

식품산업에서의 고전압 펄스 전기장 (Pulsed Electric Field)의 활용

Application of Pulsed Electric Field in Food Industry

박기재 | 표준연구팀
Kee Jai Park | Food Standard Team

기술명

고전압 펄스 전기장(pulsed electric field)

원리

고전압 펄스 전기장(pulsed electric field, PEF)은 2~87 kV/cm의 고전압을 microsecond[μ s] 단위로 시료에 처리하여 생성된 세포막 전위차(trans-membrane potential, TMP)가 1 V를 넘어서는 순간 세포막을 선택적으로 붕괴시키는 비가열 처리 기술로 알려져 있다. PEF 기술은 고체 식품에도 활용이 가능하지만 주로 액상식품, 즉 주스, 발효음료, 액란, 우유, 유제품 등의 비가열살균에 대한 연구와 활용이 이루어지고 있으며 그람양성세균인 *Staphylococcus aureus*, *Listeria innocua*, *Micrococcus luteus*, *Bacillus cereus* 등과 그람음성세균인 *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium* 등과

효모 및 곰팡이 등을 중심으로 불활성화에 대한 연구가 진행되어 왔다.

PEF 기술은 적용되는 에너지의 양에 따라 미생물의 살균에만 그 효과가 국한되지 않는다. 특히 최근에는 건조, 추출, 효소 불활성화, 스트레스 반응을 통한 대사체 연구 등에 대한 연구결과가 보고되고 있다. 통상 건조나 추출 전처리 등을 위해 동 식품 세포막을 선택적으로 붕괴시키기 위해서는 0.5~3.0 kV/cm의 전압대를 사용하며, 과일주스 등의 액상식품의 비가열 살균을 위해서는 15~40 kV/cm의 전압대를 사용하게 된다(Fig. 1).

식품분야 활용방안

최근 소비자들은 건강 지향적, 자연 친화적인 특성이 강해지면서 편리성, 안전성, 위생성이 중요한 소비선택의 요소가 되고 있으며 이에 따라 천연 지향적이고 신선한 제품에 대한 선호도가 급격히 증

가하고 있다. 그러나 신선도가 중요한 품질 요소가 되는 과채류 주스와 같은 액상 추출물은 열에 의한 성분의 파괴를 수반하게 된다. 이에 품질 손상을 최소화할 수 있는 고품질 저온살균기술로 PEF 활용기술이 기존의 보편적인 식품의 가공기술을 대체하여 활용될 수 있는 잠재력을 가지고 있는 것으로 평가하고 있다.

PEF 기술의 개발은 비가열 식품가공에 활용하기 위한 에너지 효율성 대체기술의 중요한 한 분야로 연구되고 있다. 대부분의 PEF 활용기술에 대한 연구는 적합한 수준의 미생물 저감화와 효소활성에 미치는 효과를 검토하기 위해 액상식품의 저온살균에서 집중적인 연구가 진행되어 왔다. 그러나 다른 한편으로는 생리활성물질의 전달시스템의 개선과 생산에 PEF를 활용하기 위한 새로운 응용기술이 개발되고 있다.

PEF의 에너지 절감 효과

미국의 경우 총에너지 사용량의 약 33%를 산업계에서 소비하는 것으로 추산하고 있다. Emerging technology는 산업에너지 소비를 상당히 줄일 수 있는 잠재력을 가지고 있고 산업계의 공정과 생산시스템의 에너지 효율성을 향상시킴으로써 생산성을 높일 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 따라서 이러한 기술의 도입은 생산 플랜트의 경쟁력과 생산성을 향상시킬 수 있다는 점에서 매우 중요하다. 식품의 가공공정은 크게 2가지의 범주, 즉 보존과 비보존성 공정을 수행하는 산업공정으로 분류할 수 있다. 통상 보존은 최종소비자를 위해 식품을 제조하는데 선도, 품질, 안전, 청결이 가능하도록 설계된다. 이러한 공정은 미생물의 제어를 위해 가열, 냉각 또는 화학물질의 사용을 채택하나 이 과정에서 조직감, 향미 등의 변화를 수반하게 되는 것을

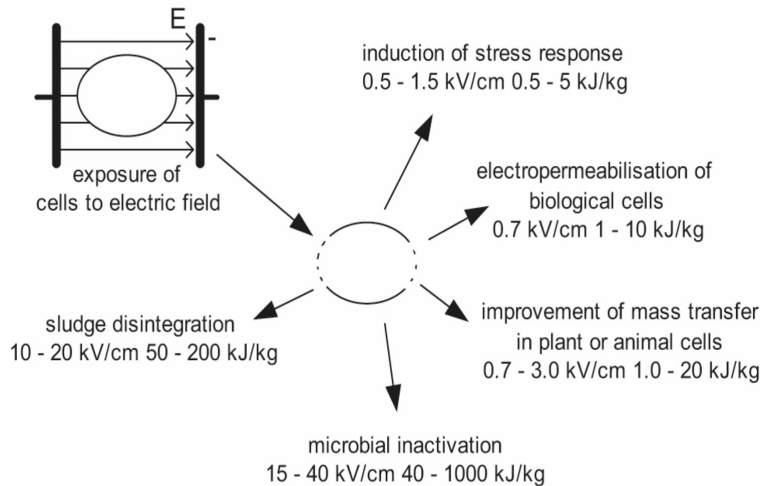


Fig. 1. Electropermeabilisation of cells after exposure to electric field and applications in food and waste water processing with typical electric field strength and energy input requirements. (Toepfl S *et al.*, Food Reviews International, 22(4), 405-423, 2006)

피할 수 없다. 이러한 공정에는 조리, 가열, 굽기, 건조, 냉동, 냉장, 건조, 저온살균, 발효, 조사 등의 공정이 포함된다. 일반적으로 약 50% 정도의 에너지가 원료를 제품으로 변환시키는데 사용되며 이러한 공정에는 가열, 냉각, 냉동, 기기의 가동, 전기 화학적인 공정 등이 포함된다. 이들 중에서 총에너지의 약 29%가 가열공정에서 사용되며 냉각과 냉동은 투입된 에너지 총량의 약 16% 정도를 사용한다고 조사되었다. 가열과 건조는 식품의 보존에 가장 일반적으로 사용되는 기술로 많은 양의 에너지를 요구한다. 에너지원으로서의 가공공정의 약 78%가 전기를 사용하며 이중 48%는 기기가동, 25%는 냉각과 냉동을 위해 사용된다. 가공공정과 직접적인 관련이 없는 분야도 약 16%의 에너지를 사용한다(Table 1).

저온살균은 가벼운 열처리로 박테리아나 바이러스와 같은 위험한 미생물의 오염으로 인한 건강상의 위험을 최소화하여 예방하고 제품의 품질수명을 향상시키는 것이 주된 목적이다. 일반적인 저온살균 온도는 100°C 이하이며 유제품, 음료, 과일 주스

산업에서 폭넓게 사용하고 있다. 제품의 특성에 따라서는 저온살균 후에 즉시 냉각을 실시하며 이는 제품의 맛, 색, 품질에 미치는 열처리의 영향을 최소화하기 위한 것이다. PEF 저온살균은 비가열 저온살균 대체기술로서 식품을 고전압 펄스 전기장 하에서 생물의 세포를 파괴하고 미생물을 불활성화한다. PEF 저온살균은 낮은 공정온도, 보다 짧은 제품 체류시간, 식품 품질 열화의 최소화 등의 효과를 가진다.

예로 미국에서 조사한 PEF 저온살균의 평가 결과를 요약한 것은 Table 2와 같다. PEF 저온살균으로 대체할 경우 열처리 공정이 제거되므로 천연가스의 에너지 절감률은 100%로 평가되었다. PEF 저온살균에 따른 전력 절감률은 약 10~18%로 추정되어 천연가스 절감량은 대체적으로 연간 0.9 TBtu이었지만 PEF 자체가 전력 소비량은 증가시킬 가능성이 있어 다소의 편차가 발생할 수 있다. 총 전력 소비량에서 증감은 저온살균 후의 냉각공정을 피할 수 있으므로 감소한다. 연간 이산화탄소 방출량(최대 66 kt CO₂/year)을 감소시킬 수 있으며 에너지

Table 1. Energy used in the food processing industry

End-Use Consumption	Percent of Total Energy Inputs Used
Process Heating	29%
Process Cooling & Refrigeration	16%
Steam Production	33%
End-Use Consumption	Percent of Electricity Used
Processing	78%
Processing by Machine-driven equipment	48%
Process Cooling & Refrigeration	25%
Non-Process	16%

(Xu T *et al.*, Lawrence Berkeley National Laboratory, USA, 2010, Lung RB *et al.*, Lawrence Berkeley National Laboratory, USA, 2006)

절감과 더불어 PEF 저온살균은 제품의 체류 시간을 줄이고 생산성 향상을 기대할 수 있으며 시장에서 개선된 색과 향미를 유지할 수 있는 보다 신선한 제품으로 품질을 향상시킬 수 있다.

식품의 생리활성물질에 대한 MEF(mild/moderate PEF) 처리 효과

식품의 가공에 있어 PEF의 활용은 지난 20여 년

Table 2. Assessment assumptions and results for PEF pasteurization

Assessment Parameter	Value
Target industry sector	NFC orange juice manufacturing
Current annual production	5,250,000,000 lb./year
Base technologies	Continuous heat exchangers (plate or shell in tube)
Production growth through 2020	5%/year
Specific energy consumption of base technologies (electricity)	0.03–0.04 kWh/lb. (electricity)
	166 Btu/lb. (natural gas)
Regional weighted average fossil fuel intensity of electricity generation	7,380 Btu/kWh
Regional weighted average CO ₂ emissions from electricity generation	0.6 kg CO ₂ /kWh
Projected annual energy consumption of base technologies in 2020 (delivered)	327–436 GWh/year (electricity)
	1.8 TBtu/year (natural gas)
Projected annual energy consumption of base technologies in 2020 (primary)	4.2–5.0 TBtu/year (fossil fuel equivalents)
Projected annual CO ₂ emissions of base technologies in 2020	290–355 kt CO ₂ /year
Replacement or retrofit technology?	Replacement
Base equipment useful life	25 years
Available market portion	60%
Energy savings of emerging technology (natural gas)	100%
Energy savings of emerging technology (electricity)	–10% to 18%
Technical Potential Results	Value
Energy savings potential in 2020 (delivered)	0.86 TBtu/year (natural gas)
	–15–36 GWh/year (electricity)
Energy savings potential in 2020 (primary)	0.75–1.04 TBtu/year (fossil fuel equivalents)
CO ₂ emissions reduction potential in 2020	35–66 kt CO ₂ /year
Equivalent automobiles	7,800–14,500 automobiles/year

(Xu T *et al.*, Lawrence Berkeley National Laboratory, USA, 2010, Lung RB *et al.*, Lawrence Berkeley National Laboratory, USA, 2006)

간 주로 새로운 비가열 살균기술의 활용에 주안점을 두었지만 식품산업에서 다양하고 유용한 활용기술을 제공할 수 있다는 연구결과에 주목하고 있다. 특히 세포간 대사체의 추출 효과의 개선, 건조 효율의 향상, 효소활성의 수식(modification of enzymatic activity), 특정 식품 원료의 보존, 식물 시스템에 있어서 스트레스 반응 유도를 통한 2차 대사체의 생산, 세포배양 등에서의 활용에 대한 연구 등이 주로 이루어지고 있다.

그러나 PEF와 비교할 때 이러한 생리활성물질에 대한 moderate electric fields(MEF)에 의한 효과는 식품의 저온살균에 비해 제한적이며 MEF에 의한 유도와 이에 따른 변화의 기작에 대해서는 아직 깊이 있는 이해가 부족하다. MEF는 PEF와는 달리 필연적인 비가역적 세포 파열을 초래하지는 않는다(감자의 경우 transmembrane potential이 1.7 V를 넘을 경우 파열이 발생).

Table 3은 PEF 처리를 통한 대사체의 회수 수율 개선 효과를 나타내고 있다. 기계적 또는 용매추출 전에 유채 종자에 전처리 방법으로 PEF를 활용하고 항산화물질, 토코페롤, 폴리페놀, 파이토스테롤 등 기능성 물질에 대한 영향을 분석한 결과 PEF 처리(5 kV/cm로 60 펄스 및 7 kV/cm로 120 펄스; 펄스 30 μ s)한 다음 압착 및 용매 추출 후 PEF 처리 시료는 비처리 유채 종자에 비해 3배 이상 높은 폴리페놀 함량을 나타내었으며, PEF 처리 강도와 펄스수의 증가에 따라 토코페롤과 폴리페놀의 함량이 더욱 증가하였다는 연구 결과가 보고되었다. 다양한 연구를 통해 주스의 가공에 PEF를 활용함으로써 에너지 절감과 더불어 추출 수율, 정제도 및 항산화능이 증가한다는 사실을 확인하였다. 압착 효율 및 추출 속도의 향상, 건조 공정의 개선이 PEF의

활용에 따른 중요한 장점으로 알려지고 있으나 아직은 PEF 처리 조건들(시스템, 전기적 변수, 설비, 처리조건 등)에 다소의 차가 있어 효과를 정량적으로 정밀하게 비교하는 데에는 한계가 있다.

식품의 생리활성물질에 미치는 PEF 처리 효과

PEF는 식품의 단백질에 대해 미치는 영향이 극히 미미한 것으로 알려져 있으나 단백질의 구조나 기능성에 영향을 미칠 가능성은 있다. 현재까지 단백질의 기능에 미치는 PEF의 영향에 대해서는 알려진 결과가 많지 않다. 생물학적 가치가 높은 대두 단백질에 있어서는 용해도, 유화능, 거품 형성능, 소수성 및 단백질의 변성 정도가 전기장의 강도(41.1 kV/cm까지)와 처리 시간(91 μ s까지)의 증가에 따라 유의적으로 증가했다는 보고가 있다.

한편, 효소 단백질은 특정 PEF 처리 조건에 따라 불활성화가 발생한다. 관련된 다수의 연구 결과에서는 효소의 불활성화에 미치는 결정적인 변수로 전기장의 세기, 펄스의 폭, 펄스 수, 펄스의 모양을 지적하고 있다. 효소는 pH에 의해서도 영향을 받는데 전극 표면에서 발생하는 전기화학적 반응으로 인해 용액(또는 매질)의 부분적인 전기분해가 발생할 수 있고 지엽적인 pH 변화가 효소활성을 변화시킬 수도 있다. 이러한 가능성에도 불구하고 여전히 효소 불활성화에 대한 기작은 명확하게 밝혀져 있지 않다. 또한 미생물의 불활성화에 대한 광범위한 연구와는 대조적으로 효소에 대한 PEF의 영향은 체계적으로 이루어져 있지 않고 상반된 연구결과를 제시되기도 한다. Polyphenol oxidase (PPO), pectin methyl esterase, papain, plasmin,

Table 3. Effect of high-intensity pulsed electric field treatments on metabolite recovery from different sources

Compound	Product	Treatment conditions	Effects
Amaranthin	Cultured plant tissue: <i>C. rubrum</i>	0–1,6 kV/cm, 0–30 pulses	Metabolite recovery. Increased pigment release with higher loss of cell viability. More effective pigment release at increasing field strength, than with increasing number of pulses.
Antraquinones	Cultured plant tissue: <i>M. citrifolia</i>	0–1,6 kV/cm, 0–30 pulses	Metabolite recovery. No substantial pigment release at 0,5 kV/cm and 3 pulses where cell viability was already lost.
Oil and Phytosterol	Maize germ	0,6 kV/cm: 0,62 kJ/kg 7,3 kV/cm: 91,4 kJ/kg	Higher oil yield(up to 88,4%) and increased amount of phytosterols (up to 32,4%) was reached simultaneously. Oil yield increased marginal by 2,9% in comparison to untreated sample, and phytosterol increase reached 14,7%.
Oil	Olives	0,7 kV/cm, 30 pulses 1,3 kV/cm, 100 pulses	Higher oil yield of 6,5% and 7,4% respectively.
Isoflavonoids	Soybeans	1,3 kV/cm, 50 pulses, 1,857 kJ/kg 1,3 kV/cm, 20 pulses, 0,743 kJ/kg	Amount of isoflavonoid diadzein increased by 20% in comparison to the referent sample. A rise of 21% of isoflavonoid genistein in comparison to the reference was reached.
Polyphenolics	Grapes	0,5 kV/cm, 50 pulses, 0,1 kJ/kg 2,4 kV/cm, 50 pulses 2,3 kJ/kg	Increase of total polyphenolic(TP) content in fresh pressed grape juice of 13% was reached in comparison to referent sample simultaneously with 24% increase of TP content in grape residue, 28% increase of TP content in fresh pressed grape juice was reached simultaneously with 14% higher TP content in grape residue, in comparison to referent sample.
Juice and Anthocyanins	Grapes	3 kV/cm, 50 pulses	Higher juice yield(75%) of PEF-treated vine grapes in comparison to referent sample(70%). Total anthocyanin content was almost 3 times higher than of untreated grapes.
Betalain	Beetroot tubers (<i>B. vulgaris</i>)	1 kV/cm, 270 pulses, 7 kJ/kg	Solid-liquid extraction of beetroot pigment, 90% of total red coloring was released(release of betalain and ionic species), in comparison to mechanical pressing. Increase in tissue electric conductivity after PEF treatment correlated approximately linearly with the extraction yield of red pigment and ionic species(only up to extraction level of 60–80%).
Sucrose	Sugar beet	1,2–2,5 kV/cm, 1–200 pulses	Sucrose extraction at ambient temperature after PEF application for tissue disintegration. Higher degree of sucrose extraction has been obtained, higher dry matter(~30%) in pressed pulp, shorter time of extraction.
Juice and Carotenoids	Carrots (<i>La rosa di Chioggia</i>)	0,6–2,6 kV/cm, 5–100 pulses 50 μs; 1 Hz	Juice yield increased from 30,1% of untreated material to 76,1% of PEF-treated(2,6 kV/cm, 50 pulses). No differences were detected in pH value, total acids and dry substances after PEF treatment in comparison to reference. Carotenoid content(β-carotene) has been maintained.
Vitamin C Carotenoids	Bell peppers	0,5–2,5 kV/cm, 20 pulses 400 μs, 2 Hz	Osmotic dehydration(OD) was enhanced after application of PEF pre-treatment. The percentage of vitamin C reduction after PEF treatment prior to OD was lower than pre-treated at different temperatures(from 25 to 55°C). Carotenoid reduction as a result of temperature increase was ~80% to 55%, and ~74% to 62% of initial fresh content as a result of PEF pre-treatment.
Vitamin C	Red bell peppers	2 kV/cm, 1–50 pulses	Vitamin C retention after osmotic dehydration → untreated > frozen > PEF-pretreated samples with 1 > 5 > 50 > 10 > 20 pulses. The data provided clearly indicate improved mass transfer during drying as a consequence of PEF pre-treatment and also suggested minimal loss of vitamin C as quality indicator due to electric field treatment.
Oil Tocopherols Polyphenols	Rapeseed	5 kV/cm, 60 pulses 7 kV/cm, 120 pulses	Increased content of polyphenols and tocopherols, which are important antioxidants in rapeseed, most likely caused increased antioxidant capacity, measured in PEF-treated samples.
	Apple(<i>Roter Boskoop</i>)	1, 3 5 kV/cm, 30 pulses untreated control juice and juice after pectolytic mash treatment	Polyphenolic content of PEF-treated samples with 1 and 3 kV/cm were insignificant, and slightly lower contents were partially observed after treatment of 5 kV/cm. Antioxidant capacities (TEAC, FRAP, DPPH) remained unchanged Considering pH, TSS, TA and the sugar-acid ratio, the juices obtained after PEF treatment of apple mash did not differ from the respective controls.

(Robert SF *et al.*, Trends Food Sci Technol, 20, 544–556, 2009)

protease, lipase, glucose oxidase, lysoenzyme, amylase, alkaline phosphatase 등의 효소는 매우 강한 불화성화가 발생한다(Table 4). 펄스 폭이 증가된 펄스는 일반적으로 효소의 구조에 심각한 변화(modification)를 일으키는 것으로 알려져 있지만 PEF가 단백질의 1차 구조에 영향을 미친다는 결정적인 증거는 보고되지 않았다.

페놀성 분자 복합체, 페놀성 화합물 함량 및 조성, 식품 매트릭스에서 발견되는 다른 성분에 의한 상호작용의 기능성에 대해 PEF가 미치는 영향에 대해서도 알려진 바가 없다. 이러한 성분 중의 일부는 부분적으로 과일의 색을 결정하는데 영향을 미치므로 변색은 높은 함량의 anthocyanin을 함유하는 식품에 있어서 PEF 처리에 따른 효과를 잘 반영

하게 된다. 예를 들어 꿀 주스나 딸기를 함유한 요구르트 음료에서는 PEF 처리(40 kV/cm, 150 μ s)에 따른 유의적 변화가 관찰되지는 않았다고 한다. 또한 페놀성 화합물의 함량에 대한 연구결과에서도 오렌지 주스의 flavanone의 함량에 대한 영향을 연구한 결과 PEF 처리(35 kV/cm, 750 μ s)가 flavanone의 총 함량이나 개별 flavanone glycosides 및 hesperetin과 naringenin 함량에도 영향을 미치지 않았다고 보고하였다. Carotenoid는 매우 다종다양한 식물성 원료 유래 식품에서 가장 많이 분포하는 색소로 알려져 있으며 PEF 처리에 따른 구조나 생물학적 활성에는 영향을 미치지 않는다. Table 5는 carotenoid, 페놀성 화합물이나 비타민과 같은 물질에 대한 PEF 처리 효과를 나타내고 있다.

Table 4. Inactivation of enzymes in foods by high-intensity pulsed electric field treatments

Enzyme	Media	Treatment intensity	Inactivation (%)
Polyphenoloxidase	Apple juice	31 kV/cm, 1000 μ s	<10
Peroxidase	Milk	21.5 kV/cm, 20 pulses	25
		19 kV/cm, 500 μ s	0
	Orange juice	35 kV/cm, 1500 μ s, 35 $^{\circ}$ C	100
Lipoxygenase	'Horchata'	25 kV/cm, 300 μ s, 35 $^{\circ}$ C	72,4
	Green pea juice	20 kV/cm, 400 μ s	0
Pectin methyl esterase	Tomato juice	35 kV/cm, 50 μ s, 30 $^{\circ}$ C	80
		Orange juice	35 kV/cm, 59 μ s, 60.1 $^{\circ}$ C
	Orange-carrot juice blend	35 kV/cm, 1500 μ s, 35 $^{\circ}$ C	90
Protease	Skim milk	35 kV/cm, 1500 μ s, 35 $^{\circ}$ C	80
		35 kV/cm, 1500 μ s, 35 $^{\circ}$ C	81,4
	Whole milk	14-15 kV/cm, 196 μ s	60
Lipase	Milk	35,5 kV/cm, 866 μ s, 46 $^{\circ}$ C	81,1
		35,5 kV/cm, 866 μ s, 46 $^{\circ}$ C	57,1
		21,5 kV/cm, 20 pulses	60

(Robert SF *et al.*, Trends Food Sci Technol, **20**, 544-556, 2009)

Table 5. Effect of high-intensity pulsed electric field treatments on some health-related compounds in food systems

Compound	Media	Treatment intensity	Effect
Flavonoids	Orange juice	35 kV/cm, 750 μ s	No changes in either individual flavanones nor in total content
Carotenoids	Orange juice	25-40 kV/cm, 30-340 μ s	No significant changes in overall content. Better stability of individual compounds compared to thermal pasteurization
	Orange-carrot juice blend	25-40 kV/cm, 30-340 μ s	Rise in carotenoids content with increasing treatment time Increase of compounds with provitamin A effect at 25 and 30 kV/cm compared to heat treatments
	Tomato juice	40 kV/cm, 57 μ s	No changes in lycopene with respect to thermal treatment
Vitamin B ₁	Milk	18-3-27,1 kV/cm, up to 400 μ s	Very low or negligible reductions
Vitamin B ₂	Milk	18-3-27,1 kV/cm, up to 400 μ s	Very low or negligible reductions
Vitamin C	Protein fortified orange juice-based beverage	28 kV/cm, 100-300 μ s	Loss increasing from 4 to 13% as increased treatment time
	Orange juice	87 kV/cm, 50 °C	Very low or negligible reductions
		15-35 kV/cm, 100-1,000 μ s	Loss ranging from 1.8 to 12.5%
	Grape juice	50 °C	Very low or negligible reductions
	Apple juice and cider	22-35 kV/cm, 94-166 μ s	Very low or negligible reductions
	'Gazpacho' soup	15-35 kV/cm, 100-1,000 μ s	Loss ranging from 2.9 to 15.7%
	Milk	22,6 kV/cm, 400 μ s	6,6% depletion
Vitamin D	Milk	18-3-27,1 kV/cm, up to 400 μ s	Very low or negligible reductions
Vitamin E	Milk	18-3-27,1 kV/cm, up to 400 μ s	Very low or negligible reductions

(Robert SF *et al.*, Trends Food Sci Technol, 20, 544-556, 2009)

클로로필(chlorophyll)에 미치는 PEF의 영향에 대해서는 수용성 Zn^{2+} 와 PEF를 병용하여 처리한 결과 시금치의 향미나 품질에 영향을 미치지 않으면서 클로로필의 분해를 방지할 수 있다고 했으나 60 kV/cm 이상의 전기장 강도에서는 클로로필에 부정적인 영향을 미칠 수 있다는 연구결과가 있다. PEF 처리에 다른 휘발성 화합물의 감소는 일반적으로 대상 화합물의 형태에 따라 달라지는데 오렌지 주스의 ethyl butyrate는 PEF 처리(1,000 Hz, 30 kV/cm, 480 μ s)로 약 9.7%가 감소하였다(열처리(90°C, 1 min)에서는 22.4% 감소). 일반적으로 열처리 저온살균에서는 통상 22%의 휘발성 화합물이 감소하는 반면 PEF 처리로는 3~9% 정도가 소실된다. 이러한 결과는 오렌지 주스, 레몬 주스, 포도 주스 등에서는 유사한 경향을 나타내었다.

기대효과

식품산업에서 PEF 기술의 잠재력은 에너지 절감 효과와 더불어 가공과정에서 발생하는 생리적 활성을 가지는 물질의 감소를 최소화시킬 수 있다는 점이다. 특히 MEF 처리는 에너지 소모량이 작고 유용한 생리활성 물질을 추출함에 있어 매우 유용하게 활용될 수 있으며, 특정 물질의 생산을 유도할 수도 있다. 고강도의 PEF는 열을 이용한 저온살균을 대체하여 액상식품의 비가열 살균에 사용될 수 있으며 안전성과 안정성이 향상된 제품 생산을 가능케 할 수 있다.

그러나 PEF의 산업화를 위해서는 중요한 몇 가지 단점을 해결해야만 한다. 첫째는 연구자들 사이에서 사용한 시스템과 처리조건 등이 상이하여 그

결과를 객관적으로 상호 비교하는 것이 어렵기 때문에 관련된 시스템의 제작, 운용 조건, 구조물의 재질 등에 대한 충분한 사전검토가 필요하다는 점이다. 또한 기술의 고유한 특성 때문에 2차적 효과(열에 의한 효과)를 능가하는 1차적인 처리 효과(전기적인 처리에 의한 효과)가 나타나는 영역을 결정하는 임계영역을 알아내기 위한 공정 조건에 대한 실시간 모니터링이 어렵다는 점이다. PEF 기술의 효과적인 활용을 위해서는 이러한 부분에 대한 연구가 중점적으로 이루어져야 하고 생리적 활성을 나타내는 물질에 미치는 PEF의 영향(생성, 유지, 감소 등)에 대한 연구도 필요하다.

● 참고문헌 ●

1. El-Hag A, Dadarwal R, Rodriguez-Gonzalez O, Jayaram SH, Griffiths MW, Survivability of inoculated versus naturally grown bacteria in apple juice under pulsed electric fields, *IEEE Transactions on Industry Applications*, **46**(1), 9-15, 2010
2. Góngora-Nieto MM, Sepúlveda DR, Pedrow P, Barbosa-Cánovas GV, Swanson BG, Food processing by pulsed electric fields: Treatment delivery, inactivation level, and regulatory aspects, *Lebensm-Wiss.u.-Technol*, **35**, 375-388, 2002
3. Gomez N, Garcia D, Alvarez I, Condon S, Raso J, Modelling inactivation of *Listeria monocytogenes* by pulsed electric fields in media of different pH, *Int J Food Microbiol*, **103**(2),

- 199-206, 2005
4. Lung RB, Masanet E, McKane A, The role of emerging technologies in improving energy efficiency: Examples from the food processing industry, Lawrence Berkeley National Laboratory, USA, 2006
 5. Olga MB, Angel SL, Combination of pulsed electric fields with other preservation techniques, Food Bioprocess Technol, 4(in press), 2011
 6. Robert SF, Ana B, Dietrich K, Olga MB, Effects of pulsed electric fields on bioactive compounds in foods: a review, Trends Food Sci Technol, **20**, 544-556, 2009
 7. Sobrino-López A, Martín-Belloso O, Review: potential of high-intensity pulsed electric field technology for milk processing, Food Eng Rev, **2**, 17-27, 2010
 8. Toepfl S, Mathys A, Heinz V, Knorr D, Potential of high hydrostatic pressure and pulsed electric fields for energy efficient and environmentally friendly food processing, Food Reviews International, **22**(4), 405-423, 2006
 9. Wan J, Coventry J, Swiergon P, Sanguansri P, Versteeg C, Advances in innovative processing technologies for microbial inactivation and enhancement of food safety e pulsed electric field and low-temperature plasma, Trends Food Sci Technol, **20**, 414-424, 2009
 10. Xu T, Slaa JW, Sathaye J, Characterizing costs, savings and benefits of a selection of energy efficient emerging technologies in the United States, Lawrence Berkeley National Laboratory, USA, 2010

박 기 재 공학박사

소 속 : 한국식품연구원 표준연구팀
 전문분야 : 식품미생물학(식품미생물 안전성 연구, 식품표준연구)
 E-mail : jake@kfri.re.kr
 T E L : 031-780-9157