

직렬배열 다중전극 고전압 펄스 전기장 처리장치를 이용한 약주의 살균

목철균 · 이상기
경원대학교 공과대학 식품생물공학과

Sterilization of Yakju(Rice Wine) on a Serial Multiple Electrode Pulsed Electric Field Treatment System

Chullkyoon Mok and Sangki Lee
Department of Food and Bioengineering, Kyungwon University

Abstract

Yakju(rice wine) was sterilized with high-voltage square-wave pulses of 1 μ s duration at various electric field strengths and frequencies on a serial multiple electrode pulsed electric field(PEF) treatment system consisted of 7 electrodes connected in series. The initial microbial counts of Yakju were 1.88×10^3 ~ 2.13×10^4 CFU/mL for total aerobes, 1.55×10^3 ~ 2.85×10^4 CFU/mL for lactic acid bacteria and 1.72×10^3 ~ 2.39×10^4 CFU/mL for yeasts. The sterilization of microorganisms in Yakju was a first order reaction and the sterilization effect increased as the field strength and the frequency increased. The D_{Hz} -value and the D_{PEF} -value decreased with the electric field strength. Yeast showed lower D_{PEF} -value than bacteria. Lactic acid bacteria showed lower D_{PEF} -values than general aerobic bacteria under the electric field strength below 30 kV/cm, but higher ones under that above 40 kV/cm. The z_{PEF} -values of general aerobic bacteria, lactic acid bacteria and yeast in Yakju were 39.4, 49.3 and 47.6 kV/cm, respectively. The PEF sterilization resulted in less changes in color and sensory properties than heat sterilization, and the PEF treated Yakju showed superior quality to the heat treated one. The commercial sterilization of Yakju was accomplished with 2-cycle treatment on the tested serial PEF treatment system.

Key words : Yakju(rice wine), pulsed electric field(PEF) treatment, sterilization, D_{PEF} -value, z_{PEF} -value

서 론

식품은 미생물이 번식하기에 적합한 각종 영양성분을 함유하고 있으므로 미생물에 의해 쉽게 변질되거나 부패되어 식품으로서의 가치를 잃어버리거나 식중독을 일으켜 건강에 해를 미칠 수 있다. 따라서 식품을 안전하게 보존하기 위해서는 적절한 방법으로 오염된 미생물을 사멸시키고 재오염이 일어나지 않도록 하여야 한다⁽¹⁾.

식품산업에서 식품의 보존성을 향상시키기 위한 방법으로 대부분 가열조작 또는 건조, 냉동 등의 물리적 방법이나 식품 보존제의 첨가 등에 의한 화학적 방법을 사용하고 있다. 고수분 함유 식품의 보존성을 향상

시키는 방법으로 열처리 기법이 현재까지 널리 사용되고 있으나 가열처리는 열에 의한 성분의 파괴, 조직의 변성, 맛과 색의 변성, 영양소와 향기성분의 파괴, 그리고 각종 화학반응에 의한 새로운 화합물의 형성 등 식품의 품질 저하를 수반한다. 아울러 경제수준의 향상에 따라 식품의 소비패턴은 위생적 안전성, 건강 지향, 고품질, 천연 지향적인 식품을 선호하는 방향으로 빠르게 변화하고 있어 최소가공식품에 대한 요구가 급격히 증대되고 있다^(2,4).

약주는 곡류와 누룩을 사용하여 전분의 당화와 알코올발효가 동시에 진행되도록 병행발효 방식으로 제조되는 우리나라의 대표적인 전통주이다. 그러나 약주는 알코올함량이 낮고 화입과정이 없이 제조되므로 발효에 관여하는 미생물과 제조 중 오염된 미생물이 제품에 존재하므로 저장성이 낮아 장기간 유통이 불가능하다. 최근 약주 제조업체에서 가열살균처리로 약주의 보존성을 향상시키기 위한 시도가 있으나 가열살균은 열에 의한 약주성분의 산화 및 분해, 향기소

Corresponding author : Chullkyoon Mok, Department of Food and Bioengineering, Kyungwon University, San 65 Bokjung-Dong, Sujung-Gu, Sunnam, Kyunggi-Do, 461-701, Korea
Tel : 82-342-750-5403
Fax : 82-342-750-5273
E-mail : mokck@mail.kyungwon.ac.kr

실, 이취생성, 단백질의 변성에 의한 백탁생성 등을 야기하여 품질을 열화시키는 문제점을 지니고 있다⁽²⁾.

고전압 펄스 전기장(pulsed electric field, PEF) 처리는 제품의 온도상승을 수반하지 않고 신속히 미생물을 사멸시킬 수 있으며 연속처리가 가능하므로 물리적, 화학적 및 영양학적 특성을 처리 후에도 유지할 수 있는 장점이 있기 때문에 관심이 집중되고 있는 비가열살균기술 중 하나이며, 소규모 PEF 살균을 약주에 연구에 적용한 바 있다⁽⁵⁻⁹⁾.

본 연구에서는 회분식 PEF 살균의 후속 연구로써 7개의 전극을 직렬 배열한 중용량 다중전극 PEF 처리장치를 사용하여 고전압 펄스 전기장에 의한 약주 존재 미생물의 PEF 사멸특성을 조사하고 저장성 향상을 위한 PEF 처리조건을 확립함으로써 약주 고유의 향미 특성을 유지하면서 저장성이 부여된 약주를 생산할 수 있는 기술을 개발하고자 하였으며, PEF 처리 약주의 관능적 품질을 가열살균한 약주와 비교하였다.

재료 및 방법

약주

K양조공사에서 제조한 이양주로써 상온에서 일주일 이상 숙성하여 압착 여과한 후 규조토로 여과한 비살균 약주를 사용하였다.

직렬배열 다중전극 고전압 펄스 전기장(pulsed electric field, PEF) 처리 장치

약주의 PEF 처리는 연세대학교 생명공학과에서 제작한 직렬배열 다중전극 PEF 처리 시스템을 사용하여 실시하였다. 본 PEF 처리 시스템은 Fig. 1과 같이 pulse generator, thyatron driver, treatment chamber, oscilloscope로 구성되었으며, treatment chamber는 직렬로 연결된 7개의 전극이 삽입된 treatment cell(처리부피 0.025 mL/cell)로 구성하였다(Fig. 1).

PEF 살균조건

약주의 PEF 살균은 pulse width 1 μs인 square wave 형태의 펄스를 발생시켜 전기장 세기 20~50 kV/cm, 주파수는 300~1500 Hz로 처리하였으며 유속을 1.0 mL/s으로 고정하여 1회 통과시켜 처리하거나 2회 이상 재순환하여 실시하였다. PEF 처리조건에 따른 약주 존재 미생물의 사멸현상을 조사하였다.

생존율의 측정

PEF 처리 후 약주의 미생물수는 평판배양법으로 측

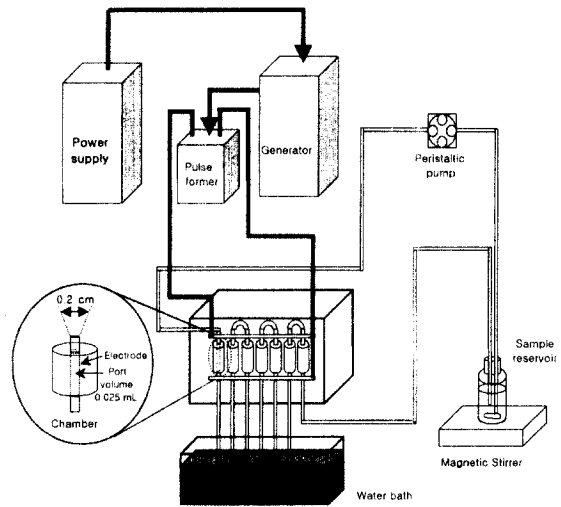


Fig. 1. Serial multiple electrode PEF system set-up.

정하였다. 총균은 plate count agar(Difco, USA)에, 젖산균은 Rogosa SL agar(Difco, USA)에, 효모는 malt extract agar(Difco, USA)에 희석배율별로 도달하여 총균과 젖산균은 37°C에서, 효모는 30°C에서 48시간 배양한 후 colony 수를 측정하였다⁽¹⁰⁾. 생균수를 colony forming unit(CFU)/mL로 나타낸 후 아래식과 같이 초기 미생물수(N_0)에 대한 PEF 처리 후의 미생물수(N)의 비로 생존율(s)을 계산하였다.

$$s = \frac{N}{N_0}$$

D_{Hz} -value 및 D_{PEF} -value

가열살균이론의 D 값에 해당하는 약주의 PEF 살균시 미생물수를 1/10로 낮추는데 필요한 주파수(Hz)를 나타내는 D_{Hz} 값 및 처리시간(μs)을 나타내는 D_{PEF} 값은 전기장 세기별로 주파수 및 처리시간에 따른 $\log(s)$ 를 작도하여 얻어지는 각각의 직선의 기울기의 역수로 계산하였다.

Z_{PEF} -value

가열살균이론의 z 값에 해당하는 PEF 살균시 z_{PEF} 값은 전기장 세기에 대한 $\log(D_{PEF}$ -value)을 작도하여 얻어진 직선의 기울기의 역수로부터 계산하였다. 즉 D_{PEF} 값을 1/10로 단축하는데 필요한 전기장 세기 증가량을 z_{PEF} 값으로 정의하고 미생물 종류별로 비교하였다.

관능검사

무처리한 약주와 65°C에서 30분간 가열 처리한 약주와 PEF 처리한 약주의 색, 풍미, 종합적 기호도 등 관능적 품질을 9명의 패널을 대상으로 9점 채점법⁽¹¹⁾으로 관능검사를 실시하여 평가하였으며 관능검사 결과는 SAS⁽¹²⁾를 사용하여 시료간 유의차를 분석하였다.

색도측정

무처리 약주와 약주의 PEF 처리 및 열처리(65°C, 30 min) 후의 색택은 색차계(Minolta CR-200, Minolta Camera Co., Japan)를 사용하여 L값, a값, b값을 측정하고 색차(ΔE)를 계산하였다. 색도 측정은 시료를 직경 5 cm 폴리프로필렌 petri dish에 가득 채워 cover를 덮은 후 cover 위에서 standard white plate를 배경으로 하여 측정하였으며, 색차계의 보정은 시료를 채우지 않은 petri dish를 standard white plate 위에 놓고 실시하였다.

결과 및 고찰

약주의 PEF살균 특성

약주의 초기 총균수는 $1.88 \times 10^3 \sim 2.13 \times 10^4$ CFU/mL 이었고, 효모는 $1.72 \times 10^3 \sim 2.39 \times 10^4$ CFU/mL 이었으며, 젖산균은 $1.55 \times 10^3 \sim 2.85 \times 10^4$ CFU/mL의 값을 보여 약주에 존재하는 세균은 젖산균이 주종을 이루고 있었다.

약주를 유량 1 mL/s의 속도로 다중전극 PEF 장치에

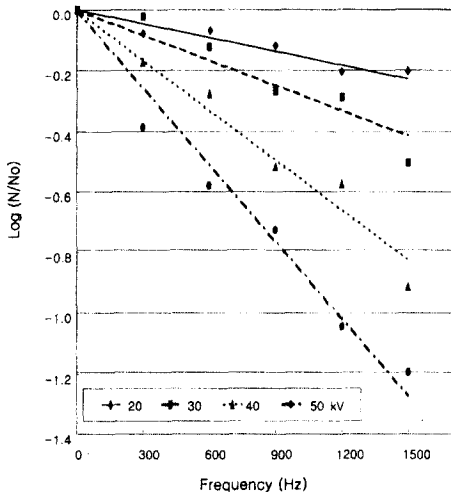


Fig. 2. Sterilization of bacteria in Yakju by PEF treatment at different electric field strength and frequency.

Table 1. Effect of electric field strength on D_{Hz} value of microorganisms in Yakju (unit: Hz)

Microorganisms	Electric field strength (kV/cm)			
	20	30	40	50
Bacteria	6,600	3,600	1,820	1,180
Yeast	4,480	1,480	1,380	1,130
Lactic acid bacteria	6,530	3,250	2,770	1,460

투입하여 처리한 결과 Fig. 2과 같이 사멸기구는 1차 반응으로 해석될 수 있었고, 주파수 및 전기장세기가 증가함에 살균율이 높아져 기존의 연구 결과와 같은 경향을 보였다^(13,14).

약주의 PEF 살균은 1차반응에 속하였으므로 가열살균이론을 적용하여 해석하고자 하였다. 즉 가열살균이론의 D값에 해당하는 약주의 PEF 살균시 미생물수를 1/10로 낮추는데 필요한 주파수(Hz)를 나타내는 D_{Hz} 값을 계산하여 Table 1에 나타내었다. 일반세균의 경우 균수가 1/10로 감소되는데 소요되는 주파수는 20 kV/cm에서는 6,600 Hz가 필요하였으며, 30 kV/cm에서는 3,600 Hz, 40 kV/cm에서는 1,820 Hz, 50 kV/cm에서는 1,180 Hz의 처리가 필요한 것으로 나타나, 전기장 세기가 증가함에 따라 감소하였다. 미생물에 따라서는 세균의 D_{Hz} 값이 효모에 비하여 높았으나 그 차이는 전기장 세기가 증가함에 따라 줄어드는 양상을 보였다. 이는 효모의 크기가 세균보다 크고, 미생물의 크기가 증가함에 따라 동일한 전기장 세기에서 세포막 내의

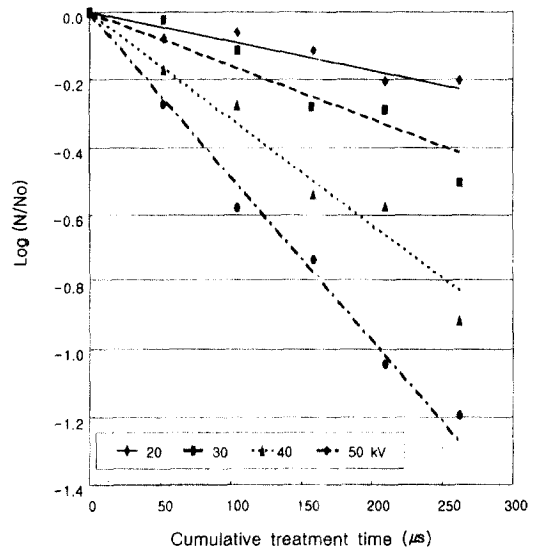


Fig. 3. Changes in bacterial count in Yakju with electric field strength and treatment time during PEF treatment.

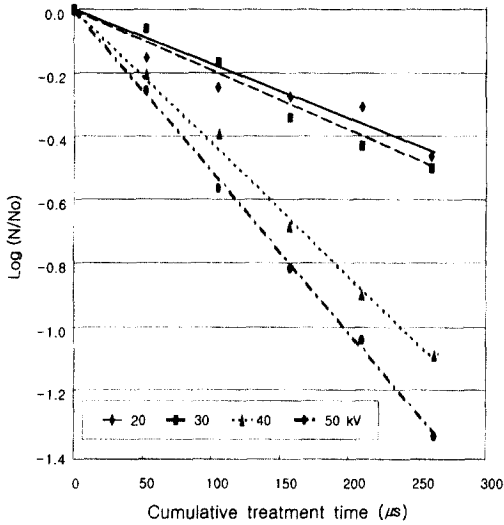


Fig. 4. Changes in yeast count in Yakju with electric field strength and treatment time during PEF treatment.

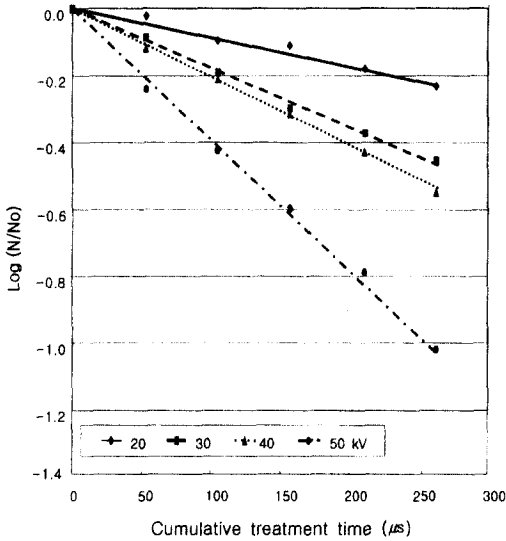


Fig. 5. Changes in lactic acid bacterial count in Yakju with electric field strength and treatment time during PEF treatment.

의 전위차가 커져 효모의 사멸율이 증대되는 것으로 설명되어 질 수 있다^(5,8). 한편 젖산균은 전기장 세기에 따른 D_{Hz} 값의 변화폭이 일반세균에 비하여 작았으며 20 kV/cm에서는 6,530 Hz이었던 것이 50 kV/cm에서는 1,460 Hz로 감소하였는데, 이는 젖산균의 크기가 세균보다 작기 때문에 세포막 내외부에 발생하는 전위차가 작아 젖산균의 사멸율이 감소되는 것으로 추정된다.

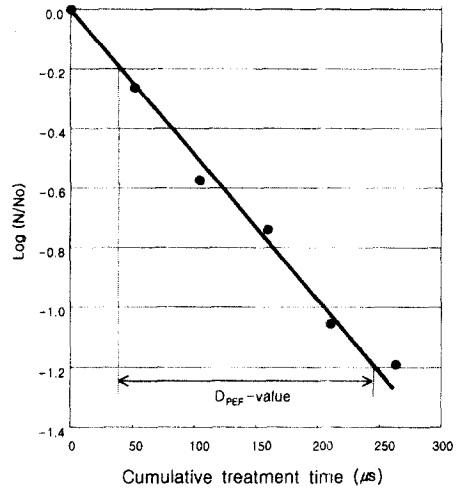


Fig. 6. High voltage electric field sterilization kinetics of bacteria in Yakju treated at 50 kV/cm.

Table 2. Effect of electric field strength on D_{PEF} value of microorganisms in Yakju (unit: μ s)

Microorganisms	Electric field strength (kV/cm)			
	20	30	40	50
Bacteria	1,154	630	318	206
Yeast	768	511	240	197
Lactic acid bacteria	1,143	570	485	255

주파수에 따른 사멸율 변화 결과를 누적처리시간으로 환산하여 미생물 종류별로 각각 Fig. 3, 4, 5에 나타내었다. 일반세균(Fig. 3)은 누적처리시간 및 전기장 세기에 비례하여 사멸율이 증가하였다. 반면에 효모(Fig. 4)는 30 kV/cm에서의 사멸율은 20 kV/cm에서와 미미한 차이를 보였으나 40 kV/cm에서의 살균효과는 30 kV/cm에 비하여 크게 증가하였으며 50 kV/cm에서는 40 kV/cm에 비하여 약간 증가하는 것으로 나타났다. 젖산균(Fig. 5)의 경우는 30 kV/cm와 40 kV/cm간의 차이가 미미한 것으로 나타났으며 50 kV/cm에서는 40 kV/cm에 비하여 살균효과가 크게 증가되었다.

미생물 종류에 따른 전기장 세기별 균수의 1 log 감소에 필요한 처리시간으로 정의되는 D_{PEF} 값을 Fig. 6와 같이 산출하여 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 전기장 세기 20 kV/cm에서 일반세균은 1,154 μ s처리하면 1 log 감소시킬 수 있었으며 전기장 세기가 증가함에 따라 D_{PEF} 값은 감소하여 50 kV/cm에서는 206 μ s이 소요되는 것으로 나타났다. 효모의 D_{PEF} 값은 세균에 비하여 낮은 값을 보여 효모가 PEF 살균에 더욱 민감함을 알 수 있었다. 약주 산패의 원인균으로 알려진 젖산균의 D_{PEF} 값은 전기장 세기 20~30 kV/cm에서는 일

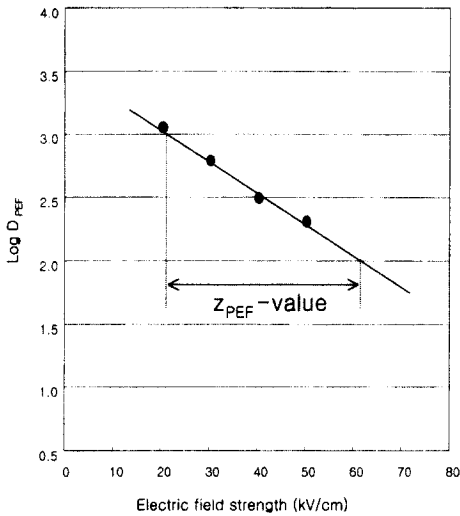


Fig. 7. Semilogarithmic plot of decimal reduction time (D_{PEF}) of bacteria in Yakju versus electric field strength.

반세균보다 낮은 값을 보였으나 전기장 세기가 40~50 kV/cm로 증가하면 일반세균에 비하여 높은 값을 보여 높은 전기장에서의 PEF에 대한 저항성이 큰 것으로 나타났다.

이상의 다중전극 PEF 살균 결과를 소규모 연속식 PEF살균 결과⁽⁵⁾와 비교할 때 살균효과의 상승이 있었으며, 특히 20 kV/cm에서는 뚜렷한 향상이 확인되었다. 이는 처리시간은 동일하지만 본 장치에서 약주에 존재하는 미생물이 펄스전기장에 연속적으로 노출되는 회수가 더 많으므로 소규모 연속식 PEF살균장치와 비교할 때 처리효과가 높은 것으로 생각된다. 한편 본 장치의 누적처리시간에 따른 살균효과는 회분식 PEF 살균⁽⁶⁾과 비교하면 다소 낮은 편이었으나 살균에 소요되는 시간을 현저하게 줄일 수 있어 실용성이 개선된 것으로 평가되었다.

한편 $\log(D_{PEF})$ 를 전기장 세기에 대하여 작도하면 Fig. 7과 같이 직선적으로 감소하였으며, 따라서 처리시간을 1/10으로 단축하는데 필요한 전기장의 세기를 z_{PEF} 값으로 정의하고 직선의 기울기로부터 계산한 z_{PEF} 값을 Table 3에 나타내었다.

약주의 PEF살균시 미생물별 z_{PEF} 값은 젖산균, 효모, 일반세균 순으로 감소하였으며, 따라서 일반세균의

Table 3. z_{PEF} -value of microorganisms in Yakju

Microorganisms	z_{PEF} -value (kV/cm)
Bacteria	39.4
Yeast	47.6
Lactic acid bacteria	49.3

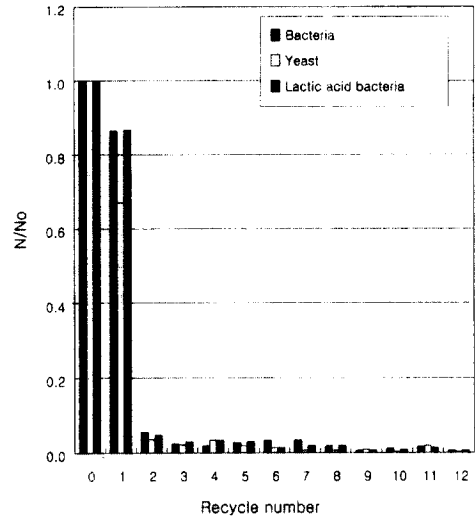


Fig. 8. Changes in microbial counts in Yakju on recycled PEF treatment.

살균시간의 전기장세기에 대한 의존성이 가장 큰 것으로 나타났고, 효모, 젖산균 순으로 의존성이 감소하였다.

다중전극 PEF처리 시스템을 이용한 약주의 상업적 살균

이상의 결과로부터 높은 전기장세기에서 D_{PEF} -value가 가장 큰 젖산균을 기준으로 PNSU(probability of nonsterile unit)개념⁽¹⁾을 도입하여 비병원성 증온균에 대한 $PNSU = 10^{-6}$ 을 기준으로 약주의 살균에 필요한 PEF 처리시간을 산출하였다. 약주의 상업적 살균에 필요한 펄스수는 전기장 세기 40 kV/cm에서는 24,930회, 50 kV/cm에서는 13,140회로서, 주파수를 1,500 Hz로 고정하여 처리할 경우 필요한 recycle수는 40 kV/cm에서는 약 16회, 50 kV/cm에서는 약 9회가 필요한 것으로 나타났다. 이를 누적처리시간으로 환산하면 40 kV/cm에서는 4,365 μ s, 50 kV/cm에서는 2,296 μ s에 해당하였다.

주파수를 1,500 Hz로 고정하고 전기장 세기 40 kV/cm에서 recycle수에 따른 미생물의 변화를 조사한 결과 Fig. 8과 같이 2 cycle 이상에서는 거의 모든 미생물이 사멸됨을 알 수 있었으며 3 cycle 이상에서의 사멸효과는 크게 증가되지 않았다. 그러나 이는 PEF 처리 후 시료의 회수가 무균조건에서 이루어지지 않았기 때문에 생기는 2차 오염으로 생각되며, 따라서 PEF 살균과 무균포장 공정이 결합되어야만 상업적 살균 제품을 생산할 수 있음을 의미하며 PEF 처리한 식품의 무균포장 공정에 대한 연구가 필수적인 것으로 생각된다.

Table 4. Color of PEF treated and heat treated Yakju

Sample	Color value			Difference (ΔE) from control
	Lightness (L)	Redness (a)	Yellowness (b)	
Control	97.54	-0.46	4.75	0
PEF treated Yakju	97.89	-0.50	4.90	0.383
Heat treated Yakju	96.92	-0.61	4.64	0.643

Table 5. Comparison of sensory properties between PEF treated and heat treated Yakju

Sample	Sensory properties		
	Color	Flavor and taste	Overall
PEF treated Yakju	7.90	7.50	8.00
Heat treated Yakju	5.30	4.80	5.60
P-value	0.0004	0.0055	0.0001

PEF 살균 약주의 품질

약주의 PEF 처리 및 열처리(65°C, 30 min) 후의 색택변화는 Table 4와 같이 PEF 처리한 약주는 무처리 약주와 유사한 L값과 a값을 보였으며 b값은 약간 증가하여 무처리구와의 색차가 0.383을 보였다. 반면에 열처리한 약주는 무처리구 및 PEF 처리구에 비하여 낮은 L값, a값 및 b값을 보였으며, 무처리구와의 색차는 0.643으로서 열처리에 의한 색택 변화는 PEF 처리에 비하여 큼을 나타내었다. 따라서 PEF 처리는 약주의 색택 변화를 감소시키며 살균할 수 있었다.

PEF 처리한 약주를 열처리(65°C, 30분)한 약주와 비교하여 실시한 관능검사 결과 Table 5와 같이 색, 풍미, 종합적기호도에서 모두 PEF 처리한 약주가 월등히 우수하여 PEF 살균은 약주의 품질을 유지하며 저장성을 향상시킬 수 있는 기술임을 확인하였다.

요 약

7개의 전극을 직렬로 배열한 다중전극 고전압펄스 전기장(PEF) 처리장치를 사용하여 전기장 세기와 주파수를 달리한 square wave 펄스(너비 1 μ s)로 약주의 연속 살균을 시도하였다. 살균 전 약주의 총균수는 $1.88 \times 10^3 \sim 2.13 \times 10^4$ CFU/mL, 효모는 $1.72 \times 10^3 \sim 2.39 \times 10^4$ CFU/mL, 젖산균은 $1.55 \times 10^3 \sim 2.85 \times 10^4$ CFU/mL이었다. 약주를 유량 1 mL/s의 속도로 PEF장치에 투입하여 처리한 결과 미생물 사멸기구는 1차반응으로 해석될 수 있었고, 주파수 및 전기장세기가 증가함에 따라 살균율이 높아졌다. D_{10} 값 및 D_{PEF} 값은 전기장 세기가 증가함에 따라 감소하였으며, 효모는 세균에 비하여 낮

은 값을 보였다. 젖산균은 30 kV/cm 이하의 전기장에서는 일반 호기성 세균에 비하여 낮은 D_{PEF} 값을 보였으나, 40 kV/cm 이상에서는 높은 D_{PEF} 값을 나타냈다. 미생물 종류별 z_{PEF} 값은 일반 호기성 세균 39.4 kV/cm, 젖산균 49.3 kV/cm, 효모 47.6 kV/cm로 일반 호기성 세균의 전기장세기에 대한 의존성이 가장 큰 것으로 나타났다. PEF처리에 의한 약주의 색택 변화는 열처리에 비하여 미미하였으며, PEF살균 약주의 품질은 가열살균 약주에 비하여 월등히 우수하였다. 약주를 본 연구에서 사용한 PEF장치에 2회 통과시킬 경우 상업적 살균이 달성되었다.

감사의 글

본 연구는 농림수산 특정기술개발사업(과제명 : 전기·물리적 비열 식품가공 신기술 개발, 세부과제명 : PEF 기술에 의한 액체식품의 냉살균 기법 개발)의 지원에 의하여 진행되었으며 지원에 감사드립니다.

문 헌

1. Pyun, Y.R., Kim, M.H., Kim, B.Y., Park, J.Y., Lee, D.S., Lee, S.Y., Lee, J.H., Lee, H.Y., Lim, J.H., Cho, H.Y., Choi, Y.H. and Hwang, J.K. Food Engineering. Ji-Gu Publishing Co. Seoul. pp. 225-302 (1998)
2. Kang, M.Y., Park, Y.S., Mok, C. and Chang, H.G. Improvement of shelf-life of Yakju by membrane filtration. Korean J. Food Sci. Technol. 30: 1134-1139 (1998)
3. Cho, H.Y., Shin, J.K. and Pyun, Y.R. Nonthermal food process technology by high voltage pulsed electric fields. Food Sci. Ind. 29: 28-36 (1996)
4. Mertens, B. and Knorr, D. Development of nonthermal processes for food preservation. Food Technol. 46: 124-133 (1992)
5. Kim, S.Y., Mok, C. and Pyun, Y.R. Continuously recycling sterilization of Yakju (rice wine) using pulsed electric fields. Korean J. Food Sci. Technol. 31: 410-415 (1999)
6. Kim, S.Y., Park, Y.S. and Mok, C. Sterilization of Yakju (rice wine) using a batch-type high voltage pulsed electric field system. Korean J. Food Sci. Technol. 31: 1247-1253 (1999)
7. Shin, H.H. and Pyun, Y.R. Inactivation of *Lactobacillus plantarum* by high voltage pulsed electric fields treatment. Korean J. Food Sci. Technol. 29: 1175-1183 (1997)
8. Jayaram, S., Castle, G.S.P. and Margaritis, A. Kinetics of sterilization of *Lactobacillus brevis* cells by the application voltage pulses. Biotechnol. Bioeng. 40: 1412 (1996)
9. Mazurek, B., Lubicki, P. and Staroniewicz, Z. Effect of short HV pulses on bacteria and fungi. IEEE Trans. on

- Dielectrics and Electrical Insulation. 2: 418 (1995)
10. Ministry of Health and Welfare. Official Book of Foods, Experimental Methods. Ministry of Health and Welfare, Republic of Korea. p. 94 (1997)
 11. Kim, K.Y., Kim, S.S., Sung, N.K. and Lee, Y.C. The roles of sensory research and application. Shin-Kwang publishing. Co., Seoul, Korea pp. 210-217 (1993)
 12. Chang, J.I., Park, S.K. and Lee, K.J. Analysis of Statistical Data Using SAS/PC. PopMoon Publishing Co., Seoul, Korea (1993)
 13. Sitzmann, W. High-voltage pulse techniques for food preservation. pp. 236-252 In: New Methods of Food Preservation, Gould, G.W. (ed.), Chapman & Hall Co., London, USA (1995)
 14. Barbosa-Canovas, G.V., Pothakamury, U.R., Palou, E. and Swanson, B.G. High intensity pulsed electric field : Processing equipment and design. pp. 53-72. In: Nonthermal Preservation of Foods. Marcel Dekker Inc. New York. (1998)
 15. Barbosa-Canovas, G.V., Pothakamury, U.R., Palou, E. and Swanson, B.G. High intensity pulsed electric field : Biological effects and applications of pulsed electric fields for the preservation of foods. pp. 73-112. In: Nonthermal Preservation of Foods. Marcel Dekker Inc. New York. (1998)
-

(1999년 10월 25일 접수)