

## 한우육의 냉동 및 해동 조건에 따른 품질 변화

천호현<sup>1</sup> · 최은지<sup>1</sup> · 한애리<sup>1</sup> · 정영배<sup>1</sup> · 김진세<sup>2</sup> · 박석호<sup>2</sup>

<sup>1</sup>세계김치연구소 신공정발효연구단

<sup>2</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 수확후관리공학과

### Changes in Quality of Hanwoo Bottom Round under Different Freezing and Thawing Conditions

Ho Hyun Chun<sup>1</sup>, Eun Ji Choi<sup>1</sup>, Ae Ri Han<sup>1</sup>, Young Bae Chung<sup>1</sup>, Jin Se Kim<sup>2</sup>, and Suk Ho Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Advanced Process Technology and Fermentation Research Group, World Institute of Kimchi

<sup>2</sup>Postharvest Engineering Division, National Academy of Agricultural Science, RDA

**ABSTRACT** This study examined the effects of freezing and thawing conditions on quality of Hanwoo bottom round. The beef samples were frozen by air blast freezing at -20°C or ethanol immersion freezing at -70°C and then stored at -20°C for 10 days. After 10 days of storage, the frozen samples were thawed with air blast thawing at 4°C or water immersion thawing at 4°C and subjected to subsequent analyses of drip loss, water holding capacity, thiobarbituric acid reactive substance (TBARS), volatile basic nitrogen (VBN), total aerobic bacteria, and microstructure. Drip loss significantly increased in samples treated with air blast freezing compared to ethanol immersion freezing, whereas freezing and thawing processes had no significant impact on water holding capacity of the samples. Thawing conditions had a much stronger influence on the TBARS and VBN of the samples than freezing conditions. There was no significant difference in the population of total aerobic bacteria among the four samples subjected to one freeze-thaw cycle. In addition, to analyze the effects of freeze-thaw cycle on the quality of beef, three freeze-thaw cycles were performed during storage. Multiple freeze-thaw cycles increased drip loss, TBARS, and VBN and decreased water holding capacity, accelerating microstructural damage. These data indicate that Hanwoo bottom round can be rapidly frozen and thawed by using ethanol immersion freezing and water immersion thawing methods with minimal impact on meat quality.

**Key words:** Hanwoo bottom round, freezing, thawing, quality, microstructure

## 서 론

지난 30년간 한국은 경제성장과 함께 국민소득 수준 향상 및 육류 위주의 외식산업 발달로 축산물 수요가 지속해서 증가하였다(1,2). 특히 우육은 2014년 농림축산식품부에서 발표한 자료에 따르면 국민 1인당 연간 소비량이 2003년 8.1 kg에서 2013년 10.3 kg으로 약 1.3배 증가하면서 국민의 중요한 육류 급원이 되고 있다(3). 하지만 한미 FTA 체결 등 수입 규제 완화로 냉장 및 냉동 우육 수입량이 증가하고 있는 반면에 한우육은 구제역 등으로 인한 국내 공급량 부족으로 원활한 수급 조절이 어려운 상황이다(4,5).

육류는 수분, 단백질, 지방 등 함량이 높아 빠른 미생물 증식과 육표면의 산화로 쉽게 변패하기 때문에 장기간 냉장 저장할 수 없다(6). 이 때문에 주로 -20°C 이하의 빙결점

이하로 낮추어 동결 후 냉동 저장을 선택하게 되는데, 냉동육은 냉장육에 비해 저장기간 향상과 편리한 유통성의 장점이 있다(7,8). 또한 냉동 저장에서는 호냉성 세균을 제외한 대부분의 미생물 생육과 증식이 억제되어 육류의 신선도를 유지해 줄 수 있다. 한우육의 경우에도 도축 후 냉장상태로 유통하는 것이 일반적이지만 생산과 수요 불균형을 대비하고 계절상품용의 비축육 확보 등을 고려하여 냉동육으로 유통하는 경우가 있다(9).

식품의 냉동 방식은 동결과정 중 최대빙결정생성대를 통과하는 시간에 따라 급속 냉동과 완만 냉동으로 나눌 수 있다. 일반 가정에서는 -18~-20°C 냉동고에서 식품을 동결시키는 완만 냉동방법을 이용하고 있다. 완만 냉동은 냉동속도가 느려 육류 내 얼음결정 형성시간이 길어지므로 얼음결정에 의한 부피 증가로 조직이 물리적 손상을 입고 파괴되어 해동 시 많은 육즙 손실이 발생한다(10,11). 반면 급속 냉동은 최대빙결정형성대를 통과하는 시간이 매우 짧으므로 식품 내 형성되는 얼음결정 크기가 매우 작아 조직 손상을 감소시키고 품질 손상을 최소화할 수 있는 것으로 알려져

Received 16 October 2015; Accepted 23 December 2015

Corresponding author: Ho Hyun Chun, Advanced Process Technology and Fermentation Research Group, World Institute of Kimchi, Gwangju 61755, Korea  
E-mail: hhchun@wikim.re.kr, Phone: +82-62-610-1761

다(12). 특히 단백질의 동결 변성은 최대빙결정생성대의 온도 범위에서 발생하기 쉬우므로 동결 시 최대빙결정생성대는 냉동육의 품질을 좌우할 수 있는 중요한 요소이다(8,10).

산업적으로 가장 많이 사용되는 송풍식 냉동(air blast freezing) 방법은 냉기에 2~5 m/s 유속을 주어 공기와 시료 간에 열전달 계수를 크게 하여 빠르게 냉동시키는 방법이다(13). 한편 낮은 어는점을 가진 에탄올, 액체질소, dry ice 등을 이용한 침지식 냉동방법은 종전의 급속 냉동보다 약 10배 이상의 빠른 동결속도를 얻을 수 있지만, 액체질소 또는 dry ice는 동결처리 후 회수가 불가능하여 경제적인 효율성이 낮은 단점이 있다(14).

냉동육을 이용하여 가공식품을 제조하거나 음식점 또는 가정에서 조리 시 해동과정이 필수적이나 냉동과 비교하여 해동의 기술 발전은 미흡하였을 뿐만 아니라 해동의 중요성도 충분히 인식되지 못하였다(15). 하지만 적절한 해동 여부는 식품의 품질에 커다란 영향을 미치며 해동시간 등 경제적인 면에도 직접적인 관계가 있으므로 중요한 의미를 지닌다.

공기해동법은 동결식품 형태와 관계없이 쉽게 적용할 수 있는 장점이 있지만 물보다 공기의 열전도도가 매우 낮으므로 해동시간이 길어 해동 중 산화, 미생물 성장 및 교차오염이 발생할 수 있는 우려가 있다(16). 또한 해동과정이나 저장 또는 유통 중 비의도적으로 발생하는 냉동-해동 반복에 따라 냉동육은 변색, 지방산패, drip 유출, 보수력 감소, 수분 증발 등으로 인한 영양학적 손실 및 품질 저하가 발생한다(17). 따라서 적절한 냉동과 해동 기술을 이용하면 냉동육 가공공정에 소요되는 시간과 노력이 절감되고 해동 중 미생물 성장과 지방산화 등에 의해 발생하는 품질 저하가 방지되며, 시장 수요에 맞추어 적시에 적절한 양을 공급할 수 있는 장점이 있게 된다(18).

국내에서는 ohmic 해동(15), 마이크로웨이브 가열 해동(18), 초고압 해동(19) 등 급속 해동 대한 연구들이 진행됐지만 현재 식품산업 현장에서 냉동 원료육 가공을 위한 해동 시 불균일한 가열과 가압에 의한 근원섬유단백질 변성, 경색성 등 이유로 유수식 해동과 송풍식 해동 등 재래식 해동방법이 가장 많이 활용되고 있다. 한편 우육의 등심과 안심 부위의 냉동처리에 따른 품질 변화(20), 동결온도가 해동 후 숙성한 우육 등심의 품질에 미치는 영향(21) 등 한우의 대표적인 선호 부위에 대한 냉동 및 해동 관련 연구는 수행됐지만 선호도가 떨어지는 설도 부위에 관한 연구는 미흡하다.

따라서 본 연구에서는 강제 송풍식과 에탄올 침지식 냉동방법과 저온 송풍식과 저온 유수식 해동방법을 각각 조합하고 저장 중 냉동-해동 반복 처리에 따른 설도 부위 한우육의 이화학적 및 미생물학적 품질에 미치는 영향을 조사하여 그 결과를 보고하는 바이다.

## 재료 및 방법

### 실험 재료

본 실험에서 사용한 시료는 한우(*Bos taurus coreanae*, 약 30개월령, ♀, 1등급)를 도축 후 4°C에서 약 24시간 동안 냉장된 상태의 설도 부위를 전분 식육점에서 구입하였다. 멸균 처리한 칼을 이용하여 약 100 mm×100 mm×20 mm 크기로 절단한 후 low density polyethylene(LDPE) film bag에 넣고 진공포장기(FR-B100WB, CSE Co., Siheung, Korea)를 이용하여 냉동방법과 해동방법에 따라서 각각 개별적으로 진공포장 하였다. 포장 후 4°C에 도달하도록 예비 냉각된 시료를 실험에 사용하였다.

### 일반성분 분석

시료의 일반성분은 AOAC법(22)에 의하여 분석하였다. 수분 함량은 105°C 상압건조법, 조지방 함량은 Soxhlet 추출법으로 측정하였다. 조단백질 함량은 micro-Kjeldahl법, 회분 함량은 시료를 550°C에서 직접회화법을 이용하여 측정하였다. 총 당질 함량은 위의 측정치를 합한 값을 100에서 뺀 값으로 하였다.

### 냉동 및 해동 처리

냉동은 Rodezno 등(23)과 Liang 등(24)의 방법을 참고하여 강제 송풍식 냉동과 에탄올 침지식 냉동으로 각각 나누어 진행하였다. 송풍식 냉동은 -20°C freezer(송풍속도 2.5~3.5 m/s)에서, 침지식 냉동은 deep freezer 내부에 -70°C ethanol 용액이 담긴 stainless steel container에서 각각 처리하였으며, 한우육 시료의 중심부에 K-type thermocouple(DTM-319, Tecpel Co., Taipei, Taiwan)을 장착하여 중심부 온도가 -20°C에 도달하는 때를 냉동완료 시점으로 하였다. 냉동속도는 중심부 온도가 4°C에서 -20°C가 될 때까지 분당 감소되는 온도(°C/min)로 나타났다. 냉동이 완료된 시료는 -20°C 냉동 저장고로 옮겨 10일 동안 저장하였다.

저장 후 시료의 해동은 저온 송풍식과 저온 유수식 해동방법을 각각 이용하였다. 송풍식 해동은 4°C 항온항습 incubator(송풍속도 1.2~1.5 m/s)에서, 유수식 해동은 수온이 4°C로 유지된 water bath에서 각각 처리하였으며, 시료의 중심부 온도가 1°C에 도달하는 때를 해동완료 시점으로 하였다(16,17). 해동속도는 시료 중심부 온도가 -20°C에서 1°C가 될 때까지 분당 증가하는 온도(°C/min)로 나타났다. 냉동-해동 3반복 처리는 저장 3일차와 6일차에 냉동 저장된 시료를 송풍식과 유수식 해동방법으로 각각 처리 후 다시 송풍식 냉동과 침지식 냉동방법으로 처리가 완료되면 -20°C 냉동 저장고로 시료를 옮겨 저장하였다. 냉동과 해동 처리를 하지 않은 신선 한우육 시료를 대조군으로 하여 비교하였다.

### 드립 감량 및 보수력 측정

드립 감량(drip loss)은 포장 전 시료 무게와 해동 후 포장을 개봉하여 시료 표면의 수분을 제거한 시료의 무게를 측정하여 백분율(%)로 나타내었다. 보수력(water holding capacity)은 원심분리법을 이용하여 측정하였다(8). Amicon ultra centrifugal filter(Ultracel-100K, Merck Millipore Ltd., Cork, Ireland)에 세절된 시료 3 g을 정확히 취한 후 70°C water bath에서 30분 가열하였다. 실온에서 10분간 방랭 후 20°C에서 10,000 rpm으로 10분간 원심분리 하여 분리된 육즙량과 시료의 총 수분량을 측정하여 백분율(%)로 나타내었다.

### TBARS와 휘발성 염기질소 함량 측정

시료의 지방산패를 측정하는 thiobarbituric acid reactive substance(TBARS) 함량은 Ahn 등(25)의 방법에 의하여 측정하였다. 시료 1 g을 취하여 증류수 15 mL를 첨가하고 균질화시킨 후 여과하였다. 여과된 시료 1 mL에 thiobarbituric acid(TBA)/ trichloroacetic acid(TCA) 2 mL와 2% butylated hydroxy toluene(BHT) 3 mL를 첨가하여 100°C의 boiling water bath에서 15분간 끓인 후 상등액을 취해 UV-visible spectrophotometer(UV-1800, Shimadzu Scientific Instruments Inc., Columbia, MD, USA)를 이용하여 532 nm에서 흡광도를 측정하였다. TBARS 함량은 시료 kg당 malonaldehyde(MDA) mg으로 나타내어 표시하였다.

단백질의 변패를 측정하는 휘발성 염기질소 함량은 Conway 미량 확산법을 이용하여 측정하였다(26). 시료 10 g에 증류수 90 mL를 가하여 균질화한 후 30분간 원심분리 하여 그 상등액을 여과지(Whatman No. 1, Fisher Scientific Inc., Fair Lawn, NJ, USA)를 이용하여 여과한 여과액을 시험용액으로 하였다. 시험용액 1 mL를 Conway unit 외실에 넣고 0.01 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액 1 mL를 확산기의 내실에 넣은 후 뚜껑을 덮고 37°C에서 120분 반응시켰다. 반응 후 내실에 Conway reagent(0.07% methyl red/0.07% bromocresol green)를 1~2방울 적하하고 0.01 N NaOH를 이용해 적정하여 휘발성 염기질소 함량을 측정하였다. 공시험은 시료 대신 20% TCA 용액을 사용하였다.

### 총 호기성 세균수 측정

총 호기성 세균수를 측정하기 위해 laminar flow hood에서 무균적으로 채취한 시료 20 g과 0.1% 멸균 펩톤수 180 mL를 멸균 stomacher bag에 넣은 후 stomacher(Bag-mixer R400, Interscience Inc., Saint-Nom-la-Bretèche, France)를 이용해 3분간 균질화시켰다. 균질화된 용액을 0.1% 멸균 펩톤수를 이용하여 10배수 연속 희석한 후 희석액 1 mL를 3M Petrifilm™ Aerobic Count Plate(Petrifilm AC, 3M Co., St. Paul, MN, USA)에 분주한 다음 37°C에서 48시간 배양하였다. 배양 후 액화 현상이 없고

배지당 30~300개 집락을 생성한 평판을 선택하여 총 호기성 세균이 생성된 붉은 집락수를 계수하였다. 검출된 총 호기성 세균수는 시료 g당 colony forming unit(CFU)으로 나타내었다.

### 미세구조 분석

근육조직의 미세구조를 관찰하기 위한 광학현미경의 표본제작은 우육을 근섬유 배열방향에 대하여 직각방향으로 10 mm×10 mm 크기로 세절하여 10% formalin 용액에 시료를 넣고 48시간 고정된 후 파라핀 블록을 제작하였다. 4 μm로 박질하여 슬라이드에 부착한 후 Hematoxylin & Eosin 자동 염색장치(Tissue-TeK Prisma E2, Sakura Finetek USA Inc., Torrance, CA, USA)를 이용하여 xy-lene과 순차적 농도의 에탄올에서 탈파라핀화 및 재함수 과정을 거쳤다. Harris's hematoxylin 용액에 옮겨 10분간 핵을 염색한 후 흐르는 물에 수세하고 1% HCl 용액으로 3회 침적한 다음 충분히 수세하여 0.5% ammonium 용액으로 청색화하였다. 세포질을 염색하기 위해 eosin 용액에 6회 침적하고 ethanol을 이용한 탈수과정을 수행하였다. 이후 Canada balsam으로 봉입하고 광학현미경(Pannoramic MIDI, 3DHISTECH Co., Budapest, Hungary)으로 검경하였다.

### 통계처리

모든 실험은 3회 반복하여 측정하였으며, 그 결과는 평균 값±표준편차로 나타내었다. 통계적 분석은 SPSS software package(Statistical Package for the Social Science, ver 19, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 각 처리구 간의 유의성( $P<0.05$ ) 검증을 위해 분산분석(analysis of variance, ANOVA) 후 Duncan's multiple range test로 다중비교를 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 한우 설도의 일반성분과 냉동 및 해동 곡선

한우 설도의 영양학적 특성을 분석하기 위해 수분, 조단백질, 조지방, 회분과 탄수화물 함량을 측정하여 Table 1에 나타냈다. 일반성분 중 수분 함량이 68.85%로 가장 높았으며, 조단백질 21.48%, 조지방 7.43% 순으로 나타났다. Moon

**Table 1.** Chemical composition on fresh Hanwoo bottom round by proximate analysis

Chemical component	Value (%)
Moisture	68.85±0.70 <sup>1)</sup>
Crude fat	7.43±2.30
Crude protein	21.48±1.32
Ash	0.98±0.09
Carbohydrate	1.27±0.13

<sup>1)</sup>Each value is mean±SD.

(27)은 한우육 등심 부위가 조단백질 17%와 조지방 14%로 구성되고 있다고 보고하였는데, 본 연구에서 사용한 설도 부위와 비교하여 등심 부위가 약 7% 조지방 함량이 높은 것으로 판단된다. Hwang 등(28)은 한우에 대한 소비자 구매특성 분석 결과 등심(43.5%), 갈비(22.9%), 안심(10.5%), 양지(9.9%) 순으로 선호하는 것으로 나타났고, 채끝·설도(2.5%)가 가장 낮은 선호도를 보였다고 보고하였다. 일반적으로 가정에서 자주 구매하는 우육의 등심이나 안심은 냉장 상태로 구입 후 구이용으로 사용되지만, 설도 부위처럼 단백질 함량이 높고 지방 함량이 낮은 부위는 주로 냉동 저장 후 해동시켜 육포, 육회, 장조림 등에 활용되기 때문에 적절한 냉동 및 해동 처리가 필요할 것으로 생각한다(29).

한우 설도 시료의 냉동 및 해동 방법에 따른 냉동 곡선과 해동 곡선은 Fig. 1에 나타내었다. 냉동은 시료의 중심온도가 -20°C에 도달하였을 때를 완료로 하였는데 송풍식 냉동 방법은 냉동이 완료되는 데 약 800분이 소요되었다(Fig. 1 A). 반면 침지식 냉동방법은 8분에 냉동이 신속히 완료되는 결과를 보여 송풍식 냉동과 비교하여 냉동에 소요되는 시간을 약 1/100 수준으로 감축시키는 것으로 나타났다. 최대빙결정생성대를 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(30,31). 본 연구 결과 최대빙결정생성대인 -1~-5°C 구간을 통과하는 시간은 송풍식 냉동이 약 150분으로 침지식 냉동의 약 1.5분과 비교하여 큰 차이를 보였다. 또한 송풍식 냉동은 0.029°C/min 냉동속도로 시료를 완만 동결시킨 것과 비교하여 침지식 냉동 곡선은 상변이 구간이 거의 존재하지 않았으며 3.106°C/min 냉동속도로 시료를 급속 동결시키는 효과를 나타냈다(Table 2). 따라서 송풍식 냉동과 비교하여 에탄올 침지식 냉동은 높은 표면 전열계수에 의한 급속 동결과 모양이 일정하지 않은 포장식품 동결이 가능하므로 식품산업 현장에서 경제적으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

해동은 시료의 중심온도가 1°C에 도달하였을 때를 완료로 하였는데 송풍식 해동은 완만하게 시료를 해동시켜 해동 완료에 약 350분이 소요됐지만 유수식 해동은 약 70분으로 급속하게 해동이 완료되는 효과를 나타냈다(Fig. 1B). 또한 송풍식 해동과 유수식 해동의 해동속도는 각각 0.059와 0.288°C/min으로 유수식 해동이 송풍식 해동과 비교하여 해동에 소요되는 시간을 약 1/5 수준으로 단축할 수 있는 것으로 나타났다(Table 2). 송풍식과 유수식 해동 시 해동온도(4°C)는 같았지만 해동방법에 따라 해동속도 차이를 보이는 것은 공기보다 흐르는 물의 열전도도가 높기 때문으로 생각한다.

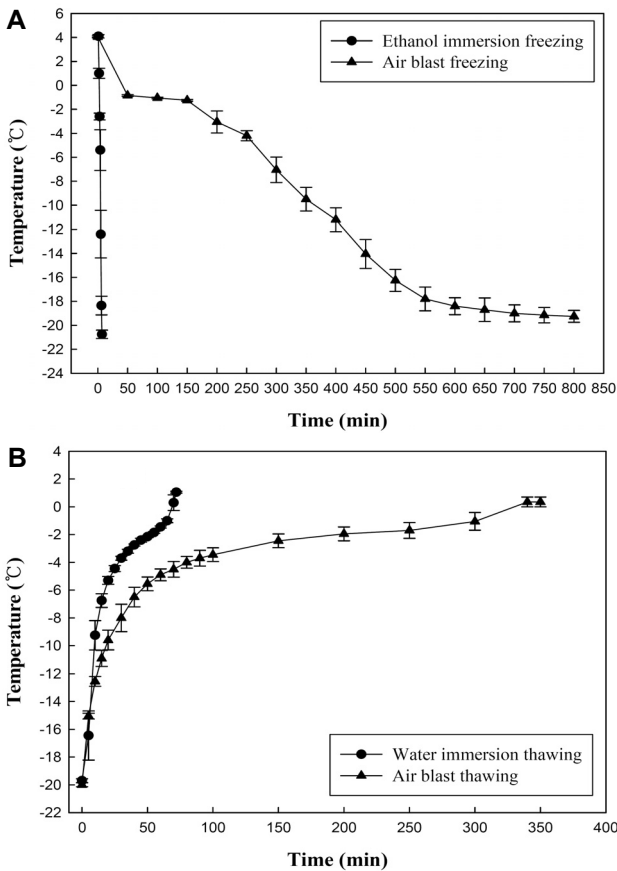


Fig. 1. Time-temperature curves of Hanwoo bottom round according to freezing (A) and thawing (B) treatments.

**냉동 및 해동 처리에 따른 드립 감량 및 보수력 변화**

해동은 동결식품 내에 형성된 빙결정이 수분으로 변환시키는 공정으로 이때 녹은 물이 동결 전과 같이 식품의 조직 내로 다시 흡수되지 않고 분리되어 드립이 발생한다(6,13, 16). 냉동 및 해동 방법을 달리한 한우 설도 시료의 드립 감량의 변화는 Table 3과 같다. 송풍식 냉동 처리된 시료는 송풍식 해동과 유수식 해동에 의한 드립 감량이 각각 4.02와 4.54%였으며, 침지식 냉동 처리된 시료는 송풍식 해동과 유수식 해동으로 발생한 드립 감량이 2.59와 2.09%로 각각 나타났다. 저장 중 송풍식 냉동-송풍식 해동, 침지식 냉동-송풍식 해동과 침지식 냉동-유수식 해동 조합으로 냉동-해동 3반복 처리된 시료는 각각 6.98, 3.46과 4.28%의 드립 감량을 나타냈다. 특히 송풍식 냉동-유수식 해동은 냉동-해동 3반복 처리로 11.67%의 가장 높은 드립 감량을 보였다. 동결에 의한 육류의 품질 저하는 육류에 형성되는 얼음결정수, 얼음결정 크기와 형성 위치 등에 기인한다(30). 또한 냉

Table 2. Freezing and thawing rates of Hanwoo bottom round treated with different freezing and thawing conditions

Treatment	Freezing rate (°C/min)	Thawing rate (°C/min)
Air blast freezing	0.029±0.001 <sup>1)</sup>	-
Ethanol immersion freezing	3.106±0.019	-
Air blast thawing	-	0.059±0.001
Water immersion thawing	-	0.288±0.002

<sup>1)</sup>Each value is mean±SD.

**Table 3.** Change in drip loss and water holding capacity of Hanwoo bottom round treated with different freezing and thawing conditions

Parameter	Control (before freezing)	Treatment							
		Air blast freezing				Ethanol immersion freezing			
		Air blast thawing		Water immersion thawing		Air blast thawing		Water immersion thawing	
		1 <sup>1)</sup>	3	1	3	1	3	1	3
Drip loss (%)	—	4.02± 0.19 <sup>cd2)3)</sup>	6.98± 2.35 <sup>b</sup>	4.54± 0.19 <sup>c</sup>	11.67± 0.54 <sup>a</sup>	2.59± 0.10 <sup>cd</sup>	3.46± 1.13 <sup>cd</sup>	2.09± 0.09 <sup>d</sup>	4.28± 1.30 <sup>e</sup>
Water holding capacity (%)	69.09± 0.23 <sup>a</sup>	65.51± 1.04 <sup>b</sup>	56.95± 1.61 <sup>cd</sup>	64.40± 0.87 <sup>b</sup>	55.37± 1.60 <sup>de</sup>	65.06± 0.52 <sup>b</sup>	53.98± 0.32 <sup>e</sup>	66.05± 0.79 <sup>b</sup>	57.66± 0.33 <sup>e</sup>

<sup>1)</sup>Freeze-thaw cycle.

<sup>2)</sup>Each value is mean±SD.

<sup>3)</sup>Means in the same row (a-e) followed by different letters are significantly different according to Duncan's multiple range test ( $P<0.05$ ).

동육의 해동 중 발생하는 드립 감량은 동결 시 세포의 손상 정도에 따라 다르게 나타나는데 일반적으로 완만 동결 때문에 세포 손상을 많이 받으면 드립 감량이 증가하는 것으로 보고되고 있다(31,32). Eastridge와 Bowker(33)는 숙성된 우육 채끝 등심(미국산)을  $-23^{\circ}\text{C}$ 에서 6개월간 저장 후  $4^{\circ}\text{C}$  냉장 해동(18~20시간),  $4^{\circ}\text{C}$  유수식 해동(20분)과  $20^{\circ}\text{C}$  유수식 해동(11분)으로 각각 처리했을 때 냉장 해동 처리구의 드립 감량은 3.9%로 유수식 해동 처리구의 3.0과 3.3%에 비해 높은 발생량을 나타냈다고 보고하였다. Kim 등(34)은 숙성 및 동결 처리된 우육 등심(뉴질랜드산)을 2주간 냉동 저장 후 송풍식 해동( $3^{\circ}\text{C}$ , 0.25 m/s) 처리한 결과 숙성 처리하지 않은  $-18^{\circ}\text{C}$  송풍식 완만 냉동 처리구의 드립 감량은 7.5%지만 3주와 4주 숙성 후  $-18^{\circ}\text{C}$  calcium chloride 침지식 급속 냉동 처리된 우육은 각각 6.3과 5.3%의 낮은 드립 감량을 보였다고 보고하였다. 따라서 기존의 결과와 비교하여 본 연구에서의 냉동 한우 설도 시료의 해동 후 드립 감량이 차이를 보이는 것은 냉동육 부위, 냉동 전 숙성시기, 냉동 및 해동 방법, 저장기간, 저장 중 온도 변화 때문에 발생하는 얼음 재결정화 등과 관련 있는 것으로 판단된다.

육류의 보수력은 가열, 분쇄, 압착 또는 냉동 등 물리적인 외부의 힘이 작용하였을 때 자체의 수분 또는 첨가된 수분을 보유하는 능력이다(35,36). 냉동 및 해동 방법에 따른 한우육 시료의 보수력 변화를 분석한 결과는 Table 3에 나타났다. 냉동 전 신선 한우육(대조구)의 보수력은 69.09%였으며 냉동과 해동 처리로 시료의 보수력은 64.40~66.05%로 감소하였지만, 냉동과 해동 방법에 따른 유의적 차이는 보이지 않았다( $P<0.05$ ). 반면 저장 중 냉동-해동 3반복 처리된 시료의 보수력은 53.98~57.66%로 냉동-해동 1반복 처리구와 비교하여 8.39~11.08%의 차이를 나타냈다. 따라서 한우육의 냉동과 해동 처리에 따른 보수력 변화는 냉동 및 해동 방법보다 냉동-해동 반복에 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

Moon(27)은 돈육의 부위별 보수력 차이가 있으며 냉동육은 근원섬유 내에 빙결정이 형성되어 미오신 구조가 파괴

되고 단백질 변성으로 보수력이 감소한다고 보고하였다. Lee 등(18)은 냉동 돈육을 열전도에 의한  $4^{\circ}\text{C}$ (저온),  $28^{\circ}\text{C}$ (상온)와  $50^{\circ}\text{C}$ (오븐) 해동 시 해동온도가 높을수록 보수력이 65.0%까지 감소하였으며, 특히 2,450 MHz 마이크로웨이브 가열 해동은 표면 가열에 의한 단백질 변성으로 보수력이 61.3%로 가장 낮은 값을 보였다고 보고하였다. 따라서 냉동육의 저장과 유통 중 불필요한 냉동-해동 반복을 억제하고 해동 과정에서 저온을 유지하는 것이 미생물학적 안전성 확보와 고품질 유지에 효과적인 것으로 판단된다.

#### 냉동 및 해동 처리에 따른 TBARS 및 휘발성 염기질소 함량 변화

냉동 및 해동 처리가 한우 설도의 산패도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 TBARS와 휘발성 염기질소 함량을 측정하고 그 결과를 Table 4에 나타내었다. TBARS 값은 지방산화에 의해 발생하는 malonaldehyde와 thiobarbituric acid가 반응하여 생성되는 복합체 양을 측정하는 방법으로 육제품 중에 지방이 산패되면 malonaldehyde가 생성되어 산패취를 발생하기 때문에 신선도 판정 기준에 이용되고 있다(2,7). 대조구인 신선 한우 설도의 TBARS 값은 0.78 mg MDA/kg을 나타냈다. 송풍식 냉동-송풍식 해동과 침지식 냉동-송풍식 해동으로 조합된 처리구는 각각 1.12와 1.18 mg MDA/kg으로 송풍식 냉동-유수식 해동 처리구와 침지식 냉동-유수식 해동 처리구의 0.82와 0.77 mg MDA/kg과 비교하여 해동방법에 따라 유의적인( $P<0.05$ ) 차이를 보였다. 또한 냉동-해동 3반복 처리구의 TBARS 값은 2.23~3.90 mg MDA/kg으로 냉동-해동 반복으로 TBARS 값이 증가하였는데, 닭 가슴살의 냉동 저장 중 냉동( $-20^{\circ}\text{C}$ )-해동( $4^{\circ}\text{C}$ ) 반복이 증가함에 따라 TBARS 값이 증가한다는 Ali 등(37)의 연구보고와 유사한 경향을 나타냈다.

냉동과 해동에 따른 한우 설도의 휘발성 염기질소 함량 변화는 TBARS 결과와 유사하였다. 대조구의 휘발성 염기질소 함량은 9.05 mg/100 g을 나타내어 Shin 등(38)의 도축 24시간 후 한우육의 휘발성 염기질소 함량이 10 mg%

**Table 4.** Change in the value of TBARS and VBN of Hanwoo bottom round treated with different freezing and thawing conditions

Parameter	Control (before freezing)	Treatment							
		Air blast freezing				Ethanol immersion freezing			
		Air blast thawing		Water immersion thawing		Air blast thawing		Water immersion thawing	
		1 <sup>1)</sup>	3	1	3	1	3	1	3
TBARS (mg MDA/kg)	0.78± 0.14 <sup>(2)3)</sup>	1.12± 0.13 <sup>e</sup>	3.04± 0.18 <sup>c</sup>	0.82± 0.14 <sup>f</sup>	2.23± 0.18 <sup>d</sup>	1.18± 0.02 <sup>e</sup>	3.90± 0.06 <sup>a</sup>	0.77± 0.11 <sup>f</sup>	3.40± 0.08 <sup>b</sup>
VBN (mg/100 g)	9.05± 0.08 <sup>f</sup>	14.35± 0.73 <sup>c</sup>	17.36± 0.50 <sup>b</sup>	12.88± 1.22 <sup>d</sup>	19.74± 0.28 <sup>a</sup>	15.54± 1.19 <sup>c</sup>	19.65± 0.63 <sup>a</sup>	11.06± 0.45 <sup>e</sup>	20.58± 1.34 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>Freeze-thaw cycle.

<sup>2)</sup>Each value is mean±SD.

<sup>3)</sup>Means in the same row (a-f) followed by different letters are significantly different according to Duncan's multiple range test ( $P<0.05$ ).

이하였다는 보고와 일치하였다. 송풍식 냉동-송풍식 해동과 침지식 냉동-송풍식 해동 처리구의 휘발성 염기질소 함량은 각각 14.35와 15.54 mg/100 g으로 송풍식 냉동-유수식 해동 처리구와 침지식 냉동-유수식 해동 처리구의 12.88과 11.06 mg/100 g과 유의적인( $P<0.05$ ) 차이를 나타냈다 (Table 4). 저장 중 냉동-해동 3반복으로 모든 처리구에서의 휘발성 염기질소 함량은 증가하였는데, 특히 침지식 냉동-유수식 해동 처리구의 휘발성 염기질소 함량은 20.58 mg/100 g에 도달하였다. Jeong 등(29)은 육류의 근육단백질이 아미노산과 여러 무기태 질소로 분해되는데 이는 단백질 가수분해에 따른 아미노산으로부터 암모니아질소나 트리메틸아민 등의 휘발성 아민류를 생성한다고 보고하였다. 식품공전에서 원료육과 포장육의 휘발성 염기질소 함량은 20 mg/100 g 이하로 규정하고 있으며 초기 부패 시에는 30~40 mg/100 g까지 증가하는 것으로 알려졌다. 따라서 장시간 저온 해동이나 저장 중 냉동-해동 반복은 우육의 산패도를 높일 수 있으므로 주의해야 할 필요가 있다.

**냉동 및 해동 처리에 따른 총 호기성 세균수 변화**

냉동육의 해동 시 미생물 수의 변화는 식품 안전성 측면에서 매우 중요한 요소이다(32). 한우 설도의 냉동 및 해동 방법에 따른 총 호기성 세균수 변화를 측정한 결과는 Table 5에 나타났다. 대조구의 총 호기성 세균수는 4.19 log CFU/

g이었으며 냉동방법과 해동방법이 조합되어 냉동-해동 1반복 처리된 시료는 4.45~4.74 log CFU/g으로 대조구에 비해 총 호기성 세균수가 0.26~0.55 log CFU/g 증가한 것으로 나타났다. 반면 저장 중 냉동 및 해동 3반복 처리로 총 호기성 세균수는 2.90~3.41 log CFU/g으로 감소하였다. Yamamoto와 Harris(39)는 -20°C 냉동과 23°C 해동의 조합으로 apple juice에 냉동-해동 반복처리가 증가함에 따라 *Escherichia coli* O157:H7 생존율이 감소한다고 보고하여 본 연구 결과와 유사한 경향을 보였다. Haughton 등(40)은 -30°C air blast freezer에서 계육을 crust freezing 처리한 결과 *Campylobacter jejuni* 수가 약 0.7 log CFU/g까지 감소했다고 보고하였다. 한편 Speck와 Ray(41)는 해동 시 육류에 존재하는 미생물이 농축된 세포 외액에 노출되거나 삼투압 차에 의해 탈수되어 세포 손상 및 사멸되지만 적절한 온도와 영양이 주어지면 reactivation 되어 증식된다고 보고하였다. 이러한 결과는 냉동 및 해동 처리에 따른 식품에 미생물 수의 변화는 냉동과 해동 방법, 처리온도, 미생물 종류에 따라 차이가 있음을 보여준다. FDA에서는 육류의 해동 시 냉장 해동이나 저온 유수식 해동을 권장하고 있으며 해동식품의 온도가 약 7°C를 초과하지 않아야 한다고 규정하고 있다(7). 따라서 해동 중 미생물 증식억제를 위해 부피가 큰 냉동육을 실온에서 장기간 해동하거나 온수를 이용하여 해동하는 것은 바람직하지 않을 것으로 보인다.

**Table 5.** Change in the population of total aerobic bacteria of Hanwoo bottom round treated with different freezing and thawing conditions

Parameter	Control (before freezing)	Treatment							
		Air blast freezing				Ethanol immersion freezing			
		Air blast thawing		Water immersion thawing		Air blast thawing		Water immersion thawing	
		1 <sup>1)</sup>	3	1	3	1	3	1	3
Total aerobic bacteria count (log CFU/g)	4.19± 0.18 <sup>(2)3)</sup>	4.74± 0.15 <sup>a</sup>	2.90± 0.16 <sup>f</sup>	4.45± 0.12 <sup>bc</sup>	3.02± 0.09 <sup>ef</sup>	4.50± 0.16 <sup>ab</sup>	3.19± 0.02 <sup>dc</sup>	4.45± 0.24 <sup>bc</sup>	3.41± 0.04 <sup>d</sup>

<sup>1)</sup>Freeze-thaw cycle.

<sup>2)</sup>Each value is mean±SD.

<sup>3)</sup>Means in the same row (a-f) followed by different letters are significantly different according to Duncan's multiple range test ( $P<0.05$ ).

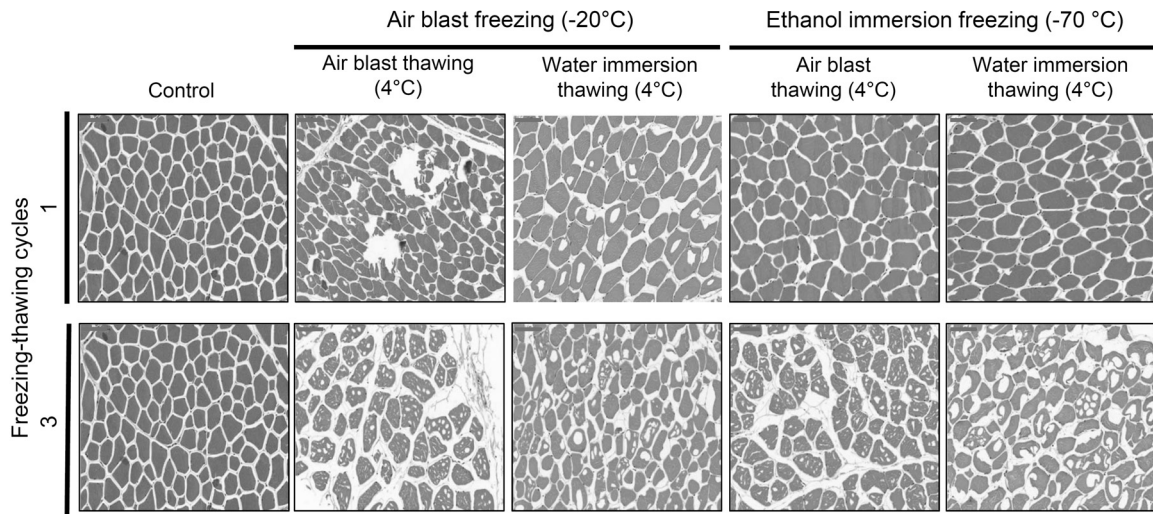


Fig. 2. Light microscope images of transverse sections of Hanwoo bottom round treated with different freezing and thawing conditions. Magnification was  $\times 200$  and bar indicates 100  $\mu\text{m}$ .

### 냉동 및 해동 처리에 따른 한우 설도의 미세구조 분석

냉동 및 해동 방법과 냉동-해동 반복에 따른 한우 설도의 미세구조를 광학현미경을 이용하여 관찰하였다(Fig. 2). 송풍식 냉동은 시료를 완만하게 동결시키는 과정에서 얼음결정이 커져서 빙결 덩어리상의 형태를 구성하여 해동 후 근섬유 조직이 불균일하게 찢어지거나 근섬유 간의 간격이 더 넓어졌다. 반면 침지식 냉동으로 급속하게 한우육을 동결시킨 경우는 미세 얼음결정이 균일하게 형성되어 송풍식 해동과 우수식 해동 처리로 조직의 구조적 손상이나 변화가 훨씬 적은 것으로 나타났다. 얼음결정의 크기 및 위치 등은 최대 빙결정생성대를 통과하는 시간에 따라 결정되는데 동결속도가 빠를수록 작고 균일한 얼음결정을 형성시켜 근육세포 주위에 골고루 분포되어 조직의 손상이 적다고 보고하였다(31).

한편 저장 중 냉동-해동 3반복 처리는 근원섬유 조직의 파괴 때문에 녹아있는 수용액이 뭉쳐서 재빙결되어 덩어리상의 형태를 구성하거나 근섬유 조직을 재손상시킴으로써 근섬유 속 배열의 규칙성이 현저히 흐트러지고 불규칙한 균열이 발생하였다. 이러한 변화는 냉동 한우 설도의 해동 감량 증가와 관계있는 것으로 판단된다. 따라서 고품질의 냉동 한우 설도 생산 및 유통을 위하여  $-70^{\circ}\text{C}$  초저온 침지식 냉동으로 급속 동결시키고 냉동육의 냉동 저장과 유통 중 중온도 상승에 의한 해동 후 재냉동 현상에 노출되지 않도록 유의해야 할 것이다.

### 요 약

본 연구는 공기를 이용한 송풍식과 초저온 에탄올을 이용한 침지식 냉동방법 및 저온 송풍식과 우수식 해동방법을 조합하고 저장 중 냉동-해동 반복에 따른 한우 설도의 품질에

미치는 영향을 살펴보았다. 송풍식 냉동은 냉동이 완료되는데 약 800분이 소요됐지만 침지식 냉동방법은 8분에 한우 시료를 급속하게 동결시켰다. 한편 송풍식 해동은 한우 시료가 해동이 완료되는데 약 350분 소요되었지만, 우수식 해동은 약 70분으로 해동시간이 280분 단축되었다. 송풍식 냉동 시료는 송풍식 해동과 우수식 해동에 의해 4.05와 4.54%의 드립 감량이 발생했지만 침지식 냉동시료는 송풍식 해동과 우수식 해동에 의한 드립 감량이 2.59와 2.09%로 냉동방법에 따라 유의적( $P < 0.05$ ) 차이를 보였다. 냉동과 해동 처리로 한우 설도의 보수력은 64.40~66.05%로 감소하였지만 냉동과 해동 조건에 따른 차이가 거의 나타나지 않았다. 송풍식 냉동-송풍식 해동과 침지식 냉동-송풍식 해동 처리구의 TBARS 값은 각각 1.12와 1.18 mg MDA/kg으로 송풍식 냉동-우수식 해동 처리구와 침지식 냉동-우수식 해동 처리구의 0.82와 0.77 mg MDA/kg과 비교하여 높은 값을 나타냈다. 휘발성 염기질소 함량은 TBARS 결과와 유사하게 송풍식 해동 처리구가 우수식 해동 처리구보다 높은 값을 보였다. 냉동과 해동이 조합된 모든 처리구의 총 호기성 세균수는 4.45~4.67 log CFU/g으로 냉동 및 해동 방법에 따라 유의적( $P < 0.05$ ) 차이는 나타나지 않았다. 송풍식 냉동된 한우육은 해동 후 근섬유 조직이 불균일하게 찢어지거나 근섬유 간의 간격이 더 넓어졌지만, 침지식 냉동된 한우육은 송풍식 해동 또는 우수식 해동 후 조직의 구조적 손상이나 변화가 훨씬 적은 것으로 나타났다. 한편 저장 중 냉동-해동의 3반복 처리로 드립 감량 증가, 보수력 감소, TBARS 값 및 휘발성 염기질소 함량 증가, 근섬유 조직 손상 등 품질 저하가 발생하였다. 앞으로 고품질 냉동 한우육의 생산 및 유통을 위한 부위별, 포장단위별 증량에 따른 냉동 및 해동 방법에 따른 이화학적 품질에 미치는 영향, 관능평가 등의 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(PJ01083603)에 의해 수행된 결과이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## REFERENCES

- Choi YS, Jeong TJ, Hwang KE, Kim HW, Kim CJ, Sung JM, Oh NS, Kim YB. 2015. Effects of emulsion mapping in different parts of pork and beef. *Korean J Food Cook Sci* 31: 241-247.
- Moon JH, Sung M, Kim JH, Kim BS, Kim Y. 2013. Quality factors of freshness and palatability of Hanwoo from their physicochemical and sensorial properties. *Korean J Food Sci An* 33: 796-805.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2014. *Agriculture, food, and rural affairs statistics yearbook*. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Sejong, Korea.
- Moon YH. 2012. Comparison of quality characteristics among chilled loins obtained from Jeju Black Cattle, Hanwoo and imported Australian beef. *J East Asian Soc Dietary Life* 22: 497-505.
- Kang HJ, Lee HY, Park JD, Kum JS. 2013. Effect of microwave treatment on the physicochemical and microbiological characteristics of beef loin during storage at 4°C. *Korean J Food Sci Technol* 45: 161-166.
- Kim CJ, Lee CH, Lee ES, Ma KJ. 1998. Studies on physicochemical characteristics of frozen beef at as influenced by thawing rates. *Korean J Food Sci Ani Resour* 18: 142-148.
- Park MH, Kwon JE, Kim SR, Won JH, Ji JY, Hwang IK, Kim MR. 2012. Physicochemical and microbiological properties of pork by various thawing methods. *J East Asian Soc Dietary Life* 22: 298-304.
- Kim YB, Woo SM, Jeong JY, Ku SK, Jeong JW, Kum JS, Kim EM. 2013. Temperature changes during freezing and effect of physicochemical properties after thawing on meat by air blast and magnetic resonance quick freezing. *Korean J Food Sci An* 33: 763-771.
- Moon YH. 2012. Effects of dietary mugwort on nutritional composition and physicochemical characteristics of thawed Hanwoo beef. *J East Asian Soc Dietary Life* 22: 290-297.
- Li B, Sun DW. 2002. Novel methods for rapid freezing and thawing of foods—a review. *J Food Eng* 54: 175-182.
- He X, Liu R, Nirasawa S, Zheng D, Liu H. 2013. Effect of high voltage electrostatic field treatment on thawing characteristics and post-thawing quality of frozen pork tenderloin meat. *J Food Eng* 115: 245-250.
- Soyer A, Özalp B, Dalmış Ü, Bilgin V. 2010. Effects of freezing temperature and duration of frozen storage on lipid and protein oxidation in chicken meat. *Food Chem* 120: 1025-1030.
- Alizadeh E, Chapeau N, de Lamballerie M, Lebaill A. 2007. Effects of freezing and thawing processes on the quality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets. *J Food Sci* 72: E279-E284.
- Ban C, Choi YJ. 2012. Innovative techniques and trends in freezing technology of bakery products. *Food Science and Industry* 45(4): 9-15.
- Yun CG, Lee DH, Park J. 1998. Ohmic thawing of a frozen meat chunk. *Korean J Food Sci Technol* 30: 842-847.
- Xia X, Kong B, Liu J, Diao X, Liu Q. 2012. Influence of different thawing methods on physicochemical changes and protein oxidation of porcine longissimus muscle. *LWT—Food Sci Technol* 46: 280-286.
- Boonsumrej S, Chaiwanichsiri S, Tantratian S, Suzuki T, Takai R. 2007. Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing. *J Food Eng* 80: 292-299.
- Lee JK, Park J. 1999. Rapid thawing of frozen pork by 915 MHz microwave. *Korean J Food Sci Technol* 31: 54-61.
- Ko SH, Hong GP, Park SH, Choi MJ, Min SG. 2006. Studies on physical properties of pork frozen by various high pressure freezing process. *Korean J Food Sci Ani Resour* 26: 464-470.
- Nam JH, Song HI, Kim MS, Moon YH, Jung IC. 1998. Effects of freezing temperature on quality of thawed beef. *Korean J Food & Nutr* 11: 482-487.
- Jung IC. 1999. Effect of freezing temperature on the quality of beef loin aged after thawing. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 28: 871-875.
- AOAC. 1990. *Official methods of analysis*. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA. p 788.
- Rodezno LAE, Sundararajan S, Solval KM, Chotiko A, Li J, Zhang J, Alfaro L, Bankston JD, Sathivel S. 2013. Cryogenic and air blast freezing techniques and their effect on the quality of catfish fillets. *LWT—Food Sci Technol* 54: 377-382.
- Liang D, Lin F, Yang G, Yue X, Zhang Q, Zhang Z, Chen H. 2015. Advantages of immersion freezing for quality preservation of litchi fruit during frozen storage. *LWT—Food Sci Technol* 60: 948-956.
- Ahn DU, Olson DG, Jo C, Chen X, Wu C, Lee JI. 1998. Effect of muscle type, packaging, and irradiation on lipid oxidation, volatile production, and color in raw pork patties. *Meat Sci* 49: 27-39.
- Kim S, Ma Y, Gu K, Lee Y, Kim E, Song KB. 2005. Effect of chlorine dioxide treatment on microbial safety and quality of saury during storage. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 1258-1264.
- Moon YH. 2013. Changes in physical properties of ham and loin from low-fat pork cuts during chilling after thawing. *J East Asian Soc Dietary Life* 23: 487-495.
- Hwang EG, Bea MJ, Kim BK. 2010. Research on consumers purchasing characteristics and satisfaction for Hanwoo beef. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 709-718.
- Jeong GG, Park NY, Lee SH. 2006. Quality characteristics of high and low grade Hanwoo beef during storage at 1°C. *Korean J Food Sci Technol* 38: 10-15.
- Xanthakis E, Le-Bail A, Ramaswamy H. 2014. Development of an innovative microwave assisted food freezing process. *Innovative Food Sci Emerging Technol* 26: 176-181.
- Anese M, Manzocco L, Panozzo A, Beraldo P, Foschia M, Nicoli MC. 2012. Effect of radiofrequency assisted freezing on meat microstructure and quality. *Food Res Int* 46: 50-54.
- Leygonie C, Britz TJ, Hoffman LC. 2012. Impact of freezing and thawing on the quality of meat: review. *Meat Sci* 91: 93-98.
- Eastridge JS, Bowker BC. 2011. Effect of rapid thawing on the meat quality attributes of USDA select beef strip loin steaks. *J Food Sci* 76: S156-S162.
- Kim YH, Liesse C, Kemp R, Balan P. 2015. Evaluation of combined effects of ageing period and freezing rate on quality attributes of beef loins. *Meat Sci* 110: 40-45.
- Kaale LD, Eikevik TM, Rustad T, Nordtvedt TS. 2014. Changes in water holding capacity and drip loss of Atlantic



- salmon (*Salmo salar*) muscle during superchilled storage. *LWT—Food Sci Technol* 55: 528-535.
36. Hughes JM, Oiseth SK, Purslow PP, Warner RD. 2014. A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness. *Meat Sci* 98: 520-532.
37. Ali S, Zhang W, Rajput N, Khan MA, Li C, Zhou G. 2015. Effect of multiple freeze-thaw cycles on the quality of chicken breast meat. *Food Chem* 173: 808-814.
38. Shin HY, Ku KJ, Park SK, Song KB. 2006. Use of freshness indicator for determination of freshness and quality change of beef and pork during storage. *Korean J Food Sci Technol* 38: 325-330.
39. Yamamoto SA, Harris LJ. 2001. The effects of freezing and thawing on the survival of *Escherichia coli* O157:H7 in apple juice. *Int J Food Microbiol* 67: 89-96.
40. Haughton PN, Lyng J, Cronin D, Fanning S, Whyte P. 2012. Effect of crust freezing applied alone and in combination with ultraviolet light on the survival of *Campylobacter* on raw chicken. *Food Microbiol* 32: 147-151.
41. Speck ML, Ray B. 1977. Effects of freezing and storage on microorganisms in frozen foods: A review. *J Food Prot* 40: 333-336.