



초고압 동결 처리 방법에 따른 돈육의 물리적 특성에 관한 연구

고세희 · 홍근표 · 박성희 · 최미정 · 민상기*

건국대학교 축산식품생물공학전공

Studies on Physical Properties of Pork Frozen by Various High Pressure Freezing Process

Se-Hee Ko, Geun-Pyo Hong, Sung-Hee Park, Mi-Jung Choi, and Sang-Gi Min*

Department of Food Science and Biotechnology of Animal Resources, Konkuk University

Abstract

This study was carried out to investigate the effect of various high pressure freezing treatments on the physical properties of pork. To compare the effect of freezing on meat quality, atmospheric freezing (AF), pressure and freezing (PF), pressure shift freezing (PSF) and pressure assisted freezing (PAF) were conducted at pressure of 100 MPa. Water binding properties, shear force and colour were measured as physical properties of pork. PAF showed shorter phase transition time than PSF. Although significant increase ($p<0.05$) in water binding properties was found only at PAF, meat frozen under hydrostatic pressure environment showed improved water binding properties. However, all high pressure freezing treatment caused significantly increased shear force ($p<0.05$), especially at PF treatment. In color, all high pressure freezing treatments showed significantly higher color parameters ($p<0.05$) than AF, whilst no significant differences among high pressure freezing treatments were found ($p>0.05$). Therefore the result indicated that applied hydrostatic pressure improved functional properties of pork with increasing freezing rate and PAF had more potential benefit than PSF at mild pressure range.

Key words : pressure assisted, pressure shift, freezing, physical, pork

서 론

식품의 동결은 전통적인 장기 저장 수단으로서 가장 효과적인 방법으로 사용되고 있다. 식품의 동결 과정에서 일어나는 조직 손상 및 그로 인한 중량 손실을 억제하기 위하여 보다 낮은 온도에서 빠른 동결을 실시하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다(Fernández *et al.*, 2006; Hong *et al.*, 2006c). 이러한 결과로 deep freezer 및 cryogenic freezer가 개발되어 산업적으로 이용되고 있으나, 이러한 전통적인 방법에 의한 동결은 식품의 크기에 의존하게 되며, 부피가 큰 식품에서는 식품의 내부까지 빠른 동결을 진행하기가 매우 곤란하다. 동

결에 의한 식품의 품질 저하는 결국 식품에 형성되는 얼음 결정의 수, 크기 및 형성 위치에 기인하게 된다. Martino 등 (1998)은 액화 질소에 침지하여 동결한 육의 내부에 형성된 얼음 결정의 크기와 air-blast 동결에 의하여 육 표면에 형성된 얼음 결정의 크기가 비슷하다고 보고하면서, 보다 작고 균일한 얼음 결정의 형성을 위하여 초고압 동결처리 기술을 제안하였다. 초고압 처리 기술은 식품 가공 및 처리 기술의 새로운 영역으로서 지난 10년 간 활발히 연구되고 있다. 초고압 처리는 식품의 물성 변화, 저장성 향상 및 물의 상전이(phase transition)의 영역에서 많은 연구가 진행되고 있으며(Cheftel, 1995; Knorr *et al.*, 1998), 특히 초고압 동결 기술은 물의 상전이 영역의 응용과 관련되어 있다. 1912년 Bridgman의 연구에 의해 물은 고압 상태에서 다른 상변화를 일으킨다는 것이 보고되었다. 대기압에서 0°C인 물의 상전이 온도는 210 MPa에서 -21°C로 압력의 증가에 따라 감소하고, 210 MPa 이상에서는 다시 증가한다. 초고압 동결은 이러한 물의 상변

* Corresponding author : Sang Gi Min, 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: foodeng301@paran.com

화를 이용하는 동결 방법이며, 물의 상변화 발생 방법에 따라 다음의 세 가지 방법으로 분류하였다(Schlüter *et al.*, 1998). Pressure assisted freezing (PAF)은 압력 하에서 시료를 상전이 온도까지 냉각하여 식품을 동결시키는 방법으로 동결은 일정한 압력 하에서 이루어지며, 압력의 증가에 따른 물의 잠열(latent heat) 감소로 인하여 식품의 동결 속도를 증가시킬 수 있다(Hong *et al.*, 2006c). Pressure shift freezing (PSF)은 가압 및 냉각에 의하여 식품을 과냉각(supercooling) 상태로 유지한 이후, 가압 장치의 압력을 해제시킴으로써 동결을 발생시킨다(Knorr *et al.*, 1998). 이 동결 방법은 어떠한 동결 처리 기술보다도 작고 균일한 얼음 결정의 형성에 기인하여 조직과 세포의 손상이 최소화 되고 따라서 동결 식품의 품질 향상 측면에 있어서 많은 이점을 부여한다. Pressure induced freezing(PIF)은 물과 ice I ($\rho = 930 \text{ kg/m}^3$)보다 높은 밀도를 가지는 ice III ($\rho = 1150 \text{ kg/m}^3$)의 형성을 이용한 동결 방법이다. 하지만 ice III는 압력 하에서만 안정하고, 압력 해제 시 형성되었던 ice III는 다시 ice I으로 전환되기 때문에 동결 처리 기술의 응용에 제한을 받게 된다(LeBail *et al.*, 2002). 대부분의 초고압 동결 관련 연구들은 작고 균일한 얼음 결정 형성에 의한 PSF의 장점을 보고하고 있고(Zhu *et al.*, 2004), 일부 문헌에는 PIF에 의한 조직 손상 정도를 보고하고 있다(Molina-García *et al.*, 2004). 그러나 PAF에 의한 식품의 특성 변화는 거의 보고가 되어 있지 않고 있으며, PSF과 PAF의 비교는 대부분의 문헌들이 형성된 얼음결정의 크기에만 초점을 맞추고 있는 실정이다. 또한 PSF과 PAF의 직접적인 비교에 있어서 동일한 압력과 온도에서 동결처리를 할 수 없는 특성으로 인하여 비교 연구에 많은 혼란을 야기하고 있으며, 이러한 비교를 위하여 Fernández 등(2006)은 동일 압력에서 상변화가 일어나도록 하기 위하여 PSF 처리를 높은 압력에서 수행한 후, 압력의 해제를 PAF과 동일한 압력까지만 해제하여 두 처리 방법을 비교하였다. 그러나 이러한 실험 방법은 형성되는 얼음결정의 크기에만 초점을 맞추었기 때문에, 실제 식품에서 압력의 크기에 따라 발생하는 여러 변화들에 대한 고려가 결여되어 있다고 보이며, Fernández-martin 등(2000)은 육을 초고압 처리하였을 때, PSF 처리 여부에 관계없이 초고압 환경은 육 단백질질을 심하게 손상시킨다고 보고하였다. Hong 등(2006c) 또한 압력 수준에 따른 PAF이 돈육에 미치는 효과에 대하여 100 MPa 이상의 압력은 돈육의 품질에 악영향을 미친다고 하였다. 결국 압력은 육질에 가장 큰 영향을 미치는 인자로서 판단되며 PAF과 PSF의 비교를 위해서는 동일한 압력 범위에서 가압 처리를 수행해야 하며, 또한 높은 압력의 응용은 육질에 악영향을 미치게 되므로 Hong 등(2006c)에서 제시된 바와 같이 100 MPa 이하의 압력 수준이 적합한 압력 범위로 판단된다. 따

라서 본 실험은 100 MPa의 압력 수준에서 PAF과 PSF에 의한 돈육의 물리적 특성을 비교 분석하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

공시재료

돈육 등심(*M. longissimus dorsi*) 부위는 도살된 지 24 h 이내의 것을 화양동 소재의 식육 마트에서 구입하여 사용되었다. 각 처리구는 3 cm 직경과 10 cm 길이로 근섬유 방향과 평행하게 원통형으로 정형하여 polyethylene bag으로 진공 포장하였다. 각 시료는 중심부에 k-type thermocouple을 장착한 후 냉장고에서 중심 온도가 2°C에 도달하도록 예비 냉각 후 동결 처리를 시행하였다.

동결처리

대조구로서 4개의 시료는 -50°C 의 deep freezer에서 24 시간 동결하여 atmospheric freezing (AF)처리를 하였다. 100 MPa의 압력 조건에서 돈육의 초기 빙점과 가압 시간을 측정하기 위하여 pressure assisted freezing (PAF)이 우선적으로 실시되었고, 가압은 자체 제작된 가압 장비를 이용하여 수행하였다(Fig. 1). 가압 장비는 working volume 1 L의 pressure vessel, air compressor (S-40, Seowon Compressor Co., Korea), pressure intensifier (HSF-300, Haskel International Inc., USA) 및 온도 controller (FP80, Julabo Labortechnik GmbH, German)로 구성되었고, 가압 유체로는 60% ethylene glycol이 사용되었으며, 용기(vessel) 내부 및 시료의 중심부 온도는 thermocouple을 mobile corder (MV104, Yokogawa Co., Osaka, Japan)에 연결하여 기록하였다. PAF은 가압과 동시에 냉매를 -20°C 로 냉각시켰고, 시료의 상전이 구간으로부터 시료가 10°C 더 냉각되었을 때 가압을 해제하여 -50°C deep

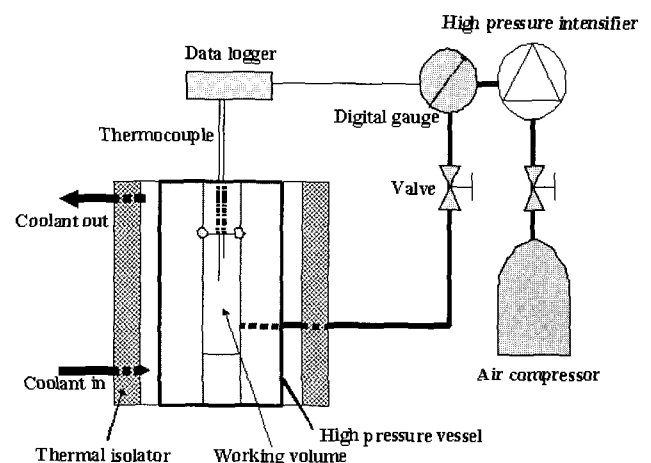


Fig. 1. Schematic diagram of high pressure equipment.

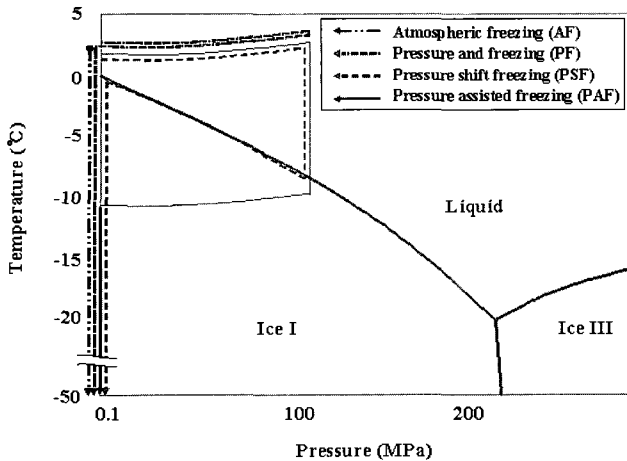


Fig. 2. Represented examples of paths on the phase diagram of water for freezing treatment.

freezer로 옮겨 24시간 동결하였다. PSF은 PAF에서 측정 한 상전이 온도(-10°C)로 용기를 냉각시킨 후 시료의 중심부 온도가 -10°C에 도달하였을 때 가압을 해제하였고, 신속히 -50°C의 deep freezer로 운반하여 24시간 저장하면서 동결을 완료하였다. Pressure and freezing (PF) 처리는 4°C로 용기 온도를 유지하면서 100 MPa의 압력에서 PAF에 소요된 동일한 시간(60분)동안 가압 처리 후 -50°C에서 24시간 동결하였다. 본 실험에서 사용된 동결 처리 방법을 압력과 온도의 함수로서 Fig. 2에 나타내었다. 모든 동결 시료는 15분간 유수 해동하여 분석하였다.

pH

시료 5 g에 증류수 20 mL를 혼합하여 Homogenizer (SMT Process Homogenizer, SMT Co. Ltd., Japan)를 사용하여 10,000 rpm에서 2분간 균질 후, pH-meter (pH Meter 440, Corning, U.K)로 측정하였다.

수분 함량 및 보수력

시료의 수분 함량은 AOAC (1990)에 의한 102°C 상압 건조법으로 측정하였다. 보수력은 Hong 등(2006b)의 방법을 이용하여 3회 반복 측정하였다. 약 1 g의 시료를 건조된 거즈를 넣어 둔 원심분리관에 넣고, 4°C로 조절된 자동 저온 원심분리기(Automatic refrigerated centrifuge) (RC-3, Sorvall Co., USA)를 이용하여 3,000 rpm에서 10분간 원심분리하였다. 원심분리 후, 시료를 제거하여 건조 전과 후의 무게를 측정하였다. 보수력은 시료 중에서 제거된 수분 함량으로서 나타내었다.

육즙 손실

해동 감량은 시료의 동결 전 및 해동 후의 무게를 측정하

여 백분율로 나타내었다. 가열 감량은 해동한 시료를 75°C water bath에서 30분간 가열 처리한 후 30분 동안 상온에서 방냉하여 감소된 무게를 백분율로 나타내었다.

전단력

가열 감량을 측정 한 시료는 1 cm의 두께로 근 섬유 방향과 평행하게 절단하여 Digital force gauge (DPS-20, IMADA Co., Japan)를 이용하여 전단력을 측정하였으며, 이때의 cross head speed는 60 mm/min으로 하였다. 시료의 전단력은 각 처리구당 12회 반복 측정되었다.

육 색(Color)

시료의 표면을 Color meter (JC801S, Color Techno System Co. Ltd., Japan)를 사용하여 L*, a* 및 b*값을 5회 반복 측정하였다. 이때 L*값이 97.83, a*값이 -0.43, b*값이 +1.98인 calibration plate를 표준으로 사용하였다.

통계분석

본 실험은 동결 처리 방법에 따른 돈육의 물리적 특성 변화를 규명하고자 실시되었다. 각 측정치의 결과 분석은 SAS (Statistics Analytical System, USA, 1989~1999) 프로그램 (Ver. 9.1)을 사용하여 Duncan의 multiple range test에 의하여 평균치간의 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

동결 속도

Table 1에는 동결 처리 방법에 따른 돈육의 동결 profile을 나타내었다. 총 동결 시간에 있어서 PSF 및 PAF은 AF와 PF에 비하여 길게 나타났지만, 이는 용기 내부의 온도 감소 속도에 따른 것으로 판단되었다. 그러나 상전이 시간은 PSF 및 PAF에서 더 빠른 속도를 나타내었고, 특히 PAF은 가압 하에서의 잠열 발생의 감소로 인하여 동결 처리 방법 중에서 가장 빠른 상전이 속도를 나타내었다. 압력 하에서의 초기 빙점 강하에 대하여 Chourot 등(1997)은 1921년 Bridgman의 실험 결과로부터 얻은 회귀 방정식을 이용하여 순수한 물의 빙점강하를 구하였고, Fernández 등(2006)은 이를 실제 식품에 도입하여 가압 하에서의 식품의 초기 빙점 산출 모델을 제시하였다. Hong 등(2006c)은 압력 수준에 따른 돈육의 빙점을 측정 한 결과, Fernández 등(2006)의 회귀방정식과 대체로 유사하였고, 100 MPa에서의 돈육의 빙점을 -10°C라고 하여 본 실험과 일치하였다. 또한 PSF과 PAF의 비교에 있어서 100 MPa의 압력 수준에서 PAF이 PSF보다 빠른 상전이 속도를 나타내었다. Hong 등(2006c)은 압력의 증가에 따른 상전이

Table 1. Phase transition profiles of pork under various freezing treatments

Treatment ¹⁾	Total freezing time (min)	Supercooling extent (°C)	Freezing point (°C)	Phase transition time (min)	Pressure holding time (min)
AF	33.1	nd ²⁾	-1.2	21.2	0
PF	33.3	nd	-1.2	16.8	60.0
PSF	58.5	9.5	-1.2	12.4	39.8
PAF	60.0	3.9	-10.1	8.3	60.0

¹⁾ AF, atmospheric freezing; PF, pressurizing and freezing; PSF, pressure shift freezing; PAF, pressure assisted freezing.

²⁾ Not determined.

온도의 감소는 동결 시간을 단축시키는 결과를 야기한다고 하였고, 결국 동일한 압력에서의 PSF와 PAF의 동결 속도는 비록 PSF이 9.5°C의 높은 과냉각을 나타내었지만 잠열 감소에 의한 PAF이 보다 빠른 동결을 야기한 것으로 판단되었다.

보수력 및 육즙 손실

동결 처리 방법에 따른 돈육의 보수력 및 육즙 손실을 Table 2에 나타내었다. 본 실험에서 데이터를 제시하지는 않았지만 돈육의 수분 함량은 PAF에서 가장 높은 75.0%를 나타내었지만 전반적으로 74에서 75%의 범위를 보여 유의적 차이가 인정되지 않았다. 일반적으로 육의 초고압 처리는 가압에 따른 adiabatic heat의 발생에 기인하여 수분 함량을 다소 감소시킨다(Hong *et al.*, 2006a; Hong *et al.*, 2006b). 그러나 이들의 연구는 육을 상온에서 가압 처리함으로써 상승된 용기 내부 온도가 열평형에 도달하는 시간이 다소 길었던 것으로 보이며, 따라서 육이 상대적으로 높은 온도에 위치함으로써 수분 손실을 야기한 것으로 보인다. 하지만 본 실험에서는 육의 가압과 함께 가압 장치를 냉각시킴으로써 가압에 따라 발생한 adiabatic heat이 냉각에 의하여 빠르게 열평형에 도달하였고, 따라서 육은 상대적으로 저온에 유지되어 초

고압 동결 처리에 의한 수분 손실을 야기하지 않는 것으로 판단되었다. PF와 PSF 처리구의 해동 감량은 대기압 동결과 유의적인 차이가 인정되지 않았으나($p>0.05$), PAF 처리구에서는 유의적으로 낮은 해동 감량을 나타내었다($p<0.05$). 결국 PAF은 가압 중에 육의 보수력을 향상시킴으로써 해동중의 수분 손실을 감소시켰고, 이러한 낮은 해동 감량에 기인하여 수분 함량 또한 다른 처리구에 비하여 다소 높은 것으로 판단된다. 이에 반해 PF 처리구 또한 PAF과 동일한 시간을 가압 처리하였지만, 가압 처리 이후의 동결 처리는 가압 중에 형성된 육 조직의 구조적인 변화를 동결에 의하여 재손상시킴으로써 해동에 의하여 다소 높은 감량을 발생한 것으로 판단된다. 동결 처리에 따른 돈육의 보수력은 PAF 처리구에서 가장 높은 81%를 나타내어 대기압 동결 처리보다 유의적으로 높았지만($p<0.05$), 초고압 동결 처리군 간에는 유의적인 차이를 나타내지 않았다($p>0.05$). 모든 처리구의 가열 감량은 유의차가 인정되지 않았지만($p>0.05$), PAF의 높은 보수력은 가열 감량을 대기압 동결보다 약 5% 감소시켰다. 결국 많은 문헌들이 200 MPa 이상의 압력 범위에서 PSF에 의한 조직 손상의 최소화 및 감량 저하를 보고하고 있지만, PSF에 의한 빠른 동결을 위한 조건으로는 낮은 냉각 온도와 높은 압력이 수반되어야 하며, 이는 압력 해제 이후 시료의 잠열을 제거하는데 매우 효과적이기 때문에 상전이 시간을 감소시킬 수 있고(Otero and Sanz, 2006), 따라서 높은 압력 수준에서는 PSF 처리가 효과적이지만, PAF의 경우 가압 하에서의 잠열 감소에 기인하여 mild pressure 범위에서는 보수력 및 감량 측면에서 PSF보다 더욱 효과적인 방법으로 판단되었다.

pH

Fig. 2는 동결 처리 방법에 따른 돈육의 pH를 나타내었다. 모든 초고압 동결 처리군은 대기압 동결에 비하여 유의적으로 높은 pH를 나타내었다($p<0.05$). 초고압 처리군에 있어서 PSF의 pH는 5.71로서 5.74와 5.75의 PF 및 PAF보다 다소 낮은 pH를 나타내었지만 유의적인 차이는 인정되지 않았다($p>0.05$). 초고압 처리가 돈육의 pH에 미치는 효과에 대하여

Table 2. Effects of various freezing treatments on the water binding properties of pork

Treatment ¹⁾	Water binding properties (%) ²⁾		
	Thawing loss	WHC ³⁾	Cooking loss
AF	2.56±0.04 ^a	73.05±1.69 ^b	33.08±0.90 ^a
PF	2.17±0.23 ^a	77.30±1.42 ^{ab}	31.79±1.16 ^a
PSF	2.30±0.46 ^a	79.32±0.02 ^{ab}	31.63±1.57 ^a
PAF	1.21±0.18 ^b	81.18±2.43 ^a	31.21±0.28 ^a

¹⁾ AF, atmospheric freezing; PF, pressurizing and freezing; PSF, pressure shift freezing; PAF, pressure assisted freezing.

²⁾ Means±S.D. from triplicates.

³⁾ Water holding capacity.

^{ab} Means with different superscripts among same culume are significantly different ($p<0.05$).

Jung 등(2003)은 가압 수준의 증가는 비록 상승폭은 작지만 유의적으로 돈육의 pH를 상승시킨다고 하였고, Hong 등(2005)은 가압 수준뿐만 아니라 가압 시간 또한 돈육의 pH에 유의적인 효과를 미친다고 하였다. 본 실험에서 PSF 처리된 돈육이 PF 및 PAF에 비하여 다소 낮은 pH를 나타내었던 것은 PSF 처리군의 가압 시간이 PF 및 PAF보다 짧았기 때문인 것으로 판단되었다. PF와 PAF간의 비교에 있어서 PF 처리군은 동일한 시간을 가압처리한 후 동결처리 되었고, AF 처리군에 비해 유의적으로 pH가 증가한 것으로 보아 동결에 의한 pH 증가는 무시할 수 있는 수준이었고, 가압 처리에 의한 pH 증가로 인하여 PAF 처리된 육과 동일한 pH를 나타낸 것으로 판단되었다.

전단력

동결 처리 방법에 따른 돈육의 전단력을 Fig. 3에 나타내었다. 초고압 동결 처리군은 대기압 동결에 비하여 유의적으로 높은 전단력을 나타내었다($p<0.05$). 초고압 동결 처리군에서 PF는 PSF보다 유의적으로 높은 전단력을 나타내었지만($p<0.05$), PSF와 PAF간에는 유의차가 인정되지 않았다($p>0.05$). 초고압 처리가 육의 연도에 미치는 효과에 대하여 Hong 등(2005)은 상온에서 200 MPa 이하의 고압 처리는 처리시간을 1시간까지 지속하여도 전단력에 효과를 미치지 않는다고 하였다. Macfarlane 등(1981) 또한 post-rigor 육은 열 처리가 수반되지 않은 가압 처리는 처리시간을 연장하더라도 근질의 미세 구조에는 심한 손상을 야기하지만 전단력에 어떠한 효과도 나타내지 않는다고 보고하였다. 반면에 Lakshmanan 등(2005)은 cold smoked salmon을 가압하였을 때, 유의적인 전단력의 증가를 관찰하였고, Chevalier 등(2000)은 PSF 처리한 Norway lobster의 전단력이 염용성 단

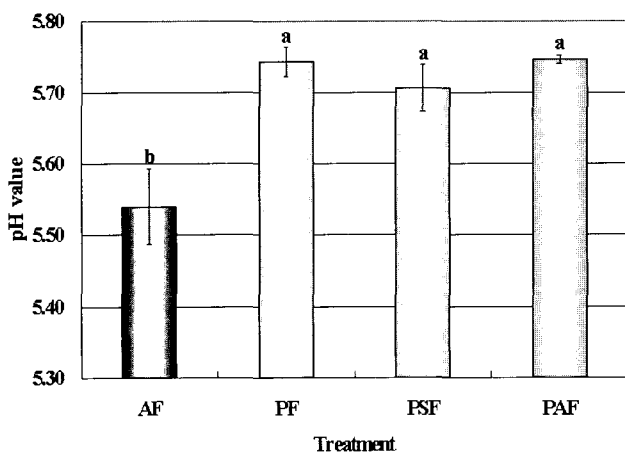


Fig. 3. Effects of various freezing treatments on the pH value of pork. Vertical bar represents standard deviation. Means with different letters are significantly different ($p<0.05$).

백질의 변성에 기인하여 증가한다고 보고하였다. 또한 Ikeuchi 등(1992)은 가압 처리는 주요 근원섬유단백질인 myosin과 actin의 변성을 야기하고 electrostatic interaction 및 disulfide 결합에 의한 단백질의 cross link에 의한 용해도 손실이 야기된다고 하였다. Hong 등(2006c)은 돈육을 PAF 처리하였을 때, 150 MPa까지 압력의 증가에 따라 전단력이 유의적으로 증가하였고, 이는 압력의 증가에 따른 초기 빙점 강하에 의하여 동결 전 가압 시간의 연장에 기인한다고 하였다. 결국 PSF를 통하여 육 조직 내 작고 균일한 얼음 결정이 형성되더라도 초고압 환경은 돈육의 단백질에 구조적 변화를 야기하며, 이러한 구조적 변화는 돈육의 전단력을 다소 상승시키는 결과를 초래한 것으로 판단되었다.

색 도

Table 3은 동결 처리 방법에 따른 돈육의 색도 변화를 나타내었다. 본 실험에서 초고압 동결 처리군은 대기압 동결에 비하여 모든 색도 함수에서 유의적인 증가를 보였지만($p<0.05$), 초고압 동결 처리군 간에는 유의차가 인정되지 않았다($p>0.05$). 일반적으로 육색은 소비자가 육의 가치를 평가하고 선택하는 척도로서 매우 중요하게 간주되고 있다(Hong et al., 2003). 초고압 처리에 따른 색도 변화는 초고압 처리에서 있어서 가장 큰 문제가 되고 있으며, 이에 따른 많은 연구가 진행되어지고 있다(Carlez et al., 1995; Jung et al., 2003). 육색은 myoglobin에서 철의 산화 상태와 근원섬유 단백질의 변성에 의하여 영향을 받는다. 가압 처리가 육색에 미치는 효과에 대하여 Carlez 등(1995)은 만육 상태의 우육을 가압 처리하였을 때, 200 MPa에서 350 MPa의 범위에서 globin의 변성이나 heme의 방출에 의하여 L*값이 증가하였고, 400 MPa 이상의 압력에서 ferrous myoglobin이 ferric metmyoglobin 형태로 산화하여 a*값이 감소하였으며, b*값은 차이가 없다고 하였다. Globin 변성에 의한 L*값의 증가는

Table 3. Effects of various freezing treatments on the color of pork

Treatment ¹⁾	CIE color ²⁾		
	L*	a*	b*
AF	53.20±2.33 ^c	8.50±1.01 ^b	10.55±0.52 ^b
PF	59.18±1.48 ^b	9.60±1.37 ^{ab}	12.75±0.24 ^a
PSF	58.80±1.32 ^b	10.65±1.32 ^a	12.50±0.63 ^a
PAF	62.83±2.27 ^a	9.88±0.99 ^{ab}	13.28±1.05 ^a

¹⁾ AF, atmospheric freezing; PF, pressurizing and freezing; PSF, pressure shift freezing; PAF, pressure assisted freezing.

²⁾ Means±S.D. from five replicates.

^{a-c} Means with different superscripts among same column are significantly different ($p<0.05$).

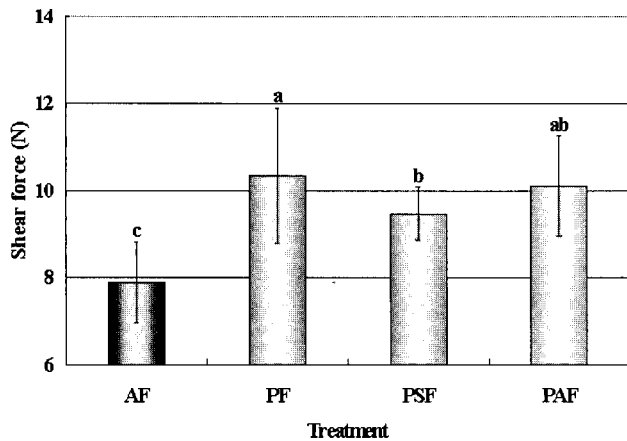


Fig. 4. Effects of various freezing treatments on the shear force of pork. Vertical bar represents standard deviation. Means with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

모든 문헌에서 동일하게 관찰되고 있다. 그러나 a*값의 변화에 대해서 많은 문헌이 일치하지 않는 결과를 보고하고 있으며, 본 실험실에서 수행된 연구들에 의하면 상온에서의 가압 처리(Hong *et al.*, 2005) 및 가압 재구성육(Hong *et al.*, 2006a)에서는 가압 수준의 증가에 따라 a*값이 증가하였지만, pressure assisted thawing (Park *et al.*, 2006) 및 PAF(Hong *et al.*, 2006c)에서는 a*값이 유의적으로 감소하였다. 결국 이러한 결과는 가압 수준뿐만 아니라 가압 시간 또한 육색에 현저한 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 위의 연구에서 돈육 및 육제품의 경우 가압 시간이 30분에서 1시간 이하였지만, 동결 및 해동처리 과정에서 가압 시간이 증가하였고, 특히 PAF에서는 immersion 방식을 이용하지 않고 convection 방식의 냉각으로 인하여 동결 전 약 1시간 40분의 가압 시간이 소요되었다. 하지만 본 실험에서는 가압 용기를 immersion 방식으로 냉각함으로써 총 가압시간이 1시간 이내로 단축되었고, 이러한 단축된 가압 시간이 대기압 동결보다 높은 a*값을 야기한 것으로 판단된다. 또한 Jung 등(2003)은 350 MPa까지의 가압은 a*값을 증가시키고, 이후 압력의 증가에 따라 a*값은 감소한다고 하였다. 이러한 현상은 metmyoglobin 함량과 관련 있다고 하였으며, 300 MPa 이하의 압력범위에서 가압처리는 metmyoglobin 환원과 관련된 효소계가 활성화 됨으로써 metmyoglobin 함량이 감소하지만, 그 이상의 압력 환경에서는 효소 반응계가 효소계 자체 또는 효소의 환경 변화에 기인하여 붕괴되어 metmyoglobin의 환원활성을 상실하게 된다고 하였다. 고압 하에서의 육색과 효소계의 관계에 대하여 Cheah와 Ledward(1997)는 산소 소비 효소계와 환원 효소계의 두 가지 효소계에 의한 기작을 보고하였다. 신선육 상태에서는 산

소 소비 효소계에 의한 표면 산소 농도의 고갈에 기인하여 육색의 안정성이 떨어지며, 이러한 육을 가압 처리하면 압력에 민감한 이들 효소계의 특성에 기인하여 안정성을 향상시킬 수 있다고 하였다. 숙성 상태의 육에서는 환원 효소계의 작용에 의하여 육색 안정성이 유지되며, 가압 처리에 의한 유의적인 효과가 발견되지 않았다고 하였다. 결국 초고압 처리에 의한 육의 변색은 초고압 처리에 따라 항상 수반되는 결과이며, 따라서 보다 빠른 냉각을 통한 가압 시간의 단축으로 육의 변색이 최소화될 것으로 판단된다.

요 약

본 실험은 초고압 동결 처리 방법에 의한 돈육의 특성을 대기압 동결 처리와 비교하기 위하여 시행되었다. 본 실험의 결과에 의하면, PSF는 높은 압력 범위에서는 효과적인 잠열의 제거에 기인하여 조직 내 작고 균일한 얼음 결정을 형성함으로써 식품의 품질을 향상시킬 수 있지만, 100 MPa의 mild pressure 범위 조건에서는 그 효과가 미약하거나 오히려 식품에 악영향을 나타낼 수 있었다. 반면에 높은 압력 범위의 PAF는 돈육의 연도 증가 및 심한 변색에 기인하여 육질을 저하시킬 수 있었지만, 본 실험에서 사용한 압력 범위에서는 잠열의 감소에 의하여 PSF보다 빠른 동결이 가능하여 효과적인 동결 처리 방법으로 판단되었고, 결국 초고압 동결 처리는 압력의 범위에 따라 응용 방법을 적절하게 사용함으로써 식품의 품질을 향상시킬 수 있으리라 판단된다.

참고문헌

1. AOAC (1990) Official methods of analysis. 15th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
2. Carlez, A., Veciana-Nogues, T., and Cheftel, J. C. (1995) Changes in colour and myoglobin of minced beef meat due to high pressure processing. *Lebensm. -Wiss. u. -Technol.* **28**, 528-538.
3. Cheah, P. B. and Ledward, D. A. (1996) Inhibition of metmyoglobin formation in fresh beef by pressure treatment. *Meat Sci.* **45**, 411-418.
4. Cheftel, J. C. (1995) Review: high pressure, microbial inactivation and food preservation. *Food Sci. Technol. Intl.* **1**, 75-90.
5. Chevalier, D., Sentissi, M., Havet, M., and Le Bail, A. (2000) Comparison of air-blast and pressure shift freezing on norway lobster quality. *J. Food Sci.* **65**, 329-333.

6. Chourot, J. M., Boillereaux, L., Havet, M., and Le Bail, A. (1997) Numerical modeling of high pressure thawing: Application to water thawing. *J. Food Eng.* **34**, 63-75.
7. Fernández, P. P., Otero, L., Guignon, B., and Sanz, P. D. (2006) High-pressure shift freezing versus high-pressure assisted freezing: Effects on the microstructure of a food model. *Food Hydrocolloid* **20**, 510-522.
8. Fernández-Martin, F., Otero, L., Solas, M. T., and Sanz, P. D. (2000) Protein denaturation and structural damage during high-pressure-shift freezing of porcine and bovine muscle. *J. Food Sci.* **65**, 1002-1008.
9. Hong, G. P., Lee, S., and Min, S. G. (2003) Studies on physico-chemical properties of spreadable liver sausage during storage period. *Kor. J. Food Sci. Ani. Resour.* **23**, 56-62.
10. Hong, G. P., Park, S. H., Kim, J. Y., Lee, S. K., and Min, S. G. (2005) Effects of time-dependent high pressure treatment on physico-chemical properties of pork. *Food Sci. Biotechnol.* **14**, 808-812.
11. Hong, G. P., Park, S. H., Kim, J. Y., and Min, S. G. (2006a) The effects of high pressure and various binders on the physico-chemical properties of restructured pork meat. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* **19**, 1484-1489.
12. Hong, G. P., Park, S. H., Kim, J. Y., Ko, S. H., and Min, S. G. (2006b) Effects of salt, glucono- δ -lactone and high pressure treatment on physico-chemical properties of restructured pork. *Kor. J. Food Sci. Ani. Resour.* **26**, 204-211.
13. Hong, G. P., Park, S. H., Ko, S. H., and Min, S. G. (2006c) Effects of pressure assisted freezing on physico-chemical properties of pork. *Korean J. Food Sci. Technol.* In printing.
14. Ikeuchi, Y., Tanji, H., Kim, K., and Suzuki, A. (1992) Mechanism of heat-induced gelation of pressurized actomyosin: Pressure-induced changes in actin and myosin in actomyosin. *J. Agric. Food Chem.* **40**, 1756-1761.
15. Jung, S., Ghoul, M., and De Lamballerie-Anton, M. (2003) Influence of high pressure on the color and microbial quality of beef meat. *Lebensm. -Wiss. u. -Technol.* **36**, 625-631.
16. Knorr, D., Schlueter, O., and Heinz, V. (1998) Impact of high hydrostatic pressure on phase transitions of foods. *Food Technol.* **52**, 42-45.
17. Lakshmanan, R., Miskin, D., and Piggott, J. R. (2005) Quality of vacuum packed cold-smoked salmon during refrigerated storage as affected by high-pressure processing. *J. Sci. Food Agric.* **85**, 655-661.
18. LeBail, A., Chevalier, D., Mussa, D. M., and Ghoul, M. (2002) High pressure freezing and thawing of foods: a review. *Int. J. Refrig.* **25**, 504-513.
19. Macfarlane, J. J., McKenzie, I. J., Turner, R. H., and Jones, P. N. (1981) Pressure treatment of meat: Effects on thermal transitions and shear values. *Meat Sci.* **5**, 307-317.
20. Martine, 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.
21. Molina-García, A. D., Otero, L., Martino, M. N., Zaritzky, N. E., Arabas, J., Szczepek, J., and Sanz, P. D. (2004) Ice VI freezing of meat: supercooling and ultrastructural studies. *Meat Sci.* **66**, 709-718.
22. Otero, L. and Sanz, P. D. (2006) High-pressure-shift freezing: Main factors implied in the phase transition time. *J. Food Eng.* **72**, 354-363.
23. Park, S. H., Ryu, H. S., Hong, G. P., and Min, S. G. (2006) Physical properties of frozen pork thawed by high pressure assisted thawing process. *Food Sci. Technol. Intl.* **12**, 347-352.
24. Schlüter, O., George, S., Heinz, V., and Knorr, D. (1998) Phase transitions in model foods induced by pressure-assisted freezing and pressure-assisted thawing. *Proceed. IIR Int. Conf. Sofia, Bulgarie*, pp. 23-26.
25. Zhu, S., Le Bail, A., Ramaswamy, H. S., and Chapleau, N. (2004) Characterization of ice crystals in pork muscle formed by pressure-shift freezing as compared with classical freezing methods. *J. Food Sci.* **69**, 190-197.

(2006. 11. 7. 접수 ; 2006. 12. 13. 채택)