

## บทที่ 1

### บทนำ

#### บทนำตั้งเรื่อง

ในปัจจุบันมีการใช้เนยโกโก้เทียมซึ่งผลิตได้จากไขมันและน้ำมันพืชแหล่งอื่น ๆ เช่น palm oil kokum butter และ shea butter เป็นต้น ทดแทนเนยโกโก้ที่ผลิตจากเมล็ดโกโก้ซึ่งมีราคาแพงเพื่อลดต้นทุนการผลิต โดยเนยโกโก้เทียมเป็นไขมันที่มีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพใกล้เคียงกับเนยโกโก้ ได้แก่องค์ประกอบของกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์ เป็นต้น ส่งผลให้หลอมเหลวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิร่างกายและมีความคงตัวสูง (สุวรรณมา สุภิมารส, 2543; Lipp and Anklam, 1998; Wainwright, 1996; Gegiou and Staphylakis, 1985) สิ่งที่น่าสนใจคือการนำปาล์มสเตียรินซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการทำน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เพื่อผลิตเป็นน้ำมันสำหรับบริโภค ดังนั้นน่าจะนำปาล์มสเตียรินใช้ให้เกิดประโยชน์หลากหลายมากขึ้น โดยนำมาคัดแปรคุณสมบัติเพื่อผลิตเป็นเนยโกโก้เทียมเพื่อใช้ทดแทนเนยโกโก้ในการผลิตช็อกโกแลต จะอาศัยกรรมวิธีทางเอนไซม์ในการคัดแปรคุณสมบัติให้ใกล้เคียงกับเนยโกโก้ โดยใช้เอนไซม์ไลเปสที่มีความจำเพาะเจาะจงต่อตำแหน่งที่ 1 และ 3 บนไตรกลีเซอไรด์เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชัน การใช้เอนไซม์นี้สามารถควบคุมปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้และสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ให้มีรูปแบบของ ไตรกลีเซอไรด์ใหม่ตามต้องการได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนั้นการผลิตเนยโกโก้เทียมด้วยวิธีนี้จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้สารเคมีเพราะการใช้สารเคมีจำเป็นต้องใช้ร่วมกับอุณหภูมิที่สูงมากจึงส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์เสียไป (Forssell *et al.*, 1992; Macrae, 1983) โดยช็อกโกแลตที่ได้จะมีจุดหลอมเหลวใกล้เคียงกับอุณหภูมิร่างกายทำให้หลอมละลายในปากได้ดี นอกจากนั้นจะให้ลักษณะปรากฏที่ดีคือมีความมันวาว และไม่เกิดรอยฝ้าขาวบนผิวหน้าช็อกโกแลต (fat bloom) ดังนั้นจึงเป็นการดีที่จะนำเนยโกโก้เทียมมาประยุกต์ใช้หรือปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตรวมทั้งผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมขนมหวาน (Confectionery) ให้มากยิ่งขึ้น นอกจากนั้นยังเป็นแนวทางการนำวัตถุดิบที่มีในประเทศมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

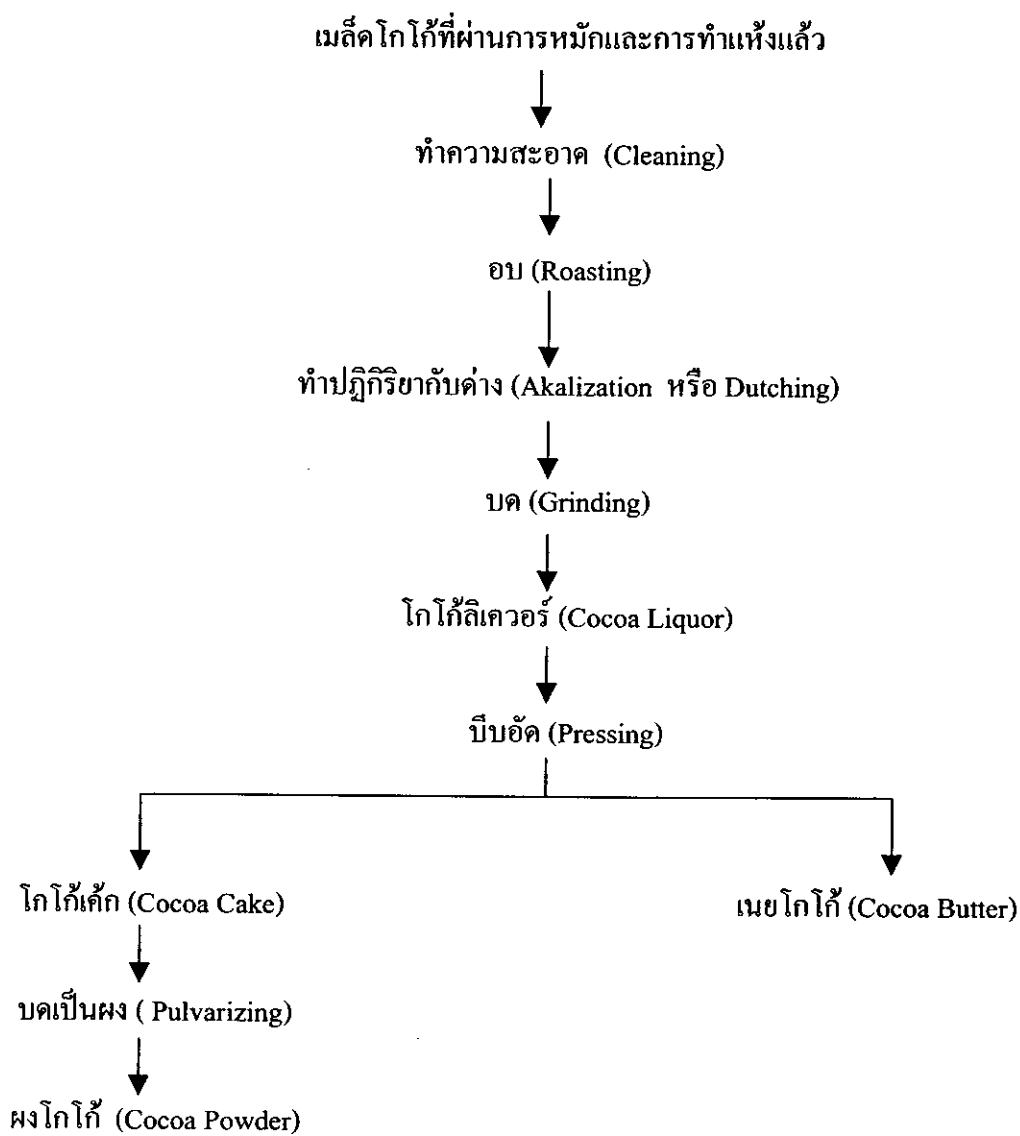
## การตรวจเอกสาร

### 1. เนยโกโก้ (Cocoa Butter)

สำนักงานอาหารและยาของอังกฤษให้คำจำกัดความของเนยโกโก้ว่า “เนยโกโก้เป็นไขมันที่สามารถรับประทานได้ ได้มาจากเมล็ดโกโก้ (*Theobroma cacao*) ที่สมบูรณ์ก่อนหรือหลังการอบแห้ง” (Minifie, 1989) เนยโกโก้เป็นไขมันธรรมชาติที่ได้จากเมล็ดโกโก้ โดยนำเนือโกโก้ (cocoa nib) มาบีบอัดด้วยแรงไฮดรอลิก (hydraulic press) หรือ บีบอัดด้วยเครื่อง expeller press เนยโกโก้จะให้สมบัติทางด้านประสาทสัมผัสแก่ช็อกโกแลตและผลิตภัณฑ์ขนมหวานต่างๆ เนยโกโก้มีปริมาณไตรกลีเซอไรด์พวก Stearic – Oleic – Stearic (SOS) สูงจึงไปเพิ่มความแข็ง ยับยั้งการเกิดฝ้าสีขาวบริเวณผิวหน้าช็อกโกแลต และลดเวลาในการควบคุมผลึก (Tempering) ทำให้ผลึกของเนยโกโก้อยู่ในรูปคงตัว จึงส่งผลให้ไม่เกิดฝ้าสีขาวบนผิวหน้าช็อกโกแลต (Raddy and Phabhakar, 1994)

#### 1.1 การผลิตเนยโกโก้

กระบวนการผลิตเนยโกโก้แสดงดังภาพที่ 1 โดยเริ่มจากการนำเมล็ดโกโก้ที่ผ่านการหมักและการทำแห้งแล้วมาล้างทำความสะอาดทำให้แตกเป็น 2 ซีก ผ่านเข้าเครื่องกำจัดเปลือกหุ้มออกโดยใช้ลมเป่าจะได้ส่วนเนื้อที่เรียกว่า เนือโกโก้ (cocoa nib) แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 100 – 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 – 35 นาที จากนั้นทำปฏิกิริยากับด่างเพื่อปรับปรุงสีและกลิ่นรสของโกโก้ ด่างที่ใช้ได้แก่ โซเดียมคาร์บอเนต โพแทสเซียมคาร์บอเนต ไฮดรอกไซด์ของโซเดียม โพแทสเซียม หรือ แอมโมเนียม แล้วนำเนือโกโก้มาบดเพื่อลดขนาดและทำให้เซลล์ไขมันแตก ไขมันจะออกมานอกเซลล์ซึ่งจะมีลักษณะเป็นของเหลวเรียกว่า โกโก้ลิควอร์ (cocoa liquor) หลังจากนั้นนำไปบีบอัดเพื่อสกัดให้ได้เนยโกโก้ออกมา ซึ่งจะมีวิธีสกัด 3 วิธีได้แก่ วิธีแรกเป็นการนำไปบีบอัดด้วยแรงไฮดรอลิก นำไปกรองก็จะได้นเนยโกโก้ออกมาซึ่งจะเป็นเนยโกโก้ชนิดที่ได้จากการบีบอัด (prime press cocoa butter) มีคุณภาพดีและมีราคาแพงที่สุดในโลกดังนั้นจึงเป็นวิธีที่ยอมรับมากที่สุด โดยเนยโกโก้ที่ได้มีลักษณะสีเหลืองอ่อนมีกลิ่นหอมของโกโก้ วิธีที่สกัดแบบที่สองคือนำเมล็ดโกโก้ไปให้ความร้อนด้วยไอน้ำก่อนแล้วนำมาบีบอัดด้วยเครื่อง expeller press บางครั้งจะใช้เมล็ดโกโก้ที่มีคุณภาพด้อยมาสกัดโดยตรง แต่กลิ่นรสของโกโก้ที่ได้จะเจือจางกว่าน้ำมันที่ได้จากการบีบอัดด้วยแรงไฮดรอลิก และวิธีที่สามเป็นการนำส่วนของกากที่เหลือจากการบีบอัดมาสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction cocoa butter) เพื่อนำส่วนของไขมันที่ติดอยู่มาใช้ เนยโกโก้แบบนี้จะไม่มีกลิ่นโกโก้และไม่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร (สุวรรณา สุภิมารส. 2543; สายสนม ประดิษฐ์ดวง และ สิริ ชัยเสรี, 2535; Wainwright, 1996)



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตเนยโกโก้

Figure 1 Production of cocoa butter

ที่มา : ดัดแปลงจาก Wainwright (1996)

Source: Adapted from Wainwright (1996)

## 1.2 สมบัติทางกายภาพและเคมีของเนยโกโก้

เนยโกโก้ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ร้อยละ 98 ไตรกลีเซอไรด์ร้อยละ 0.3 – 0.5 โมโนกลีเซอไรด์ร้อยละ 0.1 กรดไขมันอิสระร้อยละ 1 สเตอรอลร้อยละ 0.2 โทโคฟีรอล 150 ถึง 200 ส่วนในล้านส่วน ฟอสฟอลิปีดร้อยละ 0.05 – 0.13 และไกลโคลิปีดร้อยละ 11.1 (สายสนม ประดิษฐ์ดวง และ สิริ ชัยเสรี, 2535; Minifie, 1989) เนยโกโก้มีสมบัติแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง Davis และ Dimick (1989) กล่าวว่าเนยโกโก้จะแข็งตัวที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เริ่มหลอมที่อุณหภูมิ 30 – 32 องศาเซลเซียส และมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีสีเหลืองอ่อน และหลอมละลายอย่างรวดเร็วในปาก เนยโกโก้จะช่วยปรับปรุงสมบัติทางเคมีและกายภาพของช็อกโกแลตหรือผลิตภัณฑ์ขนมหวานซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัวได้แก่ ความมันวาว และสมบัติการหลอมเหลว เป็นต้น เนื่องจากเนยโกโก้เป็นไขมันพืชที่มีองค์ประกอบของ monounsaturated triglyceride มากกว่าร้อยละ 80 ของไตรกลีเซอไรด์ทั้งหมด โดยไตรกลีเซอไรด์ที่สำคัญและมีปริมาณมากที่สุด ได้แก่ 1,3 - palmitoyl - 2 - oleoylglycerol (POP) 1 - palmitoyl - 2 - oleoyl - stearoylglycerol (POSt) และ 1,3 - stearoyl - 2 - oleoylglycerol (StOSt) ซึ่งมีมากกว่าร้อยละ 95 ของ monounsaturated ทั้งหมด ส่วน polyunsaturated และ triunsaturated triglyceride จะมีปริมาณร้อยละ 13 และ 3 ตามลำดับ (สายสนม ประดิษฐ์ดวง และ สิริ ชัยเสรี, 2535.; Loisel *et al.*, 1998; Wainwright, 1996) โดยไตรกลีเซอไรด์ทั้ง 3 ชนิดนี้จะเป็น 2 - oleodisaturated ทำให้สามารถตกผลึกรวมและซ้อนกันได้ดี ส่งผลให้เนยโกโก้มีรูปผลึกที่คงตัวจึงสามารถหลอมเหลวได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิร่างกาย เนื่องจากรูปผลึกที่คงตัวจะมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 33-37 องศาเซลเซียส ดังนั้นช็อกโกแลตที่ผลิตสามารถหลอมเหลวได้ดีในปาก ส่งผลให้ความรู้สึกในปาก (mouth feel) ที่ดี (Loisel *et al.*, 1998; Lipp and Anklam; 1998; Wainwright, 1996; Lutton, 1972 ) เนยโกโก้ประกอบด้วยกรดไขมันที่สำคัญ 3 ชนิดคือ กรดปาล์มิติกร้อยละ 24.4 กรดสเตียริกร้อยละ 35.4 และกรดโอเลอิกร้อยละ 38.1 และไตรกลีเซอไรด์ 3 ชนิดคือ Palmitic - Oleic - Stearic (POSt) ร้อยละ 36 - 48 Stearic - Oleic - Stearic (StOSt) ร้อยละ 23 - 29 และ Palmitic - Oleic - Palmitic (POP) ร้อยละ 13 - 19 (Xu, 2000; Lawler and Dimick, 1998; Wainwright, 1996) ซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกับเนยโกโก้จากรายงานของ Wainwright (1996) กล่าวคือ ประกอบด้วย กรดปาล์มิติก (C16:0) ร้อยละ 25 กรดสเตียริก (C18:0) ร้อยละ 36 และกรดโอเลอิก (C18:1) ร้อยละ 34 และ Lipp และคณะ (2001) รายงานว่าเนยโกโก้มี (C16:0) (C18:0) และ (C18:1) เป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 26.23 35.76 และ 33.60 ตามลำดับ แสดงดัง ตารางที่ 1 ส่วนไตรกลีเซอไรด์ POSt ร้อยละ 36.3 - 41.2 StOSt ร้อยละ 23.7 - 28.8 และ POP ร้อยละ 13.8 - 18.4 ซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกับรายงานของ Lipp และคณะ (2001) Undurraga และคณะ (2001) และ Ali และคณะ (2001) แสดงดังตารางที่ 1 นอกจากนั้นยังมีสมบัติ

ทางกายภาพและเคมีอื่นๆ เช่น ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าไอโอดีน ค่าสปอนนิฟิเคชัน ค่ากรดไขมันอิสระ และค่าไอโอดีน เป็นต้น ใกล้เคียงกันจากรายงานของ Minifie (1989) ซึ่งแสดงให้เห็นดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของกรดไขมัน และ ไตรกลีเซอไรด์ ของเนยโกโก้

Table 1 Fatty acid and triglyceride composition of cocoa butter

	Wainwright (1996)	Lipp <i>et al.</i> (2001)	Undurraga <i>et al.</i> (2001)	Ali <i>et al.</i> (2001)
Fatty acid (%)				
C 16 : 0 (P)*	25	26.23	-	-
C 18 : 0 (St)*	36	35.76	-	-
C 18 : 1 (O)*	34	33.60	-	-
Triglyceride (%)				
POSt**	13.8 - 14.4	18.27	23.4	19.7
StOSt**	36.3 - 41.21	42.08	42.8	45.7
POP**	23.7 - 28.8	26.39	27.5	33.2

ที่มา : ดัดแปลงจาก Wainwright (1996); Lip และคณะ (2001); Undurraga และคณะ (2001) และ Ali และคณะ (2001)

Source: Adapted from Wainwright (1996); Lip *et al.* (2001); Undurraga *et al.* (2001) and Ali *et al.* (2001)

\* P = Palmitic acid ; St = Stearic acid ; O = Oleic acid

\*\* POSt = 1 - palmitoyl - 2 - oleoyl - stearoylglycerol ; StOSt = 1,3 - stearoyl - 2 - oleoylglycerol และ POP = 1,3 - palmitoyl - 2 - oleoylglycerol

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพของเนยโกโก้

Table 2 Physical properties of cocoa butter

Physical Properties	Minifie (1989)	Wainwright (1996)
Specific gravity at 15 °C	0.8957	0.970 - 0.998
Refractive index at 40 °C	1.4560 - 1.4580	1.4565 - 1.4570
Melting point (°C)	* 32 - 34	30 - 35
Saponification value	188 - 198	188 - 195
Iodine value	35 - 40	35 - 40
Free fatty acid	1.5	-
Unsaponifiable residue	0.8	0.3 - 0.8
Titer (°C)	49.0	48 - 50

ที่มา : ดัดแปลงจาก Wainwright (1996)

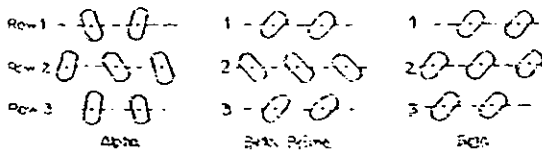
Source: Adapted from Wainwright (1996)

### 1.3 รูปร่างผลึกที่หลากหลาย (Polymorphism) ของเนยโกโก้

รูปร่างผลึกของเนยโกโก้จะมีผลต่อคุณภาพของช็อกโกแลตเพราะรูปร่างผลึกจะมีความสัมพันธ์กับคุณลักษณะทางกายภาพ และคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้ายเช่น การแตกหัก (snap) การเกาะช็อกโกแลตออกจากแม่พิมพ์ (molding contraction) ความเป็นมันเงาของผิวหน้า (gloss) และการเกิดฝ้าขาว (fat bloom) ระหว่างการเก็บรักษา (Loisel *et al.*, 1998; Wainwright, 1996; Arishima *et al.*, 1991; Sato, 1989; Sato, 1987; Wille and Lutton, 1966) รูปร่างผลึกเกิดจากการเรียงตัวของโมเลกุลในผลึก ซึ่งความแตกต่างของการเกาะกันภายในสายโซ่ของกรดไขมันในโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์และการซ้อนกันตามแนวยาว (longitudinal stack) ของโมเลกุล แบบสลับฟันปลา (zigzag) ทำให้ไขมันแต่ละชนิดมีรูปร่างผลึกที่แตกต่างกัน โดยรูปร่างผลึกแต่ละแบบกำหนดได้โดยระยะทางระหว่างสายโซ่ของกรดไขมัน (short spacing) และระยะทางระหว่างชั้นโมเลกุลของกลีเซอไรด์ที่ต่างกัน (Loisel *et al.*, 1998; Wainwright, 1996) จึงจัดรูปร่างผลึกที่ขึ้นอยู่กับกระบวนการเรียงตัวภายในโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ได้ 4 รูป (Oh and Berger, 1981) แสดงดังภาพที่ 2 ได้แก่

1.  $\alpha$  เป็นรูปร่างผลึกที่มีโมเลกุลประกบกันอย่างหลวมๆ จะมีรูปแบบผลึกเป็นระนาบ Hexagonal (H) คือ มีแกน 3 แกน ยาวเท่ากัน ใน 1 ระนาบ ทำมุมต่อกัน 60 องศา เซลเซียส มีจุดหลอมเหลวต่ำสุด

2.  $\beta$  เป็นรูปผลึกที่มีโมเลกุลประกอบกันแน่น จะมีรูปแบบผลึกเป็นระบบ Triclinic มีแกนไม่เท่ากัน 3 แกน ที่ทำมุมต่อกันไม่เท่ากันและไม่ใช่ 30 60 และ 90 องศาเซลเซียส
3.  $\beta'$  เป็นวัฏภาคที่มีจุดหลอมเหลวสูง มีรูปแบบผลึกเป็นระบบ Orthorhombic (O) คือ มีแกน 3 แกนทำมุมต่อกันเป็นมุมฉาก ซึ่งมีความยาวแกนแตกต่างกันทั้งหมด
4.  $\beta_2$  (sub -  $\alpha$ )



ภาพที่ 2 ระบบของรูปแบบผลึกตามการจัดเรียงตัวของไตรกลีเซอไรด์

Figure 2 Polymorphism system

ที่มา: Lutton (1972)

Source: Lutton (1972)

การจัดเรียงตัวกันของไตรกลีเซอไรด์กลุ่มที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่ตรงตำแหน่งที่ 2 ซึ่งโครงสร้างผลึกของเนยโกโก้ที่พบมี 6 รูปคือ รูป I ถึง VI หรือ  $\gamma$   $\alpha$   $\beta'$   $\beta_2$   $\beta_1$  และ  $\beta$  ตามลำดับ โดยรูปแบบ I ถึง VI เป็นรูปแบบผลึกที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตลูกกวาด ในขณะที่  $\gamma$  ถึง  $\beta$  เป็นรูปแบบผลึกที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมัน รูปแบบ I ( $\gamma$ ) จะเกิดขึ้นเมื่อนำเนยโกโก้ไปทำให้เย็นอย่างรวดเร็วเป็นรูปแบบที่มีความเสถียรต่ำที่สุด มีจุดหลอมเหลวประมาณ 17 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนรูปไปเป็นแบบ II ( $\alpha$ ) ซึ่งมีจุดหลอมเหลวประมาณ 23 องศาเซลเซียส อย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นค่อยๆเปลี่ยนไปเป็นรูปแบบ III และ IV ได้ง่าย ส่วนรูปแบบ V และ VI มีความเสถียรมากที่สุดและมีจุดหลอมเหลว 33 ถึง 36 องศาเซลเซียส (Loisel *et al.*, 1998; Lawler and Dimick, 1998; Wainwright, 1996; Nelson, 1994; Davis and Dimick, 1989; Lovegren *et al.*, 1976; Wille

and Lutton, 1966 ) โดยการจัดเรียงตัวภายในโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์ของเนยโกโก้ซึ่งเป็นไขมันที่หจะอยู่ในรูป monounsaturated triglyceride ภายในโครงสร้างของ ไตรกลีเซอไรด์กลุ่มนี้จะมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ได้แก่ กรดโอเลอิก (C18:1, O) ซึ่งมีพันธะคู่อยู่ตรงตำแหน่งที่ 2 หรือตำแหน่ง  $\beta$  (2 - oleodisaturated) และมีกรดไขมันอิ่มตัวอยู่ในตำแหน่งที่ 1 และ 3 ลักษณะคล้ายๆกันมากที่สุดเมื่อเกิดการจัดเรียงตัวของกรดไขมันแต่ละตัวที่เป็นองค์ประกอบของ ไตรกลีเซอไรด์ทำให้เกิดการจับเกาะกันและการซ้อนทับกันของไตรกลีเซอไรด์แต่ละตัวได้ดีและแน่นหนา จึงส่งผลให้เกิดผลึกที่แข็งแรงและมีความคงตัวมากขึ้นด้วย ซึ่งทำให้รูปผลึกของเนยโกโก้อยู่ในรูปคงตัวสูงสุด ( $\beta$ -form) (Loisel *et al.*, 1998; Wainwright, 1996; Sato *et al.*, 1989; Lutton, 1972 ) รูปผลึก และ จุดหลอมเหลวของเนยโกโก้แสดงดัง ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รูปผลึก และ จุดหลอมเหลว ( $^{\circ}\text{C}$ ) ของเนยโกโก้

Table 3 Polymorphism and melting point ( $^{\circ}\text{C}$ ) of cocoa butter

Vaeck (1960)	Duck (1964)	Willie and L u t t o n (1966)	Chapman (1971)	Johnston (1972)	Lovegren <i>e t a l .</i> (1976)	Davis and Dimick (1986)
17 ( $\gamma$ )	18 ( $\gamma$ )	17.3 (I)		16 – 18 (I)	13 (VI)	13.1 (I)
21.24 ( $\alpha$ )	23.5 ( $\alpha$ )	23.3 (II)		21 – 24 (II)	20 (VI)	17.7 (II)
		25.5 (III)	20.7 (III)	25.5–27.5 (III)	23 (IV)	22.4 (III)
28 ( $\beta'$ )	28	27.5 (IV)	25.6 (IV)	27– 29 (IV)	25 (III)	26.4 (IV)
	33	33.8 (V)	30.8 (V)	30- 33.8(V)	30 (II)	30.7 (V)
34 – 35 ( $\beta$ )	34.4 ( $\beta$ )	36.2 (VI)	32.3 (VI)	34-36.3(VI)	33.5 (I)	33.8 (VI)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Wainwright (1996) และ Loisel และคณะ (1998)

Source: Adapted from Wainwright (1996) and Loisel *et al.* (1998)



## 2. เนยโกโก้เลียนแบบ (Cocoa Butter Alternatives; CBAs)

เนยโกโก้เลียนแบบเป็นไขมันที่ใช้ทดแทนเนยโกโก้ในการผลิตช็อกโกแลต เป็นเนยที่มีลักษณะแข็ง (Hard butter) โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพใกล้เคียงกับเนยโกโก้ ได้แก่ องค์ประกอบของกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์เป็นต้น ส่งผลให้หลอมเหลวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิร่างกายและมีความคงตัวสูง (Lipp and Anklam, 1998; Wainwright, 1996; Gegiou and Staphylakis, 1985) Undurraga และคณะ (2001) กล่าวว่า การเลือกแหล่งวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตเนยโกโก้เทียมต้องพิจารณาถึงเหตุผล ดังต่อไปนี้

1. พืชชนิดนั้นต้องมีปริมาณของกรดโอเลอิกสูง โดยเฉพาะตำแหน่งที่ 2 ของไตรกลีเซอไรด์ เนื่องจากต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีไตรกลีเซอไรด์อยู่ในรูป 2-oleodisaturated ในปริมาณสูงเพื่อให้ได้รูปแบบการหลอมเหลวและจุดหลอมเหลวใกล้เคียงกับเนยโกโก้มากที่สุด (Khumolo *et al.*, 2002)
2. ราคาไม่แพง
3. หาได้ง่าย และมีปริมาณมากพอ

Undurraga และคณะ (2001) ใช้ palm oil mid fraction ซึ่งได้จากการทำ double fractionation ของน้ำมันปาล์ม โดยประกอบด้วย POP ร้อยละ 73 POSr ร้อยละ 13 และ StOSr ร้อยละ 2 และไตรกลีเซอไรด์อื่นๆ ร้อยละ 12 นอกจากนั้น Bloomer (1990) กล่าวว่า palm oil mid fraction จะมีองค์ประกอบของกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์ใกล้เคียงกับเนยโกโก้และมีราคาไม่แพง ซึ่งองค์ประกอบของกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์ ที่ได้จากไขมันพืชแหล่งอื่นๆ เทียบกับเนยโกโก้ แสดงดังตารางที่ 4 ทั้งนี้เนยโกโก้เทียมจัดเป็นไขมันดัดแปลงโครงสร้าง (structured lipid) ซึ่งเป็นน้ำมันหรือไขมันที่มีการเปลี่ยนแปลงชนิดและตำแหน่งของกรดไขมันไว้อย่างจำเพาะเจาะจงบนโมเลกุลของกลีเซอรอล โดยจะเป็นชนิดที่ให้ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ (ประพันธ์ ปิ่นศิริธม, 2544; Khumolo, *et al.* 2002; Xu, 2000; Gunstone, 1998)

### 2.1 ชนิดของเนยโกโก้เลียนแบบ

เนยโกโก้เลียนแบบสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ ๆ (Lipp and Anklam, 1998; Wainwright, 1996) ดังนี้

#### 2.1.1 Cocoa Butter Equivalents (CBEs)

CBEs เป็นไขมันพืชในกลุ่ม non - lauric fat มีคุณสมบัติเหมือนกับเนยโกโก้ และสามารถใช้ทดแทนเนยโกโก้ได้ทุกส่วนในการผลิตช็อกโกแลตโดยไม่ทำให้คุณสมบัติของเนยโกโก้ ได้แก่ การหลอมเหลว กระบวนการผลิต และคุณลักษณะการไหลเปลี่ยนแปลงไป ซึ่ง CBEs ผลิตจาก

ไขมันพืชต่างๆ เช่น palm fat kokum fat หรือ shea fat เป็นต้น โดยนำมาตัดแปรทางเอนไซม์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา Tranesterification และ Interesterification เนยโกโก้เทียมกลุ่มนี้มี 2 ชนิด คือ

2.1.1.1 Cocoa Butter Extenders (CBEXs) สามารถใช้ทดแทนเนยโกโก้ได้เพียงปริมาณน้อยโดยไม่ทำให้การหลอมเหลว กระบวนการผลิต และคุณลักษณะการไหลเปลี่ยนแปลงไป แต่ CBEXs จะมีคุณลักษณะทาง physico-chemical ที่ไม่เหมือนกับเนยโกโก้

2.1.1.2 Cocoa Butter Improvers (CBIs) มีสมบัติใกล้เคียงกับเนยโกโก้ แต่จะมี solid fat สูงกว่า จึงใช้ในการปรับปรุงความอ่อนตัวของเนยโกโก้

### 2.1.2 Cocoa Butter Replacers (CBRs)

เป็นไขมันพืชในกลุ่ม non - lauric fat ที่ได้มาจากน้ำมันถั่วเหลือง เมล็ดฝ้าย และเมล็ดปาล์ม แล้วนำมาผ่านกระบวนการไฮโดรจิเนชัน และการแยกลำดับส่วน ซึ่งทำให้สมบัติแตกต่างจากเนยโกโก้เช่น การกระจายตัวของกรดไขมันในไตรกลีเซอไรด์ เป็นต้น จึงใช้ทดแทนเนยโกโก้ได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

### 2.1.3 Cocoa Butter Substitutes (CBSs)

เป็นไขมันพืชในกลุ่ม lauric fat ที่ได้มาจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าวมาตัดแปรทางเอนไซม์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอินเทอร์เอสเทอริฟิเคชัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับเนยโกโก้ แต่สมบัติทางเคมีจะแตกต่างกันจึงเหมาะที่จะใช้ทดแทนเนยโกโก้ได้ร้อยละ 100

องค์ประกอบ คุณสมบัติ และตัวอย่างพืชน้ำมันที่ใช้ผลิตทั้ง 3 ชนิด แสดงดังตารางที่ 5 นอกจากนี้สามารถจำแนกคุณลักษณะที่ความแตกต่างกันของเนยโกโก้และเนยโกโก้เทียมทั้ง 3 ชนิด ซึ่งแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 4 องค์ประกอบของกรดไขมันและรูปแบบไตรกลีเซอไรด์ของ CBA ที่ได้จากไขมันพืชแหล่งอื่นๆ เทียบกับเนยโกโก้

Table 4 Typical fatty acid composition and triglyceride profile for selected cocoa butter feedstocks

	Cocoa butter	Palm	Illipe	Shea	Sal	Kokum
Palmitic (P)	25	45	16	4	5	2
Stearic (St)	36	5	46	43	44	57
Oleic (O)	34	38	35	45	40	40
Linoleic (L)	2	10	-	7	2	22
Arachidic (Ar)	22	-	2	-	7	-
POSt	39	3	35	5	11	5
StOSt	26	-	45	40	42	72
POP	16	26	7	-	1	-
StOAr	2	-	4	2	13	-
StLP	4	2	-	-	-	-
PLP	2	7	-	-	-	-
StLSt	22	2	-	-	-	-
StOO	4	3	3	27	16	15

ที่มา: Wainwright (1996)

Source: Wainwright (1996)

ตารางที่ 5 องค์ประกอบกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์ของ CBE, CBRs และ CBSs

Table 5 Fatty acid and TG composition of CBE, CBRs and CBSs

CBA	Plant fat and oil	Function	Fatty acid	Triglyceride
CBEs	- Palm oil	- non – lauric fat	-palmitic acid (P)	- POP
	- illipe butter	-does not alter the	- stearic acid (S)	- POS
	- shea butter	properties of cocoa	- oleic acid (O)	- SOS
	- kokum butter	butter in mixture	-linoleic acid (L)	
CBRs	-soy bean oil	P a r t i a l l y	-palmitic acid (P)	- PEE
	-palm olein	compatible different	- stearic acid (S)	- SEE
		triglyceride	-linoleic acid (L)	
CBSs	-coconut oil	- lauric fat	- lauric acid	- LLL
	-palm kernel oil	- suitable for 100% substitution only	- myristic acid	- LLM - LMM

ที่มา : Lipp และ Anklam (1998)

Source: Lipp and Anklam (1998)

เนยโกโก้เทียมประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ในรูป POP POSt และ StOSt ใกล้เคียงเนยโกโก้ โดยเนยโกโก้ที่ดีต้องมีไตรกลีเซอไรด์ทั้ง 3 รูปข้างต้นประมาณร้อยละ 80 จึงสามารถใช้ทดแทนเนยโกโก้ได้ดี ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ช็อกโกแลตที่ได้มีคุณภาพดีด้วย (Wainwright, 1996; Minifie, 1989; Gegiou and Staphylakis, 1985) ดังนั้นจึงนำไขมันหรือน้ำมันพืชแหล่งอื่นๆมาผลิตเป็นเนยโกโก้เทียม เพราะมีราคาถูกและมีองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ใกล้เคียงกับเนยโกโก้ (Minifie, 1989) โดยเนยโกโก้เทียมประกอบด้วย POP POSt และ StOSt ร้อยละ 21 40 และ 27 ตามลำดับ (Undurraga *et al.*, 2001)

ตารางที่ 6 คุณลักษณะของเนยโกโก้ และ เนยโกโก้เทียมทั้ง 3 ชนิด

Table 6 Distinguishing characteristics of cocoa butter and cocoa butter alternatives

	CB	CBE	CBR	CBS
C10	-	-	-	3
C12	-	-	-	54
C14	-	-	-	20
C16	25	30	12	9
C18	36	30	14	10
C18:1	34	35	67	-
C18:2	3	3	6	-
Tempering	Yes	Yes	No	No
Stable crystal	$\beta$	$\beta$	$\beta'$	$\beta'$

ที่มา : Wainwright (1996)

Source: Wainwright (1996)

## 2.2 การผลิตเนยโกโก้เลียนแบบ

เนยโกโก้เลียนแบบเป็นไขมันที่เตรียมได้จากการคัดกรององค์ประกอบของไขมันพืชแหล่งต่าง ๆ ยกเว้นโกโก้ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านการหลอมเหลวให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ โดยจะอาศัยกระบวนการไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation) กระบวนการแยกลำดับส่วน (Fractionation) กระบวนการอินเตอร์เอสเทอริฟิเคชัน (Interesterification) การเปลี่ยนแปลงระดับยีน (Genetic manipulation) หรือ Single cell oil โดยวิธีการผลิตเนยโกโก้เทียม (ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม, 2544)

### 2.2.1 กระบวนการไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation)

กระบวนการไฮโดรจีเนชันเป็นกระบวนการของปฏิกิริยาทางเคมีที่เติมไฮโดรเจนอะตอมเข้าไปที่พันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งเป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ในไขมันและน้ำมัน โดยมีนิกเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนน้ำมันที่เป็นของเหลวให้เป็นกึ่งแข็งกึ่งเหลวหรือของแข็งที่มีระดับความแข็งอ่อนตามต้องการเรียกว่า plastic fat การทำไฮโดรจีเนชันส่วนใหญ่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะไม่สมบูรณ์ และปฏิกิริยาจะเกิดได้ทั้งแบบ selective ซึ่งเป็นการเติม

ไฮโดรเจนอะตอมเข้าไปเฉพาะที่พันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันไม่อิ่มตัว และ non-selective เป็นการเติมไฮโดรเจนอะตอมแบบสุ่ม ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันของไตรกลีเซอไรด์ เช่น จำนวนพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวลดลงจะมีผลทำให้ปริมาณของกรดไขมันจำเป็นต่อร่างกายลดน้อยลงด้วย แต่จะมีความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชันดีขึ้น ทำให้มีโอกาสเกิดการหืนได้ช้าลง อย่างไรก็ตามกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เกิดขึ้นใหม่จะมีไอโซเมอร์คือเกิด trans-isomer ขึ้นประมาณร้อยละ 5-45 ซึ่งจะมีผลต่อการดูดซึมเอาไปใช้ประโยชน์ของร่างกาย (นิธิยา รัตนานนท์, 2541; Alpaslan and Karaali, 1998)

### 2.2.2 กระบวนการแยกลำดับส่วน (Fractionation)

การแยกลำดับส่วนเป็นการแยกส่วนประกอบที่มีจุดหลอมเหลวต่างกัน โดยอาศัยการตกผลึกบางส่วน (partial crystallization) ในวิญญากาศของเหลว แล้วทำการแยกส่วนประกอบเหล่านั้นออกจากกัน (Kreulen, 1993)

กระบวนการนี้สามารถแบ่งได้ 3 วิธีใหญ่ๆ (Jacobsbers and Jacqmain, 1997; MacKenzie and Stevenson, 2000) ได้แก่

1. Dry fractionation เป็นการแยกส่วนโดยการลดอุณหภูมิเพื่อแยกส่วนที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าออกจากส่วนที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า ข้อดีของวิธีนี้คือลดการปนเปื้อนจากสารเคมี มีขั้นตอนไม่ยุ่งยาก ใช้ความร้อนน้อย และช่วยป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้
2. Wet หรือ Solvent fractionation เป็นการแยกโดยใช้ตัวทำละลายเติมลงในน้ำมันก่อนการตกผลึก วิธีนี้อาจเกิดออกซิเดชันได้เนื่องจากการปนเปื้อนของตัวทำละลายและระหว่างการแยกตัวทำละลายออก
3. Aqueous detergent หรือ LanZa เป็นกระบวนการแยกที่เติม sodium alkyl sulfate หลังการตกผลึก ซึ่งทำให้ผลึกแยกออกจากร้านน้ำมันได้ดีขึ้น จากนั้นนำไปเหวี่ยงแยกแล้วทำให้ผลึกแห้ง

### 2.2.3 กระบวนการอินเตอริเอสเทอริฟิเคชัน (Interesterification)

กระบวนการนี้จัดเป็นปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน (tranesterification) ประเภทที่มีการแลกเปลี่ยนหมู่เอซิลในโครงสร้างไตรกลีเซอไรด์จากตัวหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่ง (ester-ester exchange) เพื่อให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบได้เป็นไตรกลีเซอไรด์รูปแบบใหม่ ซึ่งทำให้สมบัติทางเคมีและกายภาพของไขมันและน้ำมันแตกต่างจากไขมันเดิมตามต้องการ (Zainal and Yosoff, 1999, Alpaslan and Karaali, 1998; Wainwright, 1996; Foglia *et al.*, 1993; Mojovic *et al.*, 1993; Macrae, 1983) ซึ่งปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันประเภทต่างๆ แสดงดังภาพที่ 3 โดยกระบวนการอินเตอริเอสเทอริฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้ 2 วิธี คือ การใช้สารเคมี (Chemical Interesterification) เช่น sodium metal และ sodium alkoxide และ การใช้เอนไซม์

(Enzymatic Interesterification) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้เอนไซม์ไลเปสมากกว่าการใช้สารเคมีเนื่องจาก เอนไซม์ไลเปสมีความจำเพาะเจาะจงสูง ทำให้ควบคุมปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้และสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ให้มีรูปแบบของไตรกลีเซอไรด์ใหม่ตามต้องการได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะช่วยลด by-product ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาลง นอกจากนี้การผลิตเนยโกโก้ที่ผสมด้วยวิธีนี้จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้สารเคมีเพราะการใช้สารเคมีจำเป็นต้องใช้ร่วมกับอุณหภูมิที่สูงมากจึงส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์เสียไป ในขณะที่การใช้เอนไซม์สามารถเร่งปฏิกิริยาในสภาวะที่ไม่รุนแรง (อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และความดันปกติ) และใช้พลังงานน้อย รูปแบบการหลอมเหลวของไตรกลีเซอไรด์ใหม่ที่ได้จากการใช้สารเคมีและเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแสดงดังภาพที่ 4 (ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม, 2544; Khumolo *et al.*, 2002; MacKenzie and Stevenson, 2000; Zainal and Yusoff, 1999; Gunstone, 1999; Forssell *et al.*, 1992; Macrae, 1983) โดยเลือกใช้เอนไซม์ไลเปสชนิดที่มีความจำเพาะเจาะจงต่อตำแหน่งที่ 1 และ 3 ของไตรกลีเซอไรด์ เนื่องจากเอนไซม์จะไปทำลายพันธะของโครงสร้างไตรกลีเซอไรด์เฉพาะตำแหน่งที่ 1 และ 3 เท่านั้นทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคือ กรดไขมันอิสระ 1,2(2,3) - diglyceride โดยเฉพาะ 2 - monoglyceride และสามารถควบคุมปฏิกิริยาได้ ในขณะที่เอนไซม์ไลเปสชนิดไม่จำเพาะเจาะจงจะตัดแบบสุ่มทุกตำแหน่งของไตรกลีเซอไรด์ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการมีน้อย (ดังภาพที่ 4) นอกจากนี้ควรใช้เอนไซม์ที่ผ่านการตรึงรูปซึ่งจะให้ประโยชน์สูงสุดและคุ้มทุนเมื่อเทียบกับหน่วยกับเอนไซม์อิสระ (Undurraga *et al.*, 2001; Akoh, *et al.*, 1992)

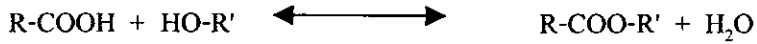
ประโยชน์ของเอนไซม์ตรึงรูปมีหลายประการ (ปรางณี อ่านเปรื่อง, 2543) ได้แก่

1. มีโอกาสเพิ่มกิจกรรมและเสถียรภาพของเอนไซม์ได้ ถ้าวิธีเหมาะสม
2. ใช้กับระบบ multi-enzyme ในการทดลองขนาดใหญ่ได้
3. ใช้ซ้ำ ใช้อย่างต่อเนื่อง และใช้เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ได้
4. ใช้ภาวะการทำปฏิกิริยาที่ต่างไปจากเอนไซม์อิสระ หรือเอนไซม์เคมีได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวพวย และวิธีการตรึงรูป
5. ใช้ให้เหมาะสมกับเครื่องปฏิกรณ์เอนไซม์ได้ ทั้งนี้ขึ้นกับรูปร่างตัวพวยและลักษณะสัณฐาน
6. ใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องทำให้บริสุทธิ์ก่อน

### 1. Hydrolysis of ester



### 2. Synthesis of ester



### 3. Transesterification

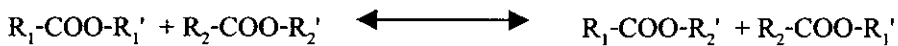
#### 3.1 Acidolysis



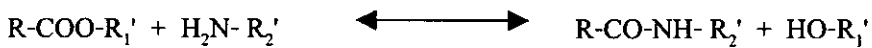
#### 3.2 Alcoholysis



#### 3.3 Ester Exchange (Interesterification)



#### 3.4 Aminolysis



ภาพที่ 3 การเร่งปฏิกิริยาต่างๆ ของเอนไซม์ไลเปส

Figure 3 Types of reactions catalysed by lipases

ที่มา: Yamane (1987)

Source: Yamane (1987)

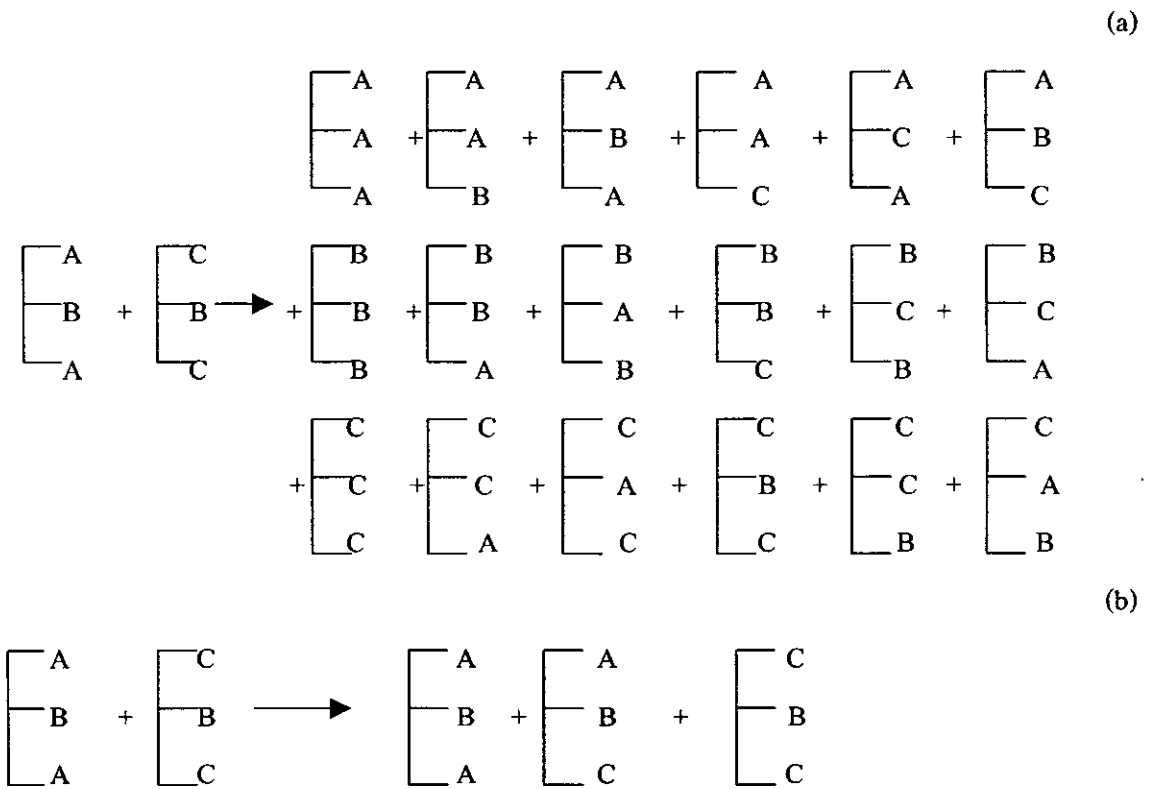


ข้อจำกัดของการใช้เอนไซม์อิสระ (ปราณี อำนเป็รื่อง, 2543) ได้แก่

1. ไม่เสถียร
2. ใช้งานในลักษณะไม่ต่อเนื่อง หรือใช้ครั้งเดียว (batch)
3. มีกิจกรรมต่ำ ถ้าจะให้มึกิจกรรมสูงต้องทำให้บริสุทธิ์ก่อนใช้
4. เอนไซม์อิสระจะปนลงในสารละลายของสับสเตรทและผลผลิต ทำให้แยกออกไม่ได้ และเนื่องจากเอนไซม์เป็น โปรตีนจะปนเปื้อนในลักษณะสารปนเปื้อนโปรตีน (proteineous contaminants) โดยเฉพาะถ้าอยู่ในอาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพเกิดเป็นตะกอนเมื่อถึงระดับอุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่างของโปรตีนชนิดนั้นๆ
5. มีสภาวะการทำปฏิกิริยาจำเพาะ เพราะฉะนั้นบางครั้งอาจไม่เหมาะในกระบวนการแปรรูปอาหาร หรือระดับอุตสาหกรรม
6. เอนไซม์อิสระส่วนใหญ่ละลายน้ำและสารละลายได้ ฉะนั้นจะนำมาใช้ในลักษณะ solid catalyst ไม่ได้ มีผลให้ไม่สามารถใช้กับเครื่องปฏิกรณ์ เช่น fluidized bed และ packed bed
7. มีต้นทุนสูงมาก
8. เอนไซม์อิสระในเซลล์จุลินทรีย์ (Intracellular enzyme) เมื่อนำมาใช้งานต้องผ่านกระบวนการสกัดและทำบริสุทธิ์ก่อน
9. มีพิษต่อผู้ใช้ในลักษณะของการสูดดม และการสัมผัสในปริมาณมากๆ

กระบวนการอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชันที่มีเอนไซม์ไลเปสเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาต้องการน้ำเพื่อกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์และปริมาณน้ำที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 1 - 10 ของน้ำหนักไขมันที่ใช้ทำปฏิกิริยา เนื่องจากถ้าปริมาณน้ำสูงเกินไปจะทำให้สมดุลของระบบเลื่อนเข้าสู่สมดุลของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Basheer *et al.*, 1995) ดังนั้นในระบบจะต้องใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสมเพราะจะมีผลต่อการลดปริมาณน้ำเช่น ปีโตรเลียมอีเธอร์ (จุดหลอมเหลว 60-80 องศาเซลเซียส)

การเลือกใช้ตัวทำละลายต้องคำนึงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อระบบการทำงานของเอนไซม์ด้วย โดยจะใช้เอนไซม์ที่ถูกตรึงเพื่อช่วยไม่ให้เอนไซม์ถูกทำลายด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ พบว่าตัวทำละลายที่เหมาะสมในการตรึงเอนไซม์ไลเปสที่ใช้ตัวทำละลายไม่มีขั้วได้แก่ ซิลิโกลีน เอลีโกลีน และ ซิลิกาเจล (Mojovic *et al.*, 1993) ปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชันจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 20 - 60 องศาเซลเซียส และต้องมีการควบคุมความเป็นกรด-ด่างไม่ให้เป็นกรดแก่หรือด่างมากเกินไปซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของเอนไซม์ โดยการเติมบัฟเฟอร์เพื่อควบคุมความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วงที่เอนไซม์ทำงานได้ โดยช่วงที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ไลเปสคือ ถ้าเป็นไลเปสจากสัตว์ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 8 ถึง 9 แต่ขึ้นอยู่กับชนิดของสับสเตรท ปริมาณเกลือ และ



ภาพที่ 4 รูปแบบไตรกลีเซอไรด์ที่ได้จากการใช้สารเคมีและเอนไซม์ไลเปสชนิดที่ไม่มีความจำเพาะเจาะจงต่อตำแหน่งที่ 1 และ 3 บนไตรกลีเซอไรด์ (a) และ เอนไซม์ไลเปสชนิดที่มีความจำเพาะเจาะจงต่อตำแหน่งที่ 1 และ 3 บนไตรกลีเซอไรด์ (b) เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาอินเตอริเอสเตอร์ฟิเคชัน

Figure 4 Triglyceride mixtures formed by interesterification of mixtures of fats; with chemical or non-specific lipase catalysis (a) and with 1,3- specific lipase catalysis (b)

ที่มา : Macrae (1983)  
 Source: Macrae (1983)

ชนิดของอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมให้อยู่ในช่วงที่เป็นกรดได้ ส่วนไลเปสจากจุลินทรีย์ทำงานได้ดีในช่วงความเป็นกรด-ด่าง 5.6 ถึง 8.5 และมีความคงตัวสูงในช่วงความเป็นกรด-ด่างที่เป็นกลาง ไลเปสส่วนใหญ่ทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 30 ถึง 40 องศาเซลเซียส และ ไลเปสจากจุลินทรีย์มีความคงตัวต่ออุณหภูมิสูงกว่า ไลเปสจากพืช และ

สัตว์ โดยเฉพาะไลเปสจากเชื้อ *Pseudomonas* สามารถทนอุณหภูมิได้สูงถึง 100 องศาเซลเซียส (Gandhi, 1997; Yamane, 1987) และการทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ก็ควรมีการควบคุมเวลาเพื่อให้เอนไซม์เกิดการกระจายตัวที่สม่ำเสมอและต้องทำในภาชนะปิดเพื่อป้องกันอากาศและความชื้น

- 4. การเปลี่ยนแปลงระดับยีน (Genetic manipulation)
- 5. Single cell oil

ในปัจจุบันนิยมใช้กระบวนการอินเตอร์เอสเทอร์ิฟิเคชันในการผลิตเนยโกโก้เทียม เนื่องจากความน่าสนใจของกระบวนการนี้สามารถเพิ่มคุณภาพเชิงหน้าที่และคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งช่วยลดปัญหาการเกิด trans-isomer และเพิ่มปริมาณกรดไขมันจำเป็นในผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากกระบวนการไฮโดรจีเนชันได้ซึ่งสาเหตุเกิดจากกระบวนการนี้เป็นการเติมไฮโดรเจนอะตอมที่พันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันในไตรกลีเซอไรด์และทำให้ไอโซเมอร์เปลี่ยนแปลงไปด้วย นอกจากนั้นช่วยลดปัญหาจากการใช้สารเคมีและความร้อนสูงในกระบวนการแยกส่วน ในขณะที่การผลิตเนยโกโก้เทียมด้วยวิธีการทางพันธุวิศวกรรมหรือใช้ Single cell oil ยังไม่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปถึงความปลอดภัย มีวิธีการยุ่งยากและใช้ต้นทุนสูง (ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม, 2544; นิธิยา รัตนปนนท์, 2541; Willis and Marangoni, 1998; Alpaslan and Karaali, 1998; Wainwright, 1996)

Tanaka และคณะ (1981 อ้างโดย Mojovic *et al.*, 1993) ผลิตเนยโกโก้เทียมโดยใช้เอนไซม์ไลเปสที่ถูกตรึงจากเชื้อ *Rhizopus delmar* เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ิฟิเคชันที่ตำแหน่ง 1,3 ของน้ำมันมะกอกผสมกรดสเตียริกหรือกรดปาล์มมิติก Chong และคณะ (1992) ใช้เอนไซม์ไลเปสที่ถูกตรึงซึ่งผลิตจากเชื้อ *Mucor michei* เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ิฟิเคชันที่ตำแหน่ง 1,3 ของปาล์มโอเลอิน ซึ่งการรวมกันของ stearoyl ในปาล์มโอเลอินจะทำให้ได้ปริมาณไตรกลีเซอไรด์ของ Palmitic – Oleic – Stearic (POSt) Stearic – Oleic – Stearic (StOst) และ Palmitic – Oleic – Palmitic (POP) ใกล้เคียงกับเนยโกโก้ นอกจากนี้มีจุดหลอมเหลวใกล้เคียงด้วยคือ 38.4 Nesaretnam และ Razak (1992) ผลิตเนยโกโก้เทียม(CBE) จาก Illipe fat ผสมกับ palm mid fraction ในอัตราส่วน 70 : 30 โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มี Solid fat content และองค์ประกอบของกรดไขมันใกล้เคียงกับเนยโกโก้ ส่วน Mojovic และคณะ (1993) สามารถผลิตเนยโกโก้เทียม(CBE) จาก Palm oil fraction และกรดสเตียริก โดยใช้เอนไซม์ไลเปสที่ถูกตรึงซึ่งผลิตจากเชื้อ *Rhizopus arrhizus* เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ิฟิเคชัน พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีองค์ประกอบของกรดไขมันและไตรกลีเซอไรด์ใกล้เคียงกับเนยโกโก้ นอกจากนั้นมีการผลิต cocoa butter extender จากไขมันผสมระหว่าง Kokum butter และ Phulwara butter ที่ผ่านการแยกส่วนในอัตราส่วน 40 ต่อ

60 ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีองค์ประกอบกรดไขมัน และไตรกลีเซอไรด์คล้ายกับเนยโกโก้ นอกจากนี้จะมีจุดหลอมเหลวในช่วงแคบใกล้เคียงกับเนยโกโก้ (Reddy and Phabhakar, 1994) Ali และคณะ (2001) ผลิตเนยโกโก้เทียมจาก น้ำมันผสมระหว่าง palm oil mid fraction (POMF) และน้ำมันมะพร้าว (CNO) ในอัตราส่วน 30 ต่อ 15 ที่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธี double fraction เปรียบเทียบกับเนยโกโก้ แล้วนำไปผลิตช็อกโกแลตไม้ใส่นมเคลือบด้วยน้ำมันผสม เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ การเก็บรักษาต่อเนื้อสัมผัส โครงสร้างผลึก การเกิดฝ้าขาวและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของช็อกโกแลตพบว่า PMF มีรูปแบบการหลอมเหลวและจุดหลอมเหลวใกล้เคียงกับเนยโกโก้ในขณะที่ CNO มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่ามากเนื่องจาก CNO มีไตรกลีเซอไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมากเป็นองค์ประกอบเมื่อเทียบกับเนยโกโก้ แต่เมื่อนำน้ำมันทั้งสองมาผสมกัน (30:15) แล้วผ่านการตัดแปร จะให้รูปแบบการหลอมเหลวใกล้เคียงกับเนยโกโก้เช่นกัน Undurraga และคณะ (2001) ผลิตเนยโกโก้เทียมโดยใช้ POMF ผสมกับกรดสเตียริกมาผ่านการตัดแปรโดยใช้เอนไซม์ไลเปส (Lipozyme™) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชันในสถานะที่ไม่มีตัวทำละลาย พบว่าเมื่อพิจารณารูปแบบการหลอมเหลวของ palm oil midfraction จะถูกหลอมเหลวหมดอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิประมาณ 32 องศาเซลเซียส ในขณะที่ CBE ที่ได้จะมีช่วงการหลอมเหลวตั้งแต่เริ่มหลอมจนหลอมเหลวหมดใกล้เคียงกับเนยโกโก้คือ อยู่ในช่วงประมาณ 23 ถึง 39 องศาเซลเซียส ในขณะที่เนยโกโก้จะอยู่ในช่วงประมาณ 22 ถึง 36 องศาเซลเซียส นอกจากนี้พบว่า จุดหลอมเหลวของ CBE เหมือนกับเนยโกโก้เช่นกันคือประมาณ 31 องศาเซลเซียส (สังเกตจาก peak สูงสุดของ thermogram) นอกจากนี้ Khumolo และคณะ (2002) ผลิต CBE จากน้ำมันของเมล็ด *Stychnos madagascariensis* (SM) *Trichelia emetica* (TE) และ *Ximenia caffra* (XC) โดยใช้เอนไซม์ไลเปสจากเชื้อ *Rhizomucor michiei* เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันพบว่า น้ำมันจาก SM และ XC เมื่อถูกตัดแปรแล้วปริมาณของกรดปาล์มิติก (C16) สเตียริก (C18) และ กรดโอเลอิก (C18:1) ใกล้เคียงกับเนยโกโก้ แต่น้ำมันจาก TE จะให้กรดโอเลอิกต่ำกว่าเนยโกโก้มาก และเมื่อวิเคราะห์โครงสร้างไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันชี้ให้เห็นว่ากรดโอเลอิกจะเป็นกรดไขมันที่สำคัญในตำแหน่งที่ 2 และมีปริมาณมากโดยเฉพาะน้ำมันจาก SM และ XC คือร้อยละ 65.9 และ 80.8 ในขณะที่ น้ำมันจาก TE มีกรด โอเลอิกในตำแหน่งที่ 2 เพียงร้อยละ 40.2 เท่านั้น จากการศึกษาพบว่าน้ำมันจาก SM และ XC เหมาะใช้ผลิต CBE เนื่องจากมีปริมาณกรดโอเลอิกสูง โดยเฉพาะตรงตำแหน่งที่ 2 ของไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นกรดไขมันที่สำคัญของเนยโกโก้

### 3. ช็อกโกแลต

#### 3.1 ช็อกโกแลต และประเภทของช็อกโกแลต

ช็อกโกแลตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผสมของน้ำตาล โกโก้ลิเคอร์และเนยโกโก้เป็นหลักซึ่งจัดเป็นอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมัน (water in oil emulsion) โดยเป็นการกระจายอนุภาคละเอียดของผงโกโก้และน้ำตาลในส่วน continuous phase คือเนยโกโก้ ซึ่งเนยโกโก้เป็นส่วนผสมที่สำคัญที่ทำให้สมบัติทางกายภาพแก่ช็อกโกแลต เช่น ความมันวาว เนื้อสัมผัส ความรู้สึกในปากเมื่อบริโภค (mouth feel) และการปลดปล่อยกลิ่นรส เนื่องจากการหลอมเหลวของเนยโกโก้ในช่วงแคบและมีจุดหลอมเหลวใกล้เคียงกับอุณหภูมิร่างกาย (Miquel *et al.*, 2001) ในการผลิตช็อกโกแลตไม่ควรให้น้ำอยู่ในกระบวนการซึ่งถ้ามีน้ำปนอยู่เพียงร้อยละ 2 ทำให้ช็อกโกแลตที่ได้มีคุณภาพไม่ดีเช่น เกิด fat bloom และ sugar bloom ได้ง่ายระหว่างการเก็บรักษา ทำให้สมบัติการไหลและเนื้อสัมผัสไม่ดี Nickiess และ Sidaway (1980) กล่าวถึงลักษณะที่ดีของช็อกโกแลตไว้ดังนี้

สี	ต้องมีความสม่ำเสมอและสีเข้ม
ลักษณะปรากฏที่ผิว	มีลักษณะเรียบไม่มีจุดหรือรอยฝ้าขาวบนผิวหน้า
ลักษณะเนื้อสัมผัส	ต้องเรียบเนียน ไม่มีลักษณะเนื้อที่เป็นทราย
การแตกหัก	มีการแตกหักที่ดี
กลิ่นรส	ให้ลักษณะกลิ่นรสช็อกโกแลตที่ดี
กลิ่นหอม	มีกลิ่นหอมของกลิ่นรส

ช็อกโกแลตสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆคือ ช็อกโกแลตนม (milk chocolate) ช็อกโกแลตไม่ใส่นม (dark chocolate) และ ช็อกโกแลตขาว (white chocolate) โดยช็อกโกแลตไม่ใส่นมแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือช็อกโกแลตกึ่งหวาน (semi chocolate) และชนิดหวานกึ่งขม (bitter sweet) ตามปริมาณ โกโก้ลิเคอร์และน้ำตาลในส่วนผสม (Vercet, 2003; Loisel *et al.*, 1998; Samsudin and Ali, 1996; Nesaretnam and Razak, 1992; Minifie, 1989) โดยส่วนประกอบของช็อกโกแลตชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ส่วนประกอบของช็อกโกแลตชนิดต่างๆ

Table 7 Ingredient of chocolate

Ingredient	White chocolate	Milk chocolate	Dark chocolate	
			Semi-sweet	Simi-bitter
Sugar	53	50	48.0	36.0
Cocoa butter	23	21.0	9.7	-
Milk	8.6	16.0	-	-
Skim milk	11.0	-	-	-
Cocoa liquor	-	12.0	40.0	60.0
Milk fat	-	-	1.7	1.5
Lactose	4.0	-	-	-
Lecithin	0.4	0.5	0.6	0.5

ที่มา: ดัดแปลงจาก Wainwright (1996) และ Vercet (2003)

Source: Adapted from Wainwright (1996) and Vercet (2003)

จากตารางที่ 7 เห็นได้ว่าช็อกโกแลตไมใส่มนจะมีปริมาณของน้ำตาลและเนยโกโก้ต่ำกว่าช็อกโกแลตชนิดอื่น แต่จะมีปริมาณโกโก้ลิเคอร์สูงมากจึงทำให้ช็อกโกแลตมีรสขม เนื่องจากโกโก้มีสารทีโอโบรมีน (theobromine) และแทนนิน (tannin) เป็นองค์ประกอบ ซึ่งสารพวกนี้จะให้รสขม ในขณะที่ช็อกโกแลตขาวจะไม่มีโกโก้ลิเคอร์เป็นส่วนผสม ซึ่งช็อกโกแลตชนิดนี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการกระจายของอนุภาคน้ำตาลและmilk solid ในเฟสต่อเนื่องของไขมัน (fat-phase continuous) แต่ช็อกโกแลตขาวนี้จะเกิดออกซิเดชันได้ง่ายกว่าช็อกโกแลตชนิดอื่น เนื่องจากในโกโก้ผงหรือโกโก้ลิเคอร์จะมีสารต้านการเกิดออกซิเดชัน (antioxidant) เป็นองค์ประกอบจึงสามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้ (Vercet, 2003)

### 3.2 การผลิตช็อกโกแลต

Tewkesbury และคณะ (2000) กล่าวว่าวัตถุประสงค์สำคัญในการผลิตช็อกโกแลตคือทำให้ผลิตภัณฑ์มีรูปผลึกคงตัวของเนยโกโก้ (รูป  $\beta$ ; V) ผลึกรูปนี้มีจุดหลอมเหลวสูง (32-35 องศาเซลเซียส) จะแข็งตัวและให้ความมันวาวแก่ผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้อง หลอมเหลวได้เร็วในปาก ซึ่ง

ส่งผลให้ซ็อกโกแลตมีเนื้อสัมผัสที่น่าพอใจ ถ้ารูปผลึกที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่ารูป  $\beta$  ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพไม่ดีด้วย โดยเกิดขึ้นได้ในหลายลักษณะ (Tewkesbury *et al.*, 2000) ดังต่อไปนี้

1. ซ็อกโกแลตจะอ่อนตัวที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากไขมันของเนยโกโก้จะหลอมเกิดส่วนของเหลวขึ้นที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งมีผลต่อเนื้อสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค

2. เคาะซ็อกโกแลตออกจากพิมพ์ยาก เนื่องจากซ็อกโกแลตจะอ่อนตัวที่อุณหภูมิห้อง และจะมีปริมาตรการหดตัว (volumetric contraction) น้อยเมื่อเกิดเป็นของแข็ง (solidification) ขณะที่ใส่แม่พิมพ์

3. รูปผลึกที่มีความคงตัวน้อยกว่าจะเกิดการตกผลึกใหม่ เนื่องจากการหลอมและรวมตัวกันใหม่เกิดเป็นผลึกรูปใหม่ขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุเกิดฝ้าขาว (fat bloom)

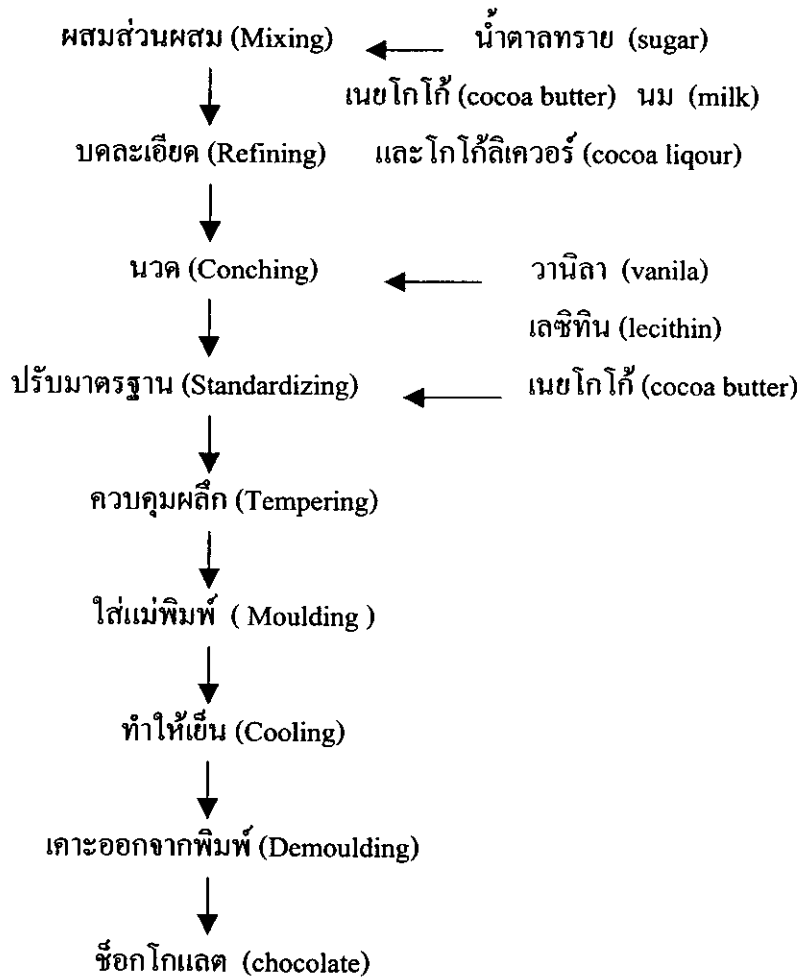
การผลิตซ็อกโกแลตจะมีขั้นตอนการผลิตซึ่งควบคุมสภาวะการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์มีคุณลักษณะและคุณภาพ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการผลิตแสดงดังภาพที่ 5 (Minifie, 1989)

### 3.2.1 การเตรียมส่วนผสม

ก่อนผสมส่วนผสมต่างๆ ควรหลอมเนยโกโก้หรือไขมันอื่นๆ ก่อนแต่ไม่ควรใช้เวลานานเกินไปเพราะทำให้สมบัติของไขมันเกิดการเปลี่ยนแปลง สำหรับน้ำตาลควรบดให้ละเอียดมากที่สุดเนื่องจาก ถ้าอนุภาคของน้ำตาลใหญ่เกินไปทำให้ซ็อกโกแลตที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสหยาบเป็นทรายและให้ความรู้สึกภายในปาก (mouth feel) ที่ไม่ดีเมื่อบริโภค นอกจากนี้เมื่ออบคแล้วควรใช้ให้หมดในกรณีที่ใช้ไม่หมดควรบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิทและเก็บในที่แห้ง เช่นเดียวกับนมผงหรือผงโกโก้ (กรณีซ็อกโกแลตใส่นม) ควรทำให้แห้งก่อนใช้ เนื่องจากความชื้นเป็นปัจจัยทำให้ลักษณะการไหลของซ็อกโกแลตเสียไป (Minifie, 1989) และทำให้เกิด sugar bloom บริเวณผิวหน้าของซ็อกโกแลต (Paszczola, 1997)

### 3.2.2 การผสมส่วนผสม

ขั้นแรกของการผลิตเป็นการผสมส่วนผสมต่างๆ ได้แก่ น้ำตาลทราย เนยโกโก้ โกโก้ลิควอร์ และ นม (ในกรณีซ็อกโกแลตนม) ซึ่งนมที่ใช้ในการผสมอาจอยู่ในรูปนมผงหรือครัมบ์นม (milk crumb) ซึ่งเตรียมได้จากการผสมนมกับน้ำตาล หรือจะผสมโกโก้ลิควอร์ก็ได้ แล้วนำมาทำแห้งจะได้ครัมบ์นมที่มีกลิ่นคาราเมล ในอเมริกาต้องการกลิ่นเนยแข็ง (cheesy) ซึ่งทำได้โดยการไฮโดรไลส์น้ำนมด้วยเอนไซม์ไลเปสก่อนจะทำแห้ง การที่ซ็อกโกแลตมีกลิ่นรสที่ต้องการได้จากโกโก้ลิควอร์ (Wainwright, 1996; Minifie, 1989)



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการผลิตช็อกโกแลต

Figure 5 Chocolate process

ที่มา : ดัดแปลงจาก Minifie (1989)

Source: Adapted from Minifie (1989)

เมื่อเตรียมส่วนผสมแล้วนำโกโก้ลิเควอร์และเนยโกโก้เดิมลงในน้ำตาลที่บดละเอียดแล้ว อาจเติมเนยโกโก้ครึ่งหนึ่งก่อนสำหรับบด แล้วค่อยเติมส่วนที่เหลือตอนนวด การผสมต้องระวังไม่ให้อุณหภูมิเกิน 45 องศาเซลเซียส เพื่อให้แน่ใจว่าส่วนผสมที่เป็นไขมันจะหลอมหมด เพราะจุดประสงค์หลักคือการทำให้ไขมันไปห่อหุ้มหรือเคลือบอนุภาคที่ไม่ใช่ไขมันให้ทั่ว ดังนั้นถ้าอุณหภูมิไม่สูงพอไขมันบางส่วนจะไม่หลอม (สุวรรณ สุกิมารส, 2543)

ในการผลิตช็อกโกแลตจะต้องเติมเนยโกโก้เพิ่มจากที่มีอยู่เดิมในโกโก้ลิเควอร์ซึ่งมีไขมันอยู่ร้อยละ 54 - 55 โดยจะใช้ในสูตรประมาณร้อยละ 12 - 40 ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์



(สุวรรณ สุภิมารศ, 2543) เพื่อให้ไขมันสามารถเคลือบอนุภาคของส่วนผสมอื่นๆ เช่น นม และ น้ำตาลทราย โดยช็อกโกแลตรสนมมีโกโก้ลิเคอร์ผสมอยู่ในปริมาณน้อยกว่าในช็อกโกแลตไม่ใส่นม เนยโกโก้ซึ่งมีอยู่ในโกโก้ลิเคอร์จึงไม่เพียงพอต่อการเคลือบอนุภาคของนมและน้ำตาลทราย ดังนั้นช็อกโกแลตใส่นมจึงมีการเติมเนยโกโก้มากกว่าช็อกโกแลตไม่ใส่นม นอกจากนั้นการเติมเนยโกโก้และเลซิทินจะช่วยลดความเหนียวทำให้ส่วนผสมต่างๆผสมกันได้ดี

### 3.2.3 การบดละเอียด (Refining)

เมื่อผสมส่วนผสมแล้วทำการบดละเอียด ซึ่งในทางอุตสาหกรรมจะบดละเอียดด้วย ลูกกลิ้ง 5 ลูก (5 - roll refining) โดยการบดละเอียดเพื่อบดส่วนผสมต่างๆให้มีขนาดอนุภาคที่เหมาะสม เนื่องจากขนาดของอนุภาคจะมีความสำคัญต่อคุณภาพของช็อกโกแลตในด้านเนื้อสัมผัสและความรู้สึกในปากที่ดี ซึ่งต้องบดให้มีขนาดของอนุภาคอยู่ระหว่าง 20 - 30 ไมครอน ถ้าขนาดของอนุภาคใหญ่กว่า 35 ไมครอน เมื่อบริโภคจะรู้สึกว่ามีเนื้อช็อกโกแลตมีความหยาบ แต่ถ้าขนาดเล็กกว่า 6 ไมครอน จะรู้สึกเป็นเมือกเมื่อบริโภคช็อกโกแลต (Minifie, 1989; Niediek, 1989) นอกจากนั้น Minifie (1989) กล่าวว่า การผลิต milk chocolate สามารถเพิ่มขนาดอนุภาคของส่วนผสมต่างๆได้สูงถึง 65 ไมครอน (0.0026 in) จะให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี แต่ช็อกโกแลตไม่ใส่นม (dark chocolate) ต้องการขนาดอนุภาคประมาณ 35 ไมครอน (0.001 in) นอกจากนั้นถ้าส่วนผสมแต่ละชนิดมีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้จะให้ความรู้สึกภายในปาก (mouth feel) ที่ได้แตกต่างกันด้วยคือ ถ้าผลึกน้ำตาลใหญ่เกินไปจะให้ลักษณะเป็นทรายอย่างชัดเจน ส่วนอนุภาคของโกโก้ที่มีขนาดใหญ่เกินไปจะให้ความรู้สึกที่หยาบมาก

ในขณะที่บดนั้นน้ำตาลมีโอกาสที่จะเกิดเป็นรูปอสัณฐานได้บ้าง เพราะได้รับแรงเฉือนและแรงกดอัดสูง และเนื่องจากอยู่ร่วมกับอนุภาคของโกโก้ ดังนั้นจึงสามารถดูดซับกลีเซอรีนไว้ได้ดี ทำให้ช็อกโกแลตที่ทำโดยวิธีนี้ให้รสชาติต่างจากวิธีที่ทำโดยการบดส่วนผสมแต่ละชนิดก่อนรวมทั้งสมบัติทางการไหลของช็อกโกแลตสุดท้ายก็จะต่างกันด้วย เพราะการบดส่วนผสมแต่ละชนิดแยกกันจะได้สภาวะที่เหมาะสมของส่วนผสมแต่ละชนิด (สุวรรณ สุภิมารศ, 2543)

### 3.2.4 การนวด (Conching)

การนวดเป็นกระบวนการทำให้ส่วนผสมที่บดซึ่งอยู่ในลักษณะเป็นเกล็ดละเอียดกึ่งแห้งกึ่งเปียก ไม่คงรูปให้กลายเป็นของเหลวที่ไหลได้ที่อุณหภูมิเหนือจุดหลอมเหลวของเนยโกโก้ เพราะในการบดทำให้พื้นผิวที่แตกหักของผลึกน้ำตาลถูกเคลือบด้วยไขมันได้หมด ดังนั้นการนวดช็อกโกแลตมีสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์สุดท้าย โดยการนวดส่วนผสมของช็อกโกแลตจะมีการควบคุมแรงเสียดสีของการนวดและอุณหภูมิ โดยช็อกโกแลตไม่ใส่นมจะนวดที่ 70-82 องศาเซลเซียส ในขณะที่ช็อกโกแลตใส่นมจะนวดที่อุณหภูมิระหว่าง 45-60 องศาเซลเซียส แต่ถ้าช็อกโกแลตที่ผสมครีมมันจะนวดที่ 40-52 องศาเซลเซียส หรือที่ผสมนมผง

ไขมันเต็มจะนวดที่ 70 องศาเซลเซียส (Wainwright, 1996; Minifie, 1989) การนวดเป็นการปรับปรุงคุณภาพของกลีมนรส โดยความร้อนและแรงเสียดสีจากการนวดทำให้องค์ประกอบของกรดไขมันที่ระเหยได้ระเหย หรือสารให้กลิ่นรสที่ไม่ต้องการออกไป เช่น กรดอะซิติก ซึ่งเป็นผลผลิตที่เหลือหลังจากการหมักเมล็ดโกโก้ และลดความชื้นจากส่วนผสมให้เหลือร้อยละ 0.6-0.8 เพื่อให้ส่วนผสมของน้ำตาลและเนยโกโก้รวมกันและกระจายตัวอย่างทั่วถึง (Slater, 1986) นอกจากนี้การนวดจะทำให้เกิดกลิ่นรสที่ต้องการ โดยเกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งเป็นตัวสำคัญในการเกิดกลิ่นรส ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction) นอกจากนี้การนวดจะทำให้เนยโกโก้ และไขมันนมสามารถเคลือบอนุภาคทั้งหมดในส่วนผสมได้เนื่องจากแรงเสียดสีทำให้ไขมันเคลือบอนุภาคเป็นชั้นบางลง และมีลักษณะที่แห้งและข้นหนืด (Wainwright, 1996; Minifie, 1989) ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการนี้สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะ (The conche cycle) (Ley, 1994) ดังต่อไปนี้

1. ระยะแห้ง (dry conching) หรือ dry-paste phase เป็นระยะเริ่มต้นจะเป็นการผสมอย่างหนักหน่วง พื้นผิวส่วนใหญ่ของอนุภาคยังไม่ถูกเคลือบ ความชื้นและสารระเหยอื่นยังสามารถหลุดรอดไปได้ ซ็อกโกแลตจะมีลักษณะเหมือนดินเหนียวค่อนข้างแห้ง

2. ระยะที่เป็นเหมือนพลาสติก (plasticizing) หรือ tough-plastic phase เป็นระยะที่สำคัญ เนื่องจากจะเกิดแรงต้านต่อการนวด ความร้อนจากแรงเสียดทานทำให้เกิดการสร้างกลิ่นรส ขณะเดียวกันก็มีการสูญเสียสารระเหยออกไป น้ำจะระเหยด้วยอัตราสูงสุด มวลจะอ่อนตัวลง (อุณหภูมิสูงขึ้น) พลังงานที่ต้องใช้จะลดลง จึงสามารถปรับอัตราเร็วของการนวดเพิ่มขึ้นได้

3. ระยะที่เป็นของเหลว (liquid conching) หรือ liquid phase เมื่อเติมเนยโกโก้ส่วนที่เหลือและเลซิทิน ส่วนผสมทั้งหมดจะกลายเป็นเนื้อเดียวกัน ได้ซ็อกโกแลตที่มีความหนืดตามต้องการ หากมีส่วนผสมอื่น เช่น กลีมนวานิลลาจะทำในช่วงนี้

กระบวนการนวดทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ 2 กระบวนการที่ส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ (Ley, 1994) ได้แก่

1. กระบวนการทางกายภาพ (physical process) สิ่งสำคัญที่สุดคือการเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์จากการบดที่เป็นของแข็งแข็งเป็ยกไปเป็นสารแขวนลอยที่ไหลได้ มีน้ำตาล อนุภาคโกโก้และของแข็งจากนมแขวนลอยอยู่ แรงเฉือนทำให้อนุภาคที่เกาะติดกันแตกออกแล้วเคลือบแต่ละอนุภาคด้วยไขมัน แล้วจึงกระจายตัวอยู่ในเนยโกโก้ แรงที่ใช้ในการนวดจะสูงมากทำให้เกิดความร้อนจากการเสียดทานทำให้ไขมันหลอมละลาย กลายเป็นไขมันอิสระมาเคลือบน้ำตาลและอนุภาคอื่น ไขมันจะระเหยออกไป ความชื้นของผลิตภัณฑ์จะลดลงทำให้สมบัติการไหลของซ็อกโกแลตดีและมีอายุการเก็บที่ดีด้วย ความชื้นสุดท้ายจะเหลือน้อยกว่าร้อยละ 0.6

2. กระบวนการทางเคมี (chemical process) แรงกระทำต่ออนุภาคที่เป็นของแข็งทำให้เกิดความร้อนและนำไปสู่ปฏิกิริยาทางเคมี มีผลต่อลักษณะค่านกลิ่นรส ดังนี้

2.1 กลิ่นรสเปรี้ยว จากกรดอินทรีย์ทั้งที่ระเหยได้และระเหยไม่ได้ เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดคาโปรอิก และกรดซิตริก ส่วนกรดออกซาลิกและกรดแลกติกมีความเข้มข้นไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการนวด ซึ่งกรดที่มากที่สุดคือกรดอะซิติกคือประมาณร้อยละ 90 ของกรดทั้งหมด โดยในระหว่างการนวดกรดนี้จะลดลงมาก

2.2 เอสเตอร์ อัลดีไฮด์และคีโตน เป็นส่วนที่ให้กลิ่นรสของผลไม้ เมื่อทำการนวดกลิ่นรสนี้จะเด่นขึ้น

2.3 รสขม เกิดจากสารประกอบพวกพิวรีน (purines) ที่โอโบมีน (theobromine) และคาเฟอีน ซึ่งพบว่าในระหว่างการนวดสารประกอบเหล่านี้ไม่มีการสูญเสีย แต่ความเข้มข้นของโพลีไฮดรอกซีฟีนอล (polyhydroxyphenol) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของแทนนินจะลดลงจาก 10.3 มิลลิกรัมต่อช็อกโกแลต 100 กรัม เหลือเพียง 6.0 มิลลิกรัม ในช่วงแรกของกระบวนการ

2.4 เกิดกลิ่นหอมของคาราเมล หรือกลิ่นช็อกโกแลต จากปฏิกิริยาเมลลาร์ด

### 3.2.5 การปรับมาตรฐาน (Standardization)

เป็นการเติมเนยโกโก้และเลซิทีนที่เหลือ เพื่อปรับความหนืดของช็อกโกแลตให้ลดลงจนถึงระดับที่ต้องการ

### 3.2.6 การควบคุมผลึก (Tempering)

เป็นกระบวนการใช้ความร้อนในการปรับสภาพของไขมัน เพื่อปรับปรุงคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสและทางกายภาพของช็อกโกแลต โดยความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบ และจำนวนของผลึกจะส่งผลต่อคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้แก่ ความแข็ง มีความมันวาวและสีเข้ม การแตกหักและการยับยั้งการเกิดฝ้าขาว (fat bloom) ดังนั้นการควบคุมการตกผลึกของเนยโกโก้ให้อยู่ในรูปที่คงตัว มีขนาดเล็กเท่ากัน และมีจำนวนผลึกที่มากพอ ทำให้ช็อกโกแลตที่ได้มีช่วงหลอมเหลวสูงกว่าอุณหภูมิห้อง เนื่องจากรูปผลึกของไขมันที่มีความคงตัว ( $\beta$ -form) มีจุดหลอมเหลวประมาณ 34-35 องศาเซลเซียส ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดี (Wainwright, 1996; Johnston, 1972) ช็อกโกแลตที่มีการควบคุมผลึกที่ดีจะทำให้เกิดผลึกของเนยโกโก้กระจายอย่างทั่วถึงในเนื้อช็อกโกแลตในกระบวนการนี้จะอาศัยการกวนและการปรับระดับอุณหภูมิ เนื่องจากในระหว่างกระบวนการควบคุมจะมีบางส่วนที่ติดตามข้างภาชนะจะมีอุณหภูมิต่ำทำให้เนยโกโก้เกิดผลึกรูปไม่คงตัวขึ้น ดังนั้นการสั่นและเขย่าของเครื่องทำให้เนยโกโก้ที่ติดอยู่หลุดออกมาแล้วกระจายไปทั่วช็อกโกแลต (Wainwright, 1996; Minifie, 1989)

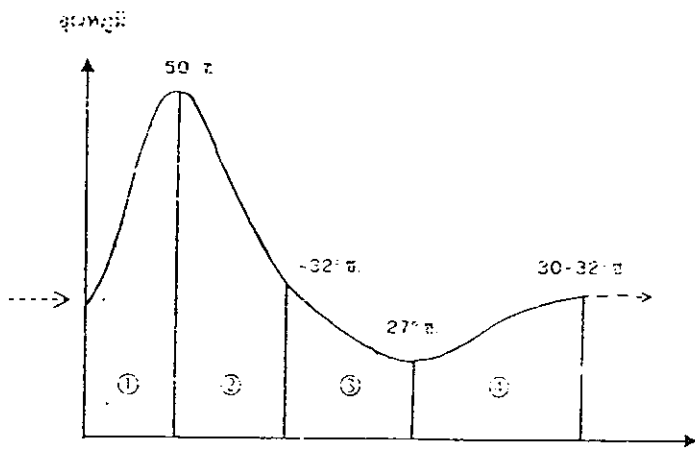
กระบวนการนี้ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน (Talbot, 1994) คือ

1. pre - crystallization เป็นการให้อุณหภูมิ (Pre - warming) โดยนำช็อกโกแลตหลอมที่ 41 - 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30-60 นาที เพื่อทำลายผลึกไขมัน ถ้าหลอมผลึกที่มีอยู่ไม่หมดจะส่งผลให้ผลึกไขมันในผลิตภัณฑ์มีขนาดไม่สม่ำเสมอ จากนั้นลดอุณหภูมิให้เหลือ 26-27 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ซึ่งต้องควบคุมเวลาเพื่อกระตุ้นให้เกิดผลึก (Nucleation) ทั้งในรูปที่คงตัวและไม่คงตัว

2. bulk crystallization เป็นขั้นที่ปล่อยให้ผลึกเกิดขึ้นและมีขนาดตามต้องการ (Development) โดยเพิ่มอุณหภูมิเป็น 32 องศาเซลเซียส เพื่อหลอมเหลวผลึกของเนยโกโก้ที่ไม่คงตัวให้เปลี่ยนเป็นรูปผลึกที่คงตัวเนื่องจากผลึกของเนยโกโก้ที่ไม่คงตัวจะหลอมได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 32 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้ผลึกที่ได้โตขึ้น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช็อกโกแลตระหว่างกระบวนการนี้จะแสดงดังภาพที่ 6 ในกระบวนการนี้สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือ ไขมันจะต้องเกิดผลึกที่มีขนาดถูกต้องเพราะถึงแม้ว่าจะต้องการให้ไขมันเกิดผลึกจำนวนมากก็ตาม (เพราะทำให้ช็อกโกแลตมีความแวววาวมากขึ้น จากการสะท้อนแสงของผลึกเล็กๆจำนวนมาก) แต่ถ้าผลึกมีขนาดเล็กเกินไปเช่นอาจเกิดจากการให้ความเย็นอย่างรวดเร็วในขณะที่ความร้อนจากการคายความร้อนของผลึกที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งเป็นผลึกไม่เสถียรและมีจุดหลอมเหลวต่ำ ยังระบายออกไปไม่ได้เพราะพื้นที่จำกัด ความร้อนนี้จะกลับไปหลอมไขมันใหม่ทำให้เกิดฝ้าขาว ได้เช่นกันเรียกว่า overtemper หรือผลึกที่มีขนาดใหญ่เกินไปความร้อนที่ได้จากการหลอมของไขมันก็ไม่สามารถออกไปจากผลึกได้เกิดเป็น fat bloom ชนิด undertemper (Miquel, 2001; Talbot, 1994)

### 3.2.7 การใส่พิมพ์ (Moulding)

นำช็อกโกแลตที่ผ่านการควบคุมการตกผลึกมาใส่พิมพ์ซึ่งทำด้วยพลาสติกหรือโลหะ ซึ่งแม่พิมพ์ควรมีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในระหว่างที่ช็อกโกแลตแข็งตัวต้องควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ผลึกที่เกิดขึ้นใหม่มีความเสถียรในช่วงแรกที่ใส่พิมพ์ แล้วค่อยทำให้เย็นลงช้าๆโดยการเป่าลมที่อุณหภูมิ 16-18 องศาเซลเซียส ซึ่งช็อกโกแลตจะค่อยๆเย็นตัวลงจาก 30 องศาเซลเซียส เป็น 20 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นควรใช้ลมเย็นลงแต่ไม่ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส ซึ่งลมเป่าต้องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้เหมาะสม ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของห้องสูงผิวหน้าช็อกโกแลตจะเกิดหยดน้ำทำให้ช็อกโกแลตมีผิวหน้าด้านและเกิด Sugar bloom เนื่องจากการละลายและการตกผลึกใหม่ของน้ำตาลบนผิวหน้าช็อกโกแลตที่ผ่านการปรับสภาพอย่างไม่ถูกต้อง เมื่อช็อกโกแลตแข็งตัวจะหดตัวและเกาะออกจากพิมพ์ได้ง่าย (Paszczoła, 1997; Urbanski, 1989)



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช็อกโกแลตระหว่างการควบคุมการตกผลึก

Figure 6 Temperature changes during tempering of chocolate process

- 1 ผลึกไขมันในช็อกโกแลตจะหลอมหมด  
(All seed will be melted)
- 2 กำจัดความร้อนจากการหลอม ยังไม่มีผลึกเกิดขึ้น  
(precooling, no seed-formation)
- 3 เกิดผลึกทั้งชนิดเสถียร ( $\beta$ ) และชนิดไม่เสถียร ( $\beta'$ )  
(stable ( $\beta$ ) and non stable ( $\beta'$ ) polymorph form)
- 4 หลอมผลึกที่ไม่เสถียร ( $\beta'$ ) เหลือแต่ผลึกที่เสถียร ( $\beta$ )  
(non stable polymorph form ( $\beta'$ ) will be melted)

ที่มา: Talbot (1994)

Source: Talbot (1994)

นอกจากช็อกโกแลตใส่พิมพ์แล้วยังมีช็อกโกแลตชนิดเคลือบให้เป็นแท่ง (Enrobing) เช่น เคลือบถั่ว แอลมอนด์ โดยต้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ช็อกโกแลตที่เคลือบจะต้องทำให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องที่ทำการเคลือบ และต้องป้องกันความชื้นบนผิวหน้า ซึ่งความชื้นจะมีผลให้เกิดลักษณะผิวหน้าช็อกโกแลตที่ด้านเกินไปและอาจเกิดฝ้าขาวขึ้น (Slater, 1986)

### 3.3 ช็อกโกแลตจากเนยโกโก้เทียม

ช็อกโกแลตที่ผลิตจากเนยโกโก้เทียมเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไขมันหรือไขมันพืชอื่นที่มีศักยภาพมาใช้ทดแทนเนยโกโก้คั่งที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยปริมาณเนยโกโก้เทียมที่ใช้ทดแทนเนยโกโก้อยู่ในช่วงร้อยละ 5 - 10 ซึ่งเป็นที่ยอมรับของประเทศสมาชิกในกลุ่ม EU (European Union) ได้แก่ ประเทศเดนมาร์ก อังกฤษ ไอแลนด์ สวีเดน โปรตุเกส ฟินแลนด์ และออสเตรเลีย ในขณะที่กลุ่มประเทศสมาชิกใน EEC (European Commission) ยอมรับให้ใช้เนยโกโก้เทียมทดแทนเนยโกโก้ได้มากกว่าร้อยละ 5 (Lipp and Anklam, 1998) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีจุดหลอมเหลวสูง มีความแข็งและแห้ง และให้ลักษณะความมันเงาใกล้เคียงกับช็อกโกแลตที่ใช้เนยโกโก้ แต่จะให้กลิ่นรสที่ด้อยกว่า โดยส่วนผสมที่ใช้ผลิตช็อกโกแลตประเภทนี้แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ส่วนประกอบในการผลิตช็อกโกแลตจากเนยโกโก้เทียม เปรียบเทียบกับช็อกโกแลตที่ผลิตจากเนยโกโก้

Table 8 Composition of chocolate and cocoa butter substitute chocolate production

Composition (%)	Chocolate	CBS Chocolate
Chocolate liquor	42.0	42.0
Cocoa butter	8.4	2.0
Cocoa butter equivalent	-	6.4
Sugar	49.6	49.6
Fat content	31.9	31.9
Lecithin	0.2 - 0.5	0.2 - 0.5

ที่มา : Wainwright (1996)

Source: Wainwright (1996)

Nesaretnam และ Razak (1992) ผลิตช็อกโกแลตโดยใช้เนยโกโก้เทียมได้จาก Illipe fat และ palm mid fraction ทดแทนเนยโกโก้ในอัตราส่วน 85 ต่อ 15 พบว่า ช็อกโกแลตมีความมันเงา เช่นเดียวกับช็อกโกแลตใช้เนยโกโก้แต่ความแข็งจะน้อยกว่า หลังจากการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ ความมันเงาของช็อกโกแลตจะลดลง Ali และ Dimick (1994) ผลิตช็อกโกแลตไม่ใส่นม โดยใช้เนยโกโก้เทียมที่ผลิตจาก palm mid fraction ผสมกับ Shorea butter ทดแทนเนยโกโก้ในอัตราส่วน 85 : 15 พบว่าช็อกโกแลตที่ได้จะใช้เวลาในการ Tempering ค่า Yield Value และ ลักษณะใกล้เคียงกับ

ซ็อกโกแลตที่ผลิตจากเนยโกโก้ร้อยละ 100 สำหรับ Samsudin และ Ali (1996) ผลิตซ็อกโกแลตขาวโดยใช้ palm mid fraction มาผ่านการแยกส่วนทดแทนในเนยโกโก้ พบว่าซ็อกโกแลตที่ได้มีจุดหลอมเหลวใกล้เคียงกับเนยโกโก้ และสามารถเก็บรักษาได้นานกว่า 12 สัปดาห์ Sara และคณะ (1997) ได้ศึกษาการใช้เนยโกโก้เทียมที่ผลิตจากเมล็ดในปาล์มมาดัดแปรด้วยการแยกส่วน (Fractionated palm oil, FHPKO) ทดแทนเนยโกโก้ และผสมกับส่วนของไขมันนม (AMF) ในการผลิตซ็อกโกแลต โดยจะใช้เนยโกโก้เทียมที่ได้ทดแทนเนยโกโก้ในอัตราร้อยละ 5 10 และ 15 เพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิตซ็อกโกแลตลง พบว่าเนยโกโก้เทียมที่ได้จาก FHPKO มีจุดหลอมเหลวใกล้เคียงกันกับเนยโกโก้คือ 31.7 และ 31.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนการหลอมเหลวจะขึ้นอยู่กับขนาด อุณหภูมิที่ใช้และองค์ประกอบหรือตำแหน่งของไตรกลีเซอไรด์ แล้วเมื่อนำซ็อกโกแลตที่ผลิตได้มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องพบว่าตัวอย่างที่เติมเนยโกโก้เทียมสามารถเก็บได้นานกว่า 13 สัปดาห์ โดยไม่เกิดรอยฝ้าขาวบนผิวหน้า แต่เมื่อเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 18 สัปดาห์จะเกิดรอยฝ้าขาวบนผิวหน้าซ็อกโกแลตทำให้ผู้บริโภคไม่ยอมรับ ดังนั้นการใช้เนยโกโก้เทียมทดแทนในสูตรจะสามารถยับยั้งการเกิด fat bloom นอกจากนั้นมีการใช้เนยโกโก้เทียม (CBE) ทดแทนเนยโกโก้ร้อยละ 15 พบว่าซ็อกโกแลตที่ได้มีความแข็งและจุดหลอมเหลวใกล้เคียงกับซ็อกโกแลตจากเนยโกโก้ นอกจากนั้นสามารถเก็บรักษาไว้ที่ 25.5 องศาเซลเซียส ได้นานกว่า 3 เดือน และสามารถยับยั้งการเกิดฝ้าขาวได้ดีกว่าด้วย (Ali *et al.*, 1998)

Ali และคณะ (2001) ศึกษาอายุการเก็บรักษาซ็อกโกแลตเคลือบที่เคลือบด้วย PMF ผสมกับ DCN (15:55, w/w) มาเก็บรักษาที่ 18 และ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 เดือนพบว่าซ็อกโกแลตเก็บที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะมีความแข็งลดลง และจะเกิดฝ้าขาวบนผิวหน้าซ็อกโกแลตเร็วกว่าซ็อกโกแลตที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส

Vercet (2003) ผลิตซ็อกโกแลตขาวจากเนยโกโก้เทียมเคลือบด้วยอัลมอลด์ เพื่อศึกษาการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในระหว่างการเก็บรักษาที่ - 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 เดือน พบว่าเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้นทำให้ HMF (5-hydroxymethyl-3-furfuraldehyde) Fluorescent intermediary product และรงควัตถุสีน้ำตาล (Brown pigment) ซึ่งเป็นตัวชี้การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์เพิ่มขึ้น

### 3.4 การเกิดฝ้าสีขาวบนผิวหน้าซ็อกโกแลต (Fat bloom)

การเกิดฝ้าขาวเป็นปัญหาสำคัญในการผลิตซ็อกโกแลต เนื่องจากจะไปทำลายกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสของซ็อกโกแลต ซึ่งเป็นคำหนึ่ที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าซ็อกโกแลตเป็นลักษณะปรากฏที่ไม่ต้องการ โดยมีลักษณะเป็นจุด หรือแผ่นฟิล์มสีขาวทำให้สีมัวเหมือนซ็อกโกแลตที่เก่าแล้ว เกิดเนื่องจากอุณหภูมิในช่วงการควบคุมผลิต มีการเปลี่ยนแปลงไปทำให้ผลึกของไขมันจากเนยโกโก้ที่

อยู่ในรูปเสถียรเปลี่ยนเป็นรูปผลึกที่ไม่เสถียรหลอมเหลวและแพร่กระจายมาที่ผิวหน้าของช็อกโกแลตแล้วเกิดการตกผลึกใหม่อีกครั้งหนึ่ง แต่มีขนาดของผลึกใหญ่ขึ้นจนแทงเนื้อช็อกโกแลตออกมา (Paszczola, 1997; Lohman and Hartel, 1994) ซึ่งสาเหตุที่ทำให้เกิดฝ้าขาวขึ้น ได้แก่ (Paszczola, 1997)

1. ในขั้นการนวดผสมเมื่อเติมเนยโกโก้ลงไป ทำให้เนยโกโก้ไม่สามารถรวมตัวกับส่วนผสมอื่นได้ และการใช้ไขมันที่มีปริมาณ solid fat ต่ำเช่น น้ำมันถั่ว จะส่งเสริมให้เกิดสีขาวบนผิวหน้าช็อกโกแลตได้ดีขึ้น (Lovegren *et al.*, 1976)

2. การทำให้ช็อกโกแลตเย็นอย่างรวดเร็วในขั้นการควบคุมผลึกทำให้โครงสร้างของช็อกโกแลตในระหว่างการทำให้ช็อกโกแลตเกิดการแข็งตัว จนทำให้เกิดรอยแตกและเป็นรูพรุน

3. อุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษาไม่สม่ำเสมอ จะทำให้เกิดฝ้าขาวได้เช่นกัน หรือเก็บรักษาในสถานะที่มีอุณหภูมิสูงเกินไปจนทำให้ช็อกโกแลตเกิดการหลอม

4. การใช้ไขมันหรือน้ำมันผสมที่มีสมบัติแตกต่างกันทำให้เกิด Eutectic effect โดยปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นในระบบของไขมันผสมที่มีโครงสร้างไตรกลีเซอไรด์ที่แตกต่างกันทำให้ liquid/solid ratio แตกต่างกัน ส่งผลให้ปริมาณไขมันทั้งหมดและองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์มีความแตกต่างกันด้วย ซึ่งทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโครงสร้างไตรกลีเซอไรด์ใหม่เนื่องจากส่วนของของแข็งเกิดการหลอมแล้วรวมตัวกันเกิดการตกผลึกใหม่ของเนยโกโก้ จึงส่งผลให้จุดหลอมเหลวของน้ำมันผสมเปลี่ยนแปลงไป (Miquel *et al.*, 2001; Zainal and Yusoff, 1999; Talbot, 1994)

5. การเกิดฝ้าขาวอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปผลึกของเนยโกโก้จากรูป V ( $\beta$ ) ซึ่งมีความคงตัว ไปเป็นรูป VI ( $\beta'$ ) (Ziegler, 1997)

Lohman และ Hartel (1994) นำช็อกโกแลตที่เติมเนยโกโก้ (CB) หรือ ไขมันนม (MF) หรือ solid fraction ที่ 0 องศาเซลเซียส (OS) 5 องศาเซลเซียส (5S) และ liquid fraction ที่ 0 องศาเซลเซียส (OL) มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 22 วันเพื่อดูการเกิด bloom และอัตราการเกิดฝ้าขาว พบว่า ช็อกโกแลตเติมไขมันนม จะเกิดฝ้าขาวอย่างช้าๆ เมื่อเวลาผ่านไป ส่วนช็อกโกแลตที่เติมเนยโกโก้จะเกิดฝ้าขาวอย่างช้าๆเช่นกันแต่ค่าการเกิดสีขาวจะสูงกว่า ช็อกโกแลตที่เติม OL จะเกิดสีขาวอย่างรวดเร็ว แสดงว่าถ้าเติมไขมันนมลงในช็อกโกแลตที่มีเนยโกโก้จะช่วยให้สามารถยับยั้งการเกิดฝ้าขาวในผลิตภัณฑ์ได้

Ali และคณะ (2001) ศึกษาผลของอุณหภูมิของการเก็บรักษาต่อเนื้อสัมผัส รูปผลึก การเกิดฝ้าขาวของช็อกโกแลตไม่ใส่นมเคลือบด้วยไขมันผสมระหว่าง palm oil midfraction กับ



น้ำมันมะพร้าว (30 ต่อ 15, น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ที่ 18 และ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าซ็อกโกแลตที่เก็บที่ 30 องศาเซลเซียส ไขมันส่วนที่เคลือบจะเกิดการหลอมแล้วเคลื่อนย้ายไปบริเวณผิวหน้าซ็อกโกแลต มีผลทำให้ซ็อกโกแลตอ่อนตัว รูปผลึกเกิดการเปลี่ยนแปลงและส่งผลให้เกิดฝ้าขาวขึ้น เมื่อเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดปรากฏการณ์ Eutectic effect ขึ้น

### วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเนยโกโก้เทียม
2. ศึกษาปริมาณเนยโกโก้เทียมที่เหมาะสมในการใช้ทดแทนเนยโกโก้เพื่อผลิตช็อกโกแลตระดับห้องปฏิบัติการ
3. เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของช็อกโกแลตที่ผลิตจากเนยโกโก้เทียมเทียบกับที่ผลิตจากเนยโกโก้