

된장 및 고추장의 Ohmic heating 특성

조원일 · 김도언* · 김영숙** · 변유량

연세대학교 식품·생물공학과 및 생물산업소재연구센터,
*제일제당(주) 건강식품연구소, **양산전문대학 전통조리과

Ohmic Heating Characteristics of Fermented Soybean Paste and *Kochujang*

Won-Il Cho, Do-Un Kim*, Young-Suk Kim** and Yu-Ryang Pyun

Department of Food and Biotechnology, and Bioproducts Research Center, Yonsei University,
*Cheil Foods & Chemicals Inc., **Department of Traditional Food Preparation, Yangsan Junior College

Abstract

Ohmic heating is a food processing operation in which heat is internally generated within foods by the passage of alternating electric current. The process enables highly viscous paste foods such as *Kochujang*, and fermented soybean paste to be heated very fast. In order to develop the novel pasteurization process of paste foods, static Ohmic heating system was built, and heating characteristic during Ohmic heating under various conditions were studied. Electric conductivities of *Kochujang* and fermented soybean paste at room temperature were 1.865 S/m and 2.510 S/m, respectively and increased linearly with increasing temperature. Specific heating rate was highly dependent on the frequency. The highest heating rate was achieved at 5 KHz for *Kochujang* and 20 KHz for fermented soybean paste. Uniform heating throughout the sample was achieved during Ohmic heating with low frequency electrical currents, however above 5 KHz frequency, surface temperature was several degrees higher than the bulk.

Key words: ohmic heating

서 론

식품의 가열에는 일반적으로 온도차를 driving force로 하는 열전달에 의한 가열방법이 사용된다. 점도가 낮은 액상 식품의 경우 HTST, UHT 살균법 등으로 전열 가열 공정에서의 열에 의한 품질 손상을 효과적으로 최소화할 수 있으나 고형물을 함유한 식품이나 고점성 식품은 전도전열에 의하여 가열하는데 많은 문제점이 있다. 식품에 交流電流를 통과시키면 식품은 전기 저항을 가지고 있으므로 전기에너지가 열에너지로 전환되어 내부에서 급속히 전기 저항(Joule)열이 발생하는데 이러한 원리를 이용한 가열방법이 Ohmic heating이다.

Ohmic heating의 가열 효과는 microwave에 의한 가열과 마찬가지로 식품내부에서 전기에너지가 열로 전환된다. 그러나 마이크로파 가열에서는 투과 깊이에 한계가 있기 때문에 불균일 가열되는데 반하여, Ohmic heating에서는 투과깊이에 제한이 없으며 식품내부에 온도 구배가 생기지 않고 균일하게 가열되며, 액체와 고체가 동시에 가열되고 加熱面과 접촉하지 않기 때문에 기계적

교반이나 혼합 등이 전혀 필요 없는 등 여러가지 장점을 가지고 있다^(1,2).

이와 같은 새로운 가열 방식인 Ohmic heating은 페이스트상 고점성 식품의 살균, 어육소세지 등 수산 가공품의 가열, 조직화, 냉동 식품의 解凍, 입자를 함유한 식품의 살균 등 여러 분야의 응용이 연구되고 있다. 개발된 장치로는 영국 Cambridge group과 APV Baker社에서 공동 개발한 입자를 다량 함유한 액상 식품의 가열 살균장치^(3,4), 일본 수산청에서 어육 단백질의 조직화와 살균에 이용할 수 있도록 고안한 Joule 가열 장치^(5,6) 및 러시아의 meat emulsion 가열장치와 냉동 물고기 불룩의 해동용 장치⁽⁷⁾ 등이 있다.

우리나라의 전통식품인 고추장과 된장은 고점도의 페이스트상이므로 열교환기의 사용이 곤란하고 열전달계수가 작기 때문에 장시간 가열하지 않으면 안되며, 이에 따른 가열표면에서 과잉가열에 의하여 가열취, 갈변 반응에 의한 변색 등으로 품질의 손상이 문제되고 있다. 된장의 경우 일부 tube식 열교환기에 의한 살균법이 이용되고 있으나 소포장 후 열탕 살균, ethylalcohol을 첨가하는 화학적 처리법 등이 사용되고 있다. 이와 같은 점으로 미루어 불매 된장과 고추장은 Ohmic heating에 의한 살균법을 응용할 수 있는 가장 적합한 재료이다.

따라서 본 연구에서는 Ohmic heating을 이용하여 고

Corresponding author: Yu-Ryang Pyun, Department of Food and Biotechnology, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

Table 1. Proximate composition of test samples

Test sample	Ingredient	Composition(%)				
		Moisture	Protein	Lipid	Carbohydrate	Ash
<i>Kochujang</i>	wheat flour, red pepper, rice (glutinous milled), salt, corn syrup, sorbic acid (0.1% below)	47.8	6.1	2.8	32.0	11.3
Fermented	soybean, wheat flour, defatted soybean flour, monosodium L-glutamate, sorbic acid (0.1% below)	50.0	14.0	5.0	16.2	14.8

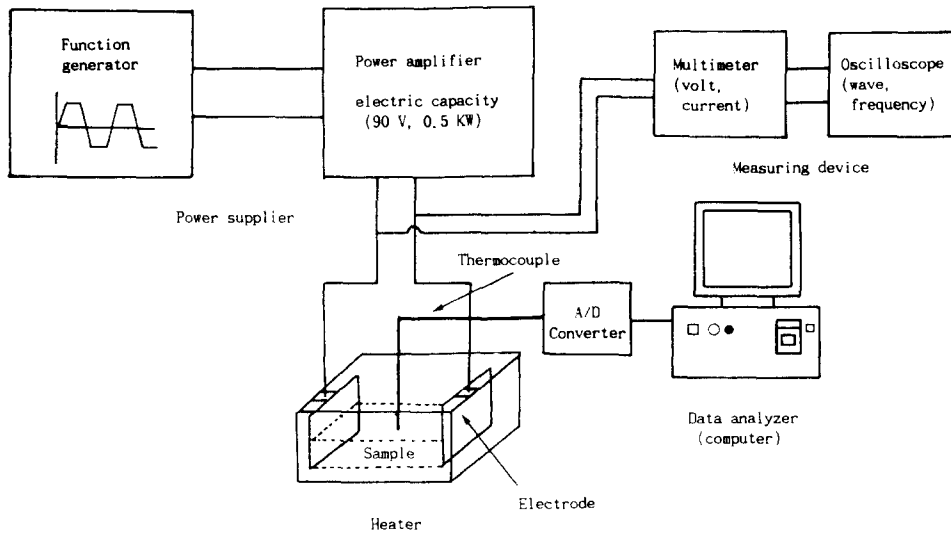


Fig. 1. Schematic diagram of the static Ohmic heating system

추장, 된장과 같은 페이스트상 발효 식품의 살균에 응용 가능한 살균 기술을 개발하기 위한 기초 연구로서 실험실 규모의 정칙 회분식 저주파 교류가열 시스템을 고안하고 일차적으로 식품의 전기전도도, 전압, 주파수 등이 발열에 미치는 영향을 연구, 검토하였다.

재료 및 방법

실험 재료

J社에서 생산하는 고추장과 된장을 냉장고(5℃)에 보관하면서 시료로 사용하였으며, 시료의 원료와 성분은 Table 1과 같다⁶⁾.

실험 장치

Ohmic heating 장치는 자체 제작하였으며, system의 개략도를 Fig.1에 나타내었다. Ohmic heating용 전원공급부는 40 Hz에서 20 KHz의 주파수를 가진 구형파(square wave) 또는 sine 파를 발생시킬 수 있는 함수발생기(function generator)와 이 전원을 95 V까지 증폭시킬 수 있는 증폭기(amplifier)로 이루어져 있다⁶⁾. 데이터

분석과 측정을 위하여 automatic multimeter, oscilloscope, electric conduct meter, IBM PC-AT를 이용하였다. 가열부는 Fig. 1에서와 같이 위가 개방된 polypropylene box(90×90×50 mm)에 알루미늄 전극을 설치하였으며, 실험 중에는 안전을 기하기 위해 pyrex box에 넣어 사용하였다. 이와는 별도로 60 Hz의 상용교류를 사용하는 실험에서는 0에서 130 V의 전압을 낼 수 있는 정격 용량 2 kW의 슬라이드스틀 전원공급기로 이용하였다.

액상 및 페이스트상 식품의 通電하지 않은 상태에서의 전기전도도는 electric conduct meter(model CM-2A, Tokyo TOA Electronics Ltd, Japan)를 사용하여 측정 분석하였다. Ohmic heating시 식품의 전류와 전압은 digital multimeter(model 3500T, DM 303 TR, Hc, Korea) 2대를 이용하여 측정하였으며, 임피던스, 전기전도도는 그 두 측정값을 Ohm 법칙에 적용시켜 구해냈다. 주파수, 파형의 측정 및 관찰은 두개의 채널을 가진 oscilloscope(MEGURO, MO-1254A, 50 MHZ, Japan)을 이용하였다.

온도 센서로는 1 mm 구리-콘스탄탄 열전쌍(T type thermocouple, Omega Eng. Co.)과 서미스터 온도계를 사용하였다. 열전쌍을 이용한 온도 측정에서는 정확성을

하기 위해 센서의 전류를 amplifier(Omega Eng. Co.)로 증폭시킨 후 저역 filter를 거쳐 A/D converter에서 digital 신호로 바꿔 286 P/C에 입력하게 하였다.

실험 방법

Ohmic heating 장치의 가열부에 시료를 넣고 상용 및 변환 주파수의 교류를 통하면서 가열 특성을 고찰하였다.

전도가열에 의한 가열실험은 Ohmic heating 가열부와 동일한 형태 및 크기의 알루미늄 box에 시료를 넣고 밀봉한 후 70~100℃의 온수에 침지시켜 시간에 따른 중심부의 온도변화를 측정하였다.

결과 및 고찰

Ohmic heating 동안 전기전도도의 변화

재래의 전도가열에서 가열 속도는 시료의 열전도도에 의존되지만 Ohmic heating 속도에 직접 영향을 미치는 가장 중요한 인자는 전기전도도이다. 시료로 사용한 J社 제품인 된장과 고추장의 通電하지 않은 상온(25℃)에서의 전기전도도를 측정된 결과 각각 2.510 및 1.865 S/m 였다. 온 감자의 전기전도도가 0.025 S/m, 쌀 전분 0.046 S/m, 달걀 흰자 0.418 S/m인데 비하여 된장과 고추장의 전기전도도는 상당히 큰 값인데, 이는 NaCl 등 여러가지 전해질을 함유하고 있고 수분함량이 높기 때문인 것으로 생각된다. 일반적으로 식품의 전기전도도는 $10^{-3} \sim 10^2$ S/m 범위인 것으로 보고되고 있다⁽¹⁰⁾.

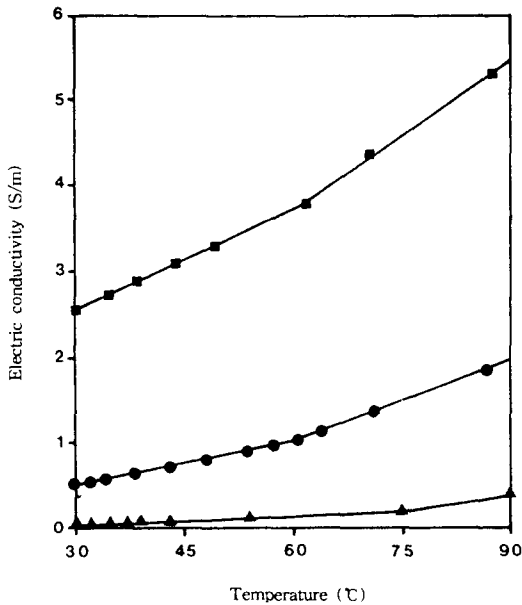


Fig. 2. Changes in electric conductivity of various foods with temperature during Ohmic heating
 ■-■; Fermented soybean paste (12 V), ●-●; Kochujang (20 V), ▲-▲; Potato (60 V)

전기전도도는 식품의 구조, 구성 성분 등에 좌우 될뿐 아니라 가열시간과 온도에 따라 변한다. Ohmic heating 시 시료인 된장과 고추장의 각 온도에서의 전기전

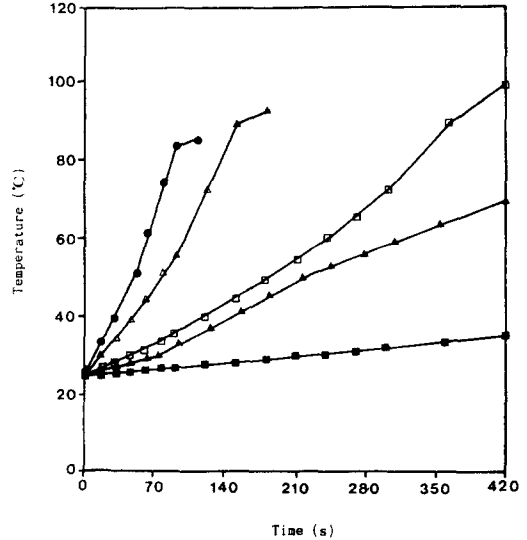


Fig. 3. Ohmic heating profile of Kochujang with voltage change (60 Hz, sine wave, sample: 40 g, electrode distance: 20 mm)
 ■-■; 5 V/cm, □-□; 10 V/cm, △-△; 15 V/cm, ●-●; 20 V/cm, ▲-▲; Boiling

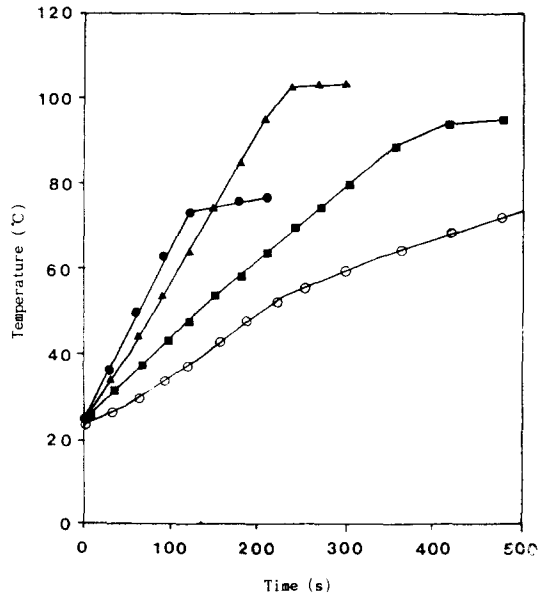


Fig. 4. Ohmic heating profile of fermented soybean paste with voltage change (60 Hz, sine wave, sample: 40 g, electrode distance: 20 mm)
 ■-■; 6 V/cm, ▲-▲; 7.5 V/cm, ●-●; 10 V/cm, ○-○; Boiling

도도를 측정하여 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 일반적으로 식품의 전기전도도와 온도 사이에는 직선 관계가 성립하는 것으로 보고되고 있는데, 고추장과 된장의 전기전도도도 Fig. 2에서와 같이 온도에 비례하여 증가하는 경향을 나타내었다. 전기전도도가 큰 된장은 고추장에 비하여 온도 증가에 따라 전기전도도가 비교적 빨리 증가하였다. 한편 비교하기 위하여 나타낸 감자의 전기전도도는 매우 작으며, 온도에 의한 영향도 완만하였다. 감자의 전기전도도가 낮은 것은 감자는 조직을 그대로 유지하고 있어 세포는 세포막으로 둘러싸여 있으므로 개개의 세포는 전기적 절연체로 작용하기 때문이며, 고추장과 된장의 전기전도도가 온도의 증가에 따라 증가하는 것은 이온의 이동성이 활발해지기 때문이다⁽¹⁰⁾.

된장과 고추장의 전기전도도의 온도 의존성이 60°C 부근에서 약간 증가하는 현상을 나타내었다. 과일이나 채소와 같은 식물 조직의 경우 가열하는 동안에 세포벽의 파괴에 의한 조직의 연화, 펙틴 물질의 붕괴, 전분의 호화 등에 의하여 전기전도도가 변하는 것으로 보고되고 있다⁽¹⁰⁾. 된장과 고추장과 같은 페이스트상의 고점성 식품의 경우에는 온도 증가에 의한 점도의 감소, 기포의 손실, 물성의 변화에 기인되는 것으로 추측되나, 이점에 대해서는 정밀한 실험적 분석이 요구된다.

전압의 영향

식품의 전기전도도 뿐만 아니라 시스템의 전압, 주파수 등 전기적 요소도 Ohmic heating 가열속도에 영향을 미친다. 상업적으로 Ohmic heating에서는 1~5°C/s 정도의 빠른 가열 속도가 요구되며, 이와같은 발열속도를 달성하는데 필요한 전류밀도를 얻기 위하여 가열기에 어느 세기 이상의 전계 강도를 가해주어야 한다. 상용 주파수 60 Hz에서 여러 전압의 교류를 통했을 때 고추장과 된장의 가열속도를 Fig. 3 및 Fig. 4에 나타내었다. 전압이 증가할 수록 가열속도가 증가하였으며, 이와같은 결과는 Ohm의 법칙에서 예견할 수 있다. 고추장의 경우 약 15 V 이하의 낮은 전압의 교류를 통했을 때는 오히려 열탕에서의 가열보다 느린 것을 알 수 있다.

Ohmic heating에서 발생 열량은 다음식으로 주어진다.

$$Q = V \cdot I = I^2 \cdot R = E^2 \cdot k \quad (1)$$

여기서 V=전압(V), I=전류(A), R은 저항(Ω), E=전기장의 세기(V/cm), k=전기전도도 (mS/cm)이다.

식 (1)에서 알 수 있는 것처럼 발생열량은 전기적 성질에 의존되며, 전기적 성질 자체 특히 전기전도도는 온도의 함수이므로 Halden 등⁽¹⁰⁾은 식품의 Ohmic heating 속도는 가열 과정에서 변할 수 있는 것으로 보고하였다. Fig. 3 및 Fig. 4를 살펴보면 된장과 고추장의 경우에도 가열시간에 따라 가열 속도가 변하는 것을 알 수 있다. 따라서 가열 곡선의 초기 직선 부분의 기울기로부터 比加熱 速度(C/g·s)를 구하여 전기장의 세기의 함수로 나타내었다. Fig. 5를 살펴보면 비가열 속도는

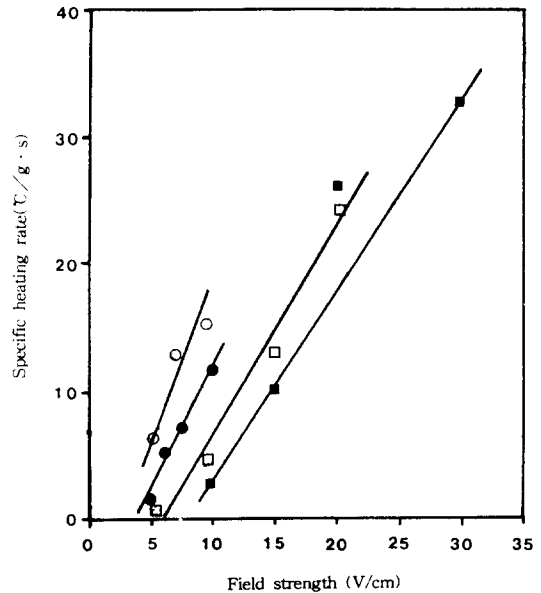


Fig. 5. Variation of specific heating rate with voltage of alternating current during Ohmic heating of *Kochujang* (□, ■) and fermented soybean paste (○, ●) (Sample: 40 g, 25(H)×65(W)×20(D) (mm³))
■, ●; 40 Hz, Square wave, □, ○; 60 Hz, Sine wave

전기장의 세기에 비례 증가하였으며, 전기전도도가 큰 된장의 증가 속도가 컸다. De Alwis 등⁽¹¹⁾은 전기전도도가 다른 염용액에 대해 전기장의 세기에 따른 가열 속도의 영향을 측정된 결과 가열 속도는 전기장의 세기와 전기전도도에 비례하는 것으로 보고하였다.

된장의 경우 고추장에 비하여 낮은 전압 영역에서만 실험한 것은 된장은 전기전도도가 크기 때문에 20 V 이상의 전압을 걸어 주었을 때 과도한 전류가 흘러 시스템이 불안정해지기 때문이다. 또한 Fig. 4에서 된장의 경우 10 V/cm 일때 약 80°C 부근에서 온도가 더 이상 증가하지 않고 급격히 꺾이는 것은 순간적인 과도한 발열량으로 인해 전극 부위 시료가 cake화되어 전류 흐름의 감소때문이며 이와 같은 현상은 고추장의 경우 전기장의 세기 15 V/cm 이상일 때 관찰되었다. 낮은 전압일 때 90°C 이상에서 가열곡선의 변화는 수분손실에 의한 영향으로 생각된다.

된장의 전기전도도가 고추장의 전기전도도에 비해 1.35배 큰데 비하여 Fig. 5에서 두 시료의 비가열 속도의 증가율이 이에 대응하는 정도 차이가 나지 않는 것은 비가열 속도는 발열량에 직접 비례하지 않기 때문이다. 즉 가열 속도는

$$\frac{dT}{dt} = \frac{Q}{\rho C_p} = \frac{E^2 k}{\rho C_p} \quad (2)$$

로 주어진다. 따라서 시료의 체적 열용량 ρC_p 도 또한

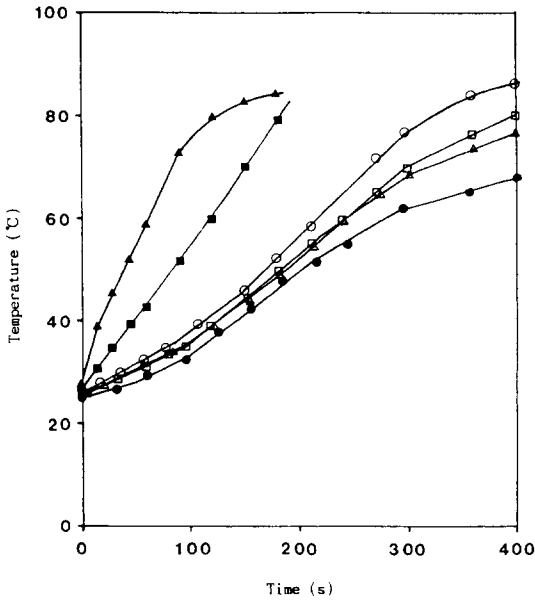


Fig. 6. Ohmic heating profile of fermented soybean paste with frequency change (12 V, square wave, sample: 40 g, 25(H)×65(W)×20(D) (mm³))

○; 40 Hz, □; 500 Hz, △; 1 KHz, ■; 5 KHz, ▲; 20 KHz, ●; Boiling

가열속도에 영향을 미친다. 시료로 사용한 된장과 고추장의 ρ, Cp에 대한 정확한 data가 없으므로 이점에 대해서는 앞으로 더욱 연구되어야 할 것으로 생각된다.

주파수 및 파형의 영향

Ohmic heating에서 요구되는 가열속도를 얻기 위해서는 상용 주파수를 사용할 경우 전류가 많이 흐르도록 하기 위해서는 전압을 증가시켜야 한다. 그러나 전압의 증가는 전기분해 현상^(1,2)과 작업 안정성 때문에 제한이 따른다.

그러나 일정한 전압에서는 주파수가 높을수록 임피던스가 저하하여 전류가 흐르기 쉬우므로 발열량이 증가한다. 따라서 시료의 impedance가 최저가 되는 주파수를 찾을 필요가 있다. 식품은 다양한 성분, 구조로 인해 전기적으로 저항, 축전지, 코일 소자의 특성을 가지고 있는 복합체라 가정할 수 있으므로 시료의 임피던스는 다음 식 (3)으로 주어지는데 적절한 주파수를 사용하면 임피던스가 최소화 된다는 사실을 식에서 알 수 있다.^(2,12,13).

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{Z} = \frac{V_{rms}}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL - 1/(2\pi fC))^2}} \quad (3)$$

여기서 V_{rms}와 I_{rms}는 각각 교류 전압 및 전류의 평균값,

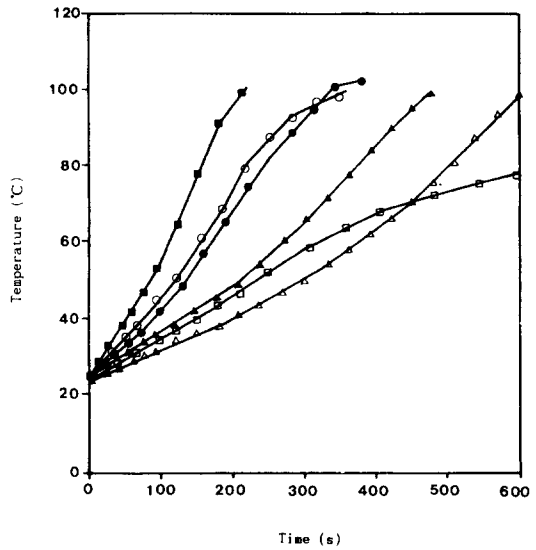


Fig. 7. Ohmic heating profile of Kochujang with frequency change (20 V, square wave, sample: 40 g, 25(H)×65(W)×20(D) (mm³))

△; 40 Hz, ▲; 1 KHz, ■; 5 KHz, ○; 10 KHz, ●; 20 KHz, □; Boiling

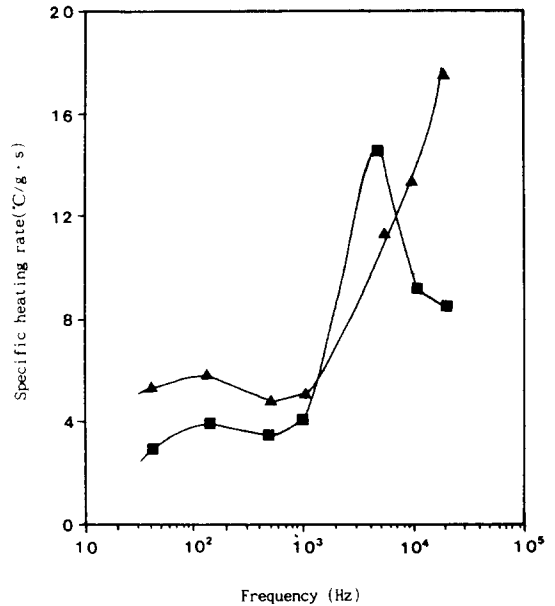


Fig. 8. Effect of frequency on specific heating rate during Ohmic heating of Kochujang and fermented soybean paste (square wave, sample: 40 g, 25(H)×65(W)×20(D) (mm³))

▲; Fermented soybean paste (12 V), ■; Kochujang (20 V)

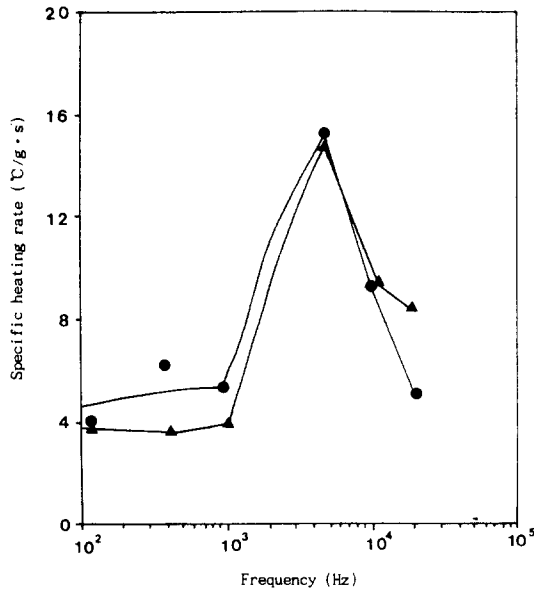


Fig. 9. Comparison of specific heating rate with different wave form during Ohmic heating of Kochujang (20 V, sample: 40 g, electrode distance: 20 mm)
 ●; Sine wave, ▲; Square wave

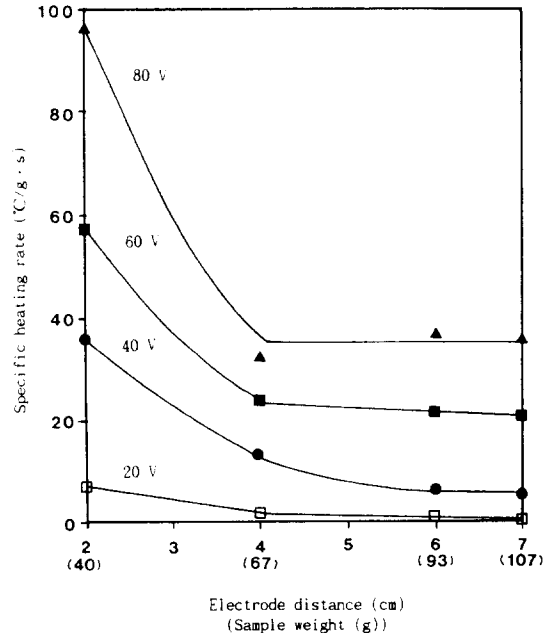


Fig. 10. Changes in specific heating rate with electrode distance during Ohmic heating of Kochujang at various voltage (60 Hz, sine wave, electrode area: 16.25 cm²)

L은 inductance, C는 capacitance, f는 주파수이다.

된장의 경우 12 V, 고추장의 경우 20 V로 전압을 일정하게 고정시키고 주파수를 변화시키면서 Ohmic heating 했을 때 온도변화를 각각 Fig. 6 및 Fig. 7에 나타내었다. 또한 가열 곡선의 초기 기울기로부터 구한 비가열 속도와 주파수의 상관성을 Fig. 8에 나타내었다. 고추장의 경우 주파수 1 KHz 이상부터 가열 속도가 급격히 증가하여 5 KHz에서는 1 KHz 이하에서 가열속도의 약 4배까지 증가하여 최대가 되었으며, 그 이상의 주파수에서는 감소하였다. 된장의 경우에도 1 KHz부터 급격히 증가하였으며, 20 KHz까지 계속 증가하였다. 실험 장치의 제약으로 20 KHz 이상의 주파수를 검토하지 못하였다.

이상에서 살펴본 것과 같이 고추장의 전기전도도가 된장에 비하여 작음에도 불구하고 주파수를 적절히 조절함으로써 5 KHz에서는 된장의 경우보다 높은 발열량을 얻을 수 있었다. 이와같은 점으로 미루어 볼때 전기전도도가 낮은 식품도 주파수를 적절히 조절함으로써 효율적으로 가열할 수 있다⁽¹³⁾. 감자와 같이 조직을 가지고 있는 경우는 10 KHz 근방에서, 조직이 없는 비지, 감자박, 소세지 등은 대체적으로 5 KHz 근방에서 가장 많은 발열량을 발생시킨다고 조 등은 보고⁽¹⁴⁾한 바 있다. 이와 같은 결과로 볼때 식품의 가열속도의 주파수의존성은 식품 고유의 특성이라 할 수 있으며, 그 식품에 적합한 특정 주파수와 전압의 선택을 통해 종래 불가능한 가열 조건의 설정과 선택적 가열도 가능할 것으로 생

각된다.

한편 파형의 영향을 살펴본 실험에서는 Fig. 9에서와 같이 500 Hz, 1 KHz의 주파수 범위에서만 sine파 사용시 비가열 속도가 구형파(square wave)에 비하여 1.5~2배 증가하였고, 120 Hz, 5~20 KHz의 영역에서는 거의 비슷한 값을 보였다.

전극 간격 및 시료량의 영향

최적 가열 조건의 설정을 위해서는 전극 간격, 시료량 등과 같은 물리적 요소와 전압, 전하밀도 등의 전기적 요소와의 상관성이 정립되어야 하므로 고추장에서 전압의 증가에 따른 전극 간격과 가열속도와의 관계를 살펴보았다. 5분 동안 Ohmic heating했을 때 비가열 속도를 구하여 Fig. 10에 나타내었다. 전극 간격 2 cm, 전압 60 V~80 V일 때 가열속도는 57~96(°C/g·s)으로서 아주 빠르지만 전극부위에서 지나친 급격한 온도상승에 따른 시료의 수분감소로 케이크화가 일어나 전류의 흐름이 방해받아 70°C 이상으로 가열되지 않았다. 그러나 전극 간격 2 cm, 전압 40 V일 때는 비가열속도는 35°C/g·s로 균일하게 온도가 상승되어 5분 동안에 90°C 이상 가열되었다. 이와같은 결과로 미루어 볼때 시료와 Ohmic heating system에 따라 적절한 비가열 속도를 설정하는 것이 중요하며, 연속 가열시스템에 대해서 더욱 연구되어야 할 것으로 생각된다.

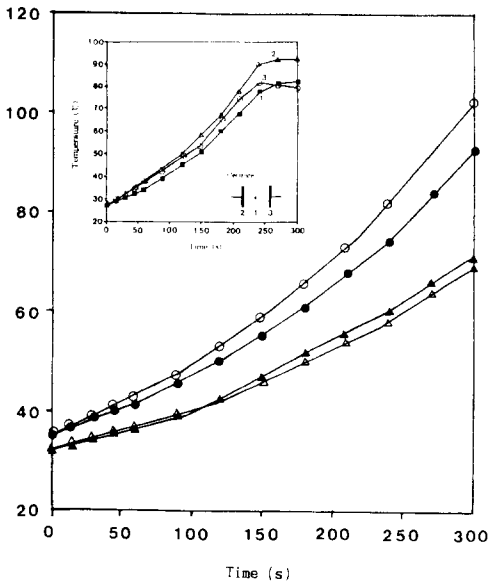


Fig. 11. Temperature profile of center and surface of *Kochujang* during Ohmic heating (50 V, sample: 100 g, electrode distance: 75 mm) 60 Hz, Sine wave: Δ , \blacktriangle , 5 KHz, Square wave: \circ , \bullet (Δ , \circ ; Surface, \blacktriangle , \bullet ; Center)

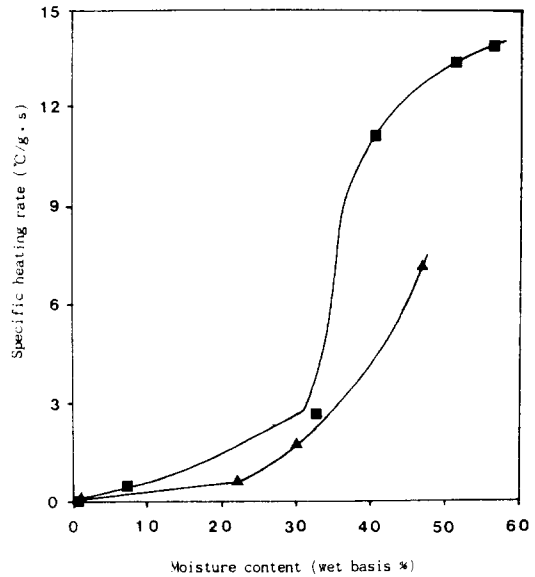


Fig. 12. Effect of moisture content on specific heating rate of *Kochujang* and fermented soybean paste during Ohmic heating (60 Hz, sine wave, sample: 40 g) \blacksquare ; Fermented soybean paste (12 V), \blacktriangle ; *Kochujang* (20 V)

온도 분포와 수분 함량의 영향

Ohmic heating할 때 위치에 따른 온도 분포를 알아보기 위해 전극간격 75 mm일 때 시료 중심 온도와 표면의 온도 변화를 측정하여 Fig. 11에 나타내었다. 60 Hz 상용 주파수 영역에서는 중심온도가 약간 높았으나 거의 균일한 온도 상승을 보였다. 그러나 5 KHz의 높은 주파수에서는 표피 부분이 중심보다 전하 밀도가 증가하는 skin effect^(7,15)가 일어나 가열시간에 따라 표면온도와 중심온도 사이에 온도차가 증가하였으며 최대 약 10°C 내외의 온도차가 생겼다.

한편 고추장 100 g을 시료로 하여 상용교류 60 V, 전극 간격 65 mm의 조건에서 Ohmic heating할 때 전극부위와 중심에서의 온도 분포를 살펴본 결과(Fig. 11) 양쪽 전극부위에서만 5~10°C 정도 높았고 전체적으로 고른 온도 상승을 보였다. 이는 전극의 저항이 식품에 비해 매우 낮으므로 전극과 시료의 접촉면에서 전하밀도가 다른 지점에 비해 높아져 발열량이 많아지기 때문으로 생각된다.

고추장과 된장에서는 NaCl 등의 전해질과 단백질, 아미노산, 탄수화물 등의 극성 분자가 수용액 상태로 존재하므로 수분 함량은 전류 흐름에 큰 영향을 미쳐 발열량을 좌우한다. 시료의 수분함량이 비가열 속도에 미치는 영향을 Fig. 12에서 살펴보면 수분 함량이 습량기준 30% 이하에서는 전류가 거의 흐르지 않아 Ohmic heating의 적용이 불가능하였으며, 30% 이상에서는 수

분함량이 증가함에 따라 가열속도가 급격히 증가하였다.

요 약

점성이 높고 열전도도가 낮아 기존의 열전도 가열방식으로는 효과적인 살균이 어려운 고추장, 된장 등의 페이스트상 식품의 효율적인 살균 공정을 개발하기 위한 기초 연구로서 전기 저항열(Ohmic heating)을 이용한 실험실 규모의 정치 회분식 가열 시스템을 고안하고 전기적 요소가 가열 특성에 미치는 영향을 연구 검토하여 다음의 결론을 얻었다.

1. 고추장과 된장의 상온에서의 전기 전도도는 각각 1.865 S/m, 2.510 S/m였으며, Ohmic heating에 의하여 온도가 증가함에 따라 전기전도도가 거의 비례적으로 증가하는 전기적 특성을 나타내었다.
2. 상용 주파수(60 Hz)에서는 전압을 증가시킬 수록 비가열 속도(°C/g·s)가 거의 비례적으로 증가하였다. 일정한 전압에서 주파수를 증가시켰을 때 1 KHz 이상에서부터 주파수의 증가에 따라 비가열 속도는 급격히 증가하여 고추장의 경우에는 5 KHz에서 최고 가열속도를 나타내었으며 그 이상의 주파수에서는 감소하였으나 된장의 경우에는 계속 증가하여 실험범위의 최고값인 20 KHz에서 최대 가열속도를 나타내었다.
3. 고추장의 경우 전압, 전극 간격 및 시료량과 비가열 속도의 관계를 검토한 결과 비가열 속도 35°C/g·s 이하

일때 균일하게 가열이 이루어졌으며, 그 이상의 가열 속도에서는 전극 부근에서 cake 생성 현상이 일어나 효과적으로 가열되지 않았다.

4. Ohmic heating 동안에 시료의 위치에 따른 온도 분포를 관찰한 결과 낮은 주파수 범위에서는 시료의 표면과 중간 부위의 온도차가 거의 없이 균일하게 급속히 가열되었다. 그러나 5 KHz 이상의 높은 주파수 영역에서는 표피 효과로 인하여 시료의 중심과 표면사이에 10℃ 내외의 온도차가 생겼으며, 전극 부근의 온도가 중심부근 보다 5~10℃ 높았으므로 적절한 주파수의 선정이 중요하였다.

5. 고추장과 된장의 수분함량이 습량 기준으로 30% 이하일 때는 전류가 흐르지 않아 Ohmic heating의 적용이 불가능 하였으나, 30% 이상에서는 수분함량의 증가에 따라 가열속도는 급속히 증가하였다.

문 헌

1. 高野光男, 横山理雄: 新殺菌 工学 實用 Hand Book. Science Forum(Japan), p.307(1991)
2. De Alwis, A.A.P. and Fryer, P.J.: The use of direct resistance heating in the food industry. *J. Food Engineering*, 11, 3(1990)
3. Sudhir, K.S. and Sevugan, P.: Ohmic heating of liquid-particles mixtures. *J. Food Technol.*, 12, 64(1992)
4. David, L.P.: Use of ohmic heating for aseptic processing of food particulates. *J. Food Technol.*, 12, 68(1992)
5. 柴 眞: 食品加工におけるジュール熱の利用. *ジャパンプドサイエンス*, 7, 29(1989)
6. 柴 眞: 加熱技術の新開発. *食品加工技術*, 10(1), 71 (1990)
7. ログフ, イ.ア.: 食品の電気, 物理的 加工. *農業生産*, p.4 (1988)
8. 이서래: 韓國의 醱酵食品. 이화여자대학교 출판부, p.101 (1986)
9. 편집부: 마이컴 제측제어 활용법. 도서 출판 세운, p.3 (1988)
10. Halden, K., De Alwis, A.A.P., Fryer, P.J.: Changes in electrical conductivity during ohmic heating of foods. *Int. J. Food Sci. & Technol.*, 25, 9(1990)
11. De Alwis, A.A.P., Halden, K. and Fryer, P.J.: Shape and conductivity effect in the ohmic heating of foods. *Chemical Engineering Research and Design*, 67, 159 (1989)
12. Polk, C. and Postow, E.: *CRC Handbook of Biological Effect of Electromagnetic Fields*. CRC Press, p.27(1986)
13. 今井哲哉: 新しい加熱加工技術-通電加熱の食品加工への應用 (Application of ohmic heating to food processing). *食品と開発*, 28(8), 12(1989)
14. 조원일, 김도연, 변유량: 저주파 교류가열 특성에 관한 연구. 93년 춘계 한국식품과학회 논문 발표회 초록집, p.32(1993)
15. 李德出: 電熱工学. 東逸出版社, p.10(1983)

(1994년 10월 10일 접수)