

Effects of Pulsed Electric Fields on Juice Expression Characteristics of *Malus pumila* Fruit

Jeong-Ho Lim¹, Seong-Hwan Ahn¹, Dong-Un Lee²,
Young-Ho Kim¹ and Kee-Jai Park^{1*}

¹Korea Food Research Institute, Seongnam 463-746, Korea

²School of Food Science and Technology, Chung-Ang University, Anseong 456-756, Korea

고전압 펄스 전기장 처리가 사과의 착즙 특성에 미치는 영향

임정호¹ · 안성환¹ · 이동언² · 김영호¹ · 박기재^{1*}

¹한국식품연구원, ²중앙대학교 식품공학부

Abstract

The effects of pretreatment by pulsed electric fields (PEFs) on the juice expression characteristics of the *Malus pumila* fruit were investigated. Fresh fruits were divided into quarters, were produced on a laboratory scale (100 g apples per lot) by pretreatment with electric fields at two different field intensities (1, 2 kV/cm; n=50, 100, 200, and 400 pulses), and were then pressed at room temperature. Relative to the control samples, the juice yield increased with increasing field intensities. The total phenolics and antioxidant activity were higher in the juice from the PEF-treated fruit than in the juice from the untreated fruit. There was no significant difference in soluble-solid and reducing sugar contents between the PEF-treated and untreated fruits. These results suggest that PEF pretreatment may be useful for increasing the juice yield, total phenolics, and antioxidant activity of the *Malus pumila* fruit.

Key words : *Malus pumila*, pulsed electric fields, processing, expressing, total phenolics

서 론

최근 소비자들은 고품질의 천연 식품에 대한 욕구가 증가하고 있어 영양적 가치는 물론 향미와 색택 등의 식품의 관능적특성은 매우 중요한 선택 요소로 인식되고 있다. 따라서, 식품공정에서 가열처리에 의한 비타민, 색상, 향미 등의 변화는 소비자의 인식과 영양적인 저하를 가져올 수 있어, 그 대안으로서 비가열 처리 기술에 대한 관심이 높아지고 있다(1).

사과(*Malus pumila*)는 장미과 속에 속하는 다년생 식물로서 ascorbic acid와 무기염류의 함량이 높은 우리나라의 대표적인 과일이다(2,3). 사과주스를 비롯한 과실음료는 비타민, 미네랄뿐만 아니라 섬유소, 효소, 당분 및 유기산을 함유하고 있어 단맛과 상쾌함을 주며 다양한 유효성분을 쉽게 섭취할 수 있어(4) 가공식품으로서 다량 소비되고 있으며,

이러한 가공식품의 대부분은 가공 중 열처리 공정을 포함하고 있다. 이러한 열처리 공정은 신선한 주스의 여러 품질 특성 즉, 영양 및 약리성분뿐만 아니라, 색, 향미 등과 같은 관능적인 품질을 저하시키기도 한다(5).

고전압 펄스 전기장(Pulsed electric fields)은 비가열 살균 방식으로 식품산업에서 가열 살균의 문제점을 극복하기 위하여 개발되어 현재 상용 처리 기술로 상당한 발전을 이룩하고 있다(6). 고전압 펄스 전기장에 대한 다양한 연구는 액상식품의 미생물 및 효소의 불활성화를 발생시켜 영양학적인 가치를 높임과 동시에 유통기한을 연장시킬 수 있다(7). 이러한 고전압 펄스 전기장은 그 개발 역사는 그리 길지 않지만 영양학적 손실을 최소화할 수 있다는 특성으로 인하여 실제 산업에 적용하기 위한 연구가 집중되고 있다. 그러나 현재 식품 산업 분야에서 액상식품의 살균에 한정되어 적용되고 있으며, 세포 내 대사변화, 추출개선, 건조 효율 향상과 관련된 연구로 그 응용 범위를 넓혀가고 있다(8,9). 고전압 펄스 전기장에 대한 국내 연구는 미생물의 살균(10),

*Corresponding author. E-mail : jake@kfri.re.kr
Phone : 82-31-780-9157, Fax : 82-31-780-9333

색소 추출 효과(11), 감귤주스 및 탁주의 살균효과(12,13) 등에 관한 연구가 진행되고 있으나 1990년대 이후 다양한 분야에서 연구가 활발히 진행되고 있는 국외 연구에 비하여 미미한 수준이다(14).

고전압 펄스 전기장의 특성 중 하나는 식물체내에 온도를 거의 상승시키지 않으면서 세포내 원형질막에 손상을 주어, 추출 및 착즙 시 유용성분이 원형질막을 쉽게 통과시킴으로서 추출 및 착즙 효율을 높이는 것으로 알려져 있는데(15), 사탕무(16) 및 적근대(17) 등의 추출효율을 높이는 연구가 다수 진행되고 있다. 이러한 특성을 가진 고전압 펄스 전기장을 이용하여 사과 주스 제조 공정에 적용할 수 있다면 비가열 처리 제품으로서 착즙수율 및 영양성분의 추출효율 등의 부대 효과를 가져 올 수 있을 것으로 기대된다.

따라서 본 연구에서는 사과에 대한 고전압 펄스 전기장의 처리를 통하여 사과 주스 제조에 적용할 수 있는 기초자료로서 활용하고자 한다.

재료 및 방법

재 료

실험에 사용한 사과는 '후지(Fuji)' 품종으로 2011년에 경남 밀양 지역에서 수확한 것을 2012년 4월 성남의 유통센터에서 구입한 후 외관이 건전하고 크기가 균일한 것만을 선별하여 사용하였다. 실험에 사용한 사과의 평균 당도는 14.35 ± 0.44 °Brix이었으며, 수분함량은 $86.72 \pm 0.37\%$ 였다.

고전압 펄스 전기장 처리

사과를 수세, 탈수한 후 껍질을 포함한 과육 부위를 4등분하여 균일하게 혼합한 다음 이를 고전압 펄스 전기장 처리 장치(ELEA, DIL, German)에서 batch 형식으로 처리하였다. 처리 조건은 전기장의 세기 및 펄스의 영향을 조사하기 위하여 전기장의 세기(1 kV/cm, 2 kV/cm), 펄스(50 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 400 Hz)로 처리하였으며, 처리 시간에 대한 영향을 조사하기 위하여 2 kV/cm, 50 Hz에서 1초, 3초, 5초, 7초, 9초간 처리하였다.

착즙 공정 및 착즙수율

압착주스는 시료 일정량을 취해 screw press type 착즙기(Angelia 5000, Angeljuicer Co, Korea)를 이용하여 제조하였다. 착즙수율은 원료 무게에 대한 압착 후 얻은 주스 무게의 비를 백분율로 나타내었다.

압착주스의 품질특성 측정

사과 압착주스의 품질특성으로 가용성 고형분 함량, 고형물 함량, pH, 환원당, 유리당 함량, 총 페놀함량, 항산화활

성(DPPH radical 소거능, FRAP)을 측정하였다.

이화학적 품질특성

가용성 고형분 함량은 굴절계(PAL-1, Atago Co, Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하였다. 고형물함량은 압착 중에 용출된 물질의 양을 105°C에서 건조하여 정량하였다. pH는 pH meter (AB 15 Fisher Scientific, USA)로 측정하였다.

환원당 함량은 압착주스 시료 1 mL에 DNS 시약(dinitrosalicylic acid 0.5 g, NaOH 8 g, rochell salt 150 g을 500 mL로 정용) 2 mL를 가하여 98°C에서 10분간 반응시킨 후 30분간 얼음물에 냉각시켰다. 반응액을 3,000 rpm에서 10분간 원심분리 후 상층액을 UV/Vis-spectrophotometer (Jasco V760, JASCO Co, Japan)를 사용하여 550 nm에서 흡광도를 측정하였다. 환원당 함량의 검량선은 glucose를 이용하여 작성하였다.

유리당의 조성 및 함량은 압착주스 시료를 0.45 µm membrane filter (Millipore Co, Bedford, MA, USA)로 여과한 후 HPLC (LC-20A, Shimadzu Co, Japan)로 분석하였다. 이때 유리당의 분석조건으로 컬럼은 carbohydrate column (3.9 × 300 mm), 컬럼온도는 40°C, 이동상은 80:20 = acetonitrile:water (1.5 mL/min), 검출기는 RI를 각각 사용하였다. 유리당의 동정 및 정량은 각 물질의 표준품을 사용하여 외부 표준법으로 실시하였다.

항산화적 품질특성

총 페놀 함량은 압착주스 0.1 mL에 Folin-ciocalteu's phenol reagent (2 N Folin-ciocalteu's phenol reagent : DW=1:2, v/v) 0.2 mL를 가하여 25°C에서 1분간 반응시킨 다음 5% Na₂CO₃ 용액 3 mL를 가하여 실온에서 2시간동안 반응시켰다. 이 반응용액을 분광광도계(V760, JASCO, Japan)를 이용하여 765 nm에서 흡광도를 측정하였다. Gallic acid로 작성한 표준 검량곡선을 이용하여 흡광도로부터 총 페놀 함량을 구하였다.

DPPH 라디칼 소거능은 α,α-Diphenyl-β-picrylhydrazyl (DPPH, Sigma, St Louis, MO, USA) 8 mg을 300 mL에 녹여 여과하고 이 용액 5 mL에 압착주스 희석액 0.5 mL를 혼합한 후 원심분리(3,500 g, 3 min) 하여 상층액을 회수하여서 10분 후에 525 nm에서 흡광도를 측정하였다. DPPH 라디칼 소거능은 다음과 같이 계산하였다. DPPH 라디칼 소거능 (%) = (Ab-As)/Ab × 100, Ab: 시료 무첨가 흡광도, As: 시료 첨가 흡광도

FRAP을 측정을 위하여 반응 용액 300 mM acetate buffer (pH 3.6), 10 mM TPTZ (2,4,6-tripyridyl-s-triazine) 용액과 20 mM ferric chloride (Iron(III) chloride hexahydrate)를 10:1:1의 비율로 혼합하여 Working frap reagent (WFR)를 제조한 후, 실험 전까지 37°C를 유지하여 사용하였다. 압착주스 여과액 60 µL에 증류수 250 µL과 WFR solution 3.6

mL를 혼합하여 30분간 반응시킨 후 593 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 표준물질로는 iron(II) sulfate heptahydrate를 사용하였다.

통계처리

실험결과와 통계처리는 SPSS software (ver. 14, SPSS Inc, Chicago, IL, USA)를 이용하여 $p < 0.05$ 에서 유의성 분석을 실시하였다.

결과 및 고찰

착즙수율

사과의 착즙수율은 투입된 사과 무게에 대한 착즙액의 무게비로서 나타내었다. PEF 처리에 따른 착즙수율은 90.19~91.72%의 수준으로서 대조구 89.56%에 비하여 유의적으로 높게 나타났다(Fig. 1). 1 kV/cm와 2 kV/cm의 전기장의 세기처리에 따른 착즙수율 및 처리 시간에 따른 착즙수율도 유의적인 변화를 나타내지 않았다. 전반적으로 착즙수율은 대조구에 비하여 0.6~2.2%의 증가를 나타내는 것으로 보였으나, 전기장의 세기 강도의 차이에 의한 시료간의 착즙수율의 변화는 나타나지 않았다. 또한 처리 펄스 빈도의 변화에 따른 착즙수율은 유의적인 차이를 나타내지 않았다. Schiling 등(18)은 1, 3, 5 kV/cm의 강도의 PEF 처리구의 착즙수율은 대조구에 비하여 최소 1.7%에서 최대 7.7%까지 증가하였고 효소처리구의 착즙수율 4.2%보다 유의적으로 증가된 것을 보고하였다. 또한 본 실험의 처리 조건보다 높은 강도의 전기장의 세기 즉, 3 kV/cm 이상의 처리에서 착즙수율의 증가가 더욱 높은 것으로 보고하고 있어 착즙수율을 증가시키기 위해서는 높은 전기장 세기의 처리가 요구됨을 알 수 있었다. 이러한 결과는 PEF 처리에 의하여 사과 세포가 충격을 받기 때문에 세포간의 결합력이 감소되는 데 기인하는 것으로 알려져 있다(19).

가용성 고형분 함량, 고형물 함량, pH 및 환원당 함량

일반적으로 과실주스의 가용성 고형분 함량 및 pH는 가공 공정과 제품 품질 관리에서 지표로 사용된다. 착즙 전 PEF 처리에 따른 압착주스의 가용성 고형분 함량 및 환원당 함량을 측정할 결과는 Table 1과 2에 나타내었다. 가용성 고형분 함량은 PEF 처리구와 무처리구 사이에 유의적인 증가는 나타나지 않아 2 kV/cm, 200 Hz의 조건에서 15.00 °Brix로 가장 높은 값을 나타내었고 그 외의 처리구에서는 약 14 °Brix 내외로 나타나 착즙 전 PEF 처리가 가용성고형분 함량의 증가에 영향을 주지 않는 것으로 판단되었다. 세포내의 막의 두께, 결합력의 강도 및 용출에 대한 영향을 알 수 있는 고형물 함량은 PEF 처리 강도 및 펄스 빈도에 의해서 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 고형물 함량은

가용성 고형분 및 환원당의 함량과 유사한 경향을 나타내어, 착즙 전 PEF 처리 강도의 증가가 고형물의 함량 증가에 기여하는 것으로 보이나 유의적인 차이를 나타내지는 않았다.

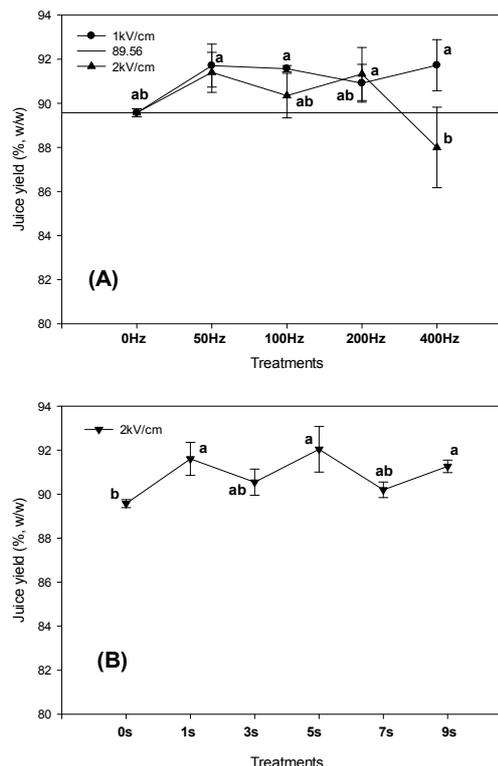


Fig. 1. Effect of intensities, frequency (A) and time (B) on juice yield of apple juice by pulsed electric fields.

A : juice treated with two different field intensities(1, 2 kV/cm) and four frequency(50, 100, 200, 400 Hz)

B : juice treated with different time by pulsed electric fields(2 kV/cm, 50 Hz)
Different letters are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test. All values are expressed as Mean \pm SD triplicate determinations.

처리 시간에 따른 고형물 함량의 변화에서도 처리 시간의 증가에 의해 유의적인 증가는 나타나지 않았다. pH의 경우에도 가용성 고형분 함량과 유사한 경향을 나타내었으며, 무처리구가 4.49, PEF 처리구가 4.43~4.54 범위로 무처리구와 처리구간의 유의적인 차이를 나타내지 않았다 (Table 2).

압착주스의 환원당 함량도 가용성 고형분 함량과 유사한 경향을 나타내어 처리구간의 유의적인 증가를 나타내지 않았고 2 kV/cm, 100 Hz에서 6.60 g/100 mL를 나타내어 가장 높은 값을 나타내었으나 그 외의 처리구에서는 약 6.39~6.56 g/100 mL 수준을 나타내었다.

이러한 결과를 볼 때 사과의 착즙 전 PEF 처리는 압착주스의 가용성 고형분 함량, pH, 환원당 함량 및 고형물 함량에 영향을 거의 미치지 않는 것으로 판단된다. 가용성 고형분과 관련하여 포도 착즙 전 PEF 처리에 의한 효과분석에서도 가용성 고형분의 유의적인 차이가 없는 것으로 보고된 것과 유사한 결과를 나타내었다(20).

Table 1. Effect of intensities and frequency on soluble solids, solid, pH and reducing sugar of apple juice by pulsed electric fields

	Control ¹⁾	1 kV/cm				2 kV/cm			
		50 Hz	100 Hz	200 Hz	400 Hz	50 Hz	100 Hz	200 Hz	400 Hz
Soluble solid(°Brix)	14.35±0.44 ^{2)ab3)}	13.98±0.43 ^{bc}	13.75±0.77 ^{bc}	13.13±0.15 ^c	14.13±0.24 ^b	14.18±0.38 ^b	13.80±0.41 ^{bc}	15.00±1.11 ^a	13.93±0.10 ^{bc}
Solid	2.60±0.03 ^{ns4)}	2.62±0.02 ^{ns}	2.62±0.03 ^{ns}	2.65±0.01 ^{ns}	2.61±0.01 ^{ns}	2.55±0.11 ^{ns}	2.63±0.02 ^{ns}	2.59±0.04 ^{ns}	2.62±0.01 ^{ns}
pH	4.49±0.01 ^{ns}	4.43±0.06 ^{ns}	4.54±0.08 ^{ns}	4.59±0.08 ^{ns}	4.48±0.11 ^{ns}	4.55±0.05 ^{ns}	4.48±0.06 ^{ns}	4.47±0.04 ^{ns}	4.54±0.12 ^{ns}
Reducing sugar(g/100 mL)	6.39±0.08 ^{ab}	6.56±0.05 ^a	6.26±0.46 ^b	6.56±0.04 ^a	6.40±0.07 ^{ab}	6.42±0.02 ^{ab}	6.60±0.07 ^a	6.38±0.14 ^{ab}	6.42±0.07 ^{ab}

¹⁾Control presents non-treatment apple juice²⁾Each value presents the mean±SD.³⁾Means with different letters within the width are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.⁴⁾Not significant**Table 2. Effect of treatment time on soluble solids and reducing sugar of apple juice by pulsed electric fields (2 kV/cm, 50 Hz)**

	Control ¹⁾	2 kV/cm				
		1 sec	3 sec	5 sec	7 sec	9 sec
Soluble solid(°Brix)	14.35±0.44 ^{2)ab3)}	14.05±0.06 ^{ab}	14.28±0.26 ^{ab}	13.90±0.18 ^b	14.58±0.83 ^a	13.85±0.13 ^b
Solid	2.60±0.03 ^{ns4)}	2.62±0.01 ^{ns}	2.62±0.01 ^{ns}	2.63±0.01 ^{ns}	2.62±0.01 ^{ns}	2.64±0.01 ^{ns}
pH	4.49±0.01 ^{ns}	4.54±0.12 ^{ns}	4.54±0.07 ^{ns}	4.48±0.05 ^{ns}	4.54±0.01 ^{ns}	4.45±0.04 ^{ns}
Reducing sugar(g/100 mL)	6.39±0.08 ^b	6.59±0.02 ^a	6.47±0.09 ^b	6.42±0.10 ^b	6.44±0.03 ^b	6.42±0.02 ^b

¹⁾Control presents non-treatment apple juice²⁾Each value presents the mean±SD.³⁾Means with different letters within the width are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.⁴⁾Not significant

유리당 함량

PEF 처리시 전기장 세기 및 펄스 빈도의 증가에 의한 사과 주스의 유리당 함량의 변화는 Table 3과 4에 나타내었다. 전기장 세기 및 펄스 빈도의 증가는 사과주스의 유리당 함량의 유의적인 변화를 가져오지 않았다. Glucose, sucrose 및 fructose의 함량은 전기장 세기가 1 kV/cm에서 2 kV/cm로 변함에 따라 다소 증가하는 것으로 나타났으나 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 2 kV/cm, 50 Hz에서 처리 시간의 증가에 의하여 sucrose 및 fructose 함량의 유의적인 변화는 나타나지 않았으며, glucose 함량의 경우 무처리구 7.65 g/100 mL에 비하여 증가하는 것으로 나타나 5초에서 8.20 g/100 mL를 나타내었으나 유의적인 차이는 나타나지 않았

다. 이러한 변화는 가용성 고형분 및 환원당 함량의 변화와 유사한 경향을 나타내고 있는 것으로 보여 사과주스의 착즙 전 PEF 처리는 당 함량의 변화에 영향을 주지 않는 것으로 판단되었다. 사탕무에 대한 PEF 처리 후 착즙한 사탕무의 당함량이 70°C의 가열처리 후 착즙한 사탕무의 당함량보다 높은 값을 보였으나(21), 으깬 사과에 대한 PEF 처리시 유리당 함량의 유의적인 변화가 없는 것으로 보고(18)하여 착즙 전 PEF 처리된 주스의 유리당 함량은 시료 특성에 따라서 처리 효과의 차이가 발생하는 것으로 판단되었다.

총 페놀함량

PEF 처리시 전기장의 세기 및 펄스 빈도의 증가에 의한

Table 3. Effect of intensities and frequency on free sugar content of apple juice by pulsed electric fields

	Control ¹⁾	1 kV/cm				2 kV/cm			
		50 Hz	100 Hz	200 Hz	400 Hz	50 Hz	100 Hz	200 Hz	400 Hz
Glucose	7.65±0.02 ^{2)ns3)}	7.45±0.47 ^{ns}	7.51±1.98 ^{ns}	7.32±0.31 ^{ns}	7.80±0.46 ^{ns}	7.36±0.36 ^{ns}	8.33±1.38 ^{ns}	7.82±0.84 ^{ns}	8.12±1.09 ^{ns}
Sucrose	1.23±0.04 ^{ns4)}	1.38±0.19 ^{ab}	1.46±0.20 ^{ab}	1.37±0.02 ^{ab}	1.50±0.04 ^{ab}	1.23±0.19 ^b	1.78±0.38 ^a	1.46±0.11 ^{ab}	1.49±0.27 ^{ab}
Fructose	3.42±0.08 ^{ns}	3.02±0.19 ^{ns}	3.45±1.26 ^{ns}	3.34±0.74 ^{ns}	3.40±0.00 ^{ns}	3.01±0.22 ^{ns}	3.62±0.90 ^{ns}	3.48±0.01 ^{ns}	3.24±0.36 ^{ns}
Total	12.30±0.10 ^{ns}	11.85±0.09 ^{ns}	12.42±3.44 ^{ns}	12.03±0.41 ^{ns}	12.69±0.50 ^{ns}	11.61±0.77 ^{ns}	13.73±2.66 ^{ns}	12.77±0.74 ^{ns}	12.85±1.72 ^{ns}

¹⁾Control presents non-treatment apple juice²⁾Each value presents the mean±SD.³⁾Not significant⁴⁾Means with different letters within the width are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test.

총 페놀함량의 변화는 Fig. 2에 나타내었다. 전기장의 세기 및 펄스 빈도의 증가는 사과주스의 총 페놀함량을 유의적으로 증가시키는 것으로 나타났다. 총 페놀함량은 전기장의 세기의 증가에 의한 영향을 더욱더 크게 받는 것으로 보여 펄스 빈도 50 Hz에서 1 kV/cm 처리시 10.5%, 2 kV/cm 처리시 29.8% 증가를 나타내었다. 동일 전기장의 세기에서 펄스 빈도의 변화는 총 페놀 함량의 유의적인 증가 경향을 나타내지 않아 1 kV/cm 전기장의 세기에서는 0.42~0.44 mg/g의 수준을 나타내었고, 2 kV/cm 전기장의 세기에서도 0.46~0.50 mg/g의 수준을 나타내었다. Corrales 등(20)은 포도에 대한 PEF 처리에서 총 페놀 화합물이 증가하는 것을 보고하여 본 실험과 유사한 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 PEF 처리 과정에서 조직 등의 파괴로 인한 페놀화합물이 분리되어 증가되는 것으로 보고하고 있다.

2 kV/cm, 50 Hz에서 처리 시간의 증가는 1초에서 총 페놀함량이 28.6%까지 증가하였으나 처리 시간이 길어질수록 감소하는 경향을 나타내어 9초 처리 시 3%의 증가만을 나타내었다.

처리 시간의 증가에 의한 총 페놀함량의 감소에 대하여 Lewis 등(22)은 높은 전기장 세기와 펄스 빈도의 PEF 처리

시 시료의 현탁한 용액내의 기체들이 용출되면서 처리 용기 내의 spark 또는 온도를 상승시키고, 이러한 온도 상승은 다른 영양성분을 감소시킬 뿐만 아니라 조직의 변화를 발생시키는 것으로 보고하였다(23). 또한, 처리 시간의 증가에 의한 총 페놀 함량의 감소는 전기장 형성의 불균형으로 인한 것으로 볼 수 있으며, 일정 온도 이상에서는 페놀 화합물이 불안정하기 때문에 감소한다는 보고(24)와 유사한 결과를 나타내었다.

항산화활성

DPPH radical이 환원되어 활성 라디칼에 전자를 공여함으로써 DPPH 용액 자체의 자색성을 소실하는 특성을 이용하여 PEF 처리에 의한 사과주스의 DPPH radical 소거능을 측정한 결과는 Fig. 3에 나타내었다. DPPH radical 소거능은 총 페놀 함량과 유사한 경향을 나타내어 1 kV/cm 처리에 비하여 2 kV/cm 처리구가 유의적으로 항산화활성이 증가하는 것으로 나타났으나 펄스 빈도의 증가는 시료간의 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 대조구의 DPPH radical 소거능은 59.15%를 나타내었으나, 1 kV/cm 처리시 70.24~75.89% 수준, 2 kV/cm 처리시 83.59~85.19% 수준을 나타

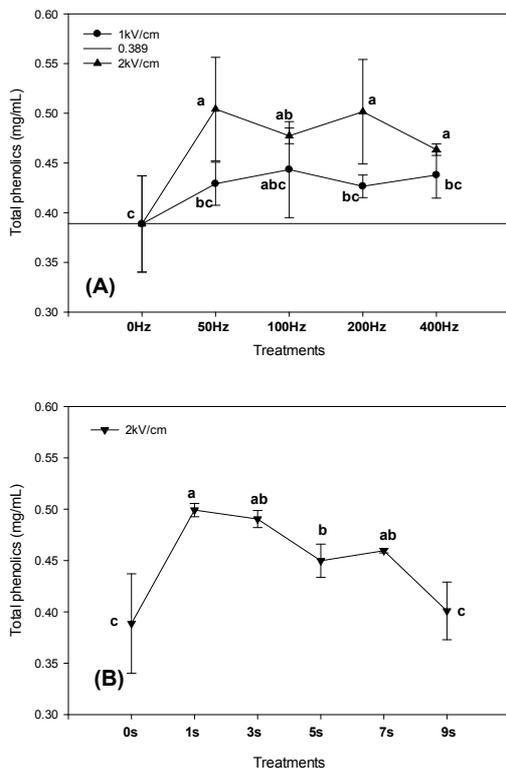


Fig. 2. Effect of intensities, frequency (A) and time (B) on total phenolics of apple juice by pulsed electric fields.
 A : juice treated with two different field intensities(1, 2 kV/cm) and four frequency(50, 100, 200, 400 Hz)
 B : juice treated with different time by pulsed electric fields(2 kV/cm, 50 Hz)
 Different letters are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test. All values are expressed as Mean±SD triplicate determinations.

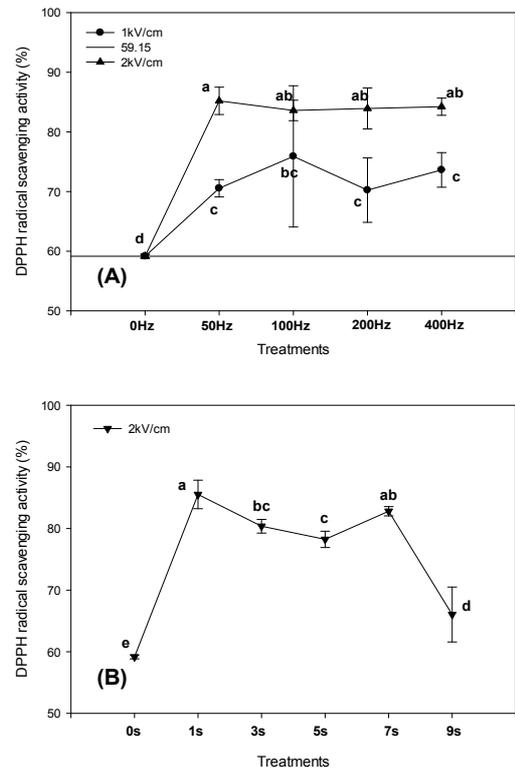


Fig. 3. Effect of intensities, frequency (A) and time (B) on DPPH radical scavenging activity of apple juice by pulsed electric fields.
 A : juice treated with two different field intensities(1, 2 kV/cm) and four frequency(50, 100, 200, 400 Hz)
 B : juice treated with different time by pulsed electric fields(2 kV/cm, 50 Hz)
 Different letters are significantly different at p<0.05 by Duncan's multiple range test. All values are expressed as Mean±SD triplicate determinations.

Table 4. Effect of treatment time on free sugar content and reducing sugar of apple juice by pulsed electric fields (2 kV/cm, 50 Hz)

	Control ¹⁾	2 kV/cm				
		1 sec	3 sec	5 sec	7 sec	9 sec
Glucose	7.65±0.02 ^{2)ns3)}	7.40±0.48 ^{ns}	7.75±0.02 ^{ns}	8.20±0.10 ^{ns}	8.02±1.17 ^{ns}	7.26±0.16 ^{ns}
Sucrose	1.23±0.04 ^{ns}	1.29±0.21 ^{ns}	1.48±0.46 ^{ns}	1.14±0.41 ^{ns}	1.18±0.19 ^{ns}	0.63±0.68 ^{ns}
Fructose	3.42±0.08 ^{ns}	3.41±0.26 ^{ns}	3.48±0.04 ^{ns}	3.59±0.34 ^{ns}	3.51±0.11 ^{ns}	3.41±0.57 ^{ns}
Total	12.30±0.10 ^{ns}	12.09±0.53 ^{ns}	12.71±0.48 ^{ns}	12.93±0.17 ^{ns}	12.70±1.47 ^{ns}	11.30±0.05 ^{ns}

¹⁾Control presents non-treatment apple juice

²⁾Each value presents the mean±SD.

³⁾Not significant

내어 2 kV/cm 처리가 대조구 및 1 kV/cm 처리보다 약 41% 및 19% 이상 증가하는 것으로 나타났다.

고전압 펄스 전기장 처리에 따른 사과주스의 ferric reducing antioxidant power (FRAP)를 측정 한 결과는 Fig. 4에 나타내었다. FRAP 측정 결과 처리구와 비처리구와의 유의적인 차이를 확인할 수 있었으며 전기장 세기의 증가에 따른 FRAP의 증가가 더 크게 나타났다. FRAP은 2 kV/cm, 50 Hz 처리시 72.30 mM Fe²⁺/mL로 무처리구에 비하여 약 60% 이상의 증가를 나타내어 가장 높은 값을 보였으며,

처리 펄스 빈도의 증가에 의해서 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 실험조건에서 1 kV/cm, 200 Hz와 400 Hz를 제외한 처리구는 무처리구에 비하여 모두 유의적인 증가를 나타내었다. 처리시간에 따른 FRAP의 변화는 초기 1초에서 가장 높은 값인 69.03 mM Fe²⁺/mL로 나타내어, 무처리구에 비하여 약 53% 이상 증가를 나타내었으나 처리 시간의 증가에 따라서 FRAP이 감소하는 경향을 나타내었다.

이러한 경향은 DPPH radical 소거능 및 총 페놀함량과 유사한 변화를 나타내었다. Eberhardt 등(25)은 사과의 항산화능이 그들의 폴리페놀함량에 기인하는 것으로 보고하였으며, 토마토 추출 전 PEF의 적정 전처리 조건이 토마토 추출물의 항산화활성을 증가시키고(26), PEF 처리된 포도 추출물의 항산화활성과 관련하여 처리구가 무처리구에 비하여 항산화활성이 증가한 보고(20)와 유사한 결과를 나타내었다. Estiaghi와 Knorr (27)은 PEF 처리에 의한 항산화활성의 증가는 1~3 kV/cm의 범위의 외부 충격 시 포도로부터 와인으로 추출되는 내부물질이 풍부해지기 때문인 것으로 보고하였다. 본 연구에서도 총 페놀함량과 같은 세포 내부 물질의 증가가 항산화활성의 증가요인으로 판단되었다.

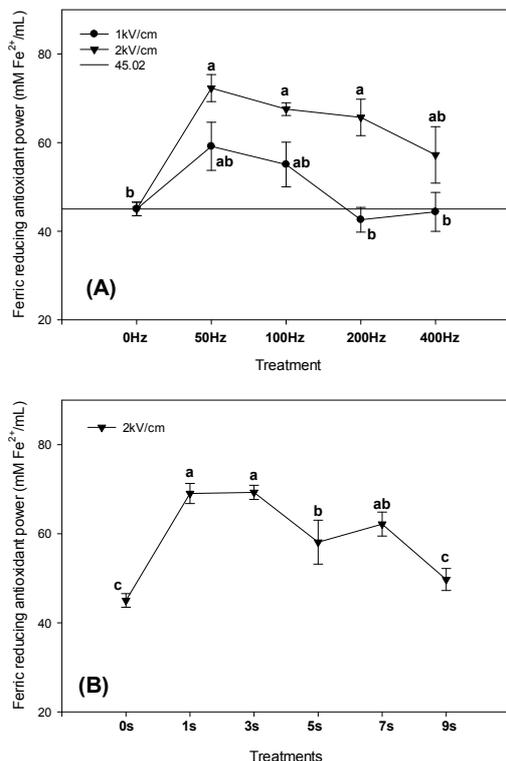


Fig. 4. Effect of intensities, frequency (A) and time (B) on FRAP of apple juice by pulsed electric fields.

A : juice treated with two different field intensities(1, 2 kV/cm) and four frequency(50, 100, 200, 400 Hz)

B : juice treated with different time by pulsed electric fields(2 kV/cm, 50 Hz)

Different letters are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test. All values are expressed as Mean±SD triplicate determinations.

요 약

사과의 착즙 특성에 고전압 펄스 전기장 전처리가 미치는 영향을 조사하기 위하여, 사과를 다양한 PEF 조건하에서 처리하여 착즙수율과 주스의 품질특성을 조사하였다. 주스의 착즙수율은 PEF 처리구가 무처리구에 비하여 유의적으로 높은 수준을 나타내었다. 압착주스의 총 페놀함량 및 항산화활성은 무처리구에 비하여 유의적인 증가를 나타내었으나, 가용성 고형분 및 환원당 함량은 처리구와 무처리구의 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 고전압 펄스 전기장 전처리는 사과 주스의 영양적인 가치와 착즙 효율을 증대시킬 수 있는 방법으로 보여지며 다양한 연구를 통하여 적정 처리 조건의 도출이 필요할 것으로 확인되었다.

참고문헌

1. Clark P (2006) Pulsed electric field processing. *Food Technol*, 60, 66-67
2. Whang HJ, Kim SS, Yoon KR (2000) Analysis of organic acid in Korea apple juice by high performance liquid chromatography. *Korean J Food Nutr*, 29, 181-187
3. Choi YH, Lee SJ (2005) A survey on uses, preference and recognition of apple. *Korean J Food Culture*, 20, 204-213
4. Kim SY, Yoon YB, Chio EH (2000) Change in quality of mixed juice of fruits and vegetables by aseptic treatment and packing with nitrogen gas during storage. *Korean J Food Sci Technol*, 32, 1271-1277
5. Hong HD, Kim SS, Kim KT, Choi HD (1999) Changes in quality of domestic apple juice concentrates during long-term storage. *J Korean Soc Agric Chem Biotechnol*, 42, 235-239
6. Min S, Jin ZT, Min SK, Yeom H, Zhang QH (2003) Commercial-scale pulsed electric field processing of orange juice. *J Food Sci*, 68, 1265-1271
7. Soliva-Fortuny R, Balasa A, Knorr D, Martín-Belloso O (2009) Effects of pulsed electric fields on bioactive compounds in foods: a review. *Trends Food Sci Technol*, 20, 544-556
8. Ade-Omowaye BI, Taiwo K, Eshtiaghi N, Angersbach A, Knorr D (2003) Comparative evaluation of the effects of pulsed electric field and freezing on cell membrane permeabilisation and mass transfer during dehydration of red bell peppers. *Innov. Food Sci Emerg*, 4, 177-188
9. Taiwo KA, Angersbach A, Knorr D (2002) Influence of high intensity electric field pulses and osmotic dehydration on the rehydration characteristics of apple slices at different temperatures. *J Food Eng*, 52, 185-192
10. Shin JK (2008) The Effect of operating parameters on inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* by high voltage pulsed electric fields. *Food Eng Progress*, 12, 90-96
11. Shin JK, Sin HH (2007) Effect of high voltage pulsed electric fields on extraction of purple sweet potato pigment. *Korean J Food Preserv*, 14, 165-169
12. Kim KT, Kim SS, Hong HD, Ha SD, Lee YC (2003) Quality changes and pasteurization effects of citrus fruit juice by high voltage pulsed electric fields treatment. *Korean J Food Sci Technol*, 35, 635-641
13. Mok CK, Lee SK (2000) Sterilization of Yakju(Rice Wine) on a serial multiple electrode pulsed electric field treatment system. *Korean J Food Sci Technol*, 32, 356-362
14. Van Loey A, Verachtert B, Hendrickx M (2002) Effects of high electric field pulses on enzymes. *Trends in Food Sci Technol*, 12, 94-102
15. Guelen M, Teichgraber P, Knorr D (1993) Effects of high electric field pulsed treatment on carrot juice yield. Paper presented at Annual Meeting of IFT, July 11, Chicago, USA
16. Loginova KV, Lebovka NI, Vorobiev E (2012) Quality and filtration characteristics of sugar beet juice obtained by "cold" extraction assisted by pulsed electric field. *J Food Eng*, 106, 144-151
17. Loginova KV, Lebovka NI, Vorobiev E (2011) Pulsed electric field assisted aqueous extraction of colorants from red beet. *J Food Eng*, 106, 127-133
18. Schilling S, Alber T, Toepfl S, Neidhart S, Knorr D, Schieber A, Carle R (2007) Effects of pulsed electric field treatment of apple mash on juice yield and quality attributes of apple juices. *Innov Food Sci Emerg*, 8, 127-134
19. Lebovka NI, Praporscic I, Vorobiev E (2004) Combined treatment of apples by pulsed electric fields and by heating at moderate temperature. *J Food Eng*, 65, 211-217
20. Corrales M, Toepfl S, Butz P, Knorr D, Tauscher B (2008) Extraction of anthocyanins from grape by-products assisted by ultrasonics, high hydrostatic pressure or pulsed electric fields: A comparison. *Innov Food Sci Emerg*, 9, 85-91
21. Kamal EB, Zied R, Eugene V (2005) Kinetic model of sugar diffusion from sugar beet tissue treated by pulsed electric field. *J Sci Food Agri*, 85, 213-218
22. Lewis TJ (1968) The electric conduction and strength of pure liquids. In: *High voltage technology*, Alston LL(Ed), Oxford University Press, London, UK, p 111-120
23. Krasuchi Z (1968) Breakdown of commercial liquid and liquid-solid dielectrics. In: *High voltage technology*, Alston LL(Ed), Oxford University Press, London, UK, p 122-128
24. Rim AR, Jung ES, Kim SY, Lee SC (2005) Effect of far-infrared irradiation and heat treatment on the antioxidant activity of extracts from defatted soybean meal. *J Korean Soc Appl Biol Chem*, 48, 400-403
25. Eberhardt MV, Lee CY, Liu RH (2000) Antioxidant activity of fresh apple peels. *Nature*, 405, 903-904
26. Anna VQ, Gemma OO (2012) Effects of Pulsed electric fields on the bioactive compound content and antioxidant capacity of Tomato fruit. *J Agri Food Chem*, 60, 3126-3134
27. Eshtiaghi MN, Knorr D (2000) Application on high voltage electric pulses for cell disruption in the juice of grapes. *Food Proc Eng*, 45, 23-27