



## 염수 침지식 및 전극 접촉식 저전압 Ohmic 해동 처리가 돈육의 이화학적 특성에 미치는 효과

홍근표 · 민상기 · 고세희 · 심국보 · 서은주 · 최미정\*  
건국대학교 축산식품생물공학전공

### Effects of Brine Immersion and Electrode Contact Type Low Voltage Ohmic Thawing on the Physico-chemical Properties of Pork Meat

Geun-Pyo Hong, Sang-Gi Min, Se-Hee Ko, Kook-Bo Shim, Eun-Ju Seo, and Mi-Jung Choi\*  
Department of Food Science and Biotechnology of Animal Resources, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea

#### ABSTRACT

This study investigated the effect of ohmic thawing on the physicochemical properties of pork meat. The physicochemical properties of pork meat thawed by brine immersion and electrode contact ohmic systems were compared. A more rapid thawing rate was seen with the electrode contact thawing system than with brine immersion. No significant differences in pH were found with increasing voltage for both thawing methods ( $p>0.05$ ). Increasing the voltage level tended to decrease drip loss, resulting in increased water holding capacity. The shear forces of pork thawed at 50 V did not differ from the control ( $p>0.05$ ) for both thawing methods. Although significantly high TBARS ( $p<0.05$ ) values were found at 20 and 40 V for immersion, and 0 V for contact thawing, increasing the voltage level tended to decrease the TBARS values. Regarding TVBN, no significant effect was observed with increasing voltage levels ( $p>0.05$ ). The total color difference of pork was significantly higher ( $p<0.05$ ) with immersion thawing than with electrode contact thawing. These results indicate that brine immersion thawing is favorable at high voltage levels, while lower voltage levels are applicable for electrode contact thawing.

**Key words :** ohmic thawing, brine immersion, contact, physicochemical, pork

#### 서 론

식품의 동결은 식품의 품질을 장기간 유지하기 위한 가장 효과적인 방법이다. 일반적으로 동결식품의 품질은 동결 및 해동 공정과 밀접하게 관련되어 있다. 동결 속도와 동결 과정에서 형성되는 작은 얼음 결정체의 형성은 조직 손상을 최소화하기 위하여 매우 중요하다. 그러나 실제로 동결 식품의 품질은 해동 공정에 의하여 더 큰 영향을 받는 바, 이는 해동이 동결에 비하여 느리게 이루어지는데 얼음과 물의 열전도도와 열확산도의 차이에 기인한다. 따라서 해동공정은 결국 동결 식품의 이화학적 특성에 영향을 준다고 볼 수 있다. 또한 현저한 온도 상승 및 과도한 수분 손실을 피하기 위하여 가능한 낮은 온도에서 빠른

해동 처리가 이루어져야 한다(Li and Sun, 2002; Hong *et al.*, 2005).

동결육의 새로운 해동 기법으로써 초고압 해동(Ko *et al.*, 2006; Hong *et al.*, 2007), microwave 해동(Virtanen *et al.*, 1997) 및 ultrasonic 해동(Miles *et al.*, 1999) 등의 기술이 연구되었고, 일부는 식육 산업에서 성공적으로 응용되고 있다. 이러한 해동 기술은 대부분 가열 기술에 기반을 두고 있으며, 이러한 범주에서 ohmic 처리 또한 식품 내부에서 발생하는 저항열을 응용한 가열 방법으로서(Fu and Hsieh, 1999) 해동 영역으로 그 이용가능성이 새롭게 대두되고 있다.

현재 식품의 ohmic 가열 처리는 무균 공정이나 살균 공정에 효과적으로 적용되는 바, microwave 가열보다 에너지 손실이 적고, 투과율에 제약이 받지 않는 장점 외에도, 전통적인 해동 방법에 비하여 해동 시간이 단축되는 장점이 보고되고 있다(Li and Sun, 2002). Ohmic 가열을 해동 식품에 적용한 연구에 있어서, Fuchigami 등(1994)은 ohmic 해동이 동결 당근의 조직감 및 세포 손상도에 미치는 효과

\*Corresponding author : Mi-Jung Choi, Department of Food Science and Biotechnology of Animal Resources, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea. Tel: 82-2-450-3680, Fax: 82-2-455-1044, E-mail: choimj@konkuk.ac.kr

를 관찰한 결과 육즙, 세포 손상 및 조직 연화가 최소화된다고 하였다. Yun 등(1998)은 돈육을 ohmic 해동하였을 때, 주파수의 변화는 해동육의 품질에 영향을 미치지 않는 반면, 저전압 ohmic 해동 처리된 돈육에서는 해동감량이 감소하였고, 보수력이 향상된다고 하였다. Ohmic 해동 기술은 해동육의 품질을 향상시킬 수 있는 기술로 기대가 되는 반면, 현재 ohmic 해동에 대한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 실험은 전압의 증가에 따른 염수 침지식 및 전극 접촉식 ohmic 해동 처리가 돈육의 이화학적 특성에 미치는 효과를 규명하고자 실시되었다.

## 재료 및 방법

### 공시재료 및 동결처리

돈육 등심(*m. longissimus dorsi*)부위는 도살된 지 24시간이 경과한 반도체( $n=6$ )를 무작위로 선별하여 사용하였다. 구입한 육은 결체조직과 지방조직을 완전히 제거한 후, 직사각형 형태( $2 \times 4 \times 10$  cm)의 동일한 크기로 근섬유 방향과 평행하게 정형하였고, 각 시료의 중심부에는 k-type thermocouple을 설치하여 자체 제작된 ohmic cell에 시료를 넣어 중심온도가  $2^{\circ}\text{C}$ 에 도달하도록 예비 냉각한 후  $-50^{\circ}\text{C}$  심온 냉동고(NF-400SF, Nihon Freezer Co., Japan)에서 24시간 동결 처리하였다.

### 해동처리

Ohmic 해동은 자체 제작된 system을 이용하여 수행하였다(Fig. 1). Ohmic system은 ohmic cell, power supply(ACP-

1010, ACP Power Korea Co. Inc., Korea) 및 mobile corder(MV 104, Yokogawa Co., Japan)로 구성되었고, 해동 처리는 다음의 두 가지 방법으로 시행되었다. 염수 침지식 해동방식에서는  $0.9\%(\text{w/v})$  NaCl 용액 400 mL을 medium으로 이용하였고, 염수에 시료를 침지하여 해동을 수행하였다. 이때 전극간의 거리는 8 cm로 균일하게 하였다. 전극 접촉식 해동방식은 전극간의 거리를 2 cm로 하여 시료와 전극을 직접 접촉시켜 해동처리 하였다. 이때 전극은 copper 재질의 전극을 사용하였고, 각 시료의 중심부 온도는 thermocouple을 mobile corder(MV 104, Yokogawa Co., Japan)에 연결하여 측정하였다. 해동은 시료의 중심부 온도가  $1^{\circ}\text{C}$ 에 도달한 후 완료하였고, 해동속도는 최대 빙결정 형성대인  $-5$ 에서  $0^{\circ}\text{C}$ 에 도달한 시간으로 측정하였다. 전처리구는 60 Hz의 주파수에서 50 V까지 전압을 상승시키며 각 전압에 따른 변화를 관찰하였다.

### pH

시료 5 g에 증류수 20 mL를 혼합하여 균질기(SMT Process Homogenizer, SMT Co., Ltd., Japan)를 사용하여 10,000 rpm에서 2분간 균질한 후, pH meter(pH 900, Precisa Co., Switzerland)로 측정하였다.

### 해동 및 가열감량

해동감량은 시료의 동결 전 및 해동 후의 무게를 측정하여 백분율로 나타내었다. 이때, 대조구의 해동감량은 처리군과 동일한 시간을 냉장 저장하면서 발생한 육즙의 양으로서 나타내었다. 가열감량은 해동한 시료를  $75^{\circ}\text{C}$  항온

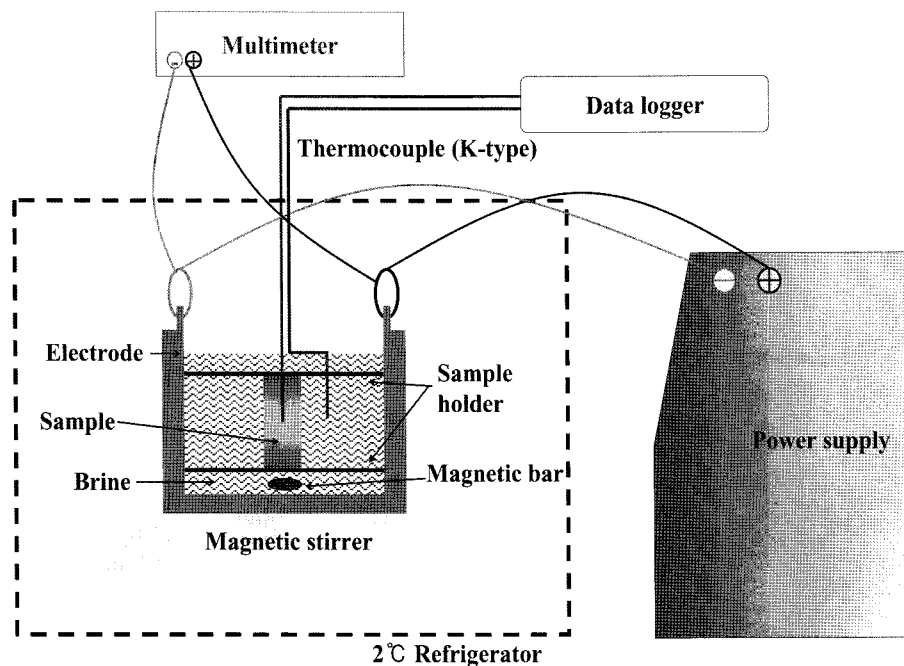


Fig. 1. Schematic diagrams of ohmic thawing apparatus for brine immersion system.

수조에서 30분 간 가열 처리한 후 30분 간 상온에서 방냉하여 감소된 무게를 백분율로서 나타내었다.

### 보수력

시료의 보수력은 Hong 등(2006)의 방법을 이용하여 측정하였다. 미리 건조시킨 거즈를 원심분리관에 넣은 후 여기에 약 1 g의 시료( $W_{meat}$ )를 넣어 4°C로 조절된 자동저온 원심분리기(RC-3, Sorvall Co., USA)를 이용하여 3,000 rpm에서 10분 간 원심분리 하였다. 원심분리 후, 시료를 원심분리관에서 제거하여 원심분리관의 건조 전 ( $W_{before}$ )과 후( $W_{after}$ )의 무게를 측정하여 다음의 공식으로 나타내었다.

$$\text{Water holding capacity (\%)} \\ = \{1 - [(W_{before} - W_{after})/W_{meat}]\} \times 100$$

### 전단력

시료를 1 cm의 두께로 근섬유 방향과 평행하게 절단하여 digital force gauge(DPS-20, Imada Co., Japan)를 이용하여 전단력을 측정하였으며, 이때의 cross head speed는 60 mm/min으로 하였다.

### 지질 산패도

시료의 지질 산패도는 Witte 등(1970)의 추출 방법을 이용한 2-thiobarbituric acid reactive substances(TBARS)를 측정함으로써 나타내었다. 시료 2 g에 0.15 mL butylated hydroxytoluen(BHT)과 9 mL perchloric acid를 혼합하여 17,000 rpm으로 2분 간 균질한 후 10 mL의 증류수를 첨가하여 Whatman No. 1 여과지로 여과하였다. 여액 1 mL에 1 mL의 TBA 시약(5 mM, in acetic acid)을 첨가하여 100°C에서 30분 간 가열한 후, 빙수에서 5분간 냉각하여 UV/Vis spectrophotometer(Optizen III, Mecasys Co., Korea)를 이용하여 531 nm에서 흡광도를 측정하였다. 시료의 TBARS값은 conversion factor 6.2를 사용하여 산출하였다.

### 휘발성 염기 질소

시료의 휘발성 염기 질소는 Conway 미량 확산법(Conway and Byrne, 1933)을 이용하여 측정하였다. 시료 10 g에 증류수 30 mL을 가하여 17,000 rpm으로 2분 간 균질하였다. 균질물은 100 mL로 부피를 조정한 후 Whatman No. 1 여과지로 여과하여, 여액 1 mL을 Conway 용기 내실에 넣어 1 mL의  $K_2CO_3$ 를 가한 후 37°C에서 2시간 방치한 후 0.02 N sulphuric acid로 적정하였다.

### 육색

시료의 표면을 colour reader(CR-10, Konica Minolta

Sensing Inc., Japan)를 사용하여 CIE  $L^*$ ,  $a^*$  및  $b^*$ 값을 측정하였다. 이때,  $L^*$ 값이 97.83,  $a^*$ 값이 -0.43,  $b^*$ 값이 +1.98인 calibration plate를 표준으로 사용하였다. Total colour difference( $\Delta E$ -value)는 시료와 대조구 간의 색도 차이를 다음의 공식에 대입하여 산술적으로 측정하였다.

$$\text{Total colour difference} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

### 통계분석

각 측정치의 결과분석은 SAS(Statistics Analytical System, USA, 1989-1999) 프로그램(ver. 9.1)의 분산분석(one-way ANOVA)을 통하여 분석하였고, 평균치 간의 유의성을 Duncan의 Multiple Range test에 의하여 검증하였다.

## 결과 및 고찰

### 해동 속도

전압의 증가는 침지식 및 접촉식 해동 처리구 모두 해동시간을 단축시켰고, 특히 접촉식 해동 방식은 낮은 전압 하에서도 침지식 해동 방식에 비하여 빠른 해동을 보였으며 40 V 이상의 전압에서는 해동시간을 1시간 이내로 단축시킬 수 있었다(Fig. 2). 반면에 해동 속도는 전압

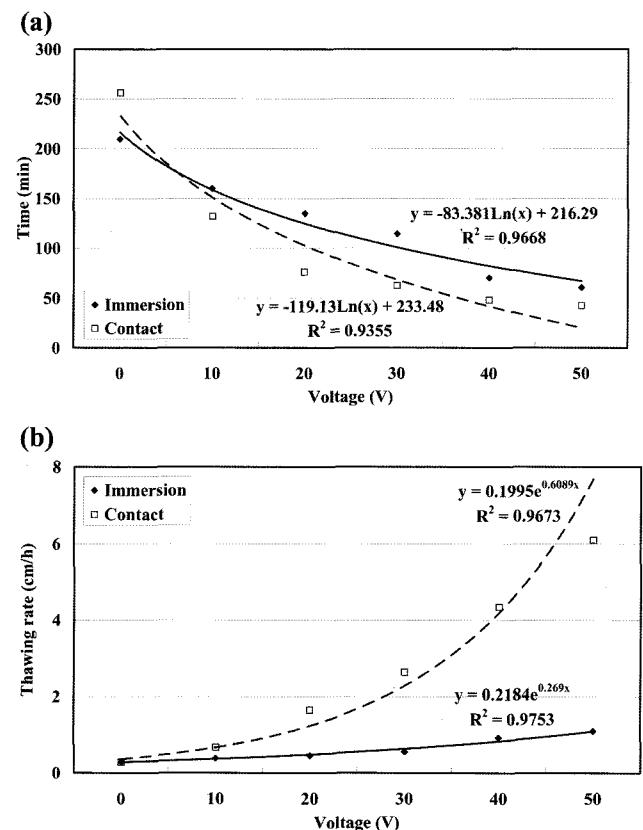


Fig. 2. Effects of voltage levels on (a) total thawing time and (b) thawing rate of pork thawed by brine immersion and electrode contact ohmic systems.

의 증가에 따라 대수적인 증가를 보였으며, 특히 접촉식 해동 처리구에서 전압의 증가에 따른 해동속도가 급격히 증가함을 나타내었다. Ohmic 해동 처리에서 저항열의 발생은 저항에 의한 전기에너지의 소모율에 의하여 발생하는 바, 저항 소모율은 전압의 제곱에 비례하고 저항에 반 비례하는 바(Halliday *et al.*, 2001), 본 실험에서 비록 두 해동 방식간에 동일한 전압을 가하였지만, 침지식 해동 방식에서는 전극의 거리가 8 cm로 접촉식 해동보다 길며 (Fig. 1), 또한 시료를 염수의 중심부에 설치함으로써, 실제 시료의 표면에 가해진 전압의 세기는 전극에 가해진 전압보다 낮기 때문에 시료 내부에서 발생하는 저항열은 접촉식 해동 방식에 비하여 매우 낮은 것으로 판단된다. 하지만 가해진 전압은 염수의 온도를 증가시키며, 따라서 증가된 염수의 온도에 의하여 염수로부터 시료로 열전달이 이루어 짐으로써 시료가 해동 처리된 것으로 판단되며, 따라서 시료의 온도는 상전이가 개시되는 -5°C까지 매우 빠른 온도 상승을 보인 반면, 상전이 구간을 통과하는 속도는 전극 접촉식 해동 방법에 비하여 느리게 진행되어 낮은 해동속도를 보인 것으로 사료된다. 반면에 전극 접촉식 해동 방법은 얼음의 낮은 전기 전도율에 의하여 상전이 구간까지 염수 침지식 해동 방법보다 느린 온도상승을 보였지만, 상전이가 개시되는 -5에서 0°C까지 빠르게 해동되었고, 이후에는 급격한 온도상승을 야기한 것으로 판단된다.

**pH**

전압의 크기 및 해동 방법에 따른 돈육의 pH 변화는 Fig. 3에 나타나 있다. 전압의 증가에 따라 접촉식 및 침지식 ohmic 해동 처리구의 pH가 다소 증가하는 경향을 나타내었지만, 유의적인 차이는 인정되지 않았다( $p>0.05$ ). 두 해동 처리 방법 간의 비교에 있어서 비록 침지식 해동 처리군이 접촉식 해동 처리군 보다 높은 pH를 나타내었지만, 이는 초기 대조구의 pH가 다소 높은 값을 나타낸 데 기인한 것으로 판단되었다. 또한 본 실험에서 접촉식

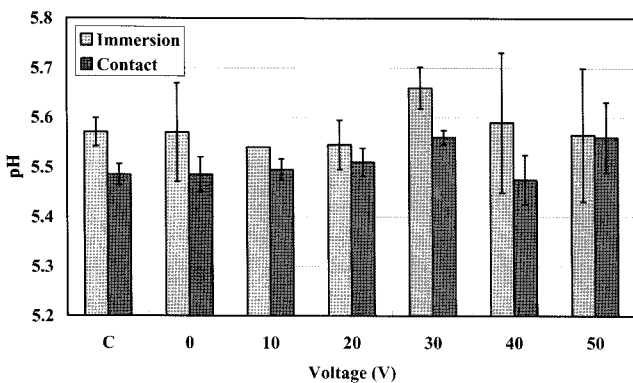


Fig. 3. Effects of voltage levels on pH of pork thawed by brine immersion and electrode contact ohmic systems.

해동 처리구 일부에서는 표면에 부분적인 과열 현상이 나타났지만 이러한 과열 현상이 전반적인 시료의 pH에는 효과를 미치지 않은 것으로 사료된다.

**육즙손실 및 보수력**

Table 1에는 전압의 증가에 따른 ohmic 해동이 돈육의 보수력에 미치는 효과를 나타내었다. 염수 침지식 ohmic 해동 처리군은 대조구에 비하여 낮은 해동 감량을 보였고, 일부에서는 외부의 염수가 시료에 흡수되어 해동 시 중량이 증가함을 나타내었다. 본 실험에서 전압의 증가에 따른 염수 침지식 해동 처리군의 해동 감량은 20 V에서만 유의적인 감소를 나타내었지만( $p<0.05$ ), 전반적으로 전압이 증가할수록 감량이 감소됨을 나타내었다. 이상의 결과는 Yun 등(1998)에서도 동일하게 보고되는 바, 이들은 돈육을 수해동 하였을 때 60 V에서 가장 낮은 해동 감량을 보였고, 이후 전압의 증가에 따라 표면 온도 상승에 의하여 해동 감량이 증가한다고 하였다. 그러나 이들은 매질로서 물을 사용하였지만, 본 실험에서는 0.9% 염수를 사용하였으며, 식육 내부와 외부의 염농도를 동일하게 하여 삼투압에 의한 수분 이동을 최소화할 뿐만 아니라, 역으로 시료 내부로 일부 수분을 침투시킴으로써 일부 시료에서 감량이 발생하지 않고, 중량 증가를 야기한 것으로 판단되었다. 이는 전극 접촉식 해동 처리군에서도 동일하게 관찰되는 바, 비록 접촉식 해동 처리군은 대조구에 비

Table 1. Effects of voltage level on water binding properties of pork thawed by brine immersion and electrode contact ohmic system

Voltage (V)	Water binding properties (%) <sup>1)</sup>		
	Thawing loss	Cooking loss	Water holding capacity
<b>Immersion</b>			
C <sup>2)</sup>	1.79 ± 1.78 <sup>a</sup>	26.49 ± 0.61 <sup>c</sup>	88.89 ± 0.77 <sup>a</sup>
0	0.56 ± 0.57 <sup>ab</sup>	36.83 ± 0.99 <sup>a</sup>	82.01 ± 0.14 <sup>b</sup>
10	0.47 ± 0.31 <sup>ab</sup>	36.70 ± 0.14 <sup>a</sup>	78.55 ± 0.53 <sup>c</sup>
20	-0.98 ± 0.07 <sup>b</sup>	37.27 ± 2.01 <sup>a</sup>	82.75 ± 0.58 <sup>b</sup>
30	0.76 ± 1.12 <sup>ab</sup>	37.97 ± 1.36 <sup>a</sup>	87.13 ± 2.22 <sup>a</sup>
40	-0.16 ± 0.62 <sup>ab</sup>	35.70 ± 1.48 <sup>a</sup>	87.62 ± 0.64 <sup>a</sup>
50	0.48 ± 0.30 <sup>ab</sup>	32.22 ± 0.79 <sup>b</sup>	88.24 ± 0.24 <sup>a</sup>
<b>Contact</b>			
C	1.63 ± 0.19 <sup>c</sup>	26.91 ± 1.20 <sup>a</sup>	88.71 ± 0.95 <sup>a</sup>
0	5.15 ± 0.71 <sup>a</sup>	27.33 ± 1.27 <sup>a</sup>	79.25 ± 0.62 <sup>c</sup>
10	3.64 ± 1.64 <sup>b</sup>	26.71 ± 0.23 <sup>ab</sup>	78.88 ± 1.49 <sup>c</sup>
20	2.60 ± 0.14 <sup>bc</sup>	25.74 ± 0.60 <sup>ab</sup>	83.52 ± 4.20 <sup>abc</sup>
30	2.17 ± 0.05 <sup>c</sup>	25.56 ± 1.87 <sup>ab</sup>	83.51 ± 0.93 <sup>abc</sup>
40	2.34 ± 1.26 <sup>c</sup>	25.30 ± 2.64 <sup>ab</sup>	81.91 ± 0.17 <sup>bc</sup>
50	2.11 ± 0.32 <sup>c</sup>	23.76 ± 1.81 <sup>b</sup>	85.71 ± 0.62 <sup>ab</sup>

<sup>1)</sup>Mean ± S.D. from three replicate determinations.

<sup>2)</sup>Fresh control.

<sup>a-c</sup>Means with different superscript within same column are significantly different ( $p<0.05$ ).

하여 높은 해동 감량을 나타내었지만, 20 V 이상의 전압에서는 유의적인 차이가 인정되지 않았고( $p>0.05$ ), 전압의 증가에 따른 해동감량의 감소 경향이 현저하게 나타났다. 유사한 경향은 가열감량에서도 동일하게 관찰되었다. 본 실험에서 침지식 해동 처리군은 접촉식 해동 처리군에 비하여 높은 가열 감량을 나타내었지만, 이는 낮은 해동 감량과 해동 중 시료로 침투된 염수가 가열 중에 방출됨으로써 기인한 것으로 판단되었고, 두 방식의 해동 처리군 모두 전압의 증가는 가열감량을 감소시키는 경향을 나타내었다. 결국 전압의 증가는 해동 시간의 단축에 의한 보수력의 향상을 야기한 것으로 판단되는 바, 비록 모든 해동 처리군에서 대조구보다 낮은 보수력을 나타내었지만, 30 V 이상의 염수 침지식 해동 방법에서는 대조구와 유의적 차이가 인정되지 않았고( $p>0.05$ ), 전극 접촉식 해동 방법에서도 50 V의 전압에서는 보수력 간의 유의차가 인정되지 않았다( $p>0.05$ ). 이상의 결과는 Kim 등(2006a)에서도 동일하게 관찰되는 바, 이들은 만육을 ohmic 해동하였을 때, 전압의 증가는 보수력의 증가를 야기한다고 하였다. 비록 전극 접촉식 해동 방법에서 전압의 증가는 전극과 접촉하는 시료의 표면에 부분적인 과열현상을 야기함으로써 시료의 보수력을 저하시킬 것으로 예상되었지만, 본 실험에서 이용된 전압의 범위는 매우 낮을 뿐만 아니라, 전압 증가에 따른 해동 속도의 증가는 육즙의 외부로의 유출 시간을 단축시킴으로써 보다 높은 보수력을 나타낸 것으로 사료되었고(Yun *et al.*, 1998), 또한 전기를 이용하는 해동방법인 pulsed electric field에서 발생하는 세포막 파괴(Barbosa-Cánovas *et al.*, 1999)에 의한 육즙 손실은 이용된 낮은 전압에 의하여 발생하지 않은 것으로 판단된다.

### 전단력

전압의 증가에 따른 돈육의 전단력은 Fig. 4에 나타나 있다. 돈육의 전단력은 40 V 이상의 전압에서는 대조구와 유의적인 차이가 인정되지 않았으며( $p>0.05$ ), 30 V 이하의 전압에서는 침지식 해동 처리군은 유의적으로 낮은 전단력을 나타낸 반면, 접촉식 해동 처리군에서는 높은 전단력을 보였다( $p<0.05$ ). 염수 침지식 ohmic 해동 방법에서 0.9%의 염농도를 사용하였고, 이들은 해동 과정에서 육즙 손실을 최소화하며, 일부 식육으로 수분이 침투함으로써 접촉식 해동 방법보다 낮은 전단력을 나타낸 것으로 판단된다. 또한 접촉식 해동 방법에서 전압의 증가는 해동 속도의 증가를 야기하였고, 이러한 급속 해동은 식육의 수분 결합 능력 저하를 최소화할 수 있으며(Hong *et al.*, 2005), 이러한 수분결합능력은 결국 식육의 전단력 증가를 억제함으로써 전단력에서 유의적인 차이를 보이지 않은 것으로 사료된다.

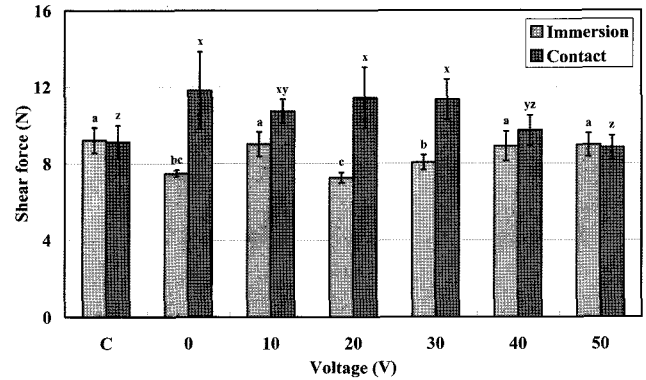


Fig. 4. Effects of voltage levels on shear force of pork thawed by brine immersion and electrode contact ohmic systems. Means with different letters within same treatments are significantly different ( $p<0.05$ ).

### 지질 산패도 및 휘발성 염기 질소

전압의 증가에 따른 ohmic 해동이 동결 돈육의 TBARS 값에 미치는 효과를 Fig. 5에 나타내었다. 초기 대조구의 TBARS값은 침지식에서 0.04, 접촉식에서 0.07 mg/kg으로 접촉식 처리구의 시료에서 다소 높은 수치를 나타내었다. 그러나 전반적으로 두 해동 방식에 사용된 시료의 TBARS 값은 매우 낮은 수치를 나타내었다. 전압의 증가에 따른 돈육의 TBARS값은 침지식 해동 처리군에서는 20 및 40 V에서 유의적인 증가를 나타내었지만( $p<0.05$ ), 전반적으로 전압의 증가는 TBARS값을 감소시키는 경향을 나타내었다. 반면에 접촉식 해동 처리구에 있어서 0 V는 공기와의 접촉시간의 증가에 따라 대조구에 비하여 유의적으로 높은 TBARS값을 보인 것으로 판단되었다( $p<0.05$ ). 하지만 전압의 증가에 따른 시료의 TBARS 값은 대조구와 유의적인 차이가 인정되지 않았고( $p>0.05$ ), 50 V의 처리구에서 가장 낮은 TBARS값을 나타내었다. 이상의 결과는 Kim 등(2006b)의 결과와는 상반되는 바, 이들은 햄버거 패티를

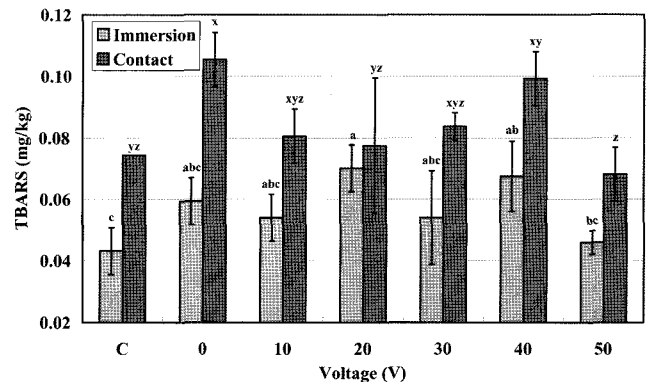


Fig. 5. Effects of voltage levels on lipid oxidation of pork thawed by brine immersion and electrode contact ohmic systems. Means with different letters within same treatments are significantly different ( $p<0.05$ ).

ohmic 해동하였을 때, 전압의 증가에 따라 TBARS값이 유의적으로 증가한다고 하였고, 투입된 전기 에너지가 지질 산화를 촉진한다고 하였다. 그러나 이들은 햄버거 패티 가공을 위하여 원료육을 만육하였으며, 또한 지질 함량을 20%로 하였으며 해동 종료율을 위한 중심부 온도를 5°C로 설정하였다. 일반적으로 만육 공정 이후의 ohmic 해동 처리는 TBARS를 상승시키는 결과를 초래할 수 있으며(Kim *et al.*, 2006a), 중심부 온도를 높게 설정함으로써 기인된 심한 표면 과열 현상은 높은 지방 함량을 갖는 시료에서 심한 지질 산화를 초래하게 됨으로써 높은 TBARS값을 보인 것으로 판단되지만, 본 실험에서는 지방 함량이 낮은 등심부위를 시료로써 사용하였고, 시료의 중심부 온도가 1°C에서 해동을 종료함으로써 Kim 등(2006b)보다 표면 과열 현상 발생을 최소화 하였으며, 따라서 이상의 결과에 의하면 전기에 의한 지질 산화는 크게 문제가 되지 않을 것으로 판단된다. 결국 표면 과열 현상을 억제하면서 해동 속도를 향상시킴으로써 낮은 TBARS값을 보인 것으로 사료된다. 반면에 휘발성 염기 질소 함량은 실험 처리가 단백질에 미치는 효과를 판단할 수 있으며(Fig. 6), 본 실험에서 침지식 해동 처리방법에서는 TVBN값의 증가가 나타나지 않은 반면, 접촉식 해동 처리군에서는 전압의 증가에 따라 TVBN값이 상승하는 경향을 나타내었지만 측정시간의 유의적인 차이는 인정되지 않았다( $p>0.05$ ). 이상의 결과에 의하면 염수 침지식 ohmic 해동 방법은 식육 내부의 저항열 발생에 의한 해동보다는 염수 온도 상승에 기인한 열 전달에 의하여 식육이 해동 되는 방법으로서 수분 결합력의 향상과 더불어 연도 향상 효과 및 화학적

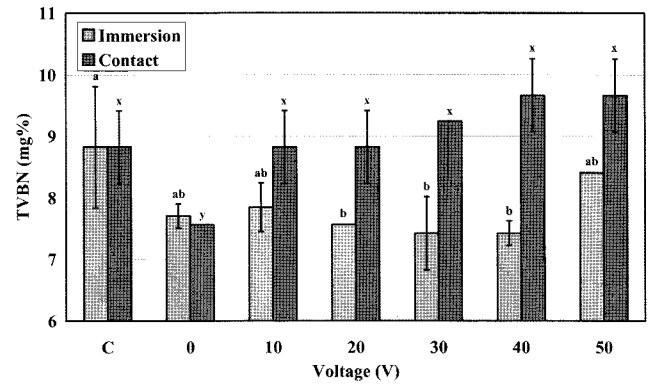


Fig. 6. Effects of voltage levels on total volatile basic nitrogen of pork thawed by brine immersion and electrode contact ohmic systems. Means with different letters within same treatments are significantly different ( $p<0.05$ ).

변화를 최소화할 수 있는 방법으로 판단되지만, 식육을 전극에 직접 접촉시켜 해동하는 방법은 식육 자체의 저항열 발생에 따른 빠른 해동에 의하여 동결육의 해동시 발생하는 품질 저하를 최소화 할 수 있지만, 전극과 접촉하는 식육 표면의 과열 현상이 품질 저하를 발생시킬 수 있고, 이를 최소화 하기 위하여 Yun 등(1998)은 해동을 -3°C 정도로 반해동시키거나 완전해동을 위해 식육 표면을 강제로 냉각시켜야 한다고 하여, 이 부분에 대한 더 깊은 연구가 요구되었다.

#### 육색

전압의 증가 및 해동 방법에 따른 돈육의 색도 변화는

Table 2. Effects of voltage level on colour of pork thawed by brine immersion and electrode contact ohmic system

Voltage (V)	CIE colour <sup>1)</sup>			
	$L^*$ -value	$a^*$ -value	$b^*$ -value	$\Delta E$ -value
<b>Immersion</b>				
C <sup>2)</sup>	53.08 ± 0.77 <sup>c</sup>	8.00 ± 0.41 <sup>ab</sup>	7.90 ± 0.98 <sup>ab</sup>	1.06 ± 0.47 <sup>d</sup>
0	60.65 ± 1.26 <sup>a</sup>	6.58 ± 0.73 <sup>d</sup>	7.45 ± 0.93 <sup>ab</sup>	7.80 ± 1.15 <sup>a</sup>
10	59.98 ± 1.09 <sup>a</sup>	6.83 ± 0.34 <sup>cd</sup>	6.63 ± 0.98 <sup>b</sup>	7.18 ± 1.04 <sup>ab</sup>
20	59.40 ± 0.63 <sup>a</sup>	8.23 ± 0.21 <sup>ab</sup>	7.98 ± 0.83 <sup>ab</sup>	6.37 ± 0.64 <sup>b</sup>
30	61.00 ± 0.26 <sup>a</sup>	8.73 ± 0.83 <sup>a</sup>	8.70 ± 0.56 <sup>a</sup>	8.00 ± 0.21 <sup>a</sup>
40	58.93 ± 0.29 <sup>a</sup>	6.78 ± 0.89 <sup>cd</sup>	6.50 ± 0.78 <sup>b</sup>	6.22 ± 0.61 <sup>b</sup>
50	55.50 ± 0.89 <sup>b</sup>	7.65 ± 0.44 <sup>bc</sup>	6.28 ± 0.78 <sup>b</sup>	3.03 ± 0.93 <sup>c</sup>
<b>Contact</b>				
C	50.98 ± 1.61 <sup>a</sup>	8.20 ± 0.99 <sup>a</sup>	7.30 ± 0.51 <sup>ab</sup>	1.64 ± 0.51 <sup>b</sup>
0	49.25 ± 1.59 <sup>ab</sup>	7.68 ± 0.97 <sup>a</sup>	6.98 ± 0.29 <sup>abc</sup>	1.95 ± 1.71 <sup>ab</sup>
10	49.45 ± 1.68 <sup>ab</sup>	8.60 ± 0.78 <sup>a</sup>	6.70 ± 0.63 <sup>bc</sup>	2.12 ± 1.29 <sup>ab</sup>
20	49.53 ± 0.68 <sup>ab</sup>	8.90 ± 0.99 <sup>a</sup>	7.08 ± 0.65 <sup>abc</sup>	1.92 ± 0.69 <sup>ab</sup>
30	48.28 ± 1.51 <sup>b</sup>	5.63 ± 0.59 <sup>b</sup>	6.03 ± 0.68 <sup>c</sup>	3.39 ± 0.19 <sup>a</sup>
40	50.90 ± 2.19 <sup>a</sup>	7.88 ± 0.28 <sup>a</sup>	7.67 ± 0.21 <sup>a</sup>	1.60 ± 0.57 <sup>b</sup>
50	51.25 ± 1.17 <sup>a</sup>	5.73 ± 0.34 <sup>b</sup>	7.70 ± 0.10 <sup>ab</sup>	2.67 ± 0.58 <sup>ab</sup>

<sup>1)</sup>Mean ± S.D. from five replicate determinations.

<sup>2)</sup>Fresh control.

<sup>a-d</sup>Means with different superscript within same low are significantly different ( $p<0.05$ ).

Table 2에 나타나 있다. 침지식 해동 방법은 모든 처리구에서 대조구보다  $L^*$ 값의 유의적인 증가를 나타내었다 ( $p < 0.05$ ). 처리구 간에서 전압의 증가에 따른 전반적인 유의치는 인정되지 않았지만 ( $p > 0.05$ ) 전압의 증가는  $L^*$ 값을 다소 감소시키는 경향을 나타내었고, 50 V의 전압에서 다른 처리구에 비하여 유의적으로 낮은  $L^*$ 값을 나타내었다 ( $p < 0.05$ ). 반면 접촉식 해동 방법은 30 V 처리구에서 대조구에 비하여 유의적으로 낮은  $L^*$ 값을 나타내었지만 ( $p < 0.05$ ), 전반적으로 전압의 증가와  $L^*$ 값 간에는 경향성이 나타나지 않았고 ( $p > 0.05$ ), 결국 접촉식 해동방법은 돈육의  $L^*$ 값에 효과를 미치지 않은 것으로 판단되었다. 식육의  $L^*$ 값은 보수력이나 근원섬유 단백질의 변성 정도에 의하여 영향을 받는 바(Offer and Trinick, 1983), 본 실험에서 침지식 해동 방식은 해동 과정에서 육즙 손실이 적고, 또한 일부 염수가 식육으로 침투됨으로써 접촉식 해동 방식보다 높은  $L^*$ 값을 나타낸 것으로 판단되며, 각 해동 방식에 있어서 전압의 증가는 식육 단백질의 변성에 큰 효과를 미치지 않았고, 따라서 식육의  $L^*$ 값에 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다. 접촉식 해동 처리군은 10 V 이하의 전압에서 유의적으로 낮은  $a^*$ 값을 나타내었지만 ( $p < 0.05$ ), 전압의 증가는 빠른 해동 속도에 기인하여 대조구와 유의적인 차이를 보이지 않았다 ( $p > 0.05$ ). 반면에 접촉식 해동 처리군에서는 30 V와 50 V에서 대조구보다 낮은  $a^*$ 값을 나타내었지만 ( $p < 0.05$ ), 전압의 증가에 따른  $a^*$ 값의 변화에서 어떤 경향성을 나타내지 않았다. 또한 염수 침지식 해동 처리군의  $b^*$ 값은 대조구와 유의적인 차이가 없었고 ( $p > 0.05$ ), 접촉식 해동 처리군에서는 30 V에서만 유의적으로 낮은  $b^*$ 값이 관찰되었다 ( $p < 0.05$ ). 이는 식품 표면의 부분적인 과열 현상에 기인한 것으로 사료되는 바, 식육의 ohmic 처리는 산소 소비 효소계의 활성을 저해함으로써 육색 안정성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대되었지만(Ledward, 1992), 본 실험은 50 V 이하의 낮은 전압을 이용함으로써, 전기적 처리에 의한 육색 향상은 발생하지 않은 것으로 판단되었다. 총 색도 변화( $\Delta E$ )는 염수 침지식 해동 처리 방법에서 높게 나타났지만 40 V 이상에서는 유의적인 감소를 나타내었고 ( $p < 0.05$ ), 전압의 증가에 따른 해동 시간의 단축은 육색의 변화를 효과적으로 단축할 수 있을 것으로 판단되었다. 반면에 접촉식 해동 방법에서는 전압의 증가에 따른 경향성을 보이지 않았고, 결국 접촉식 해동 방법에서 표면 과열 현상을 효과적으로 억제하면 총색도의 차이를 최소화 할 수 있을 것으로 사료된다.

## 요 약

본 실험은 전압의 증가에 따른 염수 침지식 및 전극 접촉식 ohmic 해동 처리가 돈육의 이화학적 특성에 미치는

효과를 규명하고자 실시되었다. 염수 침지식 ohmic 해동 방법은 전압에 의한 염수의 온도 상승에 의하여 시료가 해동 됨으로써 시료 표면의 과열 현상이 효과적으로 억제되었고, 해동 후 높은 보수력 및 전단력의 저하가 관찰되었지만, 육색이 다소 저하되는 단점을 나타내었다. 반면 전극 접촉식 ohmic 해동 방법은 해동 과정 중 얼음의 상전이 구간을 빠르게 통과함으로써 빠른 해동이 가능하였고, 해동 후 식육의 품질 저하가 최소화되었지만, 시료의 크기 및 전압의 증가에 따른 심한 표면 과열 현상이 발생할 수 있는 단점을 보였다. 따라서 염수 침지식 해동은 보다 높은 전압을 이용하여 식육을 빠르게 해동하고, 전극 접촉식 해동은 낮은 전압을 이용하여 표면 과열을 억제하면 보다 효과적인 해동이 가능할 것으로 사료되었다.

## 감사의 글

본 연구는 두뇌한국 BK21 연구사업과 LG전자(주)의 연구비 지원에 의해 이루어진 것이며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Barbosa-Cánovas, G. V., Góngora-Nieto, M. M., Pothakamury, U. R., and Swanson, B. G. (1999) Preservation of foods with pulsed electric fields. Academic Press, CA, pp.108-155.
2. Conway, E. J. and Byrne, A. (1933) An absorption apparatus for the micro determination of certain volatile substances. *Biochem.* **27**, 419-429.
3. Fu, W. R. and Hsieh, C. C. (1999) Simulation and verification of two-dimensional ohmic heating in static system. *J. Food Sci.* **64**, 946-949.
4. Fuchigami, M., Hyakumoto, N., Miyazaki, K., Nomura, T., and Sasaki, J. (1994) Texture and histological structure of carrots frozen at a programmed rate and thawed in an electrostatic field. *J. Food Sci.* **59**, 1162-1167.
5. Halliday, D., Resnick, R., and Walker, J. (2001) Current and resistance. In: Fundamentals of physics, 6th ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 423-440.
6. Hong, G. P., Ko, S. H., Choi, M. J., and Min, S. G. (2007) Effects of pressure assisted freezing on physicochemical properties of pork. *Kor. J. Food Sci. Ani. Resour.* **27**, 190-196.
7. Hong, G. P., Park, S. H., Kim, J. Y., Lee, C. H., Lee, S., and Min, S. G. (2005) The effect of thawing rate on the physicochemical properties of frozen ostrich meat. *Food Sci. Biotechnol.* **14**, 676-680.
8. Hong, G. P., Park, S. H., Kim, J. Y., and Min, S. G. (2006) The effects of high pressure and various binders on the physico-chemical properties of restructured pork meat. *Asian-Aust. J. Ani. Sci.* **19**, 1484-1489.
9. Kim, J. Y., Hong, G. P., Park, S. H., Lee, S., and Min, S. G. (2006a) Effects of ohmic thawing on the physicochemical

- properties of pork. *Food Sci. Biotechnol.* **15**, 374-379.
10. Kim, J. Y., Hong, G. P., Park, S. H., Spiess, W. E. L., and Min, S. G. (2006b) Effect of ohmic thawing on physico-chemical properties of frozen hamburger patties. *Kor. J. Food Sci. Ani. Resour.* **26**, 223-228.
  11. Ko, S. H., Hong, G. P., Park, S. H., Choi, M. J., and Min, S. G. (2006) Studies on physical properties of pork frozen by various high pressure freezing process. *Kor. J. Food Sci. Ani. Resour.* **26**, 464-470
  12. Ledward, D. A. (1992) Colour of raw and cooked meat. In: The chemistry of muscle-based foods. Johnston, D. E., Knight, M. K., and Ledward, D. A. (eds), Royal Society of Chemistry, Cambridge, pp. 128-144.
  13. Li, B. and Sun, D. W. (2002) Novel methods for rapid freezing and thawing of foods-a review. *J. Food Sci.* **54**, 175-182.
  14. Miles, C. A., Morley, M. J., and Rendell, M. (1999) High power ultrasonic thawing of frozen foods. *J. Food Eng.* **39**, 151-159.
  15. Offer, G. and Trinick, J. (1983) On the mechanism of water holding in meat: the swelling and shrinkage of myofibrils. *Meat Sci.* **8**, 245-281.
  16. Virtanen, A. J., Goedeken, D. L., and Tong, C. H. (1997) Microwave assisted thawing of model frozen foods using feed-back temperature control and surface cooling. *J. Food Sci.* **62**, 150-154.
  17. Witte, V. C., Krause, G. F., and Bailey, M. E. (1970) A new extraction method for determining 2-thiobarbituric acid values of pork and beef during storage. *J. Food Sci.* **35**, 582-584.
  18. Yun, C. G., Lee, D. H., and Park, J. Y. (1998) Ohmic thawing of a frozen meat chunk. *Korean J. Food Sci. Technol.* **30**, 842-847.
- 
- (2007. 10. 15. 접수/2007. 11. 20. 채택)