

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ไอศกรีม

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 222 (2544) บัญญัติไว้ว่า ไอศกรีมเป็นอาหารควบคุมเฉพาะ จะต้องมียุทธศาสตร์มาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนด รวมทั้งวิธีการผลิต เครื่องมือที่ใช้ในการผลิต และการเก็บรักษาอาหาร ภาชนะบรรจุ ตลอดจนฉลากต้องผ่านการตรวจสอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาว่ามีความถูกต้องเหมาะสม จึงจะสามารถผลิตหรือนำเข้าเพื่อออกจำหน่ายได้ ซึ่งตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขดังกล่าว ได้แบ่งไอศกรีมเป็น 5 ชนิด และกำหนดคุณภาพมาตรฐานของไอศกรีมแต่ละชนิดไว้ ดังนี้

1) ไอศกรีมนม ได้แก่ ไอศกรีมที่ทำขึ้นโดยใช้นม หรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากนม โดยต้องมีมันเนยเป็นส่วนผสมไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และมีธาตุน้ำนมไม่รวมมันเนยไม่น้อยกว่าร้อยละ 7.5 ของน้ำหนัก

2) ไอศกรีมดัดแปลง ได้แก่ ไอศกรีมนมที่ทำขึ้นโดยใช้ไขมันชนิดอื่นแทนมันเนยทั้งหมดหรือบางส่วน หรือไอศกรีมที่ทำขึ้นโดยใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีไขมัน แต่ผลิตภัณฑ์นั้นมีไขมันที่ต่ำกว่าที่ได้จากนม และต้องมีไขมันทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนัก

3) ไอศกรีมผสม ได้แก่ ไอศกรีมนม หรือไอศกรีมดัดแปลง ซึ่งมีผลไม้ หรือวัตถุอื่นที่เป็นอาหารเป็นส่วนผสมอยู่ด้วย โดยต้องมีมาตรฐานเช่นเดียวกับไอศกรีมนม หรือไอศกรีมดัดแปลง ทั้งนี้ไม่นับรวมน้ำหนักของผลไม้หรือวัตถุที่เป็นอาหารอื่นผสมอยู่ด้วย

4) ไอศกรีมชนิดเหลว หรือแข็ง หรือผง ได้แก่ ไอศกรีมนม ไอศกรีมดัดแปลง หรือไอศกรีมผสมที่เป็นชนิดเหลว หรือแข็ง หรือผง นั่นเอง ซึ่งต้องไม่มีกลิ่นหืน มีกลิ่นตามลักษณะเฉพาะของไอศกรีมชนิดนั้น มีลักษณะไม่เกาะเป็นก้อน ไม่มีวัตถุกันเสีย มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค และไม่มีสารพิษจากจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

5) ไอศกรีมหวานเย็น ได้แก่ ไอศกรีมที่ทำขึ้นโดยใช้น้ำ และน้ำตาล หรืออาจมีวัตถุอื่นที่เป็นอาหารเป็นส่วนผสมอยู่ด้วย และอาจใส่วัตถุแต่งกลิ่น รส และสีด้วยก็ได้

ไอศกรีมทั้ง 5 ชนิด ต้องไม่มีกลิ่นหืน ไม่มีวัตถุกันเสีย ไม่มีเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค และไม่มีสารพิษจากเชื้อจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

นอกจากนี้แล้วยังสามารถจำแนกไอศกรีมออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้ (นรินทร์, 2528)

- 1) ไอศกรีมที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์นม ส่วนประกอบส่วนใหญ่ของไอศกรีมชนิดนี้ จะเป็นผลิตภัณฑ์นม เช่น มันเนย ของแข็งในนมที่ไม่รวมไขมัน (milk solid non fat; MSNF) เป็นต้น
- 2) ไอศกรีมที่ใช้น้ำมันพืช เนื่องจากไขมันนมมีราคาแพงและหาได้ยากในบางประเทศ จึงมีผู้นิยมใช้น้ำมันพืชทดแทนมันเนย แต่ยังใช้ MSNF อยู่
- 3) ไอศกรีมที่ใช้น้ำผลไม้กับผลิตภัณฑ์นม นิยมเรียกไอศกรีมชนิดนี้ว่า เชอร์เบต (sherbet) ซึ่งแตกต่างจากประเภทที่ 1) เพราะมีน้ำผลไม้เป็นส่วนผสมด้วย
- 4) น้ำแข็งแท่ง เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช้ผลิตภัณฑ์นมเป็นส่วนผสมเลย แต่โรงงานส่วนใหญ่ มักจะมีการผลิตควบคู่ไปกับการผลิตไอศกรีม มีส่วนประกอบสำคัญ คือ น้ำตาล น้ำผลไม้และน้ำ

## 2.2 ลักษณะของผลิตภัณฑ์เชอร์เบต

เชอร์เบต (sherbet) เป็นผลิตภัณฑ์ขนมหวานแช่แข็ง มีส่วนประกอบได้แก่ น้ำ น้ำตาล หรือสารให้ความหวาน ผลไม้หรือกลิ่นผลไม้ กรดผลไม้ สารให้สี สารให้ความคงตัว มีไขมันและส่วนของแข็งที่เป็นนม (milk solid) ในปริมาณเล็กน้อย (Marshall และ Arbuckle, 1996) เมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ และความแตกต่างระหว่างเชอร์เบตกับไอศกรีมนมทั่วไป พอสรุปได้ดังนี้

- 1) เชอร์เบตมีปริมาณของกรดผลไม้สูงกว่าไอศกรีมนม โดยเชอร์เบตมีปริมาณของกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity) ในรูปของกรดแลคติกอย่างน้อยที่สุดร้อยละ 0.35 การที่มีกรดในผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้กลิ่นรสฝาด
- 2) เชอร์เบตมีค่าโอเวอร์รัน (overrun) ต่ำกว่าไอศกรีมนม โดยมีค่าโอเวอร์รันประมาณร้อยละ 25-50
- 3) เชอร์เบตมีปริมาณน้ำตาลร้อยละ 25-35 ซึ่งสูงกว่าไอศกรีม ดังนั้น จึงมีจุดหลอมละลายที่ต่ำกว่าไอศกรีมนม
- 4) เชอร์เบตมีเนื้อสัมผัสหยาบหรือมีลักษณะของผลึกน้ำแข็งมากกว่าไอศกรีมนม และเมื่อบริโภคจะรู้สึกเย็นในปากมากกว่าไอศกรีมนม
- 5) เชอร์เบตมีความชื้นมันน้อยกว่าไอศกรีมนม เนื่องจากมีปริมาณของแข็งที่เป็นนมน้อยกว่า

ความแตกต่างระหว่างเชอร์เบตกับผลิตภัณฑ์ขนมหวานแช่เยือกแข็งแสดงดังตารางที่ 2.1 โดยเชอร์เบตมีปริมาณของแข็งที่เป็นนมร้อยละ 2-5 ซึ่งน้อยกว่าไอศกรีมชนิดอื่นๆ และมีไขมันปริมาณร้อยละ 1-2 เท่านั้น จึงทำให้มีลักษณะแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ขนมหวานแช่เยือกแข็งดังกล่าวมาข้างต้น และเนื่องจากเชอร์เบตมีปริมาณของแข็งที่เป็นนมและไขมันเล็กน้อย จึงมีลักษณะเนื้อสัมผัสเนียนกว่าน้ำแข็งแท่ง (water ice) ซึ่งไม่มีส่วนผสมของของแข็งที่เป็นนมหรือไขมัน

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานขององค์ประกอบต่าง ๆ ในผลิตภัณฑ์ขนมหวานแช่เยือกแข็ง

product	minimum fat (%)	maximum fat (%)	minimum protein (%)	minimum TMS* (%)	minimum acidity (%)	egg yolk solid (%)
plain flavor ice cream	10.0	-	-	20.0	-	<1.4
bulky flavor ice cream	8.0	-	-	16.0	-	<1.12
sherbet	1	1-2	-	2-5	0.35	-
water ice	-	-	-	-	0.35	-

หมายเหตุ : TMS\* = total milk solid

ที่มา : ดัดแปลงจาก Marshall และ Arbuckle (1996)

## 2.3 องค์ประกอบของเชอร์เบต

### 2.3.1 สารให้ความหวาน

สารให้ความหวาน (sweeteners) ที่นำมาใช้ในเชอร์เบตมีหลายชนิด เช่น ซูโครส กลูโคส ฟรุคโตส น้ำผึ้ง และไซรัปจากข้าวโพด โดยจุดประสงค์ของการใช้สารให้ความหวานในเชอร์เบตนั้น เพื่อให้ความหวานแก่ผลิตภัณฑ์และช่วยให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดในส่วนผสมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้สารให้ความหวานยังช่วยเพิ่มความหนืด ปรับปรุงเนื้อสัมผัสของเชอร์เบตให้ดีขึ้น และลดจุดเยือกแข็งของเชอร์เบตมิคซ์ เชอร์เบตจึงไม่แข็งตัว เมื่อเก็บในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิประมาณ 4 °C น้ำหนักโมเลกุลของสารให้ความหวานที่ใช้มีผลต่อจุดเยือกแข็งของเชอร์เบตเป็นอย่างมาก สารให้ความหวานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะทำให้จุดเยือกแข็งของเชอร์เบตลดลงได้มากกว่าสารให้ความหวานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ดังนั้น การเลือกใช้สารให้ความหวานต่างชนิดกันในเชอร์เบต อาจทำให้เชอร์เบตที่ได้มีคุณลักษณะต่างกัน (Marshall และ Arbuckle, 1996)

ส่วนใหญ่นิยมใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับกลูโคสไซรัปในการผลิตเชอร์เบต เนื่องจากน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ดี หาง่าย มีความหวานสูง และมีผลต่อการลดลงของจุดเยือกแข็ง

ของเซอร์เบทเป็นอย่างมาก ส่งผลให้เซอร์เบทมีจุดเยือกแข็งค่อนข้างต่ำ แต่น้ำตาลซูโครสมีราคาสูง จึงนิยมใช้ร่วมกับกลูโคสไซรัปด้วย เพื่อช่วยลดต้นทุนในการผลิต (Marshall และ Arbuckle, 1996)

Goff และคณะ (1990) ได้ทดลองใช้ไซรัปจากข้าวโพดที่มีค่า Dextrose equivalent (DE) ต่างๆ กัน ในการผลิตไอศกรีมเพื่อลดความหวานของไอศกรีม พบว่า เมื่อใช้ไซรัปที่มีค่า DE สูง ความหนืดของไอศกรีมมิกซ์จะลดลง จุดเยือกแข็งลดลง การเกิด fat destabilization ลดลงและความแน่นเนื้อของไอศกรีมลดลง Conforti (1994) ได้ศึกษาการใช้ high fructose corn sweetener-90 ผสมกับ high maltose sweetener ในอัตราส่วนร้อยละ 50 : 50 เพื่อผลิตไอศกรีมวนิลา พบว่า ไอศกรีมที่ทำจากน้ำตาลซูโครสจะละลายเร็วกว่าไอศกรีมที่ใช้สารให้ความหวานจากข้าวโพด นอกจากนี้ สารให้ความหวานจากข้าวโพดยังช่วยลดความหวานและให้เนื้อสัมผัสที่เนียนกว่า การใช้น้ำตาลซูโครสเพียงอย่างเดียวในสูตรไอศกรีมหรือเซอร์เบทนั้น จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหวานมากเกินไปและมีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (อุษา, 2541) Arndt และ Wehling (1989) ได้ใช้ hydrolyzed syrup และ hydrolyzed-isomerized syrup ที่ผลิตจากเวย์ (whey) แทนที่น้ำตาลซูโครสร้อยละ 25 ของปริมาณน้ำตาลในไอศกรีม พบว่า การแทนที่น้ำตาลบางส่วนนี้มีผลต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสเล็กน้อย แต่ไม่มีผลต่ออัตราการละลายของไอศกรีม

การใช้แอสพาเทมในเซอร์เบทเป็นอีกวิธีหนึ่งในการให้ความหวาน และให้พลังงานต่ำแก่ผลิตภัณฑ์ (McPherson และคณะ, 1978) โดยปกติปริมาณน้ำตาลที่ใช้ในเซอร์เบทจะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 25-35 (Arbuckle, 1986) บางรายงานอาจใช้น้ำตาลร้อยละ 20-30 (Andreasen, 1985) ซึ่งมากกว่าในไอศกรีมถึง 2 เท่า ดังนั้น สิ่งสำคัญในการผลิตเซอร์เบทให้มีคุณภาพดี คือ ต้องควบคุมปริมาณน้ำตาลและค่าโอเวอร์รันที่ได้ การใช้สารให้ความหวานในเซอร์เบทสามารถใช้ได้มากกว่า 2 ชนิดขึ้นไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับราคาของสารให้ความหวานแต่ละชนิด การลดลงของจุดเยือกแข็ง (freezing depression) ในเซอร์เบทมิกซ์ รวมทั้งผลต่อความข้นหนืด (consistency) ของเซอร์เบทระดับความเข้มข้นของรสหวานและผลต่อการรับรู้รสชาติของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ดังนั้น อาจใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับกลูโคสไซรัป เพื่อทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อแน่นขึ้น มีลักษณะเนื้อ (body) มากขึ้น และทำให้การรับรู้กลิ่นรสเป็นไปอย่างช้าๆ แต่ถ้าใช้น้ำตาลซูโครสร่วมกับ high fructose corn syrup (HFCS) จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสเนียนกว่าและเกิดการรับรู้กลิ่นรสเร็วขึ้น (Andreasen, 1985) จากที่กล่าวมา สามารถสรุปได้ว่า การใช้สารให้ความหวานในเซอร์เบท ต้องเลือกชนิดและปริมาณน้ำตาลที่เติมลงไป และเมื่อมีการเติมผลไม้ลงไป ในเซอร์เบท ต้องทราบปริมาณน้ำตาลในผลไม้ชนิดนั้นด้วย

### 2.3.2 ส่วนของแข็งในนมที่ไม่รวมไขมัน

ส่วนของแข็งในนมที่ไม่รวมไขมัน (milk solid not fat; MSNF) คือ ส่วนของนมหลังจากที่แยกน้ำและไขมันออก หรือเรียกอีกอย่างว่า serum solid ซึ่งมาตรฐานการใช้ของแข็งที่เป็นนมในผลิตภัณฑ์เชอร์เบทกำหนดไว้ว่า ควรมี MSNF ร้อยละ 2-4 และ/หรือมีไขมันร้อยละ 1-3 (Andreasen, 1985) โดยวัตถุดิบที่ให้ส่วนของแข็งในนมนี้ ได้จากผลิตภัณฑ์นมต่าง ๆ เช่น หางนม ผง นมระเหย เป็นต้น (อุษา, 2541) โดยบทบาทและหน้าที่ของโปรตีนจากการเติม MSNF จะกล่าวต่อไปในภายหลัง

### 2.3.3 ไขมัน

แหล่งของไขมันที่ใช้ เช่น จากนม ครีม เนย และไขมันปราศจากน้ำ (anhydrous milk fat) จะเป็นตัวกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลิตภัณฑ์เชอร์เบทที่มีคุณภาพสูงจะใช้ครีมสด การใช้ไขมันที่อยู่ในสภาพที่แข็งกว่าหรือไขมันที่มีจุดหลอมเหลวที่สูงกว่ามาผลิตเชอร์เบท อาจมีผลทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเหมือนจี๊ตี่ หลายประเทศส่วนใหญ่ผลิตเชอร์เบทจากไขมันนม แต่มีบางประเทศ เช่น สหราชอาณาจักร และฟินแลนด์ อนุญาตให้ใช้ไขมันจากพืชได้ ในสหรัฐอเมริกา มีกฎหมายกำหนดให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตด้วยไขมันจากพืชต้องแสดงบนฉลาก และยังคงต้องระบุปริมาณของไขมันที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ ส่วนในเอเชียยอมให้ใช้ไขมันจากพืชในเชอร์เบทได้ เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากในแถบประเทศที่ไม่มีการเลี้ยงโคนมนั้น ไขมันนมจะมีราคาแพง โดยไขมันจากพืชที่นิยมใช้ ได้แก่ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม และน้ำมันเมล็ดปาล์ม เป็นต้น (ภัทรา, 2540) โดยบทบาทและหน้าที่ของไขมันจะกล่าวต่อไปในภายหลัง

### 2.3.4 สารให้ความคงตัว

สารให้ความคงตัว (stabilizer) ที่ใช้ในเชอร์เบทเป็นกลุ่มเดียวกับที่ใช้ในไอศกรีมทั่วไป แต่จะแตกต่างกันที่ชนิดและสัดส่วนที่ใช้ผสม ซึ่งจากการศึกษาผลการเติม polydextrose ในเชอร์เบทเสาวรส พบว่า ช่วยเพิ่มความหนืดให้กับเชอร์เบทมิกซ์ ทำให้มีความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์มากขึ้น ส่งผลให้เมื่อนำเชอร์เบทมิกซ์ไปปั่น จึงกักอากาศได้ดีขึ้น และมีค่า overrun เพิ่มขึ้น โดยค่า overrun จะแปรผันโดยตรงตามปริมาณของ polydextrose ที่เพิ่มขึ้น (มณีรัตน์, 2548) และจากการศึกษาหาปริมาณสารให้ความคงตัวที่เหมาะสมในการผลิตเชอร์เบทกระเจี๊ยบจากน้ำวhey โดยแปรผันปริมาณของสารให้ความคงตัวทางการค้า (Lygome Fz 120) เป็น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.2, 0.3 และ 0.4 ของเชอร์เบทมิกซ์ พบว่า เมื่อใช้ปริมาณสารให้ความคงตัวที่ร้อยละ 0.4 ของเชอร์เบทมิกซ์ ได้คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความเรียบเนียน ความサクลิ้น กลิ่นรส และการยอมรับรวมมากขึ้น ซึ่งแตกต่างกับตัวอย่างอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) (อุไรวรรณ, 2548) แต่ส่วนมากจะใช้ส่วนผสมของสารไฮโดรคอลลอยด์ เช่น อัลจิเนต คาราจีแนน โลคัสทีนัม กัวร์กัม

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เจลาติน หรือเพกติน ซึ่งการใช้สารให้ความคงตัวตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป จะช่วยทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพมากขึ้น แต่ต้องพิจารณาอัตราส่วนของสารให้ความคงตัวที่ใช้ร่วมกัน (Andreasen, 1985; Arbuckle, 1986)

นอกจากนี้ยังนิยมผสมสารให้ความคงตัวและ emulsifier ร่วมกัน เพื่อให้ทำหน้าที่ที่ดีที่สุด ในไอศกรีม full-fat และเป็นประโยชน์ต่อไอศกรีมไขมันต่ำหรือไม่มีไขมัน ถึงแม้จะใช้ในปริมาณที่น้อยก็ตาม ซึ่ง emulsifier จะสร้าง dramatic body และมีผลต่อเนื้อสัมผัสในไอศกรีมไขมันต่ำ โดย emulsifier ที่เติมไปในไอศกรีม ทำหน้าที่สำคัญหลายอย่าง เช่น ควบคุมการเกิด fat destabilization ลด whipping time เพิ่มความต้านทานการละลายและการหดตัว อีกทั้งทำให้ dryness คีขึ้น (Lal และคณะ, 2006) ซึ่งแม้ว่างานวิจัยดังกล่าวไม่ใช่เชอร์เบทโดยตรง แต่เชอร์เบทก็จัดได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่มีไขมันต่ำประเภทหนึ่ง จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้

### 2.3.5 กรดซิตริก

เชอร์เบทควรมีค่าความเป็นกรดที่ไทเทรตได้ (titratable acidity) ในรูปของกรดแลคติก อย่างน้อยที่สุดร้อยละ 0.35 โดยกรดที่นิยมใช้กันมากในผลิตภัณฑ์เชอร์เบท คือ กรดซิตริก (citric acid) ซึ่งเตรียมในรูปของสารละลายเข้มข้นร้อยละ 50 เพื่อนำไปเติมในผลิตภัณฑ์ การปรับกรดในเชอร์เบทควรทำหลังการพาสเจอร์ไรซ์ หากปรับก่อนพาสเจอร์ไรซ์จะทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพและตกตะกอน ทำให้เชอร์เบทมีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (อุษา, 2541) การเติมกรดลงในเชอร์เบทนี้ ทำให้เชอร์เบทมีความแตกต่างจากไอศกรีม ช่วยเพิ่มรสเปรี้ยวให้แก่เชอร์เบทมีกซ์ เมื่อน้ำผลไม้มีความเปรี้ยวไม่เพียงพอ ปริมาณของกรดที่ใช้จึงขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ ปริมาณของน้ำตาลและการยอมรับของผู้บริโภค เช่น เมื่อมีปริมาณน้ำตาลร้อยละ 25-30 อาจเติมกรดร้อยละ 0.36 หรือใช้กรดร้อยละ 0.40 เมื่อมีน้ำตาลร้อยละ 30-35 เป็นต้น (Arbuckle, 1986)

### 2.3.6 น้ำผลไม้

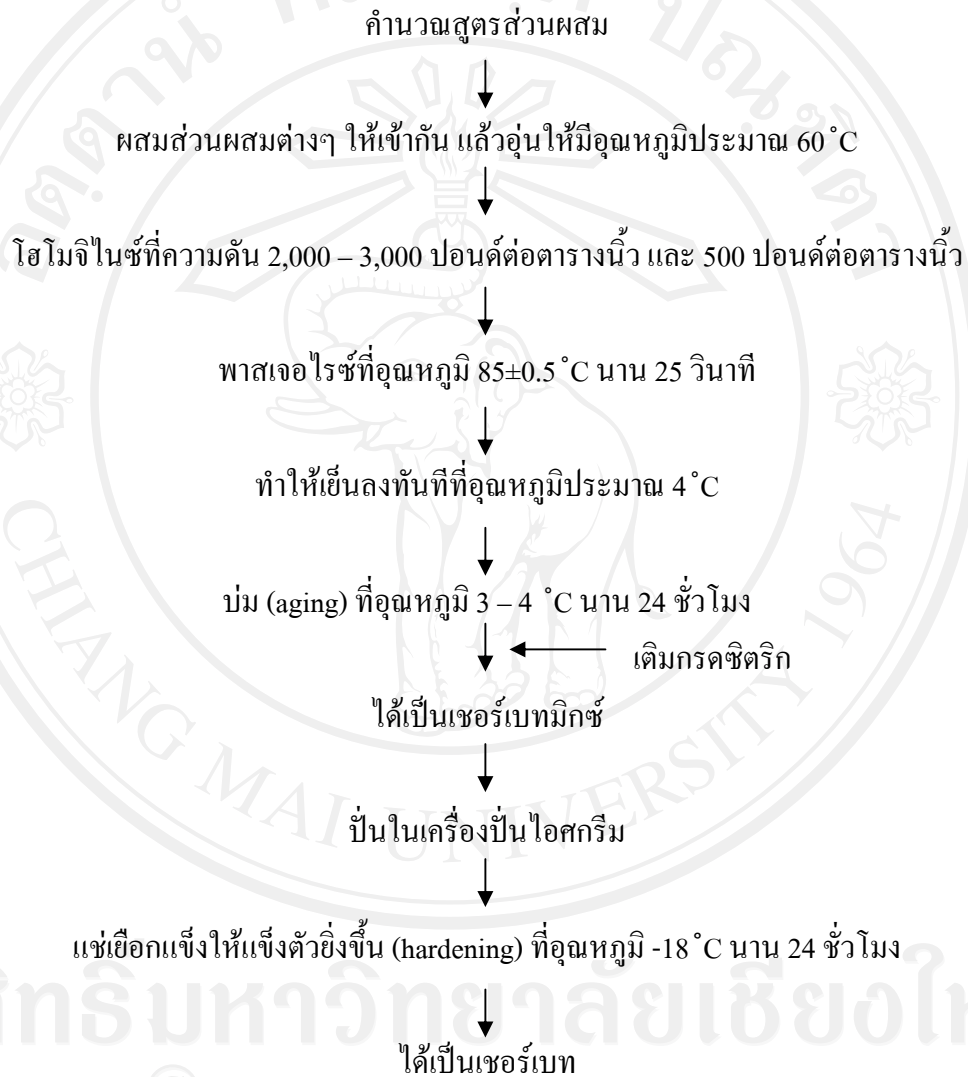
ปริมาณน้ำผลไม้ (fruit juice) ที่ใช้ขึ้นอยู่กับความแรงของกลิ่นผลไม้ แต่ควรใช้ในปริมาณร้อยละ 15-20 ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์สุดท้าย การเลือกใช้ผลไม้ควรเลือกชนิดที่มีเมล็ดไม่มากนัก (อุษา, 2541) นอกจากนี้ยังสามารถใช้น้ำผักเป็นส่วนผสมแทนการใช้น้ำผลไม้ได้อีกด้วย

### 2.3.7 น้ำ

น้ำใช้เติมเพื่อปรับให้ส่วนผสมมีน้ำหนักรวมเป็นร้อยละ 100 โดยใช้ร่วมกับส่วนของน้ำผลไม้ร้อยละ 15-20 ที่จะเติมลงไปในส่วนผสม

## 2.4 กระบวนการผลิตเซอร์เบท

การผลิตเซอร์เบทมีขั้นตอนเช่นเดียวกับไอศกรีม โดยเตรียมส่วนผสมของเซอร์เบท และทำตามขั้นตอนต่างๆ ดังภาพที่ 2.1 หรืออาจจะใช้ไอศกรีมมิกซ์ แล้วเติมส่วนผสมอื่นๆ ให้ได้ตามมาตรฐานของเซอร์เบทก็ได้



ภาพที่ 2.1 กระบวนการผลิตเซอร์เบท

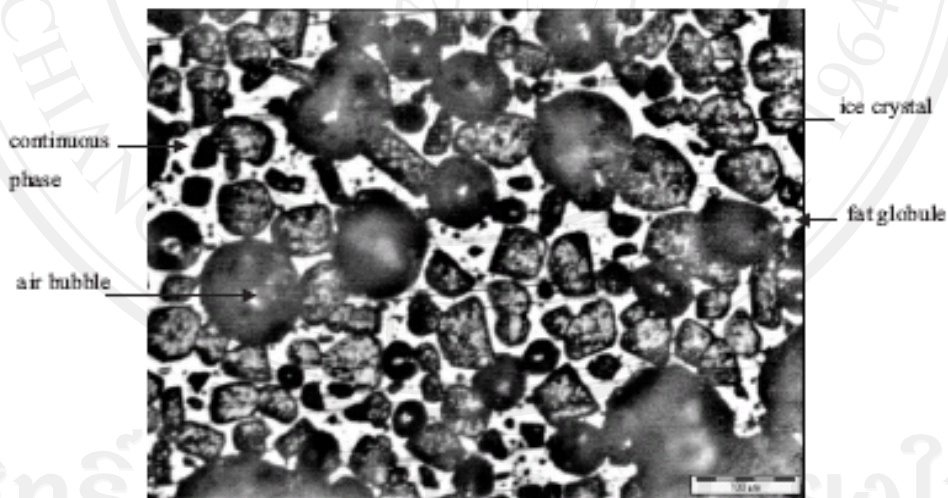
ที่มา : ดัดแปลงจาก Caillet และคณะ (2003)

การเตรียมส่วนผสมเบื้องต้น (base mix) ตามวิธีของ Arbuckle (1986) ควรใช้วิธีนำส่วนผสมต่างๆ มาละลายในน้ำ โดยการค่อยๆ เติมลงในน้ำและมีการคนตลอดเวลา เพื่อป้องกันการจับกันเป็นก้อน หรืออาจจะอุ่นน้ำให้ร้อนเพื่อทำให้ละลายได้ดีขึ้น

กระบวนการที่เกี่ยวข้องในการผลิตเซอรัมที่มีบทบาทสำคัญในการทำให้เซอรัมมีคุณภาพที่ดี ซึ่งจากการวิจัยของ Segall และ Goff (2002) ได้ใช้ two-phase process คือ emulsion (ได้แก่ ไขมัน โปรตีนบางส่วน และน้ำ) และ solution (ประกอบด้วย โปรตีน น้ำตาล corn syrup solids สารให้ความคงตัว และน้ำ) รวมเข้าด้วยกันก่อนจะแช่เยือกแข็ง ทำให้ได้ไอศกรีมที่มีความคงตัวของไขมันที่ดีและละลายช้า แสดงถึงการเกิดโครงสร้างของไอศกรีมที่ต้องการ โดยไม่ต้องมีการเติม emulsifiers

## 2.5 โครงสร้างระดับจุลภาคและลักษณะทางกายภาพของเซอรัม

ไอศกรีมมีลักษณะเป็นอิมัลชัน (emulsion) แบบ ไขมันกระจายตัวอยู่ในน้ำ (oil in water emulsion) โครงสร้างภายในประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนหลัก คือ ของแข็ง ของเหลว และอากาศ อยู่รวมกันเป็น 3 วัฏภาค เรียกว่า Three-Phase System โดยฟองอากาศ (air bubbles) จะกระจายตัวอยู่ในส่วนของของเหลวระหว่างผลึกน้ำแข็ง (Walstra และคณะ, 1999) ซึ่งเซอรัมเป็นประเภทหนึ่งของไอศกรีมที่มีส่วนผสมของน้ำผลไม้หรือน้ำผัก ที่ยังคงมีส่วนผสมของนมหรือครีม



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของไอศกรีมจากการส่องกล้องจุลทรรศน์ด้วยวิธี direct microscopy

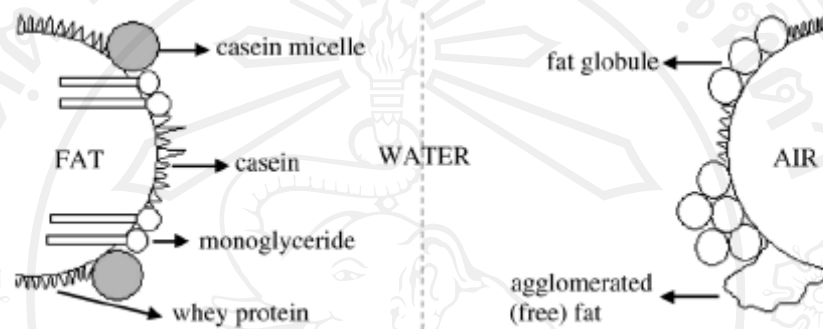
(ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรไอศกรีมมิกซ์ทั้งหมด ( $\mathcal{E}$ ) = 0.4; อุณหภูมิของไอศกรีมมิกซ์ ( $T_f$ ) =  $-5^{\circ}\text{C}$ ; อุณหภูมิแช่เยือกแข็ง ( $T_h$ ) =  $-20^{\circ}\text{C}$ ; กำลังขยาย ( $X$ ) = 100)

ที่มา : Caillet และคณะ (2003)

เมื่อนำตัวอย่างไอศกรีมมาส่องกล้องจุลทรรศน์ด้วยวิธี direct microscopy (ภาพที่ 2.2) พบว่า ฟองอากาศจะมีลักษณะทึบและเป็นรูปทรงกลม ผลึกน้ำแข็งจะสังเกตเห็นเป็นสีเทา และ cryoconcentrated continuous phase (ประกอบด้วยวัตถุคิบัแห้งและน้ำที่ไม่แข็งตัว) จะเห็นเป็นสีขาว ส่วนอนุภาคไขมันจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ  $1\ \mu\text{m}$  มีลักษณะเป็นจุดสีดำรอบๆ ผิว



ฟองอากาศ (Caillet และคณะ, 2003) โดยฟองอากาศในโครงสร้างไอศกรีมจำเป็นต้องมีลักษณะเป็นทรงกลม แม้ว่า จะเกิดการบิดเบี้ยว เนื่องจากไขมันและการเกิดผลึกน้ำแข็งบ้างก็ตาม ซึ่งองค์ประกอบที่อยู่รอบๆ ฟองอากาศจะเป็น non-newtonian fluid ประกอบด้วยกลุ่มของไขมัน (มากกว่า 80%) และผลึกน้ำแข็งเล็กๆ (Aime และคณะ, 2001) โดยในการผลิตเชอร์เบต ต้องเข้าใจถึง rheology ของ fluid ผสมรอบๆ ฟองอากาศ ว่า จะเกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการลดลงของกลุ่มไขมันมากกว่าโครงสร้างของ fluid ผสมของ ไอศกรีมปกติ



ภาพที่ 2.3 fat/water และ air/water interfaces ในไอศกรีม

ที่มา : Lal และคณะ (2006)

ปัจจัยที่มีผลต่อรสชาติและเนื้อสัมผัสของไอศกรีม คือ ผิวสัมผัส (fat/water interface และ air/water interface) และโปรตีน (ภาพที่ 2.3) โดย mono-glyceride เป็น emulsifier ที่นิยมใช้ในไอศกรีม ซึ่งทั้ง mono-glyceride และ โปรตีน จะไปเรียงตัวอยู่ที่ผิวสัมผัส (fat/water interface และ air/water interface) โดยจะมีส่วนทำให้เม็ดไขมันที่อยู่ในไอศกรีมมีเสถียรภาพการเป็นอิมัลชัน อีกทั้ง โปรตีนที่เสถียรภาพแล้ว จะช่วยให้เม็ดไขมันเกิดการรวมตัวกัน (agglomerated) ซึ่งการรวมตัวกันของเม็ดไขมันจะทำให้ผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำมีความคงตัวยิ่งขึ้น ลดที่ว่างของการเกิดผลึกน้ำแข็งในโครงสร้างของไอศกรีม ส่งผลให้ไอศกรีมมีลักษณะเนียนนุ่ม (Lal และคณะ, 2006) ซึ่งแม้ว่างานวิจัยดังกล่าวไม่ใช่เชอร์เบตโดยตรง แต่องค์ประกอบโครงสร้างที่คล้ายกันจึงสามารถประยุกต์ใช้เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ขององค์ประกอบในเชอร์เบตได้

คุณสมบัติของโครงสร้างระดับจุลภาคและคุณสมบัติทางด้านกายภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมนี้มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประเมินลักษณะเนื้อสัมผัส (Aime และคณะ, 2001) จากรายงาน พบว่า ความหนืดของไอศกรีมมีผลต่ออายุการเก็บรักษาและเนื้อสัมผัสของไอศกรีม รวมถึงเชอร์เบตด้วย ซึ่งอัตราการแช่เยือกแข็งและการเจริญของผลึกน้ำแข็งในนม นั้น มีความสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของไอศกรีม (Bakshi และ Smith, 1985)

## 2.6 บทบาทของโปรตีนต่อเชอร์เบท

ส่วนมากแหล่งของโปรตีนที่ใช้ในเชอร์เบท คือ ส่วนของแข็งในนมที่ไม่รวมไขมัน (milk solid not fat; MSNF) เช่นเดียวกับแหล่งของโปรตีนที่ใช้ในไอศกรีม แต่ปริมาณที่ใช้ในเชอร์เบทจะน้อยกว่าที่ใช้ในไอศกรีม โดย MSNF จะเป็นตัวทำให้เกิดกลิ่นรส (flavor) ลักษณะเนื้อ (body) และปรับปรุงคุณสมบัติด้านการละลาย ทำให้อัตราการตีขึ้นฟูสูง โดยไม่ทำให้เกิดเป็นเกล็ดน้ำแข็งและปรับปรุงด้านเนื้อสัมผัส (ด้วยคุณสมบัติของโปรตีน คือ มีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ สมบัติในการขึ้นฟู สมบัติในการอุ้มน้ำ การเพิ่มความหนืดของส่วนผสม ทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กที่คงที่ด้วย) แต่ถ้าใช้มากเกินไปจะทำให้ไอศกรีมไม่อร่อย และทำให้การอัดอากาศเป็นไปได้ยาก เมื่อชิมจะเกิดลักษณะซากลิ้น (sandiness) ซึ่งเกิดจากการตกผลึกของแล็กโทส ทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อไม่แข็ง เนื่องจากมีน้ำอยู่มากเกินไป นอกจากนี้กลิ่นของนมข้น หรือนมผงอาจไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากทำให้เกิด cooked flavor (กลิ่นที่เกิดจากหมู่ซัลไฟดริลลิสระ เนื่องจากการใช้ความร้อนสูง) (นภาศรี, 2526)

การที่เติม MSNF ลงไปนั้นช่วยให้ผลิตภัณฑ์เป็นอิมัลชันที่ดี เพราะโปรตีนนมเป็นเสมือนเยื่อหุ้ม (membranes) ที่ห่อหุ้มอนุภาคไขมันเอาไว้ กลิ่นรสจะถูกปลดปล่อยออกมาช้าๆ นอกจากนี้โปรตีนนมยังสามารถจับกับน้ำทำให้เพิ่มความหนืดแก่ไอศกรีมมิกซ์ และทำให้มีลักษณะเป็นครีม (creamy) ให้แก่ผลิตภัณฑ์อีกด้วย (อุษา, 2541)

Geilman และ Schmidt (1992) ได้ทดลองใช้เวย์ที่ได้จากขั้นตอนการผลิตเนยแข็งคอตเทจเป็นส่วนผสมในเชอร์เบทรสส้มในปริมาณร้อยละ 45-46 พบว่า ไม่มีความแตกต่างกับเชอร์เบทที่ใช้นมผง นอกจากนี้ยังอาจใช้ของเหลวที่ได้จากอัลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltered whole milk retentate) ในการทำขนมหวานแช่เยือกแข็งแทนการใช้นมผงพร้อมมันเนย โดยการผลิตเชอร์เบท ด้วยการใช้เวย์ที่ได้จากการผลิตเนยแข็งคอตเทจที่ใช้กรดในการช่วยตกตะกอนโปรตีนนม และมีส่วนผสมของเชอร์เบทประกอบด้วย ไขมันร้อยละ 1 ของแข็งจากเวย์ (serum solids) ร้อยละ 4 สารให้ความคงตัว ร้อยละ 0.4 สารให้ความหวานร้อยละ 25.7 และไอศกรีมมิกซ์ที่มีไขมันร้อยละ 12 MSNF ร้อยละ 11 ซูโครสร้อยละ 14 corn syrup solid ร้อยละ 1.6 พบว่า สามารถใช้เวย์ได้ถึงร้อยละ 46 โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความเป็นกรดที่ไทเทรตได้สูงกว่าเชอร์เบทที่ไม่เติมเวย์ แต่เมื่อทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ไม่พบความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์ (Demott และ Sanders, 1980) อย่างไรก็ตาม มีบางงานวิจัยที่ศึกษาการลดต้นทุนการผลิต โดยใช้แป้งท้าวยายม่อม (arrowroot powder) แทน MSNF ในไอศกรีมแบบซอฟเสิร์ฟ (soft-serve) พบว่า สามารถใช้แทน MSNF ได้ถึงร้อยละ 20-40 โดยไอศกรีมที่ได้มีความหนืดเพิ่มขึ้น การละลายช้าลง แต่ค่าความเป็นกรด ปริมาณโปรตีนและค่าโอเวอร์รันลดลง การเติมผงดังกล่าวนี้ไม่มีผลทางด้านประสาทสัมผัสและสามารถลดต้นทุนการ

ผลิตลงได้ร้อยละ 12.04 (Nakjirungkura, 1998) นอกจากนี้ Dervisoglu (2006) ได้ศึกษาผลของการใช้ hazelnut flour (ร้อยละ 1.5, 3 และ 4.5) และ hazelnut kernel skin (ร้อยละ 1, 2 และ 3) เป็นสารทดแทนไขมันต่อคุณลักษณะทางกายภาพ ทางเคมีและทางประสาทสัมผัสของไอศกรีมวนิลา พบว่า hazelnut flour และ hazelnut skin มีความเหมาะสมที่จะใช้ในไอศกรีมวนิลาได้ ซึ่งตัวอย่างที่เติม hazelnut flour มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ในโตรเจน เถ้า ความหนืด กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏดีกว่าการเติม hazelnut skin โดยสามารถใช้ hazelnut flour ได้มากถึงร้อยละ 3 ส่วน hazelnut skin ควรใช้ไม่เกินร้อยละ 1 เพื่อให้ได้ไอศกรีมที่มีคุณลักษณะที่ต้องการมากที่สุด

#### ตารางที่ 2.2 ชนิดและปริมาณโปรตีนที่พบในน้านมวัว

ชนิดของโปรตีน	ความเข้มข้น (กรัม/ลิตร)	ร้อยละต่อโปรตีนทั้งหมด
<b>เคซีน</b>	<b>24 – 28</b>	<b>80</b>
แอลฟา – เคซีน	15 – 19	42
$\alpha_s_1$ – เคซีน	12 – 15	34
$\alpha_s_2$ – เคซีน	3 – 4	8
บีตา – เคซีน	9 – 11	25
แคปป์ตา – เคซีน	3 – 4	9
แกมมา – เคซีน	1 – 2	4
<b>เวย์โปรตีน</b>	<b>5 – 7</b>	<b>20</b>
บีตา – แล็กโทโกลบูลิน	2 – 4	9
แอลฟา – แล็กโทแอลบูลิน	1.0 – 1.5	4
โปรตีนเอส – เพปโทน	0.6 – 1.8	4
โปรตีนจากเลือด (blood proteins)		
ซีรัมแอลบูมิน	0.1 – 0.4	1
อิมมูโกลบูลิน	0.6 – 1.0	2
<b>โปรตีนทั้งหมด</b>		<b>100</b>

ที่มา : Swaisgood (1996)

## 2.6.1 สมบัติของโปรตีนบางชนิด

### 2.6.1.1 เคซีน

เคซีน (casein) จัดเป็นฟอสโฟโปรตีน มีประมาณร้อยละ 80 ของโปรตีนทั้งหมดในน้ำนม สามารถตกตะกอนแยกออกจากรูปร่างได้ง่าย โดยการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำนมให้ต่ำลงเป็น 4.6 ที่อุณหภูมิ 20 °C เมื่อแยกเอาตะกอนเคซีนออกแล้ว ส่วนของน้ำนมที่เหลือเรียกว่า เวย์ (whey) และโปรตีนที่ยังเหลืออยู่ในน้ำนม คือ เวย์โปรตีน หรือซีรัมโปรตีน (milk serum proteins) ซึ่งมีโปรตีนประมาณร้อยละ 20 ของโปรตีนทั้งหมดในน้ำนม (นิธิยา, 2549) ปริมาณโปรตีนที่พบในน้ำนมวัว แสดงดังตารางที่ 2.2

### 2.6.1.2 แอลบูมิน

แอลบูมิน (albumins) เป็นกลุ่มของโปรตีนที่ละลายได้ดีในน้ำ และมีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างต่ำ ตัวอย่างของโปรตีนในกลุ่มนี้ได้แก่ แอลบูมินในไข่ขาว (egg albumin) แอลบูมินในน้ำนม (lactoalbumin) แอลบูมินในซีรัม (serum albumin) ลิวโคซิน (leucosin) ในซีรัม และเลกูเมลิน (legumelin) ในเมล็ดถั่ว โปรตีนกลุ่มนี้เสถียรภาพธรรมชาติได้ง่ายด้วยความร้อน (นิธิยา, 2549)

### 2.6.1.3 โปรตีนถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนที่มีราคาถูก นอกเหนือจากการนำถั่วเหลืองมาใช้ทั้งเมล็ดแล้ว ยังมีการนำมาสกัดเป็นแป้งและโปรตีนในรูป soy protein concentrate และ soy protein isolate ผลผลิตโปรตีนเหล่านี้สามารถใช้เป็นส่วนผสมในอาหารได้ โดยอาจใช้ในปริมาณเล็กน้อยเพื่อจุดประสงค์บางอย่าง เช่น เป็นตัวอุ้มน้ำ จับกับไขมัน ปรับปรุงอายุการเก็บรักษาและเนื้อสัมผัสของโปรตีนหลายชนิด ทำให้เกิดเจล เป็นต้น (Tuley, 1996) ดังนั้น ถั่วเหลืองจึงเริ่มเป็นที่สนใจของทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคมากขึ้น ส่วนมากนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารประเภทเนื้อและเบเกอรี่

#### 1) แป้งถั่วเหลือง

แป้งถั่วเหลือง (soy flour) เป็นผลผลิตที่ได้จากการนำเนื้อถั่วไปบดให้ละเอียด ทั้งนี้ในขั้นตอนการผลิตบางขั้นตอนจำเป็นต้องใช้ความร้อน เช่น การอบด้วยความร้อน เพื่อเอาเปลือกออกหรือการบด เป็นต้น ความร้อนมีผลต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์ กลิ่น สี คุณค่าทางโภชนาการและการละลายตัวของโปรตีน โดยทั่วไปแป้งถั่วเหลืองต้องมีความละเอียดที่สามารถผ่านตะแกรงที่มีขนาด 100 mesh ขึ้นไปได้ แต่ถ้าไม่ผ่านตะแกรงดังกล่าว จะเรียกว่า soy grit ซึ่งมีอยู่หลายขนาด คือ อนุภาคแบบหยาบ อนุภาคแบบปานกลางและอนุภาคแบบละเอียด ผ่านตะแกรงขนาด 10 – 20, 20 – 40 และ 40 – 80 mesh ตามลำดับ

แป้งถั่วเหลืองจะมีสีเหลืองนวล มีรสเหมือนกับถั่วเหลืองคั่ว มีคุณสมบัติในการดูดความชื้น และจับกับไขมันได้ดี นำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง ในกรณีทำขนมหวาน ช่วยให้ไขมันกระจายตัวและทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งอยู่เสมอ ใช้ทำอาหารเด็กอ่อนและอาหารเสริมโปรตีนหรือใช้ในการทำผลิตภัณฑ์จากเนื้อ โดยผสมกับเนื้อบด หรือใช้แป้งถั่วเหลืองร้อยละ 100 ผสมกับนมและไข่ ใช้แทนเนื้อและปลาในอาหารได้ นอกจากนี้ยังใช้เติมลงในมัทกะโรนี เส้นบะหมี่หรือก๋วยเตี๋ยว และในซูปต่างๆ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้สูงขึ้น (สมชาย, 2524)

### 2) soy protein concentrate

soy protein concentrate เป็นรูปแบบของโปรตีนจากถั่วเหลืองที่เป็นผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันออกจากถั่วเหลือง คือ Defatted soy flakes ซึ่งจะนำมาผ่านกระบวนการกำจัดส่วนของน้ำตาลและเกลือแร่ออก เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีน ช่วยแก้ปัญหาการเกิดก๊าซในกระเพาะอาหาร (Flatulence) อีกทั้งช่วยปรับปรุงรสชาติได้ (Tuley, 1996) ประกอบด้วยโปรตีนอย่างน้อยร้อยละ 70 (Macrae และคณะ, 1993) สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท ตามวิธีที่ใช้ในการสกัด คือ Alcohol washed concentrate และ Acid washed concentrate

2.1) Alcohol washed concentrate เป็นการสกัดด้วยสารละลายแอลกอฮอล์ร้อยละ 60 – 80 ในน้ำ ซึ่งโปรตีนส่วนมากไม่ละลาย แต่น้ำตาล โอลิโกแซคคาไรด์จะละลายและถูกแยกออกมา

2.2) Acid washed concentrate เริ่มจากนำ Defatted meal ที่แยกเอาตัวทำละลายออกแล้ว โดยใช้ Vacuum process มาปรับความเป็นกรด – ด่าง ด้วยกรด จนมีค่า pH ถึง 4.5 ซึ่งทำให้โปรตีนตกตะกอนและแยกเอาคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ออกไป ส่วนที่เป็นตะกอนทำให้แห้งหรืออาจทำให้เป็นกลางก่อนทำให้แห้ง (Snyder และ Kwon, 1987)

จุดประสงค์ในการเติม soy protein concentrate ลงในผลิตภัณฑ์ เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้น สามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนในมาร์การีน ไอศกรีม ช็อกโกแลตและเค้กได้ ทั้งยังช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ด้วย soy protein concentrate ไม่ละลายน้ำแต่สามารถกระจายตัวได้เมื่อบดเป็นผงละเอียด ใช้ปรับปรุงรสชาติของเครื่องดื่มประเภทละลายได้ทันที ในอาหารประเภทเนื้อก็สามารถใช้ soy protein concentrate ได้ เช่น ในแฮมเบอร์เกอร์ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบต่ำลงและช่วยประหยัดวัตถุดิบได้ แต่ทำให้เกิดการหดตัวของผลิตภัณฑ์ (Tuley, 1996)

### 3) soy protein isolate

soy protein isolate เป็นรูปแบบของโปรตีนจากถั่วเหลืองอีกชนิดหนึ่งที่นิยมผลิต มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอย่างน้อยร้อยละ 90 (Macrae และคณะ, 1993) ได้จากการสกัดโปรตีนที่ละลายได้

จาก Defatted meal ซึ่งต้องแยกเอาตัวทำละลายออก โดยใช้ Vacuum process ก่อนเพื่อคงความสามารถในการละลายของโปรตีนไว้ ส่วนการสกัดโปรตีน ใช้สารละลายด่างเจือจาง (ค่า pH 9) ที่อุณหภูมิ 50–55 °C แล้วแยกเอาส่วนของแข็ง ซึ่งเป็นพวกโปรตีนที่ไม่ละลายและคาร์โบไฮเดรตออกไป โดยใช้เครื่องเหวี่ยงและร่อนผ่านตะแกรง ส่วนโปรตีนที่ละลายได้จะปรับความเป็นกรด-ด่างเป็น 4.5 เพื่อให้โปรตีนตกตะกอน แยกส่วนเวย์จากถั่วเหลืองออกไปและล้างส่วนที่เป็นตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ ขั้นตอนสุดท้าย คือ ทำให้แห้ง โดยอาจใช้ Spray dried หรืออาจทำให้เป็นกลางก่อนทำให้แห้ง (Snyder และ Kwon, 1987)

ทั้งนี้โปรตีนจะยังคงอยู่ในสภาพธรรมชาติ (Native) มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งความร้อนยังมีผลต่อ Functionality อื่นๆ เช่น การละลาย อย่างไรก็ตาม soy protein isolate ยังคงมีสมบัติในการคูดน้ำและรวมตัวกับไขมันดี จึงมีการใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อต่างๆ

soy protein isolate มีบทบาทสำคัญในทางอุตสาหกรรมอาหาร โดยใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) แทน caseinate โดย soy protein isolate จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ caseinate และมีข้อได้เปรียบตรงที่ทนต่อความร้อนได้ดี แต่คุณสมบัติในการเกิดเจล เพื่อให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีเนื้อสัมผัสแน่นจะด้อยกว่า การใช้ soy protein isolate ในเครื่องดื่มต่างๆ ยังมีข้อจำกัด เนื่องจากถ้าความเป็นกรด-ด่างต่ำ โปรตีนถั่วเหลืองจะเกาะตัวกันได้ (ทัตดาว, 2545)

## 2.7 บทบาทของไขมันต่อเซอร์เบท

ไขมันเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่ทำให้ไอศกรีมมีความเนียน ความมัน นอกจากนี้ไขมันจะเคลือบปากเพื่อลดความรู้สึกเย็นจัดของไอศกรีม ลักษณะการละลายของไขมันในปากถือเป็นคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่สำคัญ (ภัทรา, 2540) ส่วนในด้านกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ ไขมันจะมีบทบาทเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งโดยทั่วไป เซอร์เบทมีกลิ่นรสผลไม้เป็นหลัก และมีกรดที่จะไปบดบังรสชาติของไขมัน แต่การที่มีทั้งกรด และไขมันอาจทำให้เกิดกลิ่นหืนได้ จึงต้องคำนึงถึงปริมาณของไขมันที่ใช้ด้วย ไขมันในเซอร์เบทช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะคล้ายไอศกรีมนม เพราะทำให้มีการจับอากาศไว้ภายในโครงสร้างของเซอร์เบท (อุษา, 2541)

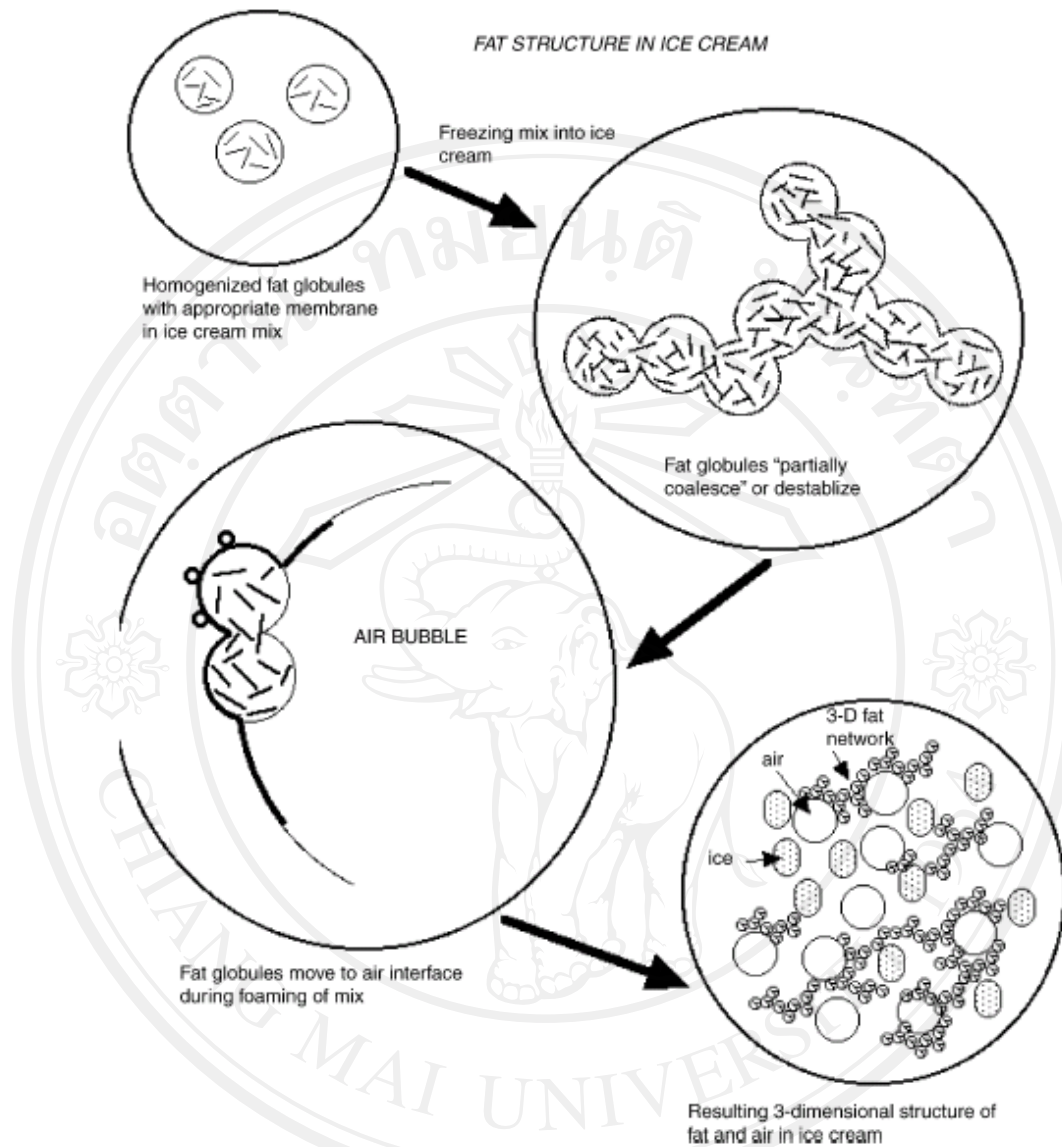
จากการศึกษาของ Aime และคณะ (2001) พบว่า ไขมันมีผลต่อเนื้อสัมผัสของไอศกรีมคือ แนวนอนัมของตัวอย่างที่มีไขมันต่ำ (low fat) จะมีความคงตัวกว่าตัวอย่างที่ไม่มีไขมัน (fat free) และตัวอย่างที่มีไขมันสูงกว่า (light และ regular fat) เนื่องจากตัวอย่างที่มีไขมันต่ำกว่าจะมีปริมาณผลึกน้ำแข็งมากขึ้น ขณะที่ระดับของผลึกไขมันนมมีค่าลดลง

Roland และคณะ (1999) ได้ศึกษาไอศกรีมวนิลาที่มีไขมันนมร้อยละ 0.1, 3, 7 และ 10 พบว่า ไอศกรีมที่มีไขมันร้อยละ 0.1, 3 และ 7 ไม่มีความแตกต่างกันในด้านความแข็ง และอัตรา

การละลาย แต่ต่างจากไอศกรีมที่มีไขมันร้อยละ 10 ( $p \leq 0.05$ ) โดยไอศกรีมที่มีไขมันร้อยละ 10 มีอัตราการละลายช้ากว่า และมีความแข็งน้อยกว่าไอศกรีมที่มีไขมันร้อยละ 7 สำหรับการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า ไอศกรีมไขมันต่ำจะมีลักษณะเป็นเกร็ดน้ำแข็งและร่วนมากกว่า ส่วนด้านความมันจะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับผลจากการศึกษาของ Guinard และคณะ (1997) เกี่ยวกับผลของไขมันที่มีต่อลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของไอศกรีมวนิลาที่ใช้ปริมาณไขมันร้อยละ 10, 14 และ 18 พบว่า เมื่อใช้ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น มีผลต่อการรับรู้กลิ่น เหนย รสหวาน และความมันเพิ่มขึ้น อีกทั้งทำให้การละลายช้าลง

จากการศึกษาเกี่ยวกับไอศกรีมซึ่งขนุนไขมันต่ำ ด้วยการแปรผันอัตราส่วนของสารทดแทนไขมัน 2 ชนิด ระหว่างอินนูลิน : เวย์โปรตีน ที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 2 : 1, 1 : 1 และ 1 : 2 โดยใช้สารทดแทนไขมันร้อยละ 70 ของไขมันในไอศกรีม พบว่า อัตราส่วนของสารทดแทนไขมันที่ใช้มีผลต่อการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสทั้งด้านสี ความมันลื่น ความเรียบเนียน การละลายในปาก ขนาดเกล็ดน้ำแข็ง กลิ่นรสผิดปกติ และความชอบโดยรวม ซึ่งให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่อัตราส่วนของสารทดแทนไขมันที่ใช้ไม่มีผลต่อค่า overrun และอัตราการละลาย โดยอัตราส่วนของสารทดแทนไขมันที่เหมาะสม คือ อินนูลิน : เวย์โปรตีน ที่ระดับ 2 : 1 เนื่องจากมีคุณลักษณะของไอศกรีมที่ได้ใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุด (เนาวรัตน์, 2548)

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของไขมันในไอศกรีมแสดงให้เห็นดังภาพที่ 2.4 โดย fat globule membranes เกิดจาก emulsifiers เข้าไปห่อหุ้มที่เม็ดไขมันได้เร็วกว่าโปรตีน ซึ่งเม็ดไขมันจะเกิดการเคลื่อนที่ด้วยแรงเฉือนระหว่างขั้นตอนการปั่นไอศกรีม ในลักษณะที่เรียกว่า dehulling ทำให้อิมัลชันมีความคงตัวลดลง จึงเกิดการรวมตัวบางส่วนของเม็ดไขมันที่มีลักษณะกึ่งของเหลว กลายเป็นผลึกไขมันระหว่างการแช่เยือกแข็ง (Eisner และคณะ, 2005)



ภาพที่ 2.4 พัฒนาการของโครงสร้างไขมันในไอศกรีม

ที่มา : Eisner และคณะ (2005)

### 2.7.1 องค์ประกอบทางเคมีของไขมันและน้ำมัน

ไขมันและน้ำมันทุกชนิดประกอบด้วยไตรเอซิลกลีเซอรอลมากมายหลายชนิดผสมรวมกันอยู่ และในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลแต่ละชนิด ยังประกอบไปด้วยกรดไขมันที่แตกต่างกันอีกด้วย ซึ่งอาจเป็นทั้งกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ดังนั้น ไตรเอซิลกลีเซอรอลในไขมันและน้ำมันที่ได้จากธรรมชาติจึงเป็นไตรเอซิลกลีเซอรอลผสม ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลที่มีอยู่ในไขมันและน้ำมันชนิดต่างๆ จะเป็นตัวกำหนดสมบัติของไขมันและน้ำมันแต่ละชนิดให้แตกต่างกัน (นิธิยา, 2548) ชนิด



และปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในไตรเอซิลกลีเซอรอลของไขมันและน้ำมันชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรเอซิลกลีเซอรอลในไขมันและน้ำมันบางชนิด (ร้อยละ)

ชนิดของกรดไขมัน	จำนวนคาร์บอน	เนย	น้ำมันมะพร้าว	น้ำมันปาล์ม	น้ำมันถั่วเหลือง	น้ำมันมะกอก
<b>กรดไขมันชนิดอิ่มตัว</b>						
กรดบิวทีริก	4	3.0	-	-	-	-
กรดคาโปรอิก	6	3.0	-	-	-	-
กรดคาไพโรอิก	8	2.0	7.1	-	-	-
กรดคาพริก	10	3.0	7.3	-	-	-
กรดลอริก	12	3.0	54.0	-	0.1	-
กรดไมริสติก	14	10.0	17.4	2.5	0.3	-
กรดปาล์มิติก	16	26.0	6.1	43.5	10.8	11.0
กรดสเตียริก	18	15.0	1.6	3.6	3.2	2.2
กรดอะราคิติก	20	-	-	-	0.1	-
กรดบีฮีนิก	22	-	-	-	0.1	-
<b>กรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมด</b>		<b>65.0</b>	<b>93.5</b>	<b>49.6</b>	<b>14.6</b>	<b>13.2</b>
<b>กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว</b>						
กรดไมริสโตเลอิก	14 : 1	1.0	-	-	-	-
กรดปาล์มิโตเลอิก	16 : 1	1.0	-	-	-	-
กรดโอเลอิก	18 : 1	29.0	5.0	45.2	24.0	72.5
กรดลิโนเลอิก	18 : 2	2.0	1.3	7.9	54.4	7.9
กรดลิโนเลนิก	18 : 3	2.0	-	-	6.8	0.6
กรดกาโดเลอิก	20 : 1	-	-	-	-	0.3
กรดอีรูซิก	22 : 1	-	-	-	-	-
<b>กรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งหมด</b>		<b>35.0</b>	<b>6.3</b>	<b>53.1</b>	<b>85.2</b>	<b>81.3</b>

ที่มา : Abraham และ Hron (1992)

## 2.7.2 สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมัน

สมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมัน จะมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อองค์ประกอบทางเคมีในโมเลกุลของไตรเอซิลกลีเซอรอลในไขมันและน้ำมันนั้นๆ จึงใช้ประโยชน์ของสมบัติทางกายภาพในการจำแนกและชี้บ่งชนิดของไขมันและน้ำมัน รวมทั้งการนำไขมันและน้ำมันไปใช้ประโยชน์ ก็จะพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพด้วย (นิธิยา, 2548) โดยสมบัติทางกายภาพของไขมันและน้ำมันที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการพิจารณานำมาใช้เป็นส่วนประกอบของเซอรเบท ได้แก่

### 2.7.2.1 ความหนืด

ความหนืด (viscosity) ของไขมันและน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรเอซิลกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น ความหนืดจะลดลงเมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิของไขมันและน้ำมันเพิ่มขึ้น

### 2.7.2.2 สี

สี (colour) เป็นตัวชี้บ่งคุณภาพของน้ำมันได้ น้ำมันแต่ละชนิดจะมีสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสารสีที่มีปนอยู่ในวัตถุดิบที่นำมาใช้สกัดน้ำมันและวิธีการกำจัดสีโดยการฟอกสี น้ำมันที่มีสีเหลืองอ่อนจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำมันที่มีสีเหลืองเข้ม

ตารางที่ 2.4 Solid Fat Index ของไขมันและน้ำมันบางชนิดที่อุณหภูมิต่างๆ

ไขมันและน้ำมัน	Solid Fat Index ที่อุณหภูมิต่างๆ					จุดหลอมเหลว °C (capillary)
	10 °C	21 °C	27 °C	33 °C	38 °C	
เนย	32	12	9	3	0	36
โคคาบัตเตอร์	62	48	8	0	0	29
น้ำมันมะพร้าว	55	27	0	0	0	26
น้ำมันหมู	25	20	12	4	2	43
น้ำมันปาล์ม	34	12	9	6	4	39
น้ำมันปาล์มเคอร์เนล	49	33	13	0	0	29
ไขวัว	39	30	28	23	18	48
เนยขาว (สำหรับทอด)	44	28	22	11	5	43
เนยเทียม	28	16	12	3	0	38

ที่มา : Potter และ Hotchkiss (1995)

### 2.7.2.3 Solid Fat Index

เป็นการวัดร้อยละของไขมันหรือน้ำมันที่เปลี่ยนเป็นของแข็งหรืออยู่ในสภาพแข็งตัวเป็นผลึกที่อุณหภูมิหนึ่งๆ ซึ่งการเกิดผลึก วัดได้จากปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไป วิธีการวัดเรียกว่า dilatometry (นิธิยา, 2548) ตัวอย่างของ solid fat index ของไขมันและน้ำมันบางชนิด แสดงดังตารางที่ 2.4

### 2.7.3 การจำแนกชนิดของไขมันและน้ำมันในอุตสาหกรรม

ในทางอุตสาหกรรมได้จำแนกชนิดของไขมันและน้ำมันตามสมบัติเฉพาะตัวและการนำน้ำมันไปใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรม ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 10 กลุ่ม (นิธิยา, 2548) แต่ในที่นี้ ให้ความสำคัญ 3 กลุ่ม ดังนี้ คือ

#### 2.7.3.1 Milk fat group

เป็นไขมันที่ได้จากน้ำนมของสัตว์ต่างๆ ที่สำคัญ คือ ไขมันที่ได้จากน้ำนมวัว ในบางท้องถิ่นอาจใช้น้ำนมกระบือ (water buffalo) น้ำนมแพะ หรือน้ำนมแกะ ไขมันในน้ำนมของสัตว์ต่างๆ มักมีส่วนประกอบใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีชนิดของกรดไขมันไม่แตกต่างกัน กรดไขมันในน้ำนมประกอบด้วย กรดโอเลอิกประมาณร้อยละ 30 กรดปาล์มิติกประมาณร้อยละ 25 และกรดสเตียริกประมาณร้อยละ 15 ไขมันนมต่างจากไขมันและน้ำมันชนิดอื่น เนื่องจากมีกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ( $C_4 - C_{14}$ ) เป็นจำนวนมาก รวมกันประมาณร้อยละ 20 – 25 กรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่สุด คือ กรดบิวทิริก มีประมาณร้อยละ 3 – 5 และมีกรดไขมันชนิดจำป็นน้อยมาก ส่วนประกอบของไขมันนมจะแปรผันตามอาหารของสัตว์และแหล่งของน้ำนม ในอุตสาหกรรมจะใช้ไขมันนมสำหรับทำเนย

#### 2.7.3.2 Lauric acid group

น้ำมันที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้จากส่วนเนื้อในของเมล็ดพืชตระกูลปาล์ม ได้แก่ น้ำมันมะพร้าว และบาบัสสุ (babassu) หรือที่เรียกว่า coquilla nut ลักษณะเฉพาะของน้ำมันกลุ่มนี้ คือ มีกรดลอริกสูง โดยเฉพาะน้ำมันมะพร้าวมีสูงถึงร้อยละ 40 – 50 และมีกรดไขมันชนิดอื่นตัวอื่นๆ ที่มีจำนวนคาร์บอน 8, 10, 14, 16 และ 18 เพียงเล็กน้อย มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว เช่น กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิกจำนวนเล็กน้อยเช่นกัน ซึ่งเป็นผลดีต่ออายุการเก็บรักษา ไขมันพวกนี้มักหลอมละลายที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากประกอบด้วยกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนน้อย และเป็นน้ำมันที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่ปริมาณน้อย เมื่อทำให้เป็นสบู่ชนิดเกลือโซเดียม (sodium soap) จะมีลักษณะแข็งทนทานต่อการออกซิเดชันและละลายน้ำได้ดี ซึ่งเหมาะอย่างยิ่งที่จะใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสบู่ น้ำมันที่อยู่ในกลุ่มนี้มีปริมาณมากและมีราคาถูก น้ำมันมะพร้าวเป็นน้ำมันที่สำคัญที่สุดในกลุ่มนี้

### 2.7.3.3 Oleic-Linoleic acid group

เป็นกลุ่มของน้ำมันที่ใหญ่ที่สุดและมีความสำคัญมาก เป็นน้ำมันที่ได้จากพืชทั้งหมด ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวน้อยกว่าร้อยละ 20 ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว คือ กรดโอเลอิกและกรดลิโนเลอิก น้ำมันกลุ่มนี้เป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ใช้เป็นน้ำมันสำหรับปรุงอาหารดีที่สุดในได้แก่ น้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดพืชต่างๆ เช่น ฝ้าย ข้าวโพด ถั่วลิสง งา ทานตะวัน ดอกคำฝอย และจากส่วนเนื้อของผลมะกอกและปาล์ม (นิธิยา, 2548)

## 2.7.4 สมบัติของไขมันและน้ำมันบางชนิด

### 2.7.4.1 น้ำมันเนยและเนย

#### 1) น้ำมันเนย หรือ กี้

น้ำมันเนยเป็นผลิตภัณฑ์นมที่ทำจากไขมันนม ครีม หรือเนย อาจเรียกว่า ไขมันนมที่ปราศจากน้ำ (anhydrous milk fat) น้ำมันเนยมีส่วนประกอบทางเคมี ประกอบด้วย ไขมันร้อยละ 99.6 ความชื้นร้อยละ 0.3 และกรดไขมันอิสระในรูปกรดโอเลอิกร้อยละ 0.3

ในประเทศอินเดีย จะผลิตน้ำมันเนยหรือกี้จากน้ำนมกระบือ ซึ่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์ต่ำ ทำให้กี้ (ghee) ที่ได้มีสีขาว แต่ถ้าทำจากน้ำนมโค ซึ่งมีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงจะทำให้กี้ที่ได้มีสีเหลือง (นิธิยา, 2548)

#### 2) เนย

เนยเป็นผลิตภัณฑ์ของไขมันนม ซึ่งถูกแยกออกมาจากน้ำนมในรูปของครีม ครีมที่ได้จะมีไขมันนมประมาณร้อยละ 30 – 35 ครีมที่ใช้ทำเนยเป็นครีมชนิดหวาน (sweet cream) ในทางปฏิบัติครีมจะถูกนำมาทำให้เป็นกลางด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต หรือแมกนีเซียมออกไซด์ หรือแคลเซียมคาร์บอเนต หลังจากนั้นนำครีมมาพลาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิสูงกว่าที่ใช้พลาสเจอไรซ์น้ำนมเล็กน้อย เพราะในครีมมีปริมาณไขมันนมสูงกว่าน้ำนม ไขมันนมจะเป็นตัวช่วยป้องกันแบคทีเรียทำให้ถูกทำลายด้วยความร้อนได้ช้าลง ภายหลังจากพลาสเจอไรซ์แล้ว จะนำครีมไปหมักกับแบคทีเรียที่เหมาะสมประมาณ 3 – 4 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดกรดแลคติกและสารประกอบที่ให้กลิ่น ซึ่งสารให้กลิ่นที่สำคัญ ได้แก่ ไดอะซีทิล (diacetyl) สารนี้ถูกสร้างขึ้นโดยอาศัยจุลินทรีย์ *Streptococcus citrovorus* และ *Streptococcus paracitrovorus* เปลี่ยนกรดซิทริกที่มีอยู่ในครีมให้เป็นไดอะซีทิล

ครีมเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ คือ มีอนุภาคไขมันกระจายตัวอยู่ในน้ำ เมื่อนำครีมที่มีความเป็นกรดตามที่ต้องการมาปั่น (churning) ที่อุณหภูมิประมาณ 10 °C เพื่อให้ผนังเมมเบรนของอนุภาคไขมันแตกออก อุณหภูมิต่ำจะช่วยไม่ให้เกิดการกระจายตัวเนื่องจากแรงปั่น และขณะปั่น อนุภาคไขมันนมจะมารวมตัวกันเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และแยกตัวออกจากส่วนที่เป็นน้ำ ภายหลังจากแยกเอาเนยออกไปแล้ว ของเหลวที่เหลือเรียกว่า butter milk

เนยที่ได้จากการปั่นจะนำมอล้างด้วยน้ำเย็น เพื่อล้างเอา butter milk ออก อย่างไรก็ตาม ในเนยก็ยังมี butter milk ปนอยู่ประมาณร้อยละ 15 ซึ่งเป็นหยดเล็กๆ กระจายตัวอยู่ในเนย เนยที่ได้จึงกลายเป็นอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน ทำให้เกิด reverse emulsion ขึ้น นอกจากนี้ ในเนยยังมีน้ำตาลแล็กโทส โปรตีนเคซีน และส่วนประกอบอื่นๆ ของน้ำมันละลายอยู่บ้างเล็กน้อย

เนยที่ได้จะนำมาเติมเกลือลงไปแล้วปั่นให้เข้ากัน ขณะที่ปั่นอาจมีการเติมน้ำบ้างเล็กน้อย เพื่อให้สัดส่วนน้ำเพิ่มขึ้นตามที่มาตรฐานกำหนด การปั่นจะช่วยทำให้เกลือกระจายตัวไปทั่ว และละลายอยู่ในส่วนที่เป็นน้ำ ซึ่งจะแตกกระจายออกเป็นหยดน้ำเล็กๆ ที่ไม่สามารถกลับมารวมตัวกันได้ หากหยดน้ำสามารถกลับมารวมตัวกันได้จะทำให้เนยเนยแตก (leaky butter) เกลือที่เติมลงไปจะช่วยให้เนยมีรสและกลิ่นดี นอกจากนี้เกลือยังช่วยทำหน้าที่เป็น preservative อีกด้วย

เนยประกอบด้วยไขมันนมไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 มีเกลือประมาณร้อยละ 2.0 – 3.0 (ขึ้นอยู่กับชนิดของเนยด้วย) น้ำประมาณร้อยละ 15 และเลซิตินประมาณร้อยละ 0.2 และในเนยยังมีอากาศปนอยู่บ้างประมาณร้อยละ 1 – 5 ซึ่งอากาศจะปนเข้าไปขณะปั่น นอกจากนี้ยังมีโปรตีนเคซีน แร่ธาตุต่างๆ และของแข็งที่ละลายในน้ำมัน ซึ่งละลายอยู่ใน butter milk ปนอยู่ด้วย และมีการเติมวิตามินเอและวิตามินดีเสริมลงไปด้วย ซึ่งวิตามินทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน

สีของเนยได้มาจากสีของครีม ซึ่งมีสารสีที่เป็นสีธรรมชาติ คือ แคลโรทีนอยด์ แต่ในอุตสาหกรรมผลิตเนยจะเติมสีลงไปอีกให้เนยมีสีเข้มขึ้น สีที่ใช้ คือ แอนแนตโต (annatto) ซึ่งได้มาจากเมล็ดของต้น Roucou หรือใช้สารแคลโรทีนเติมลงไป ทำให้เนยมีสีเหลืองเข้มขึ้น หลังจากนั้นนำไปบรรจุใส่ภาชนะตามขนาดที่ตลาดต้องการ

เนยที่ผลิตเป็นการค้าในท้องตลาด มีทั้งเนยจืดและเนยเค็ม สำหรับเนยจืดมีส่วนประกอบของน้ำมันเนยร้อยละ 82 และนมผงขาดมันเนยร้อยละ 1.9 – 2.0 ส่วนเนยเค็มประกอบด้วยน้ำมันเนยร้อยละ 80.0 – 80.5 และนมผงขาดมันเนยร้อยละ 2.0 และเกลือร้อยละ 1.5 – 2.0 ซึ่งส่วนประกอบจะแปรผันตามบริษัทผู้ผลิตจำหน่าย (นิธิยา, 2548)

#### 2.7.4.2 น้ำมันมะพร้าว

น้ำมันมะพร้าวเป็น non-drying oil โดยสกัดได้จากเนื้อมะพร้าวแห้ง ซึ่งเรียกว่า copra มีน้ำมันประมาณร้อยละ 63 – 68 และความชื้นร้อยละ 4 – 7 ใช้วิธีการบีบแยกเอาน้ำมันออกมา น้ำมันมะพร้าวมีสมบัติแตกต่างจากน้ำมันพืชชนิดอื่น คือ ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนน้อย น้ำหนักโมเลกุลต่ำ กรดไขมันที่มีปริมาณมาก ได้แก่ กรดลอริกมีสูงถึงร้อยละ 54 สำหรับกรดไขมันชนิดอื่นๆ ประกอบด้วย กรดไมริสติกร้อยละ 17.4 กรดปาล์มิติกร้อยละ 6.1 กรดโอเลอิกร้อยละ 5.0 กรดคาโปรลิกร้อยละ 7.1 กรดคาพริกร้อยละ 7.3 กรดสเตียริกร้อยละ 1.6 และกรดลิโอเลอิกร้อยละ 1.3 ทำให้น้ำมันเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องหรือต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง

เล็กน้อย บางครั้งเรียกน้ำมันมะพร้าวว่า lauric acid oil มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 24 – 27 °C น้ำมันมะพร้าวนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ทำเนยเทียม เนยขาว น้ำมันทอดอาหาร ผลิตภัณฑ์ขนมอบ และใช้ในอุตสาหกรรมทำสบู่และผงซักฟอก น้ำมันมะพร้าวที่ขายอยู่ในตลาดทั่วไป จะเป็นชนิด 76°oil และ 92°oil ตัวเลขนี้หมายถึง ค่า Wiley melting point เป็นองศาฟาเรนไฮต์ เช่น 76°oil เป็นน้ำมันมะพร้าวชนิดที่ไม่ผ่านการไฮโดรจิเนชัน แต่ถ้าเป็น 92°oil เป็นน้ำมันมะพร้าวที่ผ่านการไฮโดรจิเนชันเพียงบางส่วน หากเป็น fully hardened oil ซึ่งเกิดการไฮโดรจิเนชันอย่างสมบูรณ์จะเป็น 110°oil

น้ำมันมะพร้าวชนิดที่ไม่ผ่านการไฮโดรจิเนชัน จะใช้เป็นส่วนผสมของสารเคลือบผิว (coating) สำหรับไอศกรีมแท่ง เพราะแข็งตัวเมื่ออยู่ในรูปแท่งที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อกินเข้าไปในปากจะละลายอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าอุณหภูมิร่างกาย น้ำมันมะพร้าวเป็นน้ำมันที่ทนต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันมาก เนื่องจากมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวน้อยมาก ซึ่งสมบัตินี้ทำให้น้ำมันมะพร้าวถูกนำไปใช้ประโยชน์มาก โดยเฉพาะใช้ทอดถั่วและอาหารขบเคี้ยวต่างๆ ที่ต้องการอายุการเก็บรักษานาน นอกจากนั้นกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำในน้ำมันมะพร้าว ยังช่วยทำให้น้ำมันมะพร้าวมีความหนืดต่ำกว่าน้ำมันชนิดอื่น ทำให้ไม่รู้สึกเป็นมัน (greasy) เมื่ออยู่ในปาก และยังใช้เป็น spray coating พวกรีซิป และ cracker เป็นต้น

น้ำมันมะพร้าวที่ผ่านการไฮโดรจิเนชันใช้ประโยชน์แทนเนยได้ในการทำ confectioner's hard butter การใช้ไขมันมะพร้าวก็น่าจะมีจำกัด เพราะน้ำมันมะพร้าวเมื่อเกิดการไฮโดรไลซิสเพียงเล็กน้อย จะทำให้มีกรดไขมันอิสระเกิดขึ้น ซึ่งมีกลิ่นแรงและกลิ่นเหม็นคล้ายสบู่ การเกิดไฮโดรไลซิสนี้จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อมีความชื้น และจะเกิดเร็วขึ้นหากมีเอนไซม์ไลเปสปนอยู่ด้วย

น้ำมันมะพร้าวประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัวประมาณร้อยละ 90 กรดไขมันที่พบมากคือ กรดลอริก กรดไมริสติก และกรดปาล์มิติก ทำให้มีไตรเอซิลกลีเซอรอลชนิด trisaturated glyceride ร้อยละ 84 disaturated ร้อยละ 12 และ monosaturated ร้อยละ 4 (นิธิยา, 2548)

### 2.7.4.3 น้ำมันปาล์ม

ผลปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตน้ำมัน 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์ม (palm oil) ได้จากการสกัดเนื้อปาล์ม และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (palm kernel oil) สกัดจากเมล็ดปาล์ม โดยผลปาล์ม 1 ผล จะมีน้ำมันปาล์ม 9 ส่วน และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม 1 ส่วน น้ำมันที่สกัดจากผลปาล์มสดจะมีเบต้าแคโรทีน (beta-carotene) โปรวิตามินเอ (pro vitamin A) และวิตามินอี (vitamin E) ในปริมาณสูง

น้ำมันปาล์ม ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว และกรดไขมันชนิดอิ่มตัวในสัดส่วนที่สมดุล และการที่มีวิตามินอีสูง จึงทำให้น้ำมันปาล์มมีเสถียรภาพสูง สำหรับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวนั้น ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวพันธะเดี่ยว โอเลอิก (mono-

unsaturated oleic acid) ร้อยละ 45 ขณะที่กรดไขมันชนิดอิ่มตัวประกอบด้วย กรดปาล์มิติก (palmitic acid) ร้อยละ 44 และกรดสเตียริก (stearic acid) ร้อยละ 4 ด้วยสัดส่วนขององค์ประกอบดังกล่าว ทำให้น้ำมันปาล์มมีคุณสมบัติพิเศษ เหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารหลายประเภท โดยปราศจากคอเลสเตอรอล และเป็นแหล่งพลังงานของร่างกาย (สำนักงานการค้าภายในจังหวัดชุมพร, 2552) ซึ่งน้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่สกัดได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเป็นน้ำมันดิบยังไม่สามารถบริโภคได้ ต้องนำไปทำการกลั่นให้เป็นน้ำมันบริสุทธิ์ด้วยกระบวนการแยกขางเหนียว ลดกรด ฟอกสี และดูดกลิ่น ได้เป็นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และมีผลพลอยได้ คือ กรดไขมัน ซึ่งผลผลิตทั้งหมดนี้สามารถนำไปใช้เพื่อการอุปโภค บริโภคได้อย่างมากมาย เช่น ทำเป็นน้ำมันปรุงอาหาร น้ำมันทอด ผลิตนมข้น ไอศกรีม เนยเทียม เนยขาว ไขมันนึ่งกรอบ เนยโกโก้ ครีมเทียม ไขมันทำขนมปัง สบู่ เทียนไข ผงซักฟอก ยาสีฟัน และใช้ในอุตสาหกรรมโอเลโอเคมีคัล (oleochemical) อย่างกว้างขวาง อีกทั้งยังใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล ที่เรียกว่า ไบโอดีเซล ซึ่งการผลิตเมทิลเอสเทอร์จะเป็นการนำเอา น้ำมันปาล์มมาทำปฏิกิริยากับเมทานอล โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เรียกว่า ปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ได้เป็นเมทิลเอสเทอร์ และกรีเซอร์ออลเป็นผลพลอยได้ (“องค์ความรู้ด้านปาล์มน้ำมัน”, 2552)

คุณสมบัติอีกประการหนึ่งของน้ำมันปาล์ม คือ สามารถใช้ผลิตเป็นไขมันพืชที่มีสภาพเป็นของแข็ง (solid-fat) โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการไฮโดรจิเนชัน (hydrogenation process) เป็นการหลีกเลี่ยงการก่อตัวของ trans fatty acids ที่เกิดจากกระบวนการ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

น้ำมันปาล์มแดงที่สกัดออกในกระบวนการกลั่น ยังมีปริมาณแคโรทีนสูงถึงร้อยละ 80 และมีวิตามินอีในสัดส่วนที่สูงมาก จากผลการวิจัยพบว่า มีคุณสมบัติในการป้องกันการเหี่ยวย่นของเซลล์ผิวหนัง โรคหัวใจ และโรคมะเร็ง จึงมีการนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ เช่น วิตามินแคปซูลสำเร็จรูป อาหารเสริม เครื่องสำอาง เป็นต้น (สำนักงานการค้าภายในจังหวัดชุมพร, 2552)

## 2.8 การวิเคราะห์คุณภาพของเซอร์เบท

### 2.8.1 ลักษณะทางรีโอโลยี

รีโอโลยี (rheology) เป็นศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับการผิดรูป (deformation) และการไหล (flow) ของสสาร อันเนื่องมาจากการตอบสนองต่อแรง (force) ที่กระทำ การผิดรูปที่เกิดขึ้นอาจเป็นลักษณะที่ไม่สามารถคืนสู่สภาพเดิมได้ เช่น การไหลของของเหลว (flow) ซึ่งไม่สามารถไหลย้อนกลับได้ และลักษณะที่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ เช่น ความยืดหยุ่นของของแข็ง (elasticity) (อรุณี, 2548)

การศึกษาสมบัติทางรีโอโลยีนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายถึงสมบัติเชิงวิสโคอีลาสติกของวัสดุ (viscoelastic properties) ซึ่งผสมระหว่างสมบัติการยืดหยุ่นและการไหลหนืด (จรินทร์ทิพย์, 2551)

**2.8.1.1 ความรู้พื้นฐานทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง**

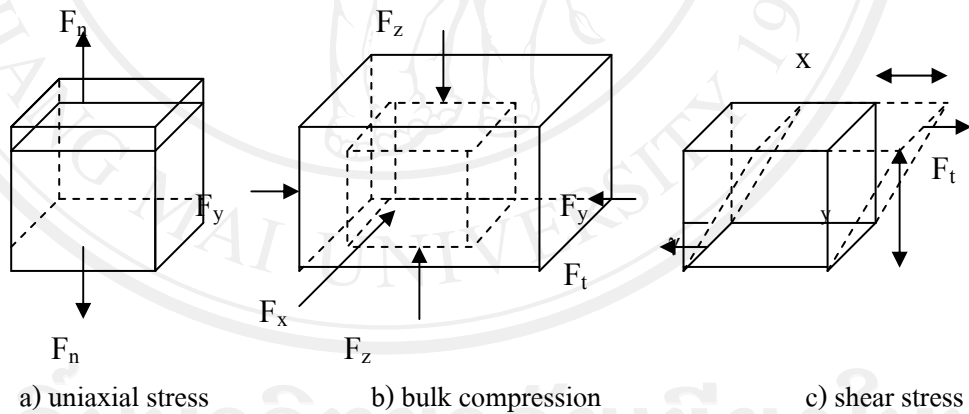
การศึกษาสมบัติทางรีโอโลยี จำเป็นต้องอาศัยความรู้ทางด้านฟิสิกส์เกี่ยวกับแรง และพฤติกรรมของวัสดุที่ตอบสนองต่อแรงที่กระทำดังนี้

- 1) ความเค้น (stress) หมายถึง แรงที่กระทำต่อพื้นที่วัสดุ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ
  - 1.1) แรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิววัสดุเพียงด้านเดียว (uniaxial stress)
  - 1.2) แรงที่กระทำกับวัสดุในทุกทิศทาง (bulk compression)
  - 1.3) แรงที่กระทำขนานกับพื้นที่ของวัสดุ (shear stress)

ความเค้นหาได้จากสูตร

$$\sigma = F / A \tag{2.1}$$

เมื่อ	$\sigma$	คือ	ความเค้น	มีหน่วยเป็น	$N/m^2$
	F	คือ	แรง	มีหน่วยเป็น	N
	A	คือ	พื้นที่	มีหน่วยเป็น	$m^2$



ภาพที่ 2.5 ชนิดของแรงที่กระทำ

ที่มา : Figura และ Teixeira (2007)

- 2) ความเครียด (strain) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเมื่อมีความเค้นมากกระทำ ความเครียดหาได้จากสูตร

$$\epsilon = \Delta l / l \tag{2.2}$$



เมื่อ	$\epsilon$	คือ	ความเครียด		
	$\Delta l$	คือ	การผิดรูป	มีหน่วยเป็น	m
	l	คือ	ความยาวเริ่มต้น	มีหน่วยเป็น	m

### 3) ค่า Young's Modulus

เมื่อมีแรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิววัสดุเพียงด้านเดียว ได้แก่ ความเค้นยืด (tensile stress) และความเค้นอัด (compressive stress) แสดงดังภาพที่ 2.5 a) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของความยาว โดยปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง ของแข็งที่แสดงพฤติกรรมแบบยืดหยุ่นสมบูรณ์ (ideal elastic behavior) สามารถอธิบายโดยกฎของฮุก (Hook's Law) ดังนี้

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (2.3)$$

เมื่อ	E	คือ	Young's modulus of elasticity	มีหน่วยเป็น	Pa
-------	---	-----	-------------------------------	-------------	----

ค่า Young's modulus of elasticity หรือ elastic modulus บ่งบอกถึง ความสามารถในการต้านความยืดหยุ่น การหดตัว และความเหนียวของวัสดุ (Figura และ Teixeira, 2007)

### 4) ค่า Bulk Modulus

เมื่อมีแรงที่กระทำกับวัสดุในทุกทิศทาง แสดงดังภาพที่ 2.5 b) เช่น แรงดันภายนอกจากการนำวัสดุวางในน้ำ ซึ่งจะทำให้ปริมาตรของวัสดุเปลี่ยนแปลง โดยจะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความดันสูง หรือความดันต่ำ

$$K = - V (dp/dV) \quad (2.4)$$

เมื่อ	K	คือ	bulk modulus	มีหน่วยเป็น	Pa
	V	คือ	ปริมาตร	มีหน่วยเป็น	m <sup>3</sup>
	p	คือ	ความดัน	มีหน่วยเป็น	Pa

ค่า bulk modulus บ่งบอกถึงความสามารถในด้านความยืดหยุ่น ความสามารถในการทนการกดอัด และความแข็งแรงของวัสดุ (Figura และ Teixeira, 2007)

### 5) ความเค้นเฉือน

ความเค้นเฉือน (shear stress) หมายถึง แรงที่กระทำขนานกับพื้นที่ของวัสดุ การผิดรูปจะเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันของจุดในตำแหน่งต่างๆ ในวัสดุ ซึ่งจะขึ้นกับขนาดและการกระจายของแรงที่กระทำ เมื่อสมมุติว่า โครงสร้างของวัสดุประกอบด้วยชั้นบางหลายๆ การผิดรูปของวัสดุ จึงเกิดจากการเคลื่อนที่แบบลามินาร์ (laminar flow) ที่เป็นระเบียบของชั้นวัสดุ การเคลื่อนตัวออกจากกันระหว่างชั้นที่ติดกัน ต้องอาศัยแรงที่มากกว่าแรงเสียดทานระหว่างผิว แรงที่

กระทำนี้เรียกว่า แรงเฉือน (shear force) โดยการเคลื่อนที่นี้ไม่ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลจากชั้นหนึ่งไปยังอีกชั้นหนึ่ง และไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (มันส์, 2538)

ความเค้นเฉือนหาได้จากสูตร

$$\tau = F / A \quad (2.5)$$

เมื่อ	$\tau$	คือ	ความเค้นเฉือน	มีหน่วยเป็น	Pa
	F	คือ	แรงขานาน	มีหน่วยเป็น	N
	A	คือ	พื้นที่	มีหน่วยเป็น	m <sup>2</sup>

#### 6) ความเครียดเฉือน

ความเครียดเฉือน (shear strain;  $\gamma$ ) หมายถึง การผิดรูปที่เกิดจากแรงที่กระทำขนานกับพื้นที่ของวัสดุ ทำให้วัสดุเคลื่อนที่แบบลามินาร์ เมื่อสมมุติให้เป็นการเคลื่อนที่ในเนื้อวัสดุ หรือการผิดรูปของวัสดุยืดหยุ่นของของไหลนิวทอนเนียน (newtonian fluid) ที่เกิดจากการกระทำของแรงเค้นเฉือนน้อยๆ และมีการเคลื่อนที่แบบลามินาร์อย่างง่าย ทำให้ความเครียดเฉือนจะขึ้นกับเวลาเท่านั้น และถือว่าความเครียดเฉือนที่ทุกตำแหน่งมีค่าเท่ากันทั้งหมด

#### 7) อัตราเฉือน

อัตราเฉือน (shear rate) หมายถึง อัตราความเครียดเฉือนในหนึ่งหน่วยเวลา (Rosenthal, 1999) ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น

$$\dot{\gamma} = \gamma / t \quad (2.6)$$

เมื่อ	$\dot{\gamma}$	คือ	อัตราเฉือน	มีหน่วยเป็น	s <sup>-1</sup>
	$\gamma$	คือ	ความเครียดเฉือน		
	t	คือ	เวลา	มีหน่วยเป็น	s

#### 8) ค่า Shear Modulus

เมื่อมีแรงที่กระทำขนานกับพื้นที่ของวัสดุ แสดงดังภาพที่ 2.5 c) จะทำให้วัสดุเกิดการบิดตัว โดยที่มีความยาวไม่เปลี่ยนแปลง และมุมที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีค่าเท่ากับค่าความเครียดเฉือน

$$\tau = G \cdot \gamma \quad (2.7)$$

เมื่อ	$\tau$	คือ	ความเค้นเฉือน	มีหน่วยเป็น	Pa
	$\gamma$	คือ	ความเครียดเฉือน		
	G	คือ	shear modulus	มีหน่วยเป็น	Pa

ค่า shear modulus บ่งบอกถึง ความสามารถในการบิดงอ การบิดเป็นเกลียว ความเหนียว และความแข็งแรงของวัสดุ (Figura และ Teixeira, 2007)

9) ความหนืด

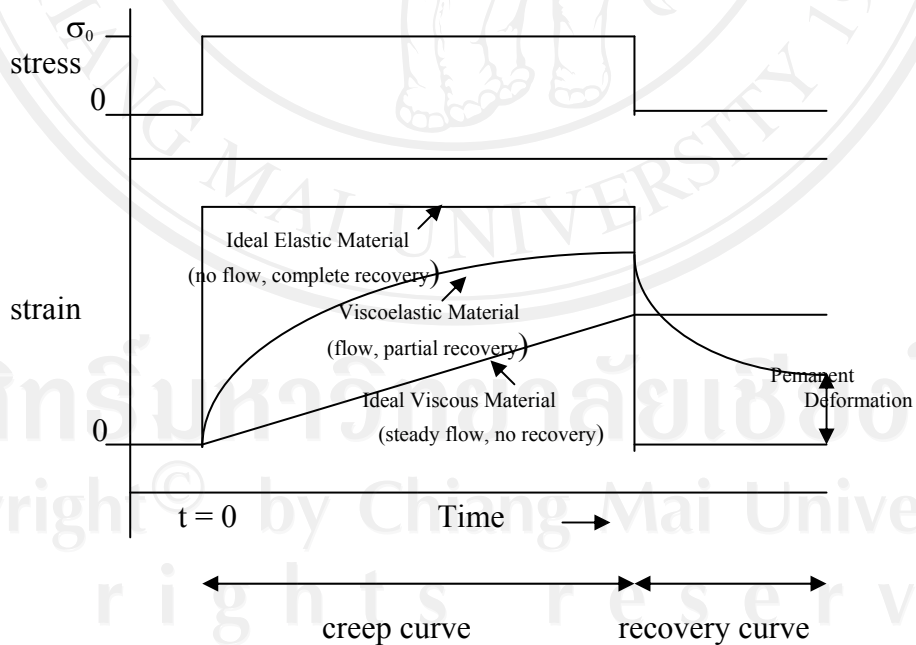
ความหนืด (viscosity) หมายถึง แรงต้านการไหลของของไหล ของเหลวที่แสดงพฤติกรรมของของไหลนิวตันเนียน สามารถอธิบายโดยกฎของนิวตัน (Newton's Law) ดังนี้

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \tag{2.8}$$

เมื่อ	$\tau$	คือ	ความเค้นเฉือน	มีหน่วยเป็น	Pa
	$\dot{\gamma}$	คือ	อัตราเฉือน	มีหน่วยเป็น	s <sup>-1</sup>
	$\eta$	คือ	ความหนืด	มีหน่วยเป็น	Pa·s

2.8.1.2 สมบัติเชิงวิสโคอีลาสติก

สมบัติเชิงวิสโคอีลาสติก (viscoelastic properties) เป็นสมบัติของสารที่แสดงสมบัติผสมระหว่างการยืดหยุ่นสมบูรณ์ของของแข็ง (ideal elastic solid) และการไหลหนืดสมบูรณ์ของของเหลว (ideal viscous liquid) (Prentice, 1992) ปรากฏการณ์ซึ่งแสดงสมบัติเชิงวิสโคอีลาสติก ได้แก่



ภาพที่ 2.6 กราฟการคืบ

ที่มา : Steffe (1992)

## 1) การคืบ

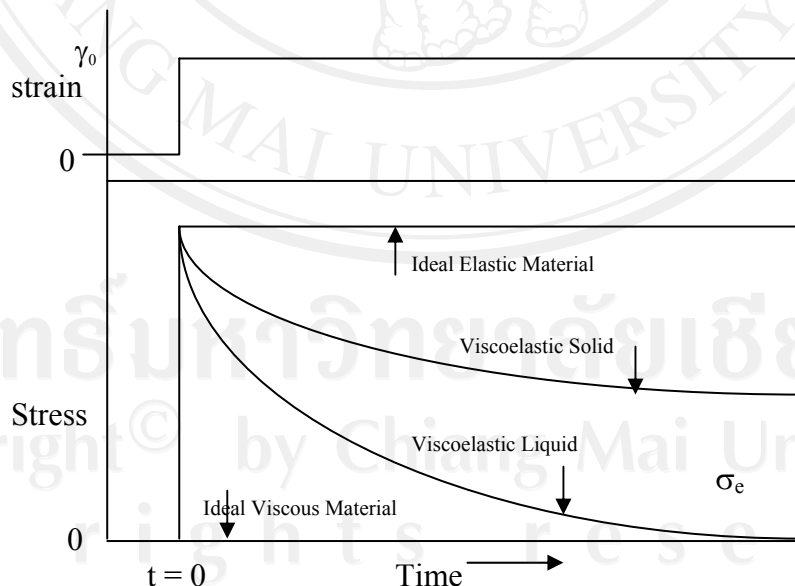
เมื่อมีแรงคงที่แรงหนึ่งกระทำกับวัสดุ จะทำให้วัสดุเกิดการผิดรูปอย่างช้า ตามเวลาที่เปลี่ยนไปเพื่อเข้าหาจุดสมดุล (dimension stability) ซึ่งเป็นการแสดงสมบัติของการคืบ (Creep) ของวัสดุวิสโคอีลาสติก สามารถวัดได้ด้วยการใช้แรงเฉือน หรือแรงยึด หรือแรงกดก็ได้

จากภาพที่ 2.6 พิจารณาวัสดุวิสโคอีลาสติก (viscoelastic material) จะเห็นว่าที่  $t = 0$  ความเครียดเพิ่มขึ้นในทันทีเนื่องจากมีแรงภายนอกมากระทำ แสดงถึง ความยืดหยุ่นสมบูรณ์ หลังจากนั้นความเครียดจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แสดงถึง การไหลหนืด และเมื่อเวลาที่  $t$  มากๆ ความเครียดจะเริ่มคงที่ แสดงถึง การเข้าสู่สมดุลใหม่ ซึ่งเป็นสมบัติของของแข็ง

## 2) การพักความเค้น

เมื่อทำการคงการผิดรูปให้คงที่ หรือคงความเครียดที่ค่าหนึ่ง แรงที่กระทำต่อวัสดุจะลดลงตามเวลาที่เปลี่ยนไป ซึ่งเป็นการแสดงสมบัติของการพักความเค้นของวัสดุ สามารถวัดได้ด้วยการใช้แรงเฉือน หรือแรงยึด หรือแรงกด ที่คงที่กับวัสดุและวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นตามเวลา

จากภาพที่ 2.7 พิจารณาวัสดุวิสโคอีลาสติก (viscoelastic material) ให้เห็นว่า การพักความเค้นจะค่อยๆ ดำเนินไปจนกระทั่งถึงจุดสมดุล คือ แรงที่กระทำต่อวัสดุจะลดลงตามเวลาที่เปลี่ยนไป โดยวัสดุวิสโคอีลาสติกชนิดเหลวจะมีค่าความเค้นสมดุลเท่ากับศูนย์ และวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสมบูรณ์จะไม่มี การพักความเค้น



ภาพที่ 2.7 กราฟการพักความเค้น

ที่มา : Steffe (1992)

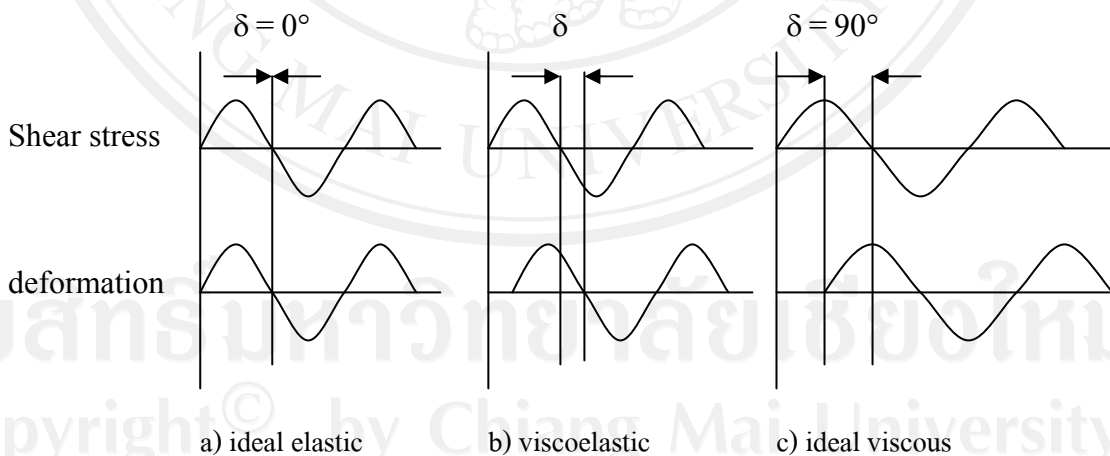
### 3) การคืนรูป

การคืนรูป เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดต่อเนื่องจากการคืบ หลังจากถอนแรงออกจากวัสดุทำให้วัสดุเกิดการหดตัวเพื่อกลับสู่สภาพเดิม โดยวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสมบูรณ์จะสามารถกลับสู่สภาพเดิมได้อย่างสมบูรณ์และไม่เกิดการหดกลับเลยในวัสดุที่เป็นของไหล ส่วนวัสดุที่เป็นวิสโคอิลาสติกจะสามารถหดกลับได้เพียงบางส่วนและมีบางส่วนที่เกิดการผิดรูปอย่างถาวร (permanent deformation) แสดงดังภาพที่ 2.6

#### 2.8.1.3 การทดสอบพฤติกรรมทางวิสโคอิลาสติก

การทดสอบพฤติกรรมทางวิสโคอิลาสติกมีหลายวิธี เช่น การทดสอบการพักความเค้นที่กำหนดให้มีอัตราการผิดรูปคงที่แล้วทำการวัดค่าความเค้นตามเวลาที่เปลี่ยนไป การทดสอบการคืบที่กำหนดให้แรงคงที่แก่วัสดุแล้วทำการวัดอัตราการผิดรูป และการทดสอบแบบสั่น (oscillation testing) ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะการทดสอบแบบสั่นเท่านั้น

การทดสอบแบบสั่น (oscillation testing) เป็นการศึกษาคุณสมบัติการไหลหนืดและการยืดหยุ่นของวัสดุ ตลอดจนสามารถศึกษาไปถึงโครงสร้างโมเลกุลได้ด้วย (มนัส, 2538) โดยการให้ความเค้นสั่น (oscillating stress) หรือความเครียดสั่น (oscillating strain) กระทำต่อวัสดุ แล้ววัดการตอบสนองของความเครียด หรือความเค้นแบบสั่น ซึ่งการตอบสนองนี้จะทำมุมต่างเฟสกันระหว่าง 0-90 องศา แสดงดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 มุมเฟสที่เปลี่ยนเมื่อให้ความเค้นหรือความเครียดแบบสั่น

ที่มา : Figura และ Teixeira (2007)

ความเครียดสั่นมีสมการเป็น

$$\gamma = \gamma_0 \sin(\omega t) \quad (2.9)$$

เมื่อ	$\gamma$	คือ	ความเครียดสั้น
	$\gamma_0$	คือ	ความเครียดเฉือนสูงสุด
	$\omega t$	คือ	ความถี่ที่เวลาใดๆ

1) วัสดุวิสโคอีลาสติก (viscoelastic material)

ความเค้นที่ตอบสนองต่อความเครียดแบบสั้นจะทำมุมต่างเฟส  $\delta$  จะอยู่ระหว่าง 0-90 องศา แสดงดังภาพที่ 2.8 b) ความเค้นที่ตอบสนองมีสมการเป็น

$$\sigma = \sigma_0 \sin(\omega t + \delta) \quad (2.10)$$

เมื่อ	$\sigma$	คือ	ความเค้น
	$\sigma_0$	คือ	ความเค้นเฉือนสูงสุด
	$\omega t$	คือ	ความถี่ที่เวลาใดๆ
	$\delta$	คือ	มุมต่างเฟส

2) วัสดุยืดหยุ่นสมบูรณ์ (ideal elastic material)

ความเค้นที่ตอบสนองต่อความเครียดแบบสั้นจะทำมุมต่างเฟส  $\delta = 0$  องศา แสดงดังภาพที่ 2.8 a) ความเค้นที่ตอบสนองมีสมการเป็น

$$\sigma = G\gamma_0 \sin(\omega t) \quad (2.11)$$

เมื่อ	$\sigma$	คือ	ความเค้น
	$\gamma_0$	คือ	ความเครียดเฉือนสูงสุด
	$\omega t$	คือ	ความถี่ที่เวลาใดๆ
	G	คือ	elastic modulus

3) วัสดุไหลหนืดสมบูรณ์ (ideal viscous material)

ความเค้นที่ตอบสนองต่อความเครียดแบบสั้นจะทำมุมต่างเฟส  $\delta = 90$  องศา แสดงดังภาพที่

2.8 c) ความเค้นที่ตอบสนองมีสมการเป็น

$$\sigma = \eta\omega_0 \sin(\omega t + 90) \quad (2.12)$$

เมื่อ	$\sigma$	คือ	ความเค้น
	$\gamma_0$	คือ	ความเครียดเฉือนสูงสุด
	$\omega t$	คือ	ความถี่ที่เวลาใดๆ
	$\eta$	คือ	ความหนืด

วัสดุวิสโคอีลาสติกสามารถแสดงสมบัติของวัสดุยืดหยุ่นและวัสดุไหลหนืด ที่ตอบสนองต่อการสั่น ซึ่งอธิบายความสัมพันธ์ได้ในค่า complex modulus:  $G^*$

$$G^* = G' + G'' \quad (2.13)$$

เมื่อ  $G'$  คือ ค่าโมดูลัสสะสม (shear strong modulus) จะมีเฟสเดียวกับเฟสจริงของความเครียด แสดงถึง สมบัติความยืดหยุ่นของวัสดุ หรือ elastic modulus โดยวัสดุจะสะสมพลังงานที่ใช้ในการผิดรูปไว้ภายในวัสดุ เพื่อใช้ในการคืนสู่รูปเดิม (storage partition) เมื่อถอนแรงคืน

$$G' = (\sigma_0 / \gamma_0) \cos \delta \quad (2.14)$$

$G''$  คือ โมดูลัสสูญเสีย (shear loss modulus) จะมีเฟสต่างจากเฟสจริง 90 แสดงถึง สมบัติการไหลหนืดของวัสดุ หรือ viscous modulus ซึ่งในส่วนี้พลังงานถูกใช้ในการสร้างและสลายพันธะตลอดเวลาที่เกิดการผิดรูปและจะสูญเสียหายไป (loss partition) ก่อนสิ้นสุดช่วงเวลาที่กำหนด

$$G'' = (\sigma_0 / \gamma_0) \sin \delta \quad (2.15)$$

นอกจากนี้ยังมีการกำหนดค่า loss tangent:  $\tan \delta$  เพื่อแสดงสัดส่วนของการแสดงสมบัติการไหลหนืดต่อสมบัติการยืดหยุ่น

$$\tan \delta = G'' / G' \quad (2.16)$$

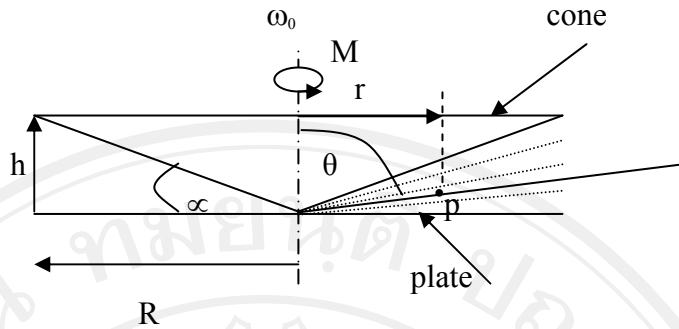
ถ้าค่า  $\tan \delta$  มากกว่า 1 แสดงว่าวัสดุมีการไหลหนืดมากกว่าการยืดหยุ่น (Rosenthal, 1999) และค่า  $\tan \delta$  จะผันแปรตามความถี่เช่นเดียวกับค่า  $G''$  และ  $G'$

#### 2.8.1.4 เครื่องมือวิเคราะห์ทางรีโอโลยี

เครื่องมือวัดทางรีโอโลยีสามารถแบ่งตามประเภทของแรงที่กระทำได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ เครื่องมือวัดพฤติกรรมที่ไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear behavior) เช่น คาปิลารีวิสโคมิเตอร์ และเครื่องมือวัดพฤติกรรมเชิงเส้น (linear behavior) เช่น เครื่องมือวัดชนิดสั่น (oscillating) (มนัส, 2538) ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะเครื่องมือวัดรีโอโลยีชนิดหมุน

เครื่องรีโอมิเตอร์ชนิดหมุนแบบกรวยกับแผ่นเรียบ (cone and plate rheometer) สามารถใช้ระบบทดสอบแบบไดนามิก (dynamic test) ซึ่งเป็นระบบที่ใช้ความเค้นหรือความเครียดต่ำมากๆ ทำให้วัสดุสามารถแสดงพฤติกรรมเชิงเส้นได้

ตัวอย่างที่ศึกษาจะถูกบรรจุอยู่ระหว่างกรวยและแผ่นเรียบที่มีรัศมี  $R$  มียอดของกรวยอยู่บนแผ่นเรียบทำมุม  $\alpha$  ซึ่งปกติจะน้อยกว่า 5 องศา แสดงดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 ภาพตัดขวางของรีโอมิเตอร์แบบกรวยกับแผ่นเรียบ

เมื่อแผ่นเรียบอยู่นิ่ง และกรวยหมุนด้วยความเร็วคงที่  $\omega_0$  ของไหลจะเกิดการเคลื่อนที่แบบลามินาร์เฉือน ของไหลจะแบ่งเป็นชั้นเล็กๆที่มีลักษณะเป็นกรวย มีจุดยอดอยู่ที่จุดศูนย์กลางของแผ่นเรียบ ของไหลที่จุดใดๆ P ห่างจากจุดศูนย์กลางรัศมี r และทำมุม  $\theta$  กับแกนกรวย ดังภาพที่ 2.9 จะหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม  $\omega$  ได้อัตราเฉือน คือ

$$\dot{\gamma} = - (d\omega / d\theta) \tag{2.17}$$

เนื่องจากอัตราเฉือนในเนื้อของของไหลเท่ากัน และในกรณีนี้  $\theta$  มีค่าเข้าใกล้ 90 องศา และ  $\alpha$  มีขนาดเล็กมาก จะได้ความเค้นเฉือนที่จะก่อให้เกิดโมเมนต์บนพื้นผิวดังสมการ

$$M = (2\pi / 3)R^3\tau \tag{2.18}$$

เมื่อ	M	คือ	โมเมนต์การหมุน	มีหน่วยเป็น	Nm
	R	คือ	รัศมีของแผ่นเรียบ	มีหน่วยเป็น	m
	$\tau$	คือ	ความเค้นเฉือน	มีหน่วยเป็น	Pa

และ  $\dot{\gamma} = \omega_0 / \alpha$  (2.19)

เมื่อ	$\dot{\gamma}$	คือ	อัตราเฉือน	มีหน่วยเป็น	$s^{-1}$
	$\omega_0$	คือ	ความเร็วเชิงมุม	มีหน่วยเป็น	$rad\cdot s^{-1}$
	$\alpha$	คือ	มุมระหว่างกรวยและแผ่นเรียบ	มีหน่วยเป็น	rad

เครื่องรีโอมิเตอร์ชนิดหมุนแบบกรวยกับแผ่นเรียบมีข้อดีและข้อเสียดังนี้ (มนัส, 2538)  
ข้อดี

- 1) ที่มุมระหว่างกรวยกับแผ่นเรียบ ไม่เกิน 5 องศา อัตราเฉือนภายในของไหลจะคงที่ในทุกตำแหน่ง
- 2) ใช้ได้กับของไหลที่มีความหนืดสูง



- 3) มีความแม่นยำสูง
- 4) สามารถวัดได้ที่ช่วงอัตราเลือนกว้าง
- 5) สามารถแสดงปรากฏการณ์การยึดหยุ่นของของไหล

ข้อเสีย

- 1) ไม่เหมาะกับของไหลที่มีอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดเกิน 30 ไมครอน
- 2) ไม่เหมาะสมต่อของไหลที่มีความหนืดต่ำมาก ๆ
- 3) มีความไวเอนต่อการตั้งจุดยอดของกรวยบนแผ่นเรียบมาก
- 4) เครื่องมือมีราคาแพง

### 2.8.2 ลักษณะทางโครงสร้างระดับจุลภาค

ระยะต่ำสุดที่สายตามนุษย์สามารถแยกแยะได้มีค่าประมาณ 0.25 mm หรือ 250 ไมครอน ระยะดังกล่าวเทียบเท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นผมของมนุษย์ เมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์แสงช่วยในการขยายภาพ ระยะต่ำสุดที่สามารถแยกแยะได้อยู่ที่ประมาณ 0.5 ไมครอน หรือ 500 nm เนื่องจากข้อจำกัดของความยาวคลื่นแสงในช่วงที่สายตามองเห็น ระยะดังกล่าวเทียบเท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดเลือดแดง สัตว์เซลล์เดียวบางชนิด หรืออนุภาคคาร์ไบด์ในเหล็กกล้า เป็นต้น ดังนั้น หากต้องการมองเห็นรายละเอียดของสิ่งที่มีขนาดเล็กกว่านั้น จำเป็นต้องอาศัยสิ่งที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่าความยาวคลื่นแสง “อิเล็กตรอน” เป็นสิ่งที่มีคุณสมบัติทั้งของอนุภาคและคลื่น ความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนขึ้นอยู่กับพลังงานจลน์ของมัน เช่น ที่ 100 keV ความยาวคลื่นของอิเล็กตรอนมีค่าประมาณ 0.0037 nm ค่าความยาวคลื่นดังกล่าวทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะแยกแยะสิ่งที่มีขนาดเล็กมาก เช่น ไวรัส โมเลกุล หรือแม้กระทั่งอะตอม ศาสตร์ที่อาศัยอิเล็กตรอน และผลที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนกับชิ้นงาน เพื่อศึกษาสัณฐานวิทยาและสมบัติต่างๆ ของชิ้นงาน เรียกว่า “จุลทรรศน์ศาสตร์อิเล็กตรอน”

#### 2.8.2.1 จุลทรรศน์ศาสตร์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy; SEM)

เทคนิคนี้อาศัยการโฟกัสลำอิเล็กตรอนกราดลงบนผิวชิ้นงาน สัญญาณที่เกิดขึ้นจากอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนที่ตกกระทบกับผิวชิ้นงาน จะถูกถ่ายทอดผ่านระบบตรวจวัดและอิเล็กทรอนิกส์ ปรากฏบนจอภาพคล้ายกับภาพที่เห็นทางจอโทรทัศน์ กล้องจุลทรรศน์ที่ทำงานในลักษณะนี้ เรียกว่า “กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope)” สัญญาณที่ใช้ในการสร้างภาพมีหลายชนิด เช่น อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) อิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (backscattered electron) หรือรังสีเอ็กซ์ (x-ray) เป็นต้น ทำให้เทคนิคนี้สามารถใช้ศึกษาสัณฐานวิทยาของชิ้นงาน สภาพผิวของชิ้นงาน จุดบกพร่อง บริเวณใกล้ผิวชิ้นงาน

และหากว่ามีตัวตรวจวัดรังสีเอ็กซ์ ลักษณะเฉพาะ (characteristics x-ray) ก็สามารถวิเคราะห์ที่ส่วนประกอบเคมีในระดับจุลภาคได้

### 2.8.2.2 เครื่องมือวิเคราะห์ทางจุลทรรศน์ศาสตร์อิเล็กตรอน

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JEOL JSM – 5910LV) สามารถทำงานได้ทั้งในสภาวะสุญญากาศสูง  $10^{-3}$  Pa และสุญญากาศต่ำ ในช่วง 1 – 270 Pa เหมาะสำหรับงานทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพ ในอดีต กล้องแบบส่องกราดจะทำงานในสภาวะสุญญากาศสูง การศึกษาชิ้นงานทางชีววิทยาจึงต้องผ่านกระบวนการเตรียมชิ้นงานที่ย่างยาก ซับซ้อน เพื่อให้ผิวชิ้นงานคงสภาพอยู่ได้ภายใต้สภาวะสุญญากาศสูง ไม่แตกหรือยุบตัว ความยุ่งยาก ซับซ้อนของการเตรียมชิ้นงานดังกล่าวจะลดลงไปมาก หากใช้กล้องแบบส่องกราดที่สามารถทำงานในสภาวะสุญญากาศต่ำ กล้อง JEOL JSM – 5910LV มีความแยกชัด (resolution) ในสภาวะสุญญากาศต่ำ เท่ากับ 4.5 nm สักย์เร่งอิเล็กตรอนปรับเปลี่ยนได้ในช่วง 0.3 – 30 kV ชิ้นงานขนาดใหญ่ที่สุดที่สามารถบรรจุได้ คือ 20 cm นั่นคือ ดอกกุหลาบดอกใหญ่ทั้งดอกก็สามารถใส่เข้าไปในห้องสุญญากาศของกล้องได้

กล้อง JEOL JSM – 5910LV ติดตั้งพร้อม secondary electron detector, backscattered electron detector และ energy – dispersive x-ray microanalyser และยังมี specimen cooling unit สำหรับศึกษาชิ้นงานทางชีวภาพบางชนิดได้โดยตรง โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการเตรียมชิ้นงานใดๆ เลย ระบบ energy – dispersive x-ray microanalyser ที่ติดตั้งกับกล้อง ควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ INCA ของบริษัท Oxford Instrument ทำงานภายใต้ Microsoft windows การทำงานจึงง่ายมาก โดยเฉพาะการศึกษาด้วยเทคนิค x-ray mapping หรือสเปกตรัม เข้าสู่โปรแกรมอื่นๆ ที่ทำงานภายใต้ Microsoft windows ได้รวดเร็วและมีรูปแบบการนำเสนอผลงานได้หลากหลายตามความต้องการของผู้ใช้บริการ (ศูนย์วิจัยและบริการจุลทรรศน์ศาสตร์อิเล็กตรอน, 2551)

### 2.9 งานวิจัยอื่นๆ เกี่ยวกับเซอร์เบทและผลิตภัณฑ์ขนมหวานแช่เยือกแข็ง

การใช้กลิ่นรสที่เตรียมจากกรดซิตริก น้ำตาล lemon oil สีส้มเคราะห์ โซเดียมไบซัลไฟต์ และ butylated hydroxyanisole (BHA) เติมลงในเซอร์เบทที่มีไขมันร้อยละ 2 MSNF ร้อยละ 2 และน้ำแข็งแท่ง (water ice) ในปริมาณร้อยละ 0.50 โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสพบว่า ผลิตภัณฑ์มีลักษณะกลิ่นรสและลักษณะเป็นที่น่าสนใจพอสมควร (Hedrick และ Trout, 1973)

นอกจากนี้ พรพรรณ (2547) ได้ศึกษาการผลิตเซอร์เบทจิงจากน้ำเวย์ โดยหาสูตรที่เหมาะสมจากการแปรผันปริมาณน้ำตาล 4 ระดับ คือ ร้อยละ 20, 22, 24 และ 26 ของน้ำหนักเซอร์เบทมิคซ์ พบว่า การใช้ปริมาณน้ำตาลมากขึ้นจะส่งผลให้เซอร์เบทที่ได้มีความเรียบเนียนมากขึ้น และมีความซากลึนน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ปริมาณน้ำตาลที่ใช้ไม่มีผลต่อความหวานจากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ค่า overrun อัตราการละลาย และค่าสีของเซอร์เบทที่ได้ ซึ่งจากการพิจารณาระดับปริมาณน้ำตาลที่มีความเหมาะสม คือ การใช้น้ำตาลร้อยละ 22 ของน้ำหนักเซอร์เบทมิคซ์ และจากการศึกษาการผลิตเซอร์เบทมะตูมจากน้ำเวย์ ด้วยการแปรผันปริมาณน้ำตาลทั้ง 4 ระดับ เช่นเดียวกัน พบว่า ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านความหวานไม่มีความแตกต่างกัน แต่ด้านสี ความเรียบเนียน ความซากลึน และความชอบโดยรวม มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยการใช้น้ำตาลร้อยละ 26 มีความซากลึนน้อยที่สุด มีความเรียบเนียนและความชอบโดยรวมมากที่สุด แต่คะแนนความชอบโดยรวมที่ได้ไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ใช้ปริมาณน้ำตาลร้อยละ 22 และร้อยละ 24 ดังนั้น จึงเลือกใช้น้ำตาลร้อยละ 22 ของน้ำหนักเซอร์เบทมิคซ์ เป็นระดับที่มีความเหมาะสมที่สุดเช่นเดียวกัน (จิราวรรณ, 2547)

## 2.10 แครอท

แครอท (carrot) เป็นผักที่มีสารเบต้า-แคโรทีน (beta-carotene) สูง มีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียง และเอเชียกลาง เป็นพืชในสกุล *Umbelliferae* โดยแครอทจะปลูกได้ดีในช่วงฤดูหนาวหรือในที่ที่มีอุณหภูมิไม่เกิน  $15^{\circ}\text{C}$  การปลูกแครอทจะต้องเตรียมดินให้หนาประมาณ 8 – 9 นิ้ว เพื่อให้รากสามารถแทงลงไปได้ และหว่านเมล็ดให้เป็นแนวลึกประมาณ  $\frac{1}{4}$  ถึง  $\frac{1}{2}$  นิ้ว ระยะเวลาที่ใช้ในการปลูกประมาณ 66 – 75 วัน (มูลนิธิโคโยต้าประเทศไทย, 2545) ซึ่งจะออกดอกกราวเดือนพฤษภาคม ถึงตุลาคม ดอกแตกเป็นชั้นคล้ายร่ม ชั้นนอกสีชมพู ตรงกลางสีม่วงแดง แครอทสมัยโบราณมีเนื้อแข็ง เสี้ยนเยอะเหมือนไม้ สีของหัวแครอทมีตั้งแต่สีเหลืองไปจนถึงสีม่วง แต่แครอทสีส้มที่รับประทานกันทั่วไป เป็นแครอทที่ได้รับการพัฒนาสายพันธุ์เมื่อศตวรรษที่ 18 นี้ สำหรับทางยาพบว่า เป็นสมุนไพรพื้นบ้านของชาวอเมริกัน ใช้เป็นยาครอบจักรวาล รักษาได้หลายโรค เช่น แก้โรคประสาท โรคผิวหนัง และหืดหอบ

ในปี พ.ศ. 2510 สถาบันมะเร็งแห่งชาติ สหรัฐอเมริกา ได้พบว่า วิตามินเอที่ได้จากสัตว์สามารถระงับมะเร็งในทางเดินหายใจของหนูทดลองได้ แต่ยังไม่สนใจว่า วิตามินเอที่ได้จากพืชหรือสัตว์จะให้ผลดีเท่ากัน ซึ่งข้อมูลขณะนั้นได้บ่งชี้อย่างชัดเจนว่า คนได้รับวิตามินเอจากผักสีเขียวและพืชสีส้มเป็นหลัก วิตามินเอที่ได้รับจากพืช คือ สารเบต้า-แคโรทีน ซึ่งจะถูกละลายเป็นวิตามินเอ เมื่อเข้าไปอยู่ในร่างกาย (สถาบันการแพทย์แผนไทย, 2550) โดยเบต้า-แคโรทีนเป็นสารในกลุ่ม

แคโรทีนอยด์ (carotenoid) ซึ่งเป็นรงควัตถุที่มีสีเหลืองถึงสีแดง พบในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) ของพืช ผักและผลไม้ที่ยังไม่สุกจะพบแคโรทีนอยด์น้อยกว่าผักและผลไม้ที่สุกแล้ว เนื่องจากผักใบเขียวหรือผลไม้ที่ยังดิบอยู่ แคโรทีนอยด์จะอยู่ในส่วนของคลอโรพลาสต์ ในขณะที่ผักหรือผลไม้สุกนั้น แคโรทีนอยด์จะถูกสังเคราะห์ขึ้นในโครโมพลาสต์ (chromoplast) เป็นปริมาณมาก เนื่องจากเอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์มีมากขึ้น เบต้า-แคโรทีนเป็นสารที่มีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ และยังสามารถจับอนุมูลอิสระเข้าไปในโมเลกุล โดยมีประสิทธิภาพดีกว่าวิตามินอี ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเบต้า-แคโรทีนจับอนุมูลอิสระไว้แล้ว โมเลกุลของเบต้า-แคโรทีนจะอยู่ในลักษณะที่เป็นเรโซแนนซ์ (resonance) ที่มีความเสถียร (อัญชญา, 2550)

ปี พ.ศ. 2524 ริชาร์ด ปีโต และคณะ ได้เขียนบทความลงในนิตยสาร Nature ว่า "วิตามินเอไม่ได้ส่งผลให้เกิดการยับยั้งมะเร็ง แต่เป็นสารเบต้า-แคโรทีน" และจากการทดลองของ ดร.ริชาร์ด เซเคลล์ นักระบาดวิทยา มหาวิทยาลัยเท็กซัส ก็สนับสนุนความน่าเชื่อถือของข้อมูลนี้ โดยมีการทดลองเกิดขึ้นอีกมากมาย แต่ข้อสรุปรวมจากการศึกษาทั้งหมด ก็คือ "อาหารที่มีเบต้า-แคโรทีนสามารถลดอุบัติการณ์โรคมะเร็งในปอด (Lung Cancer) แม้แต่ในผู้ที่สูบบุหรี่หลายปีแล้วก็ตาม" นอกจากนี้ยังพบว่า คนที่ทานพืชผักที่มีแคโรทีนน้อยที่สุด จะเสี่ยงต่อมะเร็งในปอดเป็นเจ็ดเท่าของคนที่ยานทานมากที่สุด ในกลุ่มเบต้า-แคโรทีนสามารถป้องกัน และยับยั้งมะเร็งในระยะต่างๆ ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หากให้ทานเบต้า-แคโรทีนขนาดสูง พร้อมกับฉายรังสี (สถาบันการแพทย์แผนไทย, 2550)

สำหรับประเทศไทย โดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข แนะนำให้บริโภคเบต้า-แคโรทีน 4.8 มิลลิกรัม/วัน หรือ 2,664 IU/วัน ซึ่งการบริโภคเบต้า-แคโรทีนในปริมาณมาก พบว่าไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย เพียงแต่จะทำให้ผิวหนังมีสีเหลือง และจะเป็นปกติเมื่อหยุดบริโภค

แครอทเป็นแหล่งของเบต้า-แคโรทีนที่ดี ซึ่งแครอทสุกจะมีเบต้า-แคโรทีนมากกว่าในแครอทดิบถึง 5 เท่า โดยสารเบต้า-แคโรทีนสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้โดยเอนไซม์ในลำไส้ ซึ่งวิตามินเอมีความสำคัญกับร่างกาย คือ ทำให้สามารถมองเห็นได้ในที่มืด ช่วยในระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายทำงานได้ดี และเกี่ยวข้องกับกระบวนการเจริญเติบโต (มูลนิธิโตโยต้าประเทศไทย, 2545) และเบต้า-แคโรทีนยังเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ (antioxidant) ทำหน้าที่ต่อต้านหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) หยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ (free radical) ซึ่งเป็นผลผลิตที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในสิ่งมีชีวิตที่ใช้ออกซิเจนในกระบวนการเมตาบอลิซึม นอกจากนี้พบว่าปัจจัยภายนอก เช่น รังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) โอโซน คาร์บอนมอนอกไซด์ ไอโอเชีย คาร์บอนไดออกไซด์ และยาบางชนิด เป็นต้น ล้วนมีผลต่อการเกิดอนุมูลอิสระ โดยการเกิดอนุมูลอิสระจากปัจจัย

เหล่านี้เริ่มต้นจาก โมเลกุลที่เป็นสารตั้งต้นอาจได้รับความร้อน หรือแสง หรือได้รับอิเล็กตรอนจาก โมเลกุลที่เป็นสารรีดิวซิง (reducing agent) เช่น เหล็ก ( $Fe^{2+}$ ) หรืออาจเกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ บางชนิดที่กระตุ้นให้สารตั้งต้นเปลี่ยนเป็นอนุมูลอิสระ อนุมูลอิสระเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียร เนื่องจากมีอิเล็กตรอนวงนอกไม่ครบคู่ ดังนั้น จึงมีความไวสูงในการเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นๆ ข้างเคียง เนื่องจากต้องการดึงเอาอิเล็กตรอนจากโมเลกุลอื่นมาเพื่อให้กลายเป็นโมเลกุลที่เสถียร โมเลกุลที่ถูกดึงอิเล็กตรอนไปก็จะกลายเป็นอนุมูลอิสระแทน และต้องไปดึงอิเล็กตรอนจากโมเลกุลอื่นมาอีก ดังนั้น ปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระจึงเรียกว่า เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) อนุมูลอิสระเหล่านี้โดยทั่วไปจะทำลายชีวโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์ ได้แก่ ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และกรดนิวคลีอิก เป็นต้น ถ้าโมเลกุลใดสูญเสียอิเล็กตรอนไป หมายถึง โมเลกุลนั้น ไม่สามารถทำหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์ด้วย ดังนั้น ปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระจึงมีผลทำลายสมดุลของระบบต่างๆ ในร่างกาย เช่น ทำลายหน้าที่ของเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้โปรตีนหรือเอนไซม์ต่างๆ ในร่างกายไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ ดีเอ็นเอหรือสารพันธุกรรมเปลี่ยนแปลงไป ผลเสียเหล่านี้เป็นสาเหตุของการเกิดโรคร้ายต่างๆ เช่น มะเร็ง โรคเกี่ยวกับหลอดเลือดหัวใจ โรคเกี่ยวกับระบบภูมิคุ้มกันทำงานผิดปกติ ไช้ออกเสบ ต้อกระจก เป็นต้น (อัญชญา, 2550)

นอกจากนี้ แครอทยังมีสารอาหารอีกมากมาย อาทิเช่น ธาตุเหล็ก ฟอสฟอรัส วิตามินซี แคลเซียม และกรดอะมิโนอีกหลายชนิด อีกทั้งยังช่วยบำรุงผิวพรรณ และช่วยในการขับถ่าย โดยมีปริมาณของเกลือโปแตสเซียมสูง ทำให้มีฤทธิ์ในการขับปัสสาวะ มีน้ำมันหอมระเหย มีฤทธิ์ในการขับพยาธิไส้เดือน (สถาบันการแพทย์แผนไทย, 2550)