

## 고전압 펄스 전기장 처리된 사과주스의 저장중 품질변화

김경탁 · 김성수 · 이영춘\*

한국식품개발연구원, \*중앙대학교 식품공학과

### Changes in Quality of PEF Treated Apple Juice during Storage

Kyung-Tack Kim, Sung-Soo Kim and Young-Chun Lee\*

Korea Food Research Institut

\*Department of Food Science & Technology, Chung Ang University

#### Abstract

This study was designed to develop non-thermal pasteurized fresh apple juice by applying pulsed electric field (PEF) treatment. The effect of non-thermal PEF treatment on physicochemical and sensory properties of apple juice was examined by measuring changes in vitamin C contents, colors, flavors and sensory properties. Color of PEF and heat treated apple juices was not significantly different from each other. Vitamin C content of PEF treated apple juice was close to that of fresh apple juice, but was much higher than that of heat treated apple juice. Heat treated apple juice lost 70% of flavor components, whereas PEF-treated apple juice lost only 15%. Sensory scores of PEF treated apple juice were significantly higher than heat-treated one in flavor, taste and overall acceptability. In conclusion, PEF treated apple juice had superior physico-chemical and sensory properties to heat-treated one.

Key words: Pulsed Electric Field(PEF), apple juice, non-thermal processing, quality

#### 서 론

현재 국내에서 유통되는 대부분의 사과주스 제품은 일반적인 살균방법인 고온단시간 처리 방식으로 가공됨으로 원료 사과의 신선한 맛이 일부 소실됨과 동시에 열에 의한 영양성분의 파괴, 변색, 향기성분의 손실 등 품질저하<sup>(1,2)</sup>를 동반하고 있다. 최근에는 이와같은 가열살균의 문제점을 방지하고자 사과를 착즙하여 저온살균 후 냉장 유통하는 chilled apple juice가 등장하고 있으나, 이 또한 유통기한이 매우 짧아 장거리 유통이 어렵고 냉장 유통에 의한 비용상승 등의 문제점이 나타나고 있다. 이런 문제점들을 해결하고자 여러 가지 비가열 처리 기술이 개발되고 있는데 식품산업에서 실용화를 위해 개발되고 있는 비가열 처리 기술로는 고전압 펄스 전기장(pulsed electric field, PEF), 진동 자기장, 이온화 조사, 광펄스, 초고압<sup>(3)</sup>, 초음파, 마이크로 웨이브<sup>(4)</sup> 등을 이용한 물리적 방법과 이산화탄소, 양이온 다중 고분자 같은 화학물질 및 세포벽

분해효소 등이 있다<sup>(5)</sup>. 이러한 방법들 중에서 고전압 펄스 전기장에 의한 미생물의 불활성화는 처리중 온도가 거의 상승하지 않고 처리시간이 짧으며 연속처리가 가능하고 처리후에 식품의 물리적, 화학적 및 영양학적 특성들이 거의 변하지 않기 때문에 최근 관심이 집중되고 있다<sup>(6)</sup>.

고전압 펄스 전기장 처리기술은 개발의 역사는 짧지만 살균에 열을 이용하지 않는 비가열 공정이므로 특히 영양학적 손실을 최소화 할 수 있고, 고품질의 제품을 생산할 수 있다는 점에서 잠재력이 큰 첨단 가공기술의 하나인 것으로 평가되고 있지만 이 분야의 국내 연구는 극히 초보적인 수준에 불과한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 PEF 처리 기술을 사과주스에 적용하여 비가열 처리된 신선 사과주스와 가열처리한 사과주스의 저장중 품질특성 변화를 조사하고자 하였다.

#### 재료 및 방법

고전압 펄스 전기장(Pulsed Electric Field, PEF) 처리  
고전압 펄스 전기장(Pulsed Electric Field, PEF)에 의

Corresponding author: Kyung-Tack Kim, Korea Food Research Institute, San 46-1, Baekhyun-dong, Bundang-gu, Seongnam-si, Kyunggi-do, 463-420, Korea

한 비가열 살균장치의 공정도는 본보에 함께 실린 고전압 펄스 전기장 처리된 미생물 세포의 생리특성에서 발표한 Fig. 1과 같으며 실험에 사용한 PEF의 처리 조건은 40 kV/cm, 84 펄스수, 10  $\mu$ s 펄스 지속기, exponential decay pulse이며 비교 대상인 가열처리하는 95°C에서 30초 동안 처리하였다.

#### 비타민 C와 색깔

비타민 C의 분석은 hydrazine 비색법<sup>7)</sup>을 이용하였다. 색깔의 변화는 color and color difference meter (Yasuda Seiki Co. Japan)를 사용하여 L (백색도), a (적색도), b (황색도)값으로 나타내었다. 이때 사용한 표준 백색판의 L, a, b값은 각각 100, -0.01, 0.00이었다.

#### 향기성분 분석

향기성분의 포집은 dynamic headspace법에 따라 purge and trap system인 Tekmar LSC 2000 (Tekmar, U.S.A.)을 사용하였다. 시료병(55 mm O.D.×120 mm)에 사과주스 10 g을 취하고 질소(N<sub>2</sub>)로 purging하면서 향기성분을 추출하였다. 이때 mount, bottom, valve, line 등 각 부분의 온도는 모두 100°C로 고정하였다. Purging gas로서는 30 psi의 질소(N<sub>2</sub>)를 분당 50 mL로 급송하며 40°C water bath상에서 30분간 purging하여 Tenex-GC (poly of 2,6-diphenyl-p-phenyl oxide)가 들어있는 흡착관(12"×18" stainless steel)에 향기성분을 흡착하였다. 흡착 후 수분을 제거하기 위하여 dry purge를 5분간 실시하였다. 흡착된 향기성분을 탈착시키기 위하여 흡착관을 50°C에서 예비 가열하고 180°C에서 3분간 가열탈착을 실시하였다. Purge가 완료된 후에 trap 내부에 남아 있는 비흡착물질을 제거하기 위하여 250°C에서 30분간 conditioning시켰다. 휘발성 성분들의 잔류가능성을 방지하기 위하여 분석이 완료된 시료병은 완전 세척 후 130°C 건조기에서 건조시켜 잔여성분이 없음을 관능적으로 확인한 후 사용하였다. 사과주스의 향기성분을 분석하기 위한 Gas

**Table 2. Operating conditions of mass spectrometer used for the identification of flavor compounds**

1. Instrument: HP 5972 mass selective detector
2. Setup source
1) Electron voltage: 70eV
2) Resolution: 0.05 amu
3. Setup scan
1) Mass range: 50~300 m/e
2) Scan speed: 1 second per decade
4. Data handling system
1) Computer system: Sun operating system Ver. 3.60
2) Library: Wileylnbs (National Bureau of Standard, USA)

chromatography의 분석조건은 Table 1과 같다. Dynamic headspace법으로 포집한 향기성분을 동정하기 위하여 gas chromatography/mass spectrometer (GC/MS)를 사용하여 분석하였다. GC에서 MS로 시료를 도입하기 위한 interface 온도는 250°C로 하였고 이때 사용한 MS의 조작 조건은 Table 2와 같다. 머무름 시간(retention time)에 따라 GC와 MS chromatogram상의 향기성분 peak를 구분하였으며, 향기성분의 동정은 Wileylnbs Library의 spectrum과 비교하여 확인하였다.

#### 관능평가

PEF와 가열처리에 의한 사과주스의 관능검사를 위하여 색깔, 향미, 맛 그리고 종합적 기호도에 대하여 특성차이검사와 기호도 검사를 실시하였다. 훈련된 관능요원 25명을 선발하여 색깔, 향미, 맛에 대한 관능검사<sup>8)</sup>는 9점 평점법에 의해, 종합적 기호도는 9점 기호도 척도법에 의하여 실시하였다. 관능검사 결과는 분산분석법에 의하여 유의성을 검정하였으며 시료간 차이가 있을 경우는 Least significant difference (LSD)법<sup>9)</sup>에 의하여 다중 비교 하였다.

## 결과 및 고찰

#### 비타민 C

PEF 처리한 사과주스와 가열처리한 사과주스를 5°C와 25°C에서 각각 30일간 저장하면서 비타민 C의 변화를 조사한 결과는 Table 3과 같다. 비타민 C는 PEF와 가열살균 처리방법에 따라 함량에 차이를 나타내었는데, 가열처리한 사과주스의 비타민 C 함량(78.1 mg%)은 PEF 처리한 사과주스(104.0 mg%)에 비해 현저히 낮은 것을 관찰할 수 있었다. 그리고 PEF 처리 사과주스의 비타민 C 함량은 신선한 사과주스의 것과 비슷하여 품질변화가 매우 적음을 알 수 있었다. 이는 사과주스를 가열처리할 경우 고온으로 인한 비타민

**Table 1. Operating conditions of gas chromatography for flavor analysis**

Instrument	Hewlett-Packard 5890
Column	FFAP (60 m×0.32 mm)
Oven temp.	35°C (5 min)→1.5°C/min, →220°C (20 min)
Injector temp.	230°C
Split ratio	1:30
Make-up gas	He, 25 mL/min
Detector temp.	250°C
Detector	FID

**Table 3. Changes in vitamin C content of apple juice treated by pulsed electric field during storage**

Apple juices	Temp.	Storage period		
		0 Day	15 Days	30 Days
Apple juice treated by PEF	5°C	104.0	76.1	64.2
	25°C	104.0	57.0	44.0
Apple juice treated by heating (95°C, 30 sec.)	5°C	78.1	53.2	42.6
	25°C	78.1	45.1	32.4
Fresh apple juice		108.0		

C의 파괴가 일어나지만 PEF 처리시에는 비가열 살균 효과로 가열처리에 비하여 영양성분의 손실이 적은 것을 보여 주었다.

#### 색깔

PEF와 가열처리한 사과주스를 5°C와 25°C에서 각각 30일간 저장하면서 색깔의 변화를 조사한 결과는 Table 4와 같다. 사과주스의 저장중 색깔 변화는 사과주스의 처리방법에 따라 큰 차이를 나타내었는데 95°C에서 30초 가열처리한 사과주스의 경우, 저장기간이 경과할수록 약간의 색깔 변화가 일어났다. PEF 처리한 사과주스의 경우, 5°C 저장구는 저장기간이 경과함에 따라 큰 색깔의 변화가 없었으나, 25°C 저장구에서는 저장기간이 경과할 수록 redness를 나타내는 a 값과 yellowness를 나타내는 b 값의 감소로 인하여 갈변현상을 나타내었다. 이는 25°C 저장구에서 polyphenol oxidase의 재활성에 기인한 것으로 판단되며, 이것은 PEF 처리로 식품중의 효소를 완전히 불활성화시키지 못하는 한계 때문이며 향후 해결해야 할 문제

중의 하나로 생각되고 있다<sup>(10)</sup>. 따라서 PEF 처리 사과주스는 냉장유통이 필요하다고 평가되었다.

#### 향기성분

무처리, PEF처리 그리고 가열처리한 사과주스의 저장중 향기성분의 변화를 GC/MS로 분석한 결과는 Table 5와 같다. 사과주스의 주요 향기성분은 butanoic acid, 1-propanol, acetic acid butylester, hexanal, 1-butanol, 1-butanol-2-methyl, hexanol 등이었다. PEF 처리와 가열처리한 사과주스의 향기성분을 비교해 볼 때 가열처리한 사과주스는 나머지 처리구에 비하여 심한 향기성분의 손실을 보여 주었다. 특히 사과주스의 주요 향기성분인 1-propanol, acetic acid butylester, hexanal, 1-butanol, 1-butanol-2-methyl, hexanol 등에서 많은 손실을 나타내었다. 총 향기성분 함량을 살펴보면 무처리 사과주스는  $18,638 \times 10^4$ , PEF 처리한 사과주스는  $15,424 \times 10^4$  그리고 가열처리한 사과주스는  $5,411 \times 10^4$ 으로 무처리구에 비하여 가열처리 사과주스의 향기성분이 약 70%, PEF 처리 사과주스는 약 15% 정도 소실된 것으로 나타났다. PEF와 가열처리한 사과주스의 5°C에서 30일 저장 후의 향기성분량은 초기에 비하여 약간 감소하였으나 큰 성분의 변화는 나타나지 않았다.

이러한 결과는 Jia 등<sup>(11)</sup>이 PEF와 가열처리한 오렌지 주스의 향기 성분을 분석한 결과, PEF 처리한 경우 오렌지주스의 주요 향기성분인 limonene 성분이 약 15% 감소된 반면 가열처리한 경우 약 60% 감소되었고 PEF 처리시 약 26%의 총 향기성분이 감소한 반면 가열처리시는 약 82%의 감소를 보고한 결과와 유사

**Table 4. Changes in color of apple juices treated by pulsed electric field and heat during storage**

Apple juice	Storage Temp.	Storage Periods (days)	Colors			
			L value	a value	b value	ΔE value
Apple juice treated by PEF	5°C	0	12.53	2.56	6.75	87.72
		15	12.23	2.32	6.55	87.99
		30	11.95	2.11	6.4	88.26
	25°C	0	12.53	2.56	6.75	87.72
		15	8.07	1.89	4.79	92.02
		30	7.39	1.64	4.56	92.69
Apple juice treated by heating (95°C, 30 sec.)	5°C	0	9.96	1.05	5.59	90.17
		15	9.82	0.81	5.38	90.30
		30	9.52	0.77	5.25	90.58
	25°C	0	9.96	1.05	5.59	90.17
		15	9.45	1.00	5.29	90.67
		30	9.20	0.82	5.15	90.90
Fresh apple juice			13.29	2.88	7.07	87.0

**Table 5. Changes in flavor compounds of apple juices treated by pulsed electric field and heat**

GC Peak No.	RT (min.)	Compounds	Fresh apple juice	PEF treated apple juice		Heat treated apple juice (95°C, 30 sec.)	
				0 day storage	30 days storage at 5°C	0 day storage	30 days storage at 5°C
1	8.072	Butanol	251	254	224	57	53
2	8.565	2-Butanone	260	67	67	15	14
3	9.405	2-Propanol	157	157	149	47	59
4	9.729	Propanoic acid, ethylester	89	28	28	trace	trace
5	10.315	Acetic acid, propylester	105	66	66	61	36
6	10.694	Butanoic acid, methylester	81	45	45	-	-
7	11.836	2-Butanol	67	73	73	22	26
8	13.350	Butanoic acid, ethylester	1127	1006	976	804	396
9	14.344	1-Propanol	859	610	601	-	-
10	16.088	Acetic acid, butylester	1299	602	600	163	154
11	16.915	Hexanal	1409	1205	1014	232	189
12	18.637	1-Propanol, 2-methyl	451	433	422	164	140
13	20.878	1-Butanol, 2-methyl-, acetate	1601	668	666	179	170
14	24.321	1-Butanol	4434	4622	4501	1712	1674
15	29.665	1-Methyl-2-cyclopentene-1-01	30	21	21	6	6
16	30.822	1-Butanol, 2-methyl	4911	4407	4383	1409	1302
17	33.092	Hexanoic acid, ethylester	19	14	14	-	-
18	35.275	1-Pentanol	62	67	63	32	29
19	37.510	Acetic acid, hexyl ester	140	911	206	65	55
20	47.331	Hexanol	1042	912	873	443	337
Total area (Area count/10 <sup>4</sup> )			18,638	15,424	14,925	5,411	4,693

한 경향을 나타내었다.

#### 관능평가

무처리 신선 사과주스, PEF 처리 후 5°C에서 30일 저장한 사과주스, 그리고 95°C에서 30초 가열살균 처리 후 5°C에서 30일 저장한 사과주스를 색깔, 향기, 맛에 대한 강도 테스트를 평점법으로 실시한 관능검사 결과와 종합적 기호도에 대한 기호도 특성의 관능검사 결과는 Table 6과 같다. 신선 사과주스, PEF 처리, 가열처리한 사과주스의 관능평가에 의한 색깔특성의 강도는 각각 8.2, 8.0, 7.96으로 모두 유의적인 차이가 없었다( $P>0.05$ ). 그러나 향기와 맛의 경우, 신선 사과주스와 PEF 처리한 사과주스의 관능평가가 8.0~8.6으

로 유의적인 차이가 없는 반면( $P>0.05$ ) 가열처리한 사과주스의 향기와 맛의 관능평가 결과는 모두 5.48로 신선 사과주스와 PEF 처리한 사과주스에 비하여 유의적으로 낮은 결과를 나타내었다( $P<0.05$ ). 기호도 평가에 있어서도 신선 사과주스 8.03과 PEF 처리한 사과주스 7.58 간에는 유의적인 차이가 없었으나( $P>0.05$ ), 가열처리한 사과주스 5.80과는 유의적인 차이를 나타내었다( $P<0.05$ ). 이러한 결과는 가열처리한 사과주스가 신선 사과주스와 PEF 처리한 사과주스에 비하여 향기와 맛의 강도에 있어서 뚜렷한 관능적 특성 차이와 함께 기호도에 있어서도 기존의 가열처리로 인한 향기성분의 손실과 가열취를 지닌 사과주스보다는 PEF에 의한 비가열 처리된 신선한 사과주스를 선호하

**Table 6. Sensory evaluation of apple juice treated by pulsed electric field and heat**

Parameters	Fresh apple juice	PEF treated apple juice (30 days storage)	Heat treated apple juice (95°C, 30 sec.) (30 days storage)
Color of fresh apple juice	8.2 <sup>a,1)</sup>	8.0 <sup>a</sup>	7.96 <sup>a</sup>
Flavor of fresh apple juice	8.52 <sup>b</sup>	8.2 <sup>b</sup>	5.48 <sup>c</sup>
Taste of fresh apple juice	8.6 <sup>d</sup>	8.08 <sup>d</sup>	5.48 <sup>c</sup>
Overall acceptability	8.03 <sup>f,2)</sup>	7.58 <sup>f</sup>	5.80 <sup>e</sup>

<sup>a-f</sup>Means with the same letter are not significantly different ( $p>0.05$ ).

<sup>1)</sup>Rating scale: 1 (imperceptible) to 9 (extremely perceptible).

<sup>2)</sup>Rating scale: 1 (very bad) to 9 (very good).

는 경향을 나타낸 것으로 판단되었다.

Steven<sup>(12)</sup>도 PEF 처리, 고압처리 그리고 가열처리 사과주스를 4°C에서 30일 저장 후 기호도조사를 실시한 결과 PEF와 고압처리한 사과주스는 무처리한 대조구와 비슷한 관능평가를 나타내었고 가열처리한 사과주스에 비하여 높은 기호도를 나타내었다고 보고하였다.

## 요 약

식품공정에 있어서 비가열 살균기술로 개발되고 있는 고전압 펄스 전기장(PEF)을 사과주스에 적용하여 실용성 있는 비가열 처리 신선 사과주스의 개발 가능성을 검토하고자 하였다. 이를 위하여 PEF와 가열처리한 사과주스를 저장하면서 비타민 C, 색깔, 향기성분, 관능평가 등 품질특성 변화를 조사하였다.

PEF 처리와 가열 처리한 사과주스의 5°C 저장중 색깔은 큰 차이가 없었으나 비타민 C 함량은 PEF처리한 사과주스가 가열처리한 사과주스에 비하여 높은 함량을 나타내었으며, 신선 주스와 거의 같은 함량을 보였다. 향기성분도 대조구에 비하여 가열처리한 사과주스는 약 70% 이상의 심한 향기성분의 손실을 나타낸 반면 PEF처리한 사과주스는 약 15%의 향기성분의 손실만을 나타내었다. 관능적 기호도도 PEF 처리한 사과주스는 신선 사과주스와 차이가 없었으나, 가열처리한 사과주스에 비하여 유의적으로 우수한 것으로 나타났다( $P < 0.05$ ). PEF 처리 사과주스는 5°C에서 30일간의 저장기간 동안 품질 변화가 거의 없었다.

## 문 헌

1. Mertens, B. and Knorr, D.: Development of nonthermal

- processes for food preservation. *Food Technol.*, **46**, 124-133 (1992)
2. Ray, B.: *Fundamental Food Microbiology* CRC Press, New York (1996)
3. Nakamura, K., Enomoto, A. and Nakai, K.: Microbial sterilization by gas pressurization method. *The Food Industry*, **37**(16), 47-57 (1994)
4. Shin, J.K. and Pyan, Y.R.: Inactivation of *Lactobacillus Plantarum* by pulsed-microwave irradiation. *J. Food Sci.*, **62**, 163-166 (1997)
5. Qin, B.L., Pothakamury, U.R., Vega, H., Martin, O., Barbosa-Canovas, G.V. and Swanson, B.G.: Food pasteurization using high-intensity pulsed electric fields. *Food technology*, **49**, 55-60 (1995)
6. Knorr, D., Geulen, M., Grahl, T. and Sitzmann, W.: Food application of high electric field pulses. *Trends in Food Sci. and Technol.*, **5**, 71-75 (1994)
7. Joo, H. K., Cho, K. S., Cho, S. K., Park, C. K. and Ma, S. C.: *Analysis Method of Food*. Yoo Lim Publishing Co., p. 355-358 (1989)
8. Kim, K. O. and Lee, Y. C.: Sensory Evaluation of Food. Hak Yeon Publishing Co., p. 186-246 (1989)
9. O'nahony, M.O.: Sensory evaluation of food(Statistical methods and procedures). Marcel Dekker Inc., New York, p. 153-359 (1985)
10. Armando, J.C, Gustavo, V., Barbosa-canovas and Barry, G.S: Microbial inactivation of foods by pulsed electric fields, *J. Food Proc. Preserv.*, **17**, 47-73 (1993)
11. Jia, M., Zang, O.H and Min, D.B: Effect of pulsed electric field processing on orange juice flavour analyzed by dynamic head space gas chromatography. Paper presented at *Ann. Conference of Inst. of Food Technol.*, Orlando, Florida (1996)
12. Steven, L.H: High intensity pulsed electric fields and high hydrostatic pressure processing of apple juice. *Ph. D thesis*, Washington State Univ., USA (1997)

(1998년 9월 25일 접수)