

## 연속 옴가열 장치를 이용한 고추장 소스의 살균

최준봉 · 조원일<sup>1</sup> · 정정윤<sup>2</sup> · 정명수<sup>2,\*</sup>

수원대학교 호텔관광대학원, <sup>1</sup>씨제이제일제당(주) 식품연구소,  
<sup>2</sup>이화여자대학교 식품공학과

## Sterilization of *Gochujang* Sauce with Continuous Ohmic Heating

Jun-Bong Choi, Won-Il Cho<sup>1</sup>, Jung-Yoon Jung<sup>2</sup>, and Myong-Soo Chung<sup>2,\*</sup>

Graduate School of Hotel & Tourism, The University of Suwon

<sup>1</sup>CJ Foods R&D, CJ Cheiljedang Corporation

<sup>2</sup>Department of Food Science and Engineering, Ewha Womans University

**Abstract** In this study, five different *Gochujang* (a traditional Korean sauce prepared using fermented red pepper paste) sauces were heated at 100°C for 5 min using a continuous ohmic heating system. Ohmic heating yielded greater reduction in microbial counts (90-95% reduction) than did conventional heating (65-75% reduction). The sterilization effect of the continuous ohmic heater increased with increasing sample flow rate and decreasing Reynolds number inside the pipe. Low-viscosity samples had higher electrical conductivity and were better suited for ohmic heating than were high-viscosity samples. The color and texture were also satisfactorily maintained after ohmic heating. Compared with conventional heating, ohmic heating provided rapid and uniform heating, which is more suitable for aseptic thermal processing of viscous foods.

**Keywords:** continuous ohmic heating system, *gochujang* sauce, sterilization, viscous food, Reynolds number

### 서 론

고추장은 찹쌀, 쌀, 밀가루 등의 녹말질과 콩, 물엿, 고춧가루, 소금 등을 재료로 하여 종국을 가해 숙성시킨 한국의 대표적인 전통 발효식품으로 다양한 한식풍 가공식품에 빈번하게 이용되는 조미식품이다. 고추장에는 일반적으로  $10^7$ - $10^8$  CFU/g의 미생물이 존재하는 것으로 알려져 있으며(1), 시중에 유통되고 있는 시판 고추장의 경우 75-85°C에서 10-30분간 살균하거나 소량의 알코올을 첨가하여 제조하는 것으로 알려져 있다.

고추장은 유통 중에 미생물에 의한 과도한 발효와 미생물 유래 효소에 의한 성분의 분해 및 변질로 인하여 가스 발생, 변색 등의 품질 저하가 일어난다. 본 연구의 대상 제품인 고추장을 주 원료로 사용하는 다양한 소스에서도 고추장 및 채소, 양념, 추출물 등으로부터 기인하는 미생물과 풍부한 영양성분, 수분활성도, pH 등의 내부환경 변화에 의한 영향으로 미생물 안전성이 크게 저하되는 문제가 발생하게 된다.

고추장과 같은 페이스트 상태의 식품은 열전도도가 낮기 때문에 효과적인 가열살균이 어려우며, 가열 도중 중심부까지 열 전달이 되기 위해서는 장시간의 가열이 필요하다. 이에 따라 외부는 과도하게 가열되어 영양성분의 파괴, 탄내의 발생, 퇴

색, 조직의 손상 등 품질저하가 일어나게 된다(2). 따라서, 고추장의 저장기간을 향상시키기 위하여 숙성이 완료된 고추장에 마늘이나 알코올, 키토산, 소브산포타슘(k-sorbate), 겨자, 천연 항균제를 첨가하거나, 저온살균, 레토르트, 옴가열(ohmic heating) 등 다양한 가열 살균연구 및 감마선 조사, 전자파 조사, 광필스, 초고압, 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 처리, 양이온 고분자 물질의 첨가, 항균성 효소의 이용 등의 비가열 살균에 대한 연구가 수행되었다(2-5).

고추장 및 이를 사용한 소스와 같이 고점도의 페이스트상 또는 액상 식품의 가열에 있어서는 옴가열이 효과적이라는 구체적인 연구사례가 있다(2). 옴가열이란 식품에 전류를 통과시키는 도중 식품자체가 지니고 있는 전기적 저항성에 의해 전기적 에너지가 열에너지로 전환되며 발생하는 저항열을 이용하여 식품을 가열하는 방법이다(6). 옴가열에서는 투과 깊이에 제한이 없으며 식품 내부에 온도구배가 생기지 않고 균일하게 가열되며, 액체와 고체가 동시에 가열되고 가열면과 접촉하지 않기 때문에 기계적 교반이나 혼합 등이 전혀 필요 없는 등 여러 가지 장점을 가지고 있다(2,6,7). 옴가열을 이용한 미생물 불활성화 메커니즘은 일반 가열살균 메커니즘과 마찬가지로 주로 가열에 의한 불활성화(8)에 기인한 것이며, 전류에 의한 미생물 세포의 전기천공(electroporation)도 일부 관여하는 것으로 보고되고 있다(9).

본 연구에서는 모델식품으로 고추장 소스를 제조하여 단시간에 많은 양을 처리할 수 있는 연속식 옴가열 장치를 고안, 제작하여 가열 살균 연구를 진행하였다. 또한 제조된 모델식품을 옴가열 처리하였을 때의 가열 특성, 전기전도도 변화, 살균 효과를 고찰하는 것을 주 목적으로 하여 재래가열 방법과 옴가열 처리한 모델식품의 가열 특성을 비교하였으며, 가공공정에 적용 가능한 최적 조건을 위한 기초연구를 수행하였다.

\*Corresponding author: Myong-Soo Chung, Department of Food Science and Engineering, Ewha Womans University, Seoul 03760, Korea

Tel: +82-2-3277-4508

Fax: +82-2-3277-4508

E-mail: mschung@ewha.ac.kr

Received May 29, 2015; revised July 22, 2015;

accepted July 26, 2015

**Table 1. Formulation of Gochujang sauces with different viscosity**

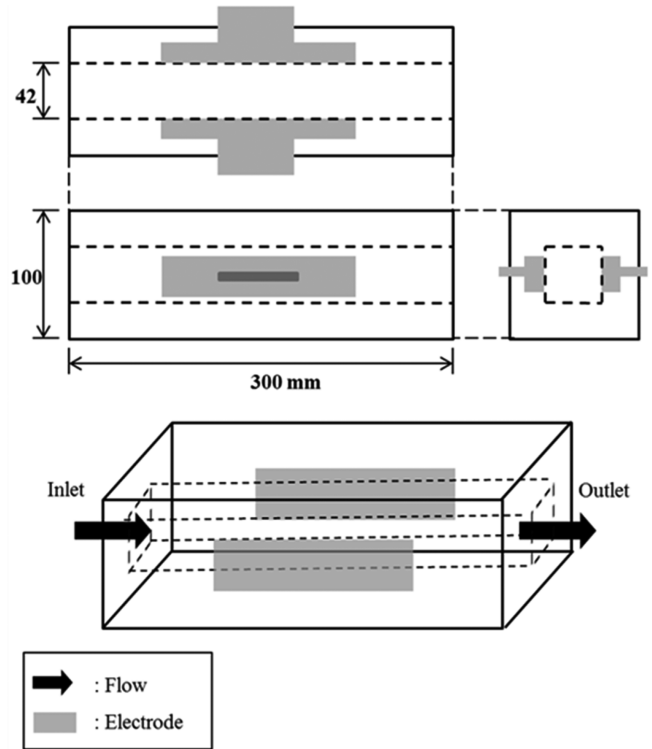
Raw Materials	Mixing ratio (%)				
	B1	B2	B3	B4	B5
Red pepper powder	6.6	7.9	9.24	10.5	11.8
Wheat powder	8	9.6	11.2	12.8	14.4
Corn syrup	2.4	2.8	3.36	3.8	4.3
Chopped garlic	3	3.6	4.2	4.8	5.4
NaCl	5.1	5.2	5.2	5.2	5.3
Sucrose	12	12	12	12	12
Water	62.8	58.8	54.7	50.8	46.7
Xanthan gum	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Total	100	100	100	100	100

\*Viscosity: B1<B2<B3<B4<B5

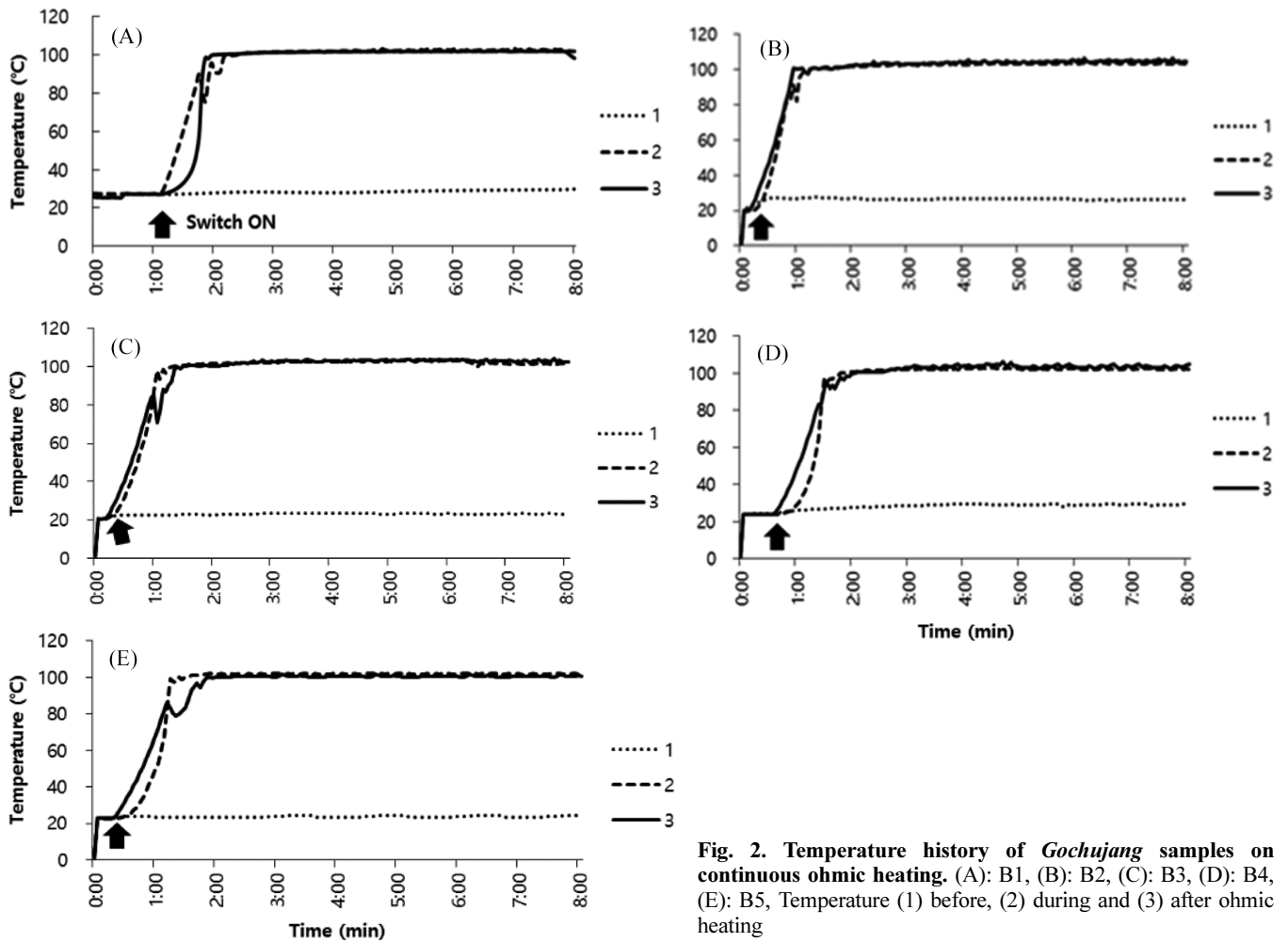
### 재료 및 방법

#### 실험 재료

시판 중인 고추장 베이스 소스의 특성과 자체 제작한 옴가열 장치의 펌프(pump) 특성을 고려하여 모델 식품을 선정, 제조하였다. 시판 소스의 배합비와 점성도를 기준으로 하여 더 높은 점도의 모델식품 4가지를 추가로 설계하여 총 5가지의 시료를 제작하였고 점도가 낮은 시료부터 B1, B2, B3, B4, B5로 명명하였다(Table 1).



**Fig. 1. Cell dimension in the continuous ohmic heating system.**



**Fig. 2. Temperature history of Gochujang samples on continuous ohmic heating. (A): B1, (B): B2, (C): B3, (D): B4, (E): B5, Temperature (1) before, (2) during and (3) after ohmic heating**

### 옴가열 장치

본 연구에 사용된 연속식 옴가열 장치는 동력공급기(power supply), 전압제너레이터(voltage generator), 셀(cell heater), 데이터로거(data logger), 컴퓨터(computer)로 이루어져 있다. 동력공급기의 출력은 전압제너레이터(DLC-10K300, Daelinec Co., Paju, Gyeonggi-Do, Korea)를 통하여 옴가열 셀에 공급하도록 설계하였다. 60 Hz의 상용전류를 이용하여 전극이 장착된 셀 내부로 시료가 이동하며 전류에 의해 가열이 이루어지도록 제작하였으며, 셀에 가해지는 전압, 전류, 온도 데이터는 데이터로거(Hydra 2625A, Fluke Co., Everett, WA, USA)로 수집하였다.

컨테이너에 담긴 시료는 모노펌프(mohno pump) (KRH 20-1, Kraft Precision Industry Co., Seoul, Korea)에 의해 셀 내부로 운반되고, 45°C로 기울어진 셀을 통과하면서 가열이 진행되어 가열이 완료된 시료가 다른 컨테이너에 모이게 된다. 시료의 진행방향과 가열의 효율성을 고려하여 셀은 45°로 기울여 설치하였으며, 자체 제작한 셀의 재질은 내연성, 절연성이 우수한 polytetrafluoroethylene (PTFE, Teflon)를 사용하였다. 셀의 모양은 100×100×300 mm의 직육면체이며, 가운데 42×42×300 mm의 구멍으로 시료가 통과하도록 하였다. 셀에 장착되는 전극의 재질은 전기전도성이 우수하고 산/염기에 강한 탄소전극을 사용하였다. 전극은 30×150×10 mm의 막대기 모양이며 셀의 양 옆면에서 탈부착이 가능하도록 설계하였으며 전극이 장착된 부분에서 가열과 살균이 이루어지도록 하였다(Fig. 1).

### 재래가열 및 옴가열 처리

재래가열 방법은 600 mL 비이커에 시료 500 mL 를 담아 잘 밀봉한 뒤에 물중탕(water bath) 속에 넣어 시료의 중심부 온도가 85°C에 도달하면 30분 간 온도를 유지시키며 가열하였다. 실제 온도와 오차를 고려하여 물중탕의 설정온도를 90±3°C로 유지하였다.

옴가열 장치를 이용하여 각 시료의 분당 처리량을 구하였다. 펌프의 회전 속도는 계기판 상에서 0-60 (dimensionless)까지 조절이 가능하며 설정 속도 20, 30, 40, 50, 60에서의 처리량을 구하였다. 5가지 설정 속도에서 처리량을 3회 반복 측정하여 평균값을 구하였다. 이 때 전류는 통과시키지 않았으며, 시료의 온도는 25±2°C이었다. 이 처리량을 바탕으로 시료의 이동속도와 전극과의 접촉시간을 계산하였다. 5가지 설정속도에서의 접촉시간을 구한 뒤 x축은 설정속도, y축은 전극과의 접촉시간으로 하여 설정속도에 따른 접촉시간을 추세선을 이용하여 구하였다.

예비실험을 통하여 옴가열 처리 시 스케일(scale)이 생성되지 않는 조건을 50 V의 전압 하에서 살균온도 100°C, 살균시간을 5분으로 설정하였다. 또한 전극과의 접촉시간, 시료의 온도 상승 경향을 조사하여 시료와 전극과의 접촉시간은 총 10분으로 설정하였다.

### 온도프로파일(Temperature profile) 측정

각각의 모델 식품을 50 V(전압 기울기 1190 V/m), 100°C에서 5분간 가열하는 동일한 조건에서 처리하였고, 시간에 따른 온도 변화를 관찰하였다. 60 Hz의 상용전류를 이용하였고, 100°C에서 5분간 가열이 이루어지도록 설정속도를 조절하였다. 모델식품의 가열이 진행되는 셀에 3개의 구멍을 내어 열전기쌍(thermocouple, T-type)의 끝부분이 시료의 중심부에 위치하도록 고정시킨 뒤 데이터로거를 이용하여 3초 간격으로 온도를 측정하였다. 열전기쌍은 전극의 양 끝과 중간부분에 위치하도록 함으로써 처리 전, 가열이 진행되는 중간구간, 처리 후의 온도를 측정할 수 있도록 하였다.

**Table 2. Changes in the moisture and NaCl contents of Gochujang samples by continuous ohmic heating (Raw: non-treatment, CH: conventional heating, OH: ohmic heating)**

#### (A) Moisture contents

	Treatment	B1	B2	B3	B4	B5
Moisture contents (%)	Raw	69.3	65.3	62.6	61.0	58.7
	CH	69.2	64.5	61.4	60.4	57.9
	OH	69.0	63.6	60.5	60.0	57.3
Moisture loss (%)	CH	0.1	1.3	1.9	1.0	1.4
	OH	0.4	2.7	3.4	1.6	2.4

#### (B) NaCl contents

	Sample	NaCl (%)
B1	Raw	5.36
	CH	5.45
	OH	5.61
B2	Raw	5.10
	CH	5.28
	OH	5.48
B3	Raw	5.12
	CH	5.17
	OH	5.49
B4	Raw	5.13
	CH	5.40
	OH	5.42
B5	Raw	5.06
	CH	5.37
	OH	5.59

### 전기전도도, 수분 측정 및 염화나트륨(NaCl) 정량

자체 제작한 전기전도도 측정기로 옴가열의 원리를 이용하여 각 시료의 전기전도도를 구하였다. 본 실험에서는 가열 도중의 전기전도도 값을 명확히 하기 위하여 온도별 전기전도도를 계산하였다.

수분은 적외선 수분측정기(FD-610, Kett Electronic Lab., Tokyo, Japan)를 이용하여 처리 전, 재래가열 처리 후, 옴가열 처리 후의 시료 15 g을 105°C로 가열하여 수분함량을 3회 반복 측정된 뒤 평균값을 이용하였다. 그리고 전기 전도도에 영향을 미치는 염화소듐의 함량은 시료 10 g을 사용하여 모드(Mohr)법에 의한 질산은(AgNO<sub>3</sub>) 적정법으로 분석하였다.

### 생균수 측정

각각의 시료는 10 g씩 무균적으로 취하여 멸균인산완충액으로 단계적으로 희석한 뒤 Plate Count Agar (PCA, Difco Co., Detroit, MI, USA) 배지에 붓기배양법(pouring culture method)으로 접종하였다. 35±1°C에서 24시간 배양한 후 각 평판(plate)에서 30-300개의 콜로니(colony)가 보이는 것을 계수하였고, 동일한 방법으로 계수실험을 3회 반복하여 평균치를 CFU/g으로 표시하였다.

### 통계처리

3회 반복 실험한 데이터에 대한 통계처리는 통계패키지 SAS (Statistical Analysis System Ver. 9.0, SAS Institute, Cary, NC, USA)로 분산분석(Analysis of variance)을 실시하였으며, 시료간의 유의적 차이 검증을 위하여 던칸시험(Duncan's multiple range test)을 이용하였다( $p < 0.05$ ).

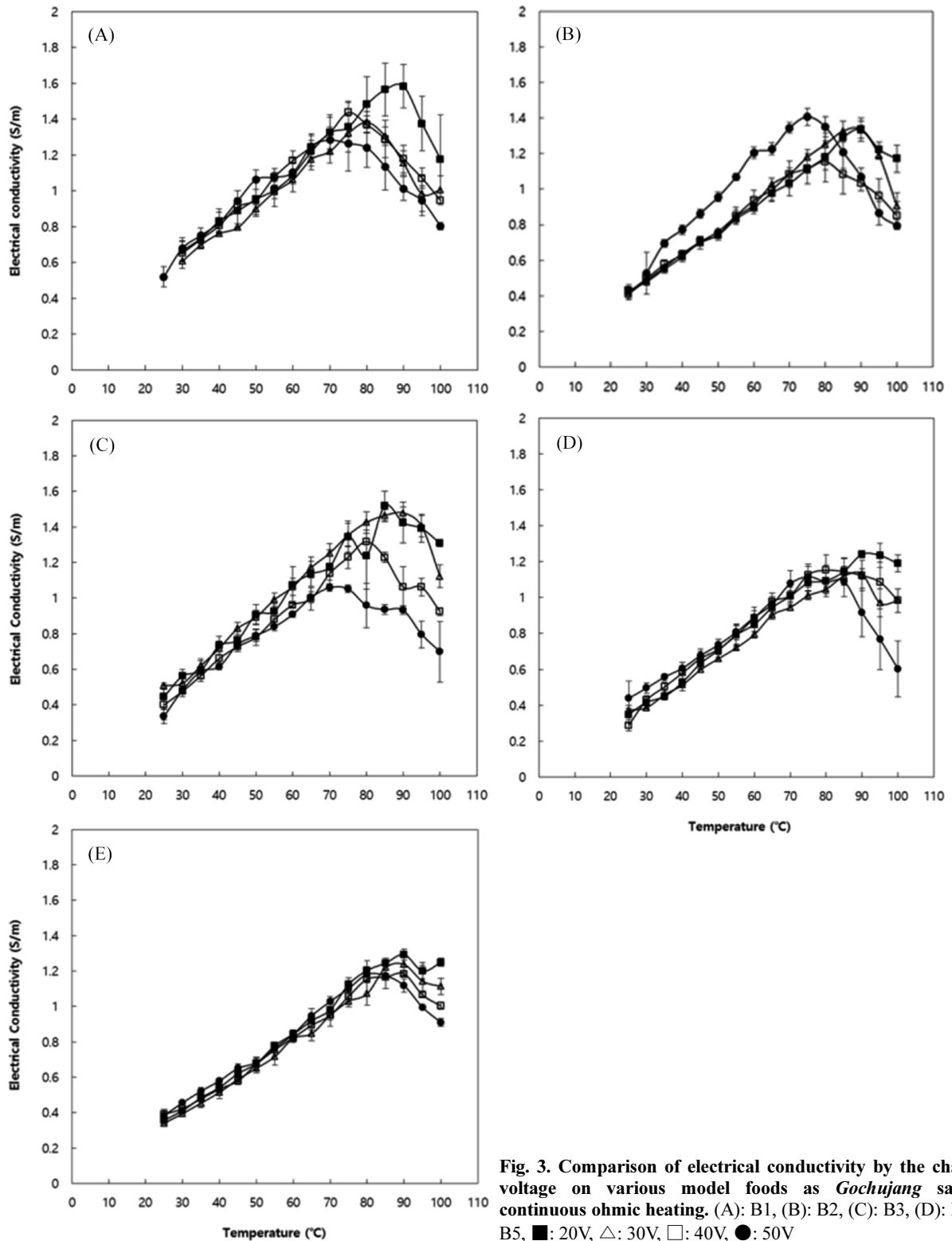


Fig. 3. Comparison of electrical conductivity by the change of voltage on various model foods as *Gochujang* sauce in continuous ohmic heating. (A): B1, (B): B2, (C): B3, (D): B4, (E): B5, ■: 20V, △: 30V, □: 40V, ●: 50V

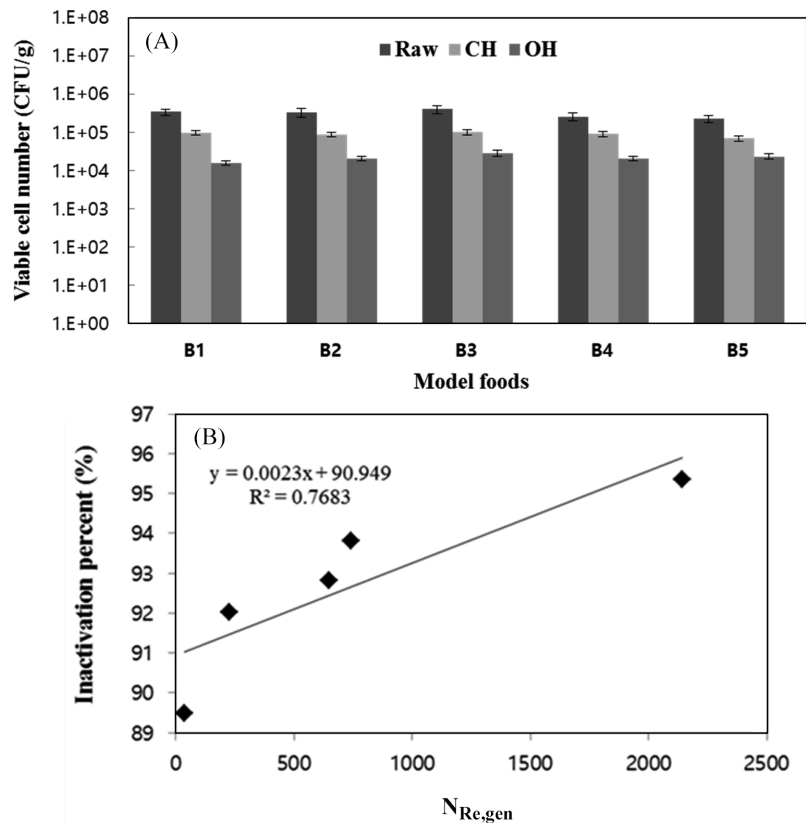
## 결과 및 고찰

### 음가열 특성

시간에 따른 온도 변화는 Fig. 2에 나타내었는데, 각각의 번호는 1: 가열 전, 2: 가열 중간구간, 3: 가열 후 온도를 나타낸다. Fig. 2를 살펴보면, 모든 시료는 25°C에서 100°C까지 온도가 상승하는 데에 약 1분의 시간이 소요되었다. 각 시료의 가열 속도

는 B1부터 1.16, 1.14, 1.07, 0.89, 0.75°C/sec로, 점도가 높을수록 가열속도가 느렸다. 또한 2분 지점에서 시료의 온도가 100°C까지 상승되었기 때문에 실질적인 살균은 2분과 3분 지점 사이에서 이루어지는 것으로 보였다.

본 실험을 통하여 5개의 모델 식품 모두 전극 표면에 결착 물질이 생성되지 않고 가열이 진행되었으며, 음가열 온도는 100°C로 균일하게 유지되었다는 것을 알 수 있었다.



**Fig. 4. Inactivation of microorganism (A) and effect of flow rate on microbial inactivation (B) during continuous ohmic heating.** Raw, no treatment; CH, conventional heating; OH, ohmic heating

#### 수분 및 염화소듐 변화

각 시료의 수분함량과 감소량은 Table 2(A)에 나타내었다. 처리 전 시료의 수분함량은 69-57%으로, 점도가 낮아수록 수분함량이 높았는데, 점도별 수분함량의 차이는 원재료의 배합 비율이 다른 데에 기인한 것으로 보여진다. 가열 처리 후 수분함량은 처리 전 수분함량 대비 0.1-3.4%가 감소하였으며, 재래가열 방식보다 옴가열 처리를 한 시료의 수분 감소량이 더 많았다.

처리 전, 후 염화소듐의 함량은 Table 2(B)에 나타내었다. 시료의 염화소듐 배합비는 5%의 염도를 기준으로 설계하였고 표준 오차는 0.05로 매우 미미한 수준이었다. 가열 처리 후 염화소듐 함량은 처리 전 시료 대비 1.03-9.48% 증가하였는데 이는 수분함량의 감소와 관련이 있는 것으로 보여진다. 옴가열에 있어 염화소듐 함량은 전기전도도와 밀접한 관련이 있기 때문에 미세한 차이로 할지라도 열전달 속도에 영향을 미칠 수 있으므로 향후 이에 대한 세부적 연구가 필요할 것으로 사료된다(10,11).

#### 전기전도도

처리 전 시료를 전압별로 처리하여 전기전도도 값을 측정하였으며, 결과는 Fig. 3과 같다. 모든 시료의 전기전도도 값은 온도와 정비례하여 증가하였으나, 80°C 이상의 온도에서는 감소하는 경향을 보였다. 80°C 이하에서는 전압에 따른 전기전도도 차이는 유의적이지 않았으며( $p < 0.05$ ), 80°C 이상에서는 전압이 높을수록 전기전도도 값이 작은 것으로 나타났다. 또한 시료의 점도가 전기전도도에 미치는 영향을 살펴본 결과 시료의 점도가 높을수록 전도도가 낮아지는 경향을 보였다(12).

#### 살균 효과

처리 전, 후의 생균수 변화는 Fig. 4(A)에 나타내었다. 재래가열의 경우 B1부터 차례대로 71, 74, 75, 65, 69%, 옴가열 처리한 경우 B1부터 차례대로 95, 94, 93, 92, 90%의 살균 효과를 보여 살균력이 더 높았으며, 색상과 물성 등의 관능품질도 기존 가열 방식 보다 더 우수하였다. 또한 가열 방법에 관계 없이 점도가 높아질수록 살균력이 낮아지는 경향을 보였는데 이는 점도에 따라 가열 살균 시 요구되는 온도와 시간이 다르다는 것을 의미한다.

유체 흐름의 상태와 형태를 결정할 수 있는 관성력과 점성력의 비를 나타내는 레이놀즈수(Reynolds number)에 따른 생균수 감소 경향을 알아보았다. 레이놀즈수를 x축, 불활성화 퍼센트(inactivation percent)를 y축으로 하여 추세선으로 나타내었다(Fig. 4(B)). 추세선의 식은  $y = 0.002x + 90.94$  ( $R^2 = 0.768$ ), B1을 제외한 나머지 시료들의 추세선의 식은  $y = 0.005x + 89.94$  ( $R^2 = 0.860$ )로 레이놀즈 수가 클수록 살균도가 높은 것으로 나타났다. 그리고 관내부에서 시료의 흐름이 불안정적일수록, 점도가 낮은 시료일수록 살균도가 더 높게 나타났다.

#### 요 약

연속식 옴가열 장치를 이용한 고추장을 베이스로 한 모델 식품에 대한 가열 살균 연구를 진행하여, 옴가열을 이용한 소스 살균에 필요한 기초 데이터를 수집하였다. 옴가열 시 점도에 상관 없이 100°C까지 고르게 상승하였으나, 점도가 높을수록 전기전도도와 가열속도가 낮아져 살균력이 감소하는 것으로 나타나, 저점

도 식품이 옴가열을 이용한 가열 및 살균에 있어 더 유용하다는 것을 알 수 있었다(13,14). 재래가열 후의 살균도는 65.4-75.4%, 옴가열 시는 89.5-95.0%로 살균력이 더 우수하였다. 향후 연속식 옴가열 장치의 살균효과를 더 높이기 위해서는 여러 개의 셀 연결 방식을 통해 한 개의 셀에서 온도를 조금씩 상승시켜 스케일 생성을 방지하는 연구와 셀 통과시 빠른 온도 상승에 의한 점도 변화로 살균 처리량이 변하기 때문에 최적 셀 조합 및 가열살균 조건에 대한 충분한 고찰이 필요할 것으로 생각된다.

## References

1. Kim MS, Kim IW, Oh JA, Shin DH. Quality changes of traditional *kochujang* prepared with different *meju* and red pepper during fermentation. *Korean J. Food Sci. Technol.* 30: 924-933 (1998)
2. Cho WI, Kim DU, Kim YS, Pyun YR. Ohmic heating characteristics of fermented soybean paste and *kochujang*. *Korean J. Food Sci. Technol.* 26: 791-798 (1994)
3. Kim DH, Kwon YM. Effect of storage conditions on the microbiological and physicochemical characteristics of traditional *kochujang*. *Korean J. Food Sci. Technol.* 33: 589-595 (2001)
4. Kim DH, Yook HS, Youn KC, Sohn CB, Byun MW. Changes of microbiological and general quality characteristics of gamma irradiated *kochujang* (fermented hot pepper paste). *Korean J. Food Sci. Technol.* 33: 72-77 (2001)
5. Lim SB, Jwa MK, Mok CK, Park YS. Quality changes in *kochujang* treated with high hydrostatic pressure. *Korean J. Food Sci. Technol.* 33: 444-450 (2001)
6. Sastry SK, Palaniappan S. Mathematical modeling and experimental studies on ohmic heating of liquid-particle mixtures in a static heater. *J Food Process Eng.* 15: 241-261 (1992)
7. Sarang S, Sastry SK, Knipe L. Electrical conductivity of fruits and meats during ohmic heating. *J. Food Eng.* 87: 351-356 (2008)
8. Cho HY, Yousef AE, Sastry SK. Kinetics of inactivation of *Bacillus subtilis* spores by continuous or intermittent ohmic and conventional heating. *Biotechnol. Bioeng.* 62: 368-372 (1999)
9. Yoon SW, Lee CYJ, Kim KM, Lee CH. Leakage of cellular materials from *Saccharomyces cerevisiae* by ohmic heating. *J. Microbiol. Biotechnol.* 12: 183-188 (2002)
10. Marcotte M, Trigui M, Ramaswamy S. Effect of salt and citric acid on electrical conductivities and ohmic heating of viscous liquids. *J. Food Process. Pres.* 24: 389-406 (2000)
11. Jun SJ, Sastry S. Modeling and optimization of ohmic heating of foods inside a flexible package. *J. Food Process Eng.* 28: 417-436 (2005)
12. Kim YC, Yoo BS. Rheological properties of traditional *kochujang*. *Korean J. Food Sci. Technol.* 32: 1313-1318 (2000)
13. Ayadi MA, Leuliet JC, Chopard F, Berthou M, Lebouche M. Continuous ohmic heating unit under whey protein fouling. *Innov. Food Sci. Emerg.* 5: 465-473 (2004)
14. Palaniappan S, Sastry SK. Electrical conductivities of selected solid foods during ohmic heating. *J. Food Process Eng.* 14: 221-236 (1991)