



Research Article

Influence of low-pressure tumbling on the quality characteristics of thawed pork

감압 텀블링 해동이 돈육의 품질 특성에 미치는 영향

Won-Ho Hong, Jeong Kim, Yu-Jeong Gwak, Jiyeon Chun*

홍원호 · 김정 · 곽유정 · 천지연*

Department of Food Science and Technology, Suncheon National University, Suncheon 57922, Korea

순천대학교 식품공학과

Abstract As livestock consumption in Korea has been gradually increasing, the quality of the final products has been improved to meet this increased demand. In particular, maintaining the water holding capacity (WHC) and minimizing the drip loss during the thawing of frozen meat are of utmost importance. This study investigated the physicochemical properties of frozen pork subjected to thawing under different conditions: at room temperature (20°C, under air), at a low temperature (4°C refrigerator, under air), under water (20°C, under water in a vacuum bag), under microwave (microwave-thawing, 260 W), and under low-pressure tumbling (20°C, 0.015 bar, tumbling). The shortest thawing time for frozen pork was recorded upon low-pressure tumbling thus indicating a fast heat transfer. The lowest drip loss (0.2%) and highest WHC (94.5%) were also recorded under this condition. A significantly higher drip loss was observed upon microwave- (1.0%) and water-thawing (1.2%), which resulted in the lowest WHC in microwave thawing (87.2%). The highest total count of aerobic bacteria and coliform group were observed upon room temp thawing while the low pressure tumbling and thawing resulted in the lowest aerobic bacteria (1.90 log CFU/g) and coliform (0.78 log CFU/g) count. Consequently, thawing by low pressure tumbling afforded the best food quality.

Keywords thawing, frozen pork, tumbling, drip loss, quality



OPEN ACCESS

Citation: Hong WH, Kim J, Gwak YJ, Chun J. Influence of low-pressure tumbling on the quality characteristics of thawed pork. Korean J Food Preserv, 30(1), 88-97 (2023)

Received: November 13, 2022

Revised: February 06, 2023

Accepted: February 08, 2023

*Corresponding author

Jiyeon Chun
 Tel: +82-61-750-3258
 E-mail: cjyfall@scnu.ac.kr

Copyright © 2023 The Korean Society of Food Preservation. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

한국인의 1인당 1일 육류섭취량은 10년간(2010-2020년) 약 36.5% 증가한 것으로 알려져 있다(Korea Disease Control and Prevention Agency, 2020). 식육가공품 생산규모는 2015년 이후 꾸준히 증가하고 있으며, 2018년 생산량은 전년 대비 8.9% 증가한 1,260천 톤에 달하였다(Food Information Statistics System, 2020). 특히, 코로나19 이전과 비교할 때 식육가공품 수요량이 약 30%가량 증가하였는데, 1인 가구를 대상으로 하는 반찬 및 안주용 제품으로 소포장 육가공 제품이 인기를 끌고 있으며, 에어 프라이어를 이용한 간편조리 가정대체식품(home meal replacement, HMR) 출시가 증가하고 있는 추세이다(Food Information

Statistics System, 2020). 대부분 식육가공품의 원료는 냉동된 상태로 수입되어 해동 후 가공품 제조에 사용되는데, 가공육 중에서 돈육이 48.6%로 가장 높은 비중을 차지하고 있어(Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation, 2018), 가공 제품 개발 및 생산을 위한 돈육의 품질 개선에 대한 관심이 높아지고 있다.

돈육은 단백질 함량과 영양가가 높기 때문에 부패하기 쉽다(Wang 등, 2020). 냉동보관은 식품의 품질을 유지하기 위한 필수적이고 효과적인 보존방법이다(Kim 등, 2018). 냉동육의 품질은 냉동, 저장·유통, 재료 그리고 해동의 4요소에 결정되며, 요소 중 한 가지라도 불충분할 경우 품질을 보존하기 어렵다(Hong, 2019). 일반적으로 해동 과정은 냉동과정보다 느리게 진행되며, 해동 시간이 길수록 풍미, 식감, 색도 및 단백질 변성이 일어난다(Jia 등, 2018). 산업체와 일반가정에서 보편적으로 사용되고 있는 해동법으로는 실온 해동, 침수 해동, 냉장 해동 및 전자레인지 해동법이 있다(Wang 등, 2017). 실온 해동은 열전달매체가 정지된 공기이므로 해동속도가 매우 느리며, 침수 해동은 열전달매체가 물이며 공기보다 열전도도가 높아 해동시간이 조금 단축될 수 있는 반면, 냉장 해동은 해동 시간이 매우 길고 냉장고 내부의 각종 음식물에 의해 미생물 번식의 위험이 있다(Zhang 등, 2017). 전자레인지 해동은 해동 시간이 단축되고 간편하며 드립 손실과 수분 증발에 의한 손실을 줄일 수 있어 품질 저하를 최소한으로 할 수 있고, 세균의 번식을 억제할 수 있어 위생적이나 고기 덩어리의 부분별 불균일한 온도와 식육의 불균일한 성분으로 인하여 온도가 상대적으로 높은 부분은 전자파에너지를 많이 흡수하여 과도하게 가열되는 반면에, 다른 부분은 여전히 얼어 있는 상태로 존재하는 문제점이 있다(Kim 등, 2017). 이와 같이 해동 방법의 선택은 해동 육의 품질과 생산 효율성을 좌우하는 주요 요소이기 때문에, 고부가 제품 생산을 위해서는 우수한 원료의 확보뿐만 아니라 가공의 필수 요소인 해동 방법의 선제적 개선이 요구된다.

해동 공정에 따르는 식육의 품질과 관련된 문제점은 수분 증발 및 드립 발생에 의한 중량손실, 품질 저하, 색 변화, 표면의 건조, 영양분 손실, 미생물 오염 등이 보고되어 있다(Kang 등, 2007). 이러한 해동 과정 중 발생할 수 있는 부작용을 최소화하기 위해 다양한 해동 기술의 적용과 이에 의한

품질 변화에 관한 연구가 시도되어 왔다(Choi, 2017). 한국에서는 ohmic 해동(Yun 등, 1998), 마이크로웨이브 가열 해동(Lee와 Park, 1999), 초고압 해동(Ko 등, 2006) 등, 장시간 실온에서 해동하는 전통적 방법에서 탈피하여 단시간에 급속으로 해동할 수 있는 연구들이 진행되었다(Hong, 2019). 하지만, 여전히 식품산업 현장에서는 냉동 원료육 가공을 위한 전처리 공정으로 진행되는 해동에서 불균일한 가열, 가압에 의한 근원섬유단백질 변성, 경계성 등의 이유로 물속에서 해동하는 우수식 해동과 공기 순환을 이용하는 송풍식 해동과 같은 재래식 해동 방법이 널리 이용되고 있어(Chun 등, 2016) 산업적으로 이에 대한 개선이 필요하다.

텀블링은 주로 육가공에서 육류제품을 염지하기 위한 일반적인 기계공정으로, 염지액을 식육 내에 균일하고 신속한 분포를 가속화하여 근섬유 단백질 용해도 개선을 주로 기반으로 하는 보수력 및 질감에 긍정적인 영향을 미친다(Kim 등, 2019). 텀블링 과정에서 물리적인 마찰과 화학적인 반응이 동시에 이루어져 가공시간이 단축되고, 제품의 표면과 내부에 형성된 단백질의 결합망이 수분을 포집하여 식육 내 수분보유, 제품수율 증가 및 다즙성 효과를 얻을 수 있다(Gatta 등, 2022). 텀블링은 회전으로 인해 육 조각이 서로 구르는 작용으로 육 조직에 변화를 일으키고, 물질 전달 메커니즘을 활성화하며, 감압 상태에서 텀블링을 하면 그 효과가 증가하는 경향이 있다(Mirade 등, 2020).

해동 방법에 따라 열전달 원리가 다르고, 제품품질에 미치는 영향이 다르며, 해동된 제품의 품질을 향상시키기 위해서는 보다 적합한 해동 방법을 선택하는 것이 필요하다(Lin 등, 2022). 해동 품질 향상을 위해 지속적인 해동법 개발이 필요하다. 현재 한국에서는 전통적 및 급속 해동법의 단점을 보완할 수 있는 새로운 해동 기술의 개발 및 대량생산화를 위한 해동 장치 개발이 필요하다. 현재 육가공 염지에 사용되고 있는 감압 텀블링의 장점을 해동 과정에 적용하면, 해동 시간 단축, 식육 내 수분 보유력 향상 및 드립 감량을 저하가 될 것으로 생각되며, 해동 산업에서 중요한 해동 시간 단축, 해동 품질 성능 및 해동 육제품의 고품질화를 이룰 수 있다.

이러한 감압 텀블링의 장점을 활용하여 한국 및 국외 가공육 회사에서 텀블링을 해동 공정에 적용하는 시도가 이루어져 있으나, 이와 관련된 과학적인 연구가 미비하며, 특히 한국에서는 이와 같은 장비의 산업적인 이용이 보고되어 있지 않아

산업적인 활용을 위한 관련 기초 연구가 필요한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 다양한 조건하에서 냉동 돈육을 해동하여 이에 따른 해동 돈육의 품질 및 조리 특성을 분석하였다. 특히, 물리적인 마사지 효과를 나타내는 텀블링을 감압하에서 실시하고, 기존의 해동 방법(실온 해동, 냉장 해동, 침수 해동 및 전자레인지 해동)에 의한 해동 돈육의 품질 특성과 비교하여 감압 텀블링 해동 기술의 산업적 적용가능성을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

본 연구에서 사용된 돈육은 팜애플포크 & 슝포크(Cheongju, Korea)에서 냉장 유통되는 전지(앞다리살)를 2021년 5월에 구매하였다. Clean bench(HB-42, Hanbaek science Co., Bucheon, Korea)에서 4×4×3 cm의 직사각형 락앤락 플라스틱 용기(Lock&Lock Co., LTD, Seoul, Korea) 안에 크린백(Clean bag, Cleanwrap Co., Seoul, Korea)을 넣고, 용기의 틀에 맞도록 약 200 g의 전지육을 잘라크린백에 담고 용기 뚜껑을 닫은 후 -75℃에 냉동하였다. 포장된 냉동 돈육 블록은 -75℃에 보관하며 해동 시료로 사용하였다.

2.2. 냉동 돈육의 해동

냉동육 시료를 -75℃ 냉동고에서 꺼낸 후 실온(20℃)에서 심부중심온도가 -6℃에 도달 후 냉동돈육 블록을 감싸고 있는 크린백을 제거한 후 다음과 같은 다양한 조건하에서 해동하였다. 해동 방법은 총 5가지(실온 해동, 저온냉장 해동, 침수 해동, 전자레인지 해동 및 감압 텀블링 해동)의 방법으로 설정하였다. 실온 해동은 실온 20℃에서 공기 중에 진행되었고, 침수 해동은 시료를 지퍼백에 넣고 에어를 빼서 밀착시켜 밀봉한 후 시료가 담긴 지퍼백을 실온의 해동 수에 침지시켰다. 저온냉장 해동은 4℃의 냉장고에서 공기 중에 방치시켰으며, 전자레인지 해동은 260 W 출력의 전자레인지(ER-4320B, LG Electronics, Seoul, Korea)를 이용하여 해동 기능으로 해동하였다. 감압 텀블링 해동은 회전감압농축기(EYELA N-1300, Rikaikai Co., Tokyo, Japan)에 내부 표면에 굴곡이 있는 진탕 삼각 플라스크(Duran, DWK

Life Science, Mainz, Germany)를 연결한 장치를 감압 텀블링 해동 모델로 사용하였다. 냉동 돈육 시료를 감압 텀블링 장치에 넣은 후 감압(0.015 bar)을 걸어주고, 텀블링 회전각도 30°, 회전 속도는 30 rpm으로 텀블링 조건을 설정하였다. 진탕 삼각 플라스크가 20℃의 항온수조에 잠기도록 하여 회전하는 동안 20℃를 유지할 수 있도록 하였다.

각 해동 방법에 따라 변화되는 냉동육의 내부중심 온도를 시간별로 모니터링하여 해동 곡선을 작성하였다. 탐침온도계(Cas WPT-1, CAS Co., Yangju, Korea)를 이용해 10분마다 심부중심온도를 측정하여 심부 중심온도가 -6℃에서 0℃에 도달할 때까지의 시간을 총 해동 시간으로 산출하였다. 돈육의 중심온도가 0℃에 도달하는 시점을 각 해동 종료 시점으로 설정하여 해동이 완료된 시료는 냉장 보관하며 품질 및 조리 특성을 위한 분석시료로 사용하였다. 모든 분석은 해동 후 24시간 이내에 수행되었다.

2.3. 해동 돈육의 pH 및 색도 측정

pH 측정은 세절된 시료를 50 mL conical tube에 1 g을 정확히 취하여 증류수 9 mL를 가한 후 homogenizer로 균질화하여 pH meter(Metter-Toledo AG 8603, Schwerzenbach, Switzerland)로 측정하였다. 해동 돈육의 표면의 색 변화는 Minolta 색도계(CR-200, Minolta Co., Osaka, Japan)를 이용하여 L(lightness, 명도), a(redness, 적색도) 및 b(yellowness, 황색도) 값으로 분석하였다. 해동된 돈육 시료의 매끈한 표면을 6회 반복 측정 후 평균값과 표준편차값으로 나타냈다. ΔE 는 실온 해동의 색도를 대조군으로 설정하여 다음과 같은 식으로 계산하였다.

$$\Delta E = \sqrt{(L_2 - L_1)^2 + (a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2}$$

L_1, a_1, b_1 : Chromaticity value of experimental group

L_2, a_2, b_2 : Chromaticity value of control group

2.4. 해동 돈육의 드립 감량(drip loss) 측정

해동 전 냉동 돈육의 무게를 측정(w_0)하고, 냉동 돈육의 심부온도가 -6℃에서 0℃에 도달할 때까지 해동한 해동 돈

육의 무게를 측정(w_1)하였다. 손실된 드립 양을 다음과 같이 계산하여 백분율로 나타내었다.

$$\text{Drip loss (\%)} = (w_0 - w_1) / w_0 \times 100$$

w_0 : Sample weight before thawing (g)

w_1 : Sample weight after thawing (g)

2.5. 해동 돈육의 총균수와 대장균군 분석

시료 1 g에 멸균 생리식염수 9 mL를 가하여 멸균백에 담아 stomacher(Bag mixer W400, Interscience, Saint Nom, France)로 균질화한 후 여과액을 10배 희석법으로 희석하여 사용하였다. 총균수용 건조필름과 대장균군용 건조필름(MC-Media Pad, JNC Co., Tokyo, Japan) 중앙에 시료 1 mL를 접종한 뒤, incubator(HB-101, Han Baek Science Co., Bucheon, Korea)에서 37°C에서 24시간 배양시켰다. 총균수와 대장균군 측정 결과는 배양 후 액화 현상이 없고 배지당 30-300개 집락을 형성한 평판을 선택하여 계수하였으며, 모든 결과는 3반복 측정값의 평균값을 산출하고 log CFU/g으로 나타내었다.

2.6. 해동 돈육의 보수력 측정

Kim 등(2013)의 방법에 따라 보수력(WHC, water holding capacity)을 측정하였다. 먼저, 50 mL-conical tube에 세절된 시료 5 g을 정확히 취한 후 가열 전 무게를 측정하고(w) 70°C 항온수조에서 30분 가열 후, 실온에서 10분간 방냉 후 원심분리기(MF-550, Hanil Science Industrial Co., Incheon, Korea)를 이용하여 20°C에서 $2,000 \times g$, 10분간 원심분리 후 유리된 육즙량(w_g)을 측정하여 백분율(%)로 계산하였다.

$$\text{WHC (\%)} = (w - w_g) / w \times 100$$

w : Sample weight before heating (g)

w_g : Weight of gravy after centrifugation (g)

2.7. 통계 분석

모든 실험은 3회 이상 반복 실험하여 분석하였으며, 분석

값은 평균 및 표준편차로 나타내었다. 시료 간의 유의차 분석은 SPSS프로그램(SPSS 25.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였고, 분산분석 평균값의 유의성은 $p < 0.05$ 수준으로 Duncan의 다중범위 시험법을 사용하여 검증하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 해동 방법에 따른 냉동 돈육의 해동 속도

다양한 방법에 따라 해동되는 냉동 돈육의 내부중심온도의 변화를 모니터링한 해동 곡선은 Fig. 1과 같으며, 각 해동 조건과 이에 따른 냉동 돈육의 해동 특성은 Table 1과 같다. 감압 텀블링 해동(LPT)으로 해동 시 돈육의 중심온도가 -6°C에서 0°C에 도달하는 데 걸리는 시간은 총 20분으로, 다른 해동 방법에 비하여 가장 해동시간이 짧았으며, 다음으로 전자레인지 해동(M) 40분, 침수 해동(W) 90분, 실온 해동(RT) 170분, 저온 냉장 해동(LT) 840분의 순으로 해동시간이 길어져, 해동 조건에 따라 해동 시간이 최대 42배까지 증가하는 것을 확인할 수 있었다(Table 1). 해동 조건에 따라 해동 속도는 유의적인 차이를 나타냈다($p < 0.05$). Park 등(2012)은 냉동 돈육 안심의 해동에 소요된 시간은 전자레인지 해동 8분, 침수 해동 120분, 실온 해동 210분, 냉장 해동 1,440분의 순이었다고 보고하여 본 연구에서 관찰된 해동 방법에 소요되는 총 해동 시간의 순서와 동일하게 나타났으며, 총 해동 시간의 차이는 연구에 사용된 냉동육 원료의 특성과 크기, 해동 환경 조건이 다르기 때문인 것으로 사료된다. 특

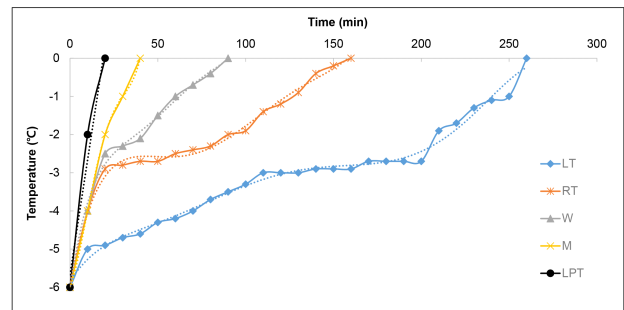


Fig. 1. Thawing curves of frozen-pork under different thawing conditions. RT, room temp thawing; LT, low temp thawing; W, water thawing; M, microwave thawing; LPT, low pressure-tumbling. Their thawing conditions were shown in Table 1.

Table 1. Thawing time and heat transfer rate of frozen-pork leg under different conditions

Thawing methods	Thawing time ¹⁾ (min)	Heat-transfer rate ²⁾ (°C/min)	Equations of thawing curves (R ²)
Room temp-thawing (20°C, under air)	170±0 ^{b,3)}	0.035±0.000 ^d	0.987±0.000 ^c
Low temp-thawing (4°C refrigerator, under air)	840±0 ^a	0.007±0.000 ^e	0.995±0.000 ^b
Water thawing (20°C, under water in a vacuum bag)	90±0 ^c	0.067±0.000 ^c	0.994±0.000 ^b
Microwave thawing (microwave-thawing, 260 W)	40±0 ^d	0.150±0.000 ^b	1.000±0.000 ^a
Low pressure-tumbling (20°C, 0.015 bar, tumbling)	20±0 ^e	0.300±0.000 ^a	0.964±0.000 ^d

¹⁾The total time to reach at 0°C from -6°C in pork leg. The core temperature of the pork was measured.

²⁾Total thawing time/(Tf-Ti). Tf, the temperature of core pork leg after thawing of 0°C; Ti, the initial temperature of core pork leg before thawing at -6°C.

³⁾Means with different superscript letters in the same column are significantly different (p<0.05, a)b)c)d)e).

히, 본 연구에서 감압 텀블링 해동이 이전에 전통적으로 사용된 해동법보다 돈육 해동 시간을 큰 폭으로 단축할 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 해동 중 1분 동안 상승되는 온도로 해동속도를 비교해 볼 때(Table 1), 냉장해동은 1분에 0.007°C씩 상승되는데 반하여 실온해동 0.035°C, 침수해동 0.067°C, 전자레인지해동 0.15°C, 그리고 감압 텀블링 해동은 0.3°C씩 상승되는 해동속도를 보여주어 조건에 따라 해동 속도에 유의적인 차이를 나타내는 것을 확인할 수 있었다 (p<0.05).

텀블링은 주로 식육가공에서 염지 목적으로 사용되는 공정으로 물리적인 마찰과 충격을 주어 염지액이 원료 내부로 침투되는 것을 가속화하여 공정에 소요되는 시간을 단축시킬 수 있다(Krause 등, 1978). 본 연구에서 해동을 위해 사용한 감압 텀블링은 텀블러가 회전하면서 용기 내부에서 냉동육이 중력과 회전력으로 인해 냉동육 간의 충돌과 텀블러와의 부딪힘 등 상하좌우 이동하며 물리적인 마찰과 충격이 이루어지기 때문에, 냉동육 내부의 얼음 결정들이 보다 빠르게 녹아 해동 시간을 단축시킬 수 있는 것으로 보여진다. 텀블링 내부에 굴곡진 날개가 있으면 물질 전달 메커니즘을 향상과 육 조직 내 변화가 더 효과적으로 이루어진다 (Mirade 등, 2020). 본 연구에서 내부가 매끄럽지 않고 굴곡이 있는 진탕 삼각 플라스크를 사용하였는데, 이러한 플라스크 내부의 굴곡형 임펠러(impeller)는 플라스크가 한쪽 방향으로 저속 회전 시 시료가 한쪽 방향으로만 고정적으로 이동하게 되는 흐름을 막아주는 방해벽 역할을 하게 된다. 이는 시료가 고루 섞이도록 할 뿐 아니라, 서로 부딪히는 충격을 유발시켜 텀블링 효과를 높일 수 있는 것으로 보인다. 또한,

용기 내 압력을 0.015 bar 수준으로 감압 시키는 것은 냉동육의 얼음결정이 승화되고 냉동 돈육이 빠르게 해동될 수 있는 것으로 보인다.

3.2. 해동 돈육의 드립 감량(drip loss)

다양한 해동 방법으로 해동된 돈육의 드립 감량 결과는 Table 2와 같다. 식육의 수분 함량은 조직감, 저장성, 경제성 등 여러 품질 지표에 영향을 주게 된다(Kim 등, 2001). 드립(drip)은 냉동육을 해동 시 식육 조직에서 분리되어 흘러나오는 액체로, 드립 감량의 정도는 냉동과 저장 중 형성된 식육 내 얼음 결정에 의해 발생하는 근세포 손상 정도를 나타내며, 해동 시 미생물 번식의 원인이 되기도 한다(Kang 등, 2008). 본 연구 조건하에서 해동된 돈육의 드립 감량은 감압 텀블링 해동에서 0.15±0.06%로 가장 낮은 수준을 보였으며, 침수 해동에서 1.16±0.14%로 가장 높은 값을 나타냈다. 해동 육의 수분 함량과 드립 감량이 해동 방법에 따라 달라지는 것은 해동 조건이 냉동육 내부 얼음결정에 의한

Table 2. Drip loss of the pork meat thawed under different conditions

Thawing methods	Drip loss (%)
Room temp-thawing (20°C, under air)	0.41±0.32 ^{b,1)}
Low temp-thawing (4°C refrigerator, under air)	0.24±0.01 ^b
Water thawing (20°C, under water in a vacuum bag)	1.16±0.14 ^a
Microwave thawing (microwave-thawing, 260 W)	1.04±0.03 ^a
Low pressure-tumbling (20°C, 0.015 bar, tumbling)	0.15±0.06 ^b

¹⁾Means with different superscript letters in the same column are significantly different (p<0.05, a)b).

근세포 손상도에 영향을 주는 요인이 됨을 보여준다고 하겠다. Park 등(2012)은 냉동된 돈육 안심을 해동 시 실온 해동, 침수 해동, 냉장 해동, 전자레인지 해동 중에서 실온 해동에 의한 드립 감량이 가장 낮았다고 보고하였다. 본 실험에서는 감압 텀블링 해동이 실온 해동에 비하여 돈육의 드립 감량이 더 낮은 것으로 나타나, 이전에 연구된 재래식 해동 방법보다 감압 상태에서 텀블링과 같은 물리적 충격을 유발시키는 해동이 드립 감량을 최소화할 수 있는 해동법이 될 수 있을 것으로 사료된다.

3.3. 해동 돈육의 pH와 미생물 생육

다양한 해동 방법에 따라 해동된 돈육의 pH는 Table 3과 같다. 일반적으로 정상육의 pH는 5.5-5.6 정도이며, 육의 pH는 근육 내 glycogen의 양에 의해 결정되는 것으로 알려져 있다(Yu 등, 2005). 해동 시 식육의 세포 내 용질의 농도 변화로 인하여 냉동 전 식육에 비해 해동 과정을 거친 식육은 높은 pH를 나타내게 되는데, 해동 시간이 길어져 근육세포에 손상을 많이 주는 경우에도 세포 내 드립이 많이 발생하여 pH가 증가한다고 보고되어 있다(Farouk 등, 2004). 본 연구에서 다양한 방법으로 해동된 돈육의 pH는 정상육의 범위(5.5-5.6)보다 약간 높은 것으로 나타났으며, 해동 방법에 따라 평균 6.19-6.29의 범위를 보였으나, 해동 방법에 따른 유의적인 차이는 관찰되지 않았다. 이러한 식육의 pH 차이는 시료의 크기, 양, 조성 등 원료 특성에 따라 달라지는 것으로 보인다. 한편, Park 등(2012)의 연구에서는 해동 방법(실온, 냉장, 침수, 전자레인지 해동)에 따라 해동 돈육의 pH를 측정하였을 때 대조군보다 약간 증가하였지만 유의하지는 않았다고 보고하였다.

다양한 조건에서 해동된 돈육 안심의 총균수와 대장균군의 변화는 Table 3과 같다. 총균수의 경우, 실온 해동에서 2.38 log CFU/g으로 가장 높았으며, 감압 텀블링 해동에서 1.90 log CFU/g으로 가장 낮은 수준을 나타냈다. Park 등(2012)의 연구에서도 여러 해동 방법 중 실온에서 해동된 시료의 총균수값이 가장 높았으며, 이는 실온 해동 시 공기 중으로 식육이 노출되기 쉽기 때문에 총균수가 유의적으로 빠르게 증가하기 때문이라고 보고하였다. 반면, 본 연구에서 시도한 감압 텀블링 해동은 냉동육이 감압 상태의 텀블러 안에서 해동이 진행되므로 실온 해동보다는 공기 중의 노출이 적기 때문에 총균수가 낮게 나타난 것으로 보인다. 또한, 본 연구에서 해동 완료시간은 냉동 돈육의 중심온도가 0℃까지 도달하는 데 걸리는 시간으로 하였고, 전자레인지 해동 40분, 침수 해동 90분, 실온 해동 170분, 냉장 해동 840분인데 반하여, 감압 텀블링 해동은 단시간(20분) 내에 종결되어 미생물이 생육할 수 있는 시간이 충분하지 않아 미생물의 생육이 낮은 것으로 보인다. 이러한 특성은 Table 2의 해동 돈육의 대장균군 검출 결과에서도 유사하게 나타나, 실온 해동의 경우 대장균군은 1.28 log CFU/g으로 가장 높은 값을 보인데 반하여, 감압 텀블링 해동에서 0.78 log CFU/g으로 가장 낮은 값을 보여주어 감압 텀블링 해동방식이 미생물 생육을 효과적으로 낮출 수 있는 위생적 해동법이 될 수 있을 것으로 사료된다.

해동 후 식육의 미생물 수준은 원료의 특성과 처리 조건에 따라 다르게 나타날 수 있다. Park 등(2012)은 여러 가지 해동 방법(실온, 냉장, 침수, 전자레인지 해동)을 통해 모두 해동된 돈육 안심에서 대장균군이 검출되지 않았다고 보고한 반면, Choi 등(2017)은 송풍식, 우수식 및 전자레인지 해동

Table 3. pH and microbial population of the pork meat thawed under different conditions

Thawing methods	pH	Total aerobic bacteria (log CFU/g)	Coliform (log CFU/g)
Room temp-thawing (20°C, under air)	6.28±0.09 ^{NS,1)}	2.38±0.01 ^{a,2)}	1.28±0.02 ^a
Low temp-thawing (4°C refrigerator, under air)	6.24±0.01 ^{NS}	1.84±0.05 ^b	1.04±0.02 ^b
Water thawing (20°C, under water in a vacuum bag)	6.29±0.06 ^{NS}	2.25±0.02 ^c	1.21±0.01 ^c
Microwave thawing (microwave-thawing, 260 W)	6.19±0.06 ^{NS}	2.31±0.01 ^d	0.84±0.01 ^d
Low pressure-tumbling (20°C, 0.015 bar, tumbling)	6.19±0.08 ^{NS}	1.90±0.01 ^e	0.78±0.01 ^e

¹⁾NS, not significant.

²⁾Means with different superscript letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$, a>b>c>d>e).

조건에서 해동된 돈육 등심에서 냉장육인 대조군을 포함해 모두 대장균군이 검출되었다고 보고하였다. 또한, Chun 등(2016)은 송풍식과 침수 해동 조건에서 해동된 우육 설도에서 냉장육인 대조군을 포함해 대장균군이 검출되었다고 보고하였다. 이와 같이 식육의 특성과 처리 공정의 조건에 따라 미생물 수준에 차이가 나타날 수 있으며, 이 외에도 육류에 존재하는 미생물은 도살처리 과정 중 외부환경, 내장, 혈액, 가죽 등에 의해 오염될 수 있고, 저장과 유통 중 교차오염도 가능한 것으로 알려져 있다(Choi 등, 2016).

3.4. 해동 돈육의 색

다양한 조건에서 해동된 돈육의 색도를 측정한 결과는 Table 4와 같다. 돈육은 미오글로빈 함량이 많은 적색육(red meat)에 속하므로 신선한 돈육은 일반적으로 붉은색을 띤다. 해동 육의 색은 밝기(lightness)를 나타내는 L, 적색도(redness)를 나타내는 a, 황색도(yellowness)를 나타내는 b값 모두 해동 조건에 따라 유의적인 차이를 보여($p < 0.05$) 전체적인 색도에서도 차이(ΔE)를 나타냈으나, 육안으로 구별될 만한 큰 차이를 보이지는 않았다. L, a 및 b값 모두 실온 해동에서 가장 높은값을 나타냈고, 감압 텀블링 해동 시료의 경우 이보다 유의적으로 낮은 값을 보였으며, 침수 해동 시료의 경우 모든 색도에서 값이 가장 낮은 수준을 나타냈다.

육류의 색은 소비자가 식육을 구입하는 데 중요하게 고려하는 요인 중 하나로, 저장 중 육색의 변화는 pH, 지질 산화, 미생물 증식 등 많은 요인이 작용하는 것으로 알려져 있다(Zhou 등, 2010). Schubring(2003)은 해동 시 a값이 낮아지는 백색화 현상의 원인은 첫째, 미오글로빈(myoglobin)

이 미트미오글로빈(metmyoglobin)으로의 변화, 둘째, 글로빈의 변성과 heme displacement로 기인할 수 있다고 보고하였다. Jeong 등(2006)은 돈육이 냉동과 해동 과정을 거치면서 세포가 손상을 입어 세포 내의 여러 기작들이 균형적인 작용을 하지 못하고 육색소 단백질의 산화가 발생한다고 보고하였다. 하지만 본 연구에서 진행한 기존의 해동 방법(실온 해동, 냉장 해동, 침수 해동 및 전자레인지 해동)과 감압 텀블링 해동의 경우, 해동 시 백색화 현상과 미오글로빈 산화를 판단할 수 있는 a값이 유의적인 차이가 있으나 육안으로 구별될 만한 큰 차이를 보이지 않았으며, 다른 연구에서 보고된 미오글로빈의 산화 및 백색화 현상은 거의 진행되지 않은 것으로 보인다.

3.5. 해동 돈육의 보수력

다양한 조건에서 해동된 돈육의 보수력을 측정한 결과는 Table 5와 같다. 해동 방법에 따라 약 87.2%~94.5%의 보수력 범위를 보였으며, 감압 텀블러 해동($94.51 \pm 0.48\%$)과 침수 해동($94.23 \pm 2.26\%$)이 유의적인 차이 없이 높은 보수력을 보였으며, 다음으로 실온 해동($92.19 \pm 2.21\%$), 저온냉장 해동($89.37 \pm 0.44\%$), 전자레인지 해동($87.16 \pm 1.51\%$)의 순서로 보수력이 유의적으로 감소하는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 육류의 보수력은 가열, 분쇄, 압착 또는 냉동 등 물리적인 외부의 힘을 작용하였을 때 자체의 수분 또는 첨가된 수분을 보유하는 능력이다(Chun 등, 2016). 보수력 측정 은 70°C 에서 30분 가열 및 원심분리 후에 식육 내에 보유되는 수분의 양을 측정하게 되므로, 해동 과정 중 발생하는 드립 손실과 달리 해동 후 식육을 열처리하는 가공 공정이나 조리에 의해 발생할 수 있는 수분 손실 정도를 예측할 수

Table 4. Color of the pork meat thawed under different conditions

Thawing methods	Chromaticity of thawed pork			
	L	a	b	ΔE
Room temp-thawing (20°C , under air)	$59.92 \pm 0.79^{\text{a},1)}$	$13.13 \pm 0.08^{\text{a}}$	$8.64 \pm 0.22^{\text{a}}$	-
Low temp-thawing (4°C refrigerator, under air)	$54.00 \pm 0.41^{\text{b}}$	$10.56 \pm 0.24^{\text{bc}}$	$6.88 \pm 0.10^{\text{bc}}$	6.7
Water thawing (20°C , under water in a vacuum bag)	$55.18 \pm 2.08^{\text{b}}$	$9.89 \pm 0.44^{\text{c}}$	$6.06 \pm 0.11^{\text{c}}$	6.3
Microwave thawing (microwave-thawing, 260 W)	$58.22 \pm 0.40^{\text{a}}$	$9.66 \pm 1.89^{\text{c}}$	$7.16 \pm 0.09^{\text{b}}$	4.1
Low pressure-tumbling (20°C , 0.015 bar, tumbling)	$54.23 \pm 0.55^{\text{b}}$	$11.33 \pm 0.19^{\text{b}}$	$7.79 \pm 0.25^{\text{ab}}$	6.0

¹⁾Means with different superscript letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$, a>b>c).

Table 5. Water holding capacity of the pork meat thawed under different conditions

Thawing methods	Water holding capacity (%)
Room temp-thawing (20°C, under air)	92.19±2.21 ^{ab,1)}
Low temp-thawing (4°C refrigerator, under air)	89.37±0.44 ^b
Water thawing (20°C, under water in a vacuum bag)	94.23±2.26 ^a
Microwave thawing (microwave-thawing, 260 W)	87.16±1.51 ^{bc}
Low pressure-tumbling (20°C, 0.015 bar, tumbling)	94.51±0.48 ^a

¹⁾Means with different superscript small letters in the same column are significantly different ($p < 0.05$, a/b/c).

있다. 일반적으로 식육은 냉동 시 근원섬유 내에 빙결정이 형성되면서 미오신(myosin)의 구조가 파괴되어 단백질 변성이 일어나고, 이로 인해 수분과 결합하여 유지할 수 있는 결합력이 감소되며, 이러한 특성은 식육의 크기, 가열 방법, 가열 온도, 그리고 가열 시간에 따라 달라지는 것을 확인할 수 있다(Yang과 Ko, 2010).

텀블링은 현재 산업에서 주로 육의 염지에 주로 사용되고 있는데, 텀블링 시간의 증가는 근섬유 단백질이 쉽게 추출되어 근육에 높은 보수력을 제공, 사후강직이 진행된 육의 보수력을 개선하며, 염 용해성 단백질의 양을 증가시킨다. 이에 따라 보수력이 증가해 더 많은 염분을 흡수할 수 있다고 보고 되었다(Bishnoi 등, 2017). 본 연구에서 냉동 돈육의 해동을 위해 적용한 텀블링은 염지 공정과 달리 염을 첨가하지 않은 상태로 냉동 상태의 얼음을 해동하기 위해 사용했기 때문에, 염지 공정에서 염 용해성 단백질의 양을 증가하고, 이로 인한 보수력 증가의 영향은 크지 않을 것으로 생각된다. 물리적인 충돌과 마사지 효과 그리고 감압에 의한 얼음 결정의 신속한 해동이 총 해동 시간을 단축시키고, 해동 돈육에서의 미생물 성장이 억제되었을 것으로 보이며, 이러한 빠른 해동으로 인해 근육조직의 파괴를 최소화하여 본래 식육이 가지고 있었던 보수력을 높은 수준으로 유지할 수 있도록 하는 것으로 사료된다.

4. 요약

본 연구는 다양한 해동 조건에서 해동된 돈육의 품질 특성을 비교 분석하여 식육 가공 산업에서 필수적으로 사용되는

해동 공정 개선 및 새로운 해동 설비를 구축하기 위한 기초 자료를 마련하고자 수행되었다. 냉동육(돈육 전지)을 실온 해동(room temp-thawing: 20°C, under air), 저온냉장 해동(low temp-thawing: 4°C refrigerator, under air), 침수 해동(water thawing: 20°C, water in a vacuum bag), 전자레인지 해동(microwave thawing: microwave-thawing, 260 W), 감압 텀블링 해동(low pressure-tumbling: 20°C, 0.015 bar, tumbling)으로 각각 해동하여 이에 따른 해동 및 품질 특성을 분석하였다. 냉동 돈육의 내부중심온도가 -6°C에서 0°C에 도달하는 시간을 총 해동 시간으로 했을 때, 감압 텀블링 해동의 해동 시간이 20분으로 가장 짧았고, 냉장 해동이 840분으로 가장 긴 것으로 확인되었다. 해동으로 인한 냉동 돈육의 드립 손실(%)은 감압 텀블링 해동에서 0.15%로 가장 낮은 값을 보였으며, 침수 해동에서 가장 많은 드립(1.16%)이 발생되었다. 해동 시간에 큰 차이를 보임에도 불구하고, 해동 돈육의 pH는 해동 조건에 따라 유의적인 차이를 보이지 않은 반면, 해동 육의 총균수와 대장균군 모두 감압 텀블링 해동에서 가장 낮았다. 해동 돈육의 색도(L, a, b)는 해동 방법에 따라 유의적인 차이를 보였으나, 육안으로는 두드러진 차이를 관찰하기 어려웠다. 해동 돈육의 보수력은 감압 텀블링 해동(94.5%)과 침수 해동(94.2%)이 유의적인 차이 없이 높은 보수력을 보였으며, 다음으로 실온 해동(92.2%), 저온냉장 해동(89.4%), 전자레인지 해동(87.2%) 순으로 유의적으로 보수력이 감소하였다. 본 실험은 해동 방법에 따라 냉동 돈육의 품질 특성 및 가공 효율성이 크게 달라지는 것을 보여주었으며, 특히 재래식 해동법에 비해 감압 텀블링 해동 방식이 드립 감량율, 보수력, 미생물 생육도, 해동 속도 등을 비교할 때 가장 우수한 해동 방법이 될 것으로 보인다. 본 연구 결과는 향후 텀블링 방식의 해동기 개발 및 산업화를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

Acknowledgements

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Development of a rapid defrosting machine for meat project,

funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (321041-3).

Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

Author contributions

Methodology: Hong WH, Kim J, Gwak YJ. Formal analysis: Hong WH, Kim J, Gwak YJ. Validation: Hong WH. Writing - original draft: Hong WH. Writing - review & editing: Hong WH, Chun J.

Ethics approval

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

ORCID

Won-Ho Hong (First author)

<https://orcid.org/0000-0002-1287-8211>

Jeong Kim

<https://orcid.org/0000-0001-9558-3752>

Yu-Jeong Gwak

<https://orcid.org/0000-0002-4194-9269>

Jiyeon Chun (Corresponding author)

<https://orcid.org/0000-0002-0093-0203>

References

Bishnoi S, Yadav S, Sheoran N. Effect of tumbling on processing of muscle foods: A review. *J Pharm Innov*, 6, 157-160 (2017)

Choi EJ, Park HW, Chung YB, Kim JS, Park SH, Chun HH. Effect of supercooling on the storage stability of rapidly frozen-thawed pork loins. *Korean J Food Preserv*, 24, 168-180 (2017)

Chun HH, Choi EJ, Han AR, Chung YB, Kim JS, Park SH. Changes in quality of Hanwoo bottom round under different freezing and thawing conditions. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 45, 230-238 (2016)

Farouk M, Wieliczko K, Merts I. Ultra-fast freezing

and low storage temperatures are not necessary to maintain the functional properties of manufacturing beef. *Meat Sci*, 66, 171-179 (2004)

Food Information Statistics System. 2020 Processed Food Segmentation Market Status Processed Meat Products. Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation, Naju, Korea, p 1-227 (2020)

Kim J, Park SH, Choi DS, Choi SR, Kim YH, Lee SJ, Park CW, Han GJ, Cho BK, Park JW. Frozen food thawing and heat exchanging performance analysis of radio frequency thawing machine. *J Korean Inst of Indus Engin*, 21, 57-63 (2017)

Kim SY, Song DH, Ham YK, Choi YS, Choi JH, Kim HW. Efficacy of tumbling in soy sauce marination of pork loins: Effects of tumbling time and temperature. *J Food Sci Technol*, 56, 5282-5288 (2019)

Hong GH. Application of high-pressure processing for developing novel meat freezing technology. *Food Sci Anim Resour*, 8, 35-42 (2019)

Jeong JY, Yang HS, Kang GH, Lee JI, Park GB, Joo ST. Effect of freeze-thaw process on myoglobin oxidation of pork loin during cold storage. *Food Sci Anim Resour*, 26, 1-8 (2006)

Jia G, Nirasawa S, Ji X, Luo Y, Liu H. Physicochemical changes in myofibrillar proteins extracted from pork tenderloin thawed by a high-voltage electrostatic field. *Food Chem*, 240, 910-916 (2018)

Jung IC, Park KS, Moon YH. Effect of slaughter weight on the quality and palatability of pork meat from various muscles. *J East Asian Soc Dietary Life*, 16, 113-119 (2006)

Kang SM, Kang CG, Lee SK. Comparison of quality characteristics of Korean native black pork and modern genotype pork during refrigerated storage after thawing. *Korean J Food Sci Ani Resour*, 27, 1-7 (2007)

Kim JS, Oh KS, Lee JS. Comparison of food component between conger eel (*Conger myriaster*) and sea eel (*Muraenesox cinereus*) as a sliced raw fish meat. *J Korean Fish Soc*, 34,

- 678-684 (2001)
- Ko SH, Hong GP, Park SH, Choi MJ, Min SG. Studies on physical properties of pork frozen by various high pressure freezing process. *Korean J Food Sci Ani Resour*, 26, 464-470 (2006)
- Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES). 2020 National Health Statistics. Korea Disease Control and Prevention Agency, Cheongju, Korea, p 101-106 (2022)
- Krause R, Ockerman H, Krol B, Moerman P, Plimpton Jr R. Influence of tumbling, tumbling time, trim and sodium tripolyphosphate on quality and yield of cured hams. *J Food Sci*, 43, 853-855 (1978)
- Lee JK, Park J. Rapid thawing of frozen pork by 915 MHz microwave. *Korean J Food Sci Technol*, 31, 54-61 (1999)
- Lin R, Yuan H, Wang C, Yang Q, Guo Z. Study on the flavor compounds of fo tiao qiang under different thawing methods based on GC-IMS and electronic tongue technology. *Foods*, 11, 1330 (2022)
- Mirade P, Portanguen S, Sicard J, De Souza, Ndob A. Impact of tumbling operating parameters on salt, water and acetic acid transfers during biltong-type meat processing. *J Food Engin*, 265, 109686 (2020)
- N gatta K, Kondjoyan A, Favier R, Rouel J, Venien A, Astruc T, Gruffat D, Mirade P. Impact of tumbling process on the toughness and structure of raw beef meat pieces. *Foods*, 10, 2802 (2021)
- Park MH, Kwon JE, Kim SR, Won JH, Ji JY, Hwang IK, Kim MR. Physicochemical and microbiological properties of pork by various thawing methods. *J East Asian Soc Dietary Life*, 22, 298-304 (2012)
- Schubring R, Meyer C, Schlüter O, Boguslawski S, Knorr D. Impact of high pressure assisted thawing on the quality of fillets from various fish species. *Innovative Food Sci Emerging Technol*, 4, 257-267 (2003)
- Wang B, Kong B, Li F, Liu Q, Zhang H, Xia X. Changes in the thermal stability and structure of protein from porcine *longissimus dorsi* induced by different thawing methods. *Food Chem*, 316, 126375 (2020)
- Yang JB, Ko MS. Physicochemical changes in pork boston butts by different cooking methods. *Korean J Food Preserv*, 17, 351-357 (2010)
- Yu LH, Lee ES, Jeong JY, Paik HD, Choi JH, Kim CJ. Effects of thawing temperature on the physicochemical properties of pre-rigor frozen chicken breast and leg muscles. *Meat Sci*, 71, 375-382 (2005)
- Yun CG, Lee DH, Park JY. Ohmic thawing of a frozen meat chunk. *Korean J Food Sci Technol*, 30, 842-847 (1998)
- Zhang X, Gao T, Song, L, Zhang L, Jiang Y, Li J, Gao F, Zhou G. Effects of different thawing methods on the quality of chicken breast. *Int J Food Sci Technol*, 52, 2097-2105 (2017)
- Zhou X, Wang Y, Gu Q, Li W. Effect of dietary probiotic, *Bacillus coagulans*, on growth performance, chemical composition, and meat quality of guangxi yellow chicken. *Poult Sci*, 89, 588-593 (2010)