

## 알칼리 공정으로 회수한 어육 단백질의 동결 안정성

허성익<sup>1</sup> · 임형수<sup>1</sup> · 김종현<sup>2</sup> · 최영준<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>경상대학교 해양생명과학부

<sup>2</sup>창원대학 식품조리과

### Frozen Stability of Proteins Recovered from Fish Muscle by Alkaline Processing

Sung Ik Hur<sup>1</sup>, Hyeong-Soo Lim<sup>1</sup>, Jong Hyun Kim<sup>2</sup> and Yeung Joon Choi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Marine Life Science/Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Gyeongnam 650-160, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Food and Nutrition, Changwon College, Gyeongnam 641-771, Korea

#### Abstract

Frozen stability of proteins recovered from white croaker and Jack mackerel have been tested by measuring oxidation of residual lipid, browning, total plate count, and texture of gel during storage at  $-20^{\circ}\text{C}$ . The oxidation of residual lipid in recovered protein from Jack mackerel increased up to 60 days, and then decreased. Both browning values significantly was increased after 90 days. Total plate count was  $1.2 \times 10^4$  CPU/g for proteins recovered from white croaker and  $3.2 \times 10^4$  CPU/g for proteins recovered from Jack mackerel in 60 days. The breaking force, deformation, and whiteness of gel formed from proteins recovered from white croaker did not change up to 120 days significantly, while proteins recovered from Jack mackerel did not form heat-induced gel in 120 days. Frozen storage of the recovered protein was limited to 90 days for white croaker and to 60 days for Jack mackerel considering the gelling ability and textural properties.

**Key words:** frozen stability, recovered protein, alkaline processing, fish muscle protein

#### 서 론

냉동내성이 약한 명태육 단백질의 동결변성을 방지하는 기술을 개발한 이후(1), 탈수한 어육 근원섬유단백질을 동결하기 전에 설탕, sorbitol 같은 저분자량의 탄수화물을 첨가하여 동결저장 중에 극히 불안정한 actomyosin을 안정화할 수 있게 되었다. 냉동변성방지제의 첨가에 의한 어육 단백질의 안정화 기술은 당시까지 미이용 어자원이었던 북양명태의 활용도를 극대화시켰다. 연제품의 중간소재로 사용하고 있는 수리미(surimi)는 장기간 동결저장에 의한 변성을 최소로 하기 위해 약 9.3%의 냉동변성방지제 혼합물을 첨가하여 동결한다(2). 냉동변성방지제의 반응기구와 종류에 관하여는 탄수화물, 당과 당 알코올(3-5), 유기산(6), 인산염(7), 당, 다가알코올 및 아미노산과 이들 염(8)에 대하여 많은 연구가 있다. 그러나 냉동변성방지제가 동결저장 중 단백질의 변성을 완전하게 억제하는 것은 아니며 효과적인 냉동변성의 억제는 적절한 수세과정을 통해 어육에 있는 변성화합물과 효소를 제거함으로써 효과적으로 수행할 수 있다(9).

최근 알칼리 pH에서 어육 단백질을 용해하고 등전점 부

근(pH 5.0~5.5)에서 단백질을 회수하는 어육 단백질의 회수 공정이 개발되었으나(10,11), 회수한 단백질의 동결안정성에 관한 보고는 없다. 산처리 공정으로 회수한 Pacific whiting(민대구) 단백질은 수세법으로 회수한 단백질에 비하여 높은 cathepsin B와 L활성을 가지고(12), pH 10.5에서 처리한 어육 단백질은 pH 2, 3, 11 및 12에서 처리한 어육 단백질에 비하여 현저히 높은 cathepsin L 활성을 보이며, cathepsin L과 B의 안정성에 차이를 보인다(11). 이 같은 보고는 극단적인 pH 처리에서도 단백질 분해효소가 활성을 소실하지 않으며, 이들 효소에 의한 단백질의 분해를 무시할 수 없음을 지적한다. 동결수리미의 Ca-ATPase활성과 점도는 저장기간과 역의 상관을 가지며 가열 젤의 파괴강도 및 변형값과 정의 상관을 가지기 때문에(13), 동결저장 중 Ca- 및 Mg-ATPase활성으로 수리미 품질을 판정할 수 있다(14). 그러나 산 혹은 알칼리공정으로 회수한 단백질은 ATPase활성을 갖지 않기 때문에(12) 잔여 ATPase활성에 의한 회수단백질의 품질판정은 불가능하다.

본 연구는 알칼리공정으로 회수한 단백질의 동결안정성을 측정하고, 안정성의 지표를 설정할 목적으로  $-20^{\circ}\text{C}$ 에서

\*Corresponding author. E-mail: yjchoi@nongae.gsnu.ac.kr  
Phone: 82-55-643-0686. Fax: 82-055-640-3111

동결저장하는 동안 잔여지질의 산화, 갈변도, 일반세균, 가열 젤의 파괴강도와 변형 값 및 색의 변화를 측정하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

동결 백조기(*Pennahia argentata*; 체장,  $18.2 \pm 2.4$  cm; 체중,  $125.0 \pm 35.9$  g)는 경남 통영시 소재 활인매장에서, 전갱이(*Trachurus japonicus*; 체장,  $20.8 \pm 1.8$  cm; 체중,  $179.0 \pm 31.4$  g)는 경남 통영시 소재의 어시장에서 구입하여 연구실로 운반하였다. 구입한 시료의 휘발성 염기질소 값은 각각  $20.5 \pm 2.3$  mg/100 g과  $28.9 \pm 1.6$  mg/100 g으로서 보통선도에 해당하였다. 냉동어는 실온에서 해동하고 어체의 이물질을 수돗물로 제거한 후 두부, 내장 및 꼬리를 제거하고 단백질 회수를 위한 원료어로 사용하였다.

### 어육 단백질의 회수

두부와 내장을 제거하고 수돗물에서 2회 세척한 어체를 meat grinder(model M-12S, Fujee Korea, Hwaseong, Korea)에서 2회 마쇄하고 마쇄육의 6배량에 해당하는 수돗물을 첨가하여 균질기(Ika basic 25, Ika Works, Willmington, NC, USA)로 8,000 rpm에서 1분동안 균질화한 후, 현탁물에 1 N NaOH 용액을 첨가하여 pH 10.5로 각각 조정하여 어육 단백질을 용해하였다. 용해한 단백질은 원심분리(Supra 22K, Hanil Science Industrial, Seoul, Korea,  $10,000 \times g$ , 20분)하여 중성지방 등이 포함된 유험상과 결체조직, 막지질, 비늘 및 뼈들을 포함하는 최저층은 버리고 가용성 단백질과 수화 단백질을 포함하는 중간층을 회수하였다. 1 N HCl로 회수한 용해단백질의 pH를 5.0~5.5로 조정하여 단백질을 침전시킨 후 같은 조건에서 원심분리하고 침전단백질을 회수하였다. 회수한 단백질을 1 N NaOH 용액으로 pH 7.0으로 조절하고 중량에 대하여 냉동변성방지제로 5% sorbitol, 4% sucrose 및 0.3% sodium polyphosphate를 첨가하여  $-20^\circ\text{C}$ 의 동결고에 저장하면서 분석을 위한 시료로 사용하였다.

### TBA 값의 측정

추출법에 따라 2 g의 회수단백질에 50 mL의 ice-cold TCA 용액을 가하여 2분동안 균질화하고, 같은 추출 조작을 반복한 다음, 100 mL로 정용하여 Whatman No. 1 여과지로 여과하였다. 여과액은 TBA법에 따라 2차 지질 산화생성물을 측정하였으며(15) 결과는 532 nm에서의 흡광도 값으로 표시하였다.

### 갈변도의 측정

갈변도는 Hirano 등의 방법에 따라 측정하였다(16). 즉 해동한 회수단백질 10 g에 40 mL의 66% ethanol 용액을 첨가하여 8,000 rpm에서 균질화(Biohomogenizer M133, Biospec Products Inc, Bartlesville, OK, USA)하고 단백질

현탁물을 Whatman No. 1 여과지에 여과한 후 여액의 흡광도를 430 nm에서 측정하였다.

### 일반세균의 측정

해동한 회수단백질 20 g에 멸균 증류수 180 mL를 첨가하여 혼합하고 60초동안 Warning blender로 균질화하고 균질 시료는 3단계로 희석하여 표준한천 평판배양법(17)으로 일반세균수를 측정하였으며 배양결과는 상법에 따라 시료 g당으로 계산하였다.

### 가열 젤의 제조

실온에서 해동한 회수단백질에 수분함량이 78%가 되도록 얼음물을 고르게 뿌리고 food processor(SQ-103, Ijin, Korea)로 1분동안 혼합한 후 비닐백에 넣어 진공포장기(Food Saver Ultra, Tilia International Inc, China)로 기포를 제거하고 소시지 충전기(Sausage Maker, Buffalo Co, New York, USA)를 사용하여 비닐 tube(1.0×20 cm)에 충전하였다. 충전한 tube를  $90^\circ\text{C}$ 의 수조에서 15분동안 가열하고 즉시  $0^\circ\text{C}$ 의 얼음물에서 15분동안 냉각하였다. 냉각시킨 가열 젤은 하룻밤 냉장보관한 후 물성 측정에 사용하였으며, 물성 측정 전에 실온에서 1시간동안 방치하여 온도평형을 이루도록 하였다.

### 조직감과 색의 측정

Punch test는 Okada의 방법(18)에 따라 실린형의 시료(1.0×2.0 cm) 위에 지름 5 mm의 구형 plunger를 장착하고 60 mm/min의 속도로 올리면서 Rheometer(Model CR-100D, Sun Scientific Co, Tokyo, Japan)로 파괴강도(g)와 변형 값(mm)을 측정하였다. 가열 젤 표면의 CIE Lab color는 색차계(ZE-2000, Nippon Denshoku, Tokyo, Japan)로 측정하여 백색도는  $L^* - 3b^*$ 로 계산하였다(19). 색차계는 표준 색 plate( $L^*=96.83$ ,  $a^*=-0.36$ ,  $b^*=0.62$ )로 표준화하였다.

### 통계분석

표준편차와 유의성 검정은 통계프로그램인 JMP를 사용하여 oneway ANOVA와 Tukey-Kramer HSD로 각각 실시하였으며(20), 유의차는  $p < 0.05$  수준에서 검토했다.

## 결과 및 고찰

### 잔여지질의 산화

냉동저장 중 전갱이 회수단백질에 포함된 잔여지질은 저장 60일까지 산화가 급속히 진행한 반면, 백색육 어류인 백조기 회수단백질에 포함된 지질의 산화는 큰 변화를 보이지 않았다(Fig. 1). 회수단백질의 조지방 함량을 측정된 결과, 백조기 회수단백질에서는 정량되지 않았으며, 전갱이 회수단백질에서는 1.1%의 조지방이 포함된 것으로 나타났다. 전갱이 회수단백질의 TBA값이 급속히 증가한 것은 전갱이 회수단백질이 백조기 회수단백질에 비하여 다량의 지질이

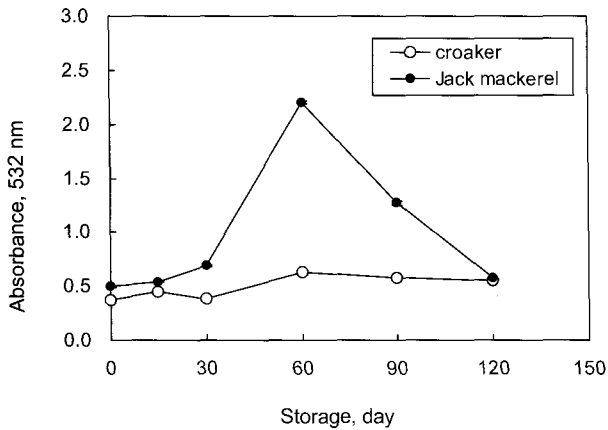


Fig. 1. Changes in TBA value in recovered proteins from white croaker and Jack mackerel during storage at  $-20^{\circ}\text{C}$ .

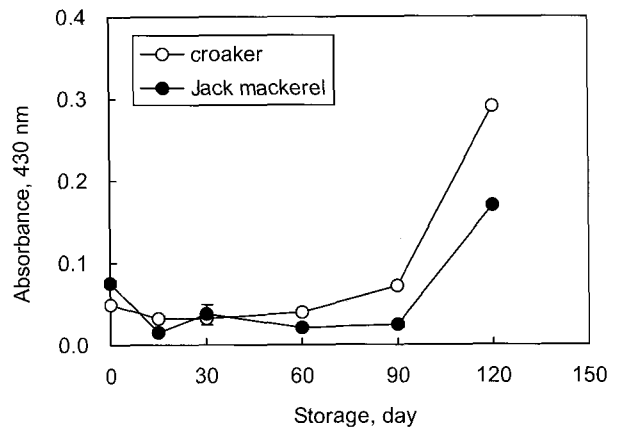


Fig. 2. Changes in browning in recovered proteins from white croaker and Jack mackerel during storage at  $-20^{\circ}\text{C}$ .

존재하기 때문이다. 어육 중 인지질의 효소적 가수분해는 동결저장 중에 급속하게 일어날 수 있으며, 유리지방산의 생성은 단백질 변성과 지질산화에 의해 증가되는 변패취의 원인이 될 수 있다(21). 알칼리 공정은 수세과정이 없기 때문에 색소 단백질인 hemoglobin과 myoglobin을 다량함유하고 있으며 pH 전이는 hemoglobin의 pro-oxidative활성을 증가시키기 때문에(22) 육색소와 지질의 함량이 높은 전갱이 회수단백질(23)의 산화속도가 백조기 회수단백질에 비하여 빠른 것으로 보인다. 그리고 deoxyhemoglobin은 민감한 heme 때문에 oxyhemoglobin에 비하여 강력한 산화촉매로 작용하며, pH 7.2보다 pH 6에서 hemoglobin의 산화속도는 증가한다고 보고하였다(24). 알칼리 공정은 단백질 회수를 위해 pH 5.0~5.5로 조절하는 공정을 포함하기 때문에 수세 공정에 비하여 hemoglobin의 산화가 촉진되고 deoxy-hemoglobin과 metahemoglobin이 산화를 촉진하는 것으로 판단된다.

갈변도의 변화

동결저장 중 전갱이 및 백조기 회수단백질의 갈변도는 저장 90일까지 거의 변화가 없었으나 저장 90일 이후에 급속히 증가하였다(Fig. 2). 백조기 회수단백질의 갈변도가 급속히 증가하는 것은 수용성 물질에 의한 갈변으로 판단된다. 수용성 갈변은 비효소적 갈변에 의해 생성된 것으로 유리환원당과 아미노산의 결합에 의한 melanoidin색소의 생성 때문(25)이라는 점에 미루어 동결안정성을 위하여 첨가한 당류에 의한 melanoidin색소 생성 가능성은 충분한 것으로 보인다. 전갱이 회수단백질의 갈변도 증가는 지질의 산화생성물과 myoglobin의 met화에 따른 갈색의 증가에 기인하는 것으로 보인다. 강치와 고등어 등쪽 육의 myoglobin함량은 각각  $1.44 \pm 0.01$  mg/g-muscle과  $2.00 \pm 0.03$  g/g-muscle로 고등어 육의 myoglobin의 함량이 높고, met화 비율은 각각  $79.3 \pm 0.9\%$ 와  $88.1 \pm 1.2\%$ 로서 적색육 어류 myoglobin의 met화 비율이 백색육 어류에 비하여 높다고 하였다(23).

일반세균의 변화

회수단백질의 일반세균은 백조기와 전갱이가 각각  $1.5 \times 10^4$  CPU/g과  $6.4 \times 10^4$  CPU/g으로서 전갱이 회수단백질이 백조기 회수단백질에 비하여 약 4배 높았다. 일반세균은 동결저장 일수가 경과함에 따라 감소하여 저장 60일째에는 각각  $1.2 \times 10^4$  CPU/g과  $3.2 \times 10^4$  CPU/g을 나타내었다(Fig. 3). 이 같은 결과는 적절히 냉각한 신선한 어류로 제조한 수리미의 일반세균이  $10^3 \sim 10^4$  CPU/g라는 보고(26)와 거의 일치한다. 시판하고 있는 게맛살과 튀김어묵의 평균수는  $8.8 \times 10^4$  CPU/g~ $4.9 \times 10^5$  CPU/g 및  $7.0 \times 10^4$  CPU/g~ $3.9 \times 10^6$  CPU/g으로서 제품에 따라 많은 차이를 보인다(27). 그리고 오래된 어류로 만든 수리미의 일반세균의 수는  $10^6$  CPU/g이며, 미생물 상의 22%는 *Pseudomonas*속이라고 보고하였다(28). 이 같은 보고에 미루어 전갱이 회수단백질은 동결저장 후 60일까지 연제품의 중간소재로 사용 가능한 것으로 추정된다.

조직의 변화

백조기 회수단백질로 만든 가열 젤의 파괴강도는 저장

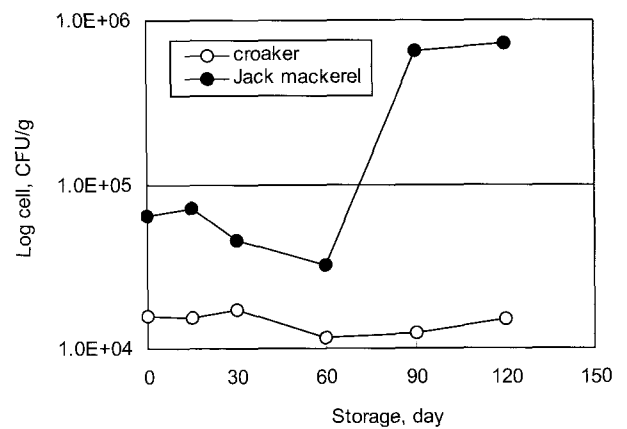


Fig. 3. Changes in total plate counts in recovered proteins from white croaker and Jack mackerel during storage at  $-20^{\circ}\text{C}$ .

120일까지 유의적인 차이 없이 112~120 g의 범위를 유지하였으나, 전갱이 회수단백질로 만든 가열 젤의 파괴강도는 저장 15일에 다소 감소하여 저장 60일까지 유의적인 변화를 보이지 않았다(Fig. 4). 그러나 백조기와 전갱이 회수단백질은 각각 저장 150일과 120일에는 가열 젤을 형성하지 못했다. 가열 젤의 형성능과 파괴강도 값의 변화를 고려할 때 백조기 회수단백질과 전갱이 회수단백질의 동결저장 한계는 각각 90일과 60일 정도일 것으로 예측하였다. 회수단백질의 동결저장 기간이 수세공정으로 제조한 수리미의 일반적인 사용기간인 6개월 정도인 것(2)에 비하여 짧은 것은 pH 전이과정에서 myosin의 구조풀림이 일어나고 냉동과정 및 동결저장 중에 급속히 변성하기 때문으로 예상된다. 근원섬유 단백질은 pH 6.5 이하에서 불안정하여 젤 형성능을 급격히 소실하며, 동결 중 근원섬유 단백질의 불안정성은 단백질의 원형(native)구조를 안정하게 하는 분자 내 소수적 상호작용의 약화에 기인한다고 보고하였다(2).

백조기 회수단백질 가열 젤의 변형 값은 저장기간에 따라 다소 증가하여 저장 90일과 120일 사이에 큰 변화를 보이지 않은 반면, 전갱이 회수단백질의 변형 값은 저장 30일 이후 90일까지 다소 감소하였고, 120일에는 가열 젤을 형성하지 못했다(Fig. 5). 변형 값은 단백질의 변성을 반영하는 지표 값으로서(29) 알칼리 공정에서는 어육 단백질의 용해를 위한 극단적인 알칼리 pH로 인해 myosin단백질이 심각하게 손상을 입고 동결저장 중의 변성으로 인하여 수세 수리미 단백질에 비하여 빠른 변성을 보인 것으로 판단된다. 신선한 어육으로 만든 수세 수리미 단백질의 strain값은 -20°C에서 6개월동안 저장한 후에도 유의적인 변화를 보이지 않는다고 보고(2)한 점에 비추어 파괴강도와 변형 값의 변화로 판단한 동결저장 유효기간은 가열젤 형성능의 안정성을 고려할 때 백조기 회수단백질이 90일, 전갱이 회수단백질이 60일 정도인 것으로 예상된다.

백색도는 백조기 회수단백질이 저장 15일째를 제외하고

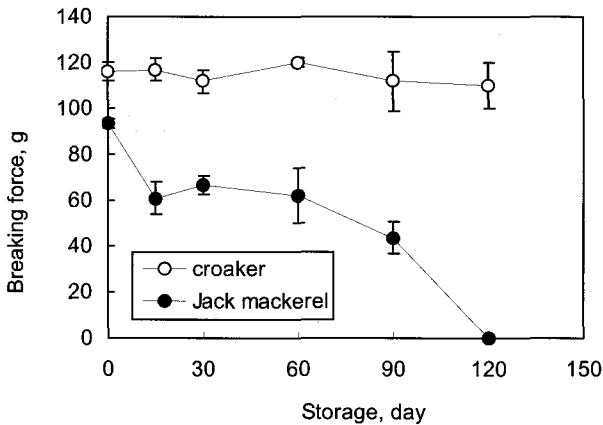


Fig. 4. Changes in breaking force of heat-induced gel from recovered protein of white croaker and Jack mackerel during storage at -20°C.

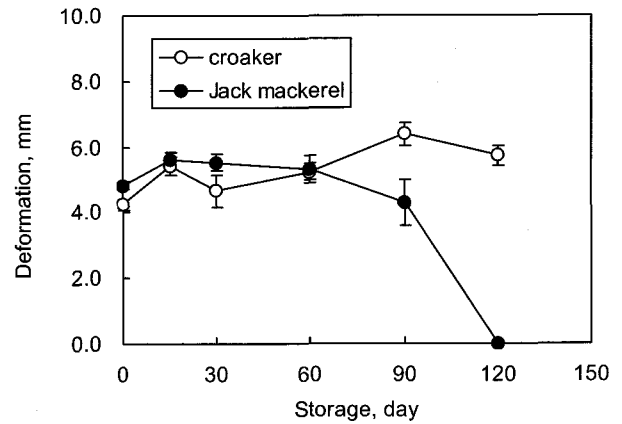


Fig. 5. Changes in deformation of heat-induced gel from recovered protein of white croaker and Jack mackerel during storage at -20°C.

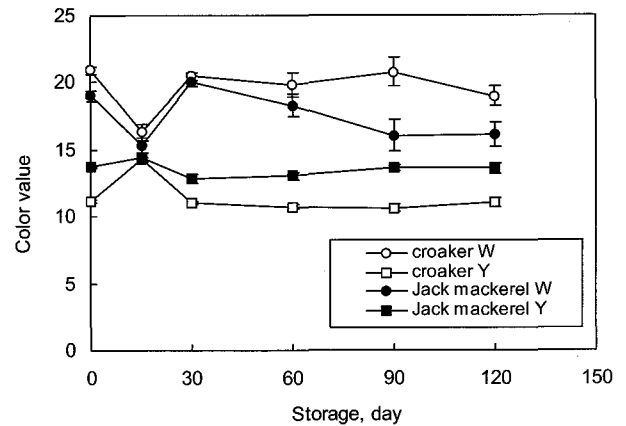


Fig. 6. Changes in whiteness (W) and yellowness (Y) of heat-induced gel during from recovered protein of white croaker and Jack mackerel storage at -20°C.

는 저장기간 중에 유의적인 변화를 보이지 않은 것에 비하여 전갱이 회수단백질은 저장 30일부터 크게 감소하였다(Fig. 6). 백조기와 전갱이 회수단백질의 갈변도는 저장 120일에 크게 증가하지 하였으나(Fig. 2), 색차계로 측정된 회수단백질의 황색도는 갈변도의 증가만큼 크게 증가하지 않아 갈변도의 결과와 다소 차이를 보이고 있었다. 이 같은 결과는 회수단백질의 갈색도와 가열 젤의 황색도 사이에 상관이 없음을 보여주고 있다. Park(19)은 수세 수리미 가열 젤의 황색도는 젤의 수분 함량에 가장 큰 영향을 받으며, 수분 함량이 증가함에 따라 감소한다고 하였다.

요 약

전갱이 회수단백질은 동결저장 기간이 경과함에 따라 잔여지질의 산화생성물도 크게 증가하였으며, 백조기와 전갱이 회수단백질의 갈변도는 저장 90일 이후에 크게 증가하였다. 일반세균의 수는 전갱이 회수단백질이 백조기 회수단백

질에 비하여 높았으나, 시판 수리미에서 검출되는 생균수와 거의 일치하였다. 백조기 회수단백질 가열 겔의 파괴강도, 변형 값 및 백색도 값은 저장 120일까지 큰 변화를 보이지 않은 반면, 120일동안 동결저장한 전갱이 회수단백질은 가열 겔을 형성하지 못했다. 가열 겔 형성능과 파괴강도 및 변형 값에 미루어 수산가공을 위한 중간소재로서 백조기와 전갱이 회수단백질의 동결저장 한계는 안정성을 고려할 때 각각 90일과 60일이 적당할 것으로 예측하였다.

### 감사의 글

본 연구는 한국해양수산개발원에서 지원한 수산기술개발 사업과제(관리번호: 20010251) 결과의 일부이며, 연구비의 지원에 감사드립니다.

### 문 헌

- Nishiya K, Takeda F, Tamoto K, Tanaka O, Kubo T. 1960. Studies on freezing of surimi (fish paste) and its application. III. Influence of salts on quality of fish meat. *Monthly Report of Hokkaido Fisheries Research Laboratory* (Fisheries Agency, Japan) 17: 373-383.
- Carvajal PA, Lanier TC, MacDonald GA. 2004. Stabilization of proteins in surimi. In *Surimi and Surimi Seafood*. Park JW, ed. Taylor & Francis Inc, New York. p 164-225.
- Lanier TC, MacDonald GA. 1991. Carbohydrates as cryoprotectants for meats and surimi. *Food Technology* 45: 150-159.
- Matsumoto I, Nakakuki T. 1992. Preventive effect of various sugars against denaturation of carp myofibrillar protein caused by freeze-drying. *Nippon Suisan Gakkaishi* 58: 1913-1918.
- 新井健一. 2000. 水産食品と糖アルコール. 東和化成工業株式会社, 富士市, 日本. p 56-63.
- Matsumoto I, Arai KI. 1987. Cooperative effect of carboxylic acid and sugar against freeze denaturation of fish myofibrillar protein. *Nippon Suisan Gakkaishi* 53: 2187-2193.
- Nielsen RG, Pigott GM. 1994. Gel strength increased low-grade heat-stable surimi with blended phosphates. *J Food Sci* 59: 246-250.
- Carpenter JF, Arakawa T, Crowe JH. 1991. Interactions of stabilizing additives with proteins during freeze-thawing and freeze-drying. *Develop Biol Standard* 74: 225-239.
- Sotelo CG, Rehbein H. TMAO-degrading enzymes. In *Seafood Enzymes*. Haard NF, Simpson BK, eds. Marcel Dekker Inc., New York. p 167-190.
- Choi YJ, Park JD, Kim JS, Cho YJ, Park JW. 2002. Rheological properties of heat-induced gels of surimi from acid and alkali process. *J Korean Fish Soc* 35: 309-314.
- Kim YS, Park JW, Choi YJ. 2003. New approach for the effective recovery of fish proteins and their physicochemical characteristics. *Fisheries Science* 69: 1231-1239.
- Choi YJ, Park JW. 2002. Acid-aided protein recovery from enzyme-rich Pacific whiting. *J Food Sci* 67: 2962-2967.
- Scott DN, Porter RW, Kudo G, Miller R, Koury B. 1988. Effect of freezing and frozen storage of Alaska pollack on the chemical and gel-forming properties of surimi. *J Food Sci* 53: 353-358.
- Katoh N, Nozaki H, Komatsu K, Arai KI. 1979. A new method for evaluation of the quality of frozen surimi from Alaska pollack relationship between myofibrillar ATPase activity and Kamaboko forming ability of frozen surimi. *Bull Japan Soc Sci Fish* 45: 1027-1032.
- Wrolstad RE, Acree TE, Decker EA, Penner MH, Reid DS, Schwartz SJ, Shoemaker CF, Smith DM, Sporns P. 2005. *Handbook of Food Analytical Chemistry*. Wiley-Interscience, NJ. p 548-550.
- Hirano T, Suzuki T, Suyama M. 1987. Changes in extractive components of bigeye tuna and Pacific halibut meats by thermal processing at high temperature of Fo values of 8 to 21. *Nippon Suisan Gakkaishi* 53: 1457-1461.
- Swanson KMJ, Busta FF, Peterson EH, Johnson MG. 1992. Colony count methods. In *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods*. Vanderzant C, Splittstoesser DF, eds. American Public Health Association, MI. p 75-95.
- Okada M. 1964. Effect of washing on the jelly forming ability of fish meat. *Bull Japan Soc Sci Fish* 30: 255-261.
- Park JW. 1995. Surimi gel colors as affected by moisture content and physical conditions. *J Food Sci* 60: 15-18.
- SAS Institute. 2002. *JMP Statistics and graphics guide*. SAS Institute Inc, Cary, NC. p 88-121.
- Sikorski Z, Olley J, Kostuch S. 1976. Protein changes in frozen fish. *Crit Rev Food Sci Nutr* 8: 97-129.
- Richards MP, Hultin HO. 2003. Hemolysates from mackerel, herring and trout promote lipid oxidation at different rates. *Fisheries Science* 69: 1298-1300.
- Choi YJ. 2004. *New process for recovery of fish protein using pH shift*. Ministry of Maritime Affairs & Fisheries, Seoul, Korea.
- Undeland I, Kristinson HG, Hultin HO. 2004. Hemoglobin-mediated oxidation of washed minced cod muscle phospholipids: Effect of pH and hemoglobin source. *J Agric Food Chem* 52: 4444-4451.
- Lee KH, Cho TY, Cho HS, Lee JH, Shim KH. 1998. Lipid oxidation in shellfish under the different conditions of drying. *J Korean Fish Soc* 31: 143-148.
- Lee JS. 1992. Microbiological considerations in surimi manufacturing. In *Surimi Technology*. Lanier TC, Lee CM, eds. Marcel Dekker Inc, New York. p 113-121.
- Kim D-P. 1985. Bacterial quality of fish meat paste products and isolation of thermotolerant bacteria. *MS Thesis*. National Fisheries University of Pusan. p 38-39.
- Elliot EL. 1987. Microbiological quality of Alaska pollock surimi. In *Seafood Quality Determination*. Kramer DE, Liston J, eds. Elsevier, Amsterdam. p 269-281.
- Kim BY, Park JW, Yoon WB. 2004. Rheology and texture properties of surimi gels. In *Surimi and Surimi Seafood*. Park JW, ed. Taylor & Francis, New York. p 491-582.