



유당분해율에 따른 저지방 유당분해우유의 품질 특성

정다혜 · 신용국 · 강신호*

서울우유협동조합 중앙연구소

Comparing the Quality Characteristics of Lactose-Hydrolyzed Low-Fat Milk

Da Hye Jeong, Yong Kook Shin, and Shin Ho Kang*

R&D Center, Seoul Dairy Cooperative, Ansan, Korea

Abstract

The market for lactose-hydrolyzed milk is growing due to an increased awareness of lactose intolerance, and increased market interest for modified milk with health claims. The aim of this study was to compare the quality characteristics of 2% lactose-hydrolyzed milk with its lactose hydrolysis rate, with the goal of applying the method to dairy product monitoring in the future. We observed that the freezing point of milk significantly decreased with increasing lactose hydrolysis rate. A linear relationship was found between lactose concentration and freezing point, following the equation ($y = -50.416x + 767.91$). However, no significant changes were observed in other physicochemical properties of the milk (pH, titratable acidity, total solids and color) ($p < 0.05$). In conclusion, we could predict the residual lactose content quickly and easily in 2% low fat milk by measuring its freezing point. This could represent an easy means for assessing the lactose hydrolysis rate of dairy products.

Keywords

lactose hydrolyzed milk, lactose hydrolysis rate, lactose, freezing point, quality characteristics

서론

유당이 장 세포 내에 흡수되기 위해서는 단당류인 포도당과 갈락토오스로 분해되어야 하는데, 이는 소장 세포 내에 존재하는 유당분해효소에 의해 분해가 이루어질 수 있다. 유당분해효소의 결핍 또는 활성 감소로 인해 유당의 분해가 일어나지 않으면, 소장에서 흡수되지 않은 유당이 대장에 도달하여 장내 미생물에 의해 가스를 형성해 복통, 설사, 속 부글거림 등의 유당불내증을 일으키게 된다(Messia *et al.*, 2007; Vandenplas, 2015). 유가공업계에서는 유당제거 혹은 유당분해 공정을 통해 제품에 적용하거나, 발효유, 치즈와 같은 유당 함량이 적거나 줄인 식품의 섭취를 권장함으로써 이 증상을 개선하고자 지속적인 노력을 하고 있다.

유당의 분해 정도를 측정하기 위해서는 여러 가지 방법이 있다. 전통적인 방법으로는 액체크로마토그래피법(Liquid chromatographic method), 효소적 방법(Enzymatic method), 편광계적 방법(Polarimetric method) 등이 있는데, 이는 유당함량을 측정할 때마다 숙련된 기술자와 분석 시간, 전처리, 실험기기와 시약 등을 필요로 한다(Nijpels *et al.*, 1980). Colinas 등(2006)의 연구에서는 유당 함량을

Received: February 23, 2017

Revised: March 22, 2017

Accepted: March 22, 2017

*Corresponding author :
Shin Ho Kang, Seoul Dairy
Cooperative, R&D Center,
Ansan, Korea.
Tel : +82-31-481-0110
Fax : +82-31-491-9179,
E-mail : shkang@seoulmilk.co.kr

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.

비교적 빠르고 쉽게 예측하고자 빙점 값을 통하여 유당 잔류량에 상응하는 상관 공식을 산출하여 경제적 측면에서 비용을 줄일 수 있는 방법을 고안하기도 하였다.

유당분해우유는 살균 방법 또는 저장 보관 중에 마일라드 반응, 단백질 분해, 가공 풍미, 산화취, 텍스처, 단맛 등에 영향을 받는다는 보고가 많으나, 주로 관능학적 품질에 초점을 맞춘 연구가 대부분이며, 유당분해율에 따른 저지방 우유의 이화학적 특성을 다룬 연구는 드문 실정이다(Adhikari *et al.*, 2010; Jansson *et al.*, 2014; Nielsen *et al.*, 2016).

따라서 본 연구에서는 저지방 유당분해우유의 분해 시간 정도에 따른 유당 함량과 빙점 값의 상관관계를 도출하여 유당 함량을 빠르고 쉽게 예측하고자 한다. 또한, 유당분해율에 따른 유당분해우유의 이화학적 특성을 비교하여 향후 락토프리 제품 개발에 적용할 수 있는 기초 데이터를 마련하고자 한다.

재료 및 방법

1. 저지방 유당분해우유의 제조

저지방 유당분해우유의 제조는 Fig. 1과 같다. 2% 표준화우유를 제조 후 유당분해효소(Ha-Lactase 5200, Chr Hansen, Denmark) 접종 전 75℃에서 15초간 살균 후 냉각하였다. 유당분해효소를 접종한 후(0.042%), 10℃ 항온기에서 교반기(Eurostar 20, IKA, Germany)로 1,000 rpm 조건 하에 교반하면서 유당을 분해하여 시간별로 샘플링한 후, 유당분해효소 불활성화 및 살균을 위해 98℃에서 10분 살균하였다. 냉각 후 10℃에서 16일간 보관하면서 실험에 사용하였다. 유당 분해 전 대조군 우유는 CM(Control milk), 분해 후 실험군 우유는 LHM(Lactose Hydrolyzed Milk)로 명명하였다.

2. 유당 함량 분석

유당 함량은 축산물 가공기준 및 성분규격에 등재된 당질 분석법을 토대로 분석하였다. 시료 3 g을 증류수 15 mL를 가하여 녹인 후, 아세토니트릴로 30 mL까지 정용하였다. 30분간 shanking water bath(SHWB45, Lab House, Korea)에서 균질한 후, 3,000 rpm으로 10분간 원심분리한 후 상등액을 0.45 μm 멤브레인 필터로 여과하여 HPLC(Shiseido, Japan)로 분석하였다. 다음 식에 의해 검사 시료 중 당의 함량(mg/100 g)을 산출하였다.

당함량(mg/100 g) =

$$S \times \frac{a \times b}{\text{검사시료채취량 (g)}} \times \frac{100}{1,000}$$

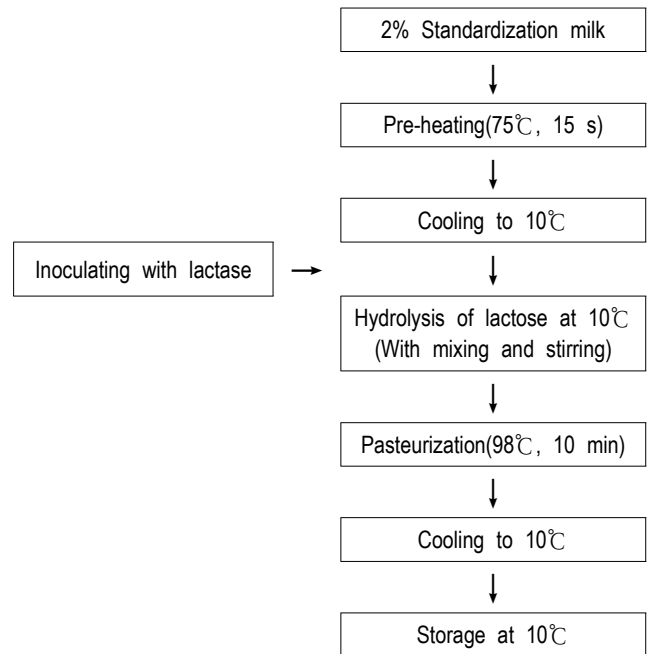


Fig. 1. Process for the manufacture of 2% lactose hydrolyzed low-fat milk.

S : 시험용액 중의 당질의 농도 (μg/mL)

a : 시험용액의 전량 (mL)

b : 희석배수

3. 빙점 측정

빙점은 균질화된 시료를 2.5 mL씩 시험관에 취하고 빙점측정기(Cryo Smart 20, Astort Tecnica, Italy)를 이용하여 3회 반복 측정하였다.

4. 유성분 함량 및 색도 측정

우유 성분 중 우유 단백질, 유지방, 무지유 고형분, 총 고형분은 밀코스캔(MilkoScan FT6000, FOSS Co., Denmark)을 사용하여 측정하였다. 모든 시료는 일정량 시험관에 취하여 항온수조 40℃에서 10분간 가온한 후 분석하였다. pH는 pH meter(ORION STAR A211, Thermo Scientific, Korea)를 사용하였고, 산도는 산도 적정기(848 Titrino PLUS, Metrohm, Swiss)를 사용하여 3회 반복 측정하였다. 색도는 colorimeter(ColorFlex45, Hunter Lab, USA)를 이용하여 명도(lightness, L^*), 적색도(redness, a^*) 및 황색도(yellowness, b^*)를 측정하였으며, 표준색판은 L^* 값이 0.09, a^* 값이 0.22, b^* 값이 -0.47이었다.



5. 입도 분석 측정

유당분해율에 따른 저지방 유당분해우유의 입자 분포의 변화가 있는지 확인을 위해 입도분석기(Mastersizer 3000, Malvern instrument, UK)를 이용하여 우유 샘플 100 μL를 취하여 분산시킨 후, 3회 반복하여 입자의 크기를 측정하였다.

6. 통계 분석

모든 자료의 통계 처리는 SAS package(Version 9.0, NC, USA)를 이용하였다. 각 실험군간의 유의성 검증을 위하여 ANOVA로 분산 분석을 하였으며, Tukey's test를 이용하여 사후검증을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 유당분해우유의 제조

유당분해우유는 다양한 공정에 의해 제조될 수 있는데, 일반적으로 멤브레인을 거쳐 유당을 제거하거나, 락타아제를 활용하여 유당을 분해하는 방법이 있다. 또한 분해 시점을 달리하여 살균 전(In batch) 또는 살균 후(In pack)에 락타아제를 첨가하여, 직접(Direct) 또는 간접(Indirect) 등 살균 방법을 달리하여 제조할 수도 있다. 그 외에도 유당의 분해는 효소 활성도, 분해 시간, 효소 첨가량, 온도 등에 영향을 받는다고 알려져 있다(Jansson, 2014; Troise *et al.*, 2016). 유당을 제거한 후 잔류하는 유당을 분해할 경우, 단당류에 의한 단맛은 줄어들 수 있지만, 멤브레인 필터와 같은 설비가 마련 되어 있어야 하는 단점이 있다. 유당을 효소로 분해할 경우, 단당류에 의한 단맛이 올라올 수 있지만, 경제적인 측면에서 물리적인 분해법보다 유리할 수 있다.

본 실험에서 2% 저지방 유당분해우유는 제조 공정 상 비용을 절감, 공정 단순화를 위하여 살균 전 효소를 첨가하여 유당을 분해 후 직접 살균하는 방식으로 적용하였다. 본 실험에 사용된 락타아제의 분해 최적 온도는 35~45℃에서 가장 높은 효소 활성도를 보이나 유당 분해조건을 10℃로 설정한 이유는 단시간에 유당을 분해하는 목적이 아닌 유당 잔류량에 따른 이화학적 특성을 비교하기 위함으므로,

장시간 동안 느리게 분해 가능한 냉장 온도로 설정하였다. 지방 4% 대의 전유(whole milk)를 활용한 락토프리우유가 아닌 2% 저지방 우유(Low-fat milk)로 설정하여 품질 특성을 알아보았다.

2. 유당 함량과 빙점 값의 상관 관계

시간별 유당분해 정도에 따른 유당분해우유의 유당 함량과 빙점 값의 결과는 Table 1과 같다. 대조군(CM)의 경우, 4.84 g/100 mL의 유당 함량과 -0.52℃의 빙점 값을 나타내었고, 락타아제에 의해 시간이 경과함에 따라 유당이 분해되면서, 실험군(LHM)의 유당 함량과 빙점 값이 떨어지는 것을 확인하였다. 항온기 10℃에서 12시간이 지난 이후에는 잔류하는 유당이 없었으며, 빙점 값은 -0.76℃까지 떨어졌다. 우유의 빙점은 우유의 가수 여부(Water intake)를 확인할 때 주로 쓰이는데, 계절적 요인, 사료, 집유 시간, 젖소의 종류, 샘플링 방법, 우유 성분 등 다양한 변수에 의해 영향을 받는다고 알려져 있다. 유당, 염류 그리고 칼슘, 칼륨, 마그네슘과 같은 수용성 성분이 우유의 빙점 저하에 부분적으로 관여한다고 보고된 바 있으며, 특히 유당과 염이 우유의 빙점에 기여하는 중요한 요인이 된다고 하였다(Henno *et al.*, 2008; Shipe, 1959). Antunes 등(2014)의 연구에 의하면, 우유 성분 중 유당이 분해되었을 때 유리 분자(Free molecules)의 수가 실질적으로 증가하고, 우유 내의 수용성 성분(Soluble substances)의 수가 높아지면 우유의 빙점이 낮아진다는 결과를 볼 때, 빙점 값의 저하가 유당 분해에 큰 영향을 받은 것으로 사료된다.

Colinas 등(2006)의 연구에서 빙점 측정법(Cryoscopic method)과 전통적인 유당 측정 방법인 효소적 방법과 편광계적 방법을 비교하였을 때 유당 함량과 빙점 값 사이에서 상당한 상관 관계를 나타낸 반면, 우유 성분 중 지방과 단백질은 영향이 적다고 하였다. 또한, 빙점 측정법의 장점으로 유당 분해 정도를 쉽게 모니터링할 수 있으며, 생산 과정에서도 빠르게 통제할 수 있다고 하였다. 이를 토대로 액체크로마토그래피법으로 분석한 유당 함량과 빙점 값의 상관 관계를 살펴볼 때, $y = -50.416x + 767.91 (R^2 = 0.9866)$ 의 유의성이 높은 공식을 유추하였으며, Colinas 등(2006)의 문헌에서

Table 1. Lactose and freezing point data of lactose hydrolyzed milk at 10℃

Samples	CM ¹⁾	LHM-3H ²⁾	LHM-6H	LHM-9H	LHM-12H	LHM-16H
Lactose content (g/100 mL)	4.84 ^{ab3)}	2.20 ^b	1.48 ^c	0.95 ^d	0 ^e	0 ^e
Freezing point value (℃)	-0.52 ^a	-0.65 ^b	-0.71 ^c	-0.73 ^c	-0.76 ^d	-0.76 ^d

¹⁾ CM means control milk

²⁾ LHM-3H means lactose hydrolyzed milk for 3 hours.

³⁾ Values in different letters among milk samples in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

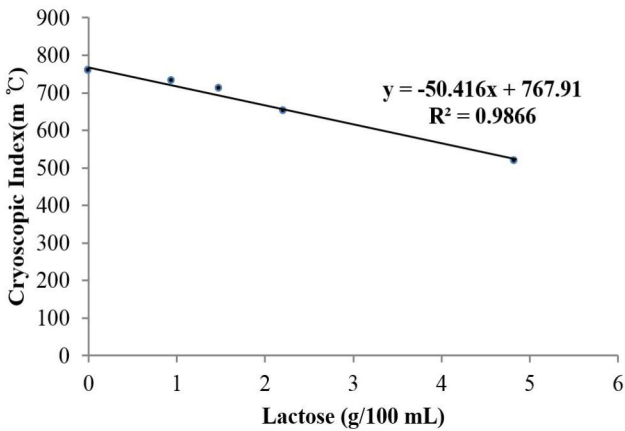


Fig. 2. Cryoscopic index in terms of lactose concentration measured by HPLC.

제시한 $y = -50.42x + 762.82 (R^2 = 0.9947)$ 보다 R^2 값은 낮지만 유사한 경향을 보임을 확인하였다(Fig. 2). 이 때 x 값은 유당 함량 (g/100 mL), y 값은 빙점 값(m °C)을 나타낸다.

따라서, 향후 유당분해우유의 제조 공정 표준화시 락타아제 함량, 온도, 시간에 따라 유당 함량과 빙점 값의 상관 관계를 초기에 확립해 놓는다면, 향후 빙점 측정만으로도 제조 공정 중에 유당 잔류량을 쉽고 빠르게 예측할 수 있을 것으로 보인다.

3. 유당분해 정도에 따른 유당분해우유의 이화학적 특성

저지방 유당분해우유의 유성분 함량의 결과는 Table 2와 같다. 유지방 함량은 2% 표준화우로 제조하였으므로, 모든 샘플이 2.13~2.43% 범위로 나타났고, 단백질 함량은 3.21~3.29%, 무지유고형

분(SNF)은 7.24~7.38%, 총 고형분(TS) 함량 9.38~9.75%로 샘플 간 유의적인 차이가 없었다. pH 값은 CM이 6.1로 가장 낮은 값을 보였으나, 샘플 간의 유의적인 차이는 없었으며, 산도 값도 샘플간 유사한 값을 나타내었다($p < 0.05$).

Henno 등(2008)의 연구에 의하면, 유지방 4% 대의 총 130두 원유의 빙점 평균 값이 -0.5257°C 로 나타난 반면, 본 실험에서의 유지방 2% CM도 평균 -0.52°C 로 유사한 값을 나타내었다. 앞서 언급하였듯이, 유지방은 빙점 저하에(Cryoscopic reduction) 유의적인 영향을 주지 않는다는 연구와 같았다(Colinas et al., 2006). 향후 빙점 값에 영향을 미치는 요인에 대해서는 좀 더 연구가 필요할 것으로 사료된다.

유당분해율에 따른 저지방우유의 색도 측정값은 Table 3과 같다. L값과 a값은 유당분해율에 따라 각각 62.62~63.91, (-1.09)~(-0.83)의 범위를 보였으나, 샘플 간의 유의 차는 없었다. b값은 유당분해율이 증가할수록 다소 높아지는 경향을 보였으나, 4.35~4.94의 범위로 샘플간 유의 차는 없었다. 유당분해우유를 장기간 보관한 경우에는 대조군에 비해 색도 변화가 큰 것으로 보고되었는데, 특히 단당류인 포도당과 갈락토오스 증가로 가열처리 공정 상 또는 보관 중에 furosine 함량이 증가함과 동시에 마이라드 반응에 의한 멜라노이딘 형성, 갈변화(Browning) 등에 영향을 받았다고 하였다. 하지만 대부분의 연구가 90일 이상의 장기간 보관 중 샘플을 비교하였으므로, 본 실험에서는 유사한 결과를 볼 수 없었다(Tossavainen, 2012; Jansson, 2014).

입도 분석 결과는 Table 4와 같다. 유성분 입자의 크기를 명확하게 비교하기 위하여 유당분해율에 따른 유지방 4% 유당분해우유를 비교군으로 함께 측정하였다. 입도 분석 결과 유지방 4%와 2% 샘플

Table 2. Physicochemical characteristics of lactose hydrolyzed milk samples

Samples	Fat (%)	Protein (%)	SNF ³⁾ (%)	TS ⁴⁾ (%)	pH	TA ⁵⁾ (%)
CM ¹⁾	2.26	3.29	7.38	9.65	6.61	0.125
LHM-3H ²⁾	2.13	3.22	7.25	9.38	6.63	0.125
LHM-6H	2.17	3.26	7.24	9.41	6.63	0.126
LHM-9H	2.43	3.28	7.32	9.75	6.67	0.125
LHM-12H	2.16	3.27	7.26	9.43	6.68	0.122
LHM-16H	2.20	3.21	7.37	9.44	6.64	0.125

¹⁾ CM means control milk.
²⁾ LHM-3H means lactose hydrolyzed milk for 3 hours.
³⁾ SNF means solid-non fat.
⁴⁾ TS means total solids.
⁵⁾ TA means titratable acidity.



Table 3. Hunter color value of lactose hydrolyzed milk samples

Samples	CM ¹⁾	LHM-3H ²⁾	LHM-6H	LHM-9H	LHM-12H	LHM-16H
L (Lightness)	63.29	63.23	63.45	62.62	63.88	63.91
a (Redness)	- 0.92	- 0.88	- 0.92	- 1.09	- 0.69	- 0.83
b (Yellowness)	4.56	4.35	4.52	4.69	4.82	4.94

¹⁾ CM means control milk.

²⁾ LHM-3H means lactose hydrolyzed milk for 3 hours.

Table 4. Particle size distribution of lactose hydrolyzed milk in different lactose hydrolyzed rate

Samples	Particle diameter (μm)		
	D ₁₀ ¹⁾	D ₅₀	D ₉₀
4% CM ²⁾	0.030 ^c	0.236 ^c	2.060 ^c
4% LHM-3H ³⁾	0.029 ^d	0.236 ^c	1.726 ^e
4% LHM-6H	0.029 ^d	0.214 ^c	1.818 ^d
4% LHM-9H	0.029 ^d	0.214 ^c	1.826 ^d
4% LHM-12H	0.032 ^b	0.285 ^b	2.160 ^b
4% LHM-16H	0.034 ^a	0.311 ^a	2.226 ^a
2% CM	0.027 ^{ef}	0.152 ^d	1.492 ^g
2% LHM-3H	0.030 ^c	0.235 ^c	1.348 ^h
2% LHM-6H	0.026 ^{fg}	0.133 ^d	1.136 ⁱ
2% LHM-9H	0.026 ^g	0.135 ^d	1.146 ⁱ
2% LHM-12H	0.027 ^{ef}	0.154 ^d	1.652 ^f
2% LHM-16H	0.027 ^e	0.156 ^d	1.666 ^f

¹⁾ D represents the diameter of particles, and D₁₀ means a cumulative 10% point of diameter (or 10% pass particle size); D₁₀ is also called average particle size or median diameter.

²⁾ 4% CM means control milk with 4% milk fat.

³⁾ 4% LHM-3H means lactose hydrolyzed milk for 3 hours with 4% milk fat.

⁴⁾ Values in different letters among milk samples in the same column are significantly different ($p < 0.05$).

의 D₁₀ 값은 각각 0.029~0.034 μm , 0.026~0.030 μm , D₅₀ 값은 각각 0.214~0.311 μm , 0.133~0.235 μm 범위로 전반적으로 4% 유지방균이 2% 유지방균에 비해 입자 크기가 유의적으로 높게 나타났으나, 유당분해율에 따른 일정한 경향은 보이지 않았다. D₉₀ 값도 각각 1.726~2.226 μm , 1.136~1.666 μm 범위로 4% 유지방균이 2% 유지방균에 비해 입자 크기가 유의적으로 높게 나타났으며, 직경(Diameter)이 최대 약 1.95배까지 차이가 나기도 하였다. 단, 유당분해율에 따른 입자 크기의 변화는 뚜렷한 경향을 보이지 않았다($p < 0.05$). 우유 입자를 측정할 때엔 본래의 유지방구를

작은 입자로 쪼개어 직경을 줄일 필요가 있는데, 그 이유는 큰 유지방 입자는 빛을 분산시키는 정도가 증가하여 우유의 지방, 단백질, 유당 함량을 측정하는데 방해할 수 있기 때문이다(Marzo *et al.*, 2016). 본래 우유 내 지방은 직경이 0.1~20 μm (평균 3~4 μm)인 구의 형태로 존재하며, 우유를 적당한 온도로 가열할 때 저온글로불린(Cryoglobulin)이 비가역적으로 변성되어 우유의 크리밍이 지연되고, 균질(Homogenization)에 의해 지방구의 직경은 1 μm 이하로 감소된다고 하였다(전 등, 2007). 본 실험에서도 가열 처리 및 균질 과정에 의해 크리밍을 줄이고, 지방구를 쪼개었으며, 입도

분석 결과, D_{90} 값이 $1 \mu\text{m}$ 보다 다소 큰 $1.136\sim 1.666 \mu\text{m}$ 범위임을 확인하였다. Kelly(2003)의 문헌에서는 유당 입자 크기는 $1\sim 9 \text{ nm}$ 로 언급하였고, Pisponen 등(2016)의 연구에 의하면 유당 수용액의 평균 입자 크기는 $0.9\sim 3.5 \text{ nm}$ 로 다양하며, 수용액의 농도와 온도에 따라 피크의 위치가 변한다고 하였다. 유당의 농도가 증가하거나, 온도가 낮아질수록 평균 입자 크기가 증가하고, $10\sim 40\%$ 의 유당 수용액은 약 $2\sim 25$ 개의 분자가 응집하여 평균 입자 크기가 $1.18\sim 2.46 \text{ nm}$ 로 나타났다고 하였다. 따라서, 본 실험에서는 유지방 함량 변화 외에 유당 함량이 변화하는 정도를 관찰할 수 없었으며, 마이크로 입자가 아닌 나노 입자를 측정하는 데에 한계가 있었다.

요약

본 연구에서는 유당분해율에 따른 저지방우유의 이화학적 특성을 비교해 보고자 하였으며, 유당 함량과 빙점 값의 상관 공식을 도출하여 유당분해 제조공정상 유당분해 정도를 쉽고 빠르게 예측하고자 하였다. 우유의 빙점은 특히 유당 함량과 염류와 같은 미네랄의 변화에 따라 큰 영향을 받는다고 알려져 있는데, 본 실험에서도 10°C 에서 시간이 경과함에 따라 유당이 서서히 분해되고 빙점 값도 함께 떨어짐을 확인하였다. 따라서, $y = -50.416x + 767.91$ ($R^2 = 0.9866$, x 값은 유당함량($\text{g}/100 \text{ mL}$), y 값은 빙점 값(m°C))과 같은 상관식을 도출하였다. 단, 유당분해우유의 제조공정, 분해조건, 원유의 특성에 따라 다소 차이는 있을 수 있으나, 공정 표준화된 제품에는 쉽게 적용할 수 있을 것으로 보인다. 유당분해우유는 살균 방법 또는 장기간 저장 중에 마일라드 반응, 갈변화, 풍미 등에 영향을 받는다고 알려져 있으나, 이화학적 특성 분석 결과에서 유당분해율에 따른 샘플 간의 우유 단백질, 유지방, 무지유 고형분, 총 고형분, pH, 산도 값에 유의 차는 없었다($p < 0.05$). 또한, 색도 값과 입자 크기에서도 유당분해율에 따른 샘플 간 다소 차이는 있으나, 뚜렷한 경향은 보이지 않았다. 단, 유지방 함량에 따른 입자 크기는 유의적인 차이를 보였다($p < 0.05$). 본 연구에서는 유당분해율에 따른 저지방우유의 품질 특성을 파악할 때, 장기간 보관 중의 이화학적 변화를 살펴볼 수 없었는데 한계가 있다. 따라서, 향후 유당분해우유 품질에 영향을 줄 수 있는 요인인 저장 기간을 달리한 이화학적 특성을 살펴 제품에 다양하게 적용할 수 있는 방안을 모색하면 좋을 것으로 사료된다.

References

1. Adhikari, C., Dooley, L. M., Chambers, IV, E. and

- Bhumiratana, N. 2010. Sensory characteristics of commercial lactose-free milks manufactured in the united states. *J. Food Science and Tech.* 43(1):113-118.
2. Antunes, A. E. C., Silva e Alves, A. T., Gallina, D. A., Trento, F. K. H. S., Zacarchenco, P. B., Van Dender, A. G. F., Moreno, I., Ormenese, R. C. S. C. and Spadoti, L. M. 2014. Development and shelf-life determination of pasteurized, microfiltered, lactose hydrolyzed skim milk. *J. Dairy Sci.* 97(9):5337-5344.
3. Colinas, C., Barrera, I. and Blanco, C. A. 2006. A novel correlation for rapid lactose determination in milk by a cryoscopic technique. *J. AOAC International.* 89(6): 1581-1584.
4. Henno, M., Ots, M., Joudu, I., Kaart, T. and Kart, O. 2008. Factors affecting the freezing point stability of milk from individual cows. *International Dairy Journal.* 18:210-215.
5. Jansson, T. 2014. Chemical changes and off-flavor development in lactose-hydrolyzed UHT milk during storage. Aarhus University. Denmark. pp. 16.
6. Jansson, T., Jensen, S., Eggers, N., Clausen, M. R., Larsen, L. B., Ray, C., Sundgren, A., Andersen, H. J. and Bertram, H. C. 2014. Volatile component profiles of conventional and lactose-hydrolyzed UHT milk—a dynamic headspace gas chromatography-mass spectrometry study. *J. Dairy Sci. Technol.* 94:311-325.
7. Kelly, P. M. 2003. Membrane separation edited by Roginski, H., Fuquay, J. W. and Fox, P. F. *Encyclopaedia of dairy science.* Academic Press. Netherlands. pp. 1777-1786.
8. Marzo, M. D., Cree, P. and Barbano, D. M. 2016. Prediction of fat globule particle size in homogenized milk using fourier transform mid-infrared spectra. *J. Dairy Sci.* 99(11):8549-8560.
9. Messia, M. C., Candigliota, T. and Marconi, E. 2007. Assessment of quality and technological characterization of lactose-hydrolyzed milk. *Food Chemistry.* 104:910-917
10. Nielsen, S. D., Jansson, T., Le, T. T., Jensen, S., Eggers, N., Rauh, V., Sundekilde, U. K., Sorensen, J., Andersen, H. J., Bertram, H. C. and Larsen, L. B. 2016. Correlation between sensory properties and peptides derived



- from hydrolysed-lactose UHT milk during storage. *International Dairy Journal*. In press. 1-9.
11. Nijpels, H. H., Evers, P. H., Novak, G. and RAMET, J. P. 1980. Application of cryoscopy for the measurement of enzymatic hydrolysis of lactose. *J. Food Sci.* 45: 1684-1687.
 12. Pisponen, A., Moostse, H., Poikalainen, V., Kaartm T., Maran U. and Karus, A. 2016. Effects of temperature and concentration on particle size in a lactose solution using dynamic light scattering analysis. *International Dairy Journal*. 61:205-210.
 13. Shipe, W. F. 1959. The freezing point of milk. A review 1. *J. Dairy Sci.* 42(11):1745-1762.
 14. Tossavainen, O. and Kallioinen, H. 2008. Effect of lactose hydrolysis on furosine and available lysine in UHT skim milk. *Milchwissenschaft*. 63(1):22-26.
 15. Troise, A. D., Bandini, E., Donno, R. D., Meijer, G., Trezzi, M. and Fogliano, V. 2016. The quality of low lactose milk is affected by the side proteolytic activity of the lactase used in the production process. *Food Research International*. 89(1):514-525.
 16. Vandenplas, Y. 2015. Lactose intolerance. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* 24:S9-S13.
 17. 전우민 외 7인. 2007. 우유와 유제품의 생화학. 라이프사이언스. pp. 297-301.