

## 통전가열(Ohmic Heating) 처리조건에 따른 사과주스의 가열속도 변화

홍희도\* · 김경탁 · 최희돈 · 김성수

한국식품개발연구원

**초 록** : 통전가열(ohmic heating)을 사과주스의 가열 살균에 적용해보기 위하여 가열기 형태와 전압, 파형, 주파수 등 전기적 요소가 사과주스 모델용액의 통전가열 속도에 미치는 영향을 알아보았다. 100 VAC, 60 Hz의 상용 전류를 이용한 통전가열시 컵형 가열기에서 전극간의 간격이 29, 22, 17 mm로 줄어들수록 모델용액의 가열 속도는 7.8, 21.0, 47.4°C/min으로 크게 증가하였으며 또한 전극의 수를 병렬로 1, 2, 3쌍으로 증가시킬 시에도 29.2, 49.8, 74.6°C/min으로 비례적으로 증가하여 전극의 간격이 작을수록, 전극의 표면적이 증가할수록 가열속도는 크게 빨라지는 것으로 나타났다. 60 Hz~60 kHz 범위의 주파수 변화에 따른 가열속도 차이는 나타나지 않았으며 파형에 따른 가열속도는 positive saw tooth wave를 제외하고 변화가 거의 없었다. 전압을 40에서 100 VAC로 높임에 따라 가열속도는 9.5°C/min에서 83°C/min로 크게 증가하여 전압과 가열속도는 정비례 관계가 있음을 알 수 있었다. 통전가열과 상업적 살균방법으로 제조한 사과주스 간에는 이화학적 특성의 차이가 없었다.(1998년 7월 18일 접수, 1998년 10월 8일 수리)

### 서 론

기존의 가열 방식에 의한 식품 가공 및 살균중 품질저하 요인을 최소화하기 위하여 최근 선진 각국에서는 새로운 형태의 가열방식이나 살균방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중에서도 전기에너지를 이용한 통전가열(ohmic heating)을 적용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 통전가열의 가장 큰 장점은 식품자체에 전류를 통과시키는 방식이므로 액상과 고체상의 전기전도도의 차이가 크지 않을 경우에 액체와 고체 모두 입자의 크기에 관계없이 일정한 가열이 가능하다는 것이다. 그 밖에도 표면으로의 열전달이 없고 연속적인 생산이 가능하며 느린 유속으로 인해 shear-sensitive 식품에 이상적인 공정이다. 또한 영양성분의 잔류를 증가시킬 수 있으므로 기존의 열처리방식에 비해 신선한 맛과 품질이 뛰어난 제품의 생산이 가능하며, 고체성분의 투입량을 늘일 수 있어 설비투자과 제품의 안정성을 최적화시킬 수 있다.<sup>1)</sup>

통전가열에 의한 식품 가공은 이미 19세기말경에 Johns<sup>2)</sup>가 식품의 살균에 적용한 예가 있으며 1900년에는 Roberts<sup>3)</sup>가 캔제품의 살균에 전기 저항열을 이용한 장치를 고안한 바 있다. 그 이후에도 Bohart,<sup>4)</sup> Ball<sup>5)</sup> 등도 이와 유사한 장치를 제작하였으나 상업화하지는 못하였다. 20세기초에는 전위차가 있는 평형의 판 사이에 우유를 통과시켜 살균하는 연속식 살균법이 고안되기도 하였고 Anglim 등<sup>7)</sup>이 제작한 electro-pure system은 1920년대 획기적인 우유 살균기술로 인정받았을 뿐 만 아니라 HTST(high temperature short time)법의 선구자적인 역할을 하였다. 최근들어 영국의 Electrical Research Center에서 continuous flow ohmic heater

를 이용한 APV Baker ohmic heating process를 개발하였고 여기에 aseptic process를 도입하여 상업화에 성공하였다.<sup>10)</sup> 그 밖에 오렌지 주스의 가열살균 시험 등<sup>11)</sup> 다양한 연구가 미국 등 선진 각국에서 진행되고 있다.

국내의 경우 통전가열 장치를 이용한 식품의 가공 및 살균에 대한 연구는 아직 초기단계에 있으며 조 등<sup>12,13)</sup>의 ohmic heating을 이용한 페이스트상 식품의 살균, 콩의 유효성분 추출, 두유박의 압착, 탈수 등에 대한 연구가 보고된 바 있으나 아직 과실주스를 대상으로 한 연구는 진행된 바가 없다. 본 연구에서는 국내산 사과주스와 이와 유사한 이화학적 특성을 갖는 모델용액을 제조하여 적정 통전가열 조건을 조사함으로써 사과주스의 가열살균에 통전가열 방법을 적용하는데 필요한 기초자료를 마련하였다.

### 재료 및 방법

#### 사과주스 제조

선선 사과주스는 경북산 후지사과를 시장에서 구입하여 세척, 선별하고 실험실용 착즙기(Bosung Juicer model No BS-JB-400)을 이용하여 착즙하였다. 착즙시 갈변을 방지하기 위하여 비타민C 용액을 분무하였으며 첨가한 최종농도는 전체 사과주스의 약 0.3%가 되게 하였다. 착즙한 사과주스는 갈색용기에 옮기고 4°C에 보관하면서 시료로 사용하였으며 보관기간은 2일을 넘지 않았다.

#### Model solution의 조제

사과주스와 유사한 이화학적인 성분조성을 갖는 모델 용액은 다음과 같이 조제하였다. Citric acid buffer와 malic

찾는말 : 통전가열, 사과주스, 모델용액, 가열속도

\*연락처

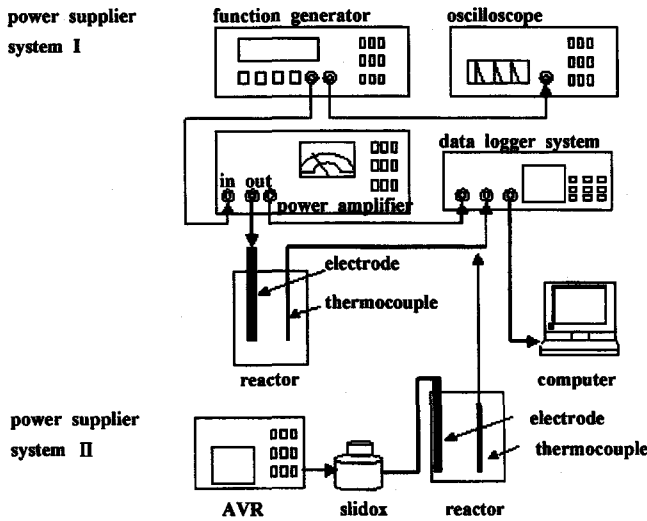


Fig. 1. Schematic diagram of ohmic heating set-up.

acid 용액을 이용하여 pH 3.8, 직정산도 0.36%의 유기산 용액을 제조하고 유기산 용액 1 l당 glucose 91 g, sucrose 39 g, NaCl 0.8 g, 가용성 사과펙틴 2 g씩을 각각 첨가하여 총 당 13%, 총 당류중에 환원당 함량 70%, 전기전도도 2.2 mS/cm의 모델용액을 조제하였다.

**통전기열 장치**

통전기열(ohmic heating) 장치는 Fig. 1과 같이 구성하였다. 전원공급부는 0.1 mHz~2 MHz의 주파수와 sine wave 등 5종류의 교류전류 파형 및 직류전류를 생성시킬 수 있는 function generator, 이로부터 만들어진 신호를 증폭시킬 수 있는 power amplifier(max. 600 W)로 구성하였으며 이와 별도로 100 VAC, 60 Hz의 상용교류 전류를 직접 사용할 수 있도록 automatic voltage regulator와 voltage controller(0~130 VAC)로 이루어진 전원공급부도 구성하였다. 그 밖에 파형 및 주파수를 측정가능한 oscilloscope, 전압, 전류, 온도 등을 동시에 측정 및 기록이 가능한 data logger system, pyrex재질의 가열기, 티타늄 전극 등을 구성하였다. 본 연구에서는 가열기 및 전극의 형태를 변화시킨 3종류의 가열기를 사용하였으며 Fig. 2와 같다.

**사과주스 및 모델용액의 이화학적 특성**

시료 25 ml을 취해 0.1 N NaOH으로 pH 8.4가 될 때까지 적정하여 이때 사용된 0.1 N NaOH용액의 ml수를 시료 100 ml에 대한 사과산의 함량으로 환산하여 적정 산도를 나타내었으며<sup>14)</sup> pH는 상온에서 pH meter(DP-880)를 이용하여 측정하였다. 환원당 함량은 주스 시료를 200배정도 희석하여 여과한 후 DNS법으로 측정하였으며<sup>15)</sup> 총 당함량은 약 2000배 정도 희석한 후 phenol-sulfuric acid법에 따라 측정하였다. 비타민 C 함량은 시료용액을 5% metaphosphoric acid 용액으로 희석한 후 hydrazine 비색법에 따라 측정하였으며 색도는 색차계(ColorQUEST II, HunterLab)로 밝기(L), 적색도(a), 황색도(b)를 측정하였다.

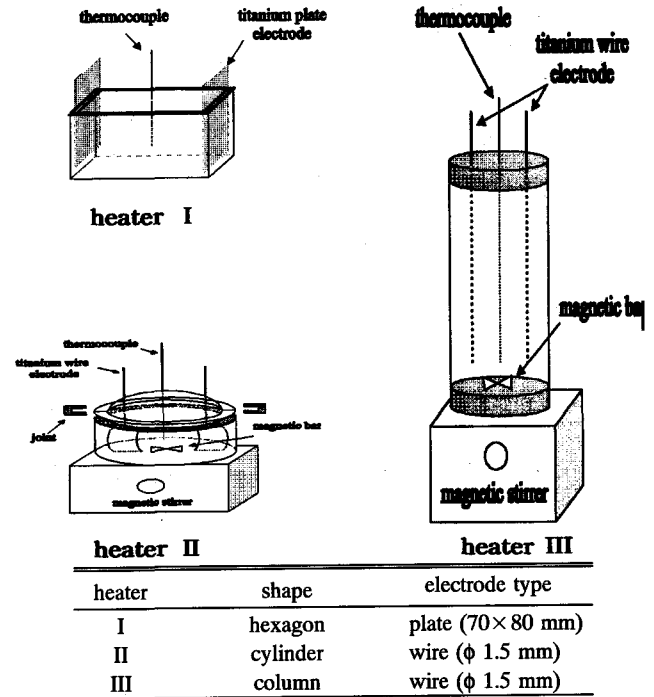


Fig. 2. Ohmic heater.

**전기전도도**

전기전도도 측정장치(ORION, conductivity-salinity meter model 140)를 이용하여 상온에서 측정하였다.

**결과 및 고찰**

**신선 사과주스의 이화학적 특성 및 모델용액의 조제**

착즙한 사과주스의 경우 pH는 3.7, 산도는 0.33%, 총 당 함량이 12.9%이었으며 환원당의 함량은 8.9%로 전체 당함량의 69% 정도를 차지하였다. 전기전도도의 경우 상온에서 약 2.24 mS/cm로 조<sup>16)</sup>가 보고한 고추장의 18.65 mS/cm, 된장의 25.10 mS/cm보다는 약 10배 정도 낮은 전기전도도를 나타내었으며 그 밖의 감자의 0.25, 으깬 배추 1.37, 쌀전분 0.46 mS/cm보다는 약 5~10배 정도 높았으며 달걀흰자의 4.18 mS/cm보다는 1/2정도의 전기전도도를 나타내었다. 사과주스의 경우 품종, 재배지역, 수확시기 및 사용한 착즙기의 종류에 따라 그 이화학적 특성이 다소 차이를 나타내므로 동일한 조건에서 시험하기에는 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 앞서 측정된 사과주스와 이화학적 특성이 유사한 모델용액을 제조하였으며 적정 통전기열조건 구명을 위한 시료로 사용하였다. 이 때, 모델용액의 pH는 3.7, 적정산도는 0.36%, 총 당함량은 13%, 환원당함량은 9.1% 전기전도도는 2.20 mS/cm이었다.

**가열기 형태가 가열속도에 미치는 영향**

가열기 형태를 plate 전극을 사용한 직육면체형, wire 전극을 사용한 원통형, 원통형에서 직경을 줄이고 길이를 늘린 컬럼형으로 각각 제조하고 100 VAC 전류를 이용하여

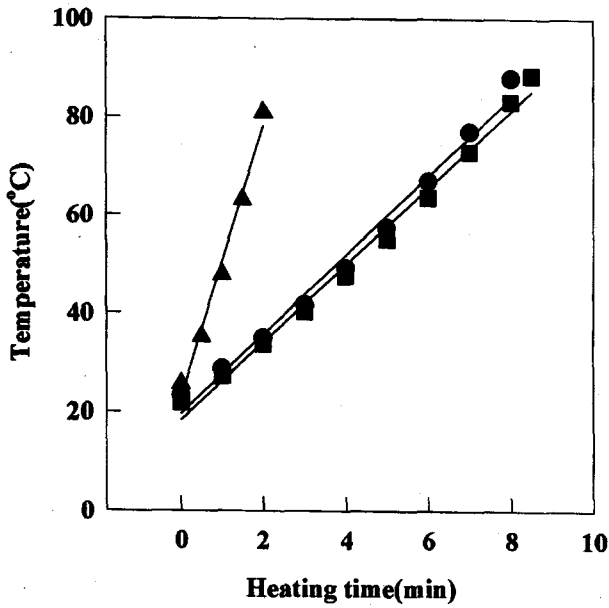


Fig. 3. Ohmic heating profile of model solution with the different shape of ohmic heater. ●—●: plate electrode (titanium, W×H: 70×80 mm, and hexagonal reactor (W×L×H=100×70×60 mm), batch type, open system; ■—■: wire electrode (titanium,  $\Phi=1.5$  mm) and cylindrical reactor (I.D.=100 mm, H=80 mm), batch type, closed system; ▲—▲: wire electrode (titanium,  $\Phi=1.5$  mm) and column-type reactor (I.D.=42.8 mm, H=240 mm), batch type, closed system. 100 VAC, 60 Hz, sine wave, 250 ml of model solution.

통전가열시 250 ml의 모델용액 가열속도를 비교해 본 결과는 Fig. 3과 같다. 가열속도는 plate 전극을 사용한 직육면체형의 경우 8.0°C/min로, 직경 100 mm의 원통형 가열기에 titanium wire 전극을 이용한 경우의 7.9°C/min와 큰 차이를 나타내지는 않았다. 그러나 컬럼형 가열기의 경우에는 27.7°C/min로 약 4배 정도 빠른 것으로 나타났으며 이러한 결과는 전극의 간격이 줄어든 것에 기인하는 것으로 생각되었다.

전극의 간격이 가열속도에 미치는 영향을 알아보기 위해서 컬럼형 가열기의 직경을 각각 42.8, 32.0, 22.8 cm로 줄이고 길이를 늘인 동일 체적의 컬럼형 가열기를 제조하였으며 이 때 전극의 간격은 각각 29, 25, 17 mm이었다. 각 반응기에서 100 VAC, 60 Hz의 상용전류를 이용한 통전가열시의 가열 속도를 살펴본 결과는 Fig. 4와 같다. 전극의 간격이 줄어들어 따라 가열속도는 급격하게 증가하여 7.8, 21.0, 47.4°C/min으로 증가하는 경향을 나타내어 가열속도와 전극간격은 반비례하였으며 상관계수는 거의 1.0에 가까웠다.

전극수에 따른 가열속도 변화를 살펴보기 위하여 직경 42.8 mm인 컬럼형 가열기에 wire 전극수를 병렬로 1, 2, 3쌍으로 늘려가면서 100 VAC, 60 Hz 상용 전류를 이용한 통전가열시 모델용액의 가열속도를 측정해 보았으며 그 결과는 Fig. 5와 같다. 가열속도는 전극의 수에 비례적으로 증가하여 1쌍의 전극을 사용할 때 가열속도는 29.2°C/min, 2쌍의 경우 49.8°C/min, 3쌍의 경우 74.6°C/min이었다. 이러

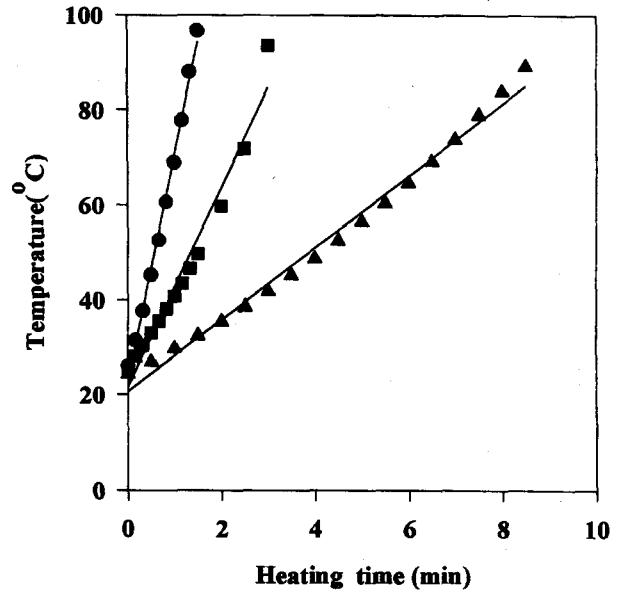


Fig. 4. Ohmic heating profile of model solution with different distances between electrodes. ●—●: 17 mm; ■—■: 22 mm; ▲—▲: 29 mm. 100 VAC, 60 Hz, sine wave, 250 ml of model solution, one pair wire electrode (titanium,  $\Phi=1.5$  mm) and column-type heater, batch type, closed system.

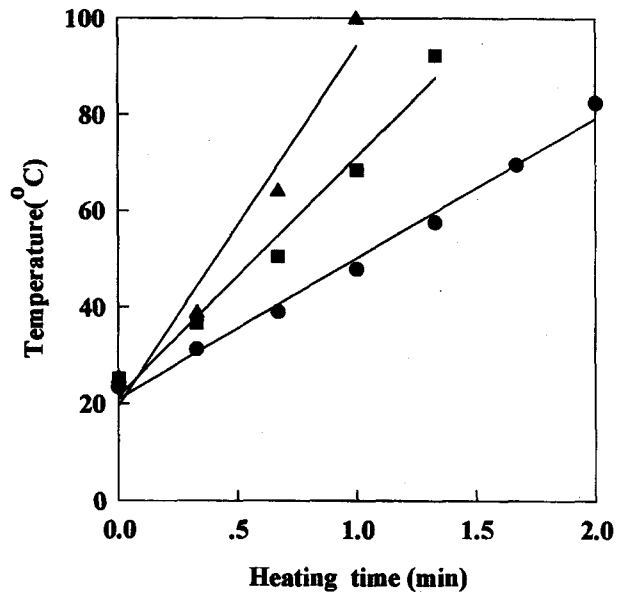


Fig. 5. Ohmic heating profile of model solution with the different numbers of electrode pairs. ●—●: one electrode pair; ■—■: two electrode pairs; ▲—▲, three electrode pairs. 100 VAC, 60 Hz, sine wave, 250 ml of model solution, wire electrode (titanium,  $\Phi=1.5$  mm) and column-type heater (I.D.=42.8 mm, H=240 mm), batch type, closed system.

한 결과는 전극의 표면적이 늘어난 것에 원인이 있는 것으로 생각되었다.

가열기 형태에 따른 모델용액의 가열속도 변화를 정리해 보면 크게 전극수와 전극간의 간격에 크게 영향을 받는 것으로 나타났으며 전극의 간격이 작을수록, 전극수가 많을수록, 또는 전극의 표면적이 넓을수록 가열 속도는 빨라지는

것으로 나타났다. 그러나 전극의 간격을 지나치게 작게 하면 급격한 가열은 이루어지나 전극의 표면에 고형물이 일부 부착되는 현상이 발생하였으며 컬럼 길이가 길어짐에 따른 컬럼 상,하부간에 미소한 온도차가 발생하였다. 특히, 혼탁 주스의 경우 현탁되어 있는 섬유소 등 불용성 고형물들이 분리, 응집되면서 하부로 가라앉은 현상이 발생하였으나 이러한 문제점은 강한 교반으로 다소 해결할 수 있었다. 따라서 사과주스와 같이 일부 고형물이 현탁되어 있는 시료의 경우 전극의 간격을 최대한 줄이고 그 표면적을 넓혀 주면서 가열 또는 이동중에 시료를 교반시켜 줄 수 있는 새로운 형태의 가열기에 대한 연구가 앞으로 필요할 것으로 생각되었다.

**전기적 요소가 가열속도에 미치는 영향**

전압의 변화에 따른 가열속도 변화를 알아보기 위하여 전압을 40, 60, 80, 100 VAC로 변화시키면서 모델용액의 가열속도를 측정하여 보았다(Fig. 6). 이때 가열조건은 직경이 42.8 mm인 column형 반응기에 wire 전극수를 3쌍으로 하였으며, 주파수는 상용주파수인 60 Hz, model solution의 양은 200 ml이었다. 가열속도 변화는 전압이 증가함에 따라 급격한 증가를 나타내 40 VAC에서 9.5°C/min 이던 것이 100 VAC에서는 83.0°C/min로 크게 증가하였다. 전압과 가열속도의 관계를 살펴볼 때 거의 정비례함을 알 수 있었다.

전기파형을 sine, triangle, positive sawtooth, square wave 등으로 변화시키면서 모델용액의 통전가열 속도변화를 살펴본 결과는 Fig. 7과 같다. 이 때 부가한 전압은 기기적 제한으로 20 VAC이었으며 주파수는 60 Hz, 모델용액의 양은

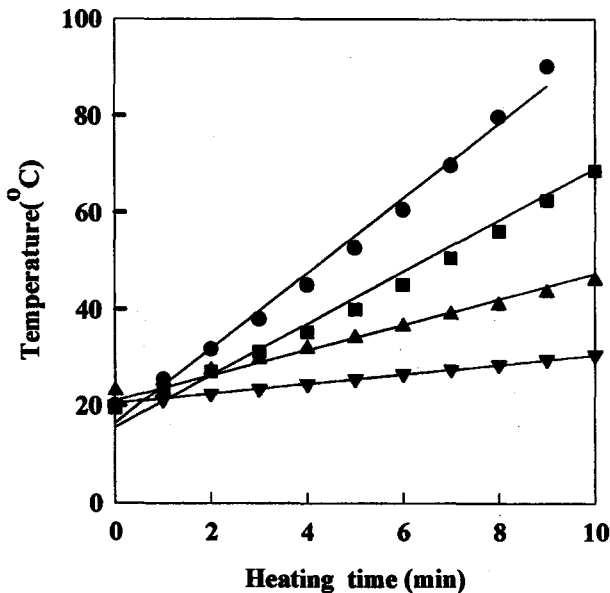


Fig. 6. Ohmic heating profile of model solution with different applied voltage. ●—●: 100 VAC; ■—■: 80 VAC; ▲—▲: 60 VAC; ▼—▼: 40 VAC. 60 Hz, sine wave, 200 ml of model solution, three-pairs wire electrodes (titanium,  $\Phi=1.5$  mm) and column-type heater (I.D.=42.8 mm, H=240 mm), batch type, closed system.

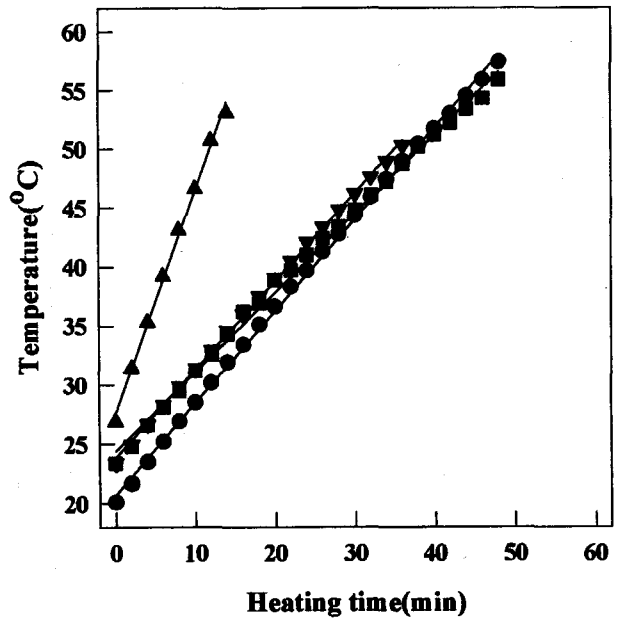


Fig. 7. Ohmic heating profile of model solution with the different wave forms of electric current. ●—●: sine wave; ■—■: triangle wave; ▲—▲: positive sawtooth wave; ▼—▼: square wave. 20 VAC, 60 Hz, sine wave, 200 ml of model solution, three-pairs wire electrode (titanium,  $\Phi=1.5$  mm) and column-type heater (I.D.=42.8 mm, H=240 mm), batch type closed system.

200 ml, 가열기형태는 컬럼형, 전극수는 3쌍을 사용하였다. 그 결과 positive saw wave의 경우가 가장 빠른 가열속도를 나타내 1.89°C/min이었으며 그 이외의 파형간에는 큰 차이를 보이지 않아 sine wave의 경우에 0.78°C/min, square wave의 경우에 0.75°C/min, triangle wave의 경우에 0.61°C/min이었다. 이와 같은 결과는 sine, triangle 및 square wave는 동일 전압에서 시료에 흐르는 초기 전류 양이 비슷하고 가열이 진행됨에 따라 흐르는 전류의 양이 증가하여 저항값이 감소하는 경향을 나타내는 반면 positive saw wave는 동일 전압에서 초기 전류값이 다른 세 종류의 파형에 비해 1/2 수준으로 2배 정도의 저항값을 나타내고 가열시에도 전류가 낮아져 저항값이 오히려 증가되는 경향을 나타내는 전기적 특성에 기인하는 것으로 생각되었다.

통전가열을 이용한 주스류의 가열시 주파수가 가열속도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 주파수를 60, 600, 6000, 60000 Hz로 변화시키면서 모델용액의 통전가열시험을 행하였으며 그 결과는 Fig. 8과 같다. 가열조건은 30VAC model solution의 양은 200 ml, 반응기는 column형, 전극수는 3쌍을 사용하였다. 전체적으로 주파수 변화에 따른 가열속도 차이는 거의 없었으며 60 kHz와 6 kHz의 경우에 4.6°C/min으로 같았고 600 Hz의 경우에 4.4°C/min, 60 Hz의 경우에는 3.5°C/min이었다. 따라서 주스류의 통전가열시 주파수가 가열속도에 미치는 영향은 거의 없었다.

한편 식품의 전기적 가열은 크게 dielectric model, resistance model 및 이들 두 model을 조합시킨 semiconductor model 등으로 설명되고 있다. 그 중에서 resistance model의

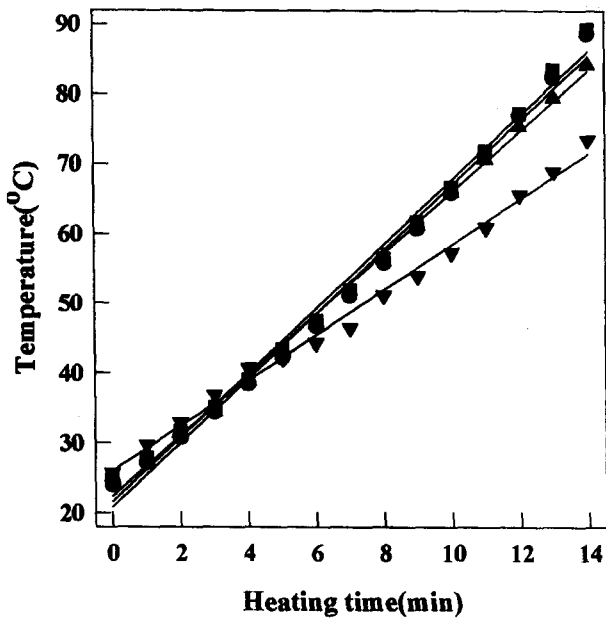


Fig. 8. Ohmic heating profile of model solution with different frequencies of electric current. ●—●, 60 kHz; ■—■: 6 kHz; ▲—▲: 600 Hz; ▼—▼: 60 Hz. 30 VAC, sine wave, 200 ml of model solution three-pairs wire electrodes (titanium,  $\Phi=1.5$  mm) and column-type heater (I.D.=42.8 mm, H=240 mm), batch type, closed system.

Table 1. Physicochemical characteristics of apple juice repared by commercial and ohmic heating sterilization

	Sterilization method	
	Commercial	Ohmic heating
acidity (% of malic acid)	0.35	0.34
pH	3.8	3.8
Total sugar (%)	12.8	12.5
Reducing sugar (%)	10.0	9.8
Vitamin C (mg%)	60	60
Color	L	9.7
	a	0.62
	b	4.98

경우에 가열속도는 전압의 제곱에 비례하고 저항값에 반비례하며 저항은 다시 전기전도도와 전극간의 단면적에 반비례하고 길이에 비례한다.<sup>13)</sup> 본 연구에서 사과주스의 가열속도는 앞서 살펴본 가열기 형태에서 전극의 단면적과 전극간의 간격에 크게 영향을 받으며 전기적 요소에서 파형이나 주파수에 의한 영향을 거의 받지 않고 전압에 정비례하는 것으로 나타나 resistance model로 그 가열기작을 설명할 수 있을 것으로 생각되었다.

가열조건에 따른 이화학적 특성 비교

상업적 가열 살균 및 통전가열한 사과주스간의 이화학적 특성을 비교해 본 결과는 Table 1과 같으며 직경 42.8 mm 갈럼형가열기와 3쌍의 titanium wire전극을 사용하고 100

VAC, 60 Hz 상용전류를 이용하여 통전가열하였다.

산도의 경우 통전가열한 것이 0.34%로 상업적 살균시의 0.35%, 신선 사과주스의 0.33%와 거의 차이가 없었으며 pH 역시 3.8로 거의 차이가 없었다. 통전가열후 총당과 환원당 함량은 각각 12.8%와 10.0%로 상업적 살균시와는 거의 차이가 없었으나 신선 사과주스에 비해 환원당 함량은 다소 감소하였다. 비타민 C의 경우에는 두 가열살균방법에 따른 차이가 없어 모두 0.06%로 나타났으며 통전가열처리한 주스의 색깔은 상업적 살균시와 비교하여 L값은 약간 감소, a값은 약간 증가한 경향을 나타내었으나 그 차이는 매우 작았다.

참고문헌

- David, L.P. (1992) Use of ohmic heating for aseptic processing of food particles, *Food Technol.*, **46**(12), 68-72.
- Johnes, F. (1897) Apparatus for electrically treating liquids, U.S. Patent 592,735.
- Roberts, I.L. (1990) Receptacle for sterilized perishable substances, U.S. Patent 645, 569.
- Bohart, G.S. (1933) Apparatus for canning foods, U.S. Patent 1,911,879.
- Bohart, G.S. (1934) Process for canning foods, U.S. Patent 1, 961,681.
- Ball, C.O. (1937) Apparatus for and method of canning, U.S. Patent 2,091,263.
- Anderson, A.K. and Finkelstein, R (1919) A study of electro-pure process of treating milk. *J. Dairy Sci.* **2**, 374-406.
- Anglim, T.H. (1923) Method and apparatus for pasteurizing milk, U.S. Patent 1,468,871.
- Anglim, T.H. (1934) Apparatus for pasteurizing milk, U.S. Patent 1,984,956.
- Biss, C.H. Coombes, S.A. and Skudder, P.J. (1989) In 'Processing Engineering in the Food Industry,' Field, R.W. and Howell, J.A., ed., 17-27, Elsevier Applied Science Publishers, Essex, England.
- Palaniappan, S. and Sastry, S.K. (1991) Electrical conductivity of selected juices: Influences of temperature, solid contents, applied voltage and particle size., *J. Food Proc. Eng.*, **14**, 247-260.
- Cho Won-Il, Do-Un Kim, Yong-Suk Kim and Yu-Ryang Pyun (1994) Ohmic heating characteristics of fermented soybean paste and Kochujang, *Korean J. Food Sci. Technol.*, **26**(6), 791-798
- Cho Won-Il, Yu-Ryang Pyun, Youn-Soo Lee and Ik-Boo Kwon (1996) Dewatering of soybean milk residue by hydraulic press with ohmic heating, *Korean J. Food Sci. Technol.*, **28**(2), 324-329
- Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 8th ed., Methods 02-52 (1983)
- Bernfeld, P. (1955) In 'Methods in the Enzymology', Colowick, S.P. and Kaplan, N.O. ed., Vol. 1, 149, Academic Press, NY, USA

---

**Changes in Heating Profiles of Apple Juice by Ohmic Heating**

Hee-Do Hong\*, Sung-Soo Kim, Kyung-Tack Kim, Hee-Don Choi(*Korea Food Research Institute, Sungnam, 463-420, Korea*)

**Abstract :** The optimum ohmic heating condition of apple juice was investigated with model solution. The temperature rise of model solution was found to be 7.8, 21.0, 47.4°C/min when the distances between electrodes were 29, 22, and 17mm, respectively. The heating rate increased proportionally with the numbers of electrode pairs, 1 to 3 and highly dependent on applied voltage. The heating rate was not affected by the frequencies ranged from 60 Hz to 60 KHz and the wave form of applied alternating electric current. The apple juices prepared by ohmic heating sterilization revealed similar physicochemical properties to that by commercial sterilization.

---

**Key words :** Ohmic heating, Apple juice, Model solution, Heating rate

\*Corresponding author