

제조공정 변화에 의한 생선단백질 젤의 모델 설정 및 물성변화에 관한 연구

김병용 · 김명환*

경희대학교 식품가공학과, *단국대학교 식품공학과

Studies on the Rheological Models and Properties of Fish Protein Gel by Process Conditions

Byung-Yong Kim and Myung-Hwan Kim*

Department of Food Science and Technology, Kyung Hee University

*Department of Food Engineering, Dankook University

Abstract

Changes in texture of fish protein gel made by different processing conditions were evaluated with respect to structure failure properties and stress relaxation during storage. The addition of 3% salt and higher heating temperatures (90°C) showed the highest failure stress values among other salt concentrations and heating temperatures. Setting treatment (4°C or 40°C), and the addition of additives such as egg white and gluten increased the gel failure properties, compared to gels obtained without setting treatment and without additives. The changes in stress relaxation at the different storage temperatures were shown in the master curve obtained by using time-temperature superposition. At lower storage temperatures, the higher gel elastic modulus properties were shown and initial rheological properties were retained as increased the storage time. The results of the comparison in two rheological models indicated that the same number of rheological constants in different models were correlated each other and suggested the same rheological information of the fish protein gel.

Key words: rheological model, fish protein gel, salt concentration, heating temperature

서 론

변함없는 식품의 고품질을 강조하는 현 추세에 비추어, 계속적으로 균일한 제품을 유지하기 위해서는 식품의 제조공정 혹은 저장 중에 변하는 식품 조직 내의 물성학적 특성을 정확하게 찾아내어야 하며, 물성변화를 예측할 수 있는 수학적인 품질 예측식도 필요하게 되었다. 제조한 식품의 정확한 물성적 특성을 알기 위해서 제조 과정 중이나, 저장 중에서의 변화를 예측, 조절할 수 있으며 품질관리 뿐만 아니라 제조 공정 개선에도 기여할 수 있다.

염용성 생선단백질을 추출하여 소금과 함께 혼합하는 과정에 의해 단백질은 점성 유체상태로 전환되며, 가열에 의해 단백질의 유체상태의 단백질 sol을 고체의 탄성상태(gel)로 변환하는 3차원적인 구조를 형성

한다. 특히 염을 포함한 생선단백질은 실온 또는 4°C 정도의 저온에서 투명하고 elastic한 조직을 형성하는데 Lanier 등(1986)은 40°C 부근의 고온에서, 박과 김(1992)은 0°C 부근의 저온에서 처리한 후 90°C 이상에서 가열하는 2단 열처리법이 90°C에서 직접 가열한 것보다 더욱 강하고 탄력이 뛰어난 젤 조직을 얻을 수 있음을 보고했다. 생선단백질(Hamann과 McDonald, 1992; 박과 김, 1992)에 관한 연구 외에 유청단백질(Katsuta 등, 1990), 쌀전분(홍 등, 1992), 대두단백질(장 등, 1995) 등과 같은 젤(gel)상태의 식품은 점탄성의 성질을 가지고 있으며, 이러한 성질을 측정하는 방법으로서 응력완화를 이용하며 기존의 제시되어진 물성학적 모델을 이용하여 단백질 식품조직의 구조변화에 관한 정보를 얻을 수 있다.

따라서 본 연구에서는 여러 제조 공정들에 따라 변하는 생선단백질의 파손강도의 특성을 조사하고, 저장 동안에 변화하는 생선단백질 젤의 응력완화 변화를 여러 저장 온도에서 측정하여 시간-온도증척에 따

Corresponding author: Myung-Hwan Kim, Department of Food Engineering, Dankook University, Cheonan, Chungnam 330-714, Korea

른 master curve를 제시하고자 하였으며 대표적인 물성학적인 모델의 차이를 구분하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

신선한 명태류를 박과 김(1992)의 방법에 의해 만든 surimi를 이용했으며, 보존료로서 4% sorbitol과 4% sucrose를 첨가하여 섞은 후, -20°C에서 급 냉동, 저장 시키고 사용하였다

생선단백질 gel의 제조

냉동 저장된 생선단백질(700 g)을 4°C에서 8시간 동안 해동시킨 후 3%(w/w) 소금을 첨가하고 silent cutter에서 갈고 섞은 후에, sausage stuffer를 이용하여 스테인레스 튜브(길이: 15 cm, 지름: 1.6 cm)에 충전하였다. 충전된 튜브의 양쪽 면을 막고 소금농도(1~5%), 가열 공정(4°C에서 24시간 전처리와 40°C에서 30분 전처리), 가열온도(70~90°C) 및 3% 첨가물(egg white, wheat gluten)에 따라서 90°C의 항온조에서 15분간 가열하여 생선단백질 젤을 제조하였다.

파손강도 및 응력완화의 측정

여러 제조 공정에 따라 만든 단백질젤의 파손강도 및 응력완화는 rheometer (Sun Co., Model CR-200D)를 이용하였다. 즉, 일정한 크기로 자른 젤(길이: 2 cm, 반지름: 0.82 cm)을 10 kg load cell에 부착시키고 축 방향의 압축응력에 의해 일정한 변형도(0.9와 0.3)에서 200 mm/min의 cross-head speed로 측정하였으며 모든 측정은 일정온도로 조절된 chamber에서 측정하였다.

조직변화의 수학적 예측식 및 모델 비교

응력완화 현상을 분석하기 위해 설정한 물성학적 모델은 Fig. 1에 나타내었다.

Fig. 1. ㉔의 모형을 이용하여 구할 수 있는 물성학

적 계수(E_1, E_2, η)는 다음과 같은 유도에 의해서 구하여진다.

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2, \tag{1}$$

$$\epsilon = \epsilon_1 = \epsilon_2 \tag{2}$$

식 1에서 σ_1 과 σ_2 는 다음과 같이 구해진다.

$$\sigma_1 = E_1 \cdot \epsilon_1, \sigma_2 = \sigma - \sigma_1 = \sigma - \epsilon_1 \cdot E_1 \tag{3}$$

식 3에서부터 Maxwell model의 일반적인 식이 구하여진다.

$$\epsilon = \sigma_2/E_2 + \int (\sigma_2/\eta) dt \tag{4}$$

미분형으로 나타내면,

$$d\epsilon/dt = (1/E_2)(d\sigma_2/dt) + \sigma_2/\eta \tag{5}$$

식 3을 식 5에 넣고 정리하면 식 6이 얻어진다.

$$d\epsilon/dt = (1/E_1 + E_2)(d\sigma/dt) + (E_2/(E_1 + E_2))\{(\sigma - E_1\epsilon)/\eta\} \tag{6}$$

응력완화의 조건은 $d\epsilon/dt = 0$ 이고, $\eta/E_2 = \tau_{rel}$ 이라 놓고, boundary 조건으로서 시간 $t=0$ 에서, $\sigma = \sigma_0 = E_1\epsilon_0 + E_2\epsilon_0$ 이라고 할때

$$\sigma = \epsilon_0 (E_1 + E_2 \exp(-t/\tau_{rel}))$$

$$\text{또는, } \sigma = \sigma_\infty + (\sigma_0 - \sigma_\infty) \exp(-t/\tau_{rel}) \tag{7}$$

윗 식에서 $t=0$ 일때, $\sigma_0 = \epsilon_0 (E_1 + E_2)$, $t = \infty$ 일때, $\sigma_\infty = \epsilon_0 E_1$, $\eta/E_2 = \tau_{rel}$ 에서 각각의 물성계수(E_1, E_2, η)를 구할 수 있다.

Fig. 1 ㉔의 모형을 이용하여 구할 수 있는 물성학적 계수는(E_1, E_2, η) 다음과 같이 구하여진다.

$$\sigma = \sigma_1 = \sigma_2 \tag{8}$$

$$\sigma = \sigma_1 + \epsilon_2 \tag{9}$$

식 8의 σ_1 과 σ_2 는 다음과 같이 구하여진다.

$$\sigma_1 = E_1 \cdot \epsilon_1, \sigma_2 = E_2\epsilon_2 + \eta d\epsilon_2/dt \tag{10}$$

식 9를 미분형으로 구하면

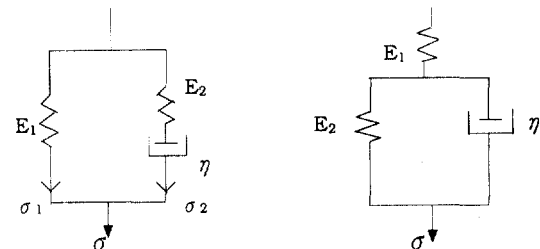
$$d\epsilon/dt = d\epsilon_1/dt + d\epsilon_2/dt$$

$$d\epsilon/dt = (1/E_1)(d\sigma/dt) + (1/\eta)(\sigma - E_2\epsilon_2) \tag{11}$$

식 10과 11에서부터 Kelvin-Voight model의 일반적인 식 12가 구하여진다.

$$(1/E_1)(d\sigma/dt) + (\sigma/\eta)(1 + E_2/E_1) = d\epsilon/dt + E^2\epsilon/\eta \tag{12}$$

응력완화의 조건은 $d\epsilon/dt=0$ 이고, $\eta/(E_1+E_2)=\tau_{rel}$ 로 놓으면



㉔ 3 element Maxwell model ㉕ 3 element Kelvin-Voigt model

Fig. 1. Generalized rheological models.

$$\sigma = \sigma_0 + (\sigma_\infty - \sigma_0) \exp(-t/\tau_{m1}) \quad (13)$$

이식에서 $t=0$ 일때, $\sigma_0 = \epsilon_0 E_1$, $t=\infty$ 일때, $\sigma_\infty = \epsilon_\infty (E_1 E_2 / (E_1 + E_2))$ 에서 각각 물성계수를 구할 수 있다.

이동인자를 이용한 Master Curve의 작성

생선 단백질 젤의 점탄성 거동의 저장 온도 의존도를 알아보기 위해 여러 저장 온도에서의 elastic modulus data로부터 시간-온도중첩이론을 통해 계산하고 분석하였다. 즉, 측정하고자 하는 단백질 식품의 저장온도(5~25°C)는 순환 항온조를 이용하여 조절하고 일정시간 평형에 도달한 후에 각 저장온도에서 elastic modulus 값을 구하였다. 여러 저장온도에서 측정된 응력완화 값을 임의의 기준 온도로 좌우수평 이동을 시킬 수 있으며, 이때 이동인자(a_T) 값을 이용하여 저장 온도변화에 대한 식품 조직의 변화를 나타내는 중첩곡선을 구하였다.

결과 및 고찰

모델 상호비교 및 설정

응력완화시험에서 얻어진 결과를 분석하기 위해 그 결과에 일치하는 물성학적모델을 설정하였다. 즉 spring(탄성성분)과 dash pot(점성성분)를 이용하여 그 조합형인 3 요소모델에 적용하였으며(식 7, 13), 탄성 성분과 점성성분의 변화를 계산하고 일정한 strain의 조건에서 조직의 응력을 나타내는 최종 식을 구하였다.

응력완화식에 의한 잔존응력은 $\sigma(t)=9994 + (22487-10000) \exp(t/1.6)$ 로 나타났으며 위의 curve로부터 각각의 모델에 따른 물성학적 상수를 구할 수 있었다.

Fig. 1의 모델 ③에 적용한 경우, 단백질 젤의 초기 점탄성 변화에 관여하는 값은 E_1 과 E_2 의 합으로서 표현되며, 응력완화시간(τ_{m1})은 점성성분(η)과 하나의 탄성성분(E_2)의 비로 정의되어지며, 초기응력에서 평형 응력으로의 완화되는 동안의 탄성 성분의 변화량의 의미는 E_2 값 하나로서 표현되어졌다. 또한, 최종 평형 응력에 따른 변하지 않은 탄성요소는 E_1 의 단독으로서 표현되었음, 이는 조직 내의 잔존하는 분자간의 결합의 양을 의미하는 상수로서 여겨진다.

Fig. 1의 ⑥에 적용한 경우 초기응력에 의한 탄성상수는 E_1 단독으로 표현되며, 응력완화시간의 경우는 E_1 과 E_2 의 합으로 나타났으며, 최종 평형응력에서 나타나는 탄성상수는 E_1 과 E_2 의 복합 값으로 나타내어졌다. 모델 ③에 적용했을 경우 E_1 은 50, E_2 는 62.4 kN, η 은 99.84 kPa.sec의 값을 보여주었고 모델 ⑥에 적용한 경우는 E_1 은 112.4, E_2 는 90.1 kN, η 은 324 kPa.sec

Table 1. Comparison of the rheological constants derived from two models for fish protein gel

model constant	Model a	Model b
E_1 constant (kN)	50	112.4
E_2 constant (kN)	62.4	90.1
η constant (kPa.sec)	99.84	324

general equation: $\sigma=9994 + (22487-10000) \exp(t/1.6)$

의 값을 보여주었다(Table 1). 이와같이 두개의 점탄성 모델로부터 구할 수 있는 물성학 구성 요소들의 갯수는 동일하나 각각의 탄성성분에 기여하는 구성요소는 달리 표현되고 변화되는 정도에 기여하는 방법도 달리 표현되었다. 그러나 모델의 형태가 달라도 구성하는 물성학적 성분의 형태와 수가 같다면 상호연관에 의해 물성학적 정보가 동일한 것으로 나타날 수 있음을 알 수 있었다. 즉, 초기 응력에 의해 변하는 탄성성분, 응력완화 curve의 정도, 최종 평형응력에서 나타나는 탄성성분의 변화는 각 탄성요소(E_1, E_2) 및 점성요소(η)의 값을 비교하여볼때 그 값들의 조합으로 나타내어지며 그 기여도는 모두 같음을 알 수 있었다.

제조공정에 따라 형성된 단백질 조직의 파손 강도의 측정

명태류에서 만든 surimi의 수분함량은 75.5%이고 단백질 함량은 16%이었다. 8%정도의 나머지 고형분은 sucrose와 sorbitol과 같은 보존료(cryoprotectants)들이며, 이 값들은 물과 단백질 함량을 일정한 비율(5:1)로 조절하는데 사용되었다.

여러 염의 농도(1~5 %)를 첨가하여 90°C에서 15분간 가열하고 제조한 단백질 젤의 파손강도의 변화는

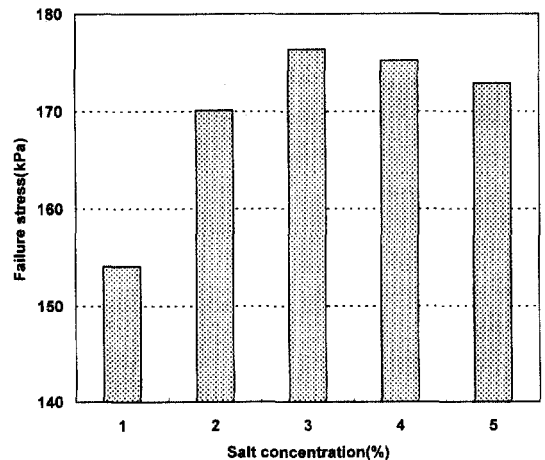


Fig. 2. Changes in failure stress of fish protein gel with different salt contents (1~5%).

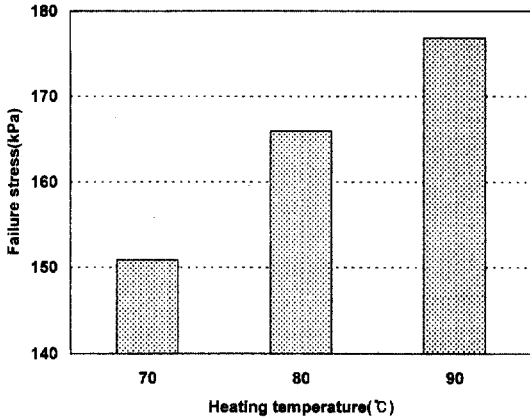


Fig. 3. Changes in failure stress of fish protein gel obtained at different heating temperatures (70~90°C).

Fig. 2에 나타내었다. 염의 농도가 1%일 경우 파손강도가 154.10 kPa, 2%일 경우 파손강도가 170.12 kPa, 3%일 경우 파손강도가 176.38 kPa, 4%일 경우 파손강도가 175.22 kPa, 5%일 경우 파손강도가 172.90 kPa을 나타내어 젤의 파손강도는 염의 농도가 3%일 때 가장 크게 나타났으며 그 외의 농도에서는 서서히 감소하는 것으로 나타났다. 일반적으로 첨가된 염은 myofibrillar 단백질의 등전점을 더욱 낮은 pH로 이동시키며 음전기를 증가시키며 그 결과, 단백질 내부 전하끼리의 반발력이 증대되고, 수화능력을 증가시켜, 단백질을 불안정한 상태로 만드는 것으로 알려져 있다(Torley 등, 1991).

3%염을 첨가하고 각 가열온도(70~90°C)에 따라 제조한 단백질 젤의 파손강도의 변화는 Fig. 3에 나타내었다. 가열온도가 70°C일 경우 150.85 kPa, 80°C일 경우 165.94°C일 90°C일 경우 176.83 kPa로 가열온도가 증가할수록 파손강도는 증가하였는데, 이는 온도를 증가시킬수록 젤 내부에 더 많은 에너지가 가해지고 조직내부의 망상구조(matrix)를 형성하는 가교결합을 증가시켜 조직의 내부응력이 증가한 것으로 보인다(Takagi, 1973).

3%염을 첨가한 생선단백질을 가열 schedule (90°C에서 15분; 40°C에서 30분 가열 후 90°C에서 15분; 4°C에서 24시간 방치 후 90°C 15분 가열)에 따른 파손강도의 변화는 Fig. 4에 나타내었다. 파손강도는 4°C로 setting시켰을 때 제일 높았으며(187.99 kPa), 40°C 전 처리 후(182.42 kPa), 다음 90°C에서 직접가열 순서로 나타났다. 90°C에서 직접 가열 제조한 젤은 수분이 갇혀있는 작은 공동(pore)을 가진 조밀한 망상구조를

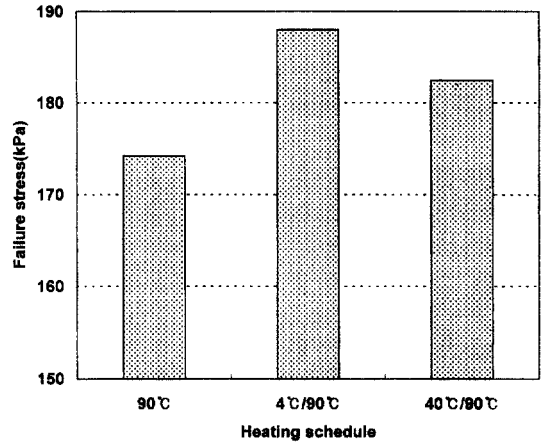


Fig. 4. Changes in failure stress of fish protein gel obtained by different heating schedules.

형성하며, 40°C에서 setting한 젤은 더욱 세밀하게 상호 연결된 단백질 망상구조를 형성하며, 증가된 단백질의 망상구조의 밀도에 의해 젤 강도와 형성 등이 증가한다고 하였다(Montejano 등, 1985). 이는 40°C와 4°C의 setting 기작이 다르지만 젤을 형성하는 구조에 있어서, 90°C에서 가열하는 경우보다 큰 집성물이 있으며, 공동(cavity)이 거의 보이지 않았으며, 이러한 집성물의 증가와 공동의 감소가 젤 강도의 증가를 일으킨다는 박과 김(1992)의 결과와 상응한다고 할 수 있다. Torley 등(1991)과 Chan 등(1992)은 이러한 4°C에서 setting한 surimi 젤이 물성적 특성에 영향을 미치는 인자로서 myosin이 중요한 역할을 한다고 하였으며, Sano 등(1989)은 myosin 또는 paramyosin이 setting중에 변성을 일으켜서 aggregation되고, 이 aggregation된 것을 90°C에서 가열하면 단성과 강도가 증가된 젤이 형성되며, 특히 paramyosin의 농도가 높을수록 더욱 영향을 준다고 보고하였다.

3%의 비근육성 단백질(난백과 gluten)을 염용성 어육단백질과 혼합한 후 가열한 단백질 젤의 파손강도 변화는 Fig. 5에 나타내었다. 첨가물을 첨가하지 않고 제조한 젤의 파손강도(176.38 kPa)에 비해, gluten 첨가 시 193.32 kPa, 난백 첨가 시 202.37 kPa을 나타내어 비근육성 단백질을 첨가 시 강도증가를 보여 주었다. 이는 비근육성 단백질을 첨가 시 단백질 젤의 망상구조를 채워 높은 고형체 농도와 자유수 함량이 낮은 젤을 형성하기 때문으로 알려져 있고 gluten보다 난백을 혼합 시 더 강한 젤을 형성하는 것은 난백에 다량 존재하는 disulfide 결합에 의한 것으로 여겨진다

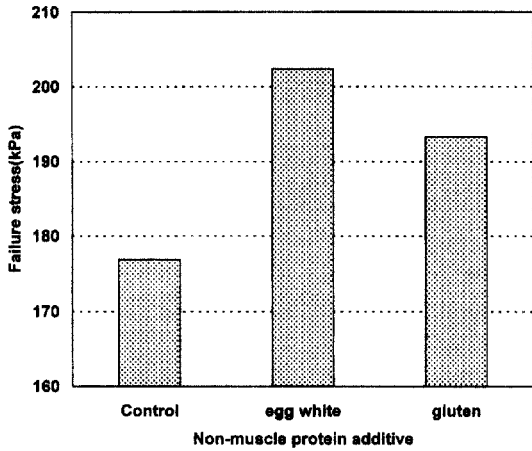


Fig. 5. Effect of non-muscle protein (3%) additives upon the gel failure stress.

(Chung and Lee, 1991).

Master curve의 작성

가공 공정 (염농도, 가열온도, 가열 공정, 첨가물)에 따라 측정된 생선단백질의 응력완화 곡선을 여러 저장온도(15~45°C)에 저장하면서 시간-온도 대응의 원리에 적용하여 구한 master curve는 Fig. 6-9에 나타내었다.

염의 농도(1~5%)에 따른 생선단백질의 elastic modulus의 master curve는 Fig. 6에 나타내었다. 염의 농도가 1%인 젤의 응력의 변화는 15°C와 40°C의 저장 온도 범위에서 가장 낮은 elastic modulus 값을 보여

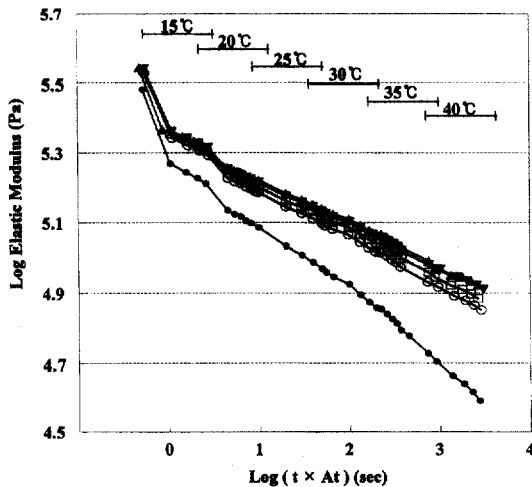


Fig. 6. Stress relaxation behavior of surimi gel with various salt concentrations superposed on the reference temperature curve (25°C). ●—●: 1%, ○—○: 2%, ▲—▲: 3%, ▼—▼: 4%, □—□: 5%

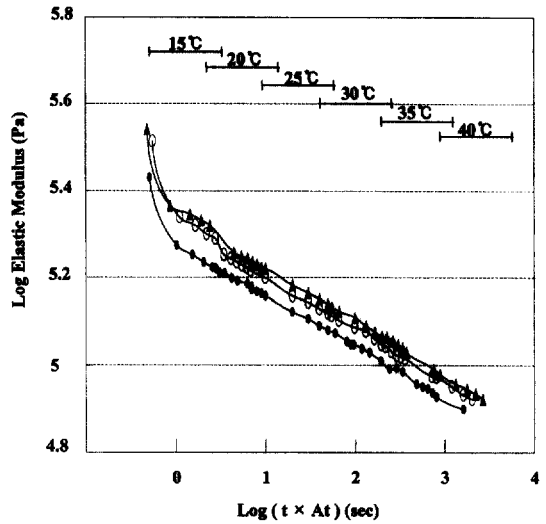


Fig. 7. Stress relaxation behavior of surimi gel with various salt heating temperature superposed on the reference temperature curve (25°C). ●—●: 70°C, ○—○: 80°C, ▲—▲: 90°C

주었고 3~4%의 염 첨가 시 높은 값을 보여주었다. 또한 저장온도가 15°C에서 40°C로 높아질수록 elastic modulus 값은 점차 감소하였다.

가열 온도에 따라 생성된 생선단백질 젤의 경우(Fig. 7) 가열 온도 70°C에서 얻어진 젤의 elastic modulus 변화는 가열온도가 80°C, 혹은 90°C에서 얻어진 젤보다 전 저장온도에서 낮게 나타나, 가열온도가 증가할수록 또한, 저장온도가 낮을수록 응력이 강하게 나타남

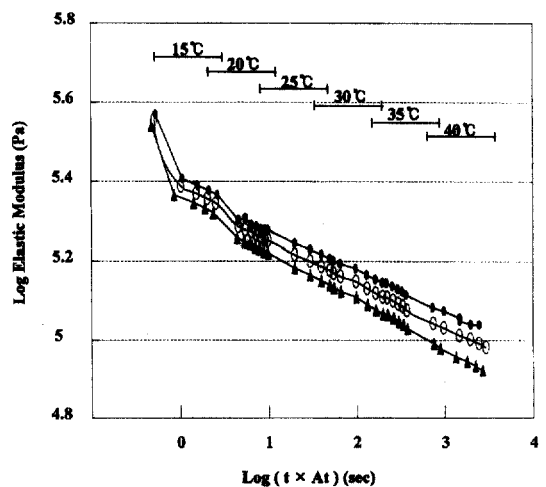


Fig. 8. Stress relaxation behavior of surimi gel with various salt heating schedules on the reference temperature curve (25°C). ●—●: 4/90°C, ○—○: 40/90°C, ▲—▲: Control

을 보였다.

가열 공정에 따라 생성된 생선단백질 젤의 경우(Fig. 8) 4°C에서 setting시킨 젤의 elastic modulus의 변화는 40°C에서 setting시킨 젤보다 전 저장온도에서 크게 나타났고, 40°C에서 setting 처리한 젤의 경우는 setting 처리않은 젤보다 더 높은 값을 보여주어 파손강도에서 나타난 순서와 같음을 보여주었다. 이와같이 제조한 단백질 젤의 특성은 저장온도나 저장기간에 따라 처음 나타난 특성이 감소하는 경향을 보이니 그 특성의 차이는 처음 차이의 순서대로 나타났다. Howe 등(1994)은 50°C에서 측정된 생선 젤은 brittle한 특징을 보여주었으며, 그러한 저장온도에 따른 변화는 species에 따라 영향을 받는 것으로 나타났다(Park, 1995).

3%의 첨가제(난백, wheat gluten)를 첨가한 생선단백질 젤의 경우(Fig. 9) 난백이나 gluten을 첨가시킨 젤의 elastic modulus 값은 control에 비해 더 높은 값을 보여주었고 저장온도와 저장시간동안에도 더 높은 값들을 유지하였다. Pappas 등(1989)은 cow pea를 이용하여 수분함량과 온도 효과에 따른 응력완화 현상을 측정한 후 역시 시간-온도 중첩이론에 적용하여 온도와 수분 함량에 따른 master curve를 작성하였는데, 저장온도가 낮을수록, cow pea의 수분함량이 적을수록 초기 응력이 큰 것으로 나타났다. 또한, 홍 등(1992)은 master curve를 이용하여 쌀 전분 젤의 점탄성 거동 및 온도의존성을 설명하였는데, 전분젤이 공유결합이 아닌 응력에 의해 쉽게 파괴되는 수소결합으로 이루어진

3차원적 망상 구조체이기 때문에 compliance modulus는 시간에 따라 계속 증가하는 경향을 나타낸다고 하였고, Katsuta 등(1990)도 유청단백질 젤의 온도 의존성을 master curve를 이용하여 설명하였는데, 단백질의 농도와 관계가 있다고 제시하였다. 열처리한 surimi의 물성학적 특성을 온도 의존성에 의해 측정하고, rubber elasticity이론에 의해 분석한 Iso 등(1984)은 elastic modulus는 측정온도가 증가할수록 감소함을 나타내었는데, 본 연구에서 작성한 master curve 역시 이와같은 경향을 보여줌을 확인하였다. 또한, skim milk 젤의 경우(Zoon 등, 1990)와 밀전분의 경우(Colwell 등, 1969)에도, 저장온도가 낮을수록 더욱 견고한 젤을 형성함을 보여주었다.

요 약

여러 제조 공정에 따라 측정된 생선 단백질 젤의 파손강도를 비교하였으며 여러 저장온도에서의 생선단백질 젤의 응력완화 현상을 측정하여 시간-온도의 중첩이론에 따른 master curve를 제시하였다. 또한 물성학적 모델의 비교를 하여 점탄성 값들에 대한 수량화를 이루고자 하였다.

가공 공정에 따른 생선 단백질 조직의 변화는 첨가한 염의 함량이 3%일때, 높은 가열온도(90°C)에서, 4°C나 40°C로 setting 처리한 가열 방법을 이용해서 또한 난백이나 gluten과 같은 비근육성 단백질을 첨가시 가장 높은 파손 강도값을 보여주었다. 가공공정에 따라 제조한 젤을 여러 저장온도에 저장시의 응력완화 현상을 측정하고 제시한 master curve의 결과, 저장온도가 낮을수록 elastic modulus 값의 변화가 적었으며, 처음 나타난 물성학적인 특징은 저장시간에 따라 바뀌지 않았음을 나타내었다. 두 가지의 3요소 물성학적인 모델을 비교 분석한 결과 물성학적 성분의 수가 같다면 모형의 형태와 무관하게 물성학적 상수가 상호간에 일정한 연관을 가지며 동일한 물성학적 정보를 제공함을 알 수 있었다.

감사의 글

이 연구는 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었으며 이에 감사를 드립니다.

문 헌

장원영, 김병용, 김명환. 1995. 저장중의 두부에 WLF 식을

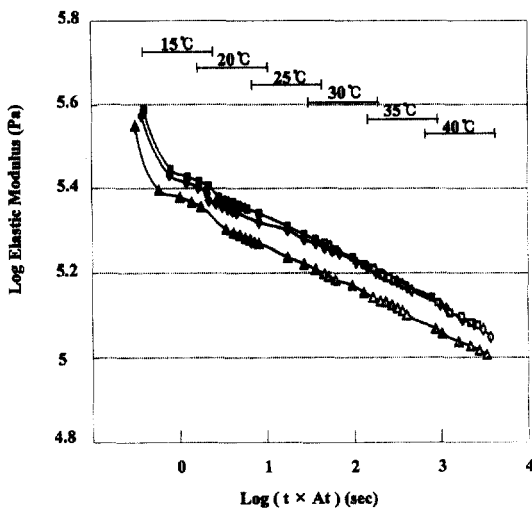


Fig. 9. Stress relaxation behavior of surimi gel with non-fish proteins superposed on the reference temperature curve (25°C). ■—■: Egg White, ◆—◆: Wheat Gluten, ▲—▲: Control

- 이용한 물성변화에측에 관하여. 한국식품과학회지, **27**: 193
- 박성진, 김병용. 1992. 생선단백질의 열안정성과 조직형성 속도에 공정조건이 미치는 영향. 한국식품과학회지, **24**: 463
- 홍석인, 김영숙, 최동원, 변유량. 1992. 쌀전분 겔의 creep 특성. 한국식품과학회지, **24**: 165
- Chan, J.K., T.A. Gill and A.T. Paulson. 1992. Cross-linking of myosin heavy chains from cod, herring, and silver hake during thermal setting. *J. Food Sci.*, **57**: 906
- Chung, K.H. and C.M. Lee. 1991. Water binding and ingredient dispersion pattern effects on surimi gel texture. *J. Food Sci.*, **56**: 1263
- Colwell, K.J., D.W.E. Axford, N. Chamerlain, and G.A.H. Elton. 1969. Effect of storage temperature on the aging of concentrated wheat starch gels. *J. Sci. Food Agric.*, **20**: 550
- Hamann, D.D. and G.A. McDonald. 1992. Rheology and texture properties of surimi and surimi-based foods, In "Surimi Technology" ed. Lanier, T.C. and Lee, C.M., Marcel Dekker, Inc., 429
- Howe, J.R., D.D. Hamann, T.C. Lanier, and J.W. Park. 1994. Fracture of Alaska pollack gels in water: effects of minced muscle processing and test temperature. *J. Food Sci.*, **55**: 516
- Iso, N., H. Mizuno, and T. Saiyo. 1984. The change of the rheological properties of surimi by heating. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **50**: 1045
- Katsuta, K., D.J. Rector, and J.E. Kinsella. 1990. Viscoelastic properties of whey protein gels. *J. Food Sci.*, **55**: 516
- Lanier, T.C. 1986. Functional properties of surimi. *Food Technol.*, March: 107
- Montejano, J.G., D.D. Hamann, and T.C. Lanier. 1985. Comparison of two instrumental methods with sensory texture of protein gels. *J. Texture Studies.*, **16**: 403
- Pappas, G. and V.N.M. Rao. 1989. Effect of temperature and moisture content on the viscoelastic behavior of cow peas. *J. Texture Studies.* **20**: 393
- Park, J.W. 1995. Effects of salt, surimi, and/or starch content on fracture properties of gels at various test temperatures. *J. Aqu. Food Product Tech.*, **4**: 75
- Sano, T., S.F. Noguchi, T. Tshuchiya, and J.J. Matsumoto. 1989. Effect of two-step heating on gel properties of a paramyosin-myosin system. *J. Food Sci.*, **54**: 481
- Takagi, I. 1973. On rheological properties and structure of Kamaboko. IX. Influence of modori of fish muscle paste upon viscoelastic properties and structure of kamaboko. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **39**: 563
- Torley, P.J., J. Ingram, O.A. Young, and V.B. Meyer-Rochow. 1991. Salt-induced, low-temperature setting of Antarctic fish muscle proteins. *J. Food Sci.*, **56**: 251
- Zoon, P., S.P.F.M. Koefs, B. De Cindio, and T. Van Vliet. 1990. Rheological properties of skim milk gels at various temperatures. *Rheological Acta.*, **29**: 223