식육의 송풍식 냉동과 전기자장 냉동 중 온도 변화 및 이화학적 품질에 미치는 영향

김영봉* · 우성민 · 정지윤 · 구수경 · 정진웅 · 금준석 · 김은미
한국식품연구원

Temperature Changes during Freezing and Effect of Physicochemical Properties after Thawing on Meat by Air Blast and Magnetic Resonance Quick Freezing

Young Boong Kim*, Sung Min Woo, Ji Yun Jeong, Su Kyung Ku, Jin Woong Jeong,
Jun Seok Kum, and Eun Mi Kim
Korea Food Research Institute, Sungnam 463-746, Korea

Abstract

This study was carried out to investigate the effects of various temperatures of electro-magnetic resonance and air blast freezing methods on the physicochemical quality of meat. Beef (loin and round), pork (belly and ham) and chicken (breast and leg) were purchased at a commercial market, and the meat was frozen using three methods: air blast freezing (-20°C and -45°C) and electro-magnetic resonance quick freezing. Changes in the physicochemical properties of meat were analyzed by drip loss, cooking loss, water holding capacity (WHC) and proximate compositions. In comparison, regardless of the animal species and cuts of meat, electro-magnetic resonance quick freezing (2 h) resulted in a completely frozen product in a much shorter time than -20°C and -45°C air blast freezing (24 h and 8 h, respectively). Drip loss of loin which had underwent electro-magnetic resonance quick freezing were significantly ($p<0.05$) lower than those of the other two treatments, but cooking loss and water holding capacity were the highest at 43.7% and 60.7%, respectively ($p<0.05$). Characteristics such as crude protein, crude fat and moisture compositions showed significant differences, depending on the cuts and freezing methods ($p<0.05$). The fat composition of electro-magnetic resonance quick frozen loin and round were significantly low ($p<0.05$). However, moisture content was the highest compared to other freezing methods, as 67.1% and 71.9%, respectively ($p<0.05$). Electro-magnetic resonance quick freezing was an appropriate way to reduce the deterioration of meat quality due to freezing, and the drip loss was least for the part with low moisture, low protein, and high fat.

Key words: electro-magnetic resonance, air blast, freezing, meat, temperature, quality

서 론

식품 냉동은 식품에서 열을 빼앗아 식품 내의 수분을 액체에서 고체로 상 변화시키는 방법으로 장기 보존을 위한 최선의 방법 중 하나이다. 식육은 냉동 시 드립 발생, 단백질 변성 및 지방 산화 등이 일어나 품질을 저하시킨다 (Lagerstedt *et al.*, 2008; Mancini and Hunt, 2005). 특히, 식육의 변성과 연관된 생화학적 반응은 냉동 온도에서도 액상

으로 잔존하는 식육 내의 수분 때문에 일시적으로 정지되지만 저장 기간의 경과에 따라 진행이 지속된다 (Akamittath *et al.*, 1990; Grujic *et al.*, 1993). 일반적인 식육의 냉동 방법으로는 정지 공기 냉동법(sharp freezing), 송풍식 냉동법(air blast freezing), 접촉식 냉동법(contact freezing) 및 침지식 냉동법(immersion freezing)이 있다. 정지공기 냉동법은 냉각된 실내에 설치된 선반에 식품을 얹어 놓거나 또는 매달아 놓고 동결시키는 방법으로 응용 범위가 가장 넓고 관리가 용이한 반면 열전도율이 접촉식, 침지식 및 액체 질소 냉동법보다 낮아 냉동 시간이 상대적으로 긴 단점이 있는데 이를 보완한 것이 송풍식 냉동법이다. 송풍식 냉동법은 냉기에 유속을 주어 공기와 시료 간에 열 전달 계수를 크게 하여 빠르게 냉동시키는 방법으로 산업적으로 가장

*Corresponding author: Young Boong Kim, Processing Technology Research Group, Convergence Technology Research Division, Korea Food Research Institute, Sungnam 463-746, Korea. Tel: 82-31-780-9012, Fax: 82-31-780-9076, E-mail: kybaaa@kfri.re.kr

많이 사용되는 방법이다(Bing and Sun, 2002; Noh, 2008). 접촉식 냉동법은 냉각한 금속판 사이에 식품을 넣고 상하로부터 밀착시켜 냉동하는 방법이고 침지식 냉동법은 brine을 냉각하여 그 중에 식품을 침지하여 냉동하는 방법으로 냉동 속도가 매우 빠르지만 대량의 제품을 한번에 냉동시키기 어렵다는 단점이 있다(Koh, 2002). 최근 접목되고 있는 전기자장 냉동법(magnetic resonance quick freezing)은 피냉동물을 자장환경에서 에너지를 부가해 피냉동물의 물 분자를 진동시키면서 수분의 빙결정화를 억제해 과냉각 상태를 유지하며 일정 온도 이하까지 온도를 강하시켜, 피냉동물 내·외부를 동시에 냉동하므로 식품의 냉동 시 물분자 이동이 없기 때문에 세포 조직의 파괴가 적게 일어나도록 하는 방법이다(Iwasaka *et al.*, 2011). 이와 같이 냉동육의 품질 보존을 위한 연구는 국내외적으로 꾸준히 진행되고 있으나 지금까지는 주로 송풍식 냉동고 내에서의 저장 기간에 따른 물리화학적 변화(Carrol *et al.*, 1981; Farouk and Swan, 1998; Kim *et al.*, 1988; LeBail *et al.*, 2002)와 냉동 속도에 따른 품질 및 조직학적 변화(Farouke *et al.*, 2003; Lakshmisha *et al.*, 2008; Mascheroni, 1985; Payne and Young, 1995; Yu *et al.*, 2010), 그리고 빙결정의 크기 등에 관한 연구가 대부분이다(Bevilacqua *et al.*, 1980; Chevalier *et al.*, 2001; Martino *et al.*, 1998). 또한 전기자장이 냉동 속도 및 세포 조직에 미치는 영향에 관한 연구 등이 있다(Anese *et al.*, 2012; Delgado *et al.*, 2009; Hanyu *et al.*, 1992; Sun and Li, 2003).

따라서 본 연구에서는 냉동 과정 중의 품질 저하를 최소화하기 위한 방안으로 산업적으로 가장 많이 사용되는 송풍식 냉동법과 최근 접목되고 있는 전기자장 냉동법이 식육의 냉동 중 온도 변화 및 이화학적 품질에 미치는 영향에 대하여 조사하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 연구에서 사용한 시료는 도축 1일 후 식육 포장 처리장에서 발골 절단된 거세 한우 2등급(등심 및 우둔), 국내산 돈육(삼겹 및 뒷다리) 및 국내산 계육(가슴 및 다리)을 여러 개의 근육과 지방을 함께 사용하였다. 부위는 지방함량에 따른 비교를 위하여 축종별 두 가지 부위를 선정하였다. 냉동 및 해동을 하기 위하여 우육 및 돈육 시료는 각각 2-4 cm (500 g) 두께로 절단하였고, 계육은 500 g 단위로 나눠 합기포장(23×32 cm, PE)하여 공시 재료로 사용하였다. 전기자장 냉동은 (주)다인제주(제주소재), 송풍식(-20°C) 냉동은 한국식품연구원(경기도소재) 및 송풍식(-45°C) 냉동은 (주)미트뱅크(인천소재)에서 냉동하였다. 각 시료는 냉동 전 냉장 보관을 하여 10°C로 일정하게 맞추어 냉동을 실시하였다.

냉동 중 육의 온도 변화

냉동 중 육의 심부 온도 측정은 -55°C 전기자장 냉동고와 -45°C 및 -20°C 송풍식 냉동고를 이용하였다. 온도 기록 장치는 data logger (176T4, Testo, Germany) 및 data logger (BTM-4208SD, Lutron, USA)를 사용하였고 케이블 센서는 thermocouple (NiCr-Ni thermocouple, SEF GmbH, Germany)을 사용하였으며 공시 재료에 각각 두 개의 케이블 센서를 연결 후 전기자장 냉동고에서 6시간 동안, -45°C 송풍식 냉동고에서 12시간 동안 및 -20°C 송풍식 냉동고에서 40시간 동안 5분 간격으로 냉동방법 별로 온도 변화가 거의 없을 때까지 측정하였다.

해동

(주)다인제주에서 전자기장으로 냉동된 시료 및 (주)미트뱅크에서 송풍식으로 냉동된 시료들은 냉동 전 data logger 및 thermocouple을 사용하여 시료 중심에 연결하여 냉동시켰다. 냉동 중 및 냉동이 완료된 후에도 시료는 아이스박스에 드라이아이스를 넣어 외포장을 하였으며 전자기장 냉동 시료는 즉시 항공기 화물로 운송을 하여 보관할 수 있는 연구원으로 운반하였다. 이때 data logger는 계속적으로 가동을 시켰으므로 운반 중에도 시료의 온도 변화를 확인할 수 있었다. 전체적으로 냉동이 끝난 후 보관고에 넣는 시간은 3시간 이내에 이루어졌으며 아이스박스에 있는 드라이아이스는 녹지 않고 있었으며 시료의 온도도 큰 변화가 없었다. 또한 송풍식으로 냉동된 시료들도 전자기장 냉동 방법과 마찬가지로 포장하여 즉시 승용차로 운송하여 보관고에 보관하였다. 송풍식 방법으로 냉동된 시료의 운송 시간은 1시간 정도가 소요되었다. 육의 물리적 및 영양학적 평가를 위하여 4±1°C 냉장고(micom CA-A11AC, LG, Korea)에 해동을 진행하였으며 육의 심부 온도가 0°C가 될 때까지 해동을 진행하였다.

분석 항목 및 방법

물리적 및 영양학적 평가는 냉동 중 육의 온도 변화 실험 후 해동하여 각각 3회 반복 분석하였다.

해동감량

육의 심부 온도가 0°C에 도달할 때까지의 드립량을 측정하여 백분율로 계산하였다.

$$\text{해동감량 (\%)} = \{(\text{해동 전 무게} - \text{해동 후 무게}) / \text{해동 전 무게}\} \times 100$$

가열감량

가열감량은 시료를 약 100 g으로 정형하여 70±1°C의 항온 수조에서 30분 간 가열한 후 냉각시킨 뒤 가열 전 시료 무게에서 가열 후 시료 무게를 백분율로 나누어 계산하였다.

가열감량 (%) = {(가열 전 - 가열 후) 시료의 무게} / 가열 전 시료의 무게 × 100

보수력

세절육 5 g을 원심분리관에 넣어 70°C water bath에서 30 분 간 가열하고 방냉한 후 1,000 rpm, 20°C에서 10분 간 원심분리 후 분리된 육즙량을 측정하고, 총 수분량을 측정하여 아래 공식에 대입하여 계산하였다(Lee and Sung, 1996).

보수력 (%) = 분리된 수분량(mL) × 0.951 / 총 수분량(g) × 100

일반 성분 분석

일반 성분은 AOAC법(2005)에 따라 수분 105°C 상압건조법, 조회분 550°C 직접 회화법, 조지방 Soxhlet법 및 조단백 Kjeldahl법으로 분석하였다.

통계 분석

본 실험에서 얻어진 결과는 SAS program (2002)을 이용하여 분산 분석을 실시하였고, 냉동 방법에 따른 평균 간 유의성 검정은 Duncan의 다중 검정 방법으로 5% 수준에서 유의성 검정을 실시하였다.

결과 및 고찰

냉동 중 육의 온도 변화

냉동 방법, 축종 및 부위에 따른 육의 심부 온도 변화를

측정한 결과는 Fig. 1-3과 같다. 온도 변화 측정 시간은 전기자장 냉동법 6시간, 송풍식 냉동법 -20°C 및 45°C 각각 40시간, 12시간으로 하였다. 우육의 냉동방법(전기자장 냉동법 및 송풍식 냉동법) 및 부위(등심 및 우둔)에 따른 냉동 중심부 온도 변화 측정한 결과 냉동 시간은 부위에 관계없이 전기자장 냉동법이 2시간이었으며 송풍식(-45°C) 냉동법 및 송풍식(-20°C) 냉동법은 각각 8시간 및 26시간이었다. 최대빙결정생성대(-1~5°C) 통과 시간은 전기자장 냉동법은 등심 15분, 우둔 25분이었고 송풍식(-20°C) 냉동법에서는 등심 405분, 우둔 615분이었으며 송풍식(-45°C) 냉동법의 경우 등심 45분 및 우둔 55분으로 냉동 방법에 관계없이 우둔이 등심보다 냉동시간이 길게 나타났다(Fig. 1). 돈육의 냉동 방법 및 부위에 따른 냉동 중심부 온도 변화 측정한 결과는 부위에 관계없이 전기자장 냉동법은 4시간, 송풍식(-20°C) 냉동법은 40시간 및 송풍식(-45°C) 냉동법은 8시간 소요되었다. 최대빙결정생성대 통과 시간은 전기자장 냉동법에서 삼겹 20분, 뒷다리 20분이었고, 송풍식(-20°C) 냉동법에서는 삼겹 305분, 뒷다리 330분이었으며 송풍식(-45°C) 냉동법의 경우 삼겹 30분, 뒷다리 45분으로 뒷다리가 삼겹보다 냉동 시간이 길었다(Fig. 2). 계육의 경우 전기자장 냉동법과 송풍식(-45°C) 냉동법은 2시간이었으며 송풍식(-20°C) 냉동법은 가슴과 다리 각각 8시간 및 34시간이 소요되었다. 최대빙결정생성대 통과 시간은 전기자장 냉동법은 가슴 15분, 다리 20분이었고 송풍식(-20°C) 냉동법에서는 가슴 170분, 다리 570분이었으며 송풍식(-45°C) 냉동법의 경우 가슴과 다리 각각 10분 및 35분으로 가슴이 다리보다 냉동시간이 짧게 나타났다(Fig. 3). 축종에 따라

Fig. 1. Temperature changes of beef loin (a-1~a-3) and round (b-1~b-3) during freezing by magnetic resonance freezing (a-1, b-1), air blast freezing (-45°C, a-2, b-2) and air blast freezing (-20°C, a-3, b-3). *MRF: Magnetic resonance freezing

Fig. 2. Temperature changes of pork belly(c-1~c-3)and ham (d-1~d-3) during freezing by magnetic resonance freezing (c-1, d-1), air blast freezing (-45°C, c-2, d-2) and air blast freezing (-20°C, c-3, d-3). *MRF: Magnetic resonance freezing

Fig. 3. Temperature changes of chicken breast (e-1~e-3) and leg (f-1~f-3) during freezing by magnetic resonance freezing (e-1, f-1), air blast freezing (-45°C, e-2, f-2) and air blast freezing (-20°C, e-3, f-3). *MRF: Magnetic resonance freezing

부위별로 볼 때 우둔, 뒷다리 및 다리가 상대적으로 등심, 삼겹 및 가슴부위보다 냉동 시간이 길게 나타났는데 이는 지방함량이 낮고 수분함량이 높기 때문으로 사료되었다. 냉동 방법에 따라 비교할 때 전기자장 냉동법이 송풍식 냉동법보다 최대빙결정생성대 통과 시간 및 냉동 시간이 짧게 나타났다. 냉동 식품의 빙결정 크기와 수, 분포 등은 냉동 속도에 따라 결정되며, 최대빙결정생성대(zone of maxi-

mum ice crystal formation)를 통과하는 시간이 짧을수록 작은 빙결정이 많이 생기고 균일하게 분포하지만, 최대빙결정생성대를 통과하는 시간이 길면 빙결정이 크고 수가 적으며 불균일하게 분포하고 빙결정은 빙결정핵이 발생하여 이것이 중심이 되어 성장한다(Jeong *et al.*, 1999). 또한 단백질의 동결 변성이 이 온도범위에서 일어나기 쉬우므로 최대빙결정생성대는 냉동육의 품질을 좌우할 수 있는 중

요한 요소가 된다(Gonzalez-Sanguinetti *et al.*, 1985; Reid, 1990). 최대빙결정생성대는 식품을 냉동할 때 물이 얼음으로 상변화하는 온도 구간을 의미하는 것으로 얼음 결정이 크게 생성되는 기간이다. 일반적으로 $-1\sim-5^{\circ}\text{C}$ 사이를 말하며 이 온도대에서 식품의 수분함량의 80%가 빙결정으로 변하게 되어 관능적으로 동결 상태를 나타내게 된다(Kong, 1983). 따라서 우육, 돈육 및 계육의 모든 부위에서 최대빙결정생성대 통과 시간 및 냉동 시간이 가장 짧게 나타난 전기자장 냉동법을 이용한 냉동육의 품질이 가장 좋을 것으로 판단되었다. 또한, Jeong 등(1999)은 온도 변동 조건이 일정치 않은 패틴을 보일수록 점차적으로 조직의 파괴에 의해 녹아있는 수용액이 뭉쳐서 재빙결되어 덩어리상의 형태를 구성하거나 조직이 불균일하게 찢어져서 온도 변동 조건이 일정한 패틴의 경우가 일정치 않은 패틴에 비하여 품질 변화가 적다고 보고하였는데 본 실험의 온도 변동 조건은 일정한 패틴을 나타내어 품질 변화가 적을 것으로 판단되었다.

물론 냉동방법에 따른 정확한 비교를 위해서는 동일한 온도에서 자기장없이 동결시킨 시료와 비교를 한다면 보다 더 정확한 자기장 냉동 방법이 우수하다고 할 수 있겠지만 현재로서는 비교할 수 있는 방법이 없기 때문에 상업적인 활용을 위해서 가장 많이 활용하고 있는 송풍식 냉동 방법 중 -45°C 냉동 방법과 간접적인 비교를 한 결과이므로 향후에는 좀 더 정확한 비교 연구가 필요하겠다.

해동감량, 가열감량 및 보수력

시료를 냉동 방법, 축종 및 부위에 따라 냉동시킨 후 냉장 해동($4\pm 1^{\circ}\text{C}$)하여 육의 해동감량, 가열감량 및 보수력을 측정된 결과는 Table 1~3과 같다. 우육의 해동감량을 부위 및 냉동 방법별로 분석한 결과 등심은 전기자장 냉동법 4.80%, 송풍식(-20°C) 냉동법 7.33% 및 송풍식(-45°C) 냉동법 6.03%로 전기자장 냉동법에서 가장 낮았고, 우둔은 전기자장 냉동법 10.01%, 송풍식(-20°C) 냉동법 6.39% 및 송풍식(-45°C) 냉동법 15.60%로 송풍식(-20°C) 냉동법에서 가장 낮았다($p<0.05$). 또한, 부위별 분석 결과 영양학적 평가에서 지방함량이 우둔(4.7%, 5.7% 및 5.7%)보다 2배 이상 높게 나타난 등심(10.4%, 13.5% 및 13.5%)에서 낮게 나타났다($p<0.05$). 돈육의 해동감량을 부위 및 냉동 방법별로 분석한 결과 삼겹살은 전기자장 냉동법 4.69%, 송풍식(-20°C) 냉동법 3.74% 및 송풍식(-45°C) 냉동법 9.89%로 송풍식(-20°C) 냉동법에서 가장 낮았고, 뒷다리는 전기자장 냉동법 7.22%, 송풍식(-20°C) 냉동법 9.12% 및 송풍식(-45°C) 냉동법 3.72%로 송풍식(-45°C) 냉동법에서 가장 낮았다($p<0.05$). 또한, 부위별 분석 결과 영양학적 평가에서 지방함량이 뒷다리(14.0%, 11.7% 및 17.7%)보다 약 2배 높게 나타난 삼겹(22.6%, 28.4% 및 25.4%)에서 낮게 나타났다($p<0.05$). 계육의 해동감량을 부위 및 냉동 방법별로 분석한 결

과 가슴은 전기자장 냉동법 5.09%, 송풍식(-20°C) 냉동법 11.87% 및 송풍식(-45°C) 냉동법 4.01%로 전기자장 냉동법과 송풍식(-45°C) 냉동법에서 유의적 차이가 없이 낮게 나타났다, 다리는 전기자장 냉동법 4.50%, 송풍식(-20°C) 냉동법 8.70% 및 송풍식(-45°C) 냉동법 1.43%로 송풍식(-45°C) 냉동법에서 가장 낮았다($p<0.05$). 또한, 부위별 분석 결과 영양학적 평가에서 지방함량이 가슴(1.0%, 0.9% 및 0.9%)보다 6배 이상 높게 나타난 다리(6.9%, 6.2% 및 4.2%)에서 낮게 나타났다($p<0.05$).

드립은 근질의 수축에 의한 근육 미세 구조의 변화에 의한 것으로 근육이 수축되면 될수록 근육 내부의 공간이 줄어들게 되어 근육 내 수분이 근육 외부로 유출되어 드립이 발생한다고 보고되었고(Ambrosiadis *et al.*, 1994; Anon and Cavelo, 1980; Kim *et al.*, 1994), Hamm(1974)은 근원섬유의 수축으로 내부 공간이 좁아져 드립이 증가한다고 하였다. 또한, Kauffman(1986)은 식육 내 존재하는 물은 화학적으로 다른 분자에 매우 단단하게 결합되어 있기도 하며, 다른 분자에 느슨하게 결합하거나 외부환경에 따라서 세포의 공간에서 자유롭게 이동하기도 하는데, 외부의 물리적 처리에 의해 드립이 증가된다 하였다. 이와 같은 연구 결과들은 Ngapo 등(1999)과 Yoo 등(2002)의 수분함량이 낮고 지방함량이 높은 부위가 해동감량이 낮은 결과와 일치하였다.

가열감량은 식육 조성에 의하여 영향을 받는 것으로 보고되었으며(Park and Choi, 2004; Yang and Ko, 2010), 우육의 가열감량을 부위 및 냉동 방법별로 분석한 결과를 Table 1에 나타내었다. 등심은 전기자장 냉동법에서 43.7%, 송풍식(-20°C) 냉동법 및 송풍식(-45°C) 냉동법의 경우 각각 24.5%, 35.2%로 송풍식(-20°C) 냉동법에서 가장 낮았고, 우둔은 전기자장 냉동법에서 41.8%, 송풍식(-20°C) 냉동법 및 송풍식(-45°C) 냉동법 각각 40.7%, 41.0%로 냉동 방법별 차이가 나타나지 않았다($p<0.05$). 돈육의 가열감량을 부위 및 냉동 방법별로 분석한 결과를 Table 2에 나타내었으며, 삼겹살은 전기자장 냉동법에서 28.2%, 송풍식(-20°C) 냉동법 및 송풍식(-45°C) 냉동법은 각각 23.1%, 30.4%로 송풍식(-20°C) 냉동법에서 가장 낮았고, 뒷다리는 전기자장 냉동법에서 32.9%, 송풍식(-20°C) 냉동법 30.1% 및 송풍식(-45°C) 냉동법 23.1%로 송풍식(-45°C) 냉동법에서 가장 낮았다($p<0.05$). 계육의 가열감량을 부위 및 냉동 방법별로 분석한 결과를 Table 3에 나타내었으며, 가슴은 전기자장 냉동법에서 16.7%, 송풍식(-20°C) 냉동법 37.5% 및 송풍식(-45°C) 냉동법 33.8%로 전기자장 냉동법에서 가장 낮았고, 다리는 전기자장 냉동법에서 25.2%, 송풍식(-20°C) 냉동법 34.0% 및 송풍식(-45°C) 냉동법 27.2%로 전기자장 냉동법과 송풍식(-45°C) 냉동법에서 유의적 차이가 없이 낮게 나타났다($p<0.05$). 또한, 축종 및 부위별 분석 결과 지방함량이 높게 나타난 부위에서 낮은 가열감량이 나타났다($p<$

Table 1. Drip loss, cooking loss and water holding capacity in beef by freezing methods

(Unit: %)

	MRF ¹⁾		ABF ²⁾			
			-20°C		-45°C	
	Loin	Round	Loin	Round	Loin	Round
Drip loss	4.80±0.56 ^e	10.01±0.07 ^b	7.33±0.36 ^c	16.39±0.15 ^a	6.03±0.06 ^d	15.60±0.56 ^a
Cooking loss	43.7±1.1 ^a	41.8±2.4 ^{ba}	24.5±1.8 ^d	40.7±0.6 ^b	35.2±1.2 ^c	41.0±1.2 ^{ba}
WHC ³⁾	60.7±0.9 ^{ba}	61.9±1.9 ^a	58.4±1.2 ^c	59.3±0.8 ^{bc}	57.9±1.0 ^c	57.7±0.8 ^c

^{a-e}Means within row with different superscripts are significantly different ($p<0.05$).¹⁾MRF : Magnetic resonance freezing.²⁾ABF : Air blast freezing.³⁾WHC : Water holding capacity.**Table 2. Drip loss, cooking loss and water holding capacity in pork by freezing methods**

(Unit: %)

	MRF ¹⁾		ABF ²⁾			
			-20°C		-45°C	
	Belly	Ham	Belly	Ham	Belly	Ham
Drip loss	4.69±0.05 ^d	7.22±0.26 ^c	3.74±0.06 ^e	9.12±0.33 ^b	9.89±0.20 ^a	8.72±0.03 ^b
Cooking loss	28.2±3.4 ^b	32.9±1.3 ^a	23.1±1.8 ^c	30.1±1.8 ^{ba}	30.4±1.9 ^{ba}	23.1±1.0 ^c
WHC ³⁾	60.7±3.6 ^a	59.9±1.9 ^a	59.1±0.8 ^a	57.7±0.8 ^a	59.2±0.8 ^a	57.3±0.8 ^a

^{a-e}Means within row with different superscripts are significantly different ($p<0.05$).¹⁾MRF: Magnetic resonance freezing.²⁾ABF: Air blast freezing.³⁾WHC: Water holding capacity.**Table 3. Drip loss, cooking loss and water holding capacity in chicken by freezing methods**

(Unit: %)

	MRF ¹⁾		ABF ²⁾			
			-20°C		-45°C	
	Breast	Leg	Breast	Leg	Breast	Leg
Drip loss	5.09±1.40 ^c	4.50±0.41 ^c	11.87±1.08 ^a	8.70±0.19 ^b	6.01±0.05 ^c	1.43±0.04 ^d
Cooking loss	16.7±1.0 ^d	25.2±1.0 ^c	37.5±0.8 ^a	34.0±1.8 ^b	33.8±0.9 ^b	27.2±1.4 ^c
WHC ³⁾	85.5±1.2 ^a	81.9±2.8 ^b	81.8±1.2 ^b	77.1±0.8 ^d	80.6±1.2 ^{cb}	78.2±0.8 ^{cd}

^{a-d}Means within row with different superscripts are significantly different ($p<0.05$).¹⁾MRF: Magnetic resonance freezing²⁾ABF: Air blast freezing.³⁾WHC: Water holding capacity.

0.05). 이와 같은 연구 결과는 Realini 등(2011)과 Serra 등(2007)의 지방함량이 높은 부위가 가열감량이 낮은 연구 결과와 일치하였다.

외부의 물리적 처리에 의해 수분을 보유하는 능력을 표시하는 보수력은 단백질 함량이 영향을 미치는 것으로 보고되고 있으며(Huff-Lonergan and Lonergan, 2005; Lui *et al.*, 2010; Winger and Fennema, 1976), 본 실험에서도 축종 및 부위별 분석 결과 다리(81.9%, 77.1% 및 78.2%)보다 단백질 함량이 높게 나타난 가슴(85.5%, 81.8% 및 80.6%)에서 높은 보수력이 나타났다($p<0.05$). 우육의 보수력을 부위 및 냉동 방법별로 분석한 결과를 Table 1에 나타내었으며, 등심은 전기자장 냉동법에서 60.7%, 송풍식(-20°C) 냉동법 58.4% 및 송풍식(-45°C) 냉동법 57.9%로 전기자장 냉동법에서 가장 높았고, 우둔도 전기자장 냉동법에서 61.9%, 송풍식(-20°C) 냉동법 59.3% 및 송풍식(-45°C) 냉동법 57.7%로 전기자장 냉동법이 가장 높았다($p<0.05$). 돈육의 보수력을 부위 및 냉동 방법별로 분석한 결과를 Table 2에 나타

내었으며, 삼겹은 전기자장 냉동법에서 60.7%, 송풍식(-20°C) 냉동법 59.1% 및 송풍식(-45°C) 냉동법 59.2%로 냉동 방법별 차이가 나타나지 않았고, 뒷다리도 전기자장 냉동법에서 59.9%, 송풍식(-20°C) 냉동법 57.7% 및 송풍식(-45°C) 냉동법 57.3%로 냉동 방법별 차이가 나타나지 않았다($p<0.05$). 계육의 보수력을 부위 및 냉동 방법별로 분석한 결과를 Table 3에 나타내었으며, 가슴은 전기자장 냉동법에서 85.5%, 송풍식(-20°C) 냉동법 81.8% 및 송풍식(-45°C) 냉동법 80.6%로 전기자장 냉동법이 가장 높았고, 다리도 전기자장 냉동법에서 81.9%, 송풍식(-20°C) 냉동법 77.1% 및 송풍식(-45°C) 냉동법 78.2%로 전기자장 냉동법이 가장 높았다($p<0.05$). 또한, 보수력 정도를 축종별로 분석한 결과 우육과 돈육에서는 차이가 나타나지 않았지만, 높은 단백질 함량을 나타낸 계육 가슴(23.4%, 24.1% 및 23.1%)에서 가장 보수력이 높았다($p<0.05$). 이것은 Moon 등(2001)의 단백질 함량이 높을수록 보수력이 높은 결과와도 일치하였다. 따라서 해동감량은 낮고 가열감량은 높은 경향이

나타났으며, 보수력은 가장 높게 나타난 전기자장 냉동법을 이용한 냉동육의 품질이 가장 좋을 것으로 판단되었다 ($p<0.05$).

일반성분

시료를 냉동방법, 축종 및 부위에 따라 냉동시킨 후 냉장 해동($4\pm1^\circ\text{C}$)하여 육의 일반성분을 분석한 결과는 Table 4~6과 같다. De Vol 등(1988)은 식육 조성이 식육의 품질에 영향을 미치는 요인 중 하나라고 보고하였다. 우육의 일반성분을 분석한 결과 회분을 제외한 조단백, 조지방 및 수분함량이 부위 및 냉동 방법별에 따라 유의적인 차이를 나타내었다($p<0.05$). 우둔의 수분함량은 전기자장 냉동법에서 71.9%, 송풍식(-20°C) 냉동법 70.1% 및 송풍식(-45°C) 냉동법 70.7%로 냉동 방법별 차이가 나타나지 않았지만 등심의 경우 전기자장 냉동법에서 67.1%, 송풍식(-20°C) 냉동법 64.1% 및 송풍식(-45°C) 냉동법 64.2%로 전기자장 냉동법

에서 가장 높았다($p<0.05$). 또한, 해동감량 및 가열감량의 결과에 영향을 미치는 지방함량은 등심(10.4%, 13.5% 및 13.5%)이 우둔(4.7%, 5.7% 및 5.7%)에 비해 약 2배 높았고 보수력의 결과에 영향을 미치는 단백질 함량은 우둔(21.9%, 22.2% 및 22.5%)이 등심(21.2%, 20.9% 및 20.2%)에 비해 높았다($p<0.05$). 돈육의 일반성분을 분석한 결과 삼겹의 수분함량은 전기자장 냉동법에서 54.8%, 송풍식(-20°C) 냉동법 53.9% 및 송풍식(-45°C) 냉동법 54.6%로 냉동 방법별 차이가 나타나지 않았지만 뒷다리에서는 전기자장 냉동법에서 62.1%, 송풍식(-20°C) 냉동법 67.1% 및 송풍식(-45°C) 냉동법 61.5%로 송풍식(-20°C) 냉동법에서 가장 높았다($p<0.05$). 또한, 지방함량은 삼겹(22.6%, 28.4% 및 25.4%)이 뒷다리(14.0%, 11.7% 및 17.7%)에 비해 약 2배 높았고 단백질 함량은 뒷다리(22.1%, 20.7% 및 19.0%)가 삼겹(20.8%, 16.2% 및 17.7%)에 비해 높았다($p<0.05$). 계육의 일반성분을 분석한 결과 가슴의 수분함량은 전기자장

Table 4. Proximate compositions in beef by freezing methods

(Unit: %)

	MRF ¹⁾		ABF ²⁾			
			-20°C		-45°C	
	Loin	Round	Loin	Round	Loin	Round
Moisture	67.1 $\pm$ 0.5 ^b	71.9 $\pm$ 2.3 ^a	64.1 $\pm$ 0.4 ^c	70.1 $\pm$ 0.6 ^a	64.2 $\pm$ 0.3 ^c	70.7 $\pm$ 0.1 ^a
Ash	1.24 $\pm$ 0.29 ^a	1.10 $\pm$ 0.21 ^{ba}	1.25 $\pm$ 0.16 ^a	1.10 $\pm$ 0.08 ^{ba}	0.63 $\pm$ 0.05 ^c	0.91 $\pm$ 0.05 ^{bc}
Crude protein	21.2 $\pm$ 0.6 ^{bdc}	21.9 $\pm$ 0.6 ^{bac}	20.9 $\pm$ 0.6 ^{dc}	22.2 $\pm$ 0.3 ^{ba}	20.2 $\pm$ 0.6 ^d	22.5 $\pm$ 0.7 ^a
Crude fat	10.4 $\pm$ 0.5 ^b	4.7 $\pm$ 0.4 ^d	13.5 $\pm$ 0.5 ^a	5.7 $\pm$ 0.3 ^c	13.5 $\pm$ 0.2 ^a	5.7 $\pm$ 0.4 ^c

^{a-d}Means within row with different superscripts are significantly different ($p<0.05$).

¹⁾MRF: Magnetic resonance freezing.

²⁾ABF: Air blast freezing.

Table 5. Proximate compositions in pork by freezing methods

(Unit: %)

	MRF ¹⁾		ABF ²⁾			
			-20°C		-45°C	
	Belly	Ham	Belly	Ham	Belly	Ham
Moisture	54.8 $\pm$ 3.2 ^c	62.1 $\pm$ 0.5 ^b	53.9 $\pm$ 0.8 ^c	67.1 $\pm$ 1.2 ^a	54.6 $\pm$ 1.4 ^c	61.5 $\pm$ 0.5 ^b
Ash	0.90 $\pm$ 0.09 ^a	0.71 $\pm$ 0.03 ^b	0.91 $\pm$ 0.06 ^a	0.69 $\pm$ 0.07 ^b	0.80 $\pm$ 0.07 ^{ba}	0.80 $\pm$ 0.06 ^{ba}
Crude protein	20.8 $\pm$ 0.5 ^b	22.1 $\pm$ 0.4 ^a	16.2 $\pm$ 0.2 ^c	20.7 $\pm$ 0.3 ^b	17.7 $\pm$ 0.6 ^d	19.0 $\pm$ 0.1 ^c
Crude fat	22.6 $\pm$ 0.8 ^c	14.0 $\pm$ 0.2 ^c	28.4 $\pm$ 0.5 ^a	11.7 $\pm$ 0.3 ^f	25.4 $\pm$ 0.6 ^b	17.7 $\pm$ 0.2 ^d

^{a-f}Means within row with different superscripts are significantly different ($p<0.05$).

¹⁾MRF: Magnetic resonance freezing.

²⁾ABF: Air blast freezing.

Table 6. Proximate compositions in chicken by freezing methods

(Unit: %)

	MRF ¹⁾		ABF ²⁾			
			-20°C		-45°C	
	Breast	Leg	Breast	Leg	Breast	Leg
Moisture	74.4 $\pm$ 0.1 ^a	74.3 $\pm$ 0.2 ^a	73.1 $\pm$ 0.6 ^b	73.7 $\pm$ 1.2 ^{ba}	73.0 $\pm$ 0.1 ^b	73.8 $\pm$ 0.5 ^{ba}
Ash	1.05 $\pm$ 0.27 ^{bac}	0.90 $\pm$ 0.02 ^{bc}	1.12 $\pm$ 0.10 ^{ba}	0.94 $\pm$ 0.16 ^{bc}	1.20 $\pm$ 0.02 ^a	0.81 $\pm$ 0.02 ^c
Crude protein	23.4 $\pm$ 0.4 ^a	17.3 $\pm$ 2.0 ^c	24.1 $\pm$ 0.2 ^a	18.7 $\pm$ 0.6 ^{cb}	23.1 $\pm$ 0.1 ^a	19.8 $\pm$ 1.0 ^b
Crude fat	1.0 $\pm$ 0.0 ^d	6.9 $\pm$ 0.0 ^a	0.9 $\pm$ 0.2 ^d	6.2 $\pm$ 0.5 ^b	0.9 $\pm$ 0.0 ^d	4.2 $\pm$ 0.2 ^c

^{a-d}Means within row with different superscripts are significantly different ($p<0.05$).

¹⁾MRF: Magnetic resonance freezing.

²⁾ABF: Air blast freezing.

냉동법에서 74.4%, 송풍식(-20°C) 냉동법 73.1% 및 송풍식(-45°C) 냉동법 73.0%로 전기자장 냉동법에서 가장 높았고 다리의 경우 전기자장 냉동법에서 74.3%, 송풍식(-20°C) 냉동법 73.7% 및 송풍식(-45°C) 냉동법 73.8%로 냉동 방법별 차이가 나타나지 않았다($p < 0.05$). 또한, 지방함량은 다리(6.9%, 6.2% 및 4.2%)가 가슴(1.0%, 0.9% 및 0.9%)에 비해 약 6배 높았고 단백질 함량은 가슴(23.4%, 24.1% 및 23.1%) 이 다리(17.3%, 18.7% 및 19.8%)에 비해 높았다($p < 0.05$). 이러한 결과는 수분함량이 높고 지방함량이 낮은 부위가 해동감량 실험 시 상대적으로 높은 드립량을 나타내는 것과 연관성이 있을 것으로 생각되며, 이는 Park 등(1999)이 연구한 지방함량이 육의 품질에 미치는 영향의 실험 결과와 유사하였다.

요 약

본 연구에서는 전기자장 및 송풍식 냉동 방법이 냉동 중 육의 온도 변화 및 해동 후의 이화학적 품질에 미치는 영향을 살펴보았다. 우육(등심 및 우둔), 돈육(삼겹 및 뒷다리) 및 계육(가슴 및 다리)을 구매하여 공시 재료로 사용하였으며 냉동은 전기자장 냉동법 및 송풍식 냉동법(-20°C, -45°C)의 세가지 방법을 사용하였다. 육의 이화학적 특성 변화를 분석하기 위하여 해동감량, 가열감량, 보수력 및 일 반성분 분석을 실시하였다. 냉동 중 육의 온도 변화 비교에서는 축종 및 부위에 관계없이 전기자장 냉동법(2 h)의 냉동 완료 시간이 -20°C 및 -45°C 송풍식 냉동법(24 h 및 8 h)보다 짧은 결과가 나타났다. 해동 후 품질 평가 결과에서 해동감량은 전기자장 냉동법을 이용한 우육 등심이 4.80%로 가장 낮았지만, 가열감량과 보수력에서는 43.7% 및 60.7%로 가장 높았다($p < 0.05$). 부위 및 냉동 방법에 따른 회분 함량에는 차이가 없었지만, 조단백, 조지방 및 수분함량은 유의적인 차이를 나타내었다($p < 0.05$). 지방함량은 전기자장 냉동법 우육의 등심과 우둔이 각각 10.4% 및 4.7%로 낮았지만, 수분함량은 67.1% 및 71.9%로 가장 높았다($p < 0.05$). 단백질 함량은 계육 가슴(23.4%, 24.1% 및 23.1%)에서 가장 높았으며, 보수력에 영향을 미쳤을 것으로 판단되었다. 본 실험 결과 전기자장 방법이 송풍식 방법보다 냉동 시간이 짧고 해동감량, 가열감량 및 보수력 실험에서 유의적으로 좋은 결과를 나타내어 식육의 품질을 떨어뜨리지 않을 것으로 기대할 수 있었으며, 축종 및 부위별 비교 결과 수분과 단백질 함량이 낮고 지방함량이 높은 부위일수록 드립이 적은 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. AOAC. (2005) Official methods of analysis. 18th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC. 39,

- pp. 1-24.
2. Akamittath, J. G., Brekke, C. J., and Schanus, E. G. (1990) Lipid oxidation and colour stability in restructured meat systems during frozen storage. *J. Food Sci.* **55**, 1513-1517.
3. Ambrosiadis, I., Theodorakakos, N., Georgakis, S., and Lekas, S. (1994) Influence of thawing methods on the quality of frozen meat and drip loss. *Fleischwirtschaft* **74**, 284-286.
4. Anese, M., Manzocco, L., Panozzo, A., Beraldo, P., Foschia, M., and Nicoli, M. C. (2012) Effect of radiofrequency assisted freezing on meat microstructure and quality. *Food Res. Int'l.* **46**, 50-54.
5. Anon, M. C. and Cavelo, A. (1980) Freezing rate effects on the drip loss of frozen beef. *Meat Sci.* **4**, 1-14.
6. Bevilacqua, A. E. and Zaritzky, N. E. (1980) Ice morphology in frozen beef. *J. Food Technol.* **15**, 589-597.
7. Bing, L. and Sun, D. W. (2002) Novel methods of rapid freezing and thawing of foods-A review. *J. Food Eng.* **54**, 175-182.
8. Carrol, R. J., Cavanaugh, J. R., and Rorer, F. P. (1981) Effects of frozen storage on the ultrastructure of bovine muscle. *J. Food Sci.* **46**, 1091-1094.
9. Chevalier, D., Sequerira-Munoz, A., Le Bail, A., Simpson, B. K., and Ghoul, M. (2001) Effect of freezing conditions and storage on ice crystal and drip volume in turbot (*Scophthalmus maximus*) evaluation of pressure shift freezing vs. air-blast freezing. *Innov. Food Sci. Emerg.* **1**, 193-201.
10. Delgado, A. E., Zheng, L., and Sun, D. W. (2009) Influence of ultrasound on freezing rate of immersion-frozen apple. *Food Bioprocess Technol.* **2**, 263-270.
11. De Vol, D. L., McKeith, F. K., Bechtel, P. J., Novakofski, J., Shanks, R. D., and Carr, T. R. (1988) Variation in composition and palatability traits and relationships bet muscle characteristics and palatability in a random sample of pork carcass. *J. Anim. Sci.* **66**, 385-395.
12. Farouk, M. M. and Swan, J. E. (1998) Effect of muscle condition before freezing and simulated chemical changes during frozen storage on the pH and colour of beef. *Meat Sci.* **50**, 245-256.
13. Farouk, M. M., Wieliczko, K. J., and Merts, I. (2003) Ultra-fast freezing and low storage temperatures are not necessary to maintain the functional properties of manufacturing beef. *Meat Sci.* **66**, 171-179.
14. Gonzalez-Sanguinetti, S., Anon, M. C., and Cavelo, A. (1985) Effect of thawing rate on the exudates production of frozen beef. *J. Food Sci.* **50**, 697-700.
15. Grujic, R., Petrovic, L., Pikula, B., and Amidzic, L. (1993) Definition of the optimum freezing rate. *Meat Sci.* **33**, 301-318.
16. Hamm, R. (1975) Water-holding capacity of meat. In: Meat. Cole, D. A., and Lawrie, R. A. (eds) The Worth Press, London, pp. 321-338.
17. Hanyu, Y., Ichikawa, M., and Matsumoto, G. (1992) An improved cryoflxation method: Cryoquenching of small tissue blocks during microwave irradiation. *J. Microsc.* **165**, 225-235.
18. Huff-Lonergan, E. and Lonergan, S. M. (2005) Mechanisms

- of water-holding capacity of meat: The role of *post mortem* biochemical and structural changes. *Meat Sci.* **71**, 194-204.
19. Iwasaka, M., Onishi, M., Kurita, S., and Owada, N. (2011) Effects of pulsed magnetic fields on the light scattering property of the freezing process of aqueous solutions. *J. Appl. Phys.* **109**, 07E320.
 20. Jeong, J. W., Lee, H. J., and Park, N. H. (1999) Changes in quality during frozen storage of meat with thermal equalized freezing. *Korean J. Food Sci. Technol.* **31**, 688-696.
 21. Kauffman, R. G., Eikelenboom, G., Vander Wal, P. G., Engel, B., and Zaar, M. (1986) A comparison of methods to estimate water holding capacity in post-rigor porcine muscle. *Meat Sci.* **18**, 307-322.
 22. Kim, C. J., Suck, S. J., Ko, W. S., and Lee, E. S. (1994) Studies on the cold and frozen storage for the production of high quality meat of Korean native cattle. II. Effect of cold and frozen storage on the drop, storage loss and cooking loss in Korean native cattle. *Korean J. Food Sci. An.* **14**, 155-162.
 23. Kim, D., Chang, Y. K., Park, K. H., and Lee, Y. C. (2000) Effects of sub-freezing systems on the freshness of pork loin, beef loin and tuna. *Korean J. Food Sci. Technol.* **32**, 341-348.
 24. Kim, Y. H., Yang, S. Y., and Lee, M. H. (1988) The effect of freezing rates on the physicochemical changes of beef during frozen storage at -20°C (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.* **20**, 447-452.
 25. Koh, B. K. (2002) Quality characteristics of wheat flour breads with the doughs frozen at the different freezing and storage conditions. *Korean J. Food Sci. Technol.* **34**, 413-418.
 26. Kong, J. Y. (1983) Food freezing technology. HyungSeul, Seoul, Korea, pp. 38-41.
 27. Lakshmisha, I. P., Ravishankar, C. N., Ninan, G., Mohan, C. O., and Gopal, T. K. S. (2008) Effect of freezing time on the quality of Indian mackerel (*Rastelliger kanagurta*) during frozen storage. *J. Food Sci.* **73**, S345-S353.
 28. Lagerstedt, A., Enfalt, L., Johansson, L., and Lundstrom, K. (2008) Effect of freezing on sensory quality, shear force and water loss in beef *M. longissimus dorsi*. *Meat Sci.* **80**, 457-461.
 29. LeBail, A., Chevalier, D., Mussa, D. M., and Ghoul, M. (2002) High pressure freezing and thawing of food: A review. *Int'l J. Refrigeration.* **25**, 504-513.
 30. Lee, Y. B. and Sung, S. K. (1996) Experiment analysis of meat and meat product. SunJin Munhwa Sa, Seoul, Korea, p.130
 31. Lui, Z., Xiong, Y., and Chen, J. (2010) Protein oxidation enhances hydration but suppresses water-holding capacity in porcine *longissimus* muscle. *J. Agric. Food Chem.* **58**, 10697-10704.
 32. Mancini, R. A. and Hunt, M. C. (2005) Current research in meat colour. *Meat Sci.* **71**, 100-121.
 33. Martino, M. N., Otero, L., Sanz, P. D., and Zaritzky, N. E. (1998) Size and location of ice crystals in pork frozen by high-pressure-assisted freezing as compared to classical methods. *Meat Sci.* **50**, 303-313.
 34. Mascheroni, R. H. (1985) Generalization of a method for the characterization of quick frozen beef. *Meat Sci.* **13**, 81-98.
 35. Moon, Y. H., Kim, Y. K., and Jung, I. C. (2001) Effect of aging and cooking temperature on physicochemical and sensory characteristics of pork neck. *J. Kor. Soc. Food Sci. Nutr.* **30**, 70-74.
 36. Ngapo, T. M., Babare, I. H., Reynolds, J., and Mawson, R. F. (1999) Freezing and thawing rate effects on drip loss from samples of pork. *Meat Sci.* **53**, 149-158.
 37. Noh, B. S., Kim, S. S., Jang, P. S., Lee, H. K., and Kim T. J. (2008) Food preservation. SooHakSa, Seoul, Korea, pp. 173-194.
 38. Park, B. Y., Yoo, Y. M., Kim, J. H., Cho, S. H., Kim, S. T., Lee, J. M., and Kim, Y. K. (1999) Effect of intramuscular fat contents on meat quality of pork loins. *Korean J. Anim. Sci.* **41**, 59-64.
 39. Park, J. S. and Choi, M. K. (2004) A Study on rheology of the rib-eye cooked by cooking method and cooking utensil. *Korean J. Human Ecol.* **7**, 21-31.
 40. Payne, S. R. and Young, O. A. (1995) Effect of pre-slaughter administration of antifreeze proteins on frozen meat quality. *Meat Sci.* **41**, 147-155.
 41. Reid, D. S. (1990) Optimizing the quality of frozen foods. *Food Technol.* **40**, 78-82.
 42. Realini, C. E., Guardia, M. D., Garriga, M., Perez-Juan, M., and Arnau, J. (2011) High pressure and freezing temperature effect on quality and microbial inactivation of cured pork carpaccio. *Meat Sci.* **88**, 542-547.
 43. SAS Institute, Inc. (2008) SAS/STAT Software for PC. Release 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
 44. Serra, X., Sarraga, C., Grebol, N., Guardia, M. D., Guerrero, L., and Gou, P. (2007) High pressure applied to frozen ham at different process stages. 1. Effect on the final physicochemical parameters and on the antioxidant and proteolytic enzyme activities of dry-cured ham. *Meat Sci.* **75**, 12-20.
 45. Sun, D. W. and Li, B. (2003) Microstructural change of potato tissue frozen by ultrasound-assisted immersion freezing. *J. Food Eng.* **57**, 337-345.
 46. Winger, R. T. and Fennema, O. (1976) Tenderness and water holding properties of beef muscle as influenced by freezing and subsequent storage at -3°C or 15°C. *J. Food Sci.* **41**, 1433-1442.
 47. Yang, J. B. and Ko, M. S. (2010) Physicochemical changes in pork boston butts by different cooking methods. *Kor. J. Food Preserv.* **17**, 351-357.
 48. Yoo, Y. M., Ahn, J. N., Cho, S. H., Park, B. Y., Lee, J. M., Kim, Y. K., and Park, H. K. (2002) Feeding effects of ginseng by product on characteristics of pork carcass and meat quality. *Korean J. Food Sci. An.* **22**, 337-342.
 49. Yu, X. L., Li, X. B., Zhao, L., Xu, X. L., Ma, H. J., Zhou, G. H., and Boles, J. A. (2010) Effects of different freezing rates and thawing rates on the manufacturing properties and structure of pork. *J. Muscle Food.* **21**, 177-196.