



ARTICLE

냉동농축유의 해동기간에 따른 이화학적 특성과 물성 변화

김상우 · 기우진 · 남명수*

충남대학교 농업생명과학대학 동물자원과학부

Changes of Physicochemical Properties and Rheology during the Thawing Period of Frozen Condensed Milk

Sang-Woo Kim, Woo Jin Ki, Myoung Soo Nam*

Division of Animal Resources Science, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea



Received: May 20, 2024

Revised: June 10, 2024

Accepted: June 11, 2024

*Corresponding author :

Myoung Soo Nam

Division of Animal Resources Science,
College of Agriculture and Life Sciences,
Chungnam National University, Daejeon,
Korea

Tel : +82-42-821-5782

Fax : +82-42-823-2766

E-mail : namsoo@cnu.ac.kr

Copyright © 2024 Korean Society of Dairy Science and Biotechnology.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Sang-Woo Kim

<https://orcid.org/0009-0001-1653-9516>

Woo Jin Ki

<https://orcid.org/0000-0001-8241-874X>

Myoung Soo Nam

<https://orcid.org/0000-0003-0866-1041>

Abstract

This study analyzed the physicochemical properties and rheology of frozen condensed skim milk during thawing at 5 room temperature (20°C). The viscosity of the condensed milk was 80 cps (21.5°C) immediately after manufacture, and this value was decreased to 0 cps (21.5°C) during storage at day 7. The particle sizes of the condensed skim milk were 0.128 mm just after manufacture, and 0.522 and 0.818 mm at days 3 and 5 of thawing at 20°C, respectively. Condensed skim milk with no temperature abuse had lower acidity than those stored at room temperature on the 3rd and 7th days. Additionally, a sandy texture was observed as the thawing period increased. Based on the comprehensive results of this study, when frozen condensed skim milk is added to a product as a raw material, the longer the thawing period at room temperature, the longer the ice crystals inside melt and become water drips. Quality defects, such as weight loss, decreased pH, protein denaturation, and texture deterioration, are expected to occur.

Keywords

frozen condensed skim milk, pH, sandy texture, viscosity

서론

우유는 인류의 역사만큼이나 긴 기간 동안 전 세계에서 식량으로 가장 많이 소비되어 온 식품이다. 우리 민족은 전통적으로 쌀·보리·콩 등의 곡류를 주식으로 하면서 과일류·야채류·육류·수산물 등을 식량 자원으로 사용하여 왔으나, 1960년대 초 정부가 낙농진흥정책을 추진하면서 식품과 영양에 대한 국민의 관심이 증가되었고 우유는 중요한 식품으로 자리매김하였다. 1994년에 국내 우유 총생산량이 190만여 톤, 국민 1인당 연간 유제품 소비량이 46.6 kg에 불과하였으나, 2001년에는 원유 생산은 234만 톤, 국민 1인당 연간 유제품 소비량은 63.9 kg을 기록하였다. 2001년에는 국산 원유 자급률이 77.3%였으나, 2021년에는 45.7%로 31.6% 포인트 낮아졌으며, 국민 1인당 우유소비량 또한 36.5 kg에서 32 kg으로 감소하였다. 반면, 치즈·버터·아이스크림 등 외국산 원료를 사용하는 유가공품을 포함한 전체 유제품의 1인당 소비는 최근 20년 사이 63.9 kg에서 86.1 kg으로 34.7% 증가하였다[1]. 하지만 국내외 원유 가격 차이가 커지면서 시유는 유가공품 시장에서 소비가 줄어들고 유제품 중심으로 소비되고 있는 추세이다. 이로 인해 국내 원유 생산량은 2001년 234만 톤에서 2021년 203만 톤으로 감소하였고, 수입 유제품은 동기간 65만 톤에서 251만 톤으로 급증하였다[2]. 이는 원유를 다양한 방법으로 가공한 유제품의 생산 및 소비자의 수요가 증가한 것으로 볼 수 있다.

우유의 저장기간을 연장하기 위한 수단으로 우유를 가열 건조시켜 전지 분유 또는 탈지분유를 생산하거나, 원유 또는 우유류를 그대로 농축하거나 원유 또는 우유류에 식품 또는 식품 첨가물을 가하여 농축한 농축유류 제품을 제조하여 다양한 식품의 원료로 사용되고 있다. 우유를 농축시켜 연유를 만드는 시도는 프랑스(1812)와 영국(1835)에서 시작되었고, 공업적으로 진공농축 제품을 대량 생산한 것은 1853년 미국 코네티컷주 리치필드에서 Gail Borden이 우유를 진공 상태에서 가열 농축하여 보존하는 방법을 발명하면서 시작되었다[3]. 우리나라에서는 1965년 서울우유에서 가당연유를 생산하기 시작하였고, 1967년 남양유업에서 무당연유를 생산하기 시작하였다.

농축유류는 공정 및 당 첨가 유무에 따라 농축우유(탈지농축우유), 가당연유, 가당탈지연유, 가공연유 네 가지 유형으로 분류할 수 있다[4]. 농축유(condensed milk)는 원유의 수분을 부분적으로 제거하여 고형분 함량을 기존보다 더 높여 농축시킨 유제품으로서, 필연적으로 수분을 제거하는 공정이 필요하다[5]. 현재 통용되고 있는 농축방법으로는 수분을 기체상으로 제거하는 증발(evaporation), 수분을 액상으로 제거하는 막여과(reverse osmosis/ultrafiltration), 수분을 고체상(얼음)으로 제거하는 동결농축(freeze concentration) 등 세 가지 방법이 있다[6].

현재 국내에서 농축유의 유통방법은 사용 목적에 따라 분류되고 있다. 소비자에게 직접 판매되는 형태로 제조된 가당 또는 무당연유의 경우에는 냉장 또는 상온유통되고 있으나, 분유나 아이스크림 등의 원료 목적으로 제조되는 농축우유는 장기보존 목적으로 냉동 또는 냉장유통되고 있다. COVID-19 사태 이전부터 국내 원유 생산량은 연간 200만 톤 이상으로 점차 증가하는 반면 원유 사용량은 줄어들고 있어 잉여원유량이 나날이 늘고 있는 상태였는데, 분무건조[7] 또는 동결농축[8]하여 제품의 저장성을 높인 분유 및 농축제품이 잉여원유 활용 대안으로 주목받고 있다.

본 연구에서는 상온해동 중에 발생하는 냉동된 탈지농축유의 이화학적 변화 측정을 통해 품질 결함 현상에 대해 조사하였고, 이를 바탕으로 품질 결함이 발생하지 않는 수준에서 제품생산 및 보관방법에 대한 연구결과를 보고하는 바이다.

재료 및 방법

1. 탈지농축유

본 연구를 진행하기 위하여 A유업(주)에서 생산 중인 탈지농축유 시료를 채취하여 실험에 사용하였다. Fig. 1에 탈지농축유 제조공정을 나타내었다. 「원유의 위생등급기준,(식품의약품안전처고시 제 2017-25호)에 의거, 세균수 기준 1A 등급 원유(세균수 30,000 미만/mL)를 사용하였으며, 크림분리기(Disc Bowl centrifuge, Armfield Technical Education Company Limited, UK)로 3,500×g 속도로 크림을 분리하였다. 크림이 분리된 탈지유는 초고온 순간살균(130°C 이상, 2초 이상) 후 3중효용피막낙하식 농축기(TVR, Wiegand, Denmark)를 사용하여 탈지농축유를 제조하였다(농축율: 40%). 농축기는 증기의 재압축 방법에 따라 증기제트식 압축방식(thermal vapor recompression, TVR)과 기계적 압축방식(mechanical vapor recompression, MVR)으로 분류된다. TVR 농축기는 증발에 의해 농축시키는 방법으로 증기분리기에서 생산된 증기의 효율을 높이기 위해 thermo-compressor를 장착하며, 이 장치에서 6-10 bar의 보일러 증기를 노즐로 스팀제트를 만들어 혼합 챔버에서 증기압력과 온도를 상승시켜 재사용하는 방식의 농축기이다[9]. TVR 농축기의 원리를 Fig. 2에 나타내었다. 주입구(①)를 통해 들어온 원료는 ②의 증발기를 통해 기체상이 된 후 증기분리기(③)로 들어가고, 증기분리기(③)에서 회수된 증기는 thermo-compressor(④)에서 구동 증기에 의해 온도와 압력이 상승되어 다시 증발기(②)로 공급되는 과정이 반복되면서 연속적으로 농축되는 시스템으로 구성된다[10]. 제조된 탈지농축유는 약 -40°C의 급속냉동실에서 급속냉동 후 냉동실(-18°C)로 이동하여 보관되었으며, 화학적 조성은 Table 1과 같다. 재료로 사용된 탈지농축유

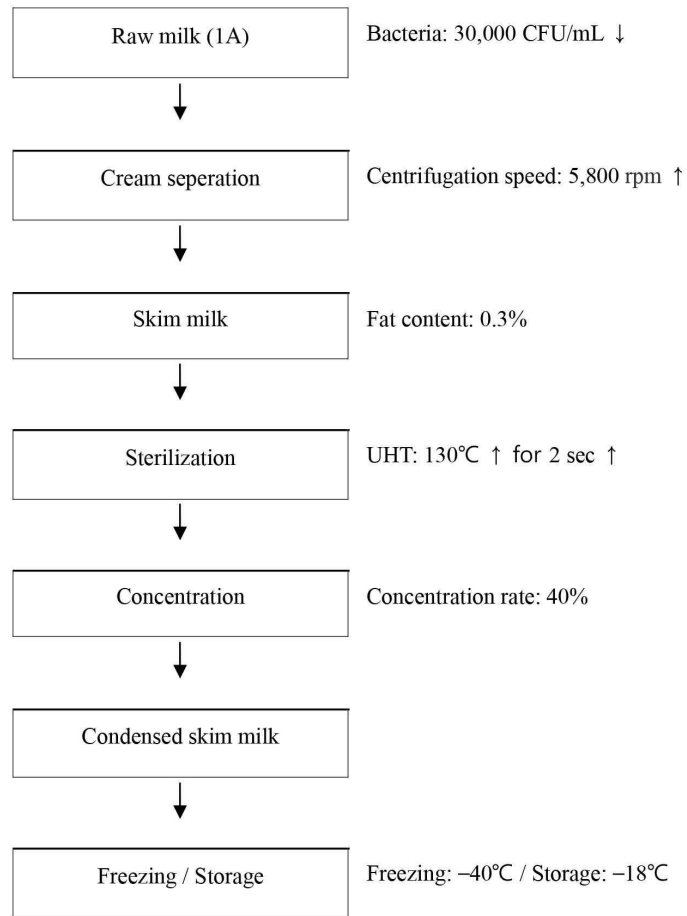


Fig. 1. Manufacturing process of skim condensed milk. UHT, ultra high temperature.

시료는 2021년 1월에 제조한 제품을 사용(유통기한 2년)하였다.

2. 수분

제조 즉시 탈지농축유와 냉동탈지농축유의 수분 함량을 비교하기 위해 「식품공전(2022)」에 고시된 식품성분시험법 중 일반시험법에 명시된 상압가열건조법을 이용하여 측정하였다.

$$\text{수분 (\%)} = \frac{b-c}{b-a} \times 100$$

A = 칭량접시의 질량(g) / b = 칭량접시와 검체의 질량(g)

c = 건조 후 항량이 되었을 때의 질량(g)

3. 단백질

제조 즉시 탈지농축유와 냉동탈지농축유, 상온 해동 경과일수에 따른 단백질 함량을 비교하기 위해 「식품공전(2022)」에 고시된 식품 성분 시험법 중 일반성분시험법에 명시된 Semimicro Kjeldahl 방법을 이용하여 측정하였다.

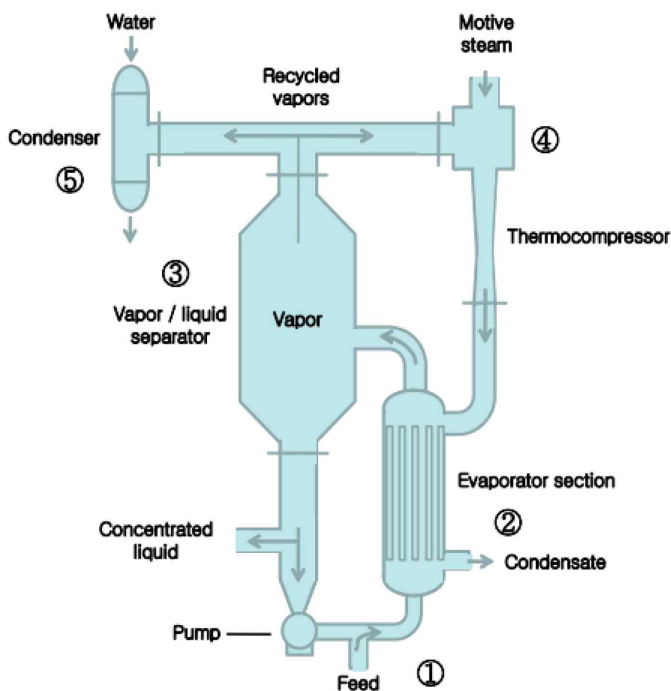


Fig. 2. The thermal vapor recompression (TVR) application in the evaporation and concentration process.

Table 1. Content of condensed skim milk

Moisture	Composition (% of DM)			Total
	SNF		Fat	
	Carbohydrate+Ash	Protein		
54.0	25.0	20.7	0.3	100.0

SNF, solid not fat.

4. pH

탈지농축유 및 냉동탈지농축유의 상온 해동 경과일수에 따른 신선도를 평가하기 위해 pH를 측정하였다. pH는 pH meter(A210, Orion Star, A219, USA)를 사용하여 측정하였으며, 시료 측정 전 3가지 pH buffer 용액(Orion Application Solution pH 4.01 Buffer, 7.00 Buffer, 10.01 Buffer, Thermo Scientific, USA)으로 pH 값을 보정 후 측정하였으며, 측정환경은 25.0°C, 147.0 mV에서 진행하였다.

5. 점도(viscosity)

농축유의 상온 보관 중 점도 변화를 측정하기 위하여 제조 즉시 농축유와 냉동농축유를 상온(20°C)에서 해동 1, 3, 7일차 보관한 시료를 사용하였다. 점도 측정기(DV2T LV Viscometer, Brookfield, USA)를 사용하였으며, 21.5°C에서 Spindle LV-04(64), 30 rpm 조건에서 측정하였다.

6. 입자 크기

탈지농축유 및 냉동탈지농축유의 상온해동 경과일수에 따른 물성 변화를 확인하기 위하여 응고된

유성분 입자의 크기를 측정하였다. 유성분 입자의 크기는 전자현미경(AM3113T, Dino-lite, Taiwan)을 사용하여 225배의 배율로 관찰하였고, 뚜렷하게 형태를 갖춘 유성분 입자의 직경을 측정하였다.

7. 구성성분 분석

냉동탈지농축유의 해동 중 발생된 알갱이의 구성성분을 확인하기 위해 탈지농축유 제조 즉시 시료와 함께 상온해동된 탈지농축유 시료, 숙성탱크 내부의 탈지농축유 시료성분을 비교 분석하였다. 분석실험은 적외선광도계(Nicolet 6700, Thermo Scientific)를 이용하였으며, $(22\pm 1)^\circ\text{C}$, $(50\pm 2)^\circ\text{C}$ R.H 상대습도 환경에서 진행하였다.

8. 관능평가

관능평가에 사용된 탈지농축유는 제조 즉시 탈지농축유와 냉동된 탈지농축유, 그리고 냉동탈지농축유를 상온(20°C)에서 해동 1, 3, 7일차 보관한 시료를 사용하였다. 해당 관능평가의 패널은 훈련된 16명을 선정하였고, 관능평가는 각 탈지농축유 샘플의 색상(color), 산미(sourness), 조직감(mouthfeel), 전체적인 기호도(overall acceptability)의 5가지 항목을 5점 척도법으로 진행하였으며, "1점은 매우 나쁘다/약하다, 5점은 매우 좋다/강하다"로 평가하였다.

결과 및 고찰

1. 수분

제조 즉시 탈지농축유의 수분함량과 냉동탈지농축유의 수분함량, 상온(20°C)에서 해동 중 수분함량값을 Table 2에 나타내었다. 제조 즉시 탈지농축유의 수분함량은 54.0%, 냉동탈지농축유의 수분함량은 53.8%로 거의 변화가 없었으나, 상온(20°C) 해동경과 일수에 따라 점차 감소되어 7일차에서 52.1%까지 감량됨을 확인하였다. 식품을 냉동시키면 물이 동결하면서 부피가 증가된 얼음에 의해 식품의 조직이 파괴된다. 그러나 최대 빙결정생성대[11,12]를 통과하는 시간을 25-35분 이내로 급속 냉동시키면 작고 많은 얼음결정이 세포의 내부 및 외부에 균일하게 형성됨으로써 조직 내의 수분 변화가 최소화된다고 설명하였다[13]. 냉동식품을 해동하면 내부의 얼음 결정이 녹아 물이 되어 외부로 유출되는데, 이를 드립(drip)현상이라 한다. 드립의 발생원인은 동결에 따른 식품조직의 물리적인 손상에 의한 조직·구조적인 변화와 단백질의 동결 변성에 의해 발생하는 교질 구조의 변화로 보수력이 감소되어 일어나는 것으로 알려져 있다[13]. 또한, 드립이 발생한 용액 속에는 단백질, 비타민, 염류와 같은 수용성 성분이 포함되어 있어 풍미와 조직감 저하 및 중량 감소에 관여한다[14]. 이에 따라 상온 해동 일수가 경과하면서 점진적으로 감소되는 냉동탈지 농축유의 수분 함량은 유출된 드립에 의해 발생된 것으로 사료된다.

2. 단백질

동결 시 제품의 안정성을 높임과 동시에 동결된 기질에 있는 단백질이 다른 단백질과 상호작용하

Table 2. Moisture content of condensed skim milk

Material	Moisture content (%)
Immediately after manufacturing	54.0
After freezing (-18°C)	53.8
1 st day after thawing (20°C)	53.4
3 rd day after thawing (20°C)	52.9
7 th day after thawing (20°C)	52.1



여 응집체를 형성할 가능성이 적은 장점이 있다고 보고하였는데, 이러한 장점에도 불구하고 단백질을 동결 및 해동하는 것 자체가 단백질 손상의 원인이 될 수 있다고 보고했다[15]. 또한, 해동하는 동안 갠 단백질에 추가적인 장력 또는 전단력을 가하는 재결정화 과정에 의해 단백질에 추가적인 손상이 발생한다고 보고하였다[16]. 상기의 연구결과에 의하면 탈지농축유가 동결과 해동 과정을 거치면서 얼음의 재결정화[17]에 의해 단백질의 변성이 일어난 것으로 판단할 수 있으나 세미마이크로 길달법으로 측정된 조단백질 함량에는 유의적인 차이를 발견할 수 없었으며, 냉동된 탈지농축유를 해동하는 과정에서 단백질이 점차 gel화[18]되는 것을 확인하였다. 제조 즉시 탈지 농축유와 냉동탈지유, 상온에서 해동 경과 일자별 탈지농축유의 단백질 함량 측정결과는 Fig. 3에 표시하였다. 제조 즉시 탈지농축유와 냉동탈지농축유의 단백질 함량은 20.7%로 동일하게 나타났고, 상온 해동 일수가 경과함에 따라 20.6%, 20.5%로 소폭 감소는 하였으나 거의 변화가 없는 것이 확인되었다. 이는 얼음의 재결정화 과정에서 단백질이 일부 변성되더라도 조단백질의 범주 안에 포함된 것으로 판단되며, 소폭 감소한 단백질 함량은 드립(drip)이 유출될 때 소량 포함된 것으로 사료된다.

3. pH

제조 즉시 탈지농축유와 냉동탈지농축유, 상온(20°C)에서 해동 경과일수별 탈지농축유의 pH 변화 값을 Table 3 및 Fig. 4에 나타내었다. 제조 즉시 탈지 농축유의 pH는 6.45였으나, 냉동탈지농축유의 pH는 6.40으로 낮아짐을 확인하였다. 이는 빙결점보다 낮은 저온 환경에서 단백질이 가역적으로 변성되는데, 얼음 결정의 생성에 의한 결합수의 이탈 및 용액 중 농축된 무기염류에 의한 염석때문에 단백질이 변성됨으로써 pH 완충능이 감소하기 때문으로 판단된다[13]. 상온(20°C)에서 해동 경과일수에 따라 탈지농축유의 pH는 1일차 6.22, 3일차 5.90, 7일차 5.00을 나타냈다. 이 결과는 식품에서의 동결과 해동 주기만큼 pH 값은 크게 감소한다는 등의 연구 결과와 일치하였다[19,20]. 동결

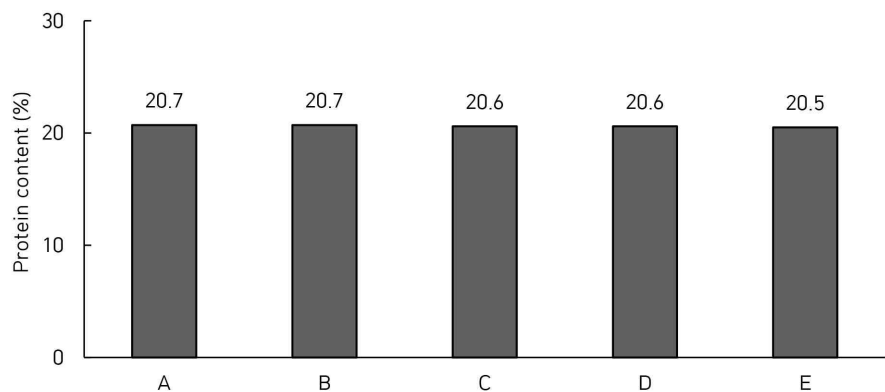


Fig. 3. Crude protein content of condensed skim milk after thawing at 20°C. A: condensed skim milk immediately after manufacturing. B: frozen condensed skim milk (-18°C). C: condensed skim milk on 1st day after thawing (20°C). D: condensed skim milk on 3rd day after thawing (20°C). E: condensed skim milk on 7th day after thawing (20°C).

Table 3. Changes in pH value of condensed skim milk

Material	Moisture content (%)
Immediately after manufacturing	6.45
After freezing (-18°C)	6.40
1 st day after thawing (20°C)	6.22
3 rd day after thawing (20°C)	5.90
7 th day after thawing (20°C)	5.00

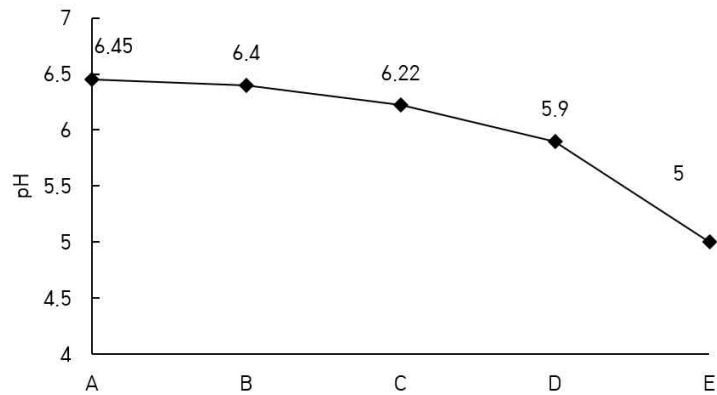


Fig. 4. Changes in pH value of condensed skim milk after thawing at 20°C. A: condensed skim milk immediately after manufacturing. B: frozen condensed skim milk (-18°C). C: condensed skim milk on 1st day after thawing (20°C). D: condensed skim milk on 3rd day after thawing (20°C). E: condensed skim milk on 7th day after thawing (20°C).

및 해동으로 인한 pH 값의 감소는 미네랄 및 단백질 화합물의 손상, 변성에 의해 제품의 이온 균형이 변경되어 발생한 것으로 설명하였다[21].

4. 점도(viscosity)

제조 즉시 농축유와 냉동농축유를 상온(20°C)에서 해동경과 일수별 농축유의 점도 변화 값을 Fig. 5에 나타내었다. 제조 즉시 농축유의 점도는 80 cps(21.5°C)였으나, 냉동농축유를 상온(20°C) 보관 중 점도 측정 결과, 1일차 40 cps(21.5°C), 3일차 20 cps(21.5°C), 7일차 측정 불가(0 cps)로 측정되었다. 대조군으로 설정한 우유와 유산균으로 제조된 A 유업의 호상 요구르트의 점도 측정 결과, 제조 즉시 800 cps(21.5°C), 냉동 후 상온 보관 샘플 1일차 740 cps(21.5°C), 3일차 680 cps(21.5°C), 7일차 560 cps(21.5°C)로 측정되었다. 상기 실험 결과를 토대로 제조 즉시 제품의 점도 대비 냉동 후 상온 조건에서 단백질 조직 파괴 및 드립의 발생으로 인해 점도가 낮아지는 것을 확인하였다. 이는 우유로 가공한 디저트를 냉동하였을 때 냉동유제품은 냉동 전보다 점도가 낮게 나타난다는 보고와 일치했다[22].

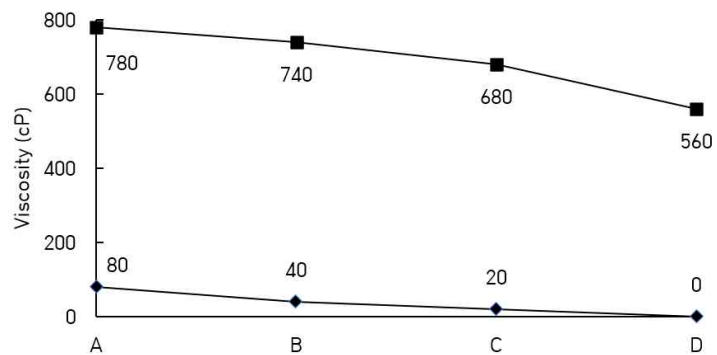
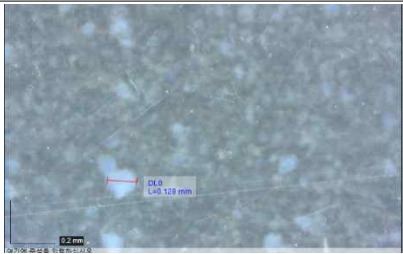
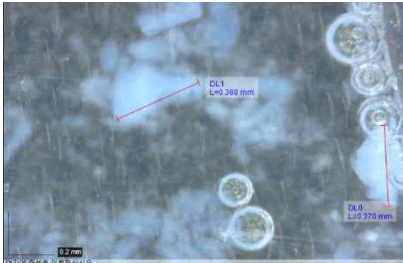
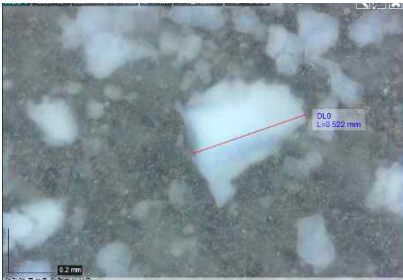



Fig. 5. Changes in viscosity of condensed milk and additive-free stirred type yogurt after thawing at 20°C. ◆: condensed milk, ■: additive-free stirred type yogurt. A: immediately after manufacturing. B: the 1st day after thawing (20°C). C: the 3rd day after thawing (20°C). D: the 7th day after thawing (20°C).

5. 입자 크기

냉동탈지농축유를 상온(20°C)에서 해동 시 손으로 문질러도 부서지지 않는 단단한 유성분 입자가 형성되었으며, 해동 일수별 해당 입자의 크기를 측정 결과를 Table 4에 표시하였다. 전자현미경으로 측정한 결과 제조 즉시 탈지농축유의 유성분 입자의 크기는 0.128 mm였으나, 냉동탈지농축유의 유성분 입자의 크기는 0.388 mm, 상온 해동 1, 3, 7일차 경과 샘플에서는 각각 0.459, 0.522, 0.818 mm로 점차적으로 크기가 커짐을 확인하였다. 식품을 냉동 시 빙결정이 점차 커져 식품조직에 큰 손상을 입히는데, 빙결정이 커지는 이유는 동결저장 중 온도가 상승과 하강하는 과정에서 빙결정 주위에 수증기와 물이 함께 얼기 때문이다. 이러한 세포 외 빙결정[23]의 성장에 의해 세포벽은 손상

Table 4. Changes in particle size of condensed skim milk at different treatment steps

Treatment steps	Particle size
Immediately after manufacturing	 <p>L: 0.128 mm</p>
After freezing (-18°C)	 <p>L: 0.388 mm</p>
3 rd day after thawing (20°C)	 <p>L: 0.522 mm</p>
7 th day after thawing (20°C)	 <p>L: 0.818 mm</p>

되고 세포는 점차 압축, 탈수되어 단백질의 변성을 초래하게 된다고 설명한다[13]. 우유단백질은 등 전점인 pH 4.6 부근에서 casein micelles의 구조가 파괴되고 casein이 침전되는데[24], 상온보관 중 탈지농축유의 pH가 5.0까지 감소하면서 casein 단백질이 변성된 형태로 응집한 것으로 사료된다.

6. 구성 성분 분석

냉동 및 상온(20℃) 해동 중 발견되는 탈지농축유의 유성분 입자의 구성성분을 확인한 결과는 Fig. 6에 나타내었다. 단백질 변성 물질로 추정되는 알갱이를 분석한 결과, human skin(91.31%)>castor bean(86.26%)>zein, purified(84.78%)의 순서로 유사도를 나타내었다. 해동 과정에서 발생하는 드립(drip)은 냉동식품의 단백질, 비타민 및 무기질 등 영양성분의 파괴를 초래함에 따라 냉동제품에 비해 식품의 품질 저하가 현저히 발생한다[25]. 이를 통해 냉동과 해동을 거치는 과정에서 발생된 드립(drip)에 의해 단백질이 변성된 것으로 판단된다. 반면, 냉동과 해동 과정을 거치지 않은 탈지농축유를 동일 기기로 분석한 결과, nonfat dry milk(89.28%)>hemicellulase(80.37%)>lactose powder, hydrous(79.18%)의 순서로 유사도를 보였으며, 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 이 분석 결과를 토대로 동결저장 중 세포 외 빙결정의 성장에 의한 세포의 손상을 초래하며, 나아가 단백질이 변성되는 결과를 가져온다는 것을 확인하였다[13]. 또한, 이러한 물리적인 세포벽의 손상과 단백질의 동결 변성은 세포의 보수력을 감소시키고 그 결과로 드립(drip)의 증가를 초래한다. 드립이 발생하면 내부에 있던 단백질, 비타민, 염류 등의 영양성분 및 풍미가 감소되어 제품의 품질과 관능을 떨어뜨리는 주요 원인이 된다[13].

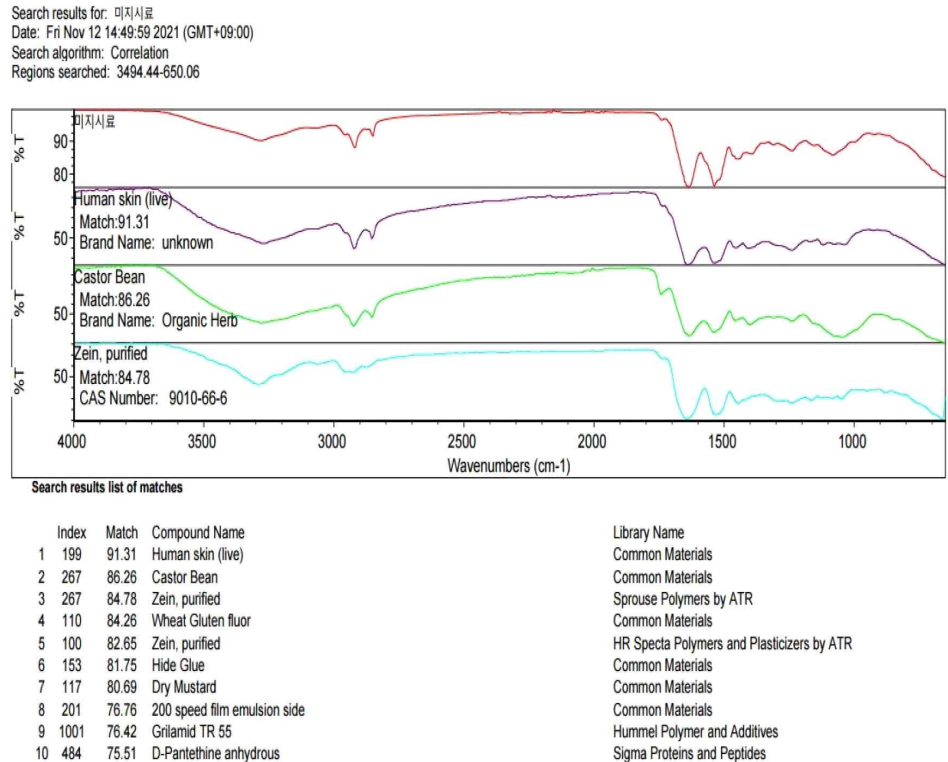
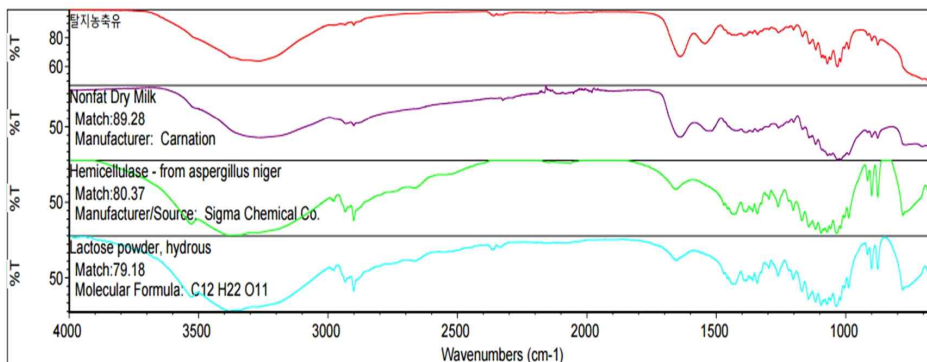


Fig. 6. Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) analysis value for the particle of condensed skim milk by freeze-thaw action.

Search results for: 탈지농축유
 Date: Fri Nov 12 15:02:16 2021 (GMT+09:00)
 Search algorithm: Correlation
 Regions searched: 3494.44-650.06



Search results list of matches

Index	Match	Compound Name	Library Name
1	60	89.28 Nonfat Dry Milk	HR White Powders
2	139	80.37 Hemicellulase - from aspergillus niger	HR Paper Materials Library
3	120	79.18 Lactose powder, hydrous	HR Georgia State Forensic Drugs
4	10	79.04 Enfamil Lipil with Iron Infant formula	HR White Powders
5	86	77.09 Ambien	Common Materials
6	304	72.95 Black Cohosh Extract	Common Materials
7	139	69.45 Hemicellulase - from aspergillus niger	Paper Materials Library
8	113	67.41 Opium powder	HR Georgia State Forensic Drugs
9	111	67.32 Dry Milk Powder	Common Materials
10	188	67.10 D-(+)-Lactose .H2O	HR Toronto Forensic

Fig. 7. Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) analysis value for the condensed skim milk (no freeze-thaw action).

7. 관능평가

탈지농축유(A)와 냉동탈지농축유(B), 상온(20℃) 해동 1일차 탈지농축유(C), 상온 해동 3일차 탈지농축유(D), 상온해동 7일차 탈지농축유(E)의 관능평가는 5점 척도법을 사용하여 진행하였으며 평가 결과는 Fig. 8과 같이 나타났다. 제조 즉시 탈지농축유(A)를 대조군으로 놓고 평가하였을 때, 상온 해동 경과일수에 따른 색깔에 유의적 차이는 없는 것으로 확인되었다. 산미는 대조구(A)가 3.2로 나타났다 B가 3.3, C가 3.5, D가 3.8, E가 4.0으로 해동일수가 길어질수록 산미가 강하게 느껴진다고 답했다. 조직감의 경우 대조구(A)가 4.3으로 우수한 조직감을 가지고 있다고 답한 반면에, B가 4.0, C가 3.6, D가 2.8, E는 2.2점으로 해동 일수가 길어질수록 조직감이 나쁘다고 답했다. 이는 냉동변성 및 드립에 의해 수분이 유출되고, 단백질 변성에 의해 유성분 입자의 크기가 점차 증가함에 따른 것으로 판단된다. 전체적인 기호도는 해동 일수가 길어질수록 낮은 기호도를 보였다(A: 4.4, B: 4.2, C: 3.8, D: 3.0, E: 2.4). 냉동식품의 얼음 재결정화가 급속히 진행되면 섭취 시 입 안에서 모래를 씹는 느낌의 조직감을 느끼게 되고[26], 해동 시 드립 발생이 많은 것을 볼 수 있다[26]. 따라서 해동 일수가 길어질수록 낮은 기호도를 나타내는 것은 냉동 과정에서 유당 결정이 형성하는 사상(sandiness) 조직이 성장하기 때문으로 사료된다[27,28].

냉동식품의 외부는 냉풍으로 동결시키면서 내부는 전자파로 가열해 내부와 외부가 균일하게 해동 시키도록 개발된 “RF(radio frequency) 해동기술”을 적용하면 고유의 맛과 품질을 유지할 수 있을 뿐만 아니라, 대량의 제품을 단시간에 해동시킬 수 있어 상업적으로 이용가치가 충분할 것으로 판단된다. 그러나, 높은 운영 비용과 표면 과열의 단점도 있어 RF 해동설비 도입이 어려운 경우 냉장 상태에서 완만 해동을 하여 드립(drip)의 최소화 및 단백질을 비롯한 미네랄 성분 등의 변성을 방지하는 것이 반드시 필요하다. 또한, 식품을 냉동 보관 시 제품의 표면적을 넓혀 제품 심부와 외부의 온도

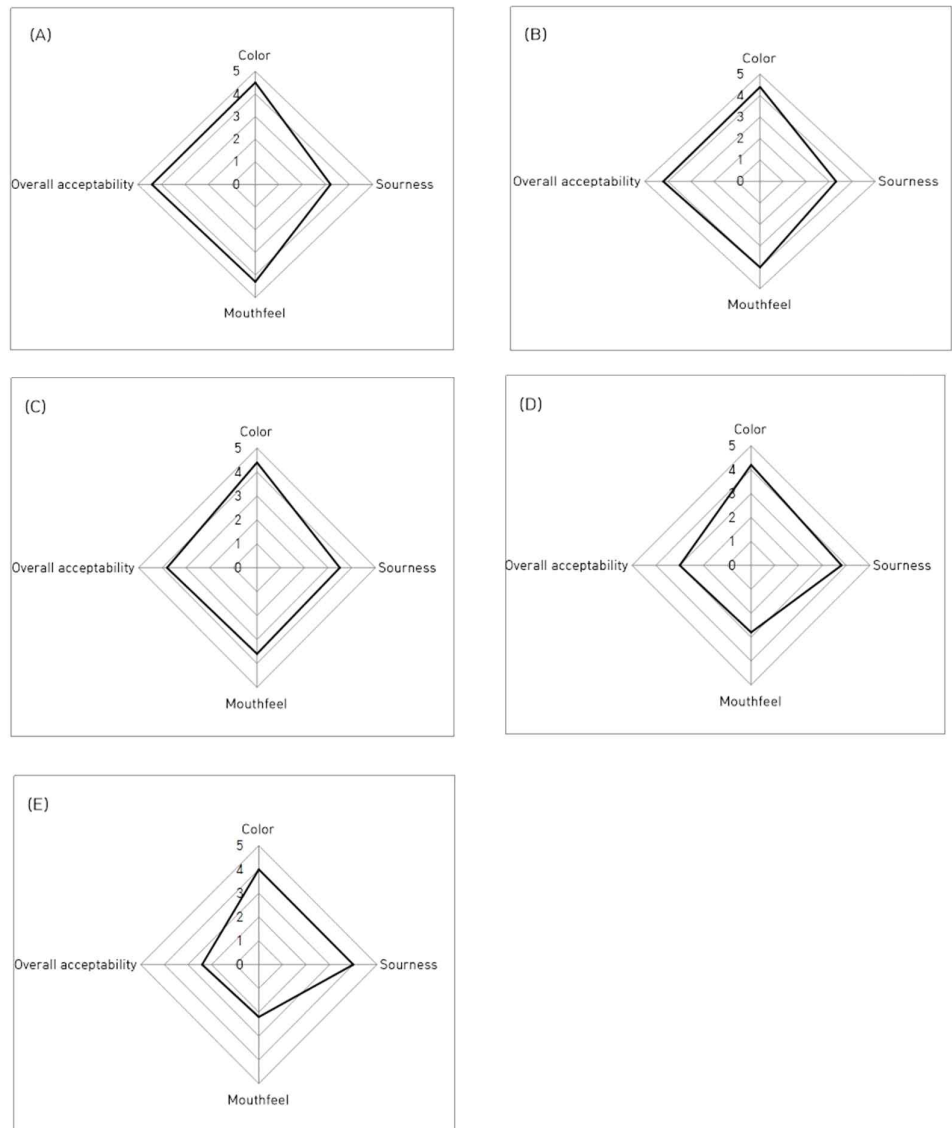


Fig. 8. Sensory evaluation of condensed skim milk after thawing at 20°C. A: condensed skim milk immediately after manufacturing. B: frozen condensed skim milk (-18°C). C: condensed skim milk on 1st day after thawing (20°C). D: condensed skim milk on 3rd day after thawing (20°C).

차가 발생되지 않게 해야 하며, 잦은 냉동창고 개방으로 인한 품질의 온도 변화 시 제품의 품질 저하가 예상된다. 따라서 전실 등을 설치하여 냉동창고 내부의 온도를 일정하게 유지시킨다면 냉동식품의 품질을 보존한 상태로 소비자에게 제공될 수 있을 것으로 기대된다.

요 약

탈지농축유 제품이 냉동과 해동 과정에서 발생하는 이화학 및 관능적인 품질변화에 대한 결과는 다음과 같다. 제조 즉시 탈지농축유와 냉동탈지농축유의 수분 변화는 거의 없었으나, 상온해동(20°C) 1일차부터 드립(drip) 현상에 따른 수분 손실 발생이 확인되었다. 냉동과 해동 과정을 거치면 얼음의 재결정화가 일어나 단백질의 변성을 초래하였으나 조단백질 함량(%)에는 유의적인 차이가 없었다.

탈지농축유의 최초 pH(6.45)는 냉동과 해동을 거듭할수록 감소하여 상온해동 7일차에서 5.00까지 감소됨을 확인하였다. 농축유의 점도는 제조 즉시 80 cps(21.5°C)에서 냉동 후 상온에서 해동일수가 경과함에 따라 0 cps(21.5°C)까지 감소하였다. 탈지농축유를 상온에서 해동 시 단단한 유성분 입자가 형성되었는데, 최초 0.128 mm였던 입자의 크기는 7일차에서 0.818 mm까지 점진적으로 커졌다. 해당 입자는 human skin(91.31%)>castor bean(86.26%)>zein, purified(84.78%) 순으로 유사도를 나타내어 단백질이 변성된 것을 확인할 수 있었다. 관능 평가 결과, 상온해동 일수가 경과한 시료 일수록 산미가 강하게 느껴지고 sandy texture에 의한 조직감이 나쁜 것으로 확인되어 냉동 및 해동 조건이 제품의 관능과 기호도에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 현상을 막기 위해서는 냉동보관온도를 일정하게 유지하고, 냉장상태에서 천천히 해동하여 조직손상과 드립 발생을 최소화하는 것이 필요한 것으로 사료된다.

Conflict of Interest

The authors declare no potential conflict of interest.

References

1. Food and Rural Affairs [FRA]. Production and consumption of milk and dairy products. Sejong, Korea: FRA; 2022.
2. MAFRA. Import and export trends and statistics of agricultural, forestry and fishery products. Sejong, Korea: Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs; 2022.
3. Tan R. Significance of lactose in dairy products. In: McSweeney PLH, Fox PF. Advanced Dairy Chemistry. Vol. 3, Lactose, water, salt and minor constituents. 3rd ed. New York, NY: Springer; 2009. p. 36.
4. Ministry of Food and Drug Safety [MFDS]. Food Code. Cheongju, Korea: MFDS. 2022.
5. Lee SJ. Effect of freeze-concentrated milk on improving physicochemical property and composition of nutrients [M.S. dissertation]. Seoul, Korea: Sejong University; 2006.
6. Teknotext AB. Dairy processing handbook. Lund, Sweden: Tetra Pak Processing Systems AB; 1995.
7. Lee SC, Chang KS, Park YD, Kang HA. Effect of drying method on rheological properties of milk powders. *Appl Biol Chem*. 1993;36:416-423.
8. Kwak HS. Development of quality milk and dairy products by freeze concentration. *Korean Dairy Technol*. 1996;14:185-193.
9. Park SY. Milk production and processing. Seoul, Korea: Yuhansa; 2003. p. 209-211.
10. Lee CM, Lim JY, Yun R. Investigation of MVR and TVR in chemical processes by using waste steam. *Korean J Air-Cond Refrig Eng*. 2015;27:201-206.
11. Kong JY, Kim JH, Kim MY, Bae SK. Effect of freezing conditions on the formation of ice crystals in food during freezing process. *J Korean Soc Food Nutr*. 1992;21: 213-218.
12. Park DH. Changes in physicochemical quality of various foods by freezing temperature and storage period [M.S. dissertation]. Seoul, Korea: Konkuk University; 2018.

13. Shin SK, Lee SW, Lee SJ, Joo NY, Choi NY. Food processing & preservation. Goyang, Korea: Powerbook. 2008. p. 98-108.
14. Noh BS, Kim SS, Jang PS, Lee HG, Park YJ, Song KM, et al. Food processing & preservation. Paju, Korea: Soohaksa. 2009. p. 36-39.
15. Berrill A, Biddlecombe J, Bracewell D. Product quality during manufacture and supply. In Van Der Walle CF, editor. Peptide and protein delivery. New York, NY: Academic Press; 2011. p. 313-339.
16. Cao E, Chen Y, Cui Z, Foster PR. Effect of freezing and thawing rates on denaturation of proteins in aqueous solutions. *Biotechnol Bioeng.* 2003;82:684-690.
17. Regand A, Douglas Goff H. Structure and ice recrystallization in frozen stabilized ice cream model systems. *Food Hydrocoll.* 2003;17:95-102.
18. Lee YC, Shin DB. Studies on preservation of concentrated milk by freeze - flow process. *Korean J Food Sci Technol.* 1985;17:500-505.
19. Debbarma L, Chandirasekaran V, Irshad A, Gopala S, Sureshkumar T. Effects of different thawing methods on the pH, water holding capacity, extract release volume and TBA value of broiler chicken under repeated freeze-thaw cycles. *Int J Curr Microbiol Appl Sci.* 2021;10:141-149.
20. Ali S, Zhang W, Rajput N, Khan MA, Li C, Zhou G. Effect of multiple freeze-thaw cycles on the quality of chicken breast meat. *Food Chem.* 2015;173:808-814.
21. Rahman MH, Hossain MM, Rahman SME, Hashem MA, Oh DH. Effect of repeated freeze-thaw cycles on beef quality and safety. *Food Sci Anim Resour.* 2014;34:482-495.
22. Hegedusic V, Herceg Z, Skreblin M, Rimac S. Freezing effects on the viscosity of dairy desserts. Texture of fermented milk products and dairy desserts. Proceedings of the IDF symposium. Brisel, Belgium: International Dairy Federation; 1998. p. 203-207.
23. Jeong JW, Jeong SW, Park KJ. Changes in internal pressure of frozen fruits by freezing methods. *Korean J Food Preserv.* 2003;10:459-465.
24. Yen CH, Lin YS, Tu CF. A novel method for separation of caseins from milk by phosphates precipitation. *Prep Biochem Biotechnol.* 2015;45:18-32.
25. Pyun YR, Ko SH, Min SC, Lee DY, Jung MS, Jo HW, et al. Essence food process engineering. Paju, Korea: Ji-gu. 2016. p. 549-551.
26. Li B, Sun DW. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods: a review. *J Food Eng.* 2002;54:175-182.
27. Laguna L, Rizo A, Pineda D, Pérez S, Gamero A, Tárrega A. Food matrix impact on oral structure breakdown and sandiness perception of semisolid systems including resistant starch. *Food Hydrocoll.* 2021;112:106376.
28. Nickerson TA. Lactose crystallization in ice cream. IV. Factors responsible for reduced incidence of sandiness. *J Dairy Sci.* 1962;45:354-359.