

## 가열방법에 따른 고기풀 젤의 형성기작과 물성학적 행동변화

최원석 · 이철호

고려대학교 생명공학원 식품가공핵심기술센터

### Changes in the Gelation Mechanism and the Rheological Behavior of Surimi on the Different Heating Methods

Won-Seok Choi and Cheri-Ho Lee

Center for Advanced Food Science and Technology (CAFST)  
Graduated School of Biotechnology, Korea University

#### Abstract

Mechanism for the changes of rheological property of surimi gel by different heating methods, ohmic heating and water-bath heating, was examined by using creep/recovery test. In ohmic heating, time for gelling surimi from 10°C to 90°C and for heating it from 50°C to 70°C which is ranged for optimal proteolytic activity of proteases was needed less than that in water-bath heating. But between 10°C and 30°C which are important ranges for hydrophobic interaction and cross-linking by transglutaminase, time for ohmic heating was needed more than that for water-bath heating. Elasticity of Hookean body and viscosity of Newtonian body for ohmic heated surimi gel were 3.03 kPa and  $3.51 \times 10^6$  Pa·s, respectively, which values were greater than those of water-bath heated gel, 2.51 kPa and  $2.94 \times 10^6$  Pa·s. Surimi gels which contained 100 mM guanidine hydrochloride (G-HCl), sodium dodecyl sulfate (SDS) and  $\beta$ -mercaptoethanol ( $\beta$ -ME), respectively, were treated by different heating methods, ohmic heating and water-bath heating. The rheological differences between gel contains G-HCl and not G-HCl, which were heated with different methods, had similar tendency. While rheological differences of gels contain SDS and  $\beta$ -ME, respectively, which were heated with different methods, were less than those not contain SDS and  $\beta$ -ME. Presumably the reactions of disulfide bond and hydrophobic interaction during gel formation were different in ohmic heating and water-bath heating, respectively.

Key words: rheological change, ohmic heating, water-bath heating

## 서 론

고기풀 가공제품의 생산과정에서 가열온도와 가열 시간은 젤 구조의 발달과 그로인한 조직감 특성에 커다란 영향을 미친다(Douglas-Schwarz and Lee, 1988; Montejano *et al.*, 1984). 과도한 가열은 거칠고 고무와 같은 제품을 만들며, 가열이 계속됨에 따라 더 단단해지며 불투명해지고 부서지기 쉬워진다. 또한 부적절한 가열은 바람직하지 않은 무른 조직감을 형성하기도 한다(Lee, 1984; Lanier *et al.*, 1982).

Samejima *et al.* (1981)과 Taguchi *et al.* (1987)은 어육단백질의 젤화는 myosin의 응집반응에 의한 3차원적 망상구조의 형성에 의한 것이라고 보고하였으며,

Niwa *et al.* (1982a, 1982b, 1983c)과 Numakura *et al.* (1985)은 이러한 응집반응 및 3차원 망상구조의 형성에는 주로 disulfide결합 및 소수성 결합이 관여하며, 가열된 제품을 냉각함에 따라 수소 결합도 관여하게 된다고 보고하였다.

어육제품을 일반적인 가열방법으로 분류해 보면, 찌기, 굽기, 삶기, 튀기기의 4종류 외에 이들의 조합에 의한 찜구이 등이 있다(편집부, 1995).

최근에는 식품자체내에서 열을 발생시키는 옴 가열(ohmic heating)이 식품업계에서 관심을 끌고 있다. 식품에 교류전류를 통과시키면 식품은 전기저항을 가지고 있으므로 전기에너지가 열에너지로 전환되어 내부에서 급속히 전기저항열이 발생하는데 이러한 원리를 이용한 것이 옴 가열이다. 이와 같은 새로운 가열방식인 옴 가열은 페이스트상 고점성 식품의 살균, 어육소재지 등 수산가공품의 가열 및 조직화, 냉동식품의 해

Corresponding author: Lee, Cheri-Ho, Center for Advanced Food Science and Technology (CAFST) Graduated School of Biotechnology, Korea University Seoul, 136-701, Korea

동, 입자를 함유한 식품의 살균등 여러분야에 응용, 연구되고 있다(David, 1992; 김과 변, 1994).

Shiba and Numakura (1992)는 옴가열에 의한 고기풀의 젤 강도가 90°C 수욕에서 가열한 것보다 증가 되었음을 보고하였다. Yongsawatdigul *et al.* (1995)도 옴가열한 고기풀 젤이 전통적인방법으로 가열한 경우보다 관능적 품질이 좋았다고 보고 하였다. 이러한 젤의 관능적 조직감의 향상은 옴 가열의 빠른 가열 속도로 인한 내부 단백질 분해효소의 불활성화에 기인한다고 보고하기도 하였다(Park *et al.*, 1994).

생선 근육조직속에 있는 내열성 단백질분해효소의 존재로 인하여, 고기풀은 효소저해제가 첨가되지 않으면 바람직하지 않은 조직감연화를 나타낸다(Erickson *et al.*, 1983; Morrissey *et al.*, 1993). 반면에 이들 효소저해제들의 사용은 비싼가격, 이취, 좋지않은 맛깔 등과 같은 몇가지 부정적인 영향을 주고 있다. 이 조직감 연화에 관여하는 단백질 분해효소는 cathepsins 및 열에 안정한 염기성 단백질 분해효소로 확인되었으며, 이들 효소들의 최적온도는 종류 및 pH에 따라 변화하나 일반적으로 60°C근방이며, 70°C에 도달하면 완전히 불활성화 되는 것으로 알려져 있다(Wojtewicz and Odense, 1972; Makinodan *et al.*, 1963). 따라서 느린 가열속도는 이 단백질 분해 효소가 열적으로 불활성화되기까지의 시간이 길어지게 되며, 결과적으로 근섬유 단백질의 분해로 인해 조직이 연화된다. 효소저해제없이 단백질 분해 활성을 최소화하기 위해서는 이 단백질 분해효소를 열적으로 빠르게 불활성화시키는 것이 필요한데, 최근에 microwave 가열과 옴가열로 급속가열공정이 가능해 졌다. 그러나 microwave 가열은 비균일한 온도분포가 형성되는 반면 옴가열은 microwave보다 균일한 온도분포를 제공하기 때문에 단백질 분해 효소분해를 극복하는데 옴가열이 더욱 좋은 대안이 되고 있다(Yongsawatdigul *et al.*, 1995).

고기풀 젤의 잠재적인 가교결합(cross-linking) 능력에 대한 연구는 젤화의 기작을 연구하는데 매우 중요하며 이로부터 고기풀의 기능적 특성의 최적화를 이끄러 낼 수 있다(Park *et al.*, 1994). 따라서 본 연구에서는 새로운 식품가공기술인 옴 가열을 통한 고기풀 젤 형성기작과 관련된 주요 가교결합과 물성학적 행동변화를 기존의 가공방법인 수욕가열과 비교, 검토해 보고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

본 실험에서 사용한 원료는 눈 다랑어(FA급)로 동원(주)에서 구입하여 사용하였다. 이 고기풀에는 냉동보호제(cryoprotectant)로 3% sorbitol, 0.2% tetrasodium pyrophosphate를 함유하고 있었다. 시료는 실험기간 동안 -60°C에 냉동 저장 되었다. 고기풀의 수분함량은 105°C 진공 oven에서 측정된 결과 76.5% 였다.

### 고기풀 젤 제조

냉동된 고기풀은 상온에서 약 2시간정도 해동시킨 다음 작은 조각으로 절단한 후, 이들 고기풀 500 g을 저속(1500 rpm)으로 1분간 table top cutter blixer (Robot Blixer 5A, Coupe S.A., France)로 그루갈이 하였다. 이어서 2% (w/w) 소금(샘표꽃소금, (주)샘표식품공업, 한국)을 첨가후 역시 저속으로 30초 동안 그루갈이 한 다음 최종 수분함량이 81%에 도달하도록 얼음을 첨가한 후 다시 저속으로 30초 그루갈이 하였다. 이어서 고속(3000 rpm)으로 1분 동안 최종적으로 그루갈이 하였다. 이들 고기풀 반죽은 그루갈이 동안 10°C이하로 유지되도록 하였다. 일정량의 그루갈이한 반죽(45 g)을 일정형태의 아크릴주형에 넣고 15 kg의 하중을 주어 정형(60×50×15 mm)한 후 옴 가열과 수욕가열의 시료로 사용하였다. 시료 중심부에서의 온도변화는 T-type thermocouple을 사용하여 측정하였으며, datalogger (Hydra 2625A, Fluke Co., Germany)를 통하여 IBM PC로 전송하여 자료를 분석하였다. 옴장치 및 수욕으로 가열된 고기풀 젤 시료는 4°C에서 약 12시간 정도 보관 후 creep & recovery test를 실시하였다.

### 옴 가열 장치 및 수욕 가열방법

고기풀을 가열하기 위한 가열장치의 구조는 아크릴 상자(6×5×5 cm) 양쪽에 비교적 안정성이 인정된 티타늄 판을 설치하여 전극으로 사용하였으며, 가열중 수분의 유출을 방지하기 위하여 아크릴 상자의 중심부에 thermocouple을 삽입하기 위한 구멍(20×5 mm)외에는 아크릴상자가 밀폐되도록 하였다. 한편 옴 가열 장치는 50 Hz-1 MHz 주파수의 구형파교류를 발생시키는 signal generator (AG-204, Kenwood Co., Japan)와 이렇게 발생된 교류전류를 식품에 적용시킬 수 있을 정도의 전압으로 증폭시켜주는 power amplifier (4025, NF Co., Japan)로 구성하였다. 실험에 사용된 옴가열 장치의 개략적인 구조도는 Fig. 1과 같다.

전극간격은 15 mm로 시료에 밀착되도록 전극을 장착하여 실험하였으며, 주파수를 고정시키고(3 kHz) 전기장의 세기를 바꾸어 주면서(5.3, 7.7, 10 volt/cm) 또는 전기장의 세기를 고정시킨 후(7.7 volt/cm) 주파수

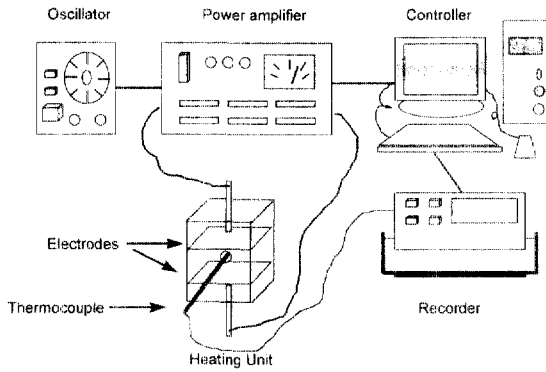


Fig. 1. A schematic diagram of ohmic heating system.

를 바꾸어 주면서(1, 3, 5 kHz) 교류전류를 시료에 통하게 하였다.

수욕가열의 경우 시료에 수분의 침투 및 유출을 방지하기 위하여 식품포장용 랩(크린랩, (주)크린랩, 한국) 한점으로 시료를 포장하여 95°C (±1°C)로 유지되는 수욕에서 시료중심부의 온도가 90°C에 도달할 때까지 가열하였다.

고기풀 젤의 분자간 결합방식에 대한 영향 측정

옴 가열 및 수욕으로 가열된 고기풀 젤의 가교결합 특성의 차이를 비교하기 위하여 guanidine hydrochloride (G-HCl), sodium dodecyl sulfate (SDS), β-mercaptoethanol (β-ME)을 100 mM의 농도로 고기풀 젤 제조시에 각각 첨가하였다. G-HCl은 수소결합을, SDS는 소수성 상호작용을, β-ME는 disulfide결합에 영향을 주는 것으로 알려져 있으므로(Park et al., 1994) 이들 화합물의 작용으로 나타나는 젤의 물성변화를 creep & recovery test를 이용, 분석하여 가열방법에 따른 분자간 결합 방식의 차이를 비교 하였다.

Creep & recovery test 측정 장치

고기풀 겔을 3 mm두께의 원판형(직경 35 mm)으로 잘라 측정하였으며 수분증발을 방지하기 위해 측정전까지 plastic bag에 보관하였다. Creep & recovery 측정은 온도조절장치가 부착된 Haake Rheometer (RS 150, Haake Inc., Germany), serrated parallel plate geometry (직경 35 mm)를 사용하였다. 시료의 늘레에는 측정봉 안에 수분이 증발하는 것을 방지하기 위해서 silicon oil을 발랐다. 시료온도는 25.0±0.5°C로 조절하였다.

Creep & recovery 시험을 하기전에 미리 변형력과 변형율사이에 선형관계가 존재하는지를 확인하였다. 예비실험결과 고기풀 젤의 경우 약 110 Pa이하의 변형력에서 선형관계가 성립하였다. 따라서 본 실험에서

는 변형력을 100 Pa로 하였으며 이때 시료 단면적의 변화는 무시할 정도였다.

Creep & recovery 시험의 경우 시료에 480초 동안 일정한 하중(100 Pa)을 가한 후 곧이어 하중을 완전히 제거하여 480초 동안 시간에 따른 변형율의 변화를 측정하였으며, 각 시료에 대해 최소 6회 이상의 반복 실험을 하였다.

고기풀 젤의 전형적인 creep/recovery곡선을 Fig. 4에 나타내었다. 이 곡선을 순간변형이 일어나는 탄성적 부분(A부분), 지연변형이 일어나는 점탄성부분(B부분), 흐름이 생기는 점성부분(C부분)으로 나누어 분석하였다.

결과 및 고찰

Ohmic 가열조건이 고기풀 젤화 시간에 미치는 영향

옴 가열장치를 이용하여 전기장의 세기(5.3, 7.7, 10 volt/cm)와 주파수(1, 3, 5 kHz)를 달리하여 고기풀 내부온도가 10°C부터 90°C까지 가열되어 젤화 되는 시간과 50°C에서 70°C까지, 그리고 10°C에서 30°C까지, 이 온도대를 통과하는 시간을 측정 한 결과는 Fig. 2와 같다. 생선살 내부의 온도가 10°C에서 90°C까지 도달하는데 걸리는 시간과 50°C에서 70°C까지 도달하는데 드는 시간은 옴가열 실험의 중간조건(7.7 volt/cm, 3 kHz)의 경우, 각각 316.0초와 70.3초가 소요되어 수욕가열의 514초와 111초보다 약 1.6배 정도 빨랐다. 그러므로 7.7 volt/cm, 3 kHz이상의 옴 가열조건은 수욕

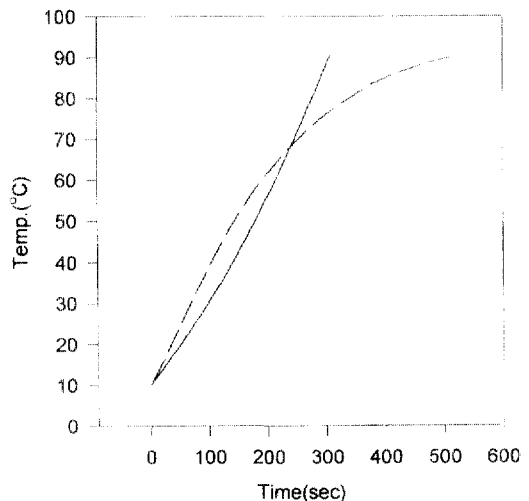


Fig. 2. Heating profiles of surimi under ohmic heating and water-bath heating. —: ohmic heating (7.7 volt/cm, 3 k Hz), - -: water-bath heating

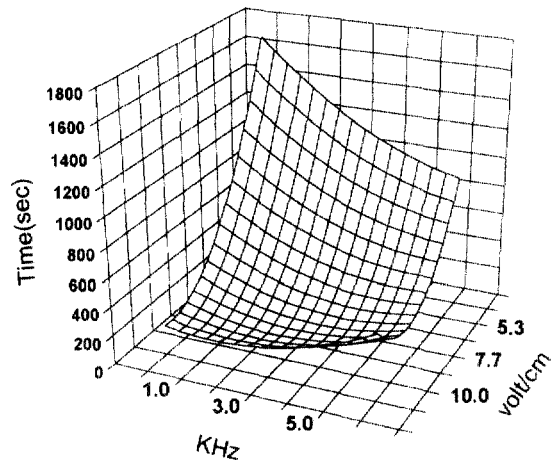
가열보다 고기풀 내부 단백질분해효소를 빠르게 불활성화시키므로써 이들 효소에 의한 젤의 조직감 연화 현상을 감소시킬 수 있을 것으로 판단되었다.

한편 옴가열의 경우, 일정한 주파수(3 kHz)에서 이들 온도대(10~90°C, 50~70°C)를 통과하는데 드는 시간에 대한 전기장의 영향을 조사해본 결과, 5.3 volt/cm에서는 692.2초와 164.1초, 7.7 volt/cm에서는 316.0초와 70.3초, 10 volt/cm에서는 183.4초와 37.0초로 전기장의 세기가 약 2배 증가함에 따라 시간은 약 3.8배 단축되었다. 또한 일정 전기장의 세기(5.3 volt/cm)에서 주파수의 영향은 1 kHz의 경우 10°C에서 90°C에 도달하는 시간이 1108.6초, 50°C에서 70°C에 도달하는 시간이 265.9초 이었으며, 3 kHz의 경우 692.2초와 164.1초, 5 kHz의 경우는 658초와 149.3초 였다. 즉 주파수의 영향은 3 kHz까지는 주파수가 증가할수록 이들 온도대를 통과하는 시간도 크게 단축되었으나 그 이상의 주파수에서는 시간단축에 그리 큰 영향을 주지 않았다.

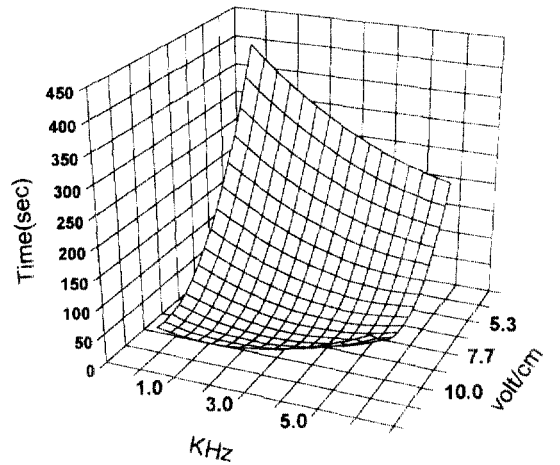
반응표면분석방법(Response Surface Method, RSM)에 의하여 이들 온도대를 최단시간에 통과하는 전기장의 세기와 주파수조건을 조사한 결과는 Fig. 3과 같다.

10°C에서 90°C 그리고 50°C에서 70°C까지 고기풀 젤을 가열하는데 걸리는 최단 시간은 각각 9.9 volt/cm의 전기장의 세기와 2.57 kHz의 주파수에서, 그리고 9.8 volt/cm와 2.67 kHz의 조건에서 나타났다. 이 반응표면분석법 결과에서도 이들 온도대를 통과하는 시간은 전기장의 세기에 비례하여 시간이 단축되는 것으로 나타났다. 반면에 주파수의 영향은 전기장의 세기에 따라 달라져, 낮은 전기장(5.3 volt/cm)에서는 주파수가 증가할수록 10°C에서 90°C 그리고 50°C에서 70°C를 통과하는 시간이 단축되는 것으로 나타났으나 높은 전기장(10 volt/cm)에서는 주파수의 증가가 시간 단축에 거의 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

한편 온도가 10°C에서 30°C까지 도달하는데 걸리는 시간은 옴가열 실험의 중간조건(7.7 volt/cm, 3 kHz)에서 98초로 나타나 68초인 수욕가열과 비교시 옴가열의 경우가 수욕가열의 경우보다 오히려 약 1.5 배 증가되었다. 이 온도대(10~30°C)는 표면소수성의 증가가 급격히 일어나는 곳으로 이 온도대에서 장시간의 고기풀 setting은 소수성 결합의 증가에 도움을 주며, 결과적으로 비교적 고온 분포의 망상구조를 가진 고기풀 젤을 형성하게 되어 젤의 탄력을 증가시키는 원인이 된다고 하였다(정 등, 1993). 또한 최근 Chan *et al.* (1995)은 고기풀에 존재하는 transglutaminase (TGase)가 고기풀의 저온 setting 동안에 myosin heavy chain (MHC)



A. from 10°C to 90°C



B. from 50°C to 70°C

Fig. 3. Three dimensional diagram for the heating time to reach from 10°C to 90°C (A) and from 50°C to 70°C (B) by ohmic heating with various voltages and frequencies.

의 공유 교차결합 형성과정에 관여하며, 약 10°C 부근에서 setting 시간을 오래할수록 TGase가 lysine과 glutamine 잔기에 보다 쉽게 접근할 수 있는 기회를 제공함으로써 glutamyl-lysine 교차결합을 보다 많이 형성하여 젤의 강도를 증가시킨다고 하였다.

결론적으로 옴가열에 의해서 고기풀의 젤화 시간과 단백질 분해효소들의 최적 활성 온도대인 50~70°C를 통과하는데 드는 시간을 단축할 수 있으며, 반면에 소수성 결합과 TGase에 의한 교차결합이 주로 일어나는 10~30°C의 온도대를 통과하는 시간은 연장되어지는 것으로 나타났다.

가열방법에 따른 고기풀 젤의 물성학적 특성 변화

옴 가열 및 수욕가열의 가열특성 차이가 고기풀젤의 물성에 미치는 영향을 알아보기 위해서 creep/recovery 시험을 이용하여 이들 고기풀 젤들간의 물성 차이를 조사하였다.

Fig. 4를 보면 고기풀 젤은 순간변형부분(A부분)과 지연변형부분(B부분)이 주체인 것을 알 수 있다. 한편 한천 젤, 난백 젤, 전분 젤 및 대두단백질 젤의 creep곡선도 순간변형부분, 지연변형부분 및 점성부분으로 구성된 4요소 모델로 해석되는데 한천 젤은 순간변형부분과 점성부분이, 전분 젤은 순간변형부분이 주체이며, 난백 젤은 중간정도로서 순간변형부분과 지연변형부분이 주체이고, 대두 단백질 젤은 지연부분이 큰 것으로 보고되었다(申鉉信子, 1979).

Fig. 5는 Kelvin model에 의해 분석된 고기풀 젤의 creep curve를 나타낸 것이다. Creep 곡선을 해석한 결과 고기풀 젤의 기계적 모델은 다음과 같이 Kelvin의 4요소 모델로 표현할 수 있었다.

$$\epsilon(t) = \sigma_0/E_0 + \sigma_0 \times (1 - e^{-t/Tr})/Er + \sigma_0 \times t/\eta_N$$

여기서  $\epsilon(t)$ =시간 t에서의 변형,  $\sigma_0$ =초기 변형력,  $E_0$ =Hookean body의 탄성율,  $Er$ =Voigt body의 탄성율,  $Tr$ =지연시간(retardation time),  $\eta_N$ =Newtonian body의 점도이다. 해석방법은 아래와 같다.

- i) O-A로부터  $E_0$ 를 계산한다.

$$\epsilon(0) = \sigma_0/E_0 = 0.0398$$

$$E_0 = 2.51 \text{ kPa}$$

- ii) P-B-C로부터  $\eta_N$ 을 계산한다.

$$\epsilon(t) = \sigma_0/E_0 + \sigma_0/Er + \sigma_0 t/\eta_N$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} = 0.06217 + 0.01633t/480$$

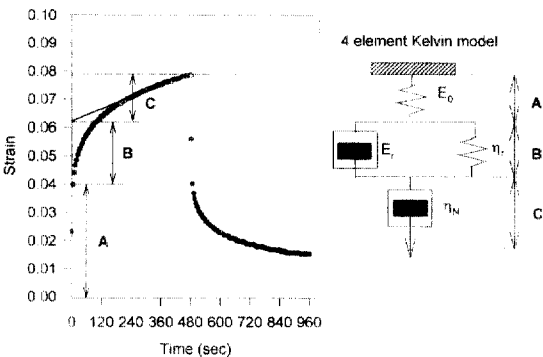


Fig. 4. Prediction of creep/recovery of surimi gel by a 4-element Kelvin model.  $E_0$ : Instantaneous elasticity,  $E_r$ : Retarded elasticity,  $\eta_r$ : Retarded viscosity,  $\eta_N$ : Newtonian Viscosity

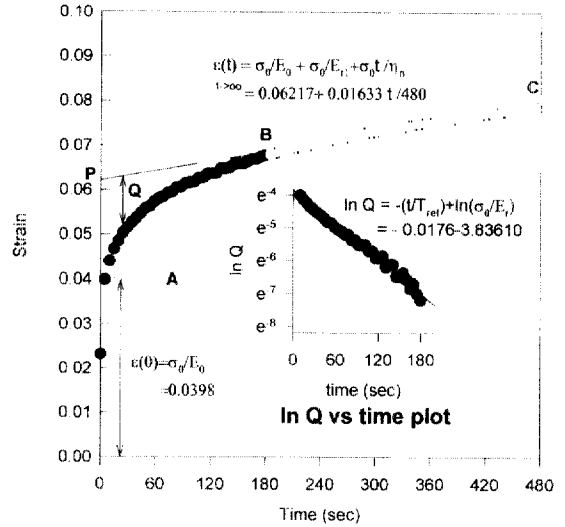


Fig. 5. Strain-time diagram of surimi gel under constant stress (100 Pa).

$$\sigma_0/\eta_N = 0.01633/480$$

$$\eta_N = 2939.38 \text{ kPa}$$

iii) A-B로부터 지연시간(retardation time,  $Tr$ ), 지연탄성(retardation elasticity,  $Er$ ), 지연점성(retarded viscosity,  $\eta_r$ )을 Inokuchi (1985)의 방법에 의하여 계산하였다. 이 계산을 위해  $(\sigma_0/Er) \cdot e^{(t/Tr)}$ 를 Q라고 한 후  $\ln Q$ 와 t에 대한 그림을 그린다(Fig. 5안의  $\ln Q$  vs time plot). 이 plot의 점들이 직선을 나타내므로 4 element Kelvin model이 적용되었다.

$$\ln Q = -(t/Tr) + \ln(\sigma_0/Er)$$

$$\text{기울기} = -(1/Tr) = -0.0176$$

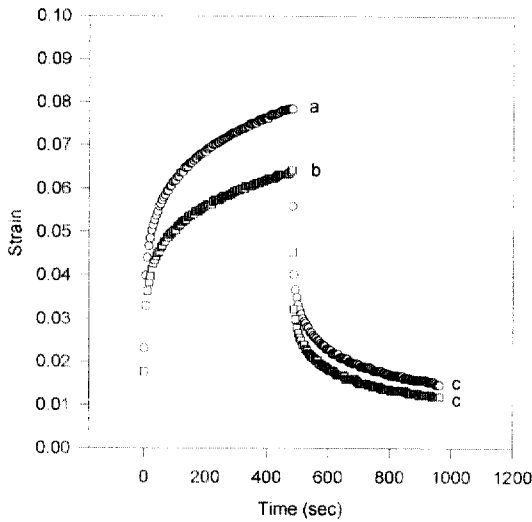
$$\text{절편} = \ln(\sigma_0/Er) = -3.83610$$

따라서  $Tr=56.8$ 초  $Er=4.63$  kPa,  $\eta_r=263.21$  kPa·s가 된다.

옴가열(7.7 volt/cn, 3 kHz)한 젤과 수욕가열한 젤의 creep/recovery반응을 조사하여 480초동안 creep후의 변형결과와 이어서 480초동안 recovery후의 잔존변형 결과를 비교하였다.

옴 가열 고기풀 젤의 480초후의 변형율은 0.064로 수욕가열의 0.079보다 낮은 값을 나타내었으며( $p < 0.05$ ), 잔존변형율의 경우 옴가열 젤의 경우가 0.012%로 수욕가열의 0.015보다 낮은 값을 보였으나 의미있는 차이는 나타나지 않았다(Fig. 6).

이 creep곡선을 Kelvin model로 분석한 결과 옴 가열 고기풀 젤의 Hookean body의 탄성( $E_0$ )값은 3.03 kPa로 수욕가열의 2.51 kPa보다 크게 나타났는데(Table 1).



**Fig. 6.** Creep/recovery curve of surimi gel made by ohmic (7.7 volt/cm, 3 kHz) heating and water-bath heating. □—□: ohmic heating, ○—○: water-bath heating, a, b, c: values with same letter not different ( $p < 0.05$ ).

이는 옴 가열된 고기풀 젤의 물성이 수욕가열된 고기풀 젤과 비교시 보다 단단하며 탄력적임을 의미한다. Lynch and Mulvihill (1994)은 Hookean body의 탄성값이 안정된(undisturbed) 단백질 망상구조와 관련이 있다고 주장하였다. 따라서 옴 가열한 고기풀 젤이 보다 안정한 단백질 망상구조를 하고 있다고 추측할 수 있다. 옴 가열된 젤의 Newtonian body의 점성값( $\eta_N$ ) 또한 수욕가열한 경우와 비교하여 높은 값을 나타내었다(Table 1). 옴 가열된 고기풀 젤의 점탄성성분들( $E_r$ ,  $\eta_r$ )도 수욕가열된 고기풀 젤보다 모두 큰 값을 나타내었다(Table 1).

결론적으로 위의 creep/recovery 실험결과를 종합해 볼 때 옴 가열한 고기풀 젤이 수욕 가열한 경우보다

높은 Hookean body의 탄성과 Newtonian body의 점성 그리고 점탄성값을 지닌것으로 나타나, 옴 가열의 경우가 더 견고하며 덜 유동적인 고기풀젤을 만들 수 있음을 알 수 있었다.

이런 결과는 Shiba *et al.* (1992)의 실험에서도 입증되었으며, Yongsawatdigul *et al.* (1995)의 실험에서도 옴 가열한 고기풀 젤이 수욕가열한 젤보다 젤을 파괴할 때 드는 힘과 이 때의 변형율이 2배이상 증가하였다고 보고하였다.

#### 분자간 결합저해제에 의한 고기풀젤의 물성변화

가열방법에 따라 나타난 고기풀 젤의 물성차이를 분자간 결합양상의 차이로 설명하기 위하여 결합방식에 영향을 주는 시약을 첨가하여 이들 젤의 점탄성 성질 변화를 조사하였다.

수소결합 저해제인 guanidine hydrochloride (G-HCl)을 100 mM 농도로 고기풀에 첨가하여 옴 가열(7.7 volt/cm, 3 kHz) 및 수욕가열을 통해 젤을 형성한 후 고기풀 젤의 물성차이를 관찰한 결과를 Table 2에 나타내었다.

옴 가열 젤의 경우 480초후의 변형율이 0.072로 수욕가열의 0.081와 의미있는 차이를 나타내었으며( $p < 0.05$ ), 480초 recovery후의 잔존 변형율 또한 옴가열 젤이 0.017로 수욕가열 젤의 0.013와 의미있는 차이를 나타내었다( $p < 0.05$ , Fig. 7). Creep/recovery 곡선을 분석한 결과  $E_0$ 값 또한 2.69 kPa로 2.46 kPa의 수욕가열한 젤보다 크게 나타났으며,  $\eta_N$ 값도 옴가열 젤의 경우가 높게 나타나(Table 2), G-HCl을 첨가했을 경우에도 옴가열 젤이 수욕가열의 경우보다 보다 견고하고 덜 유동적인 물성을 가지는 것으로 나타났다. 이러한 물성의 차이는 아무런 시약을 첨가하지 않은 대조구로서의 옴 가열 젤과 수욕가열 젤의 물성차이와 비교시, 비록

**Table 1.** Viscoelastic parameters for surimi gel made by ohmic heating (7.7 volt/cm, 3 kHz) and water-bath heating

	water-bath heating	ohmic heating
$E_0$ (Pa)	2512.56	3030.30
$E_r$ (Pa)	4633.92	4716.98
$\eta_r$ (Pa·s)	263206.66	272641.51
$\eta_N$ (Pa·s)	2939375.38	3511338.70
Tr (sec)	56.8	57.8

$E_0$ : Instantaneous elasticity

$E_r$ : Retarded elasticity

$\eta_r$ : Retarded viscosity

$\eta_N$ : Newtonian Viscosity

Tr: Retardation time

(The creep curve was analyzed by 4-element Kelvin model)

**Table 2.** Viscoelastic parameters for guanidine-HCl added surimi gel made by ohmic heating (7.7 volt/cm, 3 kHz) and water-bath heating

	water-bath heating	ohmic heating
$E_0$ (Pa)	2463.05	2688.17
$E_r$ (Pa)	4278.99	5081.30
$\eta_r$ (Pa·s)	238767.64	288109.76
$\eta_N$ (Pa·s)	2793946.45	3314917.13
Tr (sec)	55.8	56.7

$E_0$ : Instantaneous elasticity

$E_r$ : Retarded elasticity

$\eta_r$ : Retarded viscosity

$\eta_N$ : Newtonian Viscosity

Tr: Retardation time

(The creep curve was analyzed by 4-element Kelvin model)

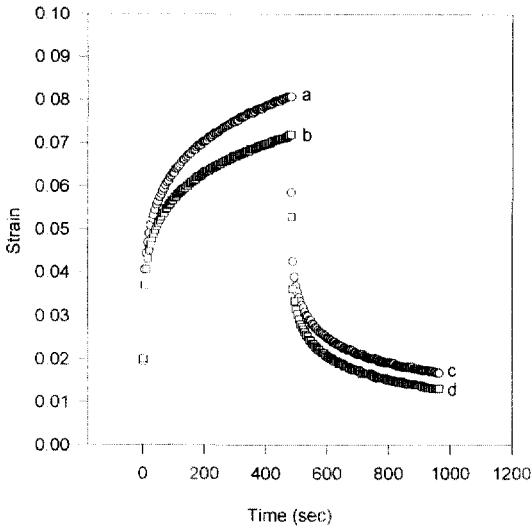


Fig. 7. Creep/recovery curve of guanidine-HCl added surimi gel made by ohmic heating and water-bath heating. □—□: ohmic heating, ○—○: water-bath heating, a, b, c, d: values with same letter not different ( $p < 0.05$ )

그 차이는 약간 감소하였지만 역시 의미있는 차이를 그대로 유지한 채 크게 변화하지 않아 가열방법에 따른 젤의 물성차이에 미치는 수소결합의 영향은 그리 크지 않은 것으로 생각된다.

G-HCl은 Alaska pollock (Hamada, 1992)뿐만 아니라 Jack mackerel, flatfish, yellowtail (Niwa *et al.*, 1982b) 등의 어종에서도 수소결합 절단능력이 있음이 밝혀졌다. 이 변성시약 guanidine은 amide nitrogen과 carbonyl carbon사이의 수소결합과 경쟁하여 이차구조를 방해하며, 따라서 약한 젤을 형성한다고 한다 (Nishioka *et al.*, 1983).

소수성 결합에 영향을 주는 sodium dodecyl sulfate (SDS)를 100 mM농도로 고기풀에 첨가한 후 가열방법을 달리하여 형성한 젤의 강도 차이를 조사하였다.

Creep/recovery 반응을 조사해본 결과 480초후의 변형결과와 이어진 480초 recovery후의 잔존 변형 결과는 음 가열(7.7 volt/cm, 3 kHz)한 고기풀 젤의 경우가 각각 0.070와 0.011로 수욕 가열한 젤의 0.077와 0.014보다 모두 약간 낮게 나타났으나 의미있는 차이를 나타내지는 않았다(Fig. 8).

Kelvin model에 의해 분석된 변수값들 역시 음 가열의 경우가 수욕가열 고기풀 젤 보다 높게 나타났으나 그 차이는 크지 않았다(Table 3). 한편 시약을 첨가하지 않았을 경우 보여 주었던 음 가열 고기풀 젤과 수욕가열 고기풀 젤간의 물성차이가 소수성 결합에 영향을 주는 SDS를 첨가함으로써 의미있는 차이를 나

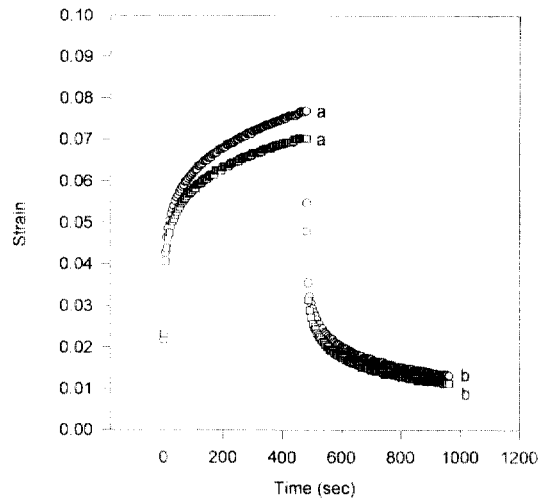


Fig. 8. Creep/recovery curve of sodium dodecyl sulfate added surimi gel made by ohmic heating and water-bath heating. □—□: ohmic heating, ○—○: water-bath heating, a, b: values with same letter not different ( $p < 0.05$ )

Table 3. Viscoelastic parameters for sodium dodecyl sulfate added surimi gel made by ohmic heating (7.7 volt/cm, 3 kHz) and water-bath heating

	water-bath heating	ohmic heating
$E_0$ (Pa)	2347.42	2469.14
$E_r$ (Pa)	5428.88	5973.72
$\eta_r$ (Pa·s)	308360.48	336917.56
$\eta_s$ (Pa·s)	3254237.29	3963666.39
Tr (sec)	56.8	56.4

$E_0$ : Instantaneous elasticity  
 $E_r$ : Retarded elasticity  
 $\eta_r$ : Retarded viscosity  
 $\eta_s$ : Newtonian Viscosity  
 Tr: Retardation time  
 (The creep curve was analyzed by by 4-element Kelvin model)

타내지 못했다는 것은 가열방법에 따른 젤의 물성차이에 소수성 결합이 중요한 역할을 하는 것으로 생각할 수 있겠다.

소수성 결합의 영향은 Jack mackerel, striped pigfish와 flatfish 어종의 actomyosin (Niwa *et al.* 1982b; Niwa, 1975; Niwa *et al.*, 1983), croaker myosin (Hamada, 1992)의 경우, 그리고 pacific whiting 고기풀(Niwa *et al.*, 1983) 등의 젤화에서 매우 중요하다고 알려져 있다.

Park *et al.* (1994)은 SDS화합물은 젤 형성동안에 고기풀 단백질의 소수성 지역에 단단히 결합되어진다고 주장하였으며, Cooper (1977)는 음 이온 청정제(detergent)인 SDS는 단백질의 소수성 지역과 결합하여 모든 분자간(intramolecular) 단백질 결합을 풀어버린다고 주장하였다.

끝으로 disulfide결합에 영향을 주는 환원제(100 mM,  $\beta$ -mercaptoethanol ( $\beta$ -ME))를 고기풀에 첨가하여 옴 가열(7.7 volt/cm, 3 kHz)과 수욕가열의 가열방법을 달리 한 젤의 물성차이를 조사하였다.

Creep/recovery 반응을 통해 480초동안의 변형율과 480초 recovery후의 잔존 변형율을 조사해 본 결과, 옴 가열한 젤의 경우 각각 0.060와 0.011로 수욕가열한 젤의 0.062, 0.012와 거의 비슷한 값들을 나타내었다 (Fig. 9). Kelvin model에 의해 분석된 변수 값들 역시 거의 비슷한 결과를 나타내었다(Table 4).

$\beta$ -ME첨가시 가열방법에 따른 고기풀 젤들의 물성은 소수성 결합 저해제인 SDS를 첨가시의 경우와 마찬가지로 시약을 첨가하지 않았을 경우 보여 주었던

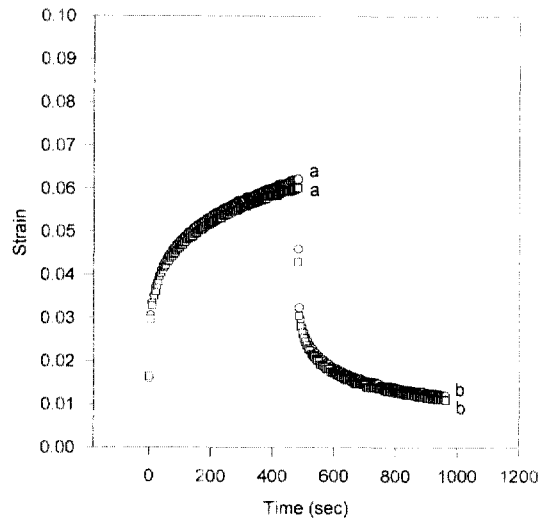


Fig. 9. Creep/recovery curve of  $\beta$ -mercaptoethanol added surimi gel made by ohmic heating and water-bath heating.  $\square$ — $\square$ : ohmic heating,  $\circ$ — $\circ$ : water-bath heating, a, b: values with same letter not different ( $p < 0.05$ )

Table 4. Viscoelastic parameters for  $\beta$ -mercaptoethanol added surimi gel made by ohmic heating (7.7 volt/cm, 3 kHz) and water-bath heating

	water-bath heating	ohmic heating
$E_s$ (Pa)	3267.97	3367.00
$E_r$ (Pa)	5892.75	6253.91
$\eta_r$ (Pa·s)	344725.99	370231.39
$\eta_N$ (Pa·s)	3377902.89	3537214.44
Tr (sec)	58.5	59.2

$E_s$ : Instantaneous elasticity

$E_r$ : Retarded elasticity

$\eta_r$ : Retarded viscosity

$\eta_N$ : Newtonian Viscosity

Tr: Retardation time

(The creep curve was analyzed by 4-element Kelvin model)

옴 가열 및 수욕가열 고기풀 젤들간의 의미있는 물성 차이를 나타내지 않았다. 이는 disulfide결합이 소수성 결합과 마찬가지로 옴 가열 및 수욕가열의 가열방법에 따른 고기풀 젤의 물성 차이에 중요한 역할을 한다는 것을 의미한다.

## 요 약

새로운 식품가공기술인 옴(ohm) 가열을 통한 고기풀 젤 형성기작과 관련된 주요 단백질 분자간 가교결합(cross-link)형태의 변화와 이에 따른 젤의 물성학적 행동변화를 기존의 가공방법인 수욕가열과 비교, 검토해 보고자 하였다. 먼저 고기풀 젤 형성온도대인 10°C에서 90°C까지의 옴 가열 및 수욕가열의 온도 특성을 살펴본 결과, 옴 가열의 경우가 수욕가열보다 10~90°C의 고기풀 젤화시간과 단백질 분해효소들의 최적 활성 온도대인 50~70°C를 통과하는데 드는 시간이 단축되었으며, 반면에 소수성 결합과 transglutaminase에 의한 교차결합이 주로 일어나는 10~30°C의 온도대의 통과시간은 오히려 옴가열의 경우에서 연장되었다. 이런 가열특성이 고기풀젤의 물성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 옴 가열한 고기풀 젤과 수욕가열한 고기풀 젤들간의 물성의 차이를 creep/recovery test를 통해 비교한 결과 옴가열한 젤의 Hookean body의 탄성율과 Newtonian body의 점도가 각각 3.03 kPa와  $3.51 \times 10^6$  Pa·S로 수욕가열한 경우의 2.51 kPa,  $2.94 \times 10^6$  Pa·S보다 크게 나타나 옴 가열 고기풀젤이 보다 견고하고 탄력적이며, 덜 유동적인 물성을 지니는 것으로 나타났다. 가열방법에 따라 나타난 고기풀 젤의 물성차이를 분자간 결합양상의 차이로 설명하고자 젤 형성시 중요한 역할을 하는 결합에 영향을 주는 수소결합 저해제인 guanidine hydrochloride (G-HCl), 소수성결합에 영향을 주는 sodium dodecyl sulfate (SDS) 그리고 S-S 결합에 영향을 주는  $\beta$ -mercaptoethanol ( $\beta$ -ME)을 100 mM농도로 고기풀에 첨가하여 creep/recovery test를 통해 가열방법에 따른 이들 젤의 점탄성 성질 변화를 조사하였다. G-HCl을 첨가시 앞선 실험결과에서 보여주었던 옴 가열과 수욕가열시의 고기풀 젤들간의 물성차이를 비교적 그대로 유지하여 가열방법에 따른 물성의 차이에 수소결합의 영향은 그리 크지 않은 것으로 생각된다. 반면에 SDS를 첨가한 결과 기존에 보였던 젤들간의 물성차이를 크게 감소시켰으며,  $\beta$ -ME의 첨가시에도 가열방법에 따른 젤 강도의 차이가 감소되어 소수성 결합과 disulfide결합이 가열방법에 따른 고기풀젤의 물성차이에 중요한 역할을 하는 것으로 생각된다.



## 감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단의 '96 신진연구인력 연구장려금 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다. 또한 본 실험의 원료인 고기풀을 제공해주신 동원 식품(주) 관계자에게 감사드립니다(CAFST Research paper NO. 98031).

## 문헌

- 김도현, 변유량. 1994. Ohmic heating에 의한 식품 가공. 식품과학과 산업, **27**(4): 21-33.
- 정우진, 박성민, 이강호, 이근태. 1993. 명태 냉동 고기풀의 gel 성장 변화. 한국수산학회지, **26**(2): 133-140.
- 中銀信子. 1979. 食品 "ゲルのレオロジ", 食品の物性, 第5集, 松本幸雄編, 食品資材研究會, 東京, p29.
- 편집부. 1995. 주물카열로서 어묵의 제조조건 최대로 말할 수 있어. 식품산업, **95**(7): 87-90.
- Chan, J.K., T.A. Gill, J.W. Thompson and D.S. Singer. 1995. Herring surimi during low temperature setting. physicochemical and texture properties. *J. Food Sci.*, **60**(6): 1248-1253.
- Cooper, T.G. 1977. *The tools of biochemistry*. Wiley-Interscience Publishers, New York.
- David, L.P. 1992. Use of ohmic heating for aseptic processing of food particulates. *J. Food Technol.*, **12**: 68.
- Douglas-Schwarz, M. and C.M. Lee. 1988. Comparison of the thermal stability of red hake and Alaska pollock surimi during processing. *J. Food Sci.*, **53**: 1347-1351.
- Erickson, M.C., D.T. Gordon and A.F. Anglemier. 1983. Proteolytic activity in the sarcoplasmic fluid of parasitized Pacific whiting and unparasitized true cod. *J. Food Sci.*, **48**: 1315-1319.
- Hamada, M. 1992. Mechanical behavior and cross linkages of heat-induced myosin gel. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **58**: 89-93.
- Herb, P.K.W. 1996. *Dispersion Rheology*. Bohlin Instruments. p.1-4.
- Inokuchi, K. 1985. Rheology of surface film., W. Viscoelastic properties of 6nylon films at air/water interface. *Bull. Chem. Soc. (Japan)*, **28**: 453.
- Lanier, T.C., T.S. Lin, Y.M. Liu and D.D. Hamann. 1982. Heat gelation properties of actomyosin and surimi prepared from Atlantic croaker. *J. Food Sci.*, **47**: 1921-1925.
- Lee, C.M. 1984. Surimi process technology. *Food Technol.*, **38**(11): 69-80.
- Lynch, M.G. and D.M. Mulvihill. 1994. The influence of caseins on the rheology of carrageenan gels. *Food Hydrocolloids*, **8**: 317-329.
- Makinodan, Y., M. Yamamoto and W. Shimidu. 1963. Studies on muscle of aquatic animals. 34. Protease in fish muscle. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* **29**: 776.
- Montejano, J.G., D.D. Hamann and T.C. Lanier. 1984. Thermally induced gelation of selected comminuted muscle system-Rheological changes during processing, final strength and microstructure. *J. Food Sci.*, **49**: 1496-1505.
- Morrissey, M.T., J.W. Wu, D. Lin and H. An. 1993. Protease inhibitor effects on torsion measurements and autolysis of Pacific whiting surimi. *J. Food Sci.*, **58**: 1050-1054.
- Nishioka, F., R. Machida and Y. Simizu. 1983. Kamaboko forming ability of dolphinfish myosin. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **49**: 1233-1238.
- Niwa, E. 1975. Role of hydrogen bonding in gelation of fish flesh paste. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **41**: 907-910.
- Niwa, E., K. Sato and I. Hamada. 1982a. New gelling properties of Alaska pollack frozen mince induced by urea. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* **48**(5): 629-631.
- Niwa, E., Y. Matsubara and I. Hamada. 1982b. Hydrogen and other polar bondings in fish flesh gel and setting gel. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* **48**(5): 667-670.
- Niwa, E., Y. Matsubara, T. Nakayama and I. Hamada. 1982c. Participating of SS bonding in the appearance of setting. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* **48**(5): 727.
- 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**: 1763-1766.
- Numakura, T., N. Seki, I. Kimura, K. Toyoda, T. Fijita, K. Takama and K. Arai. 1985. Crosslinking reaction of myosin in the fish paste during setting. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* **51**(9): 1559-1565.
- Park, J.W., J. Yongsawatdigul and T.M. Lin. 1994. Rheological behavior and potential cross-linking of pacific whiting surimi gel. *J. Food Sci.*, **59**(4), 773-776.
- Samejima K., M. Ishioroshi and T. Yasui. 1981. Relative roles of the head and tail portions of the molecule in heat-induced gelation of myosin. *J. Food Sci.*, **46**: 1412-1418.
- Shiba, M. and T. Numakura. 1992. Quality of heated gel from walleye and pollack surimi by applying joule heat. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **58**(5): 903-907.
- Taguchi, T., H. Ishizaka, M. Tanaka, Nagashima and K. Amano. 1987. Protein-protein interaction of fish myosin fragments. *J. Food Sci.*, **52**(4): 1103-1104.
- Wojtewicz, M.B. and P.H. Odense. 1972. Comparative study of the muscle catheptic activity of some marine species. *J. of the Fisheries Research Board of Canada*, **29**: 85.
- Yongsawatdigul, J., J.W. Park, E. Kolbe, Y. AbuDagga and M.T. Morrissey. 1995. Ohmic heating maximizes gel functionality of Pacific whiting surimi. *J. Food Sci.*, **60**: 10-14.