

PEF 살균포장 야채주스 제조를 위한 조건설정

최문실 · 신정규* · 정명수

이화여자대학교 식품공학과, *전주대학교 전통음식문화전공

Optimization of Conditions for Manufacturing Vegetable Juice Using Pulsed Electric Field (PEF) Technique

Mun-Sil Choi, Jung-Kue Shin* and Myong-Soo Chung

Department of Food Science and Technology, Ewha Womans University

*Department of Korean Traditional Food Culture, Jeonju University

Abstract

One of the effective non-thermal sterilization method, pulsed electric field(PEF) technique, was applied for manufacturing commercial vegetable juice which is originally produced by conventional thermal processing. Experiments were conducted through $2^3 \times 3^2$ factorial design with independent variables such as electric field, frequency, flow rate, temperature, and pulse width, and dependent variables or yields such as viable number of microorganisms, sensory evaluated color and taste, and retention of vitamin C. Treatment temperature and pulse width were main factors affecting to an effectiveness of sterilization and sensory qualities. Optimum treatment temperature and pulse width for manufacturing vegetable juice using the PEF technique were found to be 40~50°C and 3 ms, respectively, regardless of electric field, frequency and flow rate. Quality of samples produced by the PEF under the selected conditions is superior to that by the thermal processing in terms of not only retention of vitamin C but also sensory attributes.

Key words: pulsed electric field(PEF), thermal processing, vegetable juice, $2^3 \times 3^2$ factorial design

서론

최근 일반 소비자들의 건강에 대한 관심이 커지면서 가공식품에 대한 안전성과 위생성이 강조되고, 천연상태의 품질을 가능한 그대로 유지한 최소 가공 식품(minimally processing foods)에 대한 관심이 높아지고 있으며 그 수요도 증가하고 있다. 현재 식품공업에서 사용되고 있는 보존법은 대부분 가열조작 또는 식품 보존제의 첨가 등에 의한 화학적 조작에 의존하고 있다. 그러나 가열 조작에서는 열에 의한 영양성분의 파괴, 텍스처의 변화, 향기성분의 손실 등 품질 손상을 피할 수 없으며 인공 보존료를 점차 사용하지 않는 경향이다(Mertens & Knorr,

1992). 따라서 현재 식품 업계에서는 열처리로 인한 식품의 품질 저하를 최소화하면서 안전하게 저장기간을 연장시키고 열처리에 따른 에너지 소비량도 현저히 줄일 수 있는 방사선, 초고압, 전기 등을 이용한 非熱 가공(non-thermal processes) 기술에 관한 연구가 미국, 일본 등 선진국을 중심으로 활발히 진행되고 있다(Castro et al., 1993; Qin et al., 1995). 일반적으로 두개의 전극 사이에 식품을 넣고 10 kV/cm 이상의 고전압 전기장을 순간적으로 방전시켜 처리하는 기술을 고전압 펄스 전기장(PEF) 기술이라 한다. PEF 발생장치의 기본적인 요소는 직류전원장치(DC power supply), 에너지를 저장하기 위한 충전기(capacitor), 저장된 에너지를 순간적으로 방전하는 switching 장치, 그리고 식품의 처리를 위한 용기(chamber)로 이루어져 있다. 직류전원장치에서 발생된 고전압의 전류는 충전기에 충전되며 충전이 끝난 후 방전 스위치가 접촉되면 두 전극 사이의

Corresponding author: Myong-Soo Chung, Department of Food Science and Technology, Ewha Womans University, 11-1 Deahynu-dong, Seodaemun-gu, Seoul 120-750, Korea.
Phone: +82-2-3277-4508, Fax: +82-2-3277-4508
E-mail: mschung@ewha.ac.kr

식품을 통하여 방전된다. 대개의 경우 액체 식품은 자신이 갖고 있는 이온 때문에 식품 내에 고전압 펄스를 걸어주면 순간적으로 용기내의 식품 속으로 고전류가 흐르게 된다. 방전이 끝나면 방전스위치는 다시 떨어지고 충전기는 다시 충전된다. 이와 같은 충전, 방전 사이클이 매우 짧은 시간에 반복된다. 이 때 순간적인 방전이란 ms~ μ s 단위에서 일어나며, 펄스와 펄스 사이의 간격은 펄스폭 보다 훨씬 길게 만든다. 식품에 펄스를 반복 처리하여도 실제 처리시간은 1초 이하로 매우 짧기 때문에 식품은 거의 가열되지 않는다.

PEF 살균에 의해 미생물이 불활성화 되는 기작에 대해서는 몇몇 연구 그룹에서 논의되었으며 (Chernomordik et al., 1987; Dimitrov, 1984; Coster & Zimmermann, 1975), 그 중 가장 널리 받아들여지는 이론은 유전파괴(dielectric breakdown) 현상에 의한 세포막의 파괴이다. 전기장에 의한 세포막의 파괴에는 임계 세포막 전위차, 세포막의 압축(compression), 세포막의 점탄성(viscoelastic)적 성질, 세포막의 구조적 결함, 삼투압에 의한 팽윤 등이 관여하는 것으로 알려져 있으며 이 중 몇 가지를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 임계 세포막 전위차에 대한 이론은 세포가 강한 전기장에 노출되면 전기장 내의 전자의 흐름에 따라 이온이 이동되어 세포막의 phospholipid vesicles의 이중층이 극성화 되며 세포막의 지질 이중층은 전기 부도체이기 때문에 극성화된 지질 이중층의 표면에 이온이 축적되고 세포막 전위차를 유도하게 되고 나아가 세포막의 전위차가 유도되어 임계값(약 1 V) 이상이 되면 세포막의 파괴가 일어나면서 막내에 세공(pores)이 형성된다는 것이다(Hamilton & Sale, 1967; Zimmermann et al., 1976).

다음으로 세포막의 압축 이론은 고전압 전기장 하에서 세포막이 압축되는 현상에 의해 미생물이 사멸된다는 것이다(Vega-Mercado et al., 1996). 좀더 자세히 살펴보면 세포막은 낮은 유전상수(dielectric constant)를 갖는 유전체(dielectric material), 즉 부도체로서 축전지와 비슷한 성질을 갖는데 일반적으로 세포막은 2 정도의 유전상수를 갖고, 세포내의 유전상수는 세포막보다는 큰 값을 갖는다. 세포가 현탁되어 있는 용액의 유전상수가 세포막의 유전상수보다 크게 되면 세포막 안과 바깥쪽에 자유전하가 축적되며, 외부에서 전기장이 가해지면 보다 많은 자유전하가 축적되게 되고, 세포막 전위차가 증가하게 된다. 따라서 바와 같이 대사활동 등 세포 고

유 기능에 손상을 일으켜 사멸에 이른다.

이외에도 PEF에 의한 미생물의 불활성화를 세포막 내에 친수성 또는 소수성 세공의 형성에 의한 세포막의 기능 손상, 능동 수송의 기능 손실 등에 의한 것으로 설명하기도 한다. PEF에 의한 미생물의 사멸에 영향을 미치는 가장 직접적인 인자는 전기장의 세기와 처리 시간이다. 즉, 전기장의 세기가 커지거나 처리시간(펄스의 수, 펄스의 길이)이 길어짐에 따라서 사멸효과가 증가하게 된다. 현재 PEF 살균에 사용되는 펄스의 형태는 exponential decay, square wave, oscillatory 또는 bipolar pulse 등이 있다. Oscillatory pulse가 사멸효과가 가장 낮으며, exponential decay pulse보다는 square wave pulse가 에너지 효율이나 사멸효과가 높다. 또한 bipolar pulse는 monopolar pulse보다 사멸효과가 높은 것으로 보고되고 있다(Zhang et al., 1995). PEF는 세포막 내의 전하의 이동을 유발하고 세포막을 극성화시킨다. Bipolar pulse는 이러한 전하의 이동방향을 바꾸어 세포막의 극성형태를 계속해서 변화시켜 세포막에 스트레스를 유발함으로써 보다 높은 사멸율을 얻을 수 있는 것으로 보인다. PEF 살균시 60°C 이하의 낮은 온도범위에서도 처리 온도가 높을수록 사멸효과가 현저히 증가하는데 이는 세포막의 유동성과 깊은 관련을 갖고 있다. 세포막은 온도가 낮을 경우 gel 구조를 갖게 되고 온도가 높아짐에 따라서 liquid fluid 형태로 바뀌게 된다. 따라서 처리 온도가 높고 강한 전기장을 가하거나 처리시간이 길어져 온도가 상승하게 되면 미생물의 세포막은 더 큰 유동성을 갖게 되어 전기장에 민감하게 반응하게 된다. 미생물의 종류나 크기, 형태, 생리학적 상태 또한 사멸율에 영향을 주는 인자로서 대개 세균보다는 효모가, gram-positive 보다는 gram-negative가, 그리고 spore보다는 영양세포의 사멸율이 크며, 정지기나 지연기의 세포보다는 대수증식기 세포의 사멸율이 높은 것으로 보고되고 있다(Lubicki & Jayaram, 1997). 이 외에도 식품의 전기전도도, 이온강도, pH, 수분활성도, 점도 및 고형분의 존재 유무 등도 PEF 처리시 미생물의 사멸에 영향을 미치게 된다.

Table 1에서 보는 바와 같이 PEF 살균기술이 적용 가능한 식품은 액체식품, 고체입자 함유 식품, 고체식품 등 매우 다양하다(Knorr et al., 1994). 그러나 이들 제품에 고전압 펄스 전기장 기술이 산업적으로 적용되기 위해서는 아직까지는 몇 가지 제약이 있다(Barbosa-Canovas et al., 2000). 먼저 연속

Table 1. Applications of pulsed electric field(PEF) sterilization

Acid fluid foods	Nonacid fluid foods
Orange juice and other citrus juices	Liquid egg
Apple juice (fresh juice or from concentration)	Liquid egg white
Tomato concentrate, ketchup	Soups or vegetable juice, vegetable purees
Fruit purees	Skim milk or whole milk
Salsa sauce, Mayonnaise	Functional protein preparations
Spaghetti sauce, with meat pieces	Spreads, fillings, cereal dough
Liquid yogurt with or without fruit pieces	Syrups, honey
Jams	Oil/water emulsions
Light alcoholic beverage	Minced meat, fish mince, surimi
Wines	Effluents from food factories
Soft drinks	

처리 시스템을 적용하기 위해서는 반드시 pumping 이 가능한 식품이어야 하고, 고형분이 포함되어 있을 경우에는 액체식품 내에 고르게 분산되어야 하며, 그 크기도 아주 작아야 한다. 또한 고체식품의 경우에는 식품과 전극이 완전히 접촉되지 않고, bubble이나 지방 등의 유입으로 인하여 arching이 일어날 가능성이 크기 때문에 두께 30 mm 이하로서 균일한 크기를 가져야 하며, 미생물을 불활성화 시킬 수 있는 충분한 수분을 갖는 식품만이 가능하고 현재는 회분식 처리만이 가능하다.

본 연구에서는 고전압 펄스 전기장(High-voltage Pulsed Electric Fields, PEF) 살균기술을 비교적 열에 민감한 야채주스에 적용하여 전기장의 세기, 주파수, 순환속도, 처리온도, 펄스폭 등을 변화시키면서 살균 처리된 제품에 대한 미생물 검사, 성분분석 및 관능검사 등을 통하여 최적의 PEF 살균 조건을 설정하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

Table 2에 나타낸 바와 같이 예비실험을 통하여 시료로 사용된 야채주스(토마토 페이스트, 당근, 사과펄프 등으로 구성)의 전기전도도, 염분 함량, 점도, pH, 고형분 함량, flow rate 등을 측정하여 PEF 살균적성을 검토하였다. 일반적으로 고려하여야 할 가장 중요한 인자는 시료에 포함된 염분의 농도와 시료의 점도인데 염분의 농도가 증가하면 전기전도도가 증가하여 저항이 낮아지므로 처리할 수 있는 전기장의 세기가 낮아지게 되며 결과적으로 전류가 너무 많이 흘러 많은 열이 발생하게 되고 점도가 너무 높으면 좁은 관형태의 전기장을 통과시키는데

Table 2. Properties of raw vegetable juice¹⁾

Properties	Measurement
Concentration of salt	0.1%
Viscosity	50 ~ 100 cps
Total solid content	0.03%
pH	3.95
Acidity	0.30

¹⁾ Vegetable juice is composed of tomato paste, carrot, apple pulp, etc.

제약이 따르게 된다(Knorr et al., 1994). 이러한 점에 비추어 볼 때 본 연구에 사용된 야채주스는 염분의 농도가 0.1% 정도이고 점도는 50~100 cps 정도로 비교적 낮은 편이어서 PET에 의한 살균적성이 적합한 것으로 판단하였다.

실험설계 및 PEF 살균

2³×3² 요인 실험설계(Table 3)에 따라 전기장의 세

Table 3. Independent variables and yields for experimental design

Items	Code			
	-1	0	+1	
Independent Variables	X ₁ Electric field	30 kV	-	40 kV
	X ₂ Frequency	1000 Hz	-	1500 Hz
	X ₃ Flow rate	1.0 mL/sec	-	0.5 mL/sec
	X ₄ Temperature	30°C	40°C	50°C
	X ₅ Pulse width	1 μs	2 μs	3 μs
Yields	Y ₁ N/N ₀ (bacteria)			
	Y ₂ N/N ₀ (yeast and mold)			
	Y ₃ Sensory evaluated point (taste)			
	Y ₄ Sensory evaluated point (color)			
	Y ₅ Retention of vitamin C (%)			

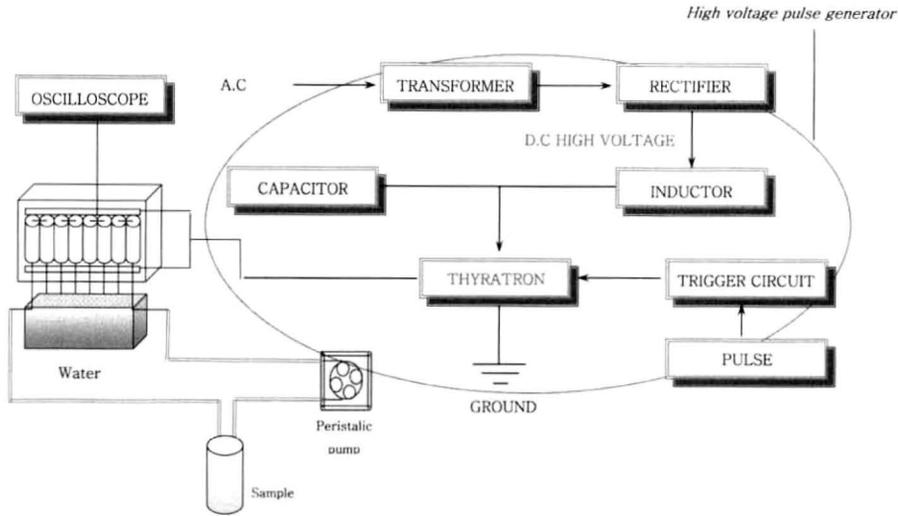


Fig. 1. Schematic diagram of pulsed electric field system.

기, 주파수, 순환속도, 처리온도, 펄스폭을 독립변수로 하여 각 조건별로 Fig. 1의 장치를 이용하여 PEF 살균실험을 행하였다. 펄스의 형태는 앞서 언급한 바와 같이 에너지 효율이나 사멸효과가 가장 우수한 것으로 알려진(Zhang et al., 1995) square wave pulse를 적용하였다.

미생물 실험

Table 3의 실험설계에 의한 계획에 따라 72개 조건에 의하여 살균된 시료에 대하여 일반세균 및 효모·곰팡이의 생균수를 측정하였다. 일반세균은 plate count agar를 사용하여 37°C에서 2일 배양하였고 효모·곰팡이의 경우 potato dextrose agar를 사용하여 28°C에서 3~5일간 배양하여 생긴 colony를 계수하였다.

관능검사

미생물 실험 결과 일반세균 및 효모·곰팡이가 검출되지 않은 24개 조건에 의해 살균된 시료와 기존의 가열살균법(104°C, 112 sec)으로 생산된 제품을 비교하기 위하여 훈련된 패널 8명을 대상으로 색상과 복합미의 기호도를 10점법의 다시료 비교검사법으로 검사하였다. 모든 시료들을 한번에 비교 시식할 수는 없었으므로 기존 제품(가열살균된 시료)와 3개씩의 PEF 살균 제품을 비교 시식한 후, 기존 제품의 점수를 5점으로 바꾸고 이를 기준으로 하여 PEF 처리한 시료에 대한 점수를 비율에 따라 환산하여 계산하였다. 또한 최종적으로 선정된 PEF

살균 조건에 의해 살균된 시료들과 기존의 가열살균된 시료와의 비교 시식을 훈련된 패널 20명을 대상으로 실시하였다.

영양성분 분석

미생물실험 결과 일반세균 및 효모·곰팡이가 검출되지 않은 조건에 따라 살균된 시료 24개와 미살균 시료 및 기존의 가열살균된 시료에 대해 비타민 C의 함량을 HPLC(Waters 510, USA)로 측정하였다. 검출기로는 UV detector(Waters 481, USA)를 사용하였고, m-Bondapak C18(Waters, USA) column에 1 mL/min의 속도로 이동상(메탄올 399 mL, glacial acetic acid 1 mL, 2차 증류수 600 mL)을 통과시키면서 분석하였다.

통계 처리

Table 4의 시험 항목들(PEF 살균 전후의 미생물균수, 관능검사점수, 비타민 C 유지 정도)에 대한 각각의 PEF 살균 조건 변수(전기장의 세기, 주파수, 순환속도, 처리온도, 펄스폭)에 대한 효과를 검사하기 위하여 ANOVA test를 행하였다.

결과 및 고찰

미생물 실험 결과

살균하지 않은 시료의 초기 일반세균수는 1.19×10^4 개/mL이고 초기 효모·곰팡이수는 2.54×10^3 개/mL이었으며, Table 4에서 보는 바와 같이 총 72가지

의 실험 조건 중 24개의 조건에서 미생물이 검출되지 않았다. PEF 살균 후 미생물의 생균수는 처리온도와 펄스폭의 증가에 가장 큰 영향을 받아 감소하였으며, 처리온도는 40~50°C, 펄스폭은 2~3 μ s정도가 적절한 조건이었다. 기타 독립변수에 대한 미생물 사멸을 위한 최소 처리조건은 전기장의 세기 30~40 kV/cm, 주파수 1000~1500 Hz, 순환속도 0.5~1.0 mL/sec 였으며, 이 범위에서는 살균효과의 차이

가 거의 없었다.

관능검사 결과

Table 4의 결과를 살펴보면 미생물이 검출되지 않은 24가지 조건에 의해 살균된 시료들과 기존의 가열살균 시료를 비교 시식한 결과 대체적으로 짧은 pulse width로 처리한 제품의 경우에 색상에 있어서는 기존 시료보다 좋게 나왔지만 전체기호도는 떨

Table 4. Product qualities evaluated after various conditions of pulsed electric field(PEF) sterilization through $2^3 \times 3^2$ factorial design

No.	Independent variables					Yields				
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅
1	-1	-1	-1	-1	-1	0.03813	0.44747	-	-	-
2	+1	-1	-1	-1	-1	0.02688	0.20623	-	-	-
3	-1	+1	-1	-1	-1	0.02844	0.28405	-	-	-
4	+1	+1	-1	-1	-1	0.01344	0.12062	-	-	-
5	-1	-1	+1	-1	-1	0.04313	0.39300	-	-	-
6	+1	-1	+1	-1	-1	0.02875	0.25292	-	-	-
7	-1	+1	+1	-1	-1	0.02906	0.27237	-	-	-
8	+1	+1	+1	-1	-1	0.01750	0.12451	-	-	-
9	-1	-1	-1	0	-1	0.00038	0.00262	-	-	-
10	+1	-1	-1	0	-1	0.00022	0.00143	-	-	-
11	-1	+1	-1	0	-1	0.00016	0.00119	-	-	-
12	+1	+1	-1	0	-1	0.00008	0.00048	-	-	-
13	-1	-1	+1	0	-1	0.00104	0.00762	-	-	-
14	+1	-1	+1	0	-1	0.00082	0.00405	-	-	-
15	-1	+1	+1	0	-1	0.00090	0.000595	-	-	-
16	+1	+1	+1	0	-1	0.00074	0.000357	-	-	-
17	-1	-1	-1	+1	-1	0.00015	0.00000	-	-	-
18	+1	-1	-1	+1	-1	0.00000	0.00000	5.70	4.42	86.9
19	-1	+1	-1	+1	-1	0.00000	0.00000	5.00	4.13	84.9
20	+1	+1	-1	+1	-1	0.00000	0.00000	6.05	3.75	85.3
21	-1	-1	+1	+1	-1	0.00025	0.00143	-	-	-
22	+1	-1	+1	+1	-1	0.00011	0.00000	-	-	-
23	-1	+1	+1	+1	-1	0.00011	0.00017	-	-	-
24	+1	+1	+1	+1	-1	0.00000	0.00000	5.94	4.04	66.2
25	-1	-1	-1	-1	0	0.00300	0.03424	-	-	-
26	+1	-1	-1	-1	0	0.00206	0.01984	-	-	-
27	-1	+1	-1	-1	0	0.00200	0.01673	-	-	-
28	+1	+1	-1	-1	0	0.00088	0.00623	-	-	-
29	-1	-1	+1	-1	0	0.00419	0.03658	-	-	-
30	+1	-1	+1	-1	0	0.00269	0.02607	-	-	-
31	-1	+1	+1	-1	0	0.00253	0.02062	-	-	-
32	+1	+1	+1	-1	0	0.00134	0.01167	-	-	-
33	-1	-1	-1	0	0	0.00032	0.00286	-	-	-
34	+1	-1	-1	0	0	0.00016	0.00163	-	-	-
35	-1	+1	-1	0	0	0.00019	0.00122	-	-	-
36	+1	+1	-1	0	0	0.00000	0.00000	5.43	3.65	66.2

Table 4. continued

No.	Independent variables					Yields				
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅
37	-1	-1	+1	0	0	0.00054	0.00327	-	-	-
38	+1	-1	+1	0	0	0.00029	0.00327	-	-	-
39	-1	+1	+1	0	0	0.00019	0.00245	-	-	-
40	+1	+1	+1	0	0	0.00016	0.00000	-	-	-
41	-1	-1	-1	+1	0	0.00000	0.00000	5.22	3.36	87.3
42	+1	-1	-1	+1	0	0.00000	0.00000	5.22	4.23	64.2
43	-1	+1	-1	+1	0	0.00000	0.00000	5.00	4.80	61.7
44	+1	+1	-1	+1	0	0.00000	0.00000	3.79	4.14	64.6
45	-1	-1	+1	+1	0	0.00018	0.00095	-	-	-
46	+1	-1	+1	+1	0	0.00011	0.00048	-	-	-
47	-1	+1	+1	+1	0	0.00000	0.00000	3.79	4.83	60.1
48	+1	+1	+1	+1	0	0.00000	0.00000	3.79	4.40	89.4
49	-1	-1	-1	-1	+1	0.00065	0.00357	-	-	-
50	+1	-1	-1	-1	+1	0.00014	0.00143	-	-	-
51	-1	+1	-1	-1	+1	0.00016	0.00071	-	-	-
52	+1	+1	-1	-1	+1	0.00000	0.00000	3.71	4.23	85.7
53	-1	-1	+1	-1	+1	0.00071	0.00500	-	-	-
54	+1	-1	+1	-1	+1	0.00019	0.00167	-	-	-
55	-1	+1	+1	-1	+1	0.00022	0.00143	-	-	-
56	+1	+1	+1	-1	+1	0.00008	0.00000	-	-	-
57	-1	-1	-1	0	+1	0.00025	0.00095	-	-	-
58	+1	-1	-1	0	+1	0.00016	0.00071	-	-	-
59	-1	+1	-1	0	+1	0.00000	0.00000	5.00	4.67	86.5
60	+1	+1	-1	0	+1	0.00000	0.00000	5.00	4.77	86.1
61	-1	-1	+1	0	+1	0.00030	0.00071	-	-	-
62	+1	-1	+1	0	+1	0.00016	0.00143	-	-	-
63	-1	+1	+1	0	+1	0.00000	0.00000	4.67	4.56	63.3
64	+1	+1	+1	0	+1	0.00000	0.00000	5.55	5.55	86.2
65	-1	-1	-1	+1	+1	0.00000	0.00000	4.91	5.27	89.3
66	+1	-1	-1	+1	+1	0.00000	0.00000	4.82	4.91	87.7
67	-1	+1	-1	+1	+1	0.00000	0.00000	4.65	4.46	68.6
68	+1	+1	-1	+1	+1	0.00000	0.00000	4.73	4.74	62.6
69	-1	-1	+1	+1	+1	0.00000	0.00000	5.00	4.66	66.6
70	+1	-1	+1	+1	+1	0.00000	0.00000	5.08	4.83	88.5
71	-1	+1	+1	+1	+1	0.00000	0.00000	5.18	4.48	88.5
72	+1	+1	+1	+1	+1	0.00000	0.00000	4.82	4.74	63.3

*See Table 3 for details of each term.

어지는 것으로 나타났다. 이것은 비록 미생물 시험 결과는 음성으로 나왔지만, 살균이 완전하지 않아 PEF처리 후 오염되었을 가능성이 있는 것으로 판단되었다. 또한 처리온도 40~50°C 범위 내에서는 다른 조건이 모두 같았을 때 관능적인 특성 차이는 거의 볼 수 없었다.

영양성분 분석 결과

야채주스에 포함된 주요 영양성분인 비타민 C의 함량변화를 분석해 본 결과 기존의 가열살균 방법으로 생산된 시료의 경우 살균전에 비해 40~50% 정도만을 유지하지만 PEF에 의해 살균된 시료들은 모두 60% 이상을 유지하고 Table 4에서 보면 조건에 따라서는 90%까지도 유지할 수 있는 것으로 나

타났다. 따라서 PEF 살균이 기존의 가열살균 방법에 비해 영양소의 유지 측면에서도 우수하다는 사실을 확인할 수 있었다. 하지만 PEF 살균 조건들간에는 어떤 요인이 얼마나 비타민 C 유지에 영향을 미치는지 뚜렷한 경향을 볼 수는 없었다.

통계 분석 결과

일반적으로 PEF를 이용한 미생물의 살균에 가장 큰 영향을 미치는 알려진 요인으로는 전기장의 세기, 처리시간, 처리온도, 펄스폭, 샘플의 순환속도, 주파수, 매질의 pH와 이온강도 등이 있는데 본 연구에서는 Table 5의 결과에서 보는 바와 같이 처리

Table 5. Effects of independent variables on each product quality analyzed by ANOVA test

	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean square	F-value	P-value
Y_1 (N/N ₀ for bacteria)					
Constant	0.00090	1	0.00090	15.864	0.0002
Electric Field	0.00005	1	0.00005	0.891	0.3487
Frequency	0.00005	1	0.00005	0.820	0.3685
Flow rate	0.00001	1	0.00001	0.084	0.7735
Treatment temperature ¹⁾	0.00125	1	0.00125	22.162	0.0000
Pulse width ¹⁾	0.00108	1	0.00108	19.030	0.0001
Error	0.00373	66	0.00006		
Y_2 (N/N ₀ for yeast and mold)					
Constant	0.07579	1	0.07579	13.871	0.001
Electric Field	0.00801	1	0.00801	1.466	0.230
Frequency	0.00478	1	0.00478	0.876	0.353
Flow rate	0.00001	1	0.00001	0.002	0.965
Treatment temperature ¹⁾	0.10862	1	0.10862	19.881	0.000
Pulse width ¹⁾	0.09298	1	0.09298	17.019	0.000
Error	0.36059	66	0.36059		
Y_3 (sensory evaluated score for taste)					
Constant	580.66000	1	580.66000	1357.000	0.000
Electric Field	0.10098	1	0.10098	0.236	0.633
Frequency	0.47205	1	0.47205	1.103	0.307
Flow rate	0.00890	1	0.00890	0.021	0.887
Treatment temperature	0.13516	1	0.13516	0.316	0.581
Pulse width	0.95505	1	0.95505	2.232	0.153
Error	7.70210	66	0.42790		
Y_4 (sensory evaluated score for color)					
Constant	482.59000	1	482.59000	2613.991	0.000
Electric Field	0.02454	1	0.02454	0.133	0.720
Frequency	0.01644	1	0.01644	0.089	0.769
Flow rate	0.55491	1	0.55491	3.006	0.100
Treatment temperature	0.08706	1	0.08706	0.472	0.501
Pulse width ¹⁾	1.63230	1	1.63230	8.842	0.008
Error	3.32310	66	0.18462		
Y_5 (vitamin C retention)					
Constant	0.00001	1	0.00001	861.061	0.000
Electric Field	47.09700	1	47.09700	0.303	0.589
Frequency	93.89500	1	93.89500	0.603	0.447
Flow rate	52.78100	1	52.78100	0.339	0.568
Treatment temperature	69.39500	1	69.39500	0.446	0.513
Pulse width	64.87000	1	64.87000	0.417	0.527
Error	2802.40000	66	155.69000		

¹⁾significantly effective factors at 95% confidence level

온도와 펄스폭이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 일반세균이나 효모·곰팡이 모두 전기장의 세기, 주파수, flow rate에 의한 영향보다는 처리온도가 증가할수록, 펄스의 폭이 길어질수록 더 효율적으로 살균되었다. 관능검사 항목에 대한 통계처리 결과에서 보는 바와 같이 복합미와 색상의 기호도가 비교적 펄스폭의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 앞서도 언급한 바와 같이 비타민 C 유지에는 뚜렷하게 영향을 주는 요인이 없었다.

최종 관능평가 결과

Table 5의 결과를 전체적으로 살펴볼 때 기존의 가열살균한 시료보다 색상과 복합미가 모두 우수한 조건은 Table 4의 64번 조건으로서 전기장의 세기 40 kV/cm, 주파수 1500 Hz, 순환속도 0.5 mL/sec, 처리온도 40°C, 펄스폭 3 μ s이었고, 색상은 기존 제품과 비슷하고 복합미가 우수한 조건은 65번 조건으로서 전기장의 세기 30 kV/cm, 주파수 1000 Hz, 순환속도 1.0 mL/sec, 처리온도 50°C, 펄스폭 3 μ s였다. 이 두 가지 조건은 비타민 C의 유지 측면에서도 비교적 우수한 것으로 나타났다. 조건 64, 65으로 살균한 시료를 대량으로 만들어 혼련된 패널 20명을 대상으로 최종적으로 다시료 비교검사법에 의한 관능검사를 실시한 결과 PEF 처리한 시료들이 기존의 가열살균한 시료에 비해 색상과 복합미의 기호도에서 모두 95% 신뢰수준에서 시료간의 유의차가 있는 우수한 것으로 나타났다(Table 6).

요 약

비열살균기술 중의 하나인 고전압 펄스 전기장(PEF)을 국내에 시판 중인 야채주스에 적용시켜 미생물적 안전성, 관능적인 기호도 및 영양성분의 유지 측면에서 기존의 가열살균에 의하여 생산된 제

품과 비교하여 우수한 제품을 생산할 수 있는 조건을 찾고자 전기장의 세기, 주파수, 순환속도, 처리온도, 펄스폭을 독립변수로 한 실험설계를 통하여 PEF 살균포장 야채주스를 제조한 후 조건설정실험을 실시하였다. 연구결과를 살펴보면 처리온도와 펄스폭이 미생물 살균효과에 영향을 미치는 것으로 나타났고 관능적인 기호도에 대해서 펄스폭이 다소간의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 하지만 본 연구에서 설정된 조건의 범위 내에서 전기장의 세기, 주파수, 순환속도 등은 제품특성에 뚜렷한 영향은 미치지 않은 것으로 나타났다. 최종적인 관능검사 결과를 통하여 본 연구에서 행해진 전기장의 세기, 주파수, 순환속도의 범위에서 처리온도 40~50°C, 펄스폭 3 μ s의 조건으로 PEF 살균 처리를 하였을 때 기존의 가열살균 처리한 제품보다 영양소유지 측면에서뿐만 아니라 관능적인 기호도 측면에서도 우수한 제품을 생산할 수 있다는 가능성을 확인하였다.

참고문헌

- Barbosa-Canovas GV, Merle D, Zhang QH and Schaffner DW. 2000. Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food processing Technologies: Pulsed Electric Fields. *J. Food Sci.* **65**(Supp.): 65-79
- Castro AJ, Barbosa-Canovas GV and Swanson BG. 1993. Microbial inactivation of foods by pulsed electric fields. *J. Food Proc. Preserv.* **17**: 47-68
- Chernomordik LV, Sukharev SI, Popov SV, Pastushenko VF, Sokirko AV, Abidor IG and Chizmadzhev YA. 1987. The electrical breakdown of cell and lipid membranes: the similarity of phenomenologies. *Biochim Biophys. Acta.* **902**: 360-373
- Coster HGL and Zimmermann U. 1975. The mechanism of electrical breakdown in the membranes of *Valonia utricularis*. *J. Membr. Biol.* **22**: 73-90
- Dimitrov DS. 1984. Electric field-induced breakdown of lipid bilayers and cell membranes: a thin viscoelastic model. *J. Membr. Biol.* **78**: 53-60
- Hamilton WA and Sale AJH. 1967. Effects of high electric fields on microorganisms - II. Mechanism of action of the lethal effect. *Biochim. Biophys. Acta.* **148**: 789-800
- Knorr D, Geulen M, Grahl T and Sitzmann W. 1994. Food application of high electric field pulses. *Trends in Food Sci. Technol.* **5**: 71-75
- Lubicki P and Jayaram S. 1997. High voltage pulse application for the destruction of the Gram-negative bacterium *Yersinia enterocolitica*. *Bioelectrochem. and Bioenergetics.* **43**: 135-141
- Mertens B and Knorr D. 1992. Development of nonthermal processes for food preservation. *Food Technol.* **46**: 124-

Table 6. Results for final sensory evaluation¹⁾

	Condition 64	Condition 65	Control ²⁾
Preference on color of product	7.30 ^a	6.90 ^a	5.10 ^b
Preference on total taste of product	6.60 ^a	6.90 ^a	5.75 ^b

¹⁾10 points preference scaled multiple comparison test conducted by 20 trained panels

²⁾sterilized by thermal treatment(104°C, 112 sec)

*Values having the same letter are not significant at 5% level based on the ANOVA test.

- 130
- Qin BL, Pothakamury UR, Vega H, Martin O, Barbosa-Canovas GV and Swanson BG. 1995. Food pasteurization using high-intensity pulsed electric fields. *Food Technol.* **49**: 55-60
- Vega-Mercado H, Pothacamury UR, Chang EJ, Barbosa-Canovas GV and Swanson BG. 1996. Inactivation of *Escherichia coli* by combining pH, ionic strength and pulsed electric fields hurdles. *Food Res. Int.* 29: 117-121
- Zhang QH, Barbosa-Canovas GV and Swanson BG. 1995. Engineering aspects of pulsed electric field pasteurization. *J. Food Eng.* **25**: 261-281
- Zimmermann U, Pilwat G, Beckers F and Riemann F. 1976. Effects of external electrical fields on cell membranes. *Bioelectrochem. Bioenergetics.* **3**: 58-83