

산과 알칼리 pH에서 어육 단백질의 용해를 이용한 수리미 제조

박주동 · 정춘희 · 김진수 · 조득문* · 조민성** · 최영준†

경상대학교 해양생물이용학부/해양산업연구소
*동부산대학 식품영양과

Surimi Processing Using Acid and Alkali Solubilization of Fish Muscle Protein

Joo Dong Park, Chun-Hee Jung, Jin-Soo Kim, Duck-Moon Cho*, Min Sung Cho** and Yeung Joon Choi†

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

*Dept. of Food and Nutrition, Dongbusan College, Busan 612-715, Korea

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

Abstract

The surimi processing from jack mackerel and white croaker muscle using acidic and alkaline solubilization was evaluated. The optimum pH for solubilizing protein in acidic and alkaline range was around 2.5 and 10.5, respectively. The optimum pH value for recovery of protein was around 5. The protein solubility was decreased with increase of salt. The homogenized speed and time for maximum solubility were below 9,500 rpm and 30 s, respectively. The optimum ratio of water to minced muscle was 6 by evaluating breaking force, deformation and whiteness of cooked gel. The protein yield of alkaline processing is higher than that of conventional processing. In addition, the waste water of conventional processing had high solid, nitrogen content and chemical oxygen demand compare to those of acidic and alkaline processing.

Key words: acid, alkaline solubilization, surimi processing, waste water, yield

서 론

수리미는 어육을 마쇄하여 수세 공정을 통해 근형질 단백질을, 색소, 지질, 비단백질 질소 화합물을 등을 제거하고 근원섬유 단백질을 농축한 후 냉동 변성제를 혼합한 어육 단백질로서 다양한 수산식품을 가공하기 위한 중간 소재로 사용되고 있다(1). 수리미의 품질과 등급은 수분함량, 백색도, 불순물의 함량, 겔 강도 등에 의해 결정되기 때문에 가공원료는 주로 백색육 어류를 사용하고 있다(2). 그러나 어자원의 효율적인 이용과 식량자원화를 위해 주로 사료와 비료로 활용하고 있는 다획성 적색육 어류의 수리미 제조에 관한 연구가 수행되었지만(3-5) 적절한 수율과 겔 형성능을 가지며 비교적 간단한 수리미의 제조 공정은 개발되지 않고 있다.

수세를 통한 일반적인 수리미 제조 공정은 수세 횟수가 증가함에 따라 근원섬유 단백질의 일부가 소실되고(6) 대부분의 근형질 단백질이 제거되어 수세수로 배출되기(1) 때문에 백색육 어류로 조제한 수리미의 최종 수율은 20~25%이며(7), 다량의 단백질을 함유한 수세수의 처리는 수리미 제조업의 폐수 처리를 위한 경비 부담을 가중시키고 있다. 따라서 수세수에 있는 단백질을 회수하여 다시 사용하기 위한 연구

가 수행되었으나 회수량이 적고 겔 형성능이 떨어지기 때문에 경제성이 없는 것으로 판명되었다(8).

수리미 제조 공정의 개선과 개발은 수율의 향상(9,10), 부산물(11) 및 미이용 어자원의 이용(12) 등에 중점을 두고 있으며, 수세수 및 폐수 발생량의 절감과 수율의 향상과 관련하여 최근 산과 알칼리 용액에서 어육 단백질을 가용화하고 등전점 부근의 pH에서 단백질을 회수하는 수리미 제조 공정이 소개되었다(10,13-15). 그러나 어종에 따른 단백질 용해 특성의 차이, 주요 공정의 운전 조건 및 폐수의 오염 부하량의 절감 효과 등에 관한 검토는 거의 이루어져 있지 않다. 따라서 본 연구는 전갱이와 보구치 마쇄육의 pH별 용해도 특성과 수리미 제조를 위한 주요 공정별 최적 조건을 구명하고 산과 알칼리 수리미 제조에 따른 폐수의 오염 저감 효과를 수세 수리미와 비교 검토하였다.

재료 및 방법

재료

실험에 사용한 냉장 전갱이(*Trachurus japonicus*: 체장, 20.8±1.8 cm; 체중, 179.0±31.4 g)와 냉동 보구치(*Pennahia*

†Corresponding author. E-mail: yjchoi@nongae.gsnu.ac.kr
Phone: 82-55-640-3115. Fax: 82-55-640-3111

argentata: 체장, 18.2 ± 2.4 cm; 체중, 125.0 ± 35.9 g)는 각각 경남 통영시 소재의 어시장과 부산시 공동 어시장에서 구입하여 실험실로 운반하였다. 냉동 보구치는 실온에서 해동시킨 후, 냉장 전갱이는 그대로 각각 두부와 내장을 제거하고 육만을 절취하여 수리미 제조를 위한 시료어로 사용하였다.

용해도의 측정

pH에 따른 어육 단백질의 용해도를 측정하기 위해 어육 2 g에 18 mL의 탈 이온수를 첨가하여 homogenizer(IKA-25 basic, IKA Works, Wilmington, NC, USA)로 8000 rpm에서 30초 동안 조직을 파쇄한 후 10 mL 용량의 biuret을 이용하여 1 N HCl 혹은 1 N NaOH를 첨가하여 pH를 조절하였다. 이때 첨가한 HCl과 NaOH 용액의 양은 각각 기록하여 총 부피 변화에 따른 단백질 농도 계산의 보정에 사용하였다. pH를 조절된 용액을 저온(4°C)에서 30분 동안 정치시킨 후 냉동원심분리기(SUPRA 30K, Hanil Science Industrial Co. Ltd., Incheon, Korea)로 원심분리(2,500×g, 15분)하여 얻은 상층액의 단백질 농도는 bovine serum albumin(Sigma P7656)으로 검량곡선을 작성한 Umemoto법(16)에 따라 측정하였다. 그리고 용해도에 미치는 이온 강도의 영향을 측정하기 위해 어육 단백질 2 g에 pH 2.5와 pH 10.5로 조절된 18 mL의 NaCl 용액(0, 0.1 M, 0.2 M, 0.3 M, 0.4 M, 0.5 M, 1.0 M)을 첨가하여 용해도 측정 방법과 동일한 방법으로 처리하여 단백질 농도를 측정하였다.

조직 파쇄 정도가 단백질의 용해에 미치는 영향을 측정하기 위해 grinder로 마쇄한 어육 2 g에 증류수 18 mL를 넣고 homogenizer의 속도(8,000 rpm, 9,500 rpm)와 시간(15초, 30초, 45초, 60초)를 달리하면서 조직을 파쇄한 후 원심분리(2,500×g, 15분)하여 상층액의 단백질 농도를 측정하였다.

마쇄육에 대한 적정 수량의 측정

어육 단백질의 가용화를 위해 첨가하는 적정한 증류수의 양을 측정하기 위해 어육에 대하여 5~9배량의 증류수를 첨가하고 8000 rpm에서 1분 동안 파쇄하여 수리미 제조 공정에 따라 제조한 수리미 가열 겔의 breaking force, deformation 값 및 color를 비교하였다.

수리미의 제조

수세 수리미는 마쇄육에 2배량의 증류수를 가하여 homogenizer(IKA-25 basic, IKA Works, Wilmington, NC, USA)로 8000 rpm에서 2분 동안 조직을 파쇄한 후 원심분리(10,000×g, 25분)하여 침전물을 수세하는 과정을 2회 반복하고 2배량의 0.1% NaCl 용액으로 수세하여 4% sucrose(CJ Co., Seoul, Korea), 5% sorbitol(LTS powder 20 M, PT Sorini Towa Berlian Co., Cangkringmalang, Indonesia), 0.3% polyphosphate(Food Grade, Haifa Chemical Co., Israel)의 냉동변성 방지제를 첨가하고 Kitchen aid(Max watts 325, St. Joseph, Michigan, USA)로 잘 혼합하여 제조하였다. 산과 알칼리 수리미는 마쇄한 어육에 6배량의 증류수를 첨가하고 1 N HCl

혹은 1 N NaOH를 사용하여 pH를 2.5와 10.5로 각각 조정하여 어육 단백질을 용해시킨 후 원심분리(10,000×g, 25분)하였다. 중성 지방 등이 포함된 유회층(최상층)과 결체조직, 막지질, 비늘, 뼈 등을 포함하고 있는 최저층을 버리고 가용성 단백질과 수화 단백질을 포함한 중간층을 회수하여 1 N HCl 혹은 1 N NaOH로 pH 5.0으로 조정하여 단백질을 침전시킨 후 원심분리(10,000×g, 25분)하여 단백질을 회수하였다. 회수한 단백질은 1 N NaOH로 pH 7.0으로 조절한 후 냉동변성 방지제를 첨가하여 제조하였다.

수율의 측정

수리미의 수율은 어체와 제조한 최종 수리미의 수분 함량을 적외선 수분 측정계(FD-600, Kett Electric Laboratory, Tokyo, Japan)로 측정하고 건물 중량으로 환산한 후, 어체에 대한 최종 수리미의 중량 %로 표시하였다.

가열 겔의 제조

조제한 각각의 수리미에 얼음물과 염을 고르게 뿌리고 food processor(M-125, Hankook Fugee Industries Co., Suwon, Korea)로 1분 혼합한 후 비닐 백에 넣어 진공 포장기(Food Saver Ultra, Tilia International Inc., China)를 이용하여 수리미 중의 기포를 제거하고 sausage 충전기(Sausage Maker, Buffalo Co., New York, NJ, USA)를 사용하여 collagen tube(1.8×20 cm, #180, Nippi Co., Tokyo, Japan)에 충전하였다. 충전한 tube는 90°C의 water bath에서 15분 동안 가열하고 즉시 얼음물에 15분 동안 냉각시켜 하룻밤 냉장 보관한 후 물성 측정에 사용하였다. 겔 조제를 위한 수리미의 수분 함량은 얼음물을 사용하여 78%로 조절하였으며 염은 2%를 첨가하였다.

물성과 색도 측정

Okada의 방법(17)에 따라 실린더형의 시료(1.8×2.0 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(mm) 값을 측정하였다.

그리고 겔의 표면 CIE Lab color는 색차계(ZE-2000, Nippon Denshoku, Tokyo, Japan)로 측정하였다. 색차계는 표준 색 plate로 $L^* = 96.83$, $a^* = -0.36$, $b^* = 0.62$ 로 표준화하였으며, 백색도는 $L^* - 3b^*$ 로 계산하였다(18).

고형물 함량, 총질소 함량 및 화학적 산소요구량의 측정 수세 수리미와 산 및 알칼리 수리미 제조 시에 배출되는 수세수 및 원심분리 상층액의 고형물의 양은 상층액 100 mL를 0.45 μm filter로 감압 여과한 고형물을 105°C에서 3시간 건조시킨 후의 무게를 측정하여 g/L로 표시하였으며, 총질소 함량은 semi-micro Kjeldahl법(19)으로, 화학적 산소요구량은 과망간산 칼륨법(20)으로 측정하였다.

통계분석

표준 편차와 유의성 검정의 통계분석은 JMP program(21)

의 standard least squares로 실시하였으며, 유의차는 $p < 0.05$ 수준에서 검토하였다.

결과 및 고찰

용해도에 미치는 pH와 이온강도의 영향

어육 단백질의 용해도에 미치는 pH의 영향을 pH 2~11의 구간에 걸쳐 측정된 결과(Fig. 1), 전갱이의 용해도는 pH 2.5와 10.5 부근에서 가장 높았고, pH 5.5 부근에서 가장 낮은 반면, 보구치의 용해도는 산성과 알칼리쪽으로 pH가 낮거나 증가함에 따라 계속 증가였으며 pH 4.5에서 가장 낮았다. Pacific whiting 마쇄육의 용해도는 pH 5.0~5.5 사이에서 가장 낮았으며 pH 2.0~2.5와 pH 11 부근에서 가장 높은 용해도를 보였고(10), Herring의 마쇄육은 pH 2.7과 10.8에서 가장 높은 용해도와 pH 5.5에서 가장 낮은 용해도를 보였다(15). 이 같이 어종에 따라 최대 및 최저 용해도를 보이는 pH에 다소 차이를 보이는 것은 어육은 많은 종류의 단백질을 포함하고 있으며(22,23) 어종에 따라 근원섬유단백질과 근형질 단백질의 함유량과 근형질 단백질을 구성하는 단백질의 종류에 차이가 있기 때문인 것으로 생각된다(22). 산성과 알칼리 영역에서 용해도가 증가하는 것은 단백질을 구성하는 산성 및 염기성 아미노산 측쇄의 하전량이 증가하여 수소 결합의 가능성이 높아지기 때문인 것으로 보인다.

이온강도의 영향을 검토하기 위하여 pH 2.5와 10.5로 조절된 농도별 NaCl 용액에 대한 어육 단백질의 용해도를 측정된 결과(Fig. 2), 이온강도가 증가할수록 육 단백질의 용해도는 감소하는 것으로 나타났다. 근원섬유단백질과 근형질 단백질은 각각 이온강도가 0.5~1.0와 0.01~0.05인 중성염 용액에 용해하는 것으로 알려져 있지만(23), 강산성과 강알칼리 영역의 pH에서 이온강도의 증가는 하전된 이온들의 척력을 증가시켜 단백질 상호작용과 응집을 유발하여 용해도를 감소시키는 것으로 보인다(15,24-26).

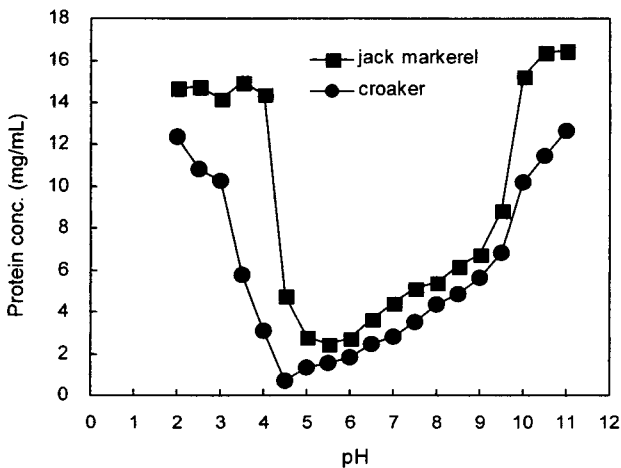


Fig. 1. Effect of pH on solubility of minced Jack mackerel and white croaker muscle.

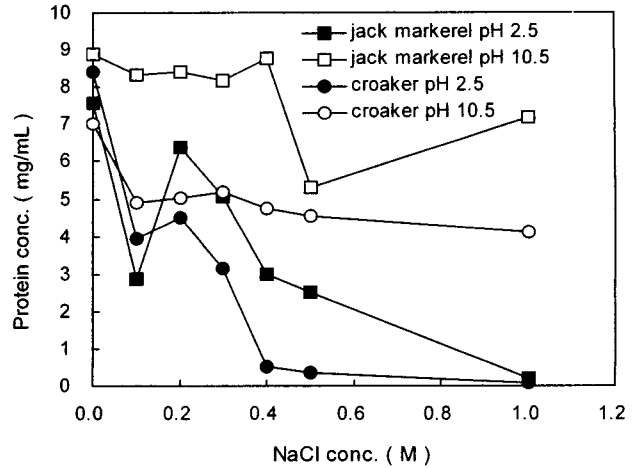


Fig. 2. Effect of NaCl concentration on solubility of minced Jack mackerel and white croaker muscle in pH 2.5 and 10.5.

단백질 용해에 미치는 조직파쇄 시간과 속도의 영향

어육 조직의 파쇄 정도가 단백질의 가용화에 미치는 영향을 조사하기 위하여 파쇄 속도와 시간에 따른 용해도를 측정된 결과(Fig. 3), 본 실험에 적용한 파쇄 속도와 파쇄 시간에서는 단백질의 가용화에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 산성 pH에서 단백질의 용해를 이용하여 소심장육의 단백질을 추출할 때 12,500 rpm 이하의 균질화 속도는 충분한 양의 단백질을 추출하지 못하고 15,000 rpm 이상의 속도에서는 과량의 거품을 발생시켜 단백질 변성시키기 때문에 15,000 rpm에서 30초 동안 균질화하는 것이 가장 적당하다고 하였다(26). 본 실험의 결과 비교적 저속인 8,000 및 9,500 rpm에서 균질화 시간에 따른 큰 차이를 보이지 않으며, 보구치의 알칼리 공정에서 9,500 rpm이 오히려 8,000 rpm에 비하여 추출 단백질의 농도가 낮은 것은 어육의 조직이 축육에 비하여 취약하기 때문(22)에 저속에서도 충분히 파쇄되고 과도한 균질화 속도는 거품을 발생시켜 단백질 변성을 유도하기 때문으로 생각된다.

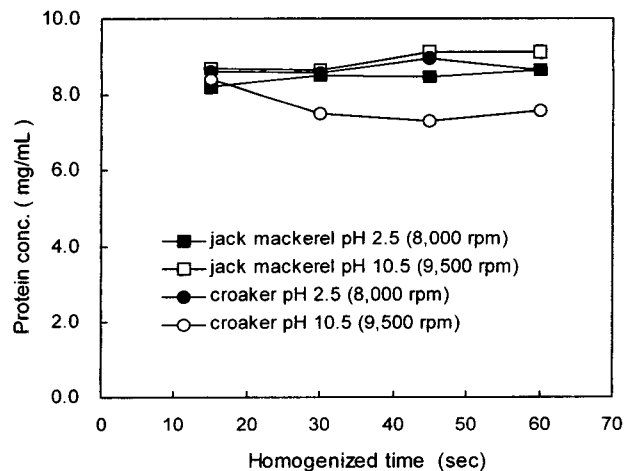


Fig. 3. Effect of homogenized time and speed on solubilization of minced muscle.

가열 겔의 물성에 미치는 단백질 추출 수량의 영향

단백질 추출을 위한 수량과 원심분리의 부하량을 줄이기 위하여 마쇄육에 대한 가수량을 변화시키면서 수리미를 제조하고 가열 겔의 물성의 변화를 측정하여 수세 수리미와 비교하였다(Fig. 4, 5). 산과 알칼리 수리미 겔의 파괴강도와 백색도 값은 마쇄육에 대하여 6배량의 증류수를 첨가한 경우가 7배와 9배를 첨가한 경우보다 높은 것으로 나타났다. 이 같은 결과는 다량의 수도수 첨가는 원심분리 시간을 지체시켜 단백질의 변성을 초래하기 때문인 것으로 생각되었다. 산과 알칼리 공정으로 제조한 청어 수리미가 수세공정으로 제조한 수리미에 상당하는 물성값과 백색도를 얻기 위해서는 육중량에 대한 물의 비는 9배량이 가장 적당하지만 9배량의 수도수를 첨가하여 2시간 이상 방치한 경우 가열 수리미의 물성 값은 현저히 감소한다고 하였다(15). 수세 수리미 제조 시 적정 수세량과 수세 횟수는 육에 대하여 2배량의 수세수로 3회 수세가 가장 적당하며 더 이상 수세하더라도 백색도는 개선되지 않았다(7). 따라서 수리미의 백색도를 개선하기 위해서는 수세량 보다는 수세 횟수가 더욱 중요한 것으로 여겨진다.

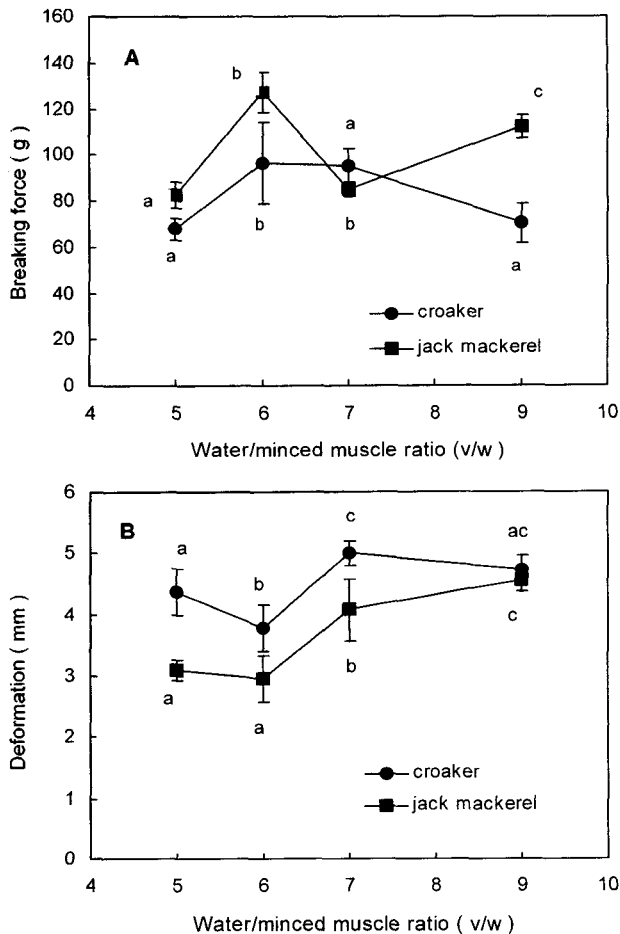


Fig. 4. Effect of water ratio to minced muscle on breaking force (A) and deformation (B). Means with different letters differ significantly ($p < 0.05$).

수리미의 수율

마쇄 어육과 수세수의 비를 1:2로 하여 3회 수세하여 제조한 수리미와 산 및 알칼리 공정으로 제조한 수리미의 수율을 비교한 결과(Fig. 6), 수율은 수세, 산 공정, 알칼리 공정의 순으로 증가하였으며 알칼리 공정은 수세 공정에 비하여 약 5% 이상까지 수율이 증가하였다. 그리고 보구치는 산 공정으로 제조한 수리미의 수율이 가장 낮았으며 알칼리 공정의 수율은 32.7%였다. 수세 공정과 알칼리 공정 사이의 수율의 차이가 백색육 어류인 보구치에 비하여 적색육 어류인 전갱이에서 더 큰 것은 적색육 어류가 백색육 어류에 비하여 다량의 근형질 단백질을 함유하고 있으며, 이들 단백질이 알칼리 공정에 의하여 더 회수되었기 때문으로 추정된다. Suzuki는 방어, 고등어 등과 같은 적색육 어류의 근형질 단백질 함량이 넙치, 농어 등과 같은 백색육 어류에 비하여 높다고 보고하였다(22).

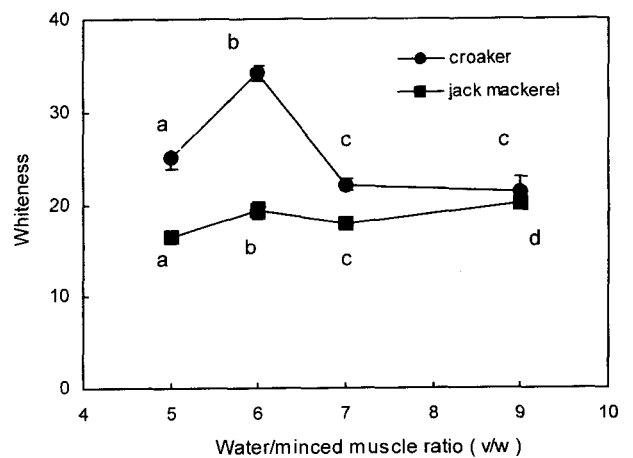


Fig. 5. Effect of water ratio to minced muscle on whiteness. Means with different letters differ significantly ($p < 0.05$).

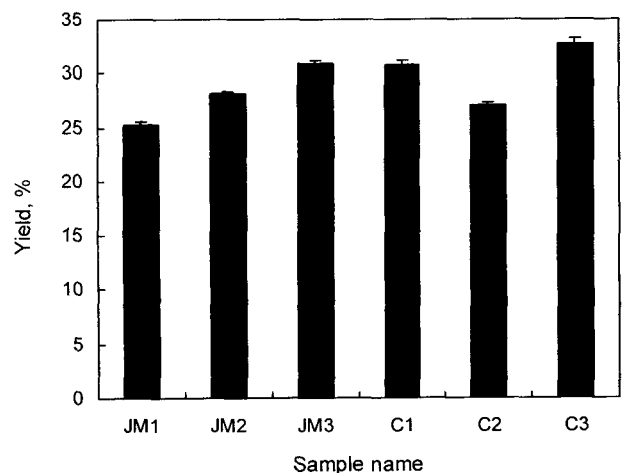


Fig. 6. Protein yield of surimi by conventional, acid and alkali processing. JM, jack mackerel; C, white croaker; 1, conventional processing; 2, acid processing; 3, alkali processing.

Table 1. Solid, total nitrogen (total-N) and COD of waste water from processing

Sample	Jack mackerel			White croaker		
	Conventional	Acid	Alkali	Conventional	Acid	Alkali
Solid (mg/L)	10918.3±59.2	24.0± 2.1	25± 7.1	152.7± 5.8	22.0±11.1	22.7± 1.2
Total-N (mg/100 mL)	166.9±13.9	60.9± 1.7	100.7± 9.3	99.9±31.8	46.8± 7.1	67.8±28.1
COD (mg/L)	2292.0±17.4	1182.7±19.7	1776±21.2	1897.3±16.2	960.0±61.6	1493.3±30.3

수세, 산 및 알칼리 수리미 폐수의 고형물, 총질소 및 화학적 산소요구량(COD)

수세, 산 및 알칼리 수리미의 waste water의 고형물과 총질소 함량 및 COD는 수세>알칼리>산의 순으로 높았다(Table 1). 전갱이 수세 수리미 폐수의 고형물량, 총질소 함량 및 COD는 산 수리미 폐수의 454.9배, 2.8배와 1.9배 높았으며 보구치는 6.8배, 2.2배와 31.1배로서 산과 알칼리 수리미 제조 공정에 의한 폐수 경감 효과는 상당히 큰 것으로 나타났다. 그리고 고형물의 감소는 백색육 어류에 비하여 적색육 어류가 높은 반면 COD 저감 효과는 백색육 어류에서 크게 나타났다. 알칼리 수리미의 COD는 수세 수리미에 비하여 전갱이와 보구치가 모두 1.3배 개선된 것으로 나타나 산 수리미에 비하여 수질 개선효과가 낮은 것으로 나타났다.

요 약

산과 알칼리 수리미 제조 공정을 확립하기 위하여 단백질 가용화와 회수를 위한 최적 pH, 이온강도의 영향, 균질화 조건, 마쇄육에 대한 수도수의 비 및 수율을 검토하고, 산 및 알칼리 수리미 공정에 따른 폐수의 오염 저감 효과를 수세 수리미와 비교하였다. 어육 단백질을 추출하기 위한 최적 pH는 2.5와 10.5 부근이었으며, 가용성 단백질의 침전 회수를 위한 최적 pH는 5.0 부근이었다. 추출 용액의 이온강도 증가는 어육 단백질의 추출량을 현저히 감소시키는 것으로 나타났다. 균질화를 위한 최적 조건은 9500 rpm 이하에서 30초였다. 원심분리 부하량과 파괴강도 및 변형값을 고려한 최적 수량은 어육에 대하여 6배량이었다. 산 혹은 알칼리 공정의 수리미 수율은 수세 공정에 비하여 높았으며, 폐수의 오염 부하량은 현저히 낮은 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 한국해양수산개발원에서 지원한 수산기술개발 사업 과제(관리번호; 20010251) 결과의 일부이며 이에 감사합니다.

문 헌

- Park JW, Morrissey MT. 2000. Manufacturing of surimi from light muscle fish. In *Surimi and Surimi Seafood*. Park JW, ed. Marcel Dekker, New York. p 23-58.
- NFI. 1991. *A manual of standard methods for measuring and*

specifying the properties of surimi. Lanier TC, Hart K, Martin RE, eds. University of North Carolina Sea Grant College Program, Raleigh, NC, USA.

- Shimizu Y, Toyohara H, Lanier TC. 1992. Surimi production from fatty and dark-fleshed fish species. In *Surimi Technology*. Lanier TC, Lee CM, eds. Marcel Dekker, New York. p 181-207.
- Akahane T. 1988. Product development with surimi from fatty species for the US food supply. In *Proceedings of a national technical conference of fatty fish utilization: Upgrading from feed to food*. Raleigh, NC. p 265-276.
- Nonaka N, Hirata F, Saeki H, Sasamoto Y. 1989. Manufacture of highly nutritional fish meat for food stuff from sardine. *Nippon Suisan Gakkaishi* 55: 1575-1581.
- Stefansson G, Hultin O. 1994. On the solubility of cod muscle proteins in water. *J Agric Food Chem* 42: 2656-2664.
- Lin TM, Park JW. 1996. Extraction of proteins from Pacific whiting mince at various washing conditions. *J Food Sci* 61: 432-438.
- Lin TM, Park JW, Morrissey MT. 1995. Recovered protein and reconditioned water from surimi processing waste. *J Food Sci* 60: 4-9.
- Park JW. 2001. New developments in surimi and surimi seafood. Abstract No Th01-1 presented at of 11th World Congress of Food Science and Technology. Seoul, Korea.
- Choi YJ, Park JW. 2002. Acid-aided protein recovery from enzyme-rich Pacific whiting. *J Food Sci* 67: 2962-2969.
- Morrissey MT, Park JW, Huang L. 2000. Surimi processing waste. In *Surimi and Surimi Seafood*. Park JW, ed. Marcel Dekker, New York. p 127-166.
- Hultin HO, Kelleher SD. 2000. Surimi processing from dark muscle fish. In *Surimi and Surimi Seafood*. Park JW, ed. Marcel Dekker, New York. p 59-78.
- Choi YJ, Park JW. 2000. Feasibility study of new acid-aided surimi processing methods for enzyme-laden Pacific whiting. Abstract No 51A-4 presented at 2000 Annual Meeting of the Institute of Food Technologist. Dallas, TX, USA.
- Kim YS, Park JW, Choi YJ. 2002. Physicochemical characteristics of fish proteins treated at various pH conditions. Abstract No of 56-4 at presented 2002 Annual Meeting of the Institute of Food Technologist. Anaheim, CA, USA.
- Undeland I, Kelleher SD, Hultin HO. 2002. Recovery of functional proteins from herring (*Clupea harengus*) light muscle by an acid or alkaline solubilization process. *J Agric Food Chem* 50: 7371-7379.
- Umamoto S. 1966. A modified method for estimation of fish muscle protein by Biuret method. *Nippon Suisan Gakkaishi* 32: 427-435.
- Okada M. 1964. Effect of washing on the jelly forming ability of fish meat. *Nippon Suisan Gakkaishi* 30: 255-261.
- Park JW. 1994. Functional protein additives in surimi gels. *J Food Sci* 59: 525-527
- 秦忠夫, 林力丸. 1971. *アミノ酸. クンパク質の分析*. 講談社, 東京. p 2-7.
- 김용술. 1994. 수질분석. 통영수산전문대학 출판부, 통영. p 174-177.
- JMP. 2002. *Statistics and graphics guide*. Version 5.0, SAS Institute, Cary, NC. p 179-209.

22. Suzuki T. 1981. *Fish and krill protein: Processing technology*. Applied Science Publishers Ltd, London. p 5-61.
23. Sikorski ZE, Pan BS, Shahidi F. 1994. *Seafood Protein*. Chapman & Hall, New York. p 13-57.
24. Dagher SM, Hultin HO, Liang Y. 2000. Solubility of cod muscle myofibrillar proteins at alkaline pH. *J Aquatic Food Product Technol* 9: 49-59.
25. Chang H-S, Feng Y, Hultin HO. 2001. Role of pH in gel formation of washed chicken muscle at low ionic strength. *J Food Biochemistry* 25: 439-457.
26. Dewitt CAM, Gomez G, James JM. 2002. Protein extraction from beef heart using acid solubilization. *J Food Sci* 67: 3335-3341.

(2003년 1월 24일 접수; 2003년 3월 25일 채택)