

เทคโนโลยี  
ของ  
นมและผลิตภัณฑ์นม

สุริย์ นานาสมบัติ



ภาควิชาชีววิทยา  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

# เทคโนโลยีของนมและผลิตภัณฑ์นม

รศ. ดร. สุรีย์ นานาสมบัติ

ภาควิชาชีววิทยา

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## ประวัติผู้เขียน

- ชื่อ-สกุล ดร. สุรีย์ นานาสมบัติ
- ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์ระดับ 9
- หน่วยงานที่สังกัด ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ถ. ชลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
- วุฒิการศึกษา - Ph.D. (Food Science) จาก The University of Georgia, Athens, GA, USA  
- วท.ม. (วิทยาศาสตร์การอาหาร) จาก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
- วท.บ. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

### เทคโนโลยีของนมและผลิตภัณฑ์นม

พิมพ์ครั้งที่ 2 (แก้ไขและเพิ่มเติม): กันยายน 2568

288 หน้า

สงวนลิขสิทธิ์

---

โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรุงเทพฯ 10520 โทร. 0-2329-8000 ต่อ 3592

## คำนำ

หนังสือเทคโนโลยีของนมและผลิตภัณฑ์นมเล่มนี้ ผู้เขียนได้เรียบเรียงขึ้นเพื่อใช้ประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีของนมและผลิตภัณฑ์นม ซึ่งเป็นวิชาเลือกของนักศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาเทคโนโลยีชีวภาพ เนื้อหาที่สำคัญของหนังสือเล่มนี้เกี่ยวกับ บทบาทของน้ำนมในการใช้เป็นอาหาร ส่วนประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของน้ำนม คุณภาพของน้ำนมทางจุลินทรีย์ กระบวนการพื้นฐานในการผลิตผลิตภัณฑ์นมชนิดเหลว โพรไบโอติกและพรีไบโอติก การแปรรูปผลิตภัณฑ์นมชนิดต่างๆ เช่น ผลิตภัณฑ์นมหมัก เนยแข็ง ครีม เนย เนยเค็มรูป เนยเทียม นมข้น นมผง ไอศกรีม และการทำความสะอาดอุปกรณ์ในโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์นม ซึ่งผู้เขียนได้รวบรวมเนื้อหาจากตำราเกี่ยวกับเทคโนโลยีนมที่ทันสมัยทั้งในและต่างประเทศ ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนักศึกษาและผู้ที่เกี่ยวข้องไป ความดีของหนังสือเล่มนี้ผู้เขียนขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ และคณาจารย์ผู้มีพระคุณที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้กับผู้เขียน ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่และ University of Georgia ประเทศสหรัฐอเมริกา รวมทั้งขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง หน่วยงานต้นสังกัดของผู้เขียน และขอขอบคุณโครงการสวนพระองค์สวนจิตรลดาที่ได้ให้ความรู้แก่นักศึกษา ให้นักศึกษาได้เข้าเยี่ยมชมกิจการโคนมและโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมทั้งหมดของโครงการสวนพระองค์สวนจิตรลดา

สุรีย์ นานาสมบัติ

กันยายน 2568

## สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทบาทของน้ำนมในการใช้เป็นอาหารของมนุษย์.....	1
บทที่ 2 ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำนม .....	19
บทที่ 3 สมบัติทางกายภาพของน้ำนม.....	51
บทที่ 4 คุณภาพของน้ำนมทางจุลินทรีย์.....	57
บทที่ 5 กระบวนการพื้นฐานในการผลิตผลิตภัณฑ์นมชนิดเหลว .....	73
บทที่ 6 ผลิตภัณฑ์นมหมัก .....	113
บทที่ 7 เนยแข็ง .....	149
บทที่ 8 ผลิตภัณฑ์นมที่มีไขมันสูง (ครีม เนย เนยคั้นรูปและเนยเทียม) .....	175
บทที่ 9 ผลิตภัณฑ์นมข้น .....	203
บทที่ 10 ผลิตภัณฑ์นมผง.....	223
บทที่ 11 ไอศกรีม .....	249
บทที่ 12 โพรไบโอติกและพรีไบโอติก .....	265
บทที่ 13 การทำความสะอาดอุปกรณ์ในโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์นม .....	281

## บทที่ 1

### บทบาทของน้ำนมในการใช้เป็นอาหารของมนุษย์

น้ำนมเป็นอาหารชนิดแรกที่ลูกอ่อนของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจะได้รับประทาน น้ำนมเป็นของเหลวชีวภาพที่ซับซ้อนซึ่งประกอบด้วยสารอาหารที่มีคุณค่าสูงมากมาย รวมทั้งสารที่ช่วยให้ภูมิคุ้มกันและปัจจัยต่อการเจริญ องค์ประกอบและลักษณะทางกายภาพของน้ำนมผันแปรระหว่างสัตว์แต่ละชนิดซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความต้องการสารอาหารของลูกอ่อนของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมแต่ละชนิด โคเป็นสัตว์ที่ให้น้ำนมปริมาณมาก น้ำนมโคไม่เพียงแต่จะใช้เลี้ยงลูกโคเท่านั้น ยังนำมาใช้เป็นอาหารของมนุษย์อีกด้วย ดังนั้นการผลิตน้ำนมในโลกเกือบทั้งหมดมาจาก โค กระบือ แพะ แกะ และ อูฐ นอกจากนี้ยังมีสัตว์ชนิดอื่นอีกที่ผลิตน้ำนมแต่พบน้อยกว่าเช่น วัวป่าขนยาว (yak) ซึ่งเลี้ยงในแถบภูเขาสูงของทิเบต ม้า เรนเดียร์ (reindeer) และลา ประเทศในแถบเอเชียใต้ จีน อียิปต์และฟิลิปปินส์ เป็นแหล่งของน้ำนมกระบือ โดยทั่วไปสัตว์ชนิดที่ผลิตน้ำนมในแต่ละพื้นที่สะท้อนให้เห็นสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศในแถบนั้นเช่น ในแถบประเทศที่มีภูเขาปลูกหญ้าได้น้อยดินไม่ดีสามารถที่จะเลี้ยงแพะได้แต่ไม่เหมาะที่จะเลี้ยงโค ในแถบภูมิประเทศกึ่งแห้งแล้งสามารถเลี้ยงแกะได้ ในแถบที่ราบกว้างใหญ่ทางตอนกลางของทวีปเอเชียเลี้ยงม้าได้ ในแถบแห้งแล้งสามารถเลี้ยงอูฐได้ ส่วนในแถบร้อนชื้นเลี้ยงกระบือได้ น้ำนมโคเป็นน้ำนมที่นำมาใช้เป็นอาหารของมนุษย์มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำนมจากสัตว์ชนิดอื่น โคเป็นสัตว์ที่ผลิตน้ำนมที่สำคัญในหลายๆประเทศ ดังนั้นเมื่อก้าวถึงน้ำนมในที่นี้จะหมายถึงน้ำนมโค การผลิตน้ำนมโคมีมากกว่าร้อยละ 80 ของน้ำนมที่ผลิตทั่วโลก [1-3]

#### 1.1 การผลิตน้ำนมในโลก

ในช่วงกว่า 3 ทศวรรษที่ผ่านมา การผลิตน้ำนมในโลกเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 50 จาก 482 ล้านตันในปี ค.ศ. 1982 เป็น 754 ล้านตันในปี ค.ศ. 2012 อินเดียเป็นประเทศที่ผลิตน้ำนมมากที่สุดในโลกคือร้อยละ 16 ของการผลิตน้ำนมทั้งหมดในโลก ตามด้วยประเทศสหรัฐอเมริกา จีน ปากีสถาน และบราซิล นับตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 1970-1979 เรื่อยมา การขยายการผลิตน้ำนมส่วนใหญ่อยู่ในประเทศแถบเอเชียใต้ซึ่งเป็นแหล่งขับเคลื่อนหลักของการผลิตน้ำนมในประเทศที่กำลังพัฒนา ประเทศในแถบแอฟริกาเป็นประเทศที่มีการเพิ่มขึ้นของการผลิตน้ำนมช้ากว่าในประเทศที่กำลังพัฒนาแถบอื่นๆ เนื่องจากปัญหาความยากจนและปัญหาด้านสภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวยในบางประเทศ ประเทศที่มีน้ำนมบริโภคมากที่สุดได้แก่ นิวซีแลนด์ สหรัฐอเมริกา เยอรมัน ฝรั่งเศส และไอร์แลนด์ ส่วนประเทศที่มีน้ำนมบริโภคน้อยที่สุดได้แก่ จีน อิตาลี สหพันธรัฐรัสเซีย (the Russian Federation)

เม็กซิโก อัลจีเรีย (Algeria) และอินโดนีเซีย [3] ช่องว่างระหว่างการผลิตและการบริโภคเป็นปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับความต้องการในการนำเข้าและการส่งออกนมและผลิตภัณฑ์นมทั่วโลก นมผงเต็มมันเนยและนมผงขาดมันเนยของจีนมีประมาณร้อยละ 50 ของปริมาณการค้าระหว่างประเทศทั้งหมด ได้มีรายงานว่าประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยเฉพาะจีนและฟิลิปปินส์มีการเพิ่มขึ้นของการส่งออกนมผงมากที่สุด นอกจากนี้ประเทศเม็กซิโก แอลจีเรียและโมร็อกโกก็เป็นประเทศผู้ส่งออกนมผงที่สำคัญ ส่วนเนย (butter) และเนยแข็ง (cheese) มีการค้าขายกันมากโดยเฉพาะสหพันธรัฐรัสเซีย ประเทศทางทวีปแอฟริกาเหนือและแอฟริกาตะวันออก นิวซีแลนด์เป็นประเทศผู้นำในด้านการส่งออกผลิตภัณฑ์นม ส่วนประเทศผู้ส่งออกที่สำคัญประเทศอื่นได้แก่ ออสเตรเลีย อาร์เจนตินา บราซิล โคลัมเบีย ชิลี สหรัฐอเมริกาและประเทศในสหภาพยุโรป [4]

ตารางที่ 1.1 การผลิตนํ้านมจากสัตว์ชนิดต่างๆ ทั่วโลก

ชนิดของสัตว์	ปริมาณนํ้านมที่ผลิตในแต่ละปี (ล้านตัน)						
	ค.ศ.1993	ค.ศ.1995	ค.ศ.1997	ค.ศ.1999	ค.ศ.2001	ค.ศ.2003	ค.ศ.2005
โค	460.1	465.2	472.1	483.0	492.0	505.3	527.0
กระบือ	50.0	54.5	59.7	64.9	68.9	72.7	77.5
แพะ	9.9	11.8	12.1	12.1	12.5	12.4	12.3
แกะ	7.8	8.0	8.2	8.0	8.2	7.8	8.2
สัตว์อื่นๆ	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
รวม	529.0	540.8	553.4	569.4	582.9	599.6	626.3

ที่มา: Huppertz และ Kelly [2]

## 1.2 การบริโภคนํ้านมทั่วโลก

การบริโภคนํ้านมในประเทศใดๆ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการเช่น อายุ เพศ ชนเผ่า และทั้งสามประการร่วมกัน ตัวอย่างเช่น ประชาชนในประเทศสหรัฐอเมริกาและแคนาดาดื่มนํ้านมค่อนข้างมาก แต่ใครบ้างที่ดื่มนํ้านมและนํ้านมชนิดไหนที่พวกเขาดื่ม มีปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้องกับการบริโภคนํ้านมเช่น ความเชื่อ ทศนคติและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของนํ้านม มีผู้รายงานว่าสตรีดื่มนํ้านมค่อนข้างน้อย นักวิจัยในประเทศนิวซีแลนด์ก็ได้รายงานคล้าย ๆ กันเกี่ยวกับการดื่มนมของสตรีในประเทศของเขา เนื่องจากสตรีเหล่านั้นเชื่อว่าการดื่มนํ้านมจะทำให้อ้วนและเกิดการแพ้แลคโตส (lactose intolerance) และยังมีรายงานว่า ผู้ชายวัยรุ่นมีการบริโภคผลิตภัณฑ์นมสูงกว่าผู้หญิงในวัย

เดียวกัน ประชาชนที่อาศัยอยู่ในทวีปยุโรปตอนเหนือและทวีปอเมริกาเหนือนิยมดื่มน้ำนมแพะและน้ำนมแกะมากกว่าประชาชนในแถบอื่น น้ำนมแพะและน้ำนมแกะเป็นเครื่องดื่มที่นิยมดื่มกันมานานแล้วแต่ดั้งเดิม [5]

มีรายงานว่าคนมากกว่า 6 พันล้านคนบริโภคนมและผลิตภัณฑ์นม คนเหล่านี้ส่วนใหญ่ อยู่ในประเทศที่กำลังพัฒนา ตั้งแต่ในช่วงทศวรรษระหว่างปี ค.ศ. 1960-1969 การบริโภคนมในประเทศที่กำลังพัฒนาเพิ่มขึ้นเกือบ 2 เท่า แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นนี้ยังจัดว่าเพิ่มขึ้นน้อยกว่าการบริโภคเนื้อและไข่ซึ่งเพิ่มขึ้นถึง 5 เท่า ประชาชนในประเทศที่บริโภคนมมาก (มากกว่า 150 กก/คน/ปี) ได้แก่ อาร์เจนตินา (Argentina) อาร์มีเนีย (Armenia) ออสเตรเลีย คอสตาริกา (Costa Rica) ยุโรป อิสราเอล (Israel) Kyrgyzstan อเมริกาเหนือ ปากีสถาน ประชาชนในประเทศที่บริโภคนมปานกลาง (30-150 กก/คน/ปี) ได้แก่ อินเดีย อิหร่าน (Islamic Republic of Iran) ญีปุ่น เคนย่า (Kenya) เม็กซิโก (Mexico) มองโกเลีย (Mongolia) นิวซีแลนด์ แอฟริกาเหนือ แอฟริกาใต้ และประเทศส่วนใหญ่ในแถบตะวันออกไกล ลาตินอเมริกา (Latin America) และแคริบเบียน (Caribbean) ส่วนประชาชนในประเทศที่บริโภคนมน้อย (น้อยกว่า 30 กก/คน/ปี) ได้แก่ จีน เอธิโอเปีย (Ethiopia) ประเทศส่วนใหญ่ในแถบแอฟริกากลางและประเทศส่วนใหญ่ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้มีการคาดการณ์ว่าการบริโภคนมและผลิตภัณฑ์นมของประชาชนในทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จะเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 125 ในปี ค.ศ. 2030 [6]

### 1.3 คุณค่าทางอาหารของน้ำนม

โดยทั่วไปทุกคนยอมรับว่าน้ำนมเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ ถ้าไม่คำนึงถึงคอเลสเตอรอลและกรดไขมันอิ่มตัวในน้ำนม น้ำนมยังช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนอาหาร พื้นที่เพาะปลูกในโลกเกือบร้อยละ 70 มีการปลูกหญ้า แม้ว่าคนไม่กินหญ้าเป็นอาหารแต่สัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถเปลี่ยนหญ้าเป็นอาหารของคนได้ในรูปของน้ำนม น้ำนมโดยเฉพาะน้ำนมโคมีคุณค่าทางอาหารสูง [5]

#### โปรตีน

น้ำนมมีปริมาณโปรตีนทั้งหมด 30-35 กรัมต่อลิตร โปรตีนนมมีคุณค่าทางอาหารสูง ในน้ำนมประกอบด้วยโปรตีนชนิดหลักๆ รวมถึง เคซีน (casein) แลคโตโกลบูลิน (lactoglobulin) และแลคโตอัลบูมิน (lactoalbumin) เคซีนเป็นโปรตีนที่ถูกย่อยและดูดซึมได้ง่ายในระบบทางเดินอาหาร น้ำนมของสัตว์ชนิดใดๆ จะเหมาะสำหรับลูกอ่อนของสัตว์ชนิดนั้นๆ โปรตีนนมเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูง ประกอบด้วยกรดอะมิโนจำเป็นทั้ง 8 ชนิดที่ร่างกายสร้างไม่ได้ ต้องได้รับจากอาหาร ในน้ำนมยังมีกรดอะมิโนไลซีน (lysine) ปริมาณสูง การรับประทานอาหารที่ประกอบด้วยโปรตีนนมร่วมกับการ

รับประทานอาหารมังสวิรัต ทำให้ได้รับสารอาหารที่มีคุณค่าสูงขึ้น เนื่องจากโปรตีนจากผักมีไลซีนต่ำ [5]

### ไขมัน

ไขมันนมมีความเด่นที่ไม่เหมือนไขมันและน้ำมันชนิดอื่นที่มนุษย์บริโภค เนื่องจากกรดไขมันสายสั้นที่เป็นองค์ประกอบในไขมันนมมีอิทธิพลต่อการเจริญของเซลล์ แต่อย่างไรก็ตามเป็นความจริงที่ว่า กรดไขมันอิ่มตัวในนมสามารถทำให้ระดับแอลดีแอล-คอเลสเตอรอลในเลือดเพิ่มขึ้น แต่ก็มีหลักฐานว่าไขมันนมไม่ได้เป็นสาเหตุของการเกิดโรคหัวใจขาดเลือด (coronary heart disease) และมีรายงานว่ารับประทานเนยสดหรือ butter ซึ่งไม่ได้เป็นแหล่งของไขมันทรานส์ (*trans-isomers*) ไม่มีผลต่อการทำให้เกิดโรคหัวใจขาดเลือด แต่ในทางตรงกันข้ามการรับประทานไขมันพืชที่ผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจน (hydrogenated vegetable fats) ได้แก่ เนยเทียมหรือมาร์การีน (margarine) และเนยขาว (shortening) (เช่น ผู้หญิงที่รับประทานเนยเทียม 4 ช้อนชาหรือมากกว่า 4 ช้อนชาต่อวัน) มีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจขาดเลือดซึ่งความเสี่ยงนี้เกิดจากการที่ร่างกายได้รับกรดไขมันชนิดทรานส์ (*trans-fatty acid*) เข้าไป นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า ไขมันชนิดทรานส์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติในน้ำมันเช่น กรดรูเมนิก (ruminic acid) และกรดวัคซินิก (vaccenic acid) สามารถต้านการเกิดมะเร็ง (anti-carcinogenic capacity) ได้ องค์ประกอบของนมอีกชนิดหนึ่งที่มีสมบัติต้านการเกิดมะเร็งคือ สฟริงโกลิพิด (sphingolipids) ซึ่งจริงๆ ก็คือ สฟริงโกไมอีลิน (sphingomyelin) สารประกอบนี้มีอยู่ 1 ใน 3 ของฟอสโฟลิพิดทั้งหมดในน้ำมัน มีหลักฐานเกี่ยวกับบทบาทของนมในการลดการเกิดมะเร็ง เช่น มีรายงานว่า พบการเกิดโรคมะเร็งเต้านมในกลุ่มคนที่บริโภคนมและผลิตภัณฑ์นมน้อยกว่าในกลุ่มคนที่ไม่ได้บริโภคนม และเช่นเดียวกันมีการรายงานเกี่ยวกับผลของน้ำมันและองค์ประกอบในน้ำมันในการลดความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ [5]

### คาร์โบไฮเดรต

แลคโตสเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหลักที่พบในน้ำมัน แลคโตสช่วยส่งเสริมการดูดซึมแคลเซียม ในทารกบางคนอาจมีน้ำย่อยแลคโตสในปริมาณจำกัดหรือขาดน้ำย่อยแลคโตส เมื่อดื่มนมเข้าไปจึงเกิดอาการเช่น เกิดแก๊สในระบบทางเดินอาหาร ลมขึ้น ท้องเสีย ซึ่งก็คืออาการแพ้แลคโตส (lactose intolerance) จากการวิจัยได้พบว่าคนที่ไม่สามารถย่อยแลคโตสได้ (lactose maldigestion) สามารถดื่มน้ำมันได้ถึง 250 มิลลิลิตรต่อวันถ้าหากรับประทานร่วมกับอาหารชนิดอื่น ผลิตภัณฑ์นมบางชนิดมีแลคโตสอยู่น้อยมากเช่น เนยสด (butter) และเนยแข็งชนิดแข็ง (hard cheese) ส่วนใหญ่ซึ่งแลคโตสได้สูญเสียไปพร้อมกับเวย์ (whey) โยเกิร์ตก็มีแลคโตสปริมาณน้อยเช่นกัน เนื่องจากแบคทีเรียที่มีชีวิตในโยเกิร์ตได้เปลี่ยนแลคโตสเป็นกรดแลคติกชนิดหนึ่ ผู้ที่ไม่รับประทานนมและผลิตภัณฑ์นมอาจมีปัญหาในเรื่องของการขาดแคลเซียม ดังนั้นจึงควรเสริมแคลเซียมเพื่อทดแทนแคลเซียมที่จะได้รับจากนม [5]

## แร่ธาตุ

ในนํ้านมมีแร่ธาตุที่สำคัญหลายชนิด แคลเซียมพบมากในนํ้านม มีผู้เขียนไว้มากมายเกี่ยวกับคุณค่าและบทบาทของแคลเซียม แต่มีสิ่งหนึ่งที่คนยังไม่เข้าใจคือ สภาพพร้อมใช้ทางชีวภาพ (bioavailability) ของแคลเซียมและปริมาณแคลเซียมที่เหมาะสมที่ร่างกายของคนๆหนึ่งควรได้รับเพียงพอที่จะทำให้ร่างกายของคนๆนั้นจะแข็งแรงไปตลอดชีวิต ปริมาณแคลเซียมที่แนะนำว่าควรรับประทานเข้าไปนั้นจะขึ้นอยู่กับอาหารชนิดต่างๆที่รับประทานตามปกติ อาหารที่รับประทานควรมีความสมดุลในแต่ละหมวดหมู่ แคลเซียมที่มีอยู่ในอาหารที่รับประทานเข้าไปนั้น ไม่ทั้งหมดที่จะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดด้วยประสิทธิภาพเท่ากัน ดังนั้นหากเรารับประทานสารอาหารบางอย่างเข้าไปก็ไม่เสมอไปที่ร่างกายจะได้รับสารอาหารเหล่านั้น สิ่งที่กำลังมานี้ก็คือ ความหมายของคำว่า “สภาพพร้อมใช้ทางชีวภาพ” นั่นเอง สารอาหารที่มีสภาพพร้อมใช้ทางชีวภาพก็ควรจะสามารถทางชีวภาพที่จะถูกดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ มีสารต้านสารอาหาร (anti-nutrient) บางชนิดที่ไปลดปริมาณสารอาหารเฉพาะบางอย่างทำให้สารอาหารนั้นไม่ถูกดูดซึมเข้าไป ในกรณีของแคลเซียม มีสารต้านสารอาหารเช่น กรดออกซาลิก (oxalic acid) ในผักและกรดไฟติก (phytic acid) ในธัญชาติ (cereal) และถั่วต่างๆ ที่จะไปจับกับแคลเซียมและเหล็กทำให้เกิดเกลือที่ไม่ละลายซึ่งร่างกายไม่สามารถดูดซึมได้ แคลเซียมในผักใบเขียวกลุ่มหนึ่งได้แก่ บรอกโคลี ผักกวางตุ้งจีน (bok choy) และผักคะน้ามีสภาพพร้อมใช้ทางชีวภาพสูง ส่วนแคลเซียมในผักอีกกลุ่มหนึ่งคือ ผักโขม (spinach) โกลฐน้ำเต้า (rhubarb) และสวิสชาด (Swiss chard) มีสภาพพร้อมใช้ทางชีวภาพต่ำ แคลเซียมในนํ้านมค่อนข้างมีอัตราคงที่ในด้านสภาพพร้อมใช้ทางชีวภาพซึ่งมีประมาณร้อยละ 32 ฉะนั้นผู้ที่รับประทานอาหารมังสวิรัตถ้าหากบริโภคนมหรือผลิตภัณฑ์นม 3 ครั้งต่อวัน ก็มั่นใจได้ว่าน่าจะได้รับแคลเซียมเพียงพอ แต่ถ้าหากไม่บริโภคนมหรือผลิตภัณฑ์นมควรรับประทานแคลเซียมเป็นอาหารเสริม แคลเซียมมีบทบาทต่อการเจริญและการแข็งแรงของกระดูก แคลเซียมอาจได้มาจากอาหารชนิดอื่นเช่นปลาตัวเล็กที่รับประทานได้ทั้งตัวและผักบางชนิดที่มีสภาพพร้อมใช้ทางชีวภาพของแคลเซียมสูง นอกจากนี้แคลเซียมยังมีบทบาทต่อการแข็งตัวของเลือด ถ้าหากถูกมีดบาด แคลเซียมทำให้เกิดเลือด (platelet) ปล่อย thromboplastin (thromboplastin) ซึ่งจะไปกระตุ้นโปรทรอมบิน (prothrombin) ให้เปลี่ยนเป็นทรอมบิน (thrombin) ซึ่งจะไปเปลี่ยนไฟบริโนเจน (fibrinogen) ให้เป็นไฟบริน (fibrin) ต่อไป ทำให้เลือดเกิดเป็นลิ่มไปอุดบาดแผล ยิ่งกว่านั้น แคลเซียมยังจำเป็นต่อการดูดซึมวิตามินบี 12 ที่ได้รับจากอาหารซึ่งจะช่วยควบคุมการคลายตัวและการหดตัวของกล้ามเนื้อ แคลเซียมช่วยกระตุ้นเอนไซม์หลายชนิดเช่น ไลเพสจากตับอ่อน [5]

โพแทสเซียม เป็นแร่ธาตุที่น่าสนใจด้วยเหตุผลบางประการ ประการแรกคือ ในเซลล์บางชนิดเช่นเซลล์ประสาทและเซลล์กล้ามเนื้อโพแทสเซียมสูง หน้าที่หลักของโพแทสเซียมเหมือนกับหน้าที่ของโซเดียมคือช่วยรักษาความสมดุลของของเหลวและช่วยรักษาปริมาตรของของเหลวในร่างกาย

และยังมีบทบาทต่อเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ช่วยส่งเสริมการสังเคราะห์โปรตีนและการหดตัวของกล้ามเนื้อและเหนียวน้ำกระแสนประสาท หน้าที่เหล่านี้อาจเป็นที่สนใจของคนที่ต้องการลดความดันโลหิตซึ่งควรรับประทานอาหารที่มีปริมาณโพแทสเซียมเหมาะสม กลัวยและส้มเป็นแหล่งของโพแทสเซียมที่ดี เช่นเดียวกับโยเกิร์ต น้านม และผิวมันฝรั่งก็เป็นแหล่งของโพแทสเซียมที่ดีเลิศ การศึกษาเมื่อเร็วๆ นี้ได้แสดงให้เห็นว่า โพแทสเซียมเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของมวลกระดูกในผู้ใหญ่ เชื่อกันว่าเนื่องมาจากการที่โพแทสเซียมไปช่วยลดการสูญเสียแคลเซียมในปัสสาวะ [5]

น้านมเป็นอาหารที่อุดมไปด้วยสารอาหารมากมายที่จำเป็นต่อกระดูก น้านมมีแคลเซียมและโพแทสเซียมสูงและยังมีแมกนีเซียมอีกด้วย เนยแข็งและโยเกิร์ตก็เป็นแหล่งของแมกนีเซียมที่ดี แมกนีเซียมมีบทบาทต่อเมแทบอลิซึมของกลูโคสและกรดไขมันและมีบทบาทต่อกิจกรรมของระบบประสาทและการหดตัวของกล้ามเนื้อ และสิ่งสำคัญที่สุดคือ มีบทบาทที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของกระดูก การที่มีร่างกายที่มีสุขภาพดีโดยมีกระดูกที่แข็งแรงจำเป็นต้องได้รับแร่ธาตุและวิตามินหลายชนิด ไม่ใช่แต่เฉพาะแคลเซียมเท่านั้นที่จำเป็น ผลิตภัณฑ์นมเป็นแหล่งของแมกนีเซียมที่ดีที่สุดในบรรดาอาหารที่คนเรารับประทานทั้งหมด รองลงมาคือ ขนมอบังและธัญชาติ ผัก ผลไม้ เนื้อสัตว์และเนื้อสัตว์ปีก แมกนีเซียมพบมากในพืชเช่นเดียวกับธาตุเหล็กที่พบมากในสัตว์ เหล็กเป็นแร่ธาตุที่เป็นแกนกลางของโมเลกุลเฮโมโกลบิน (haemoglobin) ส่วนแมกนีเซียมเป็นแร่ธาตุที่เป็นแกนกลางของโมเลกุลคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) ซึ่งเป็นรงควัตถุสีเขียวในพืช ในสภาพที่มีแสงจะเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นน้ำและคาร์โบไฮเดรต จึงมีผู้ที่กล่าวว่าแมกนีเซียมเป็นธาตุที่มีความสำคัญรองจากคาร์บอนซึ่งเป็นธาตุที่สำคัญที่สุดต่อชีวิต [5]

สังกะสีเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย ถ้าในแต่ละวัน คนๆ หนึ่งดื่มน้านม 3 ครั้ง ครั้งละ 250 มิลลิลิตร คนๆ นั้นจะได้รับปริมาณสังกะสี 1 ใน 3 ของปริมาณสังกะสีทั้งหมดที่ร่างกายควรได้รับในแต่ละวัน สังกะสีในน้านมส่วนมากจับอยู่กับโปรตีน ส่วนน้อยจับอยู่กับไขมัน สังกะสีจำเป็นต่อการเจริญและพัฒนาการของร่างกาย และยังสำคัญต่อการรักษาการบาดเจ็บและช่วยส่งเสริมภูมิคุ้มกัน การขาดสังกะสีจะทำให้เจริญเติบโตและโตเต็มวัยช้า โดยเฉพาะมีความสมบูรณ์ทางเพศช้า เช่นเดียวกัน ฟอสฟอรัสซึ่งเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นเนื่องจากฟอสฟอรัสมีบทบาทต่อเมแทบอลิซึมของร่างกาย ได้มีข้อโต้แย้งเกี่ยวกับผลของฟอสฟอรัสในอาหารโดยเฉพาะอัตราส่วนของแคลเซียมต่อฟอสฟอรัสและความสัมพันธ์ต่อความแข็งแรงของกระดูก การรับประทานเกลือฟอสเฟตเพิ่มขึ้นโดยนำมาเติมลงในอาหารหลายชนิดยังคงเป็นที่สงสัยว่าจะมีผลเสียต่อกระดูกหรือไม่ [5]

### วิตามิน

วิตามินที่ละลายน้ำได้เช่น ไทอะมีน (thiamin) มีความสำคัญต่อปฏิกิริยาการปล่อยพลังงานที่เกี่ยวข้องกับคาร์โบไฮเดรต กรดไขมันและกรดอะมิโน ไรโบฟลาวิน (riboflavin) เป็นวิตามินที่สำคัญที่สุดโดยจะไปจับกับโปรตีนทำให้เกิดฟลาโวโปรตีน (flavoprotein) ซึ่งไปมีส่วนร่วมในปฏิกิริยาการ

สร้างพลังงานในเซลล์ การตีมนม 3 ครั้งในแต่ละวันจะทำให้ร่างกายได้รับไรโบฟลาวินอย่างเพียงพอ ไนอะซิน (niacin) เป็นวิตามินที่ละลายได้ในน้ำที่พบในน้ำนม มีหน้าที่หลายอย่างที่คล้ายหน้าที่ของไรโบฟลาวิน ไนอะซินช่วยเสริมสุขภาพ กรดอะมิโนทริปโทเฟน (tryptophan) ที่มีอยู่ในน้ำนม สามารถถูกนำมาใช้สร้างไนอะซิน การตีมนม 3 ครั้งในแต่ละวันจะทำให้ร่างกายได้รับไนอะซินร่วมกับทริปโทเฟนปริมาณมากถึงร้อยละ 65 ของปริมาณทั้งหมดที่ร่างกายต้องการ นอกจากนี้ น้ำนมยังเป็นแหล่งที่ดีของกรดแพนโทเทนิค (panthothenic acid) กรดโฟลิก ไพริดอกซีน (pyridoxine) และไบโอติน (biotin) และการตีมนม 3 ครั้งในแต่ละวันยังทำให้ได้รับวิตามินบี 12 ทั้งหมดที่ร่างกายต้องการ กรดแอสคอร์บิกเป็นวิตามินชนิดเดียวที่พบไม่มากในน้ำนม [5]

น้ำนมมีวิตามินที่ละลายได้ในไขมันเช่น วิตามินเอพบได้ในส่วนของไขมันนม การรับประทานวิตามินเอเสริมในปริมาณมากเกินไปอาจเป็นอันตรายต่อกระดูก น้ำนมไม่ได้เป็นแหล่งที่ดีของวิตามินดี ดังนั้นในบางประเทศแถบตะวันตก รัฐบาลได้บังคับให้เติมวิตามินดี 100 IU (International Unit) ลงในน้ำนมต่อ 1 การเสิร์ฟ วิตามินดีช่วยส่งเสริมการดูดซึมแคลเซียม วิตามินอี พบน้อยในน้ำนม ทำหน้าที่ช่วยต้านอนุมูลอิสระ เช่นเดียวกับวิตามินเคซึ่งพบน้อยในน้ำนมเช่นกัน วิตามินเคอาจมีบทบาทต่อความแข็งแรงของกระดูก [5]

## 1.4 เต้านมโคและการสร้างน้ำนม

น้ำนมเป็นของเหลวชีวภาพที่ทำหน้าที่ได้อย่างดีเลิศซึ่งหลั่งออกมาจากเต้านมของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเพื่อใช้เป็นอาหารและให้ภูมิคุ้มกันแก่ลูกอ่อนในช่วงแรกของชีวิต สารให้ภูมิคุ้มกันในน้ำนมแม่เช่น อิมมูโกลบูลิน (immunoglobulins) และสารต้านแบคทีเรียเช่น ไลโซไซม์ (lysozyme) และแลคโตเฟอริน (lactoferrin) ช่วยปกป้องลูกอ่อนจากการติดเชื้อในระยะแรกของการเจริญเติบโต นอกจากนี้ น้ำนมยังให้สารอาหารมากมายที่ช่วยในการย่อยเช่น โปรตีเนส (proteinase) และไลเปส (lipase) รวมทั้งฮอร์โมนที่ช่วยในการเจริญเติบโต [7] จากการปรับปรุงในด้านการคัดเลือกทางพันธุกรรม การปรับปรุงสารอาหารและการจัดการเทคโนโลยีการรีดนมที่ทันสมัยทำให้เต้านมโคสร้างน้ำนมได้ในปริมาณที่มากกว่าที่ลูกโคใช้เป็นอาหาร

### 1.4.1 ต่อมสร้างน้ำนม

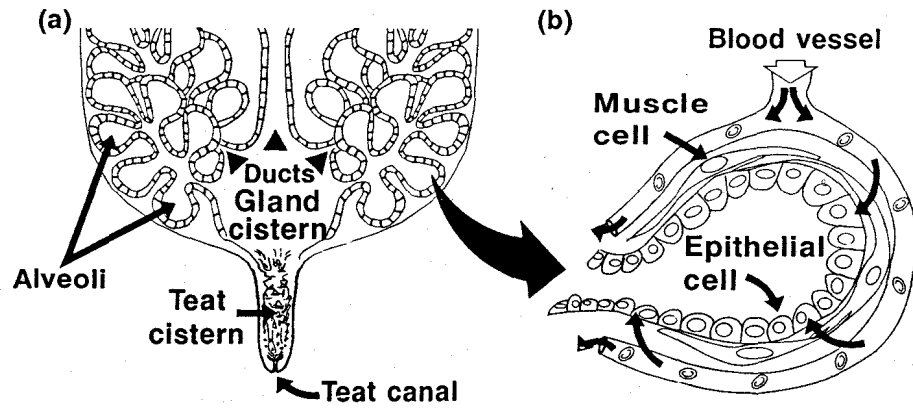
ต่อมสร้างน้ำนม (mammary gland) อยู่ภายในเต้านมโค (cow udder) การพัฒนาเต้านมเริ่มตั้งแต่อยู่ในท้องของแม่โค โคมีเต้านมจำนวน 4 เต้า แต่ละเต้าทำหน้าที่แยกกัน (รูปที่ 1.1) แต่ละเต้ามีเนื้อเยื่อผลิตน้ำนมเป็นของตนเอง เมื่อลูกโคอายุ 6 เดือน เต้านมพัฒนาเกือบสมบูรณ์โดยมี 4 เต้าชัดเจน มีการพัฒนาเยื่อยึดเกาะที่แยกเต้าซ้ายขวา (a medial suspensory ligament) หัวนม (teat)

และกระเปาะรวบรวมนม (gland cistern) เมื่อโคเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์และช่วงใกล้คลอดจะมีการพัฒนาต่อมสร้างน้ำนมและท่อน้ำนม ขนาดของเต้านมและจำนวนเซลล์สร้างน้ำนมจะเพิ่มขึ้นจากรยะให้นมแรกไปจนถึงระยะให้นมครั้งที่ 5 เต้านมโคถูกปกป้องโดยเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อชั้นนอก ช่วยป้องกันการกระแทกจากภายนอก เนื้อเยื่อของภายในเต้านมที่นุ่มคล้ายฟองน้ำ (spongy tissue หรือ parenchyma) ประกอบด้วยกระเปาะสร้างน้ำนมจำนวนมาก (alveoli) กระเปาะสร้างน้ำนมแต่ละกระเปาะ (alveolus) อยู่แยกกันอย่างอิสระและจะช่วยกันสร้างน้ำนม น้ำนมจะไหลมาตามท่อที่เชื่อมกระเปาะสร้างน้ำนม เข้าสู่บริเวณพักน้ำนมหลัก (gland cistern) และไหลเข้าสู่ถุงพักน้ำนม (teat cistern) ซึ่งอยู่บริเวณเหนือรูเปิดของเต้านม (teat canal) และเป็นทางที่ให้น้ำนมไหลออก (รูปที่ 1.2ก) ที่ปลายของรูเปิดของเต้านมมีกล้ามเนื้อหูรูด (sphincter muscle) ที่ทำหน้าที่ปิดเปิด กล้ามเนื้อนี้ช่วยป้องกันการไหลออกและช่วยป้องกันการเข้าของเชื้อแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์ก่อโรค [7, 8]

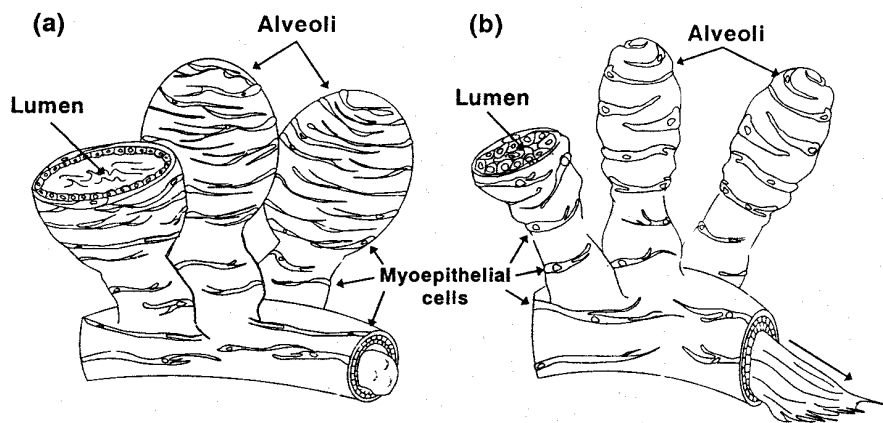
ภายในกระเปาะสร้างน้ำนม (alveolus) มีเซลล์สร้างน้ำนมหรือเซลล์เนื้อเยื่อบุผิว (secretory epithelial cell) จำนวนมากเรียงกันแถวเดียวโดยรอบ (รูปที่ 1.2ข) การสร้างน้ำนมเกิดขึ้นภายในกระเปาะนี้โดยเซลล์สร้างน้ำนมจะดูดซึมสารอาหารจากเส้นเลือดฝอยที่อยู่รอบกระเปาะมาเลี้ยง เนื้อเยื่อสร้างเต้านม โดยสารอาหารจะถูกเปลี่ยนไปเป็นโปรตีน ไขมัน แลคโตสและองค์ประกอบนมอื่นๆ เมื่อน้ำนมสะสมอยู่ในกระเปาะสร้างน้ำนม แรงดันต่อเซลล์สร้างน้ำนมจะทำให้กระเปาะสร้างน้ำนมแฟบลง (รูปที่ 1.3ก) สัญญานนี้ทำให้เซลล์หยุดสร้างน้ำนมและปล่อยน้ำนมออกมายังบริเวณช่องว่างพักน้ำนม (lumen) ก่อนการรีดนม น้ำนมประมาณร้อยละ 60 ได้ถูกเก็บสะสมไว้ในกระเปาะสร้างน้ำนมและท่อน้ำนมตั้งแต่การรีดนมครั้งก่อนและอีกร้อยละ 40 ได้ถูกเก็บไว้ในบริเวณพักน้ำนมหลักและท่อน้ำนมใหญ่ กลุ่มกล้ามเนื้อเรียบหรือกลุ่ม myoepithelial cells ซึ่งอยู่ล้อมรอบกระเปาะสร้างน้ำนมแต่ละกระเปาะจะบีบตัวทำให้มีการปล่อยน้ำนมออกจากกระเปาะสร้างน้ำนมผ่านท่อน้ำนม (รูปที่ 1.3ข) [8]



รูปที่ 1.1 เต้านมโค

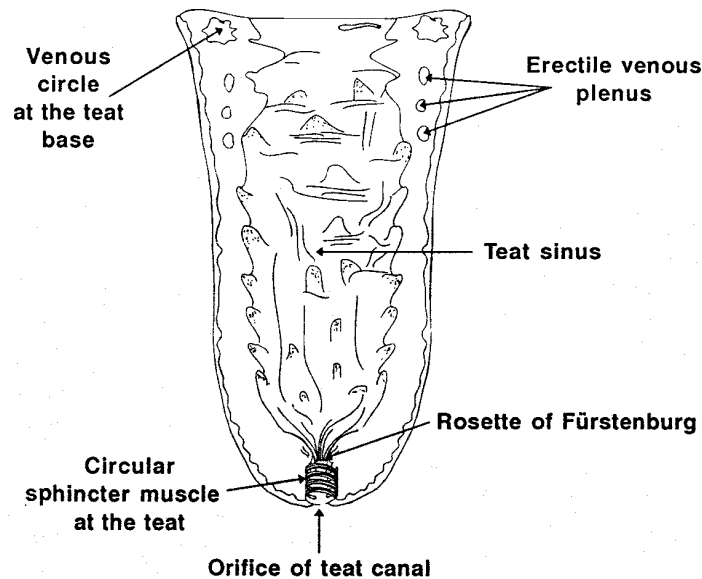


รูปที่ 1.2 (ก) แผนภาพของเต้านมโคแสดงกระเปาะสร้างน้ำนมและช่องว่างที่มีน้ำนม  
 (ข) ภาพขยายของกระเปาะสร้างน้ำนม (alveolus) ที่ถูกล้อมรอบโดยกล้ามเนื้อหรือ myoepithelial cells ซึ่งบีบน้ำนมออกจากกระเปาะสร้างน้ำนมและเส้นเลือดฝอยซึ่งให้ milk precursors แก่ epithelial cells ของกระเปาะสร้างน้ำนม  
 ที่มา: Nickerson [8]



รูปที่ 1.3 (ก) กลุ่มของกระเปาะสร้างน้ำนม (alveoli) ก่อนการรีดนม  
 (ข) กระเปาะสร้างน้ำนมระหว่างที่มีการหดตัวเพื่อปล่อยน้ำนมออก  
 ที่มา: Nickerson [8]

ท่อน้ำนมที่เป็นทางผ่านของน้ำนมที่ถูกสร้างขึ้นในกระเปาะสร้างน้ำนม เชื่อมต่อกับท่อน้ำนมที่ใหญ่ขึ้นซึ่งในที่สุดน้ำนมก็ถูกปล่อยออกมายังบริเวณพักน้ำนมหลัก (gland cistern) (รูปที่ 1.2ก) บริเวณพักน้ำนมนี้เก็บน้ำนมได้ 100-2,000 มิลลิลิตร จากนั้นจึงปล่อยน้ำนมเข้าสู่ถุงพักน้ำนมซึ่งเก็บน้ำนมได้ 10-50 มิลลิลิตร ถุงพักน้ำนมจะสิ้นสุดที่ท่อเปิดของเต้านม (teat canal) (รูปที่ 1.4) ซึ่งมีความยาว 5-13 มิลลิเมตรและมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.40-0.77 มิลลิเมตร ท่อเปิดของเต้านมจะเปิดให้น้ำนมไหลออกไป ในช่วงการหลั่งน้ำนมระยะหลัง ๆ ท่อเปิดนี้จะยาวขึ้นและมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น ท่อนี้ถูกหุ้มล้อมรอบด้วยกลุ่มของเส้นใยกล้ามเนื้อเรียบ (smooth muscle fibers) ที่ประกอบด้วยหลอดซึ่งทำหน้าที่ปิดทางออกของน้ำนม รูเปิดของเต้านมที่อ่อนไม่แข็งแรงเรียกว่า patent หรือ leaky น้ำนมจะไหลออกมาได้ง่าย ส่วนโคที่มีรูเปิดของเต้านมที่มีกล้ามเนื้อเรียบหุ้มล้อมรอบอย่างแน่นเรียกว่า hard milker เพราะน้ำนมถูกบีบออกมาในลักษณะที่ถูกฉีดพ่นเป็นฝอย น้ำนมไหลออกช้ามากซึ่งจะใช้เวลา 10 นาทีหรือนานกว่านี้ในการที่จะรีดน้ำนมออกมาได้ [8]



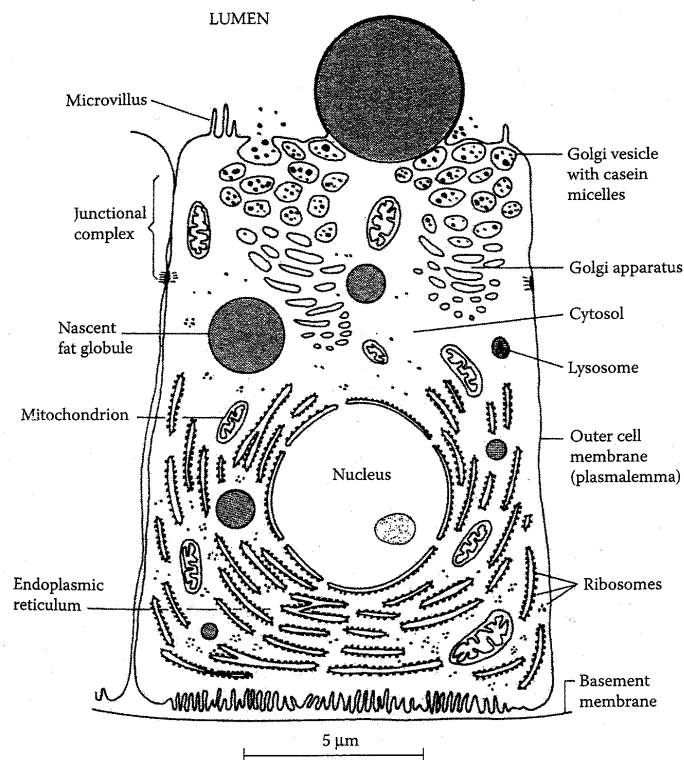
รูปที่ 1.4 รูเปิดของเต้านม (teat)

ที่มา: Nickerson [8]

#### 1.4.2 การสังเคราะห์น้ำนม

การสังเคราะห์องค์ประกอบนมเกิดขึ้นส่วนใหญ่ในเซลล์สร้างน้ำนมที่อยู่ภายในต่อมน้ำนม เซลล์สร้างน้ำนมภายในกระเปาะสร้างน้ำนมประกอบด้วยออร์แกเนลล์ (organelles) ที่จำเป็นต่อการเปลี่ยนสารที่ดูดซึมมาจากเลือดไปเป็นองค์ประกอบนม (รูปที่ 1.5) สารตั้งต้นพื้นฐาน (precursor)

ขององค์ประกอบนมได้มาจากเลือด ไขมันนมถูกสังเคราะห์ขึ้นในไซโทพลาซึมบริเวณที่ถูกครอบครองโดยเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดหยาบ (rough endoplasmic reticulum) และในระหว่างการปล่อยหยดไขมันเล็กๆ หยดไขมันจะถูกดันผ่านเยื่อหุ้มเซลล์และถูกปล่อยออกเข้าสู่ลูเมน (lumen) ของกระเปาะสร้างน้ำนม เคซีนถูกสังเคราะห์ภายในเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมชนิดหยาบ จากนั้นจึงถูกขนส่งไปยังกอลจิแอฟพาราทัส (golgi apparatus) เคซีนจะถูกทำให้เข้มข้นในเซครีทอรีเวสซิเคอร์ (secretory vesicle) หรือกอลจิเวสซิเคอร์ (golgi vesicle) ที่จะขนส่งออกนอกเซลล์ แลคโตสถูกสังเคราะห์ในกอลจิแอฟพาราทัส และถูกขนส่งออกนอกเซลล์โดยเวสซิเคอร์เดียวกันกับเวสซิเคอร์ที่ใช้ขนส่งเคซีน แคลเซียม แมกนีเซียมและไอออนอื่น ๆ ก็ถูกปล่อยออกนอกเซลล์ผ่านทางเวสซิเคอร์นี้ ดังนั้นกอลจิเวสซิเคอร์จึงเป็นที่ซึ่งองค์ประกอบนมที่ละลายได้ส่วนใหญ่ถูกเก็บรวบรวมไว้ เวสซิเคอร์นี้จะมีขนาดใหญ่ขึ้นขณะที่ถูกขนส่งไปยังเซลล์ เมื่อเดินทางมาถึงกอลจิเวสซิเคอร์จะรวมเข้ากับเยื่อหุ้มเซลล์โดยรวมเข้าเป็นส่วนหนึ่งของเยื่อหุ้มเซลล์แล้วปล่อยองค์ประกอบนมซึ่งเป็นส่วนที่ละลายได้ในน้ำ (aqueous phase) เข้าสู่ลูเมน ตารางที่ 1.2 แสดงข้อมูลเกี่ยวกับการสังเคราะห์องค์ประกอบนม ส่วนใหญ่ขององค์ประกอบนมถูกสังเคราะห์ขึ้นในเซลล์ บางชนิดรับมาจากเลือด โดยทั่วไปมีสัดส่วนไม่เหมือนกับในเลือดโดยเฉพาะเกลือแร่ สารบางชนิดเช่น ซีรั่มอัลบูมินและคลอไรด์สามารถรั่วจากเลือดเข้าสู่ น้ำนมได้โดยผ่านช่องว่างระหว่างเซครีทอรีเซลล์ (secretory cell) [8, 9]



รูปที่ 1.5 เซลล์สร้างน้ำนม

ที่มา: Walstra และคณะ [9]

ตารางที่ 1.2 การสังเคราะห์องค์ประกอบนม

องค์ประกอบนม	สารตั้งต้น (precursor) ในพลาสมา (plasma) ของเลือด		
ชนิดขององค์ประกอบนม	ความเข้มข้น (% น้ำหนักโดยน้ำหนัก)	ชนิดของสารตั้งต้น	ความเข้มข้น (% น้ำหนักโดยน้ำหนัก)
น้ำ	86	เหมือนกัน	91
แลคโตส	4.7	กลูโคส <sup>a</sup>	0.05
โปรตีน			
เคซีน	2.6		
บีตา-แลคโตโกลบูลิน ( $\beta$ -lactoglobulin)	0.32	กรดอะมิโน	0.04
แอลฟา-แลคัลบูมิน ( $\alpha$ -lactalbumin)			
แลคโตเฟอริน (lactoferrin)			
ซีรัมอัลบูมิน (serum albumin)	0.04	เหมือนกัน	3.2
อิมมูโนโกลบูลิน (immunoglobulin)	0.07	ส่วนใหญ่เหมือนกัน	1.5
เอนไซม์	เล็กน้อย	หลายชนิด	-
ไขมัน			
ไตรกลีเซอไรด์	4	กรดแอสติก กรดบีตา-ไฮดรอกซีบิวทริก เอซิลกลีเซอรอล	0.01 0.006
ฟอสโฟลิพิด	0.03	ไขมันบางชนิด	0.3
กรดซิตริก	0.17	กลูโคส <sup>a</sup>	0.05
แร่ธาตุ		เหมือนกัน	
แคลเซียม	0.13		0.01
ฟอสฟอรัส <sup>b</sup>	0.09		0.01
โซเดียม	0.04		0.34
โพแทสเซียม	0.15		0.03
คลอไรด์	0.11		0.35

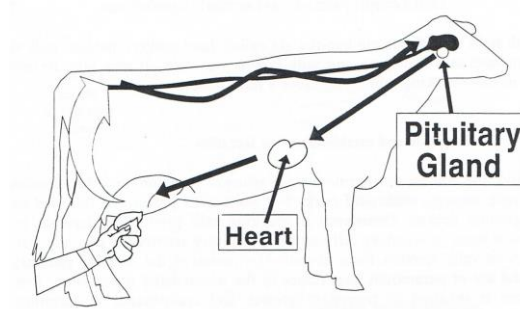
<sup>a</sup>กลูโคสสามารถถูกสร้างขึ้นในเซครีทอรีเซลล์จากกรดอะมิโนบางชนิด

<sup>b</sup>ในฟอสเฟตหลายชนิด

ที่มา: Walstra และคณะ [9]

### 1.4.3 การหลั่งน้ำนม ( milk ejection reflex)

ในระหว่างการรีดนม น้ำนมถูกสะสมอยู่ในต่อมสร้างน้ำนม (mammary gland) เช่น กระเปาะสร้างน้ำนม ท่อน้ำนมและในบริเวณพักน้ำนม โคเป็นสัตว์ที่ให้น้ำนมได้ยาวนาน (long lactation) โดยจะให้น้ำนมนานถึงมากกว่า 40 สัปดาห์ โดยให้น้ำนมปริมาณสูงสุดในช่วงสัปดาห์ที่ 2-8 จากนั้นจึงค่อยๆ ลดลง การรีดนมหรือการดูดนมของลูกโคเป็นการทำให้ตัวรับกระแสประสาทที่ผิวของหัวนมถูกกระตุ้น โดยจะส่งสัญญาณไปตามเส้นประสาทของกระดูกสันหลัง (spinal column) เดินทางไปยังสมองและต่อมพิทูอิทารี (pituitary gland) เป็นผลให้มีการหลั่งฮอร์โมนออกซีโตซิน (oxytocin) ลงในกระแสเลือดและถูกพาไปยังต่อมสร้างน้ำนมซึ่งจะกระตุ้นให้เกิดการหดตัวของ myoepithelial cells ทำให้บีบน้ำนมออกจากกระเปาะสร้างน้ำนม (รูปที่ 1.6) นอกจากนี้กิจวัตรประจำวันในการเตรียมการรีดนมเช่น การให้อาหารก่อนรีด การสัมผัสด้วยมือและนิ้วของผู้รีดหรือผ้าสำหรับเช็ดเต้านม การเช็ดเต้านมและหัวนม และเสียงเครื่องรีดนมก็เป็นการกระตุ้นให้เกิดการหลั่งน้ำนมเช่นเดียวกัน หลังจากการเตรียมเต้านมแล้วควรรนำภาชนะรองรับมาสัมผัสกับเต้านมภายใน 45-60 วินาทีเพื่อให้เกิดความดันสูงสุดและเกิดการรีดนมออกได้อย่างสมบูรณ์[8]



รูปที่ 1.6 สัญญาณของกระแสประสาทจากเต้านมที่ถูกกระตุ้นให้เกิดการหลั่งน้ำนม  
ที่มา: Nickerson [8]

## 1.5 ปัจจัยที่มีผลต่อองค์ประกอบนมและปริมาณน้ำนม

องค์ประกอบนมโดยเฉลี่ยต่อน้ำนม 100 กรัมประกอบด้วย ไขมัน 4.0 กรัม โปรตีน 3.3 กรัม แลคโตส 4.8 กรัม เกลือหรือแร่ธาตุ 0.7 กรัม และปริมาณของแข็งทั้งหมด 12 กรัม มีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อองค์ประกอบของน้ำนมเช่น ระยะเวลาการหลั่งน้ำนม (ตั้งแต่หลังคลอด) อาหาร ปัจจัยด้านพันธุกรรม พันธุ์โคและการเป็นโรคเต้านมอักเสบ

### อิทธิพลของปัจจัยด้านพันธุกรรมและพันธุ์ของสัตว์

ปัจจัยด้านพันธุกรรมมีอิทธิพลต่อผลผลิตและองค์ประกอบของน้ำนมที่ได้ ความผันแปรด้านพันธุกรรมมีผลต่อโปรตีนที่มีในน้ำนมโค เช่น  $\beta$ -lactoglobulin และ  $\kappa$ -casein ซึ่งอาจทำให้ปริมาณ

โปรตีนทั้งหมดและความเข้มข้นของเคซีนในนมผันแปรต่างกันซึ่งมีผลต่อคุณลักษณะเนยแข็งที่ได้ในกรณีที่น่านมนั้นมาทำเนยแข็ง ดังนั้นควรเลือกน้ำนมจากโคสายพันธุ์ที่เหมาะสมมาใช้ทำเนยแข็ง [10]

สายพันธุ์ของสัตว์มีผลมากต่อปริมาณน้ำนมที่ได้ โคพันธุ์ที่เกิดจากการผสมพันธุ์ของโคต่างสายพันธุ์มีแนวโน้มที่จะให้น้ำนมปริมาณมากกว่าเช่น โคพันธุ์โฮลสไตน์/ฟรีเซียน (Holstein/Friesians) มีปริมาณน้ำนมเฉลี่ยที่หลังออกมาสูงที่สุด รองลงมาเป็นโคพันธุ์บราวสวิส (Brown Swiss) ไอร์ไชร์ (Ayrshrie) เกินซี (Guernsey) และเจอร์ซี (Jersey) โคพันธุ์เจอร์ซีและเกินซีมีแนวโน้มที่จะให้น้ำนมที่มีปริมาณไขมันสูง (ตารางที่ 1.3) ส่วนโคพันธุ์อื่นให้น้ำนมที่มีปริมาณไขมันค่อนข้างผันแปร อย่างไรก็ตามมีความผันแปรจากสภาพภูมิประเทศที่เลี้ยงโค เวลาในการเก็บตัวอย่าง และปัจจัยด้านการจัดการฟาร์ม เช่น น้ำนมจากโคพันธุ์โฮลสไตน์/ฟรีเซียนมีปริมาณไขมันผันแปรในช่วงร้อยละ 3.62-3.54 ขึ้นกับสภาพภูมิประเทศ [8]

ตารางที่ 1.3 องค์ประกอบของน้ำนมจากโคพันธุ์ต่างๆ

พันธุ์สัตว์	องค์ประกอบของน้ำนม (ร้อยละ)					ของแข็งทั้งหมด
	ไขมัน	เคซีน	เวย์โปรตีน	แลคโตส	เถ้า	
Ayrshrie	3.97	2.68	0.60	4.63	0.72	12.69
Brown Swiss	3.80	2.63	0.55	4.80	0.72	12.69
Guernsey	4.58	2.88	0.61	4.78	0.75	13.69
Holstien	3.56	2.49	0.53	4.61	0.73	11.91
Jersey	4.97	3.02	0.63	4.70	0.77	14.15

ที่มา: Nickerson [8]

### ผลของสภาพแวดล้อมต่อองค์ประกอบและปริมาณน้ำนม

อายุของสัตว์ สภาพร่างกาย สารอาหารที่ได้รับและปัจจัยอื่นๆ มีอิทธิพลต่อการตอบสนองของโคต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม ตัวอย่างเช่น สัตว์ที่อ่อนกว่าและตัวเล็กกว่าจะสูญเสียความร้อนได้เร็วกว่าสัตว์ที่แก่กว่าและตัวใหญ่กว่า โคที่อยู่ในช่วงระยะการหลั่งน้ำนมจะทนความเย็นได้มากกว่า แต่ทนความร้อนได้น้อยกว่าโคที่ไม่ได้อยู่ในช่วงระยะการหลั่งน้ำนม โคนมพันธุ์ *Bos taurus* ที่มีถิ่นกำเนิดในเขตหนาวทางตอนเหนือของยุโรปจะมีความไวต่อสภาวะเครียดหรือเครียดได้ง่ายกว่า

โคนมพันธุ์ *Bos indicus* ที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อน ซึ่งโคนมพันธุ์ *B. indicus* มีอัตราเมแทบอลิซึมต่ำกว่า กินอาหารน้อยกว่าและให้น้ำนมน้อยกว่าโคนมพันธุ์ *B. taurus* [8]

ฤดูกาลมีผลต่อองค์ประกอบและปริมาณน้ำนม โปรตีนและแลคโตสในน้ำนมลดลงในช่วง ฤดูกาลที่มีอากาศอบอุ่น ความแตกต่างขององค์ประกอบของน้ำนมในระหว่างฤดูกาลที่ต่างกันโดยเฉลี่ยคือ ไขมันผันแปรต่างกันร้อยละ 0.4 และโปรตีนผันแปรต่างกันร้อยละ 0.2 น้ำนมจากแม่โคที่คลอดลูกในช่วงฤดูหนาวมีปริมาณไขมันและปริมาณของแข็งในนมไม่รวมไขมันสูงกว่าน้ำนมจากแม่โคที่คลอดลูกในช่วงฤดูร้อน ปริมาณไขมันและโปรตีนในน้ำนมจะต่ำสุดในช่วงฤดูร้อนและสูงสุดในช่วงฤดูหนาว สภาวะเครียดต่อความร้อนและความเย็นมีผลต่อเมแทบอลิซึมของโค ถ้าหากโคเผชิญสภาวะเครียดต่อความเย็นโคจะดื่มน้ำน้อยลง แต่จะกินอาหารมากขึ้นซึ่งช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการผลิตน้ำนมลดลง ในทางตรงข้ามถ้าหากโคเผชิญสภาวะเครียดต่อความร้อนโคจะดื่มน้ำมากขึ้นแต่จะกินอาหารน้อยลงทำให้ผลิตน้ำนมได้น้อยลง ฉะนั้นอาจมีประโยชน์ถ้าหากให้อาหารเสริมที่มีไขมันในช่วงที่โคเผชิญสภาวะเครียดต่อความร้อนเนื่องจากความร้อนถูกปล่อยออกมาน้อยกว่าในช่วงที่โคย่อยไขมันเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงที่โคย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต ดังนั้นการให้อาหารเสริมที่มีไขมันในช่วงที่โคเผชิญสภาวะเครียดต่อความร้อน อาจไม่เพียงแต่จะไปช่วยลดความร้อนเท่านั้นแต่ยังไปช่วยเพิ่มพลังงานเมื่อโคกินอาหารได้น้อยลง ได้มีรายงานว่า การให้อาหารเสริมที่มีไขมันในเดือนที่มีอากาศอบอุ่นช่วยปรับปรุงการหลั่งน้ำนมแต่ไม่มีผลกับโคในช่วงเดือนที่มีอากาศเย็นลง [8]

### ระยะเวลาการหลั่งน้ำนม

ระยะเวลาการหลั่งน้ำนม (lactation) โดยเฉลี่ยของวัวแต่ละตัวประมาณ 9-10 เดือน ปกติ ปริมาณน้ำนมจะสูงสุดในระยะแรกของการหลั่งน้ำนมแล้วค่อยๆ ลดลงไปเรื่อยๆ จนถึงปลายระยะการให้น้ำนม องค์ประกอบของน้ำนมจะเปลี่ยนไปตามระยะเวลาการหลั่งน้ำนมที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 1.4) น้ำนมที่หลั่งออกมาหลังคลอดเรียกว่า น้ำนมน้ำเหลือง (colostrum) มีความแตกต่างกับน้ำนมปกติมากเช่น มีค่า pH ต่ำ ปริมาณแลคโตสน้อย มีอิมมูโนโกลบูลิน (immunoglobulin) สูง

เมื่อระยะเวลาการหลั่งน้ำนมเพิ่มขึ้นจนถึงช่วงปลายของการให้น้ำนม น้ำนมจะมีปริมาณโปรตีนสูงขึ้น มีปริมาณโปรตีนเปลี่ยนไปโดยมีเวย์โปรตีน (whey protein) เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอิมมูโนโกลบูลิน เคซีนไมเซลล์ (casein micelles) ในน้ำนมในระยะปลายของการให้น้ำนมจะเล็กลง มีเกล็ดไขมันสูง และมีจับตัวกับน้ำมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำนมที่หลั่งในช่วงกลางของการให้น้ำนม การย่อยสลายโปรตีนเกิดมากขึ้นเนื่องจากกิจกรรมของพลาสมิน (plasmin) สูงขึ้นและเม็ดไขมัน (fat globule) มีขนาดเล็กลง เยื่อหุ้มเม็ดไขมันอ่อนแอ อาจทำให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง นอกจากนี้ น้ำนมในระยะปลายของการให้น้ำนมยังมีปริมาณแลคโตสลดลง ค่า pH สูงขึ้น สมบัติในการจับก้อน (coagulation property) ไม่ดีถ้าจะนำไปทำเนยแข็งเชดดาร์ (cheddar cheese) ควรเติมแคลเซียมคลอไรด์และปรับ pH ของน้ำนมเพื่อเพิ่มความเสถียรถ้าหากจะนำน้ำนมไปทำเนยแข็ง [10]

ตารางที่ 1.4 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของน้ำนมและคุณลักษณะต่อการแปรรูปซึ่งเกี่ยวข้องกับ การหลังน้ำนมในระยะปลายการให้นมและผลของการที่วัวเป็นโรคเต้านมอักเสบ

ปัจจัย	ผลของระยะปลาย การให้นม	ผลของการเป็นโรค เต้านมอักเสบ
<u>องค์ประกอบของน้ำนม:</u>		
ปริมาณน้ำนม	ลดลง	ลดลง
ปริมาณโปรตีน	เพิ่มขึ้น	ยังไม่แน่ชัด
ปริมาณเคซีน	ยังไม่แน่ชัด	ลดลง
ปริมาณโปรตีนเวย์	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น
ปริมาณไขมัน	ยังไม่แน่ชัด	ยังไม่แน่ชัด
ปริมาณแลคโตส	ลดลง	ลดลง
ปริมาณแคลเซียม	เพิ่มขึ้น	ยังไม่แน่ชัด
ปริมาณโซเดียม	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น
ปริมาณโพแทสเซียม	ลดลง	ลดลง
ปริมาณคลอไรด์	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น
<u>คุณภาพของผลิตภัณฑ์นม:</u>		
ความเสถียรต่อเอทานอล	ลดลง	ยังไม่ทราบ
ความเสถียรต่อความร้อน	ลดลง	ลดลง
ระยะเวลาตกตะกอนโปรตีนโดยเรนเนท	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น
การเกิดเจลโดยเรนเนทและความแข็งแรงของเจล	ลดลง	ลดลง
ผลผลิตเนยแข็ง (cheese)	เพิ่มขึ้น	ลดลง
ปริมาณความชื้นของเนยแข็ง	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น
ความเสถียรของนม UHT	ลดลง	ลดลง
อายุการเก็บของเนย (butter)	ลดลง	ลดลง
ความหนืดของโยเกิร์ต	ลดลง	ลดลง

ที่มา: Kelly [10]

#### ผลของอาหารโคต่อองค์ประกอบและปริมาณน้ำนม

โภชนาการของโคเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อองค์ประกอบและปริมาณน้ำนม เนื่องจากเซลล์สร้างน้ำนมต้องการสารตั้งต้นที่เหมาะสมและสม่ำเสมอต่อการสังเคราะห์องค์ประกอบนม สารตั้งต้น

หลักๆที่ถูกดูดซึมจากเลือดได้แก่ กลูโคส แอซีเตต (acetate) บีตา-ไฮดรอกซีบิวทีเลต ( $\beta$ -hydroxybutyrate) กรดอะมิโน กรดไขมันและแร่ธาตุ การปรับอาหารของโคสามารถทำให้ปริมาณองค์ประกอบนมเช่น ไขมันและโปรตีนในนมผันแปรได้ แต่อาหารโคไม่มีอิทธิพลต่อการผันแปรของปริมาณแลคโตสในนม การทำให้ไขมันในน้ำนมเพิ่มขึ้นอาจทำได้โดยเติมไขมันเพิ่มลงไปในอาหารโค การเติมไขมันอิ่มตัวลงในอาหารโคจะช่วยเพิ่มปริมาณไขมันในน้ำนม การเสริมอาหารชนิดอื่นก็อาจไปช่วยเพิ่มปริมาณไขมันในน้ำนมและเพิ่มปริมาณน้ำนมได้เช่น ถ้าเติม corn silage เพิ่มในอาหารโคประมาณร้อยละ 57 ของปริมาณอาหารที่ให้โคกินจะช่วยเพิ่มทั้งปริมาณไขมันในน้ำนมและปริมาณน้ำนม ถ้าหากเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตและแมกนีเซียมออกไซด์ก็ช่วยเพิ่มทั้งปริมาณไขมันในน้ำนมและปริมาณน้ำนม [8] ปริมาณกรดไขมันในนมสามารถถูกควบคุมได้โดยให้อาหารที่เฉพาะแก่โค เช่น ปริมาณสารอาหารที่สำคัญเช่น conjugated linoleic acid และกรดโอเลอิกสามารถถูกทำให้เพิ่มขึ้นในน้ำนมได้โดยให้โคกินถั่วเหลืองและเลพซีส (rapeseed หรือ canola) แต่มีการพิสูจน์แล้วว่า การเปลี่ยนปริมาณกรดไขมันสายยาวชนิดโอเมก้า-3 ทำได้ยากที่ในการจะให้อาหารเฉพาะบางอย่าง เช่นเดียวกันอาหารที่ให้โคกินก็มีผลต่อปริมาณโปรตีนในน้ำนม ถ้าให้โคกินอาหารที่มีปริมาณโปรตีนต่ำจะมีผลทำให้ปริมาณโปรตีนในน้ำนมเพิ่มขึ้น แต่ถ้าให้โคกินอาหารที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะทำให้ระดับของไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนในน้ำนมเพิ่มขึ้น การให้โคกิน maize silage เป็นอาหารเสริมจะช่วยเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีนในน้ำนม [10] การผลิตโพรพิโอเนต (propionate) ภายในลูเมนช่วยส่งเสริมการสังเคราะห์โปรตีนนมเนื่องจากไปช่วยเพิ่มการมีกรดอะมิโนบางชนิดเช่น กลูตาเมต (glutamate) การเพิ่มการผลิตโพรพิโอเนตอาจทำได้โดยให้โคกินหญ้าสับ (แนะนำว่าควรสับให้มีขนาดเล็กกว่า 0.64 ซม.) เช่นเดียวกับการเพิ่มการย่อยสลาย (starch) ก็ช่วยส่งเสริมการผลิตโพรพิโอเนตได้ สตาร์ชจำเป็นต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์และการสังเคราะห์โปรตีนในขั้นต่อไปโดยจะมีผลทำให้ปริมาณโปรตีนนมและปริมาณน้ำนมเพิ่มขึ้น แหล่งของสตาร์ชที่สำคัญ เช่น สตาร์ชในข้าวบาร์เลย์ และข้าวสาลีถูกย่อยสลายเร็วกว่าสตาร์ชในข้าวโพด ถ้าหากการย่อยสลายสตาร์ชเกิดขึ้นช้าเกินไป การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์และการสังเคราะห์โปรตีนจะถูกยับยั้งซึ่งจะทำให้ปริมาณโปรตีนนมและปริมาณน้ำนมลดลง การบดเมล็ดธัญชาติให้ละเอียดจะช่วยเพิ่มอัตราการย่อยสลาย [8]

### เอกสารอ้างอิง

1. Varnam, A. H. and Sutherland, J. P. 1994. Milk and Milk Products. Chapman & Hall, London.
2. Huppertz, T. and Kelly, A. L. 2009. Properties and constituents of cow's milk, pp. 23-47. In: Tamime, A. D. (Ed.). Milk Processing and Quality Management. Blackwell Publishing

Ltd., Singapore.

3. Milk production. ([http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/milk-production/en/#.VKj\\_DDNO5qB](http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/milk-production/en/#.VKj_DDNO5qB))
4. Chandan, R.C. 2008. Dairy industry: production and consumption trends, pp. 41-58. In: Chandan, R. C., Kilara, A., and Shan, N. P. (Eds.). Dairy Processing & Quality Assurance. Wiley-Blackwell, Ames, Iowa.
5. MacDonald, H. B. 2010. The role of milk in the diet, pp. 1-27. In: Griffiths, M. W. (Ed.). Improving the Safety and Quality of Milk, Volume 2: Improving Quality in Milk Products. Woodhead Publishing Limited, UK.
6. Milk and milk products. (<http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/milk-and-milk-products/en/#.VKkClzNO5qA>)
7. Chandan, R. C., Patel, D. A., Almeida, R. A. and Oliver, S. P. 2008. Mammary gland and milk biosynthesis: nature's virtual bioprocessing factory, pp. 59-74. In: Chandan, R. C., Kilara, A., and Shan, N. P. (Eds.). Dairy Processing & Quality Assurance. Wiley-Blackwell, Ames, Iowa.
8. Nickerson, S. C. 1995. Milk production: factors affecting milk composition, pp. 3-24. In: Harding, F. (Ed.). Milk Quality. Blackie Academic & Professional, Glasgow.
9. Waltra, P., Wouters, J. T. M. and Geurts, T. J. 2006. Dairy Science and Technology. Taylor & Francis Group, Boca Raton.
10. Kelly, A. L. 2001. Liquid milk, pp. 53-94. In Tamime, A. Y. and Law, B. A. (Eds.). Mechanisation and Automation in Dairy Technology. Sheffield Academic Press, England.

## บทที่ 2

### ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำนม

น้ำนมเป็นของเหลวที่หลั่งออกมาจากเต้านมของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเพศเพื่อใช้เป็นอาหารแก่ลูกอ่อน น้ำนมเป็นอาหารชนิดแรกที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและยังให้ภูมิคุ้มกันแก่ลูกอ่อนของสัตว์ชนิดนั้น ๆ ปัจจุบันน้ำนมที่มนุษย์บริโภคส่วนใหญ่เป็นน้ำนมโค ถึงแม้ว่าจะมีการบริโภคน้ำนมจากสัตว์ชนิดอื่นเช่น กระบือ แพะ แกะ และอูฐบ้างก็ตาม ฉะนั้นเมื่อกล่าวถึงคำว่า “น้ำนม” ในที่นี้จะหมายถึงน้ำนมโค โคเป็นสัตว์ที่ให้น้ำนมมากกว่าที่ลูกโคต้องการมนุษย์จึงใช้ประโยชน์จากน้ำนมโค น้ำนมมีส่วนประกอบหลักคือ น้ำ ไขมัน โปรตีน แลคโตส และเถ้า ส่วนประกอบที่ไม่ใช่ไขมันของแข็งทั้งหมด (total solid) และเมื่อแยกไขมันออกแล้ว ส่วนที่เหลือเรียกว่า ของแข็งปราศจากไขมัน (milk solid not fat) น้ำนมปกติควรมีของแข็งปราศจากไขมันไม่น้อยกว่าร้อยละ 8.25 และมีไขมันนมไม่น้อยกว่าร้อยละ 3.25 ส่วนประกอบของน้ำนมมีความผันแปรขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการได้แก่ ระยะเวลาการหลั่งน้ำนม อายุของสัตว์ พันธุ์ของสัตว์ สัตว์แต่ละตัว สุขภาพของสัตว์ อาหาร ฤดูกาล และวิธีการรีดน้ำนม [1]

น้ำนมที่หลั่งออกมาในช่วงแรกหลังคลอดเรียกว่า น้ำมน้ำเหลือง (colostrum) เป็นน้ำนมที่มีส่วนประกอบแตกต่างจากน้ำนมปกติ มีกลิ่นแรง รสขม สีเหลือง-แดง มีความหนืดและความหนาแน่นสูง เนื่องจากมีปริมาณของแข็งสูงกว่าในน้ำนมปกติ (ตารางที่ 2.1) ปริมาณไขมันอาจสูงหรือต่ำกว่าน้ำนมปกติมีโปรตีนสูงโดยเฉพาะเวย์โปรตีน (whey protein) ซึ่งเป็นโปรตีนที่ย่อยง่าย มีเอนไซม์ย่อยโปรตีนและเอนไซม์ย่อยไขมันสูงกว่าในน้ำนมปกติทั้งชนิดและปริมาณ โดยทั่วไปส่วนประกอบของน้ำมน้ำเหลืองคล้ายกับส่วนประกอบของซีรัมของเลือด ในน้ำมน้ำเหลืองมีเม็ดเลือดขาวมากและอาจมีเม็ดเลือดแดงปนอยู่ด้วย นอกจากนี้ยังมีอิมมูโนโกลบูลิน (immunoglobulin) สูงคือ มีประมาณร้อยละ 7.0 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำนมในช่วงกลางของการให้นมจะมีอิมมูโนโกลบูลินน้อยกว่าร้อยละ 0.1 ดังนั้นน้ำมน้ำเหลืองจึงมีภูมิคุ้มกันโรคมากกว่าน้ำนมปกติ การดื่มน้ำมน้ำเหลืองจะช่วยให้ลูกโคมีภูมิคุ้มกันโรค หลังจากการหลั่งน้ำมน้ำเหลืองในช่วง 5 วันแรกและต่อมาในช่วง 5-10 วันหลังจากนั้นจะเป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบจากน้ำมน้ำเหลืองไปเป็นน้ำนมปกติ [1-3]

ตารางที่ 2.1 ปริมาณองค์ประกอบหลักของน้ำนม น้ำเหลืองและน้ำนมปกติของโค

น้ำนม	ปริมาณองค์ประกอบ (ร้อยละ)					ปริมาณของแข็งทั้งหมด
	เคซีน	อัลบูมิน/ กลอบูลิน	ไขมัน	แลคโตส	เถ้า	
น้ำมน้ำเหลือง						
แรกเกิด	2.7	16.0	3.5	3.0	1.2	27.0
24 ชั่วโมง	4.5	6.3	4.7	2.9	1.0	19.4
48 ชั่วโมง	3.3	3.9	4.2	4.4	0.8	16.6
น้ำนมปกติ	3.4	เล็กน้อย	3.8	4.9	0.7	12.9

ที่มา: Andrews [2]

## 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำนม

น้ำนมเป็นของเหลวที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย มีแลคโตส โปรตีนที่ละลายได้ กลีเซอรอล วิตามิน กรด เอนไซม์และสารอื่นๆ ละลายอยู่ในรูปของสารละลายแท้ (true solution) มีเม็ดไขมันซึ่งประกอบด้วยไขมันนม วิตามินที่ละลายได้ในไขมันและองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเม็ดไขมันกระจายตัวอยู่ในลักษณะของอิมัลชัน (emulsion) และมีเคซีนไมเซลล์ (casein micelle) ซึ่งประกอบด้วยเคซีน แคลเซียมฟอสเฟต ซิเตรตและน้ำ ละลายอยู่ในรูปของคอลลอยด์ (colloid) ส่วนประกอบของน้ำนมแสดงดังตารางที่ 2.2

น้ำนมในสภาพที่ไม่รวมเม็ดไขมันจะเรียกว่า พลาสมาของนม (milk plasma) มีส่วนประกอบใกล้เคียงกับหางนม (skim milk) ซึ่งเป็นน้ำนมที่ผ่านการแยกเอาไขมันออก ส่วนซีรัมของนม (milk serum) จะหมายถึงส่วนประกอบทั้งหมดไม่รวมไขมันและเคซีนไมเซลล์ ซีรัมของนมมีส่วนประกอบคล้ายกับเวย์ (whey) ซึ่งเป็นของเหลวที่เหลือจากการตกตะกอนโปรตีนในการผลิตเนยแข็ง [3]

ส่วนประกอบของน้ำนมแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ส่วนประกอบที่มีปริมาณมากและส่วนประกอบที่มีปริมาณน้อย ส่วนประกอบที่มีปริมาณมากได้แก่ น้ำ ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และแร่ธาตุต่าง ๆ ส่วนประกอบที่มีปริมาณน้อยได้แก่ วิตามิน เอนไซม์ ฟอสโฟลิพิด สเตอรอล กรดไขมันอิสระและสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของน้ำนมโค

ชนิดของส่วนประกอบ	ปริมาณองค์ประกอบนม (ร้อยละ น้ำหนักโดยน้ำหนัก)	
	ช่วง <sup>1</sup>	เฉลี่ย
น้ำ	85.3-88.7	87.1
ของแข็งไม่รวมไขมัน	7.9-10.0	8.9
ไขมัน (ในสภาพแห้ง)	22-38	31
แลคโตส	3.8-5.3	4.6
ไขมัน	2.5-5.5	4.0
โปรตีน <sup>2</sup>	2.3-4.4	3.3
เคซีน	1.7-3.5	2.6
เกลือแร่	0.57-0.83	0.7
กรดอินทรีย์	0.12-0.21	0.17
อื่น ๆ	-	0.15

<sup>1</sup> เป็นส่วนประกอบของน้ำนมโคจากโคที่แข็งแรง ไม่รวมนม น้ำเหลือ

<sup>2</sup> ไม่รวมไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน

ที่มา : Walstra และคณะ [4]

### 2.1.1 น้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบที่มีมากที่สุดคือน้ำนมโดยมีประมาณร้อยละ 85.3-88.7 เฉลี่ยร้อยละ 87.1 น้ำที่มีอยู่ในน้ำนมทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้ส่วนประกอบชนิดอื่น ๆ ที่เป็นของแข็งละลายหรือแพร่กระจาย ส่วนประกอบที่ละลายน้ำได้มีประมาณ 0.3 โมลาร์ ทำให้จุดเยือกแข็งของน้ำนมลดต่ำลงประมาณ 0.54°C นอกจากนี้ น้ำบางส่วนยังเกาะอยู่กับโปรตีนและเยื่อหุ้มเม็ดไขมัน น้ำส่วนนี้จะไม่ได้ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายให้กับสารโมเลกุลเล็กและไอออนต่างๆ [4, 5]

### 2.1.2 ไขมัน

ไขมันเป็นส่วนประกอบของน้ำนมที่มีความสำคัญหลายด้าน สำหรับในด้านเศรษฐศาสตร์ ไขมันมีความสำคัญเนื่องจากใช้เป็นตัวกำหนดราคาของนมและผลิตภัณฑ์นม โดยเฉพาะน้ำนมที่จะนำมาทำเนยจะต้องมีไขมันสูงจึงใช้ไขมันเป็นตัวกำหนดราคาของน้ำนม ในด้านโภชนาการ ไขมันเป็นตัวพาวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน นอกจากนี้ไขมันนมยังช่วยให้กลิ่นรสและลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์นมดีขึ้น

### 2.1.2.1 ส่วนประกอบของไขมันนม

ไขมันนมเป็นส่วนประกอบของน้ำนมที่มีความซับซ้อนมาก ซึ่งจะประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ ร้อยละ 97-98 ของปริมาณไขมันนมทั้งหมด และอีกร้อยละ 1-2 เป็นไดกลีเซอไรด์ มอโนกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ สเตอรอล สเตอรอลเอสเทอร์ ฟอสโฟลิพิด และไฮโดรคาร์บอน (ตารางที่ 2.3) นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบชนิดอื่นที่มีปริมาณน้อย แต่มีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการของน้ำนม ส่วนประกอบดังกล่าวได้แก่ วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน (ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินดี วิตามินอี และวิตามินเค) สารประกอบให้กลิ่นรสได้แก่ แอลดีไฮด์ (aldehyde) คีโตน (ketone) และแลคโตน (lactone) และรงควัตถุแคโรทีนอยด์ [6]

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบของไขมันนม

ชนิดของส่วนประกอบ	ปริมาณเฉลี่ย (ร้อยละ น้ำหนักโดยน้ำหนัก)
ไตรกลีเซอไรด์	97 – 98
ไดกลีเซอไรด์	0.3 – 0.6
มอโนกลีเซอไรด์	0.02 – 0.04
กรดไขมันอิสระ	0.1 – 0.4
สเตอรอล	0.2 – 0.4
สเตอรอลเอสเทอร์	น้อยมาก
ฟอสโฟลิพิด	0.2 – 1.0
ไฮโดรคาร์บอน	น้อยมาก

ที่มา : Varnam และ Sutherland [6]

ไขมันนมประกอบด้วยกรดไขมันต่างชนิดกันมากถึงกว่า 400 ชนิด ส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบในไตรกลีเซอไรด์ อย่างไรก็ตามพบว่า มีกรดไขมันเพียง 15 ชนิดเท่านั้นที่รวมแล้วมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 95 ของกรดไขมันทั้งหมดที่มีในไตรกลีเซอไรด์ (ตารางที่ 2.4) ส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัวซึ่งมีมากกว่าร้อยละ 60 ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด ชนิดที่พบมากเป็นกรดไขมันที่มีสายคาร์บอนยาว ได้แก่ กรดไมริสติก ( $C_{14}$ ) กรดปาล์มิติก ( $C_{16}$ ) และกรดสเตียริก ( $C_{18}$ ) ส่วนกรดไขมันชนิดอิ่มตัวที่มีสายคาร์บอนสั้น ( $C_4$ - $C_{10}$ ) พบในปริมาณน้อยได้แก่ กรดบิวทิริก ( $C_4$ ) กรดคาไพอิก ( $C_6$ ) กรดคาไพลิก ( $C_8$ ) และกรดคาปริก ( $C_{10}$ ) กรดไขมันเหล่านี้เป็นกรดไขมันที่ระเหยได้และเป็น

ของเหลวที่อุณหภูมิห้องซึ่งจะทำให้เกิดกลิ่นหืนเมื่อไขมันนมถูกไฮโดรไลซ์ สำหรับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวนั้นพบมากกว่าร้อยละ 30 ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด ชนิดที่พบมากที่สุดคือกรดโอเลอิก

อาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง โดยเฉพาะถ้ามีหญ้าเป็นส่วนประกอบจะมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีคาร์บอนสายยาว (polyunsaturated fatty acids, PUFAs) ปริมาณมากซึ่งจะถูกเติมออกซิเจนภายในกระเพาะของสัตว์เป็นผลให้น้ำมันที่หลังออกมามีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาวปริมาณน้อย เช่นในน้ำมันวัวมีกรดไขมันชนิด  $C_{18:2}$  ประมาณร้อยละ 1.4 (ตาราง 2.4) เมื่อเปรียบเทียบกับไขมันในน้ำมันคนและน้ำมันหมูจะมีกรดไขมันดังกล่าวถึงร้อยละ 13 และร้อยละ 12 ตามลำดับ กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีคาร์บอนสายยาวเป็นกรดไขมันที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง จึงน่าจะสนใจที่จะผลิตน้ำมันที่มีกรดไขมันประเภทนี้ปริมาณมากซึ่งอาจทำได้โดยให้วัวกินไขมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีคาร์บอนสายยาวปริมาณมากซึ่งเคลือบสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (encapsulated PUFA-rich lipid) หรือกินเมล็ดพืชที่มีกรดไขมันนี้ปริมาณมาก [7]

การที่กรดไขมันมีจำนวนมากถึงกว่า 400 ชนิดนั้น ทำให้มีไตรกลีเซอไรด์ที่แตกต่างกันหลายพันชนิด แต่ละชนิดจะมีจุดหลอมเหลวต่างกัน จุดหลอมเหลวของไตรกลีเซอไรด์ในไขมันนมผันแปรในช่วงกว้างตั้งแต่  $-40^{\circ}\text{C}$  ถึง  $+40^{\circ}\text{C}$  ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มของไตรกลีเซอไรด์ตามช่วงของจุดหลอมเหลวออกได้เป็น 3 กลุ่ม [8] ดังตารางที่ 2.5

ฤดูกาลที่ผลิตน้ำมันมีผลต่อชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในไขมันนมซึ่งจะมีผลต่อความแข็งของเนยที่ผลิตได้จากน้ำมันเหล่านั้น เนยที่ผลิตในฤดูหนาวจะมีความแข็งมากกว่าเนยที่ผลิตในฤดูร้อน เนยที่ผลิตในฤดูหนาวมีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวน้อยกว่าจึงเกิดออกซิเดชันได้น้อยกว่าเนยที่ผลิตในฤดูร้อนซึ่งมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง การที่ในน้ำมันมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวซึ่งมีสายคาร์บอนยาวปริมาณมากช่วยทำให้จุดหลอมเหลวของไขมันลดลง เป็นผลให้เนยที่ผลิตได้มีความสามารถในการแผ่ (spreadability) ดีขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าไขมันมีจุดหลอมเหลวต่ำมากจะให้เนยที่มี rheological properties ไม่ดี การให้วัวกินไขมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงและเคลือบด้วยสารป้องกันการออกซิเดชันอาจทำให้ต้นทุนสูง ปัจจุบันจึงนิยมผสมน้ำมันพืชที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาว ( $C_{18:1}$ ) ลงไปในอาหารที่ให้วัวกิน [7]

การที่ไขมันนมประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์หลายชนิดที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันอยู่รวมกัน ดังนั้นที่อุณหภูมิช่วงใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง ไขมันนมจึงมักอยู่ในสภาพของไขมันแข็งผสมกับไขมันเหลว และเมื่อทำให้อุณหภูมิของไขมันนมลดลงก็จะเกิดผลึกไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่างกัน ซึ่งมีอยู่ 3 รูปแบบ คือ รูป  $\alpha$  (alpha) รูป  $\beta'$  (beta prime) และรูป  $\beta$  (beta) ผลึกไขมันรูป  $\alpha$  เป็นรูปที่มีจุดหลอมเหลวต่ำที่สุด ไม่คงตัวและมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนเป็นรูป  $\beta'$  ภายใน 2-3 นาที ในทางตรงข้ามผลึกไขมันรูป  $\beta'$  เป็นรูปที่มีจุดหลอมเหลวสูงที่สุดและมีความคงตัวมากที่สุด การเปลี่ยนจากรูป  $\beta'$  ไป

เป็นรูป  $\beta$  ต้องใช้เวลานานอาจถึงหลายเดือนทั้งขึ้นอยู่กับธรรมชาติของไตรกลีเซอไรด์ที่เป็นส่วนประกอบในไขมันนม [6]

ตารางที่ 2.4 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมัน

ชนิดของกรดไขมัน	จำนวน อะตอม คาร์บอน: พันธะคู่	ปริมาณปกติ (%โดยน้ำหนัก)	ช่วง (%โดย น้ำหนัก)	สถานะทาง กายภาพ	จุด หลอมเหลว (°C)
<u>กรดไขมันชนิดอิ่มตัว</u>					
butyric acid	4:0	3.9	3.1-4.4	ของเหลว	-8
caproic acid	6:0	2.5	1.8-2.7	ของเหลว	-3
caprylic acid	8:0	1.5	1.0-1.7	ของเหลว- ของแข็ง	+16
capric acid	10:0	3.2	2.2-3.8	ของแข็ง	+30
lauric acid	12:0	3.6	2.6-4.2	ของแข็ง	+42
myristic acid	14:0	11.1	9.1-11.9	ของแข็ง	+54
pentadecanoic acid	15:0	1.2	0.9-1.4	ของแข็ง	+58
palmitic acid	16:0	27.9	23.6-31.4	ของแข็ง	+62
stearic acid	18:0	12.2	10.4-14.6	ของแข็ง	+70
arachidic acid	20:0	0.2	- <sup>a</sup>	ของแข็ง	+75
<u>กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว</u>					
oleic acid	18:1	29.8	-	ของเหลว-ของแข็ง	+16
linoleic acid	18:2	1.4	1.2-1.7	ของเหลว	-
$\alpha$ linolenic acid	18:3	1.0	0.9-1.2	ของเหลว	-
Minor acids	-	6.0	4.8-7.5	-	-

<sup>a</sup>ไม่มีข้อมูล

ที่มา : Banks และ Dalgleish [9]; Alais และ Linden [10] ; MacGibbon และ Taylor [11]

ตารางที่ 2.5 กลุ่มของไตรกลีเซอไรด์ในไขมันนม

กลุ่มของไตรกลีเซอไรด์	ลักษณะของไตรกลีเซอไรด์	ช่วงจุด หลอมเหลว ( $^{\circ}\text{C}$ )	ปริมาณ เฉลี่ย (ร้อยละ)
จุดหลอมเหลวสูง	กรดไขมันทั้ง 3 โมเลกุลเป็นชนิดอิ่มตัว และมีสายคาร์บอนยาว ( $\geq 14$ อะตอม)	20-40	10-15
จุดหลอมเหลวช่วง กลาง	กรดไขมัน 2 โมเลกุลเป็นชนิดอิ่มตัวและมีสายคาร์บอนยาว ส่วนอีก 1 โมเลกุลมีสายคาร์บอนสั้นหรือเป็นชนิดไม่อิ่มตัว	0-20	30-45
จุดหลอมเหลวต่ำ	กรดไขมัน 1 โมเลกุลเป็นชนิดอิ่มตัวและมีสายคาร์บอนยาว ส่วนอีก 2 โมเลกุลเป็นชนิดไม่อิ่มตัวและมีสายคาร์บอนสั้นหรือเป็นชนิดไม่อิ่มตัว	ต่ำกว่า 0	35-55

ที่มา : Timms [8]

### 2.1.2.2 เม็ดไขมัน (fat globule)

ไขมันนมจะอยู่ในสภาพของหยดเล็กๆ ที่เรียกว่าเม็ดไขมัน เม็ดไขมันมีในน้ำนมประมาณ  $2.5 \times 10^9$  ถึง  $5.0 \times 10^9$  เม็ดต่อน้ำนม 1 มิลลิลิตร โดยทั่วไปเม็ดไขมันมีขนาดผันแปรตั้งแต่ 0.1 ถึง 15 ไมโครเมตร โดยเฉลี่ยมีขนาด 3 ไมโครเมตร ขนาดของเม็ดไขมันมีความสัมพันธ์กับปริมาณไขมัน คือน้ำนมที่มีปริมาณไขมันสูง ขนาดของเม็ดไขมันจะใหญ่กว่าในน้ำนมที่มีปริมาณไขมันต่ำ นอกจากนี้ระยะเวลาของการหลั่งน้ำนมยังมีผลต่อขนาดของเม็ดไขมันอีกด้วย ในระยะแรกของการหลั่งน้ำนม เม็ดไขมันจะมีขนาดใหญ่ จากนั้นเม็ดไขมันจะมีขนาดเล็กลงเรื่อย ๆ จนถึงระยะปลายของการให้นม ภายในเม็ดไขมันมีไขมันนมในรูปของไขมันเหลวผสมกับไขมันแข็ง (ผลึกไขมัน) ส่วนใหญ่เป็นไตรกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันตั้งแต่  $-40^{\circ}\text{C}$  ถึง  $40^{\circ}\text{C}$  ไขมันนมนี้จะถูกหุ้มด้วยเยื่อหุ้มเม็ดไขมัน (fat globule membrane) ที่มีความหนาประมาณ 10-15 นาโนเมตร เยื่อหุ้มเม็ดไขมันประกอบด้วย คอเลสเตอรอล ฟอสโฟลิพิด โปรตีน และเอนไซม์ เป็นส่วนใหญ่ คอเลสเตอรอลและฟอสโฟลิพิดในน้ำนมพบเป็นปริมาณมากที่เยื่อหุ้มเม็ดไขมัน ร้อยละ 85 ของคอเลสเตอรอลทั้งหมดในน้ำนมและ ร้อยละ 60 ของฟอสโฟลิพิดทั้งหมดในน้ำนมอยู่ที่เยื่อหุ้มเม็ดไขมัน เยื่อหุ้มเม็ดไขมันมี 2 ชั้นคือ เยื่อหุ้มชั้นในและเยื่อหุ้มชั้นนอก เยื่อหุ้มชั้นในประกอบด้วยสารประกอบเชิงซ้อนของไกลโคโปรตีนและฟอสโฟลิพิด ส่วนเยื่อหุ้มชั้นนอกประกอบด้วยเอนไซม์ (เช่น แอลคาไลฟอสฟาเตส แซนทีนออกซิเดส)

และยังมีสารอื่นอีกหลายชนิด ทั้งในเยื่อหุ้มชั้นในและเยื่อหุ้มชั้นนอกอาจพบทองแดงและเหล็กอยู่ด้วย เยื่อหุ้มเม็ดไขมันนี้มีความสำคัญเนื่องจากช่วยป้องกันการรวมตัวของเม็ดไขมันและ ป้องกันการเข้าทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลเปส แต่อย่างไรก็ตามเยื่อหุ้มเม็ดไขมันมีโครงสร้างที่บอบบางและถูกทำลายได้ง่ายโดยการกระทำทางกายภาพเช่น การกวนในระหว่างการผลิตเนย [10, 12-14]

เนื่องจากไขมันนมมีความหนาแน่นต่ำกว่าหางนม (ความหนาแน่นของไขมันนมเท่ากับ 0.9 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และความหนาแน่นของหางนมเท่ากับ 1.035 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ดังนั้นผลที่ตามมาคือเม็ดไขมันจะลอยขึ้นเกิดเป็นชั้นของครีมที่ผิวหน้า กระบวนการนี้เรียกว่า creaming ความแตกต่างของความหนาแน่นของไขมันนมและหางนมนี้ ใช้เป็นหลักการในการแยกครีมและหางนมออกจากกันด้วยเครื่องแยกครีม (centrifugal cream separator) ถึงแม้ว่าการเกิดการแยกชั้นของครีมจะสะดวกต่อการแยกไขมันออกจากน้ำนม แต่ก็ยังเป็นผลเสียถ้าหากจะนำน้ำนมนี้มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์นมที่เก็บไว้ได้นาน เนื่องจากน้ำนมที่เกิดการแยกชั้นของครีมไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ฉะนั้นเพื่อที่จะแก้ปัญหานี้ควรลดขนาดของเม็ดไขมันให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่ำกว่า 0.8 ไมโครเมตร โดยใช้กระบวนการที่เรียกว่าโฮโมจีไนเซชัน (homogenization) เมื่อนำน้ำนมมาผ่านกระบวนการโฮโมจีไนส์ เม็ดไขมันจะมีขนาดเล็กลงทำให้พื้นที่ผิวของเม็ดไขมันเพิ่มขึ้น โปรตีนนมซึ่งส่วนใหญ่เป็นเคซีนและโปรตีนเวย์ก็จะเข้าจับกับเยื่อหุ้มเม็ดไขมันที่สร้างขึ้นมาใหม่ ทำหน้าที่ เป็นสารที่ทำให้มีอิมัลชันคงตัว (emulsifying agent) ทำให้ไขมันนมสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำนมได้โดยไม่เกิดการแยกชั้น [9, 13]

### 2.1.2.3 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันนมในระหว่างเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมันนมที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) และการเกิดไลโปไลซิส (lipolysis)

ออกซิเดชัน เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่สำคัญของไขมันนมซึ่งจะมีผลต่ออายุการเก็บของผลิตภัณฑ์หลายชนิด ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นโดยการทำปฏิกิริยาของออกซิเจนกับเอสเทอร์ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ทำให้เกิดเปอร์ออกไซด์ เปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นนี้จะไม่ผลต่อกลิ่นรส แต่จะแตกสลายให้สารประกอบคาร์บอนิล (carbonyl compound) ซึ่งจะทำให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติที่เรียกว่ากลิ่นรสออกซิไดซ์ (oxidized flavour) โดยปกติแล้วไขมันนมค่อนข้างคงตัวคือจะไม่เกิดออกซิเดชันได้ง่าย เนื่องจากไขมันนมมีกรดไขมันชนิดอิ่มตัวสูง มีสารต้านการหืนอยู่แล้วตามธรรมชาติ เช่น โทโคเฟอรอล (tocopherol) แต่ถ้าหากในสภาพของการเก็บรักษามีอุณหภูมิสูงและมีออกซิเจนละลายอยู่สูง ประกอบกับการที่มีธาตุเหล็กและทองแดงอยู่ด้วยก็จะทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดได้เร็วยิ่งขึ้น [6]

ไลโปไลซิส คือการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์โดยเอนไซม์ไลเปส ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงปรารถนาหรือที่เรียกว่ากลิ่นหืน การเกิดไลโปไลซิส

อาจมีสาเหตุมาจากการกระทำของไลเปสที่มีอยู่แล้วในน้ำนม (lipoprotein lipase) หรือไลเปสจากแบคทีเรียที่เจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำหรือเรียกว่าจุลินทรีย์พวกไซโครโทรฟ (psychrotroph) ได้แก่ เชื้อ *Pseudomonas* ซึ่งเป็นไลเปสที่ทนความร้อน ปกติแบคทีเรียจะผลิตไลเปสได้ไม่มากนักจนกว่าจะมีจำนวนเซลล์เกิน  $10^6$ - $10^8$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร ฉะนั้นไลเปสจากแบคทีเรียจึงมักไม่ก่อให้เกิดปัญหาเว้นแต่จะมีการปฏิบัติที่ไม่ถูกต้องซึ่งลักษณะทั้งในด้านการผลิต การขนส่งและการใช้อุปกรณ์ต่างๆ [3]

การป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมันทำได้โดย 1) หลีกเลี่ยงการปนเปื้อนของโลหะในทุกขั้นตอนโดยใช้อุปกรณ์ที่ทำจากโลหะสแตนเลส 2) หลีกเลี่ยงการสัมผัสกับแสงอัลตราไวโอเล็ตโดยใช้ภาชนะบรรจุที่ทึบแสงเช่น กระดาษหรืออลูมิเนียมฟอยล์ 3) บรรจุภายใต้ก๊าซเฉื่อย ปกติใช้ก๊าซไนโตรเจน 4) ใช้สารจับออกซิเจนหรืออนุมูลอิสระเช่น เอนไซม์กลูตาตออกซิเดสหรือเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (superoxide dismutase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ในน้ำนม 5) ใช้สารต้านอนุมูลอิสระ ตามกฎหมายไม่อนุญาตให้เติมสารต้านอนุมูลอิสระ ยกเว้นสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติเช่น วิตามินอี อาจทำได้โดยให้อาหารเสริมแกโค [7]

### 2.1.3 โปรตีน

โปรตีนนมเป็นโปรตีนที่มีความสำคัญมากต่อมนุษย์เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ เคซีน (casein) และเวย์โปรตีน (whey protein) เคซีนในน้ำนมจะอยู่ในรูปของคอลลอยด์ที่เรียกว่า เคซีนไมเซลล์ (casein micelles) ซึ่งประกอบด้วยเคซีน แคลเซียม ฟอสเฟต ซิเตรท และน้ำ ส่วนโปรตีนเวย์นั้นจะอยู่ในเวย์ (whey) หรือซีรัมของนม (milk serum) ซึ่งเป็นของเหลวที่ได้จากการแยกเคซีนออกจากร้านนมปราศจากไขมัน อัตราส่วนของเวย์โปรตีนต่อเคซีนจะผันแปรตามระยะเวลาของการหลั่งน้ำนม น้ำนมที่หลั่งออกมาในช่วงแรกและช่วงปลายของการให้นมจะมีปริมาณของเวย์โปรตีนสูงกว่าน้ำนมที่หลั่งออกมาในช่วงกลางของการให้นม [3, 6] ชนิดและปริมาณของโปรตีนในน้ำนมแสดงดังตารางที่ 2.6

#### 2.1.3.1 เคซีน (Casein)

เคซีนในน้ำนมมีประมาณร้อยละ 2.5-3.2 ขององค์ประกอบนมทั้งหมดหรือมีประมาณร้อยละ 80 ของโปรตีนในน้ำนมทั้งหมด แต่เดิมมีผู้ให้คำจำกัดความของเคซีนว่าเป็นโปรตีนที่ได้จากการตกตะกอนหางนมที่ pH 4.6 อุณหภูมิ  $20^{\circ}\text{C}$  เคซีนเป็นฟอสโฟโปรตีนอยู่ในน้ำนมในสภาพของไมเซลล์ เคซีนแบ่งออกได้เป็น 5 ชนิดคือ  $\alpha_{s1}$ -เคซีน  $\alpha_{s2}$ -เคซีน  $\beta$ -เคซีน  $\gamma$ -เคซีน และ K-เคซีน องค์ประกอบและสมบัติของเคซีนแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.6 ชนิดและปริมาณของโปรตีนในน้ำนม

ชนิดของโปรตีน	ความเข้มข้น (กรัม/ลิตร)	ปริมาณ (ร้อยละของปริมาณโปรตีนทั้งหมด)
เคซีนทั้งหมด	24-28	80
$\alpha_s$ -เคซีน	15-19	42
$\alpha_{s1}$ -เคซีน	12-15	34
$\alpha_{s2}$ -เคซีน	3-4	8
$\beta$ -เคซีน	9-11	25
K-เคซีน	3-4	9
$\gamma$ -เคซีน	1-2	4
โปรตีนเวย์	5-7	20
แอลฟา-แลคโตอัลบูมิน	1-1.5	4
บีตา-แลคโตกลอบูลิน	2-4	9
โพรตีโอส-เพปโตน	0.6-0.8	4
ซีรัมอัลบูมิน	0.1-0.4	1
อิมมูโนกลอบูลิน	0.6-1.0	2
รวม	100	100

ที่มา: Swaisgood [15]

$\alpha_{s1}$ -เคซีนเป็นโพลีเพปไทด์ที่ประกอบด้วยกรดอะมิโน 199 ตัว ในจำนวนนี้เป็นหมู่ฟอสโฟซีรีน 7-9 หมู่ ต่างกับ  $\alpha_{s2}$ -เคซีน ที่ประกอบด้วยกรดอะมิโน 207 ตัว มีซิสเตอีน (cysteine) 2 ตัว และมีหมู่ฟอสโฟซีรีน (phosphoserine) 10-13 หมู่ ทั้ง  $\alpha_{s1}$ -เคซีน และ  $\alpha_{s2}$ -เคซีน เป็นเคซีนชนิดที่มีปริมาณมาก คือ รวมแล้วมีถึงร้อยละ 48.3 ของปริมาณเคซีนทั้งหมด นอกจากนี้ยังไวต่อแคลเซียมโดยจะตกตะกอนในสภาพที่มีแคลเซียมไอออนที่ pH เป็นกลาง  $\alpha_{s1}$ -เคซีนสามารถตกตะกอนได้ในสภาพที่มีแคลเซียมไอออนในระดับต่ำมากคือ 7 มิลลิโมล [3]

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบและคุณสมบัติของเคซีน

ชนิดของเคซีน	น้ำหนักโมเลกุล	ปริมาณ (ร้อยละ ของปริมาณเคซีน ทั้งหมด)	จำนวนหมู่ฟอสโฟซีรีน	ความไวต่อ แคลเซียม
$\alpha_{s1}$ -เคซีน	23,000	38.1	7-9	++
$\alpha_{s2}$ -เคซีน	25,000	10.2	10-13	+++
$\beta$ -เคซีน	24,000	35.7	5	+
$\gamma$ -เคซีน	11,600-20,500	3.2	0-1	-
K-เคซีน	19,800	12.8	1	-

ที่มา: Muir [13]

$\beta$ -เคซีน เป็นโพลีเพปไทด์ที่ประกอบด้วยกรดอะมิโน 209 ตัว มีหมู่ฟอสโฟซีรีน 5 หมู่ เป็นเคซีนที่มีปริมาณมากถึงร้อยละ 35.7 ของปริมาณเคซีนทั้งหมด  $\beta$ -เคซีนเป็นเคซีนอีกชนิดหนึ่งที่จะตกตะกอนในสภาพที่มีแคลเซียมไอออน แต่ความไวต่อการตกตะกอนในสภาพที่มีแคลเซียมไอออนจะน้อยกว่า  $\alpha_{s1}$ -เคซีน และ  $\alpha_{s2}$ -เคซีน การตกตะกอนของ  $\beta$ -เคซีนจะลดลงที่อุณหภูมิต่ำและจะไม่มี การตกตะกอนที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$   $\beta$ -เคซีนละลายน้ำได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเคซีนชนิดอื่น โดยเฉพาะจะละลายได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ [3, 9]

สำหรับ  $\gamma$ -เคซีนนั้น เป็นเคซีนที่ได้มาจากการย่อยส่วนปลาย (carboxyl terminal fragment) ของ  $\beta$ -เคซีน โดยเอนไซม์ย่อยโปรตีน ในน้ำนมคุณภาพดีจะมี  $\gamma$ -เคซีนต่ำคือน้อยกว่าร้อยละ 5 [13]

K-เคซีน เป็นเคซีนที่มีประมาณ 12.8% ของปริมาณเคซีนทั้งหมด เป็นโพลีเพปไทด์ที่มีกรดอะมิโน 169 ตัว มีซิสเตอีน 2 ตัวอยู่ที่ตำแหน่ง 11 และ 88 มีหมู่ฟอสโฟซีรีนอยู่ที่ตำแหน่ง 149 เมื่อ K-เคซีนถูกกระทำโดยเอนไซม์ไคโมซิน (chymosin) ซึ่งมีอยู่ในเอนไซม์เรนเนต (rennet) หรือเอนไซม์ย่อยโปรตีนชนิดอื่น เอนไซม์ไคโมซินนี้จะทำลายพันธะตรงตำแหน่งที่ 105-106 ซึ่งเป็นพันธะระหว่างฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) เมทไธโอนีน (methionine) ทำให้ได้โพลีเพปไทด์ 2 สาย คือ โพลีเพปไทด์ที่มีกรดอะมิโนตัวที่ 1 ถึง 105 เรียกว่าพาราแคปทาเคซีน (para-K-casein) และโพลีเพปไทด์ที่มีกรดอะมิโนตัวที่ 106-169 เรียกว่าเคซีนมาโครเพปไทด์ (caseinomacropeptide) K-เคซีนจะไม่ตกตะกอนในสภาพที่มีแคลเซียมไอออน แต่ในสภาพนี้ K-เคซีนจะจับกับ  $\alpha_s$ -เคซีน และ  $\beta$ -เคซีน ทำให้เกิดเป็นอนุภาคของเคซีนไมเซลล์ขนาดของอนุภาคเคซีนไมเซลล์จะขึ้นกับสัดส่วนของ K-เคซีนและความเข้มข้นของแคลเซียมไอออน [9]

### เคซีนไมเซลล์ (casein micelle)

เคซีนในน้ำนมจะอยู่รวมกันเป็นอนุภาคที่เรียกว่าเคซีนไมเซลล์มีขนาดผันแปรตั้งแต่ 30 นาโนเมตร ถึง 300 นาโนเมตร (ขนาดเฉลี่ย 120 นาโนเมตร และมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 108) ปริมาณโปรตีนในไมเซลล์มีประมาณร้อยละ 92 ซึ่งประกอบด้วย  $\alpha_{s1}$ -เคซีน  $\alpha_{s2}$ -เคซีน  $\beta$ -เคซีน และ K-เคซีน ในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 ต่อ 3 ต่อ 1 ตามลำดับ ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 8 เป็นอนินทรีย์สารโดยเฉพาะแคลเซียมฟอสเฟต ซึ่งแคลเซียมฟอสเฟตจะกระจายอยู่ในเคซีนไมเซลล์เนื่องจากแคลเซียมไอออนจำเป็นต่อการสร้างในเคซีนไมเซลล์ ส่วนประกอบของเคซีนไมเซลล์แสดงดังตารางที่ 2.8 [6]

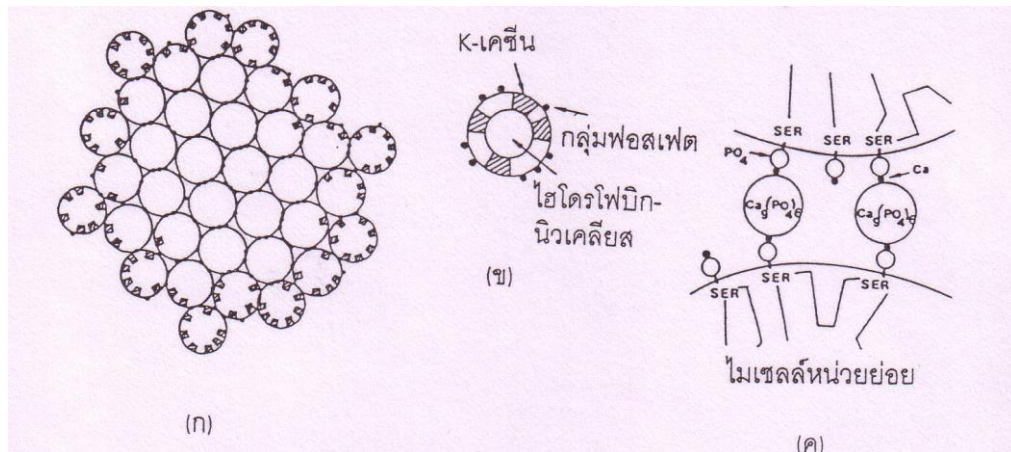
ตารางที่ 2.8 ส่วนประกอบของเคซีนไมเซลล์ในน้ำนมวัว

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (กรัมต่อ 100 กรัมของเคซีนไมเซลล์ (dry basis))
$\alpha_{s1}$ -เคซีน	35.6
$\alpha_{s2}$ -เคซีน	9.9
$\beta$ -เคซีน	33.6
K-เคซีน	11.9
เคซีนแฟคเมนต์	2.3
แคลเซียม	2.87
แมกนีเซียม	0.11
โซเดียม	0.11
โพแทสเซียม	0.26
อนินทรีย์ฟอสเฟต ( $PO_4$ )	2.89
ซีเตรท	0.40

ที่มา: Goff และ Hill [3]

โครงสร้างของเคซีนไมเซลล์ในน้ำนมมีสภาพหลวม ๆ ภายในมีน้ำอยู่มากประมาณ 3.7 กรัมต่อกรัมของโปรตีน ผู้เชี่ยวชาญหลายท่านพยายามเสนอรูปแบบของโครงสร้างเคซีนไมเซลล์ แต่โครงสร้างแบบที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด เป็นโครงสร้างตามแบบของ Schmidt ซึ่งกล่าวว่า เคซีนไมเซลล์ประกอบด้วยไมเซลล์หน่วยย่อย (submicelles) หลาย ๆ หน่วยมารวมกัน ไมเซลล์หน่วยย่อยนี้มีรูปร่างกลมซึ่งเกิดจากนิวเคลียสที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic nucleus) ล้อมรอบด้วยชั้นที่มีขั้ว (polar layer) เคซีนที่เป็นส่วนประกอบของไมเซลล์หน่วยย่อยได้แก่  $\alpha_{s1}$ -เคซีน  $\alpha_{s2}$ -เคซีน  $\beta$ -เคซีน และ K-

เคซีน การที่ในแต่ละไมเซลล์หน่วยย่อยมีเคซีนชนิดที่ไวต่อแคลเซียม ( $\alpha_{s1}$ -เคซีน  $\alpha_{s2}$ -เคซีน  $\beta$ -เคซีน) อยู่จึงทำให้ไมเซลล์หน่วยย่อยหลายหน่วยมารวมกันโดยมีพันธะระหว่างแคลเซียมกับฟอสเฟตเป็น สะพานเชื่อม ทำให้เคซีนไมเซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้น นอกจากนี้มีหลักฐานว่าหมู่ฟอสโฟซีรีนรวมอยู่กับ แคลเซียมฟอสเฟตในไมเซลล์ (micellar calcium phosphate) อย่างใกล้ชิด การรวมกันของไมเซลล์ หน่วยย่อยนี้จะสิ้นสุดเมื่อผิวนอกถูกปกคลุมด้วยไมเซลล์ที่มี K-เคซีนอยู่ด้วยดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเคซีนไมเซลล์ (ก) ไมเซลล์หน่วยย่อย (ข) และไมเซลล์หน่วยย่อย 2 หน่วยต่อกันด้วย  $\text{Ca}_9(\text{PO}_4)_6$  (ค) ตามทฤษฎีของ Schmidt

การทำให้เคซีนไมเซลล์รวมตัวกันตกตะกอนนั้นมีหลายวิธีแต่วิธีที่ใช้กันมากเป็นการใช้เอนไซม์ เพื่อตกตะกอนโปรตีนในการทำเนยแข็ง เอนไซม์ที่ใช้คือเอนไซม์ไคโมซินซึ่งมีอยู่ในเอนไซม์เรนเนท เอนไซม์นี้จะย่อยพันธะเปปไทด์ ทำให้มีการปลดปล่อย K-เคซีนออกมาจากเคซีนไมเซลล์ทำให้ได้เป็น พาราแคปตาเคซีนและเคซีนไมโครเปปไทด์ นอกจากการตกตะกอนด้วยเอนไซม์เรนเนทแล้ว เคซีน ไมเซลล์ยังสามารถตกตะกอนได้โดยการกระทำของเอนไซม์ย่อยโปรตีนชนิดอื่นเช่น เอนไซม์จากเชื้อ แบคทีเรียพวกไซโครโทรฟซึ่งสามารถจะปลดปล่อย K-เคซีนได้และเป็นสาเหตุของการเกิดเจลในน้ำนม ยูเอชทีระหว่างการเก็บรักษา [9]

การทำให้ น้ำนม เป็นกรดถึง pH 4.6 ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถตกตะกอนเคซีนได้ โดยใช้กรด ในสภาพที่เหมาะสม การเกิดเจลด้วยวิธีนี้จะไม่เหมือนกับการเกิดเจลในโยเกิร์ต แต่จะมีการ กระจายของตะกอนเคซีน ตะกอนเคซีนนี้จะถูกล้างเพื่อขจัดเกลือแร่และแลคโตส จากนั้นนำไปทำให้ แห้งจะได้แอซิดเคซีนที่มีคุณสมบัติในด้านช่วยให้มีลชันคงตัวและช่วยในการอุ้มน้ำ ดังนั้นจึงนำไปใช้ ประโยชน์ได้ในอาหารหลายชนิด [13]

### 2.1.3.2 เวย์โปรตีน (whey protein)

เวย์โปรตีนหรือซีรัมโปรตีนมีอยู่ในน้ำนมประมาณร้อยละ 20 ของปริมาณโปรตีนทั้งหมดในน้ำนม เวย์โปรตีน ได้แก่ บีตา-แลคโตโกลบูลิน ( $\beta$ -lactoglobulin) แอลฟา-แลคโตอัลบูมิน ( $\alpha$ -lactoalbumin) ซีรัมอัลบูมิน (serum albumin) อิมมูโนโกลบูลิน (immunoglobulins) และโปรตีโอสเปปโตน (proteose-peptone) ในสภาพธรรมชาติ เวย์โปรตีนเหล่านี้ยังคงละลายได้ที่ pH 4.6 ขณะที่เคซีนตกตะกอน [16]

บีตา-แลคโตโกลบูลิน เป็นเวย์โปรตีนที่มีปริมาณมากที่สุดโดยมีประมาณร้อยละ 62 ของเวย์โปรตีนทั้งหมด มีน้ำหนักโมเลกุล 18,300 มีพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bond) 2 พันธะและหมู่ซัลไฟดริลอิสระ (free sulfhydryl group) 1 หมู่ เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำนมที่อุณหภูมิสูงกว่า  $65^{\circ}\text{C}$  บีตา-แลคโตโกลบูลินจะค่อย ๆ เสื่อมสภาพ การเสื่อมสภาพจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ  $70-90^{\circ}\text{C}$  โดยที่อุณหภูมิ  $70^{\circ}\text{C}$  จะมีการเสื่อมสภาพของบีตา-แลคโตโกลบูลินอย่างน้อยร้อยละ 50 ตรงข้ามกับแอลฟา-แลคโตอัลบูมินที่ทนความร้อนได้ดีกว่าซึ่งต้องให้ความร้อนถึงอุณหภูมิ  $95^{\circ}\text{C}$  จึงจะมีการเสื่อมสภาพของแอลฟา-แลคโตอัลบูมินร้อยละ 50 แต่ถ้าให้ความร้อนแก่น้ำนมที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{C}$  หรือสูงกว่าจะเกิดการกระทำระหว่างบีตา-แลคโตโกลบูลินกับ K-เคซีน ที่ K-เคซีนยังคงติดอยู่กับเคซีนไมเซลส์โดยจะเกิดการสลายของพันธะไดซัลไฟด์ใน K-เคซีนและเกิดการสร้างพันธะใหม่กับหมู่ซัลไฟดริลอิสระของบีตา-แลคโตโกลบูลิน การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนนี้จะทำให้ความคงตัวของเคซีนเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการให้ความร้อนในขั้นต่อไป สำหรับหมู่ซัลไฟดริลอิสระในบีตา-แลคโตโกลบูลินนั้น ทำให้เกิดกลิ่นนมต้ม (cooked flavour) ในน้ำนมที่มีการให้ความร้อนจนเวย์โปรตีนเสื่อมสภาพ [9, 16-18]

แอลฟา-แลคโตอัลบูมิน เป็นโปรตีนลักษณะกลมที่มีน้ำหนักโมเลกุล 14,000 มีประมาณร้อยละ 25 ของเวย์โปรตีนทั้งหมด ในโมเลกุลมีพันธะไดซัลไฟด์ 4 พันธะ แอลฟา-แลคโตอัลบูมินจะจับกับแคลเซียมทำให้ทนต่อการเสื่อมสภาพได้ดีกว่าบีตา-แลคโตโกลบูลิน [18]

ซีรัมอัลบูมิน เป็นโปรตีนลักษณะกลม มีน้ำหนักโมเลกุล 66,000 ประกอบด้วยพันธะไดซัลไฟด์ 17 พันธะ และหมู่ไทออลอิสระ (free thiol group) 1 หมู่ ซีรัมอัลบูมินจะจับกับไขมันและสารให้กลิ่นรส ทำให้มีความคงตัวต่อการเสื่อมสภาพ [18]

อิมมูโนโกลบูลิน มีในน้ำนมประมาณร้อยละ 2 (ร้อยละ 1-4) ของปริมาณโปรตีนในน้ำนมทั้งหมดหรือมีร้อยละ 12 (ร้อยละ 8-19) ของปริมาณเวย์โปรตีนทั้งหมด อิมมูโนโกลบูลินเป็นโปรตีนที่ให้ภูมิคุ้มกันแก่ลูกอ่อน ดังนั้นจึงพบในน้ำมน้ำเหลืองปริมาณสูงคือมีประมาณ 50-150 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรและจะลดลงเหลือน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรในน้ำนมปกติ [19]

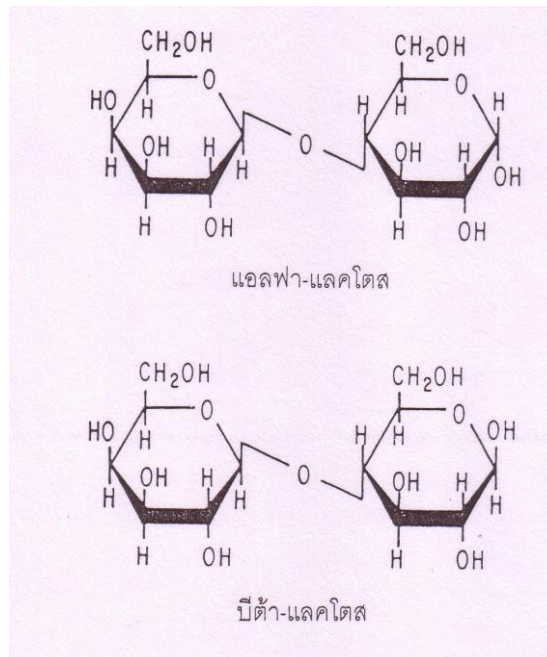
โปรตีโอสเปปโตนเป็นเวย์โปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 7,000 ถึง 30,000 สามารถทนความร้อนได้ดี โดยยังคงละลายได้หลังจากให้ความร้อนถึง  $95^{\circ}\text{C}$  และทำให้เป็นกรดที่ pH 4.6 [10]

### 2.1.4 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตชนิดที่พบมากที่สุดในน้ำนมคือ แลคโตส ในน้ำนมปกติจะมีปริมาณแลคโตสค่อนข้างคงที่ในช่วงร้อยละ 4-5 เฉลี่ยร้อยละ 4.6แต่น้ำนมจากวัวที่เป็นโรคเต้านมอักเสบ (mastitis) จะมีปริมาณแลคโตสต่ำคือมีประมาณร้อยละ 2.7 แลคโตสพบในน้ำนมของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเกือบทุกชนิด ยกเว้นน้ำนมของสิงห์โตทะเลและแมวน้ำบางชนิดจะไม่มีแลคโตส นอกจากแลคโตสแล้วในน้ำนมยังประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นอีกเล็กน้อย บางส่วนอยู่ในรูปอิสระและบางส่วนจับอยู่กับโปรตีน ไขมันและฟอสเฟต นอกจากนี้ยังพบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและโพลิโกแซ็กคาไรด์อีกเล็กน้อย

#### 2.1.4.1 แลคโตส

แลคโตสหรือน้ำตาลนม (milk sugar) เป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ที่มีชื่อว่า 4- $\beta$ -galactopyranosyl-D-glucopyranose ประกอบด้วย ดี-กลูโคส และดี-กาแลคโตสต่อกันด้วยพันธะ  $\beta$ -1, 4-glycosidic linkage แลคโตสมี 2 ไอโซเมอร์ คือ แอลฟา-แลคโตส และบีต้า-แลคโตสซึ่งแตกต่างกันที่ steric configuration ของหมู่ -OH และ -H รอบคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 สูตรโครงสร้างของแอลฟา-แลคโตส และบีต้า-แลคโตส แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของแอลฟา-แลคโตส และบีต้า-แลคโตส

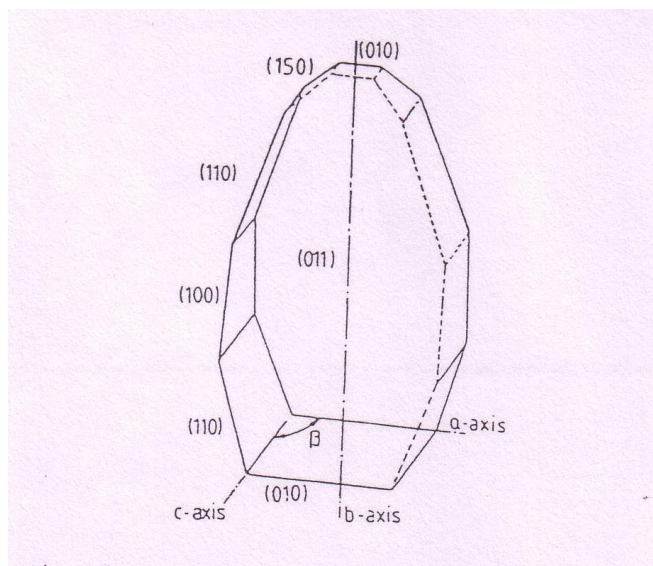
## คุณสมบัติทางกายภาพของแลคโตส

### (1) ผลึกของแลคโตส

การเกิดผลึกของแลคโตส เกิดขึ้นได้ 4 ลักษณะดังนี้

#### (ก) แอลฟา-แลคโตส มอโนไฮเดรต ( $\alpha$ -lactose monohydrate)

แลคโตสที่ผลิตขึ้นในทางการค้า โดยทั่วไปมักอยู่ในรูปของแอลฟา-แลคโตสมอโนไฮเดรต ( $C_{12}H_{22}O_{11} \cdot H_2O$ ) หรืออาจเรียกว่า แอลฟา-ไฮเดรต ( $\alpha$ -hydrate) ผลึกชนิดนี้เตรียมได้โดย ทำให้สารละลายของแลคโตสอิ่มตัวและตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $93.5^{\circ}C$  ผลึกที่เกิดขึ้นจะคงตัวที่อุณหภูมิปกติ โดยมีค่า specific rotation ในน้ำ ของ  $[\alpha]^{20}_D$  เท่ากับ  $+89.4^{\circ}C$  และมีจุดหลอมเหลวเท่ากับ  $201.6^{\circ}C$  ผลึกของแอลฟา-ไฮเดรตนี้เกิดขึ้นได้หลายรูปแบบ แต่โดยทั่วไปรูปแบบของผลึกที่พบมาก ได้แก่ รูปปริซึม และรูปขวาน (tomahawk) ผลึกรูปขวานแสดงดังรูปที่ 2.3 ผลึกของแอลฟา-ไฮเดรตนี้จะแข็งและละลายยากทำให้เกิดความรู้สึกที่หยาบเหมือนทรายเมื่อรับประทานหรือแตะลิ้น (sandy mouthfeel) ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ดีในไอศกรีม นมข้น และเนยแข็งแบบป้าย (processed cheese spread) ขนาดของผลึกมีผลต่อความไวในการรับรู้ความรู้สึกที่หยาบดังกล่าว ซึ่งถ้าหากผลึกมีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนก็จะไม่รู้สึก แต่ถ้ามีขนาดใหญ่ประมาณ 15 ไมครอน จะรู้สึกได้ถึงลักษณะที่หยาบและถ้าขนาดของผลึกใหญ่ขึ้นถึง 30 ไมครอน ก็จะรู้สึกได้ไวยิ่งขึ้น [20, 21]



รูปที่ 2.3 ผลึกของแอลฟา-แลคโตส มอโนไฮเดรตรูปขวาน

### (ข) แอนไฮดรรัส แอลฟา-แลคโตส (anhydrous $\alpha$ -lactose)

เมื่อขจัดน้ำออกจากโมเลกุลของแอลฟา-ไฮเดรต ทำให้เกิดผลึกของแอลฟา-แลคโตสที่ปราศจากน้ำหรือเรียกว่า แอลฟา-แลคโตสที่ปราศจากน้ำ เราสามารถขจัดน้ำออกจากผลึกได้หลายวิธี ซึ่งจะทำให้เกิดผลึกที่ปราศจากน้ำรูปแบบต่างกัน [21] ดังนี้

#### -แอลฟา-แลคโตสที่ปราศจากน้ำชนิดไม่คงตัว (unstable anhydrous $\alpha$ -lactose)

การให้ความร้อนแก่ผลึกของแอลฟา-ไฮเดรตที่อุณหภูมิสูงกว่า  $100^{\circ}\text{C}$  ในสภาพสูญญากาศจะเกิดการสูญเสียน้ำ ทำให้เกิดผลึกของแอลฟา-แลคโตสที่ปราศจากน้ำชนิดที่ไม่คงตัว ซึ่งผลึกชนิดนี้จะดูดน้ำได้ง่ายและกลับเป็นแอลฟา-ไฮเดรตในสภาพอากาศที่ชื้น ผลึกชนิดนี้มีจุดหลอมเหลวเท่ากับ  $222.8^{\circ}\text{C}$

#### -แอลฟา-แลคโตสที่ปราศจากน้ำชนิดคงตัว (stable anhydrous $\alpha$ -lactose)

ผลึกของแอลฟา-แลคโตสที่ปราศจากน้ำ ชนิดนี้เตรียมได้โดยให้ความร้อนแก่ผลึกของแอลฟา-ไฮเดรตในสภาพบรรยากาศปกติที่อุณหภูมิสูงพอที่จะขจัดน้ำออกจากผลึก ( $100-190^{\circ}\text{C}$ ) ขณะที่รักษาสภาพบรรยากาศรอบ ๆ ผลึกให้มีความดันไอน้ำระหว่าง 6-80 เซนติเมตรปรอท ผลึกของแอลฟา-แลคโตสที่ปราศจากน้ำชนิดนี้เป็นผลึกที่คงตัวไม่ดูดน้ำง่ายและมีความหนาแน่นสูงกว่าชนิดแรก ถ้าหากจะทำให้กลับไปเป็นรูปของแอลฟา-ไฮเดรตเหมือนเดิมจะต้องนำไปละลายน้ำ ผลึกของแอลฟา-แลคโตสที่ปราศจากน้ำชนิดคงตัวนี้ใช้เตรียมสารละลายแลคโตสอิมิตัวที่มีแอลฟา-แลคโตสสูงและบีตา-แลคโตสต่ำ

นอกจากนี้อาจเตรียมผลึกของแอลฟา-แลคโตสที่ปราศจากน้ำชนิดคงตัว โดยใช้วิธีการกลั่นไหลกลับ (reflux) แอลฟา-ไฮเดรตในเมทานอลสัมบูรณ์ (absolute methanol) ที่อุณหภูมิของการกลั่นไหลกลับจะได้ผลผลิตของผลึกแอลฟา-แลคโตสที่ปราศจากน้ำชนิดคงตัวนี้ถึงร้อยละ 98-99 ภายในเวลา 1 ชั่วโมง

### (ค) แอนไฮดรรัส บีตา-แลคโตส (anhydrous $\beta$ -lactose)

เมื่อทำให้สารละลายแลคโตสเกิดการตกผลึกที่อุณหภูมิสูงกว่า  $93.5^{\circ}\text{C}$  จะเกิดผลึกของบีตา-แลคโตสที่ปราศจากน้ำ ผลึกของบีตา-แลคโตสนี้มีค่า specific rotation ของ  $[\alpha]_D^{20}$  เท่ากับ  $+35.0^{\circ}\text{C}$  และมีจุดหลอมเหลวเท่ากับ  $252.5^{\circ}\text{C}$  [21]

### (ง) แลคโตสกลาสที่ปราศจากน้ำ (anhydrous lactose glass)

การทำให้สารละลายแลคโตสแห้งอย่างรวดเร็วจนกระทั่งไม่มีเวลาเพียงพอสำหรับการเกิดผลึกจะทำให้เกิดเป็นไซร็ปที่เข้มข้นหรือ amorphous glass ซึ่งจะมีทั้งแอลฟา-แลคโตสและบีตา-แลคโตสเหมือน ในน้ำมันมาก่อนที่จะนำมาทำแห้ง ตัวอย่างของการเกิดแอนไฮดรรัสแลคโตสกลาส ได้แก่

ในนมผง แลคโตสกลีโคสที่ปราศจากน้ำจะไม่คงตัวและสามารถดูน้ำได้ง่าย ถ้าหากไม่ป้องกันให้ดีก็จะดูความชื้นจากอากาศทำให้เหนียวติดกันเป็นก้อนได้ [21]

## (2) ความสมดุลในสารละลาย

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าค่า specific rotation ของแอลฟา-แลคโตส เท่ากับ  $+89.4^\circ$  และค่า specific rotation ของบีตา-แลคโตสเท่ากับ  $+35.0^\circ$  นั้น ค่าเหล่านี้เป็นเพียงค่า specific rotation เริ่มต้นเท่านั้น ในสารละลายจะมีการเปลี่ยนของแอลฟา-แลคโตสเป็นบีตา-แลคโตส และบีตา-แลคโตสเป็นแอลฟา-แลคโตส ซึ่งการเปลี่ยนของแลคโตสจากรูปแบบหนึ่งไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่งเรียกว่า มิวตาโรเตชัน (mutarotation) ค่า specific rotation จะเปลี่ยนไปจนกระทั่งถึงจุดสมดุลซึ่งจะมีค่าเท่ากับ  $+55.3^\circ$  ที่จุดสมดุลในสารละลายจะมีแอลฟา-แลคโตสร้อยละ 37.3 และบีตา-แลคโตสร้อยละ 62.7 ที่อุณหภูมิ  $20^\circ\text{C}$  ซึ่งค่าอัตราส่วนของบีตา-แลคโตสต่อแอลฟา-แลคโตสที่จุดสมดุลเป็น  $62.7/37.3$  เท่ากับ 1.68 อุณหภูมิมีผลต่อค่านี้ถ้าหากเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้แอลฟา-แลคโตสเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ค่าอัตราส่วนของบีตา-แลคโตสต่อแอลฟา-แลคโตสลดลง [21]

## (3) ความสามารถในการละลาย

เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลชนิดอื่นแล้วจัดว่าแลคโตสเป็นน้ำตาลที่มีความสามารถในการละลายค่อนข้างต่ำ การที่แลคโตสมีความสามารถในการละลายค่อนข้างต่ำนี้ มีผลต่อการนำแลคโตสไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเนื่องจากที่ระดับความเข้มข้นสูง ๆ แลคโตสมีแนวโน้มที่จะเกิดผลึกได้มาก แลคโตสทั้งในรูปแอลฟาและบีตามีความสามารถในการละลายเริ่มต้นแตกต่างกันโดยบีตา-แลคโตสจะละลายน้ำได้ดีกว่าแอลฟา-แลคโตส คือ บีตา-แลคโตสมีความสามารถในการละลายเป็น 50 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำที่อุณหภูมิ  $15^\circ\text{C}$  ขณะที่แอลฟา-แลคโตส มีความสามารถในการละลายเป็น 7 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำที่อุณหภูมิ  $15^\circ\text{C}$  [20]

เมื่อนำแอลฟา-แลคโตส มอโนไฮเดรตมาละลายน้ำ การละลายในระยะแรกเป็นการละลายที่แท้จริงของแอลฟา-แลคโตส ถ้าหากมีการละลายเพิ่มขึ้นก็เนื่องมาจากมิวตาโรเตชันแอลฟา-แลคโตส บางตัวจะเปลี่ยนไปเป็นบีตา-แลคโตส ทำให้ปริมาณแอลฟา-แลคโตสลดลง แอลฟา-แลคโตสจึงละลายได้มากขึ้น จนกระทั่งถึงภาวะสมดุลจะไม่มีแอลฟา-แลคโตสละลายอีก ถ้าเติมบีตา-แลคโตสลงไป บีตา-แลคโตสจะละลายได้มาก ทำให้เปลี่ยนไปเป็นแอลฟา-แลคโตสได้ช้า แอลฟา-แลคโตสซึ่งอยู่ในสภาพอิ่มตัวก็จะตกผลึกออกมาเพื่อรักษาสสมดุล ดังนั้นถ้าหากจะเตรียมสารละลายแลคโตสที่มีความเข้มข้นมากควรละลายด้วยบีตา-แลคโตสดีกว่าแอลฟา-แลคโตส [21]

#### (4) ความหวาน

แลคโตสมีความหวานน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ ซูโครส กลูโคส และฟรุคโตส อย่างไรก็ตาม ความหวานของน้ำตาลเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มข้นดังตารางที่ 2.9 ดังนั้นจึงเป็นการเข้าใจผิดที่กล่าวว่าน้ำตาลชนิดหนึ่งหวานเป็นหลาย ๆ เท่าของน้ำตาลอีกชนิดหนึ่ง แต่ค่ากล่าวนี้จะเป็นจริงเฉพาะที่ความเข้มข้นใดความเข้มข้นหนึ่งเท่านั้น

แลคโตสที่ความเข้มข้นสูงจะหวานกว่าแลคโตสที่ความเข้มข้นต่ำ และปีต้า-แลคโตสจะหวานกว่าแอลฟา-แลคโตส แต่ปีต้า-แลคโตสจะไม่หวานกว่าสารละลายที่มีทั้งปีต้า-แลคโตส และแอลฟา-แลคโตสในสภาพสมดุลเมื่อความเข้มข้นของแลคโตสเป็นร้อยละ 7 หรือมากกว่า [21]

#### การใช้ประโยชน์ของแลคโตส

เนื่องจากแลคโตสมีความหวานน้อยกว่าน้ำตาลชนิดอื่น ทำให้สามารถนำแลคโตสมาใช้ประโยชน์ได้ในการผลิตอาหารหลายชนิด ซึ่งอาจนำมาเติมลงในอาหารเพื่อเพิ่มความข้นหนืดหรือเพิ่มความเหนียว หรือเพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสโดยไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นหวานเกินไป และปัจจุบันมีการนำแลคโตสมาใช้ในอุตสาหกรรมเบียร์ เนื่องจากยีสต์ไม่สามารถหมักแลคโตสได้จึงทำให้ยังคงมีแลคโตสอยู่ในเบียร์ ซึ่งจะช่วยในการปรับปรุงกลิ่นรส ความเหนียวและความรู้สึกขณะดื่มเบียร์ นอกจากนี้ยังมีการใช้แลคโตสเพื่อปรับปรุงคุณภาพของเครื่องดื่มอื่น ๆ และอาหารที่ให้พลังงานต่ำ เช่น ใช้ในแบตเตอรี่มิลค์ และเครื่องดื่มช็อกโกแลต เพื่อปรับปรุงคุณภาพในด้านการยอมรับของผู้บริโภคและใช้ในขนมลูกกวาดเพื่อช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและอายุการเก็บ[21]

ตารางที่ 2.9 ความหวานของน้ำตาลซูโครส กลูโคส ฟรุคโตส และแลคโตส (คิดเป็นร้อยละของความเข้มข้นที่ให้ความหวานเท่ากัน)

ความเข้มข้น (ร้อยละ) ที่ให้ความหวานเท่ากัน			
ซูโครส	กลูโคส	ฟรุคโตส	แลคโตส
0.5	0.9	0.4	1.9
1.0	1.8	0.8	3.5
2.0	3.6	1.7	6.5
5.0	8.3	4.2	15.7
10.0	13.9	8.6	25.9
20.0	21.8	16.7	33.3

ที่มา : Nickerson [23]

ในกรณีของแลคโตสที่ปราศจากน้ำ เมื่อเร็ว ๆ นี้มีผู้พบว่า มีคุณสมบัติในการดูดกลืนได้ดีกว่าแลคโตส รูปแบบอื่นและน้ำตาลชนิดอื่น ดังนั้นจึงใช้แลคโตสที่ปราศจากน้ำ ช่วยป้องกันการสูญเสียกลิ่นรสในอาหารหลายชนิด และยังทำให้อาหารบางชนิดมีสีดีโดยใช้เป็นตัวพาสี เนื่องจากแลคโตสที่ปราศจากน้ำละลายน้ำได้ช้าจึงปล่อยสีให้กระจายออกได้อย่างสม่ำเสมอ [21]

ในการประยุกต์ใช้ อาจนำแลคโตสกลีโคสมาใช้เคลือบผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกันสารภายในจากสภาพแวดล้อม นอกจากนี้อาจใช้แลคโตสกลีโคสในการทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติละลายได้ทันทีโดยทำให้ผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้ว (มีแลคโตสร้อยละ 5-50) เปียกขึ้นอีกครั้ง จากนั้นนำไปทำให้แห้งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ละลายได้รวดเร็ว ในอุตสาหกรรมการผลิตยา มีการใช้แลคโตสผสมในตัวยา แลคโตสจะช่วยในด้านคุณลักษณะการไหลของเม็ดยา ยาจะกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในผงแลคโตสซึ่งจะช่วยให้ง่ายต่อการอัดเม็ด หรืออาจใช้แลคโตสเคลือบเม็ดยา [20, 21]

เนื่องจากแลคโตสไม่ถูกใช้ไปในการหมักโดยยีสต์ แลคโตสจึงมีประโยชน์อย่างยิ่งในการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมอบ โดยจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) และปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน (caramelization reaction) สารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นจะทำให้เปลือกของขนมปังและผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดอื่นมีสีน้ำตาลสวย นอกจากนี้แลคโตสยังช่วยปรับปรุงด้านคุณสมบัติของเนยขาวในการทำไอศกรีมขึ้นคงตัวเป็นผลให้ขนมอบมีขนาดของเซลล์ในเนื้อขนมที่สม่ำเสมอและมีลักษณะเนื้อสัมผัสตามต้องการ สำหรับในผลิตภัณฑ์เนื้อมีการนำแลคโตสไปใช้ประโยชน์เช่นกัน โดยใช้เป็นส่วนผสมในสารละลายเกลือที่ใช้ฉีดเข้าในเนื้อ เช่น ในการผลิตแฮมแปรรูป (processed ham) แลคโตสจะช่วยบดบังความขมที่เกิดขึ้นจากการใช้ฟอสเฟตและบดบังความเค็มของเกลือ ส่วนในไส้กรอกที่จะนำมาทอดอาจเติมแลคโตสลงไปเล็กน้อยเพื่อให้ผิวของไส้กรอกทอดมีสีน้ำตาลตามที่ต้องการ [22]

#### 2.1.4.2 กลูโคสและกาแลคโตส

ในน้ำนมมีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวคือ กลูโคสและกาแลคโตสอยู่ด้วย แต่ละชนิดจะมีความเข้มข้นประมาณ 10-15 มิลลิกรัมต่อน้ำนม 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของกลูโคสเกี่ยวข้องกับอัตราการสังเคราะห์แลคโตสและอัตราการหลั่งน้ำนม ปริมาณกลูโคสจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหลั่งน้ำนมที่เพิ่มขึ้นและตามอายุของวัวที่เพิ่มขึ้น แต่ปริมาณกลูโคสจะลดลงตามปริมาณน้ำนมที่เพิ่มขึ้น น้ำนมจากวัวที่เป็นโรคเต้านมอักเสบจะมีปริมาณกลูโคสต่ำกว่าน้ำนมปกติ และปริมาณกลูโคสจะแปรผกผันกับปริมาณ โซมาติกเซลล์ (somatic cell) และปริมาณ N-acetyl- $\beta$ -D-glucosaminidase [19]

### 2.1.4.3 โอลิโกแซ็กคาไรด์ (oligosaccharide)

โอลิโกแซ็กคาไรด์ เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวต่อกันตั้งแต่ 2 ถึง 10 โมเลกุล น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวดังกล่าว ได้แก่ กลูโคส กาแลคโตส ฟูโคส (fucose) N-acetyl glucosamine และ N-acetylneuraminic acid โดยจะมีน้ำตาลแต่ละชนิดในสัดส่วนต่าง ๆ กัน [19]

### 2.1.5 แร่ธาตุ

น้ำนมประกอบด้วยแร่ธาตุต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อร่างกายมนุษย์ซึ่งมีทั้งเกลืออนินทรีย์ (inorganic salts) และเกลืออินทรีย์ (organic salt) คำว่าเกลือ (salts) นั้นไม่ได้มีความหมายเดียวกับคำว่า (mineral substances) เนื่องจากการวิเคราะห์หาปริมาณแร่ในนมทำให้มีการสูญเสียกรดอินทรีย์ซึ่งรวมถึง ซิเตรท (citrate) และแอซีเตท (acetate) และเนื่องจากฟอสฟอรัสอินทรีย์ (organic phosphorus) กับซัลเฟอร์อินทรีย์ (organic sulfur) ได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นเกลืออนินทรีย์ในระหว่างการเผา (ashing) เพื่อหาปริมาณแร่ เกลือไม่ทั้งหมดที่ละลายในน้ำนมและเกลือที่ละลายในน้ำนมไม่ทั้งหมดที่จะถูกไอออไนซ์ ในเคซีนไมเซลล์มีเกลือที่ไม่ละลายอยู่ด้วย ในเคซีนไมเซลล์มี colloidal calcium phosphate โดยมีซิเตรทอยู่บ้าง น้ำนมอาจไฮโดรไลซ์ฟอสฟอริกเอสเทอร์ (phosphoric esters) ซึ่งเป็นสาเหตุให้ฟอสเฟตอินทรีย์ลดลงและฟอสเฟตอินทรีย์เพิ่มขึ้น ในน้ำนมมีซัลเฟอร์ในหลายรูปแบบ ซัลเฟอร์ในน้ำนมไม่เกินร้อยละ 10 (ประมาณ 36 มิลลิกรัมต่อน้ำนม 100 กรัม) อยู่ในรูปซัลเฟตอนินทรีย์ (inorganic sulfate) ในขณะที่ซัลเฟอร์ที่เหลือมีอยู่ในโปรตีน [4]

แร่ธาตุในน้ำนมพบกระจายอยู่ใน 2 ส่วน คือส่วนที่ละลายได้หรือในซีรัมของน้ำนมและส่วนที่เป็นคอลลอยด์หรือในเคซีนไมเซลล์ แร่ธาตุชนิดที่สำคัญและมีปริมาณมาก ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม โพแทสเซียม ซิเตรท ฟอสฟอรัส และคลอไรด์ (ตารางที่ 2.10) ส่วนแร่ธาตุชนิดที่สำคัญและพบปริมาณน้อยได้แก่ เหล็ก ไอโอดีน ทองแดง แมงกานีส สังกะสี โคบอลต์ เซเลเนียม โครเมียม โมลิบดีนัม ดีบุก วานาเดียม ฟลูออรีน ซิลิคอน นิเกิล อาร์เซนิก (ตารางที่ 2.11) สังกะสีมีปริมาณมากที่สุด อย่างไรก็ตาม ปริมาณแร่ธาตุในน้ำนมมีความผันแปรขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ระยะเวลาการหลั่งน้ำนม อาหารสัตว์ ฤดูกาล พันธุ์สัตว์และการปนเปื้อนของแร่ธาตุจากสิ่งแวดล้อมภายนอก

แร่ธาตุที่มีปริมาณมากได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม และคลอไรด์นั้นเป็นแร่ธาตุที่ละลายได้ทั้งหมดจึงอยู่ในสารละลายในรูปของไอออน ส่วนแคลเซียม แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส พบว่ากระจายอยู่ในส่วนของซีรัมและส่วนของเคซีนไมเซลล์ โดยเฉพาะแคลเซียมซึ่งทราบกันดีแล้วว่าเป็นแร่ธาตุที่สำคัญต่อความคงตัวของเคซีนไมเซลล์ นอกจากนี้จะพบในรูปของไอออนอิสระแล้วยังพบกระจายอยู่ในส่วนของเคซีนไมเซลล์ในรูปของแคลเซียมฟอสเฟต แคลเซียมฟอสโฟเคซีนเนท แคลเซียมซิเตรท

และยังมีแคลเซียมไอออนอีกเล็กน้อยที่จับกับปีตา-แลคโตโกลบูลิน และแอลฟา-แลคโตอัลบูมินในเคซีนไมเซลล์ [16, 19]

ตารางที่ 2.10 ชนิดและปริมาณของแร่ธาตุที่พบปริมาณมากในน้ำนม

ชนิดของแร่ธาตุ	ปริมาณ (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)		การกระจายในส่วนที่ละลายได้หรือในซีรัมของนม (ร้อยละ)	การกระจายในส่วนของคอลลอยด์หรือในเคซีนไมเซลล์ (ร้อยละ)
	ช่วง	เฉลี่ย		
แคลเซียมทั้งหมด	110.9-120.3	117.7	33	67
ไอออนไนซ์แคลเซียม	10.5-12.8	11.4	100	0
แมกนีเซียม	11.4-13.0	12.1	67	33
โซเดียม	47-77	58	94	6
โพแทสเซียม	113-171	140	93	7
ซีเตรท	166-192	176	94	6
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	79.8-101.7	95.1	45	55
อนินทรีย์ฟอสฟอรัส	51.9-70.0	62.9	54	46
คลอไรด์	89.8-127.0	104.5	100	0

ที่มา : Bowers [16]

สังกะสีมีปริมาณมากที่สุดในการตรวจแร่ธาตุที่พบปริมาณน้อยในน้ำนม เซเลเนียมในน้ำนมอาจผันแปรได้ระหว่าง 4 ถึง 1,200 ไมโครกรัมต่อน้ำนม 1 กิโลกรัม อาหารที่ให้วัวกินไม่มีผลกระทบต่อปริมาณโลหะชนิดอื่น ยกเว้นอาจขาดแคลนทองแดงและเหล็กหรือถ้ามีมากเกินไปจะเป็นพิษต่อวัวเช่นตะกั่ว นอกจากนี้โลหะบางชนิดอาจปนเปื้อนลงในน้ำนมได้จากการรีดนม การที่น้ำนมสัมผัส ส่วนที่ทำด้วยทองบรอนซ์ (bronze) ของอุปกรณ์รีดนมหรือท่อที่ทำด้วยทองแดงอาจทำให้ปริมาณทองแดงในน้ำนมเพิ่มขึ้นได้ง่ายถึง 1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ธาตุเหล็กก็สามารถปนเปื้อนลงในน้ำนมได้ [4]

สำหรับผู้ผลิต ทองแดงในน้ำนมมีความสำคัญเนื่องจากช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันทองแดงที่มีอยู่ตามธรรมชาติในน้ำนมไม่ช่วยส่งเสริมการเกิดออกซิเดชันหรือแทบจะไม่ส่งเสริมเลย แต่ทองแดงที่ปนเปื้อนจะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันแน่นอน แม้มีเพียงปริมาณเล็กน้อยก็ตาม แมงกานีสในน้ำนมสำคัญต่อเมแทบอลิซึมของแบคทีเรียกรดแลคติกบางชนิดโดยเฉพาะการหมักชีเตรท แต่ในน้ำนมบางชนิดมีปริมาณไดอะซีทิล (diacetyl) ต่ำมากสำหรับเชื้อ *Leuconostoc* [4]

ตารางที่ 2.11 ชนิดและปริมาณแร่ธาตุที่พบปริมาณน้อยในน้ำนม

ชนิดของแร่ธาตุ	ปริมาณ (ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร)	
	ช่วง	เฉลี่ย
เหล็ก	13-30	21
ไอโอดีน	0.5-4.0	7.5
ทองแดง	2.9-8.0	5.2
แมงกานีส	1-4	2.6
สังกะสี	390-450	420
โคบอลท์	0.03-0.11	0.05
เซเลเนียม	0.9-1.6	1.3
โครเมียม	0.5-5.0	1.7
โมลิบดีนัม	1.3-15.0	5.5
ดีบุก	4.0-50.0	17
วานาเดียม	น้อยมาก-31	-
ฟลูออรีน	0.1-35	12.5
ซิลิคอน	75-700	260
นิเกิล	0-5	2.5
อาร์เซนิก	3.0-6.0	5.0

ที่มา : Renner และคณะ [19]

### 2.1.6. วิตามิน

น้ำนมเป็นแหล่งของวิตามินที่ละลายได้ในไขมันและวิตามินที่ละลายได้ในน้ำ วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินดี วิตามินอี และวิตามินเค วิตามินที่ละลายได้ในน้ำ ได้แก่ วิตามินซี ไทอะมีน ไรโบฟลาวิน วิตามินบี 6 วิตามินบี 12 กรดแพนโทเทนิค กรดนิโคตินิก ไบโอติน และกรดโฟลิก ปัจจัยด้านอาหารสัตว์ ฤดูกาล พันธุ์ ระยะเวลาการให้น้ำนม มีผลกระทบต่อวิตามินที่ละลายได้ในน้ำและวิตามินเคในน้ำนม ขณะที่ปัจจัยด้านอาหารสัตว์จะมีผลกระทบต่อวิตามินเอ วิตามินดี และวิตามินอี [24] ปริมาณวิตามินในน้ำนมแสดงดังตารางที่ 2.12

### 2.1.6.2 วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน (fat-soluble vitamin)

**วิตามินเอ** ปริมาณวิตามินเอในน้ำมันผัดแปรขึ้นกับปริมาณบีตา-แคโรทีนในอาหารสัตว์ ปกติน้ำมันในฤดูร้อนจะมีปริมาณวิตามินเอสูงกว่่าน้ำมันในฤดูหนาวประมาณ 1.5 เท่า เนื่องจากในฤดูร้อนมักให้วัวกินหญ้าซึ่งมีบีตา-แคโรทีนสูง วิตามินเอสามารถทนความร้อนได้ดีโดยจะไม่ถูกทำลายระหว่างการพาสเจอร์ไรส์ การระเหยและการทำแห้ง ความสามารถในการเปลี่ยนบีตา-แคโรทีนไปเป็นวิตามินเอก่อนที่จะปล่อยลงในน้ำมันนั้นขึ้นอยู่กับพันธุ์วัวโดยที่วัวพันธุ์เก็นซี (Guernsey) และพันธุ์เจอร์ซี (Jersey) จะปล่อยวิตามินเอจำนวนมากลงในน้ำมันในรูปของบีตา-แคโรทีน ขณะที่วัวพันธุ์โฮลสไตน์-ฟรีเซียน (Holstein-Friesian) และพันธุ์ไอร์แลนด์ (Ayrshire) จะให้น้ำมันที่มีปริมาณบีตา-แคโรทีนต่ำ แต่มีวิตามินเอสูง ดังนั้นน้ำมันจากวัวพันธุ์ เก็นซี และพันธุ์เจอร์ซีจะมีสีเหลืองกว่าน้ำมันจากวัวพันธุ์โฮลสไตน์-ฟรีเซียนและพันธุ์ไอร์แลนด์ [24]

**วิตามินดี** ปริมาณวิตามินดีในน้ำมันขึ้นอยู่กับปริมาณวิตามินดีในอาหารสัตว์ และการให้สัตว์ได้รับแสงแดด โดยปกติปริมาณวิตามินดีในน้ำมันจะสูงสุดในช่วงฤดูร้อนและต่ำสุดในช่วงฤดูหนาว วิตามินดีสามารถทนความร้อนได้ดีเช่นกัน โดยจะไม่ถูกทำลายระหว่างการพาสเจอร์ไรส์และการสเตอริไลซ์น้ำมัน

**วิตามินอีในไขมันนม** วิตามินอีร้อยละ 95 อยู่ในรูปของแอลฟา-โทโคเฟอรอล ( $\alpha$ -tocopherol) และอีกร้อยละ 5 อยู่ในรูปแกมมา-โทโคเฟอรอล ( $\gamma$ -tocopherol) ในเยื่อหุ้มเม็ดไขมันมีปริมาณวิตามินอีสูงกว่าในเม็ดไขมันถึง 3 เท่า น้ำมันในฤดูร้อนจะมีวิตามินอีสูงกว่่าน้ำมันในฤดูหนาว เนื่องจากวิตามินอีได้จากหญ้าที่วัวกินในฤดูร้อน

**วิตามินเค** วิตามินเคในน้ำมันมี 2 ชนิด คือ วิตามินเค 1 ได้จากเนื้อเยื่อของพืชสีเขียวที่วัวกิน และวิตามินเค 2 ได้จากการสังเคราะห์โดยแบคทีเรียในลำไส้ของวัว ในน้ำมันมีปริมาณวิตามินเคค่อนข้างต่ำ ปริมาณวิตามินเคจะไม่ขึ้นกับอาหารที่วัวกินเหมือนกับวิตามินเอ วิตามินดี และวิตามินอี

### 2.1.6.2 วิตามินที่ละลายได้ในน้ำ (water-soluble vitamin)

**วิตามินซี** วิตามินซีเป็นวิตามินที่สูญเสียได้ง่ายถ้าหากถูกแสงแดด และสูญเสียได้ง่ายในสภาพที่มีไอออนของโลหะ ( $Fe^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ) วิตามินซีในน้ำมัน ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของกรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) ทันทีที่น้ำมันหลั่งออกมาและจะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid) จากนั้นก็จะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นกรดไดคีโตกลูโรนิก (diketogulonic acid)

ตารางที่ 2.12 ชนิดและปริมาณของวิตามินในนํ้านมวัว

ชนิดของวิตามิน	ปริมาณ (ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร)	
	ช่วง	เฉลี่ย
วิตามินเอ : ฤดูร้อน	28-65	-
ฤดูหนาว	17-41	-
บีตา-แคโรทีน : ฤดูร้อน	22-32	-
ฤดูหนาว	10-13	-
วิตามินดี	0.02-0.08	0.05
วิตามินอี	84-110	100
วิตามินเค	3-4	3.5
วิตามินซี	-	1500
ไทอะมีน	37-46	40
ไรโบฟลาวิน	161-190	180
วิตามินบี 6	40-61	50
วิตามินบี 12	0.30-0.45	0.4
กรดแพนโทเทนิค	313-360	350
กรดนิโคตินิก	71-93	80
ไบโอติน	2-3.6	3
กรดโฟลิก	5-6	5

ที่มา : Renner และคณะ [19]

**ไทอะมีน** ไทอะมีนในนํ้านมมีทั้งในรูปอิสระและรูปที่มีหมู่ฟอสเฟตในโมเลกุล สำหรับไทอะมีนในรูปที่มีหมู่ฟอสเฟต 1 หมู่ นั้น พบในนํ้านมที่หลังในช่วงสัปดาห์ที่สอง แต่ไม่พบในนํ้านมช่วงกลางและช่วงปลายของการหลั่งนํ้านม

**ไรโบฟลาวิน** ในนํ้านมมีไรโบฟลาวินค่อนข้างสูงโดยมีประมาณ 161-190 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ถึงแม้ว่า โดยปกติปริมาณไรโบฟลาวินจะไม่ขึ้นอยู่กับอาหารที่วัวกิน แต่บางครั้งอาหารก็มีผลกระทบต่อบ้าง เนื่องจากพบว่านํ้านมในฤดูร้อนจะมีไรโบฟลาวินสูงกว่านํ้านมในฤดูหนาวประมาณร้อยละ 13-30 และเช่นเดียวกัน พันธุ์ก็มีผลกระทบต่อปริมาณไรโบฟลาวินด้วย เช่น นํ้านมจากวัวพันธุ์เจอร์ซี่ และพันธุ์เก็นซีมีปริมาณไรโบฟลาวินสูงกว่านํ้านมจากวัวพันธุ์ไอร์แลนด์และพันธุ์โฮสไตน์-ฟรีเซียน ประมาณร้อยละ 20-50 ไรโบฟลาวินเป็นวิตามินที่ค่อนข้างทนความร้อน ดังนั้นนํ้านมที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์หรือสเตอริไลซ์จะสูญเสียไรโบฟลาวินไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อย่างไรก็ตามถ้าหาก

น้ำนมถูกแสงโดยเฉพาะแสงแดด ไรโบฟลาวินก็จะถูกทำลาย ส่วนแสงฟลูออเรสเซนต์จะไม่รุนแรงเท่าแสงแดด [24]

**วิตามินบี 6** วิตามินบี 6 ในน้ำนม ส่วนใหญ่อยู่ในรูปอิสระ โดยจะอยู่ในรูปของไพริดอกซอล (pyridoxal) ร้อยละ 70-95 ส่วนที่เหลือเป็นไพริดอกซามีน (pyridoxamine) และส่วนน้อยจะจับอยู่กับโปรตีน

**วิตามินชนิดอื่น ๆ** วิตามินชนิดอื่นที่ละลายได้ในน้ำ รวมถึง วิตามินบี 12 ซึ่งมีโคบอลท์อยู่ในโมเลกุล กรดนิโคตินิก (ไนอะซิน) อยู่ในรูปของนิโคตินาไมด์ (nicotinamide) ซึ่งทั้งหมดจะอยู่ในรูปอิสระ กรดแพนโทเทนิค ส่วนใหญ่อยู่ในรูปอิสระ ส่วนไบโอตินอยู่ในรูปอิสระทั้งหมดและกรดฟอลิก ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ เอ็น<sub>5</sub> เมทิลเตตราไฮโดรโฟเลท (N<sub>5</sub> methyltetrahydrofolate) โดยจะจับกับโปรตีนเวย์ในน้ำนมดิบ [19]

### 2.1.7 เอนไซม์

น้ำนมประกอบด้วยเอนไซม์ประมาณ 50 ชนิด ซึ่งมีทั้งเอนไซม์ที่มีอยู่แล้วในน้ำนมและเอนไซม์จากภายนอกเซลล์โดยเฉพาะเอนไซม์จากแบคทีเรีย เอนไซม์ในน้ำนมที่มีความสำคัญต่อกระบวนการแปรรูปและการควบคุมคุณภาพน้ำนมส่วนใหญ่เป็นเอนไซม์กลุ่มไฮโดรเลส (hydrolases) ได้แก่ ไลโปโปรตีนไลเปส ฟลาสมีน และอัลคาไลน์ฟอสฟาเตส ส่วนเอนไซม์ที่มีผลต่อกลิ่นรสของน้ำนมเป็นเอนไซม์ในกลุ่มออกซิโดรีดักเตส (oxidoreductases) ได้แก่ คีตาเลส แลคโตเปอร์ออกซิเดสและแซนทีนออกซิเดส

**ไลโปโปรตีนไลเปส (lipoprotein lipase)** เป็นเอนไซม์ที่มีอยู่แล้วในน้ำนม ประมาณร้อยละ 80 ของไลโปโปรตีนไลเปสในน้ำนมจับอยู่กับเคซีนไมเซลล์ อีกร้อยละ 10-20 อยู่ในซีรัมของน้ำนม และอีกร้อยละ 0-10 เกาะอยู่กับเม็ดไขมัน เอนไซม์ชนิดนี้จะเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระโดยจะทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ 2 ไมโครโมลต่ออนาที ที่อุณหภูมิ 37°C ซึ่งเป็นสาเหตุของกลิ่นหืนในน้ำนม pH และอุณหภูมิที่เหมาะสมของไลโปโปรตีนไลเปสคือ pH 8.3 และอุณหภูมิ 37°C แต่ก็ยังคงทำงานได้ที่อุณหภูมิต่ำถึง 4-5°C เอนไซม์ชนิดนี้จะถูกทำลายที่อุณหภูมิของการพาสเจอร์ไรส์ นอกจากนี้ไลเปสอาจมาจากแบคทีเรียพวกไซโครโทรฟในน้ำนม ซึ่งเป็นไลเปสที่ทนความร้อนได้ดี [3]

**ฟลาสมีน (plasmin)** เป็นเอนไซม์ย่อยโปรตีนโดยจะทำหน้าที่ย่อย  $\beta$ -เคซีน ให้เป็น  $\gamma$ -เคซีนและโปรตีโอส-เปปโตน ความเข้มข้นของฟลาสมีนจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหลั่งน้ำนม สำหรับน้ำนมในช่วงแรก ช่วงกลางและช่วงปลายของการหลั่งนมจะมีความเข้มข้นของฟลาสมีนเป็น 15, 29 และ 37 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ฟลาสมีนเป็นเอนไซม์ที่ทนความร้อนได้ดีที่ pH ของน้ำนมซึ่งจะยังคงอยู่หลังการพาสเจอร์ไรส์ [19]

**แอลคาไล ฟอสฟาเตส (alkaline phosphatase)** เป็นเอนไซม์ที่มี pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานเป็น 9.6 เอนไซม์ชนิดนี้มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมนม เนื่องจากจะถูกทำลายหมดที่อุณหภูมิของการพาสเจอร์ไรส์ ดังนั้นจึงใช้เอนไซม์ชนิดนี้เป็นดัชนีบ่งชี้ประสิทธิภาพของการพาสเจอร์ไรส์ได้หรืออาจบอกได้ว่าน้ำนมถูกปนเปื้อนด้วยน้ำนมดิบหรือไม่ โดยสามารถตรวจพบเอนไซม์ชนิดนี้ได้ แม้ว่าจะมีน้ำนมดิบปนเปื้อนเพียงร้อยละ 0.1 [14]

**คะตะเลส (catalase)** เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้เป็นน้ำและอินแอคทีฟออกซิเจน (inactive oxygen) เอนไซม์ชนิดนี้พบปริมาณมากในน้ำมน้ำเหลือง น้ำนมที่มีจำนวนแบคทีเรียสูงและน้ำนมจากวัวที่เป็นโรคเต้านมอักเสบ คะตะเลสไม่ได้มีผลต่อคุณภาพของน้ำนมแต่จะใช้ปริมาณคะตะเลสบ่งชี้คุณภาพของน้ำนมว่าเป็นน้ำนมดี หรือน้ำนมจากวัวที่เป็นโรคเต้านมอักเสบ เอนไซม์ชนิดนี้ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิ 0°C ในช่วง pH 6.8-7.0 และจะถูกทำลายได้ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 65-70°C เป็นเวลา 30 นาที แต่ถ้าให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้เล็กน้อยเป็นเวลานานถึง 30 นาที ก็จะทำให้ความสามารถในการทำงานของคะตะเลสจะลดลง ดังนั้นจึงใช้คะตะเลสเป็นตัวบ่งชี้ว่าน้ำนมเคยถูกต้มมาหรือไม่

**แลคโตเพอร์ออกซิเดส (lactoperoxidase)** เป็นเอนไซม์ที่มีในน้ำนมประมาณ 3 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร แลคโตเพอร์ออกซิเดสจะเร่งการชนถ่ายออกซิเจนจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไปให้สารอื่นเช่น ไทโอไซยาเนต (thiocyanate) เอนไซม์ชนิดนี้สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจึงทำให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติในน้ำนม อีกนัยหนึ่ง ถ้าหากมีการเพิ่มปริมาณของไทโอไซยาเนตและเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในน้ำนมแล้ว แลคโตเพอร์ออกซิเดสจะมีศักยภาพในการทำลายแบคทีเรียได้โดยเฉพาะแบคทีเรียโคลิฟอร์ม *Salmonella*, *shigella* และ *Pseudomonas* [13]

**แซนทีนออกซิเดส (xanthine oxidase)** เป็นเอนไซม์ที่พบมากในเยื่อหุ้มเม็ดไขมัน โดยมีในน้ำนมประมาณ 12 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ดังนั้นจึงมีมากในไขมันและครีม แซนทีนออกซิเดสทำงานได้ดีที่ pH 6-9 อุณหภูมิ 37°C ค่อนข้างทนความร้อน ซึ่งจะไม่ถูกทำลายเมื่อให้ความร้อนถึง 65°C เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง เอนไซม์ชนิดนี้จะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันนมทำให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติที่เรียกว่ากลิ่นรสออกซิไดส์ (oxidized flavour) [19]

### 2.1.8 ฟอสโฟลิพิด (phospholipids)

ฟอสโฟลิพิด มีในน้ำนมประมาณ 20-50 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ฟอสโฟลิพิดในน้ำนมส่วนใหญ่พบอยู่ที่เยื่อหุ้มเม็ดไขมัน ส่วนน้อยพบในหางนมและจับอยู่กับเคซีน ฟอสโฟลิพิดชนิดที่พบเป็นปริมาณมากได้แก่ ฟอสฟาติดีลเอทานอลเอมีน (phosphatidyl ethanolamine) ฟอสฟาติดีลโคลีน (phosphatidyl choline) หรือเรียกว่าเลซิทีน (lecithin) และสฟิงโกไมอีลิน (sphingomyelin) ส่วนชนิดที่พบเป็นปริมาณน้อยได้แก่ ฟอสฟาติดีลอิโนซิทอล (phosphatidyl inositol) ฟอสฟาติดีล

ซีรีน (phosphatidyl serine) ไลโซฟอสฟาติดีลโคลีน (lysophosphatidyl choline) ไลโซฟอสฟาติดีลเอทานอลเอมีน (lysophosphatidyl ethanolamine) และไดฟอสฟาติดีลกลีเซอรอล (diphosphatidyl glycerol) ถึงแม้ว่าฟอสโฟลิพิดจะมีอยู่ในระดับความเข้มข้นต่ำ แต่ก็มีผลสำคัญเนื่องจากมีส่วนช่วยให้มีไขมันคงตัวและช่วยให้เกิดกลีเซอรอลที่ดีในผลิตภัณฑ์นม นอกจากนี้ในโมเลกุลยังประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวปริมาณสูงอีกด้วย [19, 25]

### 2.1.9 สเตอรอล (sterols)

สเตอรอลชนิดที่มีมากที่สุดในน้ำนมคือคอเลสเตอรอล (cholesterol) ซึ่งมีประมาณ 13 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ส่วนใหญ่พบในเยื่อหุ้มเม็ดไขมัน โดยพบว่ามีประมาณร้อยละ 0.4-3.5 ของปริมาณไขมันทั้งหมดในเยื่อหุ้มเม็ดไขมัน คอเลสเตอรอลในน้ำนมอยู่ในรูปของคอเลสเตอรอลอิสระถึงร้อยละ 85-90 และที่เหลืออีกเล็กน้อยอยู่ในรูปเอสเทอร์ไฟต์โดยจับอยู่กับกรดไขมันสายยาว [19]

### 2.1.10 กรดไขมันอิสระ (free fatty acids)

กรดไขมันอิสระในน้ำนมมีต้นกำเนิดมาจาก 3 แหล่งคือ 1) จากเลือด ซึ่งกรดไขมันอิสระจะจับอยู่กับซีรัมอัลบูมิน 2) จากการสูญเสียของกรดไขมันที่ไม่ผ่านการเอสเทอร์ไฟต์ในเต้านมและ 3) จากการเกิดไฮโดรไลซิสของไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระจะคล้ายกับชนิดที่เป็นส่วนประกอบในไขมันนม แต่ในน้ำนมจะมีกรดไขมันอิสระชนิดที่มีสายคาร์บอนสั้น (กรดบิวทริก (C<sub>4</sub>) กรดคาไพอิก (C<sub>6</sub>) และกรดคาไพลิก (C<sub>8</sub>)) สูงกว่าในไขมันนม 2 เท่า กรดไขมันอิสระในน้ำนมจะเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาทั้งนี้เนื่องมาจากการกระทำของไลเปส [19]

### 2.1.11 สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน (non-protein nitrogen compounds)

สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนมีในน้ำนมประมาณ 25-35 มิลลิกรัมต่อน้ำนม 100 มิลลิลิตรหรือมีประมาณร้อยละ 5-6 ของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน ชนิดที่สำคัญแสดงดังตารางที่ 2.13 ปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนมีความผันแปรขึ้นกับระยะ เวลาการหลั่งน้ำนมและฤดูกาล โดยจะมีปริมาณสูงสุดในน้ำมน้ำเหลือง แล้วจะลดลงในระหว่าง 2 เดือนแรกของการหลั่งน้ำนม หลังจากนั้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ส่วนฤดูกาลจะมีผลต่อปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนโดยน้ำนมในฤดูร้อนจะมีมากกว่าน้ำนมในฤดูหนาว [19]

ตารางที่ 2.13 ชนิดและปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนที่สำคัญในน้ำนม

สารประกอบ	ปริมาณไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)
Total non-protein nitrogen	229-308
Urea nitrogen	84-134
Creatine nitrogen	6-20
Creatinine nitrogen	2-9
Uric acid nitrogen	5-8
Orotic acid nitrogen	12-13
Hippuric acid nitrogen	4.4
Peptide nitrogen	32.0
Ammonia nitrogen	3-14
$\alpha$ - Amino acid nitrogen	39-51

ที่มา : Jenness [5]

สารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนชนิดที่มีมากที่สุดคือ ยูเรียซึ่งมีถึงร้อยละ 50 ของปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนทั้งหมด กรดโอโรติก (orotic acid) เป็นกรดที่มีมากเฉพาะในน้ำนมของสัตว์เคี้ยวเอื้องเท่านั้น น้ำนมจากสัตว์ชนิดอื่นจะมีกรดชนิดนี้เพียงเล็กน้อย สำหรับแอลฟา-อะมิโนแอซิด ( $\alpha$ - amino acid) ที่พบนั้นรวมอยู่ในโปรตีนซึ่งได้แก่ ออร์นิทีน (ornithine) ซิทูลีน (citrulline) และแอลฟา-อะมิโนบิวทิริกแอซิด ( $\alpha$ -amino butyric acid) [5] นอกจากนี้ในน้ำนมยังมีสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนที่มีปริมาณน้อยชนิดอื่น ๆ อีกดังตารางที่ 2.14

ตารางที่ 2.14 ชนิดและปริมาณของสารประกอบไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนที่มีปริมาณน้อยในน้ำนม

สารประกอบ	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
เอมีน	
1-propylamine	3-15
1-hexylamine	5-24
Ethanolamine	0.5-8.5
choline	43-285
putrescine และ codaverine	0.003-0.021
Spermidine	0.009-0.028
Spermine	0.006-0.017
อนุพันธ์ของกรดอะมิโน	
N-methylglycine	+
Histamine	0.03-0.05
salicylic acid	0.016
phenylacetyl glutamine	มากกว่า 0.01
kynurenine	0.023
indoxylsulfuric acid	0.124
Taurine	1-7
สารประกอบอื่น ๆ	
Carnitine	10-17
acetyl carnitine	2-12
Morphine	0.0002-0.0005
N-acetylneuraminic acid	120-270
N-acetylglucosamine	11

ที่มา: Jenness [5]

## เอกสารอ้างอิง

1. Robinson, R.K. 2002. Dairy Microbiology Handbook, 3<sup>rd</sup> ed. A John Wiley & Sons, Inc., New York.

2. Andrews, A. H. 2000. Calf health, pp. 1-14. In: Andrews, A. H. (Ed.). *The Health of Dairy Cattle*. Blackwell Science Ltd., UK.
3. Goff, H. D. and Hill, A. R. 1993. Chemistry and physics, pp. 1-81. In: Hui, Y. H. (Ed.). *Dairy Science and Technology Handbook 1 Principle and Properties*. VCH Publishers, Inc., USA.
4. Walstra, P., Wouters, J.T.M. and Geurts, T.J. 2006. *Dairy Science and Technology*, 2<sup>nd</sup> ed. Taylor & Francis group, LLC., Boca Raton, FL, USA.
5. Jenness, R. 1988. Composition of milk, pp.1-38. In: Wong, N. P., Jenness, R., Keeney, M. and Marth, E. H. (Eds.). *Fundamentals of Dairy Chemistry*. 3d ed., Van Nostrand Rein hold, New York.
6. Varnam, A. H. and Sutherland, J. P. 1994. *Milk and Milk Products*. Chapman & Hall, London.
7. Fox, P. F. 2003. The major constituents of milk, pp. 5-41. In: Smit, G. (Ed.). *Dairy Processing: Improving Quality*. Woodhead Publishing Limited and CRC Press, England and USA.
8. Timms, R. E. 1984. Phase behavior of fats and their mixtures. *Prog. Lipid Res.* 23:1-38.
9. Banks, W. and Dalglish, D. G. 1990. Milk and milk processing, pp.1-35. In: Robinson, R. K. (Ed.). *Dairy Microbiology*. Vol. 1. Elsevier Applied Science, London.
10. Alais, C. and Linden, G. 1991. *Food Biochemistry*. Ellis Horwood Limited, England.
11. MacGibbon, A.K.H. and Taylor, M.W. 2006. Composition and structure of bovine milk lipids, pp. 1-35. In P.F. Fox and P.L.H. McSweeney. *Advanced Dairy Chemistry Volume 2 Lipids*. 3<sup>rd</sup> ed. Springer Science+Business Media, Inc.
12. Aguilera, J. M. and Stanley, D. W. 1990. *Microstructural Principles of Food Processing & Engineering*. Elsevier Applied Science, London.
13. Muir, D. D. 1992. Milk chemistry and nutritive value, pp.24-28. In: Early, R. (Ed.). *The Technology of Dairy Products*. VCH Publishers, Inc., New York.
14. van den Berg, J. C. T. 1988. *Dairy Technology in the Tropics and Subtropics*. Pudoc Wageningen, The Netherlands.
15. Swaisgood, H. E. 2008. Characteristics of milk, pp. 885-921. In: Damodaran, S., Parkin, K. L. and Fennema, O. R. (Eds.). *Fennema's Food Chemistry*. CRC Press, Boca Raton, FL.

16. Bowers, J. 1992. Food Theory and Applications. Macmillan Publishing Company, A Division of Macmillan, Inc., The Republic of Singapore.
17. Banks, W. 1994. The reactions of  $\beta$ -lactoglobulin in milk and their technological consequences. Milk Industry. July: 6-9.
18. McHugh, T. H. and Krochta, J. M. 1994. Milk-protein-based edible films and coatings. Food Technol. January: 97-103.
19. Renner, E., Schaafsma, G. and Scott, K. J. 1989. Micronutrients in Milk, pp.1-70. In: Renner, E. (Ed.). Micronutrients in Milk and Milk-Based Food Products. Elsevier Science Publishers Ltd., England.
20. Harper, W. J. 1992. Lactose and lactose derivatives, pp. 317-360. In: Zadow, J. G. (Ed.). Whey and Lactose Processing. Elsevier Applied Science, London.
21. Holsinger, V. H. 1988. Lactose, pp. 279-342. In: Wong, N. P. Jenness, R., Keeney, M. and Marth, E. H. (Eds.). Fundamentals of Dairy Chemistry. 3<sup>rd</sup> ed., Van Nostrand Reinhold, New York.
22. Smart, J., Haylock, S. and Gordon, M. 1991. Lactose- an underutilized food ingredient. Food Australia 43(9): 386-388.
23. Nickerson, T. A. 1974. Lactose, pp. 273-324. In: Webb, B. H., Johnson, A. H. and Alford, J. A. (Eds.). Fundamentals of Dairy Chemistry. 2nd ed., AVI Publishing Company, West port, Connecticut.
24. Aurand, L. W., Woods, A. E. and Wells, M. R. 1987. Food Composition and Analysis. Van Nostrand Reinhold, New York.
25. Harper, W. J. 1976. Milk components and their characteristics, pp.18-74. In: Harper, W. J. and Hall, C. W. (Eds.). Dairy Technology and Engineering. AVI Publishing Company, Inc., USA.

## บทที่ 3

### สมบัติทางกายภาพของน้ำนม

คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำนมมีความสำคัญ เนื่องจากจำเป็นต่อการออกแบบอุปกรณ์ในโรงงานแปรรูปน้ำนมและผลิตภัณฑ์นม สามารถใช้ประมาณความเข้มข้นของส่วนประกอบนมและใช้ตรวจสอบการปลอมปนของสารต่างๆ ลงในน้ำนม นอกจากนี้ยังใช้ประเมินถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำนมได้อีกด้วย คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำนมที่สำคัญเช่น ความหนาแน่น ความหนืด จุดเยือกแข็ง ดัชนีหักเหของแสง สี และความเป็นกรด

#### 3.1 ความหนืด (viscosity)

ความหนืด เป็นปัจจัยสำคัญในการหาอัตราการแยกชั้นของครีม อัตราการถ่ายเทมวลและความร้อน และสภาพต่าง ๆ ของของไหลในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์นม ความหนืดหมายถึงการต้านการไหลของของเหลว ซึ่งจะอธิบายได้ด้วยความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\eta = F / (dv/dx)$$

เมื่อ  $\eta$  = ค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืด

$F$  = แรง (ไดน์ (dynes) ต่อตารางเซนติเมตร) ที่ใช้ทำให้เกิดความแตกต่างของความเร็วระหว่าง 2 ระบายที่ขนานกันซึ่งมีความห่างหนึ่งหน่วยระยะทาง

$$dv/dx = \text{ความแตกต่างของความเร็ว (วินาที)}^{-1} \text{ ในทิศทางที่ตั้งฉากกับระบาย}$$

ความหนืดมีหน่วยเป็นพอยด์ (poise) ซึ่งหมายถึงแรงที่ต้องใช้ (ไดน์ต่อตารางเซนติเมตร) ในการเคลื่อนที่ของของเหลวด้วยความเร็ว 1 เซนติเมตรต่อวินาที ระหว่าง 2 ระบายซึ่งห่างกัน 1 เซนติเมตร สำหรับนมและผลิตภัณฑ์นมมักใช้หน่วยที่เล็กกว่าคือ เซนติพอยด์ ( $10^{-2}$  พอยด์) ความหนืดของนมและผลิตภัณฑ์นมขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและปริมาณของของแข็งในน้ำนม ปกติที่อุณหภูมิ  $20^{\circ}\text{C}$  นมพร้อมมันเนยมีความหนืด 2.0 เซนติพอยด์ หางนมมีความหนืด 1.5 เซนติพอยด์ และเวย์มีความหนืด 1.2 เซนติพอยด์ เคซีนไมเซลล์และเม็ดไขมันเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดความหนืด [1]

#### 3.2 ความหนาแน่น (density)

ความหนาแน่นของน้ำนม คือ น้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของน้ำนม แสดงในหน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (SI units) หรือกรัมต่อมิลลิลิตร (1 กรัมต่อมิลลิลิตร = 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ปกติความหนาแน่นของสารใด ๆ จะวัดในรูปของค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ซึ่งก็คือสัดส่วนของความหนาแน่นของสารใด ๆ ต่อความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิเฉพาะระดับหนึ่ง ความถ่วงจำเพาะเป็นค่าที่ไม่มีหน่วย ที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  ความถ่วงจำเพาะจะมีค่าเท่ากับ ความหนาแน่น

เนื่องจากที่อุณหภูมิ 4°C ความหนาแน่นของน้ำมีค่าเท่ากับ 1.000 กรัมต่อมิลลิลิตร หรือ 999.972 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [2, 3]

ความหนาแน่นของน้ำนมค่อนข้างผันแปร โดยเฉลี่ยความหนาแน่นของน้ำนมที่อุณหภูมิ 20°C ( $\rho^{20}$ ) มีค่าประมาณ 1,029 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การเกิดผลึกของไขมันทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นที่จุดสมดุลของน้ำนมพร้อมมันเนยที่อุณหภูมิ 10°C มีค่าประมาณ 1,031 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่นของน้ำนมเพิ่มขึ้นตามปริมาณของแข็งปราศจากไขมันที่เพิ่มขึ้นและลดลงตามปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้น [2]

ความถ่วงจำเพาะของน้ำนม วัดได้โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า แลคโตมิเตอร์ (lactometer) โดยทั่วไปน้ำนมวัวจะมีความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 1.030-1.035 เฉลี่ย 1.032 ที่อุณหภูมิ 15.5°C ส่วนความถ่วงจำเพาะของหางนมและนมสดระเหยมีค่าประมาณ 1.036 และ 1.066 ตามลำดับ ความถ่วงจำเพาะของน้ำนมจะแปรโดยตรงกับปริมาณของแข็งปราศจากไขมัน และแปรผกผันกับปริมาณไขมัน โดยพบว่าทุก ๆ ร้อยละ 10 ของปริมาณของแข็งปราศจากไขมันที่เพิ่มขึ้น ค่าความถ่วงจำเพาะจะเพิ่มขึ้น 0.035 และทุก ๆ ร้อยละ 10 ของปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้น ค่าความถ่วงจำเพาะจะลดลง 0.010 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ [1, 4]

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = 1.0 + (0.0035 \times \% \text{ของแข็งปราศจากไขมัน}) - (0.001 \times \% \text{ไขมัน})$$

อุณหภูมิมีผลต่อทั้งความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นของน้ำนม เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นของน้ำนมจะลดลง แต่ความหนาแน่นจะลดลงมากกว่าความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิเดียวกัน และในระหว่างการเก็บน้ำนมที่อุณหภูมิต่ำ ความหนาแน่นของน้ำนมจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการตกผลึกของไขมันและการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับไฮเดรชันของเยื่อหุ้มเม็ดไขมัน ซึ่งมีผู้เขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ในช่วงอุณหภูมิ 1-10°C ไว้ดังนี้ [1]

$$\text{ความหนาแน่น} = 1.003073 - 0.000179t - 0.000368F + 0.003744N$$

$$\text{เมื่อ } t = \text{อุณหภูมิ (}^{\circ}\text{C)}$$

$$F = \text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)}$$

$$N = \text{ปริมาณของแข็งปราศจากไขมัน (ร้อยละ)}$$

จุดเยือกแข็งของน้ำนมวัว ปกติมีค่าระหว่าง  $-0.512^{\circ}\text{C}$  ถึง  $-0.550^{\circ}\text{C}$  เฉลี่ย  $-0.522^{\circ}\text{C}$  จุดเยือกแข็งของน้ำนมขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำนม โดยทั่วไปจุดเยือกแข็งของน้ำนมจะค่อนข้างคงที่หรือผันแปรเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นถ้าหากมีการเติมสารอื่นที่ละลายได้ลงในน้ำนม เช่น น้ำตาล จะทำให้จุดเยือกแข็งลดลง หรือถ้ามีการเติมน้ำลงในน้ำนมจะทำให้จุดเยือกแข็งเพิ่มขึ้น การวัดจุดเยือกแข็งของน้ำนมจึงสามารถใช้ตรวจสอบการปลอมปนได้ โดยเฉพาะใช้ตรวจสอบการเติมน้ำและใช้คำนวณหาปริมาณน้ำที่เติมได้ดังสมการ [3]

$$W = \frac{(C-D)(100-S)}{C}$$

เมื่อ  $W$  = ปริมาณน้ำที่เติมลงไป (ร้อยละ น้ำหนักโดยน้ำหนัก)

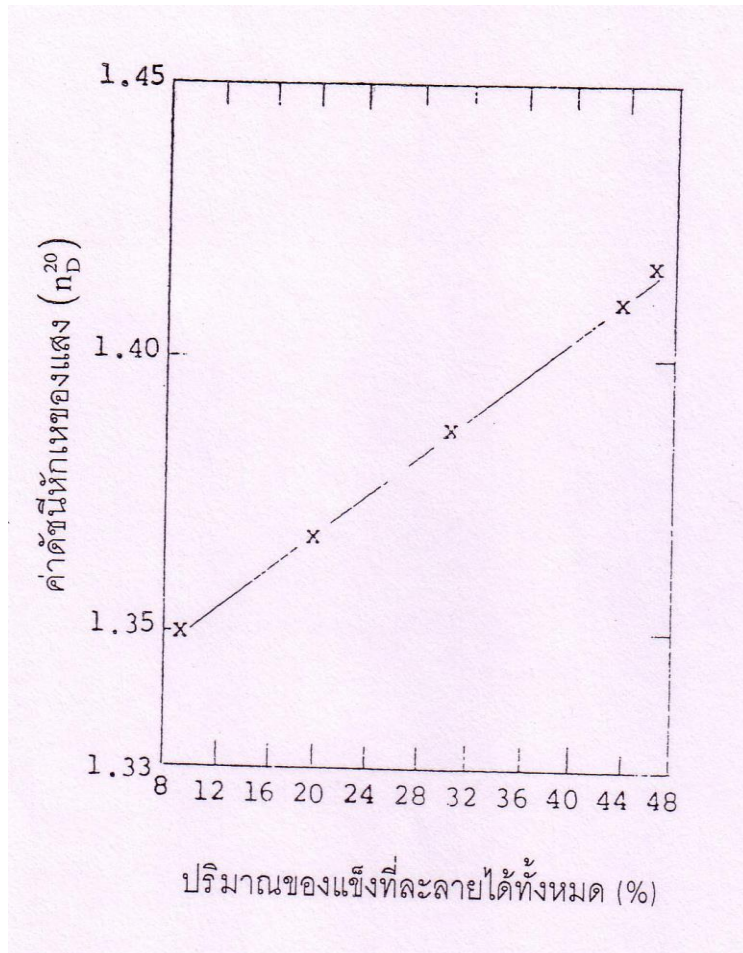
$C$  = จุดเยือกแข็งของน้ำนมมาตรฐาน

$D$  = จุดเยือกแข็งของน้ำนมตัวอย่าง

$S$  = ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนมตัวอย่าง (ร้อยละ น้ำหนักโดยน้ำหนัก)

### 3.4 ดัชนีหักเหของแสง (refractive index)

ดัชนีหักเหของแสงของเหลว คือ อัตราส่วนของอัตราเร็วของแสงในอากาศต่ออัตราเร็วของแสงในของเหลวนั้น โดยค่าดัชนีหักเหของแสงของเหลวขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสงและค่าดัชนีหักเหของแสงลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยทั่วไปจะหาค่าดัชนีหักเหของแสงที่ความยาวคลื่น 589.3 นาโนเมตรที่อุณหภูมิ  $20^{\circ}\text{C}$  [2] ค่าดัชนีหักเหของแสงของน้ำนมมีค่าอยู่ในช่วง 1.3440-1.3485 น้ำนมกระป๋องมีค่าดัชนีหักเหของแสงใกล้เคียงกับน้ำนมโค ขณะที่น้ำนมคน น้ำนมแกะ และน้ำนมแพะ มีค่าดัชนีหักเหของแสงสูงกว่าน้ำนมโค ค่าดัชนีหักเหของแสงขึ้นอยู่กับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำนม ถ้าหากมีการเติมสารที่ละลายได้ลงไปจะทำให้ค่าดัชนีหักเหของแสงเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่าดัชนีหักเหของแสงหาปริมาณของแข็งทั้งหมดได้ [1] ค่าดัชนีหักเหของแสงและปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนม มีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีหักเหของแสงและปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำนม

### 3.5 สี

การที่เห็นน้ำนมเป็นสีขาวนั้น เนื่องมาจากการสะท้อนแสงของอนุภาคคอลลอยด์ของไขมันนม เคซีนไมเซลล์ และแคลเซียมฟอสเฟต แต่บางครั้งถ้าหากในน้ำนมมีรงควัตถุแคโรทีนและไรโบฟลาวิน อยู่สูงก็จะเห็นน้ำนมเป็นสีเหลืองอ่อน การทำให้เม็ดไขมันมีขนาดเล็กลงเช่น การนำน้ำนมมาผ่าน กระบวนการโฮโมจีไนส์จะช่วยให้เกิดการสะท้อนแสงได้มากขึ้นทำให้น้ำนมมีสีขาวขึ้น นอกจากนี้ การเพิ่มของแข็งลงในน้ำนมก็จะช่วยให้น้ำนมขาวขึ้นเช่นกัน แต่ถ้าเม็ดไขมันมีขนาดใหญ่และมารวม กลุ่มกัน ความขาวของน้ำนมจะลดลงเช่น ในการผลิตเนย เนยที่ได้จะมีสีเหลืองอ่อนเนื่องมาจากรงควัตถุแคโรทีนซึ่งละลายได้ในไขมัน [4]

### 3.6 ความเป็นกรด (acidity)

ค่า pH ของน้ำนมปกติอยู่ในช่วง 6.6-6.8 เฉลี่ย 6.7 ที่อุณหภูมิ 20°C ซึ่งบอกเป็นนัยว่ากิจกรรมของไฮโดรเจนไอออนอยู่ในช่วง 0.16-0.25 ไมโครโมลต่อลิตร น้ำนมมีคุณสมบัติต้านการเปลี่ยน pH ได้ดีซึ่งอาจเนื่องมาจากการมีอยู่ของกลุ่มของสารต่าง ๆ ที่สามารถให้หรือรับโปรตอนเกลือ เช่น ฟอสเฟตและซิเตรท รวมทั้งหมู่ที่สามารถเกิดไอออนที่มีในโปรตีนมีส่วนในการทำให้เกิดความเป็นกรดในน้ำนมและช่วยต้านการเปลี่ยน pH ในน้ำนมได้ โดยทั่วไปน้ำมน้ำเหลืองจะมี pH ต่ำกว่าน้ำนมปกติ อาจต่ำถึง 6.0 ส่วนน้ำนมจากวัวที่เป็นโรคเต้านมอักเสบจะมี pH สูง (อาจสูงถึง 7.5) [2, 5]

ค่า titratable acidity สามารถตรวจหาได้ในน้ำนมและผลิตภัณฑ์นม โดยคำนวณในรูปของกรดแลคติก ซึ่งมีผู้รายงานว่าค่า titratable acidity ของน้ำนมสดอยู่ในช่วง 14-21 มิลลิโมลต่อลิตร เฉลี่ย 17 มิลลิโมลต่อลิตร น้ำนมที่มีปริมาณของแข็งสูงจะมีค่า titratable acidity สูงไปด้วย ค่า titratable acidity ของครีมจะต่ำกว่าของน้ำนมเนื่องจากเม็ดไขมันแทบจะไม่ให้ความเป็นกรด [5] การย่อยสลายไขมันซึ่งทำให้เกิดกรดไขมันอิสระจากไตรกลีเซอไรด์โดยการกระทำของเอนไซม์เป็นเหตุให้ค่า titratable acidity เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในครีมที่มีไขมันสูง เมื่อมีการเติมกรดหรือกรดที่เกิดจากการหมักโดยแบคทีเรียกรดแลคติกจะทำให้ค่า titratable acidity เพิ่มขึ้น กรดแลคติกส่วนใหญ่แตกตัวจนกระทั่งค่า pH ลดลงเหลือประมาณ 5.5 [2]

### เอกสารอ้างอิง

1. Sherbon, J. W. 1988. Physical properties of milk, pp.409-460. In: Wong, N. P., Jenness, R., Keeney, M. and Marth, E. H. (Eds.). Fundamentals of Dairy Chemistry. 3rd ed., Van Nostrand Reinhold, New York.
2. Walstra, P., Wouters, J.T.M. and Geurts, T.J. 2006. Dairy Science and Technology, 2<sup>nd</sup> ed. Taylor & Francis group, LLC., Boca Raton, FL, USA.
3. Goff, H. D. and Hill, A. R. 1993. Chemistry and physics, pp. 1-81. In: Hui, Y. H. (Ed.). Dairy Science and Technology Handbook 1 Principle and Properties. VCH Publishers, Inc., USA.
4. Harper, W. J. 1976. Milk components and their characteristics, pp.18-74. In: Harper, W. J. and Hall, C. W. (Eds.). Dairy Technology and Engineering. AVI Publishing Company, Inc., USA.

5. Bowers, J. 1992. Food Theory and Applications. Macmillan Publishing Company, A Division of Macmillan, Inc., The Republic of Singapore.

## บทที่ 4

### คุณภาพของน้ำนมทางจุลินทรีย์

น้ำนมที่เพิ่งหลังออกมาจากเต้านมของโคที่มีสุขภาพดีจะปราศจากแบคทีเรีย ต่อมาจะปนเปื้อนด้วยแบคทีเรียจากสิ่งแวดล้อมเช่น แบคทีเรียจากจากอุปกรณ์ เครื่องมือเครื่องใช้ในการรีดนม และอื่นๆ แบคทีเรียทั้งหมดในน้ำนมที่ผลิตภายใต้สุขลักษณะที่ดีควรมีจำนวนน้อยกว่า 10,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ถ้าแบคทีเรียเพิ่มจำนวนถึง 3 ล้านเซลล์ต่อมิลลิลิตร อาจเกิดการย่อยสลายไขมัน โปรตีนและแลคโตสในน้ำนมเป็นผลให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติ โอกาสที่ผู้ผลิตจะนำน้ำนมไปเก็บไว้เพื่อการแปรรูปก็จะลดลง [1] ดังนั้นคุณภาพทางจุลินทรีย์ของน้ำนมดิบจึงมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์นมด้วยเพราะแบคทีเรียหลายชนิดในน้ำนมดิบสามารถย่อยสลายองค์ประกอบนมทำให้ผลิตภัณฑ์นมที่ได้มีคุณภาพและกลิ่นรสที่ไม่ดี มีอายุการเก็บสั้น

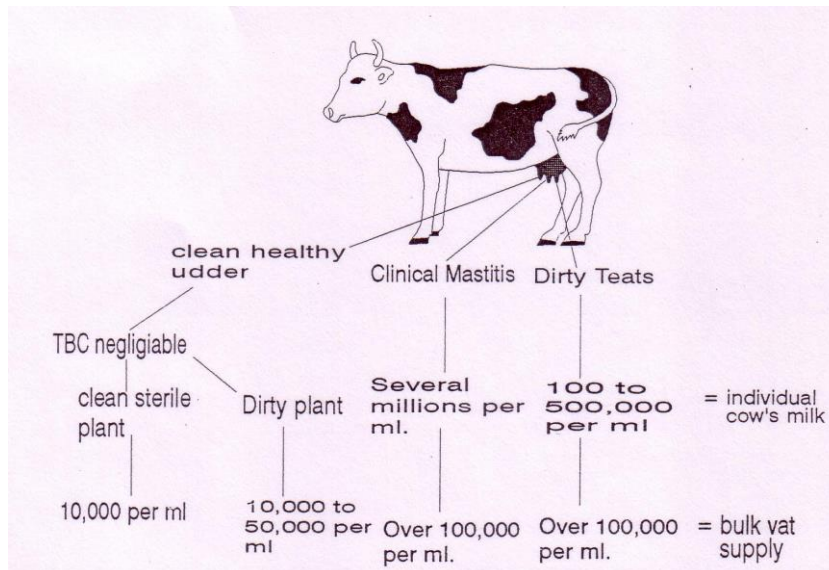
ดังนั้นเพื่อที่จะให้ได้น้ำนมที่มีคุณภาพทางจุลินทรีย์วิชาสูงที่ระดับฟาร์ม เกษตรกรควรตระหนักถึงแหล่งการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในน้ำนมดิบ และควรเข้าใจวิธีการควบคุมไม่ให้เกิดการปนเปื้อนแหล่งสำคัญของการปนเปื้อนมาจากภายในและภายนอกตัวสัตว์ [1]

#### 4.1 การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในน้ำนมดิบ (Raw milk contamination)

แหล่งของการปนเปื้อนด้วยแบคทีเรียลงในน้ำนมดิบมาจากสิ่งแวดล้อมได้แก่ เต้านม อุปกรณ์รีดนม และอื่น ๆ สิ่งแวดล้อม ได้แก่ น้ำ ดิน พืชผัก วัสดุที่รองให้โคนอน จะปนเปื้อนด้วยจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ และจำนวนจุลินทรีย์ที่จะปนเปื้อนลงในนมดิบมีความผันแปร โดยทั่วไปจุลินทรีย์ที่ชอบเจริญที่อุณหภูมิต่ำหรือไซโครโทรฟ (psychrotroph) มักปนเปื้อนมากับวัสดุบริเวณที่นอนของวัว (bedding material) น้ำที่ไม่ได้ผ่านการบำบัด ดิน และพืชผัก แบคทีเรียโคลิฟอร์มปนเปื้อนมากับดินและแบคทีเรียที่สร้างสปอร์ (sporeformers) ปนเปื้อนมากับวัสดุบริเวณที่นอนของวัว สุขลักษณะที่ไม่ดีในการรีดนมทำให้จุลินทรีย์ปนเปื้อนลงไปในน้ำนม การทำความสะอาดเต้านมและทำให้เต้านมแห้งก่อนรีดนมจะช่วยลดจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด แบคทีเรียโคลิฟอร์มและ *Staphylococcus* spp. ลงได้และลดปริมาณของตะกอนสิ่งสกปรกให้น้ำนม การปนเปื้อนของแบคทีเรียในเต้านมก่อให้เกิดการอักเสบของเต้านมและปล่อยแบคทีเรียลงในน้ำนมโดยเฉพาะเชื้อ *E. coli*, *Staphylococcus aureus* และ *Staphylococcus* ชนิดอื่น เช่น *Streptococcus dysgalactiae* และ Streptococci อื่น ๆ เป็นจุลินทรีย์ก่อโรคที่แพร่กระจายมากที่สุดในฝูงโค โคที่ติดเชื้อ *Streptococcus uberis* สามารถปล่อยเชื้อแบคทีเรียจำนวน  $10^7$  CFU ต่อมิลลิลิตรและโคที่ติดเชื้อ *E. coli* สามารถปล่อย

เชื้อจำนวน  $10^8$  CFU ต่อมิลลิลิตร ถ้ามีโคตัวหนึ่งติดเชื้อมีผลกระทบต่อจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในน้ำนมทั้งถัง เนื่องจากเชื้อ *S. aureus* จำนวนน้อยถูกปล่อยลงนม ดังนั้นจำนวนเชื้อ *S. uberis* และ *S. dysgalactiae* จึงมีผลต่อการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำนมดิบทั้งถัง โคนมที่มีสุขภาพดีก็สามารถปล่อยจุลินทรีย์ลงในน้ำนมดิบได้แต่จุลินทรีย์นี้ไม่ทำให้จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ [2]

โคที่เป็นโรคเต้านมอักเสบจะให้น้ำนมที่มีจำนวนแบคทีเรียสูงมาก น้ำนมจากโคแต่ละตัวอาจมีจำนวนจุลินทรีย์สูงถึงหลายล้านเซลล์ต่อมิลลิลิตร และอาจทำให้น้ำนมที่เก็บไว้ในถังใหญ่มีจำนวนจุลินทรีย์สูงขึ้นมากรกว่า 100,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร (รูปที่ 4.1) การควบคุมโรคเต้านมอักเสบจึงมีความสำคัญโดยเกี่ยวข้องกับการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียในน้ำนม นอกจากนี้หัวนมที่มีบาดแผลมีก็ผลต่อคุณภาพน้ำนม บาดแผลใด ๆ บนผิวหนังของโคอาจเป็นแหล่งของแบคทีเรียที่สาเหตุของโรคเต้านมอักเสบ และจะทำให้จำนวนแบคทีเรียในน้ำนมสูงขึ้น แบคทีเรียภายนอกเต้านมก็มีความสำคัญ หัวนมที่สกปรกอาจทำให้จำนวนแบคทีเรียในน้ำนมสูงขึ้นเป็น 100,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร [1]



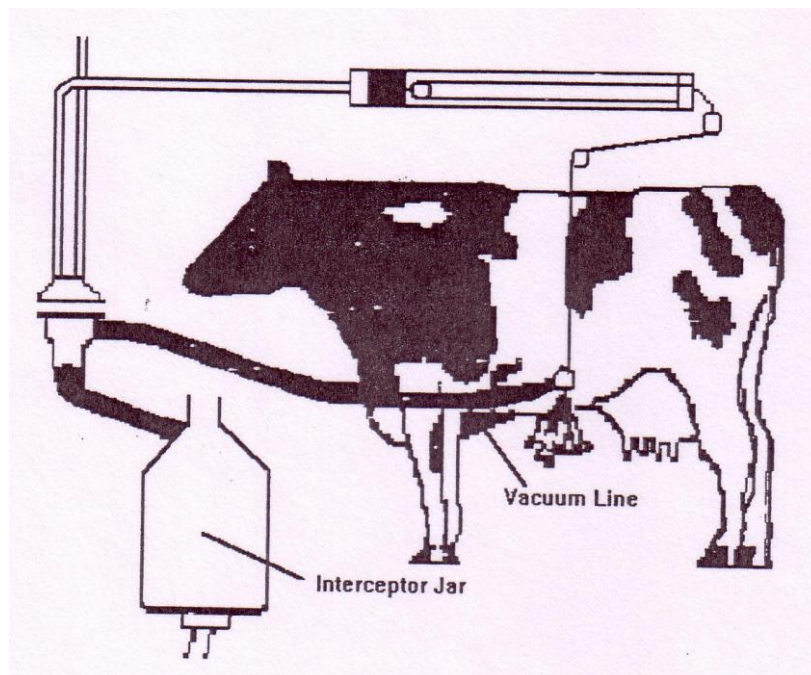
รูปที่ 4.1 แหล่งของการปนเปื้อนด้วยจุลินทรีย์ลงในน้ำนมดิบ  
ที่มา: Harding [1]

อุปกรณ์ที่ปนเปื้อนเช่น เครื่องรีดนม ภาชนะใส่น้ำนม ถังน้ำนมขนาดใหญ่ และรถขนส่งนมผิวของอุปกรณ์ที่เห็นได้ชัดว่าสะอาดไม่ควรจะมีแบคทีเรียเกิน 1,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ส่วนผิวของอุปกรณ์ที่ทำความสะอาดไม่ดีอาจมีคราบน้ำนมเก่าติดอยู่ซึ่งจะทำให้จำนวนแบคทีเรียสูงขึ้นได้อย่าง

น้อย 10,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร การรีดนมอย่างระมัดระวังและการทำความสะอาดโรงงานเป็นสิ่งจำเป็นถ้าต้องการให้มีแบคทีเรียในน้ำนมมีปริมาณน้อย [1]

ในการที่จะผลิตน้ำนมให้มีมาตรฐานทางด้านสุขลักษณะที่ดี ผู้รีดนมต้องเตรียมโคอย่างเหมาะสมก่อนรีดนมเช่น การใช้เทคนิคที่ดีในการรีดนมและหลังจากรีดนมเสร็จแล้ว น้ำนมที่รีดออกมาตอนแรก (foremilk) ควรรีดใส่ถ้วยเพื่อทดสอบว่าไม่ใช่ น้ำนมจากวัวที่เป็นโรคเต้านมอักเสบแล้วจึงรีดต่อไป ไม่ควรให้น้ำนมที่รีดออกมาตอนแรกหกลงที่พื้นหรือบริเวณที่วัวนอนเพราะอาจเสี่ยงต่อการแพร่กระจายโรคเต้านมอักเสบ [1]

การรีดนมด้วยมือ ทำกันมากในฟาร์มขนาดเล็ก ขณะที่ฟาร์มขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ใช้เครื่องรีดนมช่วยซึ่งจะรีดนมออกจากเต้าโดยระบบสุญญากาศ เมื่อต่อเครื่องรีดเข้ากับเต้านม และเริ่มรีดจะใช้เวลาประมาณ 6 นาที ควรทำอย่างระวัง ไม่ให้มีการดูดกลับสิ่งสกปรก มิฉะนั้นจะเพิ่มตะกอนสิ่งสกปรกในน้ำนมและจำนวนแบคทีเรียในน้ำนม น้ำนมจากสัตว์แต่ละตัวจะนำมาเก็บใน interceptor vessel (รูปที่ 4.2) เพื่อว่าจะได้แยกน้ำนมจากวัวที่เป็นโรคเต้านมอักเสบหรือวัวที่มีบาดแผลที่หัวนมออกจากน้ำนมในถังใหญ่ ซึ่งน้ำนมที่เก็บใน interceptor vessel นี้อาจทิ้งไปหรือนำไปเลี้ยงสัตว์ก็ได้ เมื่อน้ำนมถูกเก็บรวบรวมจะผ่านไปยัง muslin filter หรือถูกถ่ายโดยท่อสุญญากาศไปยังถังเก็บถังใหญ่ซึ่งทำให้น้ำนมเย็นลง



รูปที่ 4.2 การใช้เครื่องมือในการรีดนม

ที่มา: Harding [1]

## 4.2 จุลินทรีย์ในน้ำนมดิบ

น้ำนมเป็นอาหารที่มีคุณค่าต่อจุลินทรีย์ เนื่องจากน้ำนมอุดมไปด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามินและแร่ธาตุ มี pH ค่อนข้างเป็นกลางจึงช่วยส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ ในน้ำนมดิบมีจุลินทรีย์ปนเปื้อนหลายชนิดได้แก่ 1) จุลินทรีย์ที่ชอบเจริญที่อุณหภูมิต่ำ (psychrotroph) ซึ่งเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 7°C หรือต่ำกว่า 2) แบคทีเรียโคลิฟอร์มและแบคทีเรียแกรมลบชนิดที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและการปฏิบัติที่ไม่ถูกสุขลักษณะ 3) แบคทีเรียที่ทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดี (thermophilic bacteria) ซึ่งจะรอดชีวิตหลังการพาสเจอร์ไรส์ 4) จุลินทรีย์ที่สร้างสปอร์ได้ (spore formers) ซึ่งจะสร้างสปอร์ที่ทนต่อความร้อนและความแห้งได้ดี 5) จุลินทรีย์ก่อโรคซึ่งเป็นสาเหตุของโรคเต้านมอักเสบ (mastitis) 6) เชื้อราและยีสต์ ตารางที่ 4.1 แสดงชนิดของจุลินทรีย์ก่อโรคในคนที่อาจพบในนมและผลิตภัณฑ์นม [2]

แบคทีเรียที่ชอบเจริญที่อุณหภูมิต่ำ (psychrotrophic bacteria) เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญได้เร็วที่อุณหภูมิต่ำ มีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญในช่วง 21-28°C แหล่งที่อยู่อาศัยตามธรรมชาติคือในดินและน้ำ จึงพบมากในฟาร์มเลี้ยงวัวและพบปนเปื้อนลงในน้ำนม แบคทีเรียประเภทนี้ที่เคยแยกได้จากน้ำนมได้แก่ *Pseudomonas* ซึ่งพบมากที่สุดคือน้ำนม อาจพบมากถึงร้อยละ 50 ของจำนวนจุลินทรีย์ไซโครโทรฟทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบ *Enterobacter*, *Flavobacterium*, *Klebsiella*, *Aeromonas*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Achromobacter* เชื้อจุลินทรีย์ประเภทนี้สร้างเอนไซม์โปรติเอสและไลเปสซึ่งจะเป็นปัญหาต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์นม ดังนั้นทุกหน่วยงานในโรงงานจะต้องทำความสะอาดอุปกรณ์อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของไซโครโทรฟและทำให้น้ำนมเย็นลงเร็วที่สุด ถ้ายังลดอุณหภูมิต่ำมากเท่าใดผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพทางจุลินทรีย์สูงมากขึ้นเท่านั้น

แบคทีเรียบางชนิดที่แยกได้จากน้ำนมสามารถเจริญได้เร็วที่อุณหภูมิต่ำและยังทนความร้อนได้ดีได้แก่ เชื้อ *Bacillus*, *Clostridium*, *Microbacterium*, *Micrococcus* และ *Corynebacterium* แบคทีเรียโคลิฟอร์ม เป็นแบคทีเรียแกรมลบรูปท่อน หมักแลคโตสให้กรดและแก๊สภายใน 48 ชั่วโมงที่อุณหภูมิต่ำ 32°C หรือ 35°C ชนิดที่พบในน้ำนมเช่น *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* และ *Klebsiella*

แบคทีเรียแกรมลบรูปท่อนที่มีมักพบในน้ำนมได้แก่ เชื้อ *Pseudomonas fluorescens*, *P. putida*, *P. fragi*, *P. putrefaciens* สำหรับเชื้อ *P. aeruginosa* พบไม่บ่อยนัก เชื้อแบคทีเรียทนความร้อน (thermoduric bacteria) ที่พบในน้ำนมได้แก่ *Microbacterium*, *Micrococcus* และ *Alcaligenes* แบคทีเรียที่สร้างสปอร์ได้เช่น *Bacillus* จะทำให้น้ำนมดิบ น้ำนมพาสเจอร์ไรส์ น้ำนมยูเอชที นมกระป๋องสเตอริไลส์และนมข้นเน่าเสีย ทำให้ครีมและนมหมักเกิดเป็นลิม (sweet

curdling) และแบคทีเรียสร้างสปอร์อีกชนิดหนึ่งคือ *Clostridium* เป็นสาเหตุทำให้เนยแข็งเกิดการเหิน ส่วนแบคทีเรียที่พบว่าทนความร้อนได้บ้างโดยมีเซลล์น้อยกว่าร้อยละ 1 ของจำนวนเซลล์เริ่มต้นทั้งหมดอยู่รอดได้หลังผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 63°C เป็นเวลา 30 นาที ได้แก่ *Streptococcus*, *Lactobacillus* และ *Corynebacterium* และมีจุลินทรีย์อีกหลายชนิดที่ทำให้วัวเป็นโรคเต้านมอักเสบ

#### 4.3 โรคเต้านมอักเสบ

โรคเต้านมอักเสบ (Mastitis) เป็นโรคที่มีการอักเสบของต่อมน้ำนม การอักเสบเป็นการตอบสนองต่อการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อจากการเข้าบุกรุกและการเพิ่มจำนวนของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค จุดประสงค์ของการตอบสนองนี้ก็เพื่อทำลายหรือทำให้สิ่งที่ก่อให้เกิดอันตรายปราศจากความเป็นพิษ ทำให้เนื้อเยื่อมีการรักษาตัวเอง คืนสภาพและทำหน้าที่ได้ตามปกติ องค์ประกอบหลักของการอักเสบก็คือการเข้ามาของเม็ดเลือดขาว (white blood cell หรือ leukocyte) ซึ่งเป็นผลให้มีการเพิ่มขึ้นของจำนวนเซลล์ร่างกาย (somatic cell count) ในน้ำนม การวัดจำนวนเซลล์ร่างกายใช้ซึ่งชี้ถึงสุขภาพของเต้านมและคุณภาพของน้ำนม โดยทั่วไปการอักเสบของเต้านมเป็นผลมาจากการบุกรุกของเชื้อจุลินทรีย์สู่ต่อมน้ำนม จุลินทรีย์จะเพิ่มจำนวนและสร้างสารพิษเป็นสาเหตุให้เนื้อเยื่อเกิดการอักเสบ แบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่พบบ่อยที่สุดที่เป็นสาเหตุของโรคเต้านมอักเสบ แต่จุลินทรีย์ชนิดอื่น เช่น ยีสต์ *Mycoplasma* และสาหร่ายอาจเป็นสาเหตุของการติดเชื้อของเต้านมในบางครั้ง โรคเต้านมอักเสบเป็นสาเหตุให้ได้ปริมาณน้ำมน้อยและได้น้ำนมที่มีคุณภาพต่ำ [3]

แบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรคเต้านมอักเสบอาจจำแนกได้เป็นกลุ่มหลักที่พบบ่อยและกลุ่มที่พบไม่บ่อยนัก แบคทีเรียที่พบบ่อยในการเป็นสาเหตุของเต้านมอักเสบคือ เชื้อ *S. aureus* (พบบ่อยที่สุด), *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus dysgalactiae* และแบคทีเรียก่อโรคที่พบในสิ่งแวดล้อมได้แก่ *E. coli* และ *Streptococcus uberis* ส่วนเชื้อที่เป็นสาเหตุของโรคเต้านมอักเสบเพียงบางครั้งบางคราวเช่น *Pseudomonas spp.*, *Actinomyces pyogenes*, *Serratia spp.* หรือ จุลินทรีย์ก่อโรคชนิดอื่นที่ปกติไม่ค่อยพบ โรคเต้านมอักเสบที่สาเหตุมาจากจุลินทรีย์ก่อโรคชนิดที่พบบ่อยเป็นผลให้น้ำนมมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบ และมีปริมาณเซลล์ร่างกายเพิ่มมากขึ้นในน้ำนมซึ่งจะมีผลทำให้สูญเสียทางเศรษฐกิจ เชื้อ *Staphylococcus* ที่ไม่สามารถสร้างเอนไซม์โคแอกกูเลส (coagulase negative staphylococci) และ *Corynebacterium bovis* เป็นจุลินทรีย์ก่อโรคส่วนน้อยที่เป็นสาเหตุของโรคเต้านมอักเสบ การติดเชื้อแบคทีเรียเหล่านี้ทำให้เกิดการอักเสบเพียงปานกลาง เซลล์ร่างกายในน้ำนมจะมีจำนวนมากกว่าในน้ำนมจากวัวที่ไม่ติดเชื้อเพียง 2-3 เท่า ปริมาณน้ำนมลดลงไม่มากมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบนมไม่มากนัก [4]

ตารางที่ 4.1 จุลินทรีย์ก่อโรคในคนที่ปนเปื้อนมากับนมและผลิตภัณฑ์นม

ชนิดของจุลินทรีย์	โรคที่เกิดขึ้นในคน
<b>Enterobacteriaceae</b>	
<i>Escherichia coli</i> , <i>E. coli</i> O157:H7	Gastroenteritis, hemolytic uremic syndrome
<i>Salmonella</i>	Gastroenteritis, typhoid fever
<i>Yersinia enterocolitica</i> (psychrotrophic)	Gastroenteritis
<b>แบคทีเรียแกรมลบ</b>	
<i>Aeromonas hydrophila</i> (psychrotrophic)	Gastroenteritis
<i>Brucella</i> spp.	Brucellosis (Bang's disease)
<i>Campylobacter jejuni</i>	Gastroenteritis
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Gastroenteritis
<b>แบคทีเรียแกรมบวกสร้างสปอร์</b>	
<i>Bacillus cereus</i> (some strains are psychrotrophic)	Gastroenteritis
<i>Bacillus anthracis</i>	Anthrax
<i>Clostridium perfringens</i>	Gastroenteritis
<i>Clostridium botulinum</i> (type E is psychrotrophic)	Botulism
<b>แบคทีเรียแกรมบวกรูปกลม</b>	
<i>Staphylococcus aureus</i>	Emetic intoxication
<i>Streptococcus agalactiae</i>	Sore throat
<i>Streptococcus pyogenes</i>	Scarlet fever / sore throat
<i>Streptococcus zooepidemicus</i>	Pharyngitis, nephritic sequelae
<b>แบคทีเรียแกรมลบอื่น ๆ</b>	
<i>Corynebacterium</i> spp.	Diphtheria
<i>Listeria monocytogenes</i> (psychrotrophic)	Listeriosis
<i>Mycobacterium bovis</i>	Tuberculosis
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Tuberculosis
<i>Mycobacterium paratuberculosis</i>	Johne's disease (ruminants)
<b>Rickettsia</b>	
<i>Coxiella burnetii</i>	Q fever
<b>ไวรัส</b>	
Enterovirus, including polioviruses, rotaviruses,	
Coxsackie viruses	Enteric infection
FMD virus	
Hepatitis virus	Foot-and-mouth disease
<b>ฟังไจ</b>	
Molds	Infectious hepatitis
<b>โปรโตซัว</b>	
	Mycotoxicoeses
<i>Entamoeba histolytica</i>	
<i>Giardia lamblia</i>	Amebiasis
<i>Toxoplasma gondii</i>	Giardiasis
	Toxoplasmosis

โรคเต้านมอักเสบอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทขึ้นกับความรุนแรงคือ 1) ประเภทแสดงอาการ (clinical mastitis) วัวเป็นไข้และเกิดการบวมแดงของเต้านม น้ำนมเกิดการเปลี่ยนแปลงคือเป็นตะกอน ก้อนหรือออกใส และ 2) ประเภทไม่แสดงอาการ (subclinical mastitis) เต้านมและลักษณะของน้ำนมไม่มีการเปลี่ยนแปลง ตรวจสอบได้ในห้องปฏิบัติการเท่านั้น มักพบว่าจำนวนเซลล์ร่างกาย (somatic cells) ในน้ำนมมีจำนวนมากกว่า  $4.0 \times 10^5$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร ซึ่งมักจะเป็นเซลล์เม็ดเลือดขาว (leukocyte) และวัวที่เป็นโรคนี้อาจให้น้ำมน้อยลง [4]

น้ำนมจากวัวที่เป็นโรคเต้านมอักเสบ นอกจากจะมีจำนวนเซลล์ร่างกาย (somatic cell) สูงแล้วยังมีปริมาณองค์ประกอบเปลี่ยนแปลงไปเช่น มีปริมาณแลคโตสเคซีน แอลฟา-แลคโตอัลบูมิน และไขมันในน้ำนมลดลงเนื่องจากการลดลงของกิจกรรมของเนื้อเยื่อในต่อมน้ำนม แต่มีปริมาณโปรตีนเวย์เพิ่มขึ้น และมีปริมาณแลคโตเฟอรินซึ่งเป็นโปรตีนที่จับอยู่กับเหล็กและมีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียเพิ่มขึ้น

#### 4.4 ผลของการปนเปื้อนโดยจุลินทรีย์ต่อคุณภาพของน้ำนม

##### 4.4.1 การเจริญของเซลล์จุลินทรีย์

การมีอยู่และการเจริญของแบคทีเรียในนมมีผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำนม องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมสามารถถูกย่อยสลาย โดยเมแทบอลิซึมของแบคทีเรียและเอนไซม์หลายชนิดที่ปล่อยโดยแบคทีเรียผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายนั้น ส่งผลอันไม่พึงปรารถนาต่อโครงสร้างของน้ำนม กลิ่นและรสของน้ำนม แลคโตสในน้ำนมจะถูกหมักโดยแบคทีเรียแลคติก ทำให้เกิดรสเปรี้ยว ถ้า pH ของน้ำนมลดต่ำกว่า 4.6 ก็จะมีการตกตะกอนของโปรตีน เมแทบอลิซึมของแลคโตสโดยแบคทีเรียและเอนไซม์จากแบคทีเรีย การย่อยโปรตีนโดยเอนไซม์โปรติเอส (extracellular protease) ทำให้เกิดการผลิตแอมโมเนียและไฮโดรเจนซัลไฟด์ และในที่สุดเป็นสาเหตุของการเกิดเจลในน้ำนม เอนไซม์เลซิทีเนส (lecithinase) จะไฮโดรไลส์เลซิทีนที่มีอยู่ในเยื่อหุ้มเม็ดไขมัน ทำให้เม็ดไขมันมารวมกันเป็นผลให้เกิดการรวมกลุ่มกันของไขมันเป็นก้อน ไลเปสจะย่อยสลายไตรกลีเซอไรด์ ทำให้เกิดกรดไขมันสายสั้นทำให้น้ำนมมีกลิ่นรสนั้น เอนไซม์ฟอสโฟไลเปส (phospholipase) จะไฮโดรไลส์ฟอสโฟลิปิดที่มีอยู่ในเยื่อหุ้มเม็ดไขมันทำให้ไขมันภายในถูกไลเปสกระทำได้ง่ายขึ้น การเจริญของเชื้อรา ยีสต์ แบคทีเรียโคลิฟอร์ม *Pseudomonas* spp., *Actinomyces* spp. และ *Lactococcus lactis* spp. *lactis* biovar *maltigenes* ทำให้น้ำนมมีกลิ่นโคลน กลิ่นผลไม้ กลิ่นวัว กลิ่นปลา กลิ่นดิน กลิ่นมอลต์ ตามลำดับ [2]

#### 4.4.2 แบคทีเรียที่สร้างสปอร์ (Spore – forming Bacteria)

จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ถูกทำลายโดยใช้อุณหภูมิและเวลาร่วมกันในการพาสเจอร์ไรส์ การลดเวลาระหว่างการผลิตและการพาสเจอร์ไรส์และการรักษาอุณหภูมิการเก็บน้ำนมให้ต่ำอยู่เสมอจะช่วยควบคุมการย่อยสลายขององค์ประกอบนมโดยเอนไซม์ในนมที่มาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ แต่อย่างไรก็ตามเชื้อ จุลินทรีย์ที่ทนความร้อนและสามารถสร้างสปอร์ได้จะอยู่รอดหลังการพาสเจอร์ไรส์ และมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์นมพร้อมดื่มและผลิตภัณฑ์นมชนิดอื่นๆ เชื้อจุลินทรีย์ที่ทนความร้อนเช่น จุลินทรีย์บางชนิดในสกุล *Streptococcus* และ *Lactobacillus* และจุลินทรีย์ที่สร้างสปอร์ เช่น *Bacillus* สามารถเพิ่มจำนวนในน้ำนมพาสเจอร์ไรส์เป็นผลให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติ โปรตีนและไขมันถูกย่อยสลาย แบคทีเรียชอบความเย็นที่สร้างสปอร์ได้มักเป็นปัญหาเพราะจะอยู่รอดหลังพาสเจอร์ไรส์โดยจะงอกและเพิ่มจำนวนในน้ำนมแช่เย็น [2]

#### 4.4.3 เอนไซม์ทนความร้อน (Heat Stable enzymes)

จุลินทรีย์หลายชนิดที่พบในน้ำนมดิบ จุลินทรีย์ไซโครโทรฟจะผลิตเอนไซม์ (degradative enzymes) ซึ่งยังคงทำงานได้หลังการให้ความร้อน จุลินทรีย์จะเจริญและสร้างเอนไซม์ที่ทนความร้อนขณะที่น้ำนมรอการแปรรูป เมื่อให้ความร้อนเซลล์จะตายแต่เอนไซม์ยังคงย่อยสลายองค์ประกอบนมต่อไปได้ แบคทีเรียไซโครโทรฟที่ผลิตโปรตีนเอสที่ทนความร้อนได้แก่ *P. fluorescens*, *P. putida*, *P. fragi*, *P. putrefaciens*, *Acinetobacter* spp., *Achromobacter* spp., *Flavobacterium* spp., *Aeromonas* spp. และ *Serratia marcescens* ส่วนไซโครโทรฟที่ผลิตไลเปสที่ทนความร้อน ได้แก่ *P. fluorescens*, *P. fragi*, *P. putrefaciens*, *Achromobacter* spp., *Alcaligenes viscolactis*, *Acinetobacter* spp. และ *Serratia marcescens*, *Pseudomonas* spp. พบบ่อยที่สุดในน้ำนมดิบประมาณร้อยละ 50 ของจุลินทรีย์ไซโครโทรฟทั้งหมด [2]

#### 4.4.4 โรคเต้านมอักเสบ

โรคเต้านมอักเสบมีผลทำให้คุณภาพของน้ำนมต่ำลง โดยจะเพิ่มจำนวนแบคทีเรียที่ปนเปื้อนในน้ำนมดิบ เต้านมที่ติดเชื้อจะปล่อยแบคทีเรียลงในน้ำนม นอกจากนี้ยังปล่อยเซลล์ร่างกายจำนวนมากถึง  $10^6$  เซลล์ต่อมิลลิลิตรลงในน้ำนม ขณะที่วัวที่สุขภาพดีจะปล่อยเซลล์ร่างกายเพียงจำนวนน้อยลงในน้ำนม การมีเซลล์ร่างกายจำนวนมากในน้ำนมมีผลต่อคุณภาพของนมและผลิตภัณฑ์นม มีรายงานว่าน้ำนมพาสเจอร์ไรส์ที่มีจำนวนเซลล์ร่างกายสูง 849,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร อัตราการย่อยสลายไขมันและเคซีนในน้ำนมนี้สูงกว่าในน้ำนมพาสเจอร์ไรส์ที่มีจำนวนเซลล์ร่างกายน้อย (45,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ถึง 2-3 เท่า นอกจากนี้ในน้ำนมที่มีจำนวนเซลล์ร่างกายสูงยังมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสไม่ดีเช่น มีกลิ่นหืน กลิ่นออกซิไดส์ กลิ่นผลไม้ มีรสเค็ม รสขม หลังจากเก็บไว้ที่

อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 21 วัน ปริมาณเซลล์ร่างกายสูงในน้ำนมมีผลต่อคุณภาพเนยแข็งโดยจะลดการคงตัวของเคิร์ด ทำให้เนยแข็งที่ผลิตได้มีปริมาณน้อยลง และยังเพิ่มการสูญเสียไขมันและเคซีนในเวย์ทำให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติ [2]

#### 4.5 การทำความสะอาดโรงงานและการสเตอร์ไลส์

เพื่อที่จะจำกัดจำนวนแบคทีเรียระหว่างการรีดนม จึงจำเป็นต้องให้มีการปนเปื้อนน้อยที่สุด เพราะแบคทีเรียมีอยู่ในอากาศ ฝุ่น และน้ำ โดยเฉพาะในฝุ่นซึ่งมีแบคทีเรียจำนวนมาก และน้ำที่มีน้ำนมตกค้างซึ่งอาจถูกทิ้งไว้ค้างคืน น้ำนมเป็นแหล่งอาหารที่ดีของแบคทีเรีย ดังนั้นสิ่งแรกที่ต้องกระทำก็คือ ทำความสะอาดโรงงาน ขั้นตอนในการทำทำความสะอาดมีดังนี้คือ ขั้นแรกล้างด้วยน้ำเพื่อขจัดสิ่งสกปรกและน้ำนมตกค้าง หมุนเวียนสารดีเทอร์เจนต์ (detergent) จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาด แล้วหมุนเวียนสารฆ่าเชื้อ (disinfectant) แล้วล้างครั้งสุดท้ายด้วยน้ำสะอาด [1]

#### 4.6 การทำให้น้ำนมเย็นและการเก็บรักษาน้ำนมในฟาร์ม

น้ำนมที่เพิ่งรีดออกมามีอุณหภูมิประมาณ 37°C เกือบจะปราศจากแบคทีเรีย เพื่อหลีกเลี่ยงการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ปนเปื้อนควรทำให้น้ำนมเย็นลงเร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ นอกจากนี้ทำให้น้ำนมเย็นลงอย่างรวดเร็วยังทำให้ไขมันนมเกิดออกซิเดชันได้ช้า น้ำนมที่มีอุณหภูมิต่ำลงถึง 2.5°C จะยืดอายุการเก็บได้นานกว่าน้ำนมที่มีอุณหภูมิต่ำลงถึง 4°C [5]

#### 4.7 การรวบรวม การขนส่งและการรับน้ำนมดิบ

น้ำนมควรถูกเก็บรวบรวมบ่อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับสถานที่เก็บรักษาน้ำนมดิบในฟาร์มว่ามีที่เก็บมากน้อยเพียงใดและขึ้นกับอุณหภูมิของตู้เย็นที่จะทำให้มีน้ำนมมีอุณหภูมิต่ำลงได้มากน้อยเพียงใด ถ้าคนมารับน้ำนมดิบไม่บ่อยนักก็จะประหยัดค่าขนส่ง ดังนั้นเป็นไปได้ที่จะเก็บน้ำนมดิบไว้ที่ฟาร์มโดยทำให้อุณหภูมิของน้ำนมลดต่ำลงอยู่ที่ 1.5-2.0°C โดยที่น้ำนมดิบยังมีคุณภาพดี แต่การเก็บน้ำนมดิบไว้ในถึง 7 วัน ปกติจะไม่ทำกัน ในทางปฏิบัติจะมีการเก็บรวบรวมน้ำนมดิบทุกๆ 3 วันหรือทุกๆ 2 วัน ซึ่งจะสิ้นเปลืองค่าขนส่งน้อยกว่าเก็บทุกวัน [1]

โดยทั่วไปการรับน้ำนมดิบมี 2 รูปแบบคือ รับจากถังนมขนาดเล็ก (milk can) หรือรับจากถังนมขนาดใหญ่ (bulk tank) ที่ติดกับรถขนส่งนม โดยจะรับน้ำนมทุกวันหรือวันเว้นวัน การรับน้ำนมวันเว้นวันมีข้อได้เปรียบเนื่องจากช่วยประหยัดค่าขนส่ง อายุการเก็บของน้ำนมดิบสามารถคาดคะเนได้

ล่วงหน้าจากการหาจำนวนจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนเริ่มต้นและวัดอุณหภูมิของน้ำนมดิบ ถ้าหากน้ำนมถูกเก็บไว้ที่ฟาร์มนานขึ้นอีก 1 วัน อายุการเก็บของน้ำนมดิบที่โรงงานก็จะลดลงตามไปด้วย

#### 4.7.1 การเก็บรวบรวมน้ำนมดิบที่บรรจุในถังเล็ก (churn collection)

น้ำนมที่ถูกทำให้เย็นในถังบรรจุน้ำนมขนาดเล็ก ปกติจะถูกขนส่งไปยังจุดที่เก็บรวบรวมน้ำนมดิบซึ่งสะดวกต่อการขนใส่รถ ไม่ควรให้ถังน้ำนมโดนแสงแดด บ่อยครั้งจะขนส่งน้ำนมไปยังศูนย์รวมนม (milk collection centre) เป็นที่ซึ่งจะมีการเก็บตัวอย่างน้ำนมในแต่ละถังไปตรวจสอบ วัดปริมาตร และจดบันทึก จากนั้นจึงถ่ายน้ำนมจากถังเล็กไปยังถังใหญ่เพื่อการทำให้เย็นและเก็บรักษา [1]

#### 4.7.2 การเก็บรวบรวมน้ำนมดิบที่บรรจุในถังใหญ่ (bulk collection)

การเก็บรวบรวมน้ำนมดิบจากฟาร์มโดยรถขนส่งนมที่มีถังขนาดใหญ่ (bulk tanker) อาจทำทุกวันหรือวันเว้นวันเพื่อประหยัดค่าขนส่ง เมื่อจะตกลงรับซื้อ น้ำนมที่เก็บในถังใหญ่ของฟาร์มที่มีอุปกรณ์ทำความเย็นจะถูกขนถ่ายไปยังถังใหญ่ของรถขนส่งน้ำนมหลังจากการตรวจสอบคุณภาพของน้ำนมเบื้องต้น รวมทั้งคุณภาพทางประสาทสัมผัสเช่น ลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นแล้วจนได้ข้อสรุปว่าน้ำมนั้นเป็นที่ยอมรับได้ก็จะวัดปริมาตรของน้ำนม ปกติวัดโดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหลอัตโนมัติ (automatic flow meter) ที่มีอยู่บนรถขนส่งน้ำนม ซึ่งจะบันทึกข้อมูลอื่นๆ ด้วยเช่น อุณหภูมิของน้ำนม [1, 6] การขนถ่ายน้ำนมไปตามท่อต้องทำอย่างระมัดระวังเนื่องจากถ้ามีอากาศผ่านเข้าไปในท่อเร็วเกินไปอาจทำให้เกิดฟองและอาจเกิดการทำลายเม็ดไขมัน การทำให้เยื่อหุ้มเม็ดไขมันแตกจะทำให้เกิดการเหินได้ง่าย การสร้างท่อน้ำนมควรระวังจุดที่เรียกว่า “dead spaces” เป็นที่ซึ่งไม่สามารถทำความสะอาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นจุดที่ทำให้เกิดการสะสมของแข็งในนมที่จะเป็นอาหารทำให้แบคทีเรียเจริญเติบโต ดังนั้นจึงควรล้างท่อขนส่งนมเป็นประจำด้วยสารทำความสะอาดที่มีปริมาตรเหมาะสมเพื่อให้มั่นใจว่าทำความสะอาดอย่างเพียงพอ [5]

### 4.8 การตรวจสอบคุณภาพน้ำนมดิบ

#### 4.8.1 การเก็บตัวอย่าง การเก็บรักษาและการขนส่งตัวอย่างน้ำนมเพื่อการวิเคราะห์

การตรวจสอบคุณภาพใดๆของน้ำนมดิบขึ้นอยู่กับตัวอย่างน้ำนมที่สุ่มตัวอย่างมาว่าจะเป็นตัวแทนที่ดีของน้ำนมดิบทั้งถังหรือไม่ ซึ่งควรเก็บตัวอย่างด้วยวิธีการที่ถูกต้อง เนื่องจากไขมันนมจะลอยขึ้นที่ผิวหน้าดังนั้นก่อนเก็บตัวอย่างควรผสมน้ำนมให้เข้าเป็นเนื้อเดียว การผสมน้ำนมอาจทำได้โดยเทน้ำนมจากถังหนึ่งไปยังอีกถังหนึ่ง อาจทำโดยใช้ที่คนน้ำนม (plunger) หรือใช้อุปกรณ์สำหรับกวนน้ำนมทางกล (mechanical agitation) การคนน้ำนมดิบอย่างทั่วถึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องทำสำหรับ

น้ำนมเย็นที่เก็บรักษาไว้โดยจะต้องคนอย่างแรงเป็นเวลา 2 นาทีก่อนเก็บตัวอย่าง วิธีการที่ดีที่สุดที่จะตรวจสอบประสิทธิภาพการคนน้ำนมคือ เก็บตัวอย่างจากหลายๆส่วนของภาชนะบรรจุน้ำนม ควรเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เก็บที่ส่วนบนสุดและส่วนใต้สุดของถัง ภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำนมจะต้องสะอาดแห้งและปลอดเชื้อ ควรบันทึกรายละเอียดเกี่ยวกับตัวอย่าง วัน เวลา สถานที่ ที่เก็บตัวอย่างและชื่อผู้เก็บตัวอย่าง เครื่องมือที่ทันสมัยสามารถเก็บข้อมูลโดยตรงจาก bar code หรือ magnetic tape ที่ติดไว้ที่ควรเก็บตัวอย่างเพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดความผิดพลาดที่เกิดจากคนเมื่อเก็บตัวอย่างแล้วขั้นตอนต่อไปคือ ขนส่งตัวอย่างในสภาพที่ดีไปยังศูนย์ตรวจสอบ [1]

วิธีการในทางอุดมคติที่จะป้องกันตัวอย่างไม่ให้เกิดการเน่าเสียโดยจุลินทรีย์คือ ต้องเก็บไว้ที่อุณหภูมิใกล้  $0^{\circ}\text{C}$  ให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ไม่ควรนำตัวอย่างไปแช่แข็งขณะขนส่งเพราะอาจทำให้เซลล์ของแบคทีเรียแตกและอาจมีผลสภาวะทางกายภาพของไขมัน ระบบการทำความเย็นที่ใช้ในการให้ความเย็นกับตัวอย่างมี 2 ระบบ ซึ่งได้มีการประเมินคือ การขนส่งตัวอย่างโดยใช้น้ำใส่น้ำแข็ง และ prefrozen eutectic icepack ซึ่งบรรจุไว้ในกล่องป้องกันการถ่ายเทความร้อน โดยอาศัยความจริงที่ว่า การเก็บตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ  $2^{\circ}\text{C}$  หรือต่ำกว่าจะมีการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพียงเล็กน้อยหรือไม่มีการเจริญเลย [1]

การเก็บรักษาและขนส่งตัวอย่างในสภาพแช่เย็นสำคัญมากที่สุดสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ ถ้าหากเก็บตัวอย่างเพียงเพื่อที่จะวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีสามารถเก็บรักษาตัวอย่างได้โดยการเติมสารต้านจุลินทรีย์ลงไป สารเคมีที่ต้านจุลินทรีย์ที่ใช้กันมากได้แก่ โพแทสเซียมไดโครเมต (potassium dichromate) เมอร์คิวริกคลอไรด์ (mercuric chloride) และโซเดียมแอไซด์ (sodium azide) โบรโนพอล (bronopol) เป็นสารกันเสียที่ถูกย่อยสลายได้ทางชีวภาพซึ่งเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อม ใช้กันมากในการถนอมตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี [1]

#### 4.8.2 การตรวจสอบคุณภาพน้ำนมดิบทางจุลินทรีย์

ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำนมดิบก่อนรับซื้อ นอกจากจะต้องวัดอุณหภูมิและชั่งน้ำหนักแล้วคุณภาพทางประสาทสัมผัส คุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางจุลินทรีย์เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องตรวจสอบ ก่อนอื่นควรตรวจสอบดูลักษณะปรากฏความสะอาดดีและกลิ่นของน้ำนมที่รีดได้จากฟาร์ม ก่อนที่จะรวมน้ำนมเข้ากับน้ำนมจากแหล่งอื่น จากนั้นจึงนำน้ำนมไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ  $63.3^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 35 นาที แล้วทำให้เย็นลงก่อนชิม ตรวจสอบรสชาติของน้ำนมที่ผลิตปกติ

##### 4.8.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ของน้ำนมดิบ

จำนวนจุลินทรีย์ในน้ำนมดิบเป็นสิ่งที่เกษตรกรและผู้ประกอบการให้ความสนใจ ตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติเกี่ยวกับน้ำนมดิบ (มอกช. 6003-2548) ได้กล่าวว่าน้ำนมดิบขั้นดี

มาก ชั้นดี และชั้นมาตรฐานควรมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 200,000, 200,000 - < 400,000 และ 400,000 - 600,000 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) ขณะที่มาตรฐานขององค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา กล่าวว่าน้ำนมดิบและผลิตภัณฑ์นมเกรด A ควรมีจำนวนแบคทีเรีย (total bacterial count, TBC) ทั้งหมดไม่เกิน 100,000 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ก่อนรวมกับนมจากแหล่งอื่น (ตารางที่ 4.3) และหลังจากพาสเจอร์ไรส์ควรมีจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดไม่เกิน 20,000 โคโลนีต่อมิลลิลิตร [2]

ดังนั้นจะต้องตรวจสอบจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำนมดิบ เพื่อจะได้ทราบว่าน้ำมนั้นได้มาตรฐานหรือไม่ นอกจากนี้ผู้ประกอบการบางรายยังได้กำหนดราคาที่สูงสำหรับน้ำนมดิบที่มีจำนวนแบคทีเรียต่ำด้วย เนื่องจากจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดเกี่ยวข้องกับคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ที่ได้ แบคทีเรียปริมาณมากอาจรอดชีวิตได้หลังการทำลายด้วยความร้อนในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์เป็นผลให้น้ำนมพาสเจอร์ไรส์มีจำนวนแบคทีเรียสูงซึ่งจะไม่ปลอดภัยและยังลดคุณภาพและอายุการเก็บของน้ำนมด้วย และอาจมีเอนไซม์ที่ผลิตโดยแบคทีเรียในน้ำนมซึ่งจะส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์นมต่ำลงอีกด้วย

#### 4.8.2.2 การตรวจหาจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด (Total Bacterial Count, TBC) ด้วยวิธีพื้นฐาน

จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด (TCB) ในน้ำนมปกติทำได้โดยใช้วิธี Standard Plate Count (SPC) อาจเรียกว่า Total Viable Count (TVC) หรือ Petrifilm Aerobic Count (PAC) ด้วยแผ่น Petrifilm aerobic count plate ของบริษัท 3M ในการใช้วิธี SPC นั้นแบคทีเรียที่มีชีวิตทั้งหมดจะเจริญขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Standard Method Agar ที่บ่มที่อุณหภูมิ 35-37°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ส่วนวิธี PAC ทำเช่นเดียวกันแต่ใช้แผ่นเพตริฟิล์มแทนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ อย่างไรก็ตามทั้งสองวิธีนี้ต้องใช้ใช้เวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมงจึงจะเห็นผล อาจใช้วิธีอื่นก็ได้แต่ได้รับความนิยมน้อยกว่า SPC และ PAC

ถึงแม้ว่าการตรวจหาจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด (TBC) จะให้ข้อมูลที่มีประโยชน์ในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำนมได้ในระดับหนึ่ง แต่การหา TBC ก็มีประโยชน์น้อยในการบ่งชี้ถึงแหล่งปนเปื้อนเพื่อประเมินความเสี่ยงของน้ำนมที่จะปนเปื้อนด้วยแบคทีเรีย ดังนั้นจึงอาจตรวจหาเชื้อแบคทีเรียเพราะชนิดได้โดยใช้ selective media ที่เฉพาะสำหรับตรวจหาเชื้อชนิดนั้น อาจทำให้บ่งชี้ถึงแหล่งการปนเปื้อนได้ซึ่งช่วยในการวิธีป้องกันการปนเปื้อนในอนาคต นอกจากนี้การจำแนกชนิดของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำนมยังใช้ในการประเมินคุณภาพของจุลินทรีย์และประเมินความปลอดภัยของน้ำมนั้น [2] สำหรับน้ำนมดิบที่แช่เย็นควรตรวจหาจำนวนแบคทีเรียไฮโคโรโทรฟซึ่งทำได้โดยวิธีเดียวกับ SPC แต่ต้องนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 5°C เป็นเวลา 7-10 วัน

ตารางที่ 4.2 การแบ่งชั้นคุณภาพน้ำนมดิบตามคุณลักษณะ (มอกช. 6003-2548)

ชั้นคุณภาพ คุณลักษณะ	ชั้นดีมาก (Premium)	ชั้นดี (Good)	ชั้นมาตรฐาน (Standard)
1. จำนวนจุลินทรีย์ ทั้งหมด	< 200,000 colony/ml	200,000 ถึง < 400,000 colony/ml	400,000 ถึง < 600,000 colony/ml
2. เซลล์โซมาติก (Somatic cell)	< 200,000 cell/ml	200,000 ถึง < 350,000 colony/ml	350,000 ถึง < 500,000 colony/ml
3. โปรตีน (Protein)	> 3.4%	> 3.2 ถึง 3.4%	3.0 ถึง 3.2%
4. ไขมัน (Fat)	> 4%	> 3.6 ถึง 4%	3.2 ถึง 3.6%
5. เนื้อมทั้งหมด (Total solids)	> 12.7%	> 12.5 ถึง 12.7%	12.3 ถึง 12.5%

ตารางที่ 4.3 มาตรฐานด้านจำนวนแบคทีเรียของน้ำนมดิบและน้ำนมพาสเจอร์ไรส์ขององค์การอาหาร  
และยาของสหรัฐอเมริกา

ผลิตภัณฑ์	การทดสอบ	มาตรฐาน
น้ำนมดิบและผลิตภัณฑ์ของ นมเกรด A	จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด	$\leq 100,000$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร ก่อนรวมกับน้ำนมจากแหล่งอื่น $\leq 300,000$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร หลังรวมกับน้ำนมจากแหล่งอื่น
น้ำนมพาสเจอร์ไรส์และ ผลิตภัณฑ์นมเกรด A	จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด โคลิฟอร์ม	$\leq 20,000$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร $\leq 10,000$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร
น้ำนมแปรรูปและผลิตภัณฑ์ นมปลอดเชื้อเกรด A	จำนวนแบคทีเรียทั้งหมด	ไม่มีการเจริญถ้าตรวจสอบด้วย วิธี Standard Plate Count หรือวิธีอื่นที่เทียบเท่ากัน

ที่มา: Hayes และ Boor [2]

#### 4.8.2.3 การตรวจจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดด้วยวิธีที่รวดเร็ว

##### n) Direct Microscopic Count (DMC)

DMC เป็นวิธีที่รวดเร็วในการตรวจหาจำนวนแบคทีเรียทั้งหมด ทราบผลภายใน 10-15 นาที วิธีนี้ต้องย้อมสีของแบคทีเรียที่เกลี่ยเป็นฟิล์มบาง ๆ บนกระจกสไลด์ การย้อมสีทำให้เห็นรูปร่างของเซลล์แบคทีเรียและไซมาติกเซลล์ แต่มีข้อเสียคือยากที่จะเห็นความแตกต่างของเซลล์ที่มีชีวิตกับเซลล์ที่ตาย วิธีนี้มีความไวไม่ต่อนักในทางปฏิบัติจึงไม่เหมาะกับน้ำนมที่จำนวนแบคทีเรียต่ำ [1]

##### ข) Bactoscan

วิธีนี้เป็นวิธีที่รวดเร็ววิธีใหม่ในการตรวจหาจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดในน้ำนม วิธี Bactoscan (Foss Food Technology Corp., Eden Prairie, MN) ใช้สีย้อมฟลูออเรสเซนต์ช่วยในการนับเซลล์แบคทีเรีย ก่อนอื่นเซลล์ไซมาติก เม็ดไขมันและอนุภาคเคซีนจะถูกย่อยสลายทางเคมีก่อน จากนั้นนำไปเซนตริฟิวส์เพื่อแยกออกจากเซลล์แบคทีเรีย จากนั้นจึงย้อมสีของแบคทีเรียด้วยสีย้อม acridine orange ส่องดูและนับจำนวนเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนต์ เซลล์ที่ตายจะเรืองแสงสีเขียวเนื่องจาก DNA เรืองแสงสีแดง ส่วนเซลล์ที่มีชีวิตจะเรืองแสงสีแดงเพราะ RNA เรืองแสงสีแดง [2]

##### ค) Direct Epifluorescent Filter Technique (DEFT)

DEFT เป็นวิธีที่รวดเร็วในการตรวจหาจำนวนจุลินทรีย์ในน้ำนม มีหลักการคล้ายกับวิธี Bactoscan องค์ประกอบนมจะถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ จากนั้นจึงแยกแบคทีเรียออกโดยการกรองด้วยบัมพูญญากาศผ่านแผ่นกรอง แบคทีเรียจะติดอยู่บนแผ่นกรอง ย้อมสีแบคทีเรียด้วยสีย้อมฟลูออเรสเซนต์ เช่น สีย้อม acridine orange นำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนต์ การเรืองแสงเป็นสีได้ขึ้นอยู่กับปริมาณ RNA และ DNA ในเซลล์แบคทีเรีย ปกติ DNA เรืองแสงสีเขียว RNA เรืองแสงสีแดง วิธีนี้ใช้เวลาเพียงประมาณ 20 นาที จึงทราบผล มีความไวประมาณ  $10^3 - 10^4$  เซลล์ต่อมิลลิลิตรแต่สิ้นเปลืองแรงงานค่อนข้างมาก ผู้ตรวจสอบจำเป็นต้องได้รับการฝึกอบรมมาอย่างดี

#### 4.8.2.4 การวัดกิจกรรมเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์

ตัวอย่างของวิธีนี้คือ Dye reduction test โดยจะประเมินกิจกรรมของจุลินทรีย์จากเวลาที่ใช้ในการรีดิวซ์ (dye) เช่น เมทิลีนบลู (methylene blue) วิธีนี้สามารถใช้ประเมินคุณภาพของน้ำนมดิบด้านสุขลักษณะได้ นอกจากนี้วิธีนี้แล้วยังมีวิธีอื่นอีกเช่น การวัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่าง (microcalorimetry) ใช้เพื่อประเมินชีวมวลของแบคทีเรีย (bacterial biomass) เนื่องจากแบคทีเรียที่มีชีวิตจะทำให้เกิดความร้อนจากกิจกรรมภายในเซลล์

#### 4.8.2.5 การวัดผลิตภัณฑ์จากกิจกรรมเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์

ตัวอย่างเช่นวิธี ATP bioluminescence วิธีนี้ใช้ตรวจหาจำนวนจุลินทรีย์ในน้ำนมดิบได้อย่างรวดเร็วภายใน 10 นาที อาศัยหลักการที่ว่าเซลล์ที่มีชีวิตทุกเซลล์ประกอบด้วย ATP ซึ่งจะกระทำตัวเป็นสับสเตรท (substrate) ในสภาพที่มีออกซิเจน สาร luciferin และเอนไซม์ luciferase จะเกิดปฏิกิริยาให้แสงออกมาดังนี้

ATP + luciferin + oxygen luciferase reaction products + light ขึ้นแรกจะบ่มน้ำนมในสภาพที่สาร somatic cell-lysing agent จากนั้นนำมากรองผ่านเครื่องกรองแบคทีเรีย ทำให้เซลล์ของแบคทีเรียที่ติดอยู่บนแผ่นกรองแตกและผสมกับสารดังกล่าวข้างต้น เกิดปฏิกิริยาให้แสงออกมา วัดได้ด้วยเครื่องวัดซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณ ATP และจำนวนแบคทีเรียในตัวอย่าง ความไวของวิธีนี้คือสามารถตรวจหาจุลินทรีย์ในนมที่มีจำนวนต่ำถึง  $10^4$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร

#### 4.8.2.6 Preliminary Incubation Count หรือ PI – SPC

วิธีนี้จะบ่มน้ำนมดิบที่อุณหภูมิ  $12.8^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ก่อนนำน้ำนมไปตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดด้วยวิธี Standard Plate Count (SPC) สามารถใช้บ่งบอกว่าน้ำนมตัวอย่างที่ตรวจสอบนั้นผ่านการผลิตมาอย่างถูกต้องลักษณะหรือไม่ อย่างไรก็ตามมีผู้กล่าวว่าอุณหภูมิที่  $12.8^{\circ}\text{C}$  ไม่มีผลในการคัดเลือกจุลินทรีย์เฉพาะกลุ่มดังนั้นวิธีนี้ปัจจุบันจึงไม่ค่อยได้รับความนิยมมากนักในการประเมินคุณภาพน้ำนมดิบ

#### 4.8.2.7 การตรวจหาจำนวนจุลินทรีย์ที่ชอบเจริญที่อุณหภูมิต่ำ (Psychrotrophic Count)

วิธีนี้ทำได้โดยวิธีเดียวกับวิธี SPC ทุกประการแต่จะต้องนำงานเพาะเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ  $5-7^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 10 วัน

#### 4.8.2.8 การตรวจหาจำนวนจุลินทรีย์ทนความร้อน (Thermotolerant count)

ในอุตสาหกรรมนม จุลินทรีย์ทนความร้อนหมายถึงจุลินทรีย์ที่สามารถทนต่ออุณหภูมิในการพาสเจอร์ไรส์ได้ ในห้องปฏิบัติการมักจะนำน้ำนมไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ  $63^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตด้วยวิธี SPC รายงานผลเป็น Laboratory Pasteurization Count ต่อมิลลิลิตรจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตมักจะพบได้ในผลิตภัณฑ์

#### 4.8.2.9 การตรวจหาจำนวนแบคทีเรียโคลิฟอร์ม

แบคทีเรียโคลิฟอร์มเป็นแบคทีเรียแกรมลบรูปท่อน ไม่สร้างสปอร์มีทั้งชนิดที่ต้องการอากาศในการเจริญและพวกที่เจริญได้ทั้งสภาพที่มีและไม่มีอากาศ มักแลคโตสให้กรดและแก๊สที่อุณหภูมิ

32 หรือ 35°C ภายใน 48 ชั่วโมง ปกติใช้จำนวนแบคทีเรียโคลิฟอร์มในการบ่งชี้ถึงสภาพการผลิตที่ถูกสุขลักษณะในกระบวนการผลิตและบรรจุผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์ แบคทีเรียโคลิฟอร์มถูกทำลายหมดหลังการพาสเจอร์ไรส์ ถ้าพบแบคทีเรียโคลิฟอร์มในน้ำนมพาสเจอร์ไรส์ชี้ให้เห็นถึงการปนเปื้อนหลังพาสเจอร์ไรส์ (postpasteurization contamination) และยังใช้แบคทีเรียโคลิฟอร์มเป็น จุลินทรีย์บ่งชี้ (indicator organism) ซึ่งหมายความว่า ถ้าพบแบคทีเรียโคลิฟอร์มในสภาพนั้น อาจจะมี enteric pathogens เช่น *Salmonella* ได้เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามไม่มีมาตรฐานทางกฎหมายที่ระบุจำนวนโคลิฟอร์มที่อาจพบในวัตถุดิบที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์นม แต่มีผู้แนะนำว่าจำนวนโคลิฟอร์ม 100 เซลล์ต่อมิลลิลิตรใช้ในการคัดเลือกน้ำนมดิบในขั้นต้น

### เอกสารอ้างอิง

1. Harding, F. 1995. Hygienic quality, pp. 40-59. In: Harding, F. (Ed.). Milk Quality, Blackie Academic & Professional, London.
2. Hayes, M.C. and Boor, K. 2001. Raw milk and fluid milk products, pp. 59-76. In: Marth, E. H. and Steele, J. L. (Eds.). Applied Dairy Microbiology, 2nd ed. Marcel Dekker, Inc., New York.
3. Harmon, R. 1995. Mastitis and milk quality, pp. 25-38. In: Harding, F. (Ed.). Milk Quality, Blackie Academic & Professional, London.
4. Weimer, P. J. 2001. Microbiology of the dairy animal, pp. 1-58. In: Marth, E. H. and Steele, J. L. (Eds.). Applied Dairy Microbiology, 2<sup>nd</sup> ed. Marcel Dekker, Inc., New York.
5. Kirkland, W. 2001. Principle of automation in the dairy industry, pp. 1-52. In: Tamine, A. Y. and Law, B. A. (Eds.). Mechanisation and Automation in Dairy Technology. Sheffield Academic Press, England.
6. Muir, D. D. and A. Y. Tamine. 2001. Liquid milk, pp. 53-94. In: Tamine, A. Y. and Law, B. A. (Eds.). Mechanisation and Automation in Dairy Technology. Sheffield Academic Press, England.

## บทที่ 5

### กระบวนการพื้นฐานในการผลิตผลิตภัณฑ์นมชนิดเหลว

ผลิตภัณฑ์นมชนิดเหลว (fluid milk products) สามารถถูกส่งต่อไปยังผู้บริโภคภายหลังจากการให้ความร้อนซึ่งผลิตภัณฑ์นมชนิดเหลวที่ผลิตขึ้นในปัจจุบันมีหลายชนิดได้แก่ น้ํานมพร้อมมันเนย น้ํานมพร้อมมันเนย หางนม น้ํานมปรุงแต่ง น้ํานมเพิ่มวิตามินและแร่ธาตุ น้ํานมเปรี้ยว และครีมทั้งชนิดที่ผ่านความร้อนแบบพาสเจอร์ไรส์ สเตอริไลซ์ และยูเอชที ผลิตภัณฑ์นมเหล่านี้ส่วนใหญ่ใช้กรรมวิธีการผลิตที่ไม่แตกต่างกันมากนักซึ่งมีขั้นตอนการผลิตพื้นฐานคล้ายๆ กัน หลังจากที่ได้รับน้ํานมดิบแล้วจะนำมาแยกสิ่งสกปรก แยกครีม ปรับมาตรฐานไขมัน ไฮโมจีไนส์ ให้ความร้อน ทำให้เย็น และบรรจุ

#### 5.1 คุณภาพของน้ํานมดิบ

ในการที่จะผลิตผลิตภัณฑ์นมให้มีคุณภาพดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคนั้น น้ํานมดิบที่ใช้เป็นวัตถุดิบจะต้องมีคุณภาพดีด้วย ซึ่งน้ํานมดิบที่จะนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์นมจะต้องปราศจากสิ่งสกปรก เลือด สารปฏิชีวนะ สารเคมีตกค้างต่าง ๆ สิ่งแปลกปลอมที่เห็นได้ด้วยตาเปล่า และควรมีจุลินทรีย์ปนเปื้อนน้อย โดยทั่วไปน้ํานมดิบจากวัวที่มีสุขภาพดีเมื่อผ่านการรีดด้วยเทคนิคปลอดเชื้อจะมีแบคทีเรียปนเปื้อนน้อยคือมีประมาณ 500-1,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ส่วนน้ํานมดิบที่ผ่านการรีดในสภาพปกติที่มีสุขภาพดีจะมีแบคทีเรียที่ต่ำกว่า 10,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร แต่ถ้าพบว่าน้ํานมดิบที่รีดได้มีแบคทีเรียปนเปื้อนสูง คือ มีจำนวนมากกว่า 10,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ซึ่งให้เห็นถึงสุขภาพในการผลิตที่ไม่ดี จุลินทรีย์อาจปนเปื้อนมาจากทั้งภายในเต้านมและสิ่งแวดล้อมรอบๆ ตัวสัตว์ และจากอุปกรณ์ที่ไม่สะอาด สำหรับชนิดของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ํานมดิบ ถ้าเป็นจุลินทรีย์จากผิวของเต้านมและอุปกรณ์ที่ใช้รีดนมมักพบเชื้อ *Escherichia coli*, *Streptococcus* และแบคทีเรียโคลิฟอร์ม ส่วนจุลินทรีย์จากอุปกรณ์ทั่วไปที่ใส่บรรจุนม มักเป็นจุลินทรีย์พวกที่สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดี (thermoduric microorganisms) ซึ่งอาจพบแบคทีเรียในปริมาณสูง ( $1.0 \times 10^2$ - $1.0 \times 10^3$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ชนิดที่พบมากได้แก่ *Streptococcus faecalis*, *Bacillus cereus* และ *Micrococcus* แต่ถ้าพบ *Staphylococcus* (ชนิดที่ให้ผลบวกกับ coagulase test), *Streptococcus*, *Corynebacterium* และ *Escherichia* ซึ่งให้เห็นว่าปนเปื้อนมาจากวัวที่เป็นโรคเต้านมอักเสบ นอกจากนี้ในน้ํานมดิบอาจพบเชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของวัณโรคและโรคแท้งติดต่อ คือ *Mycobacterium tuberculosis* และ *Brucella abortus* ตามลำดับ

แบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคที่อาจพบเป็นนมาจากมูลสัตว์ ได้แก่ *Salmonella*, *Listeria* และ *Campylobacter* จุลินทรีย์ต่างๆ เหล่านี้ถูกทำลายได้โดยการพาสเจอร์ไรส์ อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์ชนิดที่สร้างสปอร์ ได้แก่ เชื้อ *Clostridium perfringens* และ *Bacillus cereus* สามารถอยู่รอดได้หลังจากพาสเจอร์ไรส์น้ำนม [1]

## 5.2 การรับน้ำนมดิบและการเก็บรักษา

ในการรับซื้อน้ำนมดิบ โรงงานอาจเป็นฝ่ายไปรับซื้อจากฟาร์มหรือศูนย์รวมน้ำนม (collection centre) ที่อยู่ใกล้ฟาร์มหรือเกษตรกรแต่ละคนอาจนำน้ำนมที่รีดได้ไปขายยังโรงงานเอง สิ่งสำคัญคือเวลาที่ใช้ในช่วงการรีดนม การส่งน้ำนมไปจำหน่ายและการรับน้ำนมควรสั้นที่สุด นอกจากนี้ทันทีที่รีดนมเสร็จจะต้องทำให้เย็นอย่างรวดเร็วถึง  $4.4^{\circ}\text{C}$  หรือต่ำกว่า และรักษาอุณหภูมิของน้ำนมให้ต่ำอยู่เสมอ ตลอดเวลาที่เก็บน้ำนมอยู่ที่ฟาร์มจนกระทั่งส่งไปถึงโรงงาน ทั้งนี้เพื่อชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เน่าเสียและจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคโดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่สร้างสารพิษ การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำนมดิบจะเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับสภาวะในการรีดนม อุณหภูมิของน้ำนมและระยะเวลาการเก็บรักษาน้ำนม โดยไม่ควรเก็บน้ำนมดิบอยู่ที่ฟาร์มนานเกินกว่า 2 วัน ถึงแม้ว่าจะมีอุปกรณ์ทำความเย็นอย่างเหมาะสมก็ตาม เนื่องจากอุณหภูมิต่ำไม่สามารถป้องกันการผลิตไลเปสและโปรตีนเอสจากเชื้อจุลินทรีย์พวกไซโครโทรฟได้ เอนไซม์เหล่านี้เป็นเอนไซม์ที่ทนความร้อนได้ดีซึ่งจะคงอยู่ในผลิตภัณฑ์นมหลังจากผ่านความร้อนและจะเป็นสาเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์นมเสียในระหว่างเก็บรักษา [1, 2]

เมื่อน้ำนมถูกส่งมายังโรงงานหรือเมื่อไปรับน้ำนมดิบจากฟาร์ม จะวัดอุณหภูมิของน้ำนมก่อนว่ามีอุณหภูมิต่ำกว่า  $5^{\circ}\text{C}$  หรือไม่ จากนั้นจึงสุ่มตัวอย่างน้ำนมที่ไปตรวจสอบคุณภาพ เพื่อที่จะได้ทราบถึงคุณภาพของน้ำนมดิบว่าเหมาะสมที่จะรับซื้อหรือไม่และเป็นพื้นฐานในการกำหนดราคาของน้ำนมดิบ ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำนมดิบก่อนรับซื้อ ขั้นแรกจะทำการตรวจสอบน้ำนมที่ทราบผลอย่างรวดเร็วเช่น ตรวจสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสได้แก่ กลิ่น สี ความเป็นกรด และชิมรสหลังจากให้ความร้อน ตรวจสอบลักษณะปรากฏ สภาพของถังบรรจุนม วัดค่าพีเอช ตรวจหาความเป็นกรด (titratable acidity) ทดสอบกับแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 68% (68% alcohol test) การทดสอบการตกตะกอนหลังการต้ม (clot-on-boiling test) ขั้นที่สองจะเป็นการตรวจสอบที่ได้ผลช้าได้แก่ การตรวจหาปริมาณองค์ประกอบนมเช่น หาปริมาณไขมันและปริมาณของแข็งทั้งหมด ตรวจดูสิ่งแปลกปลอมที่ตกตะกอน (sedimentation test) ตรวจหาสารปฏิชีวนะตกค้าง ตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนแบคทีเรียโคลิฟอร์ม จำนวนเชื้อรา และยีสต์เพื่อจะได้ทราบถึงคุณภาพทางจุลินทรีย์ของน้ำนม วัดจุดเยือกแข็งของน้ำนมซึ่งใช้เป็นดัชนีบ่งชี้

ว่ามีการเติมน้ำลงในน้ำนมหรือไม่ บางครั้งตรวจหาจำนวนโซมาติกเซลล์ (somatic cell) เพื่อจะได้ทราบว่าเป็นน้ำนมจากวัวที่เป็นโรคเต้านมอักเสบหรือไม่ รวมทั้งตรวจหาสารปฏิชีวนะและยาฆ่าแมลงที่อาจติดมากับน้ำนม [3] และหลังจากที่ตรวจสอบคุณภาพของน้ำนมและพร้อมที่จะรับซื้อแล้วจะชั่งน้ำหนักของน้ำมนั้นถ้าน้ำนมบรรจุมาในถังขนาดเล็ก แต่ถ้าบรรจุมาในถังขนาดใหญ่ที่ติดกับรถขนส่งนม อาจวัดปริมาตรด้วยเครื่องวัดปริมาตรหรือชั่งน้ำหนัก โดยการชั่งน้ำหนักของน้ำนมรวมกับน้ำหนักของรถ ถ่ายน้ำนมออกแล้วจึงชั่งน้ำหนักของรถเปล่า สิ่งสำคัญที่จะต้องกระทำหลังจากถ่ายน้ำนมออกจากถัง คือ จะต้องทำความสะอาดถังทันที มิฉะนั้นจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในคราบน้ำนมในถังอาจปนเปื้อนลงในน้ำนมดิบที่จะบรรจุลงถังครั้งต่อไป การทำความสะอาดถังขนาดเล็กอาจทำความสะอาดด้วยมือโดยใช้สารสำหรับทำความสะอาดหรืออาจทำความสะอาดโดยใช้เครื่องมือสำหรับล้างถัง ส่วนการทำความสะอาดถังขนาดใหญ่บนรถขนส่งนม ปัจจุบันได้นำเอาระบบ CIP (Cleaning-in-place) มาใช้โดยปล่อยน้ำและสารละลายฆ่าเชื้อให้ไหลไปตามท่อที่ใช้ขนถ่ายน้ำนมดิบผ่านเข้าไปทำความสะอาดภายในถัง [4, 5]

ในโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปนมที่ทันสมัย หลังจากที่ได้รับน้ำนมเข้าโรงงานแล้ว ชั้นแรกน้ำนมดิบถึงที่รับซื้อจะถูกนำมาใส่รหัส โดยจะส่งงานในห้องควบคุมการทำงาน (remote control room) ผู้ควบคุมจะป้อนข้อมูลในคอมพิวเตอร์เพื่อสั่งให้วาล์วและปั๊มทำงานโดยอัตโนมัติ นอกจากนี้รายละเอียดการสั่งงานจะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูล ซึ่งน้ำนมจะถูกถ่ายโดยปั๊ม ผ่านการกรอง ผ่านเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำนม จากนั้นนำน้ำนมดิบมายืดอายุการเก็บซึ่งอาจทำได้หลายวิธีเช่น 1) การทำให้น้ำนมเย็นลง (deep cooling) โดยปั๊มน้ำนมไปยังอุปกรณ์ทำความเย็นที่จะลดอุณหภูมิของน้ำนมดิบลงถึง 2°C อย่างรวดเร็วเพื่อชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ 2) การนำน้ำนมดิบมาผ่านการเทอร์มิเซชัน (thermisation) โดยจะนำน้ำนมดิบมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65-70°C เป็นเวลา 15 วินาทีจากนั้นจึงทำให้เย็นลงทันที กระบวนการนี้ไม่ได้ทำลายจุลินทรีย์ก่อโรคทั้งหมดและไม่สามารถใช้แทนการพาสเจอร์ไรส์ได้และ 3) ใช้ทั้ง 2 วิธีร่วมกันซึ่งจะมีประสิทธิภาพที่สุดในการยืดอายุการเก็บ โดยสามารถยืดอายุการเก็บน้ำนมดิบได้เป็นเวลานานขึ้น 2-3 วัน หลังจากนั้นจึงเก็บน้ำนมดิบในถังเก็บใหญ่ของโรงงาน ในถังเก็บจะมีใบพัดเพื่อกวนให้อุณหภูมิของน้ำนมสม่ำเสมอในระหว่างการเก็บรักษาก่อนที่จะผ่านไปยังขั้นตอนต่อไป ในทางปฏิบัติ น้ำนมดิบอาจถูกเก็บไว้นานถึง 4 วัน [6, 7]

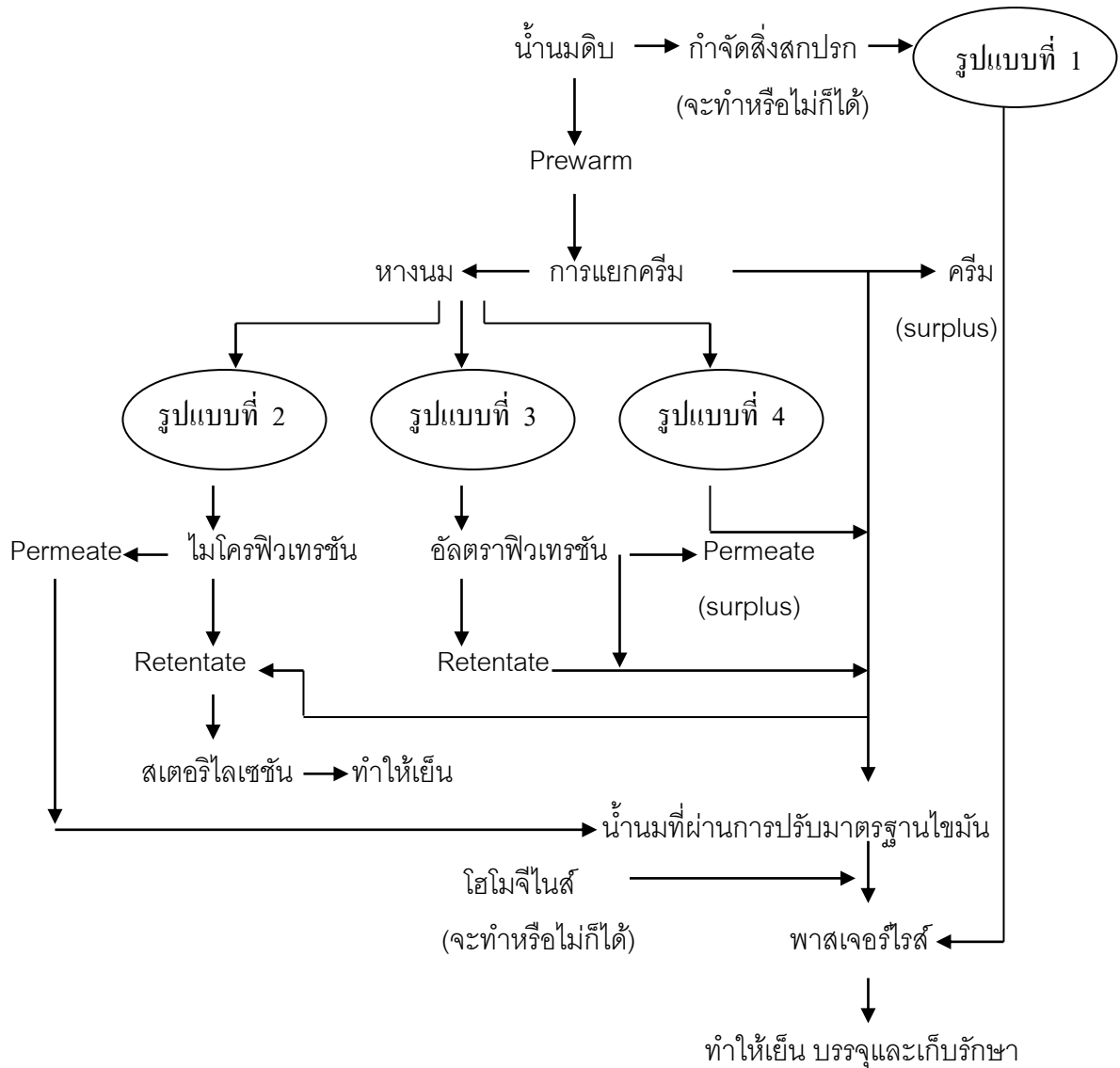
### 5.3 กระบวนการแปรรูปน้ำนม

โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์นมมีอุปกรณ์หลายชนิดที่ต้องใช้คล้ายๆ กัน อุปกรณ์พื้นฐานที่จำเป็น ได้แก่ [7]

1. ถังเก็บน้ำนมขนาดใหญ่ (large tank หรือ silo) ใช้เก็บน้ำนมที่รอการแปรรูป
2. เครื่องกรองหยาบ (course filter) สำหรับขจัดสิ่งแปลกปลอมขนาดใหญ่ที่ตกลงในน้ำนมขณะผลิตในฟาร์ม
3. Mechanical centrifuges ใช้ประโยชน์ได้หลายแบบด้วยกันเช่น
  - 3.1 เครื่องแยกสิ่งสกปรก (clarifiers) ไม่มีช่องที่กรวยโลหะที่ซ้อนกันนั้น มีทางออกทางเดียว
  - 3.2 เครื่องแยกครีม (separators) กรวยโลหะที่ซ้อนกันมีช่องแยกของเหลวมีทางออกสองทาง
  - 3.3 เครื่องแยกสปอร์ของแบคทีเรีย (bactofuges)
  - 3.4 decanter centrifuges ใช้ในการแยกเคซีนที่ตกตะกอนหรือแยกแลคโตสที่ตกผลึก
4. Membrane filtration ตัวอย่างเช่น อัลตราฟิวเทรชัน (ultrafiltration) ใช้ในการทำให้โปรตีนในหางนมเข้มข้น และไม่โครฟิวเทรชัน (microfiltration) ใช้แยกจุลินทรีย์ออกจากหางนม
5. ถังบัฟเฟอร์ (buffer tank) และถังรักษาระดับ (balance tank) ถังบัฟเฟอร์ใช้ในการเก็บน้ำนมชั่วคราว และถังรักษาระดับใช้สำหรับรักษาความดันที่เข้าสู่ปั๊มให้คงที่
6. แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) ใช้เพื่อทำลายจุลินทรีย์ในน้ำนม
7. ท่อ ข้อต่อ และปั๊มใช้สำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปนม
8. อุปกรณ์สำหรับควบคุม ใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำนม ควบคุมอุณหภูมิของการให้ความร้อนและความดันในชุดอุปกรณ์ในโรงงาน
9. สิ่งจำเป็นอื่นๆ เช่น กระแสไฟฟ้า ใอน้ำ น้ำใช้และอากาศอัดความดัน
 

โดยทั่วไปรูปแบบของอุปกรณ์ในโรงงานผลิตน้ำนมพาสเจอร์ไรส์ มีทั้งโรงงานที่มีกระบวนการที่คล้ายกันไปจนถึงแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิตน้ำนมพาสเจอร์ไรส์ซึ่งมีหลายวิธี (รูปที่ 5.1) ผลิตภัณฑ์นมพาสเจอร์ไรส์มีหลายชนิด ดังนี้ [7]

  - ก) น้ำนมพร้อมมันเนยที่ไม่ผ่านการโฮโมจีไนส์ (whole milk without homogenisation)
  - ข) น้ำนมปรับมาตรฐานไขมัน (fat standardised milk) ในช่วงที่เกือบจะปราศจากไขมัน และประมาณ 1.5-3.5 กรัมต่อน้ำนม 100 กรัม น้ำนมประเภทนี้มักจะผ่านการโฮโมจีไนส์ดังนั้นจึงไม่มีการแยกชั้นของครีม
  - ค) น้ำนมพาสเจอร์ไรส์ที่ผ่านการยืดอายุการเก็บ (extended-shelf-life pasteurised milk) โดยกระบวนการการ bactofugation หรือ microfiltration
  - ง) น้ำนมปรับปริมาณโปรตีน โดยกระบวนการอัลตราฟิวเทรชันของหางนม

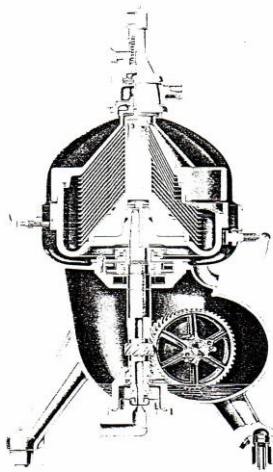


รูปที่ 5.1 แผนภูมิแสดงการผลิตน้ำนมพาสเจอร์ไรส์  
ที่มา: Muir และ Tamine [7]

### 5.3.1 การแยกสิ่งสกปรก (clarification)

สิ่งสกปรกต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำนมดิบรวมถึง เซลล์เม็ดเลือดขาว เซลล์แบคทีเรียที่มีขนาดใหญ่ เซลล์ว่างกายจากเต้านมวัว ฝุ่นผงและสิ่งแปลกปลอมต่างๆ จำเป็นต้องถูกขจัดออกมิฉะนั้นจะตกตะกอนในน้ำนมแปรรูประหว่างการเก็บรักษา การขจัดสิ่งสกปรกเหล่านี้มีหลายวิธี วิธีที่ง่ายที่สุดคือการกรอง แต่ไม่

นิยมใช้เนื่องจากน้ำนมทั้งหมดจะต้องไหลผ่านแผ่นกรองซึ่งมีสิ่งสกปรกค้างอยู่ สารบางอย่างที่มีอยู่ในสิ่งสกปรกอาจจะละลายลงในน้ำนม ยิ่งกว่านั้นจุลินทรีย์ที่ติดอยู่ในสิ่งสกปรกจะถูกชะออกมาและแพร่กระจายไปทั่วน้ำนม วิธีที่มีประสิทธิภาพกว่าการกรองคือ การใช้เครื่องแยกสิ่งสกปรกที่เรียกว่า centrifugal clarifier ดังรูปที่ 5.2 อุปกรณ์ชนิดนี้มีลักษณะคล้ายเครื่องแยกครีม ประกอบด้วยกรวยโลหะซ้อนกันหลาย ๆ ชั้น ซึ่งจะหมุนด้วยความเร็วสูงเมื่อเครื่องทำงาน น้ำนมจะไหลเป็นฟิล์มบาง ๆ ระหว่างกรวยโลหะนี้ สิ่งสกปรกซึ่งมีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำนมจะถูกเหวี่ยงออกไปรวมกันเป็นสารเหนียวที่เรียกว่า clarifier sludge การแยกสิ่งสกปรกด้วยวิธีนี้สามารถกระทำที่อุณหภูมิต่ำได้จึงอาจแยกสิ่งสกปรกก่อนการให้ความร้อน หรืออยู่ร่วมในระบบของการให้ความร้อนในช่วงของการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำนมร้อนกับน้ำนมเย็น (regeneration section) และในโรงงานหลายแห่งในปัจจุบันจะไม่ทำการแยกสิ่งสกปรกเดี่ยวๆ แต่จะแยกสิ่งสกปรกร่วมกันกับการแยกครีม [3, 5]



รูปที่ 5.2 เครื่องแยกสิ่งสกปรก

ที่มา: Potter และ Hotchkiss [3]

### 5.3.2 การกำจัดแบคทีเรียรวมทั้งสปอร์

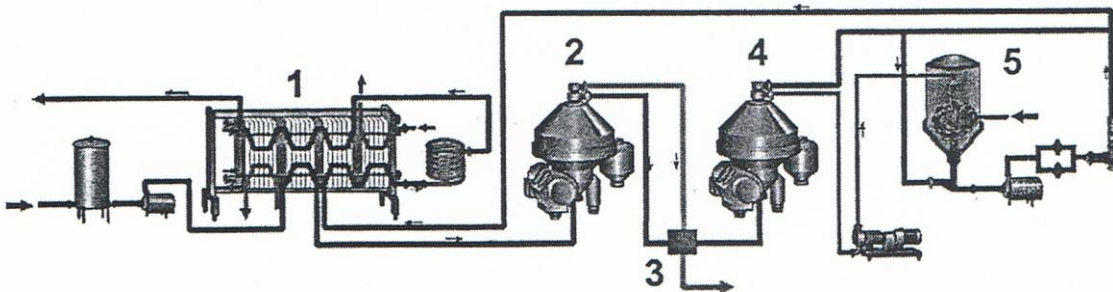
ในการผลิตน้ำนมยืดอายุการเก็บ (รูปที่ 5.3-5.5) ซึ่งจะยังคงมีคุณภาพดีได้นานถึง 3 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ  $5^{\circ}\text{C}$  หรือต่ำกว่า ทำได้โดยการใช้กระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่มีประสิทธิภาพร่วมกับการกำจัดจุลินทรีย์โดยแบคโตฟิวเกชัน (bactofugation) หรือไมโครฟิวเทรชัน (microfiltration)

### 5.3.2.1 แบคโตฟิวเกชัน

แบคโตฟิวเกชัน (bactofugation) เป็นระบบการกำจัดจุลินทรีย์ออกจากนํ้านมโดยอาศัยหลักแรงโน้มถ่วง (centrifugal separation) กระบวนการนี้พัฒนาขึ้นจากกระบวนการผลิตเนยแข็งเพื่อกำจัดเชื้อแบคทีเรียที่สร้างสปอร์ที่มีชื่อว่า *Clostridium tyrobutyricum* ที่ทำให้เกิด “blowing” ในเนยแข็งที่มี pH สูง เช่นเนยแข็ง Emmental, Gouda และ Edam อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการนี้มีหลายแบบ

- ก) แบคโตฟิวส์ 2 ขั้นตอน (a two-phase bactofuge) มีการขจัดแบคโตฟิวเกต (bactofugate) ออกอย่างต่อเนื่อง
- ข) แบคโตฟิวส์ 1 ขั้นตอน (a single-phase bactofuge) มีการขจัดแบคโตฟิวเกตออกเป็นครั้งคราว
- ค) ดับเบิลแบคโตฟิวเกชัน (double bactofugation) มีแบคโตฟิวส์ 2 ชุด

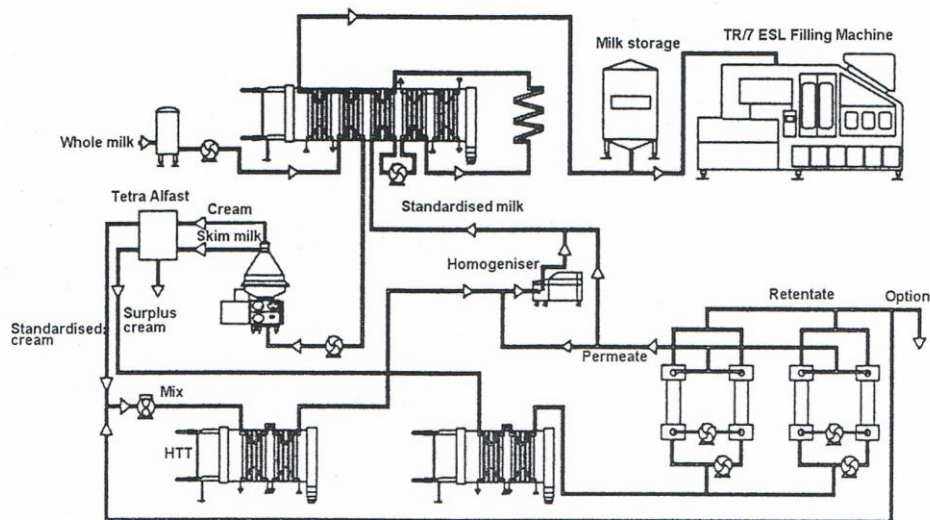
กระบวนการผลิตนํ้านมที่ใช้แบคโตฟิวส์ 2 ขั้นตอน (two-phase bactofuge) ซึ่งมีการขจัดแบคโตฟิวเกตออกอย่างต่อเนื่องแสดงดังรูปที่ 5.3 นํ้านมดิบพร้อมมันเนยผ่านการอุ่น แยกครีมและปรับมาตรฐานไขมัน จากนั้นผ่านเข้าแบคโตฟิวส์ซึ่งทำงานในสภาพที่มีอากาศจำกัดและผลิตส่วนของของเหลวที่หนัก (heavy phase) อย่างต่อเนื่อง (ส่วนที่มีแบคทีเรียมากหรือ bacterial concentrate) จากนั้นแบคโตฟิวเกตหรือ sludge (เท่ากับ 3 มิลลิลิตรต่อ 100 มิลลิลิตรของนํ้านมที่ป้อนเข้าไป) จะถูกนำไปผ่านความร้อนด้วย infusion steriliser ที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 2-3 วินาที จากนั้นแบคโตฟิวเกตร้อน (sludge) ที่ออกมาจะถูกทำให้เย็นโดยผสมกับนํ้านมครึ่งหนึ่งที่ผ่านเครื่องแบคโตฟิวส์ออกมาแล้ว ก่อนที่จะผสมเข้ากับนํ้านมที่เหลือซึ่งไหลผ่านมา (รูปที่ 5.3) ต่อมานํ้านมนี้จะถูกพาสเจอร์ไรส์ด้วยแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน [7]



รูปที่ 5.3 แบคโตฟิวส์ 2 ขั้นตอนมีการขจัดแบคโตฟิวเกตอย่างต่อเนื่องและฆ่าเชื้อในแบคโตฟิวเกต: หมายเลข 1 เครื่องพาสเจอร์ไรส์ หมายเลข 2 เครื่องแยกครีม หมายเลข 3 ชุดปรับมาตรฐานไขมันอัตโนมัติ หมายเลข 4 เครื่องแบคโตฟิวส์สองขั้นตอน และ หมายเลข 5 infusion steriliser ที่มา: Muir และ Tamine [7]

### 5.3.2.2 ไมโครฟิวเทรชัน (Microfiltration)

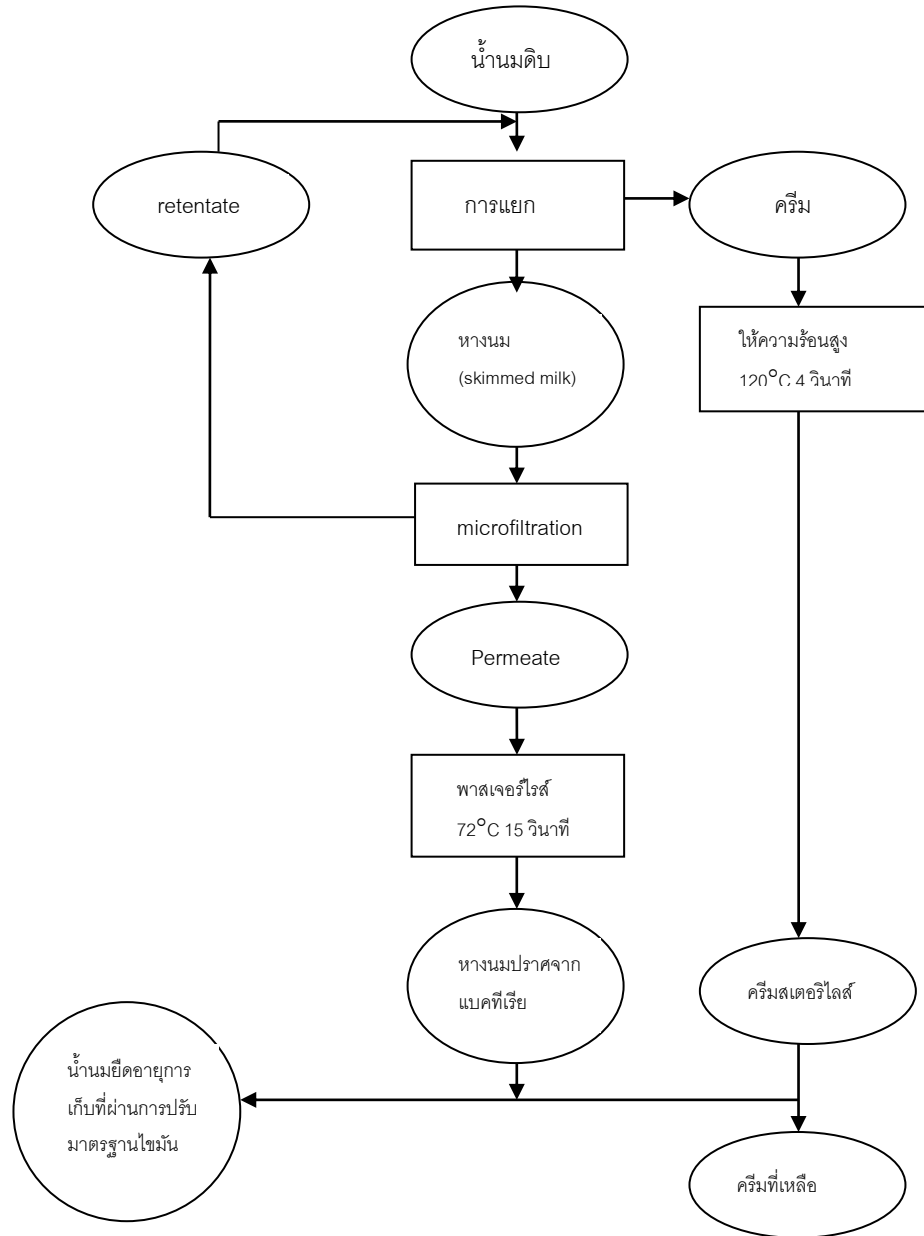
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเมมเบรน (membrane pore size) ประมาณ 1.4 ไมโครเมตร กระบวนการไมโครฟิวเทรชันสามารถลดจำนวนแบคทีเรียและสปอร์ได้ถึงร้อยละ 99.5-99.99 โดยปริมาตร ตัวอย่างของ Tetra Therm ESL process (รูปที่ 5.4) ดังนี้ น้ํานมผ่านการอุ่นที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  ในแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (plate heat exchanger) และผ่านเครื่องแยกครีม จากนั้นทำให้น้ํานมเย็นที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  จากนั้นป้อนเข้าสู่ชุดไมโครฟิวเทรชัน (Microfiltration module) ภายใต้ความดันคงที่ 10-50 kPa ทำให้ได้น้ํานม 2 ส่วนคือ permeate (95 มิลลิลิตรต่อ 100 มิลลิลิตร) และ retentate (5 มิลลิลิตรต่อ 100 มิลลิลิตร) ซึ่งมีของแข็งทั้งหมด 9-10 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ใน retentate มีแบคทีเรียและยีสต์เกือบทั้งหมดที่มีในน้ํานม ส่วนของนม retentate ที่มีแบคทีเรียจำนวนมากอาจแยกทิ้งไปหรือผสมกับครีมแล้วนำไปผ่านการสเตอริไลส์ที่อุณหภูมิ  $120-130^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 2-4 วินาทีแล้วทำให้เย็นลงถึง  $50^{\circ}\text{C}$  แล้วนำไปผสมกับน้ํานมที่ปราศจากแบคทีเรีย หรืออีกทางหนึ่งอาจเอานม retentate ไปผสมกับน้ํานมดิบที่เพิ่งเข้ามาและผ่านกระบวนการอีกครั้ง น้ําน้ํานมไปไฮโมจีไนส์ ปรับมาตรฐานและพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ  $72^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 15-20 วินาที ทำให้เย็นลงถึงอุณหภูมิต่ำกว่า  $50^{\circ}\text{C}$  แล้วบรรจุในสภาพปลอดเชื้อ [7]



รูปที่ 5.4 กระบวนการผลิตน้ํานมพาสเจอร์ไรส์ยืดอายุการเก็บด้วย Tetra Therm ESL process

ESL คือ extended-shelf-life; HTT คือ high-temperature treatment

ที่มา: Muir และ Tamine [7]



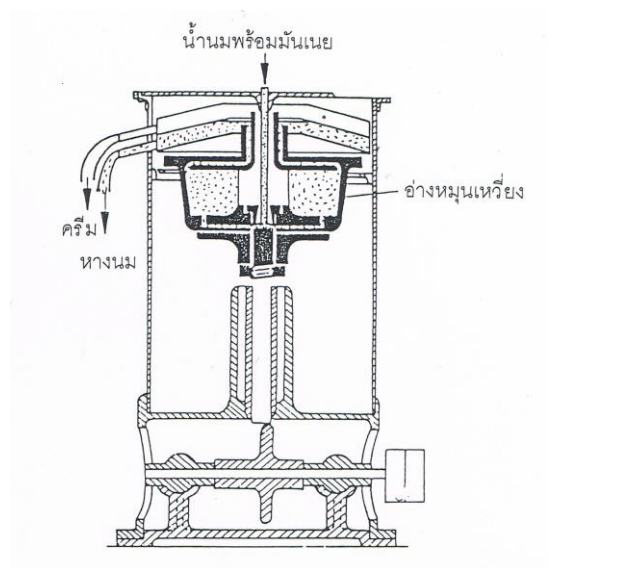
รูปที่ 5.5 การผลิตนํ้านมพาสเจอร์ไรส์ที่ผ่านไมโครฟิวเทรชัน  
ที่มา: Muir และ Tamine [7]

#### 5.4 การแยกครีม (cream separation)

ขั้นแรกจะแยกหางนม (skim milk) ออกจากนํ้านมดิบ จากนั้นนำครีมและหางนมที่ได้มารวมกัน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์นมชนิดเหลวที่มีปริมาณไขมันต่างกัน ได้แก่ 1) นํ้านมขาดมันเนย (skimmed milk) ซึ่งมีไขมันน้อยกว่า 0.5 กรัมต่อนํ้านม 100 มิลลิลิตร 2) นํ้านมพว่องมันเนย (semi-skimmed milk) ซึ่งมี

ไขมันน้อยกว่า 1.5-1.7 กรัมต่อน้ำนม 100 มิลลิลิตร 3) น้ำนมพร้อมมันเนย (whole milk) ซึ่งมีไขมันมากกว่า 3 กรัมต่อน้ำนม 100 มิลลิลิตรและ 4) ผลิตภัณฑ์ครีมชนิดต่างๆ ซึ่งมีไขมันในช่วง 12-55 กรัมต่อน้ำนม 100 มิลลิลิตร [7]

ปกติเมื่อตั้งน้ำนมดิบทิ้งไว้ ไขมันนมจะลอยขึ้นที่ผิวหน้าเกิดเป็นชั้นของครีม (cream line) เรียกกระบวนการนี้ว่า creaming เนื่องจากไขมันนมมีความหนาแน่นต่ำกว่าหางนมและการที่ไขมันและหางนมมีความแตกต่างของความหนาแน่นนี้ใช้เป็นหลักในการแยกไขมันนมหรือครีมออกจากหางนม โดยอาศัยแรงหมุนเหวี่ยง Gustaf de Laval ได้ผลิตเครื่องแยกครีมแบบต่อเนื่อง (continuous centrifugal separator) ขึ้นเป็นครั้งแรก (รูปที่ 5.6) น้ำนมจะถูกบ้วนเข้าเครื่องทางด้านบน ผ่านเข้าไปภายในซึ่งมีอุปกรณ์ที่ทำให้ให้น้ำนมไหลวนด้วยความเร็วสูง เม็ดไขมันซึ่งเบากว่า จะมารวมกันอยู่ตรงกลางเป็นชั้นของครีม ขณะที่หางนมซึ่งหนักกว่าถูกเหวี่ยงออกไปด้านข้างและไหลออกไป ส่วนครีมเมื่อมีมากขึ้นก็จะล้นตามทางออกด้านบน การไหลของครีมจะถูกควบคุมโดยการไหลของน้ำนมที่บ้วนเข้ามาใหม่ [8]



รูปที่ 5.6 เครื่องแยกครีมแบบต่อเนื่องที่ผลิตขึ้นในระยะแรก

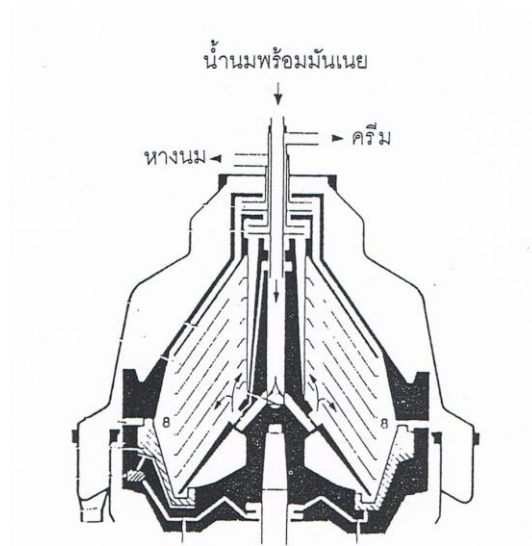
ที่มา: Towler [8]

เครื่องแยกครีมแบบต่อเนื่องที่ผลิตขึ้นในระยะแรกนั้นยังมีประสิทธิภาพไม่ดัดนัก ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาเครื่องแยกครีมแบบต่อเนื่องที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อให้มีการแยกหางนมออกจากครีมให้มากที่สุดทำให้ได้ครีมที่มีไขมันสูง โดยจะต้องเพิ่มระยะทางการเคลื่อนที่ของเม็ดไขมันในเครื่องแยกครีมให้มากขึ้นการแยกจึงจะมีประสิทธิภาพ เครื่องแยกครีมที่มีประสิทธิภาพสูง แสดงดังรูปที่ 5.6 ภายในของเครื่อง

ประกอบด้วยกรวยโลหะ (ทำมุมประมาณ  $60^\circ$ ) เรียงซ้อนกันจำนวนมาก กรวยโลหะแต่ละชั้น ห่างกัน 0.4-0.5 มิลลิเมตร รอบ ๆ กรวยโลหะจะมีช่องให้น้ำนมไหล เมื่อเครื่องทำงานกรวยโลหะนี้จะหมุนด้วยความเร็วสูงประมาณ 6,000 รอบต่อนาที แรงหมุนเหวี่ยงจะทำให้หางนมถูกเหวี่ยงออกโดยเคลื่อนลงไปตามด้านล่าง ส่วนครีมจะเคลื่อนขึ้นด้านบน ดังรูปที่ 5.7 การแยกครีมจะใช้เวลาน้อยกว่า 1 วินาที สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการแยกครีมประมาณ  $40-60^\circ\text{C}$  ถ้าหากใช้อุณหภูมิต่ำจะทำให้ไขมันสูญเสียไปกับหางนมมาก โดยทั่วไปถ้าหากการแยกมีประสิทธิภาพสูงจะได้ครีมที่มีไขมันร้อยละ 40 และหางนมที่มีไขมันร้อยละ 0.04-0.06 [5, 8]

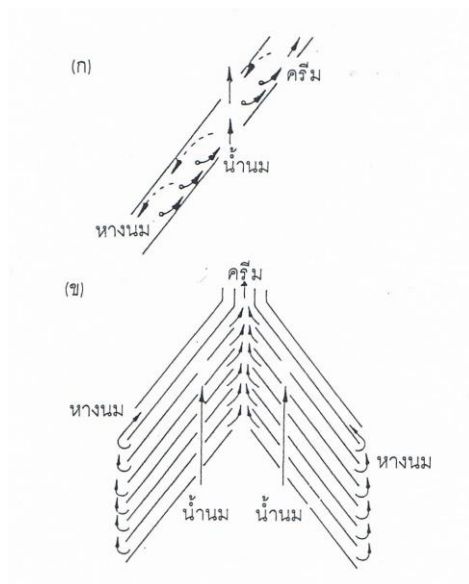
นอกจากนี้ ขณะที่เครื่องแยกครีมทำงาน จะมีสารเหนียว ที่เรียกว่า separator slime หรือ sludge ซึ่งเป็นสิ่งสกปรกในน้ำนมติดอยู่กับผนังกรวย สารนี้มีโปรตีนสูง ถ้ามีมากจะรบกวนการทำงานของเครื่องแยกครีม ซึ่งแก้ไขได้โดย หยุดเครื่องและทำความสะอาด น้ำนมที่มีความเป็นกรดสูงจะมี sludge มาก และ sludge ที่ได้จากการแยกน้ำนมดิบจะมีแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรครวมทั้งสปอร์อยู่ด้วยจึงควรทำลาย sludge โดยใช้ความร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์ [5]

การลดปริมาณสปอร์ของเชื้อแบคทีเรียในน้ำนม อาจทำได้ 2 วิธีคือ 1) ขจัดสปอร์ออกจากหางนมโดยการกรองผ่านเมมเบรน (membrane filtration) หรืออาจเรียกว่า microfiltration 2) การลดจำนวนสปอร์โดย bacto-fugation มีหลักการคล้ายกับการแยกครีมโดยอาศัยความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างสปอร์ของแบคทีเรียกับซีรัมของน้ำนม



รูปที่ 5.7 เครื่องแยกครีมแบบต่อเนื่อง

ที่มา: Towler [8]



รูปที่ 5.8 การเคลื่อนที่ของครีมและหางนมขณะที่แยกครีม  
ที่มา: Towler [8]

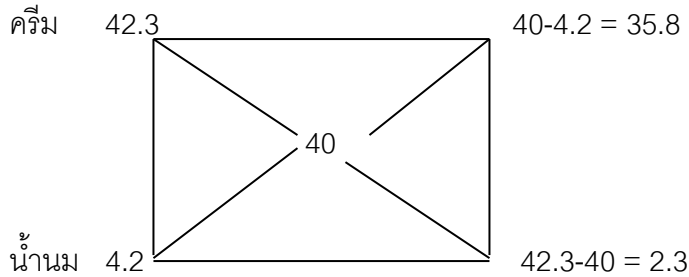
## 5.5 การปรับมาตรฐานไขมัน (standardization)

เพื่อที่จะให้ได้ผลิตภัณฑ์นมที่มีปริมาณไขมันคงที่และได้มาตรฐานตรงตามที่กฎหมายกำหนด จำเป็นต้องทำการปรับมาตรฐานของไขมันในนํ้านม การปรับมาตรฐานของไขมัน อาจทำได้ 2 วิธีคือ การปรับมาตรฐานทางอ้อม ซึ่งทำได้โดยผสมนํ้านม ครีม หรือหางนมเข้าด้วยกัน และการปรับมาตรฐานทางตรง โดยการแยกนํ้านมให้ได้ปริมาณไขมันตามต้องการโดยใช้เครื่องแยกครีม [5]

การปรับมาตรฐานทางอ้อมทำได้โดยการผสมนํ้านมและครีมหรือหางนมเข้าด้วยกัน สามารถคำนวณหาปริมาณนํ้านม ครีม หรือหางนมที่ต้องใช้ในการผสมเพื่อให้ได้ปริมาณไขมันตามต้องการ โดยใช้ pearson's square ดังตัวอย่างต่อไปนี้ [8]

ถ้าต้องการปรับปริมาณไขมันในครีมที่มีไขมันร้อยละ 42.3 ปริมาตร 5,300 ลิตร ให้ได้ครีมที่มีไขมันร้อยละ 40 โดยผสมนํ้านมที่มีไขมันร้อยละ 4.2 ลงไป อยากทราบว่าต้องใช้นํ้านมกี่ลิตร

วิธีทำ เขียนรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขึ้นแล้ว ตั้งปริมาณไขมันของครีมไว้ที่มุมบนซ้าย (42.3) ตั้งปริมาณไขมันของนํ้านมที่จะใช้ในการเจือจางครีมไว้ที่มุมล่างซ้าย (4.2) และตั้งปริมาณของไขมันที่ต้องการไว้ที่จุดตัดของเส้นทแยงมุม สัดส่วนของครีมและนํ้านมที่ต้องใช้หาได้จากผลต่างของตัวเลขที่อยู่บนเส้นทแยงมุม



$$\text{ครีมที่ต้องใช้} = 40 - 4.2 = 35.8 \text{ ส่วน}$$

$$\text{น้ำนมที่ต้องใช้} = 42.3 - 40 = 2.3 \text{ ส่วน}$$

ดังนั้นปริมาณน้ำนมที่ต้องเติมลงในครีมที่มีไขมันร้อยละ 42.3 ปริมาตร 5,300 ลิตร เพื่อให้ได้ครีมที่มีปริมาณไขมันร้อยละ 40 เท่ากับ  $5,300 \times 2.3 / 35.8 = 341$  ลิตร

ในการปรับมาตรฐานของไขมัน น้ำนมหรือครีมจะถูกบ่มลงในถังผสม เติมหางนมลงไปแล้วผสมให้เข้ากันด้วยใบพัดในถังผสม สิ่งสำคัญของการปรับมาตรฐานไขมัน ก็คือ การควบคุมปริมาณไขมันของน้ำนมผสมที่ได้ โดยจะต้องสุ่มตัวอย่างน้ำนมไปตรวจหาปริมาณไขมัน ซึ่งอาจใช้วิธี Rose-Gottlieb วิธี Babcock หรือวิธี Gerber ก็ได้ นอกจากนี้ในถังผสมควรติดตั้งเครื่องวัดปริมาตรและความหนาแน่นของน้ำนมเพื่อจะได้ทราบปริมาณไขมันได้อย่างรวดเร็วด้วยวิธีคำนวณ เนื่องจากความหนาแน่นเป็นฟังก์ชันของปริมาณไขมัน ในช่วงอุณหภูมิของน้ำนม  $40-80^{\circ}\text{C}$  สามารถคำนวณหาปริมาณไขมันได้ตามสูตรดังนี้ [8]

$$D = 1038.2 - 0.17T - 0.003T^2 - \varnothing (133.7 - 475.5/T)$$

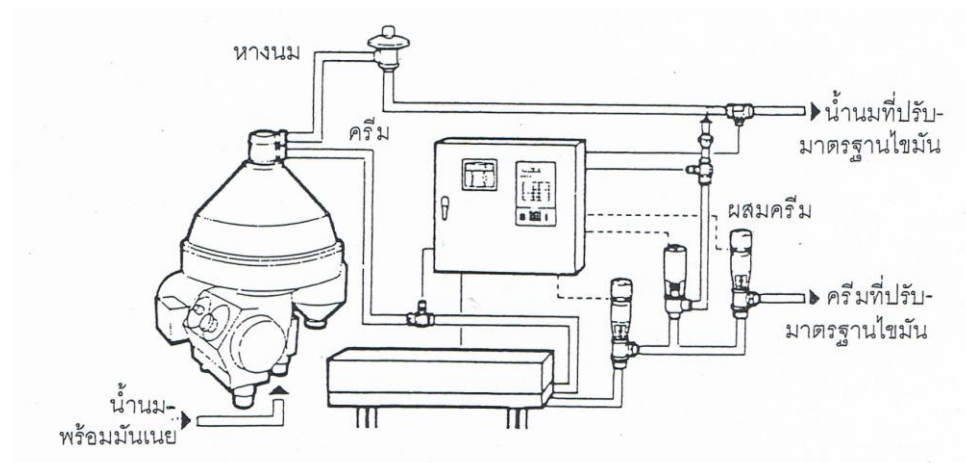
เมื่อ  $D$  = ความหนาแน่นของน้ำนม (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

$T$  = อุณหภูมิของน้ำนม ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\varnothing$  = ปริมาณไขมันในน้ำนม (ร้อยละ)

การปรับมาตรฐานทางตรง ในโรงงานขนาดใหญ่ที่แปรรูปน้ำนมปริมาณมาก อาจเตรียมครีมหรือน้ำนมที่มีปริมาณไขมันตามต้องการได้อย่างสะดวกจากเครื่องแยกครีมโดยตรง ซึ่งจะต้องมีการปรับอัตราการไหลของครีมและหางนมที่จะไหลมาผสมกันให้เหมาะสมเพื่อที่จะทำให้น้ำนมที่มีปริมาณไขมันตามต้องการ ในระบบจะมีอุปกรณ์ที่ใช้วัดอัตราการไหล (mass flow meter) และอุปกรณ์วัดความหนาแน่น

(densitometer) โดยมีระบบควบคุมต่อกับไมโครโพรเซสเซอร์ (microprocessors) เพื่อรับสัญญาณจากเครื่องวัด และส่งสัญญาณไปควบคุมการปฏิบัติงาน ดังรูปที่ 5.9

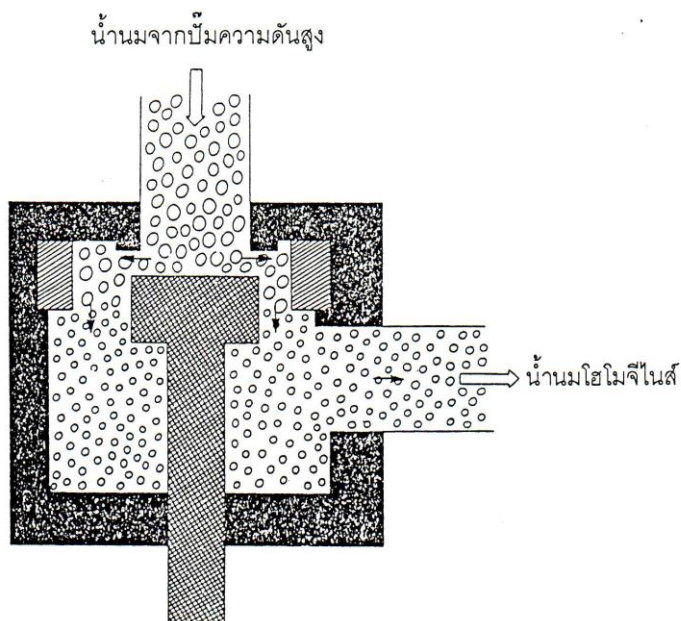


รูปที่ 5.9 ระบบการปรับมาตรฐานครีมและน้ำนม  
ที่มา: Towler [8]

## 5.6 การโฮโมจีไนส์ (homogenization)

การโฮโมจีไนส์ มีวัตถุประสงค์เพื่อลดขนาดของเม็ดไขมันในน้ำนม ทำให้มีขนาดเฉลี่ยลดลงเหลือ 1 ไมโครเมตรหรือน้อยกว่า เม็ดไขมันขนาดเล็กจะกระจายตัวได้ในน้ำนมโดยไม่แยกเป็นชั้นของครีม ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความอยู่ตัวมากขึ้น การโฮโมจีไนส์จะกระทำโดยใช้เครื่องโฮโมจีไนส์ (homogenizer) ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ปั๊มความดันสูง (high-pressure pump) และโฮโมจีไนส์ชิงวาล์ว (homogenizing valve) ในการโฮโมจีไนส์ น้ำนมจะถูกอัดด้วยปั๊มความดันสูง (ผันแปรตั้งแต่ 70 – 2,000 บาร์) ผ่านช่องแคบเล็กๆ ในโฮโมจีไนส์ชิงวาล์ว เม็ดไขมันจะแตกออกเป็นเม็ดเล็กๆ ดังรูปที่ 5.10 [6, 9]

ในการโฮโมจีไนส์ เมื่อเม็ดไขมันแตกออกเป็นเม็ดเล็กๆ พื้นที่ผิวของเม็ดไขมันจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยพื้นที่ผิวของเม็ดไขมันจะเพิ่มขึ้นประมาณ 4-10 เท่า ซึ่งจะเห็นได้จากตารางที่ 5.1 แสดงอัตราส่วนของพื้นที่ผิวของเม็ดไขมันต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรในน้ำนมโฮโมจีไนส์และผลิตภัณฑ์นมชนิดต่างๆ [10]



รูปที่ 5.10 หลักการทำงานของเครื่องโฮโมจีไนส์  
ที่มา: Varnam และ Sutherland [6]

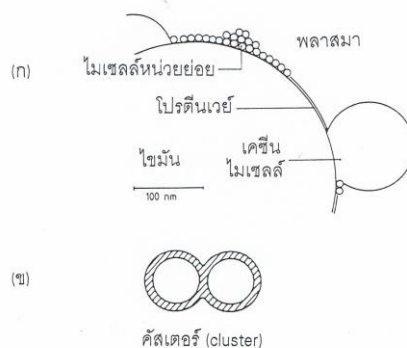
ตารางที่ 5.1 อัตราส่วนของพื้นที่ผิวของเม็ดไขมันต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรในผลิตภัณฑ์นมชนิดต่างๆ

ผลิตภัณฑ์นม	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	อัตราส่วนของพื้นที่ผิวของเม็ดไขมันต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (ตารางเมตรต่อมิลลิลิตร)
น้ำนมดิบ	3 – 4	2
น้ำนมโฮโมจีไนส์	1 – 4	12
คอฟฟี่ครีม	10 – 20	15
น้ำนมระเหย	4 – 10	15
นมข้นหวาน	8	6
ไอศกรีมมิกซ์	10	10
ครีม	16	40

ที่มา : Buchheim และ Dejmek [11]

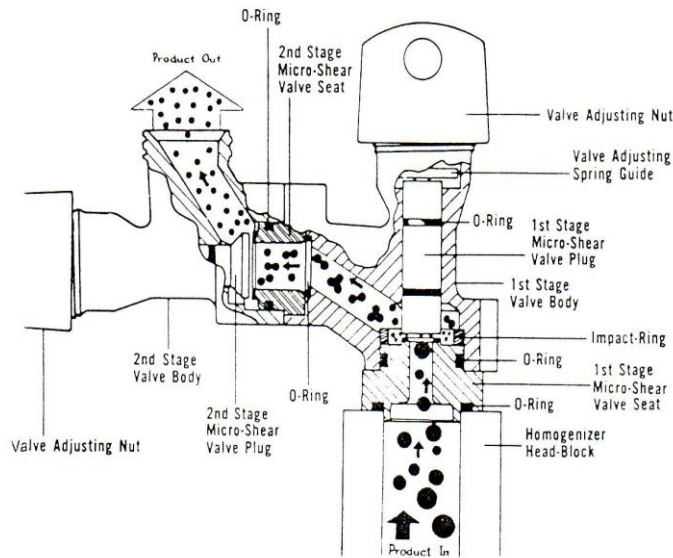
หลังจากที่เม็ดไขมันแตกออกเป็นเม็ดเล็ก ๆ เยื่อหุ้มเม็ดไขมันเดิมจะยังคงอยู่บนเม็ดไขมันใหม่บ้าง แต่ไม่สามารถกระจายไปทั่วพื้นผิวของเม็ดไขมันทั้งหมดได้ จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ทำให้ทราบว่า เยื่อหุ้มเม็ดไขมันใหม่จะถูกสร้างขึ้นอย่างรวดเร็วล้อมรอบเม็ดไขมันเล็ก ๆ นั้น ในการสร้างเยื่อหุ้มเม็ดไขมันใหม่ เม็ดไขมันเล็ก ๆ จะดูดซับเอาเคซีนไมเซลล์ ไมเซลล์หน่วยย่อย และโปรตีนเวย์ไว้ที่ผิว ซึ่งมีลักษณะเป็นเยื่อหุ้มชั้นเดียวดังรูปที่ 5.11 (ก) ทำให้ที่ผิวของเม็ดไขมันมีโปรตีนอยู่ประมาณ 10 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร ซึ่งพบว่า ประมาณ 3 ใน 4 ของพื้นที่ผิวเม็ดไขมันหรือร้อยละ 95 ของปริมาณโปรตีนทั้งหมดบนเยื่อหุ้มเม็ดไขมันใหม่เป็นเคซีน [11, 12]

หลังจากที่น้ำนมผ่านการโฮโมจีไนส์และเกิดการสร้างเยื่อหุ้มเม็ดไขมันขึ้นใหม่แล้วนั้น ถ้าหากน้ำนมมีปริมาณไขมันสูงกว่าร้อยละ 9 ก็มีโอกาสมันเม็ดไขมันเล็ก ๆ จะมารวมกลุ่มกันอีก กลุ่มของเม็ดไขมันนี้เรียกว่าคัสเตอร์ (cluster) ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีการติดกันขององค์ประกอบในเยื่อหุ้มเม็ดไขมันใหม่ที่อยู่ใกล้กันตั้งแต่ 2 เม็ดขึ้นไป ดังรูปที่ 5.11 (ข) คัสเตอร์ที่เกิดขึ้นมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10-100 ไมโครเมตร ประกอบด้วยเม็ดไขมันประมาณ 106 เม็ด ซึ่งคัสเตอร์นี้จะไม่เกิดขึ้นกับเม็ดไขมันเดิมที่ยังไม่แตก แต่จะเกิดขึ้นกับเม็ดไขมันใหม่ที่ถูกปกคลุมด้วยพลาสมาโปรตีนซึ่งเป็นผลจากกระบวนการโฮโมจีไนส์ และกระบวนการอื่นที่ทำให้เม็ดไขมันถูกทำลาย การกวนจะไม่สามารถทำให้คัสเตอร์กระจายตัวหรือแตกออกได้ เว้นแต่จะมีการละลายโปรตีนที่ผิวของเม็ดไขมันโดย คีเลตติ้งแคลเซียม (chelating calcium) หรือโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (sodium dodecyl sulphate) หรือเพิ่ม pH สำหรับการโฮโมจีไนส์นั้นสามารถป้องกันการเกิดคัสเตอร์ในน้ำนมได้โดยใช้โฮโมจีไนเซอร์แบบ 2 ขั้นตอน (two-stage homogenizer) ดังรูปที่ 5.12 น้ำนมจะต้องผ่านโฮโมจีไนส์ซึ่งวาล์ว 2 วาล์ว โดยวาล์วที่ 2 จะใช้ความดันต่ำกว่าวาล์วแรกเพื่อทำให้เม็ดไขมันที่มารวมกันหลังออกจากวาล์วแรกกระจายตัว [5, 12]



รูปที่ 5.11 เยื่อหุ้มเม็ดไขมันที่สร้างขึ้นใหม่ระหว่างการโฮโมจีไนส์ (รูป ก) และลักษณะของกลุ่มของเม็ดไขมันที่มารวมกัน (cluster) (รูป ข)

ที่มา: Walstra และ Jenness [12]



รูปที่ 5.12 ไฮโมจีไนเซอร์แบบ 2 ขั้นตอน (Courtesy of Crepaco, Inc.)

ที่มา: Walstra และ Jenness [12]

## 5.7 การให้ความร้อน (heat treatment)

การให้ความร้อนในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์นม มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อทำลายเชื้อแบคทีเรียและไวรัสที่ทำให้เกิดโรค (2) เพื่อทำลายจุลินทรีย์ชนิดอื่นรวมทั้งสปอร์ที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์นมเน่าเสีย (3) เพื่อยับยั้งเอนไซม์ในน้ำนม และเอนไซม์ที่ผลิตขึ้นโดยจุลินทรีย์ (4) เพื่อให้ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำนม ทำให้น้ำนมเหมาะสมต่อกระบวนการแปรรูปในขั้นต่อไป เช่น การให้ความร้อนก่อนการแยกครีมและไฮโมจีไนส์ การให้ความร้อนก่อนที่จะผลิต เนยแข็ง โยเกิร์ต น้ำนมระเหย และนมผง เมื่อน้ำนมได้รับความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างในทางที่จะนำไปสู่การตกตะกอนของโปรตีน การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้แก่ การลดลงของ pH การตกตะกอนของแคลเซียมฟอสเฟต การเสียสภาพของโปรตีนเวย์ การเกิดการกระทำกันระหว่างโปรตีนเวย์ที่เสียสภาพกับเคซีน การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด การเปลี่ยนแปลงเคซีนจากปฏิกิริยาดีฟอสโฟไรเลชัน (dephosphorylation) ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ K-เคซีน และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเคซีนไมเซลล์ เป็นต้น [5, 13]

เมื่อน้ำนมได้รับความร้อนจะส่งผลกระทบต่อส่วนประกอบของน้ำนม โดยจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งด้านกายภาพ เคมี เอนไซม์ และจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับรูป

แบบของการให้ความร้อน อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว การให้ความร้อนจะแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบคือ การพาสเจอร์ไรส์ (pasteurization) และการสเตอริไลซ์ (sterilization) สำหรับการพาสเจอร์ไรส์ หมายถึง การให้ความร้อนที่จะทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรครวมทั้งไวรัส ส่วนการสเตอริไลซ์นั้นจะแตกต่างจากการพาสเจอร์ไรส์ คือ เป็นการให้ความร้อนที่จะทำลายจุลินทรีย์ทุกชนิดที่มีอยู่รวมทั้งสปอร์และไวรัส แต่ในกรณีของการแปรรูปน้ำนมนี้การให้ความร้อนที่นิยมทำกันมี 3 รูปแบบคือ การพาสเจอร์ไรส์ การสเตอริไลซ์ และการสเตอริไลซ์ด้วยระบบยูเอชที (Ultra-high-temperature sterilization) [5, 13]

### 5.7.1 การพาสเจอร์ไรส์ (pasteurization)

การพาสเจอร์ไรส์ เป็นขั้นตอนที่ใช้ความร้อนทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคซึ่งปนเปื้อนมากับน้ำนมดิบ การทำลายจุลินทรีย์ด้วยความร้อนในกระบวนการพาสเจอร์ไรส์นั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคชนิดที่ทนความร้อนได้ดีที่สุด ในสมัยก่อนพบว่า เชื้อวัณโรค ซึ่งก็คือ *Mycobacterium tuberculosis* เป็นจุลินทรีย์ที่ทนความร้อนได้ดีที่สุด แต่เมื่อเร็ว ๆ นี้พบว่า *Coxiella burnetii* ซึ่งทำให้เกิดโรค Q fever สามารถทนความร้อนได้ดีกว่า *M. tuberculosis* ดังนั้นอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการพาสเจอร์ไรส์น้ำนมจึงขึ้นอยู่กับการศึกษา thermal death time ของ *C. burnetii* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ทนความร้อนได้ดีที่สุดที่พบในน้ำนม [3, 14] อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการพาสเจอร์ไรส์น้ำนมแสดงดังตารางที่ 5.2

กระบวนการพาสเจอร์ไรส์ที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์นมมี 2 แบบคือ การพาสเจอร์ไรส์แบบไม่ต่อเนื่องและการพาสเจอร์ไรส์แบบต่อเนื่อง

#### 5.7.1.1 การพาสเจอร์ไรส์แบบไม่ต่อเนื่อง (batch process หรือ holder process)

วิธีนี้เป็นการพาสเจอร์ไรส์แบบเก่าซึ่งให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำและใช้เวลานาน (low temperature - long time process) โดยจะนำน้ำนมมาผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 62.8°C แล้วคงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำให้เย็นอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิต่ำกว่า 10°C อุปกรณ์ที่ใช้ในการพาสเจอร์ไรส์แบบนี้คือ vat pasteurizer ซึ่งเป็นถัง 2 ชั้น ที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ดังรูปที่ 5.13 ทำด้วยโลหะปลอดสนิม รอบ ๆ ถังชั้นในจะใช้น้ำร้อนหรือไอน้ำไหลวนเพื่อให้ความร้อนน้ำนมที่อยู่ภายในถังในถังจะมีใบพัดสำหรับคนน้ำนมเพื่อให้ความร้อนกระจายอย่างสม่ำเสมอและป้องกันมิให้เกิดแผ่นฝ้าที่ผิวของน้ำนม ซึ่งจะปกป้องแบคทีเรียจากการถูกทำลายด้วยความร้อน และเมื่ออุณหภูมิถึงจุดที่ต้องการ

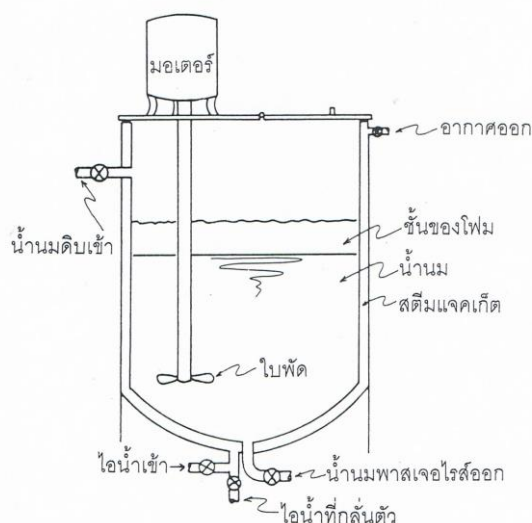
แล้ว หลังจากที่ยังคงไว้เป็นเวลา 30 นาทีจะทำให้เย็นทันทีโดยผ่านน้ำเย็นเข้าไปหล่อรอบ ๆ ถึงขั้นนี้ แต่การทำให้เย็นแบบนี้อาจใช้เวลานานในการทำให้อุณหภูมิของน้ำนมลดลงถึงต่ำกว่า  $10^{\circ}\text{C}$  บางโรงงานอาจมีอุปกรณ์สำหรับทำความเย็นแยกออกมาเพื่อที่จะทำให้น้ำนมเย็นเร็วขึ้นและพร้อมที่จะใช้เครื่อง vat pasteurizer ในการพาสเจอร์ไรส์น้ำนมชุดต่อไปได้ทันที การพาสเจอร์ไรส์แบบนี้เหมาะกับโรงงานขนาดเล็กที่มีกำลังผลิตต่ำ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนและบำรุงรักษาค่อนข้างน้อย แต่ต้องใช้แรงงานมาก [5, 13]

สำหรับข้อควรระวังของการพาสเจอร์ไรส์แบบนี้คือจะต้องระวังมิให้เกิดฟองขึ้นในน้ำนมระหว่างการพาสเจอร์ไรส์ เนื่องจากถ้าเกิดฟอง ความร้อนจะกระจายไม่สม่ำเสมอ อุณหภูมิของฟองมักจะต่ำกว่าอุณหภูมิของการพาสเจอร์ไรส์ ซึ่งจะส่งผลให้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในฟองรอดชีวิต นอกจากนี้ในขณะที่เติมน้ำนมลงในถังที่ใช้สำหรับพาสเจอร์ไรส์ในช่วงแรก อาจมีการกระเด็นของน้ำนมขึ้นไปติดที่ผิวของด้านข้างของถังเหนือระดับน้ำนมหรือติดที่ฝาของถัง ซึ่งน้ำนมเหล่านี้อาจหยดลงมาใส่น้ำนมหลังจากที่พาสเจอร์ไรส์แล้ว ทำให้จุลินทรีย์ที่รอดชีวิตในหยดน้ำนมเหล่านี้ปนเปื้อนลงในน้ำนมพาสเจอร์ไรส์ ฉะนั้นวิธีการป้องกันก็คือให้ความร้อนกับอากาศที่อยู่เหนือระดับน้ำนม ซึ่งอุณหภูมิของอากาศที่อยู่เหนือระดับน้ำนมควรสูงกว่าอุณหภูมิของการพาสเจอร์ไรส์ไม่น้อยกว่า  $3^{\circ}\text{C}$  ดังนั้นใน vat pasteurizer นี้ นอกจากจะต้องมีเทอร์มิสเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำนมขณะพาสเจอร์ไรส์แล้ว ควรจะติดตั้งเทอร์มิสเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิของอากาศเหนือระดับน้ำนมด้วย [15]

ตารางที่ 5.2 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการพาสเจอร์ไรส์น้ำนม

อุณหภูมิ		เวลา
( $^{\circ}\text{F}$ )	( $^{\circ}\text{C}$ )	
145	62.8	30 นาที
161	72.7	15 วินาที
191	88.1	1 วินาที
194	90.0	0.5 วินาที
201	93.9	0.1 วินาที
204	95.6	0.05 วินาที
212	100.0	0.01 วินาที

ที่มา: Jones และ Harper [14]



รูปที่ 5.13 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการพาสเจอร์ไรส์แบบไม่ต่อเนื่อง (vat pasteurizer)

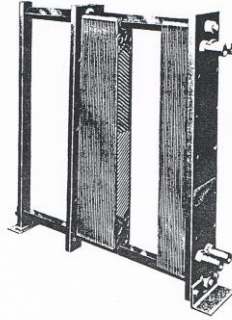
ที่มา: Lewis [13]

#### 5.7.1.2 การพาสเจอร์ไรส์แบบต่อเนื่อง (continuous process)

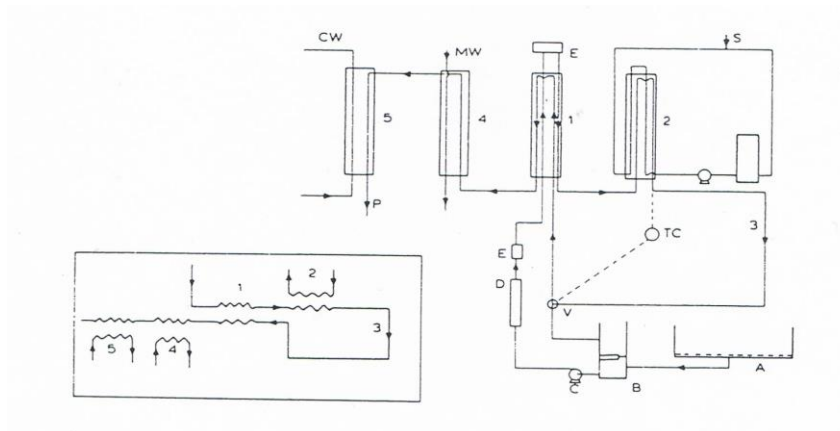
ระบบนี้พัฒนามาจากระบบพาสเจอร์ไรส์แบบไม่ต่อเนื่อง โดยทำให้กระบวนการพาสเจอร์ไรส์เป็นไปอย่างต่อเนื่อง มีการให้ความร้อน และทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว จึงสามารถผลิตได้ในปริมาณมาก ๆ ระบบพาสเจอร์ไรส์แบบต่อเนื่องที่นิยมกันมากเป็นระบบที่เรียกว่า high temperature-short time continuous process (HTST process) เป็นระบบที่ใช้อุณหภูมิสูง ระยะเวลาสั้น ( $72^{\circ}\text{C}$  15 วินาที) โดยให้ความร้อนผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (plate-heat exchanger) ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นโลหะปิดสนิทเรียงซ้อนกันจำนวนมาก ดังรูปที่ 5.14 โดยที่แต่ละแผ่นห่างกัน 3 – 4 มิลลิเมตรเพื่อให้ของเหลวไหลผ่าน ผิวของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนนี้อาจมีลักษณะเป็นร่อง หรือเป็นแนวลูกฟูก หรือเป็นปุ่มเล็ก ๆ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับการถ่ายเทความร้อน ที่มุมทั้งสี่ของแผ่นโลหะจะเจาะรูไว้เพื่อให้ของเหลวไหลผ่านไปมาได้รอบ ๆ แผ่นโลหะจะบุด้วยปะเก็นยางป้องกันการรั่ว และควบคุมการไหลว่าจะให้ไหลบนแผ่นโลหะหรือให้ไหลผ่านไปเลย ในการแลกเปลี่ยนความร้อน น้ำนมจะไหลผ่านไปช่องทางหนึ่ง ส่วนน้ำร้อนหรือไอน้ำจะไหลผ่านอีกช่องทางหนึ่ง ซึ่งของเหลวทั้งสองชนิดนี้จะไหลสวนทางกันในลักษณะฟิล์มบาง ๆ ทันทีที่น้ำนมได้รับความร้อนเพียงพอแล้วจะถูกทำให้เย็นลงทันที [4, 13]

อุปกรณ์ที่สำคัญในการพาสเจอร์ไรส์แบบต่อเนื่อง ซึ่งให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงและใช้เวลาสั้น คือ HIST pasteurizer ดังรูปที่ 5.15 อุปกรณ์นี้ประกอบด้วย ถังเก็บน้ำนมสำหรับป้อนเข้าระบบ (feed tank) ถังรักษาระดับน้ำนม (balance tank) บั้มต่าง ๆ ตัวกรอง (filter) แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนทั้งในส่วนที่ทำการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำนมดิบและน้ำนมพาสเจอร์ไรส์ (regeneration section) ส่วนที่

ให้ความร้อนน้ำนมจนถึงอุณหภูมิของการพาสเจอร์ไรส์ (heating section) และส่วนที่ทำให้น้ำนมเย็นลง (cooling section และ chilling section) นอกจากนี้ยังมีโฟลไดเวจชันวาล์ว (flow diversion valve, FDV) ท่อรักษาระดับอุณหภูมิ (holding tube) และอุปกรณ์ที่จำเป็นอื่น ๆ [13]



รูปที่ 5.14 แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน  
ที่มา: Lewis [13]

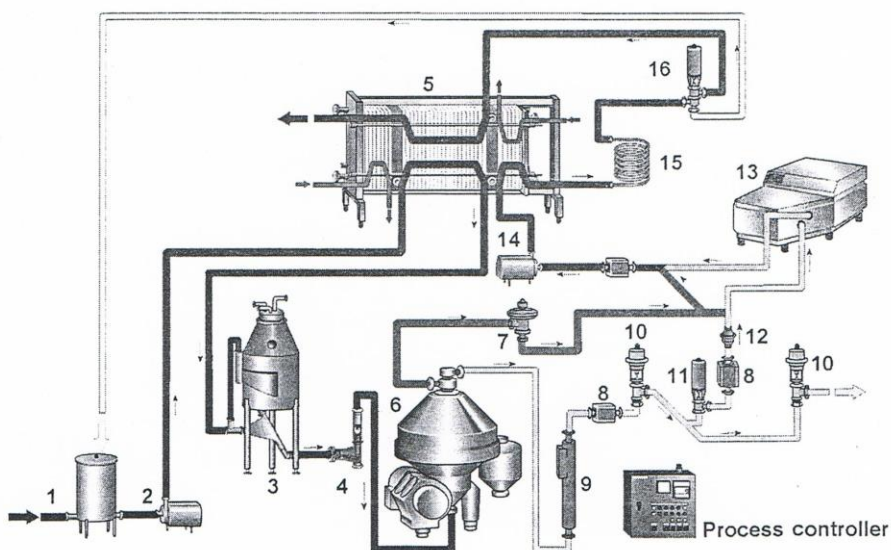


รูปที่ 5.15 HTST pasteurizer: (A) ถังเก็บน้ำนมสำหรับป้อนเข้าระบบ (B) ถังรักษาระดับน้ำนม (C) ฟีดส์บีม (D) ตัวควบคุมการไหล (E) ตัวกรอง (P) ผลิตภัณฑ์ (S) ฉีดไอน้ำ (ส่วนที่ให้ความร้อน) (V) โฟลไดเวจชันวาล์ว (MW) น้ำเย็นจัด (TC) ตัวควบคุมอุณหภูมิ (1) regeneration section (2) heating section (3) holding tube (4) cooling section (5) chilling section

ที่มา: Lewis [13]

กระบวนการผลิตน้ำนมพาสเจอร์ไรส์ที่จำหน่ายทั่วไปตามรูปที่ 5.1 Option 1 และ 4 แสดงตามรูปที่ 5.16 ดังนั้น ส่วนของอุปกรณ์การผลิตหลักของโรงงานนมพาสเจอร์ไรส์ได้แก่ ถังรักษาระดับ (balance

tank หมายเลข 1) ปั๊ม (pump หมายเลข 2) อุปกรณ์ควบคุมการไหล (flow controller หมายเลข 4) แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (plate heat exchanger หมายเลข 5) ได้แก่ regeneration section, heating section และ cooling sections โพลไดเวชันวาล์ว (หมายเลข 16) และบูสเตอร์ปั๊ม (booster pump) (หมายเลข 14) เป็นปั๊มควบคุมให้ความดันของนมพาสเจอร์ไรส์หลังผ่านความร้อนแล้วสูงเกินกว่าความดันของตัวกลางถ่ายเทความร้อนเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากน้ำนมดิบในส่วนที่ให้ความร้อน (regeneration section) กับส่วนที่ทำให้เย็น (cooling section) สำหรับการผลิตน้ำนมพร้อมมันเนยพาสเจอร์ไรส์ชนิดที่ไม่ได้มีการปรับมาตรฐานไขมัน (option 1) น้ำนมจะผ่านส่วนของเครื่องแยกครีม (หมายเลข 6) ส่วนที่ทำการปรับมาตรฐานไขมันและเครื่องโฮโมจีไนส์ (หมายเลข 13) ไปยังขั้นตอนอื่น แต่อาจมีการติดตั้งเครื่องปั่นเหวี่ยงแยกสิ่งสกปรก (centrifugal clarifier) ในสายการผลิตแทน



รูปที่ 5.16 สายการผลิตน้ำนมพาสเจอร์ไรส์ที่จำหน่ายทั่วไป

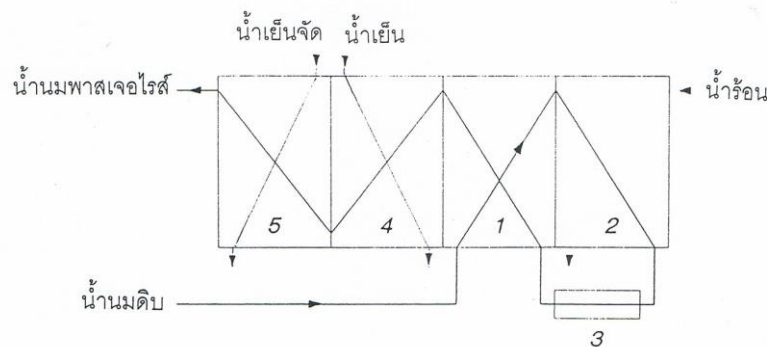
- (1) ถังรักษาระดับน้ำนม (2) ปั๊มสำหรับป้อนน้ำนมเข้า (3) de-aerator (4) อุปกรณ์ควบคุมการไหล (5) plate heat exchanger (6) เครื่องแยกครีม (7) วาล์วควบคุมความดันให้คงที่ (8) flow transmitter (9) density transmitter (10) regulating valve (10) shut-off valve (12) check valve (13) โฮโมจีไนส์เซอร์ (14) booster pump (15) holding tube (16) flow diversion valve

ที่มา: Muir และ Tamine [7]

ตัวแปรที่สำคัญ (important parameters) ของการพาสเจอร์ไรส์น้ำนมมีดังนี้ กำลังผลิตของโรงงานโปรแกรมของอุณหภูมิ ( $4^{\circ}\text{C}$ , ให้ความร้อนถึง  $72^{\circ}\text{C}$ , ทำให้เย็นถึง  $4^{\circ}\text{C}$ ) ประสิทธิภาพของการ

แลกเปลี่ยนความร้อน (เช่น 94%) อุณหภูมิของตัวกลางให้ความร้อน ( $74-75^{\circ}\text{C}$ ) อุณหภูมิของตัวกลางให้ความเย็น ( $2^{\circ}\text{C}$ ) เพื่อให้เย็นน้ำนมถึง  $4^{\circ}\text{C}$

ในการพาสเจอร์ไร้น้ำนมด้วยระบบต่อเนื่องมี 5 ขั้นตอนดังนี้ ก่อนอื่นน้ำนมที่มาจากถังรักษา ระดับน้ำนมจะผ่านเข้ามาใน (1) regeneration section ซึ่งเป็นส่วนที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำนมดิบกับน้ำนมพาสเจอร์ไรส์ โดยน้ำนมดิบจะไหลสวนทางกับน้ำนมที่พาสเจอร์ไรส์แล้ว ทำให้น้ำนมดิบมีอุณหภูมิสูงขึ้น ขณะที่น้ำนมพาสเจอร์ไรส์มีอุณหภูมิลดลง จากนั้นก็จะผ่านไปยัง (2) heating section ซึ่งจะให้ความร้อนกับน้ำนมจนถึง  $72 - 74^{\circ}\text{C}$  โดยที่ตัวให้ความร้อนมักจะเป็นน้ำร้อนหรือไอน้ำที่มีความดันต่ำซึ่งจะไหลสวนทางกับน้ำนม ในเครื่องพาสเจอร์ไรเซอร์ควรติดตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิไว้ด้วย เมื่อน้ำนมมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงระดับที่ต้องการแล้วน้ำนมจะผ่านไปยัง (3) holding section ในส่วนนี้ประกอบด้วยท่อที่มีความยาวพอเหมาะเพื่อที่จะคงอุณหภูมิของน้ำนมไว้ได้อย่างน้อย 15 วินาที และในส่วนนี้มีอุปกรณ์ที่เรียกว่าไฟลัดเวอชันวาล์วตั้งอยู่ที่ทางออกของ holding section วาล์วนี้ทำหน้าที่เป็นเหมือนวาล์วรักษาความปลอดภัย (safety valve) คือ ถ้าหากอุณหภูมิของน้ำนมที่ผ่านมาไม่ได้ระดับที่ต้องการ วาล์วนี้ก็จะดันให้น้ำนมไหลกลับไปสู่ถังรักษา ระดับน้ำนมใหม่ สำหรับน้ำนมที่ผ่านมาจาก holding section แล้วก็จะผ่านมายัง regeneration section อีกครั้ง เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำนมดิบที่เข้ามาใหม่ ทำให้น้ำนมพาสเจอร์ไรส์มีอุณหภูมิลดลงบ้าง จากนั้นน้ำนมพาสเจอร์ไรส์ก็จะถูกทำให้เย็นลงทันทีใน (4) cooling section แล้วจึงผ่านมายัง (5) chilling section เพื่อทำให้น้ำนมเย็นลงถึงน้อยกว่า  $10^{\circ}\text{C}$  ซึ่งในทางปฏิบัติจะทำให้เย็นถึง  $3^{\circ}\text{C}$  [1, 5] การทำงานของ HTST pasteurizer ทั้ง 5 ขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น สรุปได้ดังรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.17 การทำงานของ HTST pasteurizer: (1) regeneration section (2) heating section  
(3) holding section (4) cooling section (5) chilling section

ที่มา: Komorowski และ Early [1]

การพาสเจอร์ไรส์แบบต่อเนื่อง (HTST pasteurization) สามารถผลิตน้ำนมพาสเจอร์ไรส์ได้ในปริมาณมาก ๆ และไม่ต้องใช้พื้นที่ในการปฏิบัติงานมาก และยังมีข้อดีในด้านรักษาคุณค่าทางอาหารของน้ำนมอีกด้วย คือ วิตามินซีจะยังคงเหลืออยู่ในน้ำนมพาสเจอร์ไรส์ถึงร้อยละ 90 ของปริมาณเริ่มต้น และไม่มีการสูญเสียวิตามินบี 12 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำนมพาสเจอร์ไรส์ที่ผลิตด้วยระบบไม่ต่อเนื่องแล้ว ปรากฏว่าวิตามินซี ทั้งหมดจะสูญเสียไป ส่วนวิตามินบี 12 ยังคงเหลืออยู่ร้อยละ 90 ของปริมาณเริ่มต้น นอกจากนี้ระบบพาสเจอร์ไรส์แบบต่อเนื่องนี้ยังทำให้วิตามินเอ ไนอะซินและไรโบฟลาวินในน้ำนมคงอยู่ร้อยละ 100 [15]

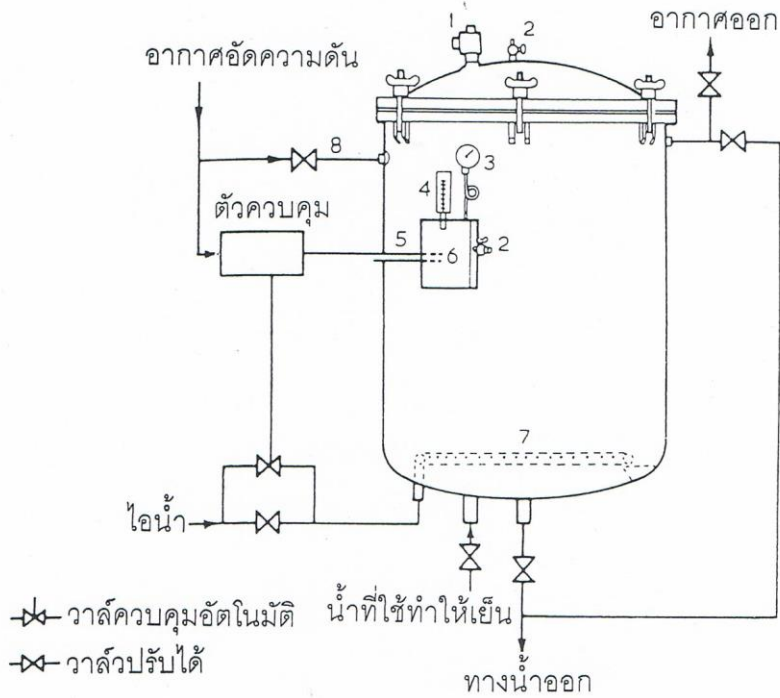
### 5.7.2 การสเตอริไลซ์ (sterilization)

ดังที่ได้ทราบกันดีแล้วว่า การพาสเจอร์ไรส์ไม่ได้ทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำนม แต่จะทำลายเฉพาะจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคเท่านั้น ฉะนั้นจะยังคงมีจุลินทรีย์บางชนิดที่ทนความร้อนได้คืออยู่รอดได้ในน้ำนมพาสเจอร์ไรส์ และเป็นสาเหตุทำให้น้ำนมพาสเจอร์ไรส์เน่าเสีย ดังนั้นวิธีหนึ่งที่จะยืดอายุการเก็บของน้ำนมก็คือ การให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงในระดับที่เรียกว่า สเตอริไลเซชัน ซึ่งจะทำลายเชื้อจุลินทรีย์ทุกชนิดรวมทั้งสปอร์และไวรัส

ในการผลิตน้ำนมสเตอริไลซ์มักจะผลิตโดยให้ความร้อนกับน้ำนมที่บรรจุในภาชนะที่ปิดผนึกแล้ว เช่น ขวดหรือกระป๋อง เรียกน้ำนมสเตอริไลซ์แบบนี้ว่า In-bottle sterilized milk ระบบการสเตอริไลซ์ในการผลิต In-bottle sterilized milk มีทั้งแบบไม่ต่อเนื่องและแบบต่อเนื่อง

#### 5.7.2.1 การสเตอริไลซ์แบบไม่ต่อเนื่อง

ในขั้นแรกจะนำน้ำนมมาแยกสิ่งสกปรกออก ปรับมาตรฐานไขมัน และผ่านการโฮโมจีไนส์ที่อุณหภูมิประมาณ  $50^{\circ}\text{C}$  บรรจุขวดแล้วปิดด้วยฝาจับ จากนั้นนำไปสเตอริไลซ์ด้วยหม้อนิ่งฆ่าเชื้อแบบไม่ต่อเนื่อง (batch retort หรือ batch sterilizer รูปที่ 5.18) ที่อุณหภูมิ  $115 - 120^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 15 - 20 นาที เมื่อให้ความร้อนจนครบกำหนดเวลาแล้ว จะทำให้เย็นโดยปล่อยน้ำเย็นเข้าไปแทนที่น้ำร้อนในหม้อนิ่งฆ่าเชื้อทีละน้อยเพื่อป้องกันขวดแตก การทำเช่นนี้จะทำให้น้ำในหม้อนิ่งฆ่าเชื้อมีอุณหภูมิแตกต่างกับน้ำนมไม่เกิน  $25 - 30^{\circ}\text{C}$  และเมื่อน้ำมีอุณหภูมิลดลงเหลือ  $50 - 60^{\circ}\text{C}$  ก็จะระบายน้ำออกไปจากหม้อนิ่งฆ่าเชื้อ จากนั้นจึงนำขวดน้ำนมสเตอริไลซ์ออกมาทำให้เย็นข้างนอกอีกเพื่อลดการทำลายด้วยความร้อน น้ำนมจะมีคุณภาพดีขึ้น [1, 5]



รูปที่ 5.18 หม้อนึ่งฆ่าเชื้อแบบไม่ต่อเนื่อง (batch retort)

(1) เซฟตี้วาล์ว (2) เพ็ดค็อค (3) เพรสเชอร์เกจ (4) เทอร์มิเมตร

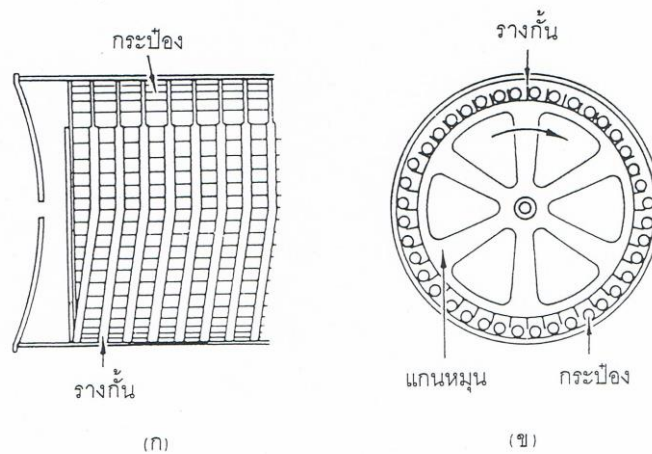
(5) เซนเซอร์ (6) เทอร์มิบ็อค (7) สตีมสเปรดเดอร์ (8) ทางเข้าของอากาศ

ที่มา: Berg [5]

น้ำนมสเตอริไลซ์ที่ผลิตโดยการนึ่งฆ่าเชื้อแบบไม่ต่อเนื่องนี้มักจะมีกลิ่นที่ไม่พึงปรารถนาคือ กลิ่นนมต้ม (cooked flavour) และมีสีน้ำตาลเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard browning) และปฏิกิริยาคาราเมลไรเซชัน (caramelization) ลักษณะที่ไม่ดีเช่นนี้จะเกิดมากขึ้น ถ้าหากมีการถ่ายเทความร้อนไม่ดี ทำให้ต้องใช้เวลาในการทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิของการสเตอริไลซ์ และใช้เวลานานเกินไปในการทำให้อุณหภูมิลดลงจนทำให้เย็น ฉะนั้นวิธีแก้ไขคือควรให้ขวดที่บรรจุน้ำนมเคลื่อนที่ตลอดเวลาในระหว่างการสเตอริไลซ์ โดยใช้สเตอริไลเซอร์แบบต่อเนื่อง (continuous sterilizers) เช่น โรตารีสเตอริไลเซอร์ (rotary sterilizer) ซึ่งเป็นหม้อนึ่งฆ่าเชื้อที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ภายในมีที่วางภาชนะบรรจุน้ำนมอยู่รอบ ๆ แกนหมุนซึ่งจะหมุนอย่างช้า ๆ ในขณะที่ทำการฆ่าเชื้อ ทำให้ภาชนะที่ใช้บรรจุน้ำนมเคลื่อนที่ไปรอบ ๆ ตลอดเวลา ดังรูปที่ 5.19 [5, 16]

เมื่อผลิตน้ำนมสเตอริไลซ์แล้ว ควรนำมาตรวจสอบประสิทธิภาพการสเตอริไลซ์โดยการทดสอบความขุ่น (turbidity test) ซึ่งมีหลักการคือ เมื่อน้ำนมผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า  $80^{\circ}\text{C}$  โปรตีน

เวย์โดยเฉพาะอัลบูมินจะเสียสภาพ ถ้าเติมเกลืออนินทรีย์ เช่น แอมโมเนียมซัลเฟตลงไป (เติมแอมโมเนียมซัลเฟต 4 กรัม ลงในน้ำนม 20 มิลลิลิตร เขย่าให้ละลายแล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที) โปรตีนเวย์ที่เสียสภาพรวมทั้งเคซีนจะตกตะกอนแยกตัวออก ส่วนโปรตีนเวย์ที่ยังไม่เสียสภาพจะยังคงอยู่ในสารละลาย จากนั้นนำมากรองแล้วนำสารละลายที่ได้ไปต้มให้เดือด ถ้ายังมีโปรตีนอัลบูมินเหลืออยู่ อัลบูมินก็จะตกตะกอนแสดงว่าน้ำนมที่นำมาทดสอบนั้นผ่านการสเตอริไลซ์มาอย่างไม่สมบูรณ์ แต่ถ้าน้ำนมผ่านการสเตอริไลซ์อย่างสมบูรณ์ก็จะไม่เกิดตะกอนหรือความขุ่นขึ้น [13, 17]



รูปที่ 5.19 ภาพด้านข้างของโรตารีสเตอริไลเซอร์ (รูป ก)

และลักษณะของแกนหมุนภายใน (รูป ข)

ที่มา: Lewis [13]

#### 5.7.2.2 การสเตอริไลซ์แบบต่อเนื่อง (continuous-flow sterilization)

ระบบนี้พัฒนาขึ้นเพื่อให้กลั่นรส และสีของน้ำนมเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ซึ่งจะมีการให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องโดยใช้ continuous-flow sterilizer สเตอริไลเซอร์ชนิดนี้ ใช้แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนช่วยในการสเตอริไลซ์น้ำนมเช่นเดียวกับระบบพาสเจอร์ไรส์แบบต่อเนื่อง เมื่อน้ำนมผ่านการฆ่าเชื้อโดยการสเตอริไลซ์แล้วจึงบรรจุลงในขวดปราศจากเชื้อด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ แต่บางโรงงานอาจผลิตน้ำนมสเตอริไลซ์แบบ 2 ขั้นตอน โดยจะทำการสเตอริไลซ์น้ำนมแบบต่อเนื่องก่อนแล้วจึงนำน้ำนมมาบรรจุขวด จากนั้นจึงนำไปผ่านการสเตอริไลซ์อีกครั้งในหม้อหนึ่งฆ่าเชื้อ [5, 6]

### 5.7.3 การสเตอริไลซ์โดยการให้ความร้อนแบบยูเอชที (Ultra-high temperature (UHT) sterilization)

การให้ความร้อนแบบยูเอชทีเป็นการสเตอริไลซ์วิธีหนึ่งที่สามารถใช้ถนอมผลิตภัณฑ์อาหารชนิดเหลว โดยจะนำอาหารมาผ่านความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของการสเตอริไลซ์ธรรมดาด้วยหม้อหนึ่งฆ่าเชื้อและใช้เวลาในช่วงสั้นเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอาหารระบบนี้เป็นกระบวนการต่อเนื่องโดยจะทำในระบบปิดเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ในอากาศ สำหรับการผลิตน้ำนมยูเอชทีนั้นจะนำน้ำนมดิบมาให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 135 – 150 °C แล้วคงไว้ 2 - 3 วินาที ทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นบรรจุในสภาพปลอดเชื้อที่เรียกว่า aseptic processing [1, 18]

การให้ความร้อนแบบยูเอชทีมี 2 วิธีคือ การให้ความร้อนโดยตรง และการให้ความร้อนโดยผ่านตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อน

#### 5.7.3.1 การให้ความร้อนโดยตรง (direct heating method)

การให้ความร้อนวิธีนี้จะมีการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างไอน้ำกับน้ำนม ทำให้อุณหภูมิของน้ำนมเพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิของการสเตอริไลซ์แบบยูเอชที ไอน้ำจะกลั่นตัวลงในน้ำนม ซึ่งจะทำให้ น้ำนมเจือจางลง และน้ำส่วนเกินจะถูกขจัดออกในขั้นตอนการทำให้เย็นในสภาพสุญญากาศ ไอน้ำที่ใช้ในวิธีนี้ต้องเป็นไอน้ำที่ผลิตจากน้ำบริสุทธิ์ ปราศจากกลิ่นรสผิดปกติ มีคุณภาพสูงเท่ากับน้ำดื่ม

การให้ความร้อนโดยตรงทำได้คือ (1) การฉีดไอน้ำใส่น้ำนม (steam injection) (2) การพ่นน้ำนมเข้าไอน้ำ (steam infusion) ดังรูปที่ 5.20 และ (3) การพ่นน้ำนมเข้าไอน้ำแบบให้ความร้อนสูง (high-heat steam infusion)

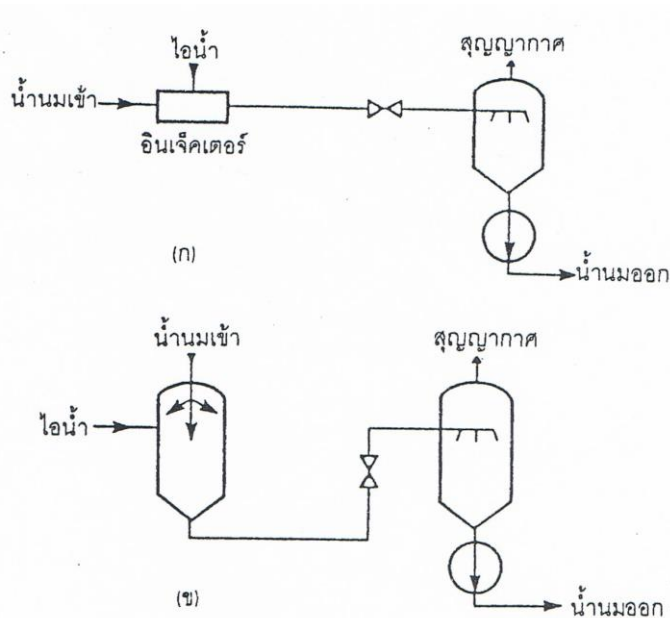
##### (1) การฉีดไอน้ำใส่น้ำนม (steam injection)

การผลิตน้ำนมยูเอชทีโดยการให้ความร้อนโดยตรงแบบฉีดไอน้ำใส่น้ำนม (รูปที่ 5.21) น้ำนมดิบที่เข้ามาจากถังรักษาระดับน้ำนมมีอุณหภูมิ 5°C จะถูกให้ความร้อนในชั้นแรกด้วยแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (plate heat exchanger) หรือท่อแลกเปลี่ยนความร้อน (tubular heat exchanger) จนมีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 75°C ความดันของน้ำนมจะเพิ่มขึ้นเป็น 0.4 MPa โดยปั๊มจากนั้นจะให้ความร้อนอีกครั้งโดยการฉีดไอน้ำลงในน้ำนม ซึ่งจะทำให้ น้ำนมมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 143°C และคงไว้ 2 - 3 วินาที ในท่อรักษาระดับอุณหภูมิ (holding tube) จากนั้นจึงทำให้ น้ำนมเย็นลงอย่างรวดเร็ว (flash-cooling) ใน condenser ที่ประกอบอยู่ในถังสุญญากาศ (flash vessel) ซึ่งสภาวะเป็นสุญญากาศถูกควบคุมเพื่อให้มีการดึงไอน้ำออกอย่างสมดุลเท่ากับปริมาณไอน้ำที่ฉีดลงไป ในน้ำนม น้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นจากการกลั่นตัวของไอน้ำจะระเหยออกไปจนมีปริมาณของแข็งในน้ำนมเหลือเท่าเดิม นอกจากนั้นการทำให้

เย็นในขั้นนี้ยังช่วยขจัดสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำชนิดระเหยได้ที่ไม่ต้องการออกไป และในกระบวนการผลิตถ้าหากจะทำการโฮโมจีไนส์หลังการสเตอริไลซ์จะต้องทำในสภาพปลอดเชื้อโดย aseptic centrifugal pump จะป้อนน้ำยูเอชทีที่มีอุณหภูมิลดต่ำลงเหลือ  $75^{\circ}\text{C}$  ผ่านเครื่องโฮโมจีไนส์ 2 ขั้นตอน (two-stage aseptic homogenizer) แล้วจึงทำให้น้ำนมเย็นลงจนมีอุณหภูมิต่ำกว่า  $5^{\circ}\text{C}$  [6, 7, 19]

## (2) การพ่นน้ำนมเข้าไปยังไอน้ำ (steam infusion)

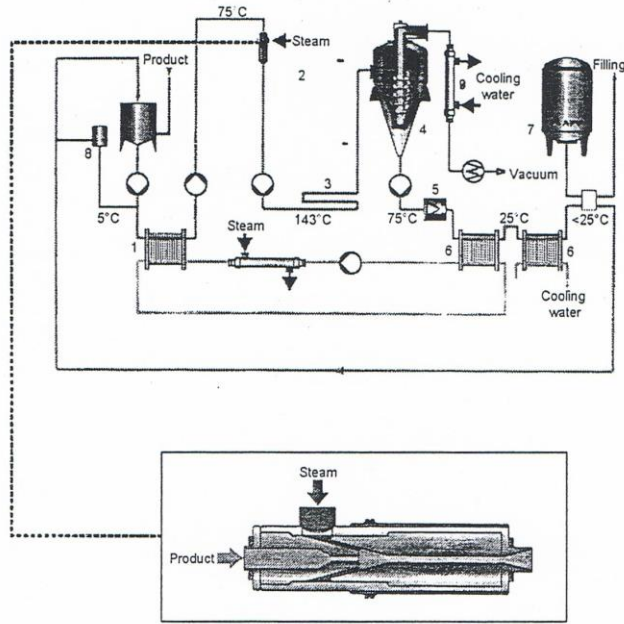
การผลิตน้ำนมยูเอชทีโดยการให้ความร้อนอีกรูปแบบหนึ่งคือการสเตอริไลซ์แบบพ่นน้ำนมเข้าไปยังไอน้ำ (รูปที่ 5.22) น้ำนมดิบที่เข้ามาจากถังรักษาระดับน้ำนมมีอุณหภูมิ  $5^{\circ}\text{C}$  จะถูกให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น  $75^{\circ}\text{C}$  ใน regeneration section ก่อนที่จะถูกให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ  $143^{\circ}\text{C}$  ใน steam infusion chamber ระบบนี้ออกแบบให้มีปั๊มพิเศษต่อโดยตรงใต้ infusion chamber หลังจากนั้นน้ำนมจะผ่าน holding tube ช่วงเวลาเพียง 2-3 วินาทีก่อนที่จะเข้าไปยัง aseptic flash vessel ภายใต้สุญญากาศเพื่อขจัดน้ำที่ถูกเติมลงไป จึงทำให้น้ำนมมีอุณหภูมิลดลงเหลือ  $75^{\circ}\text{C}$  จากนั้นจึงผ่านการโฮโมจีไนส์เช่นที่ความดัน 20-25 MPa ซึ่งทำในสภาพปลอดเชื้อ ตามด้วยการทำให้เย็นลงต่อไปถึงอุณหภูมิ  $25^{\circ}\text{C}$  ก่อนที่จะถูกบรรจุลงในถังปลอดเชื้อ [7]



รูปที่ 5.20 การฉีดไอน้ำลงในน้ำนม (steam injection) - (รูป ก)

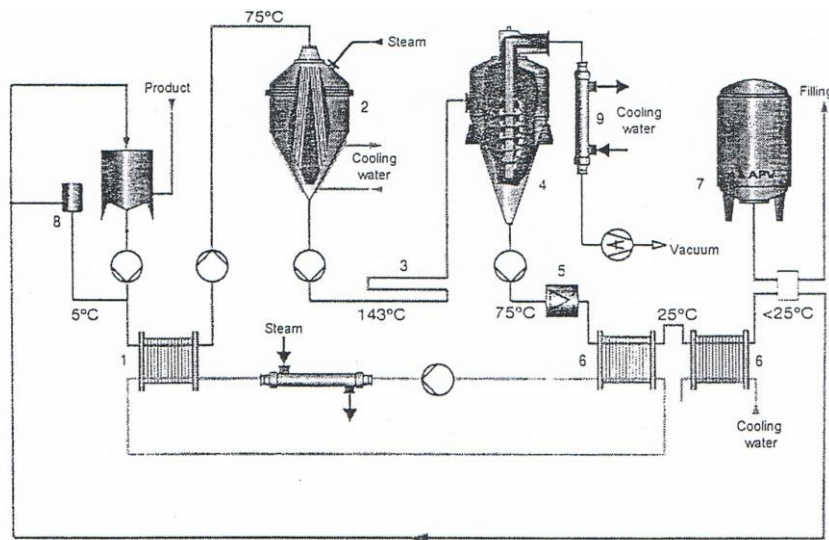
และการพ่นน้ำนมเข้าไปยังไอน้ำ (steam infusion) - (รูป ข)

ที่มา: Varnam และ Sutherland [6]



รูปที่ 5.21 การผลิตนํ้านมยูเอชทีโดยใช้ระบบ direct steam injection

(1) plate heat exchanger (2) steam injection nozzle (3) holding tube (4) flash vessel (5) aseptic homogeniser (6) plate coolers (7) aseptic tank (8) sterilizing loop (9) condenser  
ที่มา: Muir และ Tamine [7]



รูปที่ 5.22 การผลิตนํ้านมยูเอชทีโดยใช้ระบบ direct steam infusion

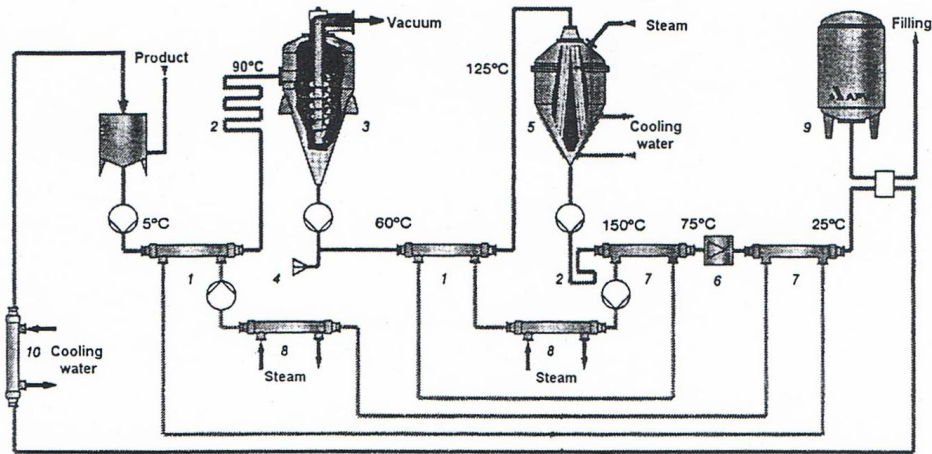
(1) plate heat exchanger (2) steam infusion chamber (3) holding tube (4) flash vessel (5) aseptic homogeniser (6) plate coolers (7) aseptic tank (8) sterilizing loop (9) condenser  
ที่มา: Muir และ Tamine [7]

### (3) การพ่นน้ำนมเข้าไปยังไอน้ำแบบให้ความร้อนสูง (high-heat steam infusion)

ระบบการผลิตน้ำนมยูเอชทีที่มีการพ่นน้ำนมเข้าไปยังไอน้ำแบบให้ความร้อนสูงเป็นวิธีการให้ความร้อนโดยตรงวิธีหนึ่งที่มีการทำลายแบคทีเรียที่สร้างสปอร์ซึ่งทนความร้อนได้ดี คุณณหภูมิที่ต้องใช้ในการให้ความร้อนในระดับ commercial sterility อยู่ที่ 145-150°C เป็นเวลา 3-10 วินาที ระบบ high-heat infusion แสดงดังรูปที่ 5.23 ซึ่งน้ำนมจะถูกให้ความร้อนถึง 90°C เป็นเวลา 2-3 วินาที จากนั้นจึงเข้าไปยัง flash vessel (ถังไม่ปลอดภัย) ภายใต้สภาวะสุญญากาศเพื่อขจัดน้ำในปริมาณที่เท่ากับไอน้ำที่จะถูกเติมลงในน้ำนมเมื่ออยู่ใน steam infusion chamber ซึ่งจะผ่านน้ำนมเข้าไปยังไอน้ำ ดังนั้นเมื่อผ่าน flash vessel คุณภูมิของนมที่ถูกทำให้เข้มข้นบางส่วนจะลดลงเหลือ 60°C หลังจากนั้นน้ำนมนี้จะถูกให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 125°C โดย tubular heat exchanger ก่อนที่จะเข้าไปยัง steam infusion chamber เพื่อให้ความร้อนน้ำนมจนถึง 150°C แล้วจึงผ่านไปยัง holding tube ซึ่งจะคงอุณหภูมิไว้ที่ระดับนี้ 10 วินาที จากนั้นจึงทำให้น้ำนมเย็นลงเหลือ 75°C แล้วจึงผ่านการโฮโมจีไนส์ความดัน 20-25 MPa ซึ่งทำในสภาพปลอดภัย ตามด้วยการทำให้เย็นลงต่อไปถึงอุณหภูมิ 25°C ก่อนที่จะถูกบรรจุลงในถังปลอดภัย โรงงานนมยูเอชทีตามที่ได้กล่าวมาออกแบบเพื่อให้ได้พลังงานกลับคืนถึงร้อยละ 75 เมื่อเปรียบเทียบกับระบบ steam infusion แบบดั้งเดิมและ indirect tubular ซึ่งจะได้พลังงานกลับคืน ร้อยละ 40 และร้อยละ 80-85 ตามลำดับ [7]

#### 5.7.3.2 การให้ความร้อนโดยผ่านตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อน (indirect heating method)

การให้ความร้อนแบบยูเอชทีนี้ น้ำนมจะได้รับความร้อนจากน้ำร้อนหรือไอน้ำโดยผ่านตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อน สำหรับตัวกลางแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นมีหลายชนิด แต่ชนิดที่นิยมใช้กับอาหารที่มีความหนืดต่ำ โดยเฉพาะน้ำนม คือแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (plate heat exchanger) ซึ่งแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในการให้ความร้อนแบบยูเอชทีจะคล้ายกับที่ใช้ในการพาสเจอร์ไรส์ แต่จะออกแบบให้ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิสูง และสามารถทนความดันสูงในระบบได้ ผิวของแผ่นโลหะจะมีลักษณะเป็นลูกฟูกเพื่อให้มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้กระบวนการผลิตน้ำนมยูเอชทีอาจมีหลายชุด เพื่อทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนในส่วนต่าง ๆ เช่น ในส่วนของการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำนมร้อนกับน้ำนมเย็น (regeneration section) ส่วนของการให้ความร้อน (heating section) และส่วนของการทำให้เย็น (cooling section) [1]



รูปที่ 5.23 การผลิตนํ้านมยูเอชทีโดยใช้ระบบ high-heat infusion

(1) tubular pre-heaters (2) holding tube (3) flash vessel (non-aseptic) (4) nonaseptic flavor dosing (option) (5) steam infusion chamber (6) aseptic homogeniser (7) tubular coolers (8) tubular heater (9) aseptic tank (10) nonaseptic cooler

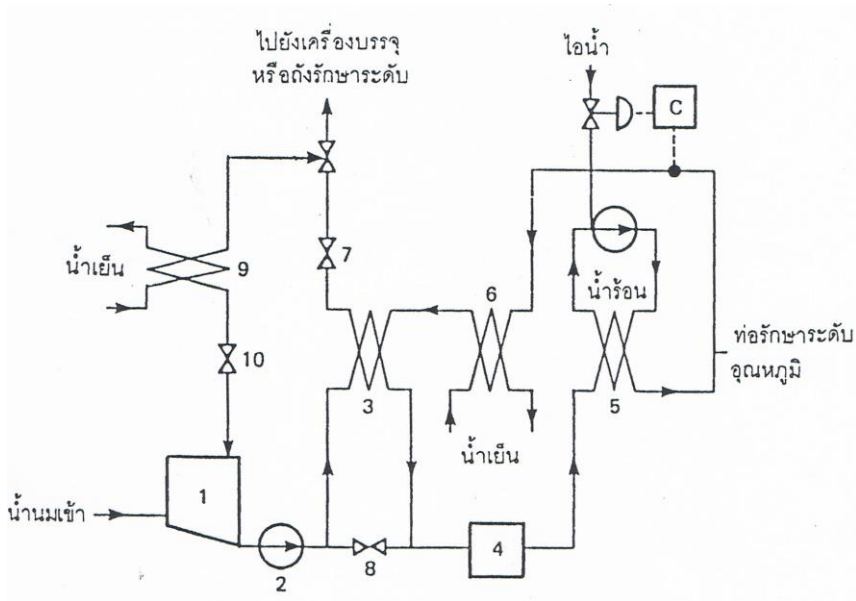
ที่มา: Muir และ Tamine [7]

ระบบยูเอชทีเป็นระบบที่ต้องใช้ความดันสูงในขณะปฏิบัติงาน ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันการเดือดของอาหารเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงอุณหภูมิของการสเตอริไลซ์แบบยูเอชที (135 -150°C) มิฉะนั้นแล้วจะก่อให้เกิดปัญหาหลายประการเช่น ใอนํ้าจะไปแทนที่ของเหลว (อาหาร) ทำให้ของเหลวไหลได้ช้าลง การปฏิบัติงานทั้งระบบก็จะช้าลงด้วย และเมื่อมีการเดือดเกิดขึ้น ซึ่งปกติจะเกิดขึ้นที่ผิวของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงสุด ของแข็งในอาหาร (นํ้านม) ก็จะตกตะกอนซึ่งจะขัดขวางการไหลและการถ่ายเทความร้อน ฉะนั้นในระบบจำเป็นต้องมีความดัน (back pressure) ซึ่งจะต้องเท่ากับความดันไอของอาหารเมื่ออุณหภูมิเพิ่มถึงจุดสูงสุด และเนื่องจากอาหารที่ผ่านความร้อนด้วยวิธีนี้มีปริมาณนํ้าสูง ความดันที่ใช้จึงเท่ากับความดันไอของนํ้าที่อุณหภูมิของการสเตอริไลซ์ปกติที่อุณหภูมิ 135°C ความดันที่ใช้เพื่อป้องกันการเดือด ควรเป็น 2 บาร์ (30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ส่วนที่อุณหภูมิ 150°C ควรใช้ความดันประมาณ 3.75 บาร์ (55 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) [19]

กระบวนการผลิตนํ้านมยูเอชทีโดยการให้ความร้อนแบบผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนแสดงดังรูปที่ 5.24 ชั้นแรกนํ้านมจะถูกปั๊มจากถังรักษาระดับ (balance tank) ผ่านไปยังแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนชุดแรก (regeneration section) นํ้านมเย็นจะแลกเปลี่ยนความร้อนกับนํ้านมร้อนจนมีอุณหภูมิเพิ่ม

ขึ้นถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการไฮโมจีไนส์คือ  $65 - 85^{\circ}\text{C}$  หลังจากที่ไฮโมจีไนส์แล้วจะผ่านไปยังแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนชุดสุดท้าย (heating section) น้ำนมจะได้รับความร้อนจากน้ำร้อนที่ไหลสวนทางกับน้ำนม จนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น  $135^{\circ}\text{C}$  คงไว้ระยะเวลาหนึ่งในท่อรักษาระดับอุณหภูมิ (holding tube) จากนั้นจะถูกทำให้เย็นใน cooling section โดยการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำเย็นที่ไหลสวนทางกัน แล้วผ่านไปยัง regeneration section อีกครั้ง เพื่อให้อุณหภูมิลดลงอีกถึงอุณหภูมิที่จะบรรจุ เมื่อน้ำนมออกจากแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนใน regeneration section แล้วจะไหลผ่านพรีเซทวาล์ว (preset valve) ซึ่งจะทำให้ความดันของน้ำนมลดลงทำให้เกิด back pressure ป้องกันการเดือดของน้ำนมใน heating section สำหรับเวลาที่ใช้ในกระบวนการแปรรูป (processing time) และเวลาที่คงไว้ที่อุณหภูมิของการสเตอริไลซ์ (holding time) นั้นขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำนม อัตราการไหลของน้ำนมจะถูกควบคุมโดยอัตราการป้อนของไฮโมจีไนเซอร์ และขนาดของท่อรักษาระดับอุณหภูมิ ส่วนอุณหภูมิในระบบจะถูกควบคุมโดยอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (closed-loop temperature controller) ซึ่งจะควบคุมอุณหภูมิของน้ำนมในท่อรักษาระดับอุณหภูมิ และควบคุมการฉีดไอน้ำลงในระบบหมუნเวียนน้ำร้อนเพื่อรักษาอุณหภูมิในท่อรักษาระดับอุณหภูมิให้คงที่ ระบบควบคุมอุณหภูมิของการสเตอริไลซ์นี้สามารถป้องกันน้ำนมที่ได้รับความร้อนไม่เพียงพอผ่านไปยังระบบบรรจุ [19]

จากกระบวนการผลิตน้ำนมยูเอชที (รูปที่ 5.24) มีระบบการทำความสะอาดอยู่ด้วยโดยจะทำความสะอาดโดยไม่มีการถอดอุปกรณ์ออก (cleaning-in-place (CIP) คือจะมีการผ่านสารละลายที่ใช้ทำความสะอาดและน้ำร้อนสำหรับสเตอริไลซ์เข้าไปในอุปกรณ์ต่าง ๆ ทั้งระบบ โดยจะหมุนเวียนสารละลายเหล่านี้กลับมายังถึงรักษาระดับ ในขณะที่ทำการสเตอริไลซ์อุปกรณ์ต่าง ๆ น้ำซึ่งไหลวนอยู่ในระบบจะมีอุณหภูมิจนถึงจุดของการสเตอริไลซ์ และเมื่อน้ำร้อนนั้นไหลกลับมายังถึงรักษาระดับซึ่งไม่มีความดันจึงต้องลดอุณหภูมิจนให้ต่ำกว่า  $100^{\circ}\text{C}$  เพื่อป้องกันการเดือดของน้ำ (circulating water) หลังจากที่ออกมาจากท่อในส่วนที่ผลิตภัณฑ์สุดท้ายออกมา โดยการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำเย็นซึ่งจะลดอุณหภูมิของน้ำลงเหลือ  $80^{\circ}\text{C}$  ก่อนที่จะถึงถึงรักษาระดับ และในกรณีที่การแลกเปลี่ยนความร้อนใน regeneration section ไม่มีประสิทธิภาพ น้ำที่ไหลวนนี้ก็สามารรถกลับเข้าไปในระบบจนมีอุณหภูมิจนถึงจุดสเตอริไลซ์ได้อย่างรวดเร็วโดยผ่านวาล์วพิเศษที่เรียกว่า บายพาสวาล์ว (by-pass valve) [19]



รูปที่ 5.24 กระบวนการผลิตน้ำร้อนที่โดยการให้ความร้อนแบบผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (1) ถังรักษาระดับ (2) ปั๊ม (3) แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนชุดแรก (regeneration section) (4) ไฮโมจีไนเซอร์ (5) แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนชุดที่สอง (heating section) (6) แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนชุดที่สอง (cooling section) (7) ปริเซทวาล์ว (preset valve) (8) บายพาสวาล์ว (by-pass valve) (9) หน่วยทำความเย็น (10) back-pressure valve

ที่มา: Burton [19]

## 5.8 การบรรจุ

### 5.8.1 การบรรจุน้ำมพาสเจอร์ไรส์

ภาชนะบรรจุที่นิยมใช้บรรจุน้ำมพาสเจอร์ไรส์ มีหลายรูปแบบ ได้แก่ ขวด แก้ว กล่องกระดาษ ขวดพลาสติกและถุงพลาสติก รายละเอียดดังต่อไปนี้ [1]

#### 5.8.1.1 การบรรจุในขวดแก้ว

ขวดแก้วเป็นภาชนะบรรจุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยจะต้องผ่านการล้างก่อน ซึ่งในปัจจุบันนิยมล้างด้วยเครื่องล้างแบบต่อเนื่องที่ใช้ระบบ 'Hydro' ซึ่งเป็นระบบการล้างที่ทันสมัย ในขั้นแรกจะล้างขวดด้วยน้ำเปล่า เพื่อขจัดน้ำมที่ตกค้างรวมทั้งสิ่งแปลกปลอมออกและเป็นการทำให้ขวดอุ่นขึ้น

เพื่อป้องกันการแตก (โดยเฉพาะในฤดูหนาว) ถ้าหากได้รับความร้อนในทันที จากนั้นฉีดด้วยน้ำที่มีอุณหภูมิ 46°C เพื่อขจัดเอาคราบน้ำมันที่ติดอยู่ออกให้หมดและผ่านไปยังหน่วยการทำความสะอาดซึ่งจะล้างขวดด้วยสารละลายคอสติกโซดา (caustic soda) ที่มีอุณหภูมิ 62°C ตามด้วยการล้างด้วยน้ำที่มีอุณหภูมิ 49°C จากนั้นจึงฉีดด้วยสารละลายไฮโปคลอไรต์ (hypochlorite) และล้างด้วยน้ำที่มีอุณหภูมิ 49°C และ 30°C เพื่อขจัดสารเคมีที่ตกค้างออกให้หมดและเพื่อลดอุณหภูมิของขวดก่อนที่จะนำไปล้างด้วยน้ำเย็นอีกครั้ง เมื่อขวดผ่านการล้างเรียบร้อยแล้วจะถูกตรวจสอบด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่าโฟโตอิเล็กทริกสแกนเนอร์ (photo-electric scanner) เพื่อให้แน่ใจว่าขวดสะอาดปราศจากสิ่งแปลกปลอม ถ้าหากพบขวดที่ล้างไม่สะอาดก็จะคัดออกทันที ส่วนขวดที่สะอาดจะถูกนำไปบรรจุน้ำมันพาสเจอร์ไรส์ ปิดด้วยฝาอลูมิเนียมฟอยด์ [1]

### 5.8.1.2 การบรรจุในกล่องกระดาษแข็ง

ปัจจุบันนิยมใช้กล่องกระดาษแข็ง (paperboard carton) บรรจุน้ำมันพาสเจอร์ไรส์ กระดาษแข็งที่ใช้ทำกล่องโดยปกติจะประกบ (laminated) กับพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน จำหน่ายในลักษณะเป็นม้วนเพื่อที่จะนำมาขึ้นรูปเป็นกล่อง ทำการบรรจุ และปิดผนึก คล้ายกับการบรรจุน้ำมันมยูเอชที แต่น้ำมันพาสเจอร์ไรส์มีอายุการเก็บไม่นานเท่า น้ำมันมยูเอชที ดังนั้นวัสดุที่ใช้ทำกล่องบรรจุน้ำมันพาสเจอร์ไรส์จึงแตกต่างกับวัสดุที่ใช้ทำกล่องบรรจุน้ำมันมยูเอชที กล่าวคือ กระดาษแข็งที่ใช้ทำกล่องบรรจุน้ำมันพาสเจอร์ไรส์จะไม่มีการประกบด้วยชั้นของอลูมิเนียมฟอยด์ที่ช่วยป้องกันออกซิเจน เนื่องจากน้ำมันพาสเจอร์ไรส์อาจเสียก่อนที่จะเกิดปฏิกิริยาการหืนแบบที่ออกซิเจนเป็นต้นเหตุ (oxidative rancidity) อุปกรณ์ที่ใช้ในการบรรจุน้ำมันพาสเจอร์ไรส์ปัจจุบันออกแบบให้บรรจุได้อย่างถูกสุขลักษณะ จึงทำให้น้ำมันพาสเจอร์ไรส์ที่บรรจุกล่องมีการปนเปื้อนโดยจุลินทรีย์น้อยประกอบกับในการขนส่งและจำหน่ายมักควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันให้ต่ำอยู่เสมอจึงพบว่าน้ำมันพาสเจอร์ไรส์ส่วนใหญ่ที่จำหน่ายในปัจจุบันเก็บได้นานถึง 10 – 15 วัน

### 5.8.1.3 การบรรจุในขวดพลาสติกและถุงพลาสติก

ขวดที่ใช้บรรจุน้ำมันพาสเจอร์ไรส์ ผลิตโดยการหล่อขวดพลาสติกแบบเป่า (blow-moulding) จากเม็ดพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน (polyethylene) หรือโพลีโพรพิลีน (polypropylene) ที่มีความหนาแน่นสูง ซึ่งจะถูกละลายด้วยความร้อนสูงถึง 200°C การให้ความร้อนสูงจะเป็นการทำลายจุลินทรีย์บนเม็ดพลาสติกไปด้วย เมื่อได้ขวดพลาสติกแล้วจะนำมาบรรจุน้ำมันพาสเจอร์ไรส์อย่างถูกสุขลักษณะ สำหรับการบรรจุในถุงพลาสติกนั้น ก่อนอื่นถุงพลาสติกจะถูกขึ้นรูปจากฟิล์มโพลีเอทิลีนโดยฟิล์มโพลีเอทิลีนจาก

ม้วนพลาสติก จะผ่านไปยังอ่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30-40 เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ผิวแล้วของเหลวจะถูกกวาดออกและแผ่นพลาสติกจะถูกขึ้นรูปเป็นลักษณะท่อยาว ทำการบรรจุและปิดผนึกด้วยความร้อน

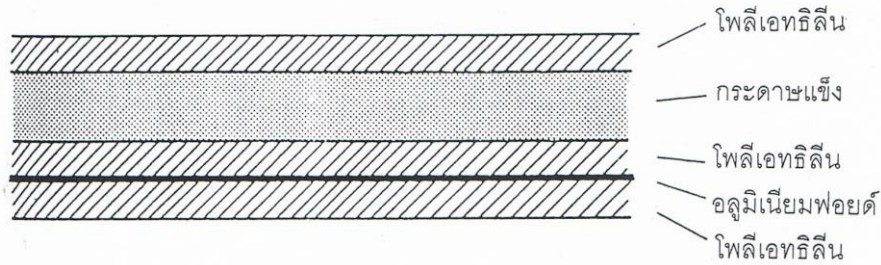
### 5.8.2 การบรรจุน้ำนมยูเอชทีในสภาพปลอดเชื้อ (aseptic packing)

เมื่อผลิตน้ำนมสเตอริไลซ์โดยผ่านการให้ความร้อนแบบยูเอชทีแล้ว จำเป็นต้องรักษาให้น้ำนมอยู่ในสภาพที่ปราศจากเชื้อตลอดไป จนถึงบรรจุซึ่งจะต้องทำในสภาพปลอดเชื้อเช่นกัน วัสดุที่ใช้ทำภาชนะสำหรับบรรจุน้ำนมมีหลายชนิดได้แก่ กระดาษแข็งที่ประกบกับวัสดุอื่น (paper-based laminates) ขวดและถุงพลาสติกที่ทำจากโพลีเอทิลีนและโพลีโพรไพลีน

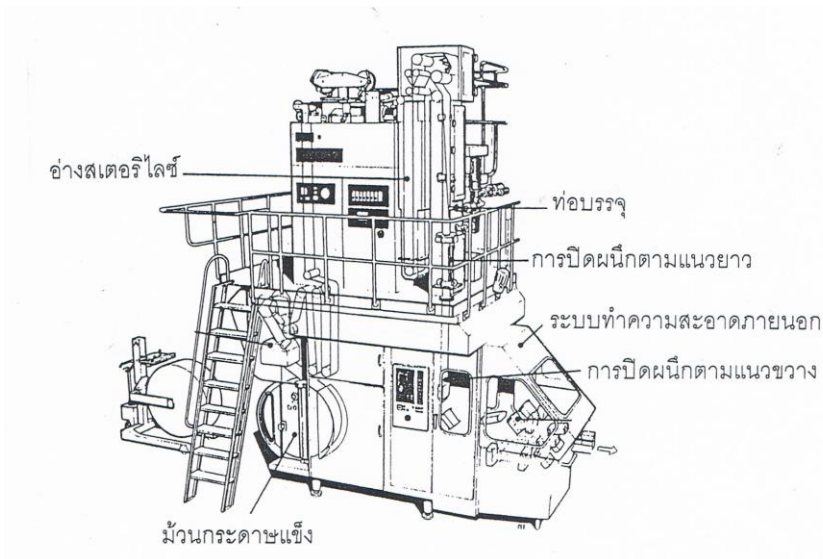
กล่องกระดาษแข็ง (paperboard carton) เป็นภาชนะบรรจุที่นิยมใช้ในการบรรจุน้ำนมยูเอชที กระดาษแข็งที่ใช้ทำกล่องปกติจะประกบกับวัสดุอื่น ๆ โดยเรียงตามลำดับจากด้านนอกไปยังด้านในดังนี้ โพลีเอทิลีน กระดาษแข็ง โพลีเอทิลีน อลูมิเนียมฟอยด์และโพลีเอทิลีน ตามรูปที่ 5.25 การที่ชั้นของโพลีเอทิลีนมีอยู่ทั้งด้านนอกและด้านในจะช่วยป้องกันไม่ให้ของเหลวซึมผ่านไปสู่กระดาษและทำให้สามารถปิดผนึกได้ด้วยความร้อนทั้งที่ผิวด้านในและด้านนอก ส่วนชั้นของอลูมิเนียมฟอยด์จะช่วยป้องกันออกซิเจนเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายใน [19]

ในการบรรจุน้ำนมยูเอชทีจะมีการขึ้นรูปกล่องกระดาษ บรรจุน้ำนมลงในกล่องและปิดผนึกโดยทำในสภาพปลอดเชื้อทั้งระบบด้วยเครื่องจักรดังรูปที่ 5.26 ในขั้นแรกกระดาษแข็งซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นแบน ๆ จากม้วนจะเคลื่อนผ่านไปยังอ่างของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 มีอุณหภูมิ 70-80°C และในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นี้จะผสมด้วยสารช่วยให้เปียก (wetting agent) เพื่อทำให้เกิดฟิล์มของของเหลวที่ผิวของกระดาษ จากนั้นกระดาษจะผ่านไปยังลูกกลิ้งคู่เพื่อขจัดของเหลวส่วนเกินออกก่อนที่จะผ่านไปยังอากาศร้อนที่มีอุณหภูมิสูง 125°C ซึ่งจะทำให้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ระเหยออกไป และเป็นการช่วยเร่งอัตราของการสเตอริไลซ์ที่ผิวของกระดาษ จากนั้นจะทำการขึ้นรูปกระดาษในลักษณะแผ่นแบน ๆ อย่างต่อเนื่องโดยปิดผนึกที่ขอบทั้งสองด้านซึ่งมาชนกันตามแนวยาวในลักษณะของวงแหวน เมื่อปิดผนึกแล้วกระดาษจะมีลักษณะเป็นท่อเคลื่อนลงมาและทำการปิดผนึกด้วยความร้อนตามแนวขวาง (transverse heat seal) ทำให้เกิดเป็นฐานของกล่องเพื่อที่จะได้เติมน้ำนมซึ่งจะผ่านลงมาตามท่อบรรจุ (filling tube) ตามรูปที่ 5.26 เมื่อทำการบรรจุน้ำนมที่ปราศจากเชื้อลงไป ในกล่องแล้วก็ปิดผนึก ที่ด้านบนของกล่องตามแนวขวางอีกครั้ง จากนั้นกล่องจะถูกตัดให้หลุดออกด้วยใบมีด การปิดผนึกครั้งนี้ นอกจากจะเป็นการปิดกล่องที่บรรจุแล้วยังทำให้เกิดฐานของ

กล่องถัดไปอีกด้วย นอกจากนี้ในการบรรจุน้ำมันมยูเอชที่อาจมีการขึ้นรูปกล่องไว้ก่อนแล้ว เมื่อนำมาใช้ จะผ่าเชื่อมด้านในของกล่องด้วยแก๊สเอทิลีนไดออกไซด์ร่วมกับการใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และอากาศร้อนที่อุณหภูมิ  $180^{\circ}\text{C}$  ก่อนที่จะบรรจุและปิดผนึก เครื่องจักรที่ใช้ในการบรรจุแบบปิด เชื้อนี้ควรตั้งอยู่ในห้องปิดแยกจากส่วนอื่นของโรงงานและอากาศภายในจะต้องปราศจากเชื้อ [1, 19]

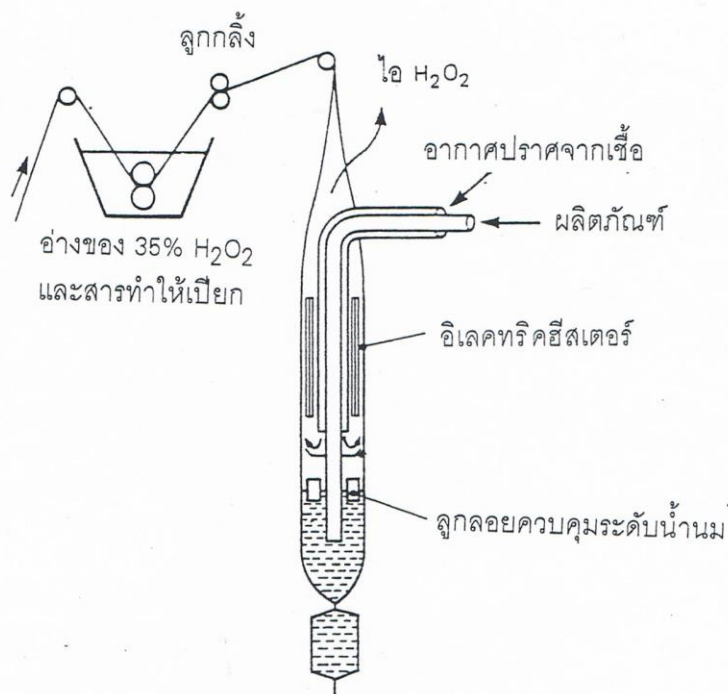


รูปที่ 5.25 โครงสร้างของกระจาดแข็งสำหรับทำกล่องในการบรรจุแบบปิดเชื้อ  
 ที่มา: Burton [19]

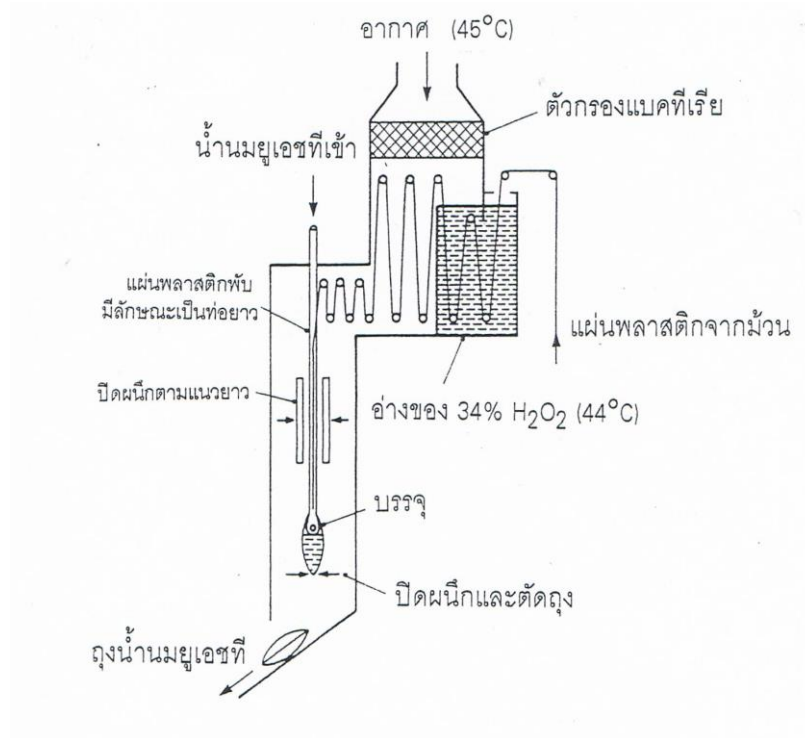


รูปที่ 5.26 เครื่องจักรสำหรับขึ้นรูปและบรรจุในสภาพปิดเชื้อ  
 ที่มา: Komorowski และ Early [1]

ขวดพลาสติกก็ใช้บรรจุน้ำนมยูเอชทีได้เช่นเดียวกับน้ำนมพาสเจอร์ไรส์ ขวดอาจถูกขึ้นรูปแบบเป่า (blow-moulding) ที่จุดของการบรรจุ และขณะเดียวกันจะเป็นการสเตอริไลซ์ขวดไปด้วย จากนั้นจึงบรรจุ และปิดผนึกในสภาพปลอดเชื้อหรืออาจมีการขึ้นรูปขวดไว้ก่อน เมื่อจะใช้จึงฆ่าเชื้อด้านในของขวด ทำการบรรจุและปิดผนึกในสภาพปลอดเชื้อ สำหรับการบรรจุน้ำนมยูเอชทีในถุงพลาสติก (plastic pouch) จะทำการขึ้นรูป บรรจุและปิดผนึกคล้ายกับการบรรจุในกล่อง โดยแผ่นพลาสติกจากม้วนจะเคลื่อนผ่าน อ่างของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 34 ที่มีอุณหภูมิ 44°C จากนั้นแผ่น พลาสติกจะผ่านอากาศปราศจากเชื้อที่มีอุณหภูมิ 45°C ซึ่งจะทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ผิวพลาสติก ระเหยออกไป และแผ่นพลาสติกจะถูกปิดผนึกด้วยความร้อนตามแนวยาว ทำให้เกิดลักษณะเป็นท่อ เคลื่อนลงมาและปิดผนึกตามแนวขวางเพื่อให้เกิดส่วนล่างของถุง จากนั้นจึงบรรจุน้ำนมลงไปในถุงตาม ด้วยการปิดผนึกตามแนวขวางอีกครั้ง ดังรูปที่ 5.27 [19]



รูปที่ 5.27 การขึ้นรูป บรรจุ และปิดผนึกกล่องกระดาษแข็ง  
ที่มา: Burton [19]



รูปที่ 5.28 การขึ้นรูป บรรจุ และปิดผนึกถุงพลาสติก  
ที่มา: Burton [19]

น้ำนมยูเอชทีที่บรรจุในถุงพลาสติกที่ทำด้วยโพลีเอทิลีนชนิดขาว (white polyethylene) จะมีอายุการเก็บสั้น ประมาณ 10-15 วัน ส่วนน้ำนมยูเอชทีที่บรรจุในถุงพลาสติกที่ทำด้วยโพลีเอทิลีนชนิดขาวหรือชนิดดำและผนึกกับโพลีไวนิลลิดีนคลอไรด์ (polyvinylidene chloride) หรือเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์ (ethylene vinyl alcohol) จะมีอายุการเก็บประมาณ 2-3 เดือน [1]

### เอกสารอ้างอิง

1. Komorowski, E. S. and Early, R. 1992. Liquid milk and cream, pp. 1-23. In: Early, R. (Ed.). The Technology of Dairy Products. VCH Publishers, Inc., New York.
2. Walstra, P., Wouters, J.T.M. and Geurts, T.J. 2006. Dairy Science and Technology, 2<sup>nd</sup> ed. Taylor & Francis group, LLC., Boca Raton, FL, USA.
3. Potter, N. N. and Hotchkiss, J. H. 1995. Food Science. Chapman & Hall, USA.

4. วรรณนา ตั่งเจริญชัย และวิบูลย์ศักดิ์ กาวิลละ. 2531. นมและผลิตภัณฑ์นม. สำนักพิมพ์ไอดีเอ็น, กรุงเทพฯ.
5. van den Berg, J. C. T. 1988. Dairy Technology in the Tropics and Subtropics. Pudoc Wageningen, The Netherlands.
6. Varnam, A. H. and Sutherland, J. P. 1994. Milk and Milk Products. Chapman & Hall, London.
7. Muir, D. D. and Tamine, A. Y. 2001. Liquid milk, pp. 53-94. In: Tamine, A. Y. and Law, B. A. (eds.). Mechanisation and Automation in Dairy Technology. Sheffield Academic Press, England.
8. Towler, C. 1994. Developments in cream separation and processing, pp. 61-105. In: Robinson, R. K. (Ed.). Modern Dairy Technology Vol.1. 2d ed., Chapman & Hall, Great Britain.
9. Nistri, L. 1994. Homogenisation technology in the food industry. Milk Industry, April: 4-6.
10. Aguilera, J. M. and Stanley, D. W. 1990. Microstructural Principles of Food Processing & Engineering. Elsevier Science Publishers, London.
11. Buchheim, W. and P. Dejmek. 1990. Milk and dairy-type emulsions, pp. 203-246. In: Larsson, K. and Friberg, S. E. (Eds.). Food Emulsions. Marcel Dekker, Inc., New York.
12. Walstra, P. and Jenness, R. 1984. Dairy Chemistry and Physics. John Wiley & Sons, Inc., USA.
13. Lewis, M. J. 1994. Heat treatment of milk, pp. 1-59. In: Robinson, R. K. (eds.). Modern Dairy Technology Vol.1. 2d ed., Chapman & Hall, Great Britain.
14. Jones, V. A. and W. J. Harper. 1981. General processes for fluid milks, pp.141-212. In: Harper, W. J. and Hall, C. W. (Eds.). Dairy Technology and Engineering. AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut.
15. Stauffer, J. E. 1993. Quality assurance and dairy processing, pp. 1-76. In: Hui, Y. H. (Ed.). Dairy Science and Technology Handbook 3 Applications Science, Technology, and Engineering. VCH Publishers, Inc. USA.
16. Brennan, J. G., Butters, J. R., Cowell, N. D. and Lilley, A. E. V. 1990. Food Engineering Operations. Elsevier Applied Science, Great Britain.

17. นิธิยา รัตนานนท์. 2527. เคมีนมและผลิตภัณฑ์นม. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
18. Milne, S. 1994. Aseptic processing and packaging. Milk Industry, November: 3-5.
19. Burton, H. 1988. Ultra-High-Temperature Processing of Milk and Milk Product. Elsevier Applied Science, England.

## บทที่ 6

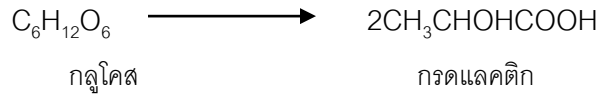
### ผลิตภัณฑ์นมหมัก

ผลิตภัณฑ์นมหมักเป็นผลิตภัณฑ์ที่เตรียมขึ้นจากน้ำนมซึ่งอาจเป็นน้ำนมพร้อมมันเนย น้ำนมพร้อมมันเนย หางนม น้ำนมเข้มข้น หรือน้ำนมที่ผสมด้วยหางนมผงโดยจะนำมาไฮโมจีไนส์หรือไม่ก็ได้แล้วให้ความร้อน ทำให้เย็นและผ่านการหมักด้วยจุลินทรีย์ ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์นมหมักกำลังเป็นที่นิยมรับประทานกันมากโดยเฉพาะโยเกิร์ต ตั้งแต่ที่ได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตชนิดผสมผลไม้ขึ้นอุตสาหกรรมการผลิตโยเกิร์ตก็ได้เติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วและมีการผลิตโยเกิร์ตชนิดต่างๆขึ้นหลายชนิดรวมทั้งโยเกิร์ตเพื่อสุขภาพ อย่างไรก็ตามนอกจากโยเกิร์ตแล้ว ยังมีผลิตภัณฑ์นมหมักอีกหลายชนิดซึ่งผลิตขึ้นจากการหมักด้วยจุลินทรีย์ต่างชนิดกัน เช่น คีเฟอร์ คูมิส นมอะซิโดฟิลัส คัลเจอร์บัตเตอร์มิลค์ ครีมเปรี้ยว และอื่นๆ

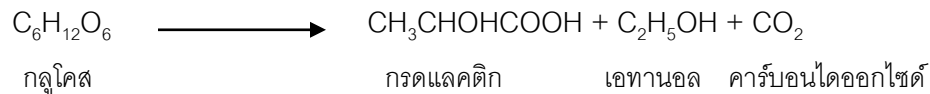
#### 6.1 กล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์นมหมัก

ในการทำผลิตภัณฑ์นมหมักจะใช้แบคทีเรียกรดแลคติกสำหรับการทำให้เกิดการสร้างกรดและกลิ่นรส เดิมแบคทีเรียกรดแลคติกใช้เรียกจุลินทรีย์ที่ทำให้ให้น้ำนมเปรี้ยว สายพันธุ์ที่บริสุทธิ์ชนิดแรกของแบคทีเรียกรดแลคติกคือ *Bacterium lactis* (อาจเป็น *Lactococcus lactis*) ลักษณะทั่วไปของแบคทีเรียกรดแลคติกคือ เป็นแบคทีเรียแกรมบวก ไม่สร้างสปอร์ ไม่สร้างเอนไซม์อะคะเตเลส ไม่มีไซโตโครม ไม่ต้องการอากาศในการเจริญแต่สามารถอยู่รอดได้ในสภาพที่มีอากาศ จู้จี้ (fastidious) ต้องการได้รับสารอาหารคือมักจะต้องการกรดอะมิโนที่เฉพาะ วิตามินบีและปัจจัยต่อการเจริญอื่นๆ ไม่สามารถใช้คาร์โบไฮเดรตที่มีความซับซ้อน ทนกรดได้ดี หมักน้ำตาลให้กรดแลคติกเป็นผลิตภัณฑ์หลัก โดยทั่วไปแบคทีเรียกรดแลคติกจะพบในอาหารที่มีสารอาหารสูง เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดคือ นม เนื้อสัตว์ เครื่องดื่มและผัก แต่บางชนิดจะพบเป็นจุลินทรีย์ในแหล่งธรรมชาติอื่นๆ [1, 2]

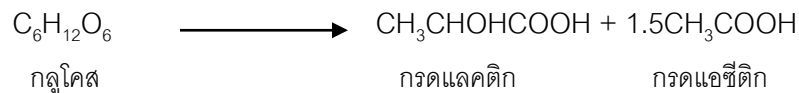
ชนิดของการหมักโดยแบคทีเรียกรดแลคติกแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ homo-lactic-acid fermentation และ hetero-lactic-acid fermentation ในกรณีของ homo-lactic-acid fermentation กลูโคสถูกหมักให้กรดแลคติกตามสมการข้างล่างนี้ กลูโคสเกือบร้อยละ 100 ถูกเปลี่ยนเป็นกรดแลคติกแบคทีเรียกรดแลคติกที่ทำให้เกิดการหมักแบบนี้เรียกว่า homofermentative lactic acid bacteria [3]



ในทางตรงข้าม hetero-lactic-acid fermentation เป็นการหมักของกลูโคสที่ให้กรดแลคติกและผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ปกติกลูโคสถูกหมักให้กรดแลคติก คาร์บอนไดออกไซด์และแอลกอฮอล์ดังสมการแบบที่เรียกรวดแลคติกที่ทำให้เกิดการหมักแบบนี้เรียกว่า heterofermentative lactic acid bacteria [3]



ในกรณีของ *Bifidobacterium* ทำให้เกิดการหมักแบบ heterofermentative ในรูปแบบที่แตกต่างกัน คือ กลูโคส 1 โมเลกุลถูกหมักให้กรดแลคติก 1 โมเลกุลและกรดแอซีติก 1.5 โมเลกุลดังสมการ [3]



### 6.1.1 แบคทีเรียกรดแลคติกในอุตสาหกรรมนม

#### 6.1.1.1 *Lactococcus*

*Lactococcus* (เดิมจัดอยู่ใน Group N streptococci) เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างกลม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5-1.0 ไมโครเมตร อาจอยู่เป็นคู่หรือต่อเป็นสายสั้นถึงสายยาว เชื้อนี้ทุกชนิดไม่มีแฟลกเจลลาและไม่สร้างเอนโดสปอร์ ชอบอุณหภูมิปานกลาง 20-22°C สำหรับการเจริญ ไม่เจริญที่อุณหภูมิ 45°C ชอบเจริญในสภาพที่มีออกซิเจนเพียงเล็กน้อย (microaerophile) ต้องการวิตามินบี สำหรับการเจริญที่เหมาะสม หมักคาร์โบไฮเดรตให้กรดแลคติกเป็นส่วนใหญ่ (homofermentative lactic acid bacteria) บางสายพันธุ์ผลิตเอกโซพอลิแซ็กคาไรด์ (exopolysaccharide) ให้ ropy texture และบางสายพันธุ์สร้างแบคทีริโอซิน (bacteriocins) เชื้อ *Lactococcus* มี 2 subspecies ได้แก่ *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* และ *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* เชื้อ *L. lactis* subsp. *lactis* ทนเกลือและความร้อนได้ดีกว่า *L. lactis* subsp. *cremoris* เชื้อ *L. lactis* subsp. *lactis* biovar.

*diacetylactis* เปลี่ยนชนิดทรพไปเป็นไดแอซีติล (diacetyl) คาร์บอนไดออกไซด์และอื่นๆ เป็นแบคทีเรียที่สร้างกลิ่นรส [4]

#### 6.1.1.2 *Streptococcus*

*Streptococcus* ชนิดเดียวที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมนมคือ *Streptococcus thermophilus* แบคทีเรียชนิดนี้เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างกลมหรือรูปไข่ อยู่เป็นคู่หรือต่อเป็นสาย มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 1 ไมโครเมตร ไม่เจริญที่อุณหภูมิ 15°C สายพันธุ์ส่วนใหญ่ของแบคทีเรียสกุลนี้สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิระหว่าง 40-50°C ต้องการวิตามินบีและกรดอะมิโนบางชนิดสำหรับการเจริญสูงสุด หมักกลูโคสในสภาพไร้อากาศได้กรดแลคติกเป็นส่วนใหญ่ (homofermentative lactic acid bacteria) สร้าง L(+)-แลคเตต (L(+)-lactate) แอซีตัลดีไฮด์ (acetaldehyde) และไดแอซีติลจากแลคโตสในนม บางสายพันธุ์ผลิตเอทิลแอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์ [4]

#### 6.1.1.3 *Leuconostoc*

แบคทีเรียสกุล *Leuconostoc* เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างกลม อยู่เดี่ยวๆหรืออยู่เป็นคู่ อาจต่อเป็นสายสั้นหรือสายยาวปานกลาง ไม่เคลื่อนที่ ไม่สร้างสปอร์ ต้องการสารอาหารซับซ้อน ชนิดที่ใช้เป็นก้ำเชื้อจุลินทรีย์สำหรับผลิตภัณฑ์นมคือ *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *cremoris* (เดิมรู้จักกันในชื่อของ *Leuconostoc cremoris* หรือ *L. citrovorum*) และ *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *dextranicum* *Leuconostoc* spp. เป็นแบคทีเรียที่ต้องการสารอาหารที่ซับซ้อน บางสายพันธุ์ผลิตเอทิลแอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถสร้าง ดี(-) แลคเตต (D(-) lactate) คาร์บอนไดออกไซด์ และสารประกอบให้กลิ่นรสเช่น เอทานอล ไดแอซีติลและกรดแอซีติก ซึ่งจัดเป็นแบคทีเรียกรดแลคติกชนิดเฮเทอโรเฟอเมนเททีฟ (heterofermentative lactic acid bacteria) ปกติใช้ร่วมกันหลายสายชนิดหรือหลายสายพันธุ์ในการเป็นก้ำเชื้อสำหรับใช้ทำนมหมักและเนยแข็ง [4]

#### 6.1.1.4 *Lactobacillus*

Orla-Jensen (1931) ได้จำแนก *Lactobacillus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียรูปท่อน ไม่สร้างเอนไซม์อะตะเลส ออกได้เป็น 3 genera คือ *Thermobacterium*, *Streptobacterium* และ *Betabacterium* จากนั้นในระหว่างปี ค. ศ. 1980-1989 แบคทีเรียสกุล *Lactobacillus* ได้ถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่ม I กลุ่ม II และกลุ่ม III กลุ่มที่ใช้ในอุตสาหกรรมนมมีดังนี้ กลุ่ม I) obligately homofermentative lactobacilli ได้แก่แบคทีเรียชนิด *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus kefirifaciens*, *Lactobacillus*

*acidophilus*, *Lactobacillus gasserii* และ *Lactobacillus johnsonii* สามชนิดหลังใช้ใน “bio” products ส่วน *L. kefirifaciens* ใช้ในเม็ดคีเฟอร์ (kefirgrains) ปัจจุบันยอมรับกันว่า *Lactobacillus jugurti* เป็นไบโอไทป์ (biotype) ของ *L. helveticus* เพียงแต่ขาดความสามารถในการหมักมอลโตส กลุ่ม II) facultative heterofermentative lactobacilli ตัวอย่างเช่น *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei*, *L. paracasei* subsp. *tolerans*, *Lactobacillus rhamnosus* และ *Lactobacillus plantarum* เชื้อเหล่านี้ส่วนใช้ใน “bio” products และกลุ่ม III) obligately heterofermentative lactobacilli กลุ่มนี้ไม่ค่อยมีความสำคัญในการใช้เป็นก้ำเชื้อสำหรับผลิตภัณฑ์นม ตัวอย่างเช่น *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus fermentum*, *Lactobacillus kefir*, *Lactobacillus viridescens* และ *Lactobacillus reuteri* [4] *Lactobacillus* ทนกรดได้ดีที่สุด ชอบเจริญที่ pH เริ่มต้น 5.5-6.2 และทำให้ pH ของนมลดลงถึงต่ำกว่า 4.0 ถ้าอยู่เดี่ยวๆในนมจะเจริญช้าจึงใช้ร่วมกับ *S. thermophilus* [5]

ปัจจุบัน lactobacilli ได้ถูกจัดกลุ่มใหม่โดยอาศัยความสัมพันธ์ด้าน phylogenetic เป็นกลุ่ม A, B และ C ยิ่งกว่านั้นภายในแต่ละกลุ่มยังแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยคือ กลุ่ม a, b และ c และเมื่อเร็วๆนี้ได้มีผู้ศึกษาการจำแนกชนิดของแบคทีเรียโพรไบโอติกในสกุล *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* และ *Enterococcus*

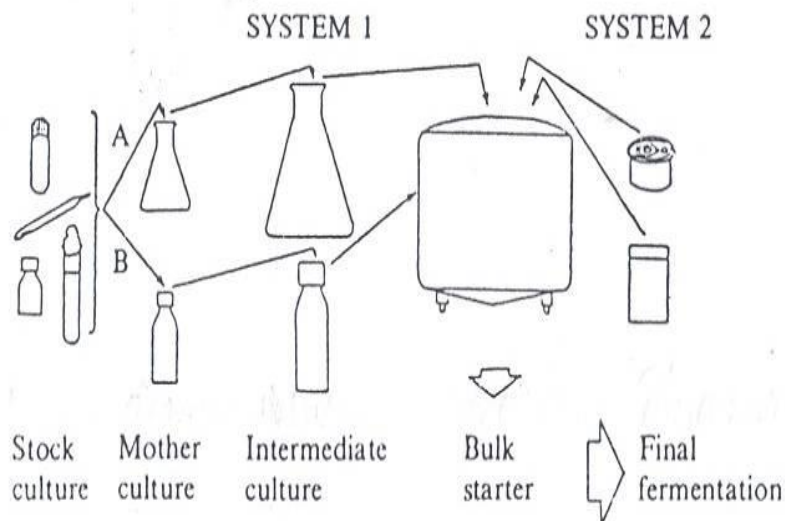
#### 6.1.1.5 *Bifidobacterium*

*Bifidobacterium* ถูกค้นพบครั้งแรกโดย Henry Tissier ในปี ค. ศ. 1900 แยกได้จากอุจจาระของเด็กทารก เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปท่อน มีขนาด  $0.5-1.5 \times 1.5-8$  ไมโครเมตร ลักษณะโค้งงอ ไม่เคลื่อนที่และไม่สร้างสปอร์จัดอยู่ในแฟมิลี Actinomycetaceae เชื้อ *Bifidobacterium* เป็นพวกเฮเทอโรเฟอเมนเททีฟ หมักในสภาพไร้อากาศ ในการหมักจะให้ทั้งกรดแลคติกและกรดแอซีติก มีกรดฟอริก และเอทานอล เกิดขึ้นเล็กน้อย เชื้อบิฟิโดแบคทีเรียชนิดที่พบในลำไส้ของคนได้แก่ *B. bifidum*, *B. infantis*, *B. breve*, *B. longum*, *B. adolescentis*, *B. angulatum*, *B. catenulatum* และ *B. pseudocatenulatum* ส่วนชนิดที่ได้มีผู้นำไปใช้เป็นก้ำเชื้อในการทำผลิตภัณฑ์นมหมัก ได้แก่ *B. adolescentis*, *B. bifidum*, *B. lactis*, *B. longum*, *B. infantis* และ *B. breve* อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์เหล่านี้อยู่ในช่วง  $37-41^{\circ}\text{C}$  ต้องการสภาพที่ไม่มีอากาศในการเจริญ ผลิตภัณฑ์นมหมักที่ผลิตโดยใช้บิฟิโดแบคทีเรียจะมีกลิ่นรสที่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์นมหมักชนิดอื่นคือ จะมีกลิ่นรสของน้ำส้มสายชูเนื่องจากการผลิตแอซีเตตและแลคเตตจากเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต [6]

### 6.1.2 การเตรียมกล้าเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก

ในกระบวนการหมักของผลิตภัณฑ์นมหมักชนิดใดๆจะขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์และกิจกรรมของกล้าเชื้อเป็นสำคัญ โดยจะต้องทำการเตรียมกล้าเชื้อก่อนซึ่งเรียกว่า กล้าเชื้อจุลินทรีย์หรือสตาร์ทเตอร์เจอร์ (starter culture) โดยนํานมที่ใช้สำหรับการเตรียมกล้าเชื้อจะต้องไม่มีสารยับยั้งเช่น สารปฏิชีวนะและปราศจากแบคทีเรียโอฟลาจิก [4] เช่นในการเตรียมกล้าเชื้อจุลินทรีย์สำหรับผลิตโยเกิร์ตจะเติมจุลินทรีย์ปริมาณร้อยละ 1-2 ลงในนํานมที่ผ่านความร้อนแล้วบ่มที่อุณหภูมิ 42°C เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมงหรือบ่มที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง เมื่อได้สตาร์ทเตอร์เจอร์แล้วจะขยายปริมาณต่อไปเรื่อยๆจนได้ปริมาณเพียงพอที่จะผลิตโยเกิร์ต [5]

การเตรียมกล้าเชื้อแบคทีเรียแลคติกถือเป็นพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตภัณฑ์นมหมักที่สำคัญ ซึ่งการเตรียมกล้าเชื้อมี 2 วิธี คือวิธีที่ 1 เป็นวิธีการดั้งเดิม ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมนมส่วนใหญ่ในประเทศญี่ปุ่น โดยเตรียมกล้าเชื้อในถังใหญ่จากเชื้อแม่ (mother starter culture) ที่ได้จากการขยายปริมาณของเชื้อในหลอดทดลอง ซึ่งมีความเฉพาะของแต่ละโรงงานหรือแต่ละบริษัท และวิธีที่ 2 เป็นวิธีการที่ใช้กันมากในยุโรปและอเมริกา โดยใช้กล้าเชื้อเข้มข้น (concentrated starters) ที่มีความเข้มข้นของเซลล์ประมาณ  $10^{10}$ - $10^{11}$  เซลล์ต่อกรัมหรือมิลลิลิตร ใช้ในการเติมลงในถังเตรียมกล้าเชื้อขนาดใหญ่โดยตรง [7]



รูปที่ 6.1 วิธีการเตรียมหัวเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก

ที่มา : Orihara และคณะ [7]

วิธีการเตรียมกล้าเชื้อโดยระบบที่ 1 นิยมใช้ในญี่ปุ่นและระบบที่ 2 นิยมใช้ในยุโรปและอเมริกา (รูปที่ 6.1) ซึ่งในระบบที่ 1 จะเพาะเลี้ยงเชื้อเริ่มต้น (stock culture) เพียงเล็กน้อยซึ่งอยู่ในรูปแช่แข็ง แช่เย็น หรือ แช่แข็งแห้ง ในหางนม (skim milk) หรือเวย์ (whey) หรือส่วนผสมของหางนมและเวย์ ที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์หรือสเตอริไรส์ปริมาตร 0.5-1.0 ลิตร จากนั้น ขยายปริมาณกล้าเชื้อที่จะผลิตเป็น 10-100 เท่า (intermediate fermentation) โดยเป็นขั้นตอนที่ขยายต่อจากเชื้อแม่เพื่อผลิตกล้าเชื้อในถังใหญ่ (bulk starter) และเติมลงโดยตรงในถังหมัก แม้แต่การใช้เชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิดหรือมากกว่า 2 ชนิดผสมกันเป็นกล้าเชื้อในการหมักเช่นในการผลิตโยเกิร์ตทั่วไปก็มักใช้เชื้อเดี่ยวๆ ขยายปริมาณให้มากขึ้นแล้วเติมลงในถังหมักขนาดใหญ่ วิธีนี้จะทำให้สามารถควบคุมจำนวนแบคทีเรียในผลิตภัณฑ์ได้ง่ายขึ้น

เมื่อมีการนำแบคทีเรียรูปร่างกลม *S. thermophilus* และรูปท่อน *L. bulgaricus* มาใช้ ถ้าเกิดความไม่สมดุลของแบคทีเรีย 2 ชนิดนี้ จะก่อให้เกิดปัญหาการหมักช้าและเกิดปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เช่น ปัญหาเกี่ยวกับรสชาติ ข้อดีและข้อเสียของการเตรียมเชื้อขั้นต้นในระดับโรงงานและบริษัทแสดงในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ข้อดีและข้อเสียของการผลิตกล้าเชื้อจาก stock culture

ข้อดี	ข้อเสีย
- สามารถใช้แบคทีเรียแลคติกเฉพาะชนิดได้	- ขั้นตอนในการถ่ายเชื้อมีความซับซ้อน
- สามารถทำผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างกับบริษัทอื่นได้	- ต้องการใช้อุปกรณ์ในการเก็บรักษาเชื้อ
- มีความรับผิดชอบในการจัดเตรียมกล้าเชื้ออย่างชัดเจน	- มีโอกาสในการปนเปื้อนสูง
	- จำเป็นต้องใช้แรงงานในการเตรียมกล้าเชื้อ

ที่มา : Orihara และคณะ [7]

การเตรียมกล้าเชื้อในถังใหญ่ตามวิธีที่ 2 สามารถเตรียมได้จากกล้าเชื้อสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายเพื่อหลีกเลี่ยงข้อเสียที่อาจเกิดขึ้นจากการเตรียมโดยวิธีที่ 1 การเตรียมโดยใช้กล้าเชื้อสำเร็จรูปนี้ เป็นวิธีที่ดีสำหรับผู้ที่เพิ่งเริ่มทำธุรกิจ ซึ่งยังไม่มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการหมักกล้าเชื้อและผู้ไม่มีประสบการณ์เกี่ยวกับเทคนิคการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับการเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย และเพื่อหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนจากฟาจส์

โดยเฉพาะเมื่อมีการนำหัวเชื้อสำหรับการทำเนยแข็ง ข้อดีและข้อเสียของการใช้กล้าเชื้อสำเร็จรูปแสดงในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ข้อดีและข้อเสียของแบคทีเรียเข้มข้นในรูปแบบแช่แข็ง

ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none"> <li>- ไม่ต้องจัดการเก็บรักษาแบคทีเรีย</li> <li>- สามารถใส่เชื้อลงในน้ำนมได้ง่าย</li> <li>- เกิดการปนเปื้อนยาก</li> <li>- แบคทีเรียมีอัตราการเจริญและกิจกรรมคงที่ซึ่งเชื่อถือได้</li> <li>- ลดการควบคุมกระบวนการผลิตและการควบคุมคุณภาพ เพราะผลิตภัณฑ์มีความคงตัวสม่ำเสมอ</li> <li>- โดยเฉพาะการผลิต เนยแข็งไม่มีการปนเปื้อนของฟาจ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- จำเป็นต้องมีอุปกรณ์การแช่เย็นในกรณีที่ใช้กล้าเชื้อแบคทีเรียที่แช่แข็ง</li> <li>- มีความต้องการความเชื่อถือได้สูงในการซื้อกล้าเชื้อจากผู้ขาย</li> <li>- ในกรณีที่มีการสูญเสียในระหว่างการผลิตยังไม่ชัดเจนเกี่ยวกับผู้ที่จะรับผิดชอบความสูญเสียนี้</li> </ul>

ที่มา : Orihara และคณะ [7]

## 6.2 โยเกิร์ต (yogurt)

โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์นมหมักที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ในบรรดาผลิตภัณฑ์นมหมักทั้งหมด มีต้นกำเนิดในประเทศบัลแกเรีย แต่เดิมรู้จักโยเกิร์ตในชื่อของ “yaourt” ปัจจุบันกลุ่มชนที่มีการรับประทานโยเกิร์ตมากที่สุดคือ กลุ่มชนที่อยู่ในประเทศรอบๆทะเลเมดิเตอร์เรเนียน ส่วนประเทศต่างๆในทวีปเอเชียและยุโรป ก็มีการรับประทานโยเกิร์ตเช่นกัน โยเกิร์ตอาจถูกผลิตขึ้นจากน้ำนมของสัตว์ชนิดต่างๆ เช่น ในยุโรปตะวันตกและยุโรปตะวันออกผลิตโยเกิร์ตจากน้ำนมโค ในตะวันออกกลางผลิตโยเกิร์ตจากน้ำนมแพะและในประเทศอินเดียผลิตโยเกิร์ตจากน้ำนมกระบือ [8]

โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักน้ำนมหรือน้ำนมเพิ่มปริมาณของแข็ง โดยใช้แบคทีเรียกรดแลคติก *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus bulgaricus* ช่วยในการหมัก จุลินทรีย์จะสร้างกลิ่นรสและกรดแลคติกทำให้โปรตีนตกตะกอนเป็นลิม โยเกิร์ตที่ได้จะมีลักษณะกึ่งแข็ง

กึ่งเหลวและมีคุณค่าทางอาหารสูง ปัจจุบันมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตในรูปแบบต่างๆ อาจเพิ่มกลิ่นรส ผลไม้ สารให้ความหวาน ลดปริมาณไขมันหรืออาจผลิตในรูปของโยเกิร์ตแห้งและโยเกิร์ตแช่แข็ง [8]

### 6.2.1 ชนิดของโยเกิร์ต

โยเกิร์ตที่ผลิตขึ้นในปัจจุบันมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับคุณลักษณะที่ใช้ในการจำแนกโดยสามารถจำแนกชนิดของโยเกิร์ตได้ดังนี้

6.2.1.1 การจำแนกชนิดของโยเกิร์ตตามปริมาณไขมัน โดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

- (1) โยเกิร์ตไขมันต่ำมาก (very low fat yogurt)
- (2) โยเกิร์ตไขมันปานกลาง (half fat yogurt)
- (3) โยเกิร์ตไขมันเต็ม (full fat yogurt หรือ whole milk yogurt)

ในบางประเทศอาจมีโยเกิร์ตไขมันสูง (high fat yogurt หรือ cream yogurt) ดังตารางที่ 6.3 สำหรับโยเกิร์ตไขมันต่ำ ผู้บริโภคมักเข้าใจกันว่าเป็นโยเกิร์ตที่มีแคลอรีต่ำด้วยซึ่งจะเป็นจริงเฉพาะโยเกิร์ตธรรมดาที่ไม่เติมผลไม้และกลิ่นรสเท่านั้น เว้นแต่จะใช้สารให้ความหวานที่ไม่ให้พลังงานแทนการใช้ชูโครส ส่วนโยเกิร์ตที่มีไขมันสูงนั้นไขมันที่มีในโยเกิร์ตจะมีกรดไขมันอิ่มตัวและคอเลสเตอรอลสูง ซึ่งเป็นต้นเหตุของโรคหัวใจ เมื่อเร็วๆ นี้ผู้บริโภคก็ได้ตระหนักถึงผลเสียที่จะเกิดขึ้นเมื่อรับประทานโยเกิร์ตไขมันสูง จึงทำให้มีการผลิตโยเกิร์ตที่มีคอเลสเตอรอลต่ำหรือโยเกิร์ตปราศจากคอเลสเตอรอลออกมาจำหน่ายมาก [8]

ตารางที่ 6.3 การจำแนกชนิดของโยเกิร์ตตามปริมาณไขมัน

ชนิดของโยเกิร์ต	ปริมาณไขมันในโยเกิร์ต □			
	อังกฤษ	เยอรมัน	สหรัฐอเมริกา	ออสเตรเลีย □
โยเกิร์ตไขมันต่ำมาก	ต่ำกว่า 0.5%	ต่ำกว่า 0.3%	ต่ำกว่า 0.5%	ไม่เกิน 0.2% □
โยเกิร์ตไขมันปานกลาง	0.5-2.0%	1.5-1.8%	0.5-2.0%	0.7-1.3% □
โยเกิร์ตไขมันเต็ม	-	ไม่น้อยกว่า 3.5%	อย่างน้อย 3.25%	ไม่น้อยกว่า 2.0% □
โยเกิร์ตไขมันสูง	-	ไม่น้อยกว่า 10%	-	-

ที่มา : Schmidt [8]

### 6.2.1.2 จำแนกตามกรรมวิธีการผลิต

(1) เซทโยเกิร์ต (set yogurt) หมายถึงโยเกิร์ตชนิดที่บรรจุทันทีหลังจากเติมจุลินทรีย์โดยให้จุลินทรีย์ทำปฏิกิริยาการหมักในภาชนะบรรจุ เมื่อหมักจนได้ที่แล้วทำให้เย็นพร้อมที่จะจัดจำหน่าย

(2) โยเกิร์ตชนิดคน (stirred yogurt) เป็นโยเกิร์ตชนิดบรรจุหลังการหมักหมายถึงโยเกิร์ตที่มีการเติมจุลินทรีย์ลงในน้ำนมแล้วปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาการหมักในถังใหญ่ เมื่อหมักจนได้ที่แล้วทำให้เย็นลงและบรรจุในภาชนะขนาดเล็กเพื่อจัดจำหน่าย โยเกิร์ตชนิดนี้โครงสร้างของเจลจะถูกทำให้แตกก่อนบรรจุ มักจะเติมผลไม้และสารให้กลิ่นรสลงไปด้วย

### 6.2.1.3 จำแนกตามกลิ่นรส

(1) โยเกิร์ตชนิดธรรมดา (plain yogurt หรือ natural yogurt) เป็นโยเกิร์ตที่ไม่ได้เติมกลิ่นรส และผลไม้ลงไป กลิ่นรสของโยเกิร์ตจะเป็นไปโดยธรรมชาติ แต่บางครั้งอาจมีรสเปรี้ยวมาก

(2) โยเกิร์ตชนิดผสมผลไม้ (fruit yogurt) เป็นโยเกิร์ตชนิดที่มีการเติมผลไม้ลงไปโยเกิร์ตชนิดธรรมดา โดยอาจเติมในรูปของผลไม้แช่อิ่มหรือแยมก็ได้ ถ้าเป็นเซทโยเกิร์ตผลไม้จะอยู่ที่ก้นภาชนะแต่ถ้าเป็นสเตอโยเกิร์ตจะทำให้ผลไม้กระจายทั่ว

(3) โยเกิร์ตชนิดปรุงแต่งกลิ่นรส (flavored yogurt) เป็นโยเกิร์ตชนิดที่มีการเติมน้ำตาลหรือสารให้ความหวานชนิดอื่นหรืออาจมีการเติมสารให้กลิ่นรสและสีลงไปโยเกิร์ตชนิดธรรมดา

### 6.2.1.4 จำแนกตามกรรมวิธีหลังการหมัก

กรรมวิธีหลังการหมักทำให้เกิดโยเกิร์ตขึ้นอีกหลายชนิดเช่น โยเกิร์ตพาสเจอร์ไรส์ โยเกิร์ตยูเอชที โยเกิร์ตเข้มข้น โยเกิร์ตแช่แข็งและโยเกิร์ตแห้ง

(1) โยเกิร์ตพาสเจอร์ไรส์ และโยเกิร์ตยูเอชที (pasteurized yogurt และ UHT yogurt) เป็นโยเกิร์ตที่ผ่านความร้อนหลังจากหมัก การให้ความร้อนจะทำลายกัมมาเชื้อจุลินทรีย์ในโยเกิร์ตและทำให้สารประกอบที่ระเหยได้ในโยเกิร์ตลดลง

(2) โยเกิร์ตเข้มข้น (concentrated yogurt) เป็นโยเกิร์ตที่มีการขจัดน้ำบางส่วนออกทำให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 24

(3) โยเกิร์ตแช่แข็ง (frozen yogurt) เป็นโยเกิร์ตที่ผ่านการแช่แข็ง หลังจากหมักโยเกิร์ตชนิดนี้จะมีลักษณะคล้ายไอศกรีม ในบางกรณีอาจเติมน้ำตาลและสารคงตัวลงไปด้วย

(4) โยเกิร์ตแห้ง (dried yogurt) โยเกิร์ตชนิดนี้จะผ่านการทำแห้ง ซึ่งอาจทำโดยวิธีตากแดด (sun-drying) หรือใช้เครื่องสเปรย์กระจาย (spray-drying) หรือ ฟรีสดราย (freeze-drying) ในกรณีของ

โยเกิร์ตที่ทำแห้งโดยการตากแดดนั้นมักทำกันในแถบชนบทเช่น ในตะวันออกกลาง เพื่อที่จะถนอมโยเกิร์ตให้เก็บไว้ได้นาน ส่วนในอุตสาหกรรมจะทำแห้งโดยใช้สเปรย์ทรายหรือฟรอสทราย

นอกจากโยเกิร์ตชนิดที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นแล้วยังมีโยเกิร์ตแคลอรีต่ำ (low-calorie yogurt) เป็นโยเกิร์ตที่ให้พลังงานต่ำ ปกติโยเกิร์ตชนิดธรรมดาจะให้พลังงาน 250-335 กิโลจูลต่อ 100 กรัม และโยเกิร์ตผสมผลไม้จะให้พลังงานประมาณ 420 กิโลจูลต่อ 100 กรัม ส่วนโยเกิร์ตแคลอรีต่ำที่ประกอบด้วยของแข็งปราศจากไขมันร้อยละ 9 ไขมันร้อยละ 1 และสารคงตัวร้อยละ 0.5-1.0 (ใช้คาราจีแนน และเจลาตินในอัตราส่วน 1:1) โยเกิร์ตชนิดนี้จะให้พลังงานประมาณ 170 กิโลจูลต่อ 100 กรัม และเมื่อเร็วนี้ได้มีการใช้เอนไซม์บีต้า-ดี กาแลคโตซิเดส ในการผลิตโยเกิร์ตชนิดแลคโตสต่ำ ซึ่งน้ำตาลแลคโตสในน้ำนมจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์ชนิดนี้ทำให้มีความหวานเพิ่มขึ้นโดยไม่ต้องเติมน้ำตาล [9]

## 6.2.2 ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ต

ส่วนผสมทุกชนิดที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ตมีผลต่อคุณภาพของโยเกิร์ตที่ได้ ฉะนั้นเพื่อให้ได้โยเกิร์ตที่มีคุณภาพดีส่วนผสมที่ใช้จะต้องมีคุณภาพดีด้วย วัตถุดิบทุกชนิดที่รับเข้าโรงงานจะต้องผ่านการตรวจสอบคุณภาพโดยตรวจดูลักษณะปรากฏ ซึ่งจะต้องไม่มีสิ่งแปลกปลอม กรณีที่วัตถุดิบมีลักษณะแห้งเป็นผงจะต้องนำมาตรวจสอบการละลายและจะต้องตรวจสอบสารปฏิชีวนะและสารยับยั้งชนิดอื่นๆ ด้วย ส่วนผสมที่ใช้ได้แก่ ส่วนผสมประเภทนม สารให้ความหวาน สารคงตัว ผลไม้ กลิ่นรสและสี วัตถุกันเสีย วิตามินและแร่ธาตุรวมทั้งเกลืออินทรีย์

### 6.2.2.1 ส่วนผสมประเภทนม

ส่วนผสมหลักของโยเกิร์ตคือ น้ามนและส่วนผสมที่ได้จากน้ามนเช่น นมผงพร้อมมันเนย หางนมผง หางนมสด หรือหางนมเข้มข้น บัตเตอร์มิลค์ผง เวย์ผง และครีมสด (ไขมันร้อยละ 30-48) เป็นต้น ในโยเกิร์ตไขมันต่ำ ส่วนผสมหลักที่ใช้จะเป็นหางนมสดหรือหางนมเข้มข้นซึ่งเป็นส่วนผสมที่มีโปรตีนสูง ทำให้ได้โยเกิร์ตที่มีความหนืดเหมาะสมมีแลคโตสและแร่ธาตุที่จำเป็นสำหรับเกลืออินทรีย์ ปกติหางนมสดจะมีของแข็งไม่รวมไขมันประมาณร้อยละ 8.7 และโปรตีนร้อยละ 3.4 ถ้าหากใช้หางนมสดก็จำเป็นต้องเติมหางนมผงหรือโปรตีนนมเข้มข้นลงไปเพื่อให้ได้โยเกิร์ตที่คงตัว น้ำเวย์ไม่แยกออกได้ง่ายและทำให้กลิ่นรสของโยเกิร์ตไม่อ่อนเกินไป สำหรับในโยเกิร์ตที่มีไขมันปานกลางและไขมันสูงมักผสมหางนมหรือครีมเข้ากับน้ามนพร้อมมันเนย ทำให้ได้โยเกิร์ตที่เนียนขึ้นมีความมันและมีกลิ่นรสที่ดีกว่าชนิดไขมันต่ำที่มี pH เท่ากัน [8] น้ามนที่ใช้ส่วนใหญ่นิยมใช้น้ามนโค ถึงแม้ว่าจะมีการใช้น้ามนจากสัตว์ชนิดอื่นบ้างก็ตามเช่น

น้ำนมฆ่า น้ำนมแกะ น้ำนมอูฐ หรือน้ำนมกระป๋อง อาจใช้น้ำนมแพะก็ได้แต่จะได้ครีมที่อ่อนและอาจให้ความรู้สึกในปากที่ไม่ดีเท่ากับการใช้น้ำนมแกะหรือน้ำนมโคเนื่องจากน้ำนมแพะมีปริมาณบีตา-เคซีนสูง

### 6.2.2.2 สารให้ความหวาน

สารให้ความหวานปกติจะเติมลงในโยเกิร์ตผลไม้หรือโยเกิร์ตปรุงแต่งกลิ่นรสหรือเติมลงในโยเกิร์ตธรรมชาติหวาน จุดประสงค์ของการเติมสารให้ความหวานลงในโยเกิร์ตก็เพื่อที่จะบังคับควบคุมความเปรี้ยวของโยเกิร์ต ปริมาณของสารให้ความหวานที่เติมนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของสารให้ความหวานที่ใช้ ความชอบของผู้บริโภค ชนิดของผลไม้ที่ใช้ ผลของสารให้ความหวานต่อการยับยั้งการเจริญของกล้าเชื้อจุลินทรีย์ข้อกำหนดตามที่กฎหมายระบุและข้อพิจารณาด้านเศรษฐศาสตร์ [10]

โยเกิร์ตผลไม้และโยเกิร์ตปรุงแต่งกลิ่นรสที่ผลิตขึ้นในปัจจุบันอาจประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตสูงถึงร้อยละ 20 คาร์โบไฮเดรตนี้มาจาก

(1) น้ำตาลในนม เช่นแลคโตส กาแลคโตส และกลูโคส ปริมาณของน้ำตาลเหล่านี้ในโยเกิร์ตขึ้นกับปริมาณของแข็งในน้ำนม หางนม และผลิตภัณฑ์นมอื่น ๆ ที่เติมลงไป

(2) น้ำตาลที่มีอยู่แล้วในผลไม้ เช่น ชูโครส กลูโคส ฟรุคโตส และมอลโตส

(3) น้ำตาลที่ผู้ผลิตโยเกิร์ตเติมลงไปในส่วนผสมหรือน้ำตาลที่ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ผลไม้ใช้ในการแปรรูป สำหรับน้ำตาลที่นิยมเติมลงในโยเกิร์ตได้แก่ ชูโครส ซึ่งอาจเติมในรูปผลึกชูโครสหรือเติมในรูปของน้ำเชื่อมเข้มข้นก็ได้ นอกจากนี้อาจเติมน้ำตาลข้าวโพด (เดกซ์โตส) น้ำผึ้ง น้ำเชื่อมข้าวโพดชนิดที่มีฟรุคโตสสูง ส่วนการผลิตโยเกิร์ตที่ให้พลังงานต่ำนั้นจะใช้สารให้ความหวานที่ให้พลังงานต่ำ ชนิดที่เรียกว่า แอสปาแตม (aspartame) โดยจะเติมหลังการหมักและเติมลงไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเนื่องจากแอสปาแตมหวานกว่าชูโครสประมาณ 200 เท่า นอกจากนี้แอสปาแตมแล้วอาจใช้แซคคาริน (saccharin) และไซคาเมท (cyclamate) เป็นสารให้ความหวานในโยเกิร์ต แต่ควรระมัดระวังในการใช้สารให้ความหวานที่ให้พลังงานต่ำเนื่องจากอาจทำให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติ (off-flavors) เช่นรสขม [8, 10, 11] ปริมาณสารให้ความหวานที่เติมนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของโยเกิร์ตและความเข้มข้นของน้ำตาลที่มีอยู่เดิมในเยลลี่ผลไม้

### 6.2.2.3 สารคงตัว (stabilisers)

สารคงตัวที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids) ได้แก่ เจลาติน พีรีเจลาตินไนซ์ สตาร์ช วัณ กัวกัม (guar gum) โลกัสบีนกัน (locust bean gum) คาราจีแนน (carrageenan) และเพคติน (pectin) เป็นต้น สำหรับเจลาตินและสตาร์ชจะใช้ความเข้มข้นถึงร้อยละ 1 ส่วนสารคงตัวชนิดอื่นจะใช้ไม่เกินร้อยละ 0.3-0.5 สารคงตัวมีหน้าที่ช่วยปรับปรุงความหนืดและลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตทำ

ให้โยเกิร์ตมีความข้น ลักษณะเนื้อสัมผัสเนียน ควบคุมความมากน้อยในการเกิดเจลของโยเกิร์ตชนิดคน บัองกันการแยกตัวของน้ำเวย์ (wheying-off หรือ syneresis) ทำให้เกิดความรู้สึกที่ดี (mouthfeel) เมื่อรับประทาน ช่วยลดแคลอรีของโยเกิร์ตโดยไม่มีผลต่อคุณภาพ สามารถใช้แทนของแข็งในนมและไขมัน นมได้ซึ่งจะทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง ปัญหาที่เกิดขึ้นเกี่ยวข้องกับการใช้สารคงตัวน้อยเกินไปทำให้โยเกิร์ตมีโครงสร้างอ่อนแอก่อนและมีการแยกตัวของน้ำเวย์หรือการใช้สารคงตัวมากเกินไปทำให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสที่เหนียวข้นเกินไป นอกจากนี้การใช้สารคงตัวอย่างไม่เหมาะสมยังเกิดจากความผิดพลาดในการใช้สารคงตัวหลายชนิดร่วมกันและขาดการดูแลในเรื่องของการละลายของสารคงตัว [8,11,12]

#### 6.2.2.4 ผลไม้

ผลไม้ที่ใช้เติมในโยเกิร์ต ในการผลิตโยเกิร์ตชนิดคนจะเติมผลไม้หลังจากหมักและทำให้เย็น ส่วนการผลิตเซทโยเกิร์ตจะเติมผลไม้ในขั้นของการบรรจุ โดยเติมในรูปของผลไม้ที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์แล้ว สมัยก่อนใช้ผลไม้ในรูปของแยมที่มีความหวานสูงซึ่งมีปริมาณน้ำตาลประมาณร้อยละ 60 แต่ปัจจุบันนิยมใช้แยมที่มีความหวานต่ำลงคือ ประมาณ 30-50 องศาบริกซ์ สำหรับปริมาณของผลไม้หรือผลไม้แช่อิ่มหรือแยมที่เติมนั้นอาจเติมในปริมาณร้อยละ 8-25 ของสูตรแต่ส่วนใหญ่นิยมเติมร้อยละ 10-15 [8]

#### 6.2.2.5 สารให้กลิ่นรสและสี

ในกรณีของการผลิตโยเกิร์ตชนิดคนมักเติมสารให้กลิ่นรสและสีในขั้นตอนการเตรียมผลไม้ แต่ถ้าวเป็นเซทโยเกิร์ตจะเติมก่อนการเติมกล้าเชื้อจุลินทรีย์ ในปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะนิยมใช้สารให้กลิ่นรสและสีจากธรรมชาติมากกว่าสารให้กลิ่นรสและสีสังเคราะห์ ตัวอย่างของสีจากธรรมชาติที่ใช้ในโยเกิร์ต ได้แก่ บีทานิน (betanin) จากหัวบีท (beetroot) แอนโทไซยานิน (anthocyanin) จากเปลือกองุ่น คาหมิน (carmine) จากคอคชินิล (cochineal) ซึ่งเป็นแมลงชนิดหนึ่งและทูเมอร์ริก (turmeric) จากรากขมิ้น [8]

#### 6.2.2.6 วัตถุกันเสีย

วัตถุกันเสียที่นิยมใช้เติมในโยเกิร์ตก็คือ เกลือโพแตสเซียมหรือเกลือโซเดียมของกรดซอร์บิก เป็นสารที่มีผลในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราและยีสต์แต่ไม่มีผลต่อการเจริญของกล้าเชื้อจุลินทรีย์ดังนั้นจึงสามารถเติมก่อนการหมักได้ [10]

#### 6.2.2.7 วิตามินและเกลือแร่

วิตามินและเกลือแร่ โดยทั่วไปจะเติมก่อนการหมักแต่บางกรณีอาจเติมในขั้นการเตรียมผลไม้ก็ได้

### 6.2.2.8 กล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ต (yogurt starter bacteria)

จุลินทรีย์ที่ใช้เป็นกล้าเชื้อในการผลิตโยเกิร์ต ได้แก่ *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus bulgaricus* แต่ละชนิดอาจใช้ 1 สายพันธุ์หรือมากกว่า 1 สายพันธุ์ก็ได้ จุลินทรีย์สองชนิดนี้ จะอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัยกัน

#### คุณลักษณะของ *S. thermophilus*

*S. thermophilus* เป็นแบคทีเรียกรดแลคติก รูปร่างกลม (coccus) พบต่อกันเป็นสาย สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 49°C แต่จะเจริญได้ไม่ดีที่อุณหภูมิต่ำ (ไม่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำ 10°C) เมื่ออยู่เดี่ยวๆจะสร้างกรดทำให้โปรตีนในน้ำนมตกตะกอนได้ดี แต่ปริมาณกรดที่สร้างขึ้นนั้นค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับแบคทีเรียกรดแลคติกชนิดอื่น ในระหว่างการหมักน้ำนม *S. thermophilus* จะผลิตเอนไซม์แลคเตสและเอนไซม์บีตา-กาแลคโตซิเดส ย่อยแลคโตสให้เป็นกลูโคสและกาแลคโตส สามารถผลิตเอนไซม์ยูรีเอสย่อยสลายยูเรียในน้ำนม ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และแอมโมเนีย นอกจากนี้ *S. thermophilus* ยังผลิตแคปซูลและผลิตเมือกภายนอกเซลล์ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (exopolysaccharide) ช่วยให้โยเกิร์ตที่ผลิตได้มีลักษณะเนื้อที่เนียนข้น ทำให้ผลไม่กระจายตัวได้ดีในโยเกิร์ต [13]

นอกจากคุณลักษณะของ *S. thermophilus* ดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีคุณลักษณะอีก 3 ประการที่ทำให้แบคทีเรียชนิดนี้อาจอยู่ยั้งในระหว่างการหมัก คุณลักษณะทั้ง 3 ประการนี้ได้แก่ ประการแรก แบคทีเรียชนิดนี้มีความไวต่อเพนนิซิลินอย่างมากรวมทั้งสารปฏิชีวนะชนิดอื่นด้วย ฉะนั้น ก่อนที่จะนำน้ำนมมาผลิตโยเกิร์ตควรตรวจสอบสารปฏิชีวนะ มิฉะนั้นสารปฏิชีวนะในน้ำนมอาจยับยั้งการเจริญของ *S. thermophilus* ประการที่สอง แบคทีเรียชนิดนี้อาจอยู่ยั้งถ้าหากอยู่ในสภาพที่มีความเค็มร้อยละ 2.5-3.0 โดยเฉพาะในเนยแข็งและประการสุดท้าย ในสภาพที่มีความเข้มข้นของซูโครสสูงกว่าร้อยละ 4.0 สามารถชะลอการผลิตกรดของ *S. thermophilus* ได้ [13]

#### คุณลักษณะของ *L. bulgaricus*

*L. bulgaricus* เป็นแบคทีเรียกรดแลคติกรูปแท่ง อาจพบอยู่เป็นคู่หรือต่อกันเป็นสาย แบคทีเรียชนิดนี้ทนความร้อนได้ดี มีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญประมาณ 45°C และมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการผลิตกรดประมาณ 43-46°C *L. bulgaricus* ชอบเจริญในสภาพที่มีออกซิเจนเพียงเล็กน้อยหรือเจริญได้ดีในสภาพที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นในช่วงแรกของการหมัก *L. bulgaricus* จะเจริญอย่างช้าๆจนกว่าออกซิเจนจะถูกใช้ให้หมดไปโดยแบคทีเรียชนิดอื่น และแบคทีเรียชนิดนี้สามารถผลิตเมือกภายนอกเซลล์ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ได้เช่นเดียวกับ *S. thermophilus* ช่วยให้โยเกิร์ตมีลักษณะที่เนียนและข้น [13]

## 6.2.3 กระบวนการผลิตเซทโยเกิร์ตชนิด (set yogurt) และโยเกิร์ตชนิดคน (stirred yogurt)

### 6.2.3.1 การเตรียมส่วนผสม

กระบวนการผลิตโยเกิร์ตทั้งสองชนิด แสดงดังรูปที่ 6.2 และรูปที่ 6.3 ในขั้นแรกจะทำการเตรียมส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตก่อน ซึ่งโรงงานส่วนใหญ่มักใช้น้ำนมเป็นส่วนผสมหลัก น้ำนมที่ใช้ควรปราศจากสารปฏิชีวนะ ไม่มีสารเคมีที่จะยับยั้งการเจริญของล้าเชื้อจุลินทรีย์และมีจุลินทรีย์ปนเปื้อนน้อย น้ำนมที่ใช้ปกติจะรับซื้อปริมาณมาก ก่อนผลิตจะนำมาเก็บไว้ในไซโลที่ควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 5 °C เมื่อจะผลิตโยเกิร์ตจะสูบน้ำนมออกจากไซโล นำไปแยกสิ่งสกปรกออก จากนั้นทำการปรับมาตรฐานไขมันซึ่งปริมาณไขมันจะเป็นเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของโยเกิร์ตที่ผลิต ปกติโยเกิร์ตที่จำหน่ายตามท้องตลาดมีปริมาณไขมันผันแปรตั้งแต่ร้อยละ 0.1 ถึงร้อยละ 10 แต่โดยเฉลี่ยโยเกิร์ตไขมันต่ำจะมีไขมันประมาณร้อยละ 0.5 ส่วนโยเกิร์ตไขมันปานกลางจะมีไขมันประมาณร้อยละ 1.5 สำหรับการปรับมาตรฐานไขมันของน้ำนมที่ใช้ผลิตโยเกิร์ตนั้นส่วนใหญ่จะนำน้ำนมมาผ่านการแยกครีม ทำให้ได้ครีมและหางนมที่มีไขมันร้อยละ 0.5-0.7 หางนมที่ได้จะนำมาผลิตโยเกิร์ตไขมันต่ำ ส่วนครีมก็จะนำมาเติมกลับเข้าไปในหางนมเพื่อปรับให้ได้ปริมาณไขมันตามต้องการด้วยระบบอัตโนมัติ หลังจากปรับปริมาณไขมันแล้วจะต้องเพิ่มปริมาณของแข็งในน้ำนม ปกติโยเกิร์ตที่จำหน่ายตามท้องตลาดมีปริมาณของแข็งผันแปรตั้งแต่ร้อยละ 12 ถึงร้อยละ 20 อย่างไรก็ตามมีผู้แนะนำว่าควรเพิ่มปริมาณของแข็งในน้ำนมให้ได้ประมาณร้อยละ 15.5-16.0 ถ้าหากไม่เพิ่มปริมาณของแข็ง เจลที่เกิดขึ้นจะอ่อนและมีแนวโน้มที่จะเกิดการแยกตัวของน้ำเวย์ออกได้มาก (syneresis) การเพิ่มปริมาณของแข็งนอกจากจะช่วยเพิ่มความหนืดและเพิ่มความแข็งของเจลแล้วยังช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหาร และช่วยเพิ่มความเป็นกรดอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของส่วนประกอบในน้ำนมได้แก่ โปรตีน ฟอสเฟต ซีเตรท แลคเตท และอื่นๆ และยังช่วยลดเวลาในการตกตะกอนของโปรตีนระหว่างการผลิตอีกด้วย ดังนั้นการเพิ่มปริมาณของแข็งในน้ำนมที่ใช้ผลิตโยเกิร์ตจึงเป็นสิ่งจำเป็น [9]

### การเพิ่มปริมาณของแข็งในน้ำนมที่ใช้ผลิตโยเกิร์ต [10]

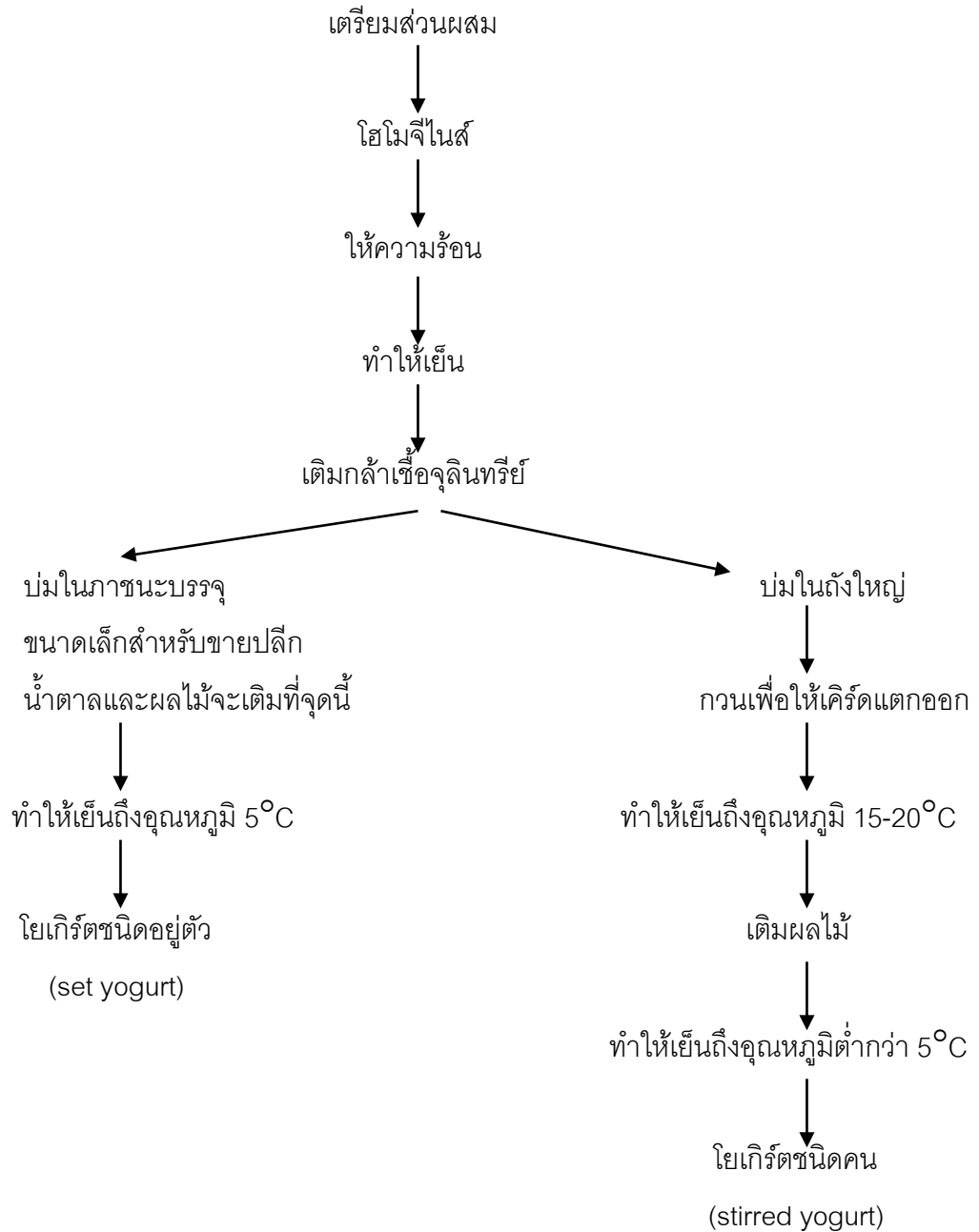
#### (1) การต้ม

วิธีนี้เป็นวิธีดั้งเดิม โดยจะนำน้ำนมไปต้มให้มีปริมาตรลดลงเหลือ 2 ใน 3 ของปริมาตรเดิม ถ้าหากน้ำนมเริ่มต้นมีปริมาณของแข็งร้อยละ 13 การต้มให้ปริมาตรลดลงเหลือ 2 ใน 3 จะทำให้ปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 19-20

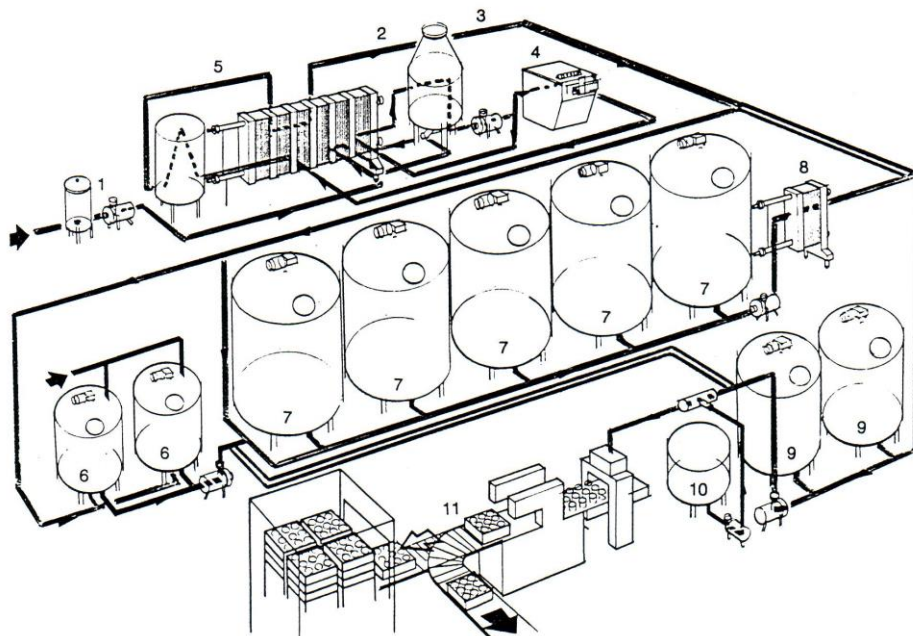
#### (2) การเติมนมผง

นมผงที่ใช้อาจเป็นนมผงพร้อมมันเนยหรือหางนมก็ได้ แล้วแต่ปริมาณไขมันที่ต้องการให้มีในโย

เกิร์ต นมผงที่ใช้ควรมีคุณสมบัติกระจายตัวได้ดีในส่วนที่เป็นน้ำ ปราศจากอนุภาคที่ไหม้ ปริมาณของนมผงที่เติมอาจผันแปรตั้งแต่ร้อยละ 1 จนถึงร้อยละ 6 แต่ปริมาณที่เหมาะสมเป็นร้อยละ 3-4



รูปที่ 6.2 กระบวนการผลิตโยเกิร์ต



รูปที่ 6.3 กระบวนการผลิตเซทโยเกิร์ตและโยเกิร์ตชนิดคน

ขั้นแรกน้ำนมที่ผสมส่วนผสมต่างๆเรียบร้อยแล้วจะผ่านมายังถังรักษาระดับน้ำนม (1) จากนั้นจะผ่านไปยังแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (2) ถังรักษาระดับอุณหภูมิ (5) ถึงสุญญากาศ (3) เพื่อขจัดอากาศและผ่านไปยังโฮโมจีไนเซอร์ (4) เต็มกล้าเชื้อจุลินทรีย์ (6) แล้วจึงสูบน้ำนมไปยังถังหมัก (7) หรือสูบน้ำนมไปยังเครื่องบรรจุ (11) ในกรณีที่จะผลิตเซทโยเกิร์ต หลังจากตีบ่มแล้วจะทำให้เย็นในเพทคูเลอร์ (8) นำไปเก็บยังถังเก็บ (9) ก่อนที่จะเติมผลไม้ในถังเติมผลไม้ (10) บรรจุและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 2-4°C ในระหว่างการขนส่งและจำหน่าย

### (3) การเติมบัตเตอร์มิลค์ผง

บัตเตอร์มิลค์เป็นผลพลอยได้จากการผลิตเนย การเติมบัตเตอร์มิลค์มีข้อดีเนื่องจากในบัตเตอร์มิลค์มีฟอสโฟลิพิดสูง จึงมีคุณสมบัติช่วยให้มีลชันคงตัว สูตรที่แนะนำให้ใช้ในการเตรียมน้ำนมคั้นรูปเพื่อผลิตโยเกิร์ต ประกอบด้วย anhydrous milk fat 25 กิโลกรัม หางนมผง 125 กิโลกรัม บัตเตอร์มิลค์ผง 10 กิโลกรัมและน้ำ 840 กิโลกรัม

### (4) การเติมเวย์ผง

เวย์เป็นผลพลอยได้จากการทำเนยแข็ง เวย์ผงที่จำหน่ายทั่วไปมีคุณลักษณะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับเทคนิคที่ใช้ก่อนการทำแห้งเช่น การขจัดเกลือแร่ ขจัดแลคโตส การทำให้โปรตีนเข้มข้นซึ่งมีผู้รายงาน

ว่าการเติมเวย์ผงลงในส่วนผสมประมาณร้อยละ 0.3 จะช่วยปรับปรุงความข้นหนืดของโยเกิร์ตและช่วยเร่งอัตราการสร้างกรดในระหว่างการหมัก ปริมาณเวย์ผงที่เติมไม่ควรมากกว่าร้อยละ 2 มิฉะนั้น กลิ่นรสที่ไม่ดีของเวย์อาจปรากฏขึ้น [9]

#### (5) การเติมเคซีนผง

เคซีนผง ผลิตได้จากหางนม ประกอบด้วยเคซีนเป็นส่วนใหญ่ ใช้เติมลงในน้ำนมที่ใช้ผลิตโยเกิร์ต เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนและเพิ่มความข้นหนืดของโยเกิร์ต

#### (6) การระเหย

วิธีนี้ใช้กันมากในอุตสาหกรรม โดยจะนำน้ำนมมาระเหยภายใต้สุญญากาศด้วยเครื่องระเหย น้ำจะถูกจัดออกประมาณร้อยละ 10-25 ทำให้ปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นร้อยละ 2-4 นอกจากการระเหยจะทำให้ของแข็งในน้ำนมเพิ่มขึ้นแล้วยังช่วยปรับปรุงความคงตัวของลิ้มรส และช่วยลดการแยกตัวของน้ำเวย์ระหว่างการเก็บรักษา สำหรับการผลิตโยเกิร์ตจากน้ำนมแพะ การระเหยจะช่วยลดกลิ่นสาบจากแพะอีกด้วย [10]

#### (7) อัลตราฟิวเทชัน (ultrafiltration) และรีเวิร์สออสโมซิส (reverse osmosis)

การทำให้เข้มข้นโดยวิธีอัลตราฟิวเทชันและรีเวิร์สออสโมซิสจะกระทำที่อุณหภูมิห้องเพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียคุณค่าทางอาหารของน้ำนมอันเนื่องมาจากความร้อน สำหรับวิธีอัลตราฟิวเทชัน สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 1,000 โดยเฉพาะโปรตีนและไขมันจะถูกกักไว้ไม่ให้ผ่านเมมเบรน (membrane) ส่วนวิธีรีเวิร์สออสโมซิส สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 500 โดยเฉพาะน้ำจะสามารถผ่านเมมเบรนได้ จึงทำให้ส่วนประกอบของน้ำนมทั้งหมดเข้มข้นขึ้น ในการผลิตโยเกิร์ตโดยใช้น้ำนมที่ทำให้เข้มข้นโดยวิธีอัลตราฟิวเทชันมีผู้รายงานว่า น้ำนมพร้อมมันเนยที่ทำให้เข้มข้นจนมีปริมาณของแข็งเป็นร้อยละ 18-20 จะให้โยเกิร์ตที่มีคุณภาพดี มีลักษณะเนื้อเนียน ชุ่ม และมีความมัน โดยไม่จำเป็นต้องนำน้ำนมนั้นไปผ่านการโฮโมจีไนส์ ส่วนหางนมที่ทำให้เข้มข้นจนมีปริมาณของแข็งเป็นร้อยละ 13 จะให้โยเกิร์ตที่มีคุณภาพดีเช่นกัน และยังพบว่าหางนมที่ทำให้เข้มข้นจนมีปริมาณของแข็งร้อยละ 15 โดยวิธีอัลตราฟิวเทชันจะให้โยเกิร์ตที่มีคุณภาพดีซึ่งจะมีความข้นหนืดและความเป็นกรดพอกับหางนมที่ทำให้เข้มข้นจนมีปริมาณของแข็งร้อยละ 15 โดยวิธีรีเวิร์สออสโมซิส

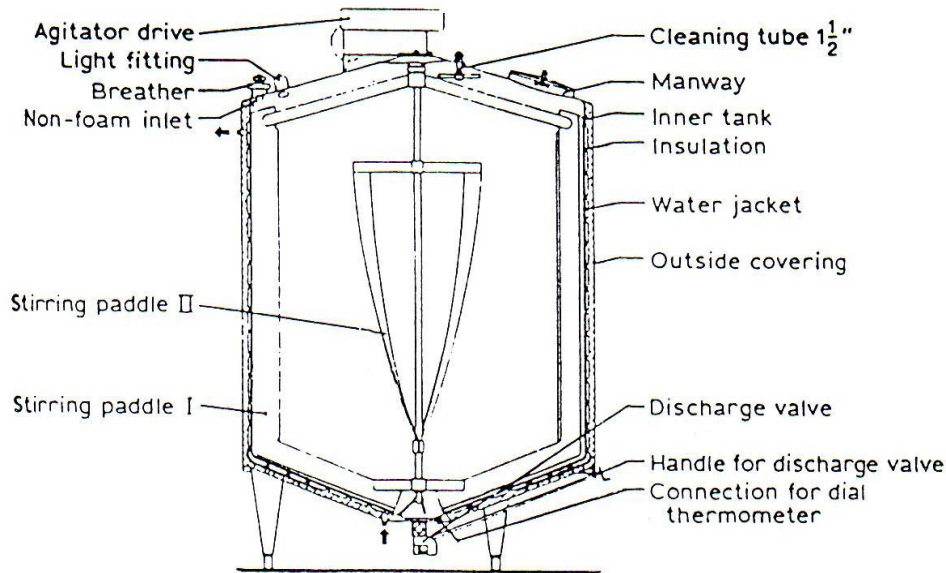
ในขั้นการปรับปริมาณของแข็งนี้อาจเติมสารคงตัวลงไปด้วยก็ได้ ซึ่งอาจเติมพรีเจลาติไนส์สตาร์ชประมาณร้อยละ 1 หรืออาจเติมกัมจากพืช (plant gum) ประมาณร้อยละ 0.5 โดยส่วนผสมที่เป็นของแข็งทั้งหมดจะถูกผสมให้ละลายเข้ากันในน้ำนมจากนั้นจึงนำน้ำนมผสมไปผ่านการโฮโมจีไนส์ [6]

### 6.2.3.2 การไฮโมจีไนส์

การไฮโมจีไนส์เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการผลิตโยเกิร์ต โดยจะกระทำก่อนการให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อ การไฮโมจีไนส์จะช่วยทำให้ส่วนประกอบของน้ำนมและส่วนผสมต่างๆที่เติมลงไปเช่น นมผง น้ำตาล และสารคงตัวกระจายตัวออกไม่เกาะกันเป็นก้อน ทำให้เม็ดไขมันแตกเป็นเม็ดเล็กๆไม่ลอยขึ้นเป็นชั้นของครีมในระหว่างบ่ม เม็ดไขมันเล็กๆนี้จะถูกดูดซับโดยเคซีนไมเซลล์มีผลทำให้ความหนืดของโยเกิร์ตที่ได้เพิ่มขึ้นและทำให้โปรตีนมีความสามารถในการอุ้มน้ำมากขึ้น ช่วยลดการแยกตัวของน้ำเวย์ ลิ้มมนจะมี ความคงตัวมากขึ้น ความหนืดของโยเกิร์ตขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดันที่ใช้ในการไฮโมจีไนส์ซึ่งควรวี้อุณหภูมิ 50-60°C และความดัน 100-200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรจึงจะให้ผลดี [14, 9]

### 6.2.3.3 การให้ความร้อน

การให้ความร้อนน้ำนมที่ใช้ผลิตโยเกิร์ต มีจุดประสงค์เพื่อทำลายแบคทีเรียที่ปนเปื้อนในน้ำนม โดยเฉพาะแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคและแบคทีเรียที่ทำให้เน่าเสีย นอกจากนี้ความร้อนยังช่วยไล่ออกซิเจนออกจากน้ำนม ทำให้เกิดสภาพที่เหมาะสมต่อกล้าเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งต้องการออกซิเจนเพียงเล็กน้อยในการเจริญและทำให้โปรตีนเวย์เสียสภาพ เคซีนจะรวมตัวกันและจับเอาโปรตีนเวย์ที่เสียสภาพไว้ด้วยซึ่งมีผลทำให้เคิร์ดของโยเกิร์ตที่จะเกิดขึ้นในขั้นต่อไปนั้นมีความคงตัวมากขึ้น ในทางปฏิบัติ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนน้ำนมที่ใช้ผลิตโยเกิร์ตอาจผันแปรตั้งแต่ 72°C 15 วินาที ไปจนถึงอุณหภูมิ 133°C 1 วินาที (ยูเอชที) แต่ที่นิยมทำกันในอุตสาหกรรม กรณีที่ใช้กระบวนการไม่ต่อเนื่องจะให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85°C เป็นเวลา 30 นาที แต่ถ้าใช้กระบวนการต่อเนื่องจะให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90-95°C เป็นเวลา 10 นาที ในการให้ความร้อนโดยกระบวนการไม่ต่อเนื่องนั้นจะทำโดยใช้ถังแปรรูปอเนกประสงค์ (multi-propose processing tank) ดังรูปที่ 6.4 โดยจะเติมน้ำนมที่ผสมส่วนผสมต่างๆเรียบร้อยแล้วลงไปและผ่านน้ำร้อนรอบๆถังขึ้นในเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้ถึง 85°C แล้วคงไว้เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นผ่านน้ำเย็นเข้าโปรอบๆถังขึ้นใน เพื่อทำให้น้ำนมเย็นลงถึงอุณหภูมิที่จะบ่ม (42°C) สำหรับการให้ความร้อนโดยกระบวนการต่อเนื่องนั้นจะให้ความร้อน น้ำนมโดยผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งน้ำนมจะถูกทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 90-95°C แล้วคงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำให้น้ำนมเย็นลงถึงอุณหภูมิ 42°C ส่วนการให้ความร้อนน้ำนมจนถึงอุณหภูมิในระดับยูเอชทีนั้นจำเป็นสำหรับน้ำนมที่มีปริมาณเอนโดสปอร์สูงโดยเฉพาะถ้าต้องเติมกล้าเชื้อที่เจริญช้าลงไปเช่น *Bifidobacterium* [8, 12, 14]



รูปที่ 6.4 ถังแปรรูปอเนกประสงค์ (APV Pasilac A)

#### 6.2.3.4 การเติมกล้าเชื้อจุลินทรีย์และการหมัก

หลังจากที่ทำให้น้ำนมเย็นลงถึงอุณหภูมิ  $42^{\circ}\text{C}$  แล้ว จะสูบน้ำนมไปยังถังหมักและเติมกล้าเชื้อจุลินทรีย์ลงไป กล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ตเป็นเชื้อผสมของ *S. thermophilus* และ *L. bulgaricus* ซึ่งในปัจจุบันมีจำหน่ายในรูปของของเหลว ดีฟรอสเซน (deep frozen) และแช่แข็งแห้ง (freeze-dried) สำหรับเชื้อในรูปดีฟรอสเซนและในรูปแช่แข็งแห้งมีจำหน่ายสำหรับใช้เติมลงในถังหมักได้โดยตรง (direct vat inoculation) โดยที่ไม่จำเป็นต้องเตรียมเป็นเชื้อตั้งต้นปริมาณมาก ปริมาณกล้าเชื้อจุลินทรีย์จุลินทรีย์ที่ใช้อาจผันแปรในช่วงร้อยละ 0.5-3.0 ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการหมักซึ่งอาจปล่อยให้เกิดการหมักเวลาสั้น (short set incubation) 3.5-5.0 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ  $42^{\circ}\text{C}$  หรือปล่อยให้เกิดการหมักเป็นเวลานาน (long set incubation) ถึง 14-16 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$  หลังจากเติมกล้าเชื้อจุลินทรีย์แล้วอาจบ่มต่อไปในถังหมักขนาดใหญ่ หรือบรรจุในภาชนะขนาดเล็กก่อนแล้วจึงบ่ม ขึ้นอยู่กับว่าจะผลิตเป็นเซทโยเกิร์ตหรือโยเกิร์ตชนิดคน (รูปที่ 6.2) ถ้าเป็นการผลิตเซทโยเกิร์ตจะบรรจุน้ำนมที่เติมกล้าเชื้อจุลินทรีย์แล้วลงในภาชนะบรรจุขนาดเล็กสำหรับขายปลีก ทั้งไว้ให้เกิดการหมักในภาชนะขนาดเล็ก และถ้าต้องการจะเติมผลไม้และกลิ่นรสลงในเซทโยเกิร์ตด้วย จะต้องเติมผลไม้และกลิ่นรสลงใน

ภาชนะก่อนแล้วจึงเทน้ำนมลงไป แต่ถ้าจะผลิตเป็นโยเกิร์ตชนิดคนก็จะหมักน้ำนมในถังหมักขนาดใหญ่ ก่อนแล้วจึงกวนให้เคิร์ดแตกออก ผสมผลไม้และบรรจุที่หลัง [6, 8, 10]

ในระหว่างการหมักโยเกิร์ต *S. thermophilus* และ *L. bulgaricus* จะเจริญแบบพึ่งพาอาศัยกัน ที่เรียกว่า ซิมไบโอซิส (symbiosis) แต่ถ้าหาก *S. thermophilus* เจริญเดี่ยวๆ จากการศึกษพบว่า *S. thermophilus* สามารถผลิตกรดแลคติกทำให้น้ำนมตกตะกอนได้เช่นกัน แต่ปริมาณกรดที่ผลิตได้จะค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับแบคทีเรียแลคติกชนิดอื่น ส่วน *L. bulgaricus* เติบโตจะผลิตกรดแลคติกได้สูง แต่อัตราการเจริญและการสร้างกรดในตอนเริ่มต้นจะต่ำ เนื่องจาก *L. bulgaricus* เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนเพียงเล็กน้อยในการเจริญ และต้องการสารประกอบบางอย่างเพื่อกระตุ้นการเจริญ ดังนั้นการใช้ *S. thermophilus* หรือ *L. bulgaricus* ชนิดใดชนิดหนึ่งในการผลิตโยเกิร์ตจึงไม่เป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรม แต่ถ้าเพาะเลี้ยง *S. thermophilus* และ *L. bulgaricus* ไว้ด้วยกันแล้ว จุลินทรีย์ทั้งสองชนิดเจริญแบบพึ่งพาอาศัยกันระหว่างการหมักโยเกิร์ตโดยในช่วงแรก *S. thermophilus* จะเจริญได้ดีกว่า *L. bulgaricus* เนื่องจาก *S. thermophilus* ทนต่อออกซิเจนได้ดีกว่าจึงเจริญและสร้างกรดไปเรื่อยๆ จนกระทั่งออกซิเจนลดลงทำให้ *L. bulgaricus* เริ่มเจริญได้ดีและถูกกระตุ้นด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตโดย *S. thermophilus* จากการย่อยสลายยูเรียในน้ำนมแล้วยังถูกกระตุ้นด้วยกรดฟอสฟอริกและกรดไพรูวิกซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการหมักคาร์โบไฮเดรต ส่วน *S. thermophilus* จะถูกกระตุ้นเช่นกันด้วยเพปไทด์และกรดอะมิโนที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายโปรตีนนมโดย *L. bulgaricus* ฉะนั้นในช่วงแรกและช่วงกลางของการหมักโยเกิร์ตจะมี *S. thermophilus* เจริญเด่นและผลิตกรดแลคติก แอซีตัลดีไฮด์ และสารอื่นๆ ทำให้ pH ลดต่ำลง ต่อมา *L. bulgaricus* ก็เริ่มเจริญได้ดีขึ้นและสร้างกรดเพิ่มขึ้น ขณะที่การเจริญของ *S. thermophilus* ช้าลง เมื่อสิ้นสุดการหมัก pH จะลดลงถึง 4.6-4.7 มีกรดแลคติกเกิดขึ้นประมาณร้อยละ 0.9-1.2 และมีแบคทีเรียแลคติกในโยเกิร์ต ประมาณ  $10^6$ - $10^8$  เซลล์ต่อกรัม [8, 13]

#### 6.2.3.5 กระบวนการหลังการหมัก

ในกรณีของการผลิตเซทโยเกิร์ต หลังจากหมักจนมี pH 4.6 หรือมีกรดแลคติกร้อยละ 0.9 แล้ว จะควบคุมปริมาณกรดโดยการทำให้เย็นลงถึง  $5^{\circ}\text{C}$  ส่วนในการผลิตโยเกิร์ตชนิดคน หลังจากหมักจะกวนให้เคิร์ดแตกออก แต่ไม่ควรกวนมากเกินไปจนทำให้ความหนืดของโยเกิร์ตลดลง จากนั้นจะทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิ  $15$ - $20^{\circ}\text{C}$  เติมผลไม้ลงไป กวนให้ผลไม้กระจายทั่ว แล้วทำให้เย็นลงอีกจนถึงอุณหภูมิต่ำกว่า  $5^{\circ}\text{C}$  บรรจุในภาชนะขนาดเล็กซึ่งส่วนใหญ่จะบรรจุในถ้วยพลาสติกและปิดด้วยฝาอลูมิเนียมฟอยล์หรือฝาพลาสติก [12]

### 6.3 โยเกิร์ตพร้อมดื่ม (Drink yogurt)

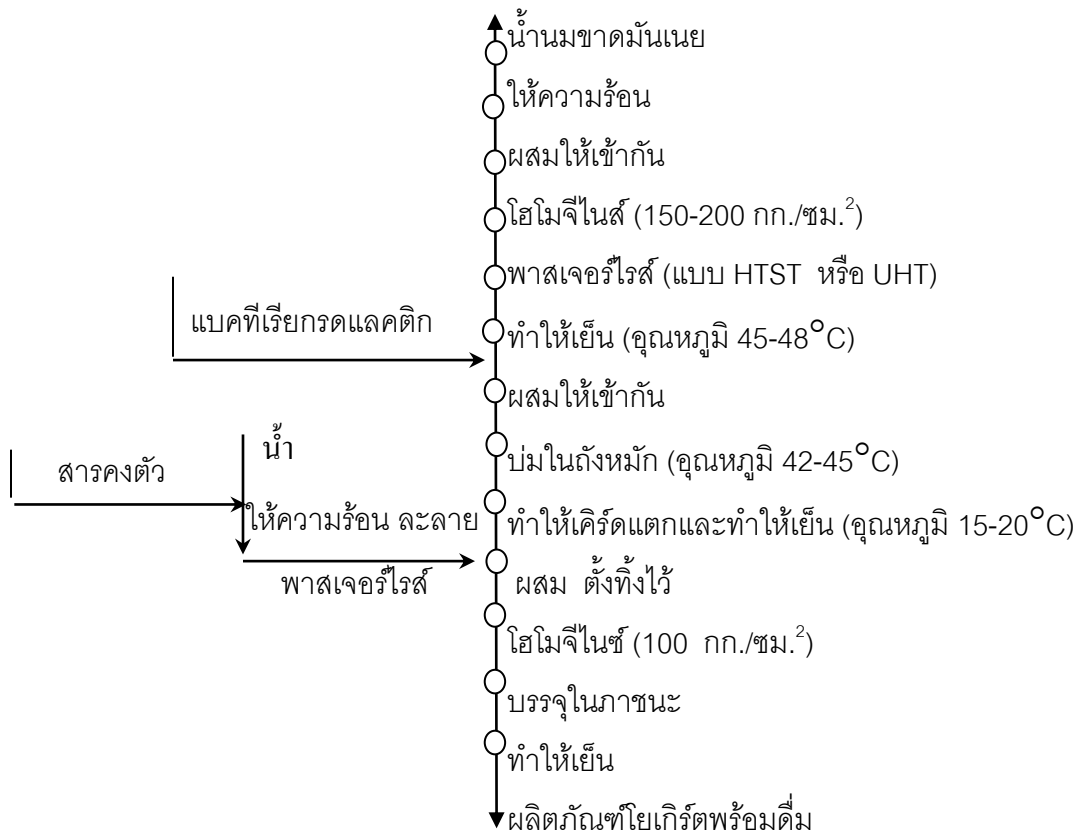
โยเกิร์ตพร้อมดื่ม เป็นผลิตภัณฑ์นมหมักในรูปของของเหลว มีความหนืดน้อยกว่าโยเกิร์ตชนิดคนทำได้โดยเติมสารให้ความคงตัวลงในเซทโยเกิร์ต (set yoghurt) ที่ไม่มีสารคงตัวและทำการโฮโมจีไนส์ ซึ่งผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโยเกิร์ตกับเครื่องดื่มแลคติก (lactic drinks) ต่างกันในเรื่องของปริมาณองค์ประกอบนมรวมทั้งจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ [7]

ตั้งแต่อดีตได้มีการพัฒนาโยเกิร์ตพร้อมดื่มและจำหน่ายในตลาดของญี่ปุ่นโดยบรรจุในภาชนะบรรจุขนาดเล็กในช่วงระหว่างกลางปี ค.ศ. 1960-1969 แต่เป็นที่สนใจบริโภคกันมากขึ้น ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาโดยบรรจุในขวดพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร และเมื่อเร็ว ๆ นี้ มีการบรรจุโยเกิร์ตในกล่องกระดาษขนาด 1,000 มิลลิลิตร เพื่อจำหน่าย [7]

จากรูปที่ 6.5 แสดงตัวอย่างของการผลิตโยเกิร์ตพร้อมดื่ม วัตถุประสงค์ที่ใช้ได้แก่น้ำนมดิบและนมผงจะเตรียมตามองค์ประกอบที่ต้องการ จากนั้นนำส่วนผสมที่ซึ่งยังไม่ได้เติมสารให้ความคงตัวไปให้ความร้อนทำการโฮโมจีไนส์และพาสเจอร์ไรส์แบบอุณหภูมิสูงเวลาสั้น (HTST) ที่อุณหภูมิ 90-95°C หรือให้ความร้อนด้วยระบบยูเอชที (UHT) ที่อุณหภูมิ 120-130°C เป็นเวลาหลายวินาที จากนั้นทำให้ส่วนผสมเย็นลงจนถึงอุณหภูมิที่จะทำการหมักในถังหมัก เติมกล้าเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกประมาณร้อยละ 1-2 และทำการหมักที่อุณหภูมิ 42-45°C เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง จนกระทั่งได้ความเป็นกรดที่ระดับที่ต้องการแล้วทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิต่ำกว่า 20°C ทำการเติมสารให้ความคงตัวได้แก่ เพคติน (HM Pectin) ที่ละลายและพาสเจอร์ไรส์ไว้ล่วงหน้าแล้วทำการหมักต่อจนเสร็จ จากนั้นนำส่วนผสมมาทำการโฮโมจีไนส์และบรรจุในภาชนะ เมื่อมีการเติมผลไม้หรือสารเจือปน เช่น สารให้สีและกลิ่นรสจะทำพร้อมกับการเติมสารคงตัว ปริมาณสารคงตัวที่เติม เช่น HM Pectin ที่เหมาะสมควรเติมลงไปประมาณร้อยละ 0.3

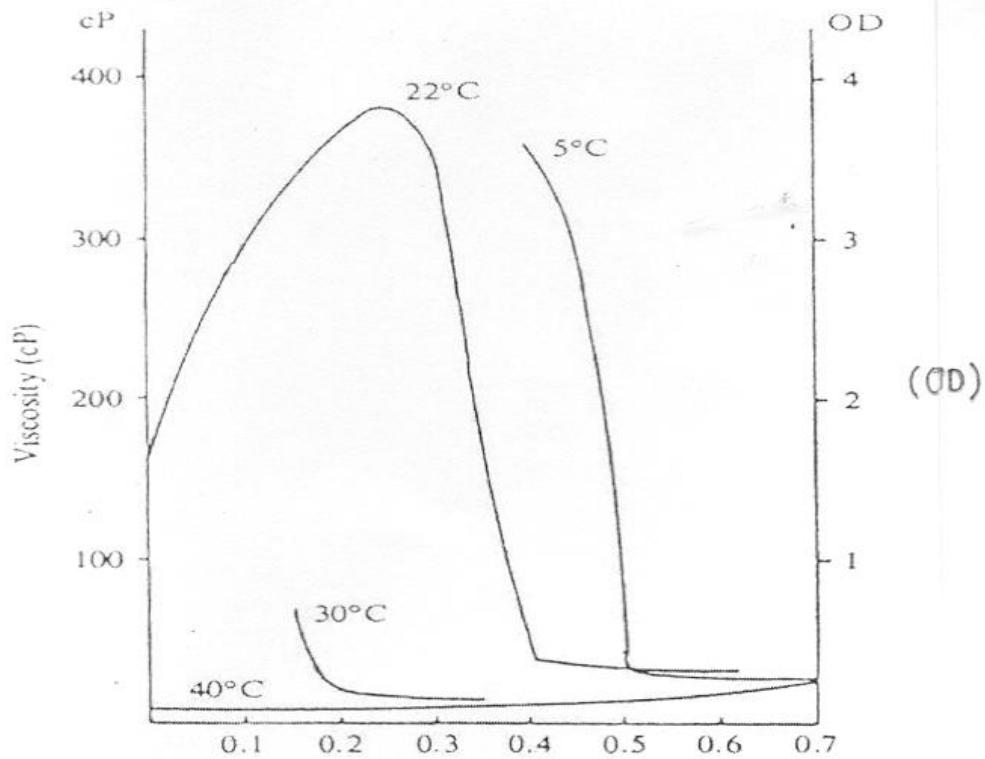
เมื่อมีการเติมสารให้ความคงตัวในโยเกิร์ตพร้อมดื่ม สารให้ความคงตัวสามารถกระทำต่อแรงศักย์ไฟฟ้า มีผลทำให้ความหนืดลดลงถ้าอัตราการผสม (inclusion rate) สูงเกินไป จากรูปที่ 6.6 แสดงให้เห็นตัวอย่างของสิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อเติมสาร HM pectin ลงในหางนม (ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 7.5) ที่ปรับความเป็นกรดด้วย glucono- $\delta$ -lactone และพบว่าถ้าเติมเพคตินร้อยละ 0.27 ที่อุณหภูมิ 22°C จะให้ความหนืดสูงสุด และเมื่ออัตราการเติมเพคตินสูงเกินระดับหนึ่ง ความหนืดจะเริ่มลดลง ปรากฏการณ์นี้สามารถเกิดขึ้นเมื่อเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) และโพรไพลีนไกลคอลอัลจิเนต (propylene glycol alginate) ได้เช่นเดียวกันซึ่งสามารถอธิบายได้ในรูปของ static electricity ดังต่อไปนี้

ที่ค่าพีเอชต่ำกว่าจุดไอโซอิเล็กตริก (isoelectric point) เคซีนมีประจุบวก เมื่อสารคงตัวมีประจุเป็นลบมาจับกับเคซีน ค่าของประจุจะลดลงและความหนืดเพิ่มขึ้น ถ้าเติมสารคงตัวมากขึ้น ประจุลบที่ผิวของเคซีนก็จะเพิ่มขึ้น ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของแรงผลักระหว่างโมเลกุลและทำให้ความหนืดลดลง ดังนั้นเพื่อที่จะให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตพร้อมดื่มมีความคงตัวในระยะยาว ควรเติมสารคงตัวในปริมาณเหมาะสมเพื่อให้มีแรงดึงดูดระหว่างเคซีนไมเซลล์ (casein micelles) มากกว่าแรงผลัก ดังที่ทราบแล้วว่าการไฮโมจีไนซ์ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวทั้งหมดของเคซีนไมเซลล์โดยการลดขนาดลง ดังนั้นสารคงตัวที่จำเป็นต้องเติมจึงเพิ่มขึ้น [7]



รูปที่ 6.5 กระบวนการผลิตโยเกิร์ตพร้อมดื่ม

ที่มา: Orihara และคณะ [7]



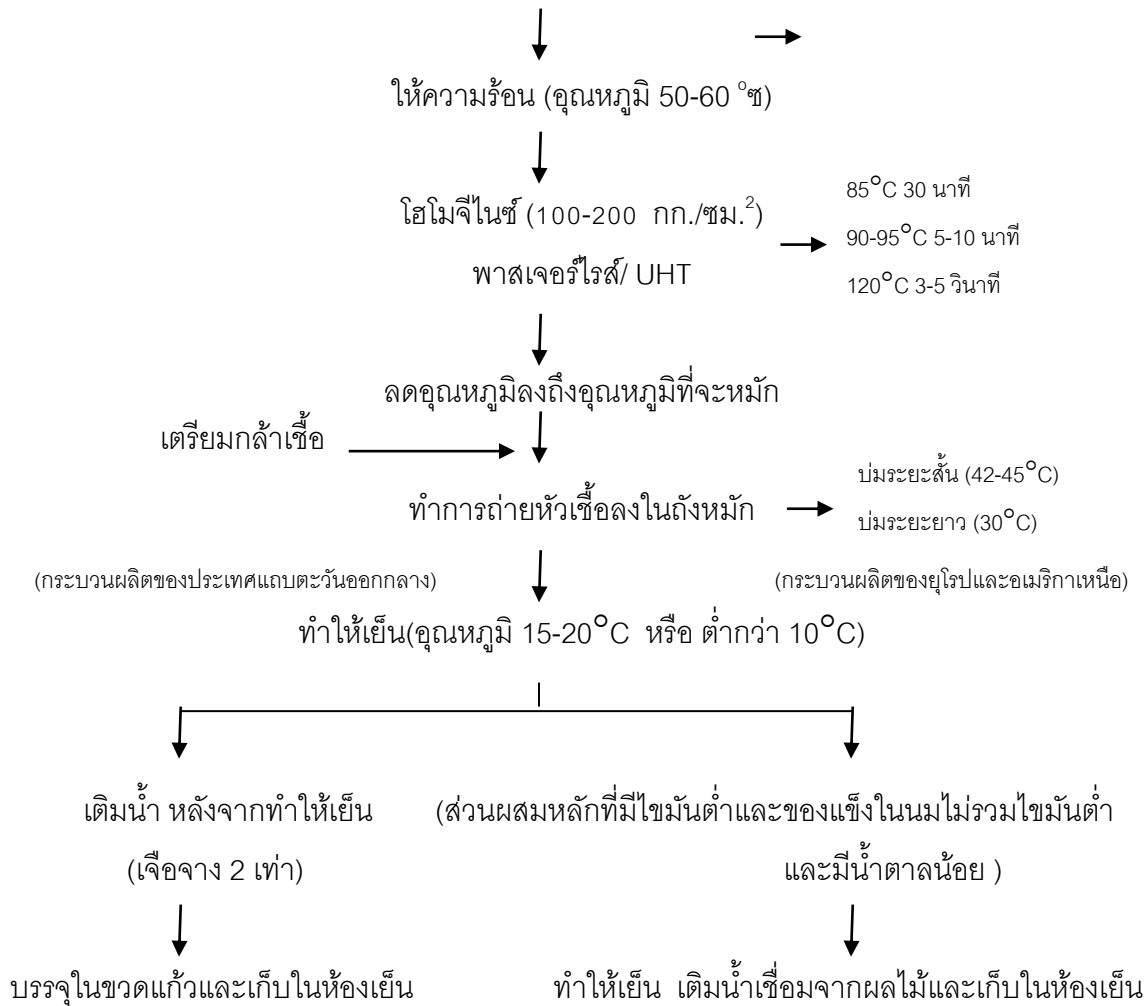
รูปที่ 6.6 การเปลี่ยนแปลงความหนืดในนมหมักที่มีการเติม HM pectin  
ที่มา: Orihara และคณะ [7]

### วิธีการผลิตโยเกิร์ตพร้อมดื่ม

จากการรายงานของนักวิจัยต่างประเทศหลายท่านเกี่ยวกับการผลิตโยเกิร์ตพร้อมดื่ม จึงได้  
จำแนกวิธีการผลิตโยเกิร์ตได้ 2 วิธี (รูปที่ 6.7) ทั้งสองวิธีจะการเตรียมกล้าเชื้อด้วยวิธีเดียวกัน กระบวนการ  
ผลิตของประเทศตะวันออกกลางจะเจือจางเคิร์ดที่ได้จากการหมักโยเกิร์ตชนิดคนด้วยน้ำปริมาณที่เท่ากัน  
แต่กระบวนการผลิตในประเทศแถบยุโรปและอเมริกาเหนือจะเติมน้ำเชื่อมจากผลไม้ลงไปผสมกับเคิร์ด  
ของโยเกิร์ตชนิดคน หลังจากนั้นทำการโฮโมจีไนส์เหมือนกับวิธีการทำในประเทศญี่ปุ่น เนื่องจากวิธีการ  
ดังกล่าวจะไม่ได้ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการหมักอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นตามกฎหมายของประเทศญี่ปุ่นได้  
จึงจัดจำแนกให้เป็นเครื่องดื่มแลคติก (lactic drink)

การเตรียมขั้นต้น

ปรับมาตรฐานไขมันให้ได้ 0.5-3.0% และ  
ปรับปริมาณของแข็งในนมให้ได้ 14-16%  
เติมน้ำตาลและสารคงตัว



รูปที่ 6.7 กระบวนการผลิตโยเกิร์ตพร้อมดื่ม  
ที่มา : Orihara และคณะ [7]

## 6.4 เครื่องดื่มแลคติก

เครื่องดื่มแลคติก (lactic drink) หมายถึง เครื่องดื่มต่าง ๆ นอกเหนือจากผลิตภัณฑ์นมที่ผ่านการหมักโดยตรงหรือมีนมที่หมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกหรือยีสต์เป็นส่วนผสมหลัก หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นเครื่องดื่มที่ได้จากการผสมส่วนประกอบต่าง ๆ เข้ากับนมหมักซึ่งใช้เป็นส่วนผสมพื้นฐาน สามารถแบ่งเครื่องดื่มแลคติกได้เป็นหลายประเภท ได้แก่ 1) ประเภทที่มีปริมาณของแข็งในนมที่ไม่รวมไขมันไม่ต่ำกว่าร้อยละ 3 และมีจำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกหรือยีสต์ไม่น้อยกว่า  $10^7$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร และ 2) ผลิตภัณฑ์ที่มีนมเป็นส่วนประกอบหลักที่มีปริมาณของแข็งในนมที่ไม่รวมไขมันน้อยกว่าร้อยละ 3 และมี

จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกหรือยีสต์ไม่น้อยกว่า  $10^6$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร และอาจเครื่องดื่มแลคติกที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์โดยการให้ความร้อนหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการหมักด้วย [7]

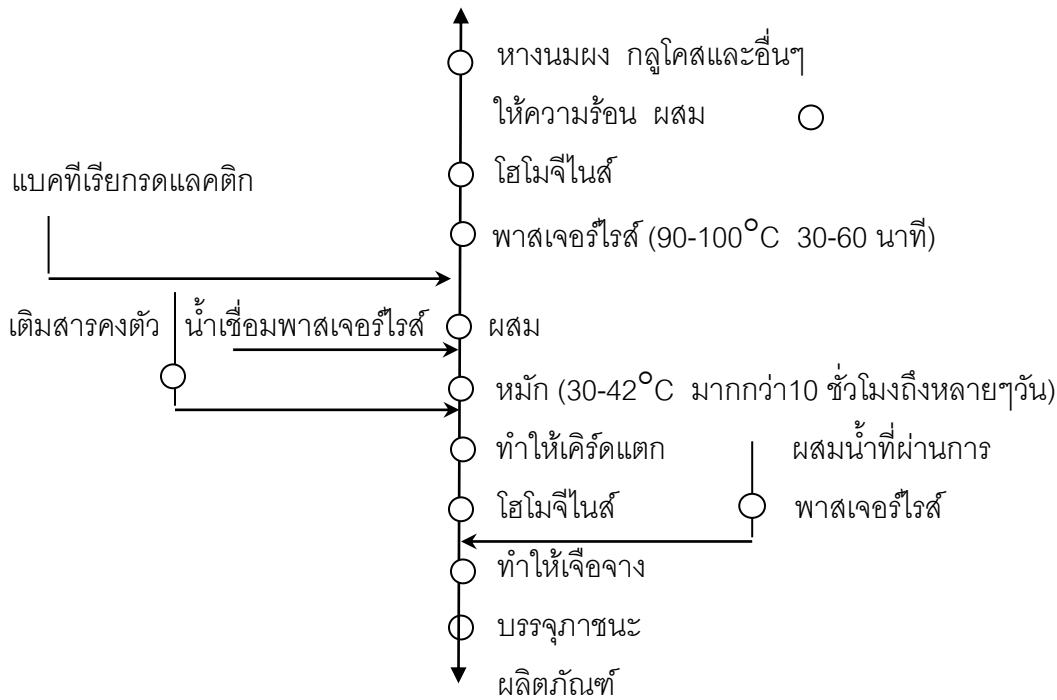
ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแลคติกแบ่งได้เป็น 4 ประเภทตามกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันได้แก่ 1) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักนมด้วยแบคทีเรียแลคติกหรือยีสต์ แล้วทำให้เข้มข้นขึ้นจากนั้นนำมาผสมกับส่วนผสมอื่นที่เตรียมแยกไว้แล้ว โดยเติมลงไปโดยตรงในนมที่ผ่านการหมัก และ 2) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักของแบคทีเรียกรดแลคติกหรือยีสต์กับส่วนผสมของหางนมหรือหางนมผง จากนั้นนมหมักที่ได้จะถูกเจือจางกับสารละลายน้ำตาล (จุลินทรีย์ในนมหมักยังคงมีชีวิตอยู่) และ 3) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักวัตถุดิบต่างๆกับนมด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกหรือยีสต์ จากนั้นนมหมักที่ได้จะผ่านการพาสเจอร์ไรส์และการบรรจุ (นมหมักชนิดที่ผ่านการการพาสเจอร์ไรส์) และ 4) ผลิตภัณฑ์ที่ถูกทำให้คงตัว มีลักษณะคล้ายกับนมหมักที่ผ่านการการพาสเจอร์ไรส์ที่ได้มีการเติมน้ำตาล ซึ่งผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ต้องนำมาเจือจางก่อนดื่ม (นมหมักชนิดที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์และการทำให้เข้มข้นหรือเรียกว่า acid milk drink)

ผลิตภัณฑ์นมหมักนั้นมีอยู่หลากหลายชนิด รวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการเติมเชื้อ *Bifidobacterium* spp. หรือ *L. acidophilus* ลงในน้ำนมวัวหรือนมที่มีไขมันต่ำหรือผลิตภัณฑ์ที่เติมแบคทีเรียกรดแลคติก เช่น *L. casei* ในน้ำผลไม้ [7]

#### - เครื่องดื่มแลคติกที่ได้จากนม (Dairy Lactic Drinks)

ขั้นตอนการผลิตของเครื่องดื่มแลคติกจากนมแสดงดังรูปที่ 6.8 ซึ่งมีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ  $90-100^{\circ}\text{C}$  30-60 นาที ในการผลิตแบบไม่ต่อเนื่องใน batch ที่มีการเติมกลูโคสและอื่นๆ และเติมหางนมหรือหางนมคั้นรูป (reconstituted skim milk) ที่เพิ่มหางนมผง นำไปพาสเจอร์ไรส์ ข้อดีของขั้นตอนนี้นอกจากการทำให้พาสเจอร์ไรส์แล้วยังทำให้การเกิดสีน้ำตาลอย่างเหมาะสม ซึ่งจะส่งผลดีต่อการเจริญของแบคทีเรียกรดแลคติก สำหรับการพาสเจอร์ไรส์แบบต่อเนื่องถ้าจะให้ผลเช่นเดียวกันทำได้โดยติดตั้งท่อคงอุณหภูมิ (holding tube) ไว้ในสายการผลิตเพื่อช่วยยืดเวลาการให้ความร้อนหลังจากทำให้เย็นลงจนถึงระดับอุณหภูมิที่จะทำการหมักคือ  $30-45^{\circ}\text{C}$  จะเติมแบคทีเรียกรดแลคติกที่ใช้เป็นกล้าเชื้อลงไปร้อยละ 1-3 ซึ่งสายพันธุ์ *L. casei* เป็นสายพันธุ์ที่นิยมใช้ และเวลาที่ใช้ในการหมักนั้นอาจมากกว่า 10 วัน ขึ้นอยู่กับอัตราการเจือจางในขั้นสุดท้ายเพื่อให้ได้ค่าพีเอชหลังจากการเจือจางที่เพียงพอต่อการทำให้โปรตีนในนมคงตัว การผลิตตามวิธีการดั้งเดิมจะไม่มีสารคงตัว (stabilizer) และการปรับพีเอชมีผลต่อคุณภาพและการตกตะกอนของผลิตภัณฑ์ หลังจากเสร็จสิ้นการหมัก ลีมนมจะถูกตีให้แตกในขณะที่ทำการผสมกับสารละลายน้ำตาลที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ เช่น น้ำตาลซูโครสในรูปแบบของเหลวหรือน้ำผลไม้ที่มีการเติมสารให้ความคงตัว เช่น HM pectin จากนั้นส่วนผสมจะถูกนำไปทำให้

เป็นเนื้อเดียวกัน ลดอุณหภูมิด้วยแผ่นทำความเย็น (plate cooler) และทำการเก็บรักษา นมที่นำไปเก็บนั้น จะถูกเจือจาง 1.5-3 เท่า ด้วยน้ำเย็นที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ ขณะที่บรรจุลงภาชนะ [7]



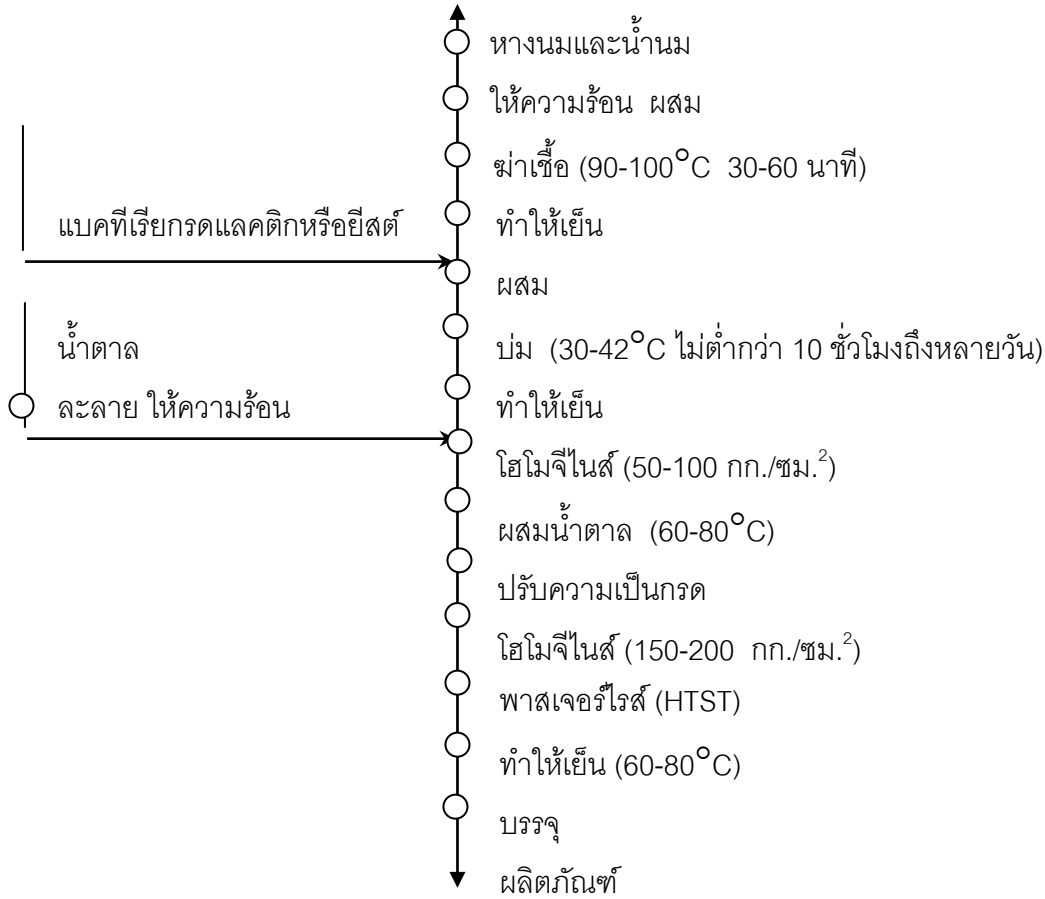
รูปที่ 6.8 กระบวนการผลิตเครื่องดื่มแลคติกที่ได้จากนม

ที่มา : Orihara และคณะ[7]

#### - เครื่องดื่มแลคติกที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ (Pasteurized Lactic Drinks)

ในประเทศญี่ปุ่นเครื่องดื่มแลคติกที่ต้องเจือจางก่อนดื่ม เรียกว่า acid milk drink ซึ่งก็คือเครื่องดื่มแลคติกที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ ขั้นตอนการผลิตแสดงในรูปที่ 6.9 ขั้นแรก หางนมหรือหางนมคืนรูป (reconstituted skim milk) ที่เติมหางนมผงเพิ่มเข้าไปถูกนำไปพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 90 – 100 °C เป็นเวลาหลายนาที จากนั้นลดอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงอุณหภูมิการหมัก คือ 30 – 42°C เติมแบคทีเรียกรดแลคติกที่สร้างกรดได้สูง เช่น *L. bulgaricus* หรือ *L. helveticus* biovar. *jugurti* ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 – 2 แล้วนำไปหมักให้มีความเข้มข้นของกรดแลคติกร้อยละ 2 ในผลิตภัณฑ์บางชนิดได้มีการนำยีสต์ เช่น *K. marxianus* biovar. *marxianus* (ชื่อเดิมคือ *K. fragilis*) มาใช้ในการหมัก หลังจากกระบวนการหมักสิ้นสุด ลดอุณหภูมิและทำการโฮโมจีไนส์ เล็กน้อยเพื่อให้เคิร์ดแตก นำไปให้ความร้อน

ที่อุณหภูมิ 60 – 80°C ผสมกับสารละลายน้ำตาลในปริมาณที่เท่ากันหรือปริมาตร 1.5 เท่าของปริมาตรนมหมัก ปรับความเป็นกรดโดยการเติมกรดอินทรีย์ และทำการโฮโมจีไนส์ส่วนผสมที่ได้ (ความดัน 100 – 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) จากนั้นทำการพาสเจอร์ไรส์ แบบ HTST แล้วเติมลงในภาชนะบรรจุที่อุณหภูมิสูง 60 – 80°C และทำให้เย็น [7]



รูปที่ 6.9 กระบวนการผลิตเครื่องดื่มแลคติกที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์

ที่มา : Orihara และคณะ [7]

คุณภาพทางจุลินทรีย์ในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์นี้ได้รับการประกัน เนื่องจากทำการบรรจุที่อุณหภูมิสูง ประกอบกับใช้ความเข้มข้นของน้ำตาลในระดับสูงและมีค่าพีเอชต่ำ ซึ่งลิมินมที่ไม่เสถียรในสภาพพีเอชต่ำ จะถูกทำให้คงตัวโดยการเพิ่มความหนืด และความถ่วงจำเพาะโดยการโฮโมจี

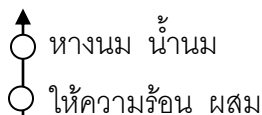
ไนส์ การเติมน้ำตาลในความเข้มข้นเหมาะสม ความเป็นกรดร้อยละ 1 ในผลิตภัณฑ์สุดท้ายนั้นให้รสชาติที่ดีที่สุด

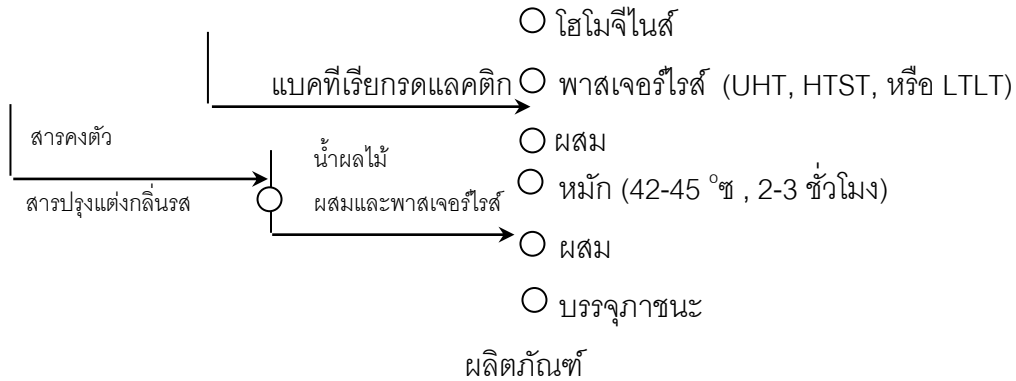
เครื่องต้มแลคติกที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ที่ผลิตจากเวย์นั้นมีขายอยู่ตามท้องตลาดเป็นเวลานาน ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดนี้จำเป็นต้องมีกระบวนการ ที่กำจัดกลิ่นเฉพาะของเวย์ออกไปและจำเป็นต้องทำให้โปรตีนเวย์คงตัวซึ่งจะไม่คงตัวเมื่อถูกทำให้เสียสภาพด้วยความร้อน

#### - เครื่องต้มแลคติกที่มีนมเป็นส่วนผสมหลัก (Milk-Based Lactic Drinks)

การที่เครื่องต้มแลคติกชนิดนี้ มีปริมาณของแข็งในนมที่ไม่รวมไขมันไม่เกินร้อยละ 3 และมีจำนวนแบคทีเรียแลคติกหรือยีสต์ ไม่น้อยกว่า  $10^6$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร จึงทำให้เกิดความหลากหลายของลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ ซึ่งขั้นตอนการผลิตแสดงในรูปที่ 6.10 โดยมีส่วนประกอบหลักคือหางนมที่ใช้ในการผลิตนมหมักที่ไม่มีการเติมสารคงตัวหรือน้ำตาลและทำให้ล้นนมแตก ทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วเท่าที่จะทำได้ เนื่องจากล้นนมที่แตกออกที่อุณหภูมิสูง จะหดตัวและแข็งขึ้นเนื่องจากการตอบสนองของกระตุ้นทางกายภาพ ซึ่งจะทำให้การทำให้คงตัวในขั้นต่อไปทำได้ยาก จากนั้นนำส่วนผสมหลักซึ่งเป็นนมหมักนี้ไปผสมกับส่วนผสมหลักที่เป็นของเหลวที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์แยกไว้ และมีการเติมสารให้ความคงตัว เช่น HM pectin บรรจุส่วนผสมทั้งหมดลงในภาชนะ ได้เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย ส่วนผสมหลักที่เป็นของเหลวสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ทำกันในปัจจุบันนั้น หมายรวมถึงน้ำผลไม้ชนิดต่าง ๆ และเครื่องต้มที่มีนมเช่น กาแฟที่เติมนมและน้ำมันนมต่ำ [7]

การใช้ส่วนผสมต่าง ๆ ผสมกันในรูปแบบต่าง ๆ กันที่ใช้ในเครื่องต้มแลคติกประเภทนี้ ถือเป็นเทคนิคในการทำให้แบคทีเรียกรดแลคติกรอดชีวิต ในผลิตภัณฑ์ ในกรณีนี้ผลิตภัณฑ์มีการเติมส่วนผสมของน้ำผลไม้ โดยทั่วไปแล้วจะทำให้ค่าพีเอชลดต่ำลง ส่งผลให้จำนวนแบคทีเรียที่มีชีวิตลดลงในขณะจำหน่าย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องมีการใช้สายพันธุ์ของเชื้อที่มีความทนต่อกรด และในกรณีของผลิตภัณฑ์ที่ไม่เปรี้ยว ซึ่งจะมีการเติมเชื้อลงในน้ำมันที่เป็นส่วนผสมหลัก ทำให้มีค่าพีเอชค่อนข้างสูง ควรเลือกชนิดและสายพันธุ์ของเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างกรดได้ในปริมาณต่ำ ซึ่งถ้าหากแบคทีเรียกรดแลคติกเจริญและสร้างกรดได้มาก ในระหว่างการจำหน่ายจะทำให้ค่าพีเอชลดลง ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการตกตะกอนของเคซีนได้ [7]





รูปที่ 6.10 กระบวนการผลิตเครื่องดื่มแลคติกที่มีนมเป็นส่วนผสมหลัก  
 ที่มา : Orihara และคณะ [7]

## 6.5 คีเฟอร์ (Kefir)

คีเฟอร์ เป็นผลิตภัณฑ์นมหมักที่มีกรดแลคติกประมาณร้อยละ 0.9-1.1 และมีแอลกอฮอล์ประมาณร้อยละ 0.5-1.0 เป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมรับประทานกันแถบยุโรปตะวันออก ผลิตขึ้นจากการหมักน้ำนมด้วยจุลินทรีย์ผสมของแบคทีเรียแลคติกและยีสต์ที่อยู่ในเม็ดคีเฟอร์ (kefir grains) เม็ดคีเฟอร์ เป็นเชื้อตั้งต้นที่ใช้ทำคีเฟอร์ ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตชนิดที่เรียกว่า คีเฟอร์แรน (kefiran) ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีกลูโคสและกาแลคโตสเป็นส่วนประกอบ จุลินทรีย์ที่พบในเม็ดคีเฟอร์ได้แก่ *Lactobacillus lactis* ssp. *lactis*, *L. lactis* ssp. *cremoris*, *L. acidophilus*, *L. kefir*, *L. kefiranofaciens*, *L. casei*, *Candida kefir*, *Kluyveromyces marxianus* var. *marxianus* และ *Saccharomyces cerevisiae* จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่า แบคทีเรียส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณผิวรอบๆเม็ดคีเฟอร์ ส่วนยีสต์จะฝังตัวอยู่ในกลุ่มคีเฟอร์แรนตรงกลางเม็ดคีเฟอร์ [12]

เม็ดคีเฟอร์ที่ใช้เป็นเชื้อตั้งต้นในการผลิตคีเฟอร์นี้มีจำหน่ายในรูปของเม็ดคีเฟอร์แห้ง ก่อนใช้จะต้องนำมาแช่น้ำอุ่นประมาณ 2 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำมาแช่ในน้ำนมที่พาสเจอร์ไรส์แล้วจนกระทั่งเม็ดคีเฟอร์พองทุกเม็ดจึงจะนำไปใช้ในการผลิตคีเฟอร์ได้ [15]

### กรรมวิธีการผลิตคีเฟอร์

ขั้นแรกจะต้องเตรียมกล้าเชื้อจุลินทรีย์เสียก่อน โดยเติมเม็ดคีเฟอร์ลงในน้ำนมที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์แล้ว บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 23°C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง จากนั้นช้อนเอาเม็ดคีเฟอร์ออก แล้วนำกล้าเชื้อที่ได้

ไปใช้ในการผลิตคีเฟอร์ต่อไป ส่วนเมล็ดคีเฟอร์ก็จะนำมาล้างด้วยน้ำเย็นเก็บไว้ใช้ได้อีก สำหรับการผลิตคีเฟอร์นั้น จะนำนมพร้อมมันเนยมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95°C เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้เวย์โปรตีนเสียสภาพเนื่องจากเวย์โปรตีนที่เสียสภาพมีคุณสมบัติชอบน้ำซึ่งจะช่วยปรับปรุงความเหนียวของผลิตภัณฑ์ และหลังจากที่ให้น้ำนมเย็นแล้วจะเติมกล้าเชื้อจุลินทรีย์ร้อยละ 3-5 บ่มไว้ที่อุณหภูมิ 23°C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ในระหว่างการบ่ม แบคทีเรียจะสร้างกรดในขณะเดียวกันยีสต์จะสร้างแอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์รวมทั้งมีสารให้กลิ่นเช่น ไดอะซีทิลและเอซีตัลดีไฮด์เกิดขึ้น เมื่อบ่มจนครบ 20 ชั่วโมงแล้วทำให้เย็น หลังจากนั้นอาจทิ้งไว้อีกหลายชั่วโมงเพื่อให้ลิ้มรสมีความคงตัวมากยิ่งขึ้น [6]

## 6.6 คูมิส (koumiss)

คูมิสเป็นน้ำนมเปรี้ยวที่มีทั้งกรดและแอลกอฮอล์คล้ายคีเฟอร์ ผลิตจากน้ำนมม้า โดยจะนำน้ำนมมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90-93°C เป็นเวลา 5 นาที ทำให้เย็นแล้วเติมกล้าเชื้อจุลินทรีย์ร้อยละ 10-30 กล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ประกอบด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกและยีสต์ได้แก่ *L. acidophilus*, *L. debrueckii* ssp. *bulgaricus*, *Kluyveromyces marxianus* var. *marxianus* หรือ *Kluyveromyces marxianus* var. *lactis* บ่มที่อุณหภูมิ 26-28°C จนกระทั่งได้กรดแลคติกและแอลกอฮอล์ตามต้องการ ส่วนใหญ่คูมิสจะมี ปริมาณกรดแลคติกร้อยละ 0.6-1.0 และปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 0.7-2.5 หลังจากบ่มแล้วทำให้เย็นถึง 15°C และกวนเพื่อให้ได้ลักษณะเนียน อยู่ตัวและมีอากาศผสมเล็กน้อย จากนั้นจึงบรรจุขวดและเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องระยะหนึ่งเพื่อให้มีการสะสมของคาร์บอนไดออกไซด์ คูมิสที่ผลิตได้จะมีลักษณะเหลวไม่เป็นเคิร์ดเนื่องจากน้ำนมม้าไม่ตกตะกอนที่จุดไอโซอิเล็กทริกของเคซีน [12, 16]

## 6.7 คัลเจอร์บัตเตอร์มิลค์ (cultured buttermilk)

คัลเจอร์บัตเตอร์มิลค์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักบัตเตอร์มิลค์หรือหางนมด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก *L. delbrueckii* ssp. *bulgaricus* และ *S. salivarius* ssp. *thermophilus* หรืออาจใช้ *S. lactis* ssp. *lactis* biovar *diacetylactis*, *S. lactis* ssp. *cremoris* และ *Leuconostoc mesenteroides* ssp. *cremoris* ในการผลิตคัลเจอร์บัตเตอร์มิลค์บางครั้งอาจเติมครีมลงไปด้วย เพื่อให้ได้ปริมาณไขมันประมาณร้อยละ 0.5 เติมน้ำตาลร้อยละ 0.1 เพื่อเพิ่มรสชาติและเติมเจลาตินเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวมากขึ้น เมื่อผสมส่วนผสมแล้วจะนำมาทำให้ร้อนจนมีอุณหภูมิ 80°C นำไปกำจัดอากาศและผ่านการ

ไฮโมจีเนส แล้วให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 90-95°C เป็นเวลา 10 นาที ทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิ 22°C ก่อนที่จะเติมกล้าเชื้อจุลินทรีย์ ปริมาณของกล้าเชื้อที่ใช้คือร้อยละ 1-2 หมักที่อุณหภูมิ 25°C 16-20 ชั่วโมง จนกระทั่งได้กรดแลคติกร้อยละ 0.9 ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้จะมีลักษณะคล้ายโยเกิร์ต นิยมรับประทานกันมากในแถบยุโรป ในสหรัฐอเมริกาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ [12, 15, 17]

## 6.8 ผลิตภัณฑ์นมหมักเพื่อสุขภาพ

ผลิตภัณฑ์นมหมักเพื่อสุขภาพ (therapeutic products) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าในทางอายุรเวท (therapeutic value) เนื่องจากผลิตขึ้นจากการหมักนํ้านมดิบด้วยจุลินทรีย์ชนิดที่ให้ประโยชน์ต่อร่างกาย ซึ่งได้แก่เชื้อ *Lactobacillus acidophilus* และแบคทีเรียในตระกูล *Bifidobacterium* รวมถึง *B. bifidum*, *B. longum*, *B. adolescentis*, *B. breve* และ *B. infantis* จุลินทรีย์เหล่านี้ล้วนเป็นจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในลำไส้ของมนุษย์ทั้งสิ้น โดยเชื้อ *L. acidophilus* ส่วนใหญ่อยู่ที่ส่วนปลายของลำไส้เล็ก ส่วน *Bifidobacterium* นั้นเป็นหนึ่งในแบคทีเรียหลายชนิดที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ เมื่อรับประทานผลิตภัณฑ์นมหมักที่มีจุลินทรีย์เหล่านี้เข้าไป จุลินทรีย์ก็จะผ่านไปยังลำไส้และเจริญแข่งกับจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ผลิตภัณฑ์ชีวนะมายับยั้งจุลินทรีย์อื่นๆ นอกจากนี้จุลินทรีย์โดยเฉพาะ *Bifidobacterium* ssp. สามารถผลิตกรดอะซิติกและกรดแลคติกซึ่งจะช่วยในการยับยั้งจุลินทรีย์ชนิดอื่น [17] ผลิตภัณฑ์นมหมักเพื่อสุขภาพที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ดังกล่าว ได้แก่ นมอะซิโดฟิลัส (Acidophilus milk) นมอะซิโดฟิลัสชนิดไม่ผ่านการหมัก (Sweet acidophilus milk) โยเกิร์ตเพื่อสุขภาพ (เช่น ไบโอบิเกิต (Bioghurt) ไบโอบิการ์ด (Biogarde) คัลเจอร์ร่า (Cultura)) และยาคูลท์

### 6.8.1 นมอะซิโดฟิลัส (acidophilus milk)

นมอะซิโดฟิลัส เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นจากการหมักนํ้านม ด้วยเชื้อ *Lactobacillus acidophilus* นิยมรับประทานกันมากในแถบยุโรปตะวันออกและสหรัฐอเมริกาเพราะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ให้ประโยชน์ต่อร่างกาย มีผู้กล่าวว่า *L. acidophilus* มีคุณสมบัติช่วยต่อต้านเชื้อโรคได้ โดยเฉพาะเมื่ออยู่ในลำไส้จะผลิตกรดอะซิติกและกรดแลคติก ทำให้ pH ลดลง ซึ่งมีผลยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค [6]

#### กรรมวิธีการผลิต

ในการผลิตนมอะซิโดฟิลัส ก่อนอื่นจะต้องเตรียมเชื้อตั้งต้น (mother culture) โดยนำหางนมมา

ฆ่าเชื้อ และทำให้เย็นถึงอุณหภูมิ 37°C เติม *L. acidophilus* ลงไปประมาณร้อยละ 1 บ่มที่อุณหภูมิ 37°C จนมีกรดแลคติกประมาณร้อยละ 0.6-0.7 จะได้เชื้อตั้งต้นที่พร้อมจะนำมาขยายให้ได้สตาร์ทเตอร์ปริมาณมาก (bulk starter) ซึ่งการขยายปริมาณนั้นจะทำด้วยวิธีการเดียวกัน โดยจะขยายให้ได้สตาร์ทเตอร์ปริมาณมากพอที่จะนำมาเติมลงในน้ำนมที่จะผลิตเป็นนมอะซิโดฟิลัส [6]

น้ำนมที่ใช้ในการผลิตนมอะซิโดฟิลัส อาจเป็นหางนม หรือน้ำนมพร้อมมันเนยก็ได้ และควรมีคุณภาพทางจุลินทรีย์ดี มีจุลินทรีย์ปนเปื้อนน้อย ในการผลิตจะนำน้ำนมมาผ่านความร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำนม โดยต้องใช้ความร้อนสูงเพื่อให้น้ำนมปราศจากเชื้อจริงๆ มิฉะนั้นจุลินทรีย์ที่รอดชีวิตอาจแข่งขันเจริญกับ *L. acidophilus* ได้ เพราะ *L. acidophilus* เจริญในน้ำนมได้ช้า ปกติมักให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำให้เย็นลงถึง 37°C บ่มไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการงอกของสปอร์ที่ยังคงเหลืออยู่ แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90-95°C อีกครั้งเพื่อทำลายเซลล์ที่เกิดขึ้นใหม่ซึ่งการให้ความร้อน 2 ครั้งนี้ จะเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก ผู้ผลิตบางคนจึงให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงเพียงครั้งเดียว เช่น ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 15 นาที หรือให้ความร้อนในระดับยูเอชทีที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 2 วินาที หลังจากให้ความร้อนแล้วจะลดอุณหภูมิลงเหลือ 37°C แล้วเติมสตาร์ทเตอร์ที่เตรียมไว้ลงไป โดยเติมร้อยละ 5 บ่มทิ้งไว้ 1 คืน ที่อุณหภูมิ 37°C จะได้นมอะซิโดฟิลัสที่มีกรดแลคติกร้อยละ 0.6-0.7 นำไปทำให้เย็นและบรรจุ ปริมาณกรดระดับนี้ *L. acidophilus* ยังคงทนได้ แต่ถ้าบ่มจนกระทั่งได้กรดแลคติกร้อยละ 1.0-1.2 จะมีผลต่อการอยู่รอดของเซลล์โดยจำนวนเซลล์จะลดลงหลังจากเก็บไว้ 2-3 สัปดาห์ เนื่องจากไม่สามารถทนต่อกรดระดับนี้ได้ ดังนั้นนมอะซิโดฟิลัสที่จะนำไปใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ จึงมักบ่มจนได้กรดแลคติกเพียงร้อยละ 0.6-0.7 เท่านั้น เพื่อต้องการให้มีเซลล์ที่มีชีวิตเหลืออยู่จำนวนมาก (ควรมี 2,000-3,000 ล้านเซลล์ต่อมิลลิลิตร) [6, 17]

### 6.8.2 นมอะซิโดฟิลัสชนิดไม่ผ่านการหมัก (sweet acidophilus milk)

นมอะซิโดฟิลัสชนิดไม่ผ่านการหมัก เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากการนำน้ำนมพร้อมมันเนยหรือน้ำนมพร้อมมันเนยหรือหางนมที่ผ่านการปรับมาตรฐานและพาสเจอร์ไรส์ มาเติมจุลินทรีย์เข้มข้นชนิด *L. acidophilus* เพื่อให้มีจำนวนเซลล์ที่มีชีวิต  $10^7$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร จากนั้นจะนำน้ำนมที่ผ่านการเติมจุลินทรีย์แล้วมาทำให้เย็น และจำหน่ายโดยที่ไม่ผ่านการหมัก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีรสชาติเหมือนน้ำนมสด แต่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพซึ่งในนมอะซิโดฟิลัส 100-150 มิลลิลิตร จะมีเซลล์ของ

*L. acidophilus* อย่างน้อย 1 ล้านเซลล์ และเมื่อเร็ว ๆ นี้ได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขึ้นใหม่ ชื่อว่า ไบโอมิลค์ (Bio-milk) หรือ เอ/บี (อะซิโดฟิลัส/บิฟิดัส) มิลค์ (A/B (Acidophilus/ Bifidus) milk) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตทำนองเดียวกับนมอะซิโดฟิลัสชนิดไม่ผ่านการหมัก แต่จะเติมด้วยจุลินทรีย์ 2 ชนิด ในอัตราส่วนเท่ากัน คือ *L. acidophilus* และ *Bifidobacterium* sp. ผู้บริโภคจะได้รับประโยชน์มากยิ่งขึ้น

### 6.8.3 โยเกิร์ตเพื่อสุขภาพ (health-promoting yogurt)

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์นมหมักขึ้นใหม่ ที่มีคุณลักษณะทางกายภาพคล้ายโยเกิร์ต แต่จะหมักด้วยจุลินทรีย์ *L. acidophilus* และ/หรือ *Bifidobacterium* sp. ร่วมกับ *S. thermophilus* ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตชนิดใหม่นี้ได้แก่ ไบโอบิโอรต์ (Bioghurt) ไบโอบิโอรด์ (Biogarde) และคัลเจอร์รา (Cultura) เป็นต้น การที่นำเอา *S. thermophilus* มาใช้ร่วมด้วย เนื่องจากจุลินทรีย์ชนิดนี้สามารถปรับตัวได้ดีในน้ำนมและหมักแลคโตสเป็นกรดแลคติกได้อย่างรวดเร็วซึ่งจะช่วยลดเวลาที่ต้องใช้ในการทำให้เกิดการหมักอย่างสมบูรณ์ ปัจจุบันผู้บริโภคมีแนวโน้มที่จะรับประทานโยเกิร์ตชนิดใหม่นี้มากขึ้นทั้งนี้เนื่องจากโยเกิร์ตเหล่านี้ช่วยปรับปรุงระบบย่อยในร่างกายได้ นอกจากนี้ยังช่วยบรรเทาอาการของผู้ที่ไม่สามารถย่อยแลคโตสได้ เพราะในผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณแลคโตสต่ำ รายละเอียดของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดมีดังนี้

#### 6.8.3.1 ไบโอบิโอรต์ (Bioghurt)

ไบโอบิโอรต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นจากการหมักน้ำนมด้วย *L. acidophilus* และ *S. thermophilus* บางครั้งอาจเติม *L. bulgaricus* ด้วย เพื่อเร่งการสร้างกรด กรรมวิธีการผลิตไบโอบิโอรต์จะเหมือนกับการผลิตโยเกิร์ตทุกประการ แต่จะแตกต่างกันเฉพาะชนิดของจุลินทรีย์ที่ใช้เท่านั้น

#### 6.8.3.2 ไบโอบิโอรด์ (Biogarde)

ไบโอบิโอรด์เป็นผลิตภัณฑ์นมหมักที่มีคุณลักษณะทางกายภาพคล้ายโยเกิร์ตเช่นเดียวกับไบโอบิโอรต์ แต่จะหมักด้วยจุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน คือใช้ *L. acidophilus*, *B. bifidum* และ *S. thermophilus* สำหรับปริมาณของจุลินทรีย์สตาร์ทเตอร์ที่ใช้นั้นค่อนข้างมาก โดยใช้ประมาณร้อยละ 10-20 ทั้งนี้เพื่อให้มีปริมาณเซลล์สูงในผลิตภัณฑ์ (ประมาณ  $10^6$ - $10^8$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร) และเพื่อให้ใช้เวลาในการหมักสั้น ซึ่งในการผลิตไบโอบิโอรด์ ปกติไม่ต้องการให้มีกรดสูงเกินไป เนื่องจากต้องการให้มีเซลล์ที่รอดชีวิตเหลืออยู่

มาก เพราะทั้ง *L. acidophilus* และ *B. bifidum* ไม่ทนต่อสภาพที่มีกรดสูง ดังนั้นไปโอการ์ตที่ผลิตได้จึงมี pH สูงประมาณ 4.6 [6]

### 6.8.3.3 คัลเจอร์ร่า (Cultura)

คัลเจอร์ร่าเป็นผลิตภัณฑ์นมหมักที่มีลักษณะคล้ายโยเกิร์ต ผลิตจากนํ้านมที่มีการเพิ่มปริมาณโปรตีนให้ได้อ้อยละ 3.8-3.9 โดยนำนํ้านมมาผ่านความร้อน เช่นเดียวกับการผลิตโยเกิร์ต จากนั้นทำให้เย็นแล้วเติมจุลินทรีย์สแตรต์เตอร์ 2 ชนิด คือ *L. acidophilus* และ *B. bifidum* หมักที่อุณหภูมิ 42°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง อาจถึง 18 ชั่วโมง ถ้าหากใช้สแตรต์เตอร์สำเร็จในรูปฟรีสตรรายชนิดที่ใช้เติมลงในถังหมักโดยตรง (freeze-dried direct-vat-set culture) pH ของผลิตภัณฑ์จะต่ำถึง 4.1-4.2 เมื่อสิ้นสุดการหมัก คาดว่าในผลิตภัณฑ์จะมีจำนวนเซลล์ของ *L. acidophilus* ตั้งแต่  $2.0 \times 10^8$  ถึง  $4.0 \times 10^8$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร และมีจำนวนเซลล์ของ *B. bifidum* ตั้งแต่  $1.0 \times 10^8$  ถึง  $2.0 \times 10^8$  เซลล์ต่อมิลลิลิตร [6]

### 6.8.3.4 ยาคูลท์ (Yakult)

ยาคูลท์เป็นนํ้านมเปรี้ยวที่ผลิตขึ้นจากการหมักนํ้านมด้วย *L. casei* ssp. *casei* ยาคูลท์มีปริมาณของแข็งต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์นมหมักชนิดอื่น โดยมีไขมันร้อยละ 1.1 โปรตีนร้อยละ 1.2 และแลคโตสร้อยละ 1.1 จากสรรพคุณในด้านที่ให้ประโยชน์ต่อร่างกาย จึงทำให้มีผู้นิยมดื่มยาคูลท์มาก โดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่น นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่งที่มีลักษณะคล้ายยาคูลท์ คือยาคูลท์ มิรุ-มิรุ (Yakult Miru-Miru) ซึ่งเป็นนํ้านมเปรี้ยวที่มีส่วนประกอบใกล้เคียงนํ้านมโค คือมีไขมันร้อยละ 3.1 โปรตีนร้อยละ 3.1 แลคโตสร้อยละ 4.5 และมีแซ็กคาไรด์ชนิดอื่น ประมาณร้อยละ 6.1 จุลินทรีย์ที่ใช้ผลิตยาคูลท์ มิรุ-มิรุ เป็นจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายได้แก่ *B. bifidum*, *B. breve*, *L. acidophilus* และ *L. casei* ssp. *casei* [6]

## 6.9 การเสียของผลิตภัณฑ์นมหมัก

ผลิตภัณฑ์นมหมักโดยทั่วไปจะมี pH ต่ำ ทั้งนี้เป็นผลมาจากการหมักคาร์โบไฮเดรต โดยกลูโคสเชื้อจุลินทรีย์ทำให้เกิดกรดแลคติกขึ้นปริมาณมาก สภาพที่มี pH ต่ำนี้ แม้ว่าจะสามารถยับยั้งแบคทีเรียที่ทำให้เน่าเสีย แต่ก็ไม่สามารถยับยั้งการเจริญของยีสต์และเชื้อราได้ เนื่องจากจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดนี้สามารถทนต่อสภาพที่มี pH ต่ำได้ดี สำหรับการเสียของผลิตภัณฑ์นมหมักนั้น ส่วนใหญ่จะมีลักษณะการเสียที่คล้ายๆกัน นักวิจัยหลายท่านจึงได้เลือกศึกษาในโยเกิร์ต เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์นมหมักที่รับประทาน

กันแพร่หลายที่สุด ซึ่งพบว่าจุลินทรีย์ที่สำคัญที่สุดในการทำให้โยเกิร์ตเสียก็คือยีสต์ โดยยีสต์มักปนเปื้อนมากับส่วนผสมที่ใช้ เช่น ผลไม้ แยมผลไม้ และน้ำตาล ดังจะพบได้บ่อยว่า โยเกิร์ตชนิดคนที่เติมผลไม้และโยเกิร์ตที่เติมน้ำตาลมักจะเสียโดยยีสต์ การเสียของโยเกิร์ตที่เกิดขึ้นจากการกระทำของยีสต์นั้น อาจสังเกตได้จาก การเกิดแก๊สในโยเกิร์ต และการเกิดลักษณะเป็นปุ่มขาวๆ ขึ้นบนฝาอลูมิเนียมฟอยด์ที่ใช้ปิดภาชนะบรรจุโยเกิร์ต ซึ่งได้มีผู้แยกเชื้อยีสต์จากปุ่มขาวๆ บนฝาอลูมิเนียมฟอยด์นี้ พบยีสต์หลายชนิด ได้แก่ *Kluyveromyces*, *Saccharomyces*, *Rhodotorula*, *Pichia*, *Debaryomyces* และ *Sporobolomyces* นอกจากนี้ยังได้แยกเชื้อยีสต์จากโยเกิร์ตชนิดหวานที่เสียพบว่าเป็น *Candida*, *Hansenula* และ *Torulopsis* [12, 14]

สำหรับเชื้อรา นั้น ก็เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญได้ในโยเกิร์ตเช่นกัน และพบว่าอาจทำให้โยเกิร์ตเสียได้แต่พบได้ไม่บ่อยเท่ายีสต์ การเจริญของเชื้อราในโยเกิร์ตจะสังเกตได้จากกลุ่มไมซีเลียของเชื้อราที่เกิดขึ้นที่ผิวหน้าของโยเกิร์ต เชื้อราชนิดที่พบว่าเจริญที่ผิวหน้าของโยเกิร์ตได้แก่ *Absidia*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Micelia*, *Monilia*, *Mucor*, *Penicillium*, *Pullaria* และ *Rhizopus* ส่วนเชื้อราที่พบว่าสร้างสารพิษอะฟลาทอกซิน (aflatoxin) ในโยเกิร์ต ได้แก่ *Aspergillus flavus* [12]

### เอกสารอ้างอิง

1. Axelsson, L. 2004. Lactic acid bacteria : classification and physiology, pp. 1-66 . In S. Salminen, A. Von Wright and A. Ouweland. Advance in Lactic acid bacteria: microbiological and functional aspects. Marcel Dekker, Inc., New York.
2. Hassan, A.N. and Frank, J.F. 2001. Starter cultures and their use, pp. 151-206. In: Marth, E.H. and Steele, J.L. (Eds.). Applied Dairy Microbiology, 2<sup>nd</sup> ed. Marcel Dekker, Inc., New York.
3. Hayakawa, K. 1992. Classification and actions of food microorganisms – with particular reference to fermented foods and lactic acid bacteria, pp. 127-164. In: Nakazawa, Y. and Hosono, A. (Eds.). Functions of Fermented Milk. Elsevier Applied Science, London.
4. Tamine, A.Y. 2002. Microbiology of starter culture, pp. 261-366. In: Robinson, R. K. (Ed.). Dairy Microbiology Handbook. 3rd ed., A John Wiley & Sons Inc., New York.
5. Tamine, A.Y. 1990. Microbiology of starter culture, pp. 131-201. In: Robinson, R. K. (Ed.). Dairy Microbiology Vol. 2. 2d ed., Elsevier Science Publishers Ltd., London.

6. Robinson, R.K. and Tamine, A. Y. 1990. Microbiology of fermented milks, pp. 291-392. In Robinson, R. K. (Ed.). Dairy Microbiology Vol.2. 2nd ed., Elsevier Science Publishers Ltd., London.
7. Orihara, O., Sakauchi, I and Nakazawa, Y. 1992. Methods for making fermented milks and lactic dinks, pp. 17-39. In: Nakazawa, Y. and Hosono, A. (Eds.). Functions of Fermented Milk. Elsevier Applied Science, London.
8. Schmidt, P.H. 1992. Culture milk products : yogurt, quarg and fromage frais, pp. 66-85. In: Early, R. (Ed.). The Technology of Dairy Products. VCH Publishers, Inc., New York.
9. Tamine, A.Y. and Deeth, H. C. 1980. Yogurt: technology and biochemistry. J. Food Prot. 43(12): 939-977.
10. Tamine, A.Y. and Robinson, R. K. 1985. Yogurt Science and Technology. Pergamon Press Ltd., Great Britain.
11. Vedamuthu, E.R. 1991. The yogurt story-past, present and future part IV. Dairy, Food and Environmental Sanitation. 11(6): 310-311.
12. Varnam, A.H. and Sutherland, J. P. 1994. Milk and Milk Products. Chapman & Hall, London.
13. Vedamuthu, E.R. 1991. The yogurt story-past, present and future part III. Dairy, Food and Environmental Sanitation. 11(6): 310-311.
14. Robinson, R.K. and Tamine, A. Y. 1993. Manufacture of Yogurt and other fermented milk, pp. 1-48. In: Robinson, R. K. (Ed.). Modern Dairy Technology Vol.2. 2nd ed. Elsevier Science Publisher Ltd., London.
15. van den Berg, J.C.T. 1988. Dairy Technology in the tropics and subtropics. Pudoc Wageningen, The Netherlands.
16. Oberman, H. 1985. Fermented milk, pp. 167-195. In: Brian, J. B. (Ed.). Microbiology of Fermented Foods Vol.1. Elsevier Applied Science Publishher Ltd., England.
17. Robinson, R.K. 1995. A Colour guide to Cheese and Fermented Milks. Chapman & Hall, Hong Kong.

## บทที่ 7

### เนยแข็ง

เนยแข็ง (cheese) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการตกตะกอนน้ำนม ครีม หางนม บัตเตอร์มิลค์ อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างด้วยเอนไซม์หรือกรดหรือจุลินทรีย์ แยกตะกอนนมหรือเคิร์ด (curd) ออกจากส่วนที่เป็นของเหลวที่เรียกว่า เวย์ (whey) นำเคิร์ดที่ได้มาไลเวย์ออกโดยการกวนและเพิ่มอุณหภูมิ จากนั้นอัดเป็นก้อน อาจผ่านการบ่มหรือไม่ก็ได้แล้วแต่ชนิดของเนยแข็งที่ผลิต การผลิตเนยแข็งเป็นวิธีการถนอมอาหารที่เก่าแก่ที่สุด มีต้นกำเนิดเมื่อประมาณ 6000-7000 ปีก่อนคริสตกาล กรรมวิธีการผลิตเนยแข็งได้ถูกค้นพบโดยบังเอิญโดยกลุ่มคนแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียนด้านตะวันออกที่ได้บรวรน้ำนมในภาชนะที่ทำด้วยหนังสัตว์หรือกระเพาะของสัตว์ เมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้นมากกว่า  $30^{\circ}\text{C}$  น้ำนมก็เกิดการตกตะกอนและมีรสเปรี้ยว จึงได้แยกเวย์ออกจากเคิร์ด ทำเคิร์ดให้แห้ง แล้วนำมารับประทานสดหรือเก็บไว้รับประทานได้หลายวัน ต่อมาได้ทราบว่าของเหลวที่หลังออกมาจากกระเพาะของลูกสัตว์เคี้ยวเอื้องสามารถทำให้น้ำนมตกตะกอนได้ ในที่สุดจึงทำให้มีการนำเอาเอนไซม์เรนเนทมาใช้ในการผลิตเนยแข็ง การผลิตเนยแข็งในสมัยก่อนนั้นทำกันเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก จนกระทั่งมีการนำเอาหลักการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในราวต้นศตวรรษที่ 20 ทำให้มีการผลิตเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ปัจจุบันในหลายๆ ประเทศผลิตเนยแข็งจำนวนมาก โดยเฉพาะในประเทศแถบทวีปยุโรปผลิตเนยแข็งกันมากและส่งเป็นสินค้าออกที่สำคัญ สำหรับกระบวนการผลิตเนยแข็งนั้นได้พัฒนากันเรื่อยมาในหลายๆ ท้องถิ่นจึงทำให้เกิดเนยแข็งขึ้นมากมาย ซึ่งในปัจจุบันทั่วโลกมีเนยแข็งเกิดขึ้นเกือบ 2000 ชื่อ ในจำนวนนี้บางชื่ออาจเป็นเนยแข็งชนิดเดียวกันมีกรรมวิธีการผลิตคล้ายกันแต่ผลิตในสถานที่ต่างกัน ปกติเนยแข็งมักถูกตั้งชื่อตามสถานที่ผลิต ศาสนา ชนิดของนม (เช่น นมโค นมแพะ นมแกะ นมกระบือ และอื่นๆ) รูปร่างและลักษณะปรากฏของเนยแข็ง วิธีการบ่ม และการใช้สารเจือปน ดังนั้นการที่มีเนยแข็งเกิดขึ้นมากมายจึงได้มีการจำแนกชนิดของเนยแข็ง [1]

#### 7.1 ชนิดของเนยแข็ง

เนื่องจากกระบวนการผลิตและการบ่มเนยแข็งนั้น ได้มีการพัฒนากันเรื่อยมาหลายศตวรรษในสถานที่ต่างๆ ทั่วโลกจึงส่งผลให้มีเนยแข็งเกิดขึ้นมากมายในปัจจุบัน ดังนั้นจึงควรมีการจำแนกชนิดของ

เนยแข็งซึ่งเนยแข็งแต่ละชนิดนั้นอาจถูกจัดจำแนกตามลักษณะปรากฏ คุณลักษณะในการบ่ม และองค์ประกอบทางเคมี โดยทั่วไปเราสามารถจัดจำแนกเนยแข็งดังตารางที่ 7.1 ได้เป็น 5 ชนิดใหญ่ๆ ดังนี้ [1]

### 7.1.1 เนยแข็งชนิดแข็ง (hard cheese)

เนยแข็งประเภทนี้เป็นเนยแข็งที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 26-50 สามารถจำแนกได้เป็น 4 ชนิดย่อยดังนี้

#### 7.1.1.1 เนยแข็งชนิดแข็งมาก (very hard cheese)

เนยแข็งชนิดนี้เป็นเนยแข็งที่มีปริมาณความชื้นและปริมาณไขมันต่ำกว่าชนิดอื่นได้แก่ เนยแข็ง Parmesan, Romano, Asiago และ Sbrinz ลักษณะสำคัญของเนยแข็งชนิดนี้คือ ใช้น้ำนมไขมันต่ำในการผลิตและใช้แบคทีเรียกรดแลคติกกลุ่มชอบเจริญที่อุณหภูมิสูงหรือเรียกว่า เทอร์โมไฟล์ (thermophile) เป็นก้ำเชื้อจุลินทรีย์ (starter culture)

#### 7.1.1.2 เนยแข็งชนิดแข็งและมีตา (hard cheese with eyes)

เนยแข็งชนิดนี้เป็นเนยแข็งที่มีตาหรือฟองแก๊สกระจายในเนื้อเนยแข็ง ฟองแก๊สนี้เกิดขึ้นจากการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์โดย propionibacteria การเกิดตาหรือฟองแก๊สขึ้นอยู่กับลักษณะทางฟิสิกส์ของเนยแข็งและอัตราการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ ได้แก่ เนยแข็ง Emmenthal, Gruyere และ Herrgärd

#### 7.1.1.3 เนยแข็งชนิดแข็งและไม่มีตา (hard cheese without eyes)

เนยแข็งชนิดนี้ได้แก่ เนยแข็ง Cheddar, Doudle Gloucester, Derby, Cantal, Cheshire, Leicester, Provolone และ Cacciocavallo เป็นเนยแข็งที่มีลักษณะเนื้อแน่นคงตัวและไม่มีตาหรือฟองแก๊สในเนื้อเนยแข็ง เป็นเนยแข็งที่มีไขมันประมาณร้อยละ 48 และมีความชื้นประมาณร้อยละ 39 ชนิดที่สำคัญที่สุดคือ เนยแข็ง Cheddar มีการผลิตเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ผลิตจากน้ำนมพร้อมมันเนยและใช้แบคทีเรีย streptococci ที่ชอบเจริญที่อุณหภูมิปานกลางหรือกลุ่มมีไซไฟล์ (mesophile) เป็นก้ำเชื้อจุลินทรีย์

#### 7.1.1.4 เนยแข็งชนิดกึ่งแข็ง (semi-hard cheese)

เนยแข็งชนิดนี้ได้แก่ Caerphilly, Lancashire, Edam และ Gouda อาจใช้น้ำนมพร้อมมันเนยหรือน้ำนมพร้อมมันเนยเป็นวัตถุดิบในการผลิตก็ได้และใช้ streptococci ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ชอบเจริญที่

อุณหภูมิปานกลางเป็นก้ำเชื้อจุลินทรีย์ ในการผลิตจะมีการตัดเคิร์ดอย่างหยาบๆ และให้ความร้อนเพียงเล็กน้อยทำให้เนยแข็งที่ได้มีปริมาณความชื้น และปริมาณแลคโตสค่อนข้างสูง

### 7.1.2 เนยแข็งชนิดที่บ่มด้วยแบคทีเรียที่ผิว (bacterial surface-ripened cheese)

เนยแข็งประเภทนี้เป็นชนิดกึ่งอ่อน (semi-soft cheese) มีความชื้นร้อยละ 45-55 เนยแข็งชนิดนี้ทำจากเคิร์ดที่มี pH สูงซึ่งจะถูกบ่มโดยแบคทีเรียที่ผิว ได้แก่ เนยแข็ง Limburger, Munster, Port Salut, Bel Paesa, Taleggio, Tilsit, Ramadour, Brick และ Monterey (Jack)

### 7.1.3 เนยแข็งชนิดที่บ่มภายในด้วยเชื้อรา (surface mould-ripened cheese หรือเรียกว่า blue-veined cheese)

เนยแข็งชนิดนี้อาจจัดเป็นชนิดกึ่งแข็ง (semi-hard cheese) เนื่องจากมีปริมาณความชื้นร้อยละ 42-52 ได้แก่ เนยแข็ง Stilton, Wensleydale, Roquefort, Bleu d'Auvergne, Gorgonzola, Blue และ Gammelöst ส่วนใหญ่ผลิตจากเคิร์ดที่มีความเป็นกรดสูง เนื่องจากจะปล่อยให้เกิดการสร้างกรดอย่างช้าๆ เป็นเวลานานในระหว่างการสร้างเคิร์ด ในการผลิตจะไม่มีการอัดเคิร์ดแต่จะทิ้งไว้ให้เคิร์ดแข็งตัวเอง อาจเติมเกลือลงในเคิร์ดก่อนทำเป็นรูปร่าง (เช่น เนยแข็ง Stilton) หรือ เติมน้ำไปที่ผิวของเคิร์ดหลังจากทำเป็นรูปร่างแล้ว (เช่น เนยแข็ง Gorgonzola และ Roquefort)

### 7.1.4 เนยแข็งชนิดอ่อน (soft cheese)

เนยแข็งชนิดนี้เป็นเนยแข็งที่มีปริมาณน้ำสูงร้อยละ 55-80 ในการผลิตเนยแข็งชนิดนี้จะไม่มีการให้ความร้อนกับเคิร์ดและไม่มีการอัดเคิร์ด ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 2 ชนิดย่อยคือ

#### 7.1.4.1 เนยแข็งชนิดอ่อนที่ผ่านการบ่ม

##### (1) ชนิดที่บ่มด้วยเชื้อราที่ผิว

เนยแข็งชนิดนี้ได้แก่ เนยแข็ง Brie, Camembert, Carre de L'Est และ Neufchatel เป็นต้น ส่วนใหญ่ผลิตจากนํ้านมพร้อมมันเนย มีการเติมก้ำเชื้อจุลินทรีย์และเอนไซม์เรนเนทเพื่อให้ได้เคิร์ดที่มีความเป็นกรดสูง จะบ่มด้วยเชื้อราที่ผิวเพื่อให้เชื้อรา (เช่น *Penicillium camemberti*) ผลิตเอนไซม์ย่อยโปรตีน

แพร่เข้าไปในเคิร์ด ย่อยโปรตีนทำให้เกิดลักษณะเนื้อที่เนียนและนุ่ม เนยซึ่งชนิดนี้ให้มีขนาดเล็กเพื่อสะดวกต่อการเจริญของเชื้อรา ทำให้เอนไซม์จากเชื้อราสามารถแพร่เข้าไปในเคิร์ดได้อย่างทั่วถึง

#### (2) ชนิดที่บ่มด้วยแบคทีเรียที่ผิว

เนยแข็งชนิดนี้ได้แก่ เนยแข็ง Romadur เป็นเนยแข็งที่ผลิตในออสเตรเลีย มีกรรมวิธีการผลิตคล้ายเนยแข็ง Limburger แต่จะบ่มด้วยแบคทีเรีย *Brevibacterium linens* ที่ผิวซึ่งจะทำให้ผิวเนยแข็งมีสีน้ำตาลแดง ใช้ระยะเวลาในการบ่มประมาณ 4 สัปดาห์

#### 7.1.4.2 เนยแข็งชนิดอ่อนที่ไม่ผ่านการบ่ม

เนยแข็งชนิดนี้ได้แก่ Coulommier, Gervaise (carre), Cream, Cambridge, lactic, Cottage, Mozzarella และ Ricotta (whole milk) เนยแข็งชนิดนี้อาจทำจาก น้่านม หรือ ครีม หรือ หางนม ทำให้เนยแข็งชนิดนี้มีปริมาณไขมันและปริมาณน้ำผันแปรในช่วงกว้าง โดยทั่วไปชนิดที่มีไขมันสูงจะนุ่มและเนียนกว่าชนิดที่มีไขมันต่ำ ในการผลิตเนยแข็งประเภทนี้ทุกชนิดจะมีหลักการคล้ายกัน คือจะนำน้่านมมาบ่มด้วยแบคทีเรียแลคติกเสียก่อน แล้วจึงเติมเอนไซม์เรนเนทเพื่อทำให้เกิดเคิร์ด จากนั้นขจัดเวย์ออกและเติมเกลือลงไป นอกจากนี้อาจเติมสารเจือปนอื่นที่อนุญาตให้เติมได้ เช่น สารให้กลิ่นรส สตาร์ทซ์ สารอิมัลซิไฟเออร์ และกรดชนิดต่างๆ ได้แก่ กรดแลคติก กรดซิตริก กรดไฮโดรคลอริก กรดออกซาลิกฟอสฟอริก และดี-กลูโคโน-1,5-แลคโตน

#### 7.1.5 เนยแข็งชนิดอื่นๆ

##### 7.1.5.1 white brine cheese

เนยแข็งชนิดนี้เป็นเนยแข็งที่ผลิตในหลายๆ ประเทศแถบยุโรปตะวันออก ซึ่งแต่ละประเทศจะมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันออกไป เดิมใช้น้่านมแพะและน้่านมแกะในการผลิต แต่ในปัจจุบันใช้น้่านมวัวมากขึ้นในการผลิตจะเติมเกลือจุลินทรีย์ลงไป จุลินทรีย์ที่ใช้ได้แก่ *Streptococcus lactis* และ *Streptococcus lactis* ssp. *cremoris* ใช้ในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 หรือ *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* เมื่อบ่มจนกระทั่งโปรตีนในน้่านมตกตะกอน จึงถ่ายใส่ถุงผ้าแล้วทิ้งไว้ให้เวย์ไหลออกมาเองเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำเคิร์ดที่ได้ไปอัดแล้วตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์แช่ในน้ำเกลือที่อุณหภูมิ 12-14°C เป็นเวลา 12-14 ชั่วโมง จากนั้นบรรจุเคิร์ดในกระป๋องที่มีน้ำเกลือซึ่งทำจากเวย์เปรี้ยว (มีกรดแลคติกร้อยละ 0.36 และเกลือร้อยละ 8-12) บ่มเป็นเวลา 30 วัน เนยแข็งชนิดนี้ได้แก่เนยแข็ง Feta

### 7.1.5.2 whey cheese

เวย์ชีสเป็นเนยแข็งที่ทำจากเวย์ ซึ่งได้จากการผลิตเนยแข็งชนิดแข็งและมีการเติมน้ำนมหรือหางนมลงไปร้อยละ 5-10 ทำส่วนผสมทั้งหมดให้เข้มข้นโดยให้ความร้อนเป็นเวลาหลายชั่วโมงที่อุณหภูมิ 85-90°C กวนอย่างสม่ำเสมอซึ่งจะทำให้โปรตีนตกตะกอน โปรตีนที่ตกตะกอนนี้จะจับเอาไขมันและสารต่างๆที่เติมให้รวมกันอยู่ในตะกอน เมื่อหยุดกวนตะกอนก็จะลอยขึ้นที่ผิวเกิดเป็นชั้นของเคิร์ด ช้อนเอาเฉพาะเคิร์ดใส่ในภาชนะที่มีรู ทิ้งไว้หลายชั่วโมงเพื่อระบายเวย์ออกจะได้เนยแข็งที่อ่อนและมีอายุการเก็บสั้น เนยแข็งชนิดนี้ได้แก่ เนยแข็ง Ricotta และ Mysöt

### 7.1.5.3 processed cheese และ cheese spread

processed cheese เป็นเนยแข็งที่ผ่านการแปรรูปซึ่งผลิตขึ้นจากการผสมเนยแข็งที่ป่มตามธรรมชาติชนิดเดียวหรือหลายชนิด โดยนำมาบดและผสมเข้ากับสารอิมัลซิไฟเออร์ (เช่น ไดโซเดียมซีเตรท ไตรโซเดียมซีเตรทหรือเตตราโซเดียมไดฟอสเฟต) และอาจเติมหางนมผง เวย์ผง ไขมันนม หรือครีมด้วยก็ได้ แล้วนำส่วนผสมทั้งหมดไปผ่านความร้อน กวนให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวในหม้อ 2 ชั้นที่มีน้ำร้อนหรือไอน้ำไหลวนอยู่รอบๆ ถึงชั้นใน (hot-water or steam-jacketed cooker) โดยจะให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80-85°C เป็นเวลา 5-8 นาที จากนั้นนำมาทำเป็นรูปร่างหรือตัดเป็นแผ่น processed cheese ที่มีคุณภาพดีนั้นควรมีลักษณะเนื้อแน่นและเนียน มีส่วนประกอบและสีที่สม่ำเสมอ ถ้าหากมีปริมาณความชื้นต่ำและปริมาณเกลือสูงก็จะเก็บไว้ได้นานโดยไม่เสียได้ง่าย สำหรับการเสียบของ processed cheese นั้นส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการมีสปอร์ของจุลินทรีย์ที่ทนความร้อนได้ดีปนเปื้อนในวัตถุดิบซึ่งอาจปนเปื้อนในเนยแข็งเดิมหรือปนเปื้อนมากับส่วนผสมอื่นๆ สปอร์นี้จะสามารถอยู่รอดได้หลังจากผ่านความร้อน เมื่ออยู่ในสภาพที่เหมาะสมก็จะงอกและเจริญขึ้นโดยสามารถสร้างแก๊สและทำให้ processed cheese เสียบได้ [2, 3]

cheese spread เป็นผลิตภัณฑ์เนยแข็งชนิดหนึ่งซึ่งผ่านการแปรรูปทำนองเดียวกับ processed cheese ซึ่งในการผลิต cheese spread นั้นอาจมีการเติม หางนมผง เวย์ผง ครีม เนย และสารคงตัวชนิดที่เหมาะสม เช่น ทากาแคนกัม (tragacanth gum) เพื่อป้องกันการแยกตัวของน้ำระหว่างการเก็บรักษาหรืออาจเติมส่วนผสมบางอย่าง เช่น เนื้อกุ้ง เนื้อปู ถั่วต่างๆ เห็ด กระเทียม พริก และเครื่องเทศต่างๆลงไปด้วย เพื่อให้มูลค่าเพิ่มขึ้น อุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อนจะสูงกว่ากรณีของ processed cheese คือใช้อุณหภูมิ 88-98°C เป็นเวลา 8-15 นาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีปริมาณน้ำสูงกว่า processed cheese [3, 4]

## ตารางที่ 7.1 คุณลักษณะของเนยแข็งชนิดต่างๆ

ชนิดของเนยแข็ง	ประเทศต้นกำเนิด	ปริมาณความชื้นสูงสุด (ร้อยละ)	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (ซม.)/ ความสูง	น้ำหนัก (กก.)	ระยะเวลาการบ่ม (เดือน)
<b>1. เนยแข็งชนิดแข็ง (hard cheese) - บ่มโดยแบคทีเรีย (ปริมาณความชื้นร้อยละ 26-50) □</b>						
<b>1.1 ชนิดแข็งมาก (very hard cheese) - ปริมาณความชื้นร้อยละ 26-34</b>						
Parmesan	อิตาลี	34	32	35-45/18-24	22-40	24-40
Romano	อิตาลี	34	38	25/15	9	≥5
Asiago	อิตาลี	32-45	30-40	30-45/10-15	8-18	≥12
Sbrinz	สวิสเซอร์แลนด์	28	47	45-50/10-15	13-20	24-36
<b>1.2 ชนิดแข็งและมีตา (hard cheese with eyes) - ปริมาณความชื้นร้อยละ 36-45</b>						
Emmenthal	สวิสเซอร์แลนด์	41	43	68-78/13-25	70-100	4-12
Gruyere	ฝรั่งเศส	39	45	40-63/8-13	30-40	>3
Herrgard	สวีเดน	39	30-45	38/10-15	12-18	3-6
<b>1.3 ชนิดแข็งและไม่มีตา (hard cheese without eyes)</b>						
Cheddar	อังกฤษ	39	48	28-35/12-15	20-30	4-12
Double Gloucester	อังกฤษ	44	48	35/22	13-16	4-6
Derby	อังกฤษ	42	48	35/10-13	13-16	-
Cantal	ฝรั่งเศส	42	45	30-50/40	19-45	1-3
Cheshire	อังกฤษ	44	48	30/30	21	1-3
Leicester	อังกฤษ	42	48	35/13	15-16	2-12
Provolone	อิตาลี	45	45	(ยาวรี)/36-45	4-5	2-3
Cacciocavallo	อิตาลี	40	42	-	2	2-4
<b>1.4 ชนิดกึ่งแข็ง (semi-hard cheese) - ปริมาณความชื้นร้อยละ 45-50</b>						
Caerphilly	อังกฤษ	46	48	25/7.5	4	0.5-1
Lancashire	อังกฤษ	48	48	36/25-31	20-22	3-12
Edam	ฮอลแลนด์	45	40	12-15(ทรงกลม)	1-5	1.5-2
Gouda	ฮอลแลนด์	45	48	24-51/6-15	3.5-25	2-5

## ตารางที่ 6.1 คุณลักษณะของเนยแข็งชนิดต่างๆ (ต่อ)

ชนิดของเนยแข็ง	ประเทศต้นกำเนิด	ปริมาณความชื้นสูงสุด (ร้อยละ)	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	ขนาด (ซม.) เส้นผ่าศูนย์กลาง / ความสูง	น้ำหนัก (กก.)	ระยะเวลาการบ่ม (เดือน)
<b>2. เนยแข็งชนิดที่บ่มด้วยแบคทีเรียที่ผิว (bacterial surface-ripened cheese) □</b>						
<b>เนยแข็งชนิดกึ่งอ่อน (semi-soft cheese) - ปริมาณความชื้นร้อยละ 45-55</b>						
Limburger	เบลเยียม	52	40	(บ็อค)/15x15x8	1	1 ขึ้นไป
Munster	ฝรั่งเศส	46	45	11-18/3-5	0.3-0.9	-
Port Salut	ฝรั่งเศส	56	42	20/4-6	2	1-2
Bel Paesa	อิตาลี	47	49-55	25/13	5	4-5
Taleggio	อิตาลี	47	-	(บ็อค)/20x20x5	2	2
Tilsit	เยอรมัน	45-55	49-55	25/13	5	2-5
Romadour	เยอรมัน	49-61	20-50	(บ็อค)/5x5x10	0.5	0.5-1
Brick	อิตาลี	44	50	(บ็อค)/25x12x13	2.5	1.5-2
Monterey(Jack)	อิตาลี	44	50	10	3-4	0.5-1.5
<b>3. เนยแข็งชนิดที่บ่มภายในด้วยเชื้อรา (internal mould-ripened cheese) □</b>						
<b>ชนิดกึ่งแข็ง - ปริมาณความชื้นร้อยละ 42-52</b>						
Stilton	อังกฤษ	42	48	20/30	5.5-6.5	4-6
Wensleydale	อังกฤษ	46	48	20/30	4.5-5.5	6
Roquefort	ฝรั่งเศส	45	50	20/30	4.5-5.5	6
Bleu d'	ฝรั่งเศส	50	40	23/10	2.5	>2
Gorgonzola	อิตาลี	42	48	20-30/16-20	6-13	3-6
Blue	อเมริกา	46	50	20/15	2	>6
Gammelost	นอร์เวย์	46-52	0.5-1	15/10-15	3-4	>1
<b>4. เนยแข็งชนิดอ่อน (soft cheese) (ปริมาณความชื้นร้อยละ 48-55) □</b>						
<b>4.1 เนยแข็งชนิดอ่อนที่ผ่านการบ่ม □</b>						
<b>4.1.1 ชนิดที่บ่มด้วยเชื้อราที่ผิว</b>						
Brie	ฝรั่งเศส	56	40	14-16/2.5	0.5	-
				22-24/2.5	1.5	4-6
				22-24/2.5	1.5	4-6
Camembert	ฝรั่งเศส	48	45	10-11/2	0.21-0.26	4-6

## ตารางที่ 6.1 คุณลักษณะของเนยแข็งชนิดต่างๆ (ต่อ)

ชนิดของเนยแข็ง	ประเทศต้นกำเนิด	ปริมาณ ความชื้น สูงสุด (ร้อยละ)	ปริมาณ ไขมัน (ร้อยละ)	ขนาด (ซม.) เส้นผ่าศูนย์กลาง ความสูง	น้ำหนัก (กก.)	ระยะเวลาการ บ่ม (เดือน)
Carré de L Est	ฝรั่งเศส	55	45-50	10/2.5	0.22	2-3
Neufchatel	ฝรั่งเศส	52	51	5/6-7	0.10	>1
<b>4.1.2 ชนิดที่บ่มด้วยแบคทีเรียที่ผิว</b>						
Romadur	ออสเตรเลีย	-	25 หรือ 45	-	-	1
<b>4.2 เนยแข็งชนิดอ่อนที่ไม่ผ่านการบ่ม (ปริมาณความชื้นร้อยละ 50-80)</b>						
Coulommier	ฝรั่งเศส	58	22	-	-	-
Gervaise (carre)	ฝรั่งเศส	55	60	-	-	-
Cream	อังกฤษ	55	45	-	-	-
Cambridge	อังกฤษ	58	22	-	-	-
Lactic	อังกฤษ	-	-	-	-	-
Cottage	อเมริกา	80	-	-	-	-
Mozzarella	อิตาลี	53	18	-	-	-
Ricotta (whole milk)	อิตาลี	72	12	-	-	-
<b>5. เนยแข็งชนิดอื่นๆ</b>						
White brine cheese						
Feta	กรีซ	-	-	-	-	4-5 วัน
Whey cheese						
Ricotta	อิตาลี	82	0.5	-	-	-
Mysöst	สแกนดิเนเวีย	13-18	10-20	-	-	-
Processed cheese	หลายประเทศ	ผันแปร	ผันแปร	-	-	-

ที่มา : Chapman และ Sharpe [1]

## 7.2 กระบวนการพื้นฐานในการผลิตเนยแข็ง

ปัจจุบันเนยแข็งที่ผลิตออกจำหน่ายนั้นมีหลายชนิด  
วัตถุดิบที่ใช้อาจเป็นน้ำนมวัวหรือน้ำนมจากสัตว์ชนิดอื่นก็ได้

แต่ละชนิดอาจมีสูตรที่แตกต่างกันไปโดย  
แต่โดยทั่วไปแล้วเนยแข็งส่วนใหญ่จะมี

ขั้นตอนพื้นฐานในการผลิตคล้ายคลึงกัน ดังนี้

### 7.2.1 การเตรียมน้ำนม

น้ำนมที่จะนำมาผลิตเนยแข็งควรเป็นน้ำนมที่มีคุณภาพดีทั้งทางด้านเคมีและด้านจุลินทรีย์ สิ่งที่สำคัญคือจะต้องปราศจากสารปฏิชีวนะ เนื่องจากสารปฏิชีวนะจะไปยับยั้งการเจริญของกล้าเชื้อจุลินทรีย์

#### 7.2.1.1 การขนส่งและเก็บรักษาน้ำนมดิบ

น้ำนมดิบ ปกติจะถูกทำให้เย็นตั้งแต่อยู่ที่ฟาร์มแล้วบรรจุในถังซึ่งอยู่ในรถขนส่งนม จากนั้นส่งมายังโรงงานทำเนยแข็ง เมื่อน้ำนมมาถึงโรงงานจำเป็นต้องปฏิบัติอย่างถูกวิธีเพื่อให้เนยแข็งที่ผลิตได้มีคุณภาพดีที่สุด โดยจะทำการชั่งหรือวัดปริมาตรของน้ำนม กรองเพื่อขจัดสิ่งแปลกปลอมเช่น เศษฟางข้าว ผสม ดิน เป็นต้น ทำให้เย็นถึงอุณหภูมิต่ำกว่า  $5^{\circ}\text{C}$  และเก็บไว้ในไซโลที่ควบคุมอุณหภูมิต่ำ โดยทั่วไปในน้ำนมดิบอาจปนเปื้อนด้วยจุลินทรีย์ไซโครโทรฟ (psychrotrophs) และจุลินทรีย์ที่ทนความร้อนได้ดี (thermoduric microorganisms) ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพของเนยแข็ง ดังนั้นน้ำนมดิบที่จะนำมาทำเนยแข็งจะต้องมีคุณภาพทางจุลินทรีย์ที่ดีคือ ควรมีจำนวนจุลินทรีย์ต่ำ (ควรมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า  $10^4$  CFU ต่อมิลลิลิตร และจำนวนเซลล์ร่างกาย (somatic cell count) น้อยกว่า  $10^6$  CFU ต่อมิลลิลิตร) ฉะนั้นจึงควรเป็นน้ำนมที่ได้จากโคที่มีสุขภาพดีและสดใหม่มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้โดยไม่ควรเก็บไว้นาน การเก็บน้ำนมดิบไว้ที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานอาจทำให้จุลินทรีย์ไซโครโทรฟเจริญเติบโต ควรรับน้ำนมดิบมาแปรรูปให้เร็วที่สุดหลังรับซื้อและควรนำน้ำนมดิบมาผ่านการยืดอายุการเก็บ น้ำนมดิบที่รับซื้อควรมีปริมาณโปรตีนสูงซึ่งจะทำให้ได้เนยแข็งที่มีสมบัติที่ดี น้ำนมดิบไม่ควรมีกลิ่นรสผิดปกติและไม่ควรมีสารต้านจุลินทรีย์ [5, 6]

แบคทีเรียไซโครโทรฟเป็นจุลินทรีย์ที่สามารถเจริญและอยู่รอดได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $7^{\circ}\text{C}$  เจริญได้ในน้ำนมเย็นและสร้างเอนไซม์ที่ทนความร้อน คือ โพรติเอสและไลเปส ซึ่งจะมีผลต่อกลิ่นรสของเนยแข็งและการตกตะกอนของโปรตีนนม โดยเอนไซม์โพรติเอสจะย่อยสลายโปรตีนทำให้ผลผลิตที่ได้ลดลงและมีการสูญเสียไนโตรเจนไปกับเวย์ ส่วนเอนไซม์ไลเปสจะทำให้เกิดกลิ่นหืนขึ้นในเนยแข็ง ดังนั้นจึงมีหลายวิธีที่ได้นำมาใช้เพื่อยืดอายุการเก็บของน้ำนมดิบ และควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์พวกไซโครโทรฟ ได้แก่

- 1) การให้ความร้อนที่เรียกว่า เทอร์มิเซชัน (thermisation) โดยจะนำน้ำนมดิบมาผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ  $63-65^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 15-20 วินาที
- 2) การทำให้นมเย็นลงถึง  $2^{\circ}\text{C}$
- 3) การใช้วิธีที่ 1 ร่วมกับวิธีที่ 2
- 4) การเติมคาร์บอนไดออกไซด์
- 5) การใช้แบคทีเรียกรดแลคติก [5, 7]

### 7.2.1.2 การปรับมาตรฐานส่วนประกอบของน้ำนม

การปรับมาตรฐานส่วนประกอบของน้ำนม กระทำเพื่อให้ได้อัตราส่วนของเคซีนกับไขมันที่เหมาะสมต่อการทำเนยแข็ง ทั้งนี้ก็เพื่อลดความผันแปรของส่วนประกอบในน้ำนมเพื่อให้เนยแข็งที่ได้มีคุณภาพสม่ำเสมอ มีปริมาณไขมันตรงตามมาตรฐาน มีการเปลี่ยนแปลงของแข็งในน้ำนมไปเป็นเนยแข็งได้อย่างมีประสิทธิภาพและได้ลักษณะเนื้อสัมผัสของเนยแข็งตามต้องการ การปรับมาตรฐานองค์ประกอบของน้ำนมอาจทำได้โดยขจัดไขมันออก เติมหางนม หรือเติมครีมลงไป เช่น ในการผลิตเนยแข็ง Cheddar ซึ่งมีไขมันประมาณร้อยละ 48 ควรทำการปรับมาตรฐานส่วนประกอบของน้ำนมเพื่อให้ได้อัตราส่วนของเคซีน ต่อไขมันเป็น 0.69-0.71 ส่วนกรณีของการผลิตเนยแข็งไขมันต่ำก็จำเป็นต้องพิจารณาถึงอัตราส่วนของเคซีนต่อไขมันด้วย เช่น ถ้าหากต้องการผลิตเนยแข็งที่มีไขมันร้อยละ 15 และเนยแข็งที่มีไขมันร้อยละ 21 ควรปรับให้น้ำนมมีอัตราส่วนของเคซีนต่อไขมันเป็น 2.05 และ 1.35 ตามลำดับ [7]

### 7.2.1.3 การขจัดสิ่งแปลกปลอม (clarification)

ขั้นนี้จะทำเพื่อขจัดสิ่งแปลกปลอมในน้ำนมโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า clarifier ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีลักษณะคล้ายเครื่องแยกครีม การขจัดสิ่งแปลกปลอมด้วยวิธีนี้มีประสิทธิภาพมากกว่าการกรอง โดยจะทำที่อุณหภูมิ 32.2-37.8°C [1] การขจัดสิ่งแปลกปลอมจะช่วยป้องกันการเจริญของแบคทีเรียที่สร้างสปอร์ได้โดยเฉพาะเชื้อ *Clostridium* spp. ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์ชนิดนี้จะทำให้เกิดแก๊สในเนยแข็งระหว่างการบ่มช่วงหลัง และทำให้เกิดการหมักกรดบิวทิริก (butyric acid fermentation) สิ่งเหล่านี้เป็นปัญหาสำคัญของ brined cheeses ได้แก่ เนยแข็ง Emmental, Grana Padona, Provolone, Gouda และ Danbo ดังนั้นจึงมีผู้พยายามหาวิธีลดจำนวนของ *Clostridium* [5] วิธีการต่างๆ มีดังนี้

(1) แบคโตฟิวเกชัน (bactofugation) วิธีนี้จะแยกสิ่งที่ไม่ต้องการที่มีอยู่ในน้ำนมออกมา ปริมาณร้อยละ 2-3 ของปริมาตรน้ำนมทั้งหมด สิ่งที่ถูกแยกออกมานี้เรียกว่า แบคโตฟิวเกต (bactofugate) ซึ่งประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำนมและไขมันนม แบคโตฟิวเกตจะถูกนำมาฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 130-140°C เป็นเวลา 2-3 นาที หลังจากทำให้เย็นแล้วจะผสมกลับลงไปในน้ำนมที่พาสเจอร์ไรส์ตามปกติ (72°C 15 วินาที)

(2) การเติมไนเตรท นิยมเติมในรูปของโซเดียมไนเตรท ( $\text{NaNO}_3$ ) หรือ โพแทสเซียมไนเตรท ( $\text{KNO}_3$ ) โดยเติมลงในน้ำนมที่จะใช้ผลิตเนยแข็ง ไนเตรทจะสามารถยับยั้งการเจริญของ butyric acid bacteria ที่สร้างแก๊สได้ โดยมีผู้รายงานว่า การเติมโซเดียมไนเตรท 50-90 กรัมต่อน้ำนม 455 ลิตรหรือเติม 5-20 กรัม ต่อ น้ำนม 100 ลิตร จะทำให้เนยแข็งมีปริมาณโซเดียมไนเตรท 23 มิลลิกรัมต่อเนยแข็ง 45.5 กรัม การเติมไนเตรทมีข้อเสียคือ จะทำให้สีของเนยแข็งผิดปกติอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาของไทโรซีน

(tyrosine) กับไนโตรที่ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของไนเตรท นอกจากนี้ในบางประเทศยังได้จำกัดการใช้ไนเตรทในเนยแข็งเนื่องจากไนเตรทอาจทำให้เกิดสารก่อมะเร็ง

(3) การเติมไลโซไซม์ (lysozyme) ไลโซไซม์หรือเอนไซม์ muramidase ได้เคยมีผู้นำมาใช้ควบคุมการเจริญของ *Clostridium* และควบคุม butyric acid fermentation ได้อย่างประสบความสำเร็จมาแล้ว ไลโซไซม์ส่วนใหญ่ (ประมาณร้อยละ 80-90) ที่เติมลงไปจะไปจับกับเคิร์ดและย่อยสลายผนังเซลล์ของ *Clostridium* และแบคทีเรียแกรมบวกอื่นๆ

นอกจากการเติมไนเตรทและไลโซไซม์ลงในน้ำนมที่ใช้ผลิตเนยแข็งแล้ว อาจเติมสารเจือปนชนิดอื่นลงไปด้วยก็ได้ โดยมีจุดประสงค์ที่แตกต่างกัน สารเจือปนที่เติมได้แก่

(1) แคลเซียมคลอไรด์ การเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงในน้ำนมที่จะนำมาผลิตเนยแข็งมีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงความสามารถในการตกตะกอนด้วยเอนไซม์เรนเนท (rennetability) โดยเฉพาะกับน้ำนมที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์หรือน้ำนมที่ใช้อุณหภูมิในการพาสเจอร์ไรส์สูงเกินไป ปริมาณที่เติมไม่ควรเกิน 25 กรัมต่อน้ำนม 100 ลิตร

(2) สารให้สี ในเนยแข็งบางชนิด อาจเติมสีลงไปเพื่อช่วยให้เนยแข็งมีสีเหลืองหรือส้ม ส่วนใหญ่นิยมใช้ อังนัตโต (annatto) หรือ แครโรทีน

(3) เครื่องเทศ อาจเติมลงไปเนยแข็งบางชนิด เพื่อให้มีกลิ่นรสเฉพาะของเนยแข็งชนิดนั้น เช่น เนยแข็ง Leiden (ของฮอลแลนด์) เติม cummin seeds เนยแข็ง Sicille (ของตูนิเซีย) เติม peppercorns เป็นต้น

(4) เอนไซม์ เติมลงไปน้ำนมที่จะผลิตเนยแข็งก็เพื่อช่วยเร่งการบ่มเนยแข็งหรือช่วยให้ได้กลิ่นรสที่เฉพาะ

#### 7.2.1.4 การโฮโมจีไนส์ (homogenization)

ในระหว่างการโฮโมจีไนส์น้ำนม เม็ดไขมันจะลดขนาดลงและจะมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นประมาณ 10 เท่า น้ำนมที่ใช้ในการทำเนยแข็งจำเป็นต้องผ่านการโฮโมจีไนส์เพื่อลดปริมาณไขมันที่สูญเสียไปกับเวย์ ทำให้ผลผลิตของเนยแข็งที่ได้เพิ่มขึ้นและเป็นการส่งเสริมให้มีการย่อยไขมันในเนยแข็งชนิด blue cheese และช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของเนยแข็งชนิดอ่อน เนยแข็ง cream และเนยแข็ง blue veined โดยทำให้เคิร์ดมีลักษณะเนื้อเนียน ละเอียดยิ่ง และคงตัวมากขึ้น นอกจากนี้การโฮโมจีไนส์ยังทำให้เนยแข็งที่ผลิตจากน้ำนมวัวมีลักษณะขาวขึ้นคล้ายกับเนยแข็งที่ทำจากน้ำนมแกะและน้ำนมแพะ [7]

### 7.2.1.5 การให้ความร้อน (heat treatment)

การให้ความร้อนนํ้านมที่ใช้ในการผลิตเนยแข็งมีวัตถุประสงค์เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เน่าเสีย และจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค โดยทั่วไปมักให้ความร้อนที่อุณหภูมิของการพาสเจอร์ไรส์ คือที่อุณหภูมิ 72°C เป็นเวลา 15 วินาที การพาสเจอร์ไรส์ไม่ได้ทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมดในนํ้านม ดังนั้นจึงมีจุลินทรีย์บางชนิดที่รอดชีวิต จุลินทรีย์ที่พบว่ายังคงมีชีวิตอยู่หลังจากพาสเจอร์ไรส์ได้แก่ *Lactobacilli*, *Streptococci*, *Leuconostocs*, *Microbacteriae*, *Micrococci* และเชื้อแบคทีเรียที่สร้างสปอร์ (เช่น *Clostridium* และ *Bacillus*) จุลินทรีย์เหล่านี้สามารถผลิตเอนไซม์ที่ทนความร้อนได้ดีซึ่งจะมีผลต่อกลิ่นรสและลักษณะเนื้อสัมผัสของเนยแข็ง แต่ถ้าหากให้ความร้อนนํ้านมที่อุณหภูมิสูงกว่าการพาสเจอร์ไรส์จะมีผลต่อคุณสมบัติในการตกตะกอนของโปรตีนนมด้วยเอนไซม์เรนเนท การให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 80°C จะทำให้เวย์โปรตีนบางส่วนเสียสภาพและทำให้เกิดการกระทำระหว่างปีตา-แลคโตกลอบบูลินและ K-เคซีน โดยเกิดพันธะซัลไฟไดรล (sulphydryl) ซึ่งจะยับยั้งการเกิดเจลหรือการตกตะกอนของโปรตีนนมในขั้นแรกและพันธะนี้ยังทำให้ส่วนประกอบของเกลื่อแรวในนํ้านมเปลี่ยนแปลงโดยเฉพาะแคลเซียม โดยสามารถขัดขวางการเกิดเจลในขั้นที่สอง โดยจะทำให้ไม่เกิดการรวมตัวของเคซีนไมเซลลที่ถูกกระทำโดยเอนไซม์เรนเนท [7] หลังจากให้ความร้อนและทำให้นํ้านมเย็นลงแล้วก็จะนำนํ้านมที่ได้มาผลิตเนยแข็ง การผลิตเนยแข็งส่วนใหญ่ จะมีขั้นตอนพื้นฐานคล้ายกัน (รูปที่ 1)

## 7.2.2 การผลิตเคิร์ด (curd-making)

### 7.2.2.1 การเติมกล้าเชื้อจุลินทรีย์

การเติมกล้าเชื้อจุลินทรีย์ลงในนํ้านมที่ใช้ผลิตเนยแข็ง เป็นขั้นตอนสำคัญของการผลิตเนยแข็งส่วนใหญ่ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดการสร้างกรดแลคติก จากการหมักแลคโตสในนํ้านม กรดแลคติกที่เกิดขึ้นจะช่วยให้การตกตะกอนของเคซีนโดยเอนไซม์เรนเนทดีขึ้น เป็นสาเหตุให้เคิร์ดหดตัว เมื่อผ่านความร้อนทำให้ไลควมขึ้นออกจากเคิร์ดได้ดี ช่วยให้อกรสและลักษณะเนื้อสัมผัสดีขึ้น นอกจากนี้การที่ pH ลดต่ำลงถึง 5.0-5.2 จะช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้เน่าเสีย และจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

การที่จะเลือกใช้กล้าเชื้อจุลินทรีย์ชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเนยแข็งที่ผลิต โดยอาจใช้เชื้อจุลินทรีย์ชนิดเดียวหรือจุลินทรีย์หลายชนิดผสมกันก็ได้ แต่สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคืออัตราการสร้างกรดของกล้าเชื้อจุลินทรีย์ ควรเพียงพอต่อความต้องการของการผลิตเนยแข็งชนิดนั้นๆ โดยไม่ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติเช่น รสขมและทำให้เกิดสภาพที่เหมาะสมต่อการสร้างกลิ่นรสเฉพาะของเนยแข็ง กล้าเชื้อจุลินทรีย์จะเพิ่มจำนวนในระหว่างการทำเนยแข็งจาก  $10^7$  โคโลนีต่อมิลลิลิตรของนํ้านมเป็น  $10^8$ - $10^9$

โคโลนีต่อกรัมของเคิร์ด [1] โดยทั่วไปสามารถแบ่งกล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตเนยแข็งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

(1) จุลินทรีย์แลคติกที่ชอบเจริญที่อุณหภูมิปานกลาง (mesophilic lactic starters) เป็นจุลินทรีย์ที่มีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญอยู่ในช่วง 20-30°C ได้แก่ *Lactococcus lactis* ssp. *lactis*, *Lactococcus lactis* biovar. *diacetylactis* (แบคทีเรียสร้างกลิ่น), *Lactococcus lactis* ssp. *cremoris* และ *Leuconostoc mesenteroides* ssp. *cremoris* (แบคทีเรียสร้างกลิ่น) [5]

(2) จุลินทรีย์แลคติกที่ชอบเจริญที่อุณหภูมิสูง (thermophilic lactic starters) เป็นจุลินทรีย์ที่มีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญในช่วง 37-45°C ได้แก่ *Streptococcus salivarius* ssp. *thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus casei* ssp. *casei* และ *Lactobacillus plantarum* จุลินทรีย์ประเภทนี้มักใช้ในการผลิตเนยแข็งที่ต้องให้ความร้อนแก่เคิร์ดที่อุณหภูมิสูง เช่น เนยแข็ง Parmesan และเนยแข็ง Emmental [5]

(3) จุลินทรีย์ชนิดอื่นได้แก่ เชื้อ *Propionibacterium freudenreichii* ssp. *freudenreichii*, *Propionibacterium globosum* และ *Propionibacterium shermanii* เชื้อ *Propionibacterium* นี้จะผลิตกรดโพรพิโอนิกซึ่งจะให้กลิ่นรสเฉพาะในเนยแข็งและผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ที่จำเป็นต่อการสร้างตาเนยแข็งที่ใช้ *Propionibacterium* ได้แก่ เนยแข็ง Emmental และ Gruyere ตัวอย่าง (ตารางที่ 4.2)

## ตารางที่ 7.2 ตัวอย่างการใช้กล้าเชื้อจุลินทรีย์ในเนยแข็งชนิดต่างๆ

ชนิดของเนยแข็ง	ประเภท	ชนิดของจุลินทรีย์
Cottage	อ่อน(ไม่บ่ม)	<i>S. lactis</i> , <i>S. cremoris</i> , <i>Leuconostoc citrovorum</i>
Camembert	อ่อน(บ่ม)	<i>S. lactis</i> , <i>S. cremoris</i> , <i>S. diacetylactis</i> , <i>Leuconostoc citrovorum</i>
Caerphilly	กึ่งอ่อน	<i>S. diacetylactis</i> , <i>Leuconostoc</i> , <i>S. cremoris</i> , <i>S. lactis</i>
Gouda	กึ่งแข็ง	<i>S. lactis</i> , <i>S. diacetylactis</i> , <i>Leuconostoc</i>
Cheddar	แข็ง	<i>S. cremoris</i> , <i>S. lactis</i>
Emmental	แข็ง(มีตา)	<i>S. thermophilus</i> , <i>Lactobacillus helveticus</i> , <i>L. lactis</i> , <i>L. bulgaricus</i> , <i>Propionibacterium shermanii</i>
Parmesan	แข็งมาก	<i>L. bulgaricus</i> , <i>S. thermophilus</i> , <i>S. lactis</i> , <i>S. cremoris</i>

ที่มา : Banks [7]



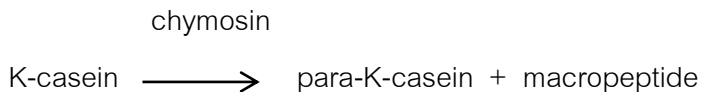
รูปที่ 6.1 ขั้นตอนพื้นฐานในการผลิตเนยแข็ง

สำหรับการเตรียมกล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่จะใช้ในการผลิตเนยแข็งนั้น ทำได้โดยขยายปริมาณของเชื้อเดมที่เก็บอยู่ในรูปของเหลว ของแข็งหรือแช่แข็งแห้งให้ได้กล้าเชื้อจุลินทรีย์ปริมาณมากในรูปของของเหลว (bulk inoculum) ซึ่งสะดวกที่จะเติมลงในน้ำนม การเตรียมกล้าเชื้อจุลินทรีย์ควรเตรียมในห้องที่สะอาด มีการกรองอากาศและฆ่าเชื้อด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากฟอสก์ (phage) ปริมาณของกล้าเชื้อที่ใช้เติมลงในน้ำนมที่จะผลิตเนยแข็งมักจะไม่เท่ากันโดยผันแปรระหว่างร้อยละ 0.5-2 ขึ้นกับชนิดของเนยแข็ง เมื่อเติมกล้าเชื้อจุลินทรีย์ลงในน้ำนมแล้ว จะต้องบ่มไว้จน pH ลดลงเหลือประมาณ 4.6-5.1 ระยะเวลาที่ใช้บ่มจนกระทั่งได้ระดับ pH ที่ต้องการขึ้นอยู่กับชนิดของเนยแข็งและชนิดของจุลินทรีย์ที่ใช้ ในกรณีของเนยแข็ง Cheddar ใช้เวลาประมาณ 5 ชั่วโมง ส่วนเนยแข็ง Blue เนยแข็ง Dutch และเนยแข็ง Swiss อาจใช้เวลาถึง 6-12 ชั่วโมง [5, 8]

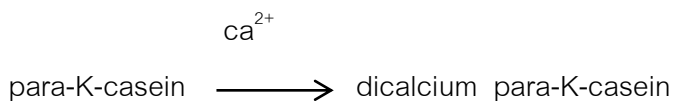
### 7.2.2.2 การตกตะกอนโปรตีน

หลังจากที่เติมกล้ำเชื้อจุลินทรีย์ลงในน้ำนมและบ่มจนได้ที่แล้วจะเติมเอนไซม์เรนเนทลงไปเพื่อตกตะกอนโปรตีนในน้ำนม เอนไซม์เรนเนทเป็นเอนไซม์โปรติเอส (EC 3.4.23.4) สกัดได้จากกระเพาะที่สี่ของลูกวัว ประกอบด้วยเอนไซม์ไคโมซิน (chymosin) ร้อยละ 80 และเอนไซม์เพปซิน (pepsin) ร้อยละ 20 ทำหน้าที่ย่อยสลายโปรตีนในส่วนของ K - เคซีน ซึ่งเป็นโปรตีนที่ทำให้เคซีนไมเซลล์คงตัว การทำงานของเอนไซม์เรนเนทมี 3 ขั้นตอน

ในขั้นแรกเป็นขั้นที่มีเอนไซม์มาเกี่ยวข้อง ในขั้นนี้ K - เคซีนจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์ไคโมซินที่พันธะเปปไทด์ระหว่างเฟนิลอะลานีน และเมทไทโอนีนซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งของกรดอะมิโนตัวที่ 105-106 ได้เป็น พารา-K-เคซีน (para - K - casein) และมาโครเปปไทด์ (macropeptide) สำหรับพารา - K - เคซีนนั้นเป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ ประกอบด้วยกรดอะมิโนตัวที่ 1 ถึง 105 ส่วนมาโครเปปไทด์เป็นโปรตีนโมเลกุลใหญ่ ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนตัวที่ 106 ถึง 169 และเป็นโปรตีนที่ละลายน้ำได้ดังนั้นจึงสูญเสียไปกับเวย์ สำหรับ pH ที่เหมาะสมต่อการไฮโดรไลซ์พันธะระหว่างเฟนิลอะลานีนและเมทไทโอนีนคือ 5.1-5.2 ปฏิกิริยาในขั้นแรกแสดงได้ดังสมการ :



ในขั้นที่สอง เป็นขั้นตอนที่ไม่มีเอนไซม์มาเกี่ยวข้อง เนื่องจากการที่ K - เคซีน ถูกไฮโดรไลซ์ทำให้เคซีนไมเซลล์สูญเสียความคงตัวและในสภาพที่มีแคลเซียมอิสระ พารา - K - เคซีน จะตกตะกอนเป็นไดแคลเซียม พารา - K - เคซีน (dicalcium para - K - casein) ดังสมการ :



การตกตะกอนในขั้นนี้จำเป็นต้องมีแคลเซียมอิสระอยู่ด้วย ดังนั้นผู้ผลิตจึงมักเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงไป ในน้ำนมที่ใช้ผลิตเนยแข็ง [4]

การทำงานของเอนไซม์เรนเนทในขั้นที่สาม เป็นการย่อยสลายโปรตีนโดยเอนไซม์เรนเนทที่ยังคงเหลืออยู่ในเคิร์ด (ร้อยละ 90 ของเอนไซม์เรนเนทสูญเสียไปกับเวย์) การย่อยสลายโปรตีนในขั้นนี้เกิดขึ้นในระหว่างการบ่มเนยแข็งที่ pH ประมาณ 5.2-5.8 ซึ่งจะมีผลต่อการพัฒนากลิ่นรส และลักษณะเนื้อสัมผัสของเนยแข็ง [1, 8] เมื่อพิจารณาการทำงานของเอนไซม์เรนเนท จะเห็นว่าเอนไซม์ไคโมซินมีบทบาทสำคัญ

ในการทำให้โปรตีนในน้ำนมตกตะกอน ดังนั้นเอนไซม์เรนเนทที่เหมาะสมต่อการผลิตเนยแข็งควรมีสัดส่วนของเอนไซม์โคโมซินสูงเช่น เอนไซม์เรนเนทจากกระเพาะของลูกวัว ปกติเอนไซม์เรนเนทที่สกัดได้จากกระเพาะของวัวที่มีอายุมากจะมีสัดส่วนของเอนไซม์โคโมซินต่ำ และมีเอนไซม์เพปซินสูงโดยจะมีเอนไซม์โคโมซินร้อยละ 6-10 และมีเอนไซม์เพปซินร้อยละ 90-94 แต่เอนไซม์เรนเนทจากวัวอายุน้อยจะมีสัดส่วนของเอนไซม์โคโมซินสูงและมีเอนไซม์เพปซินต่ำโดยมีโคโมซินร้อยละ 88-94 และเพปซินร้อยละ 6-12 ซึ่งสัดส่วนของเอนไซม์เพปซินในเอนไซม์เรนเนทจะเพิ่มขึ้นตามอายุของวัว เอนไซม์เรนเนทที่มีประสิทธิภาพดีจะมีสัดส่วนของเอนไซม์โคโมซินต่อเอนไซม์เพปซินเป็น 80 ต่อ 20 สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์เรนเนทเป็น 30-32°C ถ้าหากใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 20°C โปรตีนจะไม่ตกตะกอน

ปัจจุบันมีการผลิตเนยแข็งกันมากขึ้นประกอบกับมีการฆ่าลูกวัวน้อยลง จึงทำให้เอนไซม์เรนเนทจากลูกวัวมีไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงสนใจที่จะใช้เอนไซม์ย่อยโปรตีนจากแหล่งอื่นแทนเรนเนทจากลูกวัว

### ตารางที่ 7.3 เอนไซม์ย่อยโปรตีนจากแหล่งอื่นที่ใช้แทนเอนไซม์เรนเนทจากลูกวัวในการผลิตเนยแข็ง

กลุ่ม	แหล่งของเอนไซม์
แบคทีเรีย	<i>Bacillus polymyxa</i>
	<i>Bacillus subtilis</i>
	<i>Bacillus mesentericus</i>
เชื้อรา	<i>Mucor miehei</i>
	<i>Mucor pusillus</i>
	<i>Endothia parasitica</i>
พืช	มะละกอ (papain)
	สับปะรด (bromelain)
สัตว์	หมู (pepsin)
	ไก่ (pepsin)
	วัว (pepsin)

ที่มา : Shaw [4]

เอนไซม์ที่สามารถใช้แทนเอนไซม์เรนเนทได้ และให้ผลดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเอนไซม์จากแหล่งอื่นคือ เอนไซม์ย่อยโปรตีนจากเชื้อราโดยเฉพาะเชื้อราในสกุล *Mucor* ซึ่งได้แก่ *Mucor miehei* และ

*Mucor pusillus* เนยแข็งที่ผลิตได้จะมีคุณภาพดีคล้ายกับเนยแข็งที่ผลิตโดยใช้เอนไซม์เรนเนทจากลูกวัว สำหรับเอนไซม์ย่อยโปรตีนจากพืชและแบคทีเรีย จะให้ผลไม่ดีนักเนื่องจากมีคุณสมบัติในการย่อยโปรตีนมากเกินไปจนทำให้เกิดรสขม เนยแข็งที่ได้จะมีคุณภาพต่ำ ส่วนพบชินจากสัตว์ก็ให้ผลไม่ดีเช่นกันเนื่องจากสามารถตกตะกอนโปรตีนในน้ำนมได้ช้า และมีสมบัติในการย่อยโปรตีนได้ดีที่ pH ต่ำกว่า pH ปกติที่ใช้ในการบ่มเนยแข็ง [2, 4]

### 7.2.2.3 การตัดเคิร์ด (cutting)

ในขั้นตอนของการตกตะกอนโปรตีนนม เมื่อเคิร์ดมีความแข็งเพิ่มขึ้น ความสามารถในการอุ้มน้ำจะลดลง เคิร์ดจะเกิดการหดตัวพร้อมกับมีเวย์แยกออกซึ่งเรียกว่า การเกิดซินเนอเรซิส (syneresis) การตัดเคิร์ดจะช่วยให้เคิร์ดหดตัวมากขึ้น และเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของเคิร์ดทำให้เวย์แยกออกจากเคิร์ดได้ง่ายขึ้น ที่จุดนี้ pH จะลดลง (จากเดิม 6.6) เหลือ 5.0 หลังจากตัดเคิร์ด กล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่ยังคงอยู่ในเคิร์ดจะหมักแลคโตสทำให้เกิดกรดแลคติก เมื่อความเข้มข้นของกรดแลคติกเพิ่มขึ้น กรดแลคติกจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของเคซีนและแคลเซียมฟอสเฟต ขณะเดียวกันสารต่างๆ ในเวย์รวมทั้งแลคโตสก็จะแพร่กลับเข้าไปในเคิร์ดแทนที่สารที่จุลินทรีย์ใช้ไป ทำให้เกิดกรดแลคติกเพิ่มขึ้นทั้งภายในและรอบๆ เคิร์ดเป็นสาเหตุให้เคิร์ดหดตัวต่อไปและยิ่งกล้าเชื้อจุลินทรีย์เจริญได้ดีมากเท่าใด กรดก็จะยิ่งเกิดเร็วขึ้นเท่านั้น เคิร์ดก็จะหดตัวและขจัดความชื้นออกได้เร็วยิ่งขึ้น ดังนั้นการเจริญของจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นกล้าเชื้อจึงมีผลต่ออัตราการขจัดความชื้นออกจากเคิร์ด อัตราการแพร่ของแลคโตสกลับเข้าไปในเคิร์ดและอัตราการสร้างกรดในขั้นต่อไป [5]

การตัดเคิร์ดจะทำได้โดยใช้มีดตัดตามแนวตั้งและแนวนอนอย่างสม่ำเสมอให้ได้เคิร์ดที่มีลักษณะเป็นลูกบาศก์ ขนาดลูกบาศก์ของเคิร์ดที่ได้จะมีผลต่อปริมาณความชื้นของเนยแข็ง โดยทั่วไปถ้าเคิร์ดที่ตัดมีขนาดเล็กละเอียดจะให้เนยแข็งที่มีปริมาณความชื้นต่ำ ได้แก่ เนยแข็งชนิดแข็ง แต่ถ้าขนาดของเคิร์ดใหญ่หรือหยาบจะให้เนยแข็งที่มีปริมาณความชื้นมากขึ้นได้แก่ เนยแข็งชนิดกึ่งแข็ง การตัดเคิร์ดควรตัดด้วยความเร็วต่ำเพื่อป้องกันการสูญเสียไขมันและเคซีนไปกับเวย์ซึ่งจะมีผลต่อผลผลิตของเนยแข็งที่ได้ [2]

### 7.2.2.4 การให้ความร้อน (cooking หรือ scalding)

การให้ความร้อน เป็นขั้นตอนที่กระทำขณะกวนส่วนผสมของเคิร์ดกับเวย์ การให้ความร้อนไม่ได้หมายถึงการต้มจนเดือด แต่เป็นการเพิ่มอุณหภูมิจนถึงระดับพอเหมาะโดยมีจุดประสงค์เพื่อเร่งการแยกตัวของเวย์ออกจากเคิร์ด ในการผลิตเนยแข็งบางชนิดอาจให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิเริ่มต้นของการตกตะกอนโปรตีนนมด้วยเอนไซม์เรนเนทเท่านั้น แต่บางชนิดอาจให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิปานกลาง

(40°C) หรือให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิสูง (50°C) การผลิตเนยแข็งที่มีการให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิสูง เช่นนี้จะใช้กล้าเชื้อจุลินทรีย์ประเภทเทอร์โมไฟล์ ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่จะอยู่รอดที่อุณหภูมิสูงได้ดีกว่าประเภทมีไซโฟต์และจะเจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูงด้วย แต่ไม่ควรให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิเพิ่มมากกว่า 50°C มิฉะนั้นกล้าเชื้อจุลินทรีย์และเอนไซม์เรนเนทอาจถูกทำลายได้ สำหรับวิธีการให้ความร้อนนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเนยแข็งและอุปกรณ์ที่มีอยู่ ปกติที่ใช้กันมี 2 วิธีคือ การเติมน้ำร้อนหรือไอน้ำลงในถังน้ำนม และการผ่านน้ำร้อนหรือไอน้ำไปรอบๆถังซึ่งบรรจุน้ำนมอยู่ภายใน สำหรับการเติมน้ำร้อนลงไปนั้นเป็นวิธีที่ง่าย มักใช้กับโรงงานเล็ก ๆ อุณหภูมิของน้ำอาจผันแปรตั้งแต่ 40°C ถึง 85°C ส่วนการเติมไอน้ำลงไปนั้นน้ำนมจะทำโดยใช้อุปกรณ์ที่มีท่อไอน้ำต่อเข้าไปในถังน้ำนมและเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงมิให้เคิร์ดได้รับความร้อนมากเกินไป ควรให้ความร้อนอย่างระมัดระวัง ไม่ควรให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเร็วเกินไปและควรทำการกวนอย่างสม่ำเสมอ ถ้าหากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเร็วเกินไปจะทำให้เกิดเป็นแผ่นหนาที่ผิวของเคิร์ดซึ่งจะขวางทางออกของเวย์ [2]

เมื่อปริมาณกรดแลคติกที่เกิดขึ้นและความแข็งของเคิร์ดถึงระดับที่ต้องการแล้ว จะระบายเวย์ออกเพื่อให้เกิดการสร้างเนื้อเนยแข็ง (texturing) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการผลิตเนยแข็งทุกชนิด เนื่องจากเกี่ยวข้องกับสภาพทางฟิสิกส์ของเนยแข็งเช่น ในการผลิตเนยแข็ง Cheddar หลังจากระบายเวย์ออกแล้วจะกดเคิร์ดเข้าด้วยกันเพื่อให้ก้อนเคิร์ดเล็ก ๆ มารวมกัน เมื่อถึงขั้นนี้กล้าเชื้อจุลินทรีย์จะเพิ่มมากขึ้น และสร้างกรดจนถึงระดับที่ต้องการ [7]

#### 7.2.2.5 การบดเคิร์ด (milling)

ก่อนที่จะเติมเกลือจะนำเคิร์ดที่อัดรวมกันมาบดให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้เกลือที่จะเติมในขั้นต่อไปสามารถซึมเข้าไปในเคิร์ดได้อย่างทั่วถึงและยังช่วยลดปริมาณความชื้นในเคิร์ดอีกด้วย

#### 7.2.2.6 การเติมเกลือ (salting)

การเติมเกลือลงในเนยแข็ง ทำได้ 2 วิธี คือ วิธีแรก แช่เคิร์ดลงในน้ำเกลือ และวิธีที่สอง ผสมเกลือแห้งลงในเคิร์ดที่บดแล้วคลุกเคล้าให้ทั่ว ปริมาณเกลือในเนยแข็งจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำเกลือหรือปริมาณเกลือแห้งที่เติม ปริมาณความชื้นในเนยแข็ง ระยะเวลาที่แช่น้ำเกลือ อุณหภูมิขณะเติมเกลือ และอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของเนยแข็ง

การเติมเกลือมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่ไม่ต้องการ เช่น butyric acid bacteria ซึ่งจะย่อยโปรตีนและไขมันในเนยแข็ง 2) เพิ่มกลิ่นรสให้กับเนยแข็ง 3) ลด metabolic activity ของกล้าเชื้อจุลินทรีย์แบคทีเรียแลคติกประเภทมีไซโฟต์แต่ละชนิดจะมีความสามารถ

ในการทนต่อเกลือได้ไม่เท่ากันเช่น *Streptococcus cremoris* ส่วนใหญ่จะถูกยับยั้งด้วยเกลือความเข้มข้นร้อยละ 2 ขณะที่ *Streptococcus lactis* สามารถทนต่อเกลือความเข้มข้นร้อยละ 4 ได้ และ 4) เกลือช่วยลดปริมาณความชื้นในเคิร์ด ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของความดันออสโมติกเช่น ในเนยแข็ง Gouda และเนยแข็ง Edam จะมีปริมาณความชื้นในเคิร์ดหลังอัดเป็นร้อยละ 46.5 และร้อยละ 51.5 ตามลำดับ หลังจากแช่น้ำเกลือ ความชื้นจะลดลงเหลือร้อยละ 41.8 และร้อยละ 44.7 ตามลำดับ [1, 5]

### 7.2.2.7 การทำให้เป็นรูปร่าง (moulding)

หลังจากเติมเกลือจะนำเคิร์ดมาอัดเพื่อขจัดเวย์ส่วนเกินออกเพื่อทำให้เป็นรูปร่างที่ต้องการ ข้อควรทราบหลายประการเกี่ยวกับการอัดเคิร์ดมีดังนี้ 1) ระดับของแรงอัดที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของเนยแข็ง สำหรับเนยแข็งที่มีความชื้นต่ำ ควรใช้แรงอัดสูงเพื่อให้ได้รูปร่างตามต้องการ 2) ในระหว่างการอัดเคิร์ด ควรเพิ่มแรงอัดทีละน้อยมิฉะนั้นจะเกิดการสร้างเปลือกของเนยแข็งเร็วเกินไป ทำให้เนยแข็งที่ได้มีเวย์ถูกกักอยู่ภายในมากทำให้มีปริมาณแลคโตสสูงและ pH ของเนยแข็งจะต่ำกว่าปกติ 3) ระยะเวลาที่ใช้ในการอัดเคิร์ดจะขึ้นอยู่กับชนิดของเนยแข็งและเครื่องมือที่ใช้อัด 4) การอัดเคิร์ดที่อุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เกิดไขมันในรูปของเหลวซึ่งจะขัดขวางการรวมตัวของเคิร์ดก้อนเล็กๆ 5) การเกิดลักษณะเนื้อที่เฝือเป็นโพลงในเนยแข็งอาจเกิดขึ้นจากความผิดพลาดของเครื่องมือที่ใช้อัดหรืออาจเกิดจากการอัดที่อุณหภูมิต่ำเกินไป และ 6) ก้อนเคิร์ดที่มีขนาดเล็กจะรวมตัวกันได้ดีระหว่างอัดและเวย์จะถูกขจัดออกได้เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับก้อนเคิร์ดที่มีขนาดใหญ่ [5]

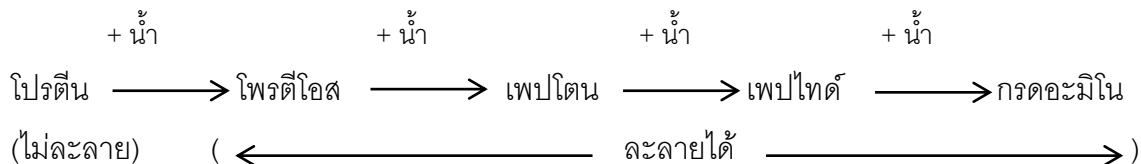
### 7.2.3 การบ่มเนยแข็ง (ripening)

เคิร์ดที่ยังไม่ผ่านการบ่มจะประกอบด้วย เคซีน ไขมันและน้ำเป็นส่วนใหญ่ มีเกลือ กรดแลคติก เวย์โปรตีนและเกลือแร่เล็กน้อย ในระหว่างบ่มเนยแข็งจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้นได้แก่ การย่อยโปรตีน การหมักแลคโตสและการย่อยไขมัน

การย่อยโปรตีน (proteolysis) การย่อยโปรตีนเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญในการบ่มเนยแข็งเนื่องจากมีผลต่อกลิ่นรสและลักษณะเนื้อสัมผัสของเนยแข็งที่ได้ ในระหว่างบ่มเนยแข็งจะเกิดการย่อยโปรตีนโดยเอนไซม์จากหลายแหล่ง ซึ่งก็คือเอนไซม์เรนเนทที่ยังคงเหลืออยู่ในเคิร์ด เอนไซม์ย่อยโปรตีนจากกล้าเชื้อจุลินทรีย์ เอนไซม์ภายนอกเซลล์ที่ผลิตโดยแบคทีเรียที่ชอบเจริญที่อุณหภูมิต่ำ (psychrotrophic bacteria) ที่มีอยู่ในน้ำนมขณะเก็บน้ำนมดิบไว้ที่อุณหภูมิต่ำและเอนไซม์โปรตีนเอส (proteinase) ที่มีอยู่แล้วในน้ำนม ได้แก่ พลาสมิน (plasmin)

สารประกอบไนโตรเจนในเนยแข็งส่วนใหญ่ที่เริ่มบ่มจะอยู่ในสภาพของโปรตีนที่ไม่ละลาย แต่เมื่อ

การบ่มดำเนินต่อไปเรื่อยๆ โปรตีนบางส่วนหรือทั้งหมดก็จะถูกกระทำโดยเอนไซม์ย่อยโปรตีนทำให้เกิดสารประกอบที่มีโมเลกุลเล็กลง และละลายได้ ดังนี้



จากนั้นจุลินทรีย์ก็จะรีดิวซ์กรดอะมิโนให้เป็นแอมโมเนียและกรดอินทรีย์หรือออกซิไดซ์ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และเอมีน [1]

การย่อยโปรตีนในขั้นแรกเกิดขึ้นโดยการกระทำของเอนไซม์เรนเนท โดยเอนไซม์เรนเนทจะย่อยพาราเคซีนให้เป็นโพรตีโอสและเปปโตน ซึ่งจะถูกย่อยต่อไปโดยเอนไซม์ย่อยโปรตีนจากจุลินทรีย์ได้เป็นเปปไทด์และกรดอะมิโน สำหรับในเนยแข็งชนิดแข็ง จุลินทรีย์ที่มีอยู่ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียกรดแลคติก รูปกลมและรูปท่อนที่สร้างกรดแลคติกเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจุลินทรีย์จะกระจายอยู่ทั่วก้อนเนยแข็งและผลิตเอนไซม์โพรตีเนสภายนอกเซลล์ (extracellular proteinase) ออกมาย่อยโปรตีนในเนยแข็ง เมื่อเซลล์ตายก็จะเกิดการย่อยสลายตัวเองและปล่อยเอนไซม์ย่อยโปรตีนในเซลล์ (intracellular proteinase) ออกมาอีกทำให้การบ่มดำเนินต่อไป ส่วนในเนยแข็งชนิดอ่อน การย่อยโปรตีนส่วนใหญ่เกิดขึ้นโดยเอนไซม์โพรตีเนสภายนอกเซลล์ที่สร้างขึ้นโดยจุลินทรีย์หลายชนิดที่เจริญที่ผิวของเนยแข็ง การย่อยโปรตีนในเนยแข็งชนิดอ่อน (เช่น เนยแข็ง Camembert เนยแข็ง Brie และ เนยแข็ง Limburger) จะเกิดขึ้นมากกว่าในเนยแข็งชนิดแข็ง (เช่น เนยแข็ง Cheddar และ เนยแข็ง Emmenthal) ทำให้เกิดสารประกอบที่ละลายได้ในสัดส่วนสูง ประกอบกับในเนยแข็งชนิดนี้มีปริมาณน้ำมากทำให้ได้ลักษณะเนื้อที่อ่อนนุ่ม ส่วนในเนยแข็งบางชนิด เชื้อราก็มีบทบาทในการย่อยโปรตีนเช่นกัน ได้แก่ blue-veined cheese (เช่น เนยแข็ง Stilton) และเนยแข็งชนิดอ่อนที่ผ่านการบ่มด้วยเชื้อรา (เช่น เนยแข็ง Brie และเนยแข็ง Camembert) [1, 3]

สำหรับเอนไซม์พลาสมีนที่มีอยู่ในน้ำมันกล่าวกันว่า มีบทบาทในการย่อยโปรตีนเช่นกันโดยเฉพาะในเนยแข็งที่มี pH สูง เช่น เนยแข็ง Emmenthal และ เนยแข็ง Gouda โดยพลาสมีนจะย่อยพาราเคซีนให้ได้โพลีเปปไทด์และไฮโดรไลซ์ต่อไปทำให้ได้สารโมเลกุลเล็กลง อย่างไรก็ตามไม่ใช่ว่าสารประกอบที่เกิดขึ้นจะให้กลิ่นรสที่ดีทั้งหมด แต่พบว่าบางครั้งเปปไทด์ก็มีส่วนทำให้เกิดรสขมในเนยแข็งได้ โดยเฉพาะโพลีเปปไทด์ที่มีส่วนที่ไม่ชอบน้ำสูง (hydrophobic residues)

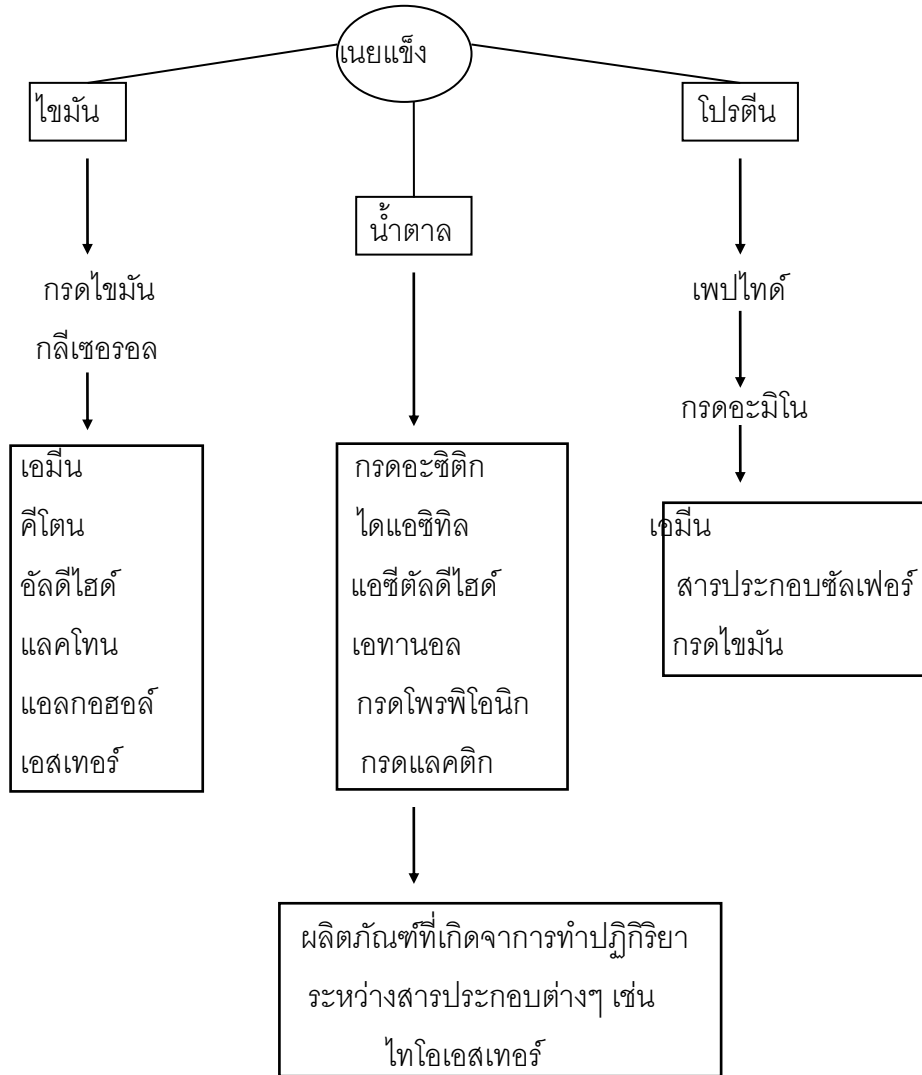
การย่อยไขมัน (lipolysis) การย่อยไขมันที่เกิดขึ้นในระหว่างการบ่มเนยแข็งนั้นเกิดจากการกระทำของเอนไซม์ไลเปสที่มีอยู่แล้วในน้ำนม เอนไซม์ไลเปสจากจุลินทรีย์ เอนไซม์เรนเนทที่เติมและเอนไซม์ในน้ำนม สำหรับเอนไซม์ไลเปสจากน้ำมนั้นจะมีผลในการย่อยไขมันเฉพาะในเนยแข็งที่ทำจากน้ำนมดิบ และเนยแข็งที่ทำจากน้ำนมที่ได้รับความร้อนในการพาสเจอร์ไรส์ไม่เพียงพอ ส่วนเอนไซม์ไลเปสจากเชื้อจุลินทรีย์นั้นอาจมาจาก lactobacilli บางสายพันธุ์ หรือแบคทีเรียชนิดอื่นที่เกิดการย่อยสลายตัวเองแล้วปล่อยเอนไซม์ไลเปสภายในเซลล์ออกมาย่อยไขมัน เช่น ในเนยแข็งชนิดแข็ง (เช่น เนยแข็ง Cheddar และเนยแข็ง Emmental) นอกจากนี้เชื้อราที่เจริญบนผิวของเนยแข็งบางชนิดเช่น เนยแข็ง Stilton และเนยแข็ง Camembert ก็เป็นแหล่งของเอนไซม์ย่อยไขมันเช่นกัน ส่วนเอนไซม์เรนเนทจะมี lipolytic activity เพียงเล็กน้อยเท่านั้น สารที่เกิดขึ้นจากการย่อยไขมันมีผลต่อกลิ่นรสของเนยแข็งโดยเฉพาะกรดไขมันชนิดระเหยได้ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ได้แก่ กรดบิวทิริก กรดคาไพโรอิก กรดคาไพโรลิก และกรดคาพริก [1]

การหมักแลคโตสในเนยแข็งชนิดแข็ง แลคโตสจะถูกใช้หมดไปในปฏิกิริยาการหมักโดยจุลินทรีย์ภายใน 2-3 วันแรกของการผลิตเนยแข็ง แต่ในกรณีของเนยแข็งชนิดอ่อนจะใช้เวลามากกว่า 3 วัน สำหรับการหมักแลคโตสโดยแบคทีเรียกรดแลคติกที่ใช้เป็นกล้าเชื้อนั้นจะได้กรดแลคติกเป็นส่วนใหญ่มีเอทานอลและสารประกอบชนิดอื่นเกิดขึ้นเล็กน้อย ในเนยแข็งบางชนิดกรดแลคติกอาจถูกหมักครั้งที่สองโดยเชื้อแบคทีเรียที่ผลิตกรดไพรูวิก ทำให้เกิดกรดไพรูวิก กรดแอสिटิกและคาร์บอนไดออกไซด์เล็กน้อย [2]

### 7.2.3.1 การปรับปรุงกลิ่นรสในเนยแข็ง

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การย่อยโปรตีน ไขมัน และการหมักสารประกอบคาร์โบไฮเดรตในระหว่างการบ่มทำให้เกิดสารประกอบต่างๆ ซึ่งรวมถึงเพปไทด์ กรดอะมิโน กรดไขมันอิสระ เมทิลเอสเทอร์ เอสเทอร์ของกรดไขมันและสารประกอบที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ มีเทนไทออล (methanethiol) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไดเมทิลซัลไฟด์ แอซีตัลดีไฮด์ ไดแอซีติล แอลกอฮอล์ รวมทั้งเอทานอล เมทานอล และสารอื่นๆ การเกิดสารประกอบให้กลิ่นรสในเนยแข็งแสดงดังรูปที่ 7.2 อย่างไรก็ตามไม่ใช่เฉพาะสารประกอบที่ระเหยได้เท่านั้นที่มีผลต่อการปรับปรุงกลิ่นรสของเนยแข็ง แต่กลิ่นรสของเนยแข็งอาจมาจากสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างสารให้กลิ่นรสด้วยกัน เมื่อเร็วๆ นี้พบว่าสารประกอบซัลเฟอร์ที่ระเหยได้ชนิดหนึ่งคือ มีเทนไทออล มีบทบาทต่อการให้กลิ่นในเนยแข็ง Cheddar แต่มีเทนไทออลไม่ได้ให้กลิ่นรสโดยตรง แต่การให้กลิ่นจะเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างมีเทนไทออลกับสารประกอบอื่น สำหรับจุดเริ่มต้นของมีเทนไทออลนั้นยังไม่แน่ชัดนัก แต่กล่าวกันว่าเกิดจากปฏิกิริยาเคมีที่ไม่ใช่เอนไซม์ระหว่างไฮโดรเจนซัลไฟด์กับเคซีนหรือเมทไธโอนีน ซึ่งกล้าเชื้อจุลินทรีย์จะทำให้เกิดสภาพ

วิธีวิธีที่เหมาะสมต่อการสร้างมีเทนไทออกอล นอกจากนี้มีมีเทนไทออกอลบางส่วนในเนยแข็งบางชนิดจะถูกเปลี่ยน เป็นไทโอเอสเทอร์ (thioester) ซึ่งให้กลิ่นรสด้วยเช่นกัน [3, 9]



รูปที่ 7.2 การเกิดสารประกอบให้กลิ่นรสในเนยแข็ง

### 7.2.3.2 วิธีการบ่มเนยแข็ง

#### (1) การบ่มภายใน

วิธีนี้ใช้กับเนยแข็งชนิดแข็งและชนิดกึ่งแข็งซึ่งเนยแข็งจะถูกบ่มโดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ เอนไซม์ในน้ำนมดิบและเอนไซม์เรนเนท การบ่มวิธีนี้ควรป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ผิวโดยเฉพาะเชื้อราและยีสต์โดยการจุ่มเนยแข็งในสารละลายกรดไพโรฟิโอนิกความเข้มข้นร้อยละ 7.5 หรือสารละลายกรดซอร์บิก

ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 หรือจุ่มในน้ำมันพืช เช่น น้ำมันมะกอก หรืออาจเคลือบผิวของเนยแข็งด้วยไข (wax) หรือหุ้มด้วยพลาสติกเพื่อลดการสูญเสียความชื้นและป้องกันการเจริญของเชื้อราที่ผิว การหุ้มเนยแข็งด้วยพลาสติกจะมีประสิทธิภาพดีในกรณีที่มีผิวของเนยแข็งแห้งและสะอาด และถ้าหากใช้สารยับยั้งการเจริญของเชื้อราเคลือบที่ผิวของเนยแข็งหรือที่ผิวของพลาสติกที่ใช้หุ้ม ก็จะสามารถป้องกันการเจริญของเชื้อราได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในระหว่างการบ่มควรควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้วย (กรณีที่ไม่ได้หุ้มด้วยพลาสติกที่ป้องกันความชื้นผ่าน) โดยทั่วไปจะควบคุมอุณหภูมิที่ใช้บ่มเนยแข็งอยู่ในช่วง 10-15°C และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในระดับร้อยละ 85-95 เนยแข็งที่ผลิตจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ความสูง น้ำหนัก และเวลาที่ใช้ในการบ่มแตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของเนยแข็ง ดังตารางที่ 7.1 การเร่งการบ่มเนยแข็งอาจทำได้โดยเพิ่มอุณหภูมิในการบ่ม แต่มีข้อเสียคืออาจทำให้จุลินทรีย์ก่อโรคเจริญได้และทำให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติหรืออาจใช้วิธีเติมโพรตีนเนสหรือเพปติเดสช่วยเร่งการบ่ม [3]

## (2) การบ่มที่ผิว

การบ่มเนยแข็งวิธีนี้เกิดขึ้นโดยการกระทำของเอนไซม์จากจุลินทรีย์ที่เจริญขึ้นที่ผิว เช่น เนยแข็ง Camembert และ เนยแข็ง Brie ของฝรั่งเศส (บ่มด้วยเชื้อรา) และ เนยแข็ง Tilsit ของเยอรมัน (บ่มด้วยแบคทีเรีย) สำหรับเชื้อราที่ใช้บ่มนั้นอาจเติมลงในน้ำมันก่อนตกตะกอนด้วยเอนไซม์เรนเนทหรือเติมลงในเคิร์ดก่อนที่จะส่งไปยังห้องบ่มเนยแข็ง เนื่องจากเชื้อราเป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศในการเจริญดังนั้นลักษณะเนื้อของเนยแข็งควรจะมีรูเพื่อที่จะให้ออกซิเจนผ่านเข้าไปได้ รูของเนยแข็งอาจเกิดขึ้นโดยการผลิตแก๊สของกล้ำเชื้อแบคทีเรียหรืออาจใช้เข็มแทงเข้าไปในเนื้อเนยแข็ง เพื่อให้อากาศสามารถผ่านเข้าไปได้เช่น เนยแข็ง Roquefort ของฝรั่งเศสและเนยแข็ง KüFlü Tulum Peyniri ของตุรกี [2]

## 7.3 การเสีของเนยแข็ง

### 7.3.1 การเสีของเนยแข็งชนิดแข็ง (hard cheese)

#### 7.3.1.1 การเจริญของเชื้อราและยีสต์

ถึงแม้ว่าการบ่มเนยแข็งบางชนิดจำเป็นต้องใช้เชื้อราช่วยในการบ่ม แต่โดยส่วนใหญ่แล้วการเจริญของเชื้อราเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น เนื่องจากทำให้เกิดกลิ่นรสผิดปกติและเกิดลักษณะปรากฏที่ไม่ดี ซึ่งการเจริญของเชื้อราที่ทำให้เนยแข็งเสีอย่างเห็นได้ชัดนั้นจะมีการย่อยสลายโปรตีนและไขมันเกิดขึ้นอย่างมาก เชื้อราที่มักพบในเนยแข็งที่เสี ได้แก่ *Aspergillus* และ *Penicillium* โดย *Penicillium* จะพบมากที่สุดดังการทดลองของ Lund และคณะ [10] ได้แยกเชื้อรา 371 ไอโซเลตจากเนยแข็งชนิดแข็ง

เนยแข็งชนิดกึ่งแข็งและเนยแข็งชนิดกึ่งอ่อน พบว่าในจำนวนของเชื้อราทั้งหมดที่แยกได้ ร้อยละ 91 เป็น *Penicillium* ชนิดที่พบได้แก่ *P. commune*, *P. nalgiovense*, *P. verrucosum*, *P. solitum*, *P. roqueforti*, *P. crustosum*, *P. atramentosum*, *P. chrysogenum* และ *P. echinulatum* นอกจากนี้เชื้อราบางชนิดที่เจริญบนเนยแข็งสามารถสร้างสารพิษได้ มีผู้รายงานว่า ประมาณร้อยละ 20 ของเชื้อราที่ปกติทำให้เนยแข็งเสียนั้นสามารถสร้างสารพิษได้โดยเฉพาะเชื้อราในสกุล *Penicillium* และ *Aspergillus* การปนเปื้อนของเชื้อราส่วนหนึ่งมาจากสิ่งแวดล้อมภายในห้องบ่ม เชื้อราที่พบมากได้แก่ *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Monilia*, *Mucor* และ *Penicillium* ดังนั้นการรักษาความสะอาดภายในห้องบ่มจึงเป็นทางหนึ่งที่จะช่วยควบคุมการเจริญของเชื้อรา [1]

ยีสต์เป็นจุลินทรีย์อีกชนิดหนึ่งที่สามารถทำให้เนยแข็งเสีย เช่น เนยแข็ง Parmesan อาจเสียโดย *Kluyveromyces marxianus* ที่ผลิตแก๊สได้และเนยแข็ง Cheddar อาจเสียโดย *Candida* ซึ่งสามารถผลิตเอทานอล เอทิลแอลกอฮอล์และเอทิลบิวทิเลททำให้เกิดกลิ่นผิดปกติ (กลิ่นยีสต์) ในเนยแข็ง [3]

การป้องกันการเสียของเนยแข็งโดยเชื้อราและยีสต์ อาจทำได้โดยการบรรจุในสภาพสุญญากาศหรือบรรจุในสภาพปรับบรรยากาศหรือใช้สารป้องกันการเจริญของเชื้อราซึ่งเคลือบที่ผิวของเนยแข็ง สารดังกล่าวได้แก่ กรดซอร์บิก (sorbic acid) และเกลือของกรดซอร์บิก เป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเจริญของเชื้อราและยีสต์ โดยเฉพาะสามารถใช้ป้องกันการเจริญของเชื้อราที่สร้างสารพิษอะฟลาทอกซินได้ มีรายงานว่า กรดซอร์บิก (200-400 ppm) สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราที่สร้างสารพิษอะฟลาทอกซินได้ดี สารนี้ได้รับการอนุญาตให้ใช้ในอาหารโดยไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ สารอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ได้ผลดีคือ นาทาไมซิน (natamycin) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า พิมาริซิน (pimaricin) ซึ่งเป็นสารปฏิชีวนะที่เดิมไม่ได้รับการยอมรับ แต่ปัจจุบันได้พิจารณาใหม่ว่าเป็นสารที่สามารถยับยั้งเชื้อราได้และสามารถใช้ในอาหารได้อย่างปลอดภัย นาทาไมซินเป็นสารที่ผลิตจาก *Streptomyces natalensis* สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราที่ผิวของเนยแข็งได้ดีโดยเฉพาะ *Aspergillus flavus* ที่สร้างสารพิษอะฟลาทอกซิน สารนี้จะแพร่เข้าไปภายในเนื้อเนยแข็งในระยะไม่เกิน 2 มิลลิเมตรและคงอยู่ได้เป็นเวลานาน ซึ่งพบว่าสามารถป้องกันการเจริญของเชื้อราที่ผิวได้ประมาณ 8 สัปดาห์ [1]

### 7.3.1.2 การผลิตแก๊ส

การเกิดแก๊สที่ไม่ต้องการในระหว่างการผลิตหรือการบ่มเนยแข็ง ขึ้นอยู่กับชนิดและจำนวนของจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตแก๊สได้ที่ปนเปื้อนมากับน้ำนมที่ใช้ผลิตเนยแข็ง การเกิดแก๊สในเนยแข็งชนิดแข็งนั้นอาจเกิดขึ้นได้ทั้งในเคิร์ดสดหรือในช่วง 2-3 วันแรกของการบ่ม (เรียกว่า “early blowing”) และเกิดขึ้นในช่วงหลังของการบ่ม (เรียกว่า “late blowing”) จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดแก๊สในช่วง 2-3 วันแรกของการบ่ม

ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียโคลิฟอร์ม แบคทีเรียโคลิฟอร์มสามารถทนต่อสภาพที่มีกรดและเกลือในเนยแข็งได้ สามารถหมักแลคโตสและเจริญได้ดีที่อุณหภูมิของการผลิตเนยแข็ง โดยเฉพาะในช่วงแรกของการบ่ม นอกจากนี้การเกิดแก๊สในช่วงแรกของการบ่มอาจมีสาเหตุมาจากยีสต์ที่หมักแลคโตส และแบคทีเรียชนิดที่ต้องการอากาศในการเจริญและสามารถสร้างสปอร์ได้ เช่น *Bacillus subtilis* โดยจุลินทรีย์เหล่านี้จะหมักแลคโตสให้คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน กรดแอซีติกและเอทานอล แต่จุลินทรีย์ชนิดนี้จะไม่สำคัญต่อเนยแข็งชนิดแข็งเท่าใดนักเนื่องจากในเนยแข็งชนิดนี้จะมีออกซิเจนและค่า pH ต่ำ [1]

การเกิดแก๊สในช่วงหลังของการบ่ม (late blowing) มีสาเหตุมาจากเชื้อ *Clostridium* ซึ่งจะหมักแลคโตสให้เป็นกรดบิวทริก กรดแอซีติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ *Clostridium* ชนิดที่พบบ่อยว่าทำให้เกิดแก๊สในช่วงหลังของการบ่ม ได้แก่ *C. butyricum* ส่วน *C. tyrobutyricum* และ *C. sporogenes* พบบ่อยเช่นกันโดยเฉพาะในเนยแข็งที่มี pH สูง ทำให้เกิดปัญหาในเนยแข็งหลายชนิดเช่น เนยแข็ง Swiss เนยแข็ง Emmental เนยแข็ง Gouda เนยแข็ง Edam และ เนยแข็ง Cheddar โดยจะทำให้เกิดรูในเนื้อเนยแข็งตั้งแต่ขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ บางครั้งอาจมีรอยแตกซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของจุลินทรีย์ ปริมาณของแก๊สที่เกิด อัตราการผลิตแก๊สและความยืดหยุ่นของเคิร์ดเนยแข็ง [1, 3]

### 7.3.1.3 การเกิด rind rot

การที่ผิวของเนยแข็งชนิดแข็งมีความชื้นเพิ่มขึ้นทำให้ฟิล์มยีสต์ เชื้อรา และแบคทีเรียย่อยโปรตีนสามารถเจริญที่ผิวของเนยแข็งได้ทำให้เนื้อเนยแข็งอ่อนตัวลง เกิดการเปลี่ยนสีและเกิดกลิ่นผิดปกติขึ้น ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยหมั่นกลับเนยแข็งและทำให้ผิวของเนยแข็งแห้งอยู่เสมอ [1]

### 7.3.1.4 การเปลี่ยนสีของเนยแข็ง

การเปลี่ยนสีของเนยแข็งอาจเป็นผลมาจากการเจริญของเชื้อราซึ่งจะทำให้เกิดจุดดำและจุดแดงบนผิวเนยแข็ง สำหรับจุดดำนั้นเกิดจากการเจริญของ *Aspergillus niger* บนเนยแข็งชนิดแข็ง ส่วนจุดแดงเกิดจากการเจริญของ *Sporendonema casei* บน blue cheese แต่การเกิดจุดสีดังกล่าวพบไม่บ่อยนัก นอกจากนี้แบคทีเรียบางชนิดเช่น *Propionibacterium rubrum*, *Aureobacterium liquefaciens*, *Brevibacterium linens* และ *Lactobacillus brevis* ก็สามารถทำให้เกิดจุดสีบนเนยแข็งได้เช่นกัน [1, 3]

## 7.3.2 การเสียของเนยแข็งชนิดอ่อน (soft cheese)

เนยแข็งชนิดอ่อนที่มีความชื้นสูง เช่น เนยแข็ง Cottage อาจเสียโดยเชื้อรา *Geotrichum* และยีสต์หลายชนิด ได้แก่ *Candida*, *Cryptococcus*, *Kluyveromyces*, *Pichia*, *Sporobolomyces* และ

*Torulopsis* ซึ่งจะทำให้เกิดแก๊สและกลิ่นผิดปกติในเนยแข็ง ยีสต์เหล่านี้อาจเจริญเป็นโคโลนีที่เห็นได้ชัดบนผิวเนยแข็งและเนยแข็งอาจเสียโดยแบคทีเรียแกรมลบที่ปนเปื้อนมากับน้ำและส่วนผสมต่างๆ เชื้อแบคทีเรียที่พบได้แก่ *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida* และ *Enterobacter agglomerans* การควบคุมการเจริญของ *Pseudomonas* อาจทำได้โดยลด pH ลงถึง 4.5 [3]

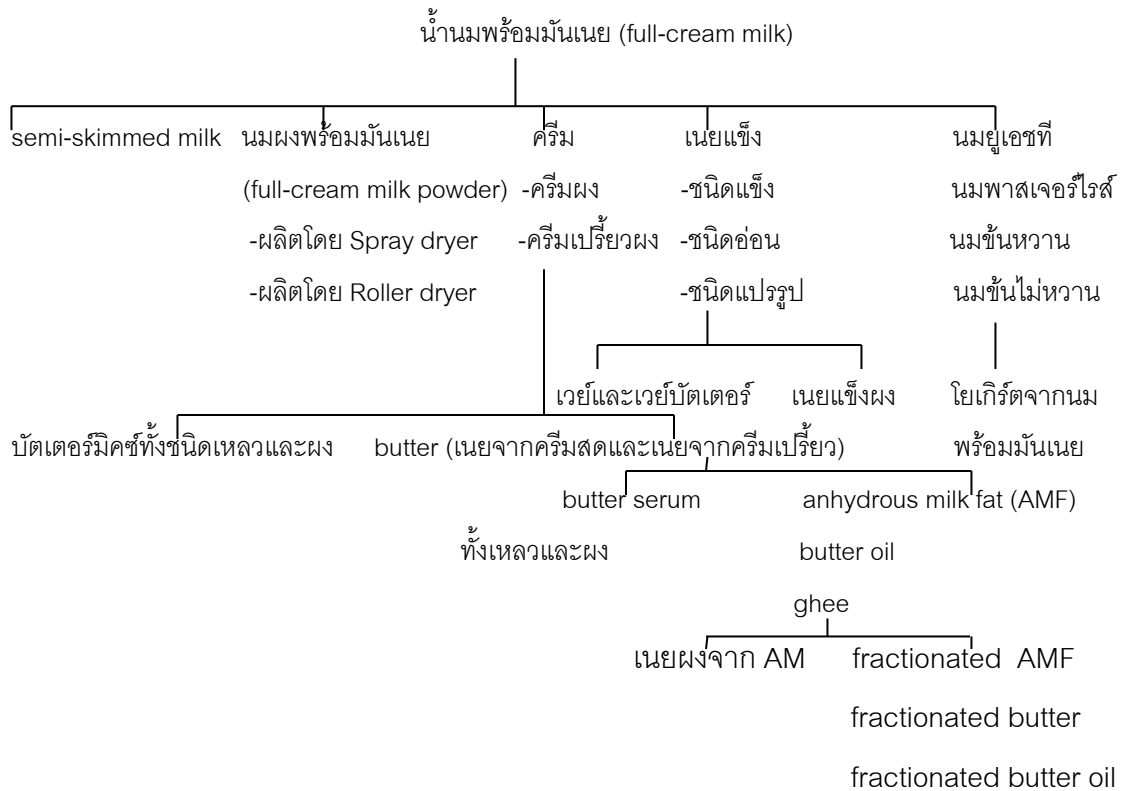
### เอกสารอ้างอิง

1. Chapman, L.H.R. and Sharpe, M. E. 1990 Microbiology of Cheese, pp. 203-289. In R.K. Robinson (ed). Dairy Microbiology Vol.2. 2d ed., Elsevier Science Publishers Ltd., London.
2. van den Berg, J.C.T. 1988. Dairy Technology in the Tropics and Subtropics. Pudoc Wageningen, The netherlands.
3. Varnam, A.H. and Sutherland, J. P. 1994. Milk and Milk Products. Chapman & Hall, London.
4. Shaw, M.B. 1993. Modern cheesemaking : soft cheese, pp. 221-280. In R.K. Robinson (ed.). Modern Dairy Technology Vol.2. 2d ed., Elsevier Science Publishers Ltd., London.
5. Tamine, A.Y. 1993. Modern cheesemaking : hard cheese, pp. 49-220. In: Robinson, R. K. (Ed.). Modern Dairy Technology Vol.2. 2d ed., Elsevier Science Publishers Ltd., London.
6. Skeie, S. 2010. Milk quality requirements for cheesemaking, pp. 433-453. In: Griffiths, M. W. (ed.). Improving the safety and quality of milk (volume 2: Improving quality in milk products). Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK.
7. Bank, J.M. 1992. Cheese, pp. 38-65. In: Early, R. (Ed.). The Technology of Dairy Products. VCH Publishers, Inc., New York.
8. Fox, P.F. 1993. Cheese: an overview, pp. 1-36. In: Fox, P. F. (Ed.). Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology Vol.1. 2d ed., Chapman & Hall, Great Britain.
9. White, S. and White, G. 1991. Dairy flavourings, pp. 222-256. In: Ashurst, P. R. (Ed.).
10. Lund, F., Filtenborg, Q. and Frisvad, J. C. 1995. Associated mycoflora of cheese. Food Microbiology. 12:173-180.
11. Renner, E.1993. Nutritional aspects of cheese, pp. 557-579. In: Fox, P. F. (Ed.). Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology Vol.1. 2d ed.,Chapman & Hall. London.

## บทที่ 8

### ผลิตภัณฑ์นมที่มีปริมาณไขมันสูง (ครีม เนย เนยคั้นรูป และเนยเทียม)

ไขมันนมถูกสังเคราะห์ขึ้นใน glandular epithelium ในต่อมสร้างน้ำนม เมื่อเม็ดไขมันถูกสร้างขึ้น จะมีเยื่อบางๆ ฆ่าล้อมรอบและค่อยๆ เพิ่มขนาดขึ้น ปกติเม็ดไขมันมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1-10 ไมโครเมตร ในเม็ดไขมันประกอบด้วยไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงและต่ำผสมกัน ที่อุณหภูมิแช่เย็นจะมีทั้งไขมันเหลว (liquid fat) และผลึกไขมัน (fat crystal) อยู่รวมกัน โดยเม็ดไขมันเหล่านี้จะกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและผสมรวมกับส่วนประกอบนมชนิดอื่นๆ ทำให้เกิดเป็นอิมัลชันของน้ำมันในน้ำ (oil-in-water emulsion) น้ำนมพร้อมมันเนยสามารถนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์นมได้หลายชนิดดังรูปที่ 8.1 ผลิตภัณฑ์นมชนิดที่มีปริมาณไขมันสูงได้แก่ ครีมและเนย (butter) [1]



รูปที่ 8.1 ผลิตภัณฑ์นมที่มีปริมาณไขมันสูง

ที่มา: Ranjith และ Rajah [1]

## 8.1 ครีมและผลิตภัณฑ์ที่มีครีมเป็นส่วนประกอบหลัก

ครีมประกอบด้วยไขมันนมเข้มข้นในน้ำมันซึ่งส่วนใหญ่เป็นเมดไขมันที่มีเยื่อหุ้ม ครีมหลายชนิดมีปริมาณไขมัน ดังตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 มาตรฐานขององค์การอนามัยโลกเกี่ยวกับปริมาณไขมันในครีม

ชนิดของครีม	ปริมาณไขมันต่ำสุด (ร้อยละ)
cream/single cream	18
half cream	10-18
double cream	45
Whipping cream	28
Heavy whipping	35

ที่มา: Varnam และ Sutherland [2]

### 8.1.1 เทคโนโลยีการผลิตครีม

เทคโนโลยีพื้นฐานในการผลิตครีมทุกชนิด ก่อนอื่นจะต้องทำการแยกครีมและปรับมาตรฐานไขมัน หลังจากนั้นกระบวนการอื่นๆเช่นการโฮโมจีไนส์หรืออื่นๆ อาจกระทำเพื่อให้ได้ครีมเฉพาะชนิด วิธีการผลิตครีมพาสเจอร์ไรส์แสดงดังรูปที่ 8.2

#### 8.1.1.1 วัตถุประสงค์

คุณภาพของน้ำมันดิบที่จะนำมาผลิตครีมควรมีคุณภาพดีเช่นเดียวกับน้ำมันดิบที่จะนำมาผลิตน้ำมันพร้อมดื่ม น้ำมันดิบไม่ควรมียีสปนเปื้อนจากอาหารสัตว์ซึ่งกลืนนั้นจะมาอยู่ในส่วนของไขมันนม ในที่สุดจะทำให้ครีมมีกลิ่นผิดปกติ ปัญหาของครีมที่มีไขมันสูงมาจากเอนไซม์ย่อยไขมันของแบคทีเรียที่ชอบเจริญที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นจึงไม่ควรเก็บน้ำมันดิบไว้เกิน 24 ชั่วโมง

การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของน้ำมันอาจมีผลต่อความหนืดของครีม ไขมันนมมีแนวโน้มอ่อนระหว่างฤดูใบไม้ผลิทำให้ความหนืดของน้ำมันลดลง นอกจากนี้เมดไขมันที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 0.8 ไมโครเมตรยังเพิ่มจำนวนขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาการหลังน้ำมันจนกระทั่งถึงระยะปลายของการให้นม ดังนั้นจึงทำให้มีการสูญเสียไขมันไปกับหางนมเพิ่มขึ้น

### 8.1.1.2 การแยกครีม

การแยกครีมทำได้สองวิธีคือ ตักครีมที่ลอยขึ้นที่ผิวหน้า หรืออาจทำโดยใช้เครื่องแยกครีม (cream separator) ในทางปฏิบัติจะแยกครีมที่อุณหภูมิ 38-60°C จะช่วยให้แยกครีมได้ง่าย ลดการถูกทำลายของเมดไขมัน และให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี การใช้อุณหภูมิสูงถึง 60 °C ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง แต่ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำ 38-40°C ครีมที่ได้จะมีความหนืดสูงกว่า แต่ข้อเสียของการแยกครีมที่อุณหภูมิต่ำกว่า 45°C คือ ครีมที่ได้จะมีเอนไซม์ไลเปสที่ยังคงทำงานได้ซึ่งจะเป็นผลให้เกิดปฏิกิริยาการหืนในเวลาต่อมา ดังนั้นอุณหภูมิต่ำสุดที่แนะนำให้ใช้คือ 45°C บ่อยครั้งการแยกครีมทำที่อุณหภูมิ 55°C ทุกโรงงานควรออกแบบเครื่องแยกครีมให้มีอัตราการไหล ความดันในการป้อนน้ำมันดิบ และการปล่อยครีมและหางนมออกจากเครื่องคั่งที่ ขจัดอากาศออกจากระบบ ควรควบคุมอัตราการไหลด้วยปั๊มหรืออุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล

### 8.1.1.3 การปรับมาตรฐานไขมัน

ทำโดยวิธีเดียวกับการผลิตน้ำมันพร้อมดื่มโดยใช้ pearson's square

### 8.1.1.4 การให้ความร้อน

ทำได้หลายวิธีได้แก่

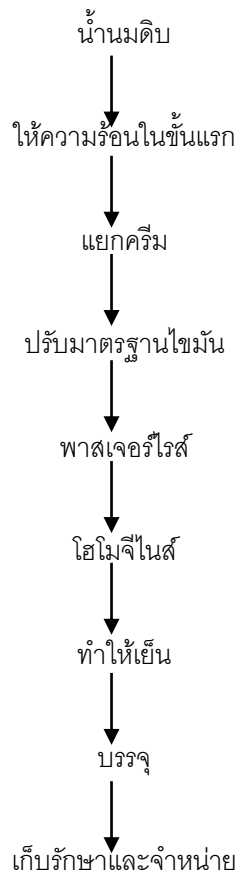
#### (1) การพาสเจอร์ไรส์

- การพาสเจอร์ไรส์แบบ Low Temperature Long Time (LTLT) ที่อุณหภูมิ 63°C 30 นาที ใช้ในโรงงานขนาดเล็ก ใช้อุปกรณ์ให้ความร้อน (heating vessel) ต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการกวนอย่างเหมาะสม และสามารถทำให้เย็นได้ในถังเดียวกัน เพื่อลดการปนเปื้อน

- การพาสเจอร์ไรส์แบบ High Temperature Short Time (HTSI) ที่อุณหภูมิ 72°C 15 นาที ใช้ในโรงงานขนาดใหญ่

#### (2) Extended heat treatment

วิธีนี้ใช้ในการผลิตครีมที่มีจำนวนแบคทีเรียต่ำมาก โดยจะให้ความร้อนแก่ครีมที่อุณหภูมิสูงกว่าปกติ แล้วบรรจุในสภาพปลอดเชื้อ อาจให้ความร้อนครั้งเดียว (single heat treatment) ที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 30-60 วินาที หรือให้ความร้อนสองครั้ง (double heat treatment) โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95-102°C เป็นเวลา 15-30 วินาที แล้วเก็บที่อุณหภูมิ 8°C 24 ชั่วโมง และให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 120-127°C เป็นเวลา 3 วินาที



รูปที่ 8.2 การผลิตครีมพาสเจอร์ไรส์

(3) การสเตอริไลส์แบบยูเอชที (UHT sterilization)

ทำโดยวิธีเดียวกับการผลิตน้ำนมพร้อมดื่ม ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ  $135^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 วินาที แนะนำว่าควรลดจำนวน endospore-forming bacteria ให้ได้อย่างน้อย 9D (9 Decimal reduction time) หรือ 9 log cycle

(4) การสเตอริไลส์ในภาชนะบรรจุ (In-container sterilization)

ทำโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ  $110-120^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 10-20 นาที ในกระป๋องโลหะขึ้นอยู่กับขนาดของกระป๋อง ครีมที่มีไขมันสูงมักมีปัญหา เนื่องจาก thermal conductivity ไม่ดี ไขมันแยกชั้นได้ง่ายระหว่างเก็บรักษา ในปี ค.ศ. 1995 กฎหมายได้กำหนดให้ต้องใช้อุณหภูมิอย่างต่ำ  $108^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลาอย่างน้อย 45 นาที [1]

### 8.1.1.5 การโฮโมจีไนส์ การบรรจุ และเก็บรักษา

ทำโดยวิธีเดียวกับการผลิตนํ้านมพร้อมดื่ม

## 8.1.2 กระบวนการผลิตเฉพาะสำหรับครีมชนิดต่างๆ

### 8.1.2.1 Half and Single cream

การโฮโมจีไนส์จำเป็นสำหรับการผลิต half cream และ single cream เพื่อให้ได้ครีมที่มีความหนืดเป็นที่ยอมรับ และเพื่อป้องกันการแยกตัวของไขมันออกจาก serum phase ควรใช้ความดันสูงในการโฮโมจีไนส์ สำหรับ single cream ปกติจะทำการโฮโมจีไนส์แบบขั้นตอนเดียว ที่ความดัน 25 Mpa ส่วน half cream จะใช้ความดันสูงถึง 30 Mpa เพื่อให้ได้ความหนืดตามต้องการ และทั้งสองกรณีทำที่อุณหภูมิ 55°C

### 8.1.2.2 Double cream

การโฮโมจีไนส์มักไม่จำเป็นสำหรับครีมชนิดนี้ ยกเว้นครีมที่ผ่านการสเตอริไลส์แบบยูเอชที อย่างไรก็ตามในการผลิตครีมที่มีความเข้มข้นมาก (extra-thick pasteurized cream) ซึ่งมีความหนืดสูงกว่าปกติ อาจทำการโฮโมจีไนส์ ควบคุมการทำให้เย็นหรือใช้ทั้งสองวิธีร่วมกัน

### 8.1.2.3 Whipping cream

คุณภาพของวิปปิงครีมขึ้นอยู่กับความสามารถในการเกิดโฟมโดยการเติมอากาศ ครีมชนิดนี้ไม่ควรผ่านการโฮโมจีไนส์ (ยกเว้นชนิดที่ผ่านการสเตอริไลส์แบบยูเอชที) เพราะอาจทำให้เยื่อหุ้มเม็ดไขมันเปลี่ยนแปลงทำให้คุณสมบัติในการขึ้นฟูด้วยอากาศ (whipping property) ต่ำลง การขนถ่ายต้องทำอย่างนุ่มนวลกว่าครีมชนิดอื่น ในการโฮโมจีไนส์ UHT sterilized whipping cream ต้องใช้ความดันต่ำมาก (3.5-7 Mpa) เพื่อป้องกันการแยกตัวของไขมันและการทำให้คุณสมบัติในการขึ้นฟูต่ำลง อาจทำการโฮโมจีไนส์แบบขั้นตอนเดียวหรือสองขั้นตอนก็ได้ เม็ดไขมันที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15-20 ไมโครเมตรจะให้คุณสมบัติในการขึ้นฟูด้วยอากาศเหมาะสม

ครีมที่มีไขมันสูงจะให้ whipping cream ที่มีความเสถียร แต่ถ้ามีไขมันสูงมากกว่าร้อยละ 40 คุณสมบัติด้านความเบาของครีมจะหายไป ครีมที่มีไขมันร้อยละ 38 จะให้ครีมที่มีคุณสมบัติในการขึ้นฟูเสถียรตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาที่ยาวนาน การตีครีมให้ขึ้นด้วยอากาศมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่อุณหภูมิต่ำ (2-5°C) เมื่อมีสัดส่วนของไขมันแข็งสูง ควรระมัดระวังขณะทำให้ครีมเย็นเพื่อหลีกเลี่ยงการ

เย็นอย่างยิ่งยวด (supercooling) ซึ่งจะเป็นผลให้เยื่อหุ้มเม็ดไขมันถูกทำลาย ปริมาตรของครีมที่เพิ่มขึ้นหลังตีให้ขึ้นฟู (overrun) คำนวณได้ดังนี้

$$\% \text{ overrun} = \frac{V_2 - V_1}{100}$$

เมื่อ  $V_1$  = ปริมาตรของครีมเริ่มต้น

$V_2$  = ปริมาตรของ whipping cream ที่ได้

เนยเทียม (margarine) เป็นอาหารที่มีไขมันสูงเช่นเดียวกัน ทั้งเนยและเนยเทียมมีไขมันอย่างน้อยร้อยละ 80 แต่เนยเทียมจะผสมด้วยไขมันจากแหล่งอื่นๆ ที่ไม่ใช่ไขมันนม เนื่องจากในสมัยก่อนเนยเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีราคาแพง จึงมีผู้พยายามผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นขึ้นมาเพื่อใช้แทนเนย ดังนั้นในปี ค.ศ. 1869 Meges Mouries นักเคมีชาวฝรั่งเศสจึงได้ผลิตเนยเทียมซึ่งมีรสชาติและลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายกับเนยแต่มีราคาถูกกว่า หลายปีมาแล้วที่เนยเทียมถูกพิจารณาว่าเป็นอาหารสำหรับกลุ่มคนผู้มีรายได้น้อย โดยเฉพาะในต่างประเทศ กลุ่มคนผู้มีรายได้น้อยจะไม่นิยมบริโภคเนยเทียม อย่างไรก็ตามสถานการณ์ในปัจจุบันได้เปลี่ยนไป ผู้บริโภคหันมาบริโภคเนยเทียมกันมากขึ้นเนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพเนยเทียมให้มีความสามารถในการแผ่ (spreadability) ได้ดีที่อุณหภูมิห้องและมีการปรับปรุงให้เนยเทียมมีปริมาณกรดไขมันชนิด polyunsaturated fatty acid สูงซึ่งจะเป็นผลดีต่อสุขภาพ

เนื่องจากเนยและเนยเทียมเป็นอาหารที่มีไขมันสูง จึงไม่เป็นที่ต้องการของกลุ่มคนบางกลุ่มที่ต้องการจำกัดอาหารที่ให้พลังงานสูง ดังนั้นกว่า 40 ปีที่ผ่านมาจึงมีการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบอื่น ๆ ซึ่งอาจใช้ไขมันพืชแทนไขมันนมหรือใช้ไขมันพืชผสมกับไขมันนมหรือใช้ไขมันนมทั้งหมด ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่ผลิตขึ้นมีปริมาณไขมันผันแปรตั้งแต่ร้อยละ 20-78 อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะมีผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบหลักอื่น ๆ เกิดขึ้นหลายชนิด แต่ก็ไม่มีผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ของไขมันนมเท่าใดนัก เนื่องจากปัจจุบันยังมีการใช้ไขมันนมเป็นส่วนผสมของอาหารกันมากซึ่งมีผลิตภัณฑ์หลายชนิดผลิตขึ้นโดยใช้ anhydrous milk fat และ fractionated milk fat เป็นส่วนผสม นอกจากนี้ยังใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น เช่น เนยคีนรูป เป็นต้น

## 8.2 เนย (butter)

เนย (butter) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากครีมหรือส่วนที่เป็นไขมันของนม การผลิตเนยนั้นทำกันมานานตั้งแต่ในศตวรรษที่ 14 แล้วโดยทำกันเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ในสมัยก่อนผลิตเนยจากครีมที่ปล่อยให้ทิ้งไว้ให้เปรี้ยวตามธรรมชาติ โดยใช้ครีมที่ลอยขึ้นที่ผิวหน้าของน้ำมนนำมาปั่นด้วยเครื่องปั่นเนย (butter churn) แบบมือหมุนซึ่งทำด้วยไม้ เนยที่ผลิตได้มีคุณภาพไม่ดีนักเนื่องจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ต่อมาเมื่อมนุษย์มีความรู้มากขึ้นจึงได้ทำการแยกครีมออกมาก่อนที่ครีมจะเปรี้ยวและนำครีมสด (sweet cream) ที่ได้มาผลิตเป็นเนยชนิด sweet cream butter สำหรับการผลิตเนยจากครีมเปรี้ยว นั้น ได้มีการพัฒนากรรมวิธีการผลิตเพื่อให้ได้เนยที่มีคุณภาพดีและสม่ำเสมอยิ่งขึ้นโดยนำครีมสดที่แยกได้มาเติมเชื้อจุลินทรีย์กรดแลคติกบ่มจนเปรี้ยวแล้วจึงนำไปผลิตเป็นเนยชนิด ripened cream butter และในปี ค.ศ. 1877 เมื่อมีการประดิษฐ์เครื่องแยกครีมขึ้นทำให้การแยกครีมออกจากหางนมเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงเป็นการสนับสนุนให้มีการผลิตเนยเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

เนยเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากไขมันนม นอกจากเนยจะประกอบด้วยไขมันนมแล้วยังประกอบด้วยของแข็งในนมไม่รวมไขมันและน้ำอีกบางส่วน บางครั้งอาจมีการเติมสารเจือปนอาหารลงไปด้วยหลายประเทศใช้มาตรฐานส่วนประกอบเนยตาม FAO/WHO ดังนี้คือ เนยจะต้องประกอบด้วยไขมันนมอย่างน้อยร้อยละ 80 ของของแข็งในนมไม่รวมไขมันไม่เกินร้อยละ 2 และน้ำไม่เกินร้อยละ 16 สำหรับสารเจือปนที่อนุญาตให้เติมลงในเนยได้คือ เกลือโซเดียมคลอไรด์ แบคทีเรียกรดแลคติก สีผสมอาหารและเกลือที่ใช้ทำให้ครีมมีสภาพเป็นกลางซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค สำหรับมาตรฐานส่วนประกอบเนยของไทยตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 30 (พ.ศ. 2522) ได้กล่าวไว้ว่า เนยจะต้องมีไขมันนมไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของน้ำหนัก มีของแข็งในนมไม่รวมไขมันไม่เกินร้อยละ 2 ของน้ำหนัก มีน้ำได้ไม่เกินร้อยละ 16 ของน้ำหนัก มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ได้ไม่เกินร้อยละ 4 ของน้ำหนักและจะต้องไม่มีกลิ่นหืนไม่มีวัตถุกันเสีย ไม่มีเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรครวมทั้งไม่มีสารเป็นพิษจากเชื้อจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ [3]

### 8.1.1 ชนิดของเนย

(1) เนยจากครีมสด (sweet cream butter) เป็นเนยที่ผลิตได้จากครีมที่ไม่ได้ผ่านการบ่มด้วยเชื้อจุลินทรีย์กรดแลคติก โดยนำครีมมาปั่นจนเม็ดไขมันรวมตัวกันและมีบัตเตอร์มิลค์ (butter milk) หรือหางเนย แยกออก นำเม็ดเนยที่ได้มาผ่านการล้าง นวดและเติมเกลือ

(2) เนยจากครีมเปรี้ยว (ripened cream butter) เป็นเนยที่ผลิตได้จากครีมที่ผ่านการเติมเชื้อจุลินทรีย์กรดแลคติกและบ่มไว้จนได้ที่ นำมาปั่นเช่นเดียวกับการผลิตเนยจากครีมสด แต่เนยจากครีมเปรี้ยวไม่นิยมเติมเกลือ ถ้าหากต้องการเติมเกลือจะเติมเพียงร้อยละ 0.5 เนยชนิดนี้นิยมรับประทานกันมากแถบประเทศฝรั่งเศส เดนมาร์ก และประเทศอื่น ๆ ในทวีปยุโรป

### 8.1.2 กรรมวิธีการผลิตเนย

ในสมัยก่อนการบริโภคเนยยังมีไม่มากนัก ส่วนใหญ่ใช้น้ำมันที่มีคุณภาพต่ำมาทำเนยและใช้น้ำมันที่มีคุณภาพดีทำผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ทำให้เนยที่ผลิตได้มีคุณภาพไม่ดี แต่ปัจจุบันความต้องการในการบริโภคเนยมีมากขึ้นจึงควรปรับปรุงคุณภาพของเนยให้มีคุณภาพดีและเก็บไว้ได้นาน ในการผลิตเนยที่มีคุณภาพดีนั้นควรเริ่มต้นจากน้ำมันที่มีคุณภาพดีเช่นกัน และมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์น้อยซึ่งโดยทั่วไปการผลิตเนยจะประกอบด้วยขั้นตอนพื้นฐานดังนี้

(ก) การเตรียมครีม โดยจะทำการแยกครีม พาสเจอร์ไรส์ ทำให้เย็นและอาจทำการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์หรือไม่ก็ได้แล้วแต่ชนิดของเนยที่ผลิต

(ข) การทำให้สภาพของอิมัลชันของน้ำมันในน้ำ (oil-in-water emulsion) ไม่คงตัวและแตกออก

(ค) การทำให้อนุภาคของไขมันมารวมตัวกัน

(ง) การสร้างอิมัลชันของน้ำในน้ำมัน (water-in-oil emulsion) ที่คงตัว

(จ) การบรรจุ

(ฉ) การเก็บรักษา

กรรมวิธีการผลิตเนยจะกล่าวโดยละเอียดดังต่อไปนี้

#### 8.1.2.1 การเตรียมครีม

ในขั้นแรกจะนำน้ำมัน (อุณหภูมิ 5°C) มาทำให้มีปริมาณไขมันเข้มข้นขึ้นโดยนำมาผ่านเข้าเครื่องแยกครีม ก่อนที่จะทำการแยกครีมควรทำให้น้ำมันมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 50-55°C เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลเปส สำหรับปริมาณไขมันที่เหมาะสมในครีม กรณีที่ผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง (batch process) ควรมีปริมาณไขมันร้อยละ 45-50 แต่ถ้าผลิตแบบต่อเนื่อง (continuous process) ควรมีปริมาณไขมันร้อยละ 38-42 [4] เมื่อแยกครีมได้แล้วไม่ว่าจะเป็นการผลิตแบบไม่ต่อเนื่องหรือแบบต่อเนื่องก็ตาม จะต้องทำการเตรียมครีมตามขั้นตอนดังนี้: ในกรณีที่ผลิตเนยจากครีมสด (sweet cream butter) จะทำให้ครีมมีสภาพเป็นกลาง พาสเจอร์ไรส์ครีม ขจัดกลิ่นแปลกปลอม ทำให้เย็น และคงไว้ที่อุณหภูมิหนึ่ง (holding) หรืออาจเรียกว่าการบ่มครีม (ageing) จากนั้นจึงส่งครีมเข้าสู่เครื่องปั่นเนย ส่วนการผลิต

เนยจากครีมเปรี้ยว (ripened cream butter) จะทำการเตรียมครีมเช่นเดียวกับการผลิตเนยจากครีมสด แต่ต่างกันเล็กน้อยคือเมื่อทำให้ครีมเย็นแล้วจะเติมจุลินทรีย์กรดแลคติกที่ใช้เป็นกล้าเชื้อลงไปแล้ว หมักไว้ที่อุณหภูมิเหมาะสมจนกระทั่งพร้อมที่จะส่งครีมเข้าสู่เครื่องปั่นเนย

### 8.1.2.2 การทำให้ครีมมีสภาพเป็นกลาง (neutralization)

การทำให้ครีมมีสภาพเป็นกลางมักกระทำเมื่อครีมที่เก็บไว้เกิดเปรี้ยวขึ้น เนื่องจากสภาพของการเก็บครีมเชื้ออำนวยการผลิตกรดแลคติกโดยเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในครีมนั้น ขั้นตอนนี้อาจไม่จำเป็นต้องกระทำถ้าหากมีการปฏิบัติอย่างถูกต้องตั้งแต่ในฟาร์มจนถึงโรงงาน และมีการให้ความเย็นน้ำนมอย่างสม่ำเสมอทำให้เกิดสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการสร้างกรดแลคติกโดยจุลินทรีย์ในนม สำหรับสารที่นิยมใช้ในการทำให้ครีมมีสภาพเป็นกลางได้แก่ โซเดียมไบคาร์บอเนต ( $\text{NaHCO}_3$ ) การทำให้ครีมมีสภาพเป็นกลางมีจุดประสงค์เพื่อลดความเป็นกรดของครีม มิฉะนั้นเมื่อผ่านการพาสเจอร์ไรส์ เคซีนจะจับตัวกันเป็นก้อนแข็ง ทำให้เกิดการอุดตันของเครื่องพาสเจอร์ไรส์ นอกจากนี้การทำให้ครีมมีสภาพเป็นกลางยังช่วยลดกลิ่นรสที่ไม่ต้องการและลดการสูญเสียไขมันไปกับบัตเตอร์มิลค์เมื่อนำครีมไปปั่นเป็นเนย [5, 6]

### 8.1.2.3 การพาสเจอร์ไรส์ครีม (pasteurization)

การพาสเจอร์ไรส์มีจุดประสงค์เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในครีม ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไลเปสและทำให้เกิดหมู่ซัลไฟดริล (sulphydryl group) จากการเสียสภาพของเวย์โปรตีนซึ่งหมู่ซัลไฟดริลนี้สามารถกระทำตัวเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) และสามารถเร่งการเจริญของกล้าเชื้อจุลินทรีย์ได้ การพาสเจอร์ไรส์ครีมจะทำโดยใช้แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (plate heat exchanger) ส่วนใหญ่ใช้ที่อุณหภูมิ 85-95°C เป็นเวลา 10-30 วินาที การใช้อุณหภูมิสูงเกินไปจะมีผลทำให้มีการเคลื่อนย้ายทองแดงจากซีรัมของครีมลงไปนมไขมันมีผลทำให้เกิดการหืนแบบออกซิเดทีฟ (oxidative rancidity) ได้ง่ายขึ้นซึ่งจะทำให้อายุการเก็บของเนยลดลง นอกจากนี้การใช้อุณหภูมิสูงเกินไปยังทำให้เกิดซัลไฟด์ที่ระเหยได้ (volatile sulphides) ทำให้เกิดกลิ่นนมต้ม (cooked flavor) ขึ้น [7]

### 8.1.2.4 การกำจัดกลิ่นที่ไม่พึงปรารถนา (deodorization)

กลิ่นที่ผิดปกติในครีม อาจเป็นกลิ่นที่เกิดจากจุลินทรีย์ที่เจริญในน้ำนม กลิ่นจากอาหารสัตว์ กลิ่นไม่สะอาดที่เกิดจากคอกวัว กลิ่นนมต้มและกลิ่นผิดปกติอื่น ๆ การกำจัดกลิ่นที่ไม่พึงปรารถนาเหล่านี้นิยมใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า vacreator ซึ่งจะผ่านครีมที่ร้อนลงไปในถังลดความดันทำให้สารที่ระเหยได้ถูกขจัดออกไปก่อนที่ครีมจะเย็น ระบบนี้สามารถขจัดกลิ่นผิดปกติในครีมได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้อาจ

ใช้ระบบนี้ร่วมกับการให้ความร้อนแก่ครีมแบบ direct steam injection แต่จะมีข้อเสียคือ แรงเหวี่ยงจะมีผลทำให้ขนาดของเม็ดไขมันลดลง และมีการสูญเสียไขมันไปกับแบตเตอรี่มีลค์มาก การใช้ระบบกำจัดกลิ่นนี้มีข้อควรระวังคือ แม้ว่าจะระบบนี้จะกำจัดกลิ่นผิดปกติได้ดี แต่ถ้าในครีมไม่มีกลิ่นผิดปกติใด ๆ กลิ่นที่ดีและเป็นที่น่าปรารถนาในครีมก็จะถูกกำจัดออกไปด้วย [2, 4]

#### 8.1.2.5 การทำให้เย็นและการบ่มครีม (Cooling and aging)

##### (ก) ครีมสดหรือครีมที่ไม่เติมเชื้อจุลินทรีย์กรดแลคติก (sweet cream)

หลังจากที่ครีมผ่านการพาสเจอร์ไรส์และกำจัดกลิ่นแล้วจะทำให้เย็นทันที ปกติการทำให้ครีมเย็นมักทำอย่างรวดเร็วในชุดอุปกรณ์พาสเจอร์ไรส์แบบใช้แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (plate pasteuriser) โดยทำให้อุณหภูมิของครีมลดลงเหลือ 3-5°C และบ่ม (ageing) หรือคงไว้ที่อุณหภูมิอย่างน้อย 4 ชั่วโมง (ส่วนใหญ่นิยมบ่มมากกว่า 4 ชั่วโมง) เพื่อให้ไขมันเกิดการตกผลึกและจัดเรียงตัวกันอย่างเหมาะสม ขั้นตอนนี้จึงมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเนยที่ผลิตได้ โดยเฉพาะคุณสมบัติด้านความสามารถในการแผ่ (spreadability) และลักษณะเนื้อสัมผัสของเนย [4]

สำหรับคุณสมบัติด้านความสามารถในการแผ่ของเนยนั้น สิ่งที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัตินี้ก็คือ อัตราส่วนของปริมาณไขมันแข็ง (solid fat) ต่อไขมันเหลว (liquid fat) ในครีม โดยทั่วไปครีมควรมีปริมาณไขมันแข็งประมาณร้อยละ 45 จึงจะเหมาะสมซึ่งปริมาณของไขมันแข็งจะสูงขึ้นเมื่อทำให้ครีมเย็นลงอย่างรวดเร็วหลังการพาสเจอร์ไรส์และกำจัดกลิ่น การที่เนยมีปริมาณไขมันแข็งสูงขึ้นเป็นผลมาจากการเกิดผลึกผสมของไขมันที่มีจุดหลอมเหลวในช่วงกลาง (0-20°C) และไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูง (20-40°C) ดังนั้นการทำให้ครีมเย็นลงอย่างรวดเร็วจึงเป็นข้อดีสำหรับครีมที่มีไขมันค่อนข้างอ่อนเช่น ครีมที่ได้จากน้ำนมในฤดูร้อน เนื่องจากจะทำให้บั้นง่ายและลดการแยกตัวของไขมันเหลว (oiling-off) แต่จะไม่เหมาะกับครีมที่มีไขมันที่ค่อนข้างแข็งอยู่แล้วเช่นครีมที่ได้จากน้ำนมในฤดูหนาว เนื่องจากจะทำให้ครีมมีปริมาณไขมันแข็งสูงยิ่งขึ้นเนยที่ได้จะมีความสามารถในการแผ่ที่ไม่ดี ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการปรับสภาพของครีม (tempering) เช่น การใช้ Alnarp process หรือ cold-warm-cold process กระบวนการนี้จะลดอุณหภูมิของครีมลงถึง 4°C เป็นเวลา 8 วินาที เพื่อปล่อยให้เกิดการตกผลึก จากนั้นให้ความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นอีกเป็น 18°C คงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้ไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงเกิดการตกผลึกอย่างช้าๆ และขั้นสุดท้ายทำให้เย็นลงถึงอุณหภูมิที่จะบั้นเนย การใช้ Alnarp process นี้จะช่วยปรับปรุงความอยู่ตัว (consistency) และความสามารถในการแผ่ของเนย เนื่องจากช่วยละลายไขมันแข็งบางส่วนทำให้เกิดการแยกออกของผลึกไขมันผสมเป็นผลให้มีไขมันเหลวสูงขึ้น ดังนั้นเนยที่ได้จะมีความอ่อนนุ่มและแผ่ได้มากขึ้น [5, 7]

จากที่ได้ทราบมาแล้วว่า ไตรกลีเซอไรด์ในครีมนั้นมีจุดหลอมเหลวต่างกัน ( $-40^{\circ}\text{C}$  ถึง  $+40^{\circ}\text{C}$ ) ดังนั้นเมื่อทำให้ครีมเย็นจึงเกิดผลึกไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่างกันซึ่งปกติมี 3 รูปแบบคือ  $\alpha$ ,  $\beta$  และ  $\beta'$  ผลึกไขมันรูป  $\alpha$  เป็นรูปที่มีความคงตัวน้อยที่สุดและมีจุดหลอมเหลวต่ำสุด ส่วนผลึกไขมันรูป  $\beta$  เป็นรูปที่มีความคงตัวมากที่สุด และมีจุดหลอมเหลวสูงสุด [8]

ในการบ่มครีมมักจะบ่มที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่จะปั่นเนย (บ่มที่  $3-5^{\circ}\text{C}$ ) โดยบ่มไว้ที่อุณหภูมินี้จนกระทั่งครบเวลาแล้วจึงเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่พร้อมจะปั่นเนย Murphy [4] ได้กล่าวว่าระยะเวลาในการบ่มครีม (holding time) มีความสำคัญต่อกระบวนการตกผลึกของไขมันยิ่งกว่าอัตราการทำให้เย็น (cooling rate) สมัยก่อนมักจะบ่มครีมทิ้งไว้ทั้งคืน แต่เมื่อวิทยาการก้าวหน้าขึ้นได้มีการทดลองเพื่อให้สามารถใช้เวลาในการบ่มสั้นลง แต่ตามหลักการแล้วไม่ควรบ่มน้อยกว่า 4 ชั่วโมง ทั้งนี้ก็เพื่อต้องการให้เกิดผลึกไขมันที่มีรูปแบบที่เหมาะสม เนื่องจากในระหว่างบ่มครีม ไขมันในครีมสามารถตกผลึกได้หลายรูปแบบ เกิดเป็นผลึกผสมทำให้มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นโดยผลึกไขมันในรูป  $\alpha$  จะเปลี่ยนรูปไปอย่างช้า ๆ เป็นรูป  $\beta$  หรือ  $\beta'$  ที่คงตัว

ในการบ่มครีมจะทำการบ่มในถังหรือไซโลที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกตั้งตรงดังรูปที่ 8.1 ซึ่งมีขนาดสำหรับทำความเย็นอยู่ที่ผนังรอบตัวถัง และมีใบพัดสำหรับกวนให้ครีมเข้ากันเป็นเนื้อเดียว ถังนี้อาจมีความจุตั้งแต่ 10 ถึง 20,000 ลิตร ใช้ในการบ่มครีมได้ทั้งครีมชนิดไม่เติมเชื้อและครีมชนิดเติมเชื้อ [9]

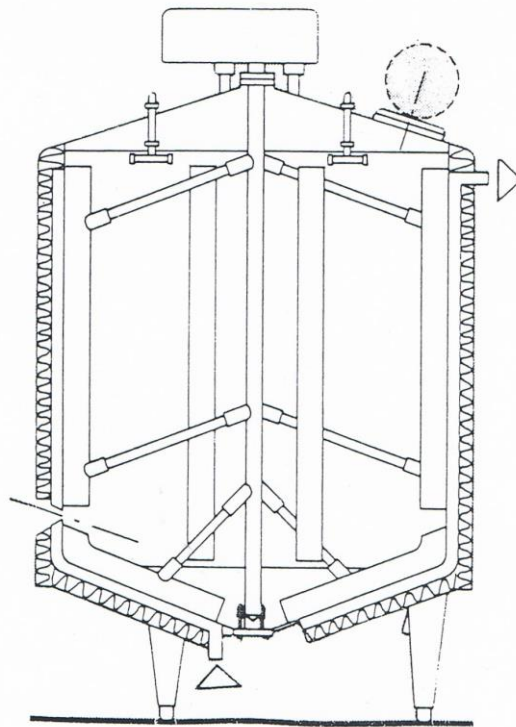
ถังบ่มครีมนี้ควรประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สามารถกวนได้อย่างทั่วถึง เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยที่เม็ดไขมันไม่ถูกทำลาย Pafreyman [10] ได้ค้นพบว่าการใช้ถังบ่มครีมที่มีใบพัดสำหรับกวนจะให้ผลดีที่สุด อย่างไรก็ตามควรหลีกเลี่ยงการกวนที่มากเกินไปเพื่อมิให้ครีมถูกเติมอากาศมากซึ่งในทางปฏิบัติจะทำการกวนเป็นระยะ ๆ

สำหรับการเพิ่มอุณหภูมิและการลดอุณหภูมิของครีมเมื่อใช้ Alnarp process นั้นสามารถกระทำได้ในถังบ่มครีมนี้โดยผ่านน้ำอุ่นหรือน้ำเย็นไปที่รอบ ๆ ถังหรืออาจใช้อีกวิธีหนึ่งคือบ่มครีมผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน แต่วิธีนี้ไม่เหมาะกับครีมที่เติมเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งมีความหนืดสูง [7]

### (ข) ครีมเปรี้ยวหรือครีมที่เติมเชื้อจุลินทรีย์กรดแลคติก (ripened cream)

หลังจากที่พาสเจอร์ไรส์ครีมและกำจัดกลิ่นแล้วจะทำให้ครีมเย็นถึงอุณหภูมิที่จะบ่ม โดยเติมจุลินทรีย์ผสมที่ใช้เป็นก้ำเชื้อลงไปร้อยละ 1-2 ทำการหมักไว้ที่อุณหภูมิ  $20^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 12-18 ชั่วโมง จุลินทรีย์ผสมที่ใช้ประกอบด้วยแบคทีเรียกรดแลคติกชนิดที่สร้างกรดและแบคทีเรียกรดแลคติกชนิดที่สร้างกลิ่นรส เชื้อแบคทีเรียชนิดที่สร้างกรดได้แก่ *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* และ *Lactococcus lactis* ssp. *cremoris* แบคทีเรียชนิดที่สร้างกลิ่นรสได้แก่ *Leuconostoc mesenteroides* spp. *cremoris* และ

*Lactococcus lactis* biovar. *diacetylactis* เมื่อการหมักดำเนินไปจนกระทั่งได้ระดับ pH ที่ต้องการ และมีปริมาณไดอะซีทิล (diacetyl) เพียงพอเช่น เมื่อได้ pH 5.1 จะมีไดอะซีทิลและสารให้กลิ่นรสอื่นเกิดขึ้นเล็กน้อย ถ้าต้องการให้มีสารให้กลิ่นรสมากขึ้นควรหมักจนถึง pH 4.6 จากนั้นจะหยุดการเจริญของกล้ำเชื้อจุลินทรีย์ โดยลดอุณหภูมิของครีมให้ต่ำกว่า  $10^{\circ}\text{C}$  หลังจากนั้นไขมันนมก็จะเริ่มตกผลึกในการทำให้อุณหภูมิของครีมลดลงนั้น ถ้าหากหมักในถังตามรูปที่ 8.3 จะทำให้ผนังของถังเย็นลงโดยอาศัยขดลวดอยู่ภายในหรือถ้าหากมีแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (plate heat exchanger) ก็จะทำให้ไขมันนมตกผลึกลงไปที่ผนังของแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนที่ลดอุณหภูมิลง [2, 9]



รูปที่ 8.3 ถังสำหรับบ่มครีม (Courtesy APV Pasilac AS, Denmark)

ในการผลิตเนยเพื่อให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีลักษณะเนื้อสัมผัสตามต้องการ ได้มีการนำเอา Alnarp process หรือ cold-warm-cold process มาใช้เพื่อปรับปรุงความแข็งของเนยชนิด ripened cream butter ฉะนั้นการทำให้เย็นหลังพาสเจอร์ไรส์ครีมจนกระทั่งพร้อมที่จะปั่นเนยจึงอาจทำได้ตามวิธีที่แตกต่างกันขึ้นกับลักษณะเนื้อสัมผัสของเนยที่ต้องการ [4] ซึ่งทำได้ดังนี้

### การผลิตเนยที่มีลักษณะเนื้อค่อนข้างแข็ง (hard butter)

(1) ลดอุณหภูมิของครีมลงเหลือ  $19^{\circ}\text{C}$  หลังการพาสเจอร์ไรส์ จากนั้นเติมกล้ำเชื้อจุลินทรีย์ ทำการหมักที่อุณหภูมิ  $19^{\circ}\text{C}$  จนกระทั่ง pH ลดลงเหลือ 5.2

(2) ทำให้เย็นถึงอุณหภูมิ  $14-16^{\circ}\text{C}$  และคงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

(3) ทำให้เย็นถึงอุณหภูมิที่จะปั่น

การผลิตเนยที่มีลักษณะอ่อน (soft butter)

(1) ลดอุณหภูมิของครีมลงเหลือ  $6-8^{\circ}\text{C}$  หลังการพาสเจอร์ไรส์ จากนั้นเติมกล้ำเชื้อจุลินทรีย์ และคงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมงเพื่อให้เกิดโครงร่างตาข่ายของผลึกไขมัน (fat crystal network)

(2) ทำให้ครีมมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างช้า ๆ จนถึงอุณหภูมิ  $19^{\circ}\text{C}$  เพื่อที่จะละลายผลึกไขมันขนาดเล็กและทำให้เกิดการสร้างโครงร่างตาข่ายของผลึกไขมันขนาดใหญ่ ทำการบ่มไว้ที่อุณหภูมิ  $19^{\circ}\text{C}$  จนกระทั่ง pH ลดลงเหลือ 4.9

(3) ทำให้เย็นถึง  $15^{\circ}\text{C}$  และคงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

(4) ลดอุณหภูมิลงถึงอุณหภูมิที่จะปั่น

### 8.1.2.6 การส่งครีมเข้าสู่เครื่องปั่นเนย

หลังจากที่บ่มครีมจนครบกำหนดแล้ว ก่อนที่จะส่งครีมเข้าสู่เครื่องปั่นเนยควรปรับอุณหภูมิของครีมเพื่อให้เหมาะสมที่จะปั่นโดยการผ่านครีมไปยังแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน อุณหภูมิของครีมและแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนควรต่างกันเพียงเล็กน้อย ( $1-2^{\circ}\text{C}$ ) เพื่อป้องกันครีมได้รับความร้อนมากเกินไปจนเกิดการไหม้ ในการผลิตเนยแบบไม่ต่อเนื่องอุณหภูมิของครีมที่เหมาะสมต่อการปั่นเนยไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณไขมันของครีม แต่อาจผันแปรขึ้นอยู่กับความแข็งของไขมันนม pH ของครีม ขนาดและรูปแบบของเครื่องปั่นเนยและสิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงคือ ปริมาณไขมันที่สูญเสียไปกับแบตเตอรี่มิลค์ควรจะน้อยที่สุด ซึ่งโดยทั่วไปครีมควรมีอุณหภูมิ  $9-13^{\circ}\text{C}$  ก่อนปั่น สำหรับการผลิตเนยแบบต่อเนื่องนั้นจะแตกต่างกับแบบไม่ต่อเนื่องคือ อุณหภูมิของครีมที่เหมาะสมต่อการปั่นเนยจะขึ้นอยู่กับปริมาณไขมันของครีมด้วย อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปั่นเนยโดยประมาณ สามารถคำนวณได้ตามสูตรดังนี้ [2]

$$\text{อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปั่นเนยในฤดูร้อน } (^{\circ}\text{C}) = (56 - \text{ปริมาณไขมันของครีม}) / 2$$

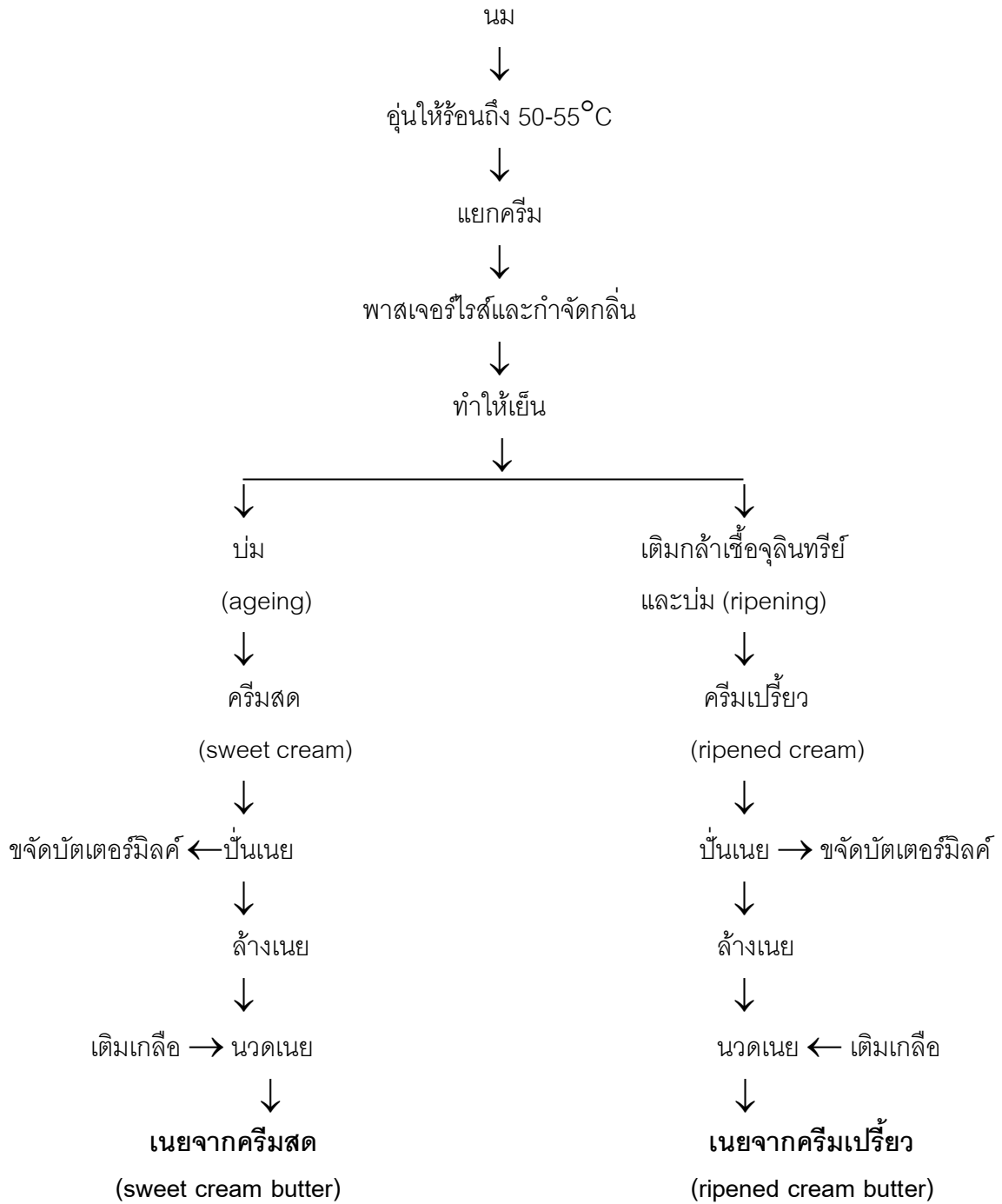
อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปั่นเนยในฤดูหนาว ( $^{\circ}\text{C}$ ) = (58-ปริมาณไขมันของครีม)/2

เมื่อปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมต่อการปั่นเนยเรียบร้อยแล้วจะส่งครีมไปตามท่อโดยใช้ปั๊มช่วย ถ้าเป็นครีมสดควรให้มีอัตราการไหลประมาณ 0.2-0.4 เมตรต่อวินาที ส่วนครีมเปรี้ยว ควรให้มีอัตราการไหลต่ำกว่า เนื่องจากครีมมีความข้นหนืดสูง ฉะนั้นในการผลิตเนยแบบต่อเนื่อง อัตราการไหลของครีมที่คงที่จึงเป็นสิ่งสำคัญในการรักษาสภาพต่าง ๆ ในการปั่นเนยไว้ให้คงที่ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่สำคัญอื่น ๆ ได้แก่ ส่วนประกอบทางเคมีของครีม (ค่า pH และปริมาณไขมัน) คุณลักษณะทางกายภาพของครีม (ความหนืดและการตกผลึกของไขมัน) และอุณหภูมิของครีม สิ่งเหล่านี้ควรสม่ำเสมอซึ่งจะส่งผลให้ได้เนยที่มีคุณภาพดี [9]

ในการผลิตเนย จะมีการเปลี่ยนสภาพจากอิมัลชันที่มีตัวกลางเป็นน้ำและอนุภาคคอลลอยด์เป็นน้ำมัน (oil-in-water emulsion) เป็นอิมัลชันที่มีตัวกลางเป็นน้ำมันและอนุภาคคอลลอยด์เป็นน้ำ (water-in-oil emulsion) ขั้นตอนนี้จะทำในอุปกรณ์ที่เรียกว่า เครื่องปั่นเนย (butter churn) จากนั้นจะแยกส่วนที่เป็นไขมัน (เม็ดยเนย) ออกจากบัตเตอร์มิลค์ ทำการล้างเม็ดยเนย นวดและเติมเกลือ กรรมวิธีการผลิตเนยจากครีมสดและเนยจากครีมเปรี้ยวแสดงดังรูปที่ 8.4 โดยอาจผลิตในเครื่องปั่นเนยซึ่งมี 2 ชนิด คือ ชนิดไม่ต่อเนื่องและชนิดต่อเนื่อง

#### (ก) การผลิตเนยแบบไม่ต่อเนื่อง (conventional batch butter making)

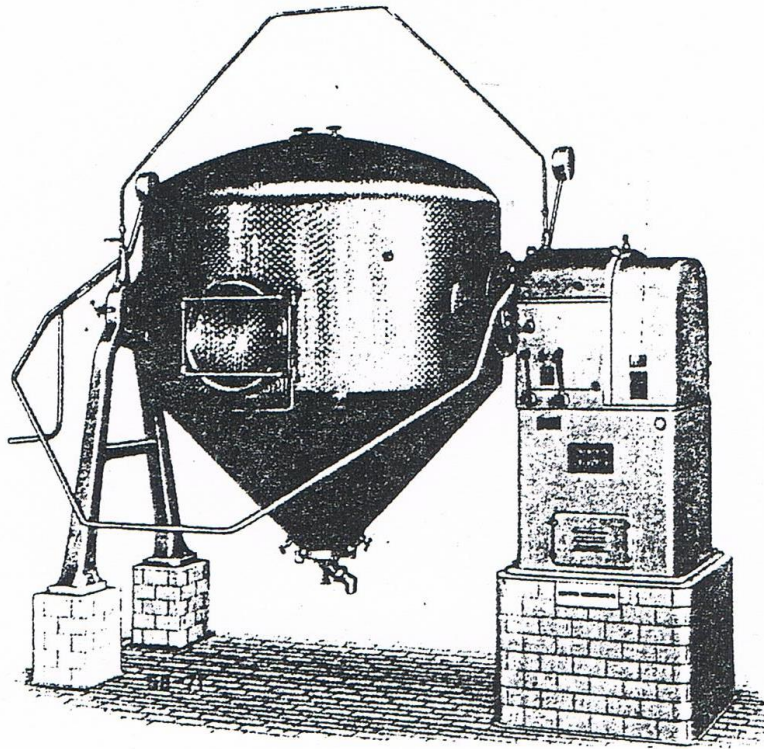
การผลิตเนยในสมัยก่อนใช้เครื่องปั่นเนยแบบไม่ต่อเนื่อง (batch churn) เริ่มแรกทำด้วยไม้ มีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดใหญ่วางตามแนวนอนและมีลูกกลิ้ง 1 คู่ สำหรับนวดเนย แต่เครื่องปั่นเนยที่ทำด้วยไม้นั้นทำความสะอาดยาก ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาเครื่องปั่นเนยเป็นชนิดที่ทำด้วยโลหะ ปลอดภัย แต่ไม่มีลูกกลิ้งและเพื่อที่จะให้ง่ายต่อการนวดเนยจึงออกแบบให้มีรูปร่างที่แตกต่างไปจากเดิม จะเห็นได้ดังรูปที่ 8.5 เครื่องปั่นเนยชนิดนี้มีความจุประมาณ 250-2,500 กิโลกรัม ปริมาณครีมที่เติมลงไป ในเครื่องปั่นเนย ไม่ควรมากเกินไป ปกตินิยมเติมครีมประมาณร้อยละ 40-50 ของความจุของเครื่องปั่นเนย ภายในเครื่องปั่นเนยแบบนี้มีใบพัดที่สามารถปรับความเร็วรอบได้ เมื่อเปิดเครื่อง ใบพัดจะหมุนทำให้ครีมถูกยกขึ้นจากผนังที่ลาดเอียงแล้วตกไปสู่ฐาน [2, 6]



รูปที่ 8.4 กรรรมวิธีการผลิตเนยจากครีมสดและเนยจากครีมเปรี้ยว

### การปั่นเนย (churning)

เมื่อครีมเข้าสู่เครื่องปั่นเนยแล้ว ชั้นแรกจะทำการกวาดครีมอย่างรวดเร็วจนเกิดเป็นโฟมของครีม (cream foam) ในขณะนี้ครีมจะมีฟองอากาศเล็ก ๆ ซึ่งถูกล้อมรอบด้วยฟิล์มบาง ๆ ของของเหลวพร้อมกับเม็ดไขมันเกาะอยู่ที่ผิว ปริมาตรของครีมจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอาจเพิ่มถึงร้อยละ 190 ของปริมาตรเดิม เมื่อปั่นต่อไปฟองอากาศในครีมจะลดขนาดลงและมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ขณะเดียวกันเม็ดไขมันแตกออก ไขมันเหลวที่อยู่ในเม็ดไขมันจะทำหน้าที่เป็นสารยึดเกาะให้เม็ดไขมันมารวมกันเกิดเป็นเม็ดเนยขึ้นพร้อมกับมีบัตเตอร์มิลค์แยกออกมา เมื่อปั่นต่อไปอีกเม็ดเนยก็จะมารวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้นแล้วจึงระบายบัตเตอร์มิลค์ออกไปจากเครื่องปั่นเนย [5] การปั่นเนยโดยใช้เครื่องปั่นเนยชนิดไม่ต่อเนื่องนี้จะใช้เวลาประมาณ 30-45 นาที เมื่อสิ้นสุดการปั่น เม็ดเนยจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3-5 มิลลิเมตร ถ้าใช้ความเร็วในการปั่นต่ำเกินไป เม็ดไขมันเล็กๆ ในครีมจะแยกออกเป็นเนยได้ไม่สมบูรณ์และก้อนเนยที่เกิดขึ้นจะมีบัตเตอร์มิลค์อยู่ภายในมากทำให้ยากต่อการกวาด [6]



รูปที่ 8.5 เครื่องปั่นเนยแบบไม่ต่อเนื่อง (courtesy: Pasila AS.)

### 8.1.2.7 การล้างเนย (washing)

เมื่อปั่นเนยจนได้เม็ดเนยที่มีขนาดตามต้องการและระบายบัตเตอร์มิลค์ออกไปแล้ว ในเม็ดเนยยังคงมีโปรตีนนมและบัตเตอร์มิลค์บางส่วนเหลืออยู่จึงต้องล้างเนยด้วยน้ำที่สะอาดเพื่อขจัดบัตเตอร์มิลค์ออกให้หมด ซึ่งจะทำให้เนยมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นและมีคุณภาพดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยกำจัดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ การล้างเนยในกระบวนการผลิตเนยแบบไม่ต่อเนื่องนี้จะล้าง 2 ครั้ง ครั้งแรกจะล้างทันทีที่เม็ดเนยและบัตเตอร์มิลค์แยกออก โดยเติมน้ำที่สะอาดลงไปผสมกับเนยในเครื่องปั่น แล้วเปิดเครื่องให้หมุนอีกหลายๆ ครั้งจึงระบายน้ำล้างและบัตเตอร์มิลค์ทิ้งไป ครั้งที่สองเติมน้ำประมาณร้อยละ 10 ของปริมาณครีมเริ่มต้นโดยทำเช่นเดียวกัน น้ำที่ใช้ล้างควรเป็นน้ำเย็นเพื่อช่วยให้เนยมีความแข็งมากขึ้น [6]

### 8.1.2.8 การนวดเนย (working)

หลังจากที่ได้ระบายบัตเตอร์มิลค์และน้ำล้างออกไปแล้วจะนำก้อนเนยที่ได้มานวด จุดประสงค์ของการนวดเนยก็เพื่อให้เม็ดเนยที่แยกกันมารวมกันเป็นเนื้อเดียว และเพื่อขจัดบัตเตอร์มิลค์และน้ำที่อาจเหลืออยู่จะได้มีปริมาณน้ำไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดคือ ไม่เกินร้อยละ 16 และเพื่อให้หยดน้ำที่มีอยู่กระจายไปทั่วก้อนเนยโดยมีขนาดของหยดน้ำเล็กที่สุด ในการผลิตเนยแบบไม่ต่อเนื่องนั้น อุปกรณ์ที่ใช้ นวดเนยอาจอยู่ภายในเครื่องปั่นเนยหรือแยกออกจากเครื่องปั่นเนยก็ได้แล้วแต่การออกแบบ เกลีสจะถูกเติมลงไปในช่วงตอนนี้ [6] เกลีสที่ใช้จะต้องมีความบริสุทธิ์สูงโดยต้องมีตะกั่วไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีเหล็กไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีทองแดงไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเติมเกลีสลงในเนยระหว่างการนวด เกลีสจะค่อยๆ ละลายในน้ำที่กระจายอยู่ในเนย ถ้าสิ้นสุดการนวดแล้วเกลีสยังละลายไม่หมด เกลีสจะดึงน้ำเข้ามารอบๆ เพื่อละลายต่อทำให้เนยบริเวณรอบๆ จุดที่เกลีสละลายนี้มีปริมาณน้ำต่ำลงและมีสีเข้มจนเกิดเป็นจุดดำ ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้เกลีสที่มีเม็ดเล็กละเอียด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ไมโครเมตร เพื่อให้เกลีสละลายหมดก่อนที่จะสิ้นสุดการนวด สำหรับปริมาณของเกลีสที่เติม กรณีเนยจากครีมสดจะเติมไม่เกินร้อยละ 2 ส่วนเนยจากครีมเปรี้ยวมักไม่นิยมเติมเกลีส แต่ถ้าเติมจะเติมเพียงร้อยละ 0.5 การเติมเกลีสนอกจากจะช่วยเพิ่มรสชาติแล้วยังช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทำให้เนยมีอายุการเก็บรักษานานขึ้นอีกด้วย [2, 5]

### (ข) การผลิตแบบต่อเนื่อง (continuous butter making)

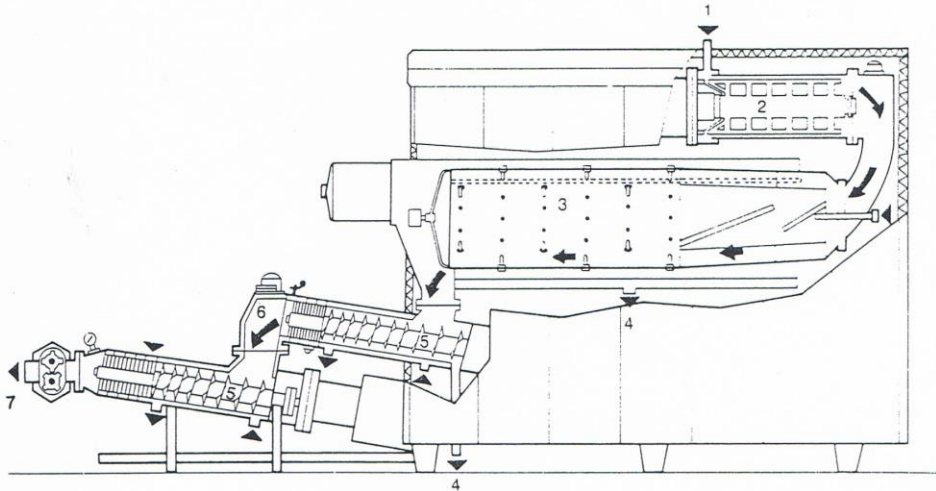
เครื่องผลิตเนยแบบต่อเนื่อง ได้ถูกพัฒนาขึ้นระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 และหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยแบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

(1) Fritz process หรือ Accelerated churning เป็นเครื่องผลิตเนยแบบต่อเนื่องที่ทันสมัย สามารถผลิตได้อย่างรวดเร็ว ระบบนี้มีการใช้ใบพัดสำหรับตีครีม (high speed beaters) ทำให้เกิดเม็ดเนยขึ้น จากนั้นจะระบายบัตเตอร์มิลค์ออก เนยที่ได้จะถูกนำไปล้างและนวดต่อไป

(2) Phase inversion ระบบนี้มีการทำให้ครีมซึ่งมีปริมาณไขมันร้อยละ 30-40 เข้มข้นขึ้นจนได้ครีมที่มีปริมาณไขมันร้อยละ 80-82 จากนั้นครีมที่เข้มข้นนี้จะถูกเปลี่ยนสภาพจากอิมัลชันของน้ำมันในน้ำไปเป็นอิมัลชันของน้ำในน้ำมัน

(3) Emulsification process เป็นระบบที่ใช้ครีมที่มีปริมาณไขมันร้อยละ 30-40 และมีการทำให้อิมัลชันแตกออกก่อนที่จะปรับความเข้มข้นของไขมัน น้ำ และเกลือ จากนั้นจะทำให้เป็นอิมัลชันอีกครั้ง แล้วทำให้เย็นและนวดต่อไป

ปัจจุบันการผลิตเนยแบบต่อเนื่องนิยมใช้ Fritz process กันมาก ผู้ผลิตเครื่องผลิตเนยชนิดนี้มีหลายบริษัทซึ่งการออกแบบอาจแตกต่างกันไปบ้าง แต่มีหลักในการทำงานคล้ายกัน เครื่องผลิตเนยแบบต่อเนื่องชนิด Fritz ที่ผลิตจากหลายบริษัท มีส่วนประกอบพื้นฐานได้แก่ บั๊มสำหรับส่งครีม (cream feed pump) ส่วนที่ใช้ปั่นเนย (high speed churning section) ซึ่งประกอบด้วยใบพัดหมุนด้วยความเร็วสูง ส่วนที่ทำการแยกบัตเตอร์มิลค์ออกจากเม็ดเนย (separating section) ส่วนที่มีสภาพเป็นสุญญากาศ (vacuum section) ส่วนที่ทำการนวดเนย (working section) เติมนเกลือ (salting) และบัตเตอร์ปั๊ม (butter pump) เครื่องผลิตเนยแบบต่อเนื่องแสดงดังรูปที่ 8.6



รูปที่ 8.6 เครื่องผลิตเนยแบบต่อเนื่อง (APV pasilac ของเดนมาร์ก) :

1. ครีมเข้า 2. บั๊มเนย 3. แยกบัตเตอร์มิลค์ออกจากเม็ดเนย 4. บัตเตอร์มิลค์ออก
5. นวดเนย 6. ส่วนที่มีสภาพเป็นสุญญากาศ 7. บัตเตอร์ปั๊ม

ในการผลิตเนยแบบต่อเนื่องจะทำการปั๊มครีมมายังเครื่องผลิตเนยต่อเนื่องดังรูปที่ 8.4 โดยผ่านถังรักษาระดับ (balance tank) ซึ่งจะมีการควบคุมอัตราการไหล ปริมาณไขมัน pH และอุณหภูมิของครีมให้คงที่ อุณหภูมิของครีมควรอยู่ในช่วง 9-13°C เพื่อส่งเสริมให้มีการแตกของอิมัลชันของน้ำมันในน้ำได้ดี และทำให้มีปริมาณไขมันเหลว (liquid fat) ประมาณร้อยละ 50 ภายในเม็ดไขมัน ในการผลิตเริ่มต้นโดยครีมจะถูกส่งเข้ามายังเครื่องผลิตเนยทางด้านบนสุด ซึ่งเป็นส่วนที่ทำการปั่นขั้นแรก (primary churning section) ในส่วนนี้จะมีลักษณะเป็นทรงกระบอก ภายในมีใบพัดสำหรับตีครีม (rotating multiblade dasher) ที่สามารถหมุนได้ด้วยความเร็วสูงโดยจะใช้อัตราการหมุนประมาณ 1000 รอบต่อนาที ใบพัดที่หมุนด้วยความเร็วสูงนี้จะให้อากาศในครีมซึ่งจะทำให้เม็ดไขมันแตกภายในเวลา 1-2 วินาที และที่ผนังรอบ ๆ ส่วนที่ทำการปั่นจะมีน้ำเย็นหล่อเพื่อระบายความร้อน ในส่วนนี้ถ้าหากใช้อัตราการหมุนของใบพัดสูงเกินไปจะได้เม็ดเนยที่ใหญ่และมีแบตเตอรี่มิลค์ถูกกักอยู่ภายในเม็ดเนยมากทำให้ขจัดแบตเตอรี่มิลค์ออกได้ยาก แต่ถ้าใช้อัตราการหมุนของใบพัดต่ำเกินไปจะทำให้การแยกของเม็ดเนยและแบตเตอรี่มิลค์ไม่ดีพอ เม็ดเนยที่ได้จะมีขนาดเล็กเกินไปและมีการสูญเสียไขมันไปกับแบตเตอรี่มิลค์มาก เมื่อใบพัดตีครีมจนกระทั่งเม็ดไขมันแตกและมีแบตเตอรี่มิลค์แยกออกมาแล้ว ส่วนผสมของเม็ดเนยและแบตเตอรี่มิลค์จะผ่านไปสู่ส่วนที่ทำการปั่นที่สอง (secondary churning section) หรืออาจเรียกว่าส่วนที่ทำการแยกแบตเตอรี่มิลค์ออกจากเม็ดเนย ในส่วนนี้ประกอบด้วย (perforated drum) ซึ่งเป็นทรงกระบอกโลหะมีรูโดยรอบ หมุนด้วยอัตราการหมุน 35 รอบต่อนาที เม็ดเนยจะถูกกวาดต่อจากชั้นแรก และสุดท้ายก็จะผ่านตะแกรงละเอียด (fine mesh screen) ทำให้มีการปรับขนาดของเม็ดเนยและมีการขจัดแบตเตอรี่มิลค์ออกได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยให้มีการสูญเสียไขมันน้อยที่สุด จากนั้นเม็ดเนยจะถูกส่งผ่านไปยังส่วนที่ทำการนวดเนย (working section) ซึ่งมีลักษณะลาดเอียงภายในมีอุปกรณ์คล้ายเกลียวสว่าน (augers) หมุนได้ โดยจะบังคับให้เม็ดเนยผ่านแผ่นโลหะที่มีรู (perforated plate) ชุดที่หนึ่ง และผ่านไปยังส่วนที่มีสภาพเป็นสุญญากาศ (vacuum section) เพื่อลดปริมาณน้ำในเนย ตามด้วยการให้เนยผ่านแผ่นโลหะชุดที่สองในส่วนที่ทำการนวด ในขั้นตอนนี้แบตเตอรี่มิลค์ที่อยู่ภายในก้อนเนยจะถูกบีบออกมา และทำให้หยดน้ำเล็ก ๆ กระจายไปทั่วก้อนเนย เกิดสภาพของอิมัลชันของน้ำในน้ำมัน ในขั้นตอนการนวดช่วงหลังจะเติมเกลือลงไปซึ่งจะเติมในรูปของสารละลาย และเพื่อที่จะให้ส่วนประกอบของเนยได้มาตรฐาน ซึ่งหลายประเทศได้กำหนดว่าเนยจะมีปริมาณเกลือได้สูงสุดร้อยละ 2 และมีปริมาณน้ำได้ไม่เกินร้อยละ 16 ดังนั้นก่อนที่จะเติมสารละลายเกลือจะต้องทำให้เนยมีปริมาณน้ำน้อยที่สุด ซึ่งสารละลายเกลือที่ใช้จะต้องเข้มข้นประมาณร้อยละ 50 เพื่อที่จะได้เติมลงไปเพียงเล็กน้อย โดยทำให้เนยมีปริมาณเกลือไม่เกิน 2% และมีปริมาณน้ำไม่เกินร้อยละ 16 สำหรับการล้างในกระบวนการผลิตเนยแบบต่อเนื่องนี้อาจไม่จำเป็น

ต้องกระทำถ้าหากในกระบวนการผลิตมีสุขภาพลักษณะที่ดีตั้งแต่ต้น นอกจากนี้การไม่ล้างเนยยังช่วยลดการปนเปื้อนของแบคทีเรียที่อาจติดมากับน้ำ ทำให้เนยมีอายุการเก็บนานขึ้นและทำให้กลิ่นรสที่ดีไม่สูญเสียไปกับน้ำที่ใช้ล้าง [4, 5, 11]

#### 8.1.2.9 การบรรจุ

ในโรงงานขนาดเล็กที่ผลิตเนยแบบไม่ต่อเนื่อง จะขนถ่ายเนยใส่รตรางเล็ก ๆ หลังจากออกจากเครื่องปั่นเนยเพื่อนำไปยังแผนกบรรจุ การกระทำแบบนี้จะใช้แรงงานมาก และถ้าไม่ควบคุมให้ดี เนยอาจปนเปื้อนโดยจุลินทรีย์ได้ง่าย แต่ถ้าเป็นโรงงานใหญ่ที่ผลิตแบบต่อเนื่อง เนยที่ได้จะถูกปั๊มไปเก็บในถังเก็บเนย (butter silo) แล้วจึงปั๊มเนยไปยังแผนกบรรจุ [9] เนยที่ผลิตได้ควรมีปริมาณอากาศต่ำเพื่อที่จะสามารถควบคุมน้ำหนักของเนยได้ในกรณีที่ใช้เครื่องบรรจุแบบวัดปริมาตร (volumetric packing machines) สำหรับวัสดุที่บรรจุนั้นควรป้องกันแสง ความชื้นและป้องกันการปนเปื้อนโดยจุลินทรีย์ได้ วัสดุที่อาจใช้เป็นภาชนะบรรจุได้แก่ โพลีเอทิลีน อลูมิเนียมฟอยด์หรือวัสดุหลายชนิดประกบกันซึ่งมีชั้นของอลูมิเนียมฟอยด์อยู่ด้วย [7, 9]

#### 8.1.2.10 การเก็บรักษา

เนยที่บรรจุเรียบร้อยแล้วจะถูกนำมาเก็บในห้องเย็น ซึ่งการที่จะเก็บเนยไว้ได้นานเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเนย คุณภาพและอุณหภูมิของการเก็บรักษา เนยที่มีคุณภาพต่ำจะเก็บได้เพียง 2-3 วัน ที่อุณหภูมิ 20°C และเก็บได้ 2-3 เดือน ที่อุณหภูมิ -25°C ส่วนเนยที่มีคุณภาพดีเช่น เนย จากครีมสดชนิดเต็มเกลือจะเก็บได้หลายสัปดาห์ที่อุณหภูมิ 20°C และเก็บได้หลายปีที่อุณหภูมิ -25°C แต่อย่างไรก็ตามเนยที่มีคุณภาพดีจะสูญเสียกลิ่นรสไปในระหว่างการเก็บรักษาแม้ว่าจะเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ [4]

### 8.1.3 การผลิตเนยที่มีกลิ่นรสเหมือนเนยจากครีมเปรี้ยวโดยใช้กรรมวิธีอื่น

ในการผลิตเนยที่มีการเติมเชื้อจุลินทรีย์กรดแลคติกนั้น มักก่อให้เกิดปัญหาหลายประการได้แก่ ประการแรกทองแดงจะเคลื่อนย้ายจากแบตเตอรี่มิลค์เข้าไปอยู่ในเมดไขมันทำให้มีแนวโน้มที่จะเกิดการหืนแบบออกซิเดทีฟได้ง่าย ประการที่สอง แบตเตอรี่มิลค์จากครีมเปรี้ยวมีการนำไปใช้ประโยชน์น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่มิลค์จากครีมสด ดังนั้นจึงก่อให้เกิดปัญหาในการกำจัด ประการที่สาม ครีมเปรี้ยวมีความหนืดสูง ยากต่อการขนถ่าย และประการสุดท้าย เนยที่ได้จะมีปริมาณกรดไขมันอิสระและไขมันที่ละลายได้ค่อนข้างสูงซึ่งจะทำให้เกิดกลิ่นหืนและกลิ่นผิดปกติอื่นๆ ได้ง่าย ฉะนั้นเพื่อที่จะแก้ปัญหา

ต่างๆ เหล่านี้จึงได้มีการพัฒนากรรมวิธีการผลิตเนยขึ้นใหม่เพื่อให้ได้เนยที่มีกลิ่นรสเหมือนกับเนยที่มีการเติมจุลินทรีย์กรดแลคติก วิธีการที่รู้จักกันดีคือ วิธีการที่พัฒนาขึ้นโดย The Netherlands Dairy Research Institute (NIZO) วิธีการนี้จะทำการเติมจุลินทรีย์กรดแลคติกที่เป็นกล้าเชื้อและสารละลายเข้มข้นที่มีกรดแลคติกรวมทั้งสารให้กลิ่นรสอื่น ๆ ที่ผลิตได้จากจุลินทรีย์กรดแลคติกลงในเนยที่ผลิตจากครีมสดซึ่งผ่านกรรมวิธีการผลิตตามปกติโดยจะเติมลงไปในช่วงการนวดเนย วิธีนี้เรียกว่า NIZO process

จุลินทรีย์กรดแลคติกที่ใช้เป็นกล้าเชื้อในการผลิตเนยวิธีนี้เป็นจุลินทรีย์ผสมของ *Lactococcus lactis* biovar. *diacetylactis* และ *Leuconostoc mesenteroides* ssp. *cremoris* โดยใช้ปริมาณเชื้อร้อยละ 2 การเติมกล้าเชื้อจุลินทรีย์อย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะลด pH ของเนยให้ต่ำกว่า 5.3 ได้ ดังนั้นจึงต้องใช้ร่วมกับสารละลายเข้มข้นที่ได้จากการหมักเวย์ด้วยเชื้อ *Lactobacillus helveticus* เวย์ที่หมักได้นี้จะทำให้เข้มข้นโดยผ่านอัลตราฟิวเดชัน ทำให้ได้สารละลายเข้มข้นที่มีปริมาณกรดแลคติกร้อยละ 11 การใช้สารละลายเข้มข้นนี้ร้อยละ 0.7 ร่วมกับกล้าเชื้อจุลินทรีย์ร้อยละ 2 นั้นเพียงพอที่จะลด pH ของเนยให้ต่ำกว่า 5.3 ได้ [7, 9]

## 8.2 เนยคีนรูป (recombine butter)

ปัจจุบันในหลาย ๆ ประเทศมีความต้องการเนยเพิ่มขึ้น แต่น้ำมันที่ผลิตได้ภายในประเทศมีไม่เพียงพอที่จะผลิตเนย ดังนั้นจึงต้องนำวิธีการผลิตเนยคีนรูปมาใช้ วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตเนยคีนรูปได้แก่

### 8.2.1 ส่วนผสมของเนยคีนรูป

(1) anhydrous milk fat หรืออาจเรียกว่า anhydrous butter oil เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันหรือครีมหรือเนยที่ผ่านการขจัดเอาน้ำและของแข็งในนมไม่รวมไขมันออกหมดจนเกือบสมบูรณ์ ตามมาตรฐานของ The International Dairy Federation (IDF) ได้กำหนดไว้ว่า anhydrous milk fat จะต้องประกอบด้วยไขมันนมอย่างน้อยร้อยละ 99.8 น้ำไม่เกินร้อยละ 0.1 กรดไขมันอิสระ (คิดในรูปของกรดโอเลอิก) ไม่เกินร้อยละ 0.3 ทองแดงไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เหล็กไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้จะใช้ anhydrous milk fat เป็นวัตถุดิบในการผลิตเนยคีนรูป แล้วยังใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์นมอื่น ๆ อีกได้แก่ นมพร้อมมันเนยคีนรูป ไอศกรีม เนยแข็ง และ dairy spreads [12]

(2) หางนมผง (skim-milk powder) ควรเป็นหางนมผงที่มีคุณภาพดี หรืออาจใช้บำบัดเตอรัมิลค์ผงแทนหางนมผงก็ได้

(3) เกลือ ควรเป็นเกลือที่มีคุณภาพดี มีความบริสุทธิ์สูงเช่นเดียวกับเกลือที่ใช้เติมลงในเนยที่ผลิตตามกรรมวิธีปกติ

(4) สารอีมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ที่ใช้เติมในเนยคั้นรูปได้แก่ เลซิทีน (lecithin) หรือมอโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ การเติมสารอีมัลซิไฟเออร์มีจุดประสงค์เพื่อลดการสูญเสียความชื้นในระหว่างเก็บและลดการกระเด็นถ้าใช้เนยคั้นรูปในการทอดอาหาร

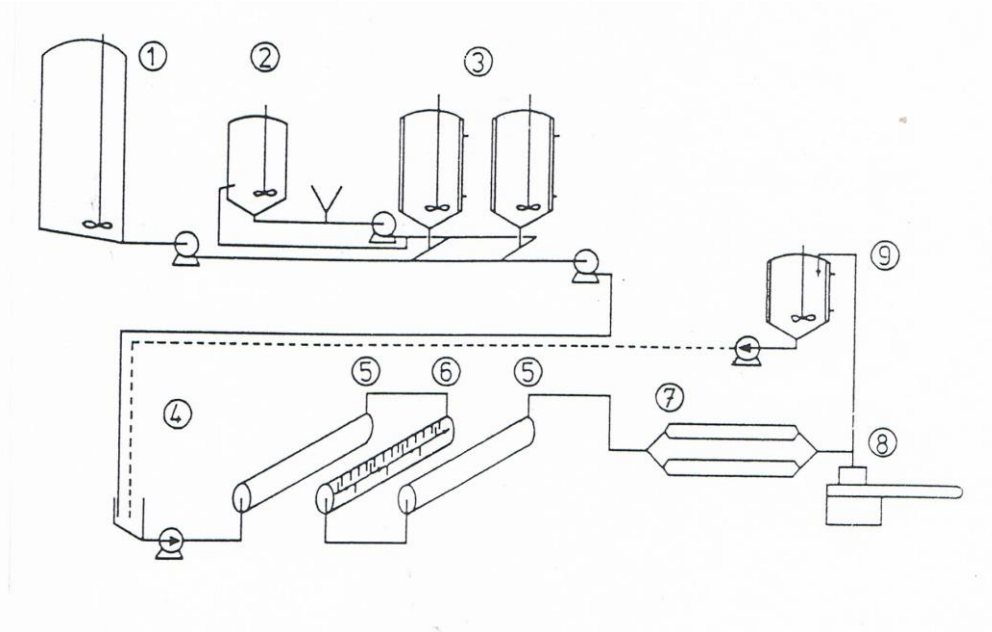
(5) สารให้กลิ่นรส อาจเติมโดอะเซทิลเพื่อช่วยให้กลิ่นรสดีขึ้น

(6) น้ำ น้ำที่ใช้ควรมีคุณภาพดีทั้งด้านเคมีและจุลินทรีย์ ก่อนใช้ควรต้มเสียก่อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์และตกผลึกเกลือที่ไม่ต้องการ

## 8.2.2 กรรมวิธีการผลิตเนยคั้นรูป

ในการผลิตเนยคั้นรูปชนิดไม่เติมจุลินทรีย์ จะทำการเตรียมส่วนผสมที่เป็นของเหลวก่อนโดยละลายหางนมผงในน้ำแล้วเติมเกลือลงไป คนให้ละลายแล้วพักไว้ ส่วนการผลิตเนยคั้นรูปชนิดเติมจุลินทรีย์จะพาสเจอร์ไรส์หางนมก่อนแล้วทำให้เย็น จากนั้นจึงเติมจุลินทรีย์กรดแลคติกและทำการบ่มสำหรับการเตรียมส่วนผสมที่เป็นไขมันจะใช้ anhydrous milk fat ซึ่งผ่านการหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูงกว่า  $40^{\circ}\text{C}$  โดยจุ่ม anhydrous milk fat ที่บรรจุอยู่ในภาชนะลงในน้ำร้อน ( $80^{\circ}\text{C}$ ) เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง เมื่อหลอมเหลว anhydrous milk fat แล้วจึงเติมสารอีมัลซิไฟเออร์ลงไปซึ่งอาจใช้เลซิทีนหรือมอโนกลีเซอไรด์และอาจเติมไดอะซีทิลด้วยก็ได้เพื่อช่วยให้กลิ่นรสดีขึ้น จากนั้นเติมส่วนผสมที่เป็นของเหลวซึ่งได้เตรียมไว้แล้วลงในส่วนผสมที่เป็นไขมัน ถ้าส่วนผสมทั้งสองยังไม่ได้ผ่านการให้ความร้อนมาเลยจะต้องนำส่วนผสมทั้งหมดไปพาสเจอร์ไรส์แล้วทำให้เย็นโดยใช้แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่ออุณหภูมิลดลงจนกระทั่งไขมันเริ่มตกผลึก (ต่ำกว่า  $40^{\circ}\text{C}$ ) จะทำให้เย็นโดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ scraped-surface (scraped-surface heat exchanger) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้มีพื้นที่ผิวน้อยประมาณ 0.5 ตารางเมตรต่อความยาวท่อ 1 เมตร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำให้มีความแตกต่างของอุณหภูมิมาก ๆ เพื่อให้มีการถ่ายเทความร้อนอย่างเพียงพอ สารที่ใช้ทำความเย็นคือ แอมโมเนีย ซึ่งจะระเหยที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $-10^{\circ}\text{C}$  ถึง  $-20^{\circ}\text{C}$  (ใช้ในโรงงานใหญ่) ส่วนพรีออนจะใช้ในโรงงานเล็ก ส่วนผสมทั้งหมดจะไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอย่างช้าๆ โดยมีความเร็วเฉลี่ยประมาณ 0.1 เมตรต่อวินาที ไขมันจะถูกทำให้เย็นและเกิดการตกผลึก อุณหภูมิที่ออกมาจะอยู่ระหว่าง  $5-15^{\circ}\text{C}$  แล้วแต่ความอยู่ตัวของเนยที่ต้องการ หลังจากทำให้เย็นแล้วจะส่งมายังส่วนที่ทำการนวด จากนั้นผ่านมายังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ

scraped-surface อีกครั้ง และสุดท้ายผ่านเข้าท่อพักเพื่อให้ไขมันตกผลึกต่ออย่างสมบูรณ์ ทำให้ได้เนยที่มีความคงตัวพร้อมที่จะบรรจุได้ [9, 12] กระบวนการผลิตเนยคีนรูปแสดงดังรูปที่ 8.7



รูปที่ 8.7 กระบวนการผลิตเนยคีนรูป

1. ไขมันนมหลอมเหลว
2. ถังผสมส่วนผสมที่เป็นของเหลว
3. ถังกวนให้เกิดอิมัลชัน
4. บั้มความดันสูง
5. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ scraped-surface
6. ส่วนที่ทำการนวด
7. ท่อพัก
8. เครื่องบรรจุ
9. หลอมใหม่และส่งกลับไป

โครงสร้างของเนยคีนรูปที่ผลิตได้จะคล้ายคลึงกับเนยที่ผลิตตามวิธีการปกติคือ มีผลึกไขมันจัดเรียงตัวกันอย่างเหมาะสมและมีส่วนที่เป็นน้ำกระจายอยู่ทั่วไปในรูปของหยดเล็กๆ (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมโครเมตร) แต่เนยคีนรูปจะเสถียรเร็วกว่าเนยปกติ เนื่องจากของแข็งในนมไม่รวมไขมันและส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเม็ดไขมันถูกขจัดออกไประหว่างการผลิต anhydrous milk fat ซึ่งสิ่งที่ถูกขจัดออกไปนี้สามารถทำหน้าที่เป็นสารกันหืน (antioxidant) ได้ [12]

### 8.3 มาการีน (margarine)

เนยเทียม เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นอิมัลชันของน้ำในน้ำมันเช่นเดียวกับเนย แต่จะประกอบด้วยน้ำมันหรือไขมันชนิดอื่นที่ไม่ใช่ไขมันนมเป็นส่วนใหญ่หรือทั้งหมด ผ่านกรรมวิธีการผลิต ปรุงแต่งสีและกลิ่นรส เนยเทียมต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 37 (พ.ศ. 2522) ดังนี้คือ ไม่มีกลิ่นหืน มีไขมันไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของน้ำหนัก มีวิตามินเอหรือโพรวิตามินเอหรือทั้งสองอย่างรวมกันไม่น้อยกว่า 25 หน่วยสากล ในเนยเทียม 1 กรัม มีเกลือโซเดียมคลอไรด์ได้ไม่เกินร้อยละ 4 ของน้ำหนัก มีน้ำได้ไม่เกินร้อยละ 16 ของน้ำหนัก ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและไม่มีสารพิษจากจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ [3]

#### 8.3.1 ส่วนผสมของมาการีน

(1) ไขมัน และน้ำมัน สามารถเลือกใช้ได้หลายชนิดขึ้นกับชนิดและราคาของไขมันที่หาได้ในแต่ละประเทศโดยอาจใช้ไขมันจากสัตว์หรือไขมันพืชก็ได้เช่น ในสแกนดิเนเวียใช้น้ำมันปลาและในกรีซใช้น้ำมันมะกอกเป็นส่วนผสม ส่วนในยุโรปนิยมใช้น้ำมันเมล็ดทานตะวันเนื่องจากมีกรดลิโนเลอิกสูง แต่บางประเทศมีการใช้ไขมันนมร้อยละ 10 ผสมกับไขมันชนิดอื่นในการทำมาการีน กล่าวโดยสรุปแล้วไขมันพืชจะได้รับความนิยมมากที่สุด การที่ใช้ไขมันและน้ำมันผสมในการผลิตมาการีนก็เพื่อจะได้ลักษณะเนื้อสัมผัสและความอยู่ตัวของผลิตภัณฑ์สุดท้ายตามต้องการ [2]

(2) หางนม หรือหางนมผง หรืออาจใช้ผลิตภัณฑ์จากเวย์ก็ได้

(3) เกลือ เกลือที่ใช้ควรมีคุณภาพดี เม็ดเล็กละเอียด การเติมเกลือมีจุดประสงค์เพื่อช่วยให้มาการีนมีรสชาติดีขึ้นและช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในมาการีน

(4) สารอิมัลซิไฟเออร์ ได้แก่ มอนอกลิเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ซึ่งจะใช้ในระดับร้อยละ 0.1-0.3 และมักใช้ร่วมกับเลซิตินร้อยละ 0.1 สารอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้จะช่วยให้อิมัลชันคงตัว ช่วยลดพลังงานที่ต้องใช้ในการทำให้เกิดอิมัลชัน ลดการรวมตัวของหยดน้ำ ลดการสูญเสียความชื้นที่กระจายในมาการีนในระหว่างเก็บรักษาและลดการกระเด็นเมื่อต้องใช้มาการีนในการทอด นอกจากนี้อนุพันธ์โซเดียมซัลไฟเอต (Sodium Sulphoacetate derivatives) ของมอนอกลิเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ อาจนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในการป้องกันการแยกของส่วนที่เป็นไขมันออกจากส่วนที่เป็นน้ำระหว่างการหลอมมาการีน และยังช่วยลดการกระเด็นระหว่างการให้ความร้อนในการทำอาหารอีกด้วย [2]

(5) วิตามินและสี บางประเทศอนุญาตให้เติมวิตามินในมาการีนได้ เช่น ในประเทศไทยอนุญาตให้เติมวิตามินเอได้ไม่เกิน 25 หน่วยสากลต่อกรัม และในประเทศอังกฤษมีการเติมวิตามินเอลงในมาการีน

26.9-33.2 หน่วยสากลต่อกรัมและเติมวิตามินดี 2.83-3.53 หน่วยสากลต่อกรัม ส่วนการเติมบีตา-แคโรทีน จะทำให้ได้ทั้งวิตามินเอและซี สำหรับแคโรทีนชนิดอื่น ๆ เช่น แอลันโต (annatto) ก็อาจใช้เป็นสารให้สีได้และน้ำมันปาล์มเข้มข้นก็ให้สีได้เช่นกัน [11]

(6) สารกันเสีย ในบางประเทศอนุญาตให้เติมสารกันเสียลงในமாகาซีนได้เช่นในสหรัฐอเมริกา อนุญาตให้เติมโบแตสซีเอ็มซอร์เบทลงในமாகาซีนได้

(7) สารกันหืน การเกิดปฏิกิริยาการหืนไม่เป็นปัญหาบ่อยนักในமாகาซีนที่มีไขมันพืชเป็นส่วนผสมหลักและมีไขมันสัตว์ผสมอยู่ด้วย แต่หลายประเทศอนุญาตให้เติมสารกันหืนได้ สารกันหืนที่ใช้กันมากในปัจจุบันได้แก่ บิวทิลเลทไฮดรอกซีแอนนิซอล (butylated hydroxyanisole) บิวทิลเลทไฮดรอกซีโทลูอีน (butylated hydroxytoluene) และโพรพิลแกลเลต (propyl gallate) [2]

(8) น้ำ น้ำที่ใช้ควรเป็นน้ำที่มีคุณภาพดีเช่นเดียวกับน้ำที่ใช้ในการผลิตเนยคีนรูป

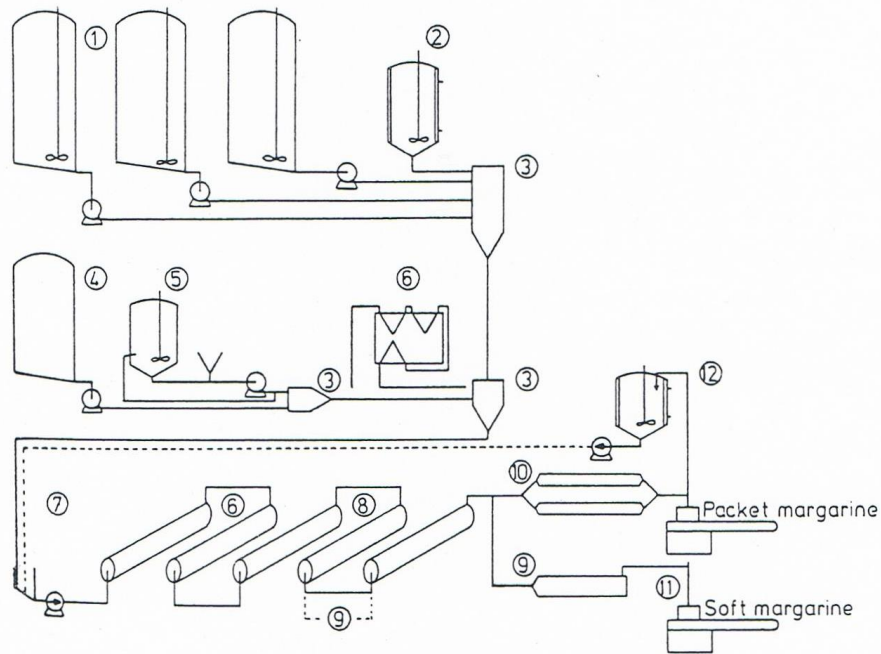
### 8.3.2 กรรมวิธีการผลิตமாகาซีน

ในการผลิตமாகาซีน จะเตรียมส่วนผสมที่เป็นไขมันแยกกับส่วนผสมที่เป็นน้ำโดยในส่วนที่เป็นไขมันจะเตรียมที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวของไขมันที่ใช้ แต่ไม่ควรใช้อุณหภูมิสูงจนเกินไปและไม่ควรให้น้ำมันสัมผัสกับออกซิเจน เมื่อหลอมไขมันเรียบร้อยแล้วแยกน้ำมันร้อนออกมาจำนวนหนึ่งแล้วละลายสารอิมัลซิไฟเออร์ สีและสารกันหืนลงไป จากนั้นจึงเติมลงในถังผสมใหญ่ สำหรับส่วนผสมที่เป็นน้ำ เตรียมได้โดยละลายส่วนผสมที่เป็นของแข็ง ซึ่งได้แก่ หางนมผง เกลือ สารกันเสีย เลซิทีนและอื่น ๆ ลงในน้ำแล้วจึงนำไปพาสเจอร์ไรส์ แต่ถ้าจะผลิตமாகาซีนที่มีการหมักด้วยจุลินทรีย์ หลังจากพาสเจอร์ไรส์ส่วนผสมแล้วจะทำให้เย็นถึงอุณหภูมิที่จะหมัก (20-25°C) จากนั้นจึงเติมกล้าเชื้อจุลินทรีย์ลงไป ทำการหมักจนได้ที่แล้วจึงทำให้เย็นหรือเติมเกลือเพื่อหยุดปฏิกิริยาการหมัก กล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่จะช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ชนิดอื่นที่ปนเปื้อน และยังช่วยในการเปลี่ยนอัลดีไฮด์ไปเป็นแอลกอฮอล์ซึ่งมีผลต้านการหืนได้ [11] กระบวนการผลิตமாகาซีนแสดงดังรูปที่ 8.8

เมื่อเตรียมส่วนผสมที่เป็นไขมัน และส่วนผสมที่เป็นน้ำเสร็จแล้ว ผสมส่วนผสมทั้งสองเข้าด้วยกันในถังผสมซึ่งมีใบพัดหมุนด้วยความเร็วสูงเพื่อให้เกิดสภาพเป็นอิมัลชันของน้ำในน้ำมันโดยผสมที่อุณหภูมิ 45°C ในขั้นนี้จะเติมสารให้กลิ่นรส สี และวิตามินลงไป จากนั้นนำส่วนผสมทั้งหมดไปพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 80-85°C เป็นเวลา 2-3 วินาที อาจทำการพาสเจอร์ไรส์โดยผ่านแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (plate heat exchanger) ก็ได้จากนั้นจะทำให้เย็นถึงจุดที่ไขมันตกผลึกโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ scraped surface เมื่อผลึกไขมันเกิดขึ้นก็จะมีใบมีดขูดออกอย่างรวดเร็วกลับไปผสมในถังอิมัลชัน

เดิมเพื่อเป็นตัวเริ่มต้นในการตกผลึกและเร่งการเกิดโครงสร้างของผลึกไขมันที่ละเอียด จากนั้นส่วนผสมทั้งหมดจะถูกส่งไปยังส่วนที่ทำการนวด ท่อพักและเครื่องบรรจุ [2,11]

ส่วนใหญ่ในโรงงานที่ผลิตมาการีนมีเครื่องทำความเย็นแบบ scraped surface มากกว่า 1 หน่วย โดยทั่วไปมี 3 หน่วย ในการส่งถ่ายมาการีนจากหน่วยทำความเย็นหนึ่งไปยังหน่วยทำความเย็นอีกหน่วยหนึ่งควรกระทำอย่างรวดเร็วเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดผลึกไขมันที่ใหญ่ ดังนั้นในบางโรงงานจึงนิยมแทรกหน่วยที่ทำการนวด (worker unit หรือ crystallisation unit) ก่อนที่จะถึงหน่วยทำความเย็นสุดท้าย [11]



รูปที่ 8.8 กระบวนการผลิตมาการีน

1. ถังน้ำมัน 2. ถังผสมน้ำมัน 3. ถังผสมแบบต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่อง 4. ถังเก็บหางนมหรือเวย์
5. ถังเตรียมส่วนผสมที่เป็นน้ำ 6. หน่วยให้ความร้อน 7. ปั๊มความดันสูง 8. เครื่องทำความเย็นแบบ scraped surface 9. ส่วนที่ทำการนวด 10. ท่อพัก 11. เครื่องบรรจุ 12. หลอมใหม่และส่งกลับไป

## 8.4 การเสียของเนยและมาการีน

จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในเนยและทำให้เนยเสียนั้นคาดว่ามาจากครีม โดยเฉพาะถ้าหากนำครีมที่ไม่ได้ผ่านการพาสเจอร์ไรส์มาผลิตเนยจะทำให้มีจุลินทรีย์จำนวนมากปนเปื้อนในเนย นอกจากนี้จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอาจมาจากสิ่งแวดล้อมถ้าหากมีการปฏิบัติที่ไม่ถูกสุขลักษณะ การเสียของเนยอาจเกิดขึ้นได้โดยการกระทำของแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อรา

สำหรับแบคทีเรียที่ทำให้เนยเสียโดยทำให้เกิดรอยต่างชั้นที่ผิวของเนยได้แก่ แบคทีเรียแกรมลบชนิด *Pseudomonas putrefaciens* ซึ่งสามารถเจริญบนผิวของเนยได้ที่อุณหภูมิ 4-7°C และจะสังเกตเห็นการเสียได้ภายใน 7-10 วัน แบคทีเรียในสกุล *Pseudomonas* และแบคทีเรียไซโครโทรฟชนิดอื่นจะผลิตเอนไซม์ย่อยไขมันที่ทนอุณหภูมิต่ำได้ดีซึ่งจะย่อยไขมันในเนย ทำให้เกิดการดัดไขมันอิสระขึ้นซึ่งจะเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นรสผิดปกติในเนย [13]

ยีสต์เป็นจุลินทรีย์ที่สามารถทำให้เนยเสียได้เช่นกัน โดยสามารถเจริญและย่อยไขมันได้ที่อุณหภูมิต่ำ ยีสต์ชนิดที่มักพบว่าทำให้เนยเสียได้แก่ *Candida lipolyticum*, *Torulopsis*, *Cryptococcus* และ *Rhodotorula* ส่วนเชื้อราที่พบบ่อยว่าย่อยไขมันในเนยและทำให้เนยเสียได้แก่ *Cladosporium*, *Geotrichum*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Alternaria*, *Aspergillus* และ *Penicillium* โดยเฉพาะเชื้อรา *Geotrichum candidum* สามารถเจริญที่ผิวของเนยและทำให้สีของเนยเปลี่ยนไปเนื่องจากสร้างสปอร์ที่มีสี สำหรับจุลินทรีย์ที่พบในมาการีนที่เสียนั้นจะคล้ายกับจุลินทรีย์ที่พบที่พบในเนย แต่มาการีนจะเสียได้ยากกว่าเนยเนื่องจากไขมันพืชที่เป็นส่วนประกอบของมาการีนจะทนต่อเอนไซม์ย่อยไขมันได้ดีกว่าไขมันนมที่เป็นส่วนประกอบในเนย [2, 13]

### เอกสารอ้างอิง

1. Ranjith, H.M.P. and Rajah, K. K. 2001. High fat content dairy products, pp. 119-150. In: Tamime, A. Y. and Law, B. A. (Eds.). Mechanisation and Automation in Dairy Technology. Sheffield Academic Press, England.
2. Varnam, A. H. and Sutherland, J.P. 1994. Milk and Milk Products. Chapman & Hall, London.
3. เสถียร วิชัยลักษณ์ และ สืบวงศ์ วิชัยลักษณ์. 2522. พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ.2522. นิตินเวช, กรุงเทพฯ.

4. Murphy, M. F. 1990. Microbiology of butter, pp.109-130. In: Robinson, R. K. (Ed.). Dairy Microbiology Vol.2. 2nd ed., Elsevier Science Publishers Ltd., London.
5. Jebson, R. S. 1994. Butter and allied products, pp. 69-109. In: Moran, D.P.J. and Rajah, K. K. (Eds.). Fats in Food Products. Blackie Academic & Professional, Glasgow.
6. van den Berg, J. C. T. 1988. Dairy Technology in the Tropics and Subtropics. Pudoc Wageningen, The Netherlands.
7. Lane, R. 1992. Butter, margarine and reduced fat spreads, pp.86-116. In: Early, R. (Ed.). The Technology of Dairy Products. Blackie and Son Ltd., Scotland.
8. Timms, R. E. 1994. Physical chemistry of fats, pp.1-27. In: Moran, D. P. J. and Rajah, K. K. (Ed.). Fats in Food Products. Blackie Academic & Professional, Glasgow.
9. Wilbey, R. A. 1994. Production of butter and dairy based spreads, pp.107-158. In: Robinson, R. K. (Eds.). Modern Dairy Technology Vol. 2nd ed., Chapman & Hall, Great Britain.
10. Palfreyman, K. R. 1988. An evaluation of mixing performance and fat globule damage in cream crystallising silos. *New Zealand Journal of Dairy Science & Technology*. 23: 373-384.
11. Wilbey, R. A. 1991. Yellow Fats, pp. 395-440. In: Rossell, J. B. and JPritchard, J. L. R. (Eds.). Analysis of Oilseeds, Fats and Fatty Foods. Elsevier Science Publishers Ltd., England.
12. Illingworth, D. and Bissell, T. G. 1994. Anhydrous milk fat products and applications in recombination, pp. 111-154. In: Moran, D. P. J. and Rajah, K. K. (Eds.). Fats in Food Products. Blackie Academic & Professional, Glasgow.
13. Jay, J.M., Loessner, M.J. and Golden, D.A. 2005. *Modern Food Microbiology*, 7th ed., Springer Science+Business Media, Inc., New York.

## บทที่ 9 ผลิตภัณฑ์นมข้น

เนื่องจากจากนมสดและผลิตภัณฑ์นมเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงแต่มีอายุการเก็บค่อนข้างจำกัดเพราะเน่าเสียง่าย ดังนั้นในการที่จะเก็บถนอมให้นานไว้รับประทานได้นาน ควรจะนำนมมาผ่านกระบวนการเพื่อให้ไม่เน่าเสียโดยจุลินทรีย์ กระบวนการหนึ่งที่ใช้กันมากก็คือ การลดปริมาณน้ำลง เช่น การใช้เทคนิคการทำให้เข้มข้นและการทำแห้งซึ่งเป็นเทคนิคที่สำคัญในการที่จะยืดอายุการเก็บรักษาของนม การทำให้นมเข้มข้นขึ้นโดยการขจัดน้ำออก อาจทำโดยใช้ความร้อนหรือทำให้เข้มข้นผ่านเมมเบรนทำให้ได้นมข้น (milk concentrates) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการระเหยน้ำบางส่วนออกจากรุ่นนมจนได้ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 40-45 ซึ่งอาจใช้นมสดหรือนมคั้นรูปชนิดเต็มมันเนยหรือขาดมันเนยก็ได้ ผลิตภัณฑ์นมข้นที่ได้จะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและเก็บไว้ได้นาน การระเหยน้ำออกจากนมมีข้อดีเนื่องจากจะทำให้ปริมาตรและน้ำหนักของนมลดลง ช่วยให้สะดวกต่อการขนส่ง ประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและใช้พื้นที่ในการเก็บรักษาน้อย แต่มีข้อเสียคือต้องใช้พลังงานมากในการระเหยน้ำออกจากนม ผลิตภัณฑ์นมข้นที่ผลิตขึ้นในปัจจุบันมีหลายชนิด ได้แก่ นมข้นไม่หวาน นมข้นหวาน นมข้นคั้นรูป หางนมเข้มข้น และเวย์เข้มข้น

ผลิตภัณฑ์นมระเหยและนมเข้มข้นได้ถูกผลิตขึ้นโดยใช้เทคโนโลยีการระเหย (evaporation technology) ประสิทธิภาพและความสามารถในการระเหยของเครื่องระเหยได้มีการพัฒนาเรื่อยมาในช่วงเวลาไม่ต่ำกว่า 25 ปีที่ผ่านมาซึ่งได้มีการออกแบบเครื่องระเหยชนิด falling film (falling film evaporator) ที่ทันสมัยโดยอาศัยข้อได้เปรียบของระบบการอัดไอความร้อน (thermal vapour compressing system) เพื่อลดความต้องการใช้น้ำในการระเหยน้ำออกจากนม นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์นมระเหยหรือนมเข้มข้นที่ใช้เทคโนโลยีเมมเบรน (membrane technology) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่รวดเร็วซึ่งมีการประยุกต์ใช้ในอาหารหลายชนิด หลักการของการแยกด้วยเมมเบรนคือ ความแตกต่างของความสามารถในการให้สารที่มีขนาดโมเลกุลต่างกันผ่านแผ่น semi-porous membrane ได้เช่น การใช้กระบวนการอัลตราฟิวเทรชัน (ultrafiltration) แต่การใช้กระบวนการนี้จำกัดเฉพาะในอุตสาหกรรม ส่วนการทำให้เข้มข้นโดยรีเวอร์ออสโมซิส (reverse osmosis) จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบและสมบัติค่อนข้างเหมือนกับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการระเหย การใช้กระบวนการรีเวอร์ออสโมซิสทำให้มีการแยกน้ำออกจากนมโดยที่ไม่มีการเปลี่ยนวัฏภาค (phase change) โดยน้ำจะถูกขจัดออกในรูปแบบของ permeate (เช่น น้ำในรูปแบบของเหลว) แทนที่จะเป็นไอ [1]

## 9.1 นมข้นไม่หวาน (unsweetened condensed milk)

นมข้นไม่หวานเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการระเหยน้ำออกจากนํ้านม อาจผ่านกระบวนการให้ความร้อนทำให้เก็บไว้ได้นาน ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 265 (พ.ศ.2545) ได้กำหนดว่านมข้นไม่หวานชนิดเต็มมันเนยจะต้องมีเนื้อมนหรือของแข็งในนมไม่รวมไขมันไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของน้ำหนัก และมีไขมันนมไม่น้อยกว่าร้อยละ 7.5 ของน้ำหนัก นมข้นไม่หวานชนิดพร่องมันเนยจะต้องมีเนื้อมนไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ของน้ำหนักและมีไขมันนมมากกว่าร้อยละ 1 ของน้ำหนักและนมข้นไม่หวานชนิดขาดมันเนยจะต้องมีเนื้อมนไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ของน้ำหนักและมีไขมันนมไม่เกินร้อยละ 1 ของน้ำหนัก [2]

### 9.1.1 กรรมวิธีการผลิตนมข้นไม่หวาน

กรรมวิธีการผลิตนมข้นไม่หวาน ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ได้แก่ การรับนํ้านม การขจัดสิ่งแปลกปลอม การทำให้เย็น การเก็บนํ้านมดิบ การปรับมาตรฐานครั้งแรก การให้ความร้อนในขั้นต้น การโฮโมจีไนส์ การทำให้เย็น การปรับมาตรฐานครั้งที่สอง การบรรจุ การสเตอริไลซ์ และการเก็บรักษา กรรมวิธีการผลิตแสดงดังรูปที่ 9.1 และ 9.2 [3]

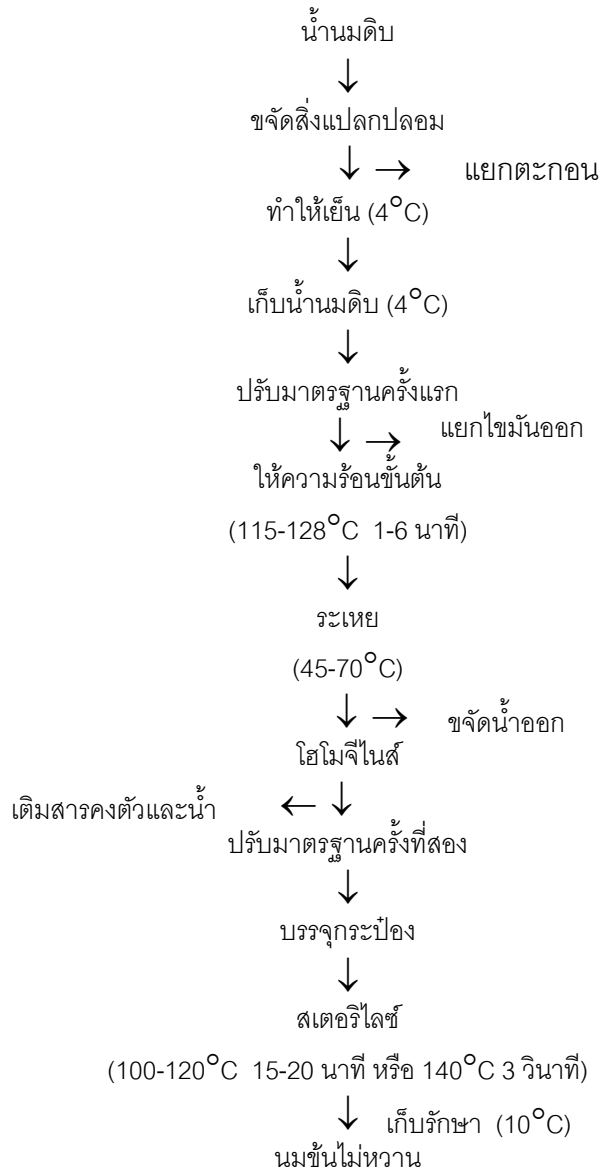
#### 9.1.1.1 การรับนํ้านมดิบ

นํ้านมดิบที่จะนำมาผลิตนมข้นไม่หวาน ควรเป็นนํ้านมที่มีคุณภาพดีทั้งด้านเคมีและจุลินทรีย์ โดยจะต้องเป็นนํ้านมที่มีปริมาณกรดไม่สูงเกินไป ถ้าหากนํ้านมมีปริมาณกรดสูงจะทำให้โปรตีนไม่คงตัวและตกตะกอนระหว่างการสเตอริไลซ์ และจะต้องเป็นนํ้านมที่มีปริมาณแบคทีเรียต่ำ เนื่องจากถ้าใช้นํ้านมมีปริมาณแบคทีเรียสูงจะต้องใช้ความร้อนสูงในการยับยั้งเอนไซม์ที่แบคทีเรียเหล่านั้นสร้างขึ้น ซึ่งการใช้ความร้อนสูงเช่นนี้จะมีผลต่อคุณภาพของนมข้นไม่หวานที่ผลิตได้ [3]

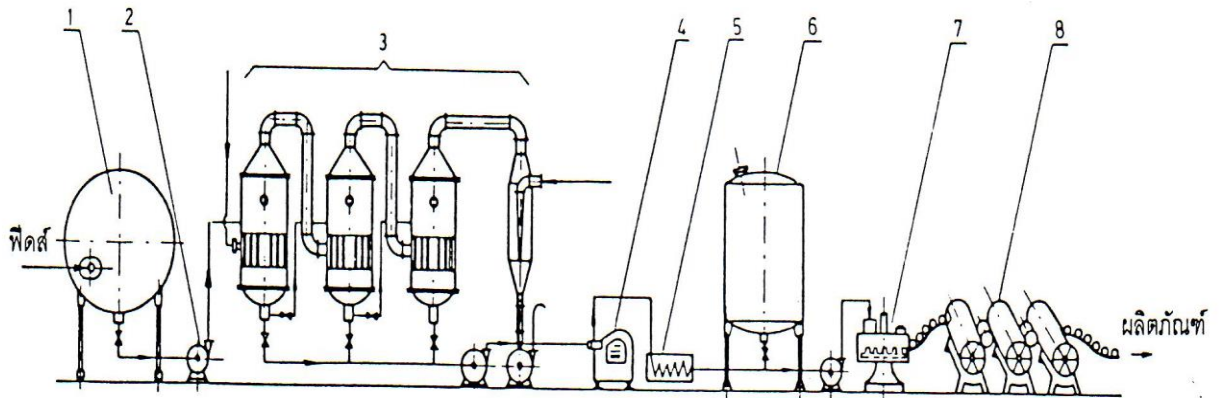
#### 9.1.1.2 การขจัดสิ่งแปลกปลอม การทำให้เย็น การเก็บนํ้านมดิบและการปรับมาตรฐานครั้งแรก

สำหรับการขจัดสิ่งแปลกปลอม การทำให้เย็น การเก็บนํ้านมดิบจะทำเช่นเดียวกับการผลิตผลิตภัณฑ์นมชนิดอื่นคือ จะขจัดสิ่งแปลกปลอมโดยใช้เครื่องแยกสิ่งสกปรกที่เรียกว่า centrifugal clarifier จากนั้นทำนํ้านมให้เย็นลงถึงอุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  ด้วยแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนและเก็บนํ้านมดิบไว้ในถังเก็บนํ้านมดิบที่ควบคุมอุณหภูมิให้คงอยู่ที่  $4^{\circ}\text{C}$  เมื่อจะผลิตนมข้นไม่หวานก็จะปั้มนํ้านมมาปรับมาตรฐาน

ไขมัน เพื่อควบคุมอัตราส่วนของปริมาณไขมันนมต่อปริมาณของแข็งในนมไม่รวมไขมันในนมชั้นไม่หวาน ให้ได้ตามต้องการตามที่กฎหมายกำหนด ก่อนที่จะทำการระเหยจะทำการปรับมาตรฐานโดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า separator-standardizer ถ้าหากนํ้านมดิบมีปริมาณไขมันสูงก็เติมหางนมลงไปเพื่อให้ได้ปริมาณไขมันตามต้องการซึ่งจะต้องคำนวณปริมาณไขมันในนํ้านมดิบ และในหางนมอย่างถูกต้องทั้งก่อนปรับมาตรฐานและหลังปรับมาตรฐาน [3]



รูปที่ 9.1 แผนภูมิการผลิตนมชั้นไม่หวาน



รูปที่ 9.2 กระบวนการผลิตนมข้นไม่หวานในอุตสาหกรรม

- (1) ถังปรับมาตรฐาน (2) ปั๊ม (3) เครื่องระเหยสุญญากาศ  
 (4) โฮโมจีไนเซอร์ (5) เครื่องทำความเย็น (6) ถังปรับมาตรฐาน  
 (7) เครื่องบรรจุ (8) สเตอริไลเซอร์แบบต่อเนื่อง

#### 9.1.1.3 การให้ความร้อนขั้นต้น (preheating)

การให้ความร้อนขั้นต้นมีจุดประสงค์เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ไม่ทนความร้อน รวมทั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคทั้งหมดที่ปนเปื้อนในน้ำนมดิบ เพื่อยับยั้งเอนไซม์ในน้ำนมและเพื่อเพิ่มความคงตัวของน้ำนมในระหว่างการสเตอริไลซ์ การให้ความร้อนขั้นต้นมีผลต่อคุณภาพของนมข้นที่ได้ อาจให้ความร้อนด้วยระบบ steam injection หรือ steam infusion โดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง ระยะเวลาสั้น นิยมให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 115-128°C เป็นเวลา 1-6 นาทีหรือที่อุณหภูมิ 93-100°C เป็นเวลา 10-25 นาที [3]

#### 9.1.1.4 การระเหย (evaporation)

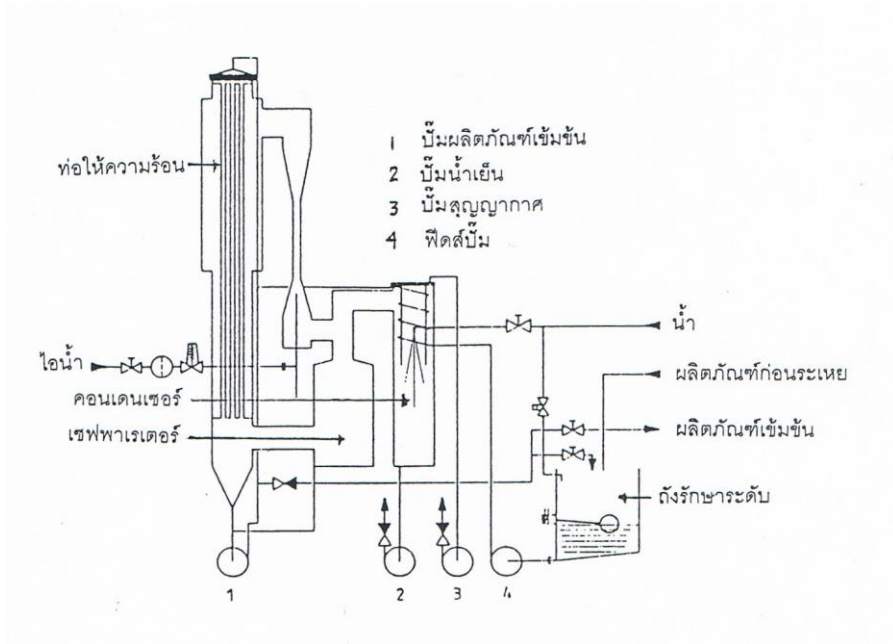
การทำให้ น้ำนมเข้มข้นขึ้นทำได้โดยระเหยน้ำบางส่วนออกจากน้ำนม การระเหยนอกจากจะใช้ในกระบวนการผลิตนมข้นไม่หวานแล้ว ยังใช้เพื่อทำให้ น้ำนมเข้มข้นในขั้นแรกของการผลิตนมข้นหวาน นมผง แลคโตสและผลิตภัณฑ์นมชนิดอื่นๆ ในการระเหยโดยทั่วไปจะทำในสภาพสุญญากาศเพื่อหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของน้ำนมอันเนื่องมาจากความร้อน การระเหยในสภาพสุญญากาศนี้จะทำที่อุณหภูมิไม่สูงเกินไปคือที่อุณหภูมิ 45-70°C การระเหยที่อุณหภูมิต่ำภายใต้สุญญากาศเช่นที่อุณหภูมิ 70°C ช่วยลดการสลายสมบัติของอาหารโดยความร้อนได้แก่ ลักษณะเนื้อ

สัมผัสและคุณค่าทางโภชนาการ สิ่งสำคัญคือจะต้องควบคุมอุณหภูมิไม่ให้ต่ำกว่า  $45^{\circ}\text{C}$  มิฉะนั้น จุลินทรีย์บางชนิดอาจเจริญได้โดยเฉพาะเชื้อ *Staphylococcus* [1]

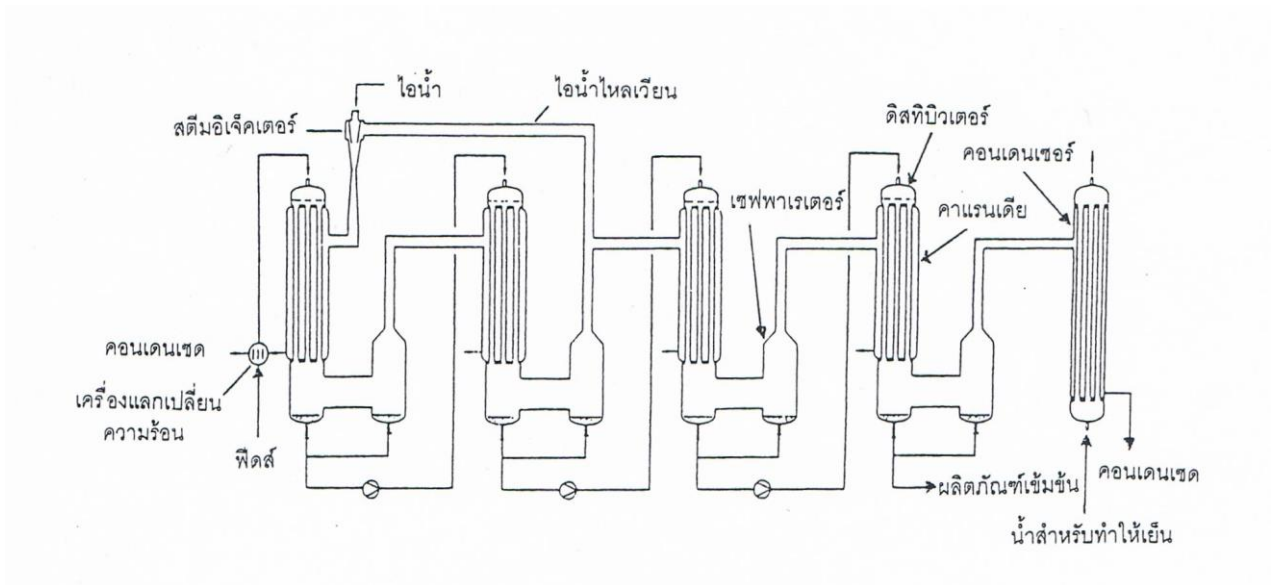
สิ่งที่จำเป็นสำหรับการระเหยที่เหมาะสมรวมถึง 1) อัตราการถ่ายเทความร้อนที่รวดเร็ว 2) การปฏิบัติงานที่อุณหภูมิต่ำตลอดกระบวนการภายใต้สภาพสุญญากาศ 3) การแยกของเหลวและไอน้ำออกจากกันอย่างมีประสิทธิภาพโดยการประยุกต์ใช้สภาวะสุญญากาศ 4) การใช้พลังงานและการได้กลับคืน (recovery) อย่างมีประสิทธิภาพ การออกแบบเครื่องระเหยและการขนถ่ายผลิตภัณฑ์อย่างมีประสิทธิภาพเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้มั่นใจว่าผลิตภัณฑ์นมได้ผ่านการผลิตมาอย่างถูกต้องลักษณะ [1]

ในอุตสาหกรรมนม เครื่องระเหยที่นิยมใช้กันมากคือเครื่องระเหยชนิดที่เรียกว่า falling film evaporator (รูปที่ 9.3 และ 9.4) ซึ่งผิวของชุดแลกเปลี่ยนความร้อนจะประกอบด้วยท่อหรือแผ่นสแตนเลสหลาย ๆ อันรวมกันเป็นกลุ่มตามแนวตั้งที่เรียกว่า คาลันเดรีย (calandria) กรณีที่เป็นท่อ ท่อแต่ละอันอาจมีความยาว 4-10 เมตร และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ 25-80 มิลลิเมตร ในระหว่างการผลิตนมชั้นน้ำนมดิบจะถูกป้อนเข้าทางด้านบนของเครื่องระเหยโดยผ่านหัวฉีดหรือผ่านแผ่นจ่ายน้ำนม (distribution plate) (รูปที่ 9.5) น้ำนมจะไหลลงมาตามด้านในของท่อเป็นฟิล์มบางๆ ตามท่อด้านในซึ่งมีพื้นผิวที่ร้อน โดยมีไอน้ำเป็นตัวกลางในการให้ความร้อนอยู่รอบๆ ปกติอุณหภูมิที่น้ำระเหยผันแปรขึ้นอยู่กับกฎด้านฟิสิกส์ที่ว่า จุดเดือดของของเหลวจะลดต่ำลงเมื่ออยู่ในสภาพความดันที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศ มักเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ  $70-80^{\circ}\text{C}$  ในชุดระเหยชุดแรกถึงอุณหภูมิ  $40-50^{\circ}\text{C}$  ในชุดระเหยชุดสุดท้าย ไอน้ำซึ่งเป็นตัวกลางในการให้ความร้อนและจะกลั่นตัวแยกออกในคอนเดนเซอร์ (condenser) กรณีที่ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแผ่นสแตนเลส แผ่นสแตนเลสจะอยู่รวมกันเป็นชุด ผลิตภัณฑ์จะไหลผ่านแผ่นสแตนเลสด้านหนึ่งส่วนไอน้ำไหลจะผ่านแผ่นสแตนเลสอีกด้านหนึ่ง เพื่อที่จะให้ได้ประสิทธิภาพของการให้ความร้อนได้สูง ส่วนมากผลิตภัณฑ์จะผ่านการให้ความร้อนขั้นต้นก่อนเพื่อให้มีอุณหภูมิเท่ากับหรือสูงกว่าอุณหภูมิของการระเหยเล็กน้อยในเครื่องระเหย หลังจากนั้นผลิตภัณฑ์จะไหลผ่านแผ่นจ่ายน้ำนมที่อยู่ด้านบนสุดของเครื่องระเหย [1, 4]

การใช้ falling film evaporator แบบชุดเดียว (รูปที่ 9.3) ในการระเหยน้ำนมจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก ดังนั้นจึงนิยม falling film evaporator หลายชุดต่อกัน (รูปที่ 9.4) จะช่วยให้ประหยัดพลังงานได้มากเนื่องจากจะใช้พลังงานลดลงและลดต้นทุนในการผลิต ตัวอย่างเช่น กรณีที่ใช้ชุดระเหย 4 ชุด ไอน้ำ 1 กิโลกรัมที่ใช้มีผลทำให้น้ำระเหยได้ 3 กิโลกรัม การใช้ thermal vapour recompression สามารถช่วยลดการใช้ไอน้ำลงได้ ใน thermocompressor ไอน้ำจะถูกฉีดผ่านหัวฉีดทำให้เกิดการฉีดไอน้ำลงในถังผสมซึ่งเป็นที่ที่ไอน้ำที่ได้จากการแยกถูกบีบลงมา ดังนั้นการประยุกต์ใช้ thermocompressor ตามรูปที่ 9.6 มีผลทำให้อิอน้ำ 1 กิโลกรัมใช้ระเหยน้ำได้ 5 กิโลกรัม [1, 4]

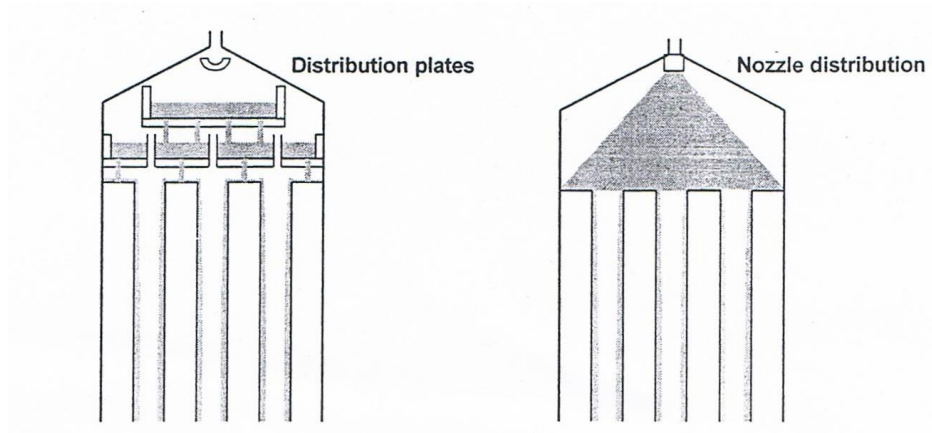


รูปที่ 9.3 Falling film evaporator แบบชุดเดียว

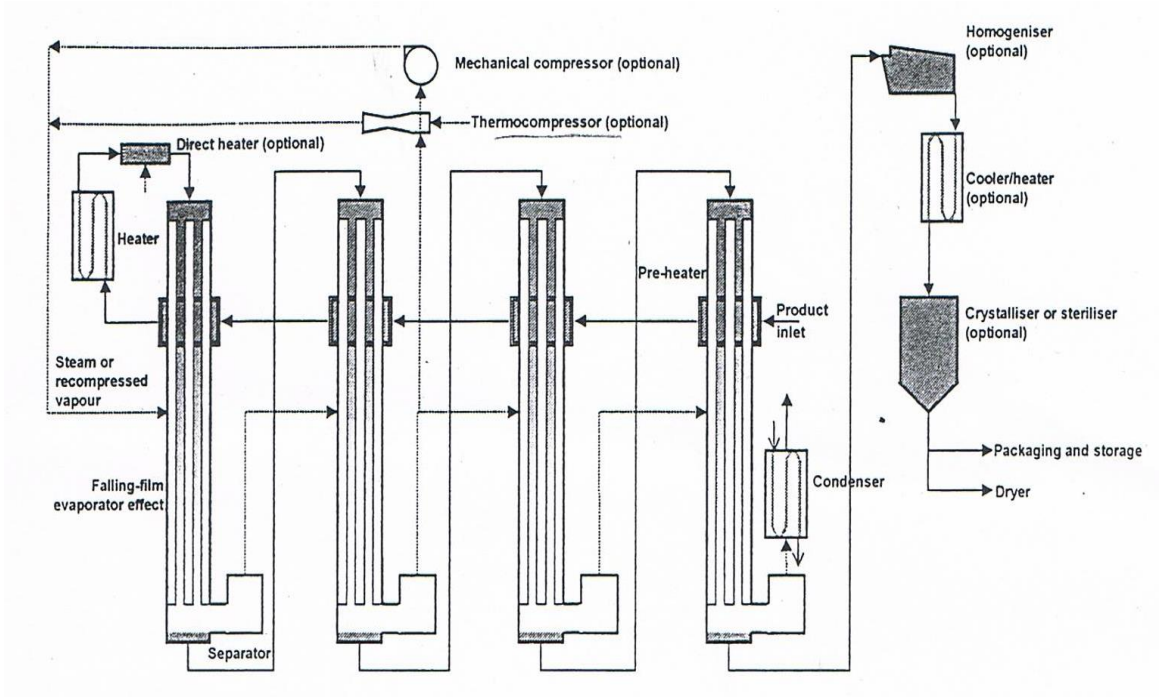


รูปที่ 9.4 Falling film evaporator แบบหลายชุด

ที่มา: Renyard และ Whitehead [5]



รูปที่ 9.5 ระบบการจ่ายของเหลวบริเวณด้านบนของเครื่องระเหย  
ที่มา: de Jong และ Verdurman [4]



รูปที่ 9.6 Falling film evaporators ที่ใช้ในอุตสาหกรรม  
ที่มา: de Jong และ Verdurman [4]

### 9.1.1.5 การโฮโมจีไนส์

การโฮโมจีไนส์ ทำเพื่อปรับปรุงความคงตัวของอิมัลชันของไขมันนม หลีกเลี่ยงการแยกชั้นของครีม โดยการลดขนาดของเม็ดไขมันลง ซึ่งเดิมเม็ดไขมันในน้ำมันที่ยังไม่ได้โฮโมจีไนส์จะมีขนาด 0.1-15 ไมโครเมตร เฉลี่ย 3-5 ไมโครเมตรและหลังจากที่ผ่านการโฮโมจีไนส์แล้วร้อยละ 85 ของเม็ดไขมันจะมีขนาดเล็กกว่า 2 ไมโครเมตร ในการผลิตนมข้นไม่หวาน จะนำน้ำมันมาผ่านการโฮโมจีไนส์แบบ 2 ขั้นตอนที่อุณหภูมิ 65°C โดยใช้ความดันสูง ในขั้นแรก ความดันที่ใช้ในการโฮโมจีไนส์จะผันแปรอยู่ในช่วง 15-25 เมกกาปาสคาล และในขั้นที่สองจะใช้ความดัน 5-10 เมกกาปาสคาล น้ำมันที่ผ่านการโฮโมจีไนส์แล้วจะมีสีขาวขึ้น มีความหนืดและแรงตึงผิวเพิ่มขึ้น ความสามารถในการตกตะกอนจะลดลง [1]

### 9.1.1.6 การปรับมาตรฐานครั้งที่สอง

การปรับมาตรฐานของอัตราส่วนของปริมาณไขมันนมต่อปริมาณของแข็งในนมไม่รวมไขมันครั้งที่สองนี้จะทำก็ต่อเมื่อไม่ได้ปรับมาตรฐานของอัตราส่วนนี้ในขั้นแรก การปรับมาตรฐานทำได้โดยการเติมน้ำหางนม หางนมระเหยหรือครีมที่ผ่านการโฮโมจีไนส์แล้วลงไป ในระหว่างการปรับมาตรฐานขั้นนี้จะเติมสารคงตัวลงไปในน้ำมันด้วย สารคงตัวที่อนุญาตให้ใช้ได้แก่ ไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต โซเดียมไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต ไดโซเดียมฟอสเฟต ไตรโซเดียมซิเตรต และโซเดียมไบคาร์บอเนต สารต่างๆ เหล่านี้จะช่วยให้น้ำมันมีความคงตัวต่อความร้อนดีขึ้นและช่วยป้องกันการเกิดเจลระหว่างเก็บรักษา [5]

### 9.1.1.7 การบรรจุและการสเตอริไลซ์

โดยทั่วไปมักบรรจุนมข้นไม่หวานในกระป๋องตั้งแต่ขนาด 0.4 กิโลกรัมไปจนถึงหลายกิโลกรัม โดยจะบรรจุที่อุณหภูมิต่ำเพื่อป้องกันการเกิดฟองอากาศ เมื่อบรรจุน้ำมันและปิดฝากระป๋องเรียบร้อยแล้วจะนำไปสเตอริไลซ์ด้วยเครื่องสเตอริไลซ์แบบต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 100-120°C เป็นเวลา 15-20 นาทีหรืออาจสเตอริไลซ์แบบยูเอชทีที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 3 วินาทีก็ได้ แล้วบรรจุในสภาพปลอดเชื้อแต่การสเตอริไลซ์แบบแรกจะเสี่ยงต่อการสูญเสียความคงตัวของโปรตีนน้อยกว่าการสเตอริไลซ์แบบหลัง หรืออาจสเตอริไลซ์แบบยูเอชทีที่อุณหภูมิ 140°C เป็นเวลา 3 วินาที ตามด้วยการทำให้เย็นถึงอุณหภูมิ 60°C กระบวนการแปรรูปทั้งหมดตั้งแต่การให้ความร้อนขั้นต้นจนถึงการบรรจุในสภาพปลอดเชื้อควรกระทำอย่างต่อเนื่อง [1, 3]

### 9.1.1.8 การเก็บรักษา

ในระหว่างการเก็บรักษานั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของนมข้นไม่หวานเกิดขึ้น อัตราการเปลี่ยนแปลงนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาของการเก็บรักษา เช่น มีการรายงานว่าหลังจากที่เก็บนมข้นไม่หวานไว้เป็นเวลา 12 เดือนที่อุณหภูมิ 10°C ปริมาณกรดไขมันอิสระในนมข้นไม่หวานจะเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 40 และถ้าหากเก็บนมข้นไม่หวานที่มีปริมาณของแข็งสูงไว้ที่อุณหภูมิ 6-8°C จะเก็บไว้ได้นานถึง 12 เดือนโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เกิดขึ้น นอกจากนี้ถ้าหากเติมเวย์ผงร้อยละ 4-5 และเติมสารที่ช่วยให้มีลัคชันคงตัวลงไปนมนมข้นไม่หวานจะช่วยให้โปรตีนและไขมันมีความคงตัวดีขึ้น ทำให้สามารถเก็บนมข้นไม่หวานไว้ได้นานโดยคุณภาพไม่เปลี่ยนแปลง [3]

นอกจากนี้ควรควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศบริเวณสถานที่เก็บรักษานมข้นไม่หวานด้วย ซึ่งควรให้มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 50 เพื่อป้องกันการกักต่อนและการเกิดสนิมที่ผิวกระป๋องและถ้าหากต้องเก็บรักษาเป็นเวลานาน ควรหมั่นกลับกระป๋องเพื่อป้องกันการเกิดขึ้นของคริมที่ผิวของน้ำนมภายในกระป๋องระหว่างเก็บรักษา [3]

### 9.1.2 การควบคุมคุณภาพของนมข้นไม่หวาน

ในการควบคุมคุณภาพนั้นจะต้องทำการตรวจสอบทั้งด้านเคมี ด้านจุลินทรีย์ และด้านประสาทสัมผัส ซึ่งจะต้องตรวจหาปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณไขมัน วัตความหนืด ตรวจผลของการไฮโมจีไนส์ และตรวจการเปลี่ยนแปลงในระหว่างเก็บรักษา เช่น การเกิดเจล การเกิดตะกอน การเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสและสี รวมทั้งตรวจการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากจุลินทรีย์ [3]

การเกิดเจล (gelation) เป็นตำหนิในนมข้นไม่หวานที่มักพบเสมอซึ่งจะทำให้เกิดลักษณะที่ข้นมากเกินไป ดังนั้นผู้เชี่ยวชาญหลายท่านจึงได้พยายามที่จะแก้ปัญหานี้ โดยพบว่าการเติมเกลือโซเดียมฟอสเฟตหรือเกลือซิเตรตและการให้ความร้อนขึ้นต้นที่อุณหภูมิ 88°C เป็นเวลา 30 นาทีจะช่วยชะลอการเกิดเจลได้แต่การเพิ่มโปรตีนในนมข้นไม่หวานจะทำให้มีการเกิดเจลมากขึ้น [3]

การเกิดตะกอนในนมข้นหวานเกิดขึ้นเนื่องจากโปรตีนนมมีความคงตัวต่อความร้อนต่ำ เมื่อน้ำนมได้รับความร้อนสูงในระหว่างการสเตอริไลซ์โปรตีนนมก็จะตกตะกอน การแก้ปัญหานี้ทำได้โดยเติม เกลือไดโซเดียมฟอสเฟตหรือสารคงตัวชนิดอื่น ๆ ดังที่กล่าวมาแล้วในขั้นการปรับมาตรฐานครั้งที่สอง สารคงตัวเหล่านี้จะช่วยเพิ่มค่าพีเอชของนมข้นและทำให้โปรตีนมีความคงตัวต่อความร้อนมากขึ้น นอกจากนี้การให้ความร้อนสูงในขั้นต้นที่อุณหภูมิ 120-130°C เป็นเวลา 30 วินาทีก็จะช่วยปรับปรุงความคงตัวของโปรตีนนมต่อความร้อนได้เช่นกัน [6]

การเปลี่ยนแปลงสีและกลิ่นรส สำหรับการเปลี่ยนสีนั้นเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการเมลลไเซชัน และปฏิกิริยาเมลลาร์ดทำให้เกิดสารสีน้ำตาล ส่วนการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสที่มักเกิดขึ้นในนมข้นไม่หวานคือการเกิดกลิ่นนมต้ม (cooked flavor) ซึ่งมีสาเหตุจากปฏิกิริยาของหมู่ซัลไฟดริลในบีตา-แลคโตกลูบูลินทำให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้น

การเปลี่ยนแปลงโดยจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ที่พบในนมข้นไม่หวานอาจเป็นจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอันเนื่องมาจากการรั่วของกระป๋องได้แก่จุลินทรีย์พวก streptococci และ lactobacilli ซึ่งจะเจริญและสร้างกรด ทำให้โปรตีนตกตะกอนหรืออาจเป็นจุลินทรีย์ที่สร้างสปอร์ได้ซึ่งอยู่รอดในระหว่างการสเตอริไลซ์และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงปรารถนาหลายประการเช่น การทำลายโปรตีนโดยเชื้อ *Bacillus subtilis* และ *B. licheniformis* การระเบิดของกระป๋องจากการกระทำของ *Clostridium sporogenes* และการตกตะกอนของโปรตีนแบบที่ไม่มีการสร้างกรด (sweet coagulation) จากการกระทำของเชื้อ *B. coagulans*, *B. stearothermophilus* และ *B. cereus* [3]

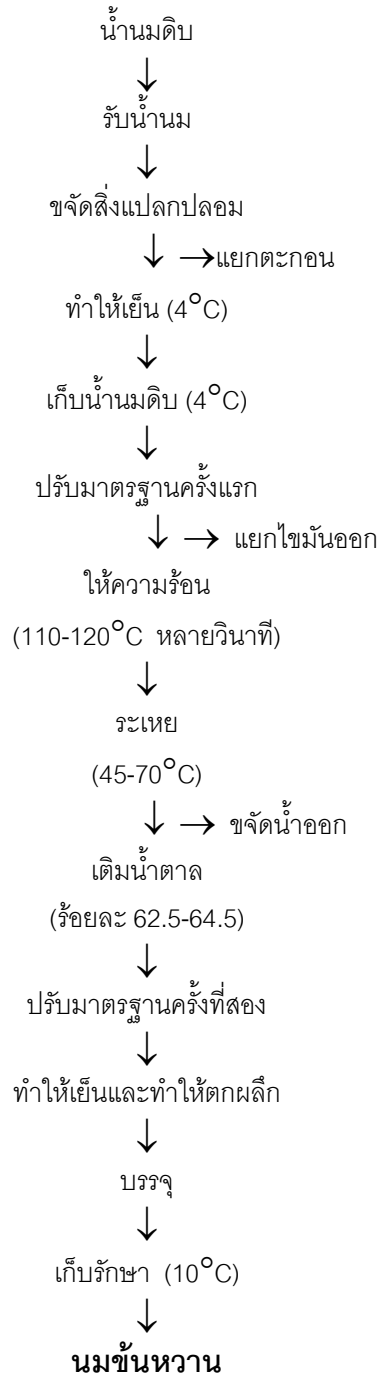
## 9.2 นมข้นหวาน (sweetened condensed milk)

นมข้นหวานเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการระเหยน้ำออกจากร้านนมและมีการเติมน้ำตาลลงไป นมข้นหวานจะมีสีเหลืองอ่อนและมีลักษณะเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 26 (พ.ศ.2522) ได้กำหนดว่านมข้นหวานจะต้องมีของแข็งในนมไม่รวมไขมันไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ของน้ำหนัก และมีไขมันนมไม่น้อยกว่าร้อยละ 8 ของน้ำหนัก [2]

### 9.2.1 กรรมวิธีการผลิตนมข้นหวาน

ในการผลิตนมข้นหวานนั้นจะนำนมดิบมาฆ่าจัดสิ่งแปลกปลอม ทำให้น้ำมันเย็นลง และเก็บนมดิบไว้ในไซโลเพื่อรอการผลิต และเมื่อจะทำการผลิตนมข้นหวานก็จะปั้มน้ำมันดิบจากไซโลมาปรับมาตรฐานครั้งแรก ให้ความร้อน ทำการระเหย เติมน้ำตาล ปรับมาตรฐานครั้งที่สอง ทำให้เย็น และทำให้เกิดผลึก บรรจุและเก็บรักษา กระบวนการผลิตนมข้นหวานแสดงดังรูปที่ 9.7 เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการผลิตนมข้นไม่หวานตามรูปที่ 9.1 กับกระบวนการผลิตนมข้นหวานตามรูปที่ 9.7 แล้ว จะเห็นว่าแตกต่างกันตรงที่กระบวนการผลิตนมข้นหวานจะมีขั้นตอนการเติมน้ำตาล การทำให้เย็น และทำให้เกิดผลึก แต่จะไม่มีขั้นตอนการโฮมจีไนส์และสเตอริไลซ์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่านมข้นหวานเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้เก็บถนอมไว้ได้นานด้วยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง แต่จะเก็บถนอมไว้ได้นานโดยอาศัยความดัน

ออสโมติกที่เพิ่มขึ้นจากการเติมน้ำตาลลงไปในระดับความเข้มข้นสูง ซึ่งแตกต่างกับนมข้นไม่หวานที่เก็บถนอมไว้ได้นานโดยการอาศัยการให้ความร้อนสูงในการสเตอริไลซ์ [3]



รูปที่ 9.7 แผนภูมิการผลิตนมข้นหวาน

### 9.2.1.1 การรับน้ำนมดิบ การขจัดสิ่งแปลกปลอม การทำให้ร้อน และการเก็บน้ำนมดิบ

น้ำนมที่ใช้ในการผลิตนมชั้นหวานอาจเป็นนมพร้อมมันเนยหรือหางนมก็ได้ โดยจะต้องเป็นน้ำนมที่มีคุณภาพดี สำหรับการขจัดสิ่งแปลกปลอม การทำให้เย็น และการเก็บน้ำนมดิบนั้นจะกระทำเช่นเดียวกับการผลิตนมชั้นไม่หวาน [3]

### 9.2.1.2 การปรับมาตรฐานครั้งแรก

ในขั้นนี้จะทำการปรับอัตราส่วนของปริมาณไขมันนมต่อปริมาณของแข็งในนมไม่รวมไขมันโดยการเติมหางนมหรือครีมเพื่อให้ได้ ส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์สุดท้ายตามต้องการและในการปรับอัตราส่วนของปริมาณซูโครสต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดจะกระทำหลังจากเติมน้ำตาล (ในช่วงของการปรับมาตรฐานครั้งที่สอง) ซึ่งมาตรฐานส่วนประกอบของนมชั้นหวานในแต่ละประเทศนั้นจะแตกต่างกัน เช่น นมชั้นหวานของไทยตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 26 (พ.ศ.2522) นั้นจะต้องประกอบด้วยไขมันนมไม่น้อยกว่าร้อยละ 8 ของน้ำหนัก และมีของแข็งในนมไม่รวมไขมันไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ของน้ำหนัก ส่วนนมชั้นหวานตามมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา จะต้องประกอบด้วยไขมันนมไม่น้อยกว่าร้อยละ 8 และมีของแข็งในนมทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 28 และนมชั้นหวานตามมาตรฐานของเยอรมัน จะต้องประกอบด้วยไขมันนมไม่น้อยกว่าร้อยละ 8.3 ของของแข็งในนมไม่รวมไขมันไม่น้อยกว่าร้อยละ 22 และน้ำไม่เกินร้อยละ 27 [3]

### 9.2.1.3 การให้ความร้อน

การให้ความร้อนน้ำนมที่ใช้ผลิตนมชั้นหวาน นอกจากจะช่วยทำลายจุลินทรีย์ทั้งประเภทที่ทนอุณหภูมิสูงได้ดี และประเภทที่ทนต่อความดันออกซิเจนได้ดี ช่วยยับยั้งเอนไซม์โดยเฉพาะไลเปสและโปรตีเอสแล้วการให้ความร้อนยังทำให้เกิดประโยชน์อีกหลายประการ ได้แก่ ช่วยลดการแยกตัวของไขมัน ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และทำให้น้ำนมมีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนที่นำไประเหย ซึ่งจะช่วยประหยัดพลังงานในขั้นตอนการระเหย การให้ความร้อนน้ำนมที่ใช้ผลิตนมชั้นหวานส่วนใหญ่มักให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110-120°C โดยใช้แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน [3]

### 9.2.1.4 การระเหย

การระเหยในกระบวนการผลิตนมชั้นหวาน จะใช้อุปกรณ์และวิธีการคล้ายกับการผลิตนมชั้นไม่หวานซึ่งจะระเหยในช่วงอุณหภูมิ 45-70°C [3]

### 9.2.1.5 การเติมน้ำตาล

น้ำตาลที่เติมส่วนใหญ่เป็นซูโครสซึ่งจะต้องเป็นซูโครสที่มีคุณภาพดี ปราศจากกรดและน้ำตาลอินเวอร์ส ข้อดีของซูโครสคือน้ำตาลที่ละลายได้ดี และไม่ตกผลึกง่ายแม้แต่ที่ความเข้มข้นสูง ๆ ในการเติมซูโครสนั้น จะนำซูโครสมาละลายน้ำแล้วให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 95°C เพื่อทำลายจุลินทรีย์ก่อนที่จะเติมสารละลายซูโครสลงในน้ำนม ปริมาณของน้ำตาลที่เติมนี้จะเติมเพื่อให้ได้ระดับความเข้มข้นของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นร้อยละ 62.5-64.5 ค่านี้เรียกว่าค่าซูการอินเด็กซ์ (sugar index) ซึ่งควรอยู่ในช่วงร้อยละ 62.5-64.5 ถ้าหากค่าซูการอินเด็กซ์สูงกว่าร้อยละ 64.5 อาจมีการตกผลึกของแลคโตสเกิดขึ้นได้ ค่านี้สามารถคำนวณได้ตามสูตร [3]

$$C_z = \frac{S}{S + W} \times 100$$

เมื่อ	$C_z$	=	ค่าซูการอินเด็กซ์
	$S$	=	ปริมาณซูโครสในนมข้นหวาน (ร้อยละ)
	$W$	=	ปริมาณน้ำในนมข้นหวาน (ร้อยละ)

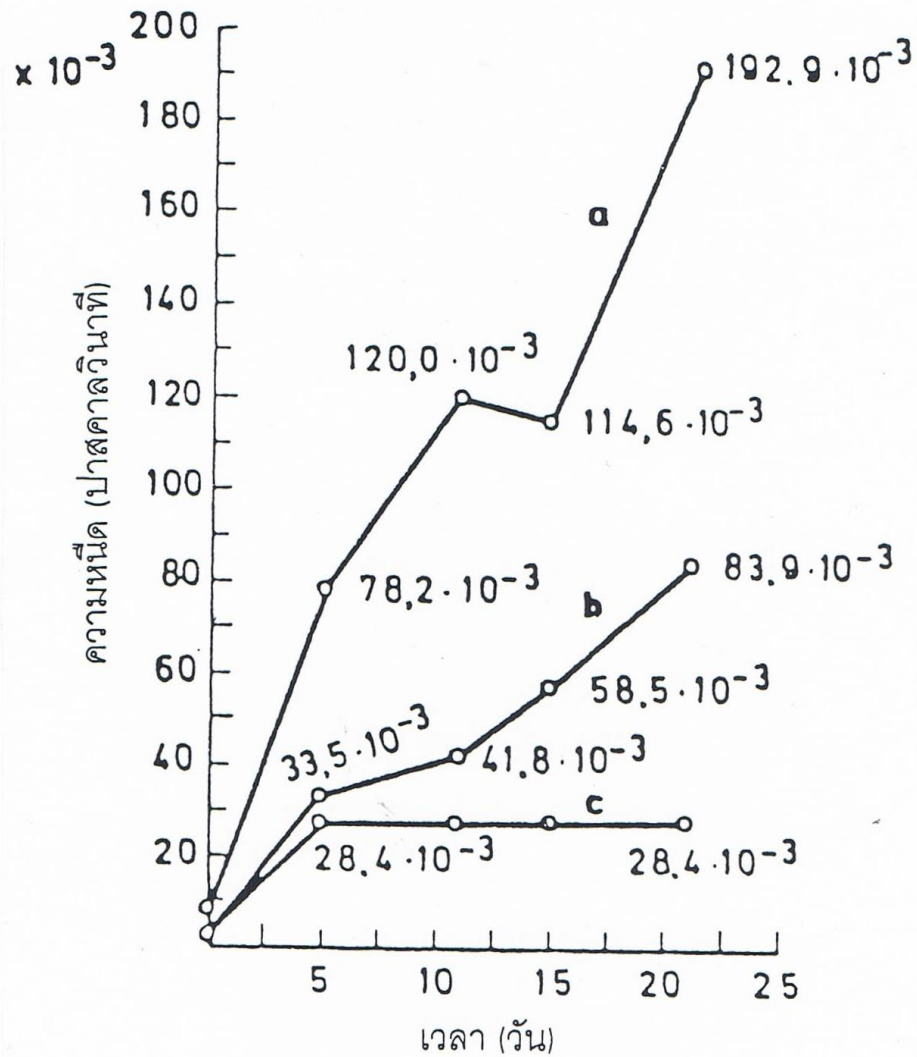
การเติมน้ำตาลจะมีผลทำให้ความหนืดของนมข้นหวานเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งวิธีการเติมน้ำตาลที่แตกต่างกันจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของนมข้นหวานในระหว่างเก็บรักษา ดังรูปที่ 9.1

### 9.2.1.6 การปรับมาตรฐานครั้งที่สอง

การปรับมาตรฐานครั้งนี้จะกระทำหลังจากระเหยและเติมน้ำตาลแล้ว ซึ่งในขั้นนี้จะทำการปรับปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนมให้ได้ตามต้องการ [3]

### 9.2.1.7 การทำให้เย็นและทำให้ตกผลึก

การตกผลึกของแลคโตสจะเกิดขึ้นในระหว่างการทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นลงหลังจากที่ระเหยและเติมน้ำตาลแล้ว ซึ่งการตกผลึกของแลคโตสนั้นอาจเนื่องมาจากหลายสาเหตุ ได้แก่ การลดอุณหภูมิ การที่แลคโตสมีความเข้มข้นสูง (มากกว่าร้อยละ 10) การเติมน้ำตาลปริมาณมาก (ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 40) และการที่นมข้นหวานมีปริมาณน้ำน้อย [3]



รูปที่ 9.8 ผลของการเติมน้ำตาลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของนมข้นหวานระหว่างการเก็บรักษา :

เส้นกราฟ (a) เติมน้ำตาลลงในนมก่อนแล้วจึงให้ความร้อน

เส้นกราฟ (b) ให้ความร้อนน้ำตาลแยกกับนม ทำให้เย็นถึง  $57^{\circ}\text{C}$  แล้วจึงผสมกันก่อนที่จะระเหย

เส้นกราฟ (c) เติมน้ำตาลในรูปของน้ำเชื่อมลงในนมที่ผ่านการระเหยแล้ว

ในการผลิตนมข้นหวานที่มีคุณภาพดี สิ่งสำคัญจะต้องป้องกันมิให้เกิดผลึกของแลคโตสที่มีขนาดใหญ่กว่า 15 ไมโครเมตร ผลึกที่มีขนาดใหญ่จะทำให้เกิดลักษณะที่หยาบเหมือนทราย (sandiness) เมื่อรับประทานหรือแต่ะลื่น การป้องกันการเกิดผลึกที่มีขนาดใหญ่ทำได้โดยเติมผงผลึกแลคโตสลงไป (ปริมาณ 0.5 กิโลกรัมต่อน้ำนม 1,000 กิโลกรัม) เพื่อชักนำให้เกิดผลึกขนาดเล็กแล้วทำให้เย็นอย่างรวดเร็วพร้อมทั้งกวนอย่างสม่ำเสมอ จะเกิดผลึกของแลคโตสที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร การทำให้เย็นและตกผลึกนี้จะทำโดยใช้ถัง 2 ชั้น ภายในมีใบพัดกวนและมีน้ำเย็นไหลวนอย่างต่อเนื่องระหว่างถังชั้นนอกกับถังชั้นใน [3]

#### 9.2.1.8 การบรรจุและการเก็บรักษา

ในการบรรจุนมข้นหวานนั้นจะบรรจุในกระป๋องดีบุกขนาดเล็กเพื่อขายปลีก และบรรจุในถังโลหะขนาดใหญ่เพื่อขายตามโรงงานที่ต้องการใช้นมข้นหวานปริมาณมาก ส่วนการเก็บรักษานมข้นหวานโดยทั่วไปจะเก็บที่อุณหภูมิประมาณ  $10^{\circ}\text{C}$  ซึ่งเมื่อเร็ว ๆ นี้ มีผู้พบว่าถ้าหากเก็บนมข้นหวานไว้ที่อุณหภูมิ  $-10^{\circ}\text{C}$  จะเก็บไว้ได้หลายปี โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบเกิดขึ้น [3]

#### 9.2.2 การควบคุมคุณภาพของนมข้นหวาน

ในการควบคุมคุณภาพของนมข้นหวานจะต้องวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมดปริมาณของแข็งในนมไม่รวมไขมัน ปริมาณไขมัน ปริมาณซูโครสที่เติม วัตถุประสงค์ และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงในระหว่างเก็บรักษาเช่น การเกิดลักษณะที่หยาบเหมือนทราย การตกของผลึกแลคโตส การเปลี่ยนสีและกลิ่นรสและการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากจุลินทรีย์ [3]

การเกิดลักษณะที่หยาบเหมือนทรายในนมข้นหวาน อาจมีสาเหตุมาจากการทำให้เกิดผลึกอย่างไม่เหมาะสม (เช่น ทำให้เย็นช้าเกินไป หรือกวนไม่เพียงพอ) การที่มีความเข้มข้นของของแข็งในนมสูงเกินไป การที่มีความเข้มข้นของซูโครสสูงเกินไป (มากกว่าร้อยละ 64.5) การที่มีความหนืดต่ำ การเก็บที่อุณหภูมิต่ำมาก (น้อยกว่า  $0^{\circ}\text{C}$ ) และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างเก็บรักษา [3]

การตกของผลึกแลคโตสมีสาเหตุมาจากความแตกต่างของค่ามวลจำเพาะ (specific mass) ระหว่างผลึกแลคโตสกับผลิตภัณฑ์ ซึ่งปกติผลึกแลคโตสจะมีค่ามวลจำเพาะเป็น 1.5453 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและนมข้นหวานจะมีค่ามวลจำเพาะเป็น 1.3488-1.4100 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในสภาพที่มีความแตกต่างของค่ามวลจำเพาะนี้ประกอบกับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดต่ำ และมีผลึกแลคโตสขนาดใหญ่อยู่ด้วยจึงทำให้เกิดการตกของผลึกแลคโตสลงที่ก้นภาชนะ [3]

การเปลี่ยนสีของนมข้นหวาน มักไม่เป็นปัญหามากนักเนื่องจากการผลิตนมข้นหวานมีการให้ความร้อนในระดับต่ำและไม่มีการสเตอริไลซ์ ดังนั้นจึงไม่มีปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาลขึ้นทั้งในระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $10^{\circ}\text{C}$  สำหรับการเปลี่ยนแปลงกลิ่นรสก็อาจเกิดขึ้นในนมข้นหวานได้ถ้าหากมีการให้ความร้อนไม่เพียงพอที่จะยับยั้งเอนไซม์ไลเปส ซึ่งจะเป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นหืน [3]

นมข้นหวานอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากจุลินทรีย์เช่น แบคทีเรีย ยีสต์และเชื้อรา แบคทีเรียที่มักพบในนมข้นหวาน ได้แก่ เชื้อ *Micrococcus*, *Streptococcus*, *Staphylococcus* และ *Bacillus* แบคทีเรียเหล่านี้จะสร้างกรดทำให้โปรตีนตกตะกอนและเป็นสาเหตุให้นมข้นหวานข้นมากขึ้น วิธีป้องกันทำได้โดยจะต้องฆ่าเชื้อที่ติดอยู่กับอุปกรณ์อย่างเหมาะสม รวมทั้งต้องทำให้สารละลายซูโครส (ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 64.5) ปราศจากเชื้อจริง ๆ สำหรับเชื้อราที่อาจพบในนมข้นหวาน ได้แก่ เชื้อรา *Aspergillus*, *Catenumaria* และ *Penicillium* เชื้อราเหล่านี้สามารถผลิตเอนไซม์และกรดทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงปรารถนา การป้องกันการเจริญของเชื้อราทำได้โดยบรรจุนมข้นหวานในสภาพสุญญากาศหรือเก็บนมข้นหวานที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $15^{\circ}\text{C}$  ส่วนยีสต์ที่พบในนมข้นหวานส่วนใหญ่ปนเปื้อนมากับน้ำตาล ยีสต์ที่พบได้แก่ เชื้อ *Torulopsis* และ *Lactis condensis* โดยยีสต์จะหมักซูโครสทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และแอลกอฮอล์ [3]

### 9.3 นมข้นคินรูป (recombined concentrates)

#### 9.3.1 นมข้นไม่หวานคินรูป

ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตนมข้นไม่หวานคินรูปคือ หางนมผงชนิดคงตัวต่อความร้อน anhydrous milk fat และสารคงตัว ในการผลิตนมข้นไม่หวานคินรูปก่อนอื่นจะต้องนำหางนมผงมาละลายน้ำที่อุณหภูมิประมาณ  $50^{\circ}\text{C}$  เพื่อให้ได้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในนมประมาณร้อยละ 24.3 จากนั้นจึงผสม anhydrous milk fat ที่ผ่านการหลอมลงไปในส่วนนี้ นำส่วนผสมทั้งหมดไปโฮโมจีไนส์แล้วทำให้เย็นนำไปบรรจุกระป๋องและฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ  $121^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 10 นาทีจะได้นมข้นไม่หวานคินรูปที่มีลักษณะคล้ายกับนมข้นไม่หวานที่ผลิตตามกรรมวิธีปกติ [5]

#### 9.3.2 นมข้นหวานคินรูป

ในการผลิตนมข้นหวานคินรูป ขั้นแรกจะนำหางนมผงมาละลายในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ  $50^{\circ}\text{C}$  ให้ได้นมข้นคินรูปที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 41 แล้วนำนมข้นคินรูปที่ได้ไประเหยน้ำออกเป็น

เวลา 15-20 นาที จากนั้นจึงเติมน้ำตาลลงไปผสมที่อุณหภูมิประมาณ 50°C เมื่อน้ำตาลละลายเข้ากันดีแล้วจึงเติม anhydrous milk fat ที่ผ่านการหลอมลงไปผสมให้เข้ากัน นำส่วนผสมทั้งหมดไปกรอง ทำการโฮมจีไนส์ พาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 30 วินาทีและทำให้เย็นลงในสภาพสุญญากาศจนถึงอุณหภูมิ 30°C แล้วจึงเติมผงแลคโตสที่มีขนาดของผลึก 10 ไมโครเมตรลงไปเพื่อชักนำให้เกิดผลึกแลคโตสขนาดเล็ก และทำให้นมข้นหวานเย็นลงในสภาพสุญญากาศอีกครั้งจนอุณหภูมิลดลงเหลือ 20°C ก่อนที่จะบรรจุในกระป๋องที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว [5]

#### 9.4 หางนมเข้มข้น (skimmed milk concentrates)

ผลิตภัณฑ์หางนมเข้มข้นหรือผลิตภัณฑ์หางนมผสมกับเวย์แล้วทำให้เข้มข้น เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณของแข็งต่ำอยู่ในช่วงร้อยละ 35-40 มีอายุการเก็บสั้นคือ เก็บได้เพียง 2-3 วัน ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 7°C ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ทำได้ไม่ยาก เพียงแต่ให้ความร้อนส่วนผสมของหางนมกับเวย์ (อัตราส่วน 5 ต่อ 1) จนถึงอุณหภูมิของการพาสเจอร์ไรส์ จากนั้นจึงนำไประเหย หางนมเข้มข้นนี้ใช้กันมากในอุตสาหกรรมการผลิตไอศกรีมเนื่องจากสะดวกกว่าการใช้หางนมผงซึ่งจะต้องนำไปละลายน้ำก่อน นอกจากนี้ยังใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นอีก เช่น โยเกิร์ต ขนมหวานแช่แข็ง ชูป และซอส เป็นต้น [5]

#### 9.5 เวย์เข้มข้น

เวย์เป็นของเหลวที่เป็นผลพลอยได้จากการทำเนยแข็ง มีปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 6.4 ซึ่งประกอบด้วย แลคโตส โปรตีน เกลือแร่ และกรดแลคติกในจำนวนนี้แลคโตสเป็นส่วนประกอบที่มีมากที่สุดคือมีถึงร้อยละ 75 ของปริมาณของแข็งทั้งหมด ปกติเวย์จะเสี้ง่าย ทั้งนี้เนื่องมาจากในเวย์มีปริมาณของแข็งต่ำประกอบกับมีการปนเปื้อนของกล้าเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ทำเนยแข็ง ดังนั้นเพื่อที่จะยืดอายุการเก็บของเวย์จึงต้องพยายามที่จะขจัดน้ำออกจากเวย์ ซึ่งแต่เดิมจะทำการระเหยน้ำออกจากเวย์แล้วนำไปทำแห้งด้วยเครื่องสเปรย์ดรายเพื่อผลิตเวย์ผง แต่ในปัจจุบันนิยมผลิตเป็นเวย์เข้มข้นกันมากขึ้น ในการผลิตเวย์เข้มข้นจะทำการพาสเจอร์ไรส์เวย์สด แยกตะกอนออกแล้วนำไประเหย ในการระเหยเวย์ไม่ควรระเหยจนมีปริมาณของแข็งมากกว่าร้อยละ 30 เพราะที่ความเข้มข้นระดับนี้จะเกิดการตกผลึกของแลคโตส อย่างไรก็ตามที่ระดับความเข้มข้นเท่านี้ไม่เพียงพอที่จะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ดังนั้นเวย์เข้มข้นที่มีปริมาณของแข็งร้อยละ 30 และเก็บที่อุณหภูมิ 5-8°C จึงมีอายุการเก็บสั้นเพียง 2-3 วัน

เวย์เข้มข้นนี้ใช้มากในการผลิตไอศกรีม ชูป ซอส และมาการีน สำหรับการยืดอายุการเก็บเวย์เข้มข้นนั้นทำได้โดยเติมซูโครสลงไป เรียกเวย์ชนิดนี้ว่า sweetened condensed whey ซึ่งอาจใช้แทนนมข้นหวานในการผลิตขนมหวานต่าง ๆ ได้โดยจะช่วยลดต้นทุนเพราะมีราคาถูกกว่าแต่การใช้ sweeten condensed whey มีข้อเสียเนื่องจากอาจมีการตกผลึกของแลคโตสเกิดขึ้นในขนมหวานระหว่างการเก็บรักษา [5]

## 9.6 การเสีของผลิตภัณฑ์นมข้น

### 9.6.1 การเสีของนมข้นไม่หวานที่ไม่ผ่านการสเตอริไลซ์

จุลินทรีย์ที่ทำให้นมข้นไม่หวานเน่าเสียอาจเป็นแบคทีเรียประเภทที่ทนความร้อนได้ดี ซึ่งจะอยู่รอดได้หลังการแปรรูปโดยเฉพาะเชื้อ *Bacillus* และ *Clostridium* แบคทีเรียเหล่านี้จะพบได้บ่อยถ้าหากสุกลักษณะของการผลิตไม่ดีพอโดยจะปนเปื้อนมากับน้ำนมดิบและอยู่รอดได้หลังผ่านกระบวนการแปรรูป ดังนั้นจำนวนของแบคทีเรียประเภทนี้ในผลิตภัณฑ์จึงขึ้นอยู่กับจำนวนของแบคทีเรียเริ่มต้นในน้ำนมดิบ นอกจากนี้จุลินทรีย์ที่ทำให้นมข้นไม่หวานเน่าเสีย อาจมาจากแบคทีเรียที่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์หลังผ่านกระบวนการแปรรูปจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนนี้มีมากมายหลายชนิด แต่ที่พบส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียแกรมบวก ได้แก่ *Pseudomonas* และจุลินทรีย์ที่อยู่ในกลุ่ม Enterobacteriaceae เช่น *Citrobacter* และ *Hafnia* จุลินทรีย์เหล่านี้ส่วนใหญ่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4°C และเป็นสาเหตุการเสีของนมข้นไม่หวานที่เก็บที่อุณหภูมิตู้เย็น สำหรับลักษณะการเสีนั้น ส่วนมากจะเกิดการสร้างกรดและแก๊ส เกิดการย่อยสลายโปรตีนและย่อยสลายไขมัน [7]

### 9.6.2 การเสีของนมข้นไม่หวานบรรจุกระป๋อง

การเสีของนมข้นไม่หวานบรรจุกระป๋อง อาจมีสาเหตุมาจากการให้ความร้อนไม่เพียงพอ หรือจากการปนเปื้อนหลังการแปรรูป หรืออาจมีสาเหตุมาจากจุลินทรีย์ชนิดที่ทนความร้อนสูงได้ดีซึ่งจะอยู่รอดได้หลังจากผ่านการให้ความร้อนตามปกติ จุลินทรีย์ชนิดนี้คือ *Bacillus stearothermophilus* สำหรับการเสีของนมข้นไม่หวานที่มีสาเหตุมาจากการให้ความร้อนไม่เพียงพอนั้น พบว่ามีจุลินทรีย์หลายชนิดที่ยังไม่ถูกทำลาย ได้แก่ *B. coagulans* ซึ่งจะสร้างกรดทำให้โปรตีนนมตกตะกอนและทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติคล้ายกลิ่นเนยแข็ง (cheesy odour) ส่วน *B. megaterium* ก็อาจพบได้ โดยจะสร้างกรดและแก๊ส ทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติคล้ายกลิ่นเนยแข็งเช่นกัน และบางครั้งอาจพบ *B. subtilis* ซึ่งจะย่อยสลายโปรตีนนมเป็นผลให้เกิดรสขมและทำให้น้ำนมมีความข้นมากขึ้น นอกจากนี้การเสีของนมข้นไม่หวานบางครั้งอาจมีสาเหตุจากการกระทำของ *Clostridium* แต่กรณีนี้พบไม่บ่อยนัก ส่วนการเสีของนมข้นไม่

หวานที่มีสาเหตุมาจากการปนเปื้อนหลังการแปรรูปนั้น ปกติจะมีการสร้างกรดและแก๊สขึ้นโดยเฉพาะจากการกระทำของ *Enterococcus faecium* ร่วมกับ *B. subtilis* [7]

### 9.6.3 การเสียของนมข้นหวาน

นมข้นหวานอาจเกิดการเสียโดยจุลินทรีย์พวก osmotolerant yeast เชื้อราและแบคทีเรีย แต่ที่พบบ่อยมักเสียเนื่องจาก osmotolerant yeast ซึ่งเป็นยีสต์ที่สามารถทนต่อความเข้มข้นของน้ำตาลสูง ๆ ได้โดยเฉพาะ *Torulopsis* ยีสต์ชนิดนี้ปนเปื้อนลงในน้ำนมที่ใช้ผลิตนมข้นหวานหลังจากที่ผ่านความร้อนในขั้นต้นแล้ว โดยจะสร้างแก๊สขึ้นในผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดการบวมของกระป๋อง ส่วนการเสียของนมข้นหวานโดยเชื้อรานั้น เชื้อราชนิดที่พบได้แก่ *Aspergillus* และ *Penicillium* ซึ่งจะเจริญที่ผิวของนมข้นหวาน ทำให้เกิดเป็นเม็ดขาว ๆ เล็ก ๆ ที่เรียกว่า buttons เม็ดขาว ๆ นี้ประกอบด้วยไมซีเลียของเชื้อราและเคซีนที่ตกตะกอน ในสภาพที่มีเชื้อราเจริญอยู่จะเกิดการย่อยสลายโปรตีนและเกิดกลิ่นรสผิดปกติขึ้น ส่วนการเสียของนมข้นหวานโดยแบคทีเรียอาจเกิดขึ้นได้ในกรณีที่นมข้นหวานมีปริมาณน้ำตาลค่อนข้างต่ำ จึงทำให้แบคทีเรียบางชนิดสามารถเจริญได้และทำให้นมข้นหวานเสีย แบคทีเรียที่พบบ่อยในนมข้นหวานได้แก่ เชื้อ *Micrococcus* และ *Bacillus* แบคทีเรียเหล่านี้จะทำให้นมข้นหวานมีลักษณะขุ่นมากขึ้น โดยจะสร้างกรด ย่อยสลายโปรตีนและไขมันในนมข้นหวาน [7]

## เอกสารอ้างอิง

1. Oliveira, M.N., Penna, A.L.B. and Nevarez, H.G. 2009. Production of evaporated milk, sweetened condensed milk and 'Dulce de Leche', pp. 149-179. In A.Y. Tamime (ed.). Dairy Powders and Concentrated Products. Blackwell Publishing Ltd., West Sussex, UK.
2. เสถียร วิชัยลักษณ์ และสีบวงส์ วิชัยลักษณ์. 2522. พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ.2522. นิติเวช, กรุงเทพฯ.
3. Caric, M. 1994. Concentrated and Dried Dairy Products. VCH Publishers, Inc., USA.
4. de Jong, P. and Verdurmen, R. E. M. 2001. Concentrated and dried dairy products. In: Tamime, A. Y. and Law, B. A. (Eds.). Mechanisation and Automation in Dairy Technology. Sheffield Academic Press, England.
5. Renyard, S. J. and P. D. Whitehead. 1992. Milk concentrates, pp.147-166. In R. Early (ed.). The Technology of Dairy Products. VCH Publishers, Inc., New York.

6. van den Berg, J. C. T. 1988. Dairy Technology in the tropics and Subtropics. Pudoc Wageningen, The Netherlands.
7. Varnam, A. H. and Sutherland, J. P. 1994. Milk and Milk Products. Chapman & Hall, London.

## บทที่ 10

### ผลิตภัณฑ์นมผง

นมผง (milk powder) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำน้ำนมมาระเหยน้ำออกจนเป็นผง การผลิตนมผงเป็นวิธีการเก็บถนอมน้ำนมที่รู้จักกันมานานหลายร้อยปี ตั้งแต่สมัยที่มารโคโปโลกลับจากการเดินทางไปมองโกเลีย เขาได้อธิบายวิธีการเก็บถนอมน้ำนมที่เหลือจากการตักครีมออกไปทำเนยโดยการนำน้ำนมไปต้มจนเดือดแล้วนำมาตากแดดจนแห้ง ได้นมผงเก็บไว้รับประทานเป็นอาหารเช้าโดยนำนมผงมาผสมน้ำเป็นน้ำนมคั้นรูป นมผงที่ผลิตได้สามารถเก็บไว้ได้นาน สะดวกต่อการขนส่งและเก็บรักษา ปัจจุบันผู้ผลิตอาหารส่วนใหญ่มักใช้นมผงเป็นส่วนผสมของอาหาร และทำผลิตภัณฑ์นมคั้นรูปหลายชนิด ดังนั้นความต้องการนมผงจึงเพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งเป็นแรงผลักดันให้ผู้ผลิตนมผงปรับปรุงคุณภาพและกรรมวิธีการผลิตให้ดีขึ้น ขณะเดียวกันได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ทำแห้งนมผงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยเฉพาะการพัฒนากระบวนการทำแห้งแบบสเปรย์ทราย ทำให้สามารถทำผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบซับซ้อนได้เช่น ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไขมันและน้ำตาลสูง

นมผงที่ผลิตกันในปัจจุบันมี 3 ชนิด ได้แก่ นมผงธรรมชาติ หรือ นมผงพร้อมมันเนย (whole milk powder) นมผงพร่องมันเนย (partly skimmed milk powder) และ นมผงขาดมันเนยหรือหางนมผง (skimmed milk powder) จากประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 265 (พ.ศ. 2545) ได้กำหนดว่านมผงจะต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานดังนี้คือ มีกลิ่นรสตามลักษณะเฉพาะของนมผงชนิดนั้น มีลักษณะเป็นผงไม่เกาะกันเป็นก้อน มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ไม่มีสารที่อาจเป็นพิษจากจุลินทรีย์และสารปนเปื้อนในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ไม่มีวัตถุกันเสีย ไม่มีวัตถุให้ความหวานแทนน้ำตาล มีโปรตีนในเนื้อนมไม่รวมไขมันนมไม่น้อยกว่าร้อยละ 34 ของน้ำหนัก สำหรับนมผงเต็มมันเนย มีไขมันนมไม่น้อยกว่าร้อยละ 26 ของน้ำหนัก นมผงชนิดพร่องมันเนย มีไขมันนมมากกว่าร้อยละ 1.5 ของน้ำหนัก แต่ไม่ถึงร้อยละ 26 ของน้ำหนัก ส่วนนมผงชนิดขาดมันเนย มีไขมันนมไม่เกินร้อยละ 1.5 ของน้ำหนัก ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ไม่พบ *Escherichia coli* ในนมผง 0.1 กรัม แบคทีเรียไม่เกิน 100,000 ในนมผง 1 กรัม [1]

## 10.1 คุณภาพของน้ำนมดิบ

น้ำนมดิบที่จะนำมาผลิตนมผงจะต้องมีคุณภาพดีทั้งด้านเคมี ด้านจุลินทรีย์และด้านประสาทสัมผัส ดังนั้นควรตรวจสอบคุณภาพของน้ำนมดิบทันทีที่จุดรับซื้อเพื่อจะได้ทราบว่าน้ำมนั้นเหมาะที่จะนำมาผลิตนมผงหรือไม่ ปกติน้ำนมดิบที่จะนำมาผลิตนมผงจะต้องมีปริมาณกรดทั้งหมดต่ำกว่าร้อยละ 0.15 (คำนวณในรูปของกรดแลคติก) ปริมาณกรดในระดับต่ำนี้เป็นกรดที่มีตามธรรมชาติในน้ำนม (natural acidity) ซึ่งเกิดขึ้นจากคาร์บอนไดออกไซด์ โปรตีน ฟอสเฟตและซีเตรทในน้ำนม ถ้าหากน้ำนมมีกรดเกิดขึ้นใหม่ (developed acidity) นอกเหนือจากกรดที่มีอยู่ตามธรรมชาตินี้ก็อาจคาดได้ว่า น้ำมนั้นถูกปนเปื้อนโดยจุลินทรีย์ จุลินทรีย์จะผลิตกรดแลคติกทำให้ปริมาณกรดทั้งหมดสูงกว่าปกติ น้ำนมที่มีปริมาณกรดสูงไม่เหมาะที่จะนำมาผลิตนมผง เนื่องจากการมีปริมาณกรดสูงทำให้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้โปรตีนสูญเสียความคงตัวในระหว่างแปรรูป นมผงที่ได้จะมีความสามารถในการละลาย (solubility) ต่ำ และนอกจากความเป็นกรดของน้ำนมที่จะต้องตรวจสอบแล้ว ควรตรวจสอบสารปฏิชีวนะ ยาฆ่าแมลง และสารเคมีต่างๆ ในน้ำนมดิบ ถ้าหากตรวจพบแสดงว่าน้ำมนั้นไม่เหมาะที่จะนำมาผลิตนมผง [2, 3]

คุณภาพทางจุลินทรีย์ของน้ำนมดิบจะมีผลต่อคุณภาพของนมผงที่ผลิตได้ทั้งทางตรง และทางอ้อม ผลกระทบทางตรงก็คือ การที่น้ำนมดิบถูกปนเปื้อนโดยจุลินทรีย์จำนวนมากโดยเฉพาะถ้าจุลินทรีย์เหล่านั้นเป็นชนิดที่ทนความร้อนได้ดี (thermoduric microorganisms) ซึ่งสามารถรอดชีวิตจากกระบวนการแปรรูปได้ จุลินทรีย์นั้นก็จะปรากฏอยู่ในนมผงด้วย ทำให้นมผงมีจำนวนจุลินทรีย์สูงเช่น ถ้าหากน้ำนมดิบที่จะนำมาผลิตนมผงมีจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นสูงเกิน 100,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร จะเป็นผลให้นมผงที่ได้มีจำนวนจุลินทรีย์สูงเกิน 10,000 เซลล์ต่อกรัม ส่วนผลกระทบทางอ้อมก็คือ ถ้าหากน้ำนมดิบปนเปื้อนด้วยจุลินทรีย์สูง จุลินทรีย์จะผลิตกรดแลคติกทำให้เกิดตำหนิขึ้นในนมผงและการที่นมผงมีปริมาณกรดแลคติกสูงจะทำให้ความสามารถในการละลายต่ำ นอกจากจำนวนจุลินทรีย์ในน้ำนมดิบที่มีผลต่อคุณภาพของนมผงแล้ว ชนิดของจุลินทรีย์ก็มีความสำคัญต่อคุณภาพด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะถ้ามีจุลินทรีย์ชนิดที่ทนความร้อนสูงได้ดีปนเปื้อนในน้ำนมดิบเป็นจำนวนมากจะทำให้นมผงที่ได้มีคุณภาพต่ำ จุลินทรีย์ประเภทนี้ได้แก่ *Streptococcus thermophilus* และ *Alcaligenes tolerans* เป็นต้น [2, 4]

## 10.2 กรรมวิธีการผลิตนมผง

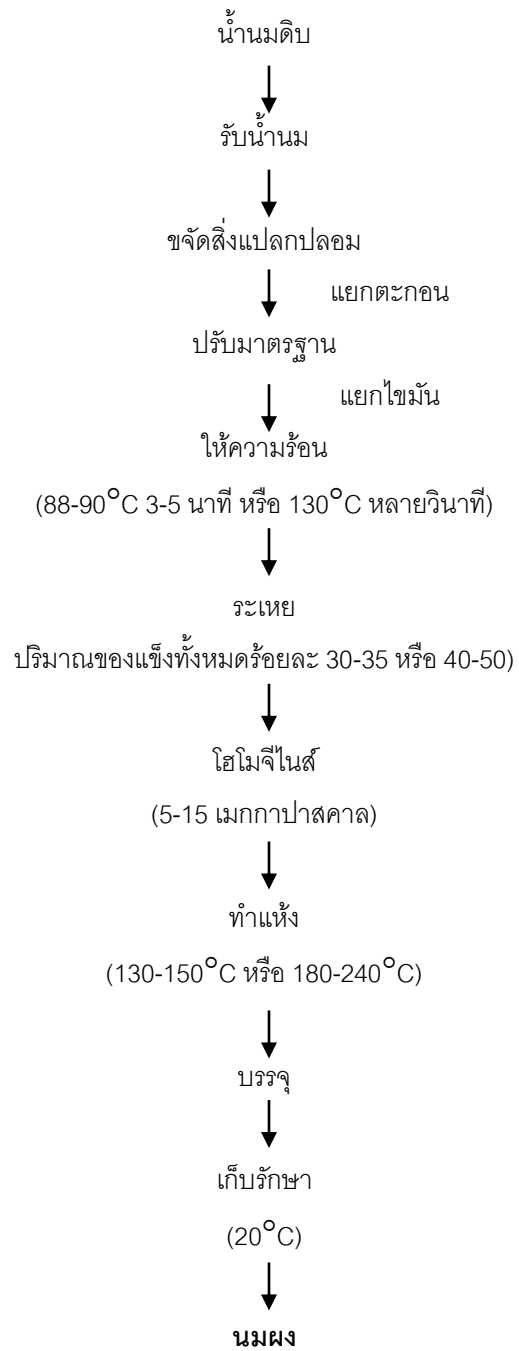
กรรมวิธีการผลิตนมผงแสดงดังรูปที่ 10.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการผลิตนมผงมีขั้นตอนพื้นฐานในการเตรียมน้ำนมดิบเช่นเดียวกับการทำผลิตภัณฑ์นมชนิดอื่นคือ หลังจากรับน้ำนมดิบแล้ว จะต้องนำน้ำนมมาขจัดสิ่งแปลกปลอม ทำให้เย็นจนถึง  $4^{\circ}\text{C}$  และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ  $4^{\circ}\text{C}$  เมื่อจะผลิตเป็นนมผงจึงนำน้ำนมดิบที่เก็บไว้มาปรับมาตรฐานส่วนประกอบ

### 10.2.1 การปรับมาตรฐานของปริมาณส่วนประกอบ

การปรับมาตรฐานของปริมาณส่วนประกอบทำเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์นมผงที่มีอัตราส่วนของไขมันนมต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดตามต้องการ ในขั้นตอนนี้ ปริมาณไขมันในน้ำนมดิบจะถูกปรับหรือขจัดออกทั้งหมดถ้าหากจะผลิตหางนมผง ซึ่งจะแยกครีมออกโดยใช้ high-speed centrifugal separator เครื่องมือนี้จะแยกส่วนประกอบนมโดยความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างเม็ดไขมันที่เบาและซีรัมของนมที่ค่อนข้างมีความหนาแน่นสูง จากนั้นของเหลวทั้งสองจะถูกนำมารวมกันอีกครั้งเพื่อให้ได้ปริมาณไขมันตามต้องการ เช่น ถ้าต้องการให้นมผงที่ได้มีปริมาณไขมันอย่างน้อยร้อยละ 26 ควรปรับปริมาณไขมันในน้ำนมดิบให้ได้ร้อยละ 3.2 และปรับปริมาณของแข็งไม่รวมไขมันให้ได้ร้อยละ 9.1 ปริมาณโปรตีนในนมสามารถปรับได้โดยการเติมแลคโตส หางนมหรือการเติม retentate หรือ permeate ที่ได้จากการทำอัลตราฟิวเทรชัน อาจเติมสารต่างๆที่อนุญาตให้ใช้ได้เช่น สารคงตัว อิมัลซิไฟเลอร์ (สำหรับผลิตภัณฑ์ชนิดละลายทันที) สารควบคุมความเป็นกรด สารป้องกันการเกาะกันเป็นก้อน (anti-caking agents) หรือ free-flowing agents) และสารต้านออกซิเดชัน หลังจากนั้นจะนำน้ำนมมาให้ความร้อน [2, 5]

### 10.2.2 การให้ความร้อน (heat treatment)

ในการให้ความร้อนน้ำนมที่จะนำมาผลิตนมผง ปกติจะให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าการพาสเจอร์ไรส์ คือที่อุณหภูมิ  $88-95^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 10-30 วินาที หรืออาจให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงถึง  $130^{\circ}\text{C}$  ในช่วงเวลาสั้นก็ได้ การให้ความร้อนมีวัตถุประสงค์เพื่อ ทำลายจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ยับยั้งเอนไซม์ไลเปสซึ่งจะทำให้เกิดไลโปไลซิส (lipolysis) ระหว่างเก็บรักษาและยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระของบีตา-แลคโตกลอบบูลินซึ่งจะเป็นการเพิ่มความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชันในระหว่างเก็บรักษา [2]



รูปที่ 10.1 กรรมวิธีการผลิตนมผง

### 10.2.3 การระเหย (evaporation)

การระเหยเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการผลิตนมผง การระเหยน้ำออกจากน้ำนมด้วยเครื่องระเหยจะช่วยประหยัดพลังงานได้มาก เมื่อเปรียบเทียบกับการระเหยในเครื่องทำแห้ง พลังงานที่ต้องใช้ต่อกิโลกรัมของน้ำที่ระเหยในเครื่องทำแห้งแบบสเปรย์กระจายจะสูงกว่าพลังงานที่ต้องใช้ต่อกิโลกรัมของน้ำที่ระเหยโดยเครื่องระเหยประมาณ 16-20 เท่า นอกจากนี้การระเหยก่อนการทำแห้งยังมีผลทำให้นมผงที่ได้มีคุณภาพดีคือ มีความหนาแน่นสูง มีขนาดของอนุภาคใหญ่และมีอากาศอยู่ภายในน้อย ระดับของแข็งที่เหมาะสมของน้ำนมที่ผ่านการระเหยนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องทำแห้งที่ใช้ ในกรณีที่ใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งควรระเหยน้ำนมจนมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเป็นร้อยละ 30-35 แต่ไม่ควรระเหยจนน้ำนมมีปริมาณของแข็งสูงเกินไปเพราะจะทำให้เกิดแผ่นนมที่หนาบนผิวลูกกลิ้งทำให้น้ำระเหยออกไปได้ไม่หมด ในกรณีที่ใช้เครื่องทำแห้งแบบสเปรย์กระจาย ควรระเหยน้ำนมจนมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเป็นร้อยละ 40-50 ถ้าหากระเหยจนมีปริมาณของแข็งสูงเกินไป น้ำนมจะมีความหนืดสูงทำให้ยากต่อการฉีดด้วยหัวฉีดอะตอมไมเซอร์ เครื่องระเหยที่นิยมใช้ในการระเหยน้ำนมที่จะนำมาผลิตนมผงนั้นคือ falling film evaporator ซึ่งเป็นเครื่องระเหยที่ใช้งานได้ง่ายกว่าเครื่องระเหยชนิดอื่น ข้อดีของเครื่องระเหยชนิดนี้คือปฏิบัติงานในสภาพสุญญากาศจึงสามารถทำให้น้ำนมเดือดที่อุณหภูมิต่ำได้ และใช้เวลาในการระเหยสั้น ดังนั้นจึงช่วยลดการสูญเสียคุณค่าทางอาหารของน้ำนมอันเนื่องมาจากความร้อนได้มาก [2, 3, 4]

### 10.2.4 การโฮโมจีไนส์ (homogenization)

การโฮโมจีไนส์น้ำนมที่จะนำมาผลิตนมผง กระทำเพื่อลดปริมาณไขมันอิสระซึ่งเป็นไขมันที่ไม่มีเยื่อหุ้ม ไขมันอิสระนี้จะทำให้ความสามารถในการละลายของนมผงลดลง และทำให้เกิดปฏิกิริยาการหืนแบบออกซิเดทีฟ (oxidative rancidity) ได้ง่าย ในระหว่างการโฮโมจีไนส์ไขมันอิสระจะเปลี่ยนรูปไปเป็นเม็ดไขมันที่มีเยื่อหุ้ม ความดันที่ใช้ในการโฮโมจีไนส์น้ำนมคือ 5-15 เมกกาปาสคาล [2]

### 10.2.5 การทำแห้ง (drying)

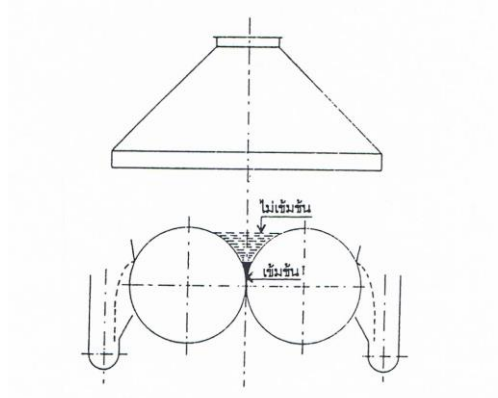
การทำแห้งในกระบวนการผลิตนมผง อาจทำได้โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (roller dryer) หรือ drum dryer) หรือใช้เครื่องทำแห้งแบบสเปรย์กระจาย (spray dryer)

### 10.2.5.1 การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (roller drying)

ในการทำแห้งวิธีนี้ จะทำการป้อนน้ำนมในลักษณะฟิล์มบางๆบนผิวลูกกลิ้งที่ถูกทำให้ร้อนด้วยไอน้ำ และหมุนอย่างต่อเนื่อง น้ำในน้ำนมที่เคลือบอยู่บนผิวลูกกลิ้งจะระเหยไปอย่างรวดเร็ว น้ำนมจะแห้งเป็นแผ่นติดอยู่กับผิวลูกกลิ้ง และถูกขูดออกด้วยใบมีดที่อยู่ด้านข้างของลูกกลิ้ง จากนั้นนำแผ่นนมที่ได้ไปบิดเป็นผง นมผงที่ผลิตโดยวิธีนี้จะมีความสามารถในการละลายต่ำกว่านมผงที่ผลิตด้วยเครื่องทำแห้งแบบสเปร์ยทราย และการที่น้ำนมสัมผัสกับลูกกลิ้งร้อนโดยตรงจะเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบางอย่างที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของนมผงเช่น การเกิดปฏิกิริยาการเมลลไธเซนชันของแลคโตสทำให้เกิดสารสีน้ำตาล การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดเป็นผลให้เกิดกลิ่นไหม้ (scorched flavor) ขึ้นในนมผง และการเสียสภาพของโปรตีนซึ่งจะทำให้มีนมผงที่ได้มีความสามารถในการละลายลดลง [2] เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งมีทั้งเครื่องทำแห้งแบบที่อยู่ในสภาพที่เป็นสุญญากาศและแบบที่อยู่ในสภาพบรรยากาศปกติ ซึ่งอาจมีลูกกลิ้งอันเดียวหรือ 2 อันก็ได้

#### (1) เครื่องทำแห้งชนิดลูกกลิ้งคู่ (double-drum dryer)

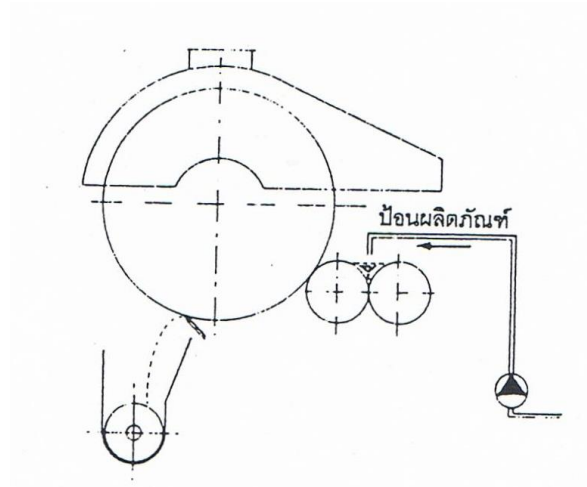
เครื่องทำแห้งชนิดนี้ประกอบด้วยลูกกลิ้งลักษณะทรงกระบอก 2 อัน ดังรูปที่ 10.2 ซึ่งจะมีควมยาวผันแปรระหว่าง 1-3.5 เมตร และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางผันแปรระหว่าง 0.5-1.5 เมตร ลูกกลิ้งทั้ง 2 อันนี้จะถูกทำให้ร้อนด้วยไอน้ำและหมุนในทิศทางตรงข้าม ขณะปฏิบัติงานจะป้อนน้ำนมไปบนผิวของลูกกลิ้งร้อน น้ำนมจะเดือดและแห้งติดบนผิวลูกกลิ้ง น้ำนมควรอยู่บนผิวลูกกลิ้งนานพอที่จะแห้งได้อย่างสมบูรณ์ก่อนที่จะขูดออกด้วยใบมีด แต่ก็ไม่ควรให้น้ำนมอยู่บนผิวลูกกลิ้งนานเกินไปเพราะอาจเกิดการไหม้ได้ เครื่องทำแห้งชนิดนี้จะหมุนด้วยอัตราเร็ว 15-18 รอบต่อนาทีและใช้ไอน้ำที่ความดัน 7-10 บรรยากาศ เครื่องทำแห้งชนิดนี้ใช้งานได้ง่าย ราคาไม่แพงนักและเหมาะที่จะใช้ทำแห้งน้ำนมปริมาณไม่มากคือ ประมาณ 500-1,500 ลิตรต่อชั่วโมง แต่ไม่เหมาะที่จะใช้ทำแห้งน้ำนมที่มีการทำให้เข้มข้นมาก่อน เพราะน้ำนมจะมีความเข้มข้นมากยิ่งขึ้น เมื่ออยู่ในแอ่งตรงกลางระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองและมีโอกาสที่จะได้รับความร้อนสูงเกินไป [6]



รูปที่ 10.2 เครื่องทำแห้งชนิดลูกกลิ้งคู่ (Courtesy: Goudsche Machinefabriek B.V.)

## (2) เครื่องทำแห้งชนิดลูกกลิ้งเดี่ยว (single-drum dryer)

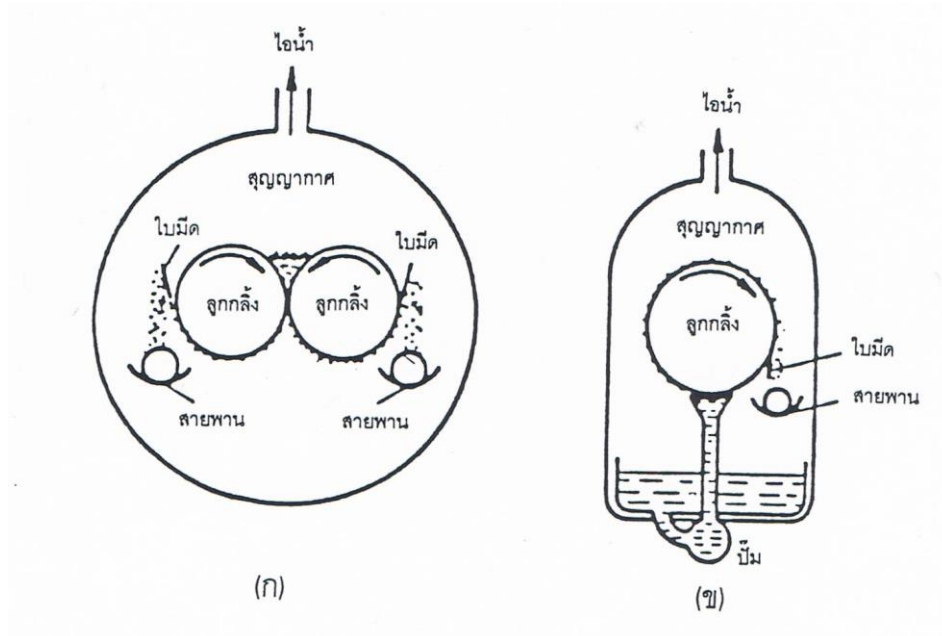
เครื่องทำแห้งชนิดนี้ออกแบบให้เหมาะที่จะทำแห้งน้ำมันที่ผ่านการทำให้เข้มข้นมาก่อนจนมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเป็นร้อยละ 40-45 เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการที่น้ำมันจะได้รับความร้อนสูงเกินไปในแอ่งตรงกลางระหว่างลูกกลิ้งทั้งสอง ดังนั้นจึงออกแบบให้เครื่องทำแห้งชนิดนี้มี 2 ระบบ ดังรูปที่ 10.3 คือขั้นแรกจะป้อนน้ำมันไปบนผิวลูกกลิ้งคู่ขนาดเล็กก่อน จากนั้นน้ำมันที่ติดบนผิวของลูกกลิ้งคู่ก็จะถูกส่งไปทำแห้งบนผิวของลูกกลิ้งเดี่ยวขนาดใหญ่ซึ่งอยู่ติดกัน น้ำมันก็จะเคลื่อนไปบนผิวลูกกลิ้งเดี่ยว น้ำมันจะเดือดและระเหยออกไป จากนั้นแผ่นนมที่แห้งจึงถูกขูดออกด้วยใบมีด ไขมันที่ใช้ในการให้ความร้อนจะใช้ที่ความดัน 2-3 บรรยากาศ เวลาที่ใช้ในการทำแห้งจะสั้นมากเนื่องจากลูกกลิ้งหมุนด้วยอัตราเร็วสูงถึง 30 รอบต่อนาที นมผงที่ได้จะมีความสามารถในการละลายสูงถึงร้อยละ 97 [6]



รูปที่ 10.3 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งเดี่ยว

### (3) เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum roller dryers)

เครื่องทำแห้งแบบนี้ ลูกกลิ้งจะอยู่ในห้อง (chamber) ที่ทำให้มีสภาพเป็นสุญญากาศ ดังรูปที่ 10.4 จึงสามารถทำแห้งได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแบบที่ไม่เป็นสุญญากาศ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีความสามารถในการละลายดีขึ้น [6]

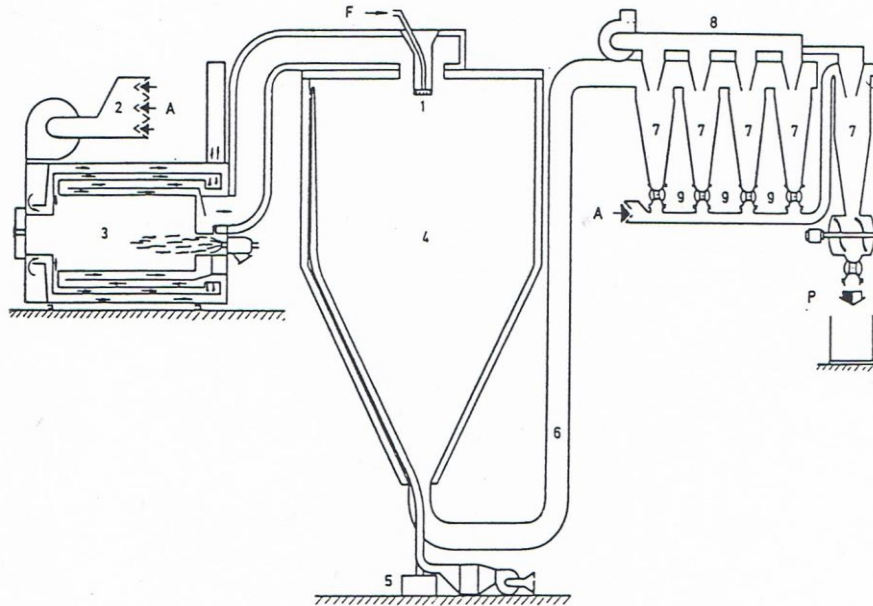


รูปที่ 10.4 เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ: รูป (ก) ชนิดลูกกลิ้งคู่แบบ top feed  
รูป (ข) ชนิดลูกกลิ้งเดี่ยวแบบ pan feed

#### 10.2.5.2 การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ทราย (spray drying)

เครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ทราย เป็นเครื่องทำแห้งที่นิยมใช้ในการผลิตนมผงมากที่สุด เมื่อทำให้น้ำนมเข้มข้นจนมีปริมาณของแข็งเป็นร้อยละ 40-50 ก็จะไปสู่น้ำนมเข้าสู่เครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ทราย ดังรูปที่ 10.5 หัวฉีดอะตอมไมต์ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องสเปรย์ทรายก็จะฉีดน้ำนมเข้มข้นนั้นให้เป็นหยดเล็กๆที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10-100 ไมโครเมตร หยดน้ำนมเล็กๆนี้จะสัมผัสกับอากาศร้อนที่มีอุณหภูมิสูง 150-220°C ซึ่งผ่านเข้ามาในถังทำแห้ง (drying chamber) ทันทีที่อากาศร้อนสัมผัสกับหยดน้ำนม น้ำก็จะระเหยไปทำให้น้ำนมแห้งอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิของอากาศร้อนก็จะลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน อย่างไรก็ตามอากาศร้อนจะไม่ทำให้อุณหภูมิของหยดน้ำนมและอุณหภูมิของ

ถังทำแห้งเพิ่มสูงขึ้นจนเท่ากับอุณหภูมิของอากาศร้อนที่เข้ามา ปกติอุณหภูมิของถังทำแห้งจะเท่ากับอุณหภูมิของอากาศที่ออก คือประมาณ  $95^{\circ}\text{C}$  (ในกรณีของการทำแห้งแบบขั้นตอนเดียว) ส่วนอุณหภูมิของนมผงที่ได้จะต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศที่ออกประมาณ  $20\text{-}30^{\circ}\text{C}$  (ในกรณีที่อากาศและผลิตภัณฑ์ไหลออกในทิศทางเดียวกัน) [2, 7]

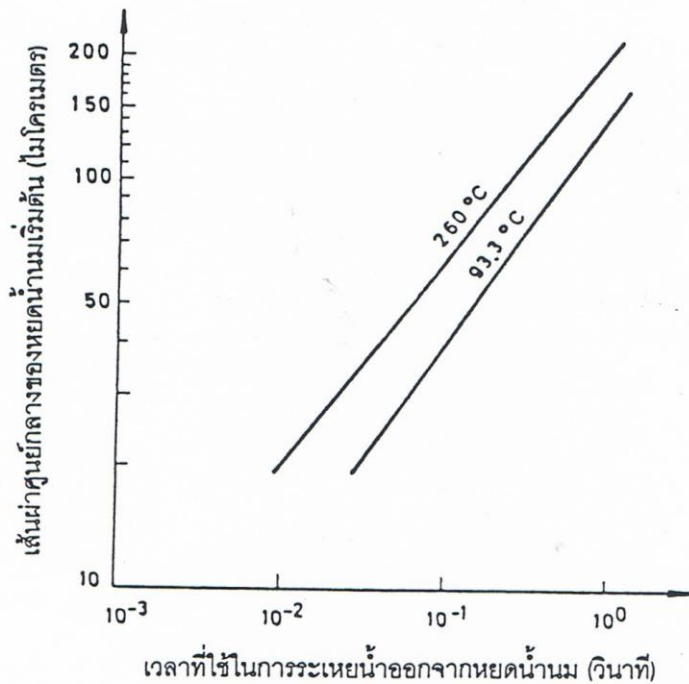


รูปที่ 10.5 กระบวนการทำแห้งน้ำนมด้วยเครื่องทำแห้งแบบสเปรย์กระจาย

- (1) เซนติฟูกอลอะตอมไมเซอร์ (2) พัดลมและที่กรองอากาศ
- (3) เครื่องให้ความร้อนอากาศ (4) ถังทำแห้ง (5) แหล่งพลังงานของเครื่องรวบรวมนมผง (6) ท่อผ่านของนมผงและอากาศ (7) ระบบไซโคลน
- (8) ท่อผ่านของอากาศ (9) วาล์ว (F) น้ำนมเข้มข้น (A) อากาศ (P) นมผง

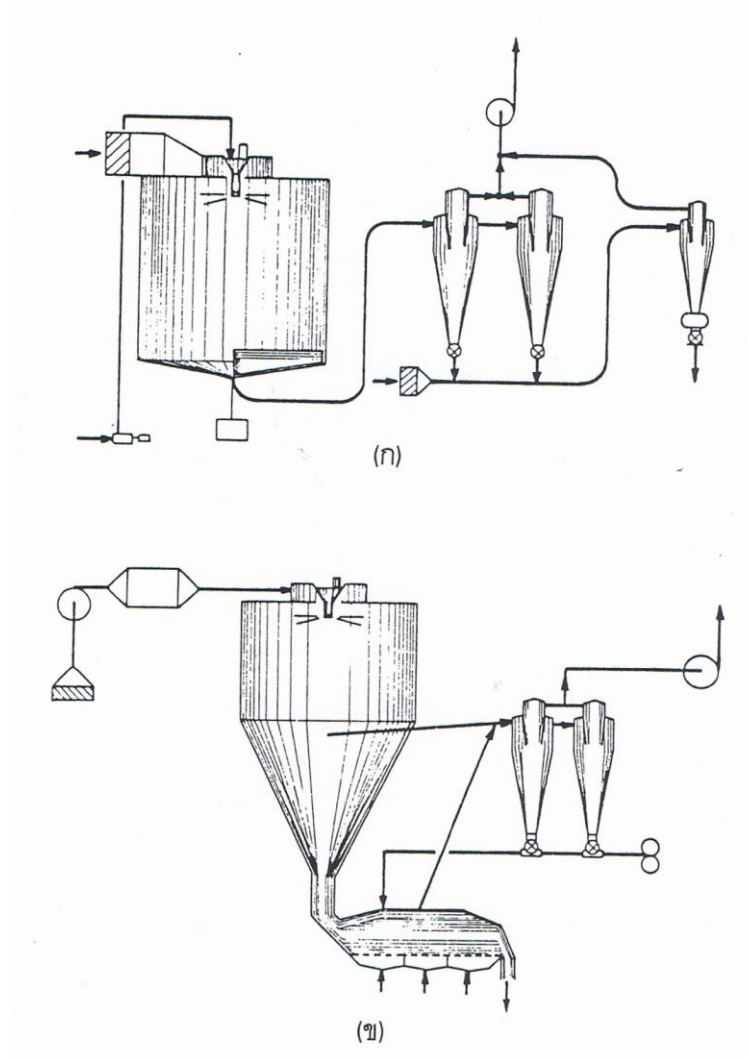
เวลาที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากหยดน้ำนม เมื่อสัมผัสกับอากาศร้อนในเครื่องทำแห้งแบบสเปรย์กระจายนั้นจะขึ้นกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดน้ำนม และอุณหภูมิของอากาศร้อน ดังรูปที่ 10.6 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดน้ำนม และเวลาที่ใช้ในการทำให้หยดน้ำนมแห้งที่อุณหภูมิเฉพาะ 2 ระดับ จากกราฟชี้ให้เห็นว่า การที่จะทำให้น้ำระเหยไปจากหยดน้ำนมที่มีขนาด

เส้นผ่าศูนย์กลาง 100 ไมโครเมตร เมื่อสัมผัสกับอากาศที่มีอุณหภูมิ  $93^{\circ}\text{C}$  จะต้องใช้เวลาประมาณ 1 วินาที แต่ถ้าหากหยดน้ำมนนี้สัมผัสกับอากาศที่มีอุณหภูมิสูงถึง  $260^{\circ}\text{C}$  จะต้องใช้เวลาในการทำให้หยดน้ำมนแห้งเพียง 0.3 วินาที [2]



รูปที่ 10.6 เวลาที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากหยดน้ำมนในเครื่องทำแห้งแบบสเปร์ย์ดราย

เมื่อหยดน้ำมนเล็กๆ สัมผัสกับอากาศร้อนจนกระทั่งน้ำระเหยออกไปหมดแล้ว จะแยกนมผงออกจากถังทำแห้งทันทีและทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันการสัมผัสกับอากาศร้อนนานเกินไป มิฉะนั้นไขมันจะซึมเข้าที่ผิวของอนุภาคนมผงเป็นเหตุให้นมผงติดกัน และเกิดการสูญเสียคุณค่าทางอาหารโดยความร้อน การแยกนมผงที่แห้งแล้วออกจากถังทำแห้งมี 2 แบบ ดังรูปที่ 10.7 แบบแรกตามรูปที่ 10.7 (ก) จะเห็นว่าถังทำแห้งมีลักษณะก้นแบน กรณีนี้นมผงที่ได้จะตกมารวมกันแล้วใช้เครื่องรวบรวมนมผงแยกนมผงออกไป หลังจากนั้นนมผงกับอากาศจะถูกแยกออกจากกันในไซโคลน (cyclone separator) ส่วนแบบที่ 2 ตามรูปที่ 10.7 (ข) จะเห็นว่าถังทำแห้งมีก้นลักษณะเป็นกรวย นมผงที่แห้งแล้วจะตกสู่ก้นถังโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง และใช้ระบบลมดูดแยกนมผงออกไปทำให้เย็นใน fluid bed powder cooler ส่วนอนุภาคของนมผงที่เล็กมากก็จะติดไปกับอากาศและถูกแยกออกในไซโคลน [2, 3]



รูปที่ 10.7 เครื่องสเปรย์ดรายแบบขั้นตอนเดียว

รูป (ก) ถังทำแห้งที่มีก้นแบน

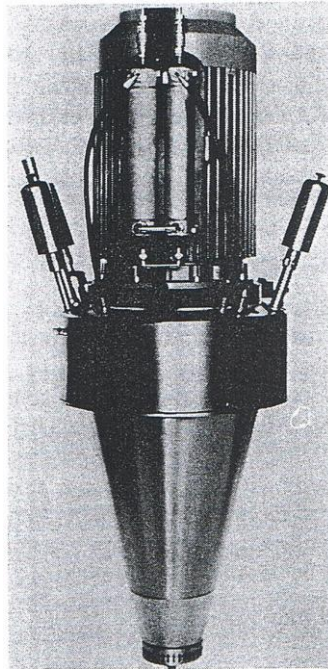
รูป (ข) ถังทำแห้งที่มีก้นเป็นรูปกรวย

### ส่วนประกอบของเครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ดราย

#### (1) อะตอมไมเซอร์ (atomiser)

อะตอมไมเซอร์ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ดราย ทำหน้าที่ฉีดน้ำนมหรือทำให้น้ำนมกระจายออกเป็นหยดเล็กๆ อะตอมไมเซอร์ที่ใช้กับเครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ดรายนั้นมีหลายชนิดแต่ที่นิยมใช้ในการผลิตนมผงมี 2 ชนิด คือ โรตารีอะตอมไมเซอร์ (rotary atomiser) และเพรสเชอร์โน้ตเชิลอะตอมไมเซอร์ (pressure nozzle atomiser)

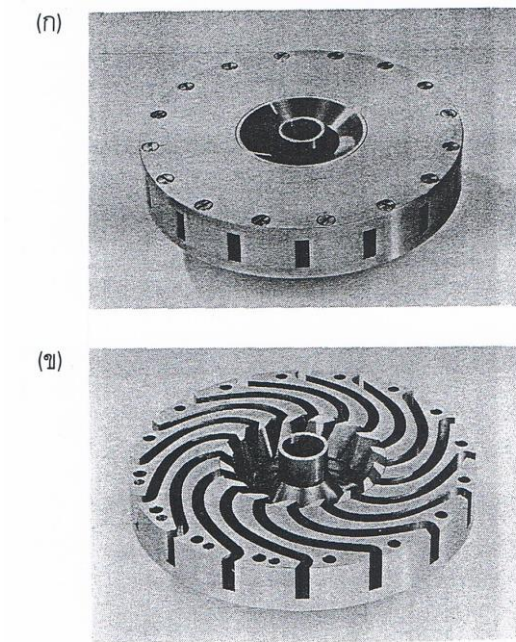
โรตารีอะตอมไมเซอร์ (รูปที่ 10.8) ประกอบด้วยจานหมุน (wheel หรือ disc) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 200-400 นาโนเมตร หมุนด้วยความเร็ว 300 เมตรต่อวินาที (คิดตามระยะทางของเส้นรอบวง) จานหมุนที่นิยมใช้สำหรับการผลิตนมผงมี 2 ลักษณะคือ จานหมุนที่มีผิวเรียบ (straight vane) ตามภาพที่ 10.9 (ก) และจานหมุนที่มีซี่โค้งๆที่ผิว (curved vane) ตามรูปที่ 10.9 (ข) จานหมุนนี้จะถูกทำให้หมุนโดยสายพานที่ต่อกับลูกรอกซึ่งมีมอเตอร์ช่วยขับเคลื่อน น้ำนมเข้มข้นที่จะป้อนเข้าสู่โรตารีอะตอมไมเซอร์ควรมีปริมาณของแข็งเป็นเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับความหนืดของน้ำนม ถ้าน้ำนมมีความหนืดสูงก็ต้องมีปริมาณของแข็งไม่สูงมากนัก เช่นในกรณีของหางนมเข้มข้นที่จะทำแห้งโดยผ่านโรตารีอะตอมไมเซอร์ ควรมีปริมาณของแข็งไม่สูงมากนัก คือ ประมาณร้อยละ 48-55 แต่ถ้าเป็นเวย์เข้มข้นซึ่งมีความหนืดต่ำกว่าก็สามารถป้อนเข้าเครื่องได้ในระดับปริมาณของแข็งที่สูงกว่าคือ ร้อยละ 65 [7, 8]



รูปที่ 10.8 โรตารีอะตอมไมเซอร์

หลักการทำงานของโรตารีอะตอมไมเซอร์คือ เมื่อน้ำนมเข้มข้นตกสู่ตรงกลางของจานหมุน แรงโน้มถ่วงจะทำให้น้ำนมติดไปรอบๆจานหมุนที่หมุนด้วยความเร็วสูง และเมื่อน้ำนมหลุดออกจากจานหมุนก็จะแตกออกเป็นหยดน้ำนมเล็กๆจำนวนมาก หยดของน้ำนมเล็กๆนี้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางผันแปรระหว่าง 10-2,000 นาโนเมตร ขนาดของหยดน้ำนมเล็กๆจะผันแปรเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการป้อน

น้ำนม (feed rate) และความหนืด แต่จะผันแปรเป็นสัดส่วนกลับกับอัตราการหมุนของจานหมุน (wheel speed) และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของจานหมุน ความหนืดจะมีอิทธิพลต่อขนาดของหยดน้ำนมเล็ก ๆ และการกระจายของอนุภาคนมผง ถ้าความหนืดเพิ่มขึ้นขนาดของหยดน้ำนมเล็ก ๆ ก็จะเพิ่มขึ้นด้วยเป็นผลให้ได้นมผงที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ [8]

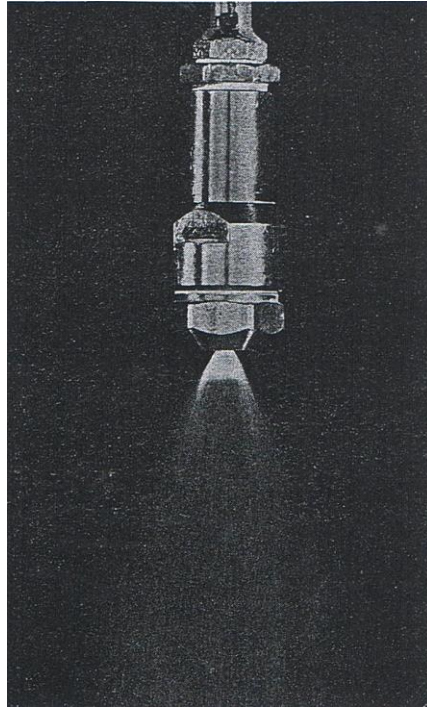


รูปที่ 10.9 จานหมุนของโรตารีอะตอมไมเซอร์ (Courtesy of A/S Niro Atomizer)

รูป (ก) straight vane และรูป(ข) curved vane

อะตอมไมเซอร์อีกแบบหนึ่งที่นิยมใช้ในการทำแห้งน้ำนมคือ เพรสเซอร์นัตเชิลอะตอมไมเซอร์ ดังรูปที่ 10.10 อะตอมไมเซอร์ชนิดนี้จะปฏิบัติงานได้โดยอาศัยปั๊มความดันสูง (positive displacement pump) เพื่อให้เกิดความดันสูงพอที่จะสามารถฉีดน้ำนมที่ถูกปั๊มเข้ามาให้ผ่านช่องแคบของเพรสเซอร์นัตเชิลอะตอมไมเซอร์ ซึ่งความดันที่ใช้ขึ้นอยู่กับความหนืดของน้ำนมที่ปั๊มเข้ามา ถ้าหากน้ำนมมีความหนืดต่ำก็จะใช้ความดันประมาณ 2-6 เมกกาปาสคาล แต่ถ้าน้ำนมมีความหนืดสูงก็จะใช้ความดันประมาณ 20 เมกกาปาสคาล อะตอมไมเซอร์ชนิดนี้จะทำให้น้ำนมกระจายออกเป็นหยดน้ำนมเล็กๆ จำนวนมาก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดน้ำนมจะขึ้นอยู่กับความดันที่ใช้ การออกแบบหัวฉีด ความหนืด และแรงตึงผิวของน้ำนมเข้มข้นที่ปั๊มเข้ามาและเมื่อเปรียบเทียบกับโรตารีอะตอมไมเซอร์แล้ว เพรส

เซอร์นิตเซิลอะตอมไมเซอร์จะให้ส่วนผสมที่มีความหนาแน่นสูงกว่า มีสมบัติในการคืนรูปที่ดี (reconstitution properties) และมีความสามารถในการไหลดีกว่า (flowability) เนื่องจากเกิดแรงเฉือนขึ้นเมื่อน้ำนมถูกดันผ่านปากของหัวฉีด [7, 8]



รูปที่ 10.10 เพรสเซอร์นิตเซิลอะตอมไมเซอร์

## (2) ระบบการให้ความร้อนอากาศ (air heating system)

ในการให้ความร้อนกับอากาศนั้น อากาศที่ผ่านเข้ามาจะต้องกรองเสียก่อนแล้วจึงทำให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง  $150-300^{\circ}\text{C}$  จากนั้นอากาศร้อนจะผ่านเข้าถังทำแห้งด้วยความเร็วสูงถึง 50 เมตรต่อวินาที ซึ่งการให้ความร้อนกับอากาศทำได้ 2 วิธี คือ การให้ความร้อนทางตรง (direct heating) และการให้ความร้อนทางอ้อม (indirect heating) สำหรับการให้ความร้อนทางตรง จะผ่านอากาศเข้าไปผสมกับแก๊สที่เผาไหม้ในบริเวณที่ทำกรเผาไหม้แก๊ส อากาศจะได้รับความร้อนโดยตรงจากแก๊สที่เผาไหม้ซึ่งมีอุณหภูมิสูงมาก วิธีนี้แม้จะมีประสิทธิภาพในการให้ความร้อนร้อยละ 100 และเสียค่าใช้จ่ายไม่มาก แต่ไม่นิยมใช้เนื่องจากจะทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของไนโตรเจนออกไซด์ที่มีอยู่ในแก๊สเผาไหม้ ซึ่งไนโตรเจนออกไซด์นี้จะมาทำปฏิกิริยากับเอมีนในนมผง ทำให้เกิดเป็นไนโตรซามีน (nitrosamines) ซึ่งเป็น

สารก่อมะเร็ง ส่วนการให้ความร้อนทางอ้อมนั้นจะผ่านอากาศเข้าไปยังบริเวณที่ตัวกลางให้ความร้อนผ่าน เช่นระบบให้ความร้อนอากาศที่เรียกว่า liquid phase heating เป็นระบบที่นิยมใช้กันมาก ระบบนี้ใช้เครื่องทำความร้อนชนิดที่มีการเผาไหม้น้ำมันหรือแก๊ส เพื่อให้ความร้อนกับของเหลวที่จะใช้เป็นตัวกลาง ในการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศ โดยจะทำให้ของเหลวร้อนขึ้นจนมีอุณหภูมิ 330-350°C [2, 8]

อากาศร้อนที่ผ่านเข้าเครื่องทำแห้ง อาจมีทิศทางการไหล 3 แบบคือ 1) ไหลไปในทิศทางเดียวกับการไหลหยदनํ้านม 2) ไหลไปในทิศทางตรงข้ามกับการไหลหยदनํ้านม 3) ไหลในทิศทางทำมุมกับการไหลของหยदनํ้านม อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกันแล้วพบว่าระบบที่มีข้อได้เปรียบมากที่สุดในการถ่ายเทความร้อนคือ ระบบที่อากาศร้อนไหลไปในทิศทางตรงข้ามกับหยदनํ้านม เนื่องจากจุดที่อากาศร้อนมาสัมผัสกับหยदनํ้ามนั้น น้ำบางส่วนได้ระเหยออกจากหยदनํ้านมไปแล้ว จึงทำให้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปอย่างรวดเร็ว น้ำจะระเหยออกหมดอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการช่วยประหยัดพลังงาน แต่วิธีนี้มีแนวโน้มที่โปรตีนจะเสียสภาพจากความร้อนได้มาก ดังนั้นส่วนใหญ่จึงนิยมใช้ระบบที่อากาศร้อนไหลไปในทิศทางเดียวกับหยदनํ้านม เพราะนมผงที่ผลิตได้จะมีความสามารถในการละลายสูงกว่า [2]

### (3) ถังทำแห้ง (drying chamber)

ถังทำแห้งส่วนใหญ่ที่ใช้กันมี 2 ลักษณะ ตามรูปที่ 10.7 คือ แบบก้นแบน และแบบก้นเป็นรูปกรวย ในกรณีของถังก้นแบน นมผงที่ตกลงมาจะถูกรวบรวมโดยเครื่องรวบรวมนมผงชนิด rotating powder collector ข้อดีของถังลักษณะนี้คือ ตัวถังไม่สูงมากนักจึงทำความสะอาดได้ง่าย ส่วนถังแบบที่สองนั้นมีลักษณะเป็นรูปกรวยที่ก้นถัง ถังลักษณะนี้เหมาะกับการทำแห้งแบบสองชั้นตอน หรือสามชั้นตอน และเหมาะกับการผลิตนมผงที่มีปริมาณไขมันมากกว่าร้อยละ 35-40 เนื่องจากนมผงที่มีปริมาณไขมันสูงมีแนวโน้มที่จะติดกับผิวของท่อและไซโคลนได้ง่าย ทางที่ดีควรแยกนมผงส่วนใหญ่ที่แห้งแล้วออกจากถังโดยตรง ซึ่งก็เหมาะที่ใช้ถังทำแห้งที่ก้นถังมีลักษณะเป็นกรวยนี้ เพราะนมผงส่วนใหญ่จะตกลงสู่ก้นถังโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง นอกจากนี้แล้วยังควรติดตั้งเครื่องสั่น (vibrator) ไว้ที่กรวยของถังด้วย เพื่อป้องกันการกองสะสมของนมผงที่ตกลงมา [2]

## 10.2.6 การบรรจุและเก็บรักษา (packing and storage)

การบรรจุมีความสำคัญต่อการที่จะรักษาคุณภาพของนมผงระหว่างการเก็บ ควรบรรจุนมผงไว้ในภาชนะที่สามารถป้องกันความชื้น แสง แผลง และสิ่งแปลกปลอมอื่นๆได้ ปกติวัสดุภาชนะบรรจุที่นิยมใช้ในการบรรจุนมผงได้แก่ กระดาษ กล่องหรือถุงหลายชั้นที่ประกบกับวัสดุอื่นและมีพลาสติกโพลีเอทิลีน

อยู่ด้านใน ถึงโลหะที่มีรูปพลาสติกโพลีเอทิลีนอยู่ด้านในและกระป๋องที่บุด้านในด้วยอลูมิเนียมพอยด์ นมผงที่จะเก็บไว้เป็นเวลานานควรบรรจุในสภาพบรรยากาศของแก๊สเฉื่อยซึ่งส่วนใหญ่ใช้แก๊สไนโตรเจน หรือบรรจุในสภาพสุญญากาศเพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมันและองค์ประกอบอื่นๆ [2]

ในการเก็บรักษานมผงควรคำนึงถึงสภาพบรรยากาศรอบๆ ไม่ควรเก็บนมผงไว้ในบรรยากาศที่มีความชื้นสูงเกินไป ถ้าหากอากาศมีความชื้นสูงกว่าร้อยละ 95 ถูกรับจุนนมผงธรรมดาที่นิยมใช้กันทำ ด้วยกระดาษหลายชั้นและอลูมิเนียมพอยด์หนึ่งชั้นนั้นจะไม่สามารถป้องกันความชื้นจากภายนอกได้ และในสภาพอากาศที่มีความชื้นสูงเช่นนี้อาจทำให้มีการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระด้วย นอกจากนี้การเก็บนมผงไว้ในบรรยากาศของออกซิเจนมีผลทำให้ปริมาณสารอาหารบางชนิดในนมผงลดลงมากกว่าการเก็บไว้ในบรรยากาศของไนโตรเจน ได้มีผู้ศึกษาพบว่าถ้าหากเก็บนมผงไว้ในบรรยากาศของออกซิเจนที่อุณหภูมิ 37°C จะทำให้ปริมาณไลซีน (lysine) โฟเลต (folates) และแอสคอร์เบท (ascorbates) ลดลงมากกว่าการเก็บไว้ในบรรยากาศของไนโตรเจนที่อุณหภูมิเดียวกัน [2]

#### 10.2.7 การควบคุมคุณภาพและกระบวนการผลิต (quality and process control)

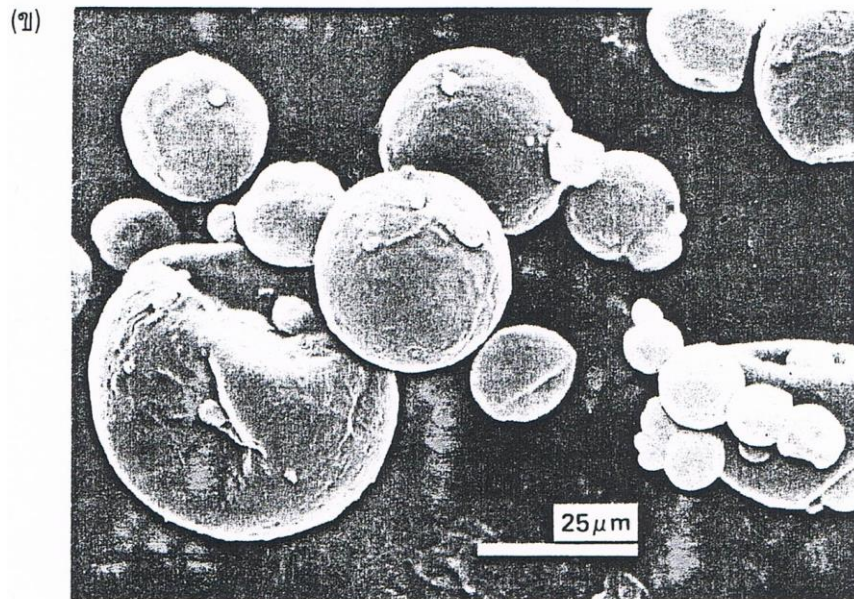
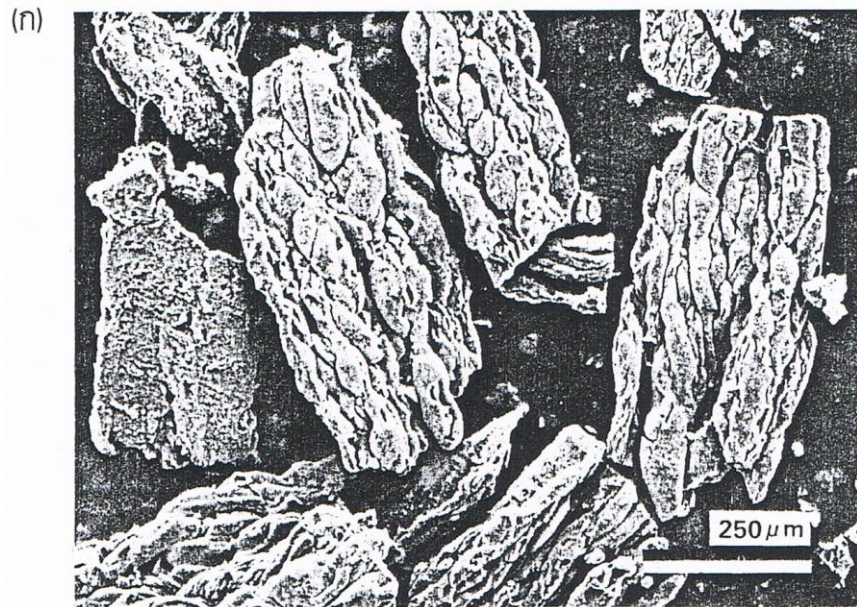
การควบคุมคุณภาพนมผงได้แก่ การควบคุมคุณภาพทางเคมี จุลินทรีย์ และการควบคุมคุณภาพทางประสาทสัมผัส ซึ่งจะต้องทำการวิเคราะห์หา ปริมาณน้ำ ปริมาณไขมัน (ไขมันทั้งหมดและไขมันอิสระ) ปริมาณโปรตีน ปริมาณเกลือแร่ ความเป็นกรด (titratable acidity) ความสามารถในการละลาย (solubility) ความสามารถในการไหล (flowability) ความหนาแน่น (bulk density) อนุภาคนมผงที่ไหม้ (scorched particles) การกระจายของอนุภาคนมผงและปริมาณออกซิเจนในภาชนะที่บรรจุนมผง ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของนมผงในระหว่างการผลิตและเก็บรักษา ได้แก่ เทคนิคในการผลิตและตัวแปรต่างๆ (การแยกไขมัน การให้ความร้อน การโฮโมจีไนส์ การระเหย) เทคนิคและสภาพ (conditions) ต่างๆ ในการทำแห้ง (การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง การทำแห้งแบบสเปรย์ดราย การทำให้มีคุณสมบัติละลายทันที การทำแห้งแบบหลายขั้นตอน) และสภาพในการเก็บรักษา (วัสดุภาชนะบรรจุและวิธีการบรรจุ อุณหภูมิ และระยะเวลาในการเก็บรักษา ปริมาณน้ำอิสระ (water activity) ในนมผง) [2]

การขาดการดูแลเอาใจใส่ระหว่างกระบวนการผลิตอาจนำมาซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงประสงค์ของคุณภาพนมผง คุณสมบัติพื้นฐานของนมผงที่จะบอกได้ถึงคุณภาพของนมผงหรือตำหนิที่อาจเกิดขึ้นได้แก่ โครงสร้างของนมผง ความสามารถในการละลาย ปริมาณน้ำ อนุภาคของนมผงที่ไหม้ ความสามารถในการไหล การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน กลิ่นรส สี และการปนเปื้อนของเชื้อ staphylococci [2]

เทคนิคในการทำแห้งมีผลอย่างมากต่อโครงสร้างของนมผง นมผงที่ผลิตโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งจะมีโครงสร้างแน่น อนุภาคนมผงมีรูปร่างไม่แน่นอน และไม่มีอากาศอยู่ภายใน ดังรูปที่ 10.11 (ก) ขนาดของอนุภาคจะขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นนมและการบิดเป็นผง อย่างไรก็ตามนมผงที่ผลิตโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งจะมีความหนาแน่นต่ำมาก (0.3-0.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ถึงแม้ว่าจะมีโครงสร้างแน่นก็ตาม ทั้งนี้เป็นเพราะรูปร่างที่ไม่แน่นอนของนมผง ส่วนโครงสร้างของนมผงที่ผลิตโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ดรายนั้นพบว่ามีลักษณะเป็นทรงกลมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10-250 ไมโครเมตร ดังรูปที่ 10.11 (ข) ในอนุภาคของนมผงจะมีโพรงอากาศซึ่งอาจเป็นโพรงขนาดใหญ่อยู่ตรงกลางอนุภาคหรือเป็นโพรงขนาดเล็กกระจายอยู่ในอนุภาค ผิวของอนุภาคนมผงมักจะเรียบแต่บางครั้งอาจมีรอยนูนบ้าง แนวโน้มของการเกิดรอยนูนนี้จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากอากาศที่เข้าเครื่องทำแห้งมีอุณหภูมิสูงและมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของลมร้อนกับอุณหภูมิของอนุภาคนมผงมาก[2]

ความสามารถในการละลายเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของนมผงที่จะต้องให้ได้ตรงตามมาตรฐาน นั้นหมายถึงว่า การที่นมผงมีความสามารถในการละลายต่ำเป็นตำหนิที่ร้ายแรงซึ่งอาจทำให้นมผงนั้นถูกส่งคืน สำหรับการทดสอบความสามารถในการละลาย (solubility test) นั้น จะหาปริมาณของสิ่งที่ไม่ละลายโดยนียมหาในรูปของดรรชนีการละลาย (solubility index) ซึ่งก็คือ ปริมาตรของตะกอน (มิลลิลิตร) ที่ได้จากการนำนมผงมาคั้นรูปเป็นน้ำนมคั้นรูป 50 มิลลิลิตร แต่ในบางประเทศจะรายงานค่าความสามารถในการละลายของนมผงเป็นร้อยละโดยปริมาตร กล่าวคือถ้านมผงมีดรรชนีการละลาย 0.5 มิลลิลิตร และมีปริมาตรของตะกอนที่ไม่ละลายเป็น 1 มิลลิลิตรต่อน้ำนมคั้นรูป 100 มิลลิลิตร จะรายงานถ้านมผงนั้นมีความสามารถในการละลายเป็นร้อยละ 99.5 และเช่นเดียวกัน ถ้านมผงมีดรรชนีการละลายเป็น 0.25 และมีปริมาตรของตะกอนที่ไม่ละลายเป็น 0.5 มิลลิลิตรต่อน้ำนมคั้นรูป 100 มิลลิลิตร จะรายงานถ้านมผงนั้นมีความสามารถในการละลายเป็นร้อยละ 99 ซึ่งการที่นมผงมีความสามารถในการละลายต่ำ ก็เนื่องมาจากการที่มีโปรตีนที่เสียหายจากความร้อนอยู่ในนมผง ฉะนั้นจึงควรให้ความร้อนน้ำนมอย่างเหมาะสมเพื่อที่จะปรับปรุงความคงตัวของโปรตีนในระหว่างทำแห้ง

นอกจากนี้จะต้องมีการปรับตัวแปรต่างๆในระหว่างการทำแห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ดรายอย่างเหมาะสมด้วย เพื่อลดการเสียหายของโปรตีนจากความร้อน เช่นไม่ควรใช้เวลาในการทำแห้งช่วงหลังนานเกินไป และต้องมีการปรับความสมดุลของไอออนของเกลือแร่ในน้ำนมก่อนการทำแห้ง เนื่องจากไอออนมีผลต่อความคงตัวของโปรตีน การทำแห้งน้ำนมโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งจะให้นมผงที่มีความสามารถในการละลายต่ำกว่าการใช้เครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ดราย เพราะการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งมีแนวโน้มที่โปรตีนจะเสียหายมากกว่า [2, 3]



รูปที่ 10.11 โครงสร้างของนมผง: รูป (ก) จากการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง และ รูป (ข) จากการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ดราย

ปริมาณน้ำในนมผงจะต้องตรงตามมาตรฐาน ส่วนใหญ่จะไม่เกินร้อยละ 5 การมีปริมาณน้ำสูงเกินไปจะทำให้นมผงเสียโดยจุลินทรีย์ และจะเร่งการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้นมผงเสื่อมคุณภาพ ซึ่งปริมาณน้ำในนมผงจะสูงขึ้นถ้าหาก อากาศที่ออกจากเครื่องทำแห้งมีอุณหภูมิต่ำ หรือน้ำนมเข้มข้นไหลเข้าเครื่องทำแห้งในอัตราที่สูงเกินไป ส่วนความสามารถในการไหลของนมผงนั้นคือการที่นมผงสามารถไหลได้อย่างอิสระเหมือนทราย โดยที่ไม่มีการจับตัวเป็นกลุ่มก้อน การจับตัวเป็นก้อนในนมผง เกิดขึ้นจากการที่แลคโตสตกผลึกไม่สมบูรณ์ภายใต้สภาพปกติ แลคโตสส่วนใหญ่ในนมผงจะอยู่ในรูป แอลฟา-มอโนไฮเดรต และส่วนน้อยจะอยู่ในรูป อะมอर्फัสแลคโตส (amorphous lactose) ซึ่งถ้าหากมีการบรรจุอย่างไม่เหมาะสมแล้ว แลคโตสในรูปของอะมอर्फัสแลคโตสจะดูดน้ำจากบรรยากาศและเปลี่ยนรูปไปเป็นผลึกของแอลฟา-มอโนไฮเดรต ทำให้เกิดการจับตัวเป็นก้อนของนมผง ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการไหลลดลง นอกจากนี้ความสามารถในการไหลยังขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของอนุภาคนมผง ความหนาแน่นและประจุไฟฟ้า คุณสมบัตินี้สามารถปรับปรุงได้โดยเติมสารต่างๆ เช่น ซิลิเซียออกไซด์ (silicium oxide) ซิลิเกต (silicates) แคลเซียมฟอสเฟต แคลเซียมสเตียเรต และสตาร์ชดัดแปร (modified starch) สารต่างๆเหล่านี้จะไปเคลือบผิวของอนุภาค ทำให้ลดการติดกันระหว่างอนุภาค [2]

ในระหว่างการเก็บนมผงพร้อมมันเนย นมผงพร้อมมันเนยและผลิตภัณฑ์นมผงชนิดอื่นที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบอาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันขึ้นได้ การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นจากการที่ไขมันนมมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้จะเกิดขึ้นในสภาพที่มีออกซิเจน โดยมีแสงและไอออนของโลหะ เช่น ทองแดง เหล็ก นิเกิล โคเบียม แมงกานีส และอื่นๆเป็นตัวเร่ง ฉะนั้นเพื่อที่จะป้องกันการเกิดออกซิเดชันของไขมัน นมผงควรมีความเข้มข้นของทองแดงไม่เกิน 1.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมและเหล็กไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ในภาชนะที่บรรจุนมผงควรมีให้ความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำที่สุดซึ่งทำได้โดยบรรจุนมผงในสภาพสุญญากาศบางส่วน (partial vacuum) โดยแทนที่ออกซิเจนบางส่วนด้วยแก๊สไนโตรเจน ในบางประเทศได้อนุญาตให้เติมสารกันหืนได้แก่ กรดแอสคอร์บิก และ โทโคเฟอรอล (tocopherol) ลงในนมผงได้ [2]

สีของนมผงเป็นสิ่งที่บ่งบอกได้ถึงคุณภาพของนมผง ถ้าหากนมผงมีสีผิดปกติ นมผงนั้นอาจได้รับการไม่ยอมรับ สีที่ผิดปกติของนมผงอาจเกิดขึ้นจากการมีอยู่ของอนุภาคนมผงที่ไหม้ หรือเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาล สำหรับอนุภาคนมผงที่ไหม้นั้นเกิดจากนมผงบางส่วนได้รับความร้อนในเครื่องทำแห้งนานเกินไป ส่วนปฏิกิริยาการเกิดสารสีน้ำตาลที่มักเกิดขึ้นในนมผงก็คือ ปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งผู้เชี่ยวชาญหลายท่านได้สรุปว่าปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยานี้ก็คือ ส่วนประกอบของนมผง และสภาพในการเก็บรักษา [2]

### 10.3 กรรมวิธีการผลิตนมผงชนิดละลายทันที

นมผงชนิดละลายทันที (instant milk powder) เป็นนมผงที่มีคุณสมบัติในการคืนรูปดีกว่านมผงธรรมดา ลักษณะของนมผงชนิดนี้คือ เมื่อตกลงบนผิวน้ำที่ไม้อร้อน จะจมและกระจายตัว อย่างรวดเร็ว โดยที่ไม่ต้องคน การทำให้นมผงมีคุณสมบัตินี้จะเรียกว่า การทำอินสแตนไตซ์ (instantizing) กระบวนการนี้ไม่ได้กระทำเพื่อปรับปรุงความสามารถในการละลาย แต่จะกระทำเพื่อปรับปรุงอัตราการคืนรูป และความสมบูรณ์ของการคืนรูป [3]

การทำอินสแตนไตซ์นั้นจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของนมผงในด้านต่างๆ ดังนี้ [2]

- (1) การดูดน้ำไว้ที่ผิว (wettability)
- (2) การแทรกผ่านผิวน้ำ (penetrability)
- (3) การจมลงไปใต้น้ำหลังจากที่เปียกน้ำแล้ว (sinkability)
- (4) การกระจายตัว (dispersibility)
- (5) การละลายอย่างรวดเร็ว (rate of dissolving)

การทำให้นมผงมีคุณสมบัติละลายทันที ทำได้ 2 วิธี คือ “rewet” process และ straight-through process

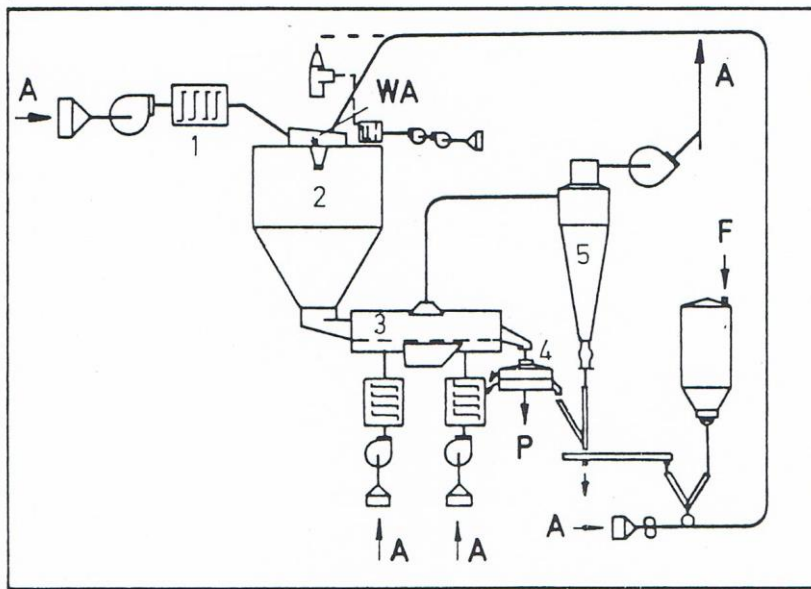
#### 10.3.1 rewet process

การทำอินสแตนไตซ์วิธีนี้แสดงดังรูปที่ 10.12 วิธีนี้จะนำนมผงที่ทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสเปรย์กระจายแล้วมาทำให้กลับขึ้นขึ้นอีกขณะที่อยู่ในถังทำแห้ง โดยการฉีดน้ำหรือไอน้ำลงไปจนกระทั่งนมผงมีปริมาณน้ำเป็นร้อยละ 5-10 นมผงจะเกาะกันและขยายตัวจากนั้นนำมาทำให้แห้งและเย็นลงในฟลูอิดเบดอินสแตนไตเซอร์ (fluid bed instantizer) ดังรูปที่ 10.13 ซึ่งจะทำให้นมผงสั้นตลอดเวลา ขณะที่นมผงอยู่ในฟลูอิดเบดอินสแตนไตเซอร์ ช่วงแรกนมผงจะสัมผัสกับลมร้อนที่มีอุณหภูมิ 90-120°C เป็นเวลา 10-12 นาที ลมร้อนจะเคลื่อนมาจากด้านล่างผ่านตะแกรงโลหะมีรูซึ่งมีนมผงอยู่ด้านบน ลมร้อนจะทำให้นมผงแห้ง ขณะเดียวกันลมร้อนก็จะพาเอาอนุภาคของนมผงที่มีขนาดเล็กมากติดขึ้นไปยังไซโคลนเพื่อแยกอนุภาคของนมผงเล็กๆ ออกจากอากาศ สำหรับนมผงส่วนใหญ่ที่แห้งแล้วก็จะเคลื่อนต่อมายังช่วงท้ายของฟลูอิดเบดอินสแตนไตเซอร์ เพื่อสัมผัสกับลมเย็น ลมเย็นจะทำให้นมผงเย็นลงอย่างรวดเร็วจนเหลืออุณหภูมิประมาณ 10°C และเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการแล้วจะได้นมผงที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 2-4 [2]

สำหรับการทำอินสแตนไตซ์นมผงพร้อมมันเนย หรือผลิตภัณฑ์ที่มีไขมัน หรือครีมที่ค่อนข้างจะซับซ้อน เนื่องจากไขมันอิสระในผลิตภัณฑ์เหล่านี้ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) จะลดความสามารถของอนุภาคนมผงในการจับกับน้ำ ดังนั้นเพื่อที่จะปรับปรุงคุณสมบัติในการคืนรูปจึงจำเป็นต้องเคลือบนมผงด้วยสารที่ช่วยให้เปียก (wetting agent หรือ surface-active agent) ซึ่งมักใช้เลซิธินในความเข้มข้นร้อยละ 0.2 เคลือบนมผงในระหว่างทำอินสแตนไตซ์ [3]

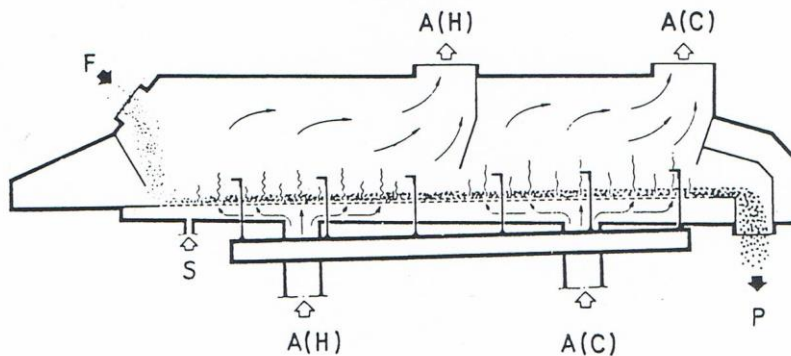
### 10.3.2 straight- through process

การทำอินสแตนไตซ์วิธีนี้ จะกระทำกับนมผงที่ยังแห้งไม่สมบูรณ์ขณะที่ทำแห้งในเครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ทราย โดยจะถายนมผงที่ยังคงมีความชื้นสูงจากถังทำแห้งไปยังฟลูอิดเบดอินส -แตนไตเซอร์ นมผงที่รวมตัวกันจะสัมผัสกับลมร้อนจนกระทั่งแห้ง ส่วนอนุภาคของนมผงขนาดเล็กมากก็จะติดไปกับลมร้อนและถูกแยกออกในไซโคลน นมผงที่แยกออกจากไซโคลนนี้จะถูกนำกลับไปผสมกับหยดน้ำนมเล็กๆ ที่ออกจากหัวฉีดอะตอมไมด์ เพื่อให้รวมกับหยดน้ำนมเล็กๆ เหล่านั้น [3]



รูปที่ 10.12 การทำอินสแตนไตซ์โดยวิธี "rewet"

- (1) เครื่องทำให้อากาศร้อน (2) เครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ทราย  
 (3) ฟลูอิดเบดอินสแตนไตเซอร์ (4) ตะแกรง (5) ไซโคลน  
 (F) ฟीडส์ (A) อากาศ (WA) สารช่วยให้เปียก (P) ผลิตภัณฑ์



รูปที่ 10.13 ฟลูอิดเบดอินสแตนไตเซอร์  
 (F) ฟีดส์ (S) ใอน้ำ A(H) ลมร้อน A(C) ลมเย็น  
 (P) ผลิตภัณฑ์

## 10.4 ผลิตภัณฑ์นมผง

### 10.4.1 หางนมผง (skimmed milk powder)

หางนมผงที่ผลิตกันในปัจจุบัน แบ่งตามระดับของการให้ความร้อนเป็น 3 ชนิดคือ 1) หางนมผงชนิดผ่านความร้อนต่ำ (low heat skimmed milk powder) 2) หางนมผงชนิดผ่านความร้อนปานกลาง (medium heat skimmed milk powder) และ 3) หางนมผงชนิดผ่านความร้อนสูง (high heat skimmed milk powder) สำหรับหางนมผงชนิดผ่านความร้อนต่ำนั้นใช้มากในการผลิตเนยแข็งโดยใช้ในการปรับปริมาณของแข็งในน้ำนมที่ใช้เตรียมกล้าเชื้อจุลินทรีย์และน้ำนมที่ใช้ผลิตเนยแข็ง สาเหตุที่ต้องใช้หางนมผงชนิดผ่านความร้อนต่ำ ก็เนื่องมาจากไม่ต้องการให้มีปริมาณของโปรตีนเวย์ที่เสียสภาพจากความร้อนมากเกินไป เพราะการมีอยู่ของโปรตีนเวย์ที่เสียสภาพจะไปขัดขวางการทำงานของเอนไซม์โคโมซินในการไฮโดรไลซ์เคซีนซึ่งจะเป็นผลให้เกิดเคิร์ดที่อ่อนทำให้เนยแข็งที่ได้มีคุณภาพต่ำ ส่วนหางนมผงชนิดผ่านความร้อนปานกลางเป็นหางนมผงที่ใช้กันมากที่สุดโดยใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ช็อกโกแลตนม ไอศกรีม ขนมหวาน ซุป ซอส และเครื่องดื่มต่างๆ นมผงชนิดนี้สามารถช่วยปรับปรุงความสามารถในการอุ้มน้ำ ความหนืด สี และกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังใช้หางนมผงชนิดผ่านความร้อนปานกลางในการผลิตผลิตภัณฑ์นมคั้นรูปชนิดต่างๆ เช่น นมข้นหวานคั้นรูป น้ำนมคั้นรูป และอื่นๆ ส่วนหางนมผงชนิดผ่านความร้อนสูงนั้นส่วนใหญ่ใช้ในการผลิตนมข้นไม่หวานคั้นรูป [8]

ในการผลิตทางนมผง ขั้นแรกจะต้องนำหางนมมาขจัดสิ่งแปลกปลอมและปรับมาตรฐานส่วนประกอบก่อนที่จะนำไปผ่านความร้อน การให้ความร้อนมี 3 ระดับ ตามชนิดของหางนมผงที่จะผลิต ถ้าเป็นหางนมผงที่ผ่านความร้อนต่ำจะให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 74°C เป็นเวลา 30 วินาที หางนมผงชนิดผ่านความร้อนปานกลางจะให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85-105°C เป็นเวลา 1-2 วินาที ส่วนหางนมผงชนิดผ่านความร้อนสูง จะให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120-135°C เป็นเวลา 2-3 วินาทีหลังจากที่ผ่านความร้อนแล้วจะนำหางนมมาทำให้เข้มข้นโดยใช้ falling film evaporator จนได้ปริมาณของแข็งทั้งหมดเป็นร้อยละ 45-55 และก่อนที่จะนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ดราย ก็จะต้องผ่านหางนมเข้มข้นไปพักในถังรักษาระดับ (balance tank) เพื่อให้ให้น้ำนมไหลอย่างต่อเนื่องไปสู่เครื่องทำแห้ง และในบางโรงงานอาจมีการเติมผลึกของแอลฟาแลคโตสโมโนไฮเดรตลงไปให้น้ำนมเข้มข้นก่อนที่จะทำแห้ง เพื่อเพิ่มปริมาณของน้ำตาลนมและลดความสามารถในการดูดความชื้นของนมผง ในระหว่างการทำแห้งจะต้องควบคุมตัวแปรต่างๆ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ ซึ่งตัวแปรต่างๆจะมีผลต่อคุณสมบัติของนมผงที่ได้ ดังตารางที่ 10.1 สำหรับในการทำแห้งหางนมผงนั้นมักควบคุมอุณหภูมิของอากาศที่เข้าเครื่องทำแห้งให้อยู่ในช่วง 180-230°C และควบคุมอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากเครื่องทำแห้งให้อยู่ในช่วง 70-95°C หางนมผงที่ได้จะมีปริมาณความชื้นเป็นร้อยละ 2-5 หรือมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเป็นร้อยละ 95-98 [7]

ตารางที่ 10.1 ตัวอย่างของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในการปฏิบัติงานของเครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ดรายกับคุณภาพของนมผงที่ได้

ตัวแปรในการปฏิบัติงาน	คุณสมบัติของนมผง <input type="checkbox"/>
อุณหภูมิของอากาศออกสูง	ช่วยลดปริมาณความชื้นของนมผง ทำให้นมผงมีความสามารถในการละลายลดลง ทำให้นมผงมีปริมาณไขมันอิสระเพิ่มขึ้น
อุณหภูมิของอากาศเข้าสูง	ทำให้นมผงมีความหนาแน่นลดลง ทำให้นมผงมีปริมาณไขมันอิสระลดลง
ดีกรีของอะตอมไมเซชันสูง	ช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของนมผง ช่วยลดปริมาณความชื้นของนมผง ทำให้นมผงมีปริมาณไขมันอิสระลดลงเล็กน้อย
ปริมาณของแข็งทั้งหมดสูง (ในน้ำนมเข้มข้นก่อนทำแห้ง)	ทำให้นมผงมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

ที่มา: Varnam และ Sutherland [7]

#### 10.4.2 นมผงพร้อมมันเนย (whole milk powder)

นมผงพร้อมมันเนย ตามกฎหมายของหลายๆประเทศส่วนใหญ่กำหนดว่า นมผงพร้อมมันเนย จะต้องมีปริมาณไขมันไม่น้อยกว่าร้อยละ 26 ในการผลิตนมผงพร้อมมันเนย ชั้นแรกจะนำน้ำนมพร้อมมันเนยมาปรับมาตรฐานให้มีปริมาณไขมันร้อยละ 3.6 ก่อนที่จะผ่านความร้อน และทำให้เข้มข้นมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเป็นร้อยละ 45-50 ในการให้ความร้อนน้ำนม นั้น นิยมให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85-95°C เป็นเวลาหลายนาที หรืออาจให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงในช่วงสั้นคือ ที่อุณหภูมิ 125°C เป็นเวลา 20 วินาที เพื่อลดการสูญเสียคุณค่าทางอาหารของน้ำนม การให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดหมู่ซัลไฟดริลจากโปรตีนเวย์ ซึ่งจะทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติคือ กลิ่นนมต้ม (cooked flavour) ในผลิตภัณฑ์ หลังจากให้ความร้อนแล้วจะนำน้ำนมเข้มข้นนั้นมาผ่านการโฮโมจีไนส์ และทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสเปรย์กระจาย ส่วนใหญ่ในการทำแห้งน้ำนมพร้อมมันเนยมักจะควบคุมอุณหภูมิของอากาศที่เข้าและออกจากเครื่องทำแห้งให้ต่ำกว่ากรณีทำแห้งหางนม ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณไขมันอิสระในนมผงที่ได้ และในการผลิตนมผงพร้อมมันเนยจำเป็นต้องเติมสารกันหืน เช่น กรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) และกรดแอสคอร์บิลปาล์มิเตท (ascorbyl palmitate) ลงไปด้วยเพื่อป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน [7]

นมผงพร้อมมันเนยที่ผลิตอาจผ่านกรรมวิธีการทำให้ละลายทันทีหรือไม่ก็ได้ สำหรับนมผงพร้อมมันเนยชนิดที่ผ่านกรรมวิธีทำให้ละลายทันที (instant whole milk powder) นั้น จะทำการฉีดสารละลายของเลซิธินและไขมันลงไปบนอนุภาคของนมผงระหว่างการทำแห้งในฟลูอิดเบดกระจายเออร์ นมผงชนิดนี้ใช้มากในการผลิตชุป และซอสต่างๆ ทั้งในรูปของแข็งและรูปของเหลว ส่วนนมผงชนิดที่ไม่ผ่านกรรมวิธีการทำให้ละลายทันที (non-instant whole milk powder) ใช้กันมากในอุตสาหกรรมการผลิตช็อกโกแลต เนื่องจากในการผลิตช็อกโกแลตจะเติมเลซิธินลงไปเพื่อลดความเหนียว ถ้าใช้นมผงชนิดละลายทันทีซึ่งมีเลซิธินอยู่ด้วยก็จะทำให้มีปริมาณของเลซิธินในช็อกโกแลตมากเกินไปทำให้ยากต่อการควบคุมปริมาณเลซิธิน [8]

#### 10.4.3 เวย์ผง (whey powder)

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า เวย์เป็นผลพลอยได้จากการผลิตเนยแข็งซึ่งในการผลิตเนยแข็งแต่ละครั้งนั้นจะได้เวย์เป็นปริมาณมาก การที่จะระบายเวย์ออกสู่สิ่งแวดล้อมก็ทำให้เกิดปัญหาหมอก-ภาวะ ดังนั้น

เพื่อที่จะแก้ปัญหานี้ ควรที่จะนำเวย์มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ สำหรับผลิตภัณฑ์จากเวย์ที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารในปัจจุบันก็คือ เวย์ผง

เวย์ผงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ดูความชื้นได้ง่ายเนื่องจากมีปริมาณแลคโตสสูง ดังนั้นในการผลิตเวย์ผงมักจะผลิตในรูปแบบที่ไม่ดูความชื้น (non-hygroscopic whey powder) เวย์ผงในรูปแบบนี้นิยมใช้เป็นส่วนผสมอาหารกันมาก โดยผู้ผลิตจะใช้เวย์ผงแทนหางนมผงเนื่องจากมีราคาถูกกว่า โดยเฉพาะใช้เป็นส่วนผสมที่สำคัญในการผลิตอาหารทารก [8]

ในการผลิตเวย์ผงรูปที่ไม่ดูความชื้นนั้น จะต้องทำให้แลคโตสที่มีอยู่ในเวย์มากกว่าร้อยละ 70 ตกผลึกก่อนที่นำไปทำแห้ง แต่ก่อนอื่นจะต้องกำจัดเกลือแร่ที่มีอยู่มากเกินไปในเวย์ออกเสียก่อน จากนั้นจึงนำเวย์ไปทำให้เข้มข้นในเครื่องระเหยจนมีปริมาณของแข็งร้อยละ 55-62 ทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิ 30-45°C แล้วถ่ายเวย์เข้มข้นใส่ในถังตกผลึก ทำให้เวย์มีอุณหภูมิลดลงอีกจนถึง 12-18°C แลคโตสที่อยู่ในเวย์เข้มข้นขณะนี้จะอยู่ในสภาพที่อิ่มตัวยิ่งยวด (supersaturated lactose) จากนั้นจึงทิ้งไว้ให้แลคโตสในเวย์เกิดการตกผลึก การตกผลึกนี้อาจเร่งได้โดยเติมผลึกแลคโตสลงไปเล็กน้อย หรือเติมอาจเติมในรูปแบบของเวย์ผงที่มีผลึกแลคโตสก็ได้ หลังจากได้เวย์เข้มข้นที่ผ่านการตกผลึกแลคโตสแล้วจะนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ทราย โดยจะทำให้เวย์มีปริมาณความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 12 จากนั้นจึงทิ้งไว้ให้เกิดการตกผลึกอีกครั้ง และเมื่อเกิดการตกผลึกอย่างสมบูรณ์แล้ว เวย์ผงก็จะถูกลำเลียงไปทำให้แห้งอีกครั้งด้วยฟลูอิดเบดทรายเออร์ (fluid bed dryer) เพื่อขจัดความชื้นที่ยังเหลืออยู่ ออก ก็จะได้เวย์ผงรูปที่ไม่ดูความชื้น ซึ่งร้อยละ 95 ของแลคโตสทั้งหมดอยู่ในเวย์ผงในรูปแบบของผลึก [3]

#### 10.4.4 บัตเตอร์มิลค์ผง (buttermilk powder)

บัตเตอร์มิลค์ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตเนย สามารถที่จะนำมาทำแห้งได้เช่นเดียวกับเวย์ การทำแห้งบัตเตอร์มิลค์ที่ได้จากครีมสด (sweet cream buttermilk) นั้น สามารถทำได้ในทำนองเดียวกับการผลิตหางนมผง แต่การทำแห้งบัตเตอร์มิลค์ที่ได้จากครีมเปรี้ยว (sour cream buttermilk) จะค่อนข้างซับซ้อนกว่า เนื่องจากบัตเตอร์มิลค์ชนิดนี้มีปริมาณกรดแลคติกสูง เมื่อนำมาระเหยจนมีปริมาณของแข็งเป็นร้อยละ 26-28 บัตเตอร์มิลค์เข้มข้นที่ได้จะมีความหนืดค่อนข้างสูง จึงยากที่จะนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสเปรย์ทราย ดังนั้นในการทำแห้งควรใช้อุณหภูมิไม่สูงมากนักและควรมีระบบหมุนเวียนอากาศภายในถังทำแห้ง เพื่อที่จะขจัดเอาเศษบัตเตอร์มิลค์ผงที่ติดอยู่ที่ผนังของถังออกไป [3]

## เอกสารอ้างอิง

1. เสถียร วิชัยลักษณ์ และ สืบวงศ์ วิชัยลักษณ์. 2522. พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522. นีติเวชท์, กรุงเทพฯ.
2. Caric, M. 1994. Concentrated and Dried Dairy Products. VCH Publishers, Inc., USA.
3. Knipschildt, M.E. and Andersen, G. G. 1994. Drying of milk and milk products, pp. 159-254. In: Robinson, R. K. (Ed.). Modern Dairy Technology Vol.1. 2nd ed., Chapman & Hall, Great Britain.
4. Lovell, H.R. 1990. The microbiology of dried milk powder, pp. 245-269. In: Robinson, R. K. (Ed.). Dairy Microbiology Vol. 1. 2nd ed., Elsevier Science Publishers Ltd., London.
5. Skanderby, M., Westergaard, V., Partridge, A. and Muir, D.D. 2009. Dried milk products, pp. 180-233. In: Tamime, A. Y. (Ed.). Dairy Powder and Concentrated Products. Blackwell Publishing Ltd., West Sussex, UK.
6. van den Berg, J.C.T. 1988. Dairy Technology in the Tropics and Subtropics. Pudoc Wageningen, The Netherlands.
7. Varnam, A.H. and Sutherland, J. P. 1994. Milk and Milk Products. Chapman & Hall, London.
8. Early, R. 1992. Milk powders, pp. 167-196. In: Early, R. (ed.). The Technology of Dairy Products. VCH Publishers, Inc., New York.

## บทที่ 11

### ไอศกรีม

ไอศกรีม (ice cream) เป็นผลิตภัณฑ์นมชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นจากการนำส่วนผสมต่างๆ ได้แก่ นำนมหรือหางนม ไขมันนม น้ำตาล สารคงตัว สารอิมัลซิไฟเออร์ สี และสารให้กลิ่นรส มาผสมรวมกัน แล้วนำไปพาสเจอร์ไรส์ โฮโมจีไนส์ ทำให้เย็น บ่ม บั่นให้เป็นไอศกรีม และนำไปทำให้แข็ง

#### 11.1 ชนิดของไอศกรีม

ไอศกรีมและผลิตภัณฑ์แช่แข็งที่ผลิตขึ้นจำหน่ายในปัจจุบันมีหลายชนิด ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้

ไอศกรีม (ice cream) โดยทั่วไปจะประกอบด้วย ไขมันร้อยละ 8-20 ของแข็งในนมไม่รวมไขมัน (MSNF) ร้อยละ 8-15 น้ำตาลร้อยละ 13-20 สารคงตัวสารอิมัลซิไฟเออร์ร้อยละ 0-0.7 โดยรวมจะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณ 36-43 ถ้าหากไขมันที่ใช้เป็นไขมันนมจะเรียกไอศกรีมนั้นว่าไอศกรีมนม (dairy ice cream) แต่ถ้าใช้ไขมันจากแหล่งอื่นแทนไขมันนม เช่น ไขมันพืช หรือ ไขมันสัตว์ จะเรียกไอศกรีมนั้นว่าเมลโลรีน (mellorine)

ไอซ์ (ice) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นจากการนำน้ำผลไม้ น้ำตาลและสารคงตัวมาผสมกันแล้วนำไปปั่นให้แข็งคล้ายไอศกรีม ซึ่งมักประกอบด้วยน้ำตาลร้อยละ 28-30 มีโอเวอร์รันร้อยละ 20-25 ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ไม่มีนมเป็นส่วนผสม

ไอซ์มิลค์ (ice milk) เป็นผลิตภัณฑ์ที่คล้ายไอศกรีม ประกอบด้วยไขมันร้อยละ 2-7 ของแข็งในนมไม่รวมไขมัน (MSNF) ร้อยละ 12-15 มีการเติมน้ำตาลและสารให้กลิ่นรสลงไปด้วย ไขมันที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์เป็นไขมันที่มาจากนมนเท่านั้น ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้มีแคลอรีต่ำกว่าไอศกรีม ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมของผู้ที่ต้องการอาหารพลังงานต่ำ

วอเตอร์ไอซ์ (water ice) ผลิตจากน้ำผลไม้ที่นำมาเจือจางด้วยน้ำ มีการเติมน้ำตาล กรด สี สารให้กลิ่นรส และสารคงตัว (เช่น เจลาติน หรือ เพคติน) อาจนำมาเข้าเครื่องปั่นก่อน เพื่อเติมอากาศแล้วจึงนำไปแช่แข็งหรืออาจนำมาแช่แข็งโดยที่ไม่มีการปั่นก็ได้

เชอร์เบท (sherbet) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมคล้ายวอเตอร์ไอซ์ แต่จะมีส่วนประกอบที่มาจากนมผสมอยู่ด้วยเล็กน้อย โดยทั่วไปเชอร์เบทจะประกอบด้วย น้ำผลไม้ ผลไม้ กรด น้ำตาล (เติม 2

เท่าของที่ใช้ในไอศกรีม) ไขมันนม (ร้อยละ 1-2) ของแข็งในนมไม่รวมไขมัน (ร้อยละ 2-5) และสารคงตัว (ร้อยละ 0.2-0.5) เซอร์เบทที่ได้อาจนำมาปั่นเพื่อให้มีโอเวอร์รันร้อยละ 20-35

เซอร์เบท (sorbets) ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้มีส่วนประกอบคล้ายวอดเตอรีไอซ์เช่นเดียวกับเซอร์เบท ดังนั้น อาจเรียกเซอร์เบทว่าเป็นวอดเตอรีไอซ์ก็ได้ แต่ในบางแห่งอาจมีการเติมของแข็งจากนมลงไปเล็กน้อย และเติมสารที่ช่วยในการตีขึ้นฟู (whipping agent) เพื่อให้ได้โอเวอร์รันร้อยละ 30-35

มูสเช (mousse) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากครีม ไข่ขาว ผลไม้ น้ำตาล สี สารให้กลิ่นรส และสารคงตัว นำมาผสมรวมกัน และมีการตีให้ขึ้นฟู แล้วนำไปแช่แข็งโดยไม่มีการปั่น

ฟรอสเซนโยเกิร์ต (frozen yogurt) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบคล้ายไอซ์มิลค์แต่จะมีโยเกิร์ตเป็นส่วนประกอบด้วยในการผลิตฟรอสเซนโยเกิร์ตจะแบ่งส่วนผสมออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งประกอบด้วย ร้อยละ 80 ของส่วนผสมทั้งหมด ซึ่งจะนำไขมันนม ของแข็งในนมไม่รวมไขมัน น้ำตาล สารคงตัวและสารอิมัลซิไฟเออร์มาผสมกัน ผ่านกรรมวิธีการผลิตเหมือนกับการทำไอศกรีม และส่วนที่สองประกอบด้วย ร้อยละ 20 ของส่วนผสมทั้งหมด โดยจะนำหางนมและโยเกิร์ตที่มีปริมาณกรดร้อยละ 1.2-1.4 มาผสมรวมกัน ทำให้เย็นถึง 4°C แล้วนำไปผสมกับส่วนที่หนึ่งก่อนที่จะนำส่วนผสมทั้งหมดไปปั่น ฟรอสเซนโยเกิร์ตที่ผลิตได้จะมีส่วนประกอบดังนี้ ไขมันร้อยละ 0-4 ของแข็งในนมไม่รวมไขมันร้อยละ 12-12.5 น้ำตาลร้อยละ 13-14 และสารคงตัวรวมกับสารอิมัลซิไฟเออร์ร้อยละ 0.4 ซอฟเสิร์ฟไอศกรีม (soft serve ice cream) เป็นไอศกรีมที่จำหน่ายทันทีหลังจากปั่นด้วยเครื่องปั่นไอศกรีมโดยที่ไม่ต้องนำมาทำให้แข็ง (hardening)

## 11.2 องค์ประกอบของไอศกรีม

ไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบค่อนข้างซับซ้อน ในส่วนผสมทั้งหมดของไอศกรีม (ice cream mix) จะมีสารต่างๆ ละลายอยู่โดยมีน้ำเป็นตัวทำละลาย สารต่างๆ ที่ละลายอยู่นั้นอาจแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มได้แก่ ไขมันจะกระจายตัวอยู่ในน้ำเป็นอิมัลชันซึ่งอยู่ในรูปอิมัลชันของน้ำมันในน้ำ (oil-in-water emulsion) โดยมีสารอิมัลซิไฟเออร์ช่วยให้อิมัลชันคงตัว มีโปรตีน ของแข็งที่มาจากนมและสารคงตัว ละลายอยู่ในรูปของคอลลอยด์ และมีน้ำตาลแลคโตสรวมทั้งน้ำตาลที่เติมลงไปและเกลือแร่ต่างๆ ละลายอยู่ในรูปของสารละลายแท้ (true solution) เมื่อนำส่วนผสมทั้งหมดของไอศกรีมไปปั่น อากาศก็จะเข้าไปในส่วนผสมและกระจายตัวอยู่ในรูปของฟองอากาศเล็กๆ ซึ่งมีชั้นของเม็ดไขมันที่รวมตัวกันอยู่ล้อมรอบฟองอากาศ น้ำจะแข็งตัวอยู่ในรูปของผลึกน้ำแข็ง [1] สำหรับปริมาณองค์ประกอบแต่ละชนิด

ของไอศกรีมนั้นจะผันแปรขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นดังตารางที่ 11.1

ตารางที่ 11.1 องค์ประกอบของไอศกรีม และผลิตภัณฑ์แช่แข็งชนิดต่างๆ

ชนิดของ ผลิตภัณฑ์	ปริมาณเฉลี่ย (ร้อยละ)			
	ไขมัน	ของแข็งในนมไม่รวม ไขมัน (MSNF)	น้ำตาล	สารคงตัว/ สารอิมัลชันไฟเออร์
ไอศกรีมชนิดพิเศษ	15	10	17	0.3
ไอศกรีม	10	11	17	0.5
ไอชี่มิลค์	4	12	13	0.7
เชอร์เบท	2	4	25	0.6
ชอร์เบท	0	0	30	0.5

ที่มา: Andreasen และ Nielsen [1]

### 11.3 ส่วนผสมของไอศกรีม (ingredients of ice cream)

#### 11.3.1 ไขมัน

ไขมันเป็นส่วนผสมที่มีความสำคัญในการผลิตไอศกรีม เนื่องจากช่วยทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อสัมผัสตามต้องการ ให้กลิ่นรสที่ดีของไขมันและช่วยเสริมกับสารให้กลิ่นรสที่เติมลงไป ไขมันที่นิยมใช้เป็นส่วนผสมในไอศกรีมมากที่สุดคือไขมันนม สำหรับวัตถุประสงค์ที่เป็นแหล่งของไขมันนมได้แก่ น้ำมันพร้อมมันเนย นมข้นไม่หวาน ครีมสด ครีมแช่แข็ง เนย และ anhydrous milk fat นอกจากนี้ไขมันนมแล้วอาจใช้ไขมันพืชเป็นส่วนผสมในไอศกรีมก็ได้ ไขมันพืชชนิดที่ใช้ได้ดีได้แก่ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันเมล็ดฝ้ายและน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเหล่านี้มักนำมาผ่านกระบวนการไฮโดรจีเนชันบางส่วน (partial hydrogenation) จนมีจุดหลอมเหลว 30-35°C การใช้ไขมันพืชจะทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายกับการใช้ไขมันนม [1]

#### 11.3.2 ของแข็งในนมไม่รวมไขมัน (milk solids not fat)

ของแข็งในนมไม่รวมไขมันประกอบด้วยโปรตีน แลคโตส และเกลือแร่ต่างๆ ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้จะมีปริมาณผันแปรขึ้นกับแหล่งที่มา สำหรับแหล่งของแข็งในนมไม่รวมไขมันที่นิยมใช้เป็นส่วน

ผสมในไอศกรีม ได้แก่ หางนม หางนมผง เวย์ผงและโปรตีนเวย์เข้มข้น (whey protein concentrate) ส่วนผสมเหล่านี้มีส่วนประกอบดังตารางที่ 11.2

ตารางที่ 11.2 ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์นมที่เป็นแหล่งของแข็งในนมไม่รวมไขมัน

ชนิดของผลิตภัณฑ์นม	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)		ปริมาณแลคโตส (ร้อยละ)	ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำ (ร้อยละ)
		เคซีน	โปรตีนเวย์			
หางนม	0.1	2.5	0.8	4.8	0.8	91.0
หางนมผง	1.0	27.7	9.3	52.0	7.0	3.0
เวย์ผง	1.0	-	13.0	73.0	9.0	4.0
โปรตีนเวย์เข้มข้น	2.0	-	35.0	51.0	7.0	5.0

ที่มา: Andreasen และ Nielsen [1]

จากตารางที่ 11.2 จะเห็นได้ว่าส่วนประกอบหลักของของแข็งในนมไม่รวมไขมันคือ โปรตีน และแลคโตส โปรตีนในนมมีคุณสมบัติช่วยในการอุ้มน้ำและมีคุณสมบัติช่วยให้เกิดสภาพเป็นอิมัลชัน กล่าวคือ เคซีน และเวย์โปรตีนสามารถจับกับน้ำได้ โดยที่เคซีนสามารถจับกับน้ำได้ประมาณ 3 กรัมต่อกรัมของโปรตีน แต่เวย์โปรตีนจะจับกับน้ำได้น้อยกว่า 1 กรัมต่อกรัมของโปรตีน นอกจากนี้เคซีนยังล้อมรอบเม็ดไขมันและทำหน้าที่คล้ายกับสารอิมัลซิไฟเออร์ ส่วนแลคโตสเป็นส่วนประกอบชนิดที่จะจำกัดปริมาณการใช้ของแข็งในนมไม่รวมไขมัน เนื่องจากแลคโตสมีความสามารถในการละลายค่อนข้างต่ำสามารถตกผลึกได้ผลึกรูปชวานที่มีขนาดใหญ่กว่า 15 ไมโครเมตร ซึ่งจะทำให้เกิดลักษณะที่หยาบเหมือนทราย (sandiness) ในไอศกรีม ดังนั้นเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการเกิดลักษณะที่ไม่ดีเช่นนี้จึงควรควบคุมให้ปริมาณของแลคโตสในส่วนผสมของไอศกรีมไม่เกิน 17 ส่วนต่อน้ำ 100 ส่วน [1]

### 11.3.3 น้ำตาล

น้ำตาลที่ใช้เป็นส่วนผสมในไอศกรีมได้แก่ ซูโครสจากอ้อย ซูโครสจากหัวบีท กลูโคสไซรัปที่ได้จากการไฮโดรไลซ์แป้งข้าวโพด น้ำผึ้ง น้ำตาลอินเวอร์ส ฟรุคโตส แลคโตส โมลาส มอลท์ไซรัป และเวย์ที่ผ่านการไฮโดรไลซ์แลคโตส เป็นต้น สำหรับน้ำตาลชนิดที่นิยมใช้มากที่สุดคือ ซูโครส เนื่องจากละลายน้ำได้ดีและราคาถูก อาจใช้เดี่ยวๆ หรือใช้ร่วมกับน้ำตาลชนิดอื่นก็ได้ ปริมาณของน้ำตาลเติมนั้นขึ้นอยู่กับความชอบ ซึ่งพบว่าระดับความหวานที่ทำให้คนส่วนใหญ่พอใจคือ ร้อยละ 13-16 การเติมน้ำตาลไม่

เพียงแต่จะให้ความหวานกับไอศกรีมเท่านั้น น้ำตาลยังช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดในส่วนผสม และมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ทำให้ได้ไอศกรีมที่อ่อนนุ่มสามารถรับประทานได้ทันทีหลังปั่น และทำให้จุดเยือกแข็งของส่วนผสมลดต่ำลง [2, 3]

### 11.3.4 สารคงตัว (stabilizers)

เป็นที่ทราบกันว่าน้ำในไอศกรีมจะไม่อยู่ในสภาพที่แช่แข็งอย่างสมบูรณ์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นผลึกน้ำแข็งบางผลึกจะละลายและในทางกลับกัน เมื่ออุณหภูมิลดลงน้ำก็จะกลับเป็นผลึกน้ำแข็งอีก การเพิ่มขึ้นและลดลงของอุณหภูมิเช่นนี้จะมีผลทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของไอศกรีมเปลี่ยนแปลง ดังนั้นถ้าหากเติมสารคงตัวลงไป สารคงตัวจะจับกับน้ำอิสระที่เกิดจากการหลอมเหลวซึ่งจะช่วยป้องกันการสร้างผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ถ้าหากน้ำที่หลอมนั้นแข็งตัวขึ้นอีก สารคงตัวที่เติมลงไปยังช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสและความเหนียว ทำให้เกิดความรู้สึกมันเมื่อรับประทาน ช่วยป้องกันการแยกตัวของน้ำระหว่างการหลอมเหลวและช่วยให้ไอศกรีมมีความต้านทานต่อการหลอมเหลวมากขึ้น ปกติเติมสารคงตัวร้อยละ 0.1-0.5 สำหรับไอศกรีมที่อาจใช้สารคงตัวได้ในปริมาณน้อย ได้แก่ ไอศกรีมที่มีปริมาณไขมันสูงหรือปริมาณของแข็งทั้งหมดสูง (ร้อยละ 40) ไอศกรีมช็อกโกแลตและไอศกรีมที่ผ่านการให้ความร้อนแบบยูเอชทีที่อุณหภูมิ 220°F หรือสูงกว่า ส่วนไอศกรีมที่ต้องใช้สารคงตัวในปริมาณมาก ได้แก่ ไอศกรีมที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำ (ร้อยละ 37) ไอศกรีมที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์แบบใช้อุณหภูมิสูงเวลาดสั้น (79.4°C 25 วินาที) และไอศกรีมที่ต้องเก็บไว้เป็นเวลานาน [1, 2] สารคงตัวที่ใช้ในไอศกรีม ได้แก่

#### 11.3.4.1 โซเดียมอัลจิเนต (sodium alginate)

อัลจิเนตเป็นสารประกอบไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายสีน้ำตาล ซึ่งจัดอยู่ในวงศ์ Phaeophyceae มีชื่อเรียกทั่วไปว่า kelp จะเจริญเติบโตตามชายฝั่งทะเลที่เป็นหินซึ่งมีความลึกไม่ต่ำกว่า 125 ฟุต หรือ 40 เมตร และอยู่ในระดับที่แสงแดดจะผ่านทะลุไปถึงได้ อัลจิเนตอาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อัลจิน (algin) ถูกสกัดออกมาในรูปของกรดอัลจินิก (alginic acid) และเกลือของกรดอัลจินิกคือ โซเดียมอัลจิเนตซึ่งเป็นสารคงตัวที่ใช้ผสมในอาหารหลายชนิดรวมทั้งไอศกรีม เมื่อเติมโซเดียมอัลจิเนตลงในส่วนผสมทั้งหมดแล้ว จำเป็นต้องให้ความร้อนส่วนผสมจนถึงอุณหภูมิ 68.3-71.1°C เพื่อให้โซเดียมอัลจิเนตละลาย ปริมาณของโซเดียมอัลจิเนตที่ใช้คือ ร้อยละ 0.18-0.25 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของไอศกรีมด้วย โซเดียมอัลจิเนตจะช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมมีคุณสมบัติที่ดีเกี่ยวกับการหลอมเหลวและช่วยให้ไอศกรีมมีความคงตัวดีระหว่างเก็บรักษา [2, 4]

#### 11.3.4.2 คาราจีแนน (carrageenan)

คาราจีแนนเป็นสารประกอบไฮโดรคอลลอยด์อีกชนิดหนึ่งที่สกัดได้จากสาหร่ายสีแดง สาหร่ายสีแดงชนิดที่นำมาสกัดคาราจีแนนได้แก่ สาหร่ายที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Chondrus crispus*, *Cigartina stellata* และ *Eucheuma spinosum* สาหร่ายสีแดงเหล่านี้เจริญตามชายฝั่งทะเล เช่น ชายฝั่งทะเลของประเทศไอร์แลนด์และประเทศฝรั่งเศส คาราจีแนนมักใช้ร่วมกับสารคงตัวชนิดอื่นโดยใช้ประมาณร้อยละ 0.02 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด เพื่อป้องกันการแยกตัวของน้ำออกจากส่วนผสมและคาราจีแนนจะช่วยให้เพิ่มความหนืดของส่วนผสมโดยการจับกับโปรตีนนม ในการใช้คาราจีแนนควรให้ความร้อนถึงอุณหภูมิสูงกว่า 70°C ระหว่างการผลิตจึงจะได้ผลดี [1]

#### 11.3.4.3 โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (sodium carboxyl methyl cellulose)

สารคงตัวชนิดนี้ปัจจุบันใช้กันมากในอุตสาหกรรมผลิตไอศกรีม มีคุณสมบัติช่วยในการอุ้มน้ำ ทำให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสที่เนียนเรียบ ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติในการตีขึ้นฟู (whipping property) โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสสามารถละลายได้ง่ายในน้ำเย็น ใช้ได้ดีกับไอศกรีมเชอร์เบทและไอศมิลค์ ปริมาณที่ใช้ผันแปรระหว่างร้อยละ 0.15-0.20 และถ้าหากใช้โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร่วมกับสารคงตัวชนิดอื่นจะให้ผลดียิ่งขึ้น ส่วนใหญ่นิยมใช้ร่วมกับคาราจีแนน โลคัสปีนัมและกัวกัม [2]

#### 11.3.4.4 สารคงตัวประเภทกัม (gum-type stabilizers)

สารคงตัวประเภทกัมเช่น โลคัสปีนัม (locust bean gum) และกัวกัม (guar gum) เป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้จากพืช กัมทั้งสองชนิดนี้ใช้กันมากในการผลิตไอศกรีม เนื่องจากช่วยให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี ช่วยปรับปรุงความหนืดและช่วยป้องกันการแยกตัวของน้ำ กัวกัมจะมีข้อได้เปรียบกว่าคือ ละลายได้ดีในน้ำเย็น แต่โลคัสปีนัมนั้นจะต้องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 15 นาทีจึงจะละลาย นอกจากนี้ยังมีกัมอีกหลายชนิดที่ใช้ผสมในไอศกรีมได้เช่น ทากาแคนกัม (tragacanth gum) อาราบิกกัม (arabic gum) และคารายากัม (karaya gum) กัมเหล่านี้ใช้เป็นสารคงตัวในไอศกรีมเชอร์เบทและไอซ์ ส่วนแซนแทนกัม (xanthan gum) ซึ่งเป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตขึ้นโดยเชื้อ *Xanthomonas campestris* ก็ใช้เป็นสารคงตัวในไอศกรีมได้เช่นกัน [5]

#### 11.3.4.5 เจลาติน (gelatin)

เจลาติน เป็นสารคงตัวชนิดแรกที่เกิดขึ้นในทางการค้า สามารถทำให้เกิดเจลในส่วนผสมทั้งในระหว่างการบ่มและการปั่น ช่วยป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ในไอศกรีม และทำให้เกิดลักษณะ

เนื้อสัมผัสที่เนียนเรียบ ปริมาณของเจลาตินที่ใช้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่นแหล่งที่มาของเจลาติน (จากหนังวัว หรือ หนังหมู หรือ กระดุกสัตว์) ความแข็งของเจล (gel strength) ค่าความหนืด และองค์ประกอบในส่วนผสมของไอศกรีม เจลาตินแตกต่างจากสารคงตัวชนิดอื่นคือ เมื่อเติมลงในส่วนผสมแล้วมักต้องบ่มประมาณ 4 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดคุณสมบัติในการสร้างความคงตัวอย่างสมบูรณ์ [2]

#### 11.3.4.6 วุ้น (agar)

วุ้น เป็นสารประกอบไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายสีแดง มักใช้เป็นสารคงตัวในไอศกรีมเชอร์เบทและไอซ์ โดยใช้ร่วมกับกัม และเจลาติน วุ้นจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสที่หยาบในไอศกรีม ปกติวุ้นจะไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะละลายได้ดีในน้ำร้อนตั้งแต่อุณหภูมิ 85°C ขึ้นไป [2, 4]

#### 11.3.5 สารอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier)

สารอิมัลซิไฟเออร์เป็นสารที่ทำให้เกิดสภาพเป็นอิมัลชัน สารนี้เมื่อเติมลงไปในส่วนผสมจะเข้มข้นอยู่ที่ผิวสัมผัสระหว่างเม็ดไขมัน และพลาสมาโดยสามารถช่วยลดแรงตึงผิวลง ปกติไขมันและไข่แดงที่ใช้เป็นส่วนผสมในไอศกรีมนั้นจะมีสารอิมัลซิไฟเออร์อยู่แล้วตามธรรมชาติ เช่นในน้ำมันมีโปรตีนนม เลซิติน ฟอสเฟต และซีเตรต ส่วนไข่แดงมีเลซิติน สารอิมัลซิไฟเออร์ตามธรรมชาติเหล่านี้ ถึงแม้จะมีคุณสมบัติช่วยให้เกิดอิมัลชันได้ดี แต่หากเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ผลิตจำหน่ายในทางการค้าก็จะมีผลทำให้เกิดอิมัลชันได้ดียิ่งขึ้น สารอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้กันมากในการผลิตไอศกรีมมี 2 ชนิดคือ 1) มอโน-ไดกลีเซอไรด์ (mono-diglycerides) และ 2) อนุพันธ์พอลิออกซี-เอทิลีนของเฮกซาไฮดริกแอลกอฮอล์ ไกลคอล และไกลคอลเอสเทอร์ (polyoxyethylene derivatives of hexahydric alcohols, glycol, and glycol esters) เช่นเมื่อเร็ว ๆ นี้มีการนำสารอิมัลซิไฟเออร์ชื่อ พอลิเอทิลีนไกลคอล (polyoxyethylene glycol) และ กลูซิทอลเอสเทอร์ (glucitol esters) มาใช้เป็นส่วนผสมในไอศกรีม สารอิมัลซิไฟเออร์จะช่วยให้ไขมันกระจายตัว ช่วยปรับปรุงความสามารถในการตีขึ้นฟูและช่วยให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อสัมผัสเนียนเรียบ [2]

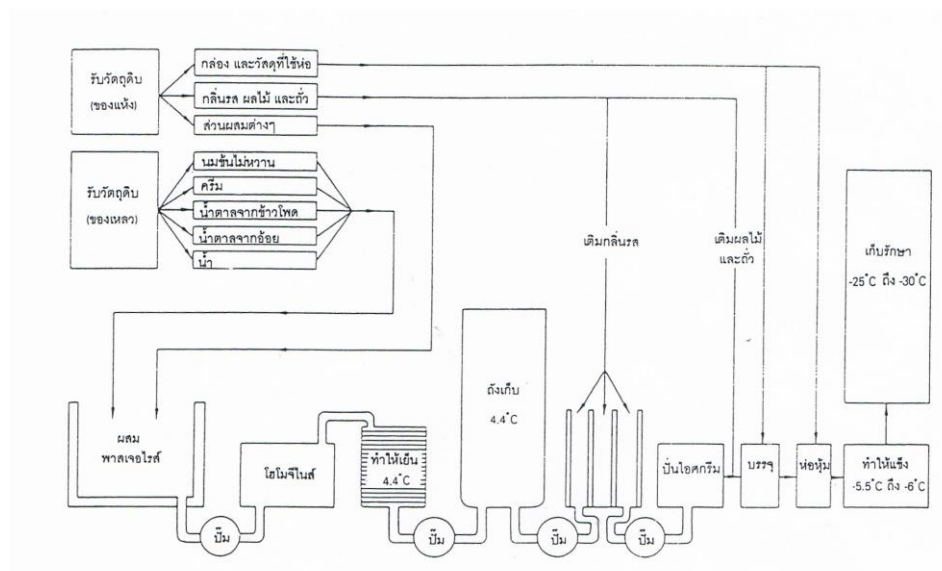
#### 11.3.6 สารให้กลิ่นรสและสี

ถึงแม้ว่าในอดีตได้มีการใช้สารให้กลิ่นรสชนิดสังเคราะห์ (synthetic flavor) ในการผลิตไอศกรีมกันมาก แต่ในปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะใช้สารให้กลิ่นรสจากธรรมชาติ (natural flavor) กันมากขึ้น สารให้กลิ่นรสจากธรรมชาติที่นิยมใช้ได้แก่ โกโก้ ช็อกโกแลต กาแฟ วานิลลา เครื่องเทศ ถั่วต่างๆ ผลไม้ประเภทส้มและผลไม้ในเขตร้อนชนิดต่างๆ เป็นต้น สำหรับสีนั้นก็มีการใช้เติมลงในไอศกรีมกันมาก ยกเว้นไอศกรีมที่

ได้สีธรรมชาติจากส่วนผสมอยู่แล้ว เช่น ไอศกรีมช็อกโกแลต สีที่ใช้กันมากเป็นสีสังเคราะห์ (synthetic color) แต่ในปัจจุบันก็มีแนวโน้มที่จะใช้สีจากธรรมชาติมากขึ้นเช่นกัน [2]

#### 11.4 กรรมวิธีการผลิตไอศกรีม

ขั้นตอนพื้นฐานในการผลิตไอศกรีม ประกอบด้วยขั้นตอนการผสม การพาสเจอร์ไรส์ การโฮโมจีไนส์ การทำให้เย็น การบ่ม การปั่นไอศกรีม การเติมสารให้กลิ่นรส สี และผลไม้ การบรรจุ การทำให้แข็ง และการเก็บรักษา แผนภูมิการผลิตไอศกรีม แสดงดังรูปที่ 11.1



รูปที่ 11.1 กระบวนการผลิตไอศกรีม

ที่มา: Arbuckle [2]

##### 11.4.1 การผสม (mixing)

ในการผลิตไอศกรีม ก่อนอื่นจะต้องชั่งส่วนผสมทั้งหมดให้ได้น้ำหนักตามสูตร การผสมจะเริ่มขึ้นโดยเติมส่วนผสมที่เป็นของเหลว เช่นครีม นำนม นมข้นไม่หวาน และน้ำเชื่อม ลงในถังผสม คนให้เข้ากัน และให้ความร้อนไปเรื่อยๆ ก่อนที่อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นถึง  $48.9^{\circ}\text{C}$  จะทำการเติมส่วนผสมที่เป็นของแห้ง เช่นหางนมผง ไข่ผง ผงโกโก้ น้ำตาล และสารคงตัวลงไปแล้วคนตลอดเวลา ในการเติมส่วนผสมที่เป็นของแห้ง

นี้ สามารถป้องกันส่วนผสมจับตัวเป็นก้อนได้โดย 1) นำส่วนผสมที่เป็นของแข็งทั้งหมดมาคลุกเคล้าให้เข้ากันก่อนที่จะเติมลงในส่วนผสมที่เป็นของเหลวอย่างช้าๆ หรือ 2) ร่อนส่วนผสมที่เป็นของแข็งลงในส่วนผสมที่เป็นของเหลว และถ้าใช้เจลาตินหรือโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นสารคงตัว ควรเติมหลังจากที่ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากันดีแล้วและเติมก่อนที่อุณหภูมิจะเพิ่มถึง  $48.9^{\circ}\text{C}$  โดยอาจโรยสารคงตัวดังกล่าวลงบนผิวของส่วนผสมทั้งหมด หรืออีกวิธีหนึ่ง อาจแช่สารคงตัวในน้ำและให้ความร้อนจนกระทั่งสารคงตัวละลายแล้วจึงเติมลงในส่วนผสมที่อุ่นซึ่งมีอุณหภูมิ  $37.8-48.9^{\circ}\text{C}$  แต่ถ้าใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นสารคงตัวจะต้องให้อุณหภูมิของส่วนผสมเพิ่มขึ้นถึง  $65.5^{\circ}\text{C}$  ก่อนที่จะเติมโซเดียมอัลจิเนตลงไป สำหรับส่วนผสมประเภทไขมัน เช่นเนย ไขมันเนย ครีมแช่แข็ง จะต้องนำมาหลอมเหลวก่อนเติมลงในส่วนผสมทั้งหมด ส่วนสีและสารให้กลิ่นจะไม่เติมลงในขั้นนี้แต่จะเติมก่อนที่จะปั่นเป็นไอศกรีม [2]

#### 11.4.2 การพาสเจอร์ไรส์ (pasteurization)

แต่เดิมการพาสเจอร์ไรส์ส่วนผสมของไอศกรีมจะให้ความร้อนที่อุณหภูมิ  $65-70^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 30 นาที ในปัจจุบันนิยมพาสเจอร์ไรส์แบบอุณหภูมิสูงเวลาดสั้น (high temperature-short time process) ที่อุณหภูมิ  $82-87^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 15-30 วินาที โดยใช้แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (plate heat exchanger) การพาสเจอร์ไรส์จะทำลายแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคทั้งหมดที่มีอยู่ในส่วนผสมและยังทำให้แบคทีเรียชนิดที่ไม่ทำให้เกิดโรคลดจำนวนลงด้วย นอกจากนี้ในระหว่างการพาสเจอร์ไรส์ สารอิมัลซิไฟเออร์จะหลอมเหลว ( $65-70^{\circ}\text{C}$ ) และสารคงตัวซึ่งถูกกระตุ้นด้วยความร้อนจะช่วยให้ส่วนผสมของไอศกรีมเกิดสภาพเป็นคอลลอยด์ [1]

#### 11.4.3 การโฮโมจีไนส์ (homogenization)

เมื่อส่วนผสมของไอศกรีมทั้งหมด (ice cream mix) ผ่านการพาสเจอร์ไรส์แล้ว ก็ให้นำมาโฮโมจีไนส์เพื่อลดขนาดของเม็ดไขมันลง ส่วนผสมจะเปลี่ยนไปอยู่ในสภาพที่เป็นอิมัลชันอย่างแท้จริง ในขณะที่ทำการโฮโมจีไนส์ เม็ดไขมันจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 2 ไมโครเมตร นอกจากนี้การโฮโมจีไนส์ส่วนผสมยังช่วยปรับปรุงความสามารถในการตีขึ้นฟู ทำให้ใช้เวลาในการบ่มสั้น ช่วยให้การรวมตัวกันของเม็ดไขมันขณะปั่นไอศกรีมมีโอกาสเกิดขึ้นน้อย ทำให้สามารถใช้สารคงตัวได้ในปริมาณต่ำ และช่วยให้ไอศกรีมที่ได้มีลักษณะเนื้อสัมผัสเนียนเรียบ [2]

การโฮโมจีไนส์ส่วนผสมของไอศกรีมมักจะทำที่อุณหภูมิ  $62.8-76.7^{\circ}\text{C}$  ถ้าหากส่วนผสมนั้นผ่านการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิสูงจำเป็นต้องลดอุณหภูมิลงเหลือ  $65.5^{\circ}\text{C}$  ก่อนที่จะทำการโฮโมจีไนส์ เพื่อลด

การเกิดกลิ่นนมต้มโดยเฉพาะถ้าต้องใช้เวลาในการโฮโมจีไนส์นานกว่า 30 นาที สำหรับความดันที่ใช้ในการโฮโมจีไนส์นั้นควรใช้ให้เหมาะสมซึ่งไม่ควรสูงหรือต่ำเกินไป ถ้าหากใช้ความดันสูงเกินไปเม็ดไขมันจะมารวมกันอีก แต่ถ้าใช้ความดันต่ำเกินไปก็จะไม่เกิดการกระจายอย่างเหมาะสมของเม็ดไขมัน ในการโฮโมจีไนส์แบบชั้นตอนเดียว กรณีที่เป็นไขมันพืชจะใช้ความดัน 12 เมกกาปาสคาล ส่วนกรณีที่เป็นไขมันนมจะใช้ความดัน 16 เมกกาปาสคาล แต่ถ้าเป็นการโฮโมจีไนส์แบบสองชั้นตอนทั้งไขมันพืชและไขมันนมจะใช้ความดันชั้นแรกเป็น 15 เมกกาปาสคาลและชั้นที่สองเป็น 4 เมกกาปาสคาล [2]

#### 11.4.4 การทำให้เย็น (cooling)

หลังจากทำการโฮโมจีไนส์ส่วนผสมของไอศกรีมแล้ว ควรทำให้เย็นลงทันทีจนกระทั่งอุณหภูมิลดลงเหลือ  $4.4^{\circ}\text{C}$  จากการศึกษาของผู้เชี่ยวชาญหลายท่านพบว่า การทำให้ส่วนผสมเย็นลงนี้จะมีผลทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น [2]

#### 11.4.5 การบ่ม (aging)

เมื่อทำให้ส่วนผสมของไอศกรีมเย็นลงจนถึง  $4.4^{\circ}\text{C}$  แล้ว จะบ่มไว้ในถังบ่มที่อุณหภูมิระดับนี้เป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง ถังบ่มที่ใช้ควรเป็นถังที่มีฉนวนกันความร้อนและสามารถควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำได้ตลอดเวลา และในระหว่างการบ่มจะมีการเปลี่ยนแปลงของส่วนผสมของไอศกรีมเกิดขึ้นหลายประการ ดังนี้

(1) สารคงตัวจะเกิดการไฮเดรชันอย่างสมบูรณ์: แม้ว่าการละลายของส่วนผสมที่เป็นของแข็งส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในระหว่างการผสมแล้วก็ตาม แต่สารคงตัวบางชนิดจำเป็นต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นในการทำให้เกิดการไฮเดรชันอย่างสมบูรณ์ ซึ่งการเกิดการไฮเดรชันอย่างสมบูรณ์ของสารคงตัวในระหว่างการบ่มจะเป็นผลให้ความหนืดของส่วนผสมทั้งหมดเพิ่มขึ้น ทำให้ได้ไอศกรีมที่มีความมัน มีความต้านทานต่อการหลอมเหลวและมีความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษา สำหรับสารคงตัวที่จะเกิดการไฮเดรชันอย่างสมบูรณ์ซึ่งจะพองตัวขึ้นในระหว่างการบ่ม ได้แก่ เจลาติน ส่วนสารคงตัวเช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์เมทิลเซลลูโลสและกัวกัมนั้น การบ่มจะมีผลน้อยมากเนื่องจากสารคงตัวทั้งสองชนิดนี้ได้ละลายอย่างสมบูรณ์แล้วในระหว่างการพาสเจอร์ไรส์และทำให้เย็น [1]

(2) ไขมันจะเกิดการตกผลึก: ในระหว่างการบ่มในช่วงต้นๆจะมีการตกผลึกของไขมันเกิดขึ้น โดยที่ไตรกลีเซอไรด์ชนิดจุดหลอมเหลวสูงจะตกผลึกก่อนโดยเฉพาะจะมีการตกผลึกที่ผิวของเม็ดไขมัน ทำให้เกิดเป็นลักษณะที่มีไขมันแข็ง (solid fat) ล้อมรอบไขมันเหลว สำหรับปริมาณของไขมันที่ตกผลึกนั้นจะผันแปรขึ้นอยู่กับชนิดของไขมันที่ใช้ ถ้าหากใช้ไขมันไม่อิ่มตัวเป็นส่วนผสม ปริมาณไขมันที่ตกผลึกจะน้อย

มาก มีผู้รายงานว่า การเติมสารอิมัลซิไฟเออร์เช่น กลีเซอรอลมอนอสเตียเลต (glycerol monostearate) ลงไปในส่วนผสมจะช่วยให้ไขมันเกิดการตกผลึกมากขึ้น [1]

(3) การดูดซับของโปรตีนที่ผิวของเม็ดไขมัน: การดูดซับนี้ได้เกิดขึ้นตั้งแต่ส่วนผสมผ่านการโฮโมจีไนส์แล้ว การดูดซับของโปรตีนที่ผิวของเม็ดไขมันนี้จะดำเนินต่อไปหลังจากทำให้ส่วนผสมเย็นแต่จะเกิดขึ้นด้วยอัตราที่ช้าลง [6]

นอกจากนี้ผู้ผลิตไอศกรีมหลายท่านได้สังเกตเห็นว่า การทำให้ส่วนผสมเย็นลงจนถึงอุณหภูมิ 0-2°C จะสามารถลดระยะเวลาในการบ่มลงได้ การทำเช่นนี้จะช่วยให้ไขมันเกิดการตกผลึกเพิ่มขึ้นและช่วยปรับปรุงการดูดซับโปรตีนที่ผิวของเม็ดไขมัน [7]

#### 11.4.6 การปั่นไอศกรีม (freezing ice cream)

หลังจากบ่มส่วนผสมทั้งหมดแล้ว จะนำมาปั่นหรือทำให้แข็งด้วยเครื่องปั่นไอศกรีม (ice cream freezer) โครงสร้างของไอศกรีมจะเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้และในระหว่างการปั่นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในส่วนของส่วนผสมของไอศกรีมดังนี้

(1) อากาศจะเข้าไปในส่วนผสม: ขณะปั่นไอศกรีม อากาศจะกระจายตัวเข้าไปในส่วนผสม มีลักษณะเป็นฟองอากาศเล็กๆ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60-100 ไมโครเมตร การกระจายตัวของอากาศจะมีผลต่อคุณภาพของไอศกรีมที่ได้ กล่าวคือ การกระจายตัวที่ดีของอากาศจะทำให้ได้ไอศกรีมที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสเนียนเรียบ มีความรู้สึกมันคล้ายครีมเมื่อรับประทาน ยิ่งกว่านั้นยังทำให้ไอศกรีมที่ได้มีความต้านทานต่อการหลอมเหลว และมีความคงตัวต่อการเก็บรักษา [1]

อากาศที่เข้าไปในส่วนผสมจะทำให้ปริมาตรของส่วนผสมเพิ่มขึ้น อากาศที่เป็นฟองเล็กๆกระจายตัวอยู่ทั่วไปจะช่วยให้เนื้อไอศกรีมไม่แน่นไม่แข็งและไม่เย็นเกินไปเมื่ออยู่ในปาก การเพิ่มปริมาตรของไอศกรีม โดยการปั่นให้อากาศรวมอยู่ในส่วนผสมระหว่างที่ทำให้ไอศกรีมแข็งเรียกว่า โอเวอร์รัน (overrun) ในไอศกรีมจะมีโอเวอร์รันประมาณร้อยละ 70-100 ถ้าไอศกรีมมีโอเวอร์รันร้อยละ 100 หมายถึงปริมาตรของอากาศที่มีอยู่ในไอศกรีมเท่ากับปริมาตรของส่วนผสม เช่น ส่วนผสมทั้งหมด 1 แกลลอนเมื่อทำเป็นไอศกรีมแล้วจะได้ 2 แกลลอน เรียกว่า มีโอเวอร์รันร้อยละ 100 [8]

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์โอเวอร์รันทำได้ 2 วิธี คือ คิดเป็นร้อยละโดยปริมาตรและร้อยละโดยน้ำหนัก

(ก) ร้อยละโดยปริมาตร

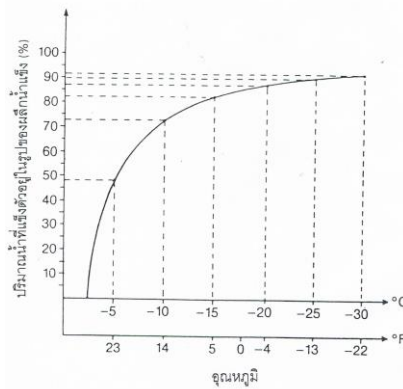
$$\text{โอเวอร์รัน (ร้อยละ)} = \frac{\text{ปริมาตรของไอศกรีม} - \text{ปริมาตรของส่วนผสม}}{\text{ปริมาตรของส่วนผสม}} \times 100$$

ปริมาตรของส่วนผสม

(ข) เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

$$\text{ไอเวอร์รัน (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักของส่วนผสม} - \text{น้ำหนักของไอศกรีมที่มีปริมาตรเท่ากัน} \times 100}{\text{น้ำหนักของไอศกรีมที่มีปริมาตรเท่ากัน}}$$

(2) น้ำในส่วนผสมจะแข็งตัวขณะปั่น : ในขณะปั่นไอศกรีม ความร้อนจะถ่ายเทออกจากส่วนผสมอย่างรวดเร็วทำให้น้ำในส่วนผสมแข็งตัวเป็นผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก ปริมาณน้ำที่แข็งตัวอยู่ในรูปของผลึกน้ำแข็งจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของส่วนผสมที่ลดลง ดังรูปที่ 11.2 [1]



รูปที่ 11.2 การเกิดผลึกน้ำแข็งในไอศกรีม

ที่มา: Andreasen และ Nielsen [1]

(3) การรวมตัวของเม็ดไขมัน: ในขณะปั่นไอศกรีมจะเกิดการสูญเสียความคงตัวของอิมัลชัน เม็ดไขมันบางเม็ดจะแตกและปล่อยไขมันเหลวออกมา ไขมันเหลวนี้อาจทำให้เม็ดไขมันบางส่วนรวมตัวกัน การรวมตัวกันของเม็ดไขมันนี้ จะเกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสระหว่างฟองอากาศที่เข้ามาในส่วนผสมกับส่วนที่เป็นซีรัมของไอศกรีม ซึ่งจะเป็นการช่วยจับอากาศให้เข้ามาในส่วนผสมด้วยและทำให้ฟองอากาศนั้นคงตัวยิ่งขึ้น [1]

สำหรับเครื่องปั่นไอศกรีมที่นิยมใช้กันนั้นมีทั้งแบบไม่ต่อเนื่อง (batch freezer) และแบบต่อเนื่อง (continuous freezer) ไอศกรีมที่ได้จากเครื่องปั่นทั้งสองชนิดนี้จะแตกต่างกัน ถ้าหากใช้เครื่องปั่นไอศกรีมแบบต่อเนื่องจะทำให้ได้ไอศกรีมที่มีผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กกว่า และมีลักษณะเนื้อสัมผัสเนียนเรียกว่า เนื่องจากน้ำในส่วนผสมประมาณร้อยละ 50 จะแข็งอย่างรวดเร็วหลังจากปั่น นอกจากนี้ไอศกรีมที่ได้จากเครื่องปั่นแบบต่อเนื่องจะมีอากาศผสมอยู่มากกว่า โดยจะมีไอเวอร์รันประมาณร้อยละ 130 แต่ไอศกรีมที่ได้จากเครื่องปั่นแบบไม่ต่อเนื่องจะมีไอเวอร์รันเพียงร้อยละ 50-100 ทั้งนี้เพราะในเครื่องปั่นไอศกรีมแบบต่อเนื่อง อากาศภายใต้ความดันจะเข้าไปในส่วนผสม ในสภาพนี้จะทำให้อากาศขยายตัว

และแตกออกเป็นฟองอากาศเล็กๆจำนวนมากกระจายในส่วนผสมของไอศกรีม แต่ในเครื่องปั่นไอศกรีมแบบไม่ต่อเนื่องนั้น ใบพัดในเครื่องปั่นจะช่วยให้อากาศเข้าไปในส่วนผสมภายใต้สภาพบรรยากาศปกติเท่านั้น ฉะนั้นปริมาณอากาศจึงไม่มากเท่ากับการใช้เครื่องปั่นไอศกรีมแบบต่อเนื่อง [5]

เครื่องปั่นไอศกรีมแบบไม่ต่อเนื่อง: เครื่องปั่นไอศกรีมแบบนี้มีทั้งชนิดแนวตั้งและแนวนอน สำหรับเครื่องปั่นไอศกรีมแบบไม่ต่อเนื่องชนิดแนวตั้ง (vertical batch freezer) นั้นเป็นเครื่องปั่นไอศกรีมที่ผลิตขึ้นในระยะแรก ประกอบด้วยถังปั่นไอศกรีมรูปทรงกระบอกแนวตั้ง ตัวถังอาจถูกทำให้เย็นโดยขดลวดทำความเย็นหรือจุ่มในสารทำความเย็นและในถังปั่นไอศกรีมจะมีใบพัด เพื่อช่วยในการกวาดเอาไอศกรีมที่แข็งตัวออกจากผนังของถัง การปั่นไอศกรีมจะดำเนินไปจนกระทั่งส่วนผสมทั้งหมดแข็งตัว ไอเวอร์รันของไอศกรีมที่ได้จากเครื่องปั่นชนิดนี้จะผันแปรในช่วงร้อยละ 25-50 ส่วนเครื่องปั่นไอศกรีมแบบไม่ต่อเนื่องชนิดแนวนอน (horizontal batch freezer) นั้นเป็นเครื่องปั่นไอศกรีมที่ใช้งานได้สะดวกกว่าชนิดแรก ประกอบด้วยถังปั่นไอศกรีมรูปทรงกระบอกแนวนอน ซึ่งจะถูกทำให้เย็นด้วยสารทำความเย็นชนิดฮาโลคาร์บอน (halocarbon) และจะมีถังของส่วนผสมวางอยู่เหนือถังปั่นไอศกรีม เพื่อที่จะให้ส่วนผสมของไอศกรีมไหลลงสู่ถังปั่นได้โดยอาศัยแรงโน้มถ่วง ไอศกรีมที่ผลิตโดยเครื่องปั่นชนิดนี้จะมีไอเวอร์รันประมาณร้อยละ 50-80 ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการปั่นไอศกรีมโดยใช้เครื่องปั่นแบบไม่ต่อเนื่องนี้ กระทำภายใต้สภาพบรรยากาศปกติ ดังนั้นจึงควรคำนึงถึงความสามารถในการตีขึ้นฟูของส่วนผสม เช่น ควรเลือกใช้สารคงตัวชนิดที่ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติในการตีขึ้นฟูของส่วนผสม [5, 7]

เครื่องปั่นไอศกรีมแบบต่อเนื่อง: เป็นเครื่องปั่นไอศกรีมที่ออกแบบคล้ายเครื่องปั่นไอศกรีมแบบไม่ต่อเนื่องชนิดแนวนอนซึ่งประกอบด้วยถังปั่นรูปทรงกระบอกแนวนอน ส่วนผสมจะถูกป้อนเข้าสู่ถังปั่นอย่างต่อเนื่องและภายในถังปั่นมีใบพัดที่จะช่วยตีอากาศเข้าไปยังส่วนผสม ช่วยกวาดส่วนผสมออกจากผนังของถังและเคลื่อนย้ายส่วนผสมที่แข็งแล้วไปสู่ทางออก ไอศกรีมที่แข็งตัวแล้วจะเคลื่อนออกจากเครื่องปั่นอย่างต่อเนื่อง ในโรงงานผลิตไอศกรีมที่ทันสมัยจะมีอุปกรณ์ควบคุมไอเวอร์รันอย่างอัตโนมัติและการทำงานทั้งหมดของเครื่องปั่นจะถูกควบคุมโดยไมโครโพรเซสเซอร์ (microprocessors) [5]

#### 11.4.7 การเติมสารให้กลิ่นรส สี และผลไม้

สารให้กลิ่นรส สี น้ำผลไม้ และผลไม้ที่สับละเอียดมักเติมลงในส่วนผสมของไอศกรีมก่อนที่จะนำไปปั่น ส่วนผลไม้ชิ้นใหญ่ ผลไม้แช่แข็งและถั่วต่างๆ ไม่ควรเติมลงในส่วนผสมก่อนปั่น มิฉะนั้นจะตกลงที่ก้นถังของเครื่องปั่นไอศกรีม แต่ควรเติมผลไม้เหล่านี้ลงในส่วนผสมหลังจากที่ปั่นเป็นไอศกรีมแล้ว

#### 11.4.8 การทำให้แข็ง (hardening)

ไอศกรีมที่ออกมาจากเครื่องปั่นจะมีอุณหภูมิระหว่าง  $-5.5^{\circ}\text{C}$  ถึง  $-6^{\circ}\text{C}$  ซึ่งร้อยละ 45-55 ของน้ำในส่วนผสมจะแข็งตัวในรูปผลึกน้ำแข็ง ไอศกรีมที่ได้จะค่อนข้างอ่อนนุ่ม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแช่แข็งไอศกรีมต่อไป เพื่อรักษาให้ลักษณะเนื้อสัมผัสและโอเวอร์รันของไอศกรีมคงอยู่ การทำให้ไอศกรีมแข็งนี้จะกระทำหลังจากที่บรรจุไอศกรีมลงในภาชนะแล้วนำมาทำให้อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วจนถึง  $-18^{\circ}\text{C}$  การทำให้อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วจะช่วยให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กในไอศกรีม ซึ่งจะทำได้ไอศกรีมที่มีคุณภาพดี

#### 11.4.9 การบรรจุ (packaging)

หลังจากที่ไอศกรีมผ่านการทำให้แข็งแล้ว อาจนำมาเคลือบซีอกโกแลต เต็มถ้วยบดหรือผสมกับวอลเตอร์ไอซ์ก่อนที่จะนำไปบรรจุ ในการบรรจุนั้นกรณีที่บรรจุไอศกรีมปริมาณน้อยมักจะหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยด์ที่ประกบกับไข (wax) หรือหุ้มด้วยกระดาษแข็งที่เคลือบด้วยพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene) แต่ในกรณีที่บรรจุไอศกรีมปริมาณมาก มักบรรจุในภาชนะพลาสติกขนาดใหญ่หรือภาชนะโลหะทำด้วยดีบุก ส่วนไอศกรีมแท่งโดยทั่วไปจะหุ้มด้วยพลาสติกที่ประกบกับอลูมิเนียมฟอยด์เพื่อป้องกันความชื้น

#### 11.4.10 การเก็บรักษา (storage)

หลังจากที่ทำให้ไอศกรีมแข็งแล้ว ควรนำมาเก็บไว้ในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำระหว่าง  $-25^{\circ}\text{C}$  ถึง  $-30^{\circ}\text{C}$  ที่อุณหภูมิต่ำนี้ร้อยละ 90 ของน้ำในไอศกรีมจะอยู่ในรูปของผลึกน้ำแข็ง ไอศกรีมที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำเช่นนี้ควรมีความคงตัวดี คือ ไม่ควรที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ได้ง่ายเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอันเนื่องมาจากการปิดเปิดห้องเย็นเพื่อนำผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิต่ำออกไป แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิสูงเข้ามา ฉะนั้นเพื่อที่จะลดการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิดตำหนิขึ้นในผลิตภัณฑ์ ได้จึงควรเก็บไอศกรีมไว้ที่อุณหภูมิต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ การเก็บไอศกรีมไว้ที่อุณหภูมิต่ำมากจะมีผลทำให้ผลึกน้ำแข็งหลอมเหลวเพียงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิของห้องเก็บเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผู้พบว่าถ้าหากอุณหภูมิของห้องเก็บเพิ่มขึ้น  $5^{\circ}\text{C}$  จากเดิม  $-20^{\circ}\text{C}$  จะทำให้ผลึกน้ำแข็งในไอศกรีมหลอมเหลวไปร้อยละ 7 แต่ถ้าหาก

อุณหภูมิของห้องเก็บเพิ่มขึ้นในระดับเท่ากันจาก  $-30^{\circ}\text{C}$  จะทำให้ผลึกน้ำแข็งในไอศกรีมหลอมเหลวไปไม่  
เกินร้อยละ 2 [2]

### เอกสารอ้างอิง

1. Andreasen, T.G. and Nielsen, H. 1992. Ice cream and aerated desserts, pp. 197-220. In: Early, R. (Ed.). The Technology of dairy Products. VCH Publishers, Inc., New York.
2. Arbuckle, W.S. 1986. Ice cream. Van Nostrand Reinhold, New York.
3. Rothwell, J. 1990. Microbiology of ice cream and related products, pp. 1-39. In: Robinson, R. K.(Ed.). Dairy Microbiology Vol. 2. 2d ed., Elsevier Science Publishers Ltd., London.
4. สายสนม ประดิษฐ์ดวง. 2530. สำหรับรายละเอียดในอุตสาหกรรมอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ.
5. Varnam, A.H. and Sutherland, J. P. 1994. Milk and Milk Products. Chapman & Hall, London.
6. Berger, K.G. 1990. Ice cream, pp. 367-444. In: K. Larsson, K. and Friberg, S. E. (Eds.). Food Emulsions. Marcel Dekker, Inc., New York.
7. Mitten, H. L. and Neirinckx, J. M. 1993. Developments in frozen-products manufacture, pp. 281-329. In: Robinson, R. K. (Ed.). Modern Dairy Technology Vol. 2. 2d ed., Elsevier Science Publishers Ltd., London.
8. นิธิยา รัตนานนท์. 2527. เคมีนมและผลิตภัณฑ์นม. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

## บทที่ 12

### โพรไบโอติกและพรีไบโอติก

#### 12.1 โพรไบโอติก

มีการยอมรับโดยทั่วกันถึงบทบาทที่สำคัญของจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระเพาะอาหารและลำไส้ต่อสุขภาพของมนุษย์และสัตว์ จากหลักการที่จุลินทรีย์บางชนิดจะให้ประโยชน์โดยตรงแก่ร่างกายของสัตว์ที่จุลินทรีย์นั้นอาศัยอยู่เมื่อมีอยู่ในปริมาณที่เพียงพอ เป็นคำจำกัดความของคำว่า “โพรไบโอติก (probiotic)” ผู้เชี่ยวชาญของสหประชาชาติ (United Nations) และองค์การอนามัยโลก (World Health Organization) ได้ให้คำจำกัดความของโพรไบโอติกไว้ว่า “เป็นจุลินทรีย์ที่เมื่อรับประทานเข้าไปในปริมาณที่เพียงพอแล้วจะให้ประโยชน์ต่อสุขภาพของร่างกายสัตว์ที่จุลินทรีย์นั้นอาศัยอยู่” [1]

ตาม guideline ขององค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) และองค์การอนามัยโลกได้กล่าวว่าจุลินทรีย์โพรไบโอติกที่ใช้ในอาหารจะต้องสามารถผ่านเข้าไปและอยู่รอดได้ในลำไส้ ดังเช่น ต้องมีความสามารถทนต่อน้ำย่อยในกระเพาะอาหาร สามารถทนต่อเกลือน้ำดีและสามารถเจริญหรือเพิ่มจำนวนในระบบทางเดินอาหารได้ นอกจากนี้โพรไบโอติกที่ใช้ยังต้องมีความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพและยังคงมีประสิทธิภาพและศักยภาพตลอดช่วงอายุการเก็บรักษาลดภัณฑ์ด้วย [1]

จุลินทรีย์ที่ใช้เป็นโพรไบโอติก (ตารางที่ 12.1) ส่วนใหญ่จะเป็นแบคทีเรียกรดแลคติก (lactic acid bacteria) ในกลุ่มที่หลากหลายเช่น *Lactobacillus*, *Enterococcus* และ *Bifidobacteria* นักวิจัยหลายๆ ท่านได้เสนอให้ใช้คุณสมบัติในการเกาะติดของจุลินทรีย์ในการคัดเลือกโพรไบโอติกสายพันธุ์ใหม่ ซึ่งกลไกที่ใช้ในการต่อต้านจุลินทรีย์ก่อโรคในระบบทางเดินอาหารของจุลินทรีย์โพรไบโอติกได้แก่ 1) การแข่งขันสำหรับสารอาหารและจุดที่เข้ามา 2) การสร้างสารเมแทบอลิท์ในการต่อต้านจุลินทรีย์ก่อโรค 3) การเปลี่ยนแปลงในสภาพแวดล้อม และ 4) การตอบสนองต่อภูมิคุ้มกันของเจ้าบ้าน จุลินทรีย์ส่วนน้อยที่ถูกใช้เป็นโพรไบโอติก ได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย *Streptococcus*, *Escherichia coli*, *Bacillus* และเชื้อยีสต์ *Saccharomyces* สำหรับเชื้อ *Streptococcus thermophilus* ได้ถูกใช้เป็นโพรไบโอติกที่ช่วยส่งเสริมการย่อยน้ำตาลแลคโตสในคนที่แพ้แลคโตส [1]

### 12.1.1 ประโยชน์ของจุลินทรีย์โพรไบโอติกต่อสุขภาพ

ผลของโพรไบโอติกต่อสุขภาพมีหลายประการ ดังนี้

#### 12.1.1.1 อันตรกิริยาของโพรไบโอติกต่อระบบภูมิคุ้มกัน

จุลินทรีย์ในลำไส้ซึ่งจะอาศัยอยู่บริเวณที่เรียกว่า epithelial cell ของผนังลำไส้ (gut lumen) เชื่อกันว่าจุลินทรีย์เหล่านี้มีส่วนร่วมในตอนเริ่มต้นและการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันต่อแบคทีเรีย โดยเฉพาะแบคทีเรียก่อโรค โดยอันตรกิริยากับเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกันของบริเวณ Peyer's patches เนื้อเยื่อน้ำเหลืองใน lamina propria ของลำไส้และเม็ดเลือดขาว เริ่มแรกโพรไบโอติกสามารถที่จะเข้าไปจับกับ recognition receptor ที่แสดงออกบนผิวของเซลล์ epithelial ของผนังลำไส้เล็ก ซึ่งจะก่อให้เกิดกลไกการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน [1]

ตารางที่ 12.1 จุลินทรีย์ที่เป็นโพรไบโอติก

<i>Lactobacillus</i>	<i>Bifidobacterium</i>	Lactic acid bacteria	ชนิดอื่นๆ
<i>L. acidophilus</i>	<i>B. adolescentis</i>	<i>Enterococcus faecium</i>	<i>Escherichia coli</i> strain Nissle
<i>L. casei</i>	<i>B. animalis</i>	<i>Lactococcus lactis</i>	
<i>L. crispatus</i>	<i>B. bifidum</i>	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
<i>L. curvatus</i>			
<i>L. delbrueckii</i>	<i>B. breve</i>	<i>Pediococcus acidilactici</i>	
<i>L. farciminis</i>	<i>B. infantis</i>	<i>Streptococcus thermophiles</i>	<i>Saccharomyces boulardii</i>
<i>L. fermentum</i>	<i>B. lactis</i>	<i>Streptococcus diacetylactis</i>	
<i>L. gasseri</i>	<i>B. longum</i>	<i>Streptococcus intermedius</i>	
<i>L. johnsonii</i>	<i>B. thermophilum</i>		
<i>L. paracasei</i>			
<i>L. plantarum</i>			
<i>L. reuteri</i>			
<i>L. rhamnosus</i>			

ที่มา: Saad และคณะ [1]

โพรบิโอติกสามารถส่งเสริมการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันโดยกำเนิด (innate immunity) รวมถึงกิจกรรม phagocytic ของ neutrophils และกิจกรรม cytotoxic ของ NK cell การกระตุ้นกิจกรรมของเซลล์มีเกี่ยวข้องกับความสามารถในการติดเชื้อและการต้านมะเร็งของโพรบิโอติก การใช้โพรบิโอติกอาจไปช่วยในการส่งเสริมหน้าที่ของระบบภูมิคุ้มกันได้ จริงๆ แล้วได้มีรายงานที่บ่งชี้ให้เห็นว่าการเติมเชื้อ *Lactobacillus rhamnosus* HN001 ลงไปในอาหารสามารถช่วยเพิ่มจำนวนของ NK cell ในร่างกายคนได้ และได้มีรายงานว่าเชื้อแบคทีเรีย *Lactobacillus casei* Shirota ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักนมสามารถช่วยส่งเสริมกิจกรรม cytotoxic ของ NK cell ได้ ยิ่งไปกว่านั้นยังได้มีรายงานอีกว่าองค์ประกอบของผนังเซลล์ของโพรบิโอติกเช่น กรดไลโปเทโคอิก (lipoteichoic acid) สามารถกระตุ้นให้เซลล์แมคโครฟาจ (macrophage) หลั่ง TNF- $\alpha$  และ IL-10 ได้ โดยผ่านตัวรับที่สำคัญคือ phagocytosis receptors เช่น Toll-like receptor [1]

#### 12.1.1.2 การแพ้แลคโตส

ประชากรหลายล้านคนทั่วโลกประสบกับสภาวะการดูดซึมแลคโตสได้ไม่ดี ซึ่งเกิดมากขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้น สาเหตุที่ทำให้เกิดสภาวะนี้ เนื่องมาจากการลดลงของกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์แลคเตสภายใน brush border ของลำไส้เล็ก การลดลงของกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์นี้ มีผลทำให้เกิดการดูดซึมแลคโตสได้ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงทำให้เกิดอาการท้องอืด ท้องเดิน เป็นตะคริวที่ท้อง ตลอดจนเกิดอาการท้องร่วงในระดับปานกลางจนถึงระดับรุนแรงได้ การเกิดปัญหานี้เป็นผลให้บุคคลมีข้อจำกัดในการรับประทานอาหารผลิตภัณฑ์นมหรือไม่สามารถรับประทานอาหารได้ ซึ่งปัญหาเหล่านี้พบมากในผู้สูงอายุ จากการทดลองหลายการทดลองแสดงให้เห็นว่าเอนไซม์แลคเตสในโยเกิร์ตมีผลต่อกระบวนการหมักนมเพื่อให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์และเมื่อมีการบริโภคโยเกิร์ตซึ่งมีเอนไซม์แลคเตสจะช่วยทำให้เกิดการกระตุ้นภายในลำไส้ซึ่งจุลินทรีย์ที่ถูกใช้สำหรับการผลิตโยเกิร์ตนั้นก็คือเชื้อ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* และได้มีการทดลองพบว่าการรับประทานอาหารโยเกิร์ต มีส่วนช่วยผู้ที่มีอาการแพ้แลคโตส เนื่องจากมีความสำคัญต่อการลดระดับของไฮโดรเจนลงในลมหายใจ เมื่อเปรียบเทียบกับ การรับประทานอาหารนมอย่างเดียวนในสภาวะที่เหมือนกัน ระดับของไฮโดรเจนในลมหายใจมีผลต่อเมแทบอลิซึมของเอนไซม์แลคเตสของจุลินทรีย์ภายในลำไส้ที่จะไม่เกิดการดูดซึมภายในลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ ที่เป็นบริเวณที่มีจุลินทรีย์อาศัยอยู่เป็นจำนวนมากและหนาแน่น และยังมิงงานวิจัยอีกที่พบว่า บุคคลผู้ที่รับประทานอาหารเอนไซม์แลคเตสที่มีอยู่ในโยเกิร์ตปริมาณ 18 กรัม นั้น จะช่วยลดระดับของไฮโดรเจนภายในลมหายใจได้ถึงร้อยละ 67 เมื่อเปรียบเทียบกับ การรับประทานอาหารนมตามปกติ [2]

### 12.1.1.3 โรคลำไส้อักเสบ

โรคลำไส้อักเสบ (inflammatory bowel disease) เป็นปัญหาหลักทางการแพทย์ คำนี้ใช้สำหรับเรียกโรคที่มีอาการอักเสบของลำไส้ และโรคที่มีความจำเพาะและมีความผิดปกติ โรคที่จัดอยู่ในกลุ่มของโรคที่ก่อให้เกิดการอักเสบนั้น รวมถึงโรคโครห์น (Crohn's disease) โรคแผลอักเสบในลำไส้ (ulcerative colitis) และโรคที่มีความระคายเคืองในลำไส้ (irritable bowel syndrome) การประยุกต์ใช้ที่สำคัญทางการแพทย์อย่างหนึ่งก็คือ การนำโพรไบโอติกมาใช้ในการรักษาและป้องกันไม่ให้เกิดโรคลำไส้อักเสบ หรือทำให้โรคลำไส้อักเสบทุเลาลง [2]

### 12.1.1.4 การรักษาโรคในระบบทางเดินอาหาร

จากรายงานทางการแพทย์ได้มีการนำโพรไบโอติกมาใช้ในการรักษาโรคอย่างกว้างขวางโดยส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับโรคท้องร่วง (diarrheal disease หรือ gastroenteritis) สามารถแบ่งกลุ่มการรักษาและการป้องกันตามสาเหตุหรือชนิดของโรค ได้ดังนี้

#### - โรคอุจจาระร่วงที่เกี่ยวข้องกับการได้รับยาปฏิชีวนะ

ได้มีการทดลองมากมายที่ทดสอบหาประสิทธิภาพของโพรไบโอติกในการป้องกันหรือช่วยลดความถี่และความรุนแรงของโรคอุจจาระร่วงที่เกี่ยวข้องกับการใช้ยาปฏิชีวนะในทางคลินิก จากการศึกษาในเด็กจำนวน 119 คนที่ได้รับยาปฏิชีวนะเพื่อรักษาการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ พร้อมกับการให้รับประทาน *Lactobacillus rhamnosus* GG โดยเปรียบเทียบกับเด็กที่ไม่ได้รับประทานเชื้อ *L. rhamnosus* GG ในช่วงที่มีการรักษาด้วยยาปฏิชีวนะ พบว่าเด็กจำนวนหนึ่งที่ได้รับ *L. rhamnosus* GG จะมีอาการท้องร่วงลดลงถึงร้อยละ 70 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับประทานเชื้อนี้ ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าโพรไบโอติก มีคุณประโยชน์มากมายในการบำบัดและรักษาโรคอุจจาระร่วง [2]

#### - โรคท้องร่วงเฉียบพลัน

การศึกษาลากหลายแหล่งได้รายงานเกี่ยวกับการใช้โพรไบโอติกในการป้องกันหรือรักษาโรคท้องร่วงเฉียบพลัน (Acute diarrhea) การศึกษาส่วนใหญ่ได้ทำการทดลองในเด็กทารกและเชื้อที่เป็นสาเหตุของโรคคือ ไรต้าไวรัส (rotavirus) หรือบางกรณีไม่ทราบสาเหตุของโรค โดยพบว่าโพรไบโอติกมีประสิทธิภาพในการรักษาโรคท้องร่วงเฉียบพลัน ซึ่งแบคทีเรียโพรไบโอติกดังกล่าว ได้แก่เชื้อ *L. rhamnosus* GG, *L. reuteri* และ *S. boulardii* [2]

#### 12.1.1.5 การลดระดับคอเลสเตอรอล

มีหลักฐานจากการทดลองในมนุษย์ พบว่าโพรไบโอติกอาจมีส่วนทำให้ระดับของคอเลสเตอรอลในซีรัมลดลงและมีปริมาณของแอลดีแอล-คอเลสเตอรอลลดลงเช่นกัน ผลลัพธ์ดังกล่าวยังไม่เป็นที่แน่ชัด และมักจะมีข้อโต้แย้ง การลดระดับของแอลดีแอล-คอเลสเตอรอลมีความสำคัญต่อการลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหลอดเลือดหัวใจตีบ (coronary artery disease) และโรคกล้ามเนื้อหัวใจตายเฉียบพลัน (fatal myocardial infarction) จากการศึกษาในมนุษย์ได้แสดงให้เห็นถึงผลของผลิตภัณฑ์นมหมักต่อระดับพลาสมาคอเลสเตอรอล ซึ่งพบว่ามี การลดลงของระดับคอเลสเตอรอลในช่วงร้อยละ 5.4 ถึงร้อยละ 23.2 และมีการลดลงของปริมาณแอลดีแอล-คอเลสเตอรอลอยู่ในช่วงร้อยละ 9 ถึงร้อยละ 9.8 [2]

#### 12.1.1.6 การรักษาอาการภูมิแพ้

ได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวางที่เกี่ยวข้องกับการใช้โพรไบโอติกในการปรับสภาพของการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันต่อสารก่อภูมิแพ้จากอาหาร ซึ่งได้ทำการทดลองศึกษาเกี่ยวกับเชื้อแบคทีเรีย *L. rhamnosus* GG เพื่อใช้ในการป้องกันและบำบัดโรคภูมิแพ้ผิวหนัง (atopic eczema) โดยได้มีผู้ทำการทดลองในหญิงมีครรภ์จำนวน 159 คนที่ครอบคลุมมีประวัติของการเป็นโรคภูมิแพ้ โดยการให้เชื้อ *L. rhamnosus* GG เปรียบเทียบกับการไม่ให้เชื้อนี้เป็นเวลา 2 ถึง 4 สัปดาห์ก่อนถึงกำหนดเวลาคลอดและได้ทำการทดลองในหญิงที่เลี้ยงลูกด้วยนมแม่ที่รับประทานเชื้อ *L. rhamnosus* GG เปรียบเทียบกับการไม่รับประทานเชื้อนี้เป็นเวลา 6 เดือนโดยได้เปรียบเทียบกับหญิงที่เลี้ยงลูกด้วยนมขวด ซึ่งได้รับและไม่ได้รับเชื้อ *L. rhamnosus* GG พบว่าเด็กที่ได้รับ *L. rhamnosus* GG จะมีอัตราการเกิดโรคภูมิแพ้ลดลงถึงร้อยละ 50 ในระยะเวลา 2 ปีแรกหลังเกิด เมื่อเปรียบเทียบกับเด็กที่ไม่ได้รับเชื้อ *L. rhamnosus* GG [2]

#### 12.1.1.7 การป้องกันฟันผุ

ได้มีรายงานว่าเชื้อแบคทีเรีย *L. rhamnosus* GG มีกิจกรรมการต่อต้านจุลินทรีย์บางชนิด เช่น *Streptococcus* sp. ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดฟันผุ จากการศึกษาทดลองของนักวิจัยกลุ่มหนึ่งในปี ค.ศ. 2001 ซึ่งได้ทดลองในเด็กในศูนย์เลี้ยงเด็ก โดยให้รับประทานเชื้อแบคทีเรีย *L. rhamnosus* GG ที่ผสมในนมเปรียบเทียบกับการที่ไม่ได้ใส่เชื้อนี้ในนมและทำการตรวจวิเคราะห์ทั้งก่อนและหลังจากการให้รับประทานเชื้อนี้เป็นเวลา 7 เดือน พบว่าเด็กที่ได้รับโพรไบโอติกจะมีอัตราของการเกิดฟันผุลดลง โดยเฉพาะในกลุ่มเด็กที่มีอายุ 3 ถึง 4 ปี [2]

### 12.1.1.8 การรักษาและการป้องกันมะเร็งโดยโพรไบโอติก

จากคุณสมบัติของกิจกรรมเมแทบอลิซึม โพรไบโอติกมีอิทธิพลต่อการเกิดมะเร็งลำไส้และการเกิดเนื้องอกได้ในที่บริเวณอื่นๆ มีรายงานว่าโพรไบโอติกช่วยลดเอนไซม์ของแบคทีเรียภายในลำไส้ ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการกระตุ้นสารก่อมะเร็ง (procarcinogens) โพรไบโอติกยังสามารถสร้างกรดไขมันสายสั้น (Short chain fatty acids) ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวป้องกันในลำไส้ใหญ่ และจากการทดลองในหนู พบว่าโพรไบโอติกยังสามารถยับยั้ง aberrant crypt foci ได้ [2]

## 12.2 โพรไบโอติก

โพรไบโอติก (prebiotic) ถูกให้คำจำกัดความขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1995 โดย Gibson และ Roberfroid ว่าหมายถึงส่วนประกอบของอาหารที่ไม่ถูกย่อยซึ่งมีผลในทางที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายของผู้ที่ได้รับสารดังกล่าว โดยจะไปกระตุ้นการเจริญหรือกิจกรรมของแบคทีเรียจำนวนหนึ่งที่อาศัยอยู่ในลำไส้ใหญ่ ดังนั้นจึงช่วยปรับปรุงสุขภาพของผู้ที่รับประทานสารนี้ คำจำกัดความดังกล่าวได้ถูกปรับปรุงใหม่โดยผู้เขียนหลายๆท่านและในปัจจุบัน สารโพรไบโอติกหมายถึง ส่วนประกอบที่ถูกคัดเลือกให้เกิดกระบวนการหมักส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างจำเพาะทั้งต่อองค์ประกอบและหรือกิจกรรมของจุลินทรีย์ภายในกระเพาะอาหารและลำไส้ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพ ปัจจุบันสารโพรไบโอติกทั้งหมดหมายถึง คาร์โบไฮเดรตสายสั้น (short-chain carbohydrates) ที่มีระดับของการเกิดโพลิเมอร์ (degree of polymerization) ระหว่าง 2 ถึงประมาณ 60 มอนอเมอร์ และเชื่อกันว่าสารดังกล่าวนั้นไม่สามารถถูกย่อยได้โดยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์และสัตว์ [1] ซึ่งสารที่จะจัดเป็นสารโพรไบโอติกได้นั้นจะต้องมีคุณลักษณะสำคัญอย่างน้อย 3 ประการคือ 1) สารนั้นจะต้องไม่ถูกไฮโดรไลซ์ (hydrolyzed) หรือดูดซึมในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก 2) สารนั้นจะต้องมีความจำเพาะกับแบคทีเรียที่เป็นประโยชน์ในลำไส้ เช่น bifidobacteria 3) การหมักของสารนี้ควรชักนำให้เกิดผลในทางที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย [3] ซับสเตรต (substrate) จำนวนหนึ่งที่ได้มาจากอาหารหรือถูกผลิตขึ้นโดยร่างกายที่จะถูกใช้ในกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ประจำถิ่นในลำไส้ใหญ่ ได้แก่ สาร resistant starch ซึ่งเป็นสารที่ได้มาจากอาหารเป็นซับสเตรตที่มีปริมาณมากและมีความสำคัญมากที่สุด สารโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช (non-starch polysaccharides) นั้นเป็นสารกลุ่มที่มีปริมาณมากและมีความสำคัญรองลงมา ประกอบด้วยซับสเตรตที่ได้จากพืช เช่น เพคติน (pectin) เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) กัวร์ (guar) และไซแลน (xylan) น้ำตาลและโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) เช่น แลคโตส (lactose) แลคทูโลส

(lactulose) ราฟฟิโนส (raffinose) สตาคิโอส (stachyose) และฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (fructo-oligosaccharide) สารทั้งหมดนี้เป็นสารที่ไม่ถูกดูดซึมในลำไส้เล็ก ดังนั้นจึงพบมากในลำไส้ใหญ่ ซึ่งจะถูกเมแทบอลิซึมโดยเชื้อแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ มิวซินไกลโคโปรตีน (mucin glycoprotein) ถูกสร้างขึ้นโดยก๊อบเล็ตเซลล์ (goblet cell) ในเยื่อบุลำไส้ใหญ่ (colonic epithelium) เป็นสารที่มีมากซึ่งจะถูกหมักในลำไส้ใหญ่ นอกจากนี้สารมิวโคโพลีแซคคาไรด์ (related mucopolysaccharides) ชนิดอื่นที่เกี่ยวข้องเช่นคอนดรอยติน ซัลเฟต (chondroitin sulphate) และเฮปาริน (heparin) และสารที่หลังจากตับอ่อนและแบคทีเรีย นั้น เป็นสารที่หาได้หรือมีใช้โดยจุลินทรีย์ประจำถิ่นในลำไส้ สุดท้ายแล้วโปรตีนและเปปไทด์ที่ได้มาจากอาหารซึ่งอยู่ในสารที่หลังจากตับอ่อนหรือถูกผลิตขึ้นโดยเชื้อแบคทีเรียก็ยังคงเป็นสารที่มีอยู่แม้ว่าจะมีในปริมาณที่น้อยกว่าสารประเภทคาร์โบไฮเดรต [3]

ดังนั้นสารพรีไบโอติก จึงเป็นสารที่สามารถกระตุ้นเชื้อแบคทีเรียประจำถิ่นบางชนิดที่อาศัยอยู่ภายในลำไส้ได้มากกว่าที่จะนำแบคทีเรียสายพันธุ์อื่นที่อาศัยอยู่ภายนอกร่างกายเข้ามา ฉะนั้นหลักการที่สำคัญของสารพรีไบโอติกก็คือ การที่สารคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ถูกย่อย (non-digestible carbohydrates) ถูกคัดเลือกไปใช้ในการหมักโดยแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในลำไส้ และเมื่อองค์ประกอบของอาหารใดๆ นี้เคลื่อนมาถึงลำไส้ใหญ่จึงเป็นสารพรีไบโอติกที่มีศักยภาพ อย่างไรก็ตามความสนใจส่วนใหญ่ในการพัฒนาสารพรีไบโอติกนั้น ได้มุ่งเน้นไปที่สารโอลิโกแซคคาไรด์ที่ไม่สามารถย่อยได้ (non-digestible oligosaccharides) [3]

เนื่องจากแบคทีเรียที่เป็นจุลินทรีย์ประจำถิ่นในลำไส้ส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในลำไส้ใหญ่ดังนั้นสารพรีไบโอติกมักจะเคลื่อนตัวไปยังแบคทีเรียที่อยู่บริเวณลำไส้ส่วนล่างโดยตรง ปัจจุบันพรีไบโอติกส่วนใหญ่ถูกจัดเป็นโอลิโกแซคคาไรด์ที่ไม่สามารถย่อยได้บริเวณลำไส้ส่วนบนและมีระดับของการถูกเลือกให้เกิดกระบวนการหมักตามความต้องการ ตัวอย่างเช่นมีความจำเพาะกับเชื้อแบคทีเรียในกลุ่ม bifidobacteria [3]

### 12.2.1 แหล่งที่มาและชนิดของสารพรีไบโอติก

มีความเป็นไปได้ที่จะได้รับสารพรีไบโอติกจากธรรมชาติ เช่น จากอาหาร ผักและผลไม้หลายชนิดประกอบด้วยสารโอลิโกแซคคาไรด์ที่จัดเป็นสารพรีไบโอติก เช่น สารฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ ผักและผลไม้ที่มีสารโอลิโกแซคคาไรด์ได้แก่ หัวหอม กระเทียม กล้วย หน่อไม้ฝรั่ง กระเทียมต้น หัวชิโครีและแก่นตะวัน เป็นต้น (Gibson, 2004)

เมื่อเร็วๆ นี้ได้มีการพัฒนาสารโพลิไกลิโคแซคคาไรด์ที่เป็นสารพรีไบโอติกและแบคทีเรียโพรไบโอติก ในทางการค้าซึ่งได้นำไปสู่แนวคิดใหม่นั้นคือ ซิมไบโอติก (symbiotic) ซึ่งเป็นการรวมโพรไบโอติกเข้ากับ สารพรีไบโอติก สารพรีไบโอติกนั้นอาจได้มาจากการสกัดโดยตรงจากแหล่งธรรมชาติหรือโดยกระบวนการ สังเคราะห์ทางเคมีโดยการไฮโดรไลซ์พอลิแซคคาไรด์หรือโดยการสังเคราะห์โดยใช้เอนไซม์และปฏิกิริยา ทางเคมีจากน้ำตาลโมเลกุลคู่ สารพรีไบโอติกส่วนใหญ่นั้นถูกสังเคราะห์ขึ้นหรือแยกโดยกระบวนการดีพอลิเมอร์ไรเซชัน (depolymerization) ของพอลิแซคคาไรด์จากพืช และสาหร่าย เช่น ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (fructo-oligosaccharides) กาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (galacto-oligosaccharides) ไอโซมอลโตโอลิโก แซคคาไรด์ (isomalto-oligosaccharides) และไซโล-โอลิโกแซคคาไรด์ (xylo-oligosaccharides) [1]

### 12.2.1.1 สารพรีไบโอติกที่พบในธรรมชาติ

#### (1) กาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (galacto-oligosaccharides)

กาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ประกอบด้วย กาแลคโตสในโครงสร้างต่อไปนี้คือ  $\text{Glu } \alpha \text{ 1-4 } [\beta \text{ Gal } 1-6]_n$  โดยที่  $n$  เท่ากับ 2-5 ซึ่งพบได้ในน้ำนมของมนุษย์ วัว โยเกิร์ต และอาจสังเคราะห์ได้จากแลคโตสด้วย เอนไซม์เบต้า-กาแลคโตซิเดส ( $\beta$ -galactosidase) [4] กาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ไม่สามารถถูกย่อยได้ โดยเอนไซม์ในลำไส้และสามารถเคลื่อนตัวผ่านไปยังลำไส้ใหญ่ได้โดยปราศจากการถูกย่อย แต่อย่างไรก็ตามกาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์สามารถถูกไฮโดรไลซ์ได้โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ทำให้เกิดการสร้าง กรดไขมันสายสั้นๆ (short-chain fatty acid) เช่น กรดแอสिटิก (acetic acid) กรดโพรพิโอนิก (propionic acid) และกรดบิวทิริก (butyric acid) รวมทั้งแก๊ส เช่น แก๊สไฮโดรเจน มีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอื่นที่ได้จากการย่อยสลายกาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์เช่น แลคเตท (lactate) ที่สามารถส่งเสริมการเจริญของ Bifidobacteria และ Lactobacilli ได้ จุลินทรีย์เหล่านี้สามารถช่วย สังเคราะห์สารจำพวกวิตามินออกมากกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันและป้องกันภาวะอาหารส่วนบน (stomach upset) จากรายงานการศึกษาผลของกาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ต่อจุลินทรีย์ประจำถิ่นใน ลำไส้ของอาสาสมัครจำนวน 12 คนที่มีจำนวนจุลินทรีย์ในลำไส้ต่ำกว่าปกติ โดยให้อาสาสมัครทั้ง 12 คนได้รับกาแลคโต-โอลิโกแซคคาไรด์ปริมาณ 10 กรัมต่อวัน พบว่ามีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นและมีการดูด ซึ่มแร่ธาตุในลำไส้ของพวกเขาเพิ่มขึ้นเช่นกัน แล้วยังมีรายงานว่า การเพิ่มกาแลคโต โอลิโกแซคคาไรด์ ปริมาณร้อยละ 5 (น้ำหนักโดยปริมาตร) ในอาหารหนูเป็นเวลา 30 วัน มีผลทำให้หนูนั้นมีการดูดซึ่ม แคลเซียมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีผู้ทดลองให้หนูกินอาหารที่มีกาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ปริมาณร้อยละ 5 (น้ำหนักโดยปริมาตร) เป็นเวลา 14 วันพบว่าหนูมีการดูดซึ่มแคลเซียมและแมกนีเซียมดีขึ้น นอกจากนี้กา แลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ยังช่วยป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่โดยการลดระดับค่าพีเอชในลำไส้ใหญ่ซึ่ง

จะช่วยยับยั้งกระบวนการสร้าง secondary bile acids ที่เป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็ง กาลแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์จะช่วยควบคุมกิจกรรมของเอนไซม์ของแบคทีเรียที่หลากหลายชนิด ตัวอย่างเช่น เบต้ากลูโคซิเดส ( $\beta$ -glucuronidase) และไนโตรรีดักเทส (nitroreductase) ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสารพิษและสารก่อมะเร็ง กาลแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ยังถูกพบว่าสามารถลดสารประกอบที่อันตราย เช่น แอมโมเนีย (ammonia) อินโดล (indole) และ *p*-cresol ซึ่งเป็นสารเคมีที่สามารถกระตุ้นให้เกิดการขยายตัวของมะเร็งได้ [4]

### (2) ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์และอินนูลิน

อินนูลิน คือสารโพลีแซคคาไรด์ที่เป็นอาหารสะสมของพืช เป็นโมเลกุลของฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่มีขนาดเล็กประกอบด้วยฟรุคโตส 3 ถึง 60 โมเลกุลมีโครงสร้างคือ  $\text{Glu } \alpha \text{ 1-2 } [\beta \text{ Fru 2-1}]_n$  ซึ่ง  $n$  เท่ากับ  $10^{14}$  โดยทั่วไปแล้วอินนูลินนั้นพบได้ในพืช แบคทีเรียและฟังไจบางชนิดและเป็นที่รู้จักกันดีว่ามีอินนูลิน มีอยู่ในผักและผลไม้มากกว่า 3,600 ชนิด โดยเฉพาะในวงศ์ชิคโคเรียม (Cichorium family) เช่น ชิโครี กัลล้วย หอมหัวใหญ่ และกระเทียม (ตารางที่ 2.1) อินนูลินไม่ถูกย่อยในลำไส้เล็กแต่บางส่วนอาจถูกย่อยในลำไส้ใหญ่โดยจุลินทรีย์ประจำถิ่น อินนูลินและฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์สามารถละลายได้ง่ายในน้ำร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส แต่ละลายได้น้อยมากในน้ำเย็นและแอลกอฮอล์ อินนูลินและฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์เกือบทั้งหมดมีความเสถียร ไม่มีสมบัติทางประสาทสัมผัสที่ไม่พึงประสงค์ยกเว้นบางชนิดมีความหวานบ้าง ดังนั้นจึงถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อปรับปรุงรสสัมผัสและคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ช่วยรักษาความสดใหม่และความชื้นในเค้ก และรักษาความคงตัวของกายภาพในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม อินนูลินและฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์สามารถผ่านไปยังลำไส้ใหญ่ได้โดยปราศจากการถูกย่อย ดังนั้นทั้งอินนูลินและฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์จึงมีคุณสมบัติของการเป็นสารพรีไบโอติก [4]

### (3) โอลิโกแซคคาไรด์ในถั่วเหลือง (Soybean oligosaccharides)

Soybean oligosaccharides เป็นสารโอลิโกแซคคาไรด์ในถั่วเหลืองที่ประกอบด้วยราฟิโนส (raffinose) และสตาชิโอส (stachyose) สามารถทนต่อการย่อยโดยเอนไซม์ในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก สามารถถูกไฮโดรไลซ์ได้โดยจุลินทรีย์ประจำถิ่นในลำไส้ใหญ่ซึ่งสามารถเพิ่มการเจริญของแบคทีเรียกลุ่ม bifidobacteria ในลำไส้ใหญ่ได้ [4]

ตารางที่ 12.2 อินนูลินและฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ที่พบในพืช

ชนิดของพืช	อินนูลิน (ร้อยละของน้ำหนักเปียก)	ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (ร้อยละของน้ำหนักเปียก)
หอมหัวใหญ่	2-6	2-6
แก่นตะวัน	16-20	10-15
ชิโครี	15-20	5-10
กระเทียมต้น	3-10	2-5
อาร์ติโชค	3-10	น้อยกว่า 1
กล้วย	0.3-0.7	0.3-0.7
ข้าวไรน์	0.5-1.0	0.5-1.0
บาร์เลย์	0.5-1.5	0.5-1.5
ข้าวสาลี	1-4	1-4
หน่อไม้ฝรั่ง	1-30	5-10
กระเทียม	9-16	3-6

ที่มา: ดัดแปลงจาก Thammarutwasik และคณะ [4]

### 12.2.1.2 สารพรีไบโอติกที่ได้จากการสังเคราะห์

#### (1) แลคโตซูโครส (Lactosucrose)

แลคโตซูโครสถูกผลิตขึ้นจากการรวมกันของแลคโตสและซูโครสโดยใช้เอนไซม์เบต้า-ฟรุกโตฟูราโนซิเดส ( $\beta$ -fructofuranosidase) จากการทดลองให้แลคโตซูโครสกับอาสาสมัครจำนวน 3 คนในปริมาณ 3 กรัมต่อวัน พบว่าปริมาณของ bifidobacteria มีการเพิ่มขึ้น 0.7 เท่าและจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายลดลง 0.6 เท่า นอกจากนี้กรดไขมันสายสั้นๆ เช่น กรดแอสติกและกรดบิวทิริกก็มีการเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน [4]

#### (2) แลคทูโลส (lactulose)

แลคทูโลส ถูกผลิตขึ้นจากแลคโตสที่มีโครงสร้างอยู่ในรูป Gal  $\beta$ 1-4 Fru แลคทูโลส ละลายได้ในน้ำ ละลายได้เล็กน้อยในเมทานอลและไม่ละลายในอีเทอร์ไม่ถูกไฮโดรไลซ์และไม่ถูกดูดซึมในลำไส้เล็ก

แต่สามารถถูกหมักโดยเชื้อแบคทีเรียภายในลำไส้ใหญ่ซึ่งจะช่วยเพิ่มจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ประจำถิ่น การเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ประจำถิ่นนี้พบว่าสามารถช่วยป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่ ช่วยลดปริมาณเชื้อก่อโรคและช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกัน แลคทูโลสปริมาณเล็กน้อยถูกพบในอาหารจากธรรมชาติ ดังนั้นจึงมีการเติมแลคทูโลสในอาหารที่หลากหลายชนิด เช่น โยเกิร์ต คุกกี้ เค้ก และช็อกโกแลต เพื่อใช้เป็น Functional ingredient ที่ช่วยปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการ [4]

### (3) ไอโซมอลโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Isomalto-oligosaccharide)

ไอโซมอลโตโอลิโกแซคคาไรด์ ถูกผลิตขึ้นจากสตาร์ชโดยใช้เอนไซม์ไอโซมอลโตส (isomaltose) ซึ่งเป็นไอโซมอลโตโอลิโกแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งที่สามารถถูกย่อยได้ภายในลำไส้เล็ก มีรายงานว่าการศึกษาไอโซมอลโตโอลิโกแซคคาไรด์ ปริมาณ 20 กรัมต่อวันนั้นส่งผลทำให้มีการเพิ่มขึ้นของ bifidobacteria ในลำไส้ใหญ่และกระบวนกรหมักไอโซมอลโตโอลิโกแซคคาไรด์โดยแบคทีเรียกรดแลคติกที่การสร้างบิวทิเรท [4]

### (4) กลูโคโอลิโกแซคคาไรด์ (Gluco-oligosaccharide)

กลูโคโอลิโกแซคคาไรด์ ถูกสังเคราะห์ขึ้นด้วยเอนไซม์กลูโคซิลทรานสเฟอเรส (glucosyl transferase) ที่ผลิตขึ้นโดย *Leuconostoc mesenteries* หรืออาจจะสกัดจากเบต้า-กลูแคน ( $\beta$ -glucan) ของต้นไผ่ โดยได้มีการยอมรับว่าเป็นอาหารฟังก์ชันนอล (functional food) กลูโคโอลิโกแซคคาไรด์สามารถถูกหมักโดย Bifidobacteria ได้ยกเว้น *Bifidobacterium bifidum* และยังสามารถถูกไฮโดรไลซ์โดยเชื้อกลุ่ม Bacteroids และ Clostridia แต่ไม่สามารถถูกไฮโดรไลซ์โดย Lactobacilli นักวิจัยกลุ่มหนึ่งได้ศึกษาผลของกลูโคโอลิโกแซคคาไรด์ในหนูต่อกิจกรรมของเชื้อ *B. breve* และพบว่ากลูโค-โอลิโกแซคคาไรด์ สามารถลดการปนเปื้อนของเชื้อ *Salmonella* ได้ [4]

### (5) ไกลโอลิโกแซคคาไรด์ (Xylo-oligosaccharide)

ไกลโอลิโกแซคคาไรด์ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลไซโลส (xylose) ที่ต่อกันอยู่ด้วยพันธะ  $\beta$  1-4 ไกลโอลิโกแซคคาไรด์สามารถถูกไฮโดรไลซ์โดย Bifidobacteria และ Lactobacilli และพบว่ามีประสิทธิภาพมากกว่าฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ในการเพิ่มจำนวนประชากรของโพรไบโอติกและการลดจำนวนลงของแบคทีเรียที่เป็นอันตราย [4]

### 12.2.1.3 คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ถูกย่อย (Non-digestible carbohydrate)

คาร์โบไฮเดรตต่างๆ มักถูกจัดกลุ่มตามขนาดของโมเลกุลหรือ degree of polymerization ได้เป็นน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์และโพลีแซคคาไรด์ซึ่งกลุ่มย่อยเหล่านี้ถูกบ่งชี้โดยธรรมชาติของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่เป็นองค์ประกอบสำคัญ อย่างไรก็ตามมีความจำเป็นที่จะต้องทำการแบ่งตามคุณสมบัติทางสรีรวิทยาด้วย [5]

การจัดกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญที่สุด คือการจัดกลุ่มตามความสามารถในการย่อยในลำไส้เล็ก มีคาร์โบไฮเดรต 3 ชนิดหลักที่ไม่สามารถย่อยได้ในลำไส้เล็กของมนุษย์ ได้แก่ สารโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช รีซิสแตนท์สตาร์ช และโอลิโกแซคคาไรด์ที่ไม่ถูกย่อย สารคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ถูกย่อยในบริเวณกระเพาะอาหารและลำไส้ส่วนบน จัดเป็นสับสเตรตที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียภายในลำไส้ใหญ่ รีซิสแตนท์สตาร์ชประมาณ 10 ถึง 60 กรัมต่อวันจะเคลื่อนตัวไปสู่ลำไส้ใหญ่ และรีซิสแตนท์สตาร์ชประมาณ 8 ถึง 40 กรัมต่อวันที่จะเป็นส่วนของสับสเตรตที่ใช้ในการหมัก ตามด้วยพอลิแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช 8 ถึง 18 กรัมต่อวันซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลที่ไม่สามารถดูดซึมได้ 2 ถึง 10 กรัม และโอลิโกแซคคาไรด์ 2 ถึง 8 กรัม ซึ่งจะเป็นสับสเตรตที่ใช้ในการหมัก แต่อย่างไรก็ตามจากการสำรวจปริมาณรีซิสแตนท์สตาร์ชในอาหารหลักที่ชาวยุโรปรับประทานพบว่าปริมาณรีซิสแตนท์สตาร์ชเพียง 4 กรัมต่อวัน [5]

### 12.2.2 ประโยชน์ของสารไฟโบอิติก

จุลินทรีย์ประจำถิ่นในลำไส้สามารถหมักสารประกอบได้หลายชนิดซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารที่ได้มาจากอาหารซึ่งไม่ถูกย่อยในลำไส้เล็ก จึงทำให้มีปริมาณเพียงพอสำหรับการหมักโดยจุลินทรีย์ประจำถิ่นในลำไส้ใหญ่ สารต่างๆ เหล่านี้รวมถึงรีซิสแตนท์สตาร์ช โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช (dietary fiber) โอลิโกแซคคาไรด์ โปรตีน กรดอะมิโนและสารอื่นๆอีกมากมาย โดยในผู้ใหญ่ทุกๆ ไปอาหาร 100 กรัมของที่รับประทานเข้าไปในแต่ละวันนั้น จะเคลื่อนตัวเข้าสู่ลำไส้ใหญ่และจะเกิดกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ประจำถิ่นในลำไส้ กระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนในลำไส้แบ่งได้เป็น 2 ชนิดหลัก คือ การย่อยสลายแบง์ให้เป็นน้ำตาล (saccharolytic) และการย่อยสลายโปรตีน (proteolytic) ส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของเมแทบอลิซึมคาร์โบไฮเดรต คือกรดไขมันสายสั้น (short-chain fatty acid) ซึ่งกรดไขมันสายสั้นที่สำคัญๆ นั้นได้แก่ แอซีเตท (acetate) โพรพิโอเนต (propionate) และบิวทิเรต (butyrate) สารเหล่านี้อาจถูกเมแทบอลิซึมต่อไปเพื่อสร้างพลังงานให้แก่ร่างกาย สำหรับผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากการหมักโปรตีนได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก เอมีน และแอมโมเนียซึ่งสารทั้งหมดนี้มีความเป็นพิษ (Gibson, 2004) ผลของ

สารพรีไบโอติกส่วนใหญ่ ที่มักถูกอ้างถึงเกี่ยวกับการปรับหน้าที่การทำงานของลำไส้ใหญ่และเมแทบอลิซึม เช่น การเพิ่มขึ้นของการแสดงออก หรือการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของกรดไขมันสายสั้น การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักรูมาตอล การลดลงของค่าพีเอชในลำไส้ใหญ่ การลดลงของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีไนโตรเจน และการรีดักทีฟเอนไซม์ (reductive enzyme) การเพิ่มการแสดงออกของ binding proteins หรือ biomarker บางชนิดในเมแทบอลิซึมของไขมันและแร่ธาตุและการปรับระบบภูมิคุ้มกัน ซึ่งประโยชน์ของสารพรีไบโอติกชนิดต่างๆมีดังนี้ [1]

### 12.2.2.1 ผลต่อจุลินทรีย์ประจำถิ่นในลำไส้

สารพรีไบโอติกเช่น สารพรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ ทรานส์กาแลคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (transgalactooligosaccharides) และอินนูลินร่วมกับแบคทีเรียโพรไบโอติก เช่น *Lactobacillus plantarum*, *L. paracasei* หรือ *B. bifidum* นั้นช่วยเพิ่มปริมาณของ bifidobacteria และ lactobacilli หรือช่วยยับยั้งแบคทีเรียที่ก่อโรคในมนุษย์และสัตว์หลายชนิด เช่น *Clostridium* sp., *E. coli*, *Campylobacter jejuni*, *Enterobacterium* sp., *Salmonella* Enteritidis หรือ *S. Typhimurium* ในหนู หมู หรือคน นอกจากนี้การใช้สารพรีไบโอติกหลายๆ ชนิดร่วมกัน เช่น สารโพลีเดกซ์โทรส (polydextrose) และแลคติทอล (lactitol) พบว่ามีผลต่อระบบนิเวศของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในทางเดินอาหารของหนูและมีผลช่วยส่งเสริมการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันโดยการเพิ่ม การหลั่งของอิมมูโนโกลบูลินเอ (immunoglobulin A) และยิ่งไปกว่านั้นในการบำบัดรักษาภาวะลำไส้ใหญ่อักเสบ (colitis disorders) นั้นมีผลการทดลองจำนวนหนึ่งที่ได้แสดงให้เห็นประโยชน์ของอินนูลินในการบรรเทาภาวะลำไส้ใหญ่อักเสบในหนู [1]

### 12.2.2.2 ผลต่อจุลินทรีย์ก่อโรค

หลักฐานความสำเร็จของพรีไบโอติก ได้แก่ ความสามารถในการปรับปรุงความต้านทานจุลินทรีย์ก่อโรคโดยการเพิ่มจำนวนของ bifidobacteria และ lactobacilli ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าจุลินทรีย์ 2 สกุลนี้สร้างกรดแลคติกซึ่งมีสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค ไวรัส โปรโตซัวและแบคทีเรียที่สามารถก่อให้เกิดโรคทางเดินอาหารที่รุนแรง ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจากปฏิกิริยาเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์เหล่านี้อาจช่วยลดค่าพีเอชในลำไส้ให้ต่ำกว่าระดับพีเอชที่จุลินทรีย์ก่อโรคจะเจริญแข่งขันได้ นอกจากนี้ lactobacilli และ bifidobacteria ยังปล่อยสารยับยั้งการเจริญที่ออกฤทธิ์กว้างต่อเชื้อจุลินทรีย์อีกด้วย [3]

### 12.2.2.3 การป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่

สารพรีไบโอติกสามารถป้องกันการพัฒนาของมะเร็งลำไส้ใหญ่โดยผ่านกลไกอย่างน้อย 2 กลไก ได้แก่ 1) การสร้างสารเมแทบอลิท์ป้องกัน เช่น บิวทิเรท คือสารผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากกระบวนการหมักและสามารถที่จะกระตุ้นกระบวนการ apoptosis ของเซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่และเป็นแหล่งพลังงานสำหรับเซลล์ลำไส้ใหญ่ที่มีสุขภาพดี ด้วยเหตุนี้จึงมีความต้องการที่จะเพิ่มระดับของการสร้างบิวทิเรทในลำไส้ใหญ่ โดยพบว่าสารพรีไบโอติกนั้นมีความสามารถในการกระตุ้นการสร้างบิวทิเรทได้ 2) การกำจัดเมแทบอลิซึมของโปรตีนและไขมันในลำไส้ใหญ่ โดยเป็นไปได้ที่พรีไบโอติกจะชักนำกระบวนการเมแทบอลิซึมของแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ซึ่งจะนำไปสู่การสร้างผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ไม่เป็นพิษโดยจะเปลี่ยนเมแทบอลิซึมของ clostridia และ bacteroides จากการย่อยสลายโปรตีนไปเป็นการย่อยสลายแบ่งให้เป็นน้ำตาล [3]

### 12.2.2.4 การปรับปรุงการดูดซึมแคลเซียม

มีความสนใจเพิ่มขึ้นในหลายๆ ปีที่ผ่านมาถึงความเป็นไปได้ในการเพิ่มขึ้นของการดูดซึมแร่ธาตุ โดยเฉพาะแคลเซียมจากการบริโภคสารพรีไบโอติก มีหลายกลไกที่ถูกเสนอขึ้นเพื่ออธิบายการเพิ่มขึ้นของการดูดซึมแคลเซียมโดยการชักนำของสารพรีไบโอติก ได้แก่ 1) การหมักสารพรีไบโอติก เช่น อินนูลิน ส่งผลให้เกิดการสร้างกรดไขมันสายสั้นอย่างมีนัยสำคัญนำไปสู่การลดลงของค่าพีเอชในลำไส้ใหญ่ การลดลงของค่าพีเอชนี้เป็นไปได้ที่จะช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของแคลเซียม 2) ไฟเตท (phytate) หรือ myoinositol hexaphosphate ซึ่งเป็นองค์ประกอบในพืชที่สามารถเคลื่อนตัวไปยังลำไส้ใหญ่ได้ มีความเสถียร เป็นสารเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำกับ divalent cations เช่น แคลเซียม จึงทำให้ไม่มีใช้สำหรับการขนส่งสาร ซึ่งผลของการหมักไฟเตทจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของแบคทีเรียมักจะมีการปลดปล่อยแคลเซียมออกมา 3) ได้มีการเสนอว่ากลไกการแลกเปลี่ยนแคลเซียมเกิดขึ้นในลำไส้ใหญ่ ซึ่งในระบบนี้เมื่อกรดไขมันสายสั้นเคลื่อนตัวเข้าสู่ลำไส้ใหญ่ในรูปของ protonated แดกตัวภายในเซลล์โปรตอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะถูกหุ้มเข้าไปใน lumen ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนแคลเซียมไอออนหลายการศึกษาชี้ให้เห็นว่าสารพรีไบโอติกช่วยเพิ่มการดูดซึมแคลเซียมจากลำไส้ใหญ่และลดการสูญเสียแคลเซียมจากเนื้อเยื่อกระดูก [3]

### 12.2.2.5 ผลต่อไขมันในเลือด

ได้มีการรายงานไว้ว่า แบคทีเรียกรดแลคติกอาจช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลทั้งหมดและแอลดีแอล-คอเลสเตอรอลได้ กลไกดังกล่าวเกิดขึ้นโดยแบคทีเรียกรดแลคติกและเกิดขึ้นทางอ้อมโดยสารพรีไบโอติกที่

มีอิทธิพลต่อไขมันในเลือด ซึ่งยังไม่เป็นที่เข้าใจกันมากนักในปัจจุบัน และอาจมีความเป็นไปได้ว่าแบคทีเรียกรดแลคติกสามารถใช้คอเลสเตอรอลได้โดยตรง [3]

#### 12.2.2.6 ผลต่อระบบภูมิคุ้มกัน

แบคทีเรียกรดแลคติกสามารถที่จะกระตุ้นกลไกการป้องกันทางภูมิคุ้มกันของเจ้าบ้านแบบไม่จำเพาะและการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะผ่านเซลล์ ผลของการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันก็คือการเพิ่มกิจกรรม phagocytic และหรือการเพิ่ม immunological molecules เช่น สารภูมิโมโนโคลนูลิน เอ ที่ส่งผลต่อเชื้อโรคเช่น เชื้อแบคทีเรีย *Salmonella* และเชื้อโรต้าไวรัส (rotavirus) ความสนใจส่วนใหญ่ในการศึกษานี้มุ่งไปที่การบริโภครีโอบาโอติก (แบคทีเรียกรดแลคติก) และการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของผนังเซลล์และเซลล์ภูมิคุ้มกัน รีโอบาโอติกส่งผลเช่นเดียวกับแบคทีเรียกรดแลคติก เช่น การปรับปรุงองค์ประกอบของจุลินทรีย์ประจำถิ่นในลำไส้ ซึ่งผลดังกล่าวจะเกิดขึ้นต่อเมื่อได้รับสารรีโอบาโอติก ปัจจุบันการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าสารรีโอบาโอติกมีผลต่อการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน [3]

**เอกสารอ้างอิง**

1. Saad, N., Delattre, C., Urdaci, M., Schmitter, J. M. and Bressollier, P. 2013. An overview of the last advances in probiotic and prebiotic field. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 50: 1-16.
2. Goldin, B. R. 2011. Probiotics and health: from history to future. In: Kneifel, W. and Salminen, S. (Eds.), *Probiotics and health claims*, pp. 1-13. B lackwell Publishing Ltd., Chichester.
3. Gibson, G. R. 2004. Prebiotic. *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology*, 18 (2): 287-298.
4. Thammarutwasik, P., Hongpattakere, T., Chantachum, S., Kijroongrojana, K., Itharat, A., Reanmongkol, W., Tewtrakul, S. and Ooraikul, B. 2009. Prebiotics-a review. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 31 (4): 401-408.
5. Vorgen, A. G. J. 1998. Technological aspects of functional food-related carbohydrates. *Trends in Food Science & Technology*, 9: 328–335.

## บทที่ 13

### การทำความสะอาดอุปกรณ์ในโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์นม

ความสะอาดเป็นปัจจัยสำคัญในการที่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์นมที่มีคุณภาพดี และมีจุลินทรีย์ปนเปื้อนน้อย จะทำให้ประกันได้ว่าผลิตภัณฑ์นมนั้นจะไม่เสียภายในระยะเวลาที่กำหนดหรือในระหว่างรอการจำหน่าย ดังนั้นเพื่อที่จะให้ได้ผลิตภัณฑ์นมที่มีคุณภาพดีเช่นนี้จำเป็นต้องมีการปฏิบัติอย่างถูกต้อง ลักษณะในการผลิตผลิตภัณฑ์และมีระบบการทำความสะอาดอุปกรณ์อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ไม่ให้เกิดที่เรียกติดอยู่กับอุปกรณ์ปนเปื้อนลงในผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้เมื่อจะสร้างโรงงานควรมีการออกแบบอย่างเหมาะสม เพื่อให้สะดวกต่อการรักษาความสะอาดและสามารถป้องกันการปนเปื้อนของจุลินทรีย์

#### 13.1 ข้อควรพิจารณาในการสร้างโรงงาน

##### 13.1.1 สถานที่ตั้ง

สถานที่ตั้งโรงงานเป็นสิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึงก่อนสร้างโรงงาน เมื่อจะสร้างโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์นม ควรเลือกสถานที่ที่มีน้ำไฟพร้อม มีการคมนาคมสะดวก โรงงานควรตั้งอยู่ใกล้ถนนใหญ่ เพื่อให้สะดวกต่อการขนส่งวัตถุดิบเข้าโรงงานและขนส่งผลิตภัณฑ์ออกไปจำหน่าย ควรเป็นสถานที่ที่จะไม่เกิดน้ำท่วมได้ง่าย ไม่มีฝุ่นมาก ปราศจากควัน และกลิ่นไม่พึงประสงค์ นอกจากนี้ควรพิจารณาถึงคู่มือในการกำจัดน้ำเสียด้วย ถ้าหากจะสร้างระบบกำจัดน้ำเสียควรเตรียมสถานที่ไว้ด้วย [1]

##### 13.1.2 อาคารโรงงาน

ในการสร้างโรงงาน ควรออกแบบให้ตัวอาคารสามารถป้องกันการปนเปื้อนจากสิ่งต่างๆ ทั้งภายในและภายนอก ประตู หน้าต่าง ผนัง เพดานและพื้นของอาคารจะต้องไม่จับกับสิ่งสกปรกได้ง่าย สามารถทำความสะอาดได้อย่างสะดวกและต้องทำด้วยวัสดุที่ทนต่อความชื้นได้ดี โดยเฉพาะพื้นของอาคารจะต้องทนทานต่อกรดจากน้ำนม ไอ้ น้ำและสารเคมีที่ใช้ทำความสะอาด ซึ่งจะต้องไม่ถูกกัดกร่อนจากสิ่งเหล่านี้ได้ง่ายและควรทำให้พื้นมีลักษณะลาดเอียงไว้บริเวณหนึ่ง เพื่อให้ น้ำที่สะสมบริเวณพื้นไหลออกได้สะดวก ภายในอาคารควรมีระบบหมุนเวียนอากาศดี มีเครื่องกรองอากาศเพื่อป้องกันฝุ่นผงและจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับอากาศ บริเวณประตู หน้าต่าง ควรติดตั้งเครื่องดักแมลง นก และหนูไว้ด้วย [2]

## 13.2 การทำความสะอาดอุปกรณ์

ในการผลิตผลิตภัณฑ์นมที่มีคุณภาพทางจุลินทรีย์ดีนั้น การทำความสะอาดอุปกรณ์อย่างมีประสิทธิภาพเป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากผิวของอุปกรณ์ที่สัมผัสกับน้ำนมจะเป็นแหล่งสำคัญในการปนเปื้อนของจุลินทรีย์เข้าไปในผลิตภัณฑ์นม จุลินทรีย์จะเจริญอย่างรวดเร็วโดยใช้น้ำนมที่ติดอยู่กับอุปกรณ์เป็นอาหารและจุลินทรีย์นี้จะปนเปื้อนลงในน้ำนมที่จะผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ในครั้งต่อไป ดังนั้นจึงต้องทำความสะอาดอุปกรณ์ต่างๆทันที หลังจากผลิตผลิตภัณฑ์นม และเมื่อทำความสะอาดแล้วจะต้องทำการสเตอริไลซ์ผิวของอุปกรณ์ด้วยเพื่อทำลายจุลินทรีย์และเอนไซม์ที่อาจเหลืออยู่ การทำความสะอาดอุปกรณ์ในโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์นมจะต้องประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆดังนี้

### 13.2.1 การเก็บกวาดผลิตภัณฑ์ที่ตกค้าง

ก่อนที่จะทำความสะอาดอุปกรณ์ ควรเก็บกวาดเอาผลิตภัณฑ์ที่ตกค้างอยู่ออกให้หมดเพื่อช่วยลดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ตกค้างยังคงมีคุณภาพใช้ได้ และเพื่อให้สามารถทำความสะอาดได้ง่ายขึ้น ยิ่งกว่านั้นการที่มีผลิตภัณฑ์ที่ตกค้างจำนวนมากถูกชะล้างลงไปในห้องระบายน้ำจะเป็นการเพิ่มภาระทำให้การกำจัดน้ำเสียยุ่งยากขึ้น ซึ่งจะทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น ฉะนั้นก่อนที่จะล้างอุปกรณ์ ควรใช้เวลาเพียงพอที่ผลิตภัณฑ์จะออกมาจากเครื่องได้หมด ถ้ามีผลิตภัณฑ์ติดอยู่จะต้องแกะออกก่อนล้าง ส่วนน้ำนมที่ค้างตามท่อจะต้องใช้ลมเป่าออกไปก่อนที่จะล้างด้วยน้ำ [3]

### 13.2.2 การชะด้วยน้ำ (prerinsing)

ขั้นตอนนี้จำเป็นต้องกระทำเพื่อขจัดน้ำนมที่ติดอยู่ออกให้หมด ทันทีก่อนที่อุปกรณ์ใดสิ้นสุดการทำงานจะต้องชะด้วยน้ำก่อนเสมอ มิฉะนั้นน้ำนมที่ตกค้างอยู่จะแห้งและติดแน่นบนอุปกรณ์ทำให้ล้างได้ยากขึ้น การชะด้วยน้ำก่อนการล้างนี้สามารถขจัดสิ่งที่จะละลายได้ซึ่งตกค้างอยู่ได้ถึงร้อยละ 90 ไขมันนมจะถูกชะล้างออกได้ง่ายด้วยน้ำอุ่น แต่ไม่ควรให้อุณหภูมิของน้ำสูงเกิน 60°C เพราะจะทำให้โปรตีนนมตกตะกอนเป็นผลให้ล้างได้ยากขึ้น [1, 3]

### 13.2.3 การใช้สารทำความสะอาด (cleaning compound application)

เพื่อให้การทำความสะอาดอุปกรณ์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องเลือกใช้สารทำความสะอาดที่เหมาะสม ซึ่งชนิดของสารทำความสะอาดที่เลือกใช้นั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการได้แก่ ความมากมายของสิ่งสกปรก ชนิดของสิ่งสกปรก วิธีการทำความสะอาด (ใช้แรงงานคน หรือใช้เครื่องช่วย

ล้าง) ชนิดของอุปกรณ์และชนิดของวัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์นั้น ในปัจจุบันมีสารทำความสะอาดหลายชนิดผลิตขึ้นจำหน่าย บางชนิดเป็นสารเคมีเดี่ยวๆที่ผู้ใช้จะต้องนำสารหลายชนิดมาผสมกันเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดได้ดียิ่งขึ้น แต่บางชนิดเป็นสารเคมีสำเร็จรูปที่ผู้ผลิตได้นำสารหลายชนิดมาผสมกันเพื่อให้เหมาะกับจุดประสงค์ใดจุดประสงค์หนึ่ง ซึ่งส่วนใหญ่จะผสมสารอนินทรีย์เข้ากับสารช่วยลดความกระด้างของน้ำ (water softeners) และสารช่วยให้เปียก (wetting agents) ในการใช้สารทำความสะอาดชนิดผสมนี้ควรทำตามคำแนะนำของผู้ผลิตจึงจะได้ผลดี สารทำความสะอาดที่ใช้กันมี 2 ชนิดคือ สารทำความสะอาดชนิดที่เป็นด่างและสารทำความสะอาดชนิดที่เป็นกรด [4]

### 13.2.3.1 สารทำความสะอาดชนิดที่เป็นด่าง (alkaline cleaning compounds)

หลักในการทำความสะอาดของสารชนิดนี้คือ สารทำความสะอาดจะไปละลายโปรตีนนมที่ผิวของอุปกรณ์และทำให้ไขมันนมเกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (saponification) สิ่งตกค้างต่างๆจะหลุดออก สำหรับสารทำความสะอาดที่เป็นด่างแก่ (strong alkalis) ที่แรงที่สุด และมีประสิทธิภาพที่สุดคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือเรียกว่าคอสติกโซดา (caustic soda) สารนี้ทำให้เกิดการกัดกร่อนได้สูง ดังนั้นจึงสามารถขจัดสิ่งตกค้างที่ติดแน่นออกได้ง่าย ถ้าหากใช้คอสติกโซดาในการทำความสะอาด ไม่ควรใช้แรงงานคน เพราะจะทำให้เกิดอันตรายต่อผิวหนังได้ ข้อเสียของการใช้สารนี้ก็คือ จะกัดกร่อนโลหะด้วยโดยเฉพาะอลูมิเนียม การกัดกร่อนนี้สามารถป้องกันได้โดยการเติมวอเตอร์กลาส (water-glass) ซึ่งเป็นสารละลายที่ประกอบด้วยไดโซเดียมออกไซด์ ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) ความเข้มข้นร้อยละ 8 และซิลิคอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยจะเติมวอเตอร์กลาส 60 มิลลิลิตรลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาตร 1 ลิตร เพื่อป้องกันการกัดกร่อนของอลูมิเนียม ส่วนสารทำความสะอาดชนิดที่เป็นด่างแก่ที่มีความแรงรองจากโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือคอสติกโซดา ได้แก่ โซเดียมเมตาซิลิเกต (sodium metasilicate) โซเดียมเฮกซะเมตาซิลิเกต (sodium hexametasilicate) โซเดียมไพโรฟอสเฟต (sodium pyrophosphate) โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) และไตรโซเดียมฟอสเฟต (trisodium phosphate) สารต่างๆ เหล่านี้ใช้ขจัดไขมันได้ดีและมักใช้ในระบบทำความสะอาดแบบซีไอพี (CIP) การเติมซัลไฟต์ (sulfites) ลงในสารทำความสะอาดเหล่านี้สามารถช่วยลดการกัดกร่อนลงได้ ส่วนสารทำความสะอาดชนิดที่เป็นด่างที่ไม่แรงมากนัก ซึ่งสามารถใช้คนช่วยล้างได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อผิวหนัง ได้แก่ โซเดียมซีควิคาร์บอเนต (sodium sesquicarbonate) เตตราโซเดียมไพโรฟอสเฟต (tetrasodium pyrophosphate) ฟอสเฟตวอเตอร์คอนดิชันเนอร์ (phosphate water conditioners) และแอลคิลเอริลซัลโฟเนต (alkyl aryl sulfonate) สารเหล่านี้มีคุณสมบัติช่วยลดความกระด้างของน้ำได้ดี [1, 4]

ในการทำความสะอาดอุปกรณ์ด้วยสารทำความสะอาดชนิดที่เป็นต่าง เมื่อโปรตีนนมและไขมันนมถูกชะออกจะมีฟิล์มบางๆที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าเกิดขึ้นโดยเฉพาะเมื่อผิวของอุปกรณ์เปียก และเมื่อใช้อุณหภูมิสูงในการล้าง ฟิล์มนี้จะประกอบด้วยสิ่งตกค้างจากน้ำกระด้างและเกลือแร่ในนมรวมทั้งองค์ประกอบนมชนิดอื่น เมื่ออุปกรณ์ถูกใช้งานนานขึ้น ฟิล์มนี้จะเกิดการสะสมและหนาขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าซึ่งเรียกว่า มิลค์สโตน (milk stone) การเกิดมิลค์สโตนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำให้ประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนลดลง นอกจากนี้มิลค์สโตนยังช่วยปกป้องแบคทีเรียจากสารที่ใช้ในการสเตอริไลซ์ แบคทีเรียในมิลค์สโตนนี้อาจเจริญขึ้นได้ถ้าหากมีสารอาหารและความชื้นเพียงพอ [4]

### 13.2.3.2 สารทำความสะอาดชนิดที่เป็นกรด (acid cleaning compounds)

ในการขจัดมิลค์สโตน อาจทำได้โดยผ่านสารละลายต่างแก่ที่มีคุณสมบัติในการกัดกร่อนได้สูง (เช่น คอสดิกโซดาหรือโซเดียมเมตาซิลิเคต) ไปที่ผิวของอุปกรณ์เพื่อให้สิ่งตกค้างต่างๆ อ่อนตัวลงแล้วใช้แปรงขัดออกซึ่งการใช้แปรงขัดนี้อาจทำลายผิวของอุปกรณ์ได้ ดังนั้นจึงควรใช้สารทำความสะอาดชนิดที่เป็นกรดผ่านไปที่ผิวของอุปกรณ์จะช่วยขจัดสิ่งตกค้างต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น กรดที่มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดมิลค์สโตนคือ กรดไฮโดรคลอริก แต่กรดชนิดนี้มีคุณสมบัติในการกัดกร่อนโลหะได้ดี โดยเฉพาะดีบุก ทองแดง เหล็ก รวมทั้งสแตนเลสสตีล (stainless steel) ดังนั้นจึงมักใช้กรดที่มีคุณสมบัติในการกัดกร่อนได้น้อยกว่าคือ กรดฟอสฟอริก และกรดอินทรีย์บางชนิด [4]

ในโรงงานอุตสาหกรรมนมส่วนใหญ่มักใช้อุปกรณ์ที่ทำด้วยสแตนเลสสตีล โดยจะล้างอุปกรณ์ด้วยสารทำความสะอาดทั้งชนิดที่เป็นต่างและชนิดที่เป็นกรด ในบางโรงงานจะล้างด้วยสารละลายกรดก่อนแล้วจึงตามด้วยการใช้สารละลายต่าง จากนั้นจึงล้างด้วยน้ำสะอาด สำหรับสารละลายกรดที่นิยมใช้ก็คือ กรดฟอสฟอริกและกรดไนตริกโดยใช้ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.3-0.5 อุณหภูมิไม่เกิน 65°C และมักจะเติมสารช่วยให้เปียกกลงไปในสารทำความสะอาดด้วย เพื่อช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการขจัดสิ่งสกปรก สารที่นิยมใช้คือ ซัลโฟเนตแอลกอฮอล์ (sulphonated alcohols) สารนี้จะช่วยส่งเสริมให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างสารทำความสะอาดกับผิวของอุปกรณ์ได้ดียิ่งขึ้น และยังช่วยส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาสaponification ของไขมันทำให้ไม่เกิดการจับตัวกันของสิ่งตกค้างบนผิวของอุปกรณ์ [4]

น้ำที่ใช้ในการล้างอุปกรณ์ควรเป็นน้ำอ่อน ถ้าหากใช้น้ำกระด้างจะเป็นการเร่งให้เกิดมิลค์สโตนได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากเกลือแคลเซียมและเกลือแมกนีเซียมที่ละลายในน้ำกระด้าง จะตกตะกอนในระหว่างการทำความสะอาดด้วยคอสดิกโซดาและโซเดียมคาร์บอเนต การลดความกระด้างของน้ำทำได้โดยเติมสารเคมีบางชนิดเช่น อาจเติมไตรโซเดียมฟอสเฟต 100-150 กรัมหรือโพลีฟอสเฟต (polyphosphate) 50-

100 กรัมลงไปในน้ำ 100 ลิตร สารนี้จะทำให้แคลเซียมและแมกนีเซียมในน้ำกระด้างเกิดเป็นตะกอนที่สามารถให้น้ำสะอาดออกไปได้ง่าย [4]

### 13.2.4 การล้างด้วยน้ำสะอาด

หลังจากทำความสะอาดด้วยสารละลายกรดและสารละลายต่างแล้ว จะต้องล้างด้วยน้ำสะอาดที่เป็นน้ำอ่อน โดยล้างเป็นระยะนานพอที่จะไม่ให้มีสิ่งตกค้างที่อาจปนเปื้อนลงในน้ำนมได้ [3]

### 13.2.5 การตรวจผลของการทำความสะอาด

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่จำเป็นต้องกระทำ เพื่อให้มั่นใจว่าอุปกรณ์ที่ผ่านการทำความสะอาดนั้น มีความสะอาดอย่างสมบูรณ์จริงๆ โดยไม่มีสิ่งสกปรกตกค้างอยู่เลย อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ที่ผ่านการทำความสะอาดตั้งแต่ขั้นต้นอาจมีจุลินทรีย์เหลืออยู่บ้าง ดังนั้นจึงควรทำลายจุลินทรีย์ที่เหลืออยู่ให้หมดโดยการสเตอริไลซ์ [3]

### 13.2.6 การสเตอริไลซ์ผิวของอุปกรณ์

การสเตอริไลซ์ผิวของอุปกรณ์เพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่เหลืออยู่ให้หมดนั้นทำได้ 2 วิธีคือ การใช้ความร้อนและการใช้สารเคมี

#### 13.2.6.1 การใช้ความร้อน

การสเตอริไลซ์ผิวของอุปกรณ์โดยการใช้ความร้อนให้ผลดีกว่าการใช้สารเคมี โดยเฉพาะบริเวณที่สารเคมีไม่สามารถเข้าถึงได้เช่น บริเวณตะเข็บของอุปกรณ์ บริเวณผิวที่ถูกกัดกร่อนและในมิลค์สโตน การใช้ความร้อนจะสามารถทำลายจุลินทรีย์ที่อยู่ในทุกส่วนของอุปกรณ์ได้ โดยจะต้องให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงพอที่จะทำลายจุลินทรีย์ได้หมด ซึ่งการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงเป็นผลให้อุปกรณ์แห้งอย่างรวดเร็วหลังสเตอริไลซ์ ดังนั้นโอกาสที่จุลินทรีย์จะรอดชีวิตจึงมีน้อยมาก โดยปกติการสเตอริไลซ์ผิวของอุปกรณ์สามารถทำได้ 2 แบบคือ แบบใช้ไอน้ำและแบบใช้น้ำร้อน การสเตอริไลซ์ด้วยไอน้ำจะสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ดี แต่มีข้อเสีย คือ จะทำให้อากาศในบริเวณโรงงานมีความชื้นเพิ่มขึ้น ส่วนการสเตอริไลซ์ด้วยน้ำร้อนจะต้องใช้อุณหภูมิอย่างต่ำ 85-90°C และควรให้อุปกรณ์สัมผัสกับน้ำร้อนนานพอที่จะทำลายจุลินทรีย์ได้หมดซึ่งมักใช้เวลาในการทำลายจุลินทรีย์นานกว่ากรณีที่ใช้ไอน้ำ อย่างไรก็ตามการสเตอริไลซ์ด้วยน้ำร้อนจะไม่สามารถทำลายสปอร์ได้ และอาจมีการรอดชีวิตของแบคทีเรียชนิดที่สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดี [4]

### 13.2.6.2 การใช้สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการสเตอริไลซ์เรียกว่า สารดิสอินเฟกแตนต์ (disinfectants) การสเตอริไลซ์ผิวของอุปกรณ์ด้วยสารดิสอินเฟกแตนต์ สามารถใช้แทนการสเตอริไลซ์ด้วยไอน้ำได้เกือบสมบูรณ์ ซึ่งจะทำให้ทันทีหลังจากขจัดสารที่ใช้ทำความสะอาดชนิดที่เป็นต่างและชนิดที่เป็นกรดออกไปแล้ว หรืออาจกระทำก่อนที่จะเริ่มผลิตผลิตภัณฑ์ครั้งใหม่ก็ได้ สารดิสอินเฟกแตนต์ที่นิยมใช้ได้แก่ สารประกอบคลอรีน (chlorine compounds) กัวเทอร์นารีแอมโมเนียมคอมพาวด์ (quaternary ammonium compounds) และ ไอโอดิฟอ์ (iodophors) [4]

#### (1) สารประกอบคลอรีน (chlorine compounds)

สารประกอบคลอรีนที่ใช้ในการทำละลายจุลินทรีย์ที่ผิวของอุปกรณ์มีหลายชนิด ได้แก่ คลอรีนเหลว (liquid chlorine) ไฮโปคลอไรท์ (hypochlorites) คลอรามีนทั้งชนิดอนินทรีย์และชนิดอินทรีย์ (inorganic chloramine and organic chloramines) และคลอรีนไดออกไซด์ (chlorine dioxide) สำหรับสารประกอบคลอรีนที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดและนิยมใช้กันมากที่สุดคือ ไฮโปคลอไรท์ โดยใช้ในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรท์และแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ สารนี้มีข้อดีหลายประการคือ ราคาถูก ไม่เป็นพิษในระดับความเข้มข้นที่ใช้ และมีประสิทธิภาพในการทำละลายจุลินทรีย์ทุกชนิด แต่มีข้อเสียคือ จะกัดกร่อนโลหะโดยเฉพาะอลูมิเนียม เหล็ก และทองแดงเคลือบดีบุก ดังนั้นเมื่อใช้ไฮโปคลอไรท์กับอลูมิเนียม ควรควบคุมให้ความเข้มข้นของคลอรีนอิสระไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อใช้กับเหล็กและทองแดงเคลือบดีบุก ควรควบคุมให้ความเข้มข้นของคลอรีนอิสระไม่เกิน 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนอุปกรณ์ที่ทำด้วยสแตนเลสสตีลจะทนต่อการกัดกร่อนของไฮโปคลอไรท์ได้ดีกว่าโลหะชนิดอื่น แต่อย่างไรก็ตามไม่ควรให้ความเข้มข้นของคลอรีนอิสระสูงเกิน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการใช้สารละลายไฮโปคลอไรท์ ควรให้เวลาในการสัมผัสกับผิวของอุปกรณ์ประมาณ 1-3 นาที ทั้งนี้ขึ้นกับความเข้มข้นที่ใช้และคุณภาพของสแตนเลสสตีลและควรให้สารละลายมีอุณหภูมิไม่เกิน 40°C การเติมเมตาซิติลเคตความเข้มข้นร้อยละ 0.1-0.3 ลงในสารละลายของไฮโปคลอไรท์จะช่วยลดการกัดกร่อนของโลหะลงได้ [1, 4]

#### (2) กัวเทอร์นารีแอมโมเนียมคอมพาวด์ (quaternary ammonium compounds)

สารชนิดนี้ไม่มีกลิ่น และไม่กัดกร่อนโลหะ แต่มีราคาแพง และจะมีประสิทธิภาพในการทำละลายแบคทีเรียแกรมบวกได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมลบ ส่วนใหญ่จำหน่ายโดยผสมกับสารที่ช่วยลดความกระด้างของน้ำ เนื่องจากสารนี้จะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่ออยู่ในน้ำกระด้าง [4]

### (3) ไอโอดิโอฟอร์ (iodophore)

ไอโอดิโอฟอร์เป็นสารที่ประกอบด้วยไอโอดีน มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการทำลายจุลินทรีย์ที่ pH 2.5-3.5 เมื่อเปรียบเทียบกับสารประกอบคลอรีนแล้วไอโอดิโอฟอร์จะมีประสิทธิภาพดียกว่าในการทำลายสปอร์ และฟอสก์ น้ำกระด้างไม่มีผลทำให้ประสิทธิภาพของไอโอดิโอฟอร์ลดลง [4]

#### 13.2.7 การทำให้ผิวของอุปกรณ์แห้ง (drying the equipment)

จุดประสงค์ที่ต้องทำให้ผิวของอุปกรณ์แห้ง ก็เพื่อป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่อาจเหลืออยู่ หรือ เพื่อป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับอากาศ ถ้าหากอุปกรณ์ผ่านการสเตอริไลซ์ด้วยไอน้ำหรือน้ำร้อนอาจไม่ต้องกระทำขั้นตอนนี้ เนื่องจากผิวของอุปกรณ์จะแห้งอย่างรวดเร็วหลังสเตอริไลซ์ แต่ถ้าอุปกรณ์ผ่านการสเตอริไลซ์ด้วยสารเคมีก็จำเป็นต้องทำให้ผิวของอุปกรณ์แห้งหลังจากสเตอริไลซ์ เพื่อป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่อาจเกิดขึ้นได้ถ้าหากมีเศษนมตกค้างอยู่ [4]

### 13.3 การทำความสะอาดด้วยระบบซีไอพี

ระบบซีไอพี (cleaning-in-place (CIP) system) เป็นระบบการทำความสะอาดอุปกรณ์ โดยจะมีการหมุนเวียนน้ำ สารทำความสะอาดทั้งชนิดที่เป็นกรดและชนิดที่เป็นด่าง รวมทั้งสารฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ผ่านอุปกรณ์ชนิดต่างๆ โดยที่ไม่ต้องถอดอุปกรณ์ออก สารละลายต่างๆจะถูกดันด้วยปั๊มที่มีกำลังอัดสูง ทำให้ไหลด้วยความเร็วสูงผ่านไปตามท่อ แผ่นให้ความร้อน ปั๊ม วาล์ว และเครื่องแยกครีม ส่วนถังใหญ่ๆ นั้นจะพ่นสารละลายที่ใช้ทำความสะอาดอย่างรวดเร็วและแรง แล้วปล่อยให้ไหลลงตามผนังของถัง [3]

การทำความสะอาดอุปกรณ์ในโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์นมด้วยระบบซีไอพีนั้น โดยทั่วไปจะทำการหมุนเวียนน้ำและสารละลายต่างๆตามลำดับดังนี้

- (1) การชะด้วยน้ำเย็นเพื่อขจัดสิ่งตกค้าง
- (2) หมุนเวียนสารทำความสะอาดชนิดที่เป็นด่างเข้าไปในระบบประมาณ 20 นาที ที่อุณหภูมิ  $60^{\circ}\text{C}$  ด้วยอัตราการไหล 1.6 เมตรต่อวินาที
- (3) ปล่อยน้ำสะอาดเข้าไปหมุนเวียนในระบบ
- (4) หมุนเวียนสารที่ใช้ฆ่าจุลินทรีย์ หรือใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ  $85^{\circ}\text{C}$  หมุนเวียนในระบบเป็นเวลา 15 นาที เพื่อสเตอริไลซ์ผิวของอุปกรณ์
- (5) ชะด้วยน้ำเย็นที่สะอาดอีกครั้ง

