



우유의 가열 및 비가열 살균 기술에 관한 연구 동향

박중근¹ · 이여진¹ · 윤준용² · 엄애선^{1*}

¹한양대학교 생활과학대학 식품영양전공, ²한양대학교 공학대학 기계공학전공

Impact of Thermal and Nonthermal Technologies in Milk Processing

Jung Geun Park¹, Yeo Jin Lee¹, Joon Yong Yoon² and Ae Son Om^{1*}

¹Dept. of Food & Nutrition, College of Human Ecology, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

²Dept. of Mechanical Engineering, Hanyang University, Ansan 15588, Korea

Abstract

Milk is a food with high nutritional value as it contains abundant water, proteins, vitamins, lactose, fat, minerals, enzymes, etc. However, in order to make milk suitable for intake, it should be thermally treated to eliminate microbiologically hazardous factors. Heat treatment is an essential sanitation process for milk, but various precautions must be taken in order to process and preserve it. Therefore, various techniques should be developed to minimize the nutrient loss and to ensure that milk is safe for consumption, conservation, and distribution. However, the existing thermal pasteurization methods are harmful and increase the nutrient loss; moreover, no new thermal pasteurization methods are being researched that are safe for the human health and minimize the nutrient loss. Hence, this study aims to review new processes for thermal (low temperatures) and no thermal pasteurization methods that can minimize the nutrient loss during milk pasteurization.

Keywords: pasteurization, thermally treated milk, thermal sterilization, nonthermal sterilization

서 론

우유는 단일 식품 중 수분(87%), 유당(4~5%), 단백질(3%), 지방(3~4%), 미네랄(0.8%), 그리고 비타민(0.1%) 등의 영양소가 골고루 함유되어 있어 영양학적으로 매우 우수한 식품이다(Pereira, 2014). 특히 국민 1인당 하루 평균 칼슘 섭취량이 권장섭취량의 70.0% 정도에 불과한 우리나라에서 우유는 칼슘의 좋은 급원 식품이다(엄 등, 2014). 하지만 우유는 원유의 살균과 제조 공정 그리고 포장 및 유통과정에서 부주의로 인한 2차 오염을 통해 식중독이 발생할 수 있다. 따라서 원유는 음용을 위해 반드시 병원성 미생물의 사멸과 유해효소를 불활성화 시키는 가열살균과정을 필요로 한다(In and Jung, 2001). 또한 우유의 열처리공정은 체내에서 우유를 소화하는데 장

애를 일으키는 효소들을 불활성화 시켜 사람이 섭취하기에 알맞은 상태로 만드는 효과도 있다(Kim *et al.*, 1990). 우유를 살균하기 위한 열처리 방법은 일반적으로 Low Temperature Long Time(LTLT), High Temperature Short Time(HTST), Ultra High Temperature(UHT) 방법이 주로 이용되고 있으며, 우리나라에서는 1980년대부터 대부분 유통과정상 보존성이 좋은 UHT 방법을 이용하고 있다(Kwon *et al.*, 1998). 하지만 원유를 가열 살균하는 과정에서 주요 영양소들의 이화학적 변화가 나타나고, 영양성분의 손실이 함께 야기된다(Lee and Joung, 2012). 또한 유청단백질이 열에 의해 변성되며, casein micelle의 변화가 나타나고, 유청단백질과 casein의 복합체가 형성되며, Maillard 반응에 따른 갈변화 반응 등 우유의 품질에 영향을 미치게 된다(In and Jung, 2001). 이에 따라 원유 내 병원성 미생물을 사멸시킴으로써 식품으로서 보건상 위해가 되지 않고, 주요 영양소들의 손실을 최소화 할 수 있는 살균방법에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 특히 열처리를 통한 가열살균

* Corresponding author: Ae Son Om, Dept. of Food & Nutrition, College of Human Ecology, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea. Tel: +82-2-2220-1203, Fax: +82-2-2220-1856, E-mail: aesonom@hanyang.ac.kr

방법 외에 열처리 없이 살균이 가능한 UV(Ultraviolet), 초음파, HPP(High Pressure Processing), PEF(Pulsed Electric Fields) 등의 비가열살균방법들이 연구되고 있다. 비가열 살균은 식품의 관능과 영양소 손실에 큰 변화 없이 병원성 미생물을 비활성화시킬 수 있는 장점이 있다. 하지만 기존의 UHT 살균방법을 단독으로 대체할 수 있는 효과적인 살균법에 대한 해결책을 찾지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 우유의 전통적인 살균 방식부터 현재 연구되고 있는 가열 및 비가열 살균 방법들을 살펴보고, 우유의 품질 변화를 최소화 할 수 있는 새로운 우유의 살균 방식을 정리하고자 한다.

본 론

1. 우유 가열살균의 역사

오늘날 우유의 가열살균은 Louis Pasteur(1822~1895)의 저온 살균법으로부터 비롯되었다. 1880년부터 분유(어린이 우유)에 감염의 위험을 줄이기 위해 대략 60~75°C 정도의 온도를 지속적으로 열처리하기 시작했으며, 10년 후 IDF(국제낙농연합회)는 다음과 같이 살균을 정의했다. “살균이란 제품에 최소한의 화학적·물리적·관능적 변화를 가져오도록 병원성 미생물에 대해 열처리를 함으로써 건강에 위해가 될 가능성을 최소화하기 위한 목적으로 제품에 적용하는 과정이다.”(Kang and Shin, 2014). 이후 살균에 관한 연구가 꾸준히 진행되었으며, 1912년 130~140°C에서 살균과정을 거치는 초고온 순간살균법이 개발되었다. 1927년에 고온살균법(HTST)이 등장했고, 직접 UHT 법이 개발되면서 실용화에 들어갔다. 초기에는 110°C에서 1~2분 처리하였으나, 그 이후 150°C에서 0.5초로 발전하였다. 1952년경부터 순간살균법이라고도 하는 고온단시간살균법(HTST 법)이 일본에 도입되기 시작했으며, 스위스에서 직접 UHT 처리 시스템(150°C, 2.4초)을 개발하면서 최초의 상업적 멸균우유가 생산되었다. 우리나라에서는 1974년에 멸균우유가 최초로 생산되었다(박승용, 2003).

2. 가열살균

가열살균방법은 원유 속 미생물의 단백질 및 핵산을 열에너지에 이용하여 변성(Depronization)시키거나 분해시켜, 영양세포의 사멸을 유도하는 살균방법(Prescott *et al.*, 2005)으로, 식품의 제조 및 유통과정에서 성장할 수 있는 포자균과 생균이 생육하지 못하도록 설계된다(Codex Alimentarius, 2003). 우유의 열처리로 인해 향미, 색, 점도, 저장성 등에 있어 유용한 측면도 있으나, 고온에서 일어나는 많은 화학변화는 바람직하지 않은 측면도 있다(Park and Hong, 1989). 우유의 가열처리에 의한 탄수화물의 변화는 우유의 색과 맛, 향기 등의 변화에 관련된 것이 많으나, 이들의 변화를 일으키는 일련의

과정은 갈변화 현상이라 하는 Maillard 반응에 의한 변화가 대부분이다(In and Jung, 2001). 비타민의 경우, 지용성 비타민인 A, D, E 등은 우유의 가열 살균 또는 멸균 시 열에 의한 손실은 큰 차이가 없는 것으로 알려져 있다(Scott *et al.*, 1984; Porter and Thompson, 1969). 수용성 비타민인 Thiamine, Riboflavin, 비타민 B₁₂ 등은 지용성 비타민에 비해 그 손실율이 큰 것으로 알려져 있으며, 그 중 비타민 C가 가장 크고, 저온 살균과정에서 약 10~25%, UHT 처리 과정에서는 25% 혹은 그 이상의 손실이 일어나는 것으로 보고되고 있다(Lee, 1996). 기존의 가열살균 방법은 열 교환기(heat exchanger) 내에서 우유가 높은 온도에서 반복적으로 노출되기 때문에, 우유의 구성요소 중 열 충격(thermal shock)에 불안정한 단백질과 미네랄이 가열기 내부에 부착물을 형성하여 2차 오염을 일으킬 수 있는 단점이 있다(Lyster, 1970; Nema and Datta, 2006). 이에 따라 최근 기존 가열살균의 단점을 보완할 수 있는 가열살균방법이 꾸준히 연구되고 있으며, 본 장에서는 기존 가열 살균방법과 새로운 가열살균방법을 정리하고자 한다.

1) 저온장시간 살균법(LTLT; Low Temperature Long Time)

LTLT 공법은 Holding Pasteurization이라 하며, 일반적으로 batch식의 살균장치를 사용하여 중간에 열수 또는 증기를 통하는 것에 의하여 우유를 63~65°C에서 30분간 가열 살균하는 방법이다(Jung *et al.*, 2001). 국내 저온살균우유는 1,475 M의 긴 라인을 통해 원유의 살균공법이 진행되는데, 1,475 M의 원통형 관의 입구로 들어간 원유는 온도 및 라인 속 원유의 속도를 제어하는 자동센서에 의해 30분 동안 63°C의 온도가 정확하게 유지된 채 출구로 배출되어 제품화된다. Fig. 1과 같이 저온살균공법으로 열처리를 할 경우, 유청단백질의 성분이 18% 내외로 변형이 이뤄졌으나, 72°C에서 15초간 살균하는 HTST 공법을 이용할 경우, 33.3% 이상의 변형, 135°C 이

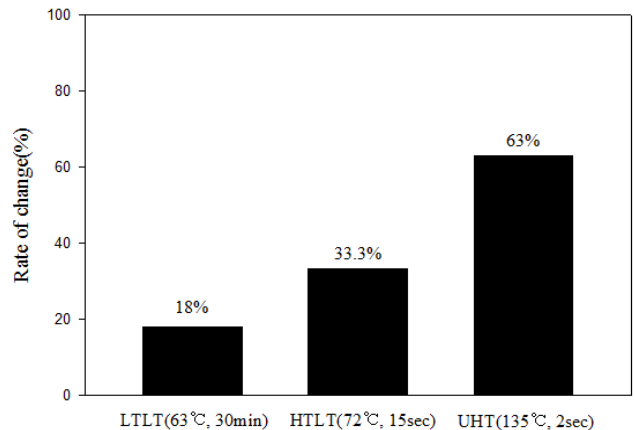


Fig. 1. Changes of whey protein contents of milk by each thermal sterilization. Source: 이순자 (1991)

상에서 2초 이상 살균하는 UHT 공법을 이용할 경우, 63% 이상의 변형이 일어난다(이순자, 1991). LTLT 공법을 이용할 경우, 다른 가열처리 방법보다 비교적 낮은 온도에서 처리되기 때문에 영양소의 손실이 적은 장점이 있다. 하지만 저온에서 살균하기 때문에 인체에 위해가 될 수 있는 균만 선별하여 사멸하고, 인간에게 유익한 균만 남게 되므로 장기간 보존이 불가능하여 유통기한이 8일 정도로 짧은 단점이 있다. 이에 따라 LTLT 공법으로 만들어지는 원유는 국내 원유의 위생등급기준 중 1급A등급의 세균 수 3만 미만보다 까다로운 세균 수 8천 미만으로 관리된다(식품의약품안전처고시, 2014). 하지만 LTLT 공법은 다른 살균 방법에 비하여 처리 시간이 길고 살균효과가 적어 최근에는 점차 사용이 줄어들고 있다(In and Jung, 2001).

2) 고온단시간 살균법(HTST; High Temperature Short Time)

HTST 공법은 LTLT 공법에 비해 식중독을 유발하는 병원성 미생물의 효과적인 살균을 주요 목적으로 개발된 방법이며, UHT에 비해 영양소 파괴가 적어 현재까지 전 세계적으로 널리 활용되고 있다. HTST 공법은 우유를 연속적으로 열교환기를 통과시켜 72~75°C의 온도에서 15~16초 가량 단시간에 가열시키기 때문에 다량의 우유를 연속적으로 가열 살균할 수 있는 장점이 있다(In and Jung, 2001). 하지만 LTLT 공법에 비해 가열처리에 따른 영양소의 파괴 및 제품의 신선도 저하 등이 단점으로 제시되고 있으며, 이를 보완하기 위해 여러 연구가 수행 중에 있다. 특히, HTST 공법은 판상식 열교환기(plate heat exchanger) 내에서 외부 증기와 액상식품 간의 열 교환을 통한 간접 가열방식을 이용하는 방법으로서, 열 전달 촉진을 위한 판 내부에 주름(corrugation)이 많은 구조를 갖고 있어, 열 교환기의 표면온도에 의해 판 표면에 부착물(fouling)이 형성될 수 있다. 이 부착물에 의하여 열 교환기 성능 저하 및 판 내부의 과열로 인하여 비타민, 미네랄 등 열에 약한 성분을 손상시키며, 부착된 물질이 분해되면서 식중독균 번식은 물론 가열취가 발생하는 등 2차 오염을 유발할 수 있다. 특히 우유의 경우, 열에 민감하기 때문에 열 교환기 표면에 부착물이 형성되기 쉬운 단점이 있다.

3) 초고온 처리법(UHT; Ultra High Temperature Treatment)

우유는 고온에서 장시간 처리 시 단백질과 같은 특정 성분이 화학적 반응을 통해 갈변화 반응 및 품질 변화를 초래한다. 또한 열에 민감한 단백질과 미네랄과 같은 성분들이 가열기 내부에 부착물을 형성하게 된다. 이러한 퇴적물들은 가열기 표면에서 미생물의 부착을 촉진할 뿐만 아니라, 미생물에 영양분을 제공하게 된다(Milly *et al.*, 2008). 이와 같은 문제는 높은 온도에서 짧은 시간 처리함으로써 결함을 보완할 수

있다. 따라서 원유 내 병원성 미생물의 영양세포 사멸 및 포자를 파괴함과 동시에 우유의 영양성분 손실을 최소화 할 수 있도록 온도 및 시간을 맞추는 것이 중요하다. UHT 공법은 130~150°C에서 0.5~2초간 멸균 처리하는 방법으로 높은 온도에서 짧은 시간 가열 처리함으로써 바람직하지 않은 영양소 파괴와 화학적 변화를 극소화하면서 우유의 미생물을 완전히 사멸할 수 있다는 장점이 있다. UHT 공법은 미생물을 99.9% 이상 사멸시키는 멸균(sterilization), 그리고 미생물의 대부분을 사멸시키는 살균(pasteurization)의 두 종류로 구분된다. 현재는 거의 대부분의 유가공 공장에서 UHT 방법을 사용하고 있다(In and Jung, 2001).

4) 수력학적 공동현상(Hydrodynamic Cavitation)

수력학적 공동현상(hydrodynamic cavitation)이란 펌프, 터빈, 오리피스 및 밸브 등의 유체기계에서 유체의 국소절대압력(local absolute pressure)이 순간적으로 포화증기압(saturated vapor pressure) 이하로 내려가서 기포(bubble)가 발생하는 현상 또는 발생한 기포의 압력이 포화증기압 이상으로 회복됨에 따라 붕괴(collapse)하게 되는데, 이러한 기포의 발생, 성장, 소멸의 과정을 공동현상이라고 한다(Young, 1999). 즉, 일정한 온도에서 순간적인 압력강하로 임계압력 이하까지 떨어지면서 기포가 발생하고, 발생한 기포가 폭발적인 증기화가 이루어지는 것이 공동현상이라 하며, 이는 온도를 충분히 올려주어 기포가 계속적으로 만들어지는 비등(boiling)과는 구분된다(Franc and Michel, 2003). 수력학적 공동현상으로 인해 발생하는 순간적인 압력은 1,300~7,150 MPa 정도이며, 발생한 기포가 성장하며 붕괴되는 시점에서 발생하는 에너지의 밀도는 $1\sim 10^{18} \text{ k W/m}^3$ 정도이며, 이 때 수 천배의 압력과 수 천 K(Kelvin)의 온도가 국부적으로 발생하고, 이 에너지는 충격파(shock wave)의 형태로 주변에 전달된다(Vogel *et al.*, 1996; Gogate *et al.*, 2006). Kwon and Yoon(2013)은 회전체를 이용하여 수력학적 공동현상을 이용한 발열장치(heat generator)에 대하여 실험적으로 연구한 결과, 공동현상에 의한 열 발생량(heat generation rate)은 입구압력과 Rotor 회전속도에 의하여 영향을 받는 것을 보고하였다. 회전속도 3,300 r/min, 입구압력 2 bar일 때, 90%의 최대 열효율을 보였다. 일반적으로 발열을 이용한 살균장치는 약 75% 정도의 열효율을 나타내고 있으며, 고효율의 발열장치에 대한 개발이 지속적으로 이루어지고 있다. Milly 등(2008)은 탈지 우유에 P.A. 3679 Spores를 접종시켜 수력학적 공동현상을 이용하여 살균 성능과 에너지 효율에 대하여 연구한 결과, 수력학적 공동현상을 이용한 살균 장치는 최소한의 살균 공정으로 기존의 살균 장치보다 높은 치사율을 보이며, 에너지 효율이 향상되고 밝혔다. 또한 수력학적 공동현상 장치는 대용량 상업적인

목적으로 적용하기 가능하며, 에너지 효율이 최대 84%로 나타난다고 보고하고 있다. 하지만 실제 규모의 공정에 적용하기 위해서는 대량생산을 위한 구조조정, 살균 직후 냉각처리 및 저장탱크로 옮겨지는 과정 등의 몇 가지의 문제점을 갖고 있어, 식품 살균 공정에 당장 적용하기가 어려우므로 추가 연구가 필요한 실정이다.

3. 비가열 살균

우유에 대한 열처리는 긴 시간 동안 보존 및 유지하기 위해 적용되는 저장 기술로서, 미생물 및 효소의 불활성화에 높은 효율로 가장 널리 사용되는 방법이다. 그러나 우유 원재료는 열에 민감하고, 열처리 중에 영양소가 손실될 수 있다. 한편, 원재료의 영양소를 그대로 함유하는 식품에 대한 소비자의 수요가 증가하고 있으며, 이에 따라 최소 가공기술로서 비열가공기술의 개발에 대한 필요성이 야기되고 있다. 본 장에서는 비열가공기술의 이론 및 우유 살균에 적용시킨 예를 정리하고자 한다.

1) 초음파 살균법(Ultrasonic)

초음파는 인간의 청각 한계(20 Hz~20 kHz)를 넘는 음파로 구성되어 있다. 동조 주파수에 의해 초음파는 식품을 포함한 다양한 산업분야에 이용될 수 있다. 초음파를 이용하여 식품 내 미생물 및 효소의 비활성화 시키는 방법은 비가열 살균방법 중의 하나로서, 초음파 살균의 주목적은 처리시간을 줄이고, 에너지 절약, 식품의 저장 수명 및 품질을 향상시키는 것이다(Chemat *et al.*, 2011). 초음파 살균의 원리는 강한 초음파가 수중에 전달될 때 부압(negative pressure)이 걸리는 시점에서 공동현상(cavitation)이 반복적으로 발생하게 되며, 그 내부는 진공으로 되어 있기 때문에 붕괴 시 약 5,000°C, 1,000기압의 초임계 반응장의 조건이 생성되고, 경계면에서는 약 2,000°C의 고온과 강한 충격파가 형성되는데, 이때의 충격파에 의해 살균효과를 갖게 된다(Lee *et al.*, 2013). 2010년도까지 연구된 초음파에 대한 고찰은 살균의 목적으로 단독으로 사용하는 것은 효과가 없으며, 다른 살균 방법과 병행하여 사용하면 효과가 있다고 보고되었다(Park *et al.*, 2010; Jeong *et al.*, 1999). 하지만 최근 초음파 살균 연구 결과, 탈지우유 내 *Anoxybacillus flavithermus*를 초음파 살균을 통해 초음파 처리 전 4.80 log CFU/mL에서 초음파를 단독으로 10분간 처리 시 약 80%의 감소를 보였다. 또한 우유를 54°C와 60°C로 가온한 후 배양된 *E. coli*을 접종하여 초음파 처리 결과, *E. coli*의 100% 살균이 가능하며, 2 L/min, 3 L/min 그리고 5 L/min으로 처리유량을 달리 실험한 결과, 처리유량이 증가함에 따라 살균효과가 감소한다고 보고하였으며, 초음파 처리가 영양소에 미치는 영향을 알아보기 위해 우유를 54°C와 60°C로 가온

한 후 초음파 처리 전 후 결과를 비교했을 때 초음파에 의한 아미노산의 특이한 성분변화가 나타나지 않았으며, 초음파가 영양소 파괴에 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다(Lee *et al.*, 2010).

2) HPP(High Pressure Processing)

초고압처리법(high pressure processing)은 비열가공(non-thermal process) 기술로서 액체 또는 고체 식품을 포장하거나 포장하지 않은 상태로 100~1,000 Mpa의 정수압(hydrostatic pressure)의 압력을 처리하는 기술이다(Lee *et al.*, 2014). 우유에 고압처리 시 물리적 특성이 변한다는 연구는 1899년 Hite에 의해 식품가공에 처음 시도되었으나(Hite, 1899), HPP 처리가 우유의 고분자 성분에 미치는 효과에 대한 세부적인 연구는 비교적 근래에 연구가 시작되었다(Trujillo *et al.*, 2002). 초고압은 식품의 조리, 가공, 보존에 있어서 열처리와 비교되는데, 기존의 열처리가 단백질의 변성, 단백질의 응집, 화학적 변화, 효소의 불활성화, 살균, 기생충의 사멸 등에 영향을 미치는 반면, 초고압은 열처리의 장점을 유지하고, Maillard reaction, 비타민의 파괴, 천연적 맛의 손실과 같은 열처리에서 유발되는 화학적 변화를 최소화한다는 점에서 차이가 있다(Park *et al.*, 2010). HPP는 식품의 맛, 향, 영양성분에 변화를 주지 않으면서 미생물을 사멸시키고, 효소를 불활성화시켜 효소의 작용에 의한 쓴맛, 냄새의 발생을 억제하는 첨단가공기술로서, 모든 공정이 비가열처리 되는 것이 특징이다(He *et al.*, 2006). 우유의 가열살균은 단백질 3차 구조를 파괴시켜 단백질의 변성을 야기하며, 이로 인해 우유의 영양소 파괴 및 인체, 특히 신생아에게 알레르기를 유발하는 문제가 보고되어 왔다(Isolauri and Turjanmaa, 1996). 하지만 HPP 처리 시 시중에 판매되고 있는 LTLT, HTST 그리고 UHT와 같은 가열살균 우유에 비해 단백질 변성이 약하게 일어난다(Lee *et al.*, 2014). 또한 HPP는 우유에 존재하는 3대 식품 병원균인 *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7과 *Salmonella*를 불활성화시킨다고 보고되고 있다(Vachon *et al.*, 2002). 일반적으로 그람 양성세균은 그람 음성세균에 비해 압력에 저항이 더 크다. 예를 들어 그람 양성세균은 300~400 MPa의 압력으로 25°C에서 10분간 처리 시 불활성화되는 반면, 그람 양성세균은 같은 온도와 시간 조건에서 500~600 MPa의 압력이 필요하다(Rekha *et al.*, 2011). HPP 처리 우유의 경우, 비타민 및 무기질의 함량 변화는 상대적으로 낮은 반면, protease, lipase 및 alkaline phosphatase와 같은 우유 효소는 불활성화시키는 특징이 있다.

3) PEF(Pulsed Electric Fields)

고전압 펄스 전기장(PEF)은 식품의 조직에 큰 변화 없이

매우 짧은 시간(μs ~ ms) 내에 세포막의 투과성의 증가를 유도하는 기술이다(Won, 2015). PEF는 생물학적 세포의 투과성을 이용한 식품산업에 사용된다. 세포 투과를 위한 전압 또는 전기장의 필요량은 세포의 종류와 투과도의 정도에 달려 있다(Kang and Shin, 2014). 미생물의 세포는 불활성화되기 위해서 2.5~3.5 kV/mm가 필요한데, 세포가 식물이나 동물세포일 경우, 자기장은 10배 정도 약해질 수 있다. 투과성과 미생물의 불활성화가 저장목적으로 사용되며, 다른 종류의 세포의 투과성은 대개 추출과 같은 공정에 의해 조정된다(Lelieveld *et al.*, 2007). 한편, 우유 1 L를 살균하는데 가열살균으로는 약 300 KJ 정도의 에너지가 필요한데, PEF에 의한 살균에서는 500~1,000 J의 에너지가 소비되어 에너지 효율적 면에서도 이점을 가지고 있다(Zhang *et al.* 1995a; Zhang *et al.*, 1995b). PEF의 미생물 감소에 따른 연구 결과가 지속적으로 보고되고 있다. 우유 내 *Listeria innocua*의 살균 효과를 관찰한 결과, 3 pulses, 40 kV, 초기온도 53°C의 조건에서 *Listeria innocua*가 4.3 log 감소했으며(Guerrero-Beltrán *et al.*, 2010), UHT 처리 우유에 *Escherichia coli*, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus stearothermophilus*를 접종시켜 PEF 처리한 결과, 60 kV/cm, 50°C, 210 μs 의 조건에서 *Escherichia coli*, *Pseudomonas fluorescens*가 8 log reduction을 나타냈으며, *Bacillus cereus stearothermophilus*는 3 log reduction을 나타냈다(Shin *et al.*, 2007). 또한 PEF 처리에 의한 우유 단백질과 물리화학적 특성의 변화를 확인하기 위해 원유, 탈지유, HTST, LTLT, UHT 우유를 PEF 처리하여 SDS-PAGE로 확인한 결과, PEF 처리에 의한 우유 단백질의 변성은 없는 것으로 보고되고 있다(Lee *et al.*, 2013).

결 론

종래의 원유 가공은 사람이 우유를 식품으로서 음용할 수 있도록 인체에 위해가 될 수 있는 병원성 미생물의 사멸과 유효효소 불활성화 등의 위생적인 면에 초점이 맞추어져 왔다. 하지만 근래에는 위생적으로 안정성이 보장될 뿐만 아니라, 열처리에 의한 영양소의 손실을 고려하면서 환경적인 면

에서 에너지 절감을 위한 우유 살균기술이 지속적으로 연구되고 있다. 이러한 기술로 Table 1과 같이 수력학적 공동현상, 초음파, 초고압 처리, 고전압 펄스 전기장 등의 살균 기술들이 있으며, 점차 진보되고 있다. 하지만 상업적으로 기존 가열처리를 통한 우유 살균을 단독적으로 대체하기에는 대량생산을 위한 구조조정, 살균 직후 냉각처리 및 저장탱크로 옮겨지는 과정 등의 시스템 수정 및 공정을 개선할 필요가 있다. 또한 상용화 단계까지 유통기한 연장, 효소 불활성화, 단백질 변성 유무 등에 대한 연구가 부족한 실정이어서 추가적인 연구가 필요하다.

감사의 글

본 논문은 농림축산식품부 농림수산기술기획평가원의 고부가가치식품기술개발사업(관리번호 313045-3 ‘직접 가열을 통한 우유류의 고효율 살균장비개발’ 과제지원에 의하여 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Chemat, F., Huma, Z. and Khan, M. K. 2011. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry* 18:813-835.
2. Codex Alimentarius. 2003. Report of the thirty-fourth session of the Codex Committee on Food Hygiene, Orlando, FL. Appendix III. Proposed draft of Code of Hygienic Practice for Milk and Milk Products.
3. Franc, J. P. and Michel, J. M. 2003. Fundamentals of cavitation, Kluwer Academic Publishers, London.
4. Gogate, P. R., Tayal, R. K. and Pandit, A. B. 2006. Cavitation: A technology on the horizon. *Current Science* 91: 35-46.
5. Guerrero-Beltrán, J. Á., Sepulveda, D. R., Góngora-Nieto, M. M., Barry, S., Barbosa-Cánovas, G. V. 2010. Milk thermization

Table 1. Compare the pros and cons of each pasteurization

	LTLT	HTST	UHT	Hydrodynamic cavitation	Ultrasonic	High pressure processing	Pulsed electric fields
Spore sterilization	×	×	○	×	×	×	×
Vegetative cell sterilization	○	○	○	○	○	○	○
Shelf life extension	×	○	○	- ¹⁾	×	×	×
Enzyme inactivation	○	○	○	-	○	○	○
Protein denaturation	○	○	○	-	×	×	×

¹⁾ -: No studies.

- by pulsed electric fields (PEF) and electrically induced heat. *Journal of Food Engineering* 100:56-60.
6. He, H., Adams, R. M., Farkas, D. F. and Morrissey, M. T. 2006. Use of high-pressure processing for oyster shucking and shelf-life extension. *J. Food Sci.* 67:640-645.
 7. Hite, B. H. 1899. The effects of pressure in the preservation of milk. *West Virginia Agric. Exp. Sta. Bull.* 58:15-35.
 8. In, Y. M. and Jung, I. K. 2001. A review on the change of physicochemical quality during heating of milk. *J. Korean Dairy Technol. Sci.* 19:13-21.
 9. Isolauri, E. and Turjanmaa, K. 1996. Combined skin prick and patch testing enhances identification of food allergy in infants with atopic dermatitis. *J. Allergy Clin. Immunol.* 97:9-15.
 10. Jeong, S. G., In, Y. M., Park, B. Y., Yoo, Y. M., Kim, J. H., Cho, S. H., Lee, J. M. and Kim, Y. K. 1999. Studies on the effects of ultrasonication treatment on the physicochemical quality of raw milk. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* 19:346-351.
 11. Jung, S. C., Kim, K. H., Chung, M. E., Kim, S. I., Byun, S. K., Lee, D. S., Jeong, S. K., Park, S. W., Jun, K. S., Jun, K. S., Lee, K. H., Cho, N. I., Lee, H. G. and Kim, O. K. 2001. A study on the quality changes of the LTLT and HTST treated milk by storage conditions. *Kor. J. Vet. Publ. Hlth.* 25:221-227.
 12. Kang, S. H. and Shin, Y. K. 2014. Recent research on and development of thermal and pulsed electric field systems for pasteurization of milk and milk products. *Korean J. Dairy Sci. Technol.* 32:31-36.
 13. Kim, K. S., Park, D. J., Yu, H., Yoon, Y. C. and Kim, Y. K. 1990. Changes of city milk components by the heat treatment. *Korean J. Dairy Sci.* 12:190-195.
 14. Kwon, S. H., Ahn, J. J. and Kwak, H. S. 1998. Quality changes in various heat-treated market milks during storage. *Korean Dairy Technol.* 16:90-97.
 15. Kwon, W. C. and Yoon, J. Y. 2013. Experimental study of a cavitation heat generator. *Proc. IMechE Part E: J. Process Mechanical Engineering* 227:67-73.
 16. Lee, C. J. and Joung, H. J. 2012. Milk intake is associated with metabolic syndrome - Using data from the Korea national health and nutrition examination survey. *Korean J. Community Nutr.* 17:795-804.
 17. Lee, H. H., Kim, G. and Park, Y. S. 2013. Changes of proteins and physicochemical properties of cow's milk by high voltage pulsed electric field treatment. *Food Eng. Prog.* 17:251-258.
 18. Lee, J. E., Choi, E. J., Park, S. Y., Jeon, G. Y., Jang, J. Y., Oh, Y. J., Lim, S. K., Kim, T. W., Lee, J. H., Park, H. W., Kim, H. J., Jeon, J. T. and Choi, H. J. 2014. Effects of high pressure treatment on the microbiological and chemical properties of milk. *Korean J. Microbiol. Biotechnol.* 42:267-274.
 19. Lee, Y. L., Kim, H. S. and Baek, M. H. 2013. Research on ultrasonic sterilization effect of treatment equipments. *KSMTE.* 22:818-823.
 20. Lee, K. H. 1996. Lactulose content and availability of calcium and ascorbic acid of the commercial milk products in Korean market. *J. Nutrition and Health* 29:1042-1048.
 21. Lyster, R. L. J. 1970. The denaturation of α -lactalbumin and β -globulin in heated milk. *J. Dairy Res.* 37:233-243.
 22. Milly, P. J., Toledo, R. T., Kerr, W. L. and Armstead, D. 2008. Hydrodynamic cavitation: Characterization of a novel design with energy considerations for the inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* in apple juice. *Journal of Food Science* 73:M298M303.
 23. Nema, P. K. and Datta, A. K. 2006. Comparative study of heat induced fouling of various types of milk flowing over a heated metal surface. *Int J. Food Eng.* 2: Iss. 3, Article 9.
 24. Park, J. Y., Na, S. Y. and Lee, Y. J. 2010. Present and future of non-thermal food processing technology. *Korean J. Food Sci. Technol. Food Science and Industry.* 43:2-20.
 25. Park, Y. H. and Hong, Y. H. 1989. HMF (5-Hydroxymethylfurfural) content in domestic market milks. *Korean J. Dairy Sci.* 11:265-272.
 26. Pereira, P. C. 2014. Milk nutritional composition and its role in human health. *Nutrition* 30:619-627.
 27. Porter, J. W. G. and Thompson, S. Y. 1969. The effect of heat treatment on the nutritive quality of liquid milk, with particular reference to UHT processes. *Dochema-Monogr* 63:233-241.
 28. Prescott, L. M., Harley, J. P. and Klein, D. A. 2005. *Microbiology*, pp. 122-125, 6th Edition, Chap 6. The growth of microorganisms, Lifescience.
 29. Rekha Chawla, Girdhari Ramdass Patil and Ashish Kumar Singh. 2011. High hydrostatic pressure technology in dairy processing: a review. *J. Food Sci. Technol.* 48:260-268.
 30. Scott, J. K., Bishop, D. R., Zechalko, A. and Edwards-

- Webb, J. D. 1984. Nutrition content of liquid milk, I. Vitamin A, D, C and of the B-complex in pasteurized bulk liquid milk. *J. Dairy Res.* 51:37-50.
31. Shin, J. K., Jung, K. J., Pyun, Y. R. and Chung, M. S. 2007. Application of pulsed electric fields with square wave pulse to milk inoculated with *E. coli*, *P. fluorescens*, and *B. stearothermophilus*. *Food Sci. Biotechnol.* 16:1082-1084.
32. Trujillo, A. J., Capellas, M., Saldo, J., Gervilla, R. and Guamis, B. 2002. Applications of high-hydrostatic pressure on milk and dairy products: a review, *Innov. Food Sci. Emerg.* 3: 295-307.
33. Vachon, J. F., Kheadr, E. E., Giasson, J., Paquin, P. and Fliss, I. 2002. Inactivation of food-borne pathogens in milk using dynamic high pressure. *J. Food Prot.* 65:345-352.
34. Vogel, A., Busch, S. and Parlitz, U. 1996. Shock wave emission and cavitation bubble generation by picosecond and nanosecond optical breakdown in water. *J. Acoust. Soc. Am.* 100:148-165.
35. Won, Y. C. 2015. Effects of pulsed electric fields on accelerated drying of red pepper. Master dissertation, Chung-Ang University, Korea.
36. Young, F. R. 1999. "Cavitation," London, U.K., Imperial College Press, pp. 418.
37. Zhang, Q., Barbosa-Canovas, G. and Swanson, B. G. 1995a. Inactivation of *E. coli* for food pasteurization by high intensity short duration pulsed electric fields. *J. Food Proc. Preserv.* 19:103-118.
38. Zhang, Q., Barbosa-Canovas, G. and Swanson, B. G. 1995b. Engineering aspects of pulsed electric field pasteurization. *J. Food Eng.* 25:268-281.
39. 박승용. 2003. 우유생산과 가공, 유한문화사, 서울, pp. 171.
40. 식품의약품안전처고시 제2014-120호. 원유의 위생등급 기준, 2014. 05. 30.
41. 엄애선, 우혜임, 이여진. 2014. 학술논문 7: 군대급식에서 우유의 영양보충효과에 대한 고찰. *군사논단* 79:241-265.
42. 이순자. 1991. 열처리한 우유중 성분변화에 관한 연구. *서강정보대학교 논문집.* 10:311-320.

Received 16 September, 2015

Revised 22 September, 2015

Accepted 25 September, 2015