

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แครอทินอยด์

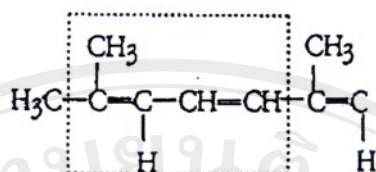
แครอทินอยด์เป็นสารสีที่พบมากในพืชและสัตว์ มีทั้งสีเหลือง ส้มและแดง (Britton, 1996) เป็นสารสีที่ละลายในไขมัน แครอทินอยด์มีมากกว่า 600 ชนิด (Goodwin, 1980) และพบได้มากในอาหาร (ตาราง 2.1) ซึ่งแครอทินอยด์เหล่านี้สามารถสกัดและนำมาใช้เป็นสีผสมอาหารได้ (David and Henry, 1996)

แครอทินอยด์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอนอยู่ 40 อะตอม โครงสร้างพื้นฐานของแครอทินอยด์เป็นสารประกอบในกลุ่มเทอร์พรีน (terpene group) เกิดจากหมู่ไอโซพรีน 8 หน่วย (ภาพ 2.1) ซึ่งเป็นสารประกอบอัลคีน (alkene) ที่มีพันธะคู่จำนวนมากในโมเลกุลมาเรียงต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะคู่ชนิดคอนจูเกต (ภาพ 2.2) ซึ่งมีลักษณะที่สำคัญคือพันธะคู่ 2 คู่ จะถูกแบ่งโดยพันธะเดี่ยว และมีการเชื่อมต่อกับหมู่เมทิล โดยการเชื่อมต่อกันระหว่างหมู่ไอโซพรีน การต่อกันของไอโซพรีนในโครงสร้างมี 2 แบบคือ แบบหัวโมเลกุลต่อกับท้ายโมเลกุล (head to tail) และท้ายโมเลกุลต่อท้ายโมเลกุล (tail to tail) (ภาพ 2.3) การเชื่อมต่อกันระหว่างหมู่ไอโซพรีนของแบบโมเลกุลต่อท้ายโมเลกุลจะพบที่บริเวณส่วนกลางในโครงสร้างโมเลกุลแครอทินอยด์ (Gross, 1987) ความยาวของสายโซ่คาร์บอนมีผลต่อความเข้มสีแครอทินอยด์ เนื่องมาจากจำนวนพันธะคู่ชนิดคอนจูเกต โดยถ้าโมเลกุลมีจำนวนพันธะคู่ชนิดคอนจูเกตมากจะมีสีแดงเข้มขึ้น จำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลแครอทินอยด์ที่น้อยที่สุดคือ 7 ซึ่งให้สีเป็นสีเหลือง (Hendry and Houghton, 1996 ; Belitz and Grosch, 1999) ภาพ 2.4 แสดงถึงสูตรโครงสร้างของสารในกลุ่มแครอทินอยด์ชนิดต่างๆ

ตาราง 2.1 ปริมาณแคโรทีนอยด์ในอาหารบางชนิด ($\mu\text{g}/100\text{g}$)

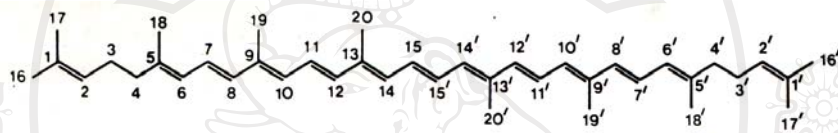
Food	α -carotene	β -carotene	α -crypto-xanthin	β -carotene equivalent	Retinol equivalent
Milk, whole	12	-	-	12	2
Cream, double	238	-	-	238	40
Cheese, cheddar	126	-	-	126	21
Oil, palm	-	500	-	500	83
Broad beans	9	165	0	170	28
Green beans	39	310	0	315	53
Peas	19	290	0	300	50
Asparagus	10	310	0	315	53
Beetroot	20	10	0	20	3
Broccoli	0	675	15	685	114
Carrot, old	2425	6905	0	8115	1355
Carrot, new	1765	4355	190	5330	890
Curly kale	0	3130	32	3145	525
Green pepper	9	260	0	265	44
Red pepper	135	3165	1220	3840	640
Yellow pepper	55	135	0	185	31
Pumpkin	29	940	0	955	160
Spinach	0	3515	35	3535	589
Sweetcorn	Tr	19	155	97	16
Tomato	0	620	35	640	105
Apple	0	12	0	12	2
Apricot	0	560	0	560	93
Pear	0	17	0	17	3
Orange	19	38	0	48	8
Grapefruit	0	2	3	4	Tr
Peach	0	86	51	115	19
Banana	12	14	0	20	3
Kiwi	0	43	4	45	8
Grapes	0	33	0	33	6
Plum	0	430	0	430	72
Strawberry	0	9	0	9	2

ที่มา : Crawley, 1993



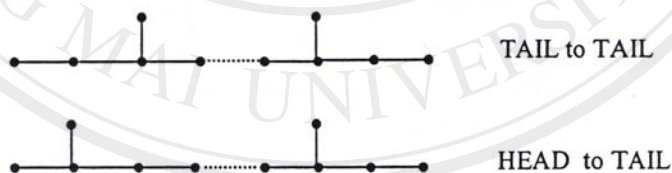
ภาพ 2.1 สูตรโครงสร้างของหมู่ไอโซพรีน

ที่มา : Goodwin, 1980



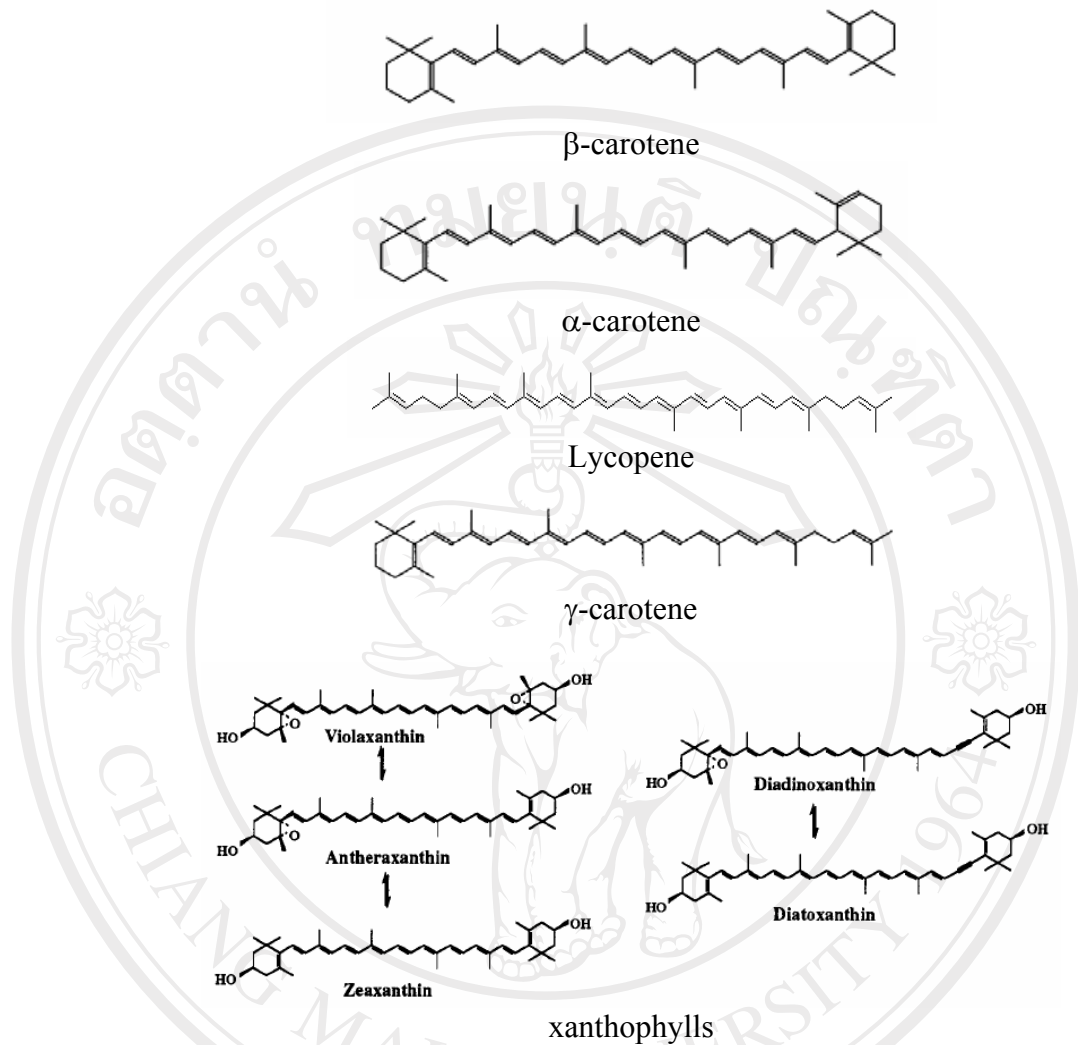
ภาพ 2.2 โครงสร้างไลโคพีน (lycopene) เป็นกลุ่มของแคโรทีนอยด์ที่ลักษณะโครงสร้างเป็นแบบโครงสร้างพื้นฐาน

ที่มา : Britton, 1996



ภาพ 2.3 ลักษณะการเชื่อมต่อกันระหว่างหมู่ไอโซพรีนในโมเลกุลของแคโรทีนอยด์

ที่มา : Gross, 1987



ภาพ 2.4 ลักษณะโครงสร้างของ β -carotene, α -carotene, lycopene, γ -carotene และ xanthophyll

ที่มา : Rodriguez, 1996 ; Leffingwell, 2001 และ Young et al, 1997

2.2 การจำแนกสารกลุ่มแคโรทีนอยด์

สารกลุ่มแคโรทีนอยด์สามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างทางเคมีได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ (Goodwin, 1980 และ Gross, 1987) ดังนี้

2.2.1 กลุ่มไฮโดรคาร์บอนแคโรทีน (hydrocarbon carotenenes)

เป็นกลุ่มที่โครงสร้างของโมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมกับไฮโดรเจนอะตอมเท่านั้น มีสูตร $C_{40}H_{56}$ ตัวอย่างเช่น ลูทีน (acyclic) บีตาแคโรทีน (cyclic) และไลโคพีน เป็นต้น

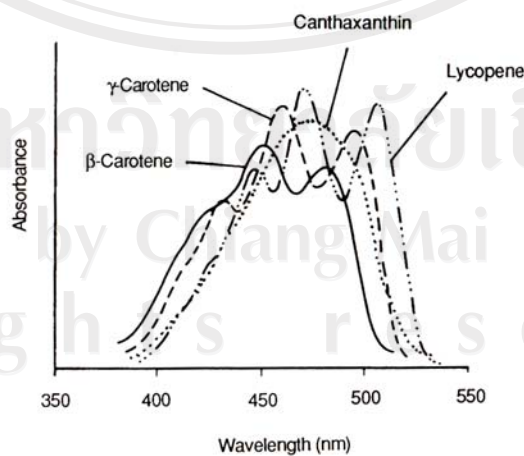
2.2.2. กลุ่มออกซีจินเตดแซนโทฟิลล์ (oxygenated xanthophylls)

เป็นกลุ่มของสารแคโรทีนอยด์ที่มีหมู่อนุพันธ์ที่ประกอบด้วยออกซีเจนอะตอมอยู่ในโครงสร้างของโมเลกุลด้วย ได้แก่ สารพวกแซนโทฟิลล์ เช่น ซีแซนทิน (zeaxanthin) มีอนุพันธ์ของไฮดรอกซิล สไปฟิลโลแซนทิน (spipilloxanthin) มีอนุพันธ์ของเมทอกซิล เป็นต้น

2.3 สมบัติของแคโรทีนอยด์

2.3.1 สมบัติทางกายภาพ

แคโรทีนอยด์ละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว รวมถึงในไขมันและน้ำมัน แต่ไม่ละลายในน้ำ การสกัดแคโรทีนอยด์ออกจากพืชสามารถทำได้โดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ เบนซิน เอทานอลหรืออะซีโตน (Belitz and Grosch, 1999) แคโรทีนอยด์มีสมบัติในการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตและแสงที่มองเห็น ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร (Ritter and Puecell, 1981) โดยค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของแคโรทีนอยด์จะแสดงให้เห็นอย่างเด่นชัด 3 ตำแหน่ง โดยตำแหน่งของความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนของพันธะคอนจูเกตในโครงสร้าง (ตาราง 2.2) (Belitz and Grosch, 1999) โดยการดูดกลืนแสงของไลโคพีนจะสูงที่สุด รองลงมาเป็นแกมมาแคโรทีน บีตาแคโรทีน และแคนทาแซนทิน ตามลำดับ (Britton, 1996) ดังภาพ 2.5



ภาพ 2.5 การดูดกลืนแสงของแคโรทีนอยด์

ที่มา : Britton, 1996

ตาราง 2.2 ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของแคโรทีนอยด์บางชนิด

Compound	Conjugated Double bonds number	Wavelength (nm)		
Phytoene	3	275	285	296
Phytofluene	5	331	348	367
ξ-Carotene	7	378	400	425
Neurosporene	9	416	440	470
Lycopene	11	446	472	505
γ-carotene	11	431	462	495
β-carotene	11	425 ^a	451	483

ที่มา : Belitz and Grosch, 1999

2.3.2 สมบัติทางเคมี

แคโรทีนอยด์ไวต่อออกซิเจนและแสงมาก แคโรทีนอยด์ในอาหารจะมีความคงตัวอยู่ได้ที่อุณหภูมิสูง หากไม่มีปัจจัยทางด้านแสงและออกซิเจนมารบกวน (Belitz and Grosch, 1999) แคโรทีนอยด์ในธรรมชาติมีไอโซเมอร์แบบทรานส์ทั้งหมดจับกันด้วยพันธะคู่ชนิดคอนจูเกต ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นไอโซเมอร์แบบซิส (*cis-isomer*) เมื่อถูกเหนี่ยวนำด้วยความร้อน ตัวทำละลายอินทรีย์และกรด ซึ่งไอโซเมอร์แบบซิสที่เกิดขึ้นมีผลให้ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงได้สูงสุดของแคโรทีนอยด์เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย และเป็นสาเหตุที่ทำให้การวัดปริมาณแคโรทีนอยด์รวมมีค่าลดลง (Macrae, 1988)

2.4 การสกัดแคโรทีนอยด์

น้ำมันปาล์มดิบเป็นแหล่งของบีตาแคโรทีน ซึ่งเป็นรงควัตถุในกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่พบในสิ่งมีชีวิตที่สังเคราะห์แสงได้ ได้แก่ พืชและแบคทีเรีย บีตาแคโรทีนเป็น provitamin-A ที่ดี นอกจากนี้ในทางชีวเคมีบีตาแคโรทีนยังเป็น antioxidant และมีข้อมูลว่าสามารถยับยั้งมะเร็งได้ (Manorama and Rukmini, 1992) บีตาแคโรทีนถูกทำลายได้ในระหว่างการสกัดหรือกลั่นน้ำมัน (Rodriguez-Amaya, 1996) ที่อุณหภูมิสูงในขั้นตอนการกำจัดกลิ่น เพื่อให้ได้สีเหลืองอ่อนของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการกลั่น (Kalyana et al., 2003) ซึ่งแสดงถึงการสูญเสียแคโรทีนอยด์ ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ จึงมีการพัฒนาวิธีการสกัดและการนำน้ำมันปาล์มกลับมาใช้ประโยชน์ (Batistella and Wolf, 1998)

ในการสกัดแคโรทีนอยด์ควรทำอย่างรวดเร็ว เพื่อลดการเสื่อมสลายจากเอนไซม์หรือออกซิเจน โดยทั่วไปการสกัดจะใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่เป็น water-miscible คือ acetone, methanol หรือ ethanol จะไม่ใช่ chloroform-methanol ในการสกัดแคโรทีนอยด์ เนื่องจากจะมี HCl เกิดขึ้น การสกัดจากเนื้อเยื่อ (tissue) แห่งจะมีประสิทธิภาพมากหากมีการให้น้ำกับเนื้อเยื่อเล็กน้อย (Hendry and Houhgton, 1996) ซึ่งสอดคล้องกับที่ Rodriguez-Amaya และ Kimura (2004) รายงานไว้ว่า ควรใช้ตัวทำละลายในการสกัดที่สามารถระเหยได้ มีจุดเดือดต่ำ เช่น petroleum ether ที่มีจุดเดือดอยู่ในช่วง 35-60 องศาเซลเซียส และ acetone, methanol หรือ ethanol ในการสกัดแคโรทีนอยด์จากอาหารที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่มาก ส่วนอาหารที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่น้อยสามารถสกัดโดยใช้ตัวทำละลายที่เป็น water-immiscible แต่การสกัดจะมีประสิทธิภาพมากกว่าหากมีการผสมน้ำกับตัวอย่างอาหารก่อน แล้วจึงนำมาสกัดด้วยตัวทำละลายที่เป็น water-miscible ในการสกัดแคโรทีนอยด์จากเนื้อเยื่อพืชควรจะทำให้เนื้อเยื่อถูกทำลายหรือแตกออก ซึ่งวิธีที่ Rodriguez-Amaya และ Kimura (2004) ใช้ในงานทดลองก็คือการทำเนื้อเยื่อให้เป็นเนื้อเดียวกัน (homogenization) ในตัวทำละลาย โดยใช้เครื่องปั่นไฟฟ้า (electric blender) สำหรับตัวอย่างที่มีปริมาณไม่มากอาจทำการบด (grind) เนื้อเยื่อใน acetone ด้วยทรายสะอาด แต่คุณภาพในการสกัดอาจไม่ดีนัก ในทางการค้ามักจะใช้การปั่น (agitation) ด้วยตัวทำละลาย การใช้ตัวทำละลายเย็นนิยมใช้ในการสกัด แต่บางครั้งการใช้ตัวทำละลายที่ร้อนอาจให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า ภายหลังขั้นตอนการกรอง ของแข็งที่เหลืออยู่จะนำมาสกัดซ้ำอีกครั้งด้วยตัวทำละลายใหม่จนกระทั่งไม่มีสีหลงเหลืออยู่ ซึ่งส่วนใหญ่ทำซ้ำ 2-3 ครั้ง สำหรับอุตสาหกรรมสกัดขนาดใหญ่ ตัวทำละลายที่นำมาสกัดควรมีความเข้มข้นสูง เช่น ใช้ ether ในการสกัดแคโรทีนอยด์ แล้วทำการล้างด้วยน้ำ 2-3 ครั้ง และทำการระเหยให้แห้ง สารสกัดที่ได้อาจมีการนำมาสaponify ด้วย ethanolic potassium hydroxide (KOH) 6-10% ที่อุณหภูมิห้อง ในที่มืดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายใต้สถานะไนโตรเจน (N_2) ปริมาณของ acetone มักนำกลับมาใช้ใหม่ก่อนที่จะเข้าสู่ขั้นตอนสะaponifiเคชัน เพื่อหลีกเลี่ยงของเหลวชั้นไม่มีสี (aldol) ที่เกิดจากการกลั่นตัว (condensation) ระหว่าง apocaropenal และ acetone หรือหลีกเลี่ยงสิ่งเจือปนที่เกิดจากปฏิกิริยา polymerization ของ acetone (Hendry and Houhgton, 1996)

การสกัดแคโรทีนอยด์ด้วยวิธีการใช้คอลัมน์แบบเปิด (open column method) จะใช้ปริมาณของตัวอย่างที่จะนำมาสกัดแคโรทีนอยด์มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของแคโรทีนอยด์ที่มีอยู่ในตัวอย่างนั้น เช่น ใช้ตัวอย่าง 2 กรัมสำหรับตัวอย่างที่เป็นไบสียิวเข้ม ส่วนผลไม้หรือผักที่มีปริมาณของแคโรทีนอยด์เป็นองค์ประกอบอยู่ในจำนวนน้อยจะใช้ตัวอย่าง 100

กรัมในการสกัด จากนั้นทำการปั่นในเครื่องปั่น (blender) เป็นเวลา 30-60 วินาที ด้วย acetone เย็น กรองผ่าน buchner funnel หรือ sintered glass funnel ทำการล้างเครื่องปั่น กรวย และสิ่งที่เหลือด้วย acetone จำนวนเล็กน้อย จากนั้นล้างสารสกัดที่ได้ใน suction flask นำสารสกัดที่ได้ใส่เข้าไปในเครื่องปั่น ใส่ acetone ลงไปและทำการบด (macerate) อีกครั้ง กรองและล้างจนสีของสารสกัดหายไป ทำซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง (Rodriguez-Amaya, 2001)

มีการใช้ column chromatography, thin-layer chromatography (TLC) และ high-performance liquid chromatography (HPLC) กับสารสกัดแคโรทีนอยด์ แต่ GLC เป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมเนื่องจากไม่มีเสถียรภาพ TLC เป็นวิธีที่ดีในการแยกและทำให้แคโรทีนอยด์บริสุทธิ์ ส่วน column chromatography ใช้สำหรับการทำให้บริสุทธิ์ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่หรือในงานทดลองเพื่อแยกสารสกัดให้เป็นกลุ่มของสารประกอบที่มีสภาพขั้วคล้ายกัน จากนั้นอาจใช้ TLC ในการแยกและทำให้แคโรทีนอยด์แต่ละตัวบริสุทธิ์ การทำแคโรทีนอยด์ให้บริสุทธิ์ จะใช้วิธี column chromatography ร่วมกับ alumina ตามด้วยวิธี TLC ร่วมกับ silica gel หรือใช้ MgO-kieselguhr G และ silica แต่จะใช้ตัวทำละลายที่ต่างกัน สำหรับตัวอย่างที่วิเคราะห์โดยวิธี mass spectrometry (MS) และวิธี nuclear magnetic resonance (NMR) จำเป็นที่จะต้องมียุทธศาสตร์เพื่อให้ได้สารบริสุทธิ์ต่อไป ส่วนวิธี HPLC เป็นทางเลือกหนึ่งในการวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ซึ่งมีการใช้ HPLC ร่วมกับการใช้ UV-visible absorption spectra (Hendry and Houhgtton, 1996)

2.5 การนำแคโรทีนอยด์ไปใช้ประโยชน์

มีการนำแคโรทีนอยด์มาใช้ประโยชน์อย่างหลากหลายในอุตสาหกรรมต่างๆ ดังนี้

2.5.1 ใช้เป็นสารสี (colorants)

มีการนำแคโรทีนอยด์ไปใช้เป็นสารให้สีในอาหารหลายชนิด เช่น มาคารีน ไอศกรีม ชีส เครื่องดื่ม ซอส เนื้อ ลูกกวาด ขนมอบ (Belitz and Grosch, 1999) ผลิตภัณฑ์ไข่ พาสตา น้ำสลัด ผลิตภัณฑ์นม ป๊อปคอร์น และผลิตภัณฑ์จากมันฝรั่ง เป็นต้น (Hendry and Houhgtton, 1996) โดยมากจะมีการนำแคโรทีนอยด์มาใช้เป็นสารให้สี ทั้งในรูปของน้ำมันและอิมัลชัน (Hendry and Houhgtton, 1996) เนื่องจาก โครงสร้างของแคโรทีนอยด์มี conjugated double bond ที่เรียกว่า chromophore จึงทำให้แคโรทีนอยด์แต่ละชนิดดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแตกต่างกัน ดังนั้นจึงทำให้ผลไม้ที่มีแคโรทีนอยด์อยู่ในโครงสร้างมีสีต่างกันด้วย โดยสารในกลุ่ม

แคโรทีนอยด์จะถูกนำไปใช้เป็นสีผสมอาหาร ซึ่งให้สีเหลือง-ส้มและสีส้ม-แดงแก่ผลิตภัณฑ์ (Gordon and Bauernfeind, 1982)

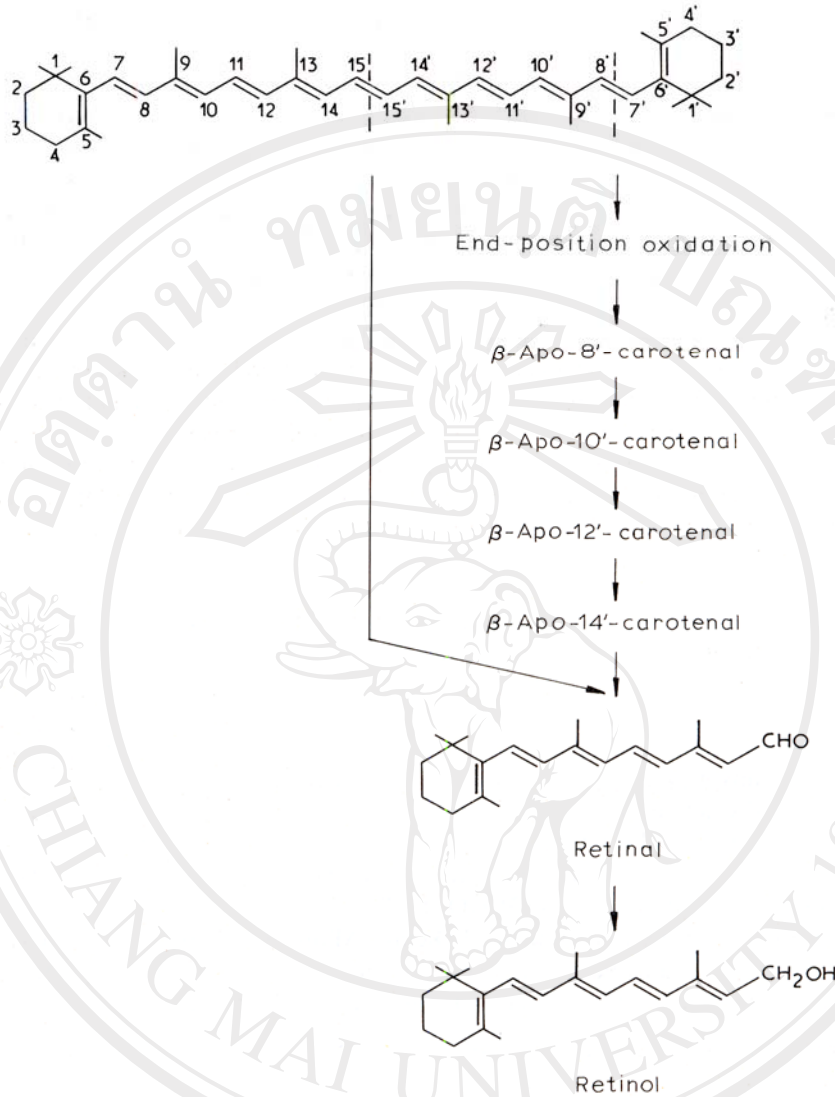
2.5.2 ใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วิตามินเอและเป็นยาเพื่อลดการเกิดโรค

สารในกลุ่มแคโรทีนอยด์เป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ โดยสารในกลุ่มนี้จะเปลี่ยนไปเป็นวิตามินเอได้ในปริมาณที่แตกต่างกัน (ตาราง 2.3) โดยในแคโรทีน 100 กรัมมีปริมาณวิตามินเพียงพอกับปริมาณที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน ซึ่งร่างกายของคนเราต้องการบีตาแคโรทีน 15 มิลลิกรัมต่อวัน โดยบีตาแคโรทีน จะเป็นสารตั้งต้นที่ถูกสังเคราะห์ไปเป็นวิตามินเอในร่างกาย โดยผ่านกระบวนการออกซิเดชันและเกิดการแตกออกของโมเลกุล ซึ่งบีตาแคโรทีน 1 โมเลกุลจะให้วิตามินเอ 2 โมเลกุล (ขวัญดาวและมนัชยา, 2543) ภาพ 2.6 แสดงปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงบีตาแคโรทีนไปเป็นวิตามินเอ ปัจจุบันมีการนำบีตาแคโรทีนมาใช้บรรเทาอาการของโรคไวต่อแสง (light-sensitivity diseases) โดยเฉพาะโรค erythropoietic protoporphyria ที่จะระคายเคืองผิวหนังอย่างรุนแรงเมื่อถูกแสงจัด (Hendry and Houhgton, 1996)

ตาราง 2.3 กิจกรรม (activity) ของวิตามินเอของสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์	Activity (%)
all- <i>trans</i> - β -carotene	100
9- <i>cis</i> - β -carotene	38
13- <i>cis</i> - β -carotene	53
All- <i>trans</i> - α -carotene	53
9- <i>cis</i> - α -carotene	13
13- <i>cis</i> - α -carotene	16
all- <i>trans</i> -cryptoxanthin	57
9- <i>cis</i> -cryptoxanthin	27
15- <i>cis</i> -cryptoxanthin	42
β -carotene 5,6-epoxide	21
β -carotene 5,8-epoxide	80
γ -carotene	42-50
β -zeacarotene	20-40

ที่มา : Crawley, 1993



ภาพ 2.6 ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงบีตาแคโรทีนเป็นวิตามินเอ

ที่มา : Gross, 1987

2.6 น้ำมันปาล์ม

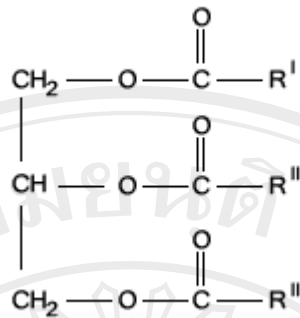
น้ำมันปาล์ม (palm oil) เป็นน้ำมันที่ได้มาจากเนื้อมะพร้าว โดยผลปาล์มมีส่วนที่ให้น้ำมันอยู่ 2 ส่วนคือ จากเมล็ดใน (palm kernel oil) และจากเนื้อที่หุ้มเมล็ด (palm oil) น้ำมันในเมล็ดมีสมบัติคล้ายน้ำมันมะพร้าวคือ มีกรดลอริก (lauric acid) เป็นปริมาณสูง ส่วนน้ำมันปาล์มจากเนื้อที่หุ้มเมล็ดมีองค์ประกอบคล้ายน้ำมันหมู มีวิตามินเอและอีอยู่สูงกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ ผลปาล์มสุกมีเอนไซม์ที่ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระในตัวเองสูงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นเมื่อปาล์ม

สุกเมื่อถูกตัดจากต้นแล้วควรจะต้องส่งให้ถึงโรงงานสกัดน้ำมันโดยเร็ว (ไพจิตร, 2530) น้ำมันปาล์มละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ โดยน้ำมันปาล์มที่ดีจะต้องมีลักษณะที่เหมาะสม ดังแสดงในตาราง 2.4 น้ำมันปาล์มมีองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) หลายชนิด (ภาพ 2.7) ซึ่งหมู่ R คือ fatty acid สายยาว ที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมอยู่มาก

ตาราง 2.4 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีที่เหมาะสมของน้ำมันปาล์ม

ลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	
	น้ำมันปาล์ม ธรรมชาติ	น้ำมันปาล์ม ผ่านกรรมวิธี
ความหนาแน่นสัมพัทธ์ ที่ 50/20°C	0.891-0.899	0.891-0.899
ดัชนีหักเห ที่ n_D 50°C	1.455-1.456	1.455-1.456
จุดขุ่น (°C)	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด
น้ำและสารที่ระเหยได้ ที่อุณหภูมิ 105°C (%โดยน้ำหนัก) ไม่เกิน	0.2	0.2
สิ่งอื่นที่ไม่ละลาย (%โดยน้ำหนัก) ไม่เกิน	0.05	0.05
ค่าไอโอดีนแบบวิจส์	50-55	50-55
ค่าสะพอนิฟิเคชัน (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม)	190-209	190-209
สารที่สะพอนิไฟด์ไม่ได้ (กรัมต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม) ไม่เกิน	12	12
ค่าของกรด (มก.โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม) ไม่เกิน	4	0.6
ค่าเพอร์ออกไซด์ (มก.สมมูลเพอร์ออกไซด์ออกซิเจน/กก.) ไม่เกิน	10	10
สบู่ (%โดยน้ำหนัก) ไม่เกิน	0	0.005
บีตาแคโรทีน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	500-2000	ไม่กำหนด

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2535



ภาพ 2.7 ลักษณะโครงสร้างของ triglyceride

ที่มา : Seatons, 2006

กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerol) ในน้ำมันปาล์ม คือ กรดไมริสติก (myristic) กรดปาล์มิติก (palmitic) และกรดสเตียริก (stearic) ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัว ส่วนกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่พบ ได้แก่ กรดโอเลอิก (oleic) และกรดลิโนเลอิก (linoleic) (นิธิยา, 2548) ซึ่งกรดไมริสติก (myristic) กรดปาล์มิติก (palmitic) กรดสเตียริก (stearic) กรดโอเลอิก (oleic) และกรดลิโนเลอิก (linoleic) มีจุดหลอมเหลวที่แตกต่างกัน คือ 54.4, 62.9, 70.1, 16.3 และ -5.0°C ตามลำดับ (นิธิยา, 2548)

เมื่อนำน้ำมันปาล์มไปแยกส่วน (fractionation) จะได้ส่วนที่เป็นของเหลว เรียกว่า ปาล์มโอเลอีน (palm olein) และส่วนที่มีสภาพแข็งตัวมากกว่า เรียกว่า ปาล์มสเตียรีน (palm stearin) (สวนิต, 2535) กรดปาล์มิติก (palmitic acid) และกรดสเตียริก (stearic acid) เป็นกรดไขมันอิ่มตัว มีจุดหลอมเหลวสูง ส่วนกรดโอเลอิก (oleic acid) ลิโนเลอิก (linoleic acid) และลิโนเลนิก (linolenic) เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวและมีจุดหลอมเหลวต่ำ (Corley and Tinker, 2003) สมบัติและส่วนประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม แสดงในตาราง 2.5

ตาราง 2.5 สมบัติและชนิดของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันปาล์ม

กรดไขมัน	ปริมาณ (%)
C14:0 Myristic	1.1
C16:0 Palmitic	43.5
C18:0 Stearic	4.3
C18:1 Oleic	39.8
C18:2 Linoleic	10.2
C18:3 Linolenic	0.3
ค่าไอโอดีน (Iodine value)	53.0
จุดหลอมเหลว	36.0

ที่มา : Corley and Tinker, 2003

น้ำมันปาล์มมีองค์ประกอบรอง (minor components) ซึ่งมีประมาณ 1% ส่วนใหญ่เป็น แครโรทีนอยด์ วิตามินอี และสเตอรอล (Yusof and Chan, 2004) สาเหตุที่น้ำมันปาล์มดิบมีสีแดง ส้มเข้มมาก เนื่องจากมีแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ในปริมาณสูง (สวนิต, 2535) ซึ่ง Kalyana และคณะ (2003) ได้รายงานไว้ว่ามีปริมาณของแคโรทีนอยด์ในน้ำมันปาล์มเท่ากับ 500-700 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำมันปาล์ม โดยส่วนใหญ่แล้วองค์ประกอบหลักที่พบก็คือบีตาแคโรทีน ซึ่งมีมากถึง 54.4% รองลงมาคือ แอลฟาแคโรทีน ไลโคพีน แกมมาแคโรทีน และแซนโทฟิลล์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบวิตามินอี (vitamin E) สเตอรอล (sterol) ฟอสฟาไทด์ (phosphatide) และแอลกอฮอล์ (alcohol) อีกด้วย ตาราง 2.6 แสดงองค์ประกอบของแคโรทีนอยด์ในน้ำมันปาล์มดิบ

ตาราง 2.6 องค์ประกอบของแคโรทีนอยด์ในน้ำมันปาล์มดิบ^a

Carotenoids	% of total carotenoids
Phytoene	1.27
<i>Cis</i> - β -carotene	0.68
Phytofluene	0.06
β -carotene	56.02
α -carotene	35.16
<i>Cis</i> - α -carotene	2.49
ζ -carotene ^b	0.69
δ -carotene	0.83
γ -carotene	0.33
Neurosporene ^c	0.29
β -zeacarotene	0.74
α -zeacarotene	0.23
Lycopene ^d	1.30
Total carotene (มิลลิกรัมต่อลิตร)	500-700

^aCommercial Malaysia crude palm oil

^bOne *trans* and two *cis* isomer

^cOne *trans* and one *cis* isomer

^dOne *trans* and three *cis* isomer

ที่มา : Choo et al. (1996)

ทั้งนี้ Mortensen (2005) ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณแคโรทีนจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ซึ่งได้ *cis*-isomer ของ แอลฟาแคโรทีน บีตาแคโรทีน และแกมมาแคโรทีนในปริมาณมาก โดย แอลฟาแคโรทีน และ บีตาแคโรทีน มีปริมาณมากที่สุดในจำนวนแคโรทีนอยด์ที่วิเคราะห์ได้ คือมีปริมาณเท่ากับ 17.9% และ 12.3% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Rodriguez (1996) ที่ได้รายงานไว้ว่าใน น้ำมันปาล์มดิบมีปริมาณของแอลฟาแคโรทีนและบีตาแคโรทีนอยู่สูงมากและเป็นแหล่งสำคัญของ provitamin A

2.7 ประโยชน์ของน้ำมันปาล์ม

2.7.1 ผลิตภัณฑ์อาหาร (Food Products)

มีการใช้น้ำมันปาล์มเป็นอาหารถึง 90% เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสูง (Kalyana et al., 2003) ทั้งนี้ Yusof และ Chan (2004) ได้รายงานไว้ในมาเลเซียมีการนำน้ำมันปาล์มไปใช้ใน

ด้านอาหารถึง 80% คือ ใช้ในการทอดอาหาร ส่วนใหญ่เป็นน้ำมันปาล์ม โอเลอิน เพราะสามารถต้านการเสื่อมสลายจากออกซิเจนได้ (oxidative deterioration) และมีการใช้วิตามินอีในน้ำมันปาล์มเป็นสารธรรมชาติในการยับยั้งการรวมตัวของออกซิเจน (antioxidant) ปัจจุบันมีการใช้น้ำมันปาล์มเป็นส่วนผสมหลักของ shortening, margarine และ vanaspati ในอุตสาหกรรมขนมอบและลูกกวาด

2.7.2 ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่อาหาร (Non-Food Products)

มีการนำน้ำมันปาล์มไปใช้กับอุตสาหกรรมด้านอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องกับอาหาร (Yusof and Chan, 2004) ดังนี้

1. ใช้ในการทำสบู่, epoxidized palm oil, polyols, polyurethanes, polyacrylate coatings, หมึกพิมพ์, engineering thermoplastics, ใช้เป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันดีเซล และใช้ทำ drilling mud เพื่อใช้แทนสารต่อต้านสารพิษสำหรับน้ำมันดีเซล
2. ใช้เป็นสาร oleochemical
 - ใช้เป็น fatty acids, fatty esters, fatty alcohols, fatty nitrogens และ glycerols
 - ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารในผลิตภัณฑ์อาหารพวก monoglycerides ในอิมัลชัน เช่น margarine, spread และ salad dressing
 - ใช้เป็น medium chain triglyceride สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง แป้งเด็กและอาหารเพื่อสุขภาพ
 - ใช้เป็นสารหล่อลื่นหรือจาระบี แทนน้ำมันหล่อลื่น

2.7.3 ผลิตภัณฑ์ Nutritional, Nutraceutical และ Pharmaceutical

น้ำมันปาล์มสามารถนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพและใช้ในทางยาได้ (Yusof and Chan, 2004) ดังนี้

1. มีการใช้แคโรทีนอยด์ในความเข้มข้นแตกต่างกันออกไป ตั้งแต่ 1-30% เพื่อประยุกต์ใช้ในทางการค้า เช่น ใช้กับอาหาร ใช้เป็นสีผสมอาหาร ใช้เป็น nutraceutical และ pharmaceutical เป็นต้น

2. ในน้ำมันปาล์มมีปริมาณของวิตามินอีอยู่ 600-1,000 ppm. ซึ่งเป็น tocotrienols 70% ซึ่งมากกว่า tocopherols ที่มีอยู่ 30% วิตามินอีเป็นสารเสถียรตามธรรมชาติที่ต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน และสามารถที่จะลด LDL-cholesterol ได้

ปริมาณ tocotrienol และกิจกรรมของ pro-vitamin A ตลอดจนความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ในน้ำมันปาล์ม มีส่วนช่วยในการลดระดับของคลอเรสเตอรอลได้ ส่วนวิตามินอี แคโรทีนอยด์ และ phenolic-flavonoid complex ในน้ำมันปาล์ม ยังมีสมบัติเป็นสารยับยั้งการรวมตัวของออกซิเจน (antioxidant) และต้านมะเร็ง (anticancer) ได้ด้วย (Kalyana et al., 2003)

2.8 วิธีการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ

วิธีการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ มีวิธีการ ดังนี้

2.8.1 Transesterification

วิธีนี้ทำการสกัดโดยการนำน้ำมันปาล์มดิบมา transesterified ด้วย ethanol กระตุ้นด้วย sodium etoxide 0.4% (w/w) เมื่อกรดไขมันอิสระเป็นกลางแล้ว แยกเอสเทอร์ออกจากกลีเซอรอล และล้างด้วยน้ำกลั่นจนมี pH ประมาณ 6-8 จากนั้นนำเอสเทอร์ที่ได้มาทำให้แห้งโดยการระเหยภายใต้ความดัน จะได้แคโรทีนอยด์เข้มข้น 630 ppm และเอสเทอร์ 600 ppm ตามลำดับ (Batistella and Wolf, 1998)

2.8.2 Alkali saponification

วิธีการเริ่มโดยการละลายน้ำมันปาล์มใน diethyl ether ประมาณ 20 มิลลิลิตร เติม KOH 30% ใน methanol (w/v) ลงไป 100 มิลลิลิตร นำส่วนผสมที่ได้ใส่ลงไปในกรวยแยกและเก็บในที่มืดเป็นเวลา 5 ชั่วโมง นำสารผสมที่ถูก saponify แล้ว ไปล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัดสบู่ออกจนกระทั่ง pH ของสารละลายเป็นกลางทำการสกัดให้เข้มข้นโดยใช้ rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะได้สารสกัดแคโรทีนอยด์ จากนั้นนำสารสกัดที่เข้มข้นใส่ลงไปในขวดเก็บตัวอย่าง เติม petroleum ether จำนวนเล็กน้อย และ flush ด้วยไนโตรเจน เก็บตัวอย่างในช่องแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส (Farombi and George, 1999)

Bonnie and Choo (2000) ได้ทำการสกัดโดยนำน้ำมัน 5 กรัม มาสะปอนิฟิเคชัน กับ ethanolic KOH 50% ปริมาณ 5 มิลลิลิตร โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในที่มืดด้วย water bath ภายใต้สถานะไนโตรเจนเป็นเวลานาน 45 นาที ตัวอย่างที่ saponify เสร็จแล้ว จะ

นำไปทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และสกัดด้วย petroleum ether 50 มิลลิลิตร จนได้สาร supernatant ที่ไม่มีสี ล้างสารสกัด petroleum ether 4 ครั้งด้วยน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร และทำให้แห้งใน rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นำสารสกัดมาละลายใน mobile phase ที่รู้ปริมาตรแน่นอนที่บรรจุ antioxidant อยู่ ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์หาปริมาณโดยการฉีดเข้าไปใน HPLC

ในปี 2002 Bonnie และคณะได้ทำการสกัดแคโรทีนอยด์ จากน้ำมัน mesocarp ของผลปาล์มและน้ำมันปาล์มดิบ โดยเก็บตัวอย่างน้ำมันในขวด จุ่มลงไปน้ำใน water bath ที่อุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียส จากนั้นนำน้ำมัน 3 กรัม ละลายใน ethanol 30 มิลลิลิตร และ saponify ด้วย potassium hydroxide (KOH) 50% ปริมาณ 5 มิลลิลิตร ใน vacuo ที่อุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 วินาที ตัวอย่างที่ saponify เสร็จแล้ว นำมาสกัดด้วย hexane 50 มิลลิลิตร จนได้สาร supernatant ที่ไม่มีสี ล้างสารสกัดด้วยน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร 5 ครั้ง แล้วทำให้แห้งโดยการนำไปกำจัด hexane ออก

Fernandez และคณะ (2000) ได้ทำการดัดแปลงวิธีการสกัดโดยนำน้ำมันปาล์มดิบมา 3 กรัม ละลายใน methylene chloride 20 มิลลิลิตร เพื่อที่จะเติม BHT ใน methanol (1% v/v) 3 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติม KOH ใน methanol (17% w/v) คนภายใต้สภาวะ N₂ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ของผสมนี้จะถูกสกัด 4 ครั้งด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ ส่วนที่เป็นสบู่จะตกตะกอน แล้วนำมากรองแบบสุญญากาศด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 54 ส่วนปิโตรเลียมอีเทอร์ที่เหลืออยู่จะถูกล้างด้วย aqueous NaCl (8% w/v) 4 ครั้ง ทำการแกว่งเบาๆเพื่อป้องกันการเกิด emulsion สุดท้ายล้างด้วย deionized water 50 มิลลิลิตร เพื่อล้างค้างออก ส่วนสารที่สกัดมาได้จะทำให้เข้มข้นขึ้นโดยใช้ rotary evaporation ที่ 30°C แล้วนำส่วนที่เหลืออยู่มาละลายด้วยเฮกเซน ให้มีปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วนำมา 2 มิลลิลิตร เจือจางด้วยเฮกเซนให้มีปริมาตร 25 มิลลิลิตร กรองผ่าน polytetrafluoroethylene (PTFE) 0.45 µm โดยใช้ syringeless filter แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสง

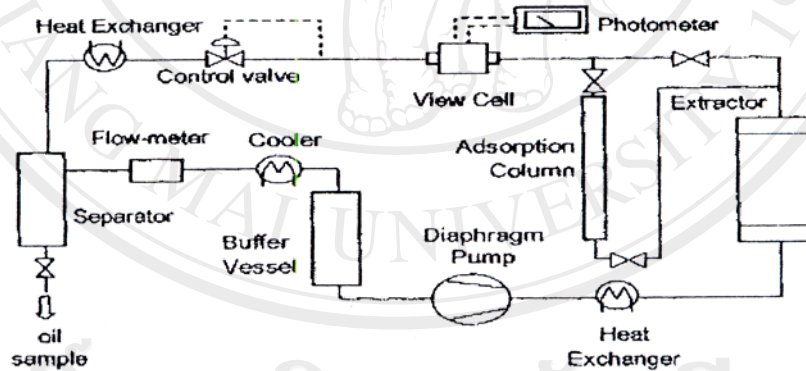
2.8.3 Enzymatic hydrolysis

การสกัดโดยใช้วิธี enzymatic hydrolysis ทำในภาชนะสีชาป้องกันแสงที่ 35°C ซึ่งบรรจุน้ำมันปาล์มดิบ 200 มิลลิกรัม ใช้ไลเปสจาก *Candida rugosa* 20 มิลลิกรัม ใช้โซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH 7, 0.08 M) 35 มิลลิลิตร และ L-ascorbic acid (50 mg/ml) 35 มิลลิลิตร ทำการผสมกันโดยใช้แท่งแก้วคนภายใต้สภาวะ N₂ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นให้เอาของผสมที่ได้มาสกัดด้วยไดเอทิลอีเทอร์/ปิโตรเลียมอีเทอร์ (2:1 v/v) 20 มิลลิลิตร (บรรจุ 0.1%BHT) นำ

สารสกัดในแต่ละครั้งมารวมกันแล้วล้างด้วย NaCl (10%) 50 มิลลิลิตร ทำให้แห้งโดยใช้ anhydrous Na_2SO_4 และระเหยตัวทำละลายออกด้วย Rotary evaporator นำส่วนที่แห้งมาละลายด้วยเฮกเซน 25 มิลลิลิตร แล้วนำมากรองผ่าน 0.45 μm PTFE syringeless filter แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์โดยการหาค่าการดูดกลืนแสง (You and Baharin, 2006)

2.8.4 Supercritical carbon dioxide extraction

การใช้ Supercritical carbon dioxide extraction ในที่นี้ใช้วิธีการสกัดร่วมกับการดูดซับแคโรทีนอยด์ ซึ่งเครื่องมือคือเครื่อง high pressure extraction-adsorption ได้รับการออกแบบและสร้างที่ Technical University Hamburg-Harburg ภาพองค์ประกอบของเครื่อง แสดงดังภาพ 2.8 โดยที่สารตัวอย่างต้องถูกทำให้แห้งก่อนโดยอยู่ภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิ 60°C เพื่อเป็นการป้องกันการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ ส่วนตัวดูดซับใช้ silica gel และ bleaching earth (Ambrogi et al., 2003)



ภาพ 2.8 องค์ประกอบของเครื่อง high pressure extraction-adsorption

ที่มา : Ambrogi et al., 2003

2.8.5 การใช้สารดูดซับ

การใช้สารดูดซับทำโดยการนำส่วนบนของน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการตั้งทิ้งไว้มาผ่านการสะปอนิฟิเคชัน แล้วนำไปแยกสบู่ออก จากนั้นนำส่วนที่ได้ไปแยกแคโรทีนอยด์ออกโดยใช้สาร

ดูดซับต่างกัน 4 ชนิด คือ ซิลิกาเจล diaion-HP20 ถ่านกัมมันต์ และดินสอพอง แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ซึ่งพบว่าการใช้ตัวดูดซับ diaion-HP20 และซิลิกาเจลให้ผลในการแยกแคะโรทีนอยด์ได้ดีที่สุด (รัชฎาพร และ วัชรพร, 2549)

2.9 การลดสารเคมีและของเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตสีผสมอาหารจากแคโรทีนอยด์ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบ

2.9.1 การลดปริมาณสารเคมีในกระบวนการผลิตสีผสมอาหารจากแคโรทีนอยด์ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบ

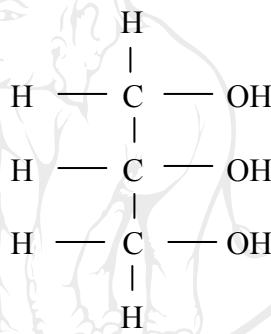
กระบวนการผลิตสี ผสมอาหารจากแคโรทีนอยด์มีการใช้สารเคมีหลัก ได้แก่ เฮกเซน ค่าง และเอทานอล ซึ่งได้มีการออกแบบให้สามารถนำเฮกเซนกลับไปใช้ใหม่ได้ ส่วนค่างที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชัน ยังไม่ได้ทำการศึกษาถึงปริมาณการใช้ที่พอเหมาะ ซึ่งอาจจะสามารถลดปริมาณการใช้ลงได้ สำหรับ เอทานอลก็ยังไม่มีการศึกษาถึงการใช้อื่นทดแทน ทั้งนี้สุปรียา (2549) ได้ศึกษาการลดปริมาณไฮดรอกไซด์ในสบู่ด้วยกรดอินทรีย์ เพื่อให้มีปริมาณค่างตกค้างอยู่ในเนื้อสบู่ที่น้อยที่สุด พบว่าสบู่ที่ทำการศึกษาที่มีปริมาณค่างตกค้างน้อยกว่าสบู่ทั่วไปตามท้องตลาด 0.24-3.51% นอกจากนี้ จรัสวันและคณะ (2549) ได้ใช้นมดิบเสื่อมคุณภาพเป็นตัวทำละลายแทนน้ำในการเตรียมค่าง และทำการวิเคราะห์สบู่ที่เตรียมขึ้น 3 สูตร คือ สบู่ น้ำ-น้ำมันมะพร้าว ซึ่งละลายค่างด้วยน้ำกลั่น สบู่ นม-น้ำมันมะพร้าว ซึ่งทำการละลายค่างในนม และสบู่ นม-น้ำมันมะพร้าว ซึ่งละลายค่างด้วยนมที่อุณหภูมิต่ำ พบว่า สบู่ที่ทำการศึกษาสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อนได้หมด โดยสบู่สูตรที่เหมาะสมคือ น้ำมันมะพร้าว 32% น้ำมันปาล์ม 60% และน้ำมันดอกทานตะวัน 8% และต้องหล่อเย็นนมขณะละลายค่าง

2.9.2 ของเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตสีผสมอาหารจากแคโรทีนอยด์ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบ

กระบวนการผลิตสีผสมอาหารจากแคโรทีนอยด์ที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยการใช้ตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่ำ มีของเหลือทิ้งเกิดขึ้นในขั้นตอนต่างๆ ได้แก่ มีไขมันเหลือทิ้งในขั้นตอนการกรอง มีกลีเซอริน และสบู่ที่เกิดจากปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชัน (พัชรินทร์และคณะ, 2548)

2.9.2.1 กlycerin

กลีเซอริน (glycerine) หมายถึงสารจำพวกโพลีไฮดริค แอลกอฮอล์ (polyhydric alcohol) ที่มีสูตรเคมี $C_3H_5(OH)_3$ มีชื่อทางเคมีว่า 1,2,3-โพรเพนไตรออล (1,2,3-propanetriol) (กิตติยา, 2545) มีสูตรโครงสร้างดังภาพ 2.9 และมีสมบัติทางกายภาพและเคมีของกลีเซอรินดิบ และกลีเซอรินบริสุทธิ์ ดังตาราง 2.7 และ 2.8 กลีเซอริน ถูกค้นพบเมื่อปี ค.ศ. 1779 โดยนักเคมีชาวสวีเดนชื่อ K.W. Scheele ในขณะที่ทำการสกัดน้ำเชื่อมจากน้ำมันมะกอกที่มีสังกะสีผสมอยู่ สารที่ค้นพบนี้มีรสหวาน เลยให้ชื่อว่า glycerol ซึ่งมาจากภาษากรีกว่า glykys มีความหมายว่า หวาน ต่อมามีการค้นพบว่าสารดังกล่าว สามารถสกัดได้จากไขมันและน้ำมัน ในรูปของเอสเทอร์ (ester) ที่เรียกกันทั่วไปว่า กลีเซอไรด์ (David and Henry, 1996)



ภาพ 2.9 สูตรโครงสร้างของกลีเซอริน

ที่มา : Jungermann and Sonntag, 1991

ตาราง 2.7 สมบัติทางกายภาพและเคมีของกลีเซอรินดิบ

ลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด		วิธีทดสอบ
	กลีเซอรินดิบจาก การแยกสลาย ไขมัน	กลีเซอรินดิบจาก อุตสาหกรรมสุญ์	
กลีเซอรอล (%) ไม่น้อยกว่า	88.0	80.0	BS 5711:Part 3
เถ้า (%) ไม่เกิน	1.0	10.0	ISO 2098
น้ำ (%) ไม่เกิน	-	10.0	ISO 2097
สารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรอล (%) ไม่เกิน	1.5	2.5	ISO 2464
สารหนู (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ไม่เกิน	2.0	2.0	มอก.1281
โพรเพน-1,3-ไดออล (%) ไม่เกิน	0.5	0.5	BS 5711:Part 11
น้ำตาล	ต้องไม่พบ	ต้องไม่พบ	BS 5711:Part 18

หมายเหตุ BS = British Standard

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2538

ตาราง 2.8 สมบัติทางกายภาพและเคมีของกลีเซอรินบริสุทธิ์

ลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด				วิธีทดสอบ
	ชั้นคุณภาพเคมี	ชั้นคุณภาพไคนาไมด์	ชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม	ชั้นคุณภาพยา	
ค่าของสี ขนาด 113 มิลลิเมตร ไม่เกิน	-	(5.0Y+1.2R)	(5.0Y+1.2R)	(5.0Y+1.2R)	BS 2621-5
กลิ่น	ต้องไม่มีกลิ่นแปลกปลอม				BS 5711:Part 19
กลีเซอรอล (%โดยน้ำหนัก) ไม่น้อยกว่า	99.0	99.0	99.0	95.0	BS 5711: Part 3 ISO 2099
ความหนาแน่นสัมพัทธ์					
- ที่อุณหภูมิ 20/20 (°C)	1.261-1.264	1.261-1.264	1.261-1.264	-	
- ที่อุณหภูมิ 25/25 (°C)	-	-	-	1.249	
ความเป็นกรด-ด่าง(มล./100กรัม) ไม่เกิน	0.064	0.32	0.32	-	BS 5711:Part 5
เถ้าซัลเฟต (มก./กก.) ไม่เกิน	0.010	0.010	0.010	0.01	ISO 1616
สารหนู (มก./กก.) ไม่เกิน	2.0	-	-	1.5	มอก.1281
ตะกั่ว (มก./กก.) ไม่เกิน	1.0	-	-	-	BS 2621-5
โลหะหนักทั้งหมด (มก./กก.) ไม่เกิน	5.0	-	-	5	BS 5711:Part 15
คลอไรด์ (%โดยน้ำหนัก) ไม่เกิน	-	0.010	0.010	0.001	BS 5711:Part 12
ขีดจำกัดปริมาณคลอไรด์	สล.ที่ได้ต้องไม่ขุ่น	-	-	-	BS 5711:Part 13
ขีดจำกัดปริมาณคลอไรด์อินทรีย์	สล.ที่ได้ต้องไม่ขุ่นกว่าสล.ควบคุม	-	-	-	BS 5711:Part 14

ตาราง 2.8 สมบัติทางกายภาพและเคมีของกลีเซอรินบริสุทธิ์ (ต่อ)

ลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด				วิธีทดสอบ
	ชั้นคุณภาพเคมี	ชั้นคุณภาพไดนาไมต์	ชั้นคุณภาพอุตสาหกรรม	ชั้นคุณภาพยา	
สารประกอบคลอรีน(%)ไม่เกิน	-	-	-	0.003	USP
เหล็ก (มก./กก.) ไม่เกิน	-	-	2.0	-	BS 5711:Part 16
ซัลเฟต (%โดยน้ำหนัก) ไม่เกิน	-	-	-	0.002	USP
น้ำตาล	ต้องไม่พบ	-	-	-	BS 5711:Part 18
ขีดจำกัดปริมาณสารรีดิวัช	สีของสารละลายต้องไม่เข้มกว่าสีของสารละลายมาตรฐาน		-	-	BS 5711:Part 20
สะพอนิฟิเคชัน/100กรัมไม่เกิน	0.64	0.64	-	-	BS 5711:Part 21
กรดไขมันและเอสเทอร์	-	-	-	ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมล/ลบ.คม. ไม่เกิน 1 ลบ.คช.	USP

หมายเหตุ BS = British Standard

ISO = International Organization for Standardization

USP = United States Pharmacopoeia

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2538

กลีเซอรินที่จำหน่ายทางการค้าเป็นผลพลอยได้มาจากกระบวนการผลิตสบู่ และกระบวนการ hydrolysis ของไขมันและน้ำมัน ปัจจุบันมีการสังเคราะห์กลีเซอรินจากสารประเภทไฮโดรคาร์บอนกลุ่มโพรพีน (propylene) ซึ่งกลีเซอรินที่ได้จะมีมากมายหลายเกรด โดยเกรดที่ดีที่สุดจะถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยา ปัจจุบันเมื่อก้าวถึงกลีเซอรอล จะหมายถึงสารเคมีบริสุทธิ์ที่มีปริมาณของกลีเซอรอลมากกว่าหรือเท่ากับ 95% และมีชื่อเรียกทางการค้าว่า “กลีเซอริน” สำหรับสมบัติของกลีเซอรินที่สำคัญมีดังนี้ (วิภา, 2546)

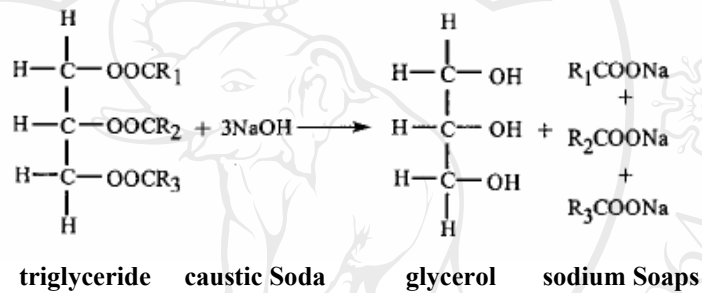
1. กลีเซอรินไม่สามารถถูกออกซิไดส์ (oxidize) จึงมีความคงตัวสูง (high stability)
2. ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีและกลิ่นรส เมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน
3. ละลายได้ดีในน้ำและแอลกอฮอล์ จึงเหมาะสำหรับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท
4. สามารถเกิดสถานะ supercool ได้ และทนต่อสถานะการแช่เยือกแข็งและการละลาย
5. มีความข้นหนืด จึงสามารถนำไปใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด (thickening agent) หรือสารเพิ่มเนื้อสัมผัส (body) สำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวและผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นเจล
6. มีรสชาติหวานเล็กน้อย โดยมีค่าความหวานประมาณ 55-75% ของระดับความหวานน้ำตาลซูโครส (ขึ้นกับระดับความเข้มข้นที่ใช้)
7. ไม่มีกลิ่นรุนแรง จึงสามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมหวานได้ดีโดยไม่มีผลต่อกลิ่นรส
8. กลีเซอรินนอกจากเป็นสารให้ความชื้น (humectant) แล้วยังมีสมบัติเป็นตัว plasticizer จึงช่วยให้ผลิตภัณฑ์คงความนุ่มนวล มีความหยุ่นตัวดี (flexibility) มีลักษณะ creaminess และยังช่วยยืดอายุของผลิตภัณฑ์อีกด้วย
9. มีความดันไอต่ำ และไม่ระเหยที่อุณหภูมิปกติ เป็นสารไม่มีพิษต่อระบบการย่อยอาหาร ผิวหนังและเนื้อเยื่ออ่อนๆ
10. ไม่มีปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม
11. กลีเซอรินได้รับการจัดให้เป็นสาร GRAS (Generally Recognized as safe) จากสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1959 และจัดอยู่ในรายการของสารที่มีสมบัติหลากหลาย (multipurpose)

2.9.2.1.1 วิธีการผลิตกลีเซอริน

การผลิตกลีเซอรินมี 8 วิธี ดังนี้ (Miner and Dalton, 1953)

1. การผลิตกลีเซอรินจากกระบวนการสะaponifiเคชัน

ปฏิกิริยาสะaponifiเคชัน คือการที่ไตรกลีเซอไรด์ทำปฏิกิริยากับด่างแก่ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ได้กลีเซอรินและเกลือของกรดไขมัน ซึ่งเกลือของกรดไขมันที่เกิดขึ้น เรียกว่า สบู่ (Eddy, 2005) ดังภาพ 2.10

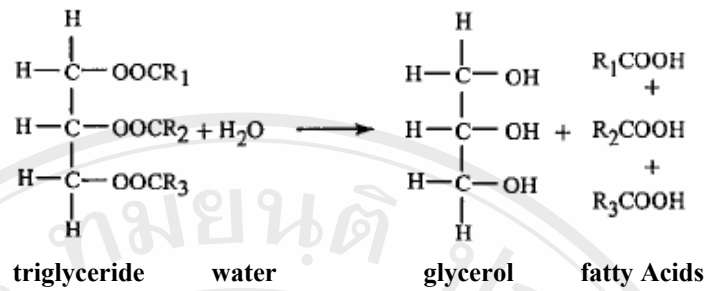


ภาพ 2.10 กระบวนการสะaponifiเคชันในการผลิตสบู่
ที่มา : Godfrey, 1953

2. การผลิตกลีเซอรินจากกระบวนการไฮโดรไลซิส

ถึงแม้ว่าการผลิตกลีเซอรินส่วนใหญ่ ได้มาจากการแยกผลิตภัณฑ์พลอยได้ซึ่งก็คือ กลีเซอรินจากการทำปฏิกิริยาสะaponifiเคชันในการผลิตสบู่ แต่ส่วนสำคัญคือการไฮโดรไลซิส หรือการแตก (splitting) ไขมันให้เป็นกรดไขมันอิสระและกลีเซอริน (Godfrey, 1953)

ดังภาพ 2.11



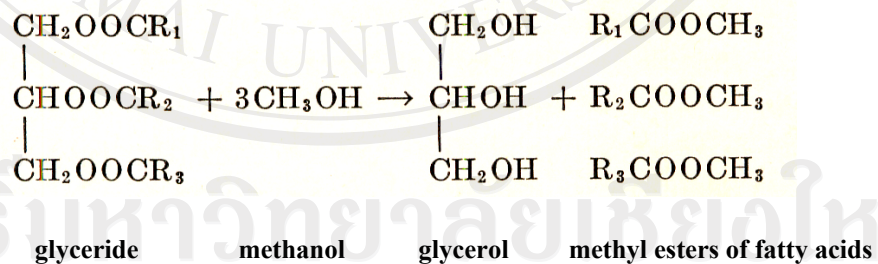
ภาพ 2.11 กระบวนการไฮโดรไลซิสของไขมัน
ที่มา : Godfrey, 1953

3. การผลิตกลีเซอรินจากอุตสาหกรรมผลิตแอลกอฮอล์

กลีเซอรินได้มาจากการแยกโดยวิธีการตกตะกอน (settling) ด้วย fatty alcohol และตัวทำละลาย xylene หลังจากทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

4. การผลิตกลีเซอรินจากกระบวนการอินเทอร์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

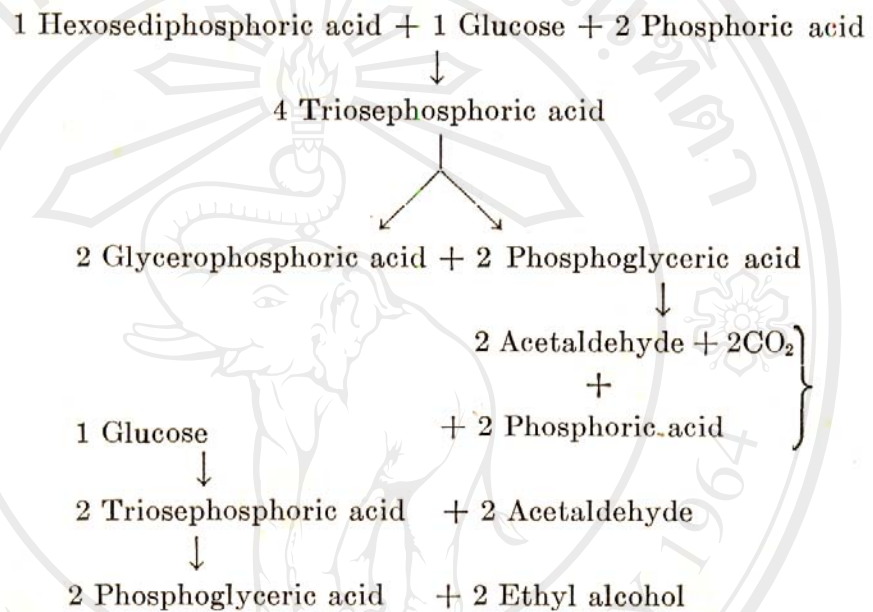
ปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอร์ิฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนกรดไขมันระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับเมทานอล ดังภาพ 2.12



ภาพ 2.12 กระบวนการอินเทอร์เอสเทอร์ิฟิเคชัน
ที่มา : Godfrey, 1953

5. การผลิตกลีเซอรินจากการหมัก

Godfrey (1953) รายงานไว้ว่า Neuberger ได้ทำการศึกษากการหมักน้ำตาลเพื่อผลิตแอลกอฮอล์ ต่อมา Embden และ Meyerhof นำมาศึกษาต่อ โดยมีกระบวนการหมัก ดังภาพ 2.13



ภาพ 2.13 กระบวนการหมักน้ำตาล
ที่มา : Godfrey, 1953

ต่อมา Berovic และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการใช้ heat shock ในการผลิตกลีเซอรินจากการหมักแอลกอฮอล์ โดยศึกษาอิทธิพลของ single และ double heat shock ต่อยีสต์สายพันธุ์ *Saccharomyces cerevisiae* และศึกษาผลกระทบต่อการผลิตกลีเซอรินในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์จากน้ำองุ่น โดยการใช้ single heat shock และ double heat shock ทำให้ผลิตกลีเซอรินได้ 8.2 กรัมต่อลิตร และ 11 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และสามารถผลิตกลีเซอรินได้มากขึ้นจากเดิมถึง 65%

นอกจากนี้ Yongqiang และ Dehua (2003) ยังได้ศึกษาถึงกลไกการผลิตกลีเซอรินจากการหมักโดยใช้ยีสต์สายพันธุ์ *Candida krusei* แบบ repeated batch พบว่าให้กลีเซอริน

มากกว่าเมื่อเทียบกับการหมักแบบเดิม (ordinary batch) เนื่องจากมีความเข้มข้นของ biomass สูง

6. การผลิตกลีเซอรินจากกระบวนการไฮโดรจีโนไลซิส

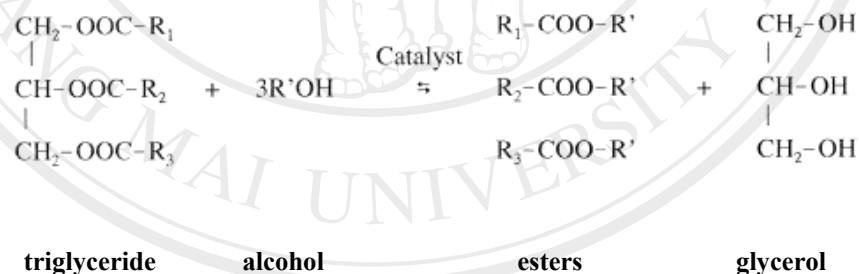
กลีเซอรินสามารถผลิตได้จากปฏิกิริยาไฮโดรจีโนไลซิสของคาร์โบไฮเดรต เช่น น้ำตาล แป้ง หญ้าแห้ง หรือชี้เลี้ยง

7. การผลิตกลีเซอรินจากโพรพิลีน

Godfrey (1953) รายงานไว้ว่า Berthelot และ de Luca ได้ทำการผลิตกลีเซอรินจาก 1,2,3-tribromopropane ในปี 1856

8. การผลิตกลีเซอรินจากกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

กลีเซอรินเป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันของน้ำมันพืชด้วยเมทานอล ดังภาพ 2.14



ภาพ 2.14 กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

ที่มา : Ma and Hanna, 1999

Jab และ Frantisek (1996) ได้ทำการผลิตเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องบินที่ใช้น้ำมันดีเซลจากน้ำมัน rapeseed โดยได้กลีเซอรินเป็นผลพลอยได้ เรียกว่า กลีเซอรินดิบ ซึ่งพบว่ากลีเซอรินดิบที่ได้นั้นประกอบไปด้วยปริมาณกลีเซอริน 78-82% เกลือ 6-8% เมทานอล 1-2% น้ำ 10-12% สารประกอบอินทรีย์ 1-2% ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเมทิลเอสเทอร์และกรดไขมันอิสระ

นอกจากนี้ Yong และคณะ (2001) ทำการ recovery กลีเซอรินดิบจากกลีเซอรินเหลือทิ้งในกระบวนการผลิต methyl ester จากน้ำมันเมล็ดในของผลปาล์ม พบว่า ส่วนที่ recovery ได้นั้น ประกอบไปด้วย กลีเซอรินดิบ 33.9% กรดไขมันดิบ 10.5% และเกลือ 65.2% ซึ่งในกลีเซอรินดิบที่ได้นั้นมีปริมาณกลีเซอรอล 51.4% เถ้า 13.8% น้ำ 8.9% และสารอินทรีย์ที่ไม่ใช่กลีเซอรอล 25.9%

2.9.2.1.2 การใช้กลีเซอรินในอุตสาหกรรม

กลีเซอรินได้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ (วิภา, 2546 และ Segur, 1953) ดังนี้

1. ผลิตภัณฑ์ดูแลรักษาช่องปาก

กลีเซอรินถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ยาสีฟันและในน้ำยาบ้วนปาก เพราะมีสมบัติในการเก็บรักษาความชื้นได้ดี มีการระเหยต่ำ ทำให้ยาสีฟันไม่แข็งตัวเมื่อบรรจุอยู่ในหลอด นอกจากนี้ยังให้รสหวาน ให้ความรู้สึกที่สะอาดของช่องปาก และเป็นตัวกลางสำหรับส่วนผสมชนิดอื่นๆ ที่เติมลงในผลิตภัณฑ์

2. ผลิตภัณฑ์อาหาร

มีการนำกลีเซอรินมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหลายประเภท ในรูปของวัตถุเจือปนในอาหาร (food additives) ทั้งในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม โดยมีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันไป เช่น

- ผลิตภัณฑ์เค้ก จะใช้กลีเซอรินเป็นตัวทำละลายและตัวดูดความชื้น การเติมกลีเซอรินจะช่วยให้เค้กคงความชุ่มชื้น และยังช่วยลดปัญหาการเกิดรา
- ผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้งและลูกอม กลีเซอรินจะทำหน้าที่ควบคุมการระเหยและการตกผลึกเป็นเกล็ด ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสนุ่ม
- การผลิตไส้คุกกี้ เจลลี่ ไอซิ่งเค้ก จะเติมกลีเซอรินในสูตรของส่วนผสม เพื่อช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้น
- ผลิตภัณฑ์มะพร้าวคั่วแห้ง นิยมเติมกลีเซอริน เพื่อให้ชั้นมะพร้าวคงความชื้นไว้ได้ แม้ว่าจะเก็บเป็นเวลานาน
- ผลิตภัณฑ์อาหารหวานชนิดต่างๆ มีการใช้กลีเซอรินเป็นตัวทำละลายส่วนผสมอาหารและเป็น carrier ของสารให้กลิ่นรส

- ผลิตภัณฑ์ก๊วยเตี๋ยวพร้อมบริโภค ที่สามารถเก็บได้ 2-3 เดือน มีการใช้กลีเซอรินผสมในสารละลายแช่เส้นก๊วยเตี๋ยว ในขั้นตอนการเตรียมเส้นก่อนการบรรจุเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์
- ผลิตภัณฑ์เนยถั่ว จะมีกลีเซอรินเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย โดยทำหน้าที่ป้องกันการแยกชั้นของไขมัน
- ผลิตภัณฑ์ไข่แช่เยือกแข็ง พบว่า การเติมกลีเซอริน 5% จะช่วยให้ไข่แช่เยือกแข็งมีสมบัติดีขึ้น
- ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันต่ำหรือปราศจากไขมัน กลีเซอรินที่เติมลงไปจะมีอิทธิพลค่อนข้างสูงต่อลักษณะเนื้อสัมผัสและยังช่วยลดค่าวอเตอร์แอกติวิตี (water activity, a_w) ของผลิตภัณฑ์ด้วย

สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากกลีเซอริน เช่น โมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride) และไดกลีเซอไรด์ (diglyceride) นิยมนำไปใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ และสารให้ความคงตัว (stabilizer) ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เช่น มาการีน น้ำสลัด อาหารหวานแช่เยือกแข็ง ซอสปรุงแต่งกลิ่นรส และลูกอม ซึ่งอิมัลซิไฟเออร์นี้ จะช่วยให้การกระจายตัวของน้ำมันในผลิตภัณฑ์ดีขึ้น อีกทั้งยังลดการตกผลึก จึงช่วยปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัส ลดการเหนียวติดอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตและการแปรรูป ส่วนกลีเซอรอลเอสเตอร์ (glycerol ester) นั้น นิยมนำมาเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร ชนิดที่ต้องการให้มีปริมาณไขมันต่ำ เช่น ในคุกกี้ไขมันต่ำ เป็นต้น

3. ผลิตภัณฑ์ยาสูบ

กลีเซอรินถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตยาสูบหลากหลายชนิด โดยการฟ้นลงบนใบยาสูบ เพื่อทำหน้าที่เป็นสารเก็บรักษาความชื้นและยังช่วยให้ใบยาสูบมีความนุ่มและดูใหม่ นอกจากนี้ สารที่เป็นอนุพันธ์ของกลีเซอริน ยังถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของก้นกรองยาสูบด้วย และมีศักยภาพในการนำไปทำผลิตภัณฑ์ชนิด smokeless tobacco

4. ผลิตภัณฑ์น้ำยาทาพื้น สีทาพื้น กาว และสารหล่อลื่น

ผลิตภัณฑ์ยูริเทน โฟม ที่มีส่วนผสมของกลีเซอริน จะมีความหยุ่นตัว (flexible) และยังเก็บรักษาได้แม้ในสภาวะที่มีความชื้นสูง การเติมกลีเซอรินในส่วนผสมของกาวจะช่วยให้

กาวไม่แห้งเร็วเกินไป ช่วยให้การทำงานสะดวกขึ้น ในสีทาพื้น กลิเซอรินจะช่วยให้คุณภาพของสารเคลือบผิวที่อยู่ในส่วนผสม ติดกับพื้นผิวที่ต้องการทำได้ดียิ่งขึ้น

5. ผลึกภัณฑ์ยา

กลีเซอรินถูกนำมาใช้ในผลึกภัณฑ์ยาอย่างแพร่หลาย โดยวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มเนื้อสัมผัส รักษาความชื้นทั้งในยาผงและยาที่เป็นน้ำเชื่อม และใช้เป็นตัวทำละลายสารที่เป็นองค์ประกอบต่างๆ สำหรับยาเม็ดประเภทแคปซูล (capsule) กลิเซอรินที่เคลือบบนเม็ดยาจะทำหน้าที่เป็น plasticizer ส่วนยาแก้ไอและยากลิ้วคอ มักจะผสมกลีเซอรินเพื่อเพิ่มความหวานและความเรียบเนียน

6. ผลึกภัณฑ์ประเภทเครื่องสำอาง

มีการนำกลีเซอรินมาใช้เป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอางชนิดต่างๆ เช่น ครีมบำรุงผิว ครีมโกนหนวด ขาระงับกลิ่นกาย เนื่องจากไม่มีพิษและไม่ทำให้เกิดอาการแพ้ นอกจากนี้ยังช่วยรักษาความชุ่มชื้น และยังลดการเจริญและการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในผลึกภัณฑ์อีกด้วย ส่วนกลีเซอรอลเอสเทอร์นิยมนำมาเป็นอิมัลซิไฟเออร์ เช่น ในครีมและใช้ทดแทนแวกซ์ในผลึกภัณฑ์ลิปสติก

7. บรรจุภัณฑ์

กลีเซอรินสามารถใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตบรรจุภัณฑ์ของอาหาร เช่น เซลโลเฟน (cellophane) และกล่องสำหรับบรรจุอาหาร เพื่อช่วยให้การยึดหยุ่นของบรรจุภัณฑ์ดีขึ้น

8. ผลึกภัณฑ์เรซิน

มีการนำกลีเซอรินมาใช้ในการผลิตเอสเทอร์กัม (ester gums) หรือ กลิเซอรินเอสเทอร์ของโรซีน (rosin) ผลิตจากการ esterifying กลิเซอรินที่มีโรซีนเป็นส่วนประกอบอยู่ถึง 8.5-10.5 ส่วนของทั้งหมด ที่อุณหภูมิระหว่าง 230-290°C และนำกลีเซอรินมาใช้ในการผลิตยางสน (alkyd resins) เพื่อใช้เคลือบผิว เพราะช่วยทำให้พื้นผิวมันวาว และสามารถใช้งานได้นาน

9. แผ่นกันความชื้นและกระดาษ

มีการนำกลีเซอรินมาใช้เป็น plasticizer สำหรับ cellophane ซึ่งส่วนประกอบใน cellophane จะมีกลีเซอรินอยู่ประมาณ 10-20% เพราะมีความสำคัญสำหรับผลิตภัณฑ์สุดท้าย และยังช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่หดมากจนเกินไป สำหรับในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษนั้น จะใช้กลีเซอรินเป็น plasticizer เพื่อช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นและเป็นสารหล่อลื่นสำหรับเส้นใย นอกจากนี้ยังช่วยไม่ให้กระดาษหดตัวอีกด้วย

10. วัตถุระเบิด

ตัวกลีเซอรินเองไม่ได้เป็นวัตถุระเบิด แต่ถ้าผสมกับเกลือของกรดดินประสิวจะทำให้เป็นวัตถุระเบิดได้ เรียกว่า glycerol trinitrate หรือที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่า nitroglycerine

11. ผลิตภัณฑ์สิ่งทอ

มีการใช้กลีเซอรินกับอุตสาหกรรมสิ่งทอมาเป็นเวลาหลายร้อยปีแล้ว ซึ่งมีการนำกลีเซอรินมาใช้ประโยชน์ในการปั่นและการทอ คือ ใช้เป็นสารหล่อลื่นและ conditioning agent สำหรับ ขนสัตว์ ฝ้าย ไหม ใยสังเคราะห์เรยอง (rayon) และไนลอน เพราะกลีเซอรินสามารถละลายในน้ำและง่ายต่อการกำจัดออกจากเนื้อผ้าโดยไม่ต้องขัดหรือถู

12. ผลิตภัณฑ์ไม้ก๊อก

อุตสาหกรรมการผลิตไม้ก๊อกทำขึ้นจากกลีเซอริน ขุยไม้ก๊อก และกาว โดยกลีเซอรินจะช่วยป้องกันการแห้งและยังช่วยทำให้ไม้ก๊อกอ่อนไม่เสียสภาพและยืดหยุ่นได้ดี

13. การถ่ายรูป

กลีเซอรินใช้เป็น plasticizer สำหรับฟิล์มและภาพ ช่วยทำให้ฟิล์มและภาพไม่เปราะ
ลอน

14. สารป้องกันการแข็งตัว

มีการนำกลีเซอรินมาใช้เป็นสารป้องกันการแข็งตัวสำหรับรถยนต์ เพื่อป้องกันไม่ให้กร่อน ของเหลวป้องกันการแข็งตัวของชนิดอื่น ๆ ก็ใช้กลีเซอรินเป็นส่วนผสม เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องฉีดพ่นน้ำอัดโน้มติ

15. อุตสาหกรรมยาง

มีการใช้กลีเซอรินเป็น vulcanizing medium ใช้เป็นสารเคลือบยาง ใช้เป็น softener ใน compound ของ rubber latex ใช้เป็นสารหล่อลื่นในการผลิตแบบพิมพ์และผิวหน้าของยางชนิดอื่นได้อีกด้วย

16. อุตสาหกรรมวัสดุที่ใช้ติดและสารยึดติด

ในอุตสาหกรรมการผลิต adhesives ที่ยืดหยุ่นได้ จะใช้กลีเซอรินเป็น plasticizer เช่น กาวสำหรับใช้เข้าเล่มหนังสือ กาวสำหรับเข็มขัดหนัง กาวเคลือบและ cellophane adhesives

17. การเกษตรกรรม

มีการใช้กลีเซอรินเป็นสารเพิ่มความชุ่มชื้นรอบๆรากของต้นอ่อนมะเขือเทศในการขนส่ง กลีเซอรินจะช่วยไม่ให้รากแห้งและสามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น

18. อุตสาหกรรมการผลิตแก้ว

พบว่ามีการใช้กลีเซอรินในอุตสาหกรรมการผลิตกระจกนิรภัย ใช้เป็นส่วนผสมของยางสนที่ใช้เป็น bounding agents และใช้เป็นส่วนผสมในแผ่นเคลือบ (lamine)

ยังมีการใช้ประโยชน์กลีเซอรินในด้านอื่น ๆ อีก เช่น การใช้กลีเซอรินในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ หมึกพิมพ์ อุตสาหกรรมสิ่งทอ และใช้เป็นส่วนผสมในสารทำความสะอาด กลีเซอรินยังสามารถใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องดื่มสำหรับนักกีฬาได้อีกด้วย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยลดการสูญเสียของร่างกายและช่วยให้สามารถออกกำลังกายได้นานขึ้นประมาณ 20% แต่อย่างไรก็ตาม กลีเซอรินยังมีข้อจำกัดสำหรับผู้ที่เป็นโรคเบาหวาน สตรีมีครรภ์ รวมทั้ง

ผู้ที่มีปัญหาเกี่ยวกับไต หัวใจและความดันโลหิต และยังพบว่ามีการใช้กลีเซอรินกับอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า โลหะ และอุตสาหกรรม miscellaneous และยังมีการค้นคว้าวิจัยในการนำกลีเซอรินไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆอีก ดังนี้

Villegas และคณะ (2007) ศึกษาการหมักกลีเซอรอลให้เป็น 1,3-propanediol โดยแบคทีเรีย *Klebsiella oxytoca* ซึ่งสาร 1,3-propanediol สามารถใช้ไปเป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องสำอาง อาหาร สารหล่อลื่นและยาได้ โดยจะทำการศึกษารายละเอียดการเจริญของแบคทีเรีย *Klebsiella oxytoca* โดยใช้ 1,3-propanediol และใช้กลีเซอรอลเป็นแหล่งคาร์บอน

Rymowicz และคณะ (2007) ทำการสังเคราะห์กรดซिटริกจากกลีเซอรินดิบโดยใช้ยีสต์สายพันธุ์ *Yarrowia lipolytica* เป็นตัวเปลี่ยนแปลงกลีเซอรินดิบให้เป็นกรดซिटริก โดยจะศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตกรดซिटริกจากยีสต์สายพันธุ์ *Yarrowia lipolytica* จากน้ำมันปาล์มดิบ เพื่อเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิต

Dasaria และคณะ (2005) ศึกษาการเปลี่ยนกลีเซอรอลให้เป็น propylene glycol เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับกลีเซอรินที่ได้จากการผลิตไบโอดีเซล โดยใช้กระบวนการ low-pressure hydrogynolysis

2.9.2.2 สบู่

สบู่คือเกลือของกรดไขมัน ที่มีไอออนบวกอยู่ด้วย ส่วนใหญ่เป็น Na^+ หรือ K^+ (Scharf และ Malerich, 2006) ในกรณีของสบู่ที่ใช้ชำระล้าง จะมีสูตรเป็น RCOOM โดยที่ $\text{M}=\text{Na}$ มีลักษณะเป็นสบู่แข็งหรือสบู่ก้อน กรณี $\text{M}=\text{K}$ จะเป็นสบู่อ่อนหรือสบู่เหลว สบู่ที่ประกอบด้วยโลหะที่ไม่ใช่โซเดียมหรือโพแทสเซียม จะไม่ละลายน้ำและไม่มีความเป็นตัวกระจายพื้นผิวที่ดี (ด้วง, 2534) มีการกำหนดมาตรฐานด้านคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของสบู่ซักล้างและสบู่ถูตัวไว้ ดังตาราง 2.9 และ 2.10

ตาราง 2.9 ลักษณะของสบู่ซักล้าง

ลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	
	สบู่ซักล้าง ธรรมดา	สบู่ซักล้าง ผสม
ไขมันทั้งหมด (%โดยน้ำหนัก) ไม่น้อยกว่า	62.0	45.0
กรดโรซิน (%โดยน้ำหนัก) ของไขมันทั้งหมด ไม่เกิน	15.0	15.0
ไขมันที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับด่าง (%โดยน้ำหนัก) ไม่เกิน	0.5	1.0
ไฮดรอกซีแซตอิสรระ (%โดยน้ำหนัก) ไม่เกิน	0.1	0.2
สารที่ไม่ละลายในเอทานอล (%โดยน้ำหนัก) ไม่เกิน	2.5	20.0
ไทเทออร์ของกรดไขมันทั้งหมด (องศาเซตเซียส) ไม่น้อยกว่า	33.0	-

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2531

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 2.10 ลักษณะของสบู่ตัว

ลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด					วิธีทดสอบ
	สบู่ตัวทั่วไป	สบู่ที่เติมสาร ระงับเชื้อ	สบู่ประเทืองผิว	สบู่เด็ก	สบู่สังเคราะห์	
ไขมันทั้งหมด (%) ไม่น้อยกว่า	76.5	76.5	79.0	76.5	-	ISO 685
สารที่ไม่ละลายในเอทานอล (%) ไม่เกิน	2.5	2.5	2.0	2.5	2.5	ISO 673
ไฮดรอกไซด์อิสระ (%) ไม่เกิน	0.05	0.05	-	0.01	0.01	ISO 465
คลอไรด์ (%) ไม่เกิน	0.8	0.8	1.2	0.8	0.8	ISO 4323
สารระงับเชื้อ	-	มี	-	-	-	
สารประเทืองผิว						
- กรดไขมันอิสระ (%) โมเลกุลสัมพัทธ์เฉลี่ย 248	-	-	2.0-10.0			
- สารให้ความชุ่มชื้น	-	-	มี			BS 1715: Section 2.4
- สารสกัดจากพืช	-	-	มี			
สารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์	-	-	-	-	มี	BS 1715: Part 1

หมายเหตุ

BS = British Standard

ISO = International Organization for Standardization

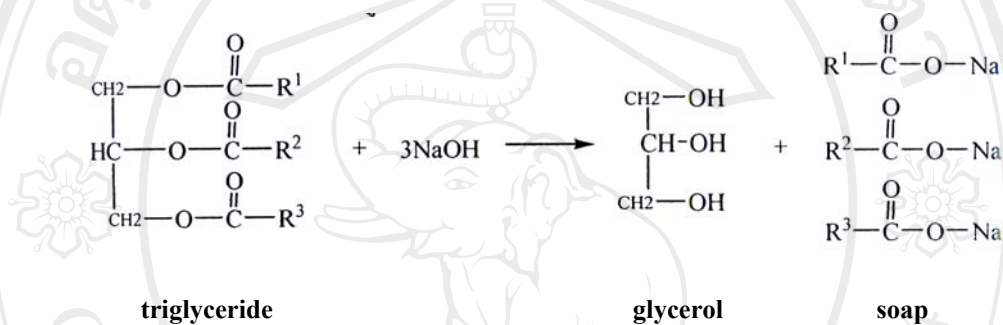
ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2545

2.9.2.2.1 ปฏิกริยาการเกิดสบู่

กระบวนการโดยทั่วไปที่ใช้ผลิตสบู่ มี 3 วิธี (Falbe, 1987) คือ

1. ปฏิกริยาสะปอนิฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์

เป็นปฏิกริยาระหว่างน้ำมันหรือไขมันไตรกลีเซอไรด์กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เกิดเป็นเกลือของกรดไขมันหรือสบู่ กับกลีเซอรอล ดังภาพ 2.15



ภาพ 2.15 ปฏิกริยาสะปอนิฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์
ที่มา : Falbe, 1987

2. ปฏิกริยาสะปอนิฟิเคชันของกรดไขมัน

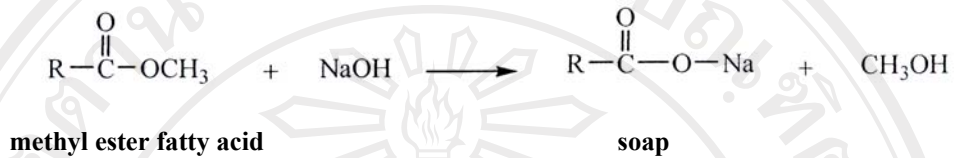
เป็นปฏิกริยาระหว่างกรดไขมันกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เกิดเป็นเกลือของกรดไขมันหรือสบู่ ดังภาพ 2.16



ภาพ 2.16 ปฏิกริยาสะปอนิฟิเคชันของกรดไขมัน
ที่มา : Falbe, 1987

3. ปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชันของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์

เป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เกิดเป็นเกลือของกรดไขมันหรือสบู่ กับเมทานอล ดังภาพ 2.17



ภาพ 2.17 ปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชันของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์

ที่มา : Falbe, 1987

2.9.2.2 ประเภทของสบู่

สบู่สามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2542) ดังนี้

1. สบู่ก้อน (bar soaps) เกิดจากการทำปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชัน ระหว่างด่างกับไขมัน
2. สบู่เหลว (liquid soaps) เป็นการให้ความร้อนกับน้ำแล้วเติมสารต่างๆลงไป
3. สบู่ผง (powder soaps) หรืออาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า สบู่แห้ง มีส่วนผสมของโซเดียมคาร์บอเนต (Woollatt, 1985)

2.9.2.2.3 ชนิดของสบู่

สบู่มีหลายชนิด ซึ่งมีส่วนประกอบแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์ของการใช้ (ฟูกลิน, 2008) ดังนี้

1. สบู่ก้อน (hard soap) ลักษณะเป็นก้อนสีขาวหรือเทาขาวเมื่อเวลาแห้งและเย็น มีโซดาเป็นส่วนประกอบหลัก และมีเกลือโปแตสเซียมของกรดไขมัน ใช้สำหรับภายนอกเท่านั้น
2. สบู่ชนิดอ่อน (soft soap) ลักษณะคล้ายน้ำผึ้งหรือเยลลี่ (jelly) สีเหลืองใสทำด้วยน้ำมันมะกอกและโซดา

3. **สบู่เหลว (liquid soap)** มีส่วนผสมของเกลือโปแตสเซียมของกรดไขมัน และอาจมีส่วนผสมของน้ำมันมะกอก น้ำมันเมล็ดถั่ว น้ำมันเมล็ดฝ้าย
4. **ซินเดต (syndet)** เป็นสบู่ที่มีส่วนผสมของสารที่ให้ความชุ่มชื้นกับผิวหนัง นอกจากนี้ Scharf และ Malerich (2006) ยังได้รายงานถึงสบู่ชนิดอื่นๆ ไว้ด้วย ดังนี้
5. **สบู่แคสไทล์ (castile soap)** เป็นสบู่ที่อ่อนที่ทำจากน้ำมันมะกอกเพียงอย่างเดียว มีที่มาจากสเปน ปัจจุบันทำขึ้นจากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ทำความสะอาดได้ดี ให้ฟองมาก
6. **สบู่ครีม (cream soaps)** เป็นสบู่ที่มีส่วนผสมของครีม มอยส์เจอร์ไรเซอร์และครีมบำรุงผิวอยู่ด้วย เหมาะสำหรับคนผิวแห้งและผิวบอบบาง
7. **สบู่ดับกลิ่น (deodorant soaps)** มีการเติมสารที่ช่วยต้านแบคทีเรียเพื่อลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ที่เกิดจากแบคทีเรีย
8. **สบู่ฟอง (floating soaps)** มีฟองผสมอยู่ในเนื้อสบู่ เพื่อช่วยลดความหนาแน่น
9. **สบู่ที่ไม่ทำให้แพ้ (hypo-allergenic soaps)** เป็นสบู่ที่อ่อน มีความระคายเคืองต่ำ มักทำให้มีฟองน้อย
10. **สบู่ยา (medicated soaps)** มีส่วนผสมของยา เช่น ทาร์ ซัลเฟอร์ หรือสารต้านแบคทีเรีย ใช้ในการรักษาผิวหนังหรือโรค สบู่ชนิดนี้ไม่ควรใช้กับผิวที่แพ้ง่าย
11. **สบู่ก้อน (milled soaps)** มีการเติมสี น้ำหอมและเกลือสบู่ลงไปด้วย
12. **สบู่ที่มีส่วนผสมของข้าวโอ๊ต (oatmeal soaps)** มีลักษณะหยาบ มีการเติมข้าวโอ๊ตลงไปเพื่อไม่ให้เกิดการกักร้อนมากและมีฟองที่อ่อนนุ่ม ดีสำหรับทุกสภาพผิว

2.9.2.2.4 วัตถุดิบที่ใช้ผลิตสบู่

วัตถุดิบสำคัญที่ใช้ในการผลิตสบู่ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2542) ประกอบด้วย

1. **ไขมันและน้ำมัน (fats and oils)** ได้จาก
 - น้ำมันพืช เช่น palm oil ซึ่งมีกรดไขมันน้ำหนักรวมสูงและ palm kernel ซึ่งมีกรดไขมันน้ำหนักรวมต่ำ
 - น้ำมันหรือไขมันจากสัตว์
 - กรดไขมัน (fatty acid)
2. **ด่าง (alkali)** เป็นตัวทำปฏิกิริยากับไขมันเกิดเป็นสบู่ ปรับความเป็นกรดของส่วนประกอบอื่นๆ และทำให้สารลดแรงตึงผิวและสารลดความกระด้างของน้ำทำงานได้ดี

ประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ตัวอย่างของด่างที่ใช้ทำสบู่ เช่น sodium hydroxide, potassium hydroxide, ethanolamine, sodium carbonate, sodium silicate

3. สารลดความกระด้างของน้ำ (**builders**) ใช้ลดความกระด้างของน้ำเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำความสะอาด โดยจะจับอนุภาคโลหะหนักและสิ่งสกปรก ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการทำความสะอาดของสารลดแรงตึงผิว นอกจากนี้ยังป้องกันการเสื่อมของผลิตภัณฑ์ เช่น สี กลิ่น และส่วนประกอบเปลี่ยนไปเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีขณะเก็บไว้ ตัวอย่างของสารลดความกระด้างของน้ำที่ใช้ทำสบู่ เช่น EDTA, EHDP, tetrasodiumetidronate, phosphonate

4. สารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ (**synthetic surfactants**) แบ่งออกเป็นหลายกลุ่ม ได้แก่

4.1 สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (**anionic surfactants**) แบ่งเป็นกลุ่มต่างๆ ดังนี้

- Fatty alcohol sulphate เช่น ammonium lauryl sulphate
- Fatty alcohol ether sulphate เช่น sodium lauryl ether sulphate
- Alkylethersulphosuccinate เช่น sodium lauryl ether sulphosuccinate
- Alkylisothionate เช่น sodium lauryl isothionate
- A-Olefinsulphonate (AOS)
- Sulfosuccinatemonoesters เช่น disodiumlauricsulphosuccinate

4.2 สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (**nonionic surfactants**) ตัวอย่างเช่น

- Alkanolamide เช่น lauric acid diethanolamide
- Fatty alcohol ethoxylate
- Alkylpolyglucoside เช่น dodecyl polyglucoside

4.3 สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (**cationic surfactants**) ตัวอย่างเช่น

- Polyquaternium 7, 10, 22
- Hydroxypropyltrimethylammoniumchloride
- Quaternary esters

4.4 สารลดแรงตึงผิวชนิดมีสองประจุ (**amphoteric surfactants**) ตัวอย่างเช่น

- Cocoamphodiacetate
- Cocoamphocarboxylate
- Imidazoline derivatives

- Cocoamidopropylamineoxide
- Cocoamidopropylbetain

5. สารปรับสภาพ (conditioners) เพื่อให้เกิดความชุ่มชื้นแก่ผิว ตัวอย่างเช่น

5.1 ไขมันส่วนเกิน เป็นไขมันที่เติมลงไปขณะเกิดปฏิกิริยาเป็นสบู่ เพื่อให้สบู่ที่มีความระคายเคืองผิวหนังน้อยลง ตัวอย่างเช่น ลาโนลินและโคลด์ครีม

- 5.2 Alkylglucoside เช่น decylglucoside
- 5.3 Fatty acid เช่น lauric acid, stearic acid
- 5.4 Trioesters เช่น glyceryllaurate
- 5.5 Hydrolysed protein เช่น silk protein, wheat protein
- 5.6 Lanolin alcohol
- 5.7 Polyethylene glycols เช่น PEG acetanoate
- 5.8 Polyamines เช่น PEG-15-fatty acid polyamine
- 5.9 Alkyl phenol, ethoxylated เช่น nonoxynol-14
- 5.10 Cationic surfactants

6. สี (colorants) สีผสมสบู่มีหลายชนิด ตัวอย่างเช่น คลอโรฟิลล์ ซินนาบาร์ อัลตรามารีนกรีน และอัลตรามารีนบลู ซึ่งสีที่ใช้จะต้องเป็นสีที่ประกาศให้ใช้ได้ตามพระราชบัญญัติเครื่องสำอาง พ.ศ. 2535

7. สารกันเสีย (preservatives) ทำหน้าที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์คงสภาพ ตัวอย่างเช่น

- 7.1 Hydroxytoluene
- 7.2 Ethylene diamine tetraacetic acid
- 7.3 Salt and esters of p-hydroxybenzoic acid เช่น methylparabene,

propylparabene

- 7.4 Imidazolidinyl urea
- 7.5 2-phenoxyethanol
- 7.6 Isothiazolinones
- 7.7 Formaldehyde
- 7.8 Sodium benzoate

8. สารต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial agents) ทำหน้าที่ฆ่าและยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและกลิ่น ตัวอย่างเช่น pine oil, quaternary ammonium compounds, sodium hypochlorite, triclocarbon, triclosan, phenol, cresol สารพวกนี้

แม้ว่าจะมีผลในการฆ่าเชื้อโรค แต่อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผิวหนัง เช่น ทำให้เป็นโรคแพ้แสงแดด

9. ตัวทำละลาย (solvents) ใช้ในการผลิตสบู่เหลว ใส่ในปริมาณเล็กน้อย เพื่อเพิ่มความสามารถในการละลายของส่วนประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ตัวทำละลายส่วนมากจะเป็นสารจำพวกแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นสูงและยังมีสมบัติเป็นสารกันเสียอีกด้วย ตัวอย่างเช่น

9.1 Glycerine

9.2 Propylene glycol

9.3 Polyethylene glycols

10. สารทำให้ข้น (thickeners) ใช้ในการผลิตสบู่เหลว เพื่อให้มีส่วนผสมข้นขึ้น ตัวอย่างเช่น

10.1 Polyethyleneglycol เช่น PEG-7M, PEG-8, PEG-75

10.2 Glycerol derivatives, esters เช่น PEG-7 glyceryl, PEG-7 glycerylcocoate

10.3 Magnesium PEG-3 cocoamide sulphate

10.4 PEG-120 methylglycosdioleate

10.5 Sodium chloride

10.6 CMC and other cellulose derivatives

11. สารทำให้ทึบแสง (opacifiers) ทำหน้าที่ลดความโปร่งใส หรือทำให้ผลิตภัณฑ์ทึบแสง ตัวอย่างเช่น polymers, titanium dioxide

12. สารทำอิมัลชัน (emulsifiers) ใส่เพื่อทำให้ส่วนผสมอื่นๆที่ไม่ละลายน้ำสามารถเข้ากันได้ดี

13. น้ำหอม (fragrances) ทำหน้าที่ปกปิดกลิ่นของส่วนประกอบต่างๆของสบู่และให้กลิ่นหอม

2.9.2.2.5 ลักษณะทางกายภาพของสบู่

สบู่โซเดียมและสบู่โปแตสเซียมของกรดไขมัน เป็นสารที่มีรูปลักษณะหลายแบบ สบู่ที่มีน้ำปนอยู่ด้วย เมื่อตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยใช้แสงโพลาไรซ์ (polarized light) จะสามารถจำแนกรูปลักษณะ (phase) ของสบู่ (ตัวง, 2534) ออกได้เป็น

1. **Neat soap** มีลักษณะเป็นผลึกเหลว (crystalline liquid) ที่มีสมบัติไม่เหมือนกันทุกทิศทาง (anisotropic)

2. **Niger หรือ isotropic soap solution** มีลักษณะเหมือนสารละลายธรรมดาที่มีสมบัติเหมือนกันทุกทิศทาง (isotropic) ไม่มีลักษณะเป็นผลึก

3. **Soap curd หรือ curd fibers** มีลักษณะเป็นก้อนที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็นของแข็งที่มีลักษณะเป็นผลึกเส้นๆ (fibrous crystals) คลุกเคล้าอยู่กับส่วนที่เป็นของเหลว แต่ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน สบู่ที่ผลิตเป็นก้อนสำเร็จแล้วก็จะมีลักษณะแบบนี้

4. **Middle soap** มีลักษณะขุ่นหนืด ประกอบด้วยไมเซลล์ (micelles) ของสบู่อยู่ในน้ำ ไม่มีลักษณะเป็นผลึกเหลว

5. **Supernat soap** เป็นอีกรูปหนึ่งที่มีลักษณะเป็นผลึกเหลว

6. **Kettle wax** เป็นรูปที่มีลักษณะคล้ายไขหรือขี้ผึ้ง

Awang และคณะ (2001) ทำการวิเคราะห์สมบัติต่างๆของ sodium soap of dihydroxystearic acid (DHSA) ที่เตรียมขึ้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง DHSA และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยสมบัติที่ทำการวิเคราะห์ เช่น การเกิดฟอง (foamability) การเป็นสารชะล้าง (detergency) การสลายตัว (biodegradability) และความสามารถในการเปียก (wetting power) โดยทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับ palm stearin sulphonated methyl ester (SME), stearic acid soap และ 12-hydroxystearic acid soap จากการศึกษาพบว่า สบู่ DHSA มีความสามารถในการเกิดฟองและการเป็นสารชะล้างมากกว่า stearic acid soap และ SME นอกจากนี้ยังมีการสลายตัวมากกว่า 60% ใน 28 วัน ในขณะที่ stearic acid soap มีการสลายตัวเพียง 30% ส่วนเวลาในการเปียกของ DHSA soap เท่ากับ 2 นาทีซึ่งเร็วกว่า stearic acid soap

กนกพร (2549) ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชัน โดยจะลดปริมาณค่าที่ตกค้างอยู่ในเนื้อสบู่ให้น้อยที่สุดและปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของสบู่ให้น่าใช้ยิ่งขึ้น พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชันคือช่วงอุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำตาลที่ใช้ในการเกิดสบู่ใสคือ 27% w/w และมีปริมาณค่าเหลืออยู่ 0.09-1.43% โดยน้ำหนัก