บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เนยแข็ง

เนยแข็ง (cheese) เป็นผลิตภัณฑ์นมที่มีคุณค่าทางอาหารสูง สามารถผลิตได้จากน้ำนมของสัตว์หลายชนิดเช่น นมโค นมกระบือ นมแพะ นมแกะ และนมม้า เป็นต้น โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ โปรตีนในน้ำนมที่เรียกว่า เคซีน ไขมัน น้ำ แร่ธาตุ และวิตามิน ซึ่งจะมีปริมาณแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของเนยแข็ง การผลิตเนยแข็งจะแตกต่างกันไปตามความนิยมของแต่ละท้องถิ่น จึงทำให้มีเนยแข็งมีมากกว่า 400 ชนิด และมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปกว่า 800 ชื่อ (Lampert, 1975)

สำหรับประเทศไทยตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เนยแข็ง หมายความว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำนม ครีมบัตเตอร์มิลค์ (butter milk) หรือเวย์ (whey) อย่างหนึ่งอย่างใดหรือหลายอย่างมาผสมกับเอนไซม์ (enzyme) หรือกรด หรือจุลินทรีย์จนเกิดการรวมตัวเป็นก้อน แล้วแยกส่วนที่เป็นน้ำออก และจะนำมาใช้ในลักษณะสดหรือนำมาบ่มให้ได้ที่ก่อนใช้ (กระทรวงสาธารณสุข, 2544) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ชนิด ดังต่อไปนี้

1. ครีมชีส (cream cheese) หมายความว่า เนยแข็งที่ใช้ครีมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการผลิต
2. โฮลมิลค์ชีส (whole milk cheese) หมายความว่า เนยแข็งที่ใช้นมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการผลิต
3. สกิมมิลค์ชีส (skimmed milk cheese) หมายความว่า เนยแข็ง ที่ใช้นมพร่องมันเนย หรือ นมขาดมันเนย หรือ บัตเตอร์มิลค์ หรือ เวย์ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการผลิต
4. โพรเซสชีส (processed cheese) หมายความว่า เนยแข็ง ซึ่งได้ผ่านกรรมวิธีทำให้ เล็กลง เติมสารอีมัลซิฟาย และนำมาพาสเจอร์ไรส์ และจะแต่งสี กลิ่น รส หรือไม่ก็ได้
5. เนมชีส (named cheese) หมายความว่า เนยแข็งตามข้อ 3 ที่มีชื่อตามชนิดของเนยแข็งหรือสถานที่ผลิต ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป และมีกรรมวิธีการผลิตเฉพาะตามชนิดของเนยแข็งนั้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากนี้ยังมีการจำแนกเนยแข็งออกเป็นชนิดต่างๆ ตามสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ ทางจุลชีววิทยา และกระบวนการผลิต ดังนี้

ตามมาตรฐาน CODEX STAN A-6-1978 ได้จำแนกเนยแข็งตามปริมาณไขมันในน้ำหนักแห้ง (fat in dry matter) (CODEX, 1999) ได้แก่

1. เนยแข็งชนิดไขมันสูง (high fat) เป็นกลุ่มของเนยแข็งที่มีปริมาณไขมันไม่ต่ำกว่าร้อยละ 60 โดยน้ำหนักแห้ง
2. เนยแข็งชนิดไขมันสมบูรณ์ (full fat) เป็นกลุ่มของเนยแข็งที่มีปริมาณไขมันร้อยละ 45-60 โดยน้ำหนักแห้ง
3. เนยแข็งชนิดไขมันปานกลาง (medium fat) เป็นกลุ่มของเนยแข็งที่มีปริมาณไขมันร้อยละ 25-45 โดยน้ำหนักแห้ง
4. เนยแข็งชนิดไขมันบางส่วน (partially skimmed) เป็นกลุ่มของเนยแข็งที่มีปริมาณไขมันร้อยละ 10-25 โดยน้ำหนักแห้ง
5. เนยแข็งชนิดไขมันต่ำ (skim) เป็นกลุ่มของเนยแข็งที่มีปริมาณไขมันต่ำกว่าร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแห้ง

Schulz (1952) ได้จำแนกเนยแข็งตามปริมาณความชื้น (moisture) ได้แก่

1. เนยแข็งชนิดแห้ง (dried cheese) เป็นกลุ่มของเนยแข็งที่มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก
2. เนยแข็งชนิดขูด (grated cheese) เป็นกลุ่มของเนยแข็งที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 30-40 โดยน้ำหนัก
3. เนยแข็งชนิดแข็ง (hard cheesse) เป็นกลุ่มของเนยแข็งที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 50-59.9 โดยน้ำหนัก
4. เนยแข็งชนิดอ่อน (soft cheese) เป็นกลุ่มของเนยแข็งที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 60-69.9 โดยน้ำหนัก
5. เนยแข็งชนิดสด (fresh cheese) เป็นกลุ่มของเนยแข็งที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 70-82 โดยน้ำหนัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Kosikowski (1982) ได้จำแนกเนยแข็งตามปริมาณความชื้น (moisture) ได้แก่

1. ปริมาณความชื้นสูงมาก (very high H_2O) เป็นกลุ่มของเนยแข็งที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 55-80 โดยน้ำหนัก เช่น Cottage และ Cream cheese เป็นต้น
2. ปริมาณความชื้นสูง (high H_2O) เป็นกลุ่มของเนยแข็งที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 45-55 โดยน้ำหนัก เช่น Mozzarella และ Blue cheese เป็นต้น
3. ปริมาณความชื้นปานกลาง (medium H_2O) เป็นกลุ่มของเนยแข็งที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 34-45 โดยน้ำหนัก เช่น Edam, Swiss และ Cheddar เป็นต้น
4. ปริมาณความชื้นต่ำ (low H_2O) เป็นกลุ่มของเนยแข็งที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 13-34 โดยน้ำหนัก เช่น Parmesan และ Romano เป็นต้น

Fox (1993) ได้จำแนกเนยแข็งตามวิธีการตกตะกอน (coagulation method) ได้แก่

1. เนยแข็งที่ตกตะกอนด้วยเรนเนท (rennet cheese) ได้แก่ เนยแข็งส่วนใหญ่
2. เนยแข็งที่ตกตะกอนด้วยกรด (acid cheese) เช่น Cottage เป็นต้น
3. เนยแข็งที่ตกตะกอนด้วยความร้อนร่วมกับกรด (heat/acid cheese) เช่น Ricotta, Sapsaco และ Schottenziger เป็นต้น
4. เนยแข็งที่ตกตะกอนด้วยการทำให้เข้มข้นและการตกผลึก (concentration/crystallization cheese) เช่น Mysost เป็นต้น

Lampert (1975) ยังได้ทำการรวบรวมการจำแนกเนยแข็งตามหลักเกณฑ์ต่างๆ ได้แก่

1. จำแนกตามกระบวนการผลิต (processes)

Brick	Neufchalet
Camembert	Parmesan
Chaddar	Provolone
Cottage	Romano
Cream	Roquefort
Edam	Sapsago
Gouda	Swiss
Hand	Trappist
Limburger	Whey cheese

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. จำแนกตามชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในขบวนการบ่ม (ripening) ได้แก่
   1) เนยแข็งที่มีการบ่มจากแบคทีเรีย
   2) เนยแข็งที่มีการบ่มจากรา
   3) เนยแข็งที่มีการบ่มจากจุลินทรีย์ที่เจริญบนผิวเนยแข็ง
   4) เนยแข็งที่มีการบ่มจากเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิดข้างต้น
   5) เนยแข็งที่ไม่มีการบ่มจากเชื้อจุลินทรีย์
3. จำแนกตามลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) และขบวนการบ่ม (ripening) ได้แก่
   1) เนยแข็งชนิดอ่อน (soft cheese) เป็นกลุ่มของเนยแข็งที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 45-80 โดยน้ำหนัก แบ่งตามขบวนการบ่มเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้
      - เนยแข็งที่ไม่มีการบ่ม
        - กลุ่มที่มีไขมันต่ำประมาณร้อยละ 4 โดยน้ำหนักเช่น Cottage เป็นต้น
        - กลุ่มที่มีไขมันสูงกว่าร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก เช่น Cream cheese เป็นต้น
      - เนยแข็งที่มีการบ่ม เช่น Brie, Camembert, และ Hand เป็นต้น
   2) เนยแข็งชนิดกึ่งอ่อน (semi-soft cheese) เป็นกลุ่มของเนยแข็งที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 30-45 โดยน้ำหนัก แบ่งตามขบวนการบ่มเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้
      - เนยแข็งที่มีการบ่มจากแบคทีเรีย เช่น Brick และ Munster เป็นต้น
      - เนยแข็งที่มีการบ่มจากแบคทีเรียและจุลินทรีย์ที่เจริญบนผิวเนยแข็ง เช่น Limburger, Port du Salut และ Trappirt เป็นต้น
      - เนยแข็งที่มีการบ่มจากราสีน้ำเงิน (*Penicillium roqueforti*) เช่น Roquefort, Gorgonzola และ Blue cheese เป็นต้น
   3) เนยแข็งชนิดแข็ง (hard cheese) เป็นกลุ่มของเนยแข็งที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 30-40 โดยน้ำหนัก แบ่งตามขบวนการบ่มเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้
      - เนยแข็งที่มีการบ่มจากแบคทีเรียและไม่ทำให้เกิดตา เช่น Cheddar, Granula และ Provolone เป็นต้น
      - เนยแข็งที่มีการบ่มจากแบคทีเรียและทำให้เกิดตา เช่น Swiss, Gruyere และ Emmentaler เป็นต้น
   4) เนยแข็งชนิดแข็งมาก (very hard cheese) เป็นกลุ่มของเนยแข็งที่มีปริมาณความชื้นต่ำ และที่มีการบ่มจากแบคทีเรีย เช่น Asiago old, Pramesan, Romano, Sapsago และ Spalen เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.1 ส่วนประกอบในการผลิตเนยแข็ง (ingredient)

การผลิตเนยแข็งประกอบด้วยวัตถุดิบหลัก คือ น้ำนม เชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้น เรนเนท และแคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งมีวิธีการคัดเลือกและปฏิบัติการขั้นต้น ดังนี้

2.1.1.1 น้ำนมดิบ (raw milk)

น้ำนมที่ใช้ผลิตเนยแข็งจะต้องมีคุณภาพดีปราศจากจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค สารปฏิชีวนะ น้ำนมน้ำเหลือง น้ำนมจากสัตว์ป่วย และมีองค์ประกอบทางเคมีที่ไม่แตกต่างกันมาก อาจมีการปรับมาตรฐานของปริมาณไขมันและเคซีนให้เหมาะสมกับการผลิตเนยแข็งแต่ละชนิด แม้ว่าการผลิตเนยแข็งด้วยน้ำนมดิบจะให้กลิ่นรสที่ดีกว่า แต่ปัจจุบันการผลิตเนยแข็งนิยมใช้น้ำนมพาสเจอร์ไรส์เพื่อทำลายเอนไซม์บางชนิดและเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคและความสม่ำเสมอของคุณภาพของเนยแข็ง

2.1.1.2 เชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้น (starter culture)

ในอดีตแบคทีเรียที่ใช้ในการผลิตเนยแข็งเป็นแบคทีเรียที่มีอยู่เองในธรรมชาติ ทำให้เนยแข็งที่ได้มีกลิ่นรสแตกต่างกันและไม่สม่ำเสมอ ปัจจุบันจึงมีการคัดเลือกสายพันธุ์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการผลิตเนยแข็งชนิดต่างๆ โดยจุลินทรีย์ที่ใช้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อทำให้เนยแข็งมีกลิ่นรสที่ต้องการ ผลิตกรดแลคติค ช่วยให้เรนเนทตกตะกอนนมได้เร็วขึ้น ทำให้เคิร์ดที่ตัดแล้วหดตัวได้ดีขึ้นและป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่ทำให้กลิ่นรสเปลี่ยนแปลงไป

ทองยศ (2527) ได้จำแนกเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้นตามปริมาณกรดแลคติคและกลิ่นรสได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

- กลุ่มที่สร้างกรดแลคติคสูงมาก สร้างกลิ่นรสได้น้อย เช่น *Lactobacillus lactis*
- กลุ่มที่สร้างกรดแลคติคปานกลาง สร้างกลิ่นรสได้น้อย เช่น *Streptococcus cremoris*
- กลุ่มที่สร้างกรดแลคติคต่ำ สร้างกลิ่นรสได้มาก เช่น *Leuconostoc dextranicum*

Bylund (1995) ได้จำแนกเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้นตามอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต ได้แก่

- กลุ่มที่เจริญเติบโตที่อุณหภูมิปานกลาง (mesophilic culture) มีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตคือ 20-40 องศาเซลเซียส
- กลุ่มที่เจริญเติบโตที่อุณหภูมิสูง (thermophilic culture) มีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตคือตั้งแต่ 45 องศาเซลเซียส ขึ้นไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การผลิตเนยแข็งนิยมใช้แบคทีเรียหลายสายพันธุ์ร่วมกัน เพื่อให้ได้กลิ่นรสและสมบัติตามต้องการ เช่น จุลินทรีย์ตั้งต้นสำหรับการผลิตเนยแข็งเกาด้าประกอบด้วยแบคทีเรีย 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Lactococcus lactis* subsp.*lactis* มีหน้าที่หลักในการผลิตกรดแลคติค *Leuconostoc* subsp. *cremorir* และ *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar. *diacetylactis* ผลิตสารให้กลิ่นรส และ *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *cremoris* ผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งทำให้เกิดตาในเนยแข็ง

2.1.1.3 เรนเนท (Rennet)

เดิมเรนเนทเป็นชื่อที่ใช้เรียกน้ำเกลือดองกระเพาะลูกโค หรือน้ำเกลือสกัดกระเพาะลูกโค (ทองยศ, 2527) ซึ่งมีส่วนประกอบคือ เอนไซน์เรนนินและเอนไซม์ชนิดอื่นๆ เช่น เปปซิน และทริปซิน เป็นต้น ทำหน้าที่หลักในการตกตะกอนนม และช่วยให้เนยแข็งมีลักษณะเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสที่ดี แต่การที่มีเอนไซม์ชนิดอื่นจะทำให้เนยแข็งที่ผลิตได้มีรสขม จึงมีการผลิตเรนเนทบริสุทธิ์ขึ้น จำแนกได้เป็น 4 ชนิด (Scott, 1981) ได้แก่

- เรนเนทจากสัตว์ (animal rennets) คือ เอนไซม์เรนนิน (rennin) ที่สกัดจากกระเพาะที่ 4 ของลูกสัตว์เคี้ยวเอื้องในวัยที่ยังไม่หย่านม
- เรนเนทที่ประกอบด้วยเอนไซม์เปปซิน (pepsin rennets) คือ เอนไซม์เปปซิน (pepsin) ที่สกัดจากน้ำย่อยในกระเพาะอาหารของสัตว์จำพวกโค และสัตว์ปีก
- เรนเนทจากจุลินทรีย์ (microbial rennets) คือ เอนไซม์โปรตีเอส (proteases) และไลเปส (lipases) ที่สกัดได้จากจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น *Aspergillus niger* var. *awamori*
- เรนเนทจากพืช (vegetable rennets) คือ เอนไซม์ที่สกัดได้จากพืช เช่น โบรมีลีน (bromelin) จากสับปะรด และปาเปน (papain) จากมะละกอ เป็นต้น

เรนเนทที่นิยมใช้การผลิตเนยแข็งในปัจจุบันจะเป็นเรนเนทที่ผลิตจากจุลินทรีย์ เนื่องจากผลิตได้ง่าย และมีความบริสุทธิ์สูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.1.4 แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride : $CaCl_2$)

ถ้าน้ำนมที่ใช้ในการผลิตเนยแข็งมีคุณภาพต่ำจะทำให้ตะกอนนมที่ได้อ่อนเกินไป และมีการสูญเสียโปรตีนเคซีนและไขมันไปกับน้ำเวย์เป็นจำนวนมาก การเติมแคลเซียมคลอไรด์ประมาณ 5-20 กรัมต่อ100กิโลกรัมของน้ำนม ก่อนการเติมเรนเนทจะช่วยให้การตกตะกอนดีขึ้น แต่ถ้าใส่มากเกินไปจะทำให้ตะกอนนมแข็งเกินไปการตัดตะกอนนมจะยากขึ้น (Bylund, 1995)

2.1.2 กระบวนการผลิตเนยแข็ง (cheesemaking)

เนยแข็งถูกจำแนกออกเป็นหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสแตกต่างกันไปตามกระบวนการผลิต แต่กระบวนการผลิตเนยแข็งเหล่านั้นล้วนมีกระบวนการพื้นฐานเช่นเดียวกัน

2.1.2.1 การตกตะกอน (coagulation)

การตกตะกอนนมสามารถทำได้หลายวิธี คือ การใช้ความร้อนร่วมกับกรด การลดค่าความเป็นกรด-ด่างให้ต่ำกว่าจุด isoelectic point ของโปรตีนนม การทำให้เข้มข้นและตกผลึก และการใช้เรนเนท ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมที่สุดในการผลิตเนยแข็ง โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. นมพาสเจอร์ไรส์จะถูกลดอุณหภูมิลงให้เหมาะสมกับเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้น ที่ใช้ในการผลิตเนยแข็งแต่ละชนิด เติมเชื้อจุลินทรีย์ตั้งต้นแล้วกวนเบาๆ เพื่อให้เกิดการกระจายตัว เมื่อเชื้อจุลินทรีย์เปลี่ยนน้ำตาลแลคโตสเป็นกรดแลคติค ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำนมจะค่อยๆ ลดลง
2. เติมแคลเซียมคลอไรด์และเรนเนท เมื่อพีเอชลดลงถึงจุดที่เหมาะสมเอนไซม์เรนนินจะทำปฏิกิริยากับโปรตีนเคซีน (casein) เปลี่ยนเป็นพาราเคซีน (parpcasein) แล้วแคลเซียมไอออน (Ca^{++}) จะจับกับพาราเคซีนได้เป็นแคลเซียมพาราเคซีเนท (calcium para caseinate) และตกตะกอน โดยปกติจะใช้เวลาประมาณ 30 นาที

กระบวนการตกตะกอนนมจึงมีปัจจัยที่สำคัญคือ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณแคลเซียมไอออน โดยโปรตีนเคซีนจะตกตะกอนที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 4.6-4.7 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมินี้ตะกอนนมที่ได้อาจจะแข็งเกินไป จึงนิยมตกตะกอนนมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (Bylund, 1995)

2.1.2.2 การตัดเคิร์ด (Cutting the coagulum)

เมื่อได้ตะกอนนมที่สมบูรณ์แล้วจะทำการตัดตะกอนนมที่ได้ด้วยใบมีด หรือตะแกรงลวดให้เป็นทรงลูกบาศก์มีหน้าตัดกว้าง 3-15 มิลลิเมตร โดยก้อนเคิร์ดที่มีขนาดเล็กจะได้เนยแข็งที่มีความชื้นต่ำกว่าเนยแข็งที่ได้จากก้อนเคิร์ดที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากการตัดตะกอนนมเป็นก้อนเล็กๆ นั้นจะเพิ่มพื้นที่ผิวและลดระยะทางในการแพร่ น้ำเวย์จึงถูกระบายออกจากก้อนเคิร์ดได้เร็วและมากขึ้น โดยในน้ำเวย์จะประกอบด้วยส่วนประกอบที่ละลายน้ำได้ คือ น้ำตาลแลคโตส เวย์โปรตีน เกลือ เปปไทด์ และสารประกอบไนโตรเจนที่ปราศจากโปรตีน (Scott, 1981)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.2.3 การกวนขั้นต้น (pre-stirring)

การกวนเคิร์ดจะกระทำทันทีหลังจากตัดเคิร์ดเสร็จ ซึ่งในช่วงแรกควรทำการกวนอย่างเบาๆ เนื่องจากเคิร์ดจะยังอ่อนนิ่มอยู่ การกวนจะทำให้เคิร์ดหดตัว ไม่กลับไปจับตัวเป็นก้อน (lumps) และสามารถระบายน้ำเวย์ได้ดีขึ้น ในขณะกวนแบคทีเรียจะยังคงผลิตกรดแลคติคซึ่งจะช่วยในการระบายน้ำเวย์ออกจากเคิร์ด หากเกิดการจับตัวเป็นก้อนใหม่ของเคิร์ดจะทำให้เกิดการสูญเสียโปรตีนเคซีน และหากเป็นการกวนเคิร์ดสำหรับเนยแข็งไขมันต่ำ จะต้องกวนด้วยแรงที่มากกว่าการกวนเคิร์ดที่มีไขมันสูงกว่า (Bylund, 1995)

2.1.2.4 การระบายน้ำเวย์ขั้นต้น (pre- drainage of whey)

น้ำเวย์ประมาณร้อยละ 35-50 ของปริมาณน้ำนม จะถูกระบายออกเพื่อให้สามารถเติมน้ำร้อนสำหรับให้ความร้อนแก่เคิร์ดได้ ในขณะระบายน้ำเวย์ไม่ควรหยุดกวนเคิร์ดเพราะอาจทำให้เคิร์ดจับตัวเป็นก้อน และควรทำการระบายน้ำเวย์ให้เสร็จภายใน 5-6 นาที

2.1.2.5 การให้ความร้อน (heating)

การให้ความร้อนแก่เคิร์ดจะกระตุ้นให้มีการระบายน้ำเวย์มากขึ้น เคิร์ดหดตัว และจำกัดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียทำให้เป็นการควบคุมปริมาณกรดไปในตัว

Bylund (1995) จำแนกวิธีการให้ความร้อนได้เป็น 3 วิธี ได้แก่

1. การให้ความร้อนด้วยไอน้ำผ่านทางถังผลิต 2 ชั้น เพียงวิธีเดียว
2. การใช้น้ำร้อนเติมลงไปในถังผลิตโดยตรงร่วมกับวิธีที่ 1
3. การใช้น้ำร้อนเติมลงไปในถังผลิตโดยตรงเพียงวิธีเดียว

เวลาและอุณหภูมิในการให้ความร้อน ขึ้นอยู่กับวิธีการให้ความร้อนและชนิดของเนยแข็ง

2.1.2.6 การกวนขั้นสุดท้าย (final stirring)

การกวนหลังจากให้ความร้อนเพื่อระบายน้ำเวย์ออกจากเคิร์ดให้ได้มากที่สุด และทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น ระยะเวลาในการกวนมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเนยแข็ง โดยการกวนนานเกินไปจะทำให้เนยแข็งมีเนื้อแข็ง และแห้งมาก ทำให้ยากต่อการขึ้นรูป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.2.7 การขึ้นรูปเคิร์ด (curd handling)

เนยแข็งแต่ละชนิดจะมีวิธีการขึ้นรูปที่แตกต่างกันไป ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อลักษณะเนื้อสัมผัส สี และกลิ่นรสของเนยแข็ง สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท (Bylund, 1995) ได้แก่

1. เนยแข็งประเภทกรานูลาร์ (cheese with granular texture) เป็นเนยแข็งที่มีลักษณะเนื้อร่วนมีช่องอากาศเล็กๆ ภายในจำนวนมาก โดยการนำเคิร์ดพร้อมน้ำเวย์ผ่านตะแกรงหรือลูกกลิ้งชนิดพิเศษ (vibrating or rotating strainer) น้ำเวย์จะไหลผ่านเคิร์ดไป ส่วนเคิร์ดจะถูกบรรจุในพิมพ์ ทำให้เกิดช่องว่างเล็กๆ ขึ้นในเนื้อของเนยแข็ง
2. เนยแข็งประเภทราวนด์-อายด์ (round-eyed cheese) เป็นเนยแข็งที่มีตาที่เกิดจากการสร้างก๊าซของแบคทีเรีย โดยหลังจากกวนขั้นสุดท้ายจะทำการระบายน้ำเวย์ออกประมาณร้อยละ 50 ของปริมาณน้ำนม กดอัดเคิร์ดในน้ำเวย์ภายในถังผลิตเพื่อป้องกันการสะสมของอากาศจากภายนอก ตาที่เกิดขึ้นภายในเนื้อเนยแข็งจึงเกิดจากการสร้างก๊าซของแบคทีเรียเท่านั้นเมื่ออัดเคิร์ดในน้ำเวย์เสร็จจะทำการระบายน้ำเวย์ออกทั้งหมดและตัดเคิร์ดตามขนาดที่ต้องการใส่พิมพ์ที่เตรียมไว้ เพื่อนำไปกดอัดครั้งสุดท้าย
3. เนยแข็งประเภทเนื้อแน่น (closeed texture cheese) เป็นเนยแข็งที่มีลักษณะเนื้อแน่นไม่มีช่องอากาศภายใน ตัวอย่างเนยแข็งกลุ่มนี้ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายคือ เนยแข็งเชดดาร์ (Cheddar cheese) น้ำเวย์จะถูกระบายออกทั้งหมด ก่อนตัดเคิร์ดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมนำมาวางซ้อนกันเพื่อให้เกิดน้ำหนักกดทับ และน้ำเวย์จะถูกระบายออกจากก้อนเคิร์ด ก้อนเคิร์ดจะรวมเป็นก้อนเดียวกัน นำไปขูดหรือสับเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วเติมเกลือป่นเพื่อแต่งรส คลุกเคล้าให้เข้ากัน จึงนำไปใส่ในพิมพ์เพื่อกดอัดครั้งสุดท้าย

2.1.2.8 การเติมเกลือ (salting)

การเติมเกลือมีผลโดยตรงต่อกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสของเนยแข็ง รวมถึงการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เนื่องจากจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความทนต่อปริมาณเกลือไม่เท่ากัน เช่น แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติคสามารถทนปริมาณเกลือได้สูงกว่าร้อยละ 0.5 แบคทีเรียที่ผลิตกรดบิวทีริคสามารถทนปริมาณเกลือได้สูงกว่าร้อยละ 2 เป็นต้น (นรินทร์, 2531) เกลือจึงยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียของเนยแข็งได้ ความเข้มข้นของเกลือทำให้เกิดการออสโมซิสน้ำออกจากเนยแข็งทำให้ความชื้นลดลง ถ้าปริมาณเกลือสูงกว่าร้อยละ 5 จะเกิดการสูญเสียพาราเคซีนที่ละลายน้ำได้ทำให้ลักษณะเนื้อของเนยแข็งมีความแน่นและสม่ำเสมอ ปริมาณของเกลือที่ถูกเติมลงในเนยแข็งนอกจากจะพิจารณาจากรสชาติแล้วยังช่วยในการสร้างกลิ่นด้วย โดยเนยแข็งที่มีกลิ่นรสแรงจะต้องการเกลือปริมาณมากกว่าเนยแข็งที่มีกลิ่นรสอ่อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีการเติมเกลือสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี ได้แก่

1. การเติมเกลือป่น (dry salting) เป็นการนำเคิร์ดที่ขูดหรือสับแล้วมาคลุกกับเกลือป่นก่อนการกดอัดครั้งสุดท้าย แต่หากการคลุกเคล้าเกลือไม่ทั่วถึงเนื้อของเนยแข็งจะหยาบ เกลือจะช่วยในการระบายน้ำเวย์ออกจากเคิร์ด ดังนั้นเนยแข็งที่เติมเกลือด้วยวิธีนี้จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่น และแห้งกว่าเนยแข็งที่ใช้การแช่ในน้ำเกลือ เพราะเกลือป่นสัมผัสกับเคิร์ดได้ทั่วถึงกว่า แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือเกลือที่ใช้จะละลายออกมาพร้อมกับน้ำเวย์ คือ ถ้าเคิร์ดมีความชื้นสูงจะต้องใช้เกลือมากกว่าเคิร์ดที่มีความชื้นต่ำ จึงเป็นการยากในการกำหนดปริมาณเกลือที่ต้องใช้ในการผลิตแต่ละครั้ง (Scott, 1981)
2. การแช่น้ำเกลือ (brine salting) เป็นการนำก้อนเนยแข็งที่ได้จากการกดอัดครั้งสุดท้ายแช่ในน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นร้อยละ 18-27 อุณหภูมิ 8-16 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ถึง 5 วัน ขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของเนยแข็ง ในกรณีที่น้ำเกลือมีความเข้มข้นต่ำกว่าร้อยละ 16 อาจมีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มที่ทนเกลือทำให้เกิดเมือกที่ผิวของก้อนเนยแข็ง จึงควรมีการพาสเจอร์ไรส์น้ำเกลือก่อนนำมาใช้แช่เนยแข็ง (Bylund, 1995)

โดยทั่วไปก้อนเคิร์ดจะมีรูพรุนเล็กๆ ประมาณ 10,000 รูต่อตารางเซนติเมตร ดังนั้นการที่เนยแข็งมีปริมาณไขมันสูง เม็ดไขมัน (fat globules) จะปิดกันการซึมผ่านของเกลือ ทำให้การเติมเกลือต้องใช้เวลานานกว่าเนยแข็งที่มีไขมันต่ำ (Bylund, 1995)

ค่าความเป็นกรด-ด่างมีผลต่ออัตราการดูดซึมเกลือ โดยเนยแข็งที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำจะสามารถดูดซึมเกลือได้ดีกว่า ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 5 เนยแข็งที่ได้จะมีลักษณะเนื้อแข็งและเปราะ และที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 5.6 เนยแข็งที่ได้จะมีลักษณะเนื้อที่เหนียวขึ้น

2.1.2.9 การกดอัดครั้งสุดท้าย (pressing)

การกดอัดครั้งนี้เพื่อทำให้เคิร์ดมีรูปทรงตามต้องการ และระบายน้ำเวย์ออกจากเคิร์ดอย่างสมบูรณ์ เนยแข็งแต่ละชนิดจะใช้แรงกดอัดต่างกัน เช่นเนยแข็งประเภทกรานูลาร์จะใช้แรงกดอัดต่ำ ส่วนเนยแข็งประเภทเนื้อแน่นจะใช้แรงกดอัดสูง เป็นต้น โดยจะทำการเพิ่มแรงกดอัดอย่างช้าๆ เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียไขมัน และในระหว่างกดอัดจะต้องทำการพลิกกลับข้างเนยแข็งเพื่อป้องกันการติดพิมพ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.2.10 การบ่ม (ripening)

การบ่มเนยแข็งเป็นการนำเนยแข็งไปเก็บรักษาในสภาวะที่มีการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อพัฒนากลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏ อันเนื่องมาจากการกระทำของเอนไซม์และจุลินทรีย์ เนยแข็งแต่ละชนิดจะมีอายุการบ่มแตกต่างกันตั้งแต่ 1 สัปดาห์ ถึง มากกว่า1 ปี

ในระหว่างการบ่มจะมีปฏิกิริยาทางเคมีกิดขึ้นกับ โปรตีน ไขมัน และน้ำตาลแลคโตส ดังนี้

1. การสลายตัวของน้ำตาลแลคโตส (lactose decomposition) ในช่วง 1-2 สัปดาห์แรกของการบ่ม แบคทีเรียแลคติค (lactic acid bacteria) จะหมักน้ำตาลแลตโตสเป็นกรดแลคติค แล้วถูกทำให้เป็นกลางโดยสารที่ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ในตะกอนนม จึงอยู่ในรูปของแลตเตส ซึ่งจะถูกแบคทีเรียโพรพิโอนิค (propionic acid bacteria) เปลี่ยนเป็นกรดโพรพิโอนิค และกรดอะซิติค นอกจากนี้ยังมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นทำให้เกิดเป็นตา (eye) ในเนยแข็งอีกด้วย ถ้าอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมแบคทีเรียบิวทีริค (butyric acid bacteria) จะสามารถหมักแลตเตสได้ไฮโดรเจนซึ่งจะค่อยๆ ถูกเติมให้กับกรดไขมันที่ระเหยได้และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปฏิกิริยานี้จะเกิดในช่วงสุดท้ายของการบ่มทำให้เนยแข็งเกิดรอยปริ
2. การสลายตัวของโปรตีน (protein decomposition) มีผลอย่างมากต่อความเหนียวและรสชาติของเนยแข็ง โดยการสลายตัวของโปรตีนเกิดจากเอนไซม์ที่มาจากเรนเนท เช่น เรนนินและเปปซิน เป็นต้น และเชื้อจุลินทรีย์ เช่น โปรตีเอส เป็นต้น ในขั้นแรกเอนไซม์จากเรนเนทจะเปลี่ยนพาราเคซีนให้เป็นโพลีเปปไทด์ ต่อจากนั้นเอนไซม์จากเชื้อจุลินทรีย์จึงจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของเคซีน กรดอะมิโนชนิดต่างๆ ที่ได้จากการสลายตัวของโปรตีนนั้นเป็นพื้นฐานของการเกิดรสต่างๆ เช่น เมททิโอนีน (methionine) ฮิสติดีน (histidine) ให้รสขม โพรลีน (proline) และอะลานีน (alanine) ให้รสหวาน เป็นต้น และยังรวมตัวกับสารอื่นๆ เช่น น้ำตาลแลคโตส กรดไขมัน เกิดเป็นกลิ่นรส และกลิ่นหอมระเหย (aroma) ในเนยแข็ง (Scott, 1981)
3. การสลายตัวของไขมัน (fat decomposition) เป็นกรดไขมันอิสระ โดยเอนไซม์ไลเปสที่มีอยู่ในน้ำนมและเชื้อจุลินทรีย์ กรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะเกิดปฏิกิริยาบีตา-ออกซิเดชันได้กรดไขมันที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง การออกซิเดชั่นของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่ตำแหน่งพันธะคู่ ได้กรดอินทรีย์อัลดีไฮด์และคีโตนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและละลายน้ำได้ ทำให้เมื่อรับประทานสารเหล่านี้จะไปกระตุ้นตุ่มรับรส (taste bud) และระเหยง่าย จึงช่วยให้เกิดกลิ่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Scott (1981) ได้จำแนกปัจจัยที่มีผลต่อการบ่ม ได้แก่

1. อุณหภูมิ (temperature) มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดขึ้น อุณหภูมิต่ำจะทำให้การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และปฏิกิริยาชีวเคมีเกิดขึ้นช้า ซึ่งอาจทำให้ไม่เกิดตาในเนยแข็งประเภทราวนด์-อายด์ (round-eyed cheese) แต่ถ้าอุณหภูมิสูงอาจมีการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการเป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ดี
2. ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) มีผลต่อปริมาณความชื้น (moisture content) ในเนยแข็ง ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะทำให้เกิดการสูญเสียความชื้นทำให้เนยแข็งมีลักษณะเนื้อสัมผัสแห้งและแข็ง ความชื้นยังทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายและเชื่อมพันธะให้กับสารประกอบต่างๆ ในเนยแข็ง จึงมีผลต่อปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์
3. องค์ประกอบทางชีวเคมีของเคิร์ด (biochemical composition of the curd) ปริมาณและชนิดของสารชีวเคมี เช่น กรดไขมัน กรดอะมิโน น้ำตาลแลคโตส เป็นต้น ล้วนมีผลต่อปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์
4. จุลินทรีย์ (microbiological content of curd) เชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีการผลิต สารให้กลิ่นรสแตกต่างกัน

จะเห็นได้ว่าเนยแข็งแต่ละชนิดจะมีคุณลักษณะต่างๆแตกต่างกันไป จึงมีสภาวะในการบ่มที่เหมาะสมไม่เหมือนกัน ซึ่งนอกจากปัจจัยข้างต้นยังมีค่าความเป็นกรดด่าง ความสามารถในการถ่าย-รับออกซิเจน เกลือ และแอนติบอดี้ที่จะต้องนำมาพิจารณาในการบ่มเนยแข็งด้วย

เนยแข็งแต่ละชนิดมีกระบวนการผลิตขั้นพื้นฐานคล้ายคลึงกัน ดังแสดงในตาราง 1.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง1.1 สภาวะที่ใช้ในการผลิตเนยแข็งบางชนิด

Type	Setting /Time	Cooking °F (°C)	Draining	pH	Salting (%)	Pressing	Ripening
Brick	Rennin (25 min)	96 (35.6)	Vat drain	5.4	Brine (1.5)	In molds, no surface weights	4-8 weeks
Cheddar	Rennin (25 min)	100 (37.8)	Vat drain	5.2	Dry (1.5)	Horizontal hydraulic press	60 days minimum; 3-6 mos usually; 12 or longer for sharp flavor
Cottage	Acid (5hr)	120 (48.9)	Vat drain	4.6	Dry (1.0)	Vat packing	Unripened
Cream	Acid (5hr)	135 (57.2)	Hoop	4.6	Dry (1.0)	Bag packing	Unripened
Mozzarella	Rennin (30 min)	90 (32.2)	Vat drain	5.3	Brine (0.7)	Bag packing	Unripened to 2 months
Ricotta	Acid (30 min)	176 (80.0)	Hoop	5.9	Dry (0.5)	Can packing	Unripened
Swiss	Rennin (30 min)	128 (128)	Dip	6.2	Brine (1.6)	Vertical hydraulic press	2 months minimum; 2-9 months usually

ที่มา: Kosikowski, 1982

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.3 เนยแข็งเกาด้า

เนยแข็งเกาด้า (Gouda cheese) เป็นเนยแข็งในกลุ่มของ Dutch cheese ผลิตขึ้นจากน้ำนมโค และเรียกชื่อตามแหล่งกำเนิดเนยแข็งคือ เมืองเกาด้า ซึ่งอยู่ทางตอนใต้ของประเทศเนเธอร์แลนด์ (Kosikowski, 1982) เป็นเนยแข็งชนิดกึ่งแข็ง สีเหลืองอ่อน มีตาขนาดเล็กรูปทรงค่อนข้างกลม ขนาดเท่าหัวเข็มหมุดถึงเมล็ดถั่วกระจายอยู่ทั่วไป ปริมาณไขมันในน้ำหนักแห้งไม่ต่ำกว่าร้อยละ 48 ปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 43 และปริมาณน้ำหนักแห้งไม่ต่ำกว่าร้อยละ 57 มีอายุการบ่ม 4-18 สัปดาห์ โดยปกติจะไม่นิยมบริโภคเนยแข็งเกาด้าที่มีอายุการบ่มต่ำกว่า 5 สัปดาห์ (CODEX, 1966) มีกลิ่นรสอ่อนๆ คล้ายถั่ว (mild nutty) (Kosikowski, 1982) เมื่อบ่มนาน 25 วันจะเริ่ม เกิดเปลือกแข็งด้านนอก และถ้าบ่มนานขึ้นจะมีการพัฒนากลิ่นรสที่แรงขึ้นและเนื้อสัมผัสแน่นขึ้น เนยแข็งเกาด้าจะถูกเคลือบด้วยพาราฟินเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น โดยทั่วไปอายุ 1-6 เดือนเคลือบด้วยสีเหลือง หรือ สีแดง และอายุ 12-18 เดือนจะเคลือบด้วยสีเหลืองอมส้ม หรือ ดำ เนยแข็งเกาด้ามีลักษณะคล้ายคลึงกับเนยแข็งอีดัม (Edam cheese) แต่มีปริมาณไขมันในน้ำหนักแห้งสูงกว่าและมีเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มกว่า (Kosikowski, 1982) นิยมบริโภคโดยการตัดเป็นแผ่นรับประทานกับขนมปังกรอบ (cracker) หรือหั่นเป็นลูกเตารับประทานกับไวน์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 โพรเซสชีส

ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขโพรเซสชีส (Processed cheese) หมายความว่า เนยแข็งซึ่งได้ผ่านกรรมวิธีทำให้เล็กลง เติมสารอีมัลซิฟาย และนำมาพาสเจอร์ไรส์ และจะแต่งสี กลิ่น รส หรือไม่ก็ได้ (กระทรวงสาธารณสุข, 2544)

โพรเซสชีส เป็นผลิตภัณฑ์นมซึ่งผลิตจากเนยแข็งชนิดเดียวหรือมากกว่าหนึ่งชนิด ที่มีอายุการบ่มต่างๆ มีการเติมสารอีมัลซิฟาย (emulsifying agent) และให้ความร้อนร่วมกับการกวน เพื่อทำให้ส่วนผสมทั้งหมดรวมเป็นเนื้อเดียวกัน ความร้อนจะทำให้จุลินทรีย์และเอนไซม์ถูกทำลาย ขบวนการบ่ม (ripening) จะหยุดลง ทำให้เก็บรักษาได้นานขึ้น (นิธิยา, 2527) โดยอาจมีการเติมส่วนผสมที่เป็นผลิตภัณฑ์นมอื่นๆ เช่น เวย์ (whey) หางนม (skim-milk) นมผง (milk powder) และเนย (butter) เป็นต้น และส่วนผสมที่ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์นม เช่น ไขมันพืช เกลือ สารปรุงแต่งกลิ่นรส และน้ำ เป็นต้น ลงไปด้วยก็ได้

โพรเซสชีสสามารถจำแนกได้หลายวิธี ตามองค์ประกอบ และสมบัติทางเคมี ดังนี้

Schreiber (2007) ได้จำแนกโพรเซสชีสตามองค์ประกอบในการผลิตโพรเซสชีส ดังนี้

1. Pasteurized process cheese เป็นการนำเนยแข็งผสมกับสารอีมัลซิฟาย แล้วให้ความร้อนในระดับพาสเจอไรส์ เพื่อยับยั้งกิจกรรมการบ่มของเนยแข็ง
2. Pasteurized process cheese food ยังคงมีกลิ่นรส และเนื้อสัมผัสเช่นเดียวกับ Pasteurized process cheese แต่มีการเติมสารอื่นๆ เพื่อเพิ่มปริมาณของแข็งและความชื้น และลดปริมาณไขมัน
3. Pasteurized process cheese spread มีคุณลักษณะเช่นเดียวกับ Pasteurized process cheese food แต่มีปริมาณความชื้นสูงกว่า และมีปริมาณไขมันต่ำกว่า
4. Pasteurized process cheese product มีคุณลักษณะเช่นเดียวกับ Pasteurized process cheese spread แต่มีปริมาณความชื้นสูงกว่า และมีปริมาณไขมันต่ำกว่า

Fox (1993) ได้จำแนกโพรเซสชีสตามองค์ประกอบ ปริมาณน้ำและระดับความเข้มข้น แบ่งได้เป็น 3 ชนิด ดังแสดงในตาราง 1.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 1.2 ชนิดของโพรเซสชีสจำแนกตามองค์ประกอบ ปริมาณน้ำและระดับความเข้มข้น

Some characteristics of processed cheese type			
Type of cheese	Ingredients	Composition	pH
Processed cheese block	Natural cheese, emulsifiers, NaCl, colouring	Moisture and fat contents correspond to the legal limit for natural cheese	5.6-5.8
Processed cheese food	Same as above plus optional ingredients such as milk, organic acid	≤ 44% moisture, < 23% fat	5.2-5.6
Processed cheese spread	Same as processed cheese food plus gums for water retention	≥ 44% and ≤ 60% moisture, < 20% fat	5.2-6.0

ที่มา: Fox, 1993

2.2.1 ส่วนประกอบในการผลิตโพรเซสชีส

การผลิตโพรเซสชีสประกอบด้วยวัตถุดิบหลัก คือ เนยแข็ง และสารอีมัลซิฟาย แต่อาจมีการเติมน้ำ และสารปรุงแต่งอื่นๆ เพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของโพรเซสชีสให้เป็นไปตามที่ต้องการ ซึ่งมีเกณฑ์ในการพิจารณาวัตถุดิบดังนี้

2.2.1.1 เนยแข็ง (natural cheese)

เนยแข็งที่ใช้เป็นวัตถุดิบจะต้องทราบสมบัติทางเคมีและกายภาพเพื่อใช้ในการกำหนดสัดส่วนของเนยแข็งที่ใช้ในส่วนผสม โพรเซสชีสที่มีคุณภาพดีจะต้องผลิตจากเนยแข็งที่ไม่มีความผิดปกติด้าน กลิ่นรส โดยเฉพาะกลิ่นหืน แต่ความผิดปกติด้านสี รูปทรง ผิว และลักษณะเนื้อสัมผัสสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตโพรเซสชีสได้

Meyer (1973) ได้จำแนกปัจจัยในการคัดเลือกเนยแข็งสำหรับผลิตโพรเซสชีสไว้ ดังนี้

1. ชนิดของเนย (type of cheese) เนยแข็งแต่ละชนิดจะมีคุณลักษณะเฉพาะตัวต่างกัน โพรเซสชีสบางชนิดนิยมผลิตจากเนยแข็งเพียงชนิดเดียวเช่น เนยแข็งอีเมนทอล (Emmentaler) ในขณะที่ บางชนิดอาจใช้เนยแข็งหลายชนิดร่วมกัน เช่น เนยแข็งเกาด้า (Gouda) เนยแข็งอีดัม (Edam) และ เนยแข็งเชดดาร์ (Cheddar) เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. อายุของเนยแข็ง (condition of ripening) องค์ประกอบทางเคมี ลักษณะเนื้อสัมผัส และโครงสร้างของเนยแข็งในแต่ละช่วงอายุจะแตกต่างกัน โดยช่วงแรกเนยแข็งจะมีปริมาณโปรตีนเคซีนและปริมาณความชื้นสูง และจะค่อยๆลดลง เมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับสายโครงสร้าง (filament-like structure) ของเคซีนที่สั้นลง และมีการพัฒนากลิ่นรสที่แรงขึ้น โดยโพรเซสชีสชนิดก้อน นิยมใช้เนยแข็งที่มีอายุการบ่มน้อย หรือปานกลาง เป็นต้น
3. คุณลักษณะทางเคมีและทางกายภาพ (physico-chemical character) โพรเซสชีสที่ผลิตจากเนยแข็งที่มีคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพที่ดี ย่อมจะรับประกันได้ว่าจะมีคุณภาพดี
4. คุณภาพทางจุลชีววิทยา (microbiological quality) เป็นที่ทราบกันดีว่าเนยแข็งเป็นผลิตภัณฑ์นมที่มีเชื้อจุลินทรีย์หลากหลายชนิดเป็นจำนวนมาก ในกระบวนการผลิตโพรเซสชีสส่วนใหญ่จะสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียและก่อให้เกิดโรคได้ แต่ยังมีสารพิษหรือสปอร์ของจุลินทรีย์ที่ทนความร้อนสูงอยู่ ดังนั้นหากไม่ได้ใช้อุณหภูมิในระดับสเตอริไลส์ จะต้องมั่นใจว่าเนยแข็งที่ใช้เป็นวัตถุดิบไม่มีสารพิษหรือสปอร์ของจุลินทรีย์ที่ทนความร้อนสูงปนเปื้อน

โพรเซสชีสแต่ละชนิดจะมีข้อกำหนดในการคัดเลือกเนยแข็งมาเป็นวัตถุดิบแตกต่างกับไป ทั้งนี้ต้องพิจารณาร่วมกับกระบวนการผลิตด้วย

2.2.1.2 สารอีมัลซิฟาย (emulsifying agent)

ในกระบวนการผลิตโพรเซสชีสความร้อนจะทำให้โปรตีน ไขมันและน้ำในเนยแข็งเกิดการแยกตัว การเติมสารอีมัลซิฟายจะทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายของโปรตีนทำให้เกิดการรวมตัวของน้ำและไขมัน โดยจะห่อหุ้มรอบๆ เม็ดไขมัน ช่วยให้ของผสมดังกล่าวเกิดการรวมตัวอีกครั้งและรักษาสภาพอิมัลชั่นไว้ได้ อีกทั้งยังช่วยควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของโพรเซสชีสอีกด้วย

Meyer (1973) ได้จำแนกสารอีมัลซิฟายเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1. เกลือของกรดซิตริก คือ ซิเตรท (citrates) มีสมบัติในการละลายดี ดูดซับความชื้นต่ำ โพรเซสชีสที่ได้จะมีลักษณะเนื้อสัมผัสแน่น และเหนียว ส่วนมากจะใช้กับโพรเซสชีสชนิดก้อน และมีข้อเสียคือ สายโครงสร้างของโปรตีนจะสั้นลง ทำให้โพรเซสชีสที่ได้จะไม่มีลักษณะครีม (creamy) อาจเกิดลายหรือจุดด่างดำในเนื้อโพรเซสชีส แ ละไม่สามารถป้องกันการการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์
2. เกลือของกรดโมโนฟอสฟอริก คือ โมโนฟอสเฟต (monophosphates) มีคุณสมบัติในการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างได้ดี มีข้อเสียคือ ไม่เหมาะกับเนยแข็งที่มีไขมันสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โพรเซสชีสที่ได้จะไม่มีลักษณะครีม มีความสามารถในการคงรูปทรงต่ำ มีกลิ่นคล้ายสบู่ (soap-like flavour) และมีลักษณะของเม็ดทราย (sandiness) ที่เกิดจากผลึกของแคลเซียม โมโนฟอสเฟต (calcium monophosphate)

3. เกลือของกรดโพลีฟอสฟอริก คือ โพลีฟอสเฟต (polyphosphates) มีคุณสมบัติในการละลาย การจับกับแคลเซียม และการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างได้ดี โพรเซสชีสที่ได้มีลักษณะครีมที่ดี สามารถใช้ได้ดีกับโพรเซสชีสที่มีปริมาณไขมันสูง มีข้อเสียคือการใช้โพลีฟอสเฟตเพียงชนิดเดียวเช่น ไดโพลีฟอสเฟตอาจทำให้เกิดลักษณะครีมมากเกินไป (overcreaming) ลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งขึ้น และมีลักษณะของเม็ดทราย ที่เกิดจากผลึกของแคลเซียม ไดฟอสเฟต (calcium diphosphate) ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มสูงขึ้น (Abdel-Hamid *et al.*, 2000) และถ้าใช้ในปริมาณมากเกินไปจะทำให้โพรเซสชีสมีรสขม (Mayer, 2001)

การเลือกสารอีมัลซิฟายต้องคำนึงถึงความสามารถในการละลายโปรตีนและทำให้เกิดความเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด และอาจใช้หลายชนิดร่วมกันซึ่งเมื่อรวมกันแล้วต้องไม่เกินร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก

2.2.1.3 น้ำ (water)

น้ำช่วยปรับปริมาณความชื้นของโพรเซสชีส และการกระจายตัวของสารอีมัลซิฟาย ความชื้นที่เพิ่มขึ้นจะทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มขึ้น ค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มสูงขึ้น และโพรเซสชีสจะแสดงพฤติกรรมของของเหลวมากขึ้น (Lee *et al.*, 2004) โดยปริมาณที่ใช้จะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ เช่น ชนิดและอายุการบ่มของเนยแข็ง เป็นต้น และชนิดของโพรเซสชีสที่ต้องการผลิต (Meyer, 1973) น้ำที่ใช้จะต้องสะอาดปราศจากเชื้อจุลินทรีย์และโลหะหนัก ไม่มีกลิ่นรสที่ผิดปกติ อาจมีการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ก่อน และไม่ควรใช้น้ำกระด้างเพราะจะทำให้โพรเซสชีสมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็ง

2.2.1.4 สารปรุงแต่งอื่นๆ (the additives)

นอกเหนือจากเนยแข็ง สารอีมัลซิฟายและน้ำแล้ว โพรเซสชีสยังสามารถเติมวัตถุดิบชนิดอื่นๆ เพื่อเป็นการปรับปรุงลักษณะปรากฏ โครงสร้าง กลิ่นรส คุณภาพการเก็บรักษา และเพิ่มคุณค่าทางอาหาร โดย Meyer (1973) แบ่งสารปรุงแต่งออกเป็น 4 กลุ่มดังนี้

1. เนยแข็งผ่านการปรุงแล้ว (precooked cheese) คือเนยแข็งที่ผ่านการให้ความร้อนแล้วถูกนำไปใช้เพื่อการปรับปรุงโครงสร้าง ลักษณะเนื้อสัมผัส และความคงตัวของโพรเซสชีสที่ผลิตจากเนยแข็งที่มีอายุการบ่มมากหรือน้อยเกินไป เนยแข็งผ่านการปรุงสามารถจำแนกได้ 3 ชนิด ได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- เนยแข็งผ่านการปรุงที่ผลิตจากเนยแข็งที่มีอายุการบ่มน้อย และมีโครงสร้างยาว เหมาะสำหรับโพรเซสชีสที่ใช้เนยแข็งที่มีอายุการบ่มนานเกินไปเป็นวัตถุดิบ
- เนยแข็งผ่านการปรุงที่มีลักษณะครีมและมีโครงสร้างสั้น ใช้ประมาณร้อยละ 2-30 โดยน้ำหนัก สำหรับโพรเซสชีสที่ต้องการให้มีลักษณะครีม
- เนยแข็งผ่านการปรุงที่มีลักษณะครีมมากเกินไป ใช้ไม่เกินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก สำหรับโพรเซสชีสที่ต้องการให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งขึ้น

เนยแข็งผ่านการปรุงจะต้องมีคุณภาพดีเช่น ไม่มีเนื้อมีลักษณะของเม็ดทรายที่เกิดจากผลึกของแคลเซียม ไดฟอสเฟต

2. สารอื่นๆ ที่ทำจากน้ำนม (other components from milk) เช่น หางนม เนย และครีม เป็นต้น นมผงจะสนับสนุนลักษณะครีมแต่ไม่ควรใช้เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เนื่องจากอาจมีปัญหาด้านกลิ่นรส และความคงตัว การใช้หางนมผงร้อยละ 5-7 โดยน้ำหนัก เหมาะสำหรับโพรเซสชีสที่ผลิตจากเนยแข็งที่มีอายุการบ่มน้อย และกลิ่นรสอ่อน แต่ไม่เหมาะกับโพรเซสชีสชนิดก้อน และหากต้องการให้โพรเซสชีสมีปริมาณไขมันสูงขึ้น ควรเติมเนย หรือครีม
3. เครื่องเทศ สมุนไพร และสารปรุงแต่งกลิ่นรส (spices, herbs and flavour) นิยมเติมประมาณไม่เกินร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะไม่มีผลต่อโครงสร้างและลักษณะเนื้อสัมผัสแต่อาจมีผลต่อสีของโพรเซสชีส เครื่องเทศและสมุนไพรส่วนใหญ่จะมีเชื้อจุลินทรีย์อยู่จึงควรฆ่าเชื้อก่อนแต่อาจทำให้กลิ่นลดลง เพื่อให้มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอควรเติมในช่วงแรกของการผลิต และยังสามารถช่วยในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้อีกด้วย
4. สารอื่นๆ (other substances not from milk) เช่น เนื้อสัตว์ ผัก ผลไม้ ต้องผ่านการฆ่าเชื้อก่อนและไม่ควรเติมเกินร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังมีสารกันเสีย สี และสารที่ใส่เพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส ซึ่งสามารถตรวจสอบชนิดและปริมาณที่อนุญาตให้ใช้ได้จาก CODEX STAN A-8(c) (CODEX, 1978)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2 กระบวนการผลิตโพรเซสชีส (Processed Cheese Manufacture)

โพรเซสชีสสามารถจำแนกได้เป็นหลายชนิดแต่มีหลักในการผลิตเหมือนกัน ซึ่งมีขั้นตอนการผลิตดังนี้

2.2.2.1 การผสมเนยแข็ง (blending)

โพรเซสชีสสามารถผลิตจากเนยแข็งเพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิดก็ได้ แต่นิยมใช้เนยแข็งที่มีอายุการบ่มต่างกัน เนื่องจากอายุการบ่มของเนยแข็งมีผลโดยตรงต่อโครงสร้าง ลักษณะเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสของโพรเซสชีส พบว่าการเพิ่มปริมาณเนยแข็งที่มีอายุการบ่มนานจะทำให้โพรเซสชีสมีค่า complex modulus (G*) ลดลง และมีลักษณะเนื้อสัมผัสอ่อนนุ่มขึ้น (Piska & Štětina, 2004)

อัตราส่วนเนยแข็งขึ้นอยู่กับชนิดและสมบัติของโพรเซสชีสที่ต้องการผลิต ดังแสดงในตาราง 1.3

ตาราง 1.3 อัตราส่วนของเนยแข็งที่มีอายุการบ่มแตกต่างกัน ที่ใช้ในการผลิตโพรเซสชีสชนิดต่างๆ

Processed cheese type	Young (%)	Medium ripe (%)	Ripe (%)
Block cheese, long structure	60	30	10
Block cheese, shot structure	40	40	20
Small block, sliced cheese	50	40	10
Firm, slicing portions	50	40	10
Processed cheese in cans	40	50	10
Spreadable P.C., 20-45% FDM	30	50	20
Cheese spread, 50-65% FDM	60	40	0
Cheese spread with flavour additive	60	40	0
Processed cheese slice	60	30	10

ที่มา: Meyer, 1973

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2.2 การทำความสะอาดเนยแข็ง (cleaning)

เนยแข็งจะถูกทำความสะอาด โดยการล้าง ตัดเปลือกนอก และส่วนที่มีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น เชื้อราที่แทรกตามรอยแตกและเนื้อเนยแข็งออก หากยังไม่ทำการผลิตจะต้องนำไปเก็บรักษาในห้องที่สะอาด

2.2.2.3 การบดเนยแข็ง (cutting)

การบดเนยแข็งเป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อให้สารอีมัลซิฟายสัมผัสกับเนื้อเนยแข็งได้อย่างทั่วถึง และช่วยในการหลอมเนยแข็ง เนยแข็งที่บดแล้วควรถูกใช้ทันทีเพราะการพักเนยแข็งไว้นานจะทำให้เกิดการดูดซึมอากาศและความชื้น ซึ่งจะส่งผลเสียต่อคุณภาพของโพรเซสชีส

2.2.2.4 การผสม (mixing)

การผสมเนยแข็งกับส่วนผสมอื่นๆ เพื่อให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยเนยแข็งและส่วนผสมที่เป็นของแห้งทั้งหมดอาจถูกผสมรวมกันเพียงครั้งเดียว แต่การเติมน้ำอาจแบ่งเป็น 2 ครั้ง เพื่อป้องกันการเกิดลักษณะครีม (creaming) แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงลักษณะของโพรเซสชีสที่ต้องการ และสภาวะในการผลิตด้วย

2.2.2.5 การหลอมเนยแข็ง (melting)

การหลอมเนยแข็ง เป็นการให้ความร้อนร่วมกับการกวนส่วนผสมตลอดเวลา ความร้อนจะทำให้ให้เนยแข็งหลอมเหลว และการกวนจะช่วยกระจายความร้อนและผสมส่วนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เชื้อจุลินทรีย์จะถูกทำลาย การทำงานของเอนไซม์จะถูกยับยั้ง ทำให้โพรเซสชีสมีความคงตัวและมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์และเอนไซม์ ปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการหลอมเนยแข็งที่มีผลต่อคุณภาพโพรเซสชีสได้แก่

1. การให้ความร้อน (heating) แบ่งได้เป็น 2 วิธีได้แก่
    - การให้ความร้อนทางตรง สามารถทำอุณหภูมิได้สูงถึง 145 องศาเซลเซียส โดยไม่เกิดการไหม้ แต่ไอน้ำที่ใช้จะต้องสะอาดปราศจากโลหะหนัก และสารตกค้างไม่มีสี และกลิ่นรส เนื่องจากเนยแข็งจะดูดซับน้ำไว้บางส่วนจึงต้องมีการคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้เติมในส่วนผสมให้ดี
    - การให้ความร้อนทางอ้อม ไม่สามารถทำอุณหภูมิได้สูงพอที่จะทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้หมด มีอัตราเสี่ยงต่อการไหม้ และมีการสูญเสียความร้อนทำให้อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิต่ำกว่าการให้ความร้อนทางตรง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางเคมีและกายภาพ ทำให้เคซีนเจล (casein-gel) ซึ่งเดิมไม่เป็นเนื้อเดียวกัน มีความเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ ความหนืดลดลง เคซีนจะดูดซึมน้ำมากขึ้นส่งผลให้เกิดลักษณะครีม อุณหภูมิที่สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับจำนวนของเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น ระยะการเจริญเติบโตและรูปร่างของเซลล์ โดยเซลล์ปกติจะถูกทำลายที่อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส และสปอร์จะต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 130-145 องศาเซลเซียส

2. การกวน (agitation) เพื่อช่วยให้ส่วนผสมมีการกระจายตัวที่ดี มีความเสถียร และช่วยเร่งกระบวนการเกิดลักษณะครีม โดยโพรเซสชีสแต่ละชนิดจะมีความเร็วรอบในการกวนที่เหมาะสมต่างกัน เช่น โพรเซสชีสชนิดสเปรดจะใช้ความเร็วรอบในการกวน 120-150 รอบต่อนาที และโพรเซสชีสชนิดก้อนจะใช้ความเร็วรอบ 60-90 รอบต่อนาที เป็นต้น
3. ระยะเวลาในกระบวนการผลิต (duration of processing) ขึ้นอยู่กับขนาดของการผลิต (batch) คุณภาพของวัตถุดิบ ขนาดของเครื่องมือ อุณหภูมิ คุณภาพการให้ความร้อน และชนิดของโพรเซสชีสที่ต้องการผลิต โดยระยะเวลาที่ใช้ต้องเพียงพอที่จะทำให้เนยแข็งและสารอีมัลซิฟายรวมเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ถ้าใช้เวลานานจะทำให้เกิดลักษณะครีมซึ่งไม่เป็นที่ต้องการในเนยแข็งชนิดก้อน

2.2.2.6 การบรรจุ (filling)

โพรเซสชีสจะถูกบรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วในขณะร้อน เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ โดยบรรจุภัณฑ์ที่ดีจะต้องป้องกันการผ่านเข้าออกของก๊าซและแสง เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (Kristensen *et al*., 2001 และ Schär and Bosset, 2002) และการเปลี่ยนแปลงกลิ่นของโพรเซสชีส (Sunesen *et al*., 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2.7 การทำให้เย็น (cooling)

ภายหลังการบรรจุโพรเซสชีสจะถูกทำให้เย็นลง เพื่อยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่หลงเหลือ นอกจากนี้อัตราเร็วของการทำให้เย็นยังมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส โดยเฉพาะลักษณะครีมและความแข็งของโพรเซสชีส การทำให้เย็นอย่างรวดเร็วทำให้เกิดลักษณะครีมที่ดี ลดค่า complex modulus ความสามารถในการสเปรดดีขึ้น จึงเหมาะสำหรับโพรเซสชีสชนิดสเปรด (Piska and Štětina, 2004) ส่วนการทำให้เย็นอย่างช้าทำให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งจึงเหมาะสำหรับโพรเซสชีสชนิดก้อน แต่การทำให้เย็นอย่างช้าๆ มากเกินไปอาจทำให้เกิดสีน้ำตาลและลักษณะ

เนื้อสัมผัสที่แข็งเกินไปได้ ทั้งนี้ความสามารถในการทำให้เย็นยังขึ้นอยู่กับ วิธีการทำให้เย็น บรรจุภัณฑ์ ขนาด และชนิดของโพรเซสชีส

2.2.2.8 การเก็บรักษา (storage)

เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อนไม่สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด จึงควรเก็บรักษาโพรเซสชีสที่อุณหภูมิ 5-10 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส อาจทำให้เกิดลักษณะของเม็ดทราย ที่เกิดจากผลึกของแคลเซียมไดฟอสเฟต และการเก็บที่อุณหภูมิต่ำเกินไปจะมีผลเสียต่อโครงสร้างของโพรเซสชีส

โพรเซสชีสแต่ละชนิดมีคุณสมบัติของวัตถุดิบและสภาวะในการผลิตแตกต่างกัน ดังแสดงตัวอย่างของโพรเซสชีสบางชนิดในตาราง 1.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง1.4 สมบัติของวัตถุดิบและสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตโพรเซสชีส

The chemical, mechanical and thermal parameters as regulating factors in the cheese processing produces			
Process condition	Processed cheese block	Processed cheese slice	Processed cheese spread
Raw Material			
a) Average of cheese	Young to medium ripe, predominaatly young	Predominantly young	Combination of young, medium ripe, overripe
b) Relative casein content	75-90%	80-90%	60-75%
c) Structure Emulsifying salt	Predomunantly long Structure-building, not creaming, e.g. high molecular weight polyphosphate, citrate	structure-building, Not creaming, e.g polyphosphate/citrate mixture	Shot to long Creaming, e.g. low and medium molecular weight polyphosphate
Water addition	10-25% (all at once)	5-15% (all at once)	20-45% (in portions)
Temperature	80-85 °C	78-85 °C	85-98 °C (150 °C)
Duration of processing (min)	4-8	4-6	8-15
pH	5.4-5.7	5.6-5.9	5.6-6.0
Agitation	Slow	Slow	Rapid
Reworked cheese	0-2.0 %	0	5-20 %
Milk powder or whey powder	0	0	5-12 %
Homogenization	None	None	Advantageous
Filling (min)	5-15	The quickest possible	10-30
Cooling	Slowly (10-12 h.) at room temperature	Very rapid	Rapidly (15-30 min.) in cool air

ที่มา: Fox, 1993

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.3 ประโยชน์ของโพรเซสชีส

โพรเซสชีสไม่เพียงแต่เป็นผลิตภัณฑ์นมที่มีคุณค่าทางอาหารสูงเช่นเดียวกับเนยแข็งตามปกติ แต่ยังมีคุณประโยชน์ต่างๆ ดังนี้

1. เพิ่มมูลค่าของเนยแข็งที่มีอายุบ่มนานเกินไป หรือน้อยเกินไป หรือไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งเนยแข็งดังกล่าวจะต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภค
2. อายุการเก็บรักษานานขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในขณะเก็บรักษา
3. สามารถปรับปรุง เปลี่ยนแปลง กลิ่นรส และลักษณะเนื้อสัมผัสของเนยแข็ง
4. เมื่อให้ความร้อนในระดับสเตอริไลส์ และบรรจุในสภาวะปลอดเชื้อจุลินทรีย์จะสามารถเก็บได้ที่อุณหภูมิห้อง
5. เหมาะสมกับการนำไปบริโภคในครัวเรือน โดยมีคุณภาพเช่นเดียวกับการบริโภคที่ร้านอาหาร เช่น cheese burger และแซนด์วิชเป็นต้น
6. สามารถเติมวัตถุดิบอื่น เช่น แฮม กระเทียม ถั่ว และสมุนไพร เพื่อเพิ่มกลิ่นรสและคุณค่าทางอาหาร
7. โพรเซสชีสบางชนิดเป็นอาหารเพื่อสุขภาพเนื่องจากสามารถลดปริมาณไขมัน โดยการเติมส่วนผสมอื่นลงไปทดแทน เช่น หางนม และน้ำมันพืช เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 สมุนไพร

สมุนไพร (herb) ในความหมายตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2525 หมายถึง พืชที่ใช้ทำเป็นเครื่องยา ซึ่งหาได้ตามพื้นเมืองไม่ใช่เครื่องเทศ (ราชบัณฑิตยสถาน, 2525) พืชสมุนไพรประกอบด้วยสารหลายชนิด มีทั้งสารอินทรีย์ วิตามิน แร่ธาตุ เอนไซม์ และเกลือแร่ต่างๆ ที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์ จึงถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางทั้งด้านการแพทย์ เภสัชกรรม อุตสาหกรรม และการประกอบอาหาร โดยใช้เป็นส่วนผสมของอาหาร ปรุงแต่งสี กลิ่นรส และใช้ในการถนอมอาหาร

2.3.1 ข่า

ข่า (Galanga) มีชื่อวิทยาศาสตร์หลายชื่อ ได้แก่ *Alpinia galangal* (Linn.) Swartz. *Alpinia galangal* (Linn.) Willd. และ*Alpinia officinarum,* Hance จัดอยู่ในวงศ์ Zingiberranceae ข่าเป็นไม้ล้มลุก มีลำต้นอยู่ใต้ดินเรียกว่าเหง้า เหง้ามีข้อและปล้องชัดเจน เนื้อในสีเนื้อ และมีกลิ่นหอมเฉพาะ ส่วนที่อยู่เหนือดินจะเป็นก้านและใบ สูงประมาณ 1-2 เมตร ใบเป็นรูปไข่ยาวหรือรูปรีขอบขนานคล้ายใบพาย สีเขียวเข้มเป็นมัน ออกเป็นแบบสลับมีกาบใบหุ้มลำต้น ใบกว้าง 5-11 เซนติเมตร ยาว 20-40 เซนติเมตร ปลายใบแหลม ดอกออกที่ยอดเป็นดอกช่อ ก้านดอกยาว ดอกมีขนาดเล็กสีชมพูหรือขาวอมม่วงแดง ผลรูปร่างรี เมื่อแก่เป็นสีดำ ขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร มีเมล็ดอยู่ภายใน เจริญเติบโตใต้เงาไม้ใหญ่ ชอบดินโปร่งร่วนซุย เจริญเติบโตได้ดีในที่ดอนที่มีความอุดมสมบูรณ์ ชุ่มชื้น ไม่มีน้ำขัง (อรัญญา และ จีรเดช, 2548)

ข่ามีน้ำมันหอมระเหย ซึ่งประกอบด้วยสาร methyl cinnamate ร้อยละ 48 ginelo ร้อยละ 20-30 และสารอื่นๆ เช่น cineo, camphor, pinenes และ eugenal เป็นต้น รายงานเกี่ยวกับการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข่า พบว่าข่ามีสารเคมีหลายชนิดซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และเชื้อราบางชนิด ยับยั้งการเกิดบาดแผลในกระเพาะอาหาร มีฤทธิ์ต้านการเน่าเปื่อยของบาดแผล และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และมีสรรพคุณทางยา ช่วยขับลม ท้องอืด ท้องเฟ้อ ท้องเดิน ฆ่าเชื้อบิด บรรเทาอาการคลื่นไส้ อาเจียน รักษาโรคผิวหนัง กลาก เกลื้อน แก้ลมพิษ รักษาแผลสด ปวดบวมตามข้อ หลอดลมอักเสบ เป็นยาขับธาตุและขับลม (ยุวดี, 2537)

ข่าในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม จะมีคุณค่าทางโภชนาการ ดังแสดงในตาราง 1.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 1.5 คุณค่าทางโภชนาการของข่าในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

ข้อมูลโภชนาการ			
หนึ่งหน่วยบริโภค 100 กรัม			
คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค พลังงานทั้งหมด 83 แคลอรี่			
ความชื้น	ร้อยละ	75.7	กรัม
โปรตีน	ร้อยละ	1.0	กรัม
ไขมัน	ร้อยละ	0.3	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	ร้อยละ	19.0	กรัม
แคลเซียม	ร้อยละ	18	มิลลิกรัม
เหล็ก	ร้อยละ	2.2	มิลลิกรัม
วิตามิน เอ	ร้อยละ	58	มิลลิกรัม
วิตามิน บี1	ร้อยละ	0.02	มิลลิกรัม
วิตามิน บี2	ร้อยละ	0.02	มิลลิกรัม
ไนอะซีน	ร้อยละ	1.0	มิลลิกรัม
วิตามิน ซี	ร้อยละ	1	มิลลิกรัม

ที่มา: รุ่งรัตน์, 2540

2.3.2 ตะไคร้

ตะไคร้ (Lemongrass) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cymbopagon citatur* (DC.) Stapf. จัดอยู่ในวงศ์ Graminae โดยตะไคร้เป็นพืชล้มลุกประเภทหญ้า ขึ้นเป็นกอ สูง 1-2 เมตร ใบเดี่ยวรูปยาวเรียว กว้าง 1.5-2 เซนติเมตร ยาว 1-2 เมตร ปลายแหลม แผ่นใบสากมือทั้ง 2 ด้าน ขอบใบคม มีขนเล็กน้อย เส้นกลางใบแข็ง สีขาวนวล รอยต่อระหว่างกาบใบและใบมีเกร็ดบางๆ ยาว 2 มิลลิลิตร ปลายตัด กาบในหุ้มซ้อนกันเป็นทรงกระบอกคล้ายลำต้น มีไขปกคลุม มีเหง้าใต้ดิน ออกดอกเป็นช่อกระจายพบไม่บ่อยนัก

ตะไคร้ มีรสเผ็ด กลิ่นหอมฉุน มีน้ำมันหอมระเหย ซึ่งประกอบด้วยสาร citral ร้อยละ 70-80 ซึ่งมี 2 ไอโซเมอร์คือ citral A (geranial) และ citral B (neral) geraniol, myrcene, citronellal นอกจากนี้ยังพบ linalool, nerol, geranyl acetate, 1,8-cineol, citronellol, linalyl acetate,

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

α-terpineol, α-pinene,caryopolylene, ocimene, terpendene, methyl heptanone และ β-caryphyllene (อรัญญา และ จีรเดช, 2548) รายงานเกี่ยวกับการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของตะไคร้พบว่า สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแกรมบวก และเชื้อราบางชนิดได้ และมีสรรพคุณทางยา ช่วยขับลม แก้ท้องอืด ท้องเฟ้อ บรรเทาอาการปวดท้องเนื่องจากการบีบตัวของลำไส้ ปวดเมื่อย ฟกช้ำ ปวดข้อ ขับปัสสาวะ แก้นิ่ว ขับเหงื่อ ทำให้เจริญอาหาร แก้วิงเวียน ช่วยลดความดันโลหิตสูง (นิจศิริ และ พยอม, 2534)

ตะไคร้ในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม มีคุณค่าทางโภชนาการ ดังแสดงในตาราง 1.6

ตาราง 1.6 คุณค่าทางโภชนาการของตะไคร้ในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

ข้อมูลโภชนาการ			
หนึ่งหน่วยบริโภค 100 กรัม			
คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค พลังงานทั้งหมด 126 แคลอรี่			
ความชื้น	ร้อยละ	65.6	กรัม
โปรตีน	ร้อยละ	1.2	กรัม
ไขมัน	ร้อยละ	2.1	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	ร้อยละ	25.6	กรัม
แคลเซียม	ร้อยละ	35	มิลลิกรัม
เหล็ก	ร้อยละ	2.6	มิลลิกรัม
วิตามิน เอ	ร้อยละ	427	มิลลิกรัม
วิตามิน บี1	ร้อยละ	0.05	มิลลิกรัม
วิตามิน บี2	ร้อยละ	0.02	มิลลิกรัม
ไนอะซีน	ร้อยละ	2.20	มิลลิกรัม
วิตามิน ซี	ร้อยละ	1	มิลลิกรัม

ที่มา: รุ่งรัตน์, 2540

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.3 หอมแดง

หอมแดง (Shallot) มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Allium ascalonicum* Linn. จัดอยู่ในวงศ์ Amaryllidaceae หอมแดงเป็นพืชล้มลุก ใบยาวกลวง 30-45 เซนติเมตร หัวมีลักษณะกลม สีม่วงแดง อยู่ใต้ดิน ซึ่งภายในอาจประกอบด้วยหัวเล็กๆ อยู่รวมกันโดยมีเปลือกบางๆ ห่อหุ้มอยู่ภายนอก 2-3 ชั้น ออกดอกเป็นช่อประกอบด้วยดอกเล็กๆ สีขาวหรือม่วงอ่อน

ภายในหัวของหอมแดงจะมีน้ำมันหอมระเหย ซึ่งมีสารประกอบกำมะถัน ได้แก่ propyl disulfide, propyl allene disulfide และ dipropyl disulfide ซึ่งช่วยลดปริมาณไขมันและน้ำตาลกลูโคสในกระแสเลือด และสารallicin สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่หายใจแบบใช้ออกซิเจน และมีสรรพคุณทางยา สามารถแก้หวัดคัดจมูก ลดความร้อนในร่างกาย ขับลมในลำไส้ แก้ปวดท้อง ท้องอืด แก้ผดผื่นคัน ถอนพิษแมลงสัตว์กัดต่อย น้ำมันหอมระเหยในส่วนหัวใช้เป็นยาขับประจำเดือน ขับเสมหะ ขับปัสสาวะ แก้ปวดหู ดมแก้อาการหน้ามืด ตาลาย วิงเวียน เป็นลม บำรุงหัวใจ (ยุวดี, 2537)

หอมแดงในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม มีคุณค่าทางโภชนาการ ดังแสดงในตาราง 1.7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 1.7 คุณค่าทางโภชนาการของหอมแดงในส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม

ข้อมูลโภชนาการ			
หนึ่งหน่วยบริโภค 100 กรัม			
คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค พลังงานทั้งหมด 67 แคลอรี่			
ความชื้น	ร้อยละ	81.9	กรัม
โปรตีน	ร้อยละ	1.9	กรัม
ไขมัน	ร้อยละ	0.3	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	ร้อยละ	15.4	กรัม
แคลเซียม	ร้อยละ	36	มิลลิกรัม
เหล็ก	ร้อยละ	0.8	มิลลิกรัม
วิตามิน เอ	ร้อยละ	5	มิลลิกรัม
วิตามิน บี1	ร้อยละ	0.04	มิลลิกรัม
วิตามิน บี2	ร้อยละ	0.02	มิลลิกรัม
ไนอะซีน	ร้อยละ	0.3	มิลลิกรัม
วิตามิน ซี	ร้อยละ	2	มิลลิกรัม

ที่มา: รุ่งรัตน์, 2540

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 รีโอโลยี

เมื่อประมาณ 480-550 ปีก่อนคริสต์กาล Heraclitus ซึ่งเป็นนักปราชญ์ชาวกรีกได้กล่าวไว้ว่า παντα ρει อ่านว่า “panta rhei” หมายถึง everything flows (Figura & Teixeira, 2007) ต่อมาในปี ค.ศ. 1929 Bingham และ Crawford ได้ทำการบัญญัติคำว่า rheology ขึ้น โดยมีรากศัพท์มาจากภาษากรีก คำว่า “rheo” หมายถึง to flow และคำว่า “logos” หมายถึง science รีโอโลยี จึงหมายถึง วิทยาศาสตร์การไหล (อรวรรณ, 2527)

รีโอโลยี (rheology) เป็นศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับการผิดรูป (deformation) และการไหล (flow) ของสสาร อันเนื่องมาจากการตอบสนองต่อแรง (force) ที่กระทำ การผิดรูปที่เกิดขึ้นอาจเป็นลักษณะที่ไม่สามารถคืนสู่สภาพเดิมได้ เช่น การไหลของของเหลว (flow) ซึ่งไม่สามารถไหล ย้อนกลับได้ และลักษณะที่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ เช่น ความยืดหยุ่นของของแข็ง (elasticity) (อรุณี, 2548) การศึกษาสมบัติทางรีโอโลจีนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายถึงสมบัติเชิงวีสโคอิลาสติกของวัสดุ (viscoelastic properties) ซึ่งผสมระหว่างสมบัติการยืดหยุ่นและการไหลหนืด

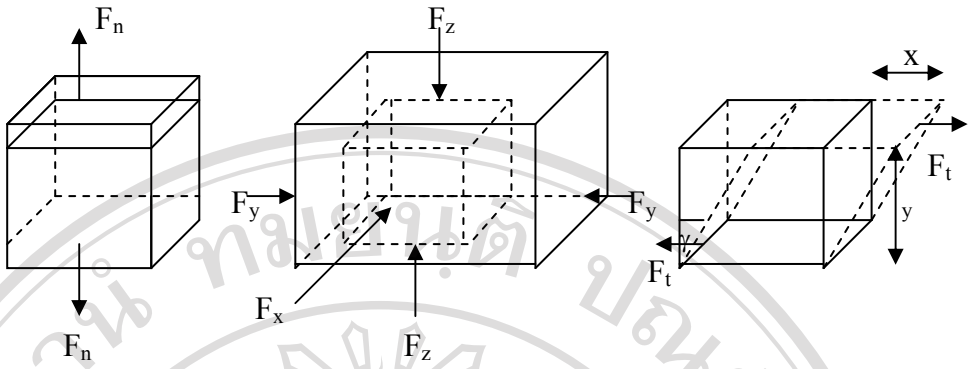
2.4.1 ความรู้พื้นฐานทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาสมบัติทางรีโอโลยี จำเป็นต้องอาศัยความรู้ทางด้านฟิสิกส์เกี่ยวกับแรง และพฤติกรรมของวัสดุที่ตอบสนองต่อแรงที่กระทำดังนี้

2.4.1.1 ความเค้น (stress) หมายถึงแรงที่กระทำต่อพื้นที่วัสดุ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

- แรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิววัสดุเพียงด้านเดียว (uniaxial stress)
- แรงที่กระทำกับวัสดุในทุกทิศทาง (bulk compression)
- แรงที่กระทำขนานกับพื้นที่ของวัสดุ (shear stress)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



a) uniaxial stress b) bulk compression c) shear stress

ภาพ 2.1 ชนิดของแรงที่กระทำ

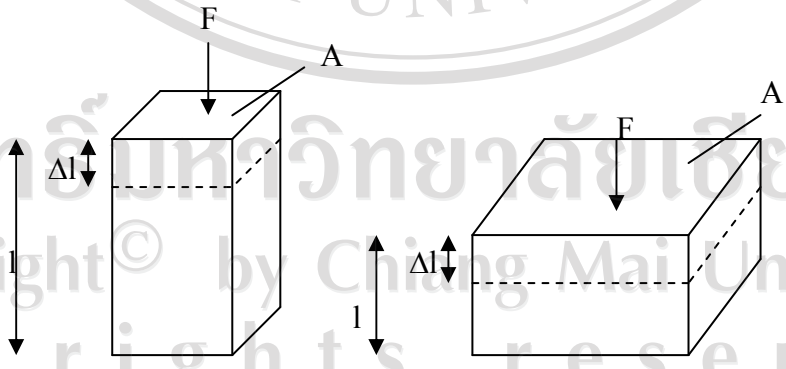
ที่มา: Figura and Teixeira, 2007

ความเค้นหาได้จากสูตร

$$\sigma = F / A \qquad (2.1)$$

เมื่อ					
	σ	คือ	ความเค้น	มีหน่วยเป็น	N/m^2
	F	คือ	แรง	มีหน่วยเป็น	N
	A	คือ	พื้นที่	มีหน่วยเป็น	m^2

2.4.1.2 ความเครียด (strain) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเมื่อมีความเค้นมากระทำ



ภาพ 2.2 แสดงการผิดรูปของวัสดุ

ที่มา: Figura and Teixeira, 2007

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความเครียดหาได้จากสูตร

$$\varepsilon = \Delta l / l \qquad (2.2)$$

เมื่อ ε คือ ความเครียด

Δl คือ การผิดรูป มีหน่วยเป็น m

l คือ ความยาวเริ่มต้น มีหน่วยเป็น m

2.4.1.3 ค่า Young's Modulus

เมื่อมีแรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิววัสดุเพียงด้านเดียวได้แก่ ความเค้นยืด (tensile stress) และความเค้นอัด (compressive stress) ดังแสดงในภาพ 2.1 a) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของความยาว โดยปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง ของแข็งที่แสดงพฤติกรรมแบบยืดหยุ่นสมบูรณ์ (ideal elastic behavior) สามารถอธิบายโดยกฎของฮุค (Hook's Law) ดังนี้

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \qquad (2.3)$$

เมื่อ E คือ Young's modulus of elasticity มีหน่วยเป็น Pa

ค่า Young's modulus of elasticity หรือ elastic modulas บ่งบอกถึงความสามารถในด้านความยืดหยุ่น การหดตัว และความเหนียวของวัสดุ (Figura and Teixeira, 2007)

2.4.1.4 ค่า Bulk Modulus

เมื่อมีแรงที่กระทำกับวัสดุในทุกทิศทาง ดังแสดงในภาพ 2.1 b) เช่น แรงดันภายนอกจากการนำวัสดุวางในน้ำ ซึ่งจะทำให้ปริมาตรของวัสดุเปลี่ยนแปลง โดยจะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความดันสูง หรือ ความดันต่ำ

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

เมื่อ K คือ bulk modulus มีหน่วยเป็น Pa

V คือ ปริมาตร มีหน่วยเป็น m^3

p คือ ความดัน มีหน่วยเป็น Pa

ค่า bulk modulus บ่งบอกถึงความสามารถในด้าน ความยืดหยุ่น ความสามารถในการทนการกดอัด และความแข็งแรงของวัสดุ (Figura and Teixeira, 2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.1.5 ความเค้นเฉือน (shear stress)

ความเค้นเฉือน หมายถึง แรงที่กระทำขนานกับพื้นที่ของวัสดุ การผิดรูปจะเป็นลักษณะของการเคลื่อนที่สัมพันธ์กันของจุดในตำแหน่งต่างๆ ในวัสดุ ซึ่งจะขึ้นกับขนาดและการกระจายของแรงที่กระทำ เมื่อสมมุติว่าโครงสร้างของวัสดุประกอบด้วยชั้นบางมากๆ การผิดรูปของวัสดุจึงเกิดจากการเคลื่อนที่แบบลามินาร์ (laminar flow) ที่เป็นระเบียบของชั้นวัสดุ การเลื่อนตัวออกจากกันระหว่างชั้นที่ติดกันต้องอาศัยแรงที่มากกว่าแรงเสียดทานระหว่างผิว แรงที่กระทำนี้เรียกว่าแรงเฉือน (shear force) โดยการเคลื่อนที่นี้ไม่ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลจากชั้นหนึ่งไปยังอีกชั้นหนึ่ง และไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (มนัส, 2538)

ความเค้นเฉือนหาได้จากสูตร

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

เมื่อ	τ	คือ	ความเค้นเฉือน	มีหน่วยเป็น	Pa
	F	คือ	แรงขนาน	มีหน่วยเป็น	N
	A	คือ	พื้นที่	มีหน่วยเป็น	m^2

2.4.1.6 ความเครียดเฉือน (shear strain)

ความเครียดเฉือน (γ) หมายถึง การผิดรูปที่เกิดจากแรงที่กระทำขนานกับพื้นที่ของวัสดุทำให้วัสดุเคลื่อนที่แบบลามินาร์ เมื่อสมมุติให้เป็นการเคลื่อนที่ในเนื้อวัสดุ หรือการผิดรูปของวัสดุยืดหยุ่นของของไหลนิวทอเนียน (Newtonian fluid) ที่เกิดจากการกระทำของแรงเค้นเฉือนน้อยๆ และมีการเคลื่อนที่แบบลามินาร์อย่างง่าย ทำให้ความเค้นเฉือนจะขึ้นกับเวลาเท่านั้น และถือว่าความเครียดเฉือนที่ทุกตำแหน่งมีค่าเท่ากันทั้งหมด

2.4.1.7 อัตราเฉือน (shear rate)

อัตราเฉือน หมายถึง อัตราความเครียดเฉือนในหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น (Rosenthal, 1999)

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

เมื่อ	$\dot{\gamma}$	คือ	อัตราเฉือน	มีหน่วยเป็น	s^{-1}
	γ	คือ	ความเครียดเฉือน		
	t	คือ	เวลา	มีหน่วยเป็น	s

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.1.8 ค่า Shear Modulus

เมื่อมีแรงที่กระทำขนานกับพื้นที่ของวัสดุ ดังแสดงในภาพ 2.1 c) จะทำให้วัสดุเกิดการบิดตัว โดยที่มีความยาวไม่เปลี่ยนแปลง และมุมที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีค่าเท่ากับค่าความเครียดเฉือน

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

เมื่อ	τ	คือ	ความเค้นเฉือน	มีหน่วยเป็น	Pa
	γ	คือ	ความเครียดเฉือน		
	G	คือ	shear modulus	มีหน่วยเป็น	Pa

ค่า shear modulus บ่งบอกถึงความสามารถในด้าน การบิดงอ การบิดเป็นเกลียวความเหนียว และความแข็งแรง ของวัสดุ (Figura and Teixeira, 2007)

2.4.1.9 ความหนืด (viscosity)

ความหนืด หมายถึง แรงต้านการไหลของของไหล ของเหลวที่แสดงพฤติกรรมของของไหลนิวทอเนียน สามารถอธิบายโดยกฎของนิวตัน (Newton's Law) ดังนี้

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \qquad (2.8)$$

เมื่อ	τ	คือ	ความเค้นเฉือน	มีหน่วยเป็น	Pa
	$\dot{\gamma}$	คือ	อัตราเฉือน	มีหน่วยเป็น	s^{-1}
	η	คือ	ความหนืด	มีหน่วยเป็น	Pa·s

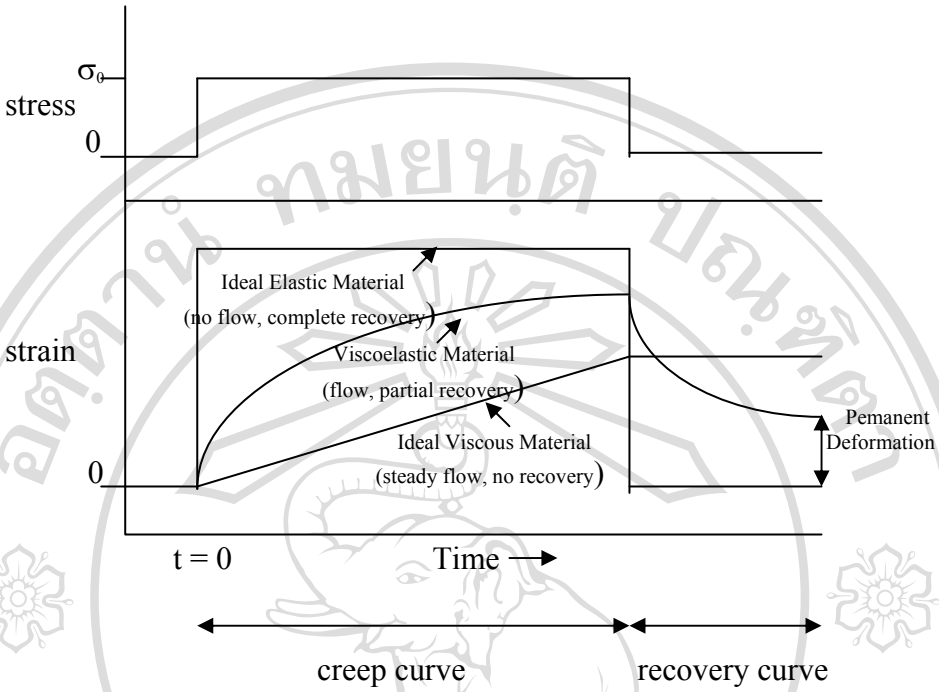
2.4.2 สมบัติเชิงวิสโคอิลาสติก (Viscoelastic properties)

สมบัติเชิงวิสโคอิลาสติก เป็นสมบัติของสารที่แสดงสมบัติผสมระหว่างการยืดหยุ่นสมบูรณ์ของของแข็ง (ideal elastic solid) และการไหลหนืดสมบูรณ์ของของเหลว (ideal viscous liquid) (Prentice, 1992) ปรากฏการณ์ซึ่งแสดงสมบัติเชิงวิสโคอิลาสติก ได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.2.1 การคืบ (Creep)

เมื่อมีแรงคงที่แรงหนึ่งกระทำกับวัสดุ จะทำให้วัสดุเกิดการผิดรูปอย่างช้า ตามเวลาที่เปลี่ยนไปเพื่อเข้าหาจุดสมดุล (dimension stability) ซึ่งเป็นการแสดงสมบัติของการคืบของวัสดุวิสโคอิลาสติก สามารถวัดได้ด้วยการใช้แรงเฉือน หรือแรงยืด หรือแรงกดก็ได้



ภาพ 2.3 กราฟการคืบ

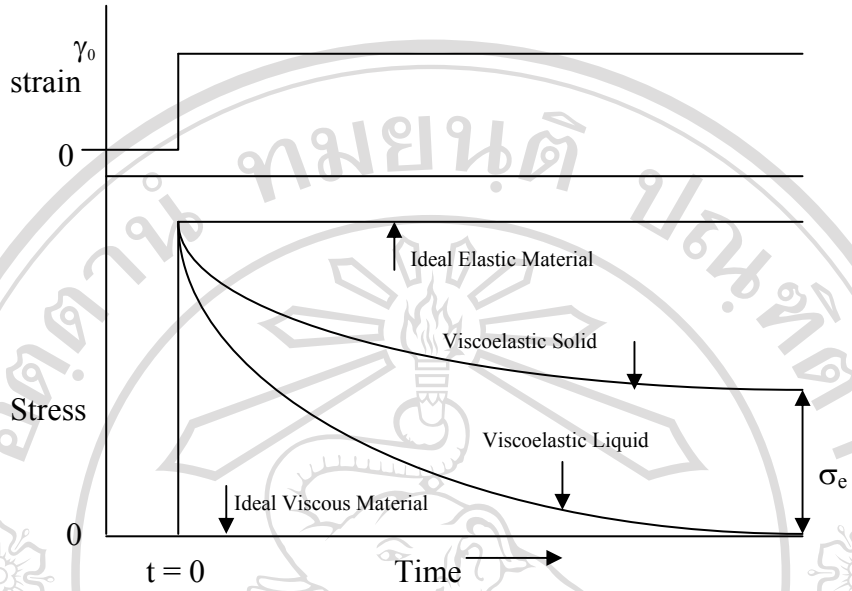
ที่มา: Steffe, 1992

จากภาพ 2.3 พิจารณาวัสดุวิสโคอิลาสติก (viscoelastic material) ให้เห็นว่าที่ t = 0 ความเครียดเพิ่มขึ้นในทันทีเนื่องจากมีแรงภายนอกมากระทำ แสดงถึงความยืดหยุ่นสมบูรณ์ หลังจากนั้นความเครียดจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ แสดงถึงการไหลหนืด และเมื่อเวลาที่ t มากๆ ความเครียดจะเริ่มคงที่ แสดงถึงการเข้าสู่สมดุลใหม่ ซึ่งเป็นสมบัติของของแข็ง

2.4.2.2 การพักความเค้น

เมื่อทำการคงการผิดรูปให้คงที่ หรือคงความเครียดที่ค่าหนึ่ง แรงที่กระทำต่อวัสดุจะลดลงตามเวลาที่เปลี่ยนไป ซึ่งเป็นการแสดงสมบัติของการพักความเค้นของวัสดุ สามารถวัดได้ด้วยการใช้แรงเฉือน หรือแรงยืด หรือแรงกด ที่คงที่กับวัสดุและวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นตามเวลา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 2.4 กราฟการพักความเค้น
ที่มา: Steffe, 1992

จากภาพ 2.4 พิจารณาวัสดุวิสโคอิลาสติก (viscoelastic material) ให้เห็นว่าการพักความเค้นจะค่อยๆ ดำเนินไปจนกระทั้งถึงจุดสมดุล คือ แรงที่กระทำต่อวัสดุจะลดลงตามเวลาที่เปลี่ยนไป โดยวัสดุวิสโคอิลาสติกชนิดเหลวจะมีค่าความเค้นสมดุลเท่ากับศูนย์ และวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสมบูรณ์จะไม่มีการพักความเค้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.2.3 การคืนรูป

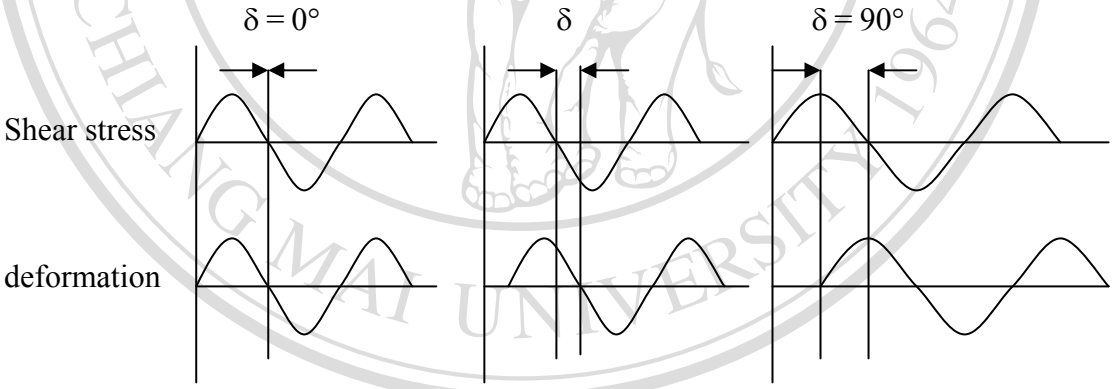
การคืนรูป เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดต่อเนื่องจากการคืบ หลังจากถอนแรงออกจากวัสดุทำให้วัสดุเกิดการหดตัวเพื่อกลับสู่สภาพเดิม โดยวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสมบูรณ์จะสามารถกลับสู่สภาพเดิมได้อย่างสมบูรณ์และไม่เกิดการหดกลับเลยในวัสดุที่เป็นของไหล ส่วนวัสดุที่เป็นวิสโคอิลาสติกจะสามารถหดกลับได้เพียงบางส่วนและมีบางส่วนที่เกิดการผิดรูปอย่างถาวร (permanent deformation) ดังแสดงในภาพ 2.3

2.4.3 การทดสอบพฤติกรรมทางวิสโคอิลาสติก

การทดสอบพฤติกรรมทางวิสโคอิลาสติกมีหลายวิธี เช่น การทดสอบการพักความเค้นที่กำหนดให้มีอัตราการผิดรูปคงที่แล้วทำการวัดค่าความเค้นตามเวลาที่เปลี่ยนไป การทดสอบการคืบที่กำหนดให้แรงคงที่แก่วัสดุแล้วทำการวัดอัตราการผิดรูป และการทดสอบแบบสั่น (oscillation testing) ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะการทดสอบแบบสั่นเท่านั้น

การทดสอบแบบสั่น (Oscillation testing)

การทดสอบแบบสั่นเป็นการศึกษาคุณสมบัติการไหลหนืดและการยืดหยุ่นของวัสดุ ตลอดจนสามารถศึกษาลงไปถึงโครงโมเลกุลได้ด้วย (มนัส, 2538) โดยการให้ความเค้นสั่น (oscillating stress) หรือความเครียดสั่น (oscillating strain) กระทำต่อวัสดุ แล้ววัดการตอบสนองของความเครียด หรือความเค้นแบบสั่น ซึ่งการตอบสนองนี้จะทำมุมต่างเฟสกันระหว่าง 0-90 องศา ดังแสดงในภาพ 2.5



a) ideal elastic b) viscoelastic c) ideal viscous

ภาพ 2.5 มุมเฟสที่เปลี่ยนเมื่อให้ความเค้นหรือความเครียดแบบสั่น
ที่มา: Figura and Teixeira, 2007

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความเครียดสั่นมีสมการเป็น

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

เมื่อ γ คือ ความเครียดสั่น
γ_0 คือ ความเครียดเฉือนสูงสุด
ωt คือ ความถี่ที่เวลาใดๆ

วัสดุวิสโคอิลาสติก (viscoelastic material)

ความเค้นที่ตอบสนองต่อความเครียดแบบสั่นจะทำมุมต่างเฟส δ จะอยู่ระหว่า 0-90 องศา ดังแสดงในภาพ 2.5 b) ความเค้นที่ตอบสนองมีสมการเป็น

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

เมื่อ σ คือ ความเค้น

σ_0 คือ ความเค้นเฉือนสูงสุด

ωt คือ ความถี่ที่เวลาใดๆ

δ คือ มุมต่างเฟส

วัสดุยืดหยุ่นสมบูรณ์ (ideal elastic material)

ความเค้นที่ตอบสนองต่อความเครียดแบบสั่นจะทำมุมต่างเฟส $\delta = 0$ องศา ดังแสดงในภาพ 2.5 a) ความเค้นที่ตอบสนองมีสมการเป็น

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

เมื่อ σ คือ ความเค้น

γ_0 คือ ความเครียดเฉือนสูงสุด

ωt คือ ความถี่ที่เวลาใดๆ

G คือ elastic modulas

วัสดุไหลหนืดสมบูรณ์ (ideal viscous material)

ความเค้นที่ตอบสนองต่อความเครียดแบบสั่นจะทำมุมต่างเฟส $\delta = 90$ องศา ดังแสดงในภาพ 2.5 c) ความเค้นที่ตอบสนองมีสมการเป็น

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

เมื่อ σ คือ ความเค้น

γ_0 คือ ความเครียดเฉือนสูงสุด

ωt คือ ความถี่ที่เวลาใดๆ

η คือ ความหนืด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วัสดุวิสโคอิลาสติกสามารถแสดงสมบัติของวัสดุยืดหยุ่นและวัสดุไหลหนืด ที่ตอบสนองต่อการสั่น ซึ่งอธิบายความสัมพันธ์ได้ในค่า complex modulus: G*

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

เมื่อ G' คือ ค่าโมดูลัสสะสม (shear strong modulus) จะมีเฟสเดียวกับเฟสจริงของความเครียด แสดงถึงสมบัติความยืดหยุ่นของวัสดุ หรือ elastic modulas โดยวัสดุจะสะสมพลังงานที่ใช้ในการผิดรูปไว้ภายในวัสดุ เพื่อใช้ในการคืนสู่รูปเดิม (storage partition) เมื่อถอนแรงเค้น

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

G'' คือ โมดูลัสสูญหาย (shear loss modulus) จะมีเฟสต่างจากเฟสจริง 90 แสดงถึงสมบัติการไหลหนืดของวัสดุ หรือ viscous modulus ซึ่งในส่วนนี้พลังงานถูกใช้ในการสร้างและสลายพันธะตลอดเวลาที่เกิดการผิดรูปและจะสูญสลายไป (loss partition) ก่อนสิ้นสุดช่วงเวลาที่กำหนด

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

นอกจากนี้ยังมีการกำหนดค่า loss tangent: tan δ เพื่อแสดงสัดส่วนของการแสดงสมบัติการไหลหนืดต่อสมบัติการยืดหยุ่น

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

ถ้าค่า tan δ มากกว่า 1 แสดงว่าวัสดุมีการไหลหนืดมากกว่าการยืดหยุ่น (Rosenthal, 1999) และค่า tan δ จะผันแปรตามความถี่เช่นเดียวกับค่า G'' และ G'

2.4.4 เครื่องมือวัดทางรีโอโลจี

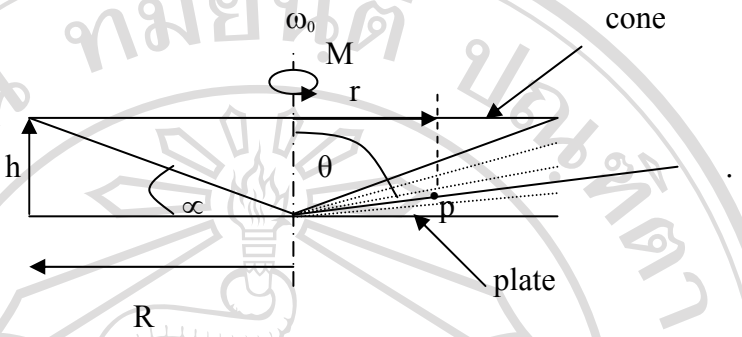
เครื่องวัดทางรีโอโลจีสามารถแบ่งตามประเภทของแรงที่กระทำได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ เครื่องมือวัดพฤติกรรมที่ไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear behavior) เช่น คาปิลารีวิสโคมิเตอร์ และเครื่องมือวัดชนิดสั่น และเครื่องมือวัดพฤติกรรมเชิงเส้น (linear behavior) เช่น เครื่องมือวัดชนิดสั่น (oscillating) (มนัส, 2538) ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะเครื่องวัดรีโอโลจีชนิดหมุน

เครื่องรีโอมิเตอร์ชนิดหมุนแบบกรวยกับแผ่นเรียบ (Cone and Plate rheometer)

รีโอมิเตอร์แบบกรวยกับแผ่นเรียบ สามารถใช้ระบบทดสอบแบบไดนามิค (dynamic test) ซึ่งเป็นระบบที่ใช้ความเค้นหรือความเครียดต่ำมากๆ ทำให้วัสดุสามารถแสดงพฤติกรรมเชิงเส้นได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตัวอย่างที่ศึกษาจะถูกบรรจุอยู่ระหว่างกรวยและเผ่นเรียบที่มีรัศมี R มียอดของกรวยอยู่บนแผ่นเรียบทำมุม $\propto$ ซึ่งปกติจะน้อยกว่า 5 องศา ดังแสดงในภาพ 2.6



ภาพ 2.6 ภาพตัดขวางของรีโอมิเตอร์แบบกรวยกับแผ่นเรียบ

เมื่อแผ่นเรียบอยู่นิ่ง และกรวยหมุนด้วยความเร็วคงที่ ω_0 ของไหลจะเกิดการเคลื่อนที่แบบลามินาร์เฉือน ของไหลจะแบ่งเป็นชั้นเล็กๆที่มีลักษณะเป็นกรวย มีจุดยอดอยู่ที่จุดศูนย์กลางของแผ่นเรียบ ของไหลที่จุดใดๆ P ห่างจากจุดศูนย์กลางรัศมี r และทำมุม θ กับแกนกรวย ดังภาพ 2.6 จะหมุนด้วยความเร็วเชิงมุม ω จะได้อัตราเฉือนคือ

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

เนื่องจากอัตราเฉือนในเนื้อของของไหลเท่ากัน และในกรณีที่ θ มีค่าเข้าใกล้ 90 องศา และ $\propto$ มีขนาดเล็กมาก จะได้ความเค้นเฉือนที่จะก่อให้เกิดโมเมนต์บนพื้นผิวดังสมการ

$$M = (2\pi / 3)R^3\tau \qquad (2.18)$$

เมื่อ M คือ โมเมนต์การหมุน มีหน่วยเป็น Nm
R คือ รัศมีของแผ่นเรียบ มีหน่วยเป็น m
τ คือ ความเค้นเฉือน มีหน่วยเป็น Pa

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

เมื่อ $\dot{\gamma}$ คือ อัตราเฉือน มีหน่วยเป็น s^{-1}
ω_0 คือ ความเร็วเชิงมุม มีหน่วยเป็น $rads^{-1}$
$\propto$ คือ มุมระหว่างกรวยและแผ่นเรียบ มีหน่วยเป็น rad

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เครื่องรีโอมิเตอร์แบบกรวยกับแผ่นเรียบมีข้อดีและข้อเสียดังนี้

ข้อดี (มนัส, 2538)

- ที่มุมระหว่างกรวยกับแผ่นเรียบ ไม่เกิน 5 องศา อัตราเฉือนภายในของไหลจะคงที่ในทุกตำแหน่ง
- ใช้ได้กับของไหลที่มีความหนืดสูง
- มีความแม่นยำสูง
- สามารถวัดได้ที่ช่วงอัตราเฉือนกว้าง
- สามารถแสดงปรากฏการณีการยืดหยุ่นของของไหล

ข้อเสีย

- ไม่เหมาะกับของไหลที่มีอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดเกิน 30 ไมครอน
- ไม่เหมาะสมต่อของไหลที่มีความหนืดต่ำมากๆ
- มีความไหวเอนต่อการตั้งจุดยอดของกรวยบนแผ่นเรียบมาก
- เครื่องมือมีราคาแพง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 2002 Samson และ Melina ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของสมุนไพรท้องถิ่นของประเทศออสเตรเลียต่อเนยแข็งที่บ่มในสภาวะสุญญากาศ โดยการเติมสมุนไพรท้องถิ่น ได้แก่ lemon, myrtle, native mint และ bush tomato ลงในเนยแข็งชนิดกึ่งแข็ง แล้วทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี พบว่าการเติมสมุนไพรไม่มีความแตกต่างของสมบัติทางเคมี กับเนยแข็งที่ไม่มีการเติมสมุนไพร ในด้านปริมาณความชื้น โปรตีน และเกลือ แต่มีผลกับปริมาณไขมันของเนยแข็ง โดยเนยแข็งที่ไม่เติมสมุนไพรมีปริมาณไขมันสูงกว่าเนยแข็งที่ไม่มีการเติมสมุนไพร นอกจากนี้ยังมีการศึกษาผลของสมุนไพรไทยต่อสมบัติของเนยแข็ง โดย ปิยวรรณ (2548) ที่ได้ทำการศึกษาถึงสมบัติของเนยแข็งเกาด้า (Gouda cheese) ที่มีการเติมสมุนไพรไทยผสมชนิดเดียวกันร้อยละ 0.6 (ตะไคร้ 45 % ข่า 30 % และหอมแดง 25 %) ในน้ำนมสำหรับตกตอนนม และในเคิร์ดก่อนนำไปกดอัด เปรียบเทียบกับเนยแข็งเกาด้าที่ไม่มีการเติมสมุนไพร พบว่าการเติมสมุนไพรมีผลทำให้ค่าปริมาณความชื้น และไขมันมีแนวโน้มลดลง และปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ ดุสิตา (2548) ที่ได้ทำการการเติมสมุนไพรไทยผสม (ตะไคร้ 50 % ข่า และหอมแดงอย่างละ 25 %) อัตราส่วน ร้อยละ 0.4, 0.6 และ 0.8 ของน้ำหนักเคิร์ด ลงในเนยแข็งมอซซาเรลลา (Mozzarella cheese) ในขั้นตอนการนวดเคิร์ด ต่อมาในปี พ.ศ. 2550 อภิรักษ์ และคณะ ได้ทำการศึกษาผลของการเติมสมุนไพรได้แก่ หอมหัวใหญ่ หอมแดง ตะไคร้ และข่า ที่มีผลต่อสมบัติของเนยแข็งเชดดาร์ (Cheddar cheese) เนยแข็งมอซซาเรลลา และโพรเซสชีส โดยทำการเติมสมุนไพร 2 ระดับ คือ 0.5 และ 1.0 โดยน้ำหนัก พบว่าสมุนไพร มีผลทำให้ค่าความสว่างของเนยแข็งผสมสมุนไพรลดลง ค่า hardness ของเนยแข็งมอซซาเรลลาผสมสมุนไพรและเนยแข็งเชดดาร์ผสมสมุนไพรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และค่า stickiness ของโพรเซสชีสผสมสมุนไพรลดลง ผงสมุนไพรที่ใช้มีผลทำให้เนยแข็งเชดดาร์ผสมสมุนไพร และโพรเซสชีสผสมสมุนไพรมีปริมาณความชื้นลดลง และปริมาณไขมันมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีผลต่อปริมาณโปรตีนของเนยแข็งผสมสมุนไพรน้อยมาก

จากการศึกษารายงานการวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติรีโอโลยีของโพรเซสชีส พบว่าในปี ค.ศ. 2004 Dimitreli and Thomareis ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบขององค์ประกอบทางเคมีต่อความหนืดปรากฏ (apparent viscosity) ของโพรเซสชีสที่ผลิตจากเนยแข็งเกาด้าที่มีอายุการบ่ม 3 เดือน พบว่าเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นและโปรตีนลดลง จะทำให้แสดงพฤติกรรมการไหลเพิ่มขึ้น และค่าความหนืดปรากฏจะลดลง ต่อมาในปี ค.ศ. 2007 ยังได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลกระทบ ขององค์ประกอบทางเคมีต่อสมบัติทางวิสโคอิลาสติกเชิงเส้น (linear viscoelastic) ของโพรเซสชีสชนิดสเปรดที่ผลิตจากเนยแข็งเกาด้าอายุการบ่ม 3 เดือน พบว่าปริมาณความชื้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลดลงจะทำให้ค่า elastic modulus (G′) และค่า viscous modulus (G″) เพิ่มขึ้น และแสดงพฤติกรรมของของเหลวเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อทำการศึกษากับโพรเซสชีสชนิดก้อนพบว่าให้ผลแบบเดียวกัน (Dimitreli and Thomareis, 2007) และสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Joshi และคณะ (2004) และ Lee และคณะ (2004) ซึ่งก่อนหน้านี้ในปี ค.ศ. 2001 Lee และ Klostermeyer ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของค่าความเป็นกรด-ด่าง ของโพรเซสชีสชนิดสเปรด ที่มีการลดปริมาณไขมันต่อสมบัติทางรีโอโลยี พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่เพิ่มสามารถทำให้ โพรเซสชีสมีค่า elastic modulus (G′) และค่า viscous modulus (G″) เพิ่มขึ้น และแสดงพฤติกรรมของของเหลวเพิ่มขึ้นได้เช่นกัน

ในด้านกระบวนการผลิต Lee และคณะ (2004) ได้ทำการศึกษาถึงสมบัติทางรีโอโลยีที่เปลี่ยนไปของโพรเซสชีสในขณะทำการผลิต พบว่าความหนืดของโพรเซสชีสจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการผลิตเพิ่มขึ้นเนื่องจากการพัฒนาโครงสร้างของโปรตีน แต่เมื่อให้เวลาในการผลิตนานมากๆ จะทำให้ความหนืดลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากโปรตีนเกิดการตกตะกอน และจากการศึกษาอัตราการทำให้เย็นต่อสมบัติทางรีโอโลยีของโพรเซสชีสโดย Piska และ Štětina (2004) พบว่าการทำให้เย็นอย่างรวดเร็วจะทำให้ค่า complex modulus (G*) ลดลง โพรเซสชีสจะมีความสามารถในการสเปรดดีขึ้น แต่ในขณะเดียวกันก็มีความเหนียวเพิ่มขึ้นด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved