

산 및 알칼리 공정으로 조제한 수리미 가열 겔의 물성 특성

최영준⁺ · 박주동 · 김진수 · 조영제* · Jae W. Park**
경상대학교 해양생물이용학부/해양산업연구소, *부경대학교 식품생명공학부
**Oregon State University

Rheological Properties of Heat-Induced Gels of Surimi from Acid and Alkali Process

Yeung Joon CHOI⁺, Joo Dong PARK, Jin-Soo KIM, Young-Je CHO* and Jae W. PARK**

Division of Marine Bioscience/ Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

*Division of Food Science and Biotechnology, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

**Oregon State University, Seafood Lab, 2001 Marine Drive, Astoria, OR. 97103, USA

Rheological properties of surimi gel from white fishes by acid (acid surimi) and alkali (alkali surimi) process and effect of chemicals on gelation were investigated by punch and dynamic tests. The breaking force and deformation values of heat-induced gel of acid surimi were less than their values of alkali and conventional surimi gel, and whiteness was greatly decreased. Gel point of acid surimi was decreased but it of alkali surimi was increased with increasing moisture content in the range of 80 to 85%. Storage modulus of acid surimi was the highest value in pH 6.8, but that of alkali surimi showed high value at neutral and slightly alkali pH. Propylene glycol increased storage modulus in 20~50°C, but urea and 2-mercaptoethanol suppressed it. Potassium bromide improved storage modulus in 20~80°C. The results suggest that alkali process is used for making surimi instead of conventional method.

Key words: Rheological property, Surimi, Gelation, Acid surimi, Alkali surimi

서 론

수리미는 내장과 뼈를 제거하고 절취한 어육을 마쇄하여 수세 공정을 통해 근원섬유 단백질을 농축한 후 냉동변성 방지제를 혼합한 단백질 제품으로서 다양한 수산식품의 가공을 위한 중간 소재로 사용하고 있다 (Wu, 1992; Park and Morrissey, 2000). 수리미의 품질과 등급은 수분함량, 백색도, 불순물의 함량, 겔 강도 등에 의해 결정되기 때문에 수리미 가공원료로는 주로 백색육 어류를 사용하고 있으나 (Lanier, 1992; Park and Morrissey, 2000), 전 세계 어획량의 40~50%가 적색육 어류이기 때문에 이 같은 저가 어류를 이용하기 위하여 알칼리 수세법과 같은 수리미 제조 공정의 개발에 큰 관심을 보이고 있지만 (Davis, 1988; Shimizu et al., 1992), 수율과 겔 형성능을 동시에 만족시킬 수 있는 공정의 개발은 이루어지지 않았다.

최근 수세 공정을 거치지 않고, 어육 단백질의 용해도 특성을 이용하여 pH 2.5 부근에서 근형질 단백질을 비롯하여 근원섬유 단백질을 가용화시킨 후 어육 단백질의 등전점에 해당하는 pH 5.0 부근에서 침전시켜 침전단백질을 회수하는 산처리 공정을 이용한 수리미 제조 방법이 개발되었으며, 이 방법으로 제조한 Pacific whiting의 수리미는 기존의 수리미 제조 공정에 비하여 조작이 간단하며 높은 수율을 얻을 수 있었고, 우수한 겔 형성능을 보였다

(Choi and Park, 2000; Kim et al., 2001). 그리고 rockfish의 마쇄육을 알칼리 pH 영역에서 가용화한 후 등전점 침전법으로 회수한 수리미의 가열 겔은 산처리 방법으로 회수한 수리미 겔에 비하여 높은 punch force 값과 수율을 보이며 겔 형성은 주로 disulfide 결합에 기인하는 것으로 보고하였다 (Yongsawatdigul and Park, 2001). 그러나 산 혹은 알칼리 처리 공정으로 제조한 수리미를 이용한 가열 겔의 어종에 따른 강도 차이와 겔 형성에 미치는 화학 결합의 변화 등 가열 겔 형성기구에 관하여는 전혀 알려져 있지 않다.

수리미 겔의 물성 측정을 위해 가장 널리 사용하고 있는 fracture에 의한 표준 물성 측정법은 torsion test를 이용하여 응력과 변형을 측정하는 미국의 표준 방법과 punch test로 파괴강도와 변형으로 물성을 표시하는 전통적인 일본의 방법이 제시되어 있으며, 두 방법에 따른 장단점이 각각 있지만 모두 국제적으로 공인되어 있다 (Lanier et al., 1991; Kim and Park, 2000). 한편 non-fracture에 의한 물성의 측정은 dynamic test를 흔히 사용하고 있으며 수리미인 경우 저장 modulus 값이 물성변화를 가장 잘 반영한다 (Joseph et al., 1994).

본 연구는 산 혹은 알칼리 처리 방법으로 제조한 수리미의 가열 겔 특성을 확인하기 위하여 punch test기로 파괴강도와 변형값을 알아보고, 산 및 알칼리 처리 방법으로 제조한 수리미의 가열 겔에 미치는 pH 영향과 몇 가지 화학제의 첨가에 따른 물성을 변화를 dynamic test기로 측정하여 새로운 공정으로 제조한 수리미의 겔화에 관여하는 주요 화학 결합의 영향을 검토하였다.

⁺Corresponding author: yjchoi@nongae.gsnu.ac.kr

재료 및 방법

재료

냉동 보구치 (*Pennahia argentata*, 평균 체장 20.5 cm; 평균 체중 158 g)와 냉동 소형 민어 (*Protonibea diacanthus*, 평균 체장 19.5 cm; 평균 체중 126 g)는 각각 경남 통영 소재의 어시장에서 구입하여 실험실로 운반한 후 실온에서 해동시킨 후 각각 두부와 내장을 제거하고 육만을 절취하여 수리미 시료로 사용하였다. 그리고 Pacific whiting (*Merluccius productus*, 평균 체장 47 cm; 평균 체중 735 g)은 미국 Oregon 주의 Warrenton 소재 Point Adams에서 입수한 시료를 Oregon 주립 대학의 Seafood Lab.으로 운반한 후 필레로 처리하여 수리미 제조에 사용하였다.

수리미의 제조

수리미는 세 가지 방법으로 조제하였다. 즉 수세에 의한 수리미 제조는 마쇄육에 2배량의 증류수를 가하여 Ultra Trrux (IKA T25 basic, IKA Works Inc, Wilmington, NC)로 8,000 rpm에서 2분 동안 마쇄한 후 원심분리 (10,000×g, 20분)하여 침전물을 수세하였고, 이 조작을 2회 실시한 후 최종적으로 0.1%의 NaCl 용액으로 수세하여 조제하였다 (수세 수리미). 산처리에 의한 수리미는 잘 마쇄한 어육에 9배량의 증류수를 첨가하여 Ultra Trrux (IKA T25 basic, IKA Works Inc, Wilmington, NC)로 8,000 rpm에서 2분 동안 균질화한 다음 2 N HCl용액을 사용하여 pH 2.5로 조절하여 육단백질을 녹인 후 원심분리 (10,000×g, 20분)하였다. 중성 지방이 포함된 상층과 결체조직 및 막 지질 등을 포함하고 있는 바닥층을 버리고 가용성 단백질과 수화 단백질을 포함하고 있는 중간층을 회수하여 2 N NaOH용액을 이용하여 pH 5.0으로 조절하여 단백질을 침전시킨 후 원심분리 (10,000×g, 20분)하였다. 침전한 단백질은 회수하여 2 N NaOH용액을 사용하여 pH 7.0으로 조절하고, 냉동변성 방지제 (4% sucrose, 5% sorbitol, 0.3% polyphosphate)를 첨가하고 1분 동안 믹서기 (Shin-il Co. Korea)로 잘 혼합하여 조제하였다 (산처리 수리미). 그리고 알칼리 처리에 의한 수리미는 pH 10.5에서 단백질을 녹인 후, pH 5.0에서 단백질을 회수하고 회수 단백질을 2 N NaOH 용액으로 pH 7.0 부근으로 조절한 후 위의 냉동변성 방지제를 첨가하여 수리미를 조제하였다 (알칼리처리 수리미).

가열 겔의 제조

모든 겔의 수분은 필요하다면 얼음물을 사용하여 수분 함량이 80%가 되게 조절하였으며, 염은 2%로 조절하였다. 수리미에 염을 고르게 뿌리고 믹서기로 1분 동안 균질화하였다. 균질화한 수리미 paste를 비닐 백에 넣고 진공 포장기를 이용하여 수리미 paste에 남아있는 공기를 제거하고, sausage stuffer (Sausage Maker, Buffalo, NY)를 사용하여 collagen tube (1.0×20 cm, #180, Nippi Co, Japan)에 충전하였다. 충전한 tube는 90°C의 water bath에서 15분 동안 가열한 후 즉시 얼음물에서 15분 동안 방냉시키고, 비닐 백에 넣어 하룻밤 냉장 보관한 후 겔의 특성 실험에 사용하였다.

겔 특성의 측정

실린더 형의 시료 (10×20 mm) 위에 지름 5 mm의 구형 플런저를 장착하고 60 mm/min의 속도로 올리면서 rheometer (Sun Rheometer, Model CR-100D, Sun Scientific Co., Ltd, Tokyo, Japan)로 breaking 파괴강도 (g)와 변형 (mm) 값을 측정하였다.

CIE Lab color는 색차계 (Model CR-300, Minolta, Japan)를 이용하여 겔의 명도 (L*), 적색도 (a*)와 황색도 (b*)를 측정하였다. 색차계는 검정판을 이용하여 표준화하였으며, 6개 이상의 겔의 측정하였고, 백색도는 백색도 지표, L^*-3b^* 를 이용하여 계산하였다 (Park, 1994).

점탄성 특성의 측정

산 및 알칼리 처리 수리미의 pH 변화 및 화학제의 첨가에 따른 점탄성 특성은 cone (지름 4 cm, 각도 4도)을 부착시킨 Bohlin rheometer (Model CS-50, Bohlin, Cranbury, NJ)로 측정하였다. 저장 modulus (G'), 손실 modulus (G'') 및 phase angle (tan delta, d)과 같은 점탄성 특성은 ethylene glycol과 물 혼합용액을 (1:1, v/v)을 포함하는 thermo circulator (Neslab, RTE-211, USA)로 1°C/min의 속도로 온도를 상승시키면서 20~80°C의 온도 구간에서 측정하였으며, 측정하는 동안 수분의 손실을 방지하기 위하여 용매 trapper를 사용하였고, 1 Pa torque와 진동수 0.1 Hz에서 측정하였다. 수리미의 pH는 1 N HCl과 NaOH로 조절하였으며, 화학제로는 Sigma 사의 propylene glycol (P1009), urea (U0631), 2-mercaptoethanol (M7154) 및 potassium bromide (P5912)를 사용하였다.

통계분석

표준편차의 계산과 유의성 검증은 통계프로그램 JMP (1992)로 실시하였다.

결과 및 고찰

가열 겔의 물성 특성과 색

냉동 보구치, 냉동 소형 민어와 Pacific whiting 유래 수세, 산 및 알칼리 처리하여 제조한 수리미 가열 겔의 파괴 강도와 변형값은 어종에 따라 큰 차이를 보였으며, 같은 어종이라 할지라도 수리미 제조 방법에 따라 차이를 보이고 있었다 (Fig. 1). 이 같은 결과는 Shimizu et al. (1981)이 52종의 meat paste로 겔 형성능을 조사하여 어종에 따른 겔 형성 특성을 자연응고 곤란-되풀림 곤란, 자연응고 곤란-쉬운 되풀림, 쉬운 자연응고-쉬운 되풀림 및 쉬운 자연응고와 되풀림 곤란의 4개 군으로 분류할 수 있다고 하였고, 변과 전 (1994)은 표백처리를 하지 않은 가열 고기풀의 자연응고 (setting)와 되풀림 (returning) 정도는 어종에 따라 특이성을 보인다고 보고한 바와 같았다. 냉동 보구치와 Pacific whiting의 알칼리 처리 수리미의 파괴강도 값은 수세 수리미의 가열 겔과 비슷한 값을 보였으나 냉동 소형 민어의 경우는 알칼리 처리 수리미에 비하여 약 20 g 정도 높은 값을 보였다. 그리고 산처리 수

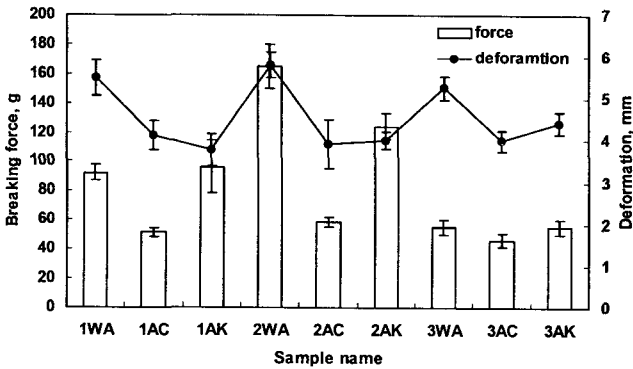


Fig. 1. Breaking force and deformation of surimi gel from 3 cycle washing (WA), acid (AC) and alkali (AK) process.

1, croaker; 2, black spotted croaker; 3, Pacific whiting

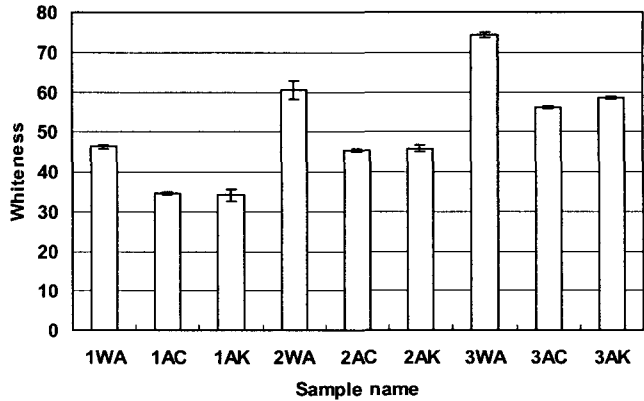


Fig. 2. Whiteness of surimi gel from 3 cycle washing (WA), acid (AC) and alkali (AK) process.

1, croaker; 2, black spotted croaker; 3, Pacific whiting

리미의 파괴강도 값은 수세 수리미에 비하여 현저히 낮은 값을 보였다. 한편 변형 값은 산 처리와 알칼리 처리로 조제한 수리미의 가열 겔이 수세 수리미의 가열 겔보다 낮은 값을 보였으며, 산 처리 및 알칼리 처리 간에는 큰 차이를 보이지 않았다. 이 같은 결과는 새로운 수리미 제조 공정에 따라 어육 단백질의 가용화를 위해 처리한 극단적으로 낮거나 높은 pH 값이 수세에 비하여 단백질 변성에 크게 기여하기 때문인 것으로 보인다. 대부분의 단백질은 아주 높고 낮은 pH에서 변성하며, 높은 pH에서 적절히 노출시킨 후 중성 pH로 조절함으로써 단백질 분자를 활성화시켜 단백질의 기능 특성을 개선할 수 있지만 과도한 노출은 응집 형성을 억제한다는 사실 (Boye et al., 1997)에 미루어, 본 수리미 제조 공정 중 pH 2.5와 10.5에 노출하는 시간을 줄임으로서 물성을 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

수세, 산 및 알칼리 수리미의 색을 비교한 결과 (Fig. 2), 수세 수리미에 비하여 산과 알칼리 처리 수리미의 높은 황색도는 백색도에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이 같은 결과는 어육 중에 포함되어 있는 육색소인 myoglobin 단백질의 등전점은 고등어 5.9, 정어리 5.8, 눈다랑어 6.8, 황다랑어 8.6, 말 7.3, 향고래 8.4 (橋本, 1976)로서 어종에 따라 다소 차이가 있으나, 일부가 pH 5.0 부근에서 침전하여 수리미 단백질과 같이 회수되기 때문으로 판단된다.

수분함량에 따른 Pacific whiting 수리미의 물성 특성의 변화
수분 함량 83%와 85%의 산처리 수리미와 수분 함량 80%와 83%의 알칼리 처리 수리미는 전형적인 수리미의 저장 modulus 형태를 보여주고 있었다 (Fig. 3). 가열 온도에 따른 phase angle의 peak를 겔화 온도 (Joseph et al., 1994; Lian et al., 2002)로 추정할 때 산처리 수리미의 겔화 온도는 수분 함량 80, 83, 85%에서 각각 36°C, 40°C 및 46°C 부근으로 수분 함량이 증가함에 따라 겔화 온도가 높아진다는 Hsieh et al. (1993)의 보고와 일치하였다. 그러나 알칼리 수리미인 경우는 수분 함량 80%, 83% 및 85%의 겔화 온도는 36°C, 26°C, 13°C로서 산처리 수리미와는 반대로 수분 함량의 증가와 더불어 감소하였으며, phase angle 값이 겔화 온도까지 큰 변화없이 일정하게 유지되다가 이후부터 감소하는 경향을 보여

저온에서 이미 약한 겔을 형성하고 있는 것으로 추정되었다. 이 같은 결과는 산 처리 수리미가 겔화 온도까지는 phase angle 값이 증가하다가 peak를 보인 후 감소하는 것과는 아주 다른 형태로서 단백질 겔화가 단백질의 변성, aggregation, gelation의 순서로 일어난다는 사실 (Boye et al., 1997)에 미루어 단백질 용해를 위한 알칼리 처리는 이미 수리미 제조 과정에서 약한 결합을 통한 겔화가 진행되며, 수분 함량의 증가는 단백질 겔화를 위한 반응기의 유동성 증가에 기여하는 것으로 추정하였다. 한편 북양 명태와 croaker actomyosin의 phase angle 값은 30~40°C에서 감소하여 약한 탄성 matrix의 actomyosin 복합체를 형성한다는 보고 (Joseph et al., 1994)와 본 실험의 결과가 차이를 보이는 것은 산 및 알칼리 처리의 영향은 물론 각각의 수리미에 포함된 근형질 단백질의 영향에 의한 것으로 추정된다.

본 실험의 결과에 미루어 겔이 적절한 점탄성을 확보하기 위해서는 산처리 수리미인 경우는 수분함량 83% 이하, 알칼리 처리 수리미인 경우는 85% 이하로 조절할 필요가 있으며, 어육 제품의 제조에는 알칼리 처리 수리미가 산처리 수리미에 비하여 우수한 탄성을 보일 것으로 예측할 수 있다.

최종 pH가 Pacific whiting 수리미 물성에 미치는 영향

산처리 공정으로 조제한 수리미의 최종 pH는 가열 겔의 물성에 영향을 미치는 것으로 나타나 pH 6.8의 겔화 값은 23°C 부근이었으며, pH 7.4, 8.0 및 8.5는 각각 36°C, 49°C, 42°C이었다 (Fig. 4). Phase angle의 변화에서 pH 6.8과는 달리 pH 7.4 이상에서는 19°C 부근에 하나의 peak를 나타내고 있었다 (결과 미제시). 이 같은 결과는 19°C 부근의 저온에서 약한 결합에 의한 겔화 특성을 보이지만 온도 상승과 더불어 약한 결합은 파괴되고 점성을 증가시킬 수반하다가 36~45°C의 구간에서 겔화에 이은 망상 결합을 형성하는 것으로 추정된다. 알칼리 수리미인 경우 pH 6.6, 7.0, 7.5 및 8.2의 겔화 온도는 각각 31°C, 36°C, 37°C 및 37°C로서 pH 증가에 따라 겔화 온도도 다소 증가하는 것으로 나타났다. 최종 저장 modulus는 pH 6.6에 비하여 pH 7.0이 아주 높았으며, 산처리의 pH 6.8에서의 값과 비슷하여 산처리 및 알칼리 처리한 수리미의 최종

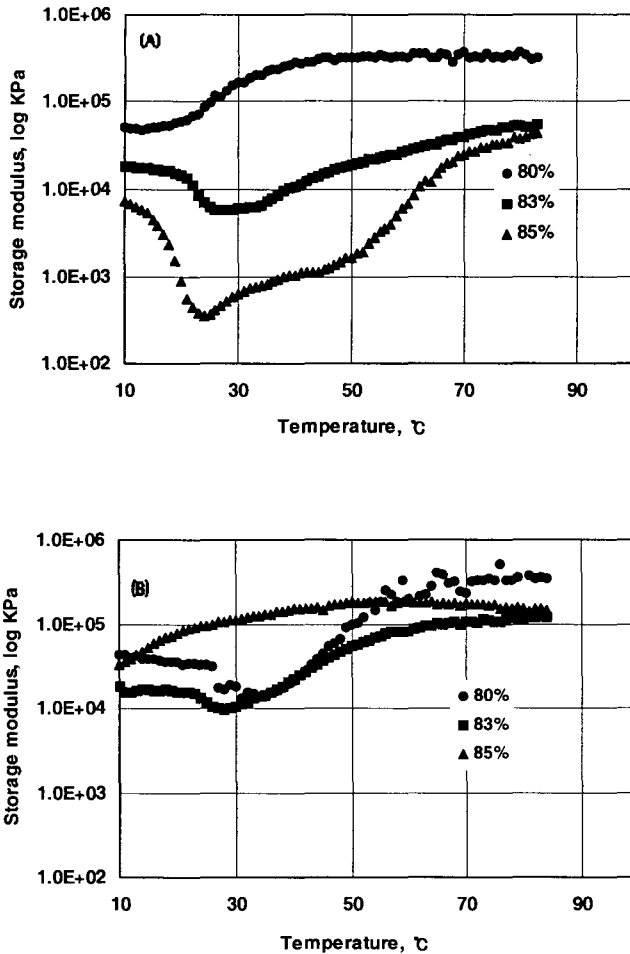


Fig. 3. The effect of moisture content on storage modulus of Pacific whiting surimi gel by acid (A) and alkali (B) process.

pH는 7.0이 가장 적절할 것으로 판단된다. 그리고 산처리 수리미인 경우 phase angle 값이 겔화 온도까지 다소 증가하다가 이후의 온도부터는 감소하는 경향을 보인 데 반하여 알칼리 수리미는 초기부터 낮은 값을 그대로 유지하다가 겔화 온도 구간에서 작은 peak를 보인 후 감소하고 있었다. 이 같은 결과는 산처리 수리미와 알칼리 수리미 사이의 겔화 기구에 차이가 있음을 보여주는 것으로 판단된다. 단백질의 최종 pH 값이 물성에 미치는 영향과 관련하여 Lian et al. (2002)은 산에 의한 수리미겔의 저장 modulus는 15~80°C의 온도 구간에서 계속 증가하였고, 전이 peak를 보이지 않았다고 보고하였으며, Boye et al. (1997)은 강 염기성 용액에 과도한 노출은 carboxylate-phenolic 기와 양자화된 아미노기의 상호작용을 저해하여 응집물의 가교 결합을 방해하기 때문에 겔 형성에 영향을 미친다고 보고하였다.

화학제의 첨가가 산처리 Pacific whiting 겔의 저장 modulus에 미치는 영향
화학제의 첨가가 산처리 수리미의 겔화에 미치는 영향을 조사

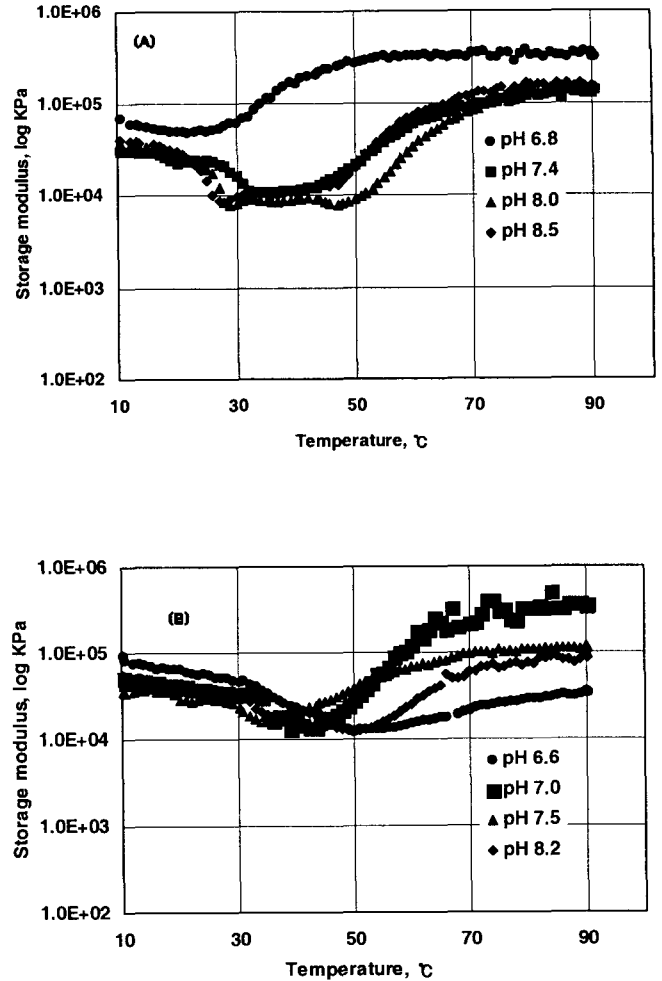


Fig. 4. The effect of pH on storage modulus of Pacific whiting surimi gel by acid (A) and alkali (B) process.

하기 위하여 수소 결합의 강화에 기여하는 propylene glycol, 수소 결합과 소수성 상호작용의 파괴에 관여하는 urea, S-S 결합의 절단에 기여하는 2-mercaptoethanol 및 S-S 결합의 형성에 기여하는 potassium bromide를 농도 별로 첨가하여 저장 modulus를 측정하였다 (Fig. 5, 6).

Propylene glycol을 첨가한 경우 (Fig. 5), 20~40°C의 온도 구간에서 첨가하지 않은 대조군에 비하여 높은 저장 modulus 값을 보였으나, 5% 첨가 시에는 가열 초기에 대조군과 큰 차이를 보이지 않았으며 (결과 미제시), 80°C에서의 저장 modulus 값은 propylene glycol을 첨가한 겔이 대조 겔에 비하여 높은 것으로 나타났다. 이 같은 결과는 가열 겔의 수소 결합은 저온에서 증가하며 (Niwa and Muramoto, 1971), 대두 단백질의 7S로 만든 가열 겔의 경도는 propylene glycol의 첨가에 의해 증가했다는 보고 (Utsumi and Kinsella, 1985)와 대단히 유사하였다.

Urea는 첨가한 농도가 증가함에 따라 저온에서 저장 modulus 값은 대조군에 비하여 낮은 값을 보였으며, 고온으로 갈수록 그 차이는 감소하는 것으로 나타나 25%의 urea를 첨가한 경우는 65°C

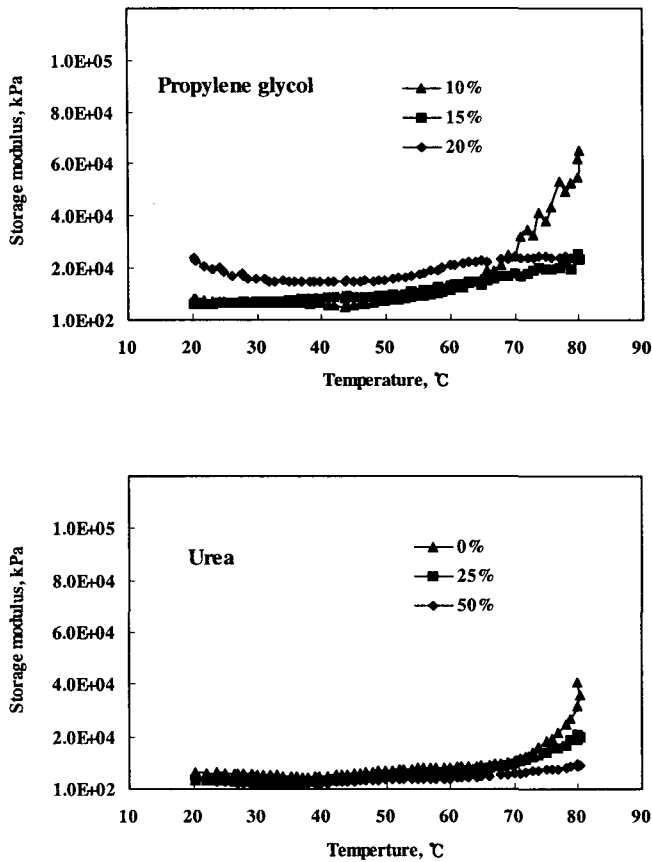


Fig. 5. The effect of propylene glycol and urea on gel of Pacific whiting acid surimi.

이상에서는 대조구와 거의 차이를 보이지 않았다 (Fig. 5). 그러나 2 M 이상의 urea 농도에서는 80°C에서도 저장 modulus 값이 대조군과 많은 차이를 보이고 있어서 수리미의 가열 겔 형성에 기여하는 화학결합은 저온에서는 수소 결합이며, 고온에서는 소수성 상호작용에 기인한다는 사실을 보여주고 있다 (Niwa, 1975; Niwa et al., 1983; 1989). Myosin 분자의 소수성은 0~60°C에서 현저히 증가하며 정전기적 결합은 변화를 보이지 않고 공유결합의 변화는 80°C 이상의 높은 온도에서 관측된다 (Kawai et al., 1983).

25 mM의 2-mercaptoethanol의 첨가는 대조군과 비슷한 겔화 형태를 보였으나, 50 mM 이상의 첨가 시에는 대조군에 비하여 낮은 저장 modulus 값과 가열 온도 상승에 따른 저장 modulus 증가 속도도 낮은 것으로 나타났다 (Fig. 6). 이 같은 결과는 첨가한 2-mercaptoethanol이 고온에서 S-S 결합의 형성을 방해하기 때문으로 판단된다. 가열 공정 중 어육 단백질의 반응성 SH기의 거동과 관련하여 Itoh et al. (1979)은 60°C에서 잉어 actomyosin의 반응성 SH기는 최대로 노출되어 단백질 분자 사이의 결합을 통해 actomyosin의 겔 형성에 기여하는 것으로 추정하였다. Myosin을 가열하는 동안 S-S 결합을 통한 단백질의 중합은 myosin heavy chain의 SH기가 구리 이온과 같은 촉매제의 존재하에서 산화하는 반응과 심량체 이상의 중합체의 형성에 기여한다 (Kishi et al., 1995).

Potassium bromide의 첨가는 저장 modulus의 현저한 증가를

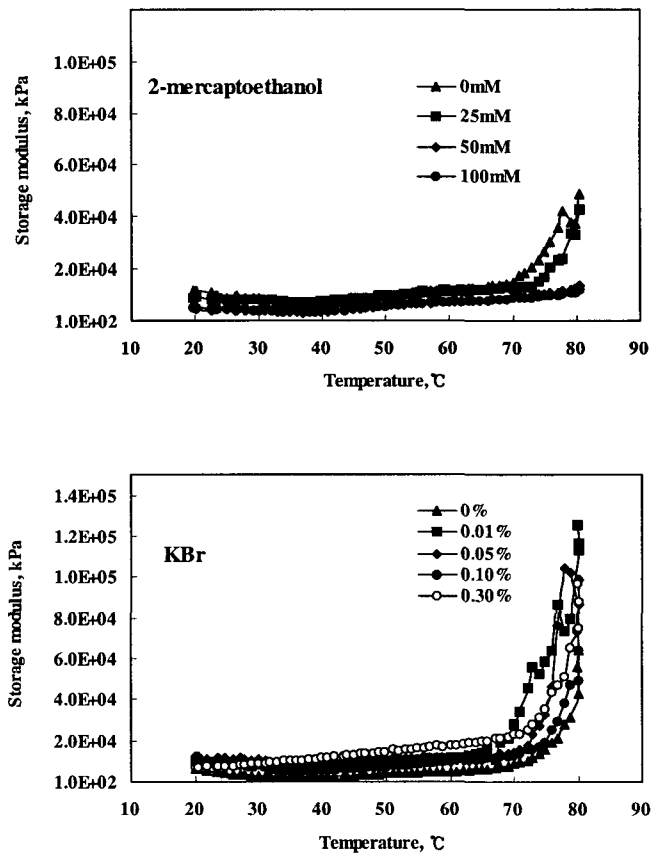


Fig. 6. The effect of 2-mercaptoethanol and potassium bromide (KBr) on gel of Pacific whiting acid surimi.

초래하였으며 (Fig. 6), 이 같은 결과는 고온에서 S-S 결합의 증가에 기인하는 것으로 판단된다. Potassium bromide는 단백질 가수분해 효소를 불활성화를 통해 수리미의 겔화를 증진시키고, 가열 응고하는 동안 S-S 결합의 형성을 강화한다 (Pacheco-Aguilar and Crawford, 1994).

요 약

알칼리 pH에서 어육 단백질을 녹인 후 등전점 처리를 통하여 단백질을 회수하고, 중성으로 pH를 조절하여 조제한 알칼리 수리미 가열 겔의 파괴강도와 변형값은 수세 과정을 통해 조제한 기준의 수리미 가열 겔에 비하여 손색이 없는 것으로 나타났으나, 백색도 값은 수리미에 남아있는 혈색소와 육 색소로 인하여 낮게 나타났다. 산처리 수리미의 저장 modulus 값은 수분 함량이 감소함에 따라 감소하였으나, 알칼리 수리미의 경우는 증가하였다. 수리미의 최종 pH는 저장 modulus 값에 영향을 미치고 형태는 산처리와 알칼리 처리 수리미 간에 다소 차이를 보였다. Potassium bromide는 S-S 결합의 형성을 통해 가열 겔의 저장 modulus를 증가시키는 것으로 나타났다. 알칼리 처리 수리미는 파괴강도, 변형값 및 백색도에 미루어 어묵 grade의 연제품 제조를 위한 원료로는 손색이 없는 것으로 판단하였다.

감사의 글

이 논문의 일부는 경상대학교 해양산업연구소 학술연구조성비와 해양수산부에서 시행한 2001년 수산특정연구사업 (현장자유: 20010091) 지원에 의해 수행된 연구결과이며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Boye, J.I., C.Y. Ma and V.R. Harwalkar. 1997. Thermal denaturation and coagulation of proteins. In *Food Proteins and Their Application*, S. Damodaran and A. Paraf, eds. Marcel Dekker Inc, New York, pp. 25~56.
- Choi, Y.J. and J.W. Park. 2000. Feasibility study of new acid-aided surimi processing methods for enzyme-laden Pacific whiting. 2000 IFT annual meeting, Dallas, USA, 51A-4.
- Davis, N. 1988. Fatty fish utilization: Upgrading from feed to food. UNC Sea Grant College Publication UNC-SG-88-04.
- Hsieh, Y.L., J.M. Regenstein and M.A. Rao. 1993. Gel point of whey and egg proteins using dynamic rheological data. *J. Food Sci.*, 58, 116~119.
- Itoh, Y., R. Yoshinaka and S. Ikeda. 1979. Behavior of the sulfhydryl groups of carp actomyosin by heating. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 45, 1019~1022.
- Joseph, D., T.C. Lanier and D.D. Hamann. 1994. Temperature and pH affect transglutaminase-catalyzed "setting" of crude fish actomyosin. *J. Food Sci.*, 59, 1018~1023, 1036.
- JMP. 1992. Statistics and graphics guide, version 3.1, SAS Institute Inc, Cary, NC, USA, pp. 66~94.
- Kawai, Y., M. Hatano and K. Zama. 1983. Effect of heat treatment on some physico-chemical properties of carp myosin. *Journal of Hokkaido University*, 34, 131~139.
- Kim, B.Y. and J.W. Park. 2000. Rheology and texture properties of surimi gels. In *Surimi and Surimi Seafood*, J.W. Park, ed. Marcel Dekker, New York, pp. 267~324.
- Kim, Y.S., J.W. Park, B.J. Kim and Y.J. Choi. 2001. Use of pH adjustment and centrifugation for surimi processing from Pacific whiting. 2001 IFT annual meeting, New Orleans, USA, 73F-7.
- Kishi, A., Y. Itoh and A. Obatake. 1995. The polymerization of protein through disulfide bonding during the heating of carp myosin. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 61, 75~80.
- Lanier, T.C., K. Hart and R.E. Martin. 1991. A manual of standard methods for measuring and specifying the properties of surimi. University of North Carolina Sea Grant College Program, Raleigh, N.C.
- Lanier, T.C. 1992. Measurement of surimi composition and functional properties. In *Surimi Technology*, T.C. Lanier and C.M. Lee, eds. Marcel Dekker, New York, pp. 123~166.
- Lian, P.Z., C.M. Lee and K.H. Chung. 2002. Textural and physical properties of acid-induced and potassium-substituted low-sodium surimi gels. *J. Food Sci.*, 67, 109~112.
- Niwa, E. and M. Miyake. 1971. Physico-chemical behavior of fish meat protein-II. Reactives of side groups of polypeptide chains during setting of fish meat paste. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 37, 884~890.
- Niwa, E. 1975. Role of hydrophobic bonding in gelation of fish flesh paste. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 41, 907~910.
- Niwa, E., S. Kanoh, Y. Osaka, T. Nakayama, S. Watabe and K. Hashimoto. 1989. Changes in surface hydrophobicity of fish actomyosin induced by urea. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55, 143~146.
- Niwa, E., T. Nakayama and I. Hamada. 1983. The third evidence for the participation of hydrophobic interactions in fish flesh gel formation. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 49, 1763.
- Pacheco-Aguilar, R. and D.L. Crawford. 1994. Potassium bromate effects on gel-forming ability of Pacific whiting surimi. *J. Food Sci.*, 59, 786~791.
- Park, J.W. 1994. Functional protein additives in surimi gels. *J. Food Sci.*, 59, 525~527.
- Park, J.W. and M.T. Morrissey. 2000. Manufacturing of surimi from light muscle fish. In *Surimi and Surimi Seafood*, J.W. Park, ed. Marcel Dekker, New York, pp. 23~58.
- Shimizu, Y., R. Machida and S.-I. Takenami. 1981. Species variations in the gel forming characteristics of fish meat paste. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 47, 95~104.
- Shimizu, Y., H. Toyohara and T.C. Lanier. 1992. Surimi production from fatty and dark-fleshed fish species. In *Surimi Technology*, T.C. Lanier and C.M. Lee, eds. Marcel Dekker, New York, pp. 181~208.
- Utsumi, S. and J.E. Kinsella. 1985. Forces involved in soy protein gelation: Effects of various reagents on the formation, hardness and solubility of heat-induced gels made from 7S, 11S, and soy isolate. *J. Food Sci.*, 50, 1278~1282.
- Wu, M.-C. 1992. Manufacture of surimi-based products. In *Surimi Technology*, T.C. Lanier and C.M. Lee, eds. Marcel Dekker, New York, pp. 245~272.
- Yongsawatdigul, J. and J.W. Park. 2001. Gelation characteristics of alkaline and acid solubilization of fish muscle proteins. 2001 IFT annual meeting, New Orleans, USA, 73F-6.
- 橋本周久. 1976. 色素蛋白質. In *白身の魚と赤身魚*, 日本水産學會編. 東京, pp. 28~41.
- 변재형, 전중균. 1994. 수산이용화학. 수학사, 서울, pp. 16~19.

2002년 4월 2일 접수

2002년 6월 15일 수리