

pH, NaCl 및 phosphate 첨가에 따른 돈육 드립의 열안정성 및 색에 관한 연구

김천제 · 이창현* · 송민석 · 이의수 · 조진국
건국대학교 축산가공학과, *일본 우즈노미야대학 생물생산과학과

Studies on the Thermal Stability and Color of Free Drip released from Pork Muscle with pH, Concentration of NaCl and Phosphate

Cheon-Jei Kim, Chang-Hyun Lee*,
Min-Seok Song, Eui-Soo Lee and Jin-Kook Cho
Department of Animal Products Science, Kon-Kuk University
*Department of Bioproductive Science, Utsunomiya University

Abstract

The objective of this study was to evaluate the characteristics on the thermal denaturation of free drip released from pork loin during chilled storage using DSC (differential scanning calorimetry) with pH, concentration of NaCl and phosphate. The increasing of pH stabilized the heat resistance of the proteins in drip. A T_i greatly increased of T_{max} by 6.33°C incline from pH 5.5 to 6.5. And increasing the concentration of NaCl destabilized the heat resistance of drip. T_i showed the greatest reduction of T_{max} (9.41°C) in the presence of 5% NaCl. The presence of STPP (Sodium Tripolyphosphate) enhanced the thermal stability of pork drip by 5.84°C in the presence of 0.5% STPP. As temperature increased from 40 to 100°C, lightness (L^*) increased from 41.1 to 69.5, while redness (a^*) decreased from 26.70 to 5.40. Particularly, both values of L^* - and a^* - greatly changed by 78% from 40 to 60°C.

Key words : drip, denaturation, DSC, pH, NaCl, STPP

서 론

식육의 유리수 중에는 용해성 단백질이 들어 있고 유리수는 저장중에 육표면으로 스며나와 소비자들에게 불쾌감을 주고 영양적 손실도 초래한다. 이처럼 흘러나온 유리수가 포장한 원료육의 포장지 내에 고여 있을 때 이것을 드립(drip)이라고 하며, 저장중 드립 발생이 많으면 식육의 감량은 매우 크므로 소·도매시 이윤의 손실을 초래하게 될 뿐만 아니라 드립에는 수용성 단백질을 포함하여 비타민, 무기물 등의 일부가 포함되어 있어서 영양가의 손실도 크다고 할 수 있다⁽¹⁻⁹⁾.

특히 드립발생량이 많은 PSE육은 혼연, 염지 및 조

리가열시 드립 및 육즙분리가 심하여 다즙성이 떨어지고, 건조하여 기호성이 떨어진다.

식육에 들어있는 수분 중 일부는 유리형태로 들어 있기 때문에 가벼운 충격에도 수분손실이 일어나 원료육의 색이나 보수성 및 연도 등과 가공육제품의 품질에 영향을 미친다. 신선육의 보수력과 드립발생에 영향을 미치는 주요한 두 요인은 pH와 단백질의 변성인데, 변성에 의해 불용화된 근장단백질이 근원섬유단백질을 손상시키기 때문이며, 도살직후 pH가 낮을수록, 도체의 온도가 높을수록 근원섬유단백질의 변성정도가 심하여 드립량이 증가한다고 하였다⁽⁹⁻¹⁰⁾.

DSC(Differential scanning calorimetry)를 이용하여 육단백질의 열변성을 측정할 때 육의 종류에 상관없이 일반적으로 세 개의 주요 peak⁽¹¹⁾를 나타낸다. 즉, 강제시지⁽¹²⁾, 숙성기간⁽¹³⁾, 근절질이⁽¹⁴⁾ 등에 따라 다소 차이는 있으나, 54°C-58°C의 온도범위에서 myosin의 변성으로 야기되는 endothermic peak가 나타나며,

Corresponding author : Cheon-Jei Kim, Department of Animal Products Science, Kon-Kuk University, 1 Hwayang-dong, Kwangjin-gu, Seoul 143-701
Tel : 82-2-450-3684
Fax : 82-2-444-6695
E-mail : kimcj@kkucc.konkuk.ac.kr

65°C~67°C에서는 collagen과 근장 단백질의 변성으로 생기는 peak가 나타나고 80°C~83°C에서는 actin의 변성에 의한 peak가 나타난다. 드립과 근장단백질의 단백질 조성은 매우 유사하며 드립은 주로 근장에서 유래하는 것으로 알려져 있다. 드립량이 증가함에 따라 개개의 단백질에 있어서의 규칙적인 변화는 일부 혹은 전체적인 단백질의 변성에 의하거나 근원섬유내에서 유출된 액체(fluid)에 의한 회석으로 설명된다고 하였다⁽¹⁵⁾. DSC상에서 육단백질의 변성 엔탈피는 pH^(5,15), 이온강도^(6,18)와 가열속도⁽¹⁹⁾ 등에 의해 영향을 많이 받게 되며, 염의 첨가⁽²⁰⁾는 변성온도와 변성 엔탈피에 직접적인 영향을 주게 된다.

이와 같이 DSC는 육단백질의 열변성 연구에 많이 이용되어 왔으나 식육의 기호도, 영양 및 경제적인 요소들과 관계가 깊은 돈육 드립에 대한 체계적인 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 pH, NaCl의 농도 및 phosphate의 농도가 돈육 등심 드립의 열안정성과 색에 미치는 영향에 대하여 조사하고자 실시하였다.

재료 및 방법

공시재료

본 실험에 사용된 시료는 경기도 이천 도축장에서 도축한 돈육으로 도축 후 돈지육의 5~8번째 흉추 사이를 절개한 후 pH meter(NWK Thien GmbH ph K21, Germany)의 electrode를 등심근에 직접 삽입하여 도축 1시간 이내의 초기 pH가 6.3이상, 24시간 후의 최종 pH가 5.5 이상인 정상육 등심근(*M. longissimus dorsi*)을 1~1.5 cm 두께의 일정한 크기로 정형한 후 polypropylene bag에 넣어 +2°C에서 72시간 동안 저장, 보관하였다. 72시간 경과 후 polypropylene bag의 바닥에 고인 드립을 수거하여 3,000 rpm에서 15분간 원심분리하고 여과지(Whatman No. 4)로 여과하여 지방과 불용성 물질을 제거한 여과액을 실험재료로 사용하였다.

pH 측정

수거한 드립을 원심분리한 후 여과한 여액 25 mL을 유리전극 pH meter(Schott Gerate CG714, Germany)로 직접 측정하였다.

가열에 따른 드립의 색(Color) 측정

드립의 색변화를 측정하기 위하여 드립의 중심온도(Heating rate, 1°C/min)가 40, 50, 60, 70, 80, 90 및

100°C에 도달후 상온에서 냉각하여 Colorimeter (Chromameter, CR210, Minolta, Japan)를 사용하여 명도(lightness)를 나타내는 L*값, 적색도(redness)를 나타내는 a*값과 황색도(yellowness)를 나타내는 b*값을 측정하였다. 이때의 표준색은 L*값이 97.83, a*값이 -0.43, b*값이 +1.98인 백색 표준판을 사용하였다.

Differential Scanning Calorimetry(DSC)

DSC는 1020 Series DSC 7 Thermal Analysis System(Perkin-Elmer, USA)을 사용하였고, 온도와 엔탈피(enthalpy)의 보정(calibration)은 Indium($T_0 = 156.60$ °C, $\Delta H = 28.45$ J/g)을 사용하였다. pH(5.0, 5.5, 5.7, 6.0, 6.5, 7.0), NaCl 농도(0, 1, 1.5, 2, 3 및 5%), Sodium tripolyphosphate(STPP)의 농도(0, 0.1, 0.2, 0.3 및 0.5%)에 따라 돈육 드립의 열안정성을 조사하기 위하여 시료를 stainless pan(Part No. 0319-0029)에 30±0.5 mg을 취하여 crimper로 봉한 후 10~108°C까지 20°C/min의 heating rate로 가열하면서 측정하였으며, reference로는 stainless pan에 시료와 같은 중량의 증류수를 넣어 사용하였다. 이때 엔탈피의 변화(transition enthalpy, ΔH)와 최대 변성온도(maximum transition temperature, T_{max})는 Perkin-Elmer Thermal Analysis Data Station(TADS) program⁽²¹⁾을 이용하여 계산하였다.

통계처리

본 실험의 결과는 SAS(Statistic Analytical System, USA)프로그램⁽²²⁾을 이용하여 Duncan의 다중검증을 통하여 유의성을 조사하였다.

결과 및 고찰

pH에 따른 돈육등심 드립의 열안정성

DSC상에서 pH에 따른 돈육 등심 드립의 열안정성을 조사하였으며 그 결과는 Fig. 1에 나타난 바와 같다. 정상육 드립의 pH는 5.72로 pH가 5.0에서 7.0으로 증가됨에 따라 DSC thermogram의 minor peak(T_1)와 첫 번째 major peak(T_2)가 다소 높은 온도쪽으로 이동함을 알 수 있었다. 특히 T_2 의 경우 변성온도 뿐만 아니라 peak의 높이도 다소 증가하는 경향을 보였으며, minor peak(T_1)의 경우는 pH 5.0에서는 상당히 낮은 온도쪽으로 이동하여 거의 나타나지 않았으나 pH 5.5에서 나타나기 시작하여 점차 오른쪽으로 이동하여 pH 6.5 이상에서는 거의 사라져감을 볼 수 있었다.

변성온도의 경우 T_1 이 pH 5.5에서 pH 6.0사이에서 약 6.33°C 증가하였고 T_2 는 pH 5.0에서 pH 7.0사이

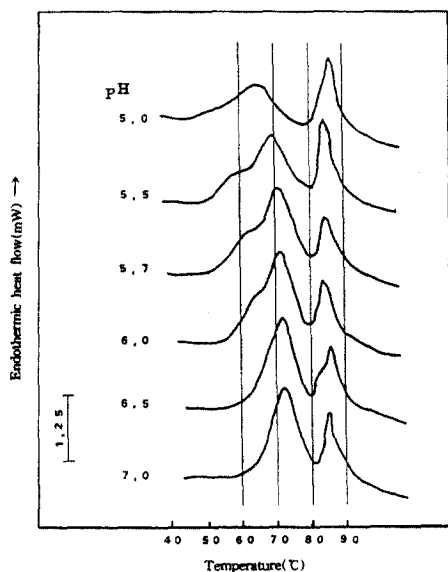


Fig. 1. DSC thermogram of released pork drip at different pH.

*Heating rate = 20°C/min.

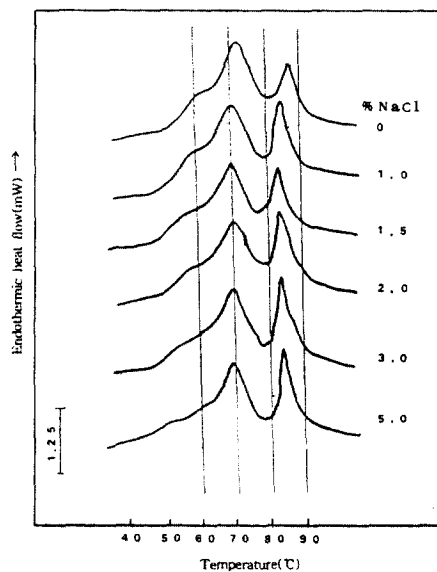


Fig. 2. DSC thermogram of released pork drip treated with concentrations of Sodium Chloride.

*Heating rate = 20°C/min.

서 약 7.48°C가 증가하였는데, 특히 pH 5.0~5.5에서 큰 변화를 보였다. 한편 T_2 는 pH에 따른 유의적인 차이는 인정되지 않았다. pH 감소에 따른 변성온도의 감소는 proton-coupling mechanism에 의한 것으로 H^+ 농도가 증가하여 단백질의 구조적 변성에 필요한 에너지가 적게 소요되기 때문이고, pH 증가에 따른 변성온도의 증가는 H^+ 농도의 감소로 단백질의 구조적 변성에 필요한 에너지가 많이 소요되기 때문이라고 하였다⁽²³⁾.

Wright 등⁽¹¹⁾은 DSC를 상에서 myosin의 변성 peak는 pH와 이온강도에 의해 영향을 받는다고 보고하였고, 여러 연구자에 의해 가열에 의한 단백질 상호간의 결합과 변성온도가 용액의 pH에 영향을 받는다는 결과가 보고되었다⁽²³⁻²⁶⁾. Embola 등⁽²⁷⁾도 pH변화가 변성 peak의 높이와 변성온도를 변화시킨다고 하였다.

NaCl의 농도에 따른 돈육 등심 드립의 열안정성

Fig. 2는 NaCl 농도(0~5%) 변화에 따른 돈육 등심 드립의 DSC thermogram을 나타낸 것이다.

NaCl의 농도를 증가시킴에 따라 minor peak와 첫 번째 major peak가 낮은 온도로 이동하였으며, 특히 minor peak의 모양이 크게 왼쪽으로 둔화되고 붕괴되었음을 볼 수 있었다(Fig. 2). 이와 같이 변성온도 범위의 이동은 첨가된 NaCl농도에 따라 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 변성온도를 보면 T_1 은 NaCl 무

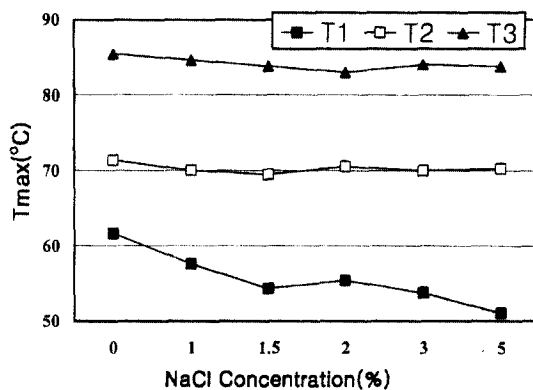


Fig. 3. Changes in thermal temperatures for released pork drip treated with concentrations of Sodium Chloride.

*Heating rate = 20°C/min.

*T1, T2 and T3: Thermal transition temperatures.

첨가구에서 60.31°C를 나타내었고, 5% NaCl 첨가구에서 50.90°C를 나타내어 약 9.41°C의 감소를 보여 NaCl의 첨가에 의한 열안정성이 낮아졌음을 보였다. T_2 와 T_3 는 무첨가구에서 71.36°C, 85.41°C였고, 5% 첨가구에서 70.42°C와 83.70°C를 보여 각각 0.94°C, 1.71°C의 감소를 보였다(Fig. 3). 총 변성 enthalpy의 경우 2% NaCl을 첨가했을 때까지는 커다란 변화를 보이지 않았으나 3%이상의 첨가구에서는 감소되기 시작하여 NaCl 5%의 첨가구(2.83 J/g drip)에서는 무첨가구(3.09

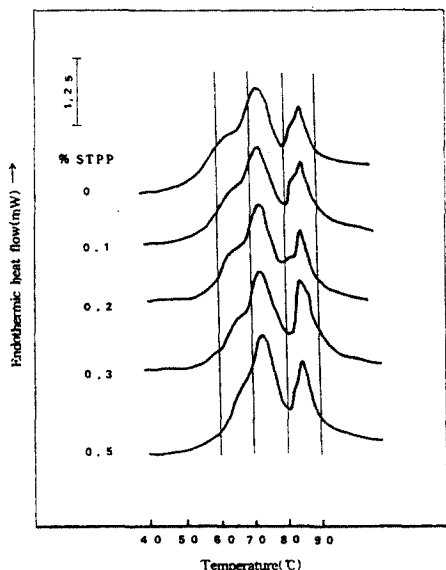


Fig. 4. DSC thermogram of released pork drip treated with Sodium Tripolyphosphate.

*Heating rate = 20°C/min.

J/g drip)보다 약 8.4%의 엔탈피의 감소를 보였다.

Quinn 등⁽²⁸⁾은 우육의 근육과 고기유화물에 관한 연구에서 NaCl 이온들이 육의 열안정성을 변화시켜 변성온도를 낮춘다고 하였으며, Kijowski 등⁽¹⁶⁾도 염의 첨가는 근육단백질의 열안정성을 감소시키므로 낮은 가공온도에서도 단백질의 변성 및 응집을 야기한다고 하였다.

Sodium tripolyphosphate(STPP) 농도에 따른 돈육 중심 드립의 열안정성

STPP의 농도를 증가시킴에 따라 minor peak와 첫 번째 major peak가 다소 높은 온도쪽으로 이동되었으며, 특히 0.5%의 STPP 첨가구에서는 minor peak가 둔화되어 거의 사라져가는 경향을 보였다(Fig. 4).

변성온도는 T₁이 가장 큰 변화를 보였는데, T₁과 T₂는 무첨가구에서 각각 60.31°C, 71.36°C를 나타내었으며 0.5% 첨가구에서는 각각 66.15°C, 73.78°C를 나타내어 각각 5.84°C, 2.42°C의 증가를 보임으로써 유의성이 인정되었으나(P<0.05) T₃의 경우는 STPP 농도에 따른 유의차가 인정되지 않았다.

총 변성 엔탈피는 STPP를 0.2% 수준까지 첨가했을 때까지는 큰 변화가 없었으나 0.3% 이상의 첨가구에서는 점차 증가하였다. 무첨가구는 2.71 J/g이었고 0.2% 첨가구는 2.79 J/g이었으며 0.3% 이상의 첨가구에서는 총 변성 엔탈피 값이 증가하여 0.5% 첨가구에서는 3.15

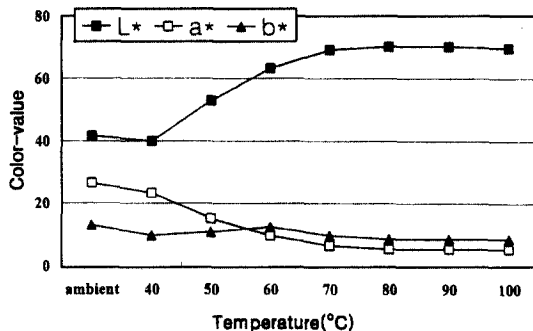


Fig. 5. Changes in Color Values of Free Drip of thermal Pork Loin Muscle at the respective Temperature when Cooking from Ambient to 100°C.

*Heating rate = 1°C/min.

J/g을 보였다.

Kijowski와 Mast⁽¹⁶⁾는 phosphate가 근장단백질의 열변성에 영향을 미친다고 하였으며, Robe와 Xiong⁽²⁹⁾은 첨가한 phosphate로 인해 변성온도가 약간 증가하였다고 보고하였다. Phosphate는 이온강도 및 pH의 증가뿐만 아니라 단백질의 정전기적 힘도 변화시켜 SSP의 응집 패턴을 변화시킨다고 하였다. Stabursvik과 Martens⁽³⁰⁾은 단백질 추출과정에서 KH₂PO₄가 chloride 혹은 calcium ion등과 같은 일부 불안정한 요인을 간접적으로 제거하여 줌으로써 안정화시키는 효과가 있다고 하였다. 한편, Wright와 Wilding⁽³¹⁾은 pyrophosphate가 분리 myosin을 불안정화시키는 효과가 있다고 보고하였다.

가열온도에 따른 돈육드립의 육색변화

Fig. 5는 가열온도에 따른 돈육드립의 L*, a*, b*값의 변화를 나타낸 것이다. Lightness(L*)는 가열온도가 증가함에 따라 증가 40~50°C에서 44.35%, 50~60°C에서 34.03%, 60~70°C에서 18.96%의 변화를 보여 50°C를 전후(40~60°C)로 하여 가장 큰 변화(78.38%)를 보였다(P<0.05). Redness(a*)는 가열온도가 증가함에 따라 점차로 감소하여 가열전 26.70에서 100°C에서 5.40을 나타내었으며 40~70°C에서 가장 큰 변화를 나타내었다. Okayama 등⁽³²⁾은 가열온도에 따른 근장단백질의 변성비율에 대한 CFP(Color Forming Percentage)가 50~60°C에서 가장 큰 변화를 보였으며 근장단백질의 변성비율도 50~80°C에서 증가되었다고 하였다. 또한 Davey와 Gilbert 등⁽³³⁾은 근원섬유단백질은 55~60°C에서 용해성이 급격히 감소하고, 근장단백질의 용해성은 40°C에서부터 점차 감소하지만 100°C에서도 용해성이 완전히 사라지지 않았다고 하였다.

요 약

본 실험은 수소이온 농도, 염, Sodium tripolyphosphate (STPP) 농도에 따른 돈육 등심 드립의 열변성을 DSC를 이용하여 조사한 것이다.

pH가 증가함에 따라 돈육 등심 드립의 열안정성은 증가하였으며 특히 T_1 이 pH 5.5~6.0에서 6.33°C의 가장 큰 증가를 보였다. 0.1 N, 0.2 N NaOH/1, 2 N HCl 및 0~5% NaCl과 0~0.5% sodium tripolyphosphate(STPP)로 처리하였을 때, pH가 증가함에 따라 드립의 열안정성은 증가하였으며, 특히 T_1 이 pH 5.5~6.0에서 6.33°C의 가장 큰 증가를 보였다. 그리고 NaCl농도의 증가는 드립의 열안정성을 감소시켰는데 그중 T_1 은 5% NaCl농도 수준에서 9.41°C의 감소를 보였다. 한편 STPP는 드립이 열안정성을 증가시켰으며 0.5% STPP농도 수준에서 T_1 이 5.84°C의 증가를 보였다. 40~100°C로 증가함에 따라 Lightness(L*)는 41.13에서 69.54로 증가하였고 redness(a*)는 26.70에서 5.40으로 감소하였다. 특히 L*과 a*값 모두 40~60°C에서 약 78%의 가장 큰 변화를 보였다.

문 헌

1. Wirth, R. Qualitätsabweichungen bei Schweinefleischkonsequenzen für die Verarbeitung von wässrigem, blassem Schweinefleisch. *Fleischwirtschaft* 52: 212-216 (1972)
2. Honikel, K.O. and Woltersdorf, W. Einfluss der temperatur postmortem auf das Saffthaltevermögen und die Farben von Schweinefleisch. *Proc. Biophysical PSE-Muscle Analysis*(ed. H. Pftzner), Suppl. 5 (1984)
3. Flynn, A.W. and Bramblett, V.D. Effect of frozen storage, cooking method and muscle quality on attributes of pork loins. *J. Food Sci.* 40: 631-633 (1975)
4. Kim, C.J. Veränderungen im Schweinemuskel nach dem Schlachten und deren Bedeutung für Wasserbindungsvermögen und Verarbeitungseigenschaften des Fleisches. Ph. D. Thesis, Justus Liebig, Uni. Gissen (1984)
5. Stabursvik, E., Fretheim, K. and Frøystein, T. Myosin Denaturation in Pale, Soft and Exudative(PSE) Porcine Muscle Tissue as Studied by Differential Scanning Calorimetry. *J. Sci. Food Agric.* 35: 240-244 (1984)
6. van Laack, R.L.J.M., R.G. Kauffman., W. Sybesma., F.J.M. Smulders., G. Eikelenboom., and J.C. Pinheiro. Is color brightness(L-value) a reliable of water-holding capacity in porcine muscle? *Meat Sci.* 38: 193-201 (1994)
7. Kim C.J., Lee E.S., Joo S.T., Kim B.C., Choi D.Y., Kang J.O., Yoo I.J. and R.G. Kauffman. Biochemical and structural characteristics of PSE, RSE, RFN and DFD pork quality postmortem. *Korean J. Food Sci.*

- Ani. resour.* 16(2): 235-241 (1996)
8. Goutefongea, R. Contribution a letude du pouvoir de retention de differentes fractions musculaires chez le porc normal et exsudatif. 13nd. European Meeting of Meat Research Workers, Rotterdam, 27 (1967)
9. Penny, I.F. The effect of temperature on the drip denaturation and extracellular space of pork longissimus dorsi muscle. *J. Sci. Food Agric.* 28: 329-338 (1977)
10. Starbursvik, E. and Martens, H. Proteins in white and red muscle compared by differential scanning calorimetry(DSC). 25nd, Eur. Meet. Meat Res. Work., Budapest 5(21): 383-386 (1979)
11. Wright, D.J., Leach, I.B. and Wilding, P. Differential scanning calorimetric studies of muscle and its constituent proteins. *J. Sci. Food Agric.* 28: 557-564 (1977)
12. Findlay, C.J., Stanley, D.W. and Gullett, E.A. Thermo-mechanical properties of beef muscle. *Meat Sci.* 16: 57-70 (1986)
13. Hastings, R.J., Rodger, G.W., Park, R., Mathews, A.D. and Anderson, E.M. Differential scanning calorimetry of fish muscle: The effect of processing and species variation. *J. Food Sci.* 50: 503-510 (1985)
14. Findlay, C.J. and Stanley, D.W. Differential Scanning Calorimetry of Beef Muscle: Influence of Sarcomere Length. *J. Food Sci.* 49: 1529-1531 (1984b)
15. Andrew W.J. Savage., Paul D. Warress and Paul D. Jolly. The amount and composition of the proteins in drip from stored pig meat. *Meat Sci.* 27: 289-303 (1990)
16. Kijowski, J.M. and Mast, M.G. Effect of Sodium Chloride and Phosphates on the Thermal Properties of Chicken Meat Proteins. *J. Food Sci.* 53: 367-370 (1988)
17. Barbut, S. and Findlay, C.J. Influence of Sodium, Potassium and magnesium Chloride on thermal Properties of Beef Muscle. *J. Food Sci.* 56: 180-182 (1991)
18. Shand, P.J., Sofos, J.N. and Schmidt, G.R. Differential Scanning Calorimetry of Beef/Kappa-Carrageenan Mixtures. *J. Food Sci.* 59: 711-715 (1994)
19. Cheon-Jei Kim, Min-Seok Song, Chang-Hyun Lee, Eui-Soo Lee, Jin-Kook Cho and Do-Young Choi. Effect of Heating Rates on the Thermal Denaturation of Pork Loin Muscle. *Korean J. Food Sci. Technol.* 31(3): 678-681 (1999)
20. Chen, H.H. Thermal Stability and Gel-Forming Ability of Shark Muscle as Related to ionic Strength. *J. Food Sci.* 60: 1237-1240 (1995)
21. Users Manual 1020 Series DSC 7 Thermal Analysis System : Perkin-Elmer. Corp. USA (1993)
22. SAS: SAS User's Guide. Statistics, 5th ed., SAS Institute Inc., Cary, NC, U.S.A. (1985)
23. Ziegler, G.R. and Acton, J.C. Heat-induced transitions in the protein interaction of bovine natural actomyosin. *J. Biochem.* 8: 25-38 (1984)
24. Goodno, C.C. and Swenson, C.A. Thermal transition of myosin and its helical fragments. II. Solvent-induced interactions in conformational stability. *Biochem. J.* 14: 873-878 (1975b)
25. Morita, J., Choe, I., Yamamoto, K., Samejima, K. and

- Yasui, T. Heat-induced gelation of myosin from leg and breast muscle of chicken. *Agric. Biol. Chem.* 51: 2895-2900 (1987)
26. Xiong, Y.L. and Brkke, C.J. Thermal transitions of salt-soluble proteins of pre- and postrigor chicken muscle. *J. Food Sci.* 55: 1540-1543 (1990)
27. Embola, E.N. and Brekke C.J. Thermal aggregation properties of duck salt-soluble proteins at selected pH values. *J. Food Sci.* 57: 1316-1320 (1992)
28. Quinn, J.R., Raymond, D.P. and Harwalkar, V.R. Differential scanning calorimetry of meat proteins as affected by processing treatment. *J. Food Sci.* 45: 1146-1149 (1980)
29. Robe, G.H. and Y.L. Xiong. Phosphates and muscle fiber type influence thermal transitions in porcine salt-soluble protein aggregation. *J. Food Sci.* 57: 1304-1307(1992)
30. Starbursvik, E. and Martens, H. Thermal denaturation of proeins in post rigor muscle tissue as studied by differential scanning calorimetry. *J. Sci. Food Agric.* 31: 1034-1042 (1980)
31. Wright, D.J., and Wilding, P. Differential scanning calorimetric studies of muscle and its constituent proteins.: Myosin and its subfragments. *J. Sci. Food Agric.* 35: 357-372 (1984)
32. Okayama, T., Fujii, M. and Yamanoue, M. Effect of cooking temperature on the percentage color formation, nitrite decomposition and sarcoplasmic protein denaturation in processed meat products. *Meat Sci.* 30: 49-57 (1991)
33. Davey, C.L. and Gilbert, K.U. Temperature-dependent cooking toughness in beef. *J. Sci. Food Agric.* 25: 931-938 (1974)

(2000년 7월 31일 접수)