

## 고전압 square wave pulse를 이용한 당근 주스의 살균 및 저장 중 품질 변화

신정규 · 하구용<sup>1</sup> · 변유량<sup>2</sup> · 최문실<sup>3</sup> · 정명수<sup>3,\*</sup>

전주대학교 전통음식문화전공, <sup>1</sup>(주)두산 R&D 센터 주류연구소,  
<sup>2</sup>연세대학교 생명공학과, <sup>3</sup>이화여자대학교 식품공학과

### Pasteurization of Carrot Juice by High Voltage Pulsed Electric Fields with Square Wave Pulse and Quality Change during Storage

Jung-Kue Shin, Koo-Yong Ha<sup>1</sup>, Yu-Ryang Pyun<sup>2</sup>, Mun-Sil Choi<sup>3</sup>, and Myong-Soo Chung<sup>3,\*</sup>

Department of Korean Traditional Food Culture, Jeonju University

<sup>1</sup>R&D Center, Doosan Coporation

<sup>2</sup>Department of Biotechnology, Yonsei University

<sup>3</sup>Department of Food Science and Technology, Ewha Womans University

**Abstract** In this study, carrot juice was treated with high voltage pulsed electric fields (PEF) and the changes in its physical and chemical properties during storage at 4°C and 25°C were investigated. The sterility for bacteria, yeast and mold in carrot juice increased with increasing electric field strength and treatment temperature. While yeast and mold were completely inactivated at 65 kV/cm with a treatment time of 200 μs in a continuous PEF treatment system, bacteria were reduced by four log cycles. The results also showed that square wave pulse treatment was more effective for inactivating microorganisms than exponential decay pulse, and this effect was more apparent for carrot juice of lower pH. Although we observed significant changes in physical and chemical properties such as soluble solid content, pH, acidity, color, and carotene retention when the PEF treated samples were stored at the ambient temperature (20°C), no significant physical and chemical changes were found at the cold storage temperature (4°C) during 28 days of storage. The results indicate that the PEF treated carrot juice is appropriate for commercial refrigerated storage.

**Key words:** high voltage pulsed electric fields, sterility, square wave pulse, carrot juice, physical and chemical changes

## 서 론

우리나라에서는 당근을 주로 생식용이나 라면 스프용으로 이용하고 있으며, 근래에 들어서는 과자나 당근 주스 등으로도 그 활용범위가 넓혀지고 있다. 당근 주스는 제조시 당근 주스 고유의 pH가 6.1-6.5 정도의 중성 범위에 위치하기 때문에 높은 온도에서 처리해야만 적절한 살균 효과를 기대할 수 있다(1,2). 하지만 과도한 열처리로 인하여 당근 주스의 영양 성분, 풍미 및 품질 저하를 초래하게 되며, 또한 유통과정과 저장 중의 유해 미생물의 증식을 방지하기 위하여 pH를 4.0 이하로 낮추어서 제조하고 있다.

당근 주스뿐만 아니라 대부분의 천연 야채나 과일 주스 등의 제조시에 발생하는 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 기존의 열처리나 산처리 방법들을 대체하기 위한 새로운 기술들에 대한 연구가 이루어지고 있다. 현재 식품 산업에서 연구 또는 적용되

고 있는 비열 처리 기술은 고전압 펄스 전기장(high voltage pulsed electric fields, PEF), 진동 자기장, 초고압, 광펄스, 마이크로웨이브(3,4), 이온화조사, 초음파 등을 이용한 물리적 방법과 antimicrobials, bacteriocins, 이산화탄소, 양이온 다중 고분자와 같은 화학 물질 및 세포벽 분해효소 등이 있다(5). 이러한 방법 중 고전압 펄스 전기장을 이용한 식품의 살균 방법은 처리 시간이 짧고, 연속 처리가 가능하며, 처리 후에 식품 품질에 거의 영향을 주지 않기 때문에 많은 연구가 이루어지고 있는 새로운 기술이다.

고전압 펄스 전기장을 이용한 미생물의 불활성화 기작은 몇몇의 연구가 보고되고 있는데(6-9), 미생물 세포에 수만 volt 이상의 전압을 순간적으로 가하여 세포막 사이에 일정 이상의 전위차를 유도시켜 세포막을 파괴시켜 세포의 기능적 손실을 일으켜 사멸시키는 것이라는 이론이 가장 유력하다.

PEF 기술은 현재 식품 산업 분야에서 액상식품의 살균에 한정되어 진행되고 있으나, 최근에 들어서는 미생물의 불활성화뿐만 아니라(10), 식품 내의 효소의 불활성화(11,12)나 식물 세포나 일 반 세포의 투과성 변화에 의한 추출 수율의 향상(13), 식물 세포로부터의 색소 추출, 빵의 물성 개선(14) 등의 또 다른 분야에 그 응용 범위를 넓혀가고 있다. 이러한 고전압 펄스 전기장 기술의 개발 역사는 그리 길지 않지만 영양학적 손실을 최소화할 수 있고, 고품질의 제품을 생산할 수 있다는 점에서 향후 실제 산업에 응용할 수 있는 잠재력이 큰 실용 기술로서 평가를 받고 있지만

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

Received July 10, 2007; accepted August 21, 2007

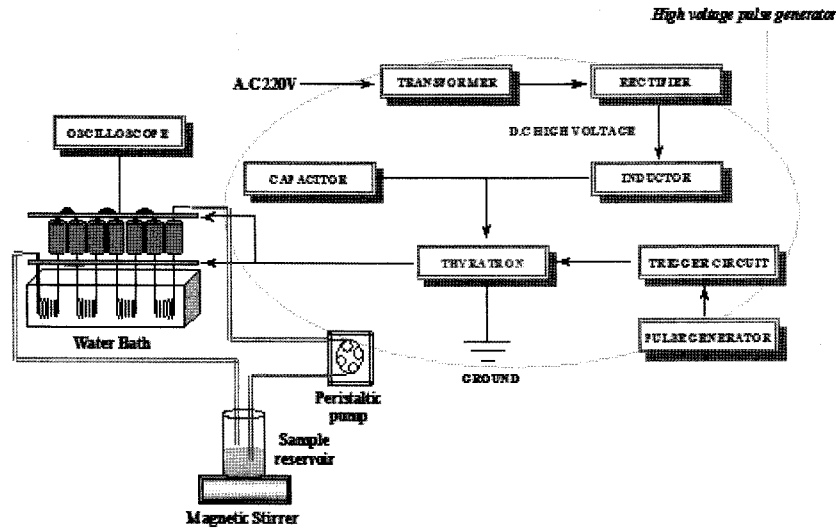


Fig. 1. Schematic diagram of high voltage pulsed electric fields system.

이 분야의 국내 연구는 극히 미미한 실정이다. 본 연구에서는 자체 제작한 고전압 펄스 전기장 장치를 이용하여 직접 제조한 당근 주스의 주요 변패 미생물의 불활성화와 저장 중의 식품화학적 품질 변화 등에 대하여 연구하였다.

## 재료 및 방법

### 당근주스의 제조

제주도에서 파종되어 재배된 홍당근을 시중에서 구입하여 표면에 상처가 없는 신선한 당근을 선별하여 당근 주스 제조에 사용하였다. 구입한 당근을 흐르는 물로 수분간 세척한 후 박피기로 껍질을 벗겨내고 세절한 후 주스기(MC-901, Samsung Co., Seoul, Korea)를 사용하여 착즙하였다. 제조한 당근 주스의 pH는 6.25였으며, 초기 일반세균수는  $5.0 \times 10^5$  CFU/mL이고, 효모 및 곰팡이의 수는  $7.0 \times 10^4$  CFU/mL이었다.

### 고전압 펄스 전기장 장치

고전압 펄스 전기장 처리 장치는 크게 전원 공급부(power supply, Model JP-PS2550, Jaepae Hi-Tec, Incheon, Korea), 펄스 발생기(pulse generator Model JP-PGT50, Jaepae Hi-Tec, Incheon, Korea), 처리용기로 구성되어 있다(Fig. 1). 전원 공급부는 200 V의 AC 입력전원을 고전압 변압기를 통하여 승압하고 정류하여 최대 50 kV DC 전원을 발생시킬 수 있도록 하였다. 펄스 발생기는 출력 파형을 square wave pulse로 구성할 수 있는 펄스 발생망(pulse forming network, PFN)과 고전압의 전기를 순간적으로 발생할 수 있는 스위치로 구성되어 있다. 펄스 발생망은 펄스의 형태와 길이를 조절하는 중요한 부위로서 전원 공급부에서 공급된 전압을 충전 및 rising time을 결정하는 축전지, 펄스의 길이와 falling time을 조절하는 방전 지연 inductor로 구성되어 있다. 고전압 펄스 전기장 처리는 자체 제작한 처리 용기를 사용하여 실시하였다. PEF 처리 용기는 co-field 개념을 도입한 것으로 시료가 전극에 직접 접촉하는 면적을 최소화 하였으며, 불균일한 전기장의 형성을 없애고 시료의 흐름에 edge가 없도록 설계하였으며, 전극 간격 2 mm, 처리 부피 0.025 mL의 아세탈 재질의 용기 7개를 연속으로 연결하여 처리 부피가 0.175 mL가 되도록 하였다. 처리 용기에 인가되는 전기장의 세기와 파형은 oscillo-

scope(Lecroy, 9310 AM, Dual 400 MHz, Geneva, Switzerland)를 이용하여 측정하였으며, 자체 제작한 probe(100 Ω)를 이용하여 전류를 측정하였다.

### 고전압 펄스 전기장 처리

당근 주스 200 mL를 250 mL 용량의 시료 용기에 넣고 밀봉한 다음 peristaltic pump를 사용하여 처리 라인에 순환시키면서 펄스폭 1 μs, 유속 1 mL/sec, 처리시간 1-200 μs, 전기장의 세기 50-70 kV/cm로 변화시키면서 처리하였다. 시료의 처리시간은 다음 식에 의하여 계산하였다.

$$t = nt, \quad n = fV/m \quad (1)$$

t: 1 cycle 되는 동안의 처리시간(sec)

τ: 펄스의 폭(sec)

n: 고전압 전기장 펄스의 수

f: 고전압 전기장 펄스의 주파수(Hz)

V: 처리 용기의 부피(mL)

m: 처리 용액의 유속(mL/sec)

### 생균수의 측정

PEF 처리 전후의 생균수를 pour plate method로 측정하여 CFU/mL로 나타내었다. 생균수를 측정할 때 한천평판상의 colony 수가 30-300개가 나오도록 희석하였으며, 각 희석배수에서 3번 반복하여 측정하였다. 효모와 곰팡이는 potato dextrose agar(Difco, Livonia, MI, USA)에서 3반복으로 30°C에서 3일간 배양하였다. 총 세균수는 plate count agar(Difco)에서 역시 3반복으로 37°C에서 3일간 배양한 후 균수를 측정하였다.

### pH

pH는 pH meter(model 520A, Orion, Walton, MA, USA)로 상온에서 3번 반복하여 측정하여 평균치를 구하였다.

### 가용성 고형분(°Brix)

가용성 고형분(soluble solid)은 0-32% 범위의 당도계(Atago, model N-1E, Tokyo, Japan)를 이용하여 상온에서 측정하였다.

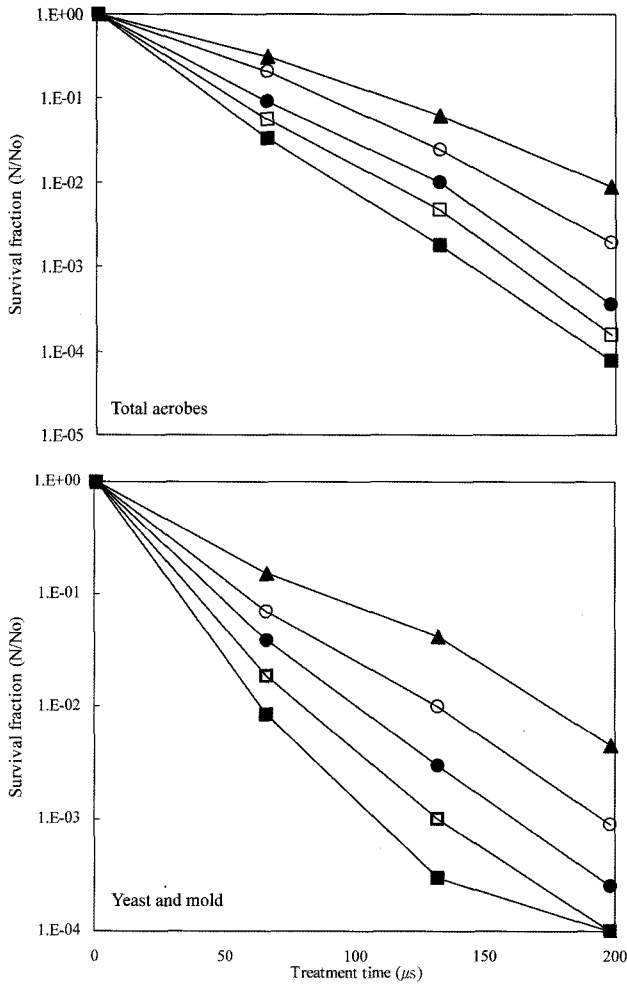


Fig. 2. Effect of electric field strength on inactivation of microorganisms in carrot juice by high voltage pulsed electric fields with square wave pulses. ▲: 50 kV/cm, ○: 55 kV/cm, ●: 60 kV/cm, □: 65 kV/cm, ■: 70 kV/cm.

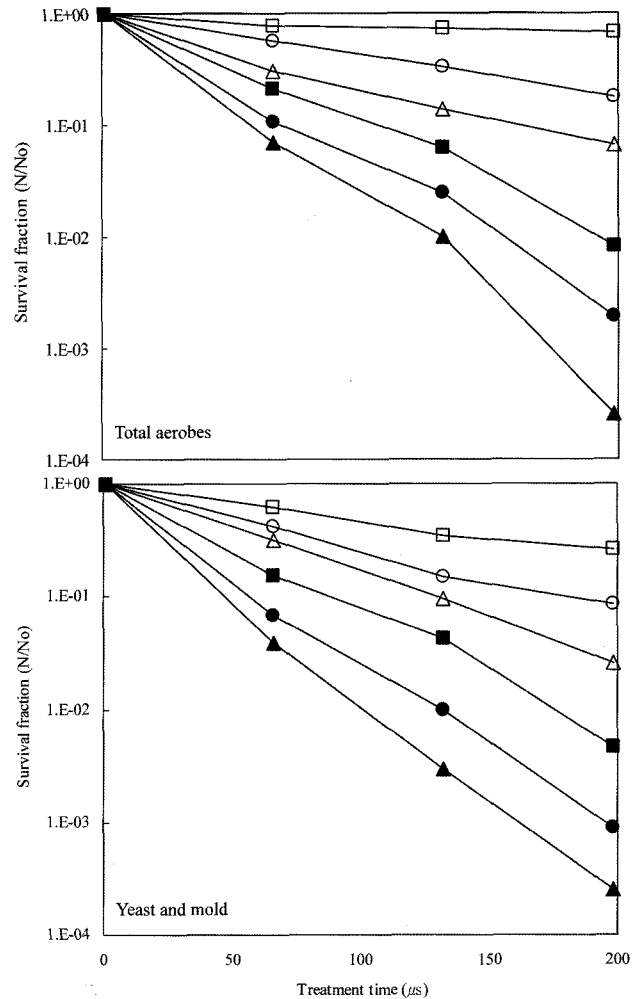


Fig. 3. Survival fraction of microorganisms in carrot juice at pH 6.25 after high voltage pulsed electric fields treatment using exponential decay pulse and square wave pulse. Opened: exponential decay pulse, closed: square wave pulse. □, ■: 50 kV/cm, ○, ●: 55 kV/cm, △, ▲: 60 kV/cm.

적정산도

당근 주스의 적정산도는 2g의 시료에 10 mL의 증류수를 가한 후 0.1 N NaOH로 적정하여 사과산(%)으로 나타내었다(15).

색도측정

당근 주스의 색도는 색차계(Color and Color Difference meter, Chromometer CR 200, Minolta Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 L (명도), a(적색도), b(황색도) 값을 3회 반복 측정하여 평균치를 구하였다.

α-와 β-Carotenes의 분석

α-와 β-carotenes 함량은 HPLC법에 의하여 분석하였다. 100 mL separation funnel에 당근주스 4 mL, 추출용액(hexane : acetone : absolute alcohol : toluene = 10 : 7 : 6 : 7, v/v/v/v) 30 mL와 동량의 10% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 넣고 1분간 흔들어 준 다음 두 층이 분리될 때까지 암실에 넣어 두었다. 상등액은 진공증발 농축기를 이용하여 건조시킨 후 10 mL의 methanol과 methylene chloride 혼합 용액(45 : 55, v/v)으로 다시 용해시켜 0.2 μm membrane filter에 여과한 후 HPLC 분석용 시료로 사용하였다.

HPLC 시스템은 Waters사의 Model M-45 solvent delivery system

과 Hewlett Packard사의 Model 3396 series integrator, Youngin사의 Model M720 Absorbance Detector, Capcell pak C<sub>18</sub> column (Shiseido, 4.6 × 250 mm, Tokyo, Japan)이며, 유속은 1.5 mL/min이었다. 검량선은 Sigma사의 α-(type V), β-(type IV) carotenes을 구입하여 methanol과 methylene chloride 혼합용액(45 : 55, v/v)에 일정량을 용해시켜 HPLC로 분석하여 피크면적으로 작성하였다.

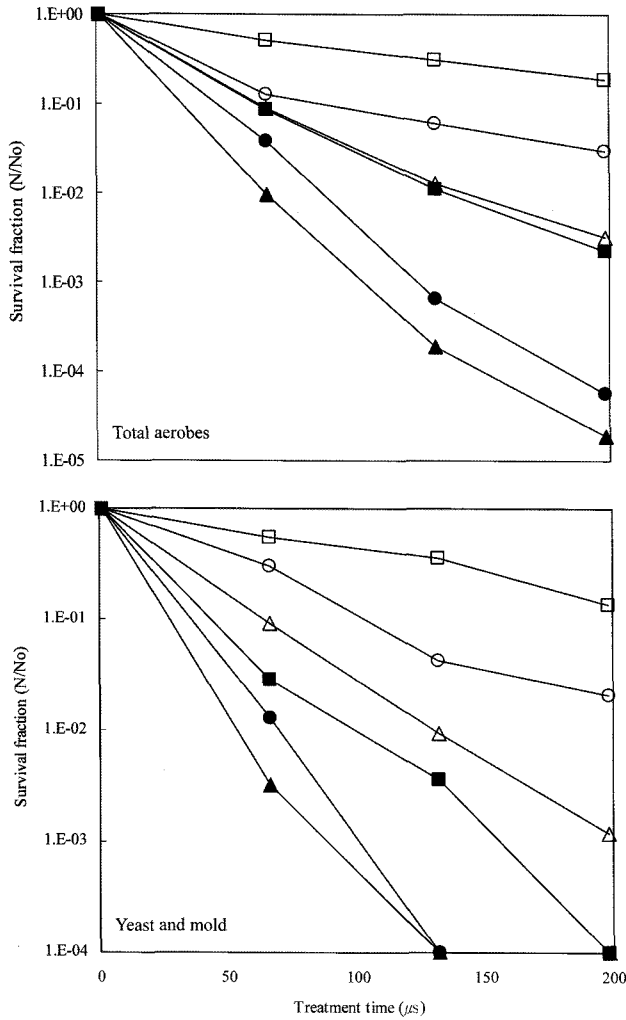
통계분석

생균수, pH, 가용성 고형분, 적정산도, 색도, α-, β-carotenes 등의 data는 ANOVA 분석을 하여 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

전기장 세기 및 처리 시간에 따른 살균효과

전기장 세기 50, 60, 70 kV/cm에서 처리 시간을 달리하여 당근 주스를 고전압 펄스 전기장 처리한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 보듯이 전기장의 세기가 증가함에 따라 일반세균과 효모 및 곰팡이 모두 감소하였다. 일반세균은 70 kV/cm, 200 μs의 고전압 펄스 처리 후 약 4 log 정도의 감소를 보였으나 완전한



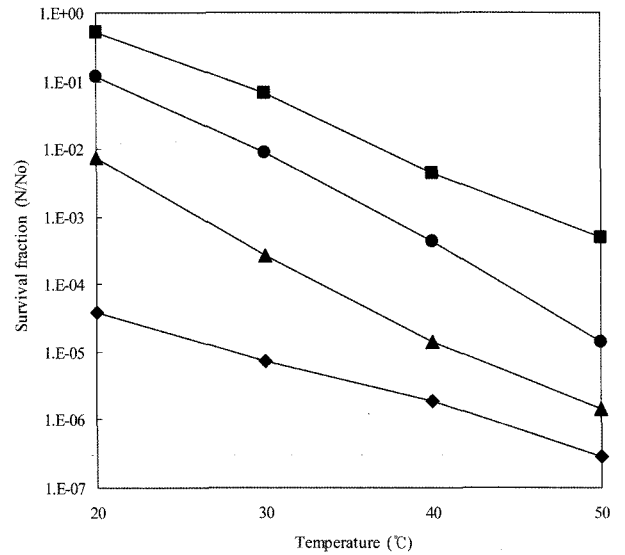
**Fig. 4.** Survival fraction of microorganisms in carrot juice at pH 4.25 after high voltage pulsed electric fields treatment using exponential decay pulse and square wave pulse. Opened: exponential decay pulse, closed: square wave pulse. □, ■: 50 kV/cm, ○, ●: 55 kV/cm, △, ▲: 60 kV/cm.

**Table 1.** Effect of treatment temperature and pH on survival fraction of yeasts and molds in carrot juice<sup>1)</sup>

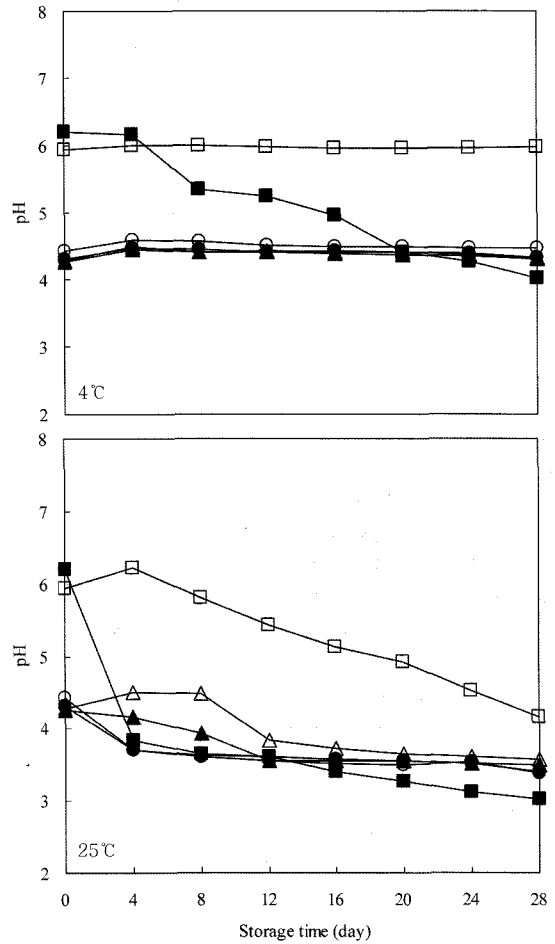
Temperature (°C)	Viable cell (CFU/mL)			
	pH 3.25	pH 4.25	pH 5.25	pH 6.25
20	n.d. <sup>2)</sup>	n.d.	$6.90 \times 10^1$	$2.45 \times 10^2$
30	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
40	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
50	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

<sup>1)</sup>Electric field strength: 55 kV/cm, pulse width: 1 μs, treatment time: 131 μs  
<sup>2)</sup>n.d.: not detected

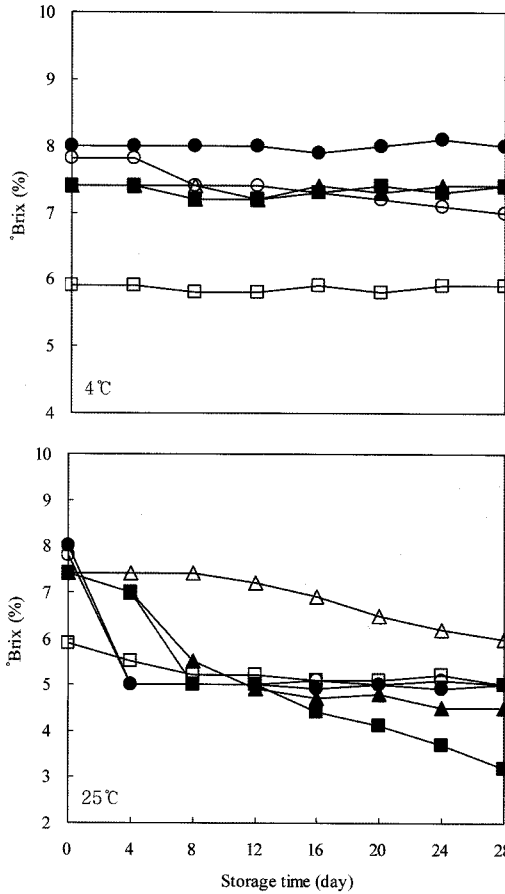
살균에는 이르지 못하였다. 그러나 효모 및 곰팡이는 65 kV/cm, 200 μs의 처리로도 당근 주스 내에 분포하는 모든 균을 사멸되어 일반세균에 비해 효과적인 살균 효과를 얻을 수 있었다. 고전압 펄스 전기 처리 중 당근 주스의 온도는 거의 상승되지 않아 열에 의한 살균은 전혀 일어나지 않았다.



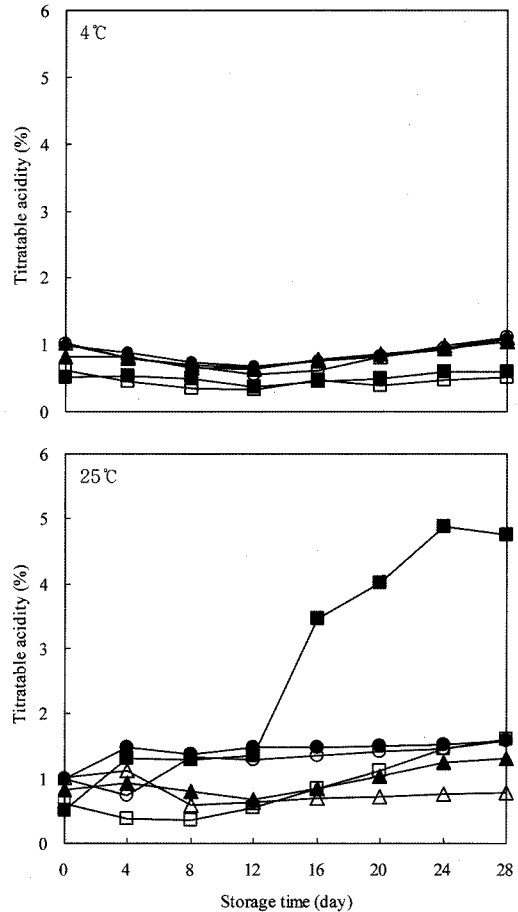
**Fig. 5.** Effect of treatment temperature and pH on survival fraction of total aerobes in carrot juice. ■: pH 6.25, ●: pH 5.25, ▲: pH 4.25, ◆: pH 3.25. Electric field strength: 55 kV/cm, pulse width: 1 μs, treatment time: 132 μs.



**Fig. 6.** pH changes of carrot juice during storage at 4°C and 25°C. ■: control, ●: pH 4.25 + heat treatment, ▲: pH 4.25 + PEF, □: conventional, ○: pH 4.25, △: pH 4.25 + PEF + 50°C. Electric field strength: 55 kV/cm, pulse width: 1 μs, treatment time: 132 μs. Conventional: 105°C, 1 min, heat treatment: 50°C, 100 sec, control: untreated.



**Fig. 7. Brix changes of carrot juice during storage at 4°C and 25°C.** ■: control, ●: pH 4.25 + heat treatment, ▲: pH 4.25 + PEF, □: conventional, ○: pH 4.25, △: pH 4.25 + PEF + 50°C. Electric field strength: 55 kV/cm, pulse width: 1 μs, treatment time: 132 μs. Conventional: 105°C, 1 min, heat treatment: 50°C, 100 sec, control: untreated.



**Fig. 8. Titratable acidity changes of carrot juice during storage at 4°C and 25°C.** ■: control, ●: pH 4.25 + heat treatment, ▲: pH 4.25 + PEF, □: conventional, ○: pH 4.25, △: pH 4.25 + PEF + 50°C. Electric field strength: 55 kV/cm, pulse width: 1 μs, treatment time: 132 μs. Conventional: 105°C, 1 min, heat treatment: 50°C, 100 sec, control: untreated.

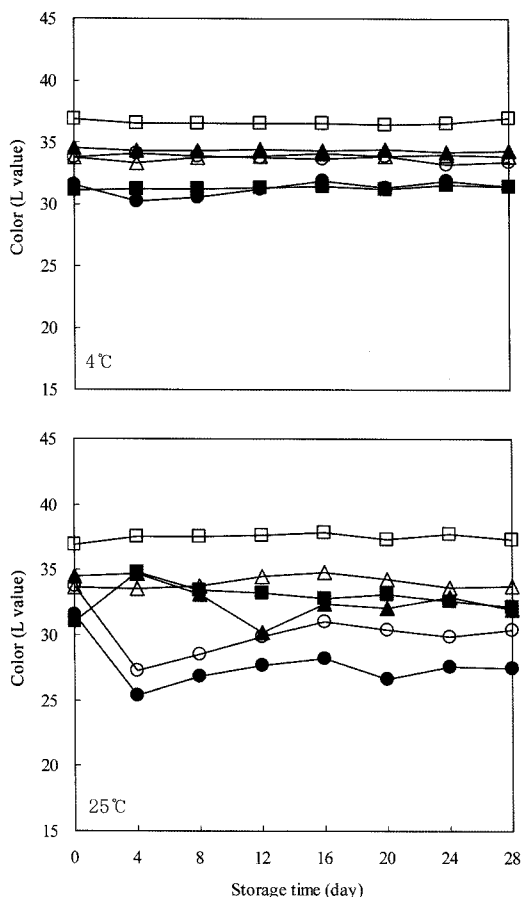
**Square wave pulse와 exponential decay pulse의 살균 효과 비교**

고전압 펄스 전기장 처리에 사용되는 펄스 파형은 크게 exponential decay pulse와 square wave pulse로 구분된다. Square wave pulse는 가해지는 대부분의 펄스 에너지가 전기적 에너지로 처리 식품에 전달되어 큰 살균 효과를 얻을 수 있는 반면 exponential decay pulse는 긴 tailing을 갖으며 이 tailing 부분은 사멸 효과를 갖지 못하고 식품에 열 에너지로 전달되어 열을 발생시키고 살균 효과는 떨어지게 된다(16). 전기장의 세기 50-60 kV/cm, 연속 처리 용기에서 제조한 당근 주스를 flow rate 1 mL/sec로 흘려 보내면서 처리 시간을 66-198 μs까지 달리하여 동일한 처리 조건으로 pulse의 모양에 따른 살균 효과의 차이를 조사하였다. 직접 착즙 제조한 당근 주스의 pH는 6.25이었으며, 일반 시장에서 판매되고 있는 당근 주스의 pH는 4.25이므로 각각의 조건에서 실험하였다. pH 6.25에서는 60 kV/cm, 198 μs 처리시 일반세균과 효모 및 곰팡이 수는 각각 2 log cycle 이상의 차이를 보여 처리 시간이 길어질수록 square wave pulse를 이용한 PEF 살균 효과가 exponential decay pulse보다 더 우수함을 알 수 있었다(Fig. 3). pH 4.25에서는 55 kV/cm, 132 μs 처리시 효모 및 곰팡이는 square wave pulse에서 멸균이 되었지만 exponential decay pulse에서는 1.5 log cycle만 감소하였으며, 일반세균수는

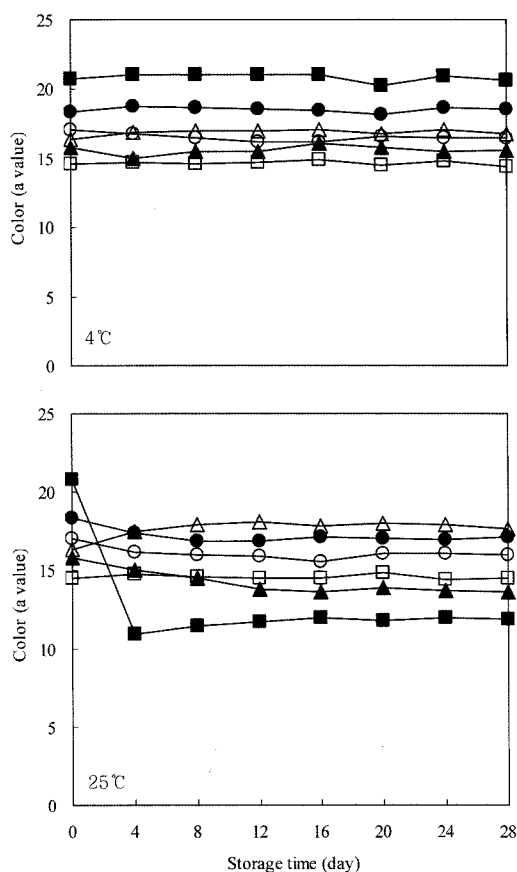
square wave pulse가 2 log cycle 이상 살균효과가 더 우수하였다(Fig. 4). Zhang 등(16)은 *S. cerevisiae*를 이용하여서 동일한 전기장 세기와 처리 시간을 가지고 square wave pulse와 exponential decay pulse의 살균 효과를 비교한 결과 square wave pulse가 1 log cycle 이상의 살균 효과가 높은 것으로 보고하였다. 이러한 결과를 보았을 때 exponential decay pulse보다 square wave pulse를 사용하는 것이 더 효율적이며, 특히 pH가 낮을수록 두 파형 사이의 살균효과는 더 큰 차이를 보였다.

**온도 및 pH 변화에 따른 PEF 살균**

고전압 펄스전기장에 의한 미생물의 불활성화에 미치는 또 다른 인자는 미생물이 포함되어 있는 매질의 온도이다(10,17). 본 실험에서는 열에 의한 미생물의 사멸 효과를 배제하고, 당근 주스의 품질에 영향을 미치지 않는 범위에서 매질의 온도가 살균에 미치는 영향을 조사하였으며, 또한 식품의 pH가 고전압 펄스 전기장에 의한 살균에 어떠한 영향을 미치는지를 검토하였다. Square wave pulse를 이용하여 전기장의 세기 55 kV/cm, 펄스폭 1 μs, flow rate 1 mL/sec의 조건으로 시료의 처리 온도는 20-50°C, 각각 pH를 3.25-6.25°C로 조절하여 PEF 처리를 하였다. 전기장의 세기를 55 kV/cm로 정한 이유는 실험에 사용한 가장 높은 온도



**Fig. 9.** Color (L value) changes of carrot juice during storage at 4°C and 25°C. ■: control, ●: pH 4.25 + heat treatment, ▲: pH 4.25 + PEF, □: conventional, ○: pH 4.25, △: pH 4.25 + PEF + 50°C. Electric field strength: 55 kV/cm, pulse width: 1 μs, treatment time: 132 μs. Conventional: 105°C, 1 min, heat treatment: 50°C, 100 sec, control: untreated.



**Fig. 10.** Color (a value) changes of carrot juice during storage at 4°C and 25°C. ■: control, ●: pH 4.25 + heat treatment, ▲: pH 4.25 + PEF, □: conventional, ○: pH 4.25, △: pH 4.25 + PEF + 50°C. Electric field strength: 55 kV/cm, pulse width: 1 μs, treatment time: 132 μs. Conventional: 105°C, 1 min, heat treatment: 50°C, 100 sec, control: untreated.

인 50°C에서 안정적인 전기장을 형성할 수 있기 때문이다. 한편, 온도가 높아지면 세포막의 유동성이 증가해서 세포막이 잘 수축되므로 고전압 펄스에 의한 세포막의 파손이 쉽게 일어난다(18). Table 1은 제조한 당근 주스를 전술한 조건으로 처리한 결과를 나타낸 것이다. pH 5.25, 6.25에서 20°C로 처리한 경우에 10<sup>2</sup> cells/mL 정도의 효모 및 곰팡이가 관찰되었을 뿐 나머지 조건에서는 모두 사멸되었다. 따라서 고전압 펄스 전기장 처리시 pH 병합 효과만으로도 효모 및 곰팡이는 저온인 30~50°C에서도 멸균을 시킬 수 있었다. 또한 이러한 사멸 효과가 열에 의한 것이 아닌지 검증하기 위하여 PEF 처리를 하지 않고 같은 시간 동안에 순수하게 열처리만 한 결과, 60°C에서도 거의 균수가 줄어들지 않았다. 일반세균수는 pH 4.25에서 50°C에서도 멸균되었다(Fig. 5). 이 결과로부터 pH 4.25와 50°C 조건에서 당근 주스의 살균이 가능한 것을 알 수 있었고, 처리 온도 및 pH가 당근 주스의 PEF 살균에 매우 큰 영향을 미치는 인자라는 사실을 알 수 있었다.

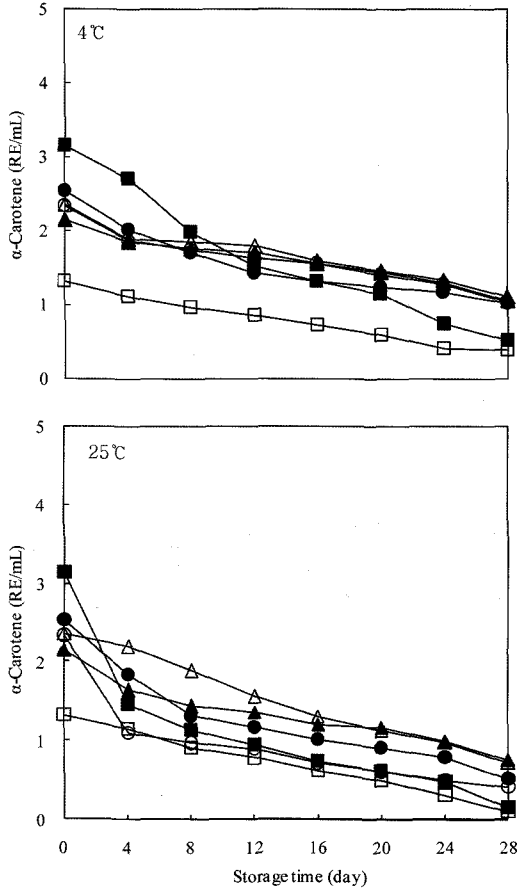
**PEF 처리한 당근 주스의 저장성 평가**

신선한 당근을 구입하여 당근 주스를 제조한 다음, 무처리 시료(pH 6.25), pH 4.25로 조절한 시료, pH 4.25로 조절하고 50°C에서 열처리한 시료, pH 4.25로 조절하고 PEF 처리한 시료, pH 4.25로 조절하고 50°C에서 PEF 처리와 열 병합처리, 기존의 열

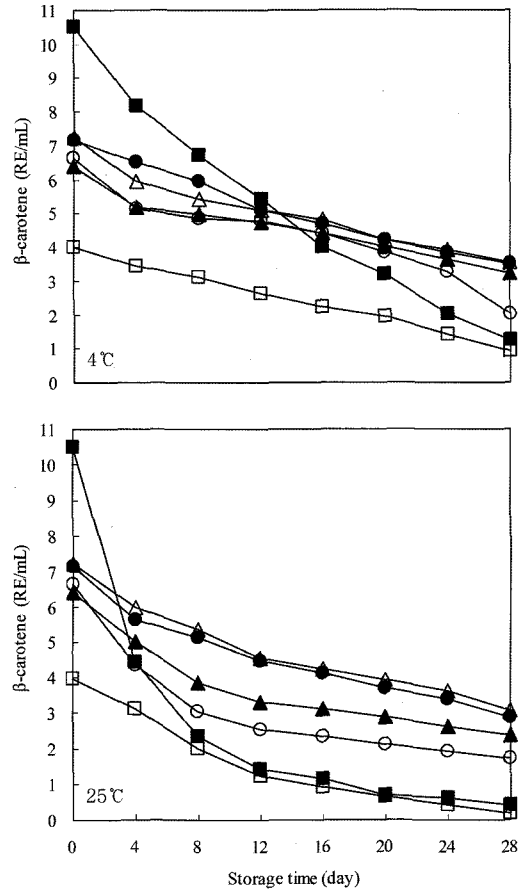
처리 당근 주스로 구분해서 각각 4, 25°C에서 4일 간격으로 실험하였다. PEF 처리 조건은 전기장의 세기 55 kV/cm, 펄스폭 1 μs, flow rate 1 mL/sec, 처리시간 132 μs로 하였고 pH 조절은 1N citric acid 용액으로 하였다. 기존의 열처리 조건은 peeling → trimming → blanching → 착즙 → 살균(105°C, 1 min)이었다.

**pH:** 4°C에 저장했을 때 저장기간 동안에 모든 시료는 거의 pH를 유지하였지만 무처리 시료는 8일째부터 pH가 낮아져서 28일에는 pH가 4까지 떨어지는 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 6). 이와 같은 결과는 무처리 시료에 함유되어 있는 효소나 미생물 등의 작용으로 인해 유기산이 생성되어 품질에 나쁜 영향을 주기 때문인 것으로 생각된다. 25°C에서 저장했을 때는 Fig. 6에 나타난 것과 같이 모든 시료의 pH가 낮아지는 것을 관찰할 수 있었는데 다만 pH 4.25인 시료를 PEF와 열병합 처리한 것이 가장 낮은 변화를 보여서 PEF 처리가 저장 기간 동안에 pH 변화를 일으키지 않는 것을 알 수 있었다.

**가용성 고형분:** 4°C에 저장했을 때 모든 시료들의 고형분 함량(°Brix) 변화가 없었다. 그러나 25°C에 저장했을 때는 모든 시료의 고형분 함량이 서서히 감소하였으며, 그 중에서 무처리 시료의 고형분 함량의 감소폭이 가장 커 28일 후에는 약 50%까지 감소되었으며(Fig. 7), 층분리 현상을 보였다. 또한 기존의 가열



**Fig. 11. Changes of  $\alpha$ -carotene content in carrot juice during storage at 4°C and 25°C.** ■: control, ●: pH 4.25 + heat treatment, ▲: pH 4.25 + PEF, □: conventional, ○: pH 4.25, △: pH 4.25 + PEF + 50°C. RE: retinol equivalents. Electric field strength: 55 kV/cm, pulse width: 1  $\mu$ s, treatment time: 132  $\mu$ s. Conventional: 105°C, 1 min, heat treatment: 50°C, 100 sec, control: untreated.



**Fig. 12. Changes of  $\beta$ -carotene content in carrot juice during storage at 4°C and 25°C.** ■: control, ●: pH 4.25 + heat treatment, ▲: pH 4.25 + PEF, □: conventional, ○: pH 4.25, △: pH 4.25 + PEF + 50°C. RE: retinol equivalents. Electric field strength: 55 kV/cm, pulse width: 1  $\mu$ s, treatment time: 132  $\mu$ s. Conventional: 105°C, 1 min, heat treatment: 50°C, 100 sec, control: untreated.

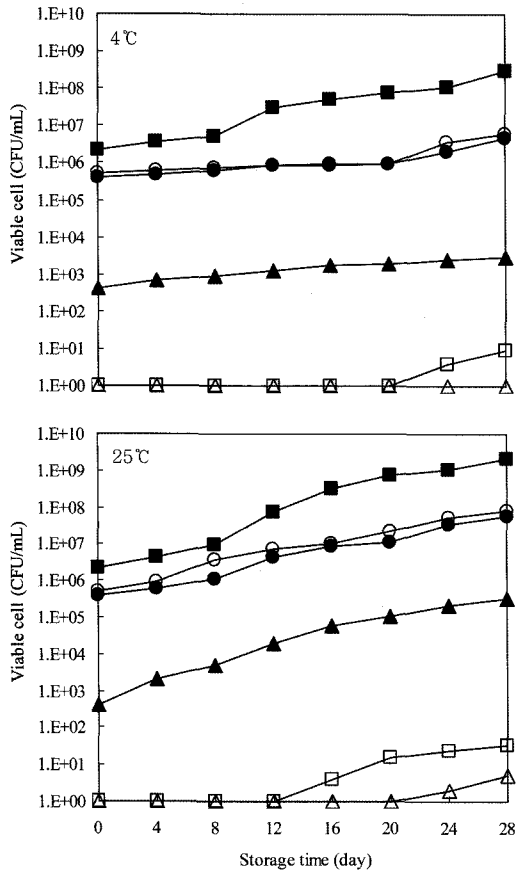
살균 방식으로 처리한 당근 주스도 적은 양의 고형분 손실을 볼 수 있었는데 가장 손실이 적고 품질이 유지된 시료는 pH 4.2, 50에서 PEF 처리한 것이었다.

**적정 산도:** 4°C에서 여러 가지 시료를 저장하면서 적정 산도 (titratable acid)의 변화를 관찰한 결과는 Fig. 8과 같다. 가용성 고형분과 마찬가지로 적정산도도 저온 저장을 했을 때는 거의 변하지 않았다. 25°C에 저장했을 때는 무처리 시료를 제외하고 다른 시료의 적정산도는 약간 상승하였으나, 관능적 품질에 영향을 줄 정도는 아니었으며, 무처리 시료의 적정 산도만 약 5배 증가하여 보이고 산취를 나타내었다. Jung(19)은 탁주를 같은 조건에서 실험한 결과 30°C에 저장했을 때 무처리 시료인 경우 8일째부터 산도가 증가되었으나, 4°C에 저장했을 때는 변화가 없음을 보고하였다. 이러한 결과를 보았을 때 pH와 열을 병합한 PEF 처리가 식품의 관능적인 품질 변화는 주지 않는 것을 알 수 있었다.

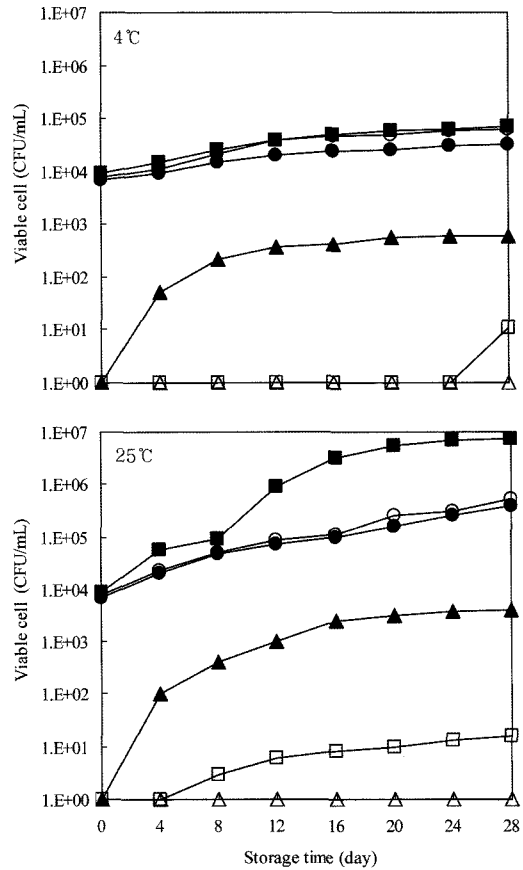
**색도:** 4°C에 저장한 시료의 명도를 나타내는 L값은 변화를 관찰할 수 없었으며 당근 주스 고유의 색을 나타내었다. 25°C에 저장한 경우에는 L값에 약간의 변화가 있었으나 눈으로 확인되는 변화는 관찰되지 않았다(Fig. 9). Chen 등(15)은 당근 주스의 색도가 감소되는 이유 중의 하나는 열처리동안 carotenoid가 열에

의해서 *cis*-isomer를 형성하여 색의 강도가 감소하기 때문이라고 보고하였다. 적색도를 나타내는 a 값은 모든 시료에서 적색값을 나타내었고 4°C에 저장했을 때는 변화를 관찰할 수 없었다. 25°C에 저장했을 때는 무처리 시료만이 50% 이상 감소하였는데, carotenoid의 감소와 거의 같은 경향을 나타내었다(Fig. 10). 황색도를 나타내는 b 값도 모든 값이 황색을 나타내었고 4°C 및 25°C에 저장했을 때 다만 무처리 시료만이 약간 감소되었을 뿐 다른 모든 시료는 변하지 않았다.

**$\alpha$ - 및  $\beta$ -carotene:** Vitamin A의 전구체인  $\alpha$ - 및  $\beta$ -carotene은 열과 빛에 민감하여 저장 중 활성이 감소되는 성질을 가지고 있다(15,20). Fig. 11에 나타낸 것과 같이 저장 중에 모든 시료의  $\alpha$ -carotene은 감소하는 경향을 나타내었으며, 저장온도가 높을수록 더 많이 감소하는 것을 알 수 있었다. 무처리 시료는 초기에 3 retinol equivalents(RE)/mL의 제일 높은 carotene을 함유하고 있었으나 저장 4일만에 약 50% 감소하였으며 28일 후에는 열처리 당근 주스와 비슷한 정도로 활성이 감소하였다.  $\beta$ -Carotene의 저장 중 변화 정도는  $\alpha$ -carotene보다 커 4°C 및 25°C에 저장했을 때 무처리 시료는 활성이 거의 없어졌다(Fig. 12). PEF 처리한 시료의 저장 중 carotenes의 변화는 가장 낮아 비교적 일정하게 유지되었는데 이것은 과일 또는 야채에 존재하면서 비타민 특히



**Fig. 13.** Changes of total aerobes in carrot juice during storage at 4°C and 25°C. ■: control, ●: pH 4.25 + heat treatment, ▲: pH 4.25 + PEF, □: conventional, ○: pH 4.25, △: pH 4.25 + PEF + 50°C. Electric field strength: 55 kV/cm, pulse width: 1 μs, treatment time: 132 μs. Conventional: 105°C, 1 min, heat treatment: 50°C, 100 sec, control: untreated.



**Fig. 14.** Changes of yeast and mold in carrot juice during storage at 4°C and 25°C. ■: control, ●: pH 4.25 + heat treatment, ▲: pH 4.25 + PEF, □: conventional, ○: pH 4.25, △: pH 4.25 + PEF + 50°C. Electric field strength: 55 kV/cm, pulse width: 1 μs, treatment time: 132 μs. Conventional: 105°C, 1 min, heat treatment: 50°C, 100 sec, control: untreated.

carotene류의 산화과괴에 관여하는 lipoxygenase 효소의 활성이 감소하였기 때문인 것으로 생각된다.

**일반세균, 효모 및 곰팡이:** 일반세균수의 변화를 살펴보면 PEF 처리를 하지 않은 시료를 4°C에 저장했을 때 Fig. 13에 나타난 것과 같이 28일 후에 최고 2 log cycle 정도 균수가 증가하였으나 pH 4.25, 50°C에서 PEF를 병합처리한 시료는 저장 기간 동안 무균 상태가 유지되었지만 열처리한 당근 주스는 저장기간 20일 후에는 균수가 증가되기 시작하였다. 25°C에 저장한 경우 pH 4.25, 50°C에서 PEF를 병합 처리한 시료에서만 균의 생육이 없었으며, 기존 열처리 시료는 20일 이후부터 일반세균 수의 증가가 나타났다. 다른 처리 시료에서는 변패가 심하게 일어나 관능적으로 주스 품질을 갖지 못했다. 효모 및 곰팡이의 변화도 일반세균과 같은 경향을 보여 pH를 4.25로 조절하고 50°C에서 PEF-열병합 처리한 시료만이 저장 기간 동안에 균의 생육을 관찰할 수 없었다(Fig. 14).

### 요 약

비열 살균 기술인 high voltage PEF를 이용하여 당근 주스를 처리하였을 때 당근주스의 살균력과 저장 중 품질 변화를 관찰

하였다. 전기장의 세기를 50, 60, 70 kV/cm에서 처리 시간을 달리하여 당근주스를 처리한 결과 전기장의 세기가 증가함에 따라 일반 세균과 효모 및 곰팡이 모두 감소하였다. 효모 및 곰팡이는 65 kV/cm, 200 μs 처리시 모든 균이 사멸되었고 일반세균은 멸균에까지 이르지 못하는 못하였으나 70 kV/cm, 200 μs 처리 후 4 log cycle 정도 감소되었다. 고전압 펄스 전기장 처리에 사용되는 펄스 파형인 square wave pulse와 exponential decay pulse가 살균 효과에 미치는 차이를 비교하기 위하여 각각 4.25와 6.25의 pH에서 PEF 처리를 하여 실험하였다. 그 결과 square wave pulse를 이용한 PEF의 살균효과가 exponential decay pulse를 이용하였을 때보다 우수하였으며 처리 시간이 길어질수록, 당근주스의 pH가 낮을수록 두 파형 사이의 살균효과는 더 큰 차이를 나타내었다. 온도 및 pH의 병합처리가 PEF의 살균효과에 미치는 영향을 알아보기 위하여 온도 및 pH를 달리하여 55 kV/cm, 132 μs의 조건에서 PEF 처리한 결과 병합 처리시 살균효과가 눈에 띄게 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. PEF 처리한 당근주스의 저장 시 품질변화를 관찰한 결과 pH와 열처리를 PEF와 병합하여 처리한 후 4°C 저장한 당근 주스에서 pH, °Brix, 산도, 색도 그리고 α-, β-carotenes 함량에 눈에 띄는 차이를 나타내지 않았으며, 28일 동안 균의 생육을 관찰할 수 없었다.



## 문 헌

1. Ogunlesi AT, Lee CY. Effect of thermal processing on the stereo-isomerization of major carotenoids and vitamin A value of carrot. *Food Chem.* 4: 311-320 (1979)
2. Panalaks T, Murray YK. Effect of processing on the content of carotenoids isomers in vegetables and peaches. *J. Inst. Can. Technol.* 3: 145-152 (1970)
3. Mertens B, Knorr D. Developments of nonthermal processes for food preservation. *Food Technol.-Chicago* 46: 124-133 (1992)
4. Qin B, Pothakamury UR, Vega H, Martin O, Barbosa-Canovas GV, Swanson BG. Food pasteurization using high-intensity pulsed electric fields. *Food Technol.-Chicago* 49: 55-60 (1995)
5. Ray B. Control by New Nonthermal Methods. In: *Fundamental Food Microbiology*. CRC Press, New York, NY, USA. pp. 441-460 (1996)
6. Chernomordik LV, Sukharev SI, Popov SV, Pastushenko VF, Sokirko AV, Abidor IG, Chizmadzhev YA. The electrical breakdown of cell and lipid membranes: The similarity of phenomenologies. *Biochim. Biophys. Acta* 902: 360-373 (1987)
7. Dimirtrov DS. Electric field-induced breakdown of lipid bilayers and cell membranes: A thin viscoelastic model. *J. Membrane Biol.* 78: 53-60 (1984)
8. Coster HGL, Zimmerman U. The mechanism of electrical breakdown in the membranes of *Valonia utricularis*. *J. Membrane Biol.* 22: 73-90 (1975)
9. Shin JK. Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* by high voltage pulsed electric fields. PhD thesis, Yonsei University, Seoul, Korea (2000)
10. Qin BL, Pothakamury UR, Vega H, Martin O, Barbosa-Canovas GV, Swanson BG. Nonthermal pasteurization of liquid foods using high intensity pulsed electric fields. *Crit. Rev. Food Sci.* 36: 603-627 (1996)
11. Vega H, Powers JR, Barbosa-Canovas GV, Swanson BG. Plasmin inactivation with pulsed electric fields. *J. Food Sci.* 60: 1143-1148 (1995)
12. Vega H, Powers JR, Martin-Belloso O, Leudecke L, Barbosa-Canovas GV, Swanson BG. Effect of pulsed electric fields on the susceptibility of protein to proteolysis and inactivation of an extra cellular protease from *Pseudomonas fluorescens* M3/6V. pp. C73-77. In: *International Congress on Engineering and Food*. April 13-17, Brighton, UK (1997)
13. Rogob EA. Electroporation. p. 86. In: *Electrical and Physical Process of Food*. Agriculture Production, Moscow, Russia (1988)
14. Aibara S, Hisaki K, Watanabe K. Effects of high-voltage field treatment on wheat dough and bread-making properties. *Cereal Chem.* 69: 465-467 (1992)
15. Chen BH, Peng HY, Chen HE. Changes of carotenoids, color, and vitamin A contents during processing of carrot juice. *J. Agr. Food Chem.* 43: 1912-1918 (1995)
16. Zhang Q, Monsalve-Gonzalez A, Qin BL, Barbosa-Canovas GV, Swanson BG. Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* by square wave and exponential decay pulsed electric field. *J. Food Process Eng.* 17: 469-478 (1994)
17. Vega-Mercado H, Pothakamury UR, Chang FJ, Barbosa-Canovas GV, Swanson BG. Inactivation of *Escherichia coli* by combining pH, ionic strength, and pulsed electric field hurdles. *Food Res. Int.* 29: 117-121 (1996)
18. Oshima T, Sato K, Terauchi H, Sato M. Physical and chemical modification of high-voltage pulse sterilization. *J. Electrostat.* 42: 159-166 (1997)
19. Jung TB. Nonthermal sterilization of *takju* by high voltage pulsed electric field. MD thesis. Yonsei University, Seoul, Korea (1996)
20. Lim SB, Jwa MK. Effect of blanching condition on the quality of carrot juice. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 25: 680-686 (1996)