

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

นมเป็นอาหารที่สำคัญ ประกอบด้วย ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เกลือแร่ วิตามิน และสาร
อื่นๆที่กระจายตัวอยู่ในน้ำ องค์ประกอบของน้ำนมโดยเฉลี่ยดังนี้ (Eusminger, 1994)

น้ำ	ร้อยละ 87.99
คาร์โบไฮเดรต	ร้อยละ 4.66
ไขมัน	ร้อยละ 3.34
โปรตีน	ร้อยละ 3.29
เกลือ	ร้อยละ 0.72

นมเป็นอาหารที่บริโภคกันมากทั้งในเด็กและผู้ใหญ่ เนื่องจากนมมีคุณค่าทางโภชนาการที่
สมบูรณ์แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สารอาหารที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในนม (Jenness และ Patton, 1959)

สารอาหาร	ปริมาณเฉลี่ยต่อนม 946 มิลลิลิตร(1 qt.)
พลังงาน	650 กิโลแคลอรี
โปรตีน	33 กรัม
แคลเซียม	1.12 กรัม
ฟอสฟอรัส	0.94 กรัม
เหล็ก	2.26 มิลลิกรัม
ทองแดง	0.26 มิลลิกรัม
ไอโอดีน	0.04-0.07 มิลลิกรัม
วิตามินเอ	500-1000 I.U.
วิตามินดี	5-15 I.U.
โทอะมีน	0.35-0.40 มิลลิกรัม

ตารางที่ 3 สารอาหารที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในนม (ต่อ)

สารอาหาร	ปริมาณเฉลี่ยต่อนม 946 มิลลิลิตร (1qt.)
โรโบฟลาวิน	1.5 มิลลิกรัม
ไนอะซิน	0.2-1.2 มิลลิกรัม
กรดเพนโททีนิก	2.9 มิลลิกรัม
กรดแอสคอบิก	5.0 มิลลิกรัม

คุณสมบัติทางกายภาพที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพีเอชของนม

เนื่องจากนมมีส่วนประกอบที่ซับซ้อน โดยมีโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และแร่ธาตุ ในปริมาณที่ต่างกัน จึงมีผลทำให้สมบัติทางกายภาพของนมแตกต่างไปจากของเหลวอื่น ซึ่งสมบัติทางกายภาพบางชนิดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชดังต่อไปนี้

1. ความเป็นกรดของนม (acidity of milk)(Jenness และ Patton, 1959)

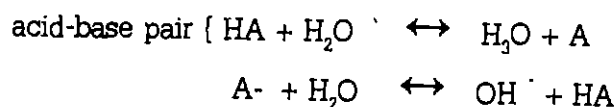
โดยปกติพีเอชของน้ำนมมีค่าประมาณ 6.5-6.7 ความเป็นกรดของนม เกิดจากองค์ประกอบดังนี้

$$\begin{array}{rcccl} \text{natural acidity} & + & \text{developed acidity} & = & \text{titrable acidity} \\ (0.16\%) & & (0.04\%) & & (0.2\%) \end{array}$$

ซึ่งกรดธรรมชาติเป็นกรดที่เกิดจากองค์ประกอบของนมเอง ปริมาณกรดธรรมชาติของนมจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.08-0.30% หรือเฉลี่ยประมาณ 0.16% (Jenness และ Patton, 1959)

2. คุณสมบัติการเป็นบัฟเฟอร์นม (the buffering of milk)(Jenness และ Patton, 1959)

การที่สารละลายจะมีคุณสมบัติเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ได้ จะต้องสามารถรักษาพีเอชของสารละลายให้คงที่ได้ แม้ว่าจะมีการเติมกรดหรือด่างเล็กน้อย การที่สารละลายสามารถรักษาพีเอชไว้ได้นั้น สารละลายจะต้องมีคู่กรดเบส (acid-base pair) ซึ่งเกิดเนื่องจากการแตกตัวเป็นไอออนของกรดอ่อน(weak acid) และด่างอ่อน (weak alkaline) (Jenness และ Patton, 1959) ดังสมการ

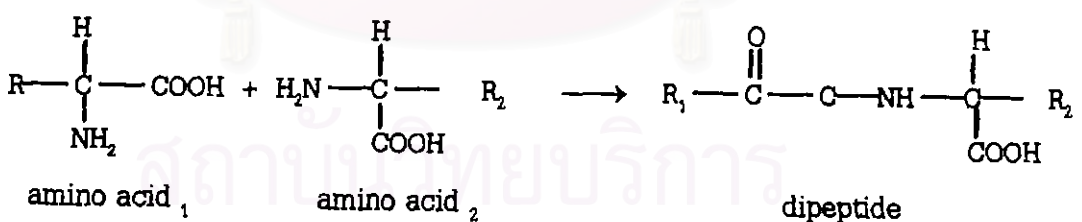


ในนมมีองค์ประกอบหลายชนิดที่ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ของนม (Jenness และ Patton, 1969) ได้แก่

1. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซชนิดนี้ เมื่อละลายในนม จะอยู่ในรูปกรด H_2CO_3 (ซึ่งเป็น weak acid) ซึ่งจะมีผลต่อความเป็นกรดในนมประมาณ 0.009-0.018 % ของกรดแลคติก
2. โปรตีน โปรตีนมีบทบาทในการเป็นบัฟเฟอร์มากที่สุด เคซีนในนมระหว่าง พีเอช 6.6-8.3 จะมีค่าความเป็นกรดประมาณ 0.072% ของกรดแลคติก ส่วนโปรตีนเวย์จะมีค่าประมาณ 0.009-0.018% ของกรดแลคติก
3. ฟอสเฟต ในช่วงพีเอช 6.6-8.3 จะทำให้นมมีความเป็นกรดประมาณ 0.09% ของกรดแลคติก
4. ซิเตรต ในช่วงพีเอช 6.6-8.3 จะทำให้นมมีความเป็นกรดเพียง 0.009% ของกรดแลคติก
5. แลคเตต ในช่วงพีเอช 6.6-8.3 จะทำให้นมมีความเป็นกรดเพียงเล็กน้อย ดังนั้นนมมีความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ในช่วงพีเอช 4.8-8.3

โปรตีนนม (milk proteins)

โปรตีนเป็นโพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยทั่วไปจะมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 10,000 ประกอบด้วย กรดอะมิโนเชื่อมเกาะกันด้วยพันธะเปปไทด์ (peptide bond) ดังรูปที่ 1 (White, Handler และ Smith, 1973)



รูปที่ 1 ปฏิกริยาการเกิดไดเปปไทด์

โปรตีนนมส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดอะมิโนมากกว่า 150 หน่วย คุณสมบัติของโปรตีนนมขึ้นอยู่กับกรดอะมิโนที่ประกอบอยู่ในโมเลกุล ตลอดจนการจัดเรียงลำดับในเส้นโพลีเปปไทด์ (peptide chain) ซึ่งกรดอะมิโนจะควบคุมการจัดเรียงตัวของโมเลกุล (molecular configuration) รวมทั้ง

association- dissociation equilibrium ของเบตา-เคซีน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเข้มข้นและพีเอช ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 8 องศาเซลเซียส หรือที่พีเอชสูงๆ เบตา-เคซีน จะแยกตัวออกเป็นโมเลกุลเดี่ยว (monomer) แต่ถ้าอุณหภูมิสูงและพีเอชเป็นกลาง จะรวมตัวเป็น thread-like polymer ค่า kinetic association rate ของ เบตาเคซีน ต่ำกว่า α_1 -casein

1.3 แกมมา-เคซีน (γ -casein) เป็นส่วนที่เกิดจากการสลายตัวของ เบตา-เคซีน โดยอาศัย เอ็นไซม์ casein-associated proteases แกมมา-เคซีน มีประมาณ 5% ของเคซีนทั้งหมด แบ่งออกเป็นชนิดย่อยๆ 3 ชนิด ได้แก่ γ_1 -casein γ_2 -casein และ γ_3 -casein ซึ่งเกิดจาก ส่วนของ เบตา-เคซีน ที่ตำแหน่งกรดอะมิโนต่างๆกัน การเกิด association equilibrium ของ แกมมา-เคซีน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเข้มข้น และพีเอช คล้ายกับ เบตา-เคซีน

1.4 แคลป้า-เคซีน (κ -casein) มีประมาณ 15 % ของเคซีนทั้งหมด ไม่มีความไวต่อ แคลเซียมไอออน โมเลกุลของแคลป้า-เคซีน ประกอบด้วยกรดอะมิโนซิสเตอีน 2 ตัว ซึ่งทำให้เกิด พันธะไดซัลไฟด์ระหว่างโมเลกุล ได้เป็นโพลิเมอร์ แคลป้า-เคซีน เป็นสับสเตรทที่มีความเฉพาะต่อเอ็นไซม์เรนิน และจะถูกย่อยที่พันธะ Phe₁₀₆-Met₁₀₆ แคลป้า-เคซีน มี 2 ชนิด คือ แคลป้า-เคซีน เอ และ แคลป้า-เคซีน บี

Casein Micelles

เคซีนที่อยู่ในน้ำนมอยู่ในรูปของคอลลอยด์ อนุภาคมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50-300 นาโนเมตร และมีน้ำหนักอนุภาคประมาณ 10^7 - 10^9 ดาลตัน เคซีนไมเซลล์ประกอบด้วยหน่วยย่อย (subunit) ประมาณ 25-30 monomer หน่วยย่อยแต่ละหน่วยมีขนาด 10-20 นาโนเมตร และมี น้ำหนักประมาณ 6×10^5 ดาลตัน ส่วนเคซีนที่เหลือน้อยประมาณ 12-20% จะอยู่ในรูปของสารละลาย หรือ nonmicellized casein ปริมาณของส่วนที่เป็นสารละลายแปรปรวนได้ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มข้นของแคลเซียม เช่น ที่พีเอช 4.6 เคซีนที่อยู่ในรูปของสารละลายจะตกตะกอน ส่วนเคซีนที่อยู่ในรูปไมเซลล์จะแยกตัวและตกตะกอนเช่นเดียวกัน ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 8 องศาเซลเซียส ส่วนของ micellar component โดยเฉพาะ เบตาเคซีน และ แคลป้า-เคซีน จะแยกตัวออกทำให้อัตราส่วนของ เคซีนที่ละลายได้เพิ่มขึ้น (Jenness และ Patton, 1959)

โครงสร้างที่แน่นอนของเคซีนหน่วยย่อยและไมเซลล์ ยังไม่ทราบแน่ชัด แต่ได้มีการพยายามสร้างโมเดลจากข้อมูลจากการทดลองและสรุปได้ดังนี้

ในการศึกษาโครงสร้างของเคซีนไมเซลล์ เมื่อใช้วิธี electron microscopy พบว่าไมเซลล์ มีรูปร่างไม่กลมนัก (Harold และ Marvin, 1971 ; Buchheim และ Welsch, 1973) เส้นผ่านศูนย์กลางของหน่วยไมเซลล์ อยู่ระหว่าง 10-15 นาโนเมตร ประกอบด้วยโมเลกุลเคซีนระหว่าง 15-25

association- dissociation equilibrium ของเบตา-เคซีน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเข้มข้นและพีเอช ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 8 องศาเซลเซียส หรือที่พีเอชสูงๆ เบตา-เคซีน จะแยกตัวออกเป็นโมเลกุลเดี่ยว (monomer) แต่ถ้าอุณหภูมิสูงและพีเอชเป็นกลาง จะรวมตัวเป็น thread-like polymer ค่า kinetic association rate ของ เบตาเคซีน ต่ำกว่า α_2 -casein

1.3 แกมมา-เคซีน (γ -casein) เป็นส่วนที่เกิดจากการสลายตัวของ เบตา-เคซีน โดยอาศัย เอ็นไซม์ casein-associated proteases แกมมา-เคซีน มีประมาณ 5% ของเคซีนทั้งหมด แบ่งออกเป็นชนิดย่อยๆ 3 ชนิด ได้แก่ γ_1 -casein γ_2 -casein และ γ_3 -casein ซึ่งเกิดจาก ส่วนของ เบตา-เคซีน ที่ตำแหน่งกรดอะมิโนต่าง ๆ กัน การเกิด association equilibrium ของ แกมมา-เคซีน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเข้มข้น และพีเอช คล้ายกับ เบตา-เคซีน

1.4 แคปทา-เคซีน (κ -casein) มีประมาณ 15 % ของเคซีนทั้งหมด ไม่มีความไวต่อ แคลเซียมไอออน โมเลกุลของแคปทา-เคซีน ประกอบด้วยกรดอะมิโนซิสเทอีน 2 ตัว ซึ่งทำให้เกิด พันธะไดซัลไฟด์ระหว่างโมเลกุล ได้เป็นโพลิเมอร์ แคปทา-เคซีน เป็นสับสเตรทที่มีความเฉพาะต่อเอ็นไซม์เรนิน และจะถูกย่อยที่พันธะ Phe₁₀₅-Met₁₀₆ แคปทา-เคซีน มี 2 ชนิด คือ แคปทา-เคซีน เอ และ แคปทา-เคซีน บี

Casein Micelles

เคซีนที่อยู่ในน้ำนมอยู่ในรูปของคอลลอยด์ อนุภาคมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50-300 นาโนเมตร และมีน้ำหนักอนุภาคประมาณ $10^7 - 10^9$ ดาลตัน เคซีนไมเซลล์ประกอบด้วยหน่วยย่อย (subunit) ประมาณ 25-30 monomer หน่วยย่อยแต่ละหน่วยมีขนาด 10-20 นาโนเมตร และมี น้ำหนักประมาณ 6×10^5 ดาลตัน ส่วนเคซีนที่เหลือประมาณ 12-20% จะอยู่ในรูปของสารละลาย หรือ nonmicellized casein ปริมาณของส่วนที่เป็นสารละลายแปรปรวนได้ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเข้มข้นของแคลเซียม เช่น ที่พีเอช 4.6 เคซีนที่อยู่ในรูปของสารละลายจะตกตะกอน ส่วนเคซีนที่อยู่ในรูปไมเซลล์จะแยกตัวและตกตะกอนเช่นเดียวกัน ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 8 องศาเซลเซียส ส่วนของ micellar component โดยเฉพาะ เบตาเคซีน และ แคปทา-เคซีน จะแยกตัวออกทำให้อัตราส่วนของ เคซีนที่ละลายได้เพิ่มขึ้น (Jenness และ Patton, 1959)

โครงสร้างที่แน่นอนของเคซีนหน่วยย่อยและไมเซลล์ ยังไม่ทราบแน่ชัด แต่ได้มีการพยายามสร้างโมเดลจากข้อมูลจากการทดลองและสรุปได้ดังนี้

ในการศึกษาโครงสร้างของเคซีนไมเซลล์ เมื่อใช้วิธี electron microscopy พบว่าไมเซลล์ มีรูปร่างไม่กลมนัก (Harold และ Marvin, 1971 ; Buchheim และ Welsch, 1973) เส้นผ่านศูนย์กลางของหน่วยไมเซลล์ อยู่ระหว่าง 10-15 นาโนเมตร ประกอบด้วยโมเลกุลเคซีนระหว่าง 15-25

โมเลกุล โดย α_1 , β และ κ -casein รวมเป็นอนุภาคไมเซลล์ที่คล้ายฟองสบู่ (soap micelle like particles) (Slattery, 1992) ซึ่งไมเซลล์ย่อยมีทั้งที่มี κ -casein และ ไม่มี κ -casein ส่วนพันธะระหว่างไมเซลล์ย่อยกล่าวได้ว่า α_1 , β -casein มีพันธะที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic bonding) (Schmidt, 1982) และส่วนของ c-terminal บริเวณผิวหน้าเป็นพันธะที่ชอบน้ำ (hydrophilic bonding) จะหันออกจากแกนไมเซลล์ (micelle core) สู่อารละลายทำให้มีความยืดหยุ่นคล้ายกับ "ขน (hairs)" (Holt และ Dalgleish, 1986 ; Horne และ Davidson, 1986) มีผลต่ออิสระในการเคลื่อนตัว ซึ่งบริเวณดังกล่าว ประกอบด้วย carbohydrate (carbohydrate containing κ -casein) ซึ่งมีความสำคัญในการต้านการตกตะกอน (flocculation). โดยความหนาของชั้นขนประมาณ 7 นาโนเมตร (Griffin และ Roberts, 1985) ในกรณีที่ตกตะกอนเนื่องจากแคลเซียมไอออน จะเกิดพันธะ electrostatic (salt bridges) ภายในไมเซลล์ย่อยขึ้น (Rollema Brinkhuis และ Vreeman, 1988)

อนุภาคเคซีนในนม จะแขวนลอยอยู่ในรูปอนุภาค caseinate-phosphate ซึ่งจะไม่ค่อยจะคงตัวเนื่องจากรวมตัวกับไอออนของไดวาเลนต์ เช่น แคลเซียมและแมกนีเซียม ดังนั้นหากมีการเปลี่ยนแปลงของไอออนเพียงเล็กน้อย จะทำให้อนุภาคเสถียรที่แขวนลอยอยู่ในนมได้ (Schipper, 1961)

ปัจจัยที่มีผลต่อความไม่คงตัวของอนุภาค caseinate-phosphate

1. ความเป็นกรดและพีเอชของนม (pH and acidity of milk)

อนุภาคของเคซีนมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของพีเอชมาก เนื่องจากตามธรรมชาติของเคซีนเองสามารถตกตะกอนได้ที่พีเอช 4.6 การทำให้พีเอชของนมเปลี่ยนแปลงเป็นกรด ไม่ว่าจะเกิดจากแบคทีเรีย หรือมีการเติมกรดลงไปในนมโดยตรง จะมีผลทำให้แคลเซียมและฟอสเฟตเปลี่ยนแปลงจากเฟสแขวนลอย (colloidal phase) ไปสู่เฟสสารละลาย (dissolved phase) ถ้าพีเอชเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆจนถึงพีเอช 5.2-5.3 เคซีนจะเริ่มตกตะกอนถึงแม้ว่าพีเอชยังไม่ถึงจุด isoelectric ของเคซีนก็ตาม เนื่องจากเคซีนไมเซลล์ไม่สามารถคงตัวในสารละลายที่พีเอชนี้ได้อยู่ได้ โดยเคซีนไมเซลล์ที่มีเกลือแร่อยู่ด้วย จะตกตะกอนที่พีเอช 5.2-5.3 ส่วนเคซีนที่ปราศจากเกลือแร่ (mineral free casein) จะตกตะกอนที่พีเอช 4.6 (Dalgleish และ Law 1988)

2. เกลือและไอออนต่างๆ (salts and ions)

เมื่อเติมเกลืออิมิตัว เช่น เกลือโซเดียมคลอไรด์อิมิตัว อนุภาคแคลเซียมเคซีน-ฟอสเฟต จะตกตะกอนทันที เนื่องจากเกลือทำให้อนุภาคมีความต่างศักย์เป็นศูนย์ (เป็นกลาง) และ

เป็นการดึงน้ำออกจากอนุภาค การตกตะกอนชนิดนี้เรียกว่า salting out และเป็นส่วนใหญ่มักเป็นปฏิกิริยาแบบย้อนกลับ (reversible) (White, Handler และ Smith, 1973)

อนุภาคเคซีนไวต่อการเปลี่ยนแปลงออสโมติก โดยเฉพาะออสโมติกของพวกไดวาเลนท์ ได้แก่ แคลเซียมและแมกนีเซียม ซึ่งมีส่วนในการควบคุมการกระจายตัวของอนุภาคเคซีน เมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมและแมกนีเซียมเพิ่มขึ้น การกระจายตัวของอนุภาคเคซีนจะมีมากกว่าเมื่อลดความเข้มข้นลง (Dalglish และ Law, 1988)

3. การแช่แข็ง (Freezing)

ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0°C ส่วนของเคซีนจะเกิดการแยกตัวเนื่องจากที่อุณหภูมินี้โอกาสที่น้ำตาลแลคโตส จะเกิดการตกผลึกมีสูง ทำให้เคซีนจะตกตะกอนพร้อมกับผลึกน้ำตาลแลคโตส โดยปกติน้ำตาลแลคโตส จะพยายามรักษาระบบเคซีน-ฟอสเฟต โดยจะดึงเอาแคลเซียมมารวมด้วยเพื่อทำให้ระบบคงตัว แต่เมื่อน้ำตาลแลคโตสเริ่มเกิดการตกผลึก ทำให้อนุภาคแคลเซียมเคซีน-ฟอสเฟต ปล่อยแคลเซียมออกมา จึงเกิดความไม่สมดุลของระบบเคซีน-ฟอสเฟต และเกิดการแยกตัวของเคซีนโมเชลลินที่สุด (Dalglish และ Law 1988)

2. โปรตีนเวย์ (Jenness และ Patton, 1959)

โปรตีนเวย์คือโปรตีนส่วนที่เหลือจากการแยกเคซีนออกจากร้านนมขาดมันเนย หรือเรียกว่า milk serum โปรตีนเวย์มีอยู่ 20 % ของโปรตีนทั้งหมด แบ่งได้ดังนี้

2.1 แอลฟา-แลคโตอัลบูมิน (α -lactoalbumin) มีประมาณ 25% ของโปรตีนเวย์ หรือประมาณ 4% ของโปรตีนทั้งหมด แอลฟา-แลคโตอัลบูมิน จะอยู่ในรูปของโมเลกุลเดี่ยว (monomer) ที่มีน้ำหนักประมาณ 6.6 หรือมากกว่า และโมเลกุลค่อนข้างคงตัว เพราะประกอบด้วยพันธะไดซัลไฟด์ 4 พันธะ

2.2 เบตา-แลคโตโกลบูลิน (β -lactoglobulin) มีประมาณ 50-52 % ของโปรตีนเวย์ เบตา-แลคโตโกลบูลินเป็นโปรตีนในนมชนิดแรกที่ตกผลึกได้ เมื่อพีเอชต่ำกว่า 3.5 และสูงกว่า 7.5 จะเป็นโปรตีนโมเลกุลเดี่ยว แต่ถ้าพีเอชอยู่ระหว่าง 3.5-7.5 จะอยู่ในรูปโมเลกุลคู่ เบตา-แลคโตโกลบูลิน มี 2 ชนิดคือ ชนิดเอและชนิดบี ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพของเบตา-แลคโตโกลบูลินเอ ได้แก่ ความเข้มข้นของแคลเซียม พีเอชที่สูงกว่า 8.6 และถูกทำลายได้ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 65°C ส่วนเบตา-แลคโตโกลบูลินบี ถูกทำลายได้ด้วยความร้อนได้เร็วกว่าเบตา-แลคโตโกลบูลินเอ และสามารถรวมกับแคปไซเคซีน ได้เร็วกว่าเบตา-แลคโตโกลบูลินเอ การรวมนี้เป็น disulfide interchange และช่วยเพิ่มความคงตัวต่อความร้อนด้วย

2.3 Bovine Serum Albumin พบในนมนมประมาณ 6% ของโปรตีนเวย์

2.4 อิมูโนโกลบูลิน (immunoglobulins) เป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีอยู่ในซีรัม แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ $I_G(G_1+G_2)$, I_GA และ I_GM

2.5 Proteose-Peptide Fraction เป็นส่วนประกอบของโปรตีนในน้ำนม มีประมาณ 4 % ของโปรตีนทั้งหมด โปรตีนตกตะกอนด้วยกรดไตรคลอโรอะซิติกเข้มข้น 12% แต่จะไม่ตกตะกอนเมื่อถูกความร้อนถึง $95^\circ C$ นาน 20 นาที ที่พีเอช 4.7

2.6 ชนิดอื่นๆ เช่น lactoferrin, lactolin, serum transferin, M-1 Glycoprotein เป็นต้น

ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของนม เมื่อผลิตกัมมันต์มี pH ต่ำ

1. ความเข้มข้นของโปรตีนในนม (protein concentration) เมื่อความเข้มข้นของโปรตีนเพิ่มขึ้น ความคงตัวของนมจะลดต่ำลง เนื่องจากเมื่อ pH เป็นกรด ระบบคอลลอยด์ของเคซีนไมเซลล์ เกิดความไม่สมดุล เมื่อมีความเข้มข้นของโปรตีนในน้ำนมมาก โอกาสที่เคซีนไมเซลล์ในน้ำนมจะเกิดการปะทะ และรวมตัวกันก็มีมากขึ้น (Ingenpass, 1980)
2. ความเป็นกรดของสารละลาย (acidity of solution) ตัวทำละลายที่มีความเป็นกรดทำให้ความคงตัวของนมลดลง เนื่องจากมีผลต่อสมดุลของเคซีนไมเซลล์ โดยเมื่อ pH เป็นกรด เคซีนไมเซลล์จะมีประจุเป็นบวกเพิ่มขึ้น เพื่อให้เกิดแรงผลักรังกันและกัน และมีโอกาสปะทะกันเกิดการรวมตัวกันใหม่ได้ (Ingenpass, 1980) ผลิตกัมมันต์จึงมีความคงตัวลดลงด้วย
3. ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid concentration) รวมถึง เคซีน ไขมัน น้ำตาล แลคโตส ปริมาณเคซีนมีผลต่อความคงตัวของผลิตกัมมันต์มาก เนื่องจากเคซีนเป็นสารคอลลอยด์ในน้ำนม เมื่อ pH ลดลง อนุภาคแคลเซียมเคซีน-ฟอสเฟต ไม่สามารถรักษาสภาวะการเป็นคอลลอยด์ได้ เป็นผลให้เกิดการรวมตัวกัน และตกตะกอนในที่สุด (Harjinder and Lawrence, 1991)
4. การให้ความร้อน (heat treatment) ทำให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีนเวย์ซึ่ง β -lactoglobulin ที่เป็นองค์ประกอบหลักของโปรตีนเวย์ จะสร้างพันธะร่วมกับ κ -casein ทำให้ประสิทธิภาพของ κ -casein ในการป้องกันการตกตะกอนลดลง จึงทำให้ความคงตัวของผลิตกัมมันต์ลดลง (Harjinder and Lawrence, 1991)
5. การโฮโมจีไนซ์ (homogenization) มีผลให้เยื่อหุ้มรอบเม็ดไขมันถูกขจัดออกไป ทำให้เกิดการดูดซับของโปรตีนเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเคซีน ฉะนั้นโอกาสที่อนุภาคเคซีนจะสัมผัสกันกลายเป็นอนุภาคขนาดใหญ่และตกตะกอนในที่สุด (Oortwijn and Walstra, 1979)

กรรมวิธีการผลิตเครื่องดื่มอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

เครื่องดื่มอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นเครื่องดื่มประเภท soft drink มีองค์ประกอบหลักคือ น้ำ สารให้ความหวาน และวัตถุเติมเฉพาะอย่าง สำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท เช่น flavored drinks , fruit juice drinks (Ruiz, 1966) มีขั้นตอนการผลิตดังนี้

1. การเตรียมส่วนผสมต่างๆของเครื่องดื่ม โดยองค์ประกอบที่ใช้ในการผลิตมีดังนี้

1.1 น้ำ

น้ำเป็นองค์ประกอบในเครื่องดื่มที่มีความสำคัญที่สุด ต้องมีการควบคุมคุณภาพน้ำอย่างดีเพื่อให้ได้เครื่องดื่มที่มีคุณภาพดีสม่ำเสมอ สมบัติของน้ำที่ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มอัดก๊าซต้องเป็นน้ำที่ใส ปราศจากกลิ่น และรส นอกจากนี้วัตถุที่ใช้ผสมในกระบวนการผลิต อาจมีปฏิกิริยากับสารที่มีอยู่ในน้ำ ทำให้มีลักษณะและคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไป จึงจำเป็นต้องกำจัดสารประกอบต่างๆ ให้มีปริมาณต่ำกว่าปริมาณที่มีในน้ำสำหรับบริโภคทั่วไป เช่น สารประกอบคลอรีน ถ้ามีในปริมาณสูง ทำให้กลิ่นและรสชาติไม่ดีหรือผิดปกติไป ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุต่างๆ เช่น เหล็ก แมกเนเซียมและแคลเซียม ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงต่ำกว่าปริมาณก๊าซครั้งแรกที่อัดเข้าไปและเกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติได้ (Woodroof และ Phillips, 1980) ดังนั้นในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มอัดก๊าซจำเป็นต้องนำน้ำมาผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ โดยอาจผ่านกระบวนการตกตะกอนด้วยสารเคมีและกรองอย่างรวดเร็วด้วยทราย เพื่อลดความกระด้าง จากนั้นเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และกรองด้วย activated carbon (Woodroof และ Phillips, 1980) ซึ่งสมบัติของน้ำที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมเครื่องดื่มอัดก๊าซแสดงดังตารางที่ 4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 สมบัติของน้ำที่ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
(ข่าวกรมวิทยาศาสตร์, 2512)

สมบัติ	ปริมาณ
ความขุ่น	ไม่เกิน 2 หน่วย Silica Units ^a
กลิ่น	ต้องไม่มี
เกลือแร่ละลายทั้งหมด	ไม่เกิน 850 ppm.
คลอไรด์	ไม่เกิน 250 ppm.
ซัลเฟต	ไม่เกิน 200 ppm.
แคลเซียม	ไม่เกิน 75 ppm.
แมกเนเซียม	ไม่เกิน 50 ppm.
เหล็ก	ไม่เกิน 0.8 ppm.
คลอไรด์อิสระ (free residual chloride)	ต้องไม่มี

a 1 หน่วย Silica Unit เท่ากับ สารละลายซิลิกา 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

1 หน่วย Silica Unit เท่ากับ 1 NTU (Nephelometric Turbidity Unit)

1.2 สารให้ความหวาน (sweetener)

สารให้ความหวานในเครื่องดื่ม นอกจากจะเป็นตัวให้เกิดรสหวานแล้ว ยังมีคุณสมบัติให้ความหนืด น้ำหนักและให้รูปร่าง (body) แก่เครื่องดื่ม รวมทั้งเป็นตัวช่วยให้เกิดความสมดุลแก่รสชาติอื่นๆ เช่น รสเปรี้ยว รสเค็ม เป็นต้น โดยปกติสารให้ความหวานในเครื่องดื่มอัดก๊าซที่นิยมใช้ได้แก่ น้ำตาลทราย (sucrose) ซึ่งอยู่ในรูปผลึกซูโครสมีความบริสุทธิ์ถึง ร้อยละ 99.5 โดยคุณภาพของน้ำตาลที่จะใช้เป็นวัตถุดิบ ควรมีน้ำตาลอินเวอร์ทร้อยละ 0.0015 ปริมาณแถร์ร้อยละ 0.017 มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ประมาณร้อยละ 65 โดยน้ำหนัก ซึ่งความสามารถในการละลายจะขึ้นกับอุณหภูมิคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การละลายของน้ำตาลจะสูงขึ้น เมื่อเตรียมเป็นสารละลายจะต้องมีสภาพเป็นกลาง (pH 7) และมีลักษณะใสไม่มีสี (Morris, 1959) มาตรฐานทางจุลินทรีย์ ที่ยอมรับตามมาตรฐานอุตสาหกรรมสำหรับน้ำหวานเข้มข้น (มอก.155-2532)(กระทรวงอุตสาหกรรม, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2532) คือมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด น้อยกว่า 40 โคโลนีต่อ 1 มิลลิลิตร ใน nutrient agar ที่ 37 °C เป็นเวลา 3 วัน

1.3 กรด (acidulant)

กรดมีความสำคัญต่อเครื่องดื่ม เนื่องจากช่วยเพิ่มกลิ่นและรสชาติของเครื่องดื่ม โดยกรดจะมีผลต่อประสาทที่รับความรู้สึก กระตุ้นต่อมน้ำลายในปากให้ทำงาน ทำให้เกิดความพอใจ ในเครื่องดื่มกรดส่วนใหญ่จะทำให้เกิดรสเปรี้ยว จะช่วยควบคุมความเป็นกรดเป็นด่างของเครื่องดื่ม มีผลในการป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Doores, 1984) ทำให้สามารถใช้อุณหภูมิในการฆ่าเชื้อได้ต่ำลงซึ่งทำให้เครื่องดื่มมี สี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับธรรมชาติ รวมถึงช่วยลดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการด้วย (Morris, 1959)

การเลือกใช้กรดในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ส่วนใหญ่จะเลือกใช้ชนิดของกรด ที่มีอยู่ตามธรรมชาติในอาหารหรือวัตถุดิบ ที่นำมาใช้ทำเป็นเครื่องดื่มนั้นๆเป็นสำคัญ ร่วมกับกลิ่นรสที่ผู้ผลิตต้องการ แสดงดังตารางที่ 5 (Morris, 1959)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6 ความเข้มข้นของกรดในเครื่องดื่มอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Flavor	Acid , %	pH	Acid used
Apple	0.10	3.5	malic, citric
Blackberry	0.12	3.0	citric
Chery	0.10	3.0	citric, malic
Grape	0.10	3.0	tartaric
Pineapple	0.12	3.3	citric
Raspberry	0.10	3.0	citric
Strawberry	0.10	3.0	citric
Grapefruit	0.18	3.0	citric
Lemon	0.13	2.7	citric
Lime	0.14	2.6	citric
Orange	0.08	3.5	citric
Celery	0.02	5.7	malic, citric
Cream soda	0.02	5.5	citric
Ginger ale			
Golden	0.12	2.8	citric
Pale dry	0.24	2.6	citric
Kola	0.05	2.3	citric
Root beer	0.01	5.0	phosphoric
Sarsaparilla	0.01	4.5	phosphoric
Tom Collins	0.30	3.2	citric

ในงานวิจัยนี้จะใช้ กรดซิตริกในการปรับ pH ของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเป็นกรดที่พบมากในธรรมชาติในผลไม้ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกลิ่นรสที่ใช้ในการปรุงแต่งผลิตภัณฑ์

กรดซิตริกเป็นกรดประเภท tricarboxylic acid ละลายน้ำได้ดี มีกลิ่นรสเป็นที่ยอมรับ เป็น chelating agent ที่มีประสิทธิภาพสูง โดยจะทำปฏิกิริยากับโลหะ ที่อาจปนเปื้อนมาในวัตถุดิบ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนขึ้น ทำให้ สี กลิ่นรสของเครื่องดื่มคงตัว และเป็นสารกันเสียชนิดหนึ่งด้วย

(Doores, 1984) การดัดสีที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี นิยมจะเตรียมในรูปสารละลายที่มีความเข้มข้นประมาณ 50 % (Morris, 1959) เพื่อสะดวกในการใช้

1.4 สี (colorant)

สีของเครื่องดื่มเป็นปัจจัยหนึ่ง ที่มีผลต่อจิตใจและอารมณ์ในการดึงดูดผู้บริโภคให้อยากรับประทานหรือกระตุ้นน้ำย่อยให้อยากดื่มมากขึ้น สีที่ใช้ในเครื่องดื่ม จะต้องเป็นสีที่กระทรวงสาธารณสุขอนุญาตให้ใช้ในเครื่องดื่มได้ ซึ่งอาจเป็นสีธรรมชาติหรือสีสังเคราะห์ ในงานวิจัยนี้จะใช้สีธรรมชาติคือ สีส้มจากสารพวกแคโรทีนอยด์ และสีเหลืองจากโรโบฟลาวิน สาเหตุที่ใช้สีจากสารพวกแคโรทีนอยด์ เนื่องจาก เป็นกลุ่มสีธรรมชาติที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เป็นรงควัตถุที่ให้สีเหลืองจนถึงสีแดง carotenoids ที่ใช้เป็นสีผสมอาหารที่สำคัญ ได้แก่ β -carotene, β -apo-8-carotenal, bixin, xanthophyll เป็นต้น β -carotene เป็นสีประเภท carotenoids ที่มีการใช้มากที่สุด นิยมใช้ในอาหารและเครื่องดื่มทั้งที่มีไขมันและไม่มีไขมัน เช่น เนย ไอศกรีม น้ำผลไม้ และเครื่องดื่มต่างๆ สี carotenoid เป็นสีที่ค่อนข้างคงตัวในสภาวะที่มีออกซิเจนอยู่เพียงเล็กน้อยและในสภาวะที่มี reducing agent เนื่องจากถ้ามีออกซิเจนอยู่ด้วยจะทำให้เกิดปฏิกิริยา oxidation ขึ้น ซึ่งออกซิเจนจะจับกับคอนจูเกชัน (conjugation) ของพันธะคู่ของ carotenoids เกิดเป็นสารผสมสีน้ำตาลของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) สารประกอบคาร์บอนิล สารประกอบ malodorous และสารที่ระเหยได้อื่นๆ ทำให้ความคงตัวของ carotenoids ลดลง ส่งผลให้สีส้มลดลงด้วย (Chou and Bree, 1972) และปฏิกิริยา oxidation ยังสามารถถูกเร่งให้เกิดเร็วขึ้นโดยแสง โลหะ และ lipid oxidizing enzymes สำหรับ β -carotene ในทางการค้า อาจเตรียมในรูป liquid-suspension ซึ่งประกอบด้วย β -carotene 30 % , semi-solid suspension ประกอบด้วย β -carotene 24% และ beadlet-water dispersible ประกอบด้วย β -carotene 10% หรือ 24% (Newsome, 1989)

คุณสมบัติที่สำคัญของสาร carotenoid โดยเฉพาะ β -carotene และ β -apo-8-carotenal คือ เป็นสารให้วิตามินเอ (provitamin A) โดยร่างกายสามารถเปลี่ยน β -carotene ให้เป็นวิตามินเอได้ ในอัตราส่วนโดยประมาณคือ 6 ต่อ 1 หมายถึง β -carotene 6 ไมโครกรัม สามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ 1 ไมโครกรัม (Food and Nutrition Board, 1974) และ β -carotene ยังเป็นสารยับยั้งอนุมูลอิสระหรือที่เรียกว่าสาร antioxidant อีกด้วย (FAO/WHO, 1965) จะเห็นว่าการได้รับ β -carotene เข้าสู่ร่างกาย เป็นทางหนึ่งที่จะช่วยปรับปรุงภาวะวิตามินเอได้ ปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดความต้องการประจำวันของ β -carotene เพียงแต่ทางสำนักงานอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกาเสนอให้กิน β -carotene วันละ 5.2 มิลลิกรัม (Bendich, 1988)

1.5 สารให้กลิ่น

สารให้กลิ่น เตรียมได้จาก essential oil ที่สกัดจากผลไม้ หรือสังเคราะห์ขึ้นใหม่ การเลือกใช้ชนิดที่ให้กลิ่นเหมือนธรรมชาติมากที่สุด และตัวทำละลายที่ใช้ ต้องได้รับอนุญาตจากกฎหมายอาหารก่อน ในการผลิตเครื่องดื่มอัดก๊าซ นิยมเตรียมสารให้กลิ่น ในลักษณะหัวน้ำเชื้อ (concentrate) โดยปกติใช้ emulsifying agent ร่วมกับสารให้กลิ่น เพื่อช่วยให้สารให้กลิ่นเกิดการกระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอในเครื่องดื่ม (ไพโรจน์, 2535)

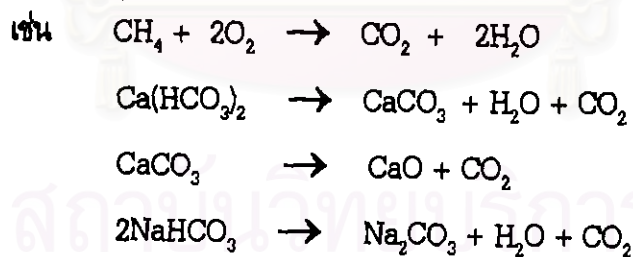
1.6 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเครื่องดื่ม เป็นกระบวนการทำให้เครื่องดื่มอิมิตัวด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากในเครื่องดื่มชนิดนี้ เนื่องจากก๊าซทำให้เครื่องดื่มมีรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ (unique taste) คือทำให้เกิดความรู้สึกซ่า (zest) มีผลต่อประสาทสัมผัสการรับรสเป็นการกระตุ้นความรู้สึกของผู้บริโภคต่อเครื่องดื่ม รวมทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเครื่องดื่มมีบทบาทในการเป็นสารกันเสีย ทำให้เครื่องดื่มอยู่ในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจน ทำให้การเสื่อมเสียโดยส่วนใหญ่ที่เกิดจากจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศในการเจริญเติบโตรวมถึงเชื้อยีสต์และราลดลงด้วย (Woodroof และ Phillips, 1980)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตในทางการค้ามีแหล่งผลิตที่สำคัญดังนี้

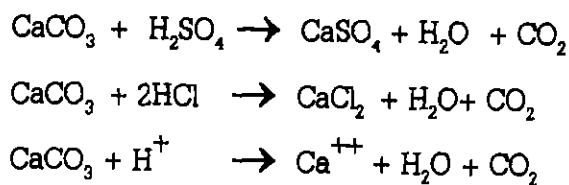
1. การเผาไหม้หรือให้ความร้อนสารประกอบคาร์บอน (burning of carbon compounds)

(Ruiz, 1966)

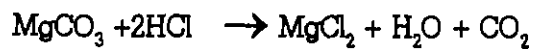
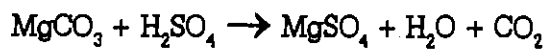
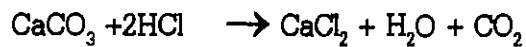
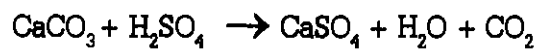


2. การไฮโดรไลซิสสารประกอบต่างๆ ได้แก่

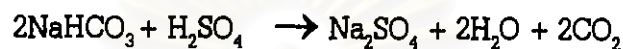
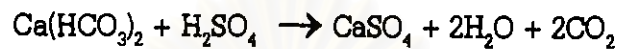
2.1 หินปูน (limestone) ดังสมการต่อไปนี้ (Woodroof และ Phillips, 1980)



2.2 สารประเภท dolomite ซึ่งจะมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นพวก CaCO_3 และ MgCO_3 ดังสมการต่อไปนี้ (Woodroof และ Phillips, 1980)

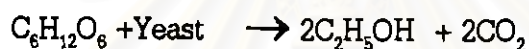


2.3 สารประกอบไฮโดรเจนคาร์บอเนต เช่น $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ หรือ NaHCO_3 ดังสมการ



3. กระบวนการหมัก (fermentation process)

ในผลิตแอลกอฮอล์จากการหมักด้วยเชื้อยีสต์ จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นผลพลอยได้ดังสมการ (Woodroof และ Phillips, 1980)



โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้ ต้องมีการกำจัดกลิ่นที่ปะปนมากับก๊าซ เพื่อไม่ให้มีผลต่อกลิ่นรสของเครื่องดื่ม และต้องได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มอก.539-2527(กระทรวงอุตสาหกรรม, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2527) และ มอก. 568-2528(กระทรวงอุตสาหกรรม, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2528) ดังนี้

1. ก๊าซต้องไม่มีกลิ่น ไม่มีสี และมีการตรวจสอบด้านความเป็นกรด ฟอสฟีน ไฮโดรเจน ซัลไฟด์ และออร์แกนิกวีดิวิงซัสแตนท์ สารประกอบอื่นๆเป็นไปตามข้อกำหนดแสดงดังตารางที่ 6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6 เกณฑ์ข้อกำหนดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.539-2527 และ มอก.568-2528)

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
ความบริสุทธิ์ ร้อยละโดยประมาณ	ไม่น้อยกว่า 99.5
ความชื้น มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร	ไม่เกิน 0.5
คาร์บอนมอนนอกไซด์ ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อ ลูกบาศก์เดซิเมตร	ไม่เกิน 10
ไนตริกออกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์ ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อลูกบาศก์เดซิเมตร	ไม่เกิน 2.5

ปัจจัยที่มีผลต่อการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีดังนี้

1. ความดัน (pressure)

ตามกฎของเฮนรี (Henry's Law) กล่าวว่า การละลายของก๊าซ จะแปรผันตรงกับ ความดัน ณ อุณหภูมิที่คงที่ คือการละลายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเมื่อความดันเพิ่มขึ้น แสดงได้ดังตารางที่ 7 (Morris, 1959)

ตารางที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับการละลายของก๊าซ ณ อุณหภูมิคงที่

อุณหภูมิ (° C)	ความดัน (บรรยากาศ)	การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ปริมาตร)
15.5	1	2
	30	(ความดันปกติ รวมกับ ความดันที่เพิ่มขึ้น) (1+1=2) 31

จากตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่า การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้น 1 ปริมาตร ทุกๆ 1 บรรยากาศที่เพิ่มขึ้น

2. อุณหภูมิ (temperature) ความสามารถในการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะแปรผกผันกับอุณหภูมิ กล่าวคือ อุณหภูมิของเครื่องดื่มยิ่งต่ำจะทำให้ การละลายของก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ยิ่งสูงขึ้นแสดงดังตารางที่ 8 (Thomer และ Herzberg, 1987)

ตารางที่ 8 ผลของอุณหภูมิต่อการอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

อุณหภูมิของเครื่องดื่ม (°C)	การอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (%)	การสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์ (%)
2	100	0
3	96	4
4	92	8
6	88	12
7	84	16
8	81	18
9	78	22
10	75	25
11	72	28
12	69	31

จากทั้ง 2 ปัจจัยที่กล่าวมาคือ ความดันและอุณหภูมิ มีความสัมพันธ์กันแสดงดัง ตารางที่ 9 (Morris, 1959)

ตารางที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิต่อปริมาตรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สามารถละลายในหนึ่งปริมาตรของน้ำ

อุณหภูมิ(° C)	ความดันในขวด(ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	1.71	2.9	4.0	5.2	6.3	7.4	8.6	9.7	10.9	12.2	13.4
4	1.45	2.4	3.4	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.2	10.3	11.3
10	1.19	2.0	2.8	3.6	4.4	5.2	6.0	6.8	7.6	8.5	9.5
16	1.00	1.7	2.3	3.0	3.7	4.3	5.0	5.7	6.3	7.1	7.8
21	0.85	1.4	2.0	2.5	3.1	3.7	4.2	4.8	5.4	6.1	6.6
27	0.73	1.2	1.7	2.2	2.7	3.2	3.6	4.1	4.6	5.2	5.7
32	0.63	1.0	1.5	1.9	2.3	2.7	3.2	3.6	4.0	4.5	4.9
38	0.56	0.9	1.3	1.7	2.0	2.4	2.8	3.2	3.5	3.9	4.3

ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้นำเอาความสัมพันธ์ดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ กล่าวคือจะมีการลดอุณหภูมิของส่วนประกอบของเครื่องดื่ม ก่อนการอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อเพิ่มการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเครื่องดื่ม และทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้ความดันสูงในการอัดก๊าซ เพื่อให้ได้ปริมาณตามต้องการ ทำให้เกิดความปลอดภัยในการบรรจุด้วย (ASHRAE, 1971)

3. ความเข้มข้นของน้ำตาลในเครื่องดื่ม (sugar concentration)

ในเครื่องดื่มจะมีน้ำตาลซูโครสเป็นสารให้ความหวาน ซึ่งมีผลต่อการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ ถ้ามีความเข้มข้นของน้ำตาลสูง จะทำให้ปริมาตรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในเครื่องดื่มลดลง แสดงดังตารางที่ 10 (Von Loesecke, 1949)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 10 การละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสารละลายน้ำตาลที่อุณหภูมิ 16 °C และ ความดัน 760 มิลลิเมตร

น้ำตาล (%)	ปริมาตรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ละลาย (Vol.CO ₂ ^a)
1.0	0.995
2.0	0.989
3.0	0.982
4.0	0.975
5.0	0.967
6.0	0.959
7.0	0.951
8.0	0.943
9.0	0.936
10.0	0.928
11.0	0.918
12.0	0.907
13.0	0.902

a 1 Vol.CO₂ (Volume CO₂) มีค่าเท่ากับ 1ml.CO₂ / 1ml.H₂O ที่ 1 NTP (1 ความดันบรรยากาศ, อุณหภูมิ 273 °K หรือ 0 °C)

อุตสาหกรรมเครื่องดื่มอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อาจแบ่งชนิดของเครื่องดื่มโดย ใช้ปริมาตรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นสำคัญ โดยสามารถจำแนกได้ดังตารางที่ 11 (ASHRAE, 1971)

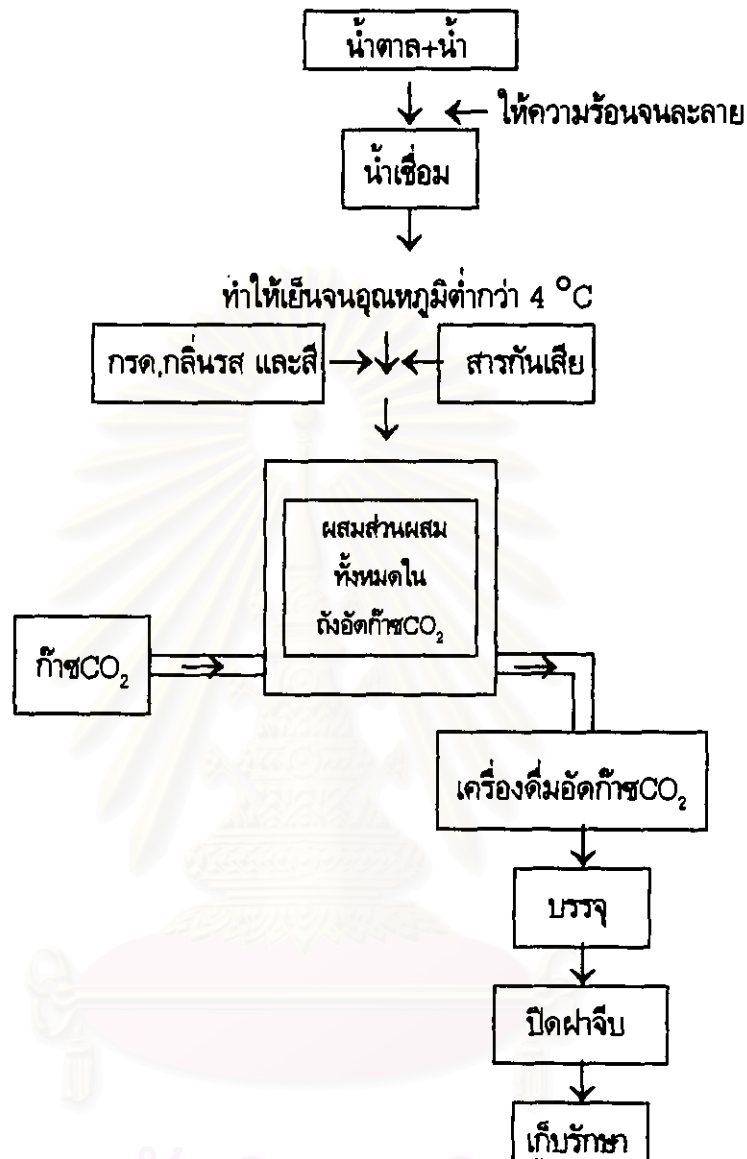
ตารางที่ 11 การแบ่งชนิดของเครื่องดื่มโดยใช้ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นเกณฑ์

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Vol.CO ₂)	ชนิด
3.5 หรือ มากกว่า	Ginger ale Colas Mixes (club soda, tonics etc.)
2.5-3.5	Root beer Lemon Lime Cream soda Grapefruit
1.0-2.5	Strawberry Cherry Grape Orange Pineapple Punch

2. การอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

หลังจากผสมส่วนผสมทั้งหมดลงในถังผสม (carbonator) เพื่ออัดก๊าซแล้ว จะลดอุณหภูมิของถังลง เพื่อเพิ่มการละลายของก๊าซ โดยอุณหภูมิของส่วนผสมทั้งหมดก่อนการอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ควรมีอุณหภูมิต่ำกว่า 4° C (Morris, 1959)

สรุป ขั้นตอนการผลิตเครื่องดื่มอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการผลิตเครื่องต้มอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

3. การเก็บรักษา

ควรเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และเพื่ออายุการเก็บที่ยาวนานขึ้น ปกติเครื่องต้มอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นิยมใช้กรดเบนโซอิกและกลีเซอรอลโซเดียมเป็นวัตถุกันเสียเนื่องจากเหมาะกับพีเอชของเครื่องต้มอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีพีเอชอยู่ในช่วง 2-5 แต่ผลิตภัณฑ์เครื่องต้มอัดก๊าซเสริมรสชาติมันเนยในงานวิจัยนี้มีพีเอชในช่วง 5-6 ซึ่งวัตถุกันเสียที่

เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่มีช่วงพีเอชดังกล่าวคือ กรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบท (sorbic acid and sorbates)

กรดซอร์บิกและเกลือซอร์เบท เป็นวัตถุกันเสียชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากเป็นสารประกอบที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และที่สำคัญคือ ไม่ทำให้กลิ่นรสของอาหารเปลี่ยนแปลง ผลการยับยั้งจุลินทรีย์ขึ้นกับการแตกตัวของเกลือซอร์เบท ดังนั้นประสิทธิภาพของกรดซอร์บิก จึงขึ้นกับ pH ของสภาวะแวดล้อมเป็นส่วนใหญ่ กรดซอร์บิกจะให้ผลดีในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ pH ระหว่าง 5-6 ที่ pH ระดับนี้กรดซอร์บิกจะให้ผลดีกว่ากรดเบนโซอิกและกรดโพรปิโอนิก (Davidson และ Juneja, 1989) เนื่องจากการเสื่อมเสียของอาหารจะถูกยับยั้ง โดยกรดซอร์บิกซึ่งละลายอยู่ในส่วนที่เป็นน้ำ (aqueous phase) จำนวนของกรดซอร์บิกที่ไม่แตกตัวในส่วนที่เป็นน้ำ จึงเป็นส่วนที่สำคัญเป็นพิเศษ ถ้าเติมเกลือหรือน้ำตาลผลของกรดซอร์บิกในการยับยั้งจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้น (Sofos และ Busta, 1986) กรดอะมิโน (amino acid) ที่สำคัญ โดยเฉพาะ cystine และ cysteine รวมทั้งกรดอะมิโนที่มีสูตรโครงสร้างสั้นๆ (short chain fatty acids) จะให้ผลในการส่งเสริม (synergistic) ประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ นอกจากนี้ไขมันและกรดไขมันสูงเกินกว่า 5% ก็ทำให้ประสิทธิภาพของกรดซอร์บิกลดลงด้วย จากการศึกษาทางชีวเคมี แสดงให้เห็นว่ากลไกของกรดซอร์บิก ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ยีสต์และรา เกิดขึ้นจากการที่กรดซอร์บิก ไปยับยั้งการทำงานของ enzyme dehydrogenase ซึ่งเป็น enzyme สำคัญในการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (Sofos และ Busta, 1986)

อันตรายที่เกิดจากการใช้ วัตถุกันเสียชนิดนี้มีน้อยมาก เนื่องจากร่างกายสามารถ metabolize ได้เช่นเดียวกับกรดไขมันที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น caproic acid และ butyric acid จากการศึกษา พบว่าโซเดียมซอร์เบท มีระดับความเป็นพิษน้อยกว่าเป็นโซเอทถึง 2 เท่า โดย LD₅₀ ของ sodium sorbate (as sorbic acid) เท่ากับ 4.0 g/kg และ LD₅₀ ของ sodium benzoate (as sorbic acid) เท่ากับ 2.1 g/kg (FAO/WHO, 1970) สำหรับในประเทศ ปริมาณที่อนุญาตให้ใช้ในอาหารตามประกาศกระทรวง สาธารณะสุขฉบับที่ 84 ให้ใช้ sorbic acid หรือ calcium sorbate หรือ potassium sorbate หรือ sodium sorbate ไม่เกิน 2,000 mg/kg โดยชนิดของอาหารที่อนุญาตให้ใช้ เช่น โพรเซสซีส อนุญาตให้ใช้ไม่เกิน 2,000 mg/kg เวียชีสและเนยเทียม อนุญาตให้ใช้ไม่เกิน 1,000 mg/kg แยมและเยลลี่ อนุญาตให้ใช้ไม่เกิน 1,000 mg/kg ของหมักดอง เช่น มะกอกน้ำ อนุญาตให้ใช้ไม่เกิน 500 mg/kg และของแห้ง เช่น อพริคอตแห้ง อนุญาตให้ใช้ไม่เกิน 500 mg/kg เป็นต้น

4. การบรรจุผลิตภัณฑ์

ภาชนะบรรจุเครื่องดื่มอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่นิยมใช้ได้แก่

-ขวดแก้วที่ผนึกด้วยฝาจิบ (crown cork closure) ซึ่งเหมาะสำหรับบรรจุเครื่องดื่มที่มีปริมาตรบรรจุไม่เกินประมาณ 280 มิลลิลิตร เนื่องจากขวดแก้วมีน้ำหนักมาก โดยจะนำขวดแก้วกลับมาใช้อีก ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบคุณภาพ น้ำหนัก ความจุ และความแข็งแรงของเนื้อแก้ว เพราะเมื่อนำกลับมาใช้ใหม่อาจเกิดการแตกร้าวได้ โดยเฉพาะการผลิตที่มีการบรรจุด้วยความเร็วสูง สิ่งสำคัญของขวดแก้วที่ต้องคำนึงถึงเป็นพิเศษคือ เรื่องความสะอาด ขวดแก้วที่นำกลับมาใช้ใหม่ควรล้างขวดโดยจุ่มในสารละลายโซดาไฟเข้มข้น 3-4 % ที่อุณหภูมิ 60-70 ° C ทั้งภายนอกและภายในเพื่อทำความสะอาด จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาดอีกครั้งก่อนนำมาบรรจุเครื่องดื่ม (อมรรัตน์ มยุรี และ ไชยวุฒิ, 2535)

-กระป๋องอลูมิเนียม และขวด PET ปิดผนึกด้วยฝาเกลียว นิยมใช้ในการบรรจุเครื่องดื่มที่มีปริมาตรบรรจุสูงกว่าขวดแก้ว เนื่องจากมีน้ำหนักเบาและสะอาดกว่าขวดแก้ว เนื่องจากไม่มีการนำกลับมาบรรจุใหม่ แต่จะมีราคาสูงกว่าขวดแก้ว รวมทั้งอาจเกิดปัญหาด้านสภาวะแวดล้อมในการทำลายภาชนะดังกล่าวด้วย (ไพโรจน์, 2535)

การพัฒนาผลิตภัณฑ์นมอัดก๊าซ

Schwartz (1970) ศึกษาสูตรการผลิตผลิตภัณฑ์นมอัดก๊าซ โดยพบว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นสารกันเสีย และทำให้เกิดรสชาติที่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์นมทั่วไป ซึ่งกระบวนการผลิต จะให้หลักการเดียวกับการผลิตน้ำโซดา แต่มีการเติมส่วนประกอบของนมเช่น นมผงเวย์ โดยมีการพาสเจอร์ไรส์ โยโมจิไนส์ส่วนผสมนมก่อน และเติมกลิ่นรส เรียกผลิตภัณฑ์นี้ว่า milk like flavored softdrink ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการขึ้นจาก softdrink เดิม โดยแนะนำว่า กรณีที่ต้องการผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ ควรใช้นมขาดมันเนยแทนนมสด เนื่องจากไขมันจะเคลือบลิ้นในช่องปากหลังการดื่ม ทำให้ลิ้นได้รับ freshy taste ของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่ปัญหาที่พบคือ การเกิดฟองได้ง่าย ทำให้เกิดปัญหาในการบรรจุ และแนะนำให้เก็บผลิตภัณฑ์หลังการอัดก๊าซไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วอัดก๊าซซ้ำอีกครั้ง

Roehrig, Pappas และ Durbin (1974) ศึกษาสูตร และวิธีการผลิตเครื่องดื่มอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีส่วนประกอบของนม โดยมีการเตรียมส่วนของวัตถุดิบเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนน้ำเชื่อม (syrup phase) ประกอบด้วย

1.1 คาร์โบไฮเดรต ได้แก่ พวคน้ำตาล sucrose, dextrose, fructose, lactose, maltose, invert sugar เป็นต้น ซึ่งเป็นส่วนประกอบประมาณ 15% ของน้ำหนักเครื่องดื่ม

1.2 โปรตีน ได้แก่ milk solid non fat, water soluble soy protein derivative, sodium caseinate, egg albumen และ gelatin ซึ่งส่วนนี้จะมีผลต่อรสชาติและความคงตัวของผลิตภัณฑ์

1.3 ไขมัน ได้แก่ ไขมันนม และไขมันจากพืช

1.4 ส่วนประกอบอื่นๆ ได้แก่

-กรด เป็นส่วนประกอบที่ช่วยเสริมรสชาติ และปรับพีเอช โดยพีเอชของผลิตภัณฑ์ควรต่ำกว่า 6.4 ซึ่งอาจอยู่ในช่วง 5.2-5.8

-emulsifier และ stabilizer จะใช้อย่างละประมาณ 1%

-สีและกลิ่น

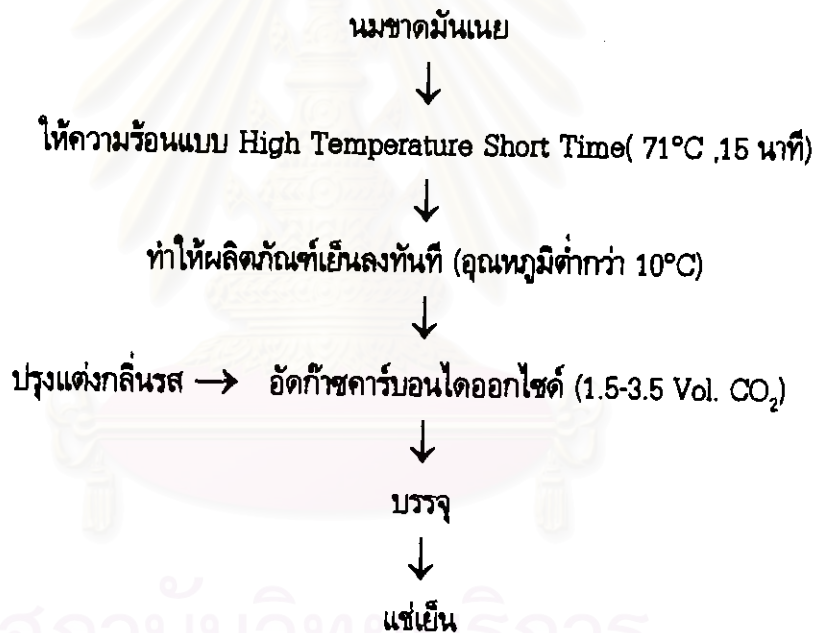
2. ส่วนน้ำอัดก๊าซ (aerated aqueous phase) จะมีการกรองก๊าซผ่านเครื่องกรองจุลินทรีย์ เพื่อให้ปลอดเชื้อ

ตัวอย่างสูตรและวิธีการผลิต

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
Fat (hydrogenated vegetable)	1.00
Milk solids non fat	2.00
Carbohydrate (sugar)	10.70
Protein (sodium caseinate)	0.20
Stabilizer (carrageenan)	0.15
Emulsifier (polyoxyethylene (20) sorbitan monostearate)	0.20
Emulsifier (sorbitan monostearate)	0.10
Colorant (caramel)	0.37
Flavor (root beer)	0.02
Salt (sodium chloride)	0.05
Salt (sodium citrate)	0.20
Water	85.01

ขั้นตอนการผลิต จะนำส่วนของน้ำตาล โซเดียมกลูโคสไวต์ โซเดียมซิเตรต โซเดียมเคซิเนต milk solids non fat ผสมให้เข้ากันในน้ำที่มีอุณหภูมิ 79-85 °C ส่วนน้ำมันจะผสมกับ emulsifier ที่อุณหภูมิ 66-74 °C ก่อนเติมลงไปในส่วนผสมข้างต้น เติมน้ำและกลั่น จากนั้นให้ความร้อน 121 °C เป็นเวลา 2 นาที ก่อนเข้าเครื่องโฮโมจีไนซ์แบบ 2 ขั้นตอน ที่อุณหภูมิ 66-71°C โดยใช้ความดัน 2,000 และ 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ตามลำดับ แล้วจึงผสมกับส่วนน้ำอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีปริมาตร 4 Vol.CO₂ ที่อุณหภูมิ 2-7 °C ในถังผสมที่ปลอดเชื้อก่อนบรรจุ

Salah, Kadlec และ Luksas (1989) ศึกษาวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์นมอัดก๊าซ โดยไม่ลดความคงตัวของผลิตภัณฑ์นมซึ่งมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์นมอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

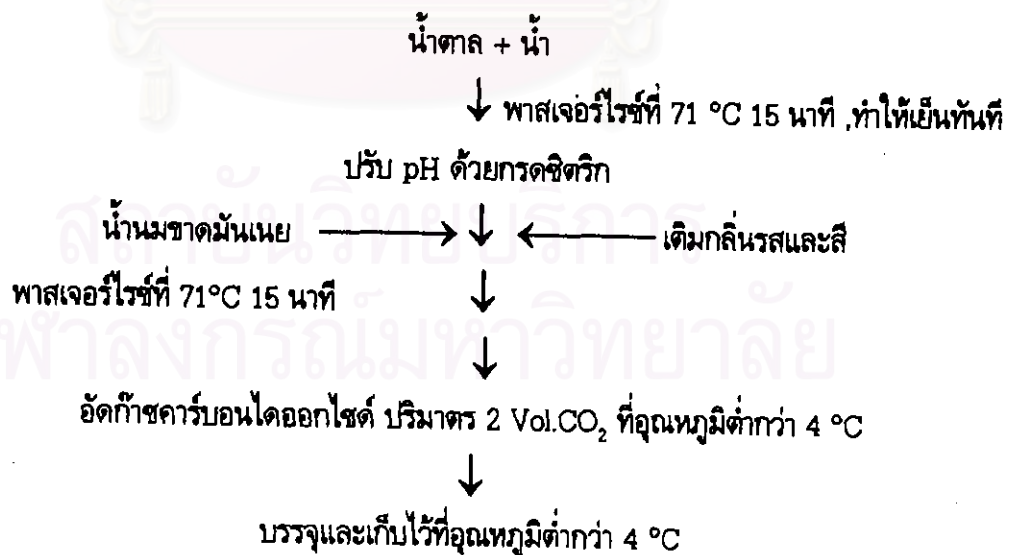
จากรูปที่ 3 ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์นมอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยนำนมขาดมันเนย มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 71°C นาน 15 นาที เพื่อให้เกิดการตกตะกอนของโปรตีนน้อยที่สุด จากนั้นทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นลงที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10°C ทันที ก่อนการอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะมีการบรรจุแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งนิยมใช้ กลิ่นรสผลไม้ เนื่องจากให้ freshy taste ในผลิตภัณฑ์ ปริมาณที่ใช้

คือ 0.1-3 % แล้วนำมาบรรจุที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อป้องกันการเกิดฟองและป้องกันการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ด้วย

Tracey (1989) ศึกษาการผลิตเครื่องดื่มอัดก๊าซมีส่วประกอบดังนี้	
ผลิตภัณฑ์นม เช่น skimmilk, non-fat soy protein	ประมาณ 50-95 %
sucrose	0-30 %
flavors	0-45 %
stabilizers	0.2-10 %
trisodium citrate	0.01-2 %

โดยมีการโฮโมจิไนซ์และพาสเจอร์ไรส์ส่วนผสมทั้งหมด จากนั้นทำให้เย็นที่ 4 °C โดยการปรับ pH ในช่วง 3.8-6.9 ด้วยกรดซิตริก แล้วทิ้งไว้ให้ส่วนผสมเข้ากันดีประมาณ 30 นาที และอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 3-8 Vol. CO₂ ที่ความดัน 60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยแนะนำว่าอุณหภูมิที่ใช้อัดควรรู้ 1-2°C และบรรจุแบบปลอดเชื้อ ผลิตภัณฑ์จะมีอายุการเก็บได้นานถึง 6 เดือน

ในงานวิจัยนี้ จะใช้วิธีการผลิตเครื่องดื่มอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เสริมไขมันเนยดัดแปลงจากวิธีของ Salah, Kadlec และ Luksas (1989) โดยมีขั้นตอนการผลิตดังนี้



รูปที่ 4 ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เสริมไขมันเนย