



## 우유 및 유제품의 열처리 및 펄스 전기장 살균 최근 연구 개발 동향

강 신 호\* · 신 용 국  
서울우유 중앙연구소

### Recent Research on and Development of Thermal and Pulsed Electric Field Systems for Pasteurization of Milk and Milk Products

Shin-Ho Kang\* and Yong Kook Shin

*R & D Center, Seoul Dairy Cooperative, Ansan 425-839, Korea*

#### Abstract

Thermal pasteurization has been effectively used for decades as a method to extend the shelf life of milk and to inactivate any pathogenic bacteria that it may contain; however, it can negatively affect the nutritional properties of milk. In recent years, the food industry has sought new, less aggressive technologies that affect food freshness and its nutritive and health benefits less significantly. Various means have been used to extend the shelf life of dairy foods, such as high-pressure processing, irradiation, ohmic heating, and pulsed electric field (PEF) technologies. Of these, PEF technologies are potential alternatives to traditional thermal milk pasteurization, owing to their advantages in minimizing sensory and nutritional damage. In this review, we have primarily focused on the feasibility of applying PEF technologies to the sterilization of dairy products and briefly discussed whether they should be adopted for use in the dairy beverage industry in the future.

Keywords: Non-thermal pasteurization, dairy industry, shelf life, PEF

#### 서 론

우유는 세균 증식에 있어 중요한 단백질, 탄수화물, 비타민, 무기질, 수분 등을 골고루 함유하고 있어 미생물의 성장에 이상적인 배양조건을 가지고 있다. 우유를 포함한 식품을 생산하는 대부분의 공정은 이들 세균의 제거를 위해 가열처리를 이용하기 때문에, 불가피하게도 영양성분 및 향미의 손실 및 관능의 변화를 낳게 된다. 이러한 문제로 인해 식품업계에서는 가열공정을 대체할 수 있는 가공 공정의 개발에 관심을 기울이고 있다. 최근 들어 열처리 공정을 대체 또는 보완하면서 고품질의 제품을 생산할 수 있는 비가열공정(non-thermal processing)에 대한 관심이 크게 증가하고 있으며, 이에 대한 활발한 연구가 진행되고 있다. 아직

까지는 기존의 살균 방법인 UHT를 단독으로 대체할 수 있는 효과적인 신 살균법에 관한 뚜렷한 해결책을 찾지 못하고 있는 실정이다. 하지만 기존 열처리에 의한 살균을 최소화하고 병합 또는 보조적 살균수단으로서 비열처리 기술을 적용하는 방안은 우리가 원하는 영양성분을 유지하면서 유통기한까지도 연장할 수 있는 두 가지 관점에서 매력적으로 여겨진다.

본고에서는 가열처리 살균의 도입과 진보, 다양한 비열처리 기술 중 최근 활발히 연구되고 있는 펄스전기장을 활용한 전기적 비 가열 기술에 대한 우유 및 유제품 적용 최근 연구에 대해 집중적으로 논하고자 한다.

#### 본 론

##### 1. 전통적인 우유 가열살균법의 역사

우유의 열처리 또는 살균은 Louis Pasteur(1822~1895)로

\* Corresponding author: Shin-Ho Kang, R & D Center, Seoul Dairy Cooperative, Ansan 425-838, Korea. Tel: +82-31-491-3867, Fax: +82-31-491-9179, E-mail: shkang@seoulmilk.co.kr

부터 비롯되었다. 1864년 파스퇴르는 와인을 60°C에서 열처리함으로써 미생물을 파괴하여 비정상적인 발효를 막을 수 있었다. 1880년부터 분유(어린이 우유)에 감염의 위험을 줄이기 위해 대략 60~75°C 정도의 온도를 지속적으로 열처리하기 시작했다. 10년 후 IDF(국제 낙농 연합회)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.” 오늘날, 유가공업에 적용되는 기본적 열처리는 다음과 같이 요약할 수 있다. 주지하는 바와 같이 현재 우리나라에서 이용되는 일반적인 열처리에 의한 우유의 살균 방법으로는 저온 장시간 살균법(LTLT: Low Temperature Long Time, 63~65°C, 30분), 고온 단시간 살균법(HTST: High Temperature Short Time, 72~75°C, 15~20초) 및 초고온 순간 살균법(UHT: Ultra High Temperature, 130~150°C, 0.5~5초) 등이 있다(식품의약품안전처, 2014).

살균은 제품에 열을 가하고 밀폐된 탱크를 잠그고 batch operation을 하거나 열교환 장치에서 열을 가하여 계속적으로 작동시킨 후 적절한 시간 동안 holding tube로 처리하는 것이다. 상업적으로 살균된 제품을 얻기 위한 충분한 열처리 공정은 *Clostridium botulinum*을 완벽하게 제거시키고, 식품이 제조되고 유통되어 저장하는 동안 완전한 포장상태에서 성장할 수 있는 포자균과 살아있는 미생물이 없도록 설계된다(Codex Alimentarius, 2003). 완제품의 품질에 대한 열처리의 영향은 적용 온도와 시간의 조합에 따라 달라진다. Heat-induced 반응은 제품 품질에 영향을 줄 뿐 아니라, 우유 성분에 특별한 반응을 일으켜 장비의 내벽에 침착이 생기는 현상이 발생되기도 한다(Britz and Robinson, 2008).

## 2. ESL, ISI 등 진보된 가열살균처리 기술의 도입

국제적으로 Extended shelf-life(ESL) 우유의 정의를 허용하는 규정은 없다. 일반적으로 ESL우유는 냉장상태로 보관시에 살균된 우유보다 길게 품질유지 기한을 유지하는 제품으로 정의한다. ESL 기술은 모든 차가운 액상 식품에 적용된다. 예를 들어 백색우유, 가공유와 발효된 제품, 크림, 후식용 유제품, 두유음료, 아이스 티, 커피 등을 포함한다(Te Giffel *et al.*, 2005).

전 세계적으로 유가공업의 합병 등으로 인해 공장 수는 적어지고, 유통망은 넓어지는 결과를 낳았다. 그러므로 유통체인의 확장되면서 유통기한을 며칠 늘리는 것은 유가공회사와 소매점에 중요한 이익을 주는 착안점이 되었다. 게다가 연장된 유통기한은 고객이 요구하는 안전하고 균일한 품질을 가진 유제품에 대해 영양학적 가치가 있는 첨가제

를 투입할 수 있도록 새로운 기회를 열었다.

ESL은 포장 시스템과 유통을 결합함으로써 완벽한 시스템으로서 접근하는 것이다. ESL 기술은 냉각된 액상 우유에 대한 주요 유성분을 예측하는 온도-시간 구간 기록의 최적의 결과이다. 게다가 몇 가지의 부가적인 기술로 초기 포자균의 수를 줄일 수 있는 방법이 소개되었다. 그러나 ESL의 중요점은 위생이다. 살균하는 다른 과정의 해결책이나 보완책을 이용하면서 생산환경에서 발생하는 포자균과 병원성 미생물의 재 오염을 줄이고, 개선된 충전기를 사용하는 것은 생산품의 질을 향상시키고, 유통기한을 확장시키는 것이 가능하다. 변형된 열처리, 열처리와 microfiltration의 결합은 냉장유제품의 유통기한을 확장시키는데 적용하는 두 가지 중요한 기술이다. 생산자는 또한 미생물의 초기 레벨을 줄이기 위해 bactofugation을 사용하여 유통기한을 며칠 연장할 수 있다. 예를 들면 네덜란드에서는 신선우유의 유통기한 연장을 위해 사용하고 있으며, 이런 ESL 액상 제품의 전형적인 유통기한은 7°C에서 15~25일 저장할 수 있다고 한다.

혁신적 스팀 주입(Innovative Steam Injection; ISI) 기술은 현존하는 UHT 처리를 기본으로 하지만, 150~200°C에서 0.1초 미만의 매우 짧은 시간과 높은 온도가 결합되어 있다(Huijs *et al.*, 2004). 이 기술은 진공 vessel에서 가열처리부터 냉각까지 처리되는데, ISI 기술의 비용은 일반적인 UHT 과정보다 약 10% 정도 높고, 일반적으로 사용되는 ESL 제품에서 사용되는 것과 microfiltration 같은 대안적인 기술보다는 덜 비싸다(Fig. 1). ISI를 사용함으로써, 열 저항성이 있는 포자균을 상당량 비활성화시킴으로써 중요 성분의 활성을 유지할 수 있도록 한다. ISI 처리 우유는 예열을 하게 되면, 냉각된 상태의 60일 이상 더 길게 유통기한을 유지할 수 있다고 알려져 있다(Britz and Robinson, 2008).

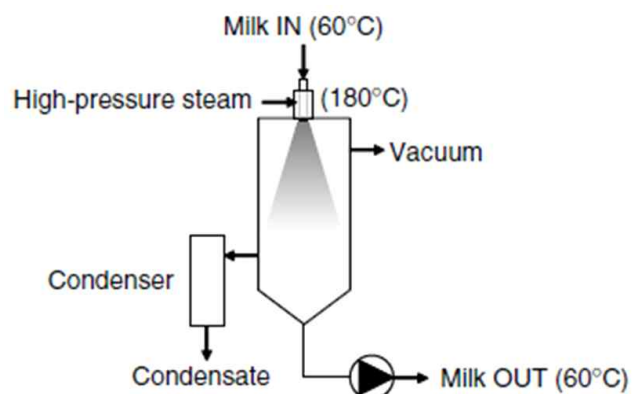


Fig. 1. Schematic overview of the ISI heater (Britz and Robinson, 2008).

### 3. 펄스 전기장 기술(Pulsed Electric Fields; PEF)의 도입

새로운 기술이 공장에 새로 도입되면 많은 불확실성에 직면하게 되는데, 예를 들면 품질의 적합성, 신기술에 대한 소비자의 수용 정도, 기술의 신뢰성, 그리고 투자비용과 운용비 등이 그것이다. PEF는 생물학적 세포의 투과성을 이용한 식품산업에 사용된다. 세포 투과를 위한 전압 또는 전기장의 필요량은 세포의 종류와 투과도의 정도에 달려 있다. 미생물의 세포는 불활성화되기 위해서는 2.5~3.5 kV/mm가 필요한데, 세포가 식물이나 동물세포일 경우 자기장은 10 배 정도 약해질 수 있다. 투과성과 미생물의 불활성화가 저장목적으로 사용되며, 다른 종류의 세포의 투과성은 대개 추출과 같은 공정에 의해 조정된다(Lelieveld *et al.*, 2007).

CODEX의 우유 위생관련 규범 부록 B에는 electromagnetic energy treatment는 microwave energy, radio-frequency energy, high electric field pulses를 보조적 살균수단으로 명시하고 있다. PEF의 경우, 세포막에 전기적 충격이 세포벽의 구멍을 형성하여 세포를 파괴하는 방법이라고 기술되어 있다. 또한 가열살균(HTST, LTLT, UHT)은 특정 온도와 시간으로 처리하는 것 또는 그에 해당하는 살균효과를 가지는 방법이라고 명시되어 있다(CAC/RCP 57, 2004).

PEF는 비가열 살균 기술로서 HTST보다 현저히 낮은 온도에서 살균이 진행되기 때문에 영양성분의 변화를 최소화할 수 있는 살균 공정이다. 때문에 HTST 또는 LTLT 처리와 PEF 살균을 병행할 경우, UHT 살균 공정과 유사하거나 그 이상의 살균 효과를 가져올 수 있을 것이라 판단되며, 법령 및 기준에 준하는 수준의 살균효과를 낼 수 있으며 동시에 영양성분의 변성이나 품질 변화를 최소화하여 살균처리를 할 수 있을 것으로 기대된다.

식품을 펄스 전기장 처리에 노출시키면 제품의 미생물 수를 감소하는 결과를 가져온다. 이 공정을 식품으로 응용한다면 전기장을 일으킬 수 있는 구성 요소가 필요하고, 제품을 자기장에 노출시킬 수 있는 제어 가능한 공간이 필요하다. 제품 처리실은 제어된 시간 동안 펄스 전기장 처리 환경조건에서 이동, 통과하는 방법을 포함한다. 대부분의 시스템은 튜브나 파이프를 pump 될 수 있는 액상 타입의 식품들을 위해 설계되어 있고, 설비는 튜브나 파이프를 둘러 싸서 자기장을 만들어낼 수 있게 고안되었다. 그리고 시스템 구성비는 최소 두 가지 전극(하나의 고전압과 지상 수준의 전압)을 가진 전기장을 만들어낼 수 있게 구성되었다. 이 처리는 제품을 두 전극 사이의 펄스 전압에 노출시키는 것과 연관되어 있는데, 전극들과 제품 흐름을 위한 여러가지 조절 방법들은 Fig. 2의 형태로 개발되어 왔다. 이러한 조절 방법들은 평행판(parallel plate), 동축(coaxial), 동일선상(colinear)을 포함하고 있다. 평행판의 배열은 가장 균일

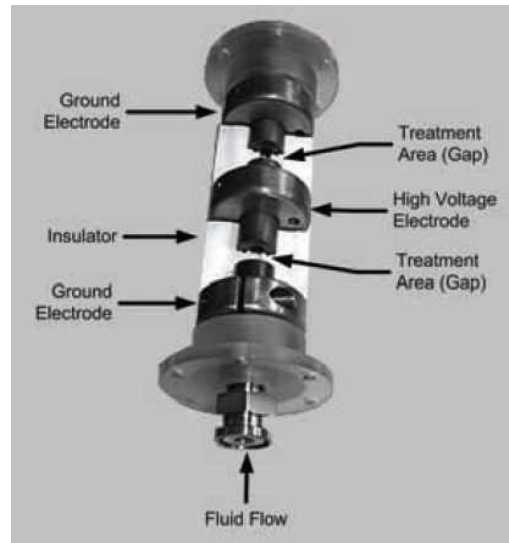


Fig. 2. The components of an inline PEF chamber (Bob Sperder, 2011).

한 전기장 강도를 제공하는 목적이다. 상업적으로 운용 시 제품 흐름 속도에 따른 펄스의 빈도는 품온의 상승을 가져온다.

PEF의 주요 공정 변수는 전기장의 강도인데, 강도는 미생물 수에 따라 2 kV/cm만큼 낮아지거나, 35 kV/cm만큼 높아질 수도 있다. 모든 미생물들은 자기장 강도가 증가될수록 미생물 수 감소율도 증가한다. 온도 역시 추가적인 변수이고, 공정 중 높은 동반 상승 효과를 지니고 있다. 제품 구성성분에 따라 공정에 유효성을 발휘하는 전기 전도도도 공정에 영향을 준다(Singh and Heldman, 2009). 아울러 PEF 살균법이 극복해야 할 과제로는 포자(spore)에 대한 영향, 지방이 많은 식품에 적용하기 어려움, 액상제품에 국한한다는 점, air bubbles가 발생할 경우 electric arc가 발생하여 과도한 가열을 낼 수 있다는 점 등이다(Berk, 2009).

### 4. 가열처리와 PEF의 병합살균 연구 및 적용 가능성

현재 알려진 PEF의 이용 목적은 액상 식품의 미생물 오염 제거, 병원균 및 부패 유기물의 불활성, 제품의 유통기한 증가, 비타민, 단백질 등 영양성분의 유지 등 신선 주스, 유제품, 영양 강화 음료 및 화장품 등 열에 민감한 여러 제품에 효과적으로 적용 가능할 것으로 보인다. 단, 아직까지는 기존 가열살균의 보조적인 개념으로 PEF를 적용한 연구 논문이 많이 발표되고 있다(Fig. 3).

우유 및 유제품과 관련한 PEF 최근 국외 연구동향 중 먼저 영양학적 품질측면을 살펴보면, 18.3~27.1 Kv/cm의 field strength에서 400  $\mu$ s의 조건으로 PEF 처리한 우유의 thamine, riboflavin, cholecalciferol 그리고 tocopherol 함량은 변하지

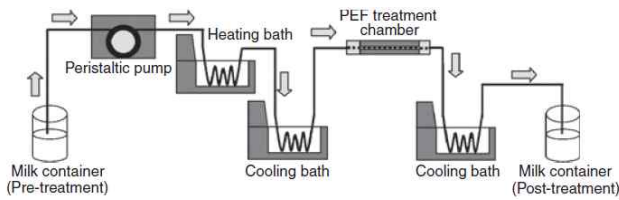


Fig. 3. Schematic drawing of the equipment used for milk processing combining moderate heat and PEF (Walkling-Ribeiro *et al.*, 2009).

않았다. 비타민 C의 경우도 22.6 Kv/cm의 field strength, 400  $\mu$ s의 조건으로 처리하였을 경우 93% 유지되는 결과를 보였다 이는 63°C 30분 간 LTLT 처리 시의 49.7%, 75°C 15초 간 처리한 HTST 처리 시의 86.7%보다 유의적으로 높은 수준이다(Bendicho *et al.*, 2002). 20~80 Kv/cm 구간의 field strength에서 PEF를 처리하였을 때 pH와 적정산도, 색, 수분 그리고 입자 크기, 지방 함량 등에 영향을 미치지 않았다고 보고하고 있다(Tewari and Juneja, 2007).

우유를 대상으로 PEF를 적용한 최근 국내 연구에서, 이 등(2013)은 PEF 처리에 따른 우유 단백질의 열변성 정점 온도(denaturation temperature, Td)를 측정 한 결과, PEF 처리를 하지 않은 원유와 PEF 처리한 원유의 Td가 큰 차이를 나타내지 않았는데, 이는 PEF 처리가 원유 내에 존재하는 단백질들의 구조 변화 또는 열변성 특성에 크게 영향을 주지 않는 것으로 판단하였다. 강 등(2012)은 원유 및 탈지유를 대상으로 T=54°C에서 25번의 펄스를 16 kV/cm에서 50~65 Hz로 반복 처리함으로써 우유 내 총 세균수를 각각 3 log 및 4 log cfu/mL까지 감소된 결과를 얻었다고 하였으며, 저온 장시간 살균법(LTLT) 및 고온 단시간 살균법(HTST)과 PEF 살균법을 조합함으로써 우유 유청 내 대표적이고도 주요 성장인자인 IGF-1의 활성 보존 여부를 IRMA법으로 고찰한 결과, HTST-PEF 병합처리 시 IGF-1의 농도는 100 kJ/L에서 오히려 증가되는 경향을 보였으며, LTLT-PEF 처리 시에도 대조군에 비해 증가하는 경향을 보여, IGF-1의 높은 열안정성에 따른 면역화학적 활성을 확인할 수 있었다(Table 2, Table 3).

Table 1. Inactivation of native microbiota in raw whole milk following treatment with moderate heat, a combination of moderate heat and PEF or thermal pasteurization (n=3)

Treatment	Temperature (°C)	Log reduction (log N/N <sub>0</sub> ) <sup>†</sup>
Heat	30	2.5 (±0.33)
Heat	40	2.9 (±0.40)
Heat	40	3.4 (±0.17)
H/PEF <sub>40/60</sub> ‡	40	6.0 (±1.17)
Thermal pasteurization (26s)	72	6.7 (±0.63)
P¶	-	*
SEM‡	-	0.422

\* Statistical significance of P<0.001.

† Values in brackets following mean bacterial counts indicate the standard deviation.

‡ Standard error of the mean.

§ The subscripted number before ‘/’ indicates the electric field strength applied in kV cm<sup>-1</sup>, the subscripted number after ‘/’ denotes the treatment time in  $\mu$ s

¶ P Stands for the statistical probability based on confidence intervals applied.

Source: Walkling-Ribeiro *et al.* (2009)

Table 2. Changes in Somatomedin-C (IGF-1) contents under HTST-PEF combination

	IGF-1 contents (ng/mL)	
	Whole milk	Skim milk
Control(raw milk)	3.16±0.17 <sup>b</sup>	3.32±0.22 <sup>a</sup>
HTST+PEF 100	4.01±0.18 <sup>a</sup>	3.34±0.18 <sup>a</sup>
HTST+PEF 130	2.33±0.30 <sup>c</sup>	2.70±0.11 <sup>b</sup>

\* PEF 100 and 130: Samples were treated by PEF with 100 and 130 kJ/l

\* Means with the same letter in each column are not significantly different (p<0.05)

\* Values represent the mean±S.E. (n=5)

Source: 강 등 (2013)

Table 3. Changes in Somatomedin-C (IGF-1) contents under LTLT-PEF/PEF-LTLT combination

Treatment	A	B	C	D	E	F
IGF-1 contents (ng/mL)	1.09±0.01 <sup>a</sup>	1.96±0.01 <sup>d</sup>	2.12±0.01 <sup>e</sup>	1.88±0.01 <sup>c</sup>	1.28±0.01 <sup>b</sup>	1.87±0.01 <sup>c</sup>

A: Raw milk(control), B: Heating at 60°C for 30 min, C: LTLT- PEF combination (100 kJ/l), D: LTLT- PEF combination (130 kJ/l), E: PEF-LTLT combination (100 kJ/l), F: PEF-LTLT combination (130 kJ/l)

N=30, All values are mean±S.D., Superscripts indicate differences at p<0.05.

Source: 강 등 (2013)



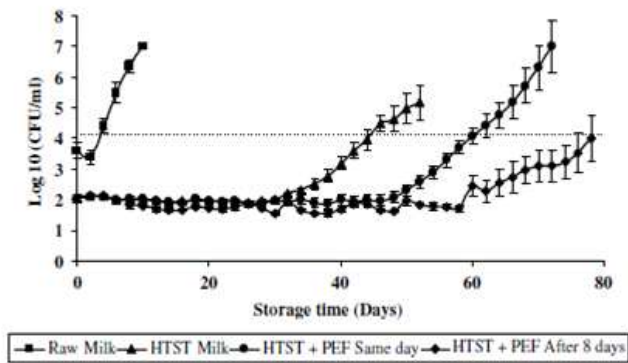


Fig. 4. Mesophilic bacterial population in milk stored at 4°C for up to 80 days (Sepulveda *et al.*, 2005).

다음으로, PEF의 미생물 저장 효과에 따른 유통기한의 연장을 보고한 논문 역시 다수 보고되고 있는데, Walkling-Ribero 등(2009)은 heat/PEF 결합 모델을 제시하여 유통기한 연장의 가능성을 시사하였다(Fig. 4, Table 1).

우유 내 *L. innocua*의 살균 효과를 관찰한 결과, 3 pulses, 40 kV, 초기온도 53°C의 조건에서 *L. innocua*가 4.3 log 감소되었다(Guerrero-Beltrán *et al.*, 2010). HTST와 PEF 살균을 병합한 결과, HTST 처리하였을 때 유통기한이 14~21일인 것과 비교하여 PEF 처리를 복합 처리하였을 때 44일로 유통기한이 연장되었다(Sepulveda *et al.*, 2009). UHT 처리 우유에 *E. coli*, *P. fluorescens*, *B. stearothermophilus*를 접종한 뒤 PEF를 처리한 결과, 60 kV/cm, 50°C, 210 μs의 조건에서 *E. coli*, *P. fluorescens*가 8 log cycle 감소, *B. stearothermophilus*가 3 log cycle 저하된 결과를 나타내었다(Shin *et al.*, 2007). Sepulveda 등(2005)은 HTST 가열살균 즉시 PEF를 처리하였을 경우 유통기한을 60일까지 연장할 수 있었다고 하며, 특히 가열 살균 후 8일이 경과한 뒤 PEF 처리 시에는 그 연장효과가 78일까지 이르렀다고 하여, 원유 또는 살균유의 세균 수가 높은 경우 사멸의 효과를 더 크게 거둘 수 있는 것으로 보인다.

## 결론

종래의 우유 살균에 따른 영양학적, 위생학적 개선 노력은 가열 살균법의 개선과 우유 충전라인의 위생에 초점이 맞추어져 왔다. 가열처리는 병원성미생물의 사멸과 유해효소 불활성화에 그 목적이 있으나, 자칫 이러한 가열 과정이 과도할 경우 우유 고유의 영양성분의 손실은 불가피하게 된다. 이들 영양소를 그대로 유지하면서 안전성이 보장된 우유를 생산하기 위한 노력은 계속되고 있다.

따라서, 보조적 살균 수단으로서의 비열처리 기술도 점

차 진보되고 있다. 비열 살균의 일종인 펄스 전기장 기술은 살균 시 열을 이용하지 않고 펄스 전기장을 방출하여 미생물을 사멸하기 때문에 온도 상승을 최소화하여 단백질 및 열에 민감한 비타민 등의 변성 및 손실을 억제할 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 장점으로 인해 PEF 처리는 열처리에 의해 품질 특성이 열화 되기 쉬운 유제품, 과일·야채 음료에 적용 시 효과적인 신 살균법으로 적용 가능할 것으로 여겨진다.

## 감사의 글

본 논문은 농림축산식품부 농림수산기술기획평가원의 지원에 의하여 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- Bendicho, S., Estela, C., Fernandez-Molina, J. J., Barbosa-Canovas, G. V. and Martin, O. 2002. Effect of high intensity pulsed electric field and thermal treatments on a lipase from *Pseudomonas fluorescens*. *Journal of Dairy Science* 85:19-27.
- Berk, Z. 2009. *Food process engineering and technology*. Academic Press. p542.
- Bob Sperder. May, 2011. Making pasteurization 'Cool'. *Food Processing*. p58.
- Britz, T. J. and Robinson, R. K. 2008. *Advanced dairy science and technology*. Chap 1. Thermal Processing of Milk. pp. 2-15.
- CAC/RCP 57. *Code of Hygienic Practice for Milk and Milk Products-2004*. 2004. pp140.
- 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.
- Guerrero-Beltrán, J. Á., Sepulveda, D. R., Góngora-Nieto, M. M. Swanson, B. Barbosa-Cánovas, G. V. 2010. *Journal of Food Engineering* 106:241-248
- Huijs, G., Van Asselt, A. J., Verdurmen, R. E. M. and De Jong, P. 2004. High speed milk, a new way of treating milk. *Dairy Industries International* November, pp. 30-32.
- Lelieveld, L. M., Notermans, S. and de Han, S. W. H. 2007. Food preservation by pulsed electric fields - From research to application. pp. 257-258.

10. Sepulveda, D. R., Go'ngora-Nieto M. M., Guerrero J. A., Barbosa-Ca'novas G. V. 2005. Production of extended-shelf life milk by processing pasteurized milk with pulsed electric fields. *Journal of Food Engineering* 672: 81-86.
11. Sepulveda, D. R., Go'ngora-Nieto M. M., Guerrero J. A., Barbosa-Ca'novas G. V. 2009. Shelf life of whole milk processed by pulsed electric fields in combination with PEF-generated heat. *Food Sci. and Technol.* 42: 735-739.
12. Shin, J. K., Jung, K. J., Pyun, Y. R., 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(6): 1082-1084.
13. Singh, R. P. and Heldman, D. R. 2009. Introduction to food engineering (fourth edition) Chapter 5 - Preservation Processes 5.1.4 Pulsed Electric Field Systems. pp. 412-413.
14. Te Giffel, M. C., Van Asselt, A. J. and De Jong, P. 2005. Shelf-life extension: technological opportunities for dairy products. In: *Proceedings of the IDF-Conference, Vancouver.*
15. Tewari, G. and Juneja, V. K. 2007. *Advances in thermal and non-thermal food preservation.* Blackwell Publishing, pp. 258-259.
16. Walkling-Ribero, M., Noci, F., Cronin, D. A., Lyng, J. G. and Morgan, D. J. 2009. Antimicrobial effect and shelf-life extension by combined thermal and pulsed electric field treatment of milk. *Journal of Applied Microbiology* 106:241-248.
17. 강신호, 홍식, 김도완, 김동국, 이동연, 박영서, 한복경, 최혁준, 신용국. 2013. 살균 및 PEF 처리 조합에 따른 우유 내 IGF-1의 활성 변화. 제 45차 한국축산식품학회 정기학술대회 Proceedings. p 291.
18. 이설희, 김진, 박영서. 2013. 고전압 펄스 전기장 처리에 의한 우유 단백질과 물리화학적 특성의 변화. *Food Eng. Prog.* 17(3):251-258.
19. 축산물의 가공기준 및 성분규격. 2014. 식품의약품안전처.

(Received: 1 May 2014 / Accepted: 31 May 2014)