

육가공 제품에 대한 초고압 기술의 적용

Application of Hydrostatic Pressure Techniques on the Meat Products

김윤지* · 이은정
Yun-Ji Kim, Eun-Jung Lee

한국식품연구원 안전성연구단
Food Safety Research Center, Korea Food Research Institute

1. 배 경

육제품의 소비에서 점차 고급제품의 선호도가 증가하는 추세로 냉장유통 판매가 증가하면서 냉장제품의 저장성 연장 기술이 시급한 실정이다. 경제 성장과 함께 식문화의 변화로 위생적이며 기호성이 높은 식품에 대한 선호도가 증가하고 있음에도 불구하고 기존의 제품들은 이를 만족시키지 못하고 있는 실정으로 관련 식품 소비량이 수년째 정체된 상태이다. 따라서 새로운 가공기법을 이용한 위생적인 제품개발 및 품질개선을 할 수 있는 기술력 확보가 필요한 실정으로 이와 관련하여 비가열 처리방법 중 하나인 초고압 기술을 육제품 제조 공정에 도입하여 질적으로 보다 향상된 제품 즉 저장성 연장, 새로운 조직 및 맛 특성을 갖는 제품개발에 기여할 수 있을 것으로 사료된다. 그리고 국내 육제품 소비자에게 보다 질적으로 고급화된 육제품, 위생적으로 안전한 육제품을 공급할 수 있어서 식생활 수준을 향상시킬 수 있으며 연관된 식품산업기술의 발전으로 전반적인 식문화에 바람직한 효과를 낼 수 있다.

2. 초고압에 의한 근원섬유 구조 변화

육의 근육 구조를 이루는 주요 단백질인 근원섬유는

사후 강직(rigor-motis) 시 근수축의 역할을 하는 단백질로써 육의 연도와 직접적인 관계가 있는 단백질이다. 근원섬유의 미세구조는 Fig. 1과 같이 Z-선 사이의 근절(sarcomere)을 기본 단위로 하여 미오신과 액틴-필라멘트가 공존하는 A-대와 A-대 가운데의 미오신만 존재하는 H-대, 그리고 액틴-필라멘트로 구성된 I-대로 이루어져 있다. 사후강직 시 근원섬유의 변화는 미오신과 액틴의 결합으로 I-대가 짧아지면서 전체 근절이 짧아져 근 수축이 일어나게 된다. 사후 강직된 육은 정상적인 사후강직의 해제와 숙성을 거치면서 근원섬유 내에서는 자가 단백질 분해효소에 의한 자가소화에 의해 Z-선이 분해되어 근원섬유 길이가 짧아지고, 미오신과 액틴의 가교형성이 종결되고, 장력이 감소되어 결합이 이완된다. 이런 일련의 과정을 겪으면서 육의 연도가 개선된다.

초고압에 의한 육의 구조변화는 육종과 육의 사후 변화 시점 (pre-rigor 또는 post-rigor), 압력의 크기, 처리시간, 처리온도 등에 따라 달라진다. Macfarlane 과 Morton (1978)은 100 MPa(for 1 min, 25°C)로 처리한 pre-rigor 양고기에서 근절의 길이가 길어짐을 관찰했다(1). Elgasim 과 Kennick (1982)는 103.5 MPa (for 2 min, 37°C) 처리한 pre-rigor 우육에서 H-대와 M-선(H-대 가운데에 위치)이 소실되었고, Z-선이 붕괴되는 것을 관찰하였다(2). Post-rigor 양고기

*Corresponding author: Yun-Ji Kim

Food Safety Research Center, Korea Food Research Institute San 516 Baekhyun-dong Bundang-gu Seongnam-si Kyunggi-do 463-746 Korea
Tel: 82-31-780-9085
Fax: 82-31-780-9185
E-mail: yunji@kfri.re.kr

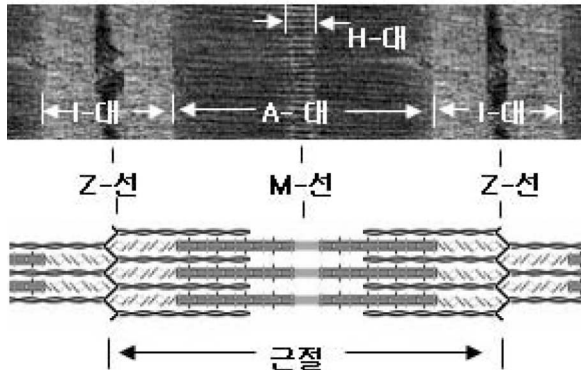


Fig. 1. 근원섬유 모식도.

에서 100 MPa (for 60 min, 25°C)의 압력 처리에 의해 M-선이 소실되고, I-대의 본래의 모습을 잃는 것이 관찰되었으나, Z-선은 큰 변화가 관찰되지 않았다 (1). Suzuki 등은(1990) 우육에서 I-대의 파괴가 관찰되고, M-선이 소실되었으며, Z-선이 두꺼워지고, A-대의 근섬유방향으로 균열이 발생했으며, 이러한 변화는 150 MPa (for 5min, at 20°C)에서 발생되어 300 MPa 처리구까지 이러한 현상의 강도가 증가하였다고 보고하였다(3).

3. 초고압에 의한 우육의 연도 변화

육의 연도는 생물학적인 영향과 사후 변화에 의해 영향을 받는다. 생물학적으로 가축의 나이, 성별, 종 등에 의해, 사후에는 사후 강직의 해제로 연도가 개선되는 시점까지의 저장 기간에 의해 육의 연도는 영향을 받는다. 이 외에 기술적인 방법으로 전기자극, 산처리, 칼슘이온의 주입, 초고압 등이 육의 연도를 개선시킬 수 있는 기술로 이용될 수 있다. 초고압에 의한 육의 연도변화는 초고압 조건에 따라 다르게 나타난다. post-rigor 우육에 100~600 MPa (for 5 min, at 15°C)를 처리한 김 등은 물리화학적, 현상학적 연구를 하여 우육의 조직감 변화와의 연관성을 연구하였다(4). 그 연구에 의하면 Fig. 2와 같이 압력의 크기에 따라 전단력의 변화가 다르게 나타났다. 즉, 100 MPa에 의해서 미오신 머리 부분의

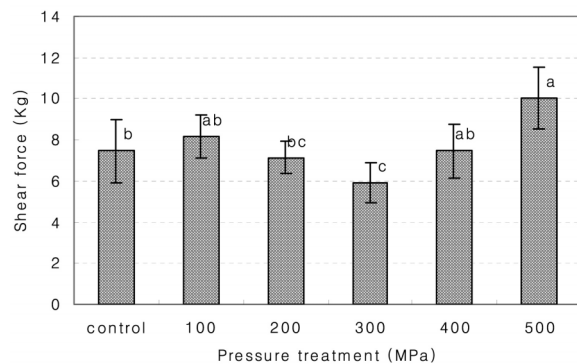


Fig. 2. 초고압 처리한 우육의 전단력 변화 ($P<0.05$).

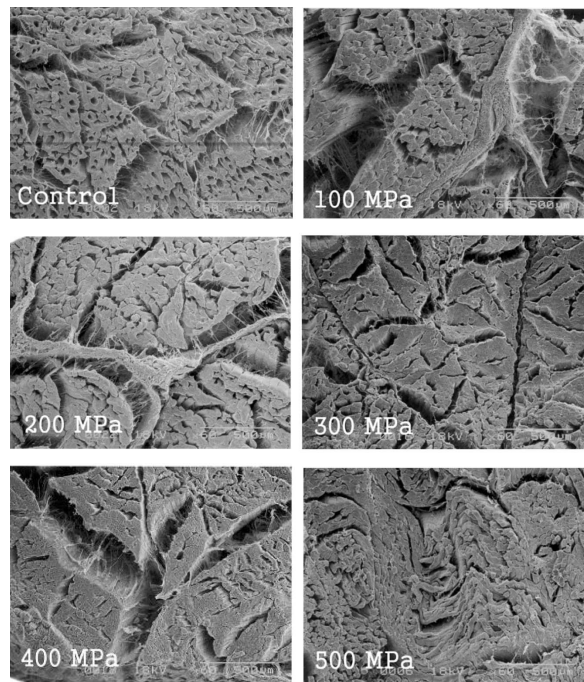


Fig. 3. 초고압 처리한 우육의 주사전자현미경에 의한 절단면 변화.

변성이 진행되고, 미오신과 액틴의 결합이 형성되어 전단력이 대조구보다 증가된다고 하였다. 200 MPa에 의해서는 미오신 머리부분과 액틴의 변성이 진행되고, 이 둘 사이의 결합력도 약화되어 100 MPa 처리구에 비해 전단력이 낮아지는 결과를 나타냈다. 육의 단면도를 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope)으로 관찰한 Fig. 3에서도 나타나듯이

300 MPa의 압력에서 근섬유 다발이 서로 뭉치는 현상이 나타났지만, 300 MPa에 의해서는 전단력에 대조구보다도 감소하였는데, 트로포닌과 트로포마이오신 등 액틴 필라멘트의 구성 단백질이 해리되어 나와 I-대가 소실된 것과 연관이 있다고 보고하였다. 400과 500 MPa에 의해서는 300 MPa 처리구와 마찬가지로 I-대의 소실이 관찰되었으나, cathepsin D가 불활성화 되고, 단백질간의 결합력이 더 강해져서 전단력은 증가했다고 하였다. 이와 같은 압력 크기에 따른 전단력의 변화는 TPA 변수 중 굳기(hardness)와 겹성(gumminess)의 변화와 일치하였다. 탄성(springiness)은 압력 처리군이 대조구보다 높았고, 200 MPa 처리구에서 최고치를 나타냈다. 이는 압력처리에 의해 조리감량이 증가했다는 결과와, Fig 3에서 나타났듯이 압력처리에 의해 근다발이 조밀해졌다는 것과 연관이 있다고 보고하였다.

4. 초고압에 의한 우육의 색 변화

육색의 산화는 선홍색의 옥시미오글로빈이 갈색의 메트미오글로빈으로 변하는 것으로 근육 내의 산소 이용 효소와 관련된 촉매작용으로 이루어진다. 다시 메트미오글로빈은 효소학적 환원 시스템에 의해 옥시미오글로빈으로 전환될 수 있다. 신선육에서, 촉매

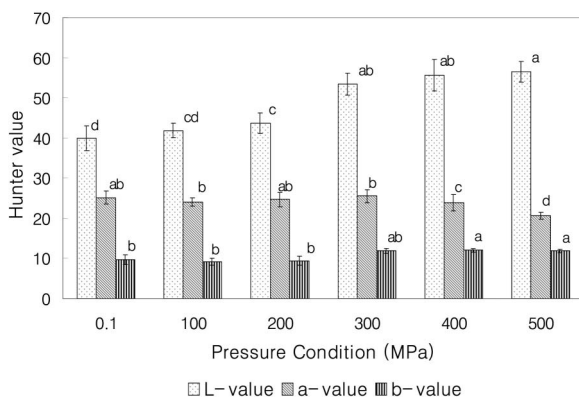


Fig. 4. 초고압에 의한 우육의 육색 변화.

Standard deviation are given by vertical through means
The control and pressurized samples were statistically different ($p < 0.05$).

작용의 활성은 산소소비속도와 관련되어있어서 도축 후 급격히 감소한다. 반면, 숙성 중 환원 시스템의 활성은 천천히 감소되기 때문에 육색을 조절하는 주요 요소가 될 수 있다(5). 초고압에 의한 육색의 변화는 글로빈의 변성과 헴(heme)의 이탈, 미오글로빈이 메트미오글로빈으로 산화함으로써 유발 된다(6). CIELAB 시스템의 L-값(lightness), a-값(redness), b-값(yellowness)로 육색을 표현한 Fig. 4에서 나타나듯이 육의 L-값과 b-값은 300 MPa의 이상의 압력 처리에 의해서 증가하나 a-값은 400 MPa 이상의 처리에 의해 감소하여, 육색이 밝아지며 회갈색의 빛을 띤다. 그러나 생햄이나 가열햄에서 진공 포장 시 산소 소거제를 사용하여 제품내의 산소를 완전 제거하거나, 제품에 염을 첨가하여 초고압에 의한 저항성이 강한 니트로실미오글로빈을 사전에 형성하면 메트미오글로빈의 형성을 방지할 수 있다(7). 또한 초고압 처리에 의해 육색이 변하더라도 조리 후 육색은 차이가 없다(8).

5. 초고압에 의한 겔화와 유화

육제품에서 수분 결합, 겔화 및 유화력 같은 근원섬유의 기능적 특성이 제품화에 있어서 중요한 요소이다. 초고압은 열처리 없이 근원섬유를 겔로 만들 수 있고, 초고압 처리한 근원섬유로 열처리하면 더 단단한 겔을 만들 수 있다(9). 또한 가열 전 150 MPa의 초고압 처리로 고기 입자간의 결합력이 증가된다. 초고압에 의해 분해된 단백질이 다시 결합력을 증가시키는 데 기여하는 것이다(10). 0.1 M KCl 용액 내 미오신은 210 MPa 처리에 의해 겔을 형성하였고 이는 미오신 머리부분 사이의 결합으로 인한 것이라고 한다(11). 150 MPa로 처리한 육에 1.5% NaCl를 첨가하여 만든 프랑크푸르터 소세지에서 유화 안정성이 증가했다는 보고와 같이(12), 초고압은 육가공에 있어서 나트륨 이온을 감소해도 단백질의 기능성을 유지, 개선시킨다. 어육을 이용한 수리미(surimi)의 초고압을 이용하면 겔의 외관이 부드럽고 광택이 있으며 덜 단단하면서 탄성이 높은 제품을 만들 수 있었다고 한다(13).

6. 육제품의 미생물에 대한 초고압 효과

초고압에 의한 미생물 사멸 효과는 미생물의 종류, 압력 크기, 지속 시간, 처리 온도, 식품의 성분이나 배지 조성 등과 같은 요소에 의해 달라진다. 일반적으로 그람 음성 (*Pseudomonas*, *Salmonella spp.*, *Yersinia enterocolitica*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Escherichia coli* O157:H7)이 그람 양성 (*Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*)보다 압력에 대한 감수성이 높지만, 포자의 경우 압력 내성이 가장 높은 것으로 나타났다. *Micrococcus luteus*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus faecalis* 등을 6 log 정도 사멸하기 위해서는 500 내지 600 MPa에서 10 min 간의 압력 처리가 필요하다고 했지만, *Pseudomonas fluorescens*, *Citrobacter freundii*, *Listeria innocua* 등은 20 분간 압력 처리되어야 한다. *P. fluorescens*는 20°C에서 200 MPa이상의 압력에 의해, *C. freundii*는 280 MPa 이상의 압력에서, *L. innocua*는 400 MPa 이상의 압력에서 5 log 정도 미생물이 불활성화 된다. 이처럼 압력의 크기와 지속 시간에 따라 미생물 사멸효과는 다르게 나타난다. Kalchayanand 등은 *S. typhimurium*, *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *E. coli* O157:H7 등 4개의 균주의 207 MPa, 5 분 처리 시 25~45°C 사이의 온도에 따른 감수성을 연구하였다. 그 결과 207 MPa에서 35°C 이상의 온도에 대한 감수성이 25°C 보다 크게 나타났고, 이는 세포막에서 지질의 열에 의한 상변화와 관계된 것으로 보고하였다(14). Patterson 등은 (1995) 미생물을 접종한 배지의 종류 (완충액, 우유, 계육)에 따라 압력에 의한 사멸 효과를 평가한 연구를 하였다(15). 완충액(10 mM phosphate buffer, pH 7.0)에서는 *Y. enterocolitica*는 275 MPa에서 15분 처리에 의해 5 log 정도 inactivation되어 압력 처리에 의한 감수성이 가장 높은 것으로 평가되었다. 5 log 정도 inactivation 되려면 *S. typhimurium*은 350 MPa, *L. monocytogenes*는 375 MPa, *S. enteritidis*는 450 MPa, *E. coli* O157:H7과 *S. aureus*는 700 MPa에서 각각 15분의 처리 시간이 필요했다. 같은 species 중에서 strain에 따라 압력 내성이 다르게 나타났다.

또한 미생물은 계육이나 완충액 보다 우유에서 그 내성이 가장 높게 나타났다. 미생물의 압력에 대한 내성은 일반적으로 완충액보다 식품에서 높게 나타나며, 같은 종에서도 strain에 따라 압력에 대한 내성이 다르게 나타난다. Simpson과 Gilmour (1997)는 *L. monocytogenes*의 생존율이 raw meat 보다 cooked meat에서 높게 나타났고, 이는 수분활성도의 차이에서 비롯된 것 같다고 보고했다(16). Stewart 등은 동일 압력 조건에서 (353 MPa 10 분, 45°C) *L. monocytogenes*가 현탁된 버퍼의 pH가 4.0인 경우 pH 6.0 보다 3 log 정도 균수가 감소했다고 한다(17). 이와 같이, 수분활성도가 떨어질수록 미생물의 압력에 대한 내성은 올라가며, media의 pH가 감소함에 따라 미생물의 압력에 대한 감수성이 증가한다(18). 또한, 압력 처리에 의해 살아남은 미생물이라 할지라도 치명적인 상처가 있거나, 물리적, 화학적 환경에 대한 감수성이 높아진다(14).

7. 향후 전망

경제 성장과 함께 식문화의 변화로 위생적이며 기호성이 높은 식품에 대한 수요가 증가하고 있다. 육제품에서는 첨가제와 보존제의 사용을 줄이고, 식염과 지방 함량이 낮은 안전한 고급 제품에 대한 소비자 요구가 높아지고 있다. 따라서 산업체에서는 첨가물과 보존료를 줄이거나 없애는 공정에 대한 기술을 요구하고 있다. 또한 식염은 보존의 기능 보다는 미각을 위한 것으로 적정 수준으로 낮추어야 한다. 저지방 육제품에 대한 성과는 어느 정도 이루어진 실정이나, 단가를 줄일 수 있는 방법을 모색해야할 시점이다. 이와 관련하여 초고압 기술을 육제품 제조공정에 활용하면 기술적인 측면에서 많은 문제점을 해결하는데 기여할 수 있을 것으로 사료된다. 실제로 스페인, 프랑스, 미국, 일본에서는 햄, 델리스타일 육제품, 조리가열 육제품 등이 상업적으로 시판된 상황이다. 따라서 우리나라에서도 초고압 기술에 의한 새로운 육가공 제품 개발이 국내 육가공 제품 시장에 새로운 활기를 줄 수 있으며, 이에 따른 기술개발 촉진이 진작될 수 있고 초고압 이용 기술개발로 관련 산업의 활성화를 촉진할 수 있어

새로운 산업으로 발전될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Macfarlane, J.J., Morton, D.J. Effect of pressure treatment on the ultrastructure of striated muscle. *Meat Sci.* **2**, 281, 1978
2. Elgasim, E.A. and Kennick, W.H. Effect of high pressure on meat microstructure. *Food Microstruct.*, **1**, 75, 1982
3. Suzuki, A., Watanabe, M., Iwamura, K., Ikeuchi, Y. and Saito, M. Effect of high pressure treatment on the ultrastructure and myofibrillar protein of beef skeletal muscle. *Agric. Biol. Chem.* **54**, 3085, 1990
4. Kim, Y.J., Lee, E.J., Lee, N.H., Kim, Y.H. and Yamamoto, K. Effects of hydrostatic pressure treatment on the physico-chemical, morphological and textural properties of bovine semitendinosus muscle. *Food Sci. Biotechnol.*, **16**, 49, 2007
5. Ledward, D.A. Post-slaughter influences on the formation of metmyoglobin in beef muscles. *Meat Sci.*, **15**, 149, 1985
6. Carlez, A., Veciana-nogues T. and Cheftel, J.-C. Changes in colour and myoglobin of minced beef meat due to high pressure processing. *Lebensm. -Wiss. u.-Technol.*, **28**, 528, 1995
7. Goutefongea, R., Rampon, V., Nicolas, N. and Dumont, J.-P. Meat color changes under high pressure treatment. 41st ICoMST, Am. Meat Sci. Assoc. (eds), II, 384-385, 1995
8. Jung, S., Ghoul, M. and De Lamballerie-anton, M. Changes in lysosomal enzyme activities and shear values of high pressure treated meat during ageing. *Meat Sci.*, **56**, 239, 2000
9. Ikeuchi, Y., Tanji, H., Kim, K. and Suzuki, S. Dynamic rheological measurements on heat-induced pressurized actomyosin gels. *J. Agric. Food Chem.*, **40**, 1751, 1992
10. Macfarlane, J.J., Mackenzie, I.J. and Turner, R.H. Binding of comminuted meat: effect of high pressure. *Meat Sci.*, **10**, 307, 1984
11. Yamamoto, K., Miura, T. and Yasui, T. Gelation of myosin filament under high hydrostatic pressure. *Food Struct.*, **9**, 269, 1990
12. Crehan, C.M., Troy, D.J. and Buckley, D.J. The significance of high hydrostatic pressure on the functional properties and acceptability of reduced salt frankfurters. *Irish J. Agric. and food research*, **38**, 149, 1999
13. Cheftel, J.C. and Culioli, J. Effects of high pressure on meat: A review. *Meat Sci.*, **46**, 211, 1997
14. Kalchayanand, N., Sikes, A., Dunne, C.P. and Ray, B. Factors influencing death and injury of foodborne pathogens by hydrostatic pressure-pasteurization. *Food Microbiol.*, **15**, 207, 1998
15. Patterson, M.F., Quinn, M., Simpson, R. and Gilmour, A. Sensitivity of vegetative pathogens to high hydrostatic pressure treatment in phosphate-buffered saline and foods. *J. Food Protec.*, **58**, 524, 1995
16. Simpson, R.K. and Gilmour, A. The resistance of *Listeria monocytogenes* to high hydrostatic pressure in foods. *Food Microbiol.*, **14**, 567, 1997
17. Stewart, C.M., Hoover, D.G. and Farkas, D.F. Response of *Listeria monocytogenes* and *Vibrio parahaemolyticus* to high hydrostatic pressure. *J. Food Sci.*, **56**, 1404, 1991
18. Mackey, B.M., Foretiere, K. and Isaacs, N. Factors affecting the resistance of *Listeria monocytogenes* to high hydrostatic pressure. *Food Biotechnol.*, **9**, 1, 1995