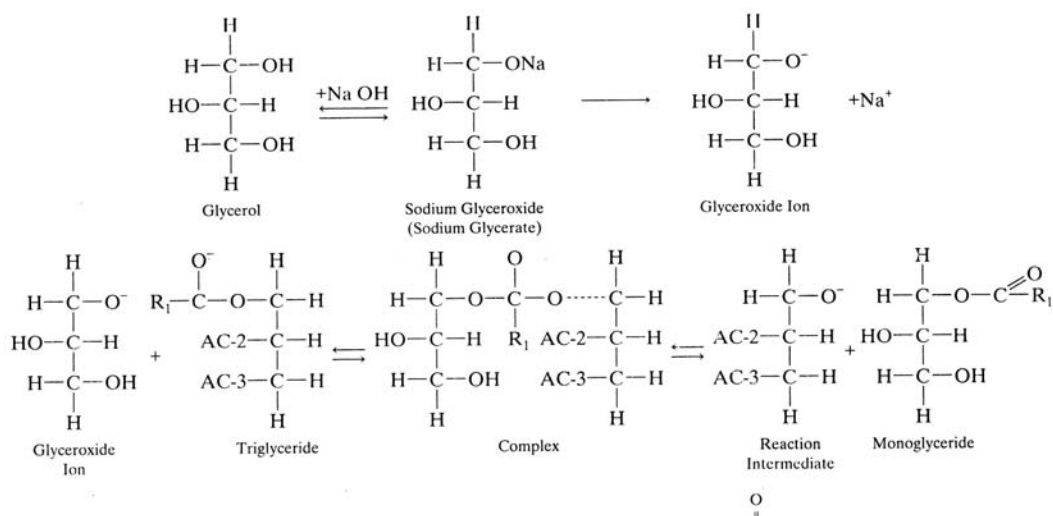
กำจัดกลีเซอรอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาออก อันจะส่งผลให้ปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ลดต่ำลง และปฏิกิริยาย้อนกลับจะเกิดขึ้นเร็วมากหากการทำปฏิกิริยาเพื่อปรับให้สารมีสภาพเป็นกลางไม่สมบูรณ์

การเกิดเกลือโซเดียมในขั้นตอนการเติมกรดเป็นสิ่งสำคัญระหว่างการทำให้เป็นกลาง โดย pH ของของผสม ควรมีค่า 5–7 หลังการทำให้เป็นกลาง แต่ pH ควรเป็น 5 หรือน้อยกว่า เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวระหว่างการดึงกลีเซอรอลโดยการกลั่น และการจัดเก็บภายหลัง (Allen and Campbell, 1967)



ภาพที่ 14 อัตราการเกิดปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสของน้ำมันเมล็ดป่านที่เวลาต่างๆ

ที่มา : Rheineck *et al.* (1969)



ภาพที่ 15 กลไกปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส (AC = fatty acid moiety)

ที่มา : Rheineck *et al.* (1969)

8.3 การใช้สัดส่วนโมลกลีเซอรอลที่มากเกินไปและเวลาการทำปฏิกิริยา

Sonntag (1982) กล่าวว่า การใช้กลีเซอรอลที่มากเกินไปในการทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสประมาณ 110 เปอร์เซ็นต์ ของไขมันและน้ำมันเมล็ดฝ้าย สำหรับน้ำมันมะพร้าว ประมาณ 140 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้อุณหภูมิการผสมที่ 260 องศาเซลเซียส สอดคล้องต่อความสามารถในการละลายได้ของกลีเซอรอล (1b glycerol / 100 lb fat) ต่อไขมันและน้ำมันเมล็ดฝ้ายที่สามารถละลายได้ประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ และ 65 เปอร์เซ็นต์ สำหรับน้ำมันมะพร้าว เวลาการทำปฏิกิริยาทั่วไปจะใช้เวลา 4 ชั่วโมง

Feuge และ Bailey (1946) ได้กล่าวว่าอุณหภูมิของสมดุลการทำปฏิกิริยาจะสูงประมาณ 200 องศาเซลเซียส ของผสมจะเป็นเนื้อเดียวกัน โดยสัดส่วนของโมโนกลีเซอไรต์, ไดกลีเซอไรต์, ไตรกลีเซอไรต์และกลีเซอรอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาจะเป็นไปตามรูปแบบ Random distribution กับหมู่ OH ในโมเลกุลของกลีเซอรอล ตารางที่ 5 แสดง Random distribution ของ 2 องค์ประกอบ A และ B ที่สัดส่วนที่ต่างกันและการรวมตัวกันของทั้ง 3

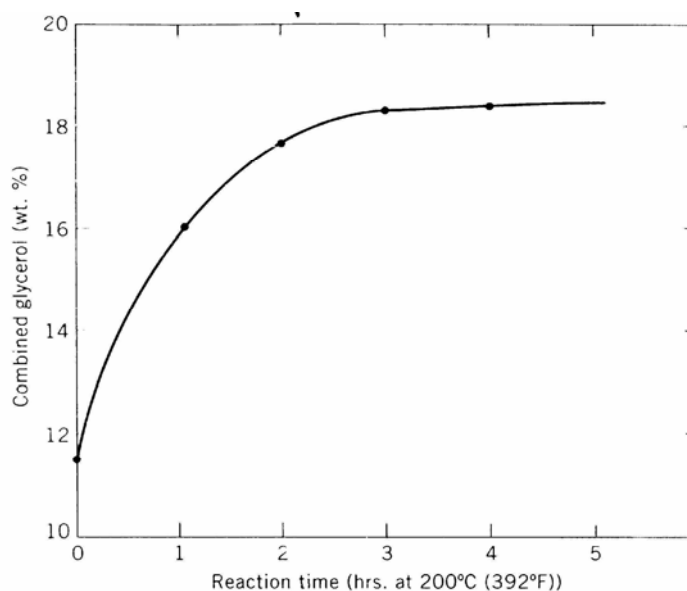
ตารางที่ 5 Random distribution of two elements, A and B, in different proportions and in combinations of three

Percent of Each		Percent of Each Combination			
A	B	AAA	AAB	ABB	BBB
100	0	100.0	0	0	0
95	5	85.7375	13.5375	0.7125	0.0125
90	10	72.9	24.3	2.7	0.1
85	15	61.4125	32.5125	5.7375	0.3375
80	20	51.2	38.4	9.6	0.8
75	25	42.1875	42.1875	14.0625	1.5625
70	30	34.3	44.1	18.9	2.7
65	35	27.4625	44.3625	23.8875	4.2875
60	40	21.6	43.2	28.8	6.4
55	45	16.6375	40.8375	33.4125	9.1125
50	50	12.5	37.5	37.5	12.5
45	55	9.1125	33.4125	40.8375	16.6375
40	60	6.4	28.8	43.2	21.6
35	65	4.2875	23.8875	44.3625	27.4625
30	70	2.7	18.9	44.1	34.3
25	75	1.5625	14.0625	42.1875	42.1875
20	80	0.8	9.6	38.4	51.2
15	85	0.3375	5.7375	32.5125	61.4125
10	90	0.1	2.7	24.3	72.9
5	95	0.0125	0.7125	13.5375	85.7375
0	100	0	0	0	100

ที่มา : Hui (1996)

8.4 เวลาการทำปฏิกิริยา

Feuge และ Bailey (1946) แสดงจุด สมดุลของปฏิกิริยา หลังทำปฏิกิริยา 3.5 ชั่วโมง เมื่อใช้ไขมันทำปฏิกิริยาที่ 200 องศาเซลเซียส โดยใช้ 16.63 เปอร์เซ็นต์ โดยมวลกลีเซอรอล มี 0.1 เปอร์เซ็นต์ NaOH ในกลีเซอรอล สารผสมจะมีลักษณะใสและเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากเข้าสู่จุดสมดุล กลีเซอรอลที่ใช้ไปขณะทำปฏิกิริยา คือ 18.4 เปอร์เซ็นต์ ของไขมัน ดังภาพที่ 16 อัตราการทำปฏิกิริยาจะต่ำเมื่ออุณหภูมิทำปฏิกิริยาต่ำกว่า (Gooding and Valteich, 1940) และเมื่อใช้อุณหภูมิการทำปฏิกิริยาที่ต่ำกว่า สภาวะสมดุลของปฏิกิริยาจะเกิดไตรกลีเซอไรด์ และไดกลีเซอไรด์ ดังนั้นเวลาจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญเมื่อใช้อุณหภูมิทำปฏิกิริยาที่ต่ำหรือใช้ความเข้มข้นของปฏิกิริยาที่ต่ำ เพื่อให้ปฏิกิริยาเข้าสู่ภาวะสมดุล (Kawai and Nobori, 1940)



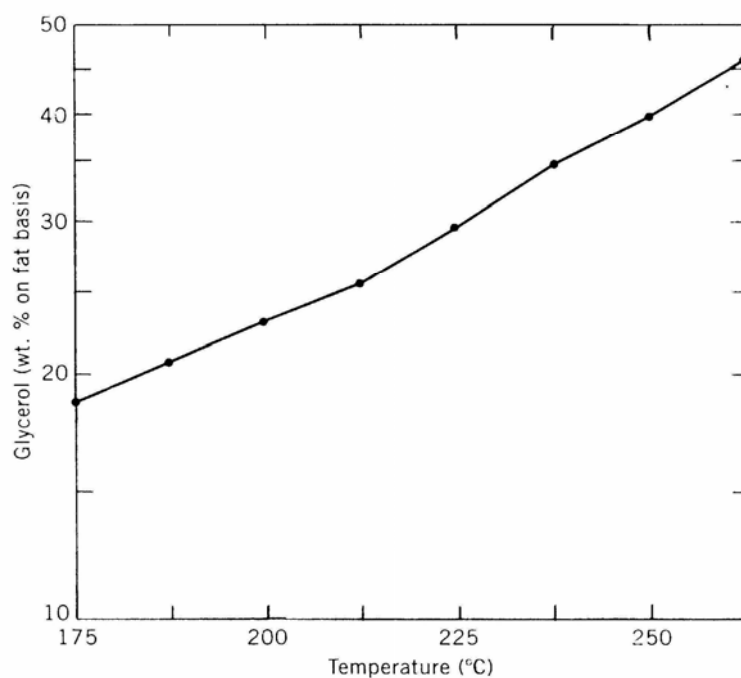
ภาพที่ 16 ปริมาณของกลีเซอรอลที่ทำปฏิกิริยาที่เวลาต่างๆ

ที่มา : Feuge and Bailey (1946)

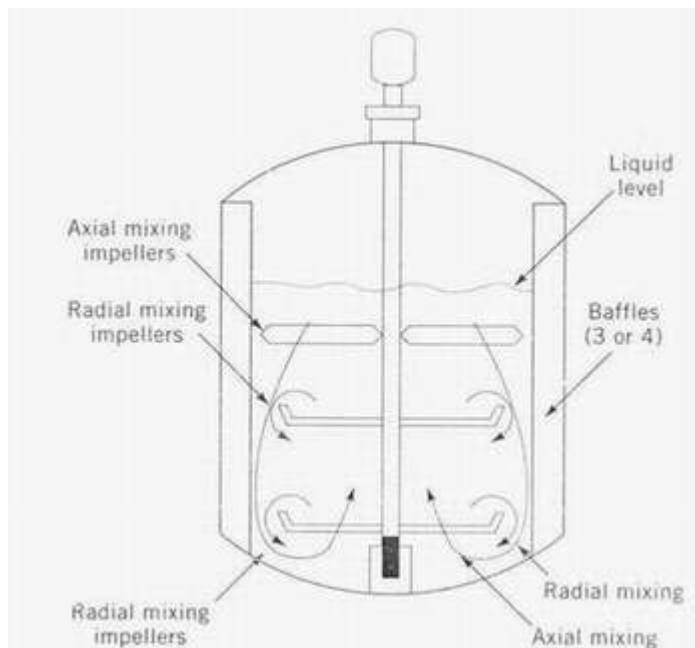
8.5 การกวนผสม

Hilditch และ Rigg (1937) กล่าวว่าค่าความสามารถในการละลายของกลีเซอรอล และไตรกลีเซอไรด์ พิจารณาได้ยากในกระบวนการกลีเซอไรไลซิส ปฏิกิริยาจะเกิดในเฟสของไขมัน หรือไตรกลีเซอไรด์ กลีเซอรอลที่ไม่ละลายในไขมันไม่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยา ทั้งสองได้ทดลองเพื่อหาปริมาณของกลีเซอรอลที่สามารถละลายเข้ากับไขมันได้ที่จุดสมดุลของอุณหภูมิต่างๆ ดังภาพที่ 17 ได้แสดงเปอร์เซ็นต์ของกลีเซอรอลในไขมันช่วงอุณหภูมิ 175 - 250 องศาเซลเซียส

เห็นได้ชัดว่าการละลายกลีเซอรอลสู่ไขมันเป็นไปในสัดส่วนที่น้อย นักวิจัยทั่วไปจึงสนใจการใช้ตัวทำละลายเพื่อปรับปรุงความสามารถในการละลายและอัตราการเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการกลีเซโรไลซิส การทำปฏิกิริยาของของผสมมีความต้องการที่จะให้เกิดการผสมให้เข้ากันได้มากที่สุด เพราะว่าโดยธรรมชาติของสารตั้งต้นทั้งสองไม่ละลายเข้ากัน ระบบการผสมที่ต้องการให้เกิดการผสมในแนวรัศมีให้กลีเซอรอลละลายเข้าไปในเฟสน้ำมันให้มากที่สุด ในขณะที่เดียวกันก็ต้องให้สารผสมไหลผสมจากด้านบนลงด้านล่างของถังผสมด้วยเพื่อให้เกิดการผสมในแนวแกนตั้ง ดังพื้นฐานการผสมดังภาพที่ 18 (Allen and Campbell, 1967)



ภาพที่ 17 ปริมาณของกลีเซอรอลสูงสุดที่สามารถทำปฏิกิริยาและละลายกับไขมันที่อุณหภูมิต่างๆ
ที่มา : Hilditch and Rigg (1937)



ภาพที่ 18 รูปแบบถังผสมสำหรับปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส

ที่มา : Allen and Campbell (1967)

8.6 ความดันในการทำปฏิกิริยา

เมื่อปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสเป็นการทำปฏิกิริยาในเฟสของเหลว ความดันจึงไม่มีผลต่อปฏิกิริยา อย่างไรก็ตามความดันในถังปฏิกิริยามีความสำคัญเมื่อทำการกลั่นกลีเซอรอลที่มากเกินไปออกหรือการป้องกันการสูญเสียกลีเซอรอลระหว่างการทำปฏิกิริยา การควบคุมความดันในการทำปฏิกิริยาให้มีความเหมาะสมจึงมีความสำคัญระหว่างกระบวนการกลีเซอโรไลซิส ซึ่ง Propylene glycol monoester จะเกิดขึ้น เนื่องจาก Propylene glycol จะเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่ากลีเซอรอล นี่จึงเป็นความจริงว่าสารอื่นที่จุดเดือดต่ำกว่าแอลกอฮอล์เข้ามามีเกี่ยวข้องในกระบวนการด้วย

การใช้ความดันเป็นบวกสามารถใช้ได้กับสารบางชนิด เมื่อมีจำนวนน้ำน้อยในกลีเซอรอลที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เช่นการใช้ไขมันละหุ่งทำปฏิกิริยาที่ 250 องศาเซลเซียส กับกลีเซอรอลที่มีน้ำ 4 – 5 เปอร์เซ็นต์ ใช้ความดัน 200 psig โดยแก๊ส CO₂ (Dey *et al.*, 1962)

การเกิดน้ำทำให้ Yield โมโนกลีเซอไรด์เพิ่มขึ้น Kochar และ Bhatnagar (1962) ยืนยัน Yield ที่สูงขึ้นของโมโนกลีเซอไรด์ โดยใช้ความดันจาก CO₂ 100 psig ที่อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส จากการทำปฏิกิริยาของผสม โดยมีกลีเซอรอล 2000 ส่วน ภายใต้สภาวะที่เหมือนกันเมื่อใช้น้ำมันมะพร้าวหรือน้ำมันถั่วลิสงจะให้ปริมาณแอลฟาโมโนกลีเซอไรด์ถึง 73 – 74

เปอร์เซ็นต์ ความดันที่ใช้จะมีส่วนช่วยให้การทำปฏิกิริยาดีขึ้น จากทั้งสองกรณีจึงเป็นไปได้ที่ทั้ง CO_2 และน้ำช่วยในการ Hydrolysis ไขมันและเร่งกระบวนการทำปฏิกิริยา

9. เทคนิคการวัดปริมาณโมโนเอซิลกลีเซอรอลหรือโมโนกลีเซอไรด์

9.1 แก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography, GC)

แก๊สโครมาโตกราฟีเป็นรูปแบบหนึ่งของกระบวนการแยกสารทางโครมาโตกราฟี เกี่ยวข้องกับการแจกแจง (Distribution) หรือ พาร์ทิชัน (Partitioning) ของสารประกอบใดๆ ระหว่างวัฏภาค (Phase) ที่แตกต่างกันสองวัฏภาค ซึ่งเป็นวัฏภาคที่เคลื่อนที่ (Mobile phase) วัฏภาคหนึ่งและวัฏภาคที่อยู่กับที่ (Stationary phase) อีกวัฏภาคหนึ่ง การแยกของผสมใช้หลักการที่ว่า เมื่อสารประกอบในของผสมเคลื่อนที่ผ่านวัฏภาคคงที่ โดยมีวัฏภาคเคลื่อนที่นำไป มันจะถูกเหนี่ยวรั้งในวัฏภาคคงที่ด้วยอัตราที่แตกต่างกันไป เนื่องจากความสามารถในการละลายที่ต่างกันของผสมจึงถูกแยกออกจากกันได้ โดยสารใดที่มีความสามารถในการละลายในวัฏภาคคงที่มากกว่า ก็จะใช้เวลามากกว่า ในการเคลื่อนที่ออกจากคอลัมน์ James และ Martin ผู้ให้กำเนิดเทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีได้เป็นผู้ริเริ่มใช้แก๊สเฉื่อยเป็นวัฏภาคเคลื่อนที่หรือแก๊สพา (Carrier gas) ในปี ค.ศ. 1952 ส่วนวัฏภาคคงที่จะเป็นของเหลวที่มีมวลโมเลกุลสูง ซึ่งอยู่ที่พื้นผิวที่ละเอียดของอนุภาคของสารแข็งรองรับ (Solid support) แต่ปัจจุบันนิยมเคลือบฉาบของเหลวที่เป็นวัฏภาคคงที่ไว้บนผนังด้านในของท่อคาพิลลารี (Capillary tubing) ที่มีขนาดยาว (อาภัสสรา สมิตต์, 2537)

Stevenson *et al.* (1993) ใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟีในการแยกสารประกอบโมโนเอซิลกลีเซอรอล ไดเอซิลกลีเซอรอล และไตรเอซิลกลีเซอรอลออกจากกันโดยเครื่อง Hewlett-Packard HP 5890 โดยใช้แก๊สไฮโดรเจนเป็นตัวพา ใช้คอลัมน์ชนิด HP Ultra 1 ใช้อุณหภูมิ 340 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

Millqvist *et al.* (1994) แยกสารประกอบไขมันโดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี ใช้คอลัมน์ชนิด DB-1 ใช้แก๊สฮีเลียมเป็นแก๊สตัวพา อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที ซึ่งสามารถแยกสารประกอบกลีเซอไรด์ได้เช่นเอสเทอร์กรดไขมันโมโนเอซิลกลีเซอรอล ไดเอซิลกลีเซอรอล และไตรเอซิลกลีเซอรอล

9.2 โครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง (High performance liquid chromatography หรือ High pressure liquid chromatography, HPLC)

การแยกและการวิเคราะห์สารด้วยวิธีนี้อาศัยหลักของการดูดซับ วิธีนี้ใช้คอลัมน์ขนาดเล็กแต่มีความยาวบรรจุตัวกลางที่ทำด้วยแก้ว หรือพลาสติกที่เคลือบด้วยตัวทำละลายที่อยู่กับที่เป็นชั้นบางๆ สารละลายที่ต้องการวิเคราะห์ถูกผ่านไปคอลัมน์ แล้วผ่านตัวทำละลาย

เคลื่อนที่ด้วยแรงดันสูง ถึง 10,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งทำให้ลดเวลาการแยกและการวิเคราะห์สารอย่างมาก การตรวจสอบสารละลายที่ออกจากคอลัมน์ ทำได้โดยการวัดการดูดกลืนแสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ต ดรรชนีหักเห (Refractive index) หรือการวัดฟลูออเรสเซนซ์ (อาภัสสรา ชมิตท์, 2537)

9.3 Thin layer Chromatography-Flame Ionization Detection (TLC/FID)

Thin layer Chromatography-Flame Ionization Detection (TLC/FID) เป็นการแยกของผสมในสารละลาย เช่น แยกลิปิด ก่อนที่จะใช้วิธีแยกลิปิดชนิดต่างๆ ออกจากกัน ต้องสกัดลิปิดออกมาก่อนโดยใช้สารผสมของคลอโรฟอร์มและเมทานอล แล้วนำมาแยกผ่านแท่งแก้วที่เคลือบบางๆ ด้วยตัวดูดซับ (Adsorbent) เช่น ซิลิกาเจลหรืออะลูมินา (Alumina) แท่งแก้วที่ถูกเคลือบแล้วจะถูกปล่อยให้แห้งแล้วอบด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลาที่กำหนดเรียกขบวนการนี้ว่าแอคติเวชัน (Activation) เป็นการกำจัดน้ำออกจากตัวดูดซับ เพื่อเพิ่มการดูดซับของตัวดูดซับ การแยกสารด้วยวิธีนี้อาศัยหลักการที่ว่า สารแต่ละชนิดมีอัตราการเคลื่อนที่บนตัวดูดซับไม่เท่ากัน สารบางชนิดจะถูกดูดซับไว้ด้วยตัวดูดซับ ซึ่งเป็นส่วนคงที่ แต่บางชนิดจะถูกพาให้เคลื่อนที่ด้วยส่วนเคลื่อนที่ การแยกทำเหมือนกันกับโครมาโตกราฟีแบบกระดาษ โดยให้ตัวทำละลายชะจากข้างล่างขึ้นไปข้างบน ราคฐานการแยกเกี่ยวข้องกับการดูดซับ โดยแรง Vander Waals พันธะไฮโดรเจน และการแลกเปลี่ยนประจุ นอกจากนี้ยังมีการแบ่งการละลายเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย (อาภัสสรา ชมิตท์, 2537) การตรวจหาตำแหน่งของลิปิดที่แยกออกจากกันใช้ Hydrogen flame ionization detector

Tanaka *et al.* (1980) ศึกษาการวัดปริมาณของสารประกอบกลีเซอไรด์ เช่น 1-โมโนเอซิลกลีเซอรอล 2-โมโนเอซิลกลีเซอรอล กรดไขมัน 1,2-ไดเอซิลกลีเซอรอล 1,3 ไดเอซิลกลีเซอรอล รวมทั้งไตรเอซิลกลีเซอรอลด้วย TLC/FID ซึ่งแยกสารแต่ละชนิดด้วย Chromarod S-II ที่เคลือบด้วยซิลิกาเจล ตัวทำละลายใช้สารผสมของคลอโรฟอร์ม:อะซิโตน : กรดอะซิติก (100 : 1 : 1) นำ Chromarod S-II มาหาปริมาณสารประกอบกลีเซอไรด์โดยระบบอัตโนมัติโดย Hydrogen flame ionization detector ค่าที่ได้จะแสดงในรูปเปอร์เซ็นต์พื้นที่ Peak

Yamane *et al.* (1986) วัดปริมาณสารประกอบที่ได้จากปฏิกิริยาคลีเซอโรไลซิสของไขมันโดย TLC/FID โดยใช้สารตัวทำละลายที่มีส่วนผสมของ เบนซีน : คลอโรฟอร์ม : กรดอะซิติก (70 : 30 : 2) ภายใต้สภาวะที่มีแก๊สไฮโดรเจน 0.7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร, อัตราการไหลของแก๊สเท่ากับ 2,000 มิลลิลิตรต่อนาที เวลาในการสแกนเท่ากับ 30 วินาทีต่อสแกน โดยระบบอัตโนมัติโดย Hydrogen flame ionization detector ค่าที่ได้จะแสดงในรูปเปอร์เซ็นต์พื้นที่ Peak พบว่าสามารถแยกสารประกอบพวกไตรเอซิลกลีเซอรอล 1,2-ไดเอซิลกลี-

เซอรอล 1,3-ไดเอ-ซิลกลีเซอรอล 1-โมนโอเอซิลกลีเซอรอล 2-โมนโอเอซิลกลีเซอรอล กรดไขมันและ
กลีเซอรอลออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและจัดสร้างชุดอุปกรณ์ในการทำปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเกิดปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส
3. เพื่อศึกษาปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิส
4. เพื่อศึกษาการแยกและการทำให้โมนอกลิเซอไรด์บริสุทธิ์
5. เพื่อออกแบบถังปฏิกรณ์ในระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เข้าใจกลไกการเกิดปฏิกิริยากลิเซอโรไลซิสและสามารถหาสภาวะที่เหมาะสมที่จะนำกลีเซอรอลซึ่งเป็นพลอยได้จากการผลิตไบโอดีเซลมาแปลงให้อยู่ในรูปของโมนอกลิเซอไรด์ได้
2. นำไปสู่การพัฒนากระบวนการผลิตโมนอกลิเซอไรด์ในเชิงพาณิชย์
3. เป็นแนวทางการวิจัยสำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนากระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชันและกลีเซอโรไลซิส
4. ผลจากงานวิจัยทำให้กระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีคุณค่าทางเศรษฐศาสตร์สูงขึ้น เป็นการส่งเสริมให้มีการผลิตไบโอดีเซลซึ่งเป็นเชื้อเพลิงสะอาดเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล