

## 고압처리 공정변수가 조피볼락의 초기 품질특성에 미치는 영향

김민지 · 이수정\* · †김종태\*\*

한국농식품직업전문학교 농식품스쿨, \*부천대학교 식품영양과,  
\*\*한국식품연구원 바이오공정연구단

### Process Parameters on Quality Characteristics of Jacopever (*Sebastes schlegeli* Hilgendorf) under Treatment of Hydrostatic Pressure

Min-Ji Kim, Soo-Jeong Lee\* and †Chong-Tai Kim\*\*

Korea Vocational College of Food and Agriculture, Agriculture & Food, Seoul 06734, Korea

\*Dept. of Food & Nutrition, Bucheon University, Bucheon 14632, Korea

\*\*Research Group of Bioprocess Engineering, Korea Food Research Institute, Seongnam 13539, Korea

#### Abstract

The present study investigated the effects of processing parameters such as time (10, 20, 30, 40 min), pressure (25, 50, 75, 100 MPa), and the salinity of brine (0~10%(w/v)) on jacopever (*Sebastes schlegeli* Hilgendorf) in order to establish optimization of the three factors using a high hydrostatic pressure (HHP) machine. To do so, it analyzed the quality characteristics of volatile basic nitrogen (VBN), trimethylamine (TMA), total bacterial counts, dynamic viscoelasticities, and differential scanning calorimetry (DSC) properties. First, when the time increased to 40 mins, by 10 min intervals, the total bacterial counts in HHP groups under 25°C, 100 MPa, and 4%(w/v) brine were significantly decreased except for the first 10 min in comparison to the control group. In regards to DSC properties, the onset temperature ( $T_o$ ) of the first endothermic curve was significantly reduced. Second, when the pressure level increased up to 100 MPa by 25 MPa increments, the total bacterial counts in the HHP samples significantly decreased for 20 min at 50 MPa or higher. As the pressure increased,  $G'$ ,  $G''$  and the slope of  $\tan \delta$  decreased (except for 50 MPa). Third, in regards to the salinities of brine, when the HHP processing was treated at 100 MPa, 25°C for 20 min, the total bacterial counts of all the HHP groups significantly decreased in comparison to those of the control group. A significant difference was found in the enthalpy of the second endothermic curve in the 6~10%(w/v) (except 7%(w/v)) HHP groups. Therefore, the salinity of the immersion water under the HHP condition was appropriate when it was lower than 6%(w/v). The present study demonstrated that the optimum parameter condition according to/under the condition of the microbial inhibition and economic effects using an HHP would be the reaction time for 20 min, reaction pressure at 100 MPa, and the salinity of 4%(w/v) brine.

Key words: high hydrostatic pressure, quality characteristics, jacopever

#### 서론

소비자 의식구조와 생활수준의 향상으로 인하여 현재 식품 산업분야에서는 신선식품 및 천연지향 식품에 대한 수요가 크게 증가하고 있다. 또한 수산식품이 양질의 웰빙식품으

로 인식되기 시작하면서 우리나라 1인당 연간 수산물 소비량은 2001년 42.2 kg에서 2012년 현재 54.9 kg으로 지속적으로 증가하는 추세로서 앞으로도 수산물 소비는 계속 늘어날 것으로 전망되며(Korean National Statistical Office 2014), 이러한 추세에 따라 비교적 고급 외식 메뉴로 인식되어 왔던 신선

† Corresponding author: Chong-Tai Kim, Research Group of Bioprocess Engineering, Korea Food Research Institute, Seongnam 13539, Korea. Tel: +82-31-780-9138, Fax: +82-31-780-9257, E-mail: ctkim@kfri.re.kr

수산물과 생선회의 소비도 점차 증가하고 있다.

그러나 수산 어류 제품은 그 특성상 생산시기와 지역이 한정되어 있고, 공급량과 수요량이 유동적이어서 가격이 불안정하고, 부패가 빠르게 진행될 수 있기 때문에 산지에서의 포획 후 최종 소비지에 이르는 동안 수송과 유통 과정에서의 선도 유지, 위생과 안정성 확보 등이 매우 중요한 것으로 알려져 있다(Park & Choi 1997).

우리나라의 식문화는 활어회를 선호하는 문화였으나, 생선회 수요가 대규모로 증가한 오늘날에는 공급에 한계가 있고(Park 등 2009), 최근에는 대형 할인 매장의 증가, 저가형 생선회 전문점, 인터넷 판매 등 다양한 수요에 따라 품질과 위생이 확보된 제품의 안정적 공급이 매우 중요한 문제로 대두되면서(Oh 등 2007) 많은 대형업체에서는 횡감을 즉석 활어회에서 가공 포장된 선어회로 전환하고 있는 경향이다(Park 등 2004).

어류의 신선도 연장을 위한 연구로는 얼음물 전처리 방법이 납치육의 품질특성에 미치는 영향(Shin 등 2013), 생선회의 육질 향상에 관한 연구(Shim 등 2003), 온도를 달리하여 저장한 싱싱회 저장기간 연장에 관한 연구(Park 등 2009), 세척방법을 달리 한 생선회의 품질 특성(Oh 등 2007) 등이 있으나, 간편하고 위생적인 처리로 수산물의 유통기간을 연장하고, 품질특성을 효율적으로 보존하기 위한 새로운 가공법의 연구가 절실한 실정이다.

현재 고압처리기술은 압력 매체로 물이나 오일을 이용해 압력을 순간적으로 균일하게 전달시키는 방법으로, 식품산업에 적용하면 가열에 의한 품질특성의 변질과 영양성분의 파괴 없이도 식품의 살균은 물론, 비열처리에 의한 제품의 영양 성분 보존, 관능적 기호특성 유지, 특정 성분의 추출, 식품 보존 등의 다양한 장점을 적용할 수 있기 때문에(Oh 등 1998; Park & Lee 2008), 식품산업에서 식품의 신선도를 연장하여 품질을 유지할 수 있도록 하는 비열처리 보존 방법으로서의 활용을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 많은 장점에도 불구하고, 고가의 설치 비용과 제한적 처리 용량 등의 문제점 때문에 최근에는 유럽, 미국, 일본 및 중국에서는 보다 효율적인 범용형 압력시스템 등을 개발하며, 0.1~100 MPa 범위의 비가열 처리 방식에 의한 식품산업에의 응용이 연구되기 시작하였다(Koo 등 2007; Han & Lee 2011; Kim 등 2014a).

따라서 본 연구에서는 다양한 어류를 사용한 고품질의 선어제품 개발에 고압처리기술을 적용하여 신선 품질 유지와 연장은 물론 유통과 수송의 위생성, 간편성, 안정성 확보 등을 목적으로 압력처리가공의 장점과 상업적 경제성을 동시에 만족시킬 수 있는 100 MPa 범위(Han & Jeong 2005; Han & Lee 2011)에서 고압처리 중 반응시간, 반응압력, 침지수의 염도 등의 공정변수에 따른 조피볼락의 초기 품질특성을 분석함으로써 선어의 고압처리 최적화 제조 조건을 확립하고,

고품질 수산가공식품 개발을 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험 재료 및 처리 방법

실험에 사용한 조피볼락과 죽염(경방원, 대한민국)은 전보(Kim 등 2014a)와 같은 방법으로 2011년 5월 여수 선해수산에서 공급 즉시 전처리하였다. 전처리를 끝낸 시료는 즉시 고압처리 중 반응시간, 반응압력, 침지수의 염농도 등 세 가지 공정변수를 달리하여 고압액화처리장치(TFS-2L, Innoway Co., Korea)에서 반응하여 고압 처리구를 제조하였다. 또한 실험에 사용한 고압 액화장치는 예비실험에서의 모니터링 단계를 통하여 반응 시간, 압력, 온도가 안정한 상태로 반응이 진행되는 것을 확인한 후 실험을 실시하였다(data not shown). 시료 분석에 사용한 침지수는 증류수를 사용하였고, 시약은 Junsei (Tokyo, Japan)사와 Sigma사(St Louis, Mo, USA)의 특급 시약을 사용하였다.

### 2. 시료 제조

시료는 전보(Kim 등 2014a)의 방법을 변형하여 제조하였다. 세척을 끝낸 원료는 각각 침지액 1.5 L가 담긴 Ny/PE 필름에 침지하고 밀봉한 후, 반응변수를 달리하여 고압처리를 실행하였다. 고압처리를 끝낸 시료는 침지수를 제거하고, 진공도 30 cmHg, 접촉시간 1.5초, 냉각시간 1.5초의 조건으로 18×28 cm Ny/PE 필름에 개별 진공포장(대해포장, 한국)하였다(Fig. 1). 상압 대조구는 세척 후 전처리를 끝낸 원료를 개별 진공

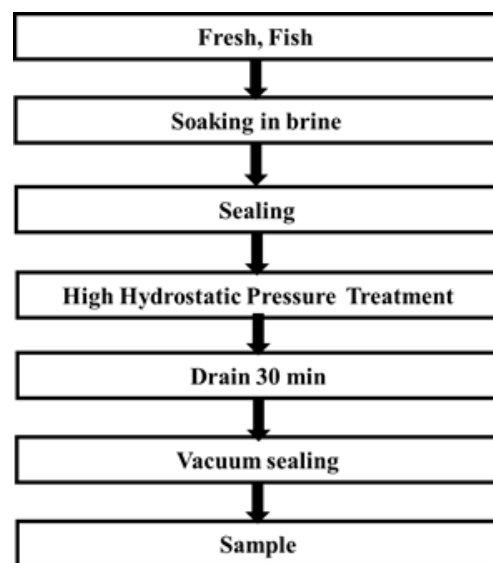


Fig. 1. Preparation of jacopever processed with HHP treatment at 25°C.

포장하여 사용하였다. 반응시간별 고압 처리구 제조는 시간을 10분, 20분, 30분, 40분 범위로 설정하였고, 나머지 공정변수는 25°C, 100 MPa, 침지수의 염농도 4%(w/v)로 고정하였다. 반응 압력별 고압 처리구는 압력을 25, 50, 75, 100 MPa로 하였고, 나머지 공정변수는 25°C, 20분, 침지수의 염농도 4%(w/v)로 고정하였다. 침지수의 염농도에 따른 고압 처리구 제조는 죽염을 0~10%(w/v) 범위로 제조하여 Fig. 1의 순서로 고압처리 하였으며, 다른 공정변수는 20분, 100 MPa, 25°C로 정하였다.

### 3. 외관과 일반성분

원료는 120마리의 개체 중 무작위로 10회 이상 반복하여 무게와 크기를 측정하였다. 일반성분은 A.O.A.C 방법(AOAC 1999)에 의하여 수분 함량은 105°C 상압가열건조법, 조회분 함량은 550°C 직접회화법, 조단백질 함량은 마이크로켈달법, 조지방 함량은 속슬렛추출법에 의하여 구하였다.

### 4. 염도

시료의 염도는 Mohr법에 의하여 정량하였다(Lee 등 2014). 시료 10 g에 증류수 약 70 mL를 가하여 균질기(Ultra-Turrax T25, JANKE & KUNKRL GMBH & Co. KG, USA)로 13,500 rpm으로 2분간 균질화한 후, 여과하여 100 mL 정용플라스크에 정용한 여과액 20 mL를 취하여 2%(w/v) K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> 1 mL를 첨가하고, 0.02 N AgNO<sub>3</sub>로 적정하여 정량하였다.

### 5. 휘발성 염기 질소(VBN)와 트리메틸아민(TMA) 함량

VBN과 TMA는 전보(Kim 등 2014a)와 같이 Conway 미량 확산법을 변형하여 정량하였다.

### 6. 총균수

전보(Kim 등 2014a)와 같은 방법으로 37°C에서 24~48시간 배양한 후 colony 수를 측정하여 시료 g 당 log colony forming unit(CFU/g)으로 표시하였다.

### 7. 동적점탄성 특성

조피볼락 근육의 동적점탄성 특성은 Chen 등(2011)의 방법을 변형하여 전보(Kim 등 2014a)와 같이 저장탄성률(storage modulus, G'), 손실탄성률(loss modulus, G''), 손실각(loss angle, tan δ)을 구하였다.

### 8. 근육단백질의 DSC 열전이 특성

조피볼락 근육의 열전이 특성 변화는 Herrera 등(2001)의 방법을 변형하여 열시차주사분석 장치(DSC-7, Perkin Elmer, Norwalk, CT, USA)에서 측정하였다. 시료를 습부량으로 약 60 mg 취하여 열시차주사분석용 알루미늄제 팬에 충전하고,

열시차주사분석 장치에서 가열온도구간 10~100°C, 가열속도 10°C/min의 조건으로 측정하여 나타난 흡열 곡선으로부터 개시온도( $T_o$ : onset temperature), 최대온도( $T_{max}$ : maximum peak temperature), 종결온도( $T_c$ : conclusion temperature)와 흡열곡선 엔탈피( $\Delta H$ : overall gelatinization enthalpy, crystal melting enthalpy) 등의 열특성 자료를 얻었다. 이 때 reference는 empty cell을, calibration material은 indium을 사용하였다. 엔탈피는 시료 고형분당 joule로써 나타내었다.

### 9. 통계처리

실험결과와 통계처리는 SAS program(Ver. 9.4, Cary NC, USA)을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 하였으며, 각 처리구 간 유의성은 Duncan's multiple range test를 이용하여 유의성을 검증하였다. 유의수준은  $p < 0.05$  수준에서 분석되었다.

## 결과 및 고찰

### 1. 외관과 일반성분

원료의 평균 무게는 250.18±24.12 g, 평균 크기는 (L) 220.25±18.55 mm, (H) 75.25±4.11 mm, (D) 41.25±5.44 mm 범위로 측정되었다. 일반성분은 수분 함량 78.70±0.81%, 조회분 함량은 4.54±0.01%, 조지방 함량은 15.68±0.62%, 조단백질 함량은 82.52±1.37%였다.

### 2. 침지수의 염도에 따른 고압 처리시료의 염도

침지수의 염농도를 0~10%(w/v) 범위에서 1%씩 증가시키

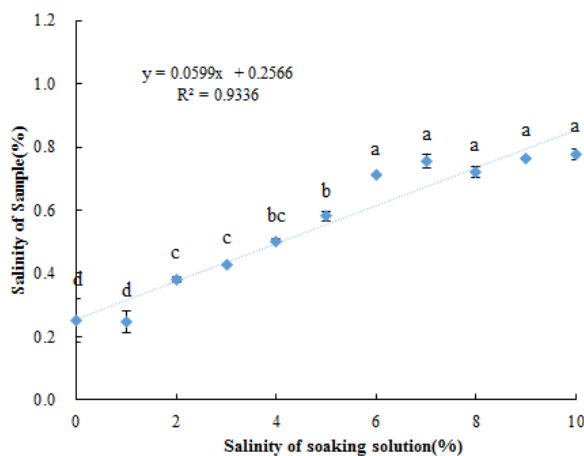


Fig. 2. Salinity of jacobever muscle after HHP treatment under 100 MPa, 25°C for 20 min depending on various salinity of brine. Data with different small letters (<sup>a-d</sup>) are significantly different at  $p < 0.05$  by Duncan's multiple range test.

면서 20분, 100 MPa, 25°C로 고압처리한 조피볼락 시료의 염도는 Fig. 2에 나타내었다. 침지수의 염도와 고압처리 시료의 염도 사이에는 유의적으로 높은 정의 상관관계( $R^2=0.9336$ )가 있었다. 그러나 침지수의 염도가 6~10%(w/v) 사이에서는 시료의 염도가 0.71~0.78%(w/v)로 유의적 차이가 없었으며, 침지수의 염농도는 6%(w/v)를 넘지 않는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

한편, Kim 등(2012)은 상압조건에서 20%, 30%, 40%의 염지액에 2시간 침지시킨 각각의 달걀 내 염분 함량이 0.51, 0.57 및 0.60%라 하였고, Oh 등(1997)은 상압조건에서 염지액을 10%, 15%, 20%, 포화식염수로 하여 72시간까지 침지시킨 멸치육의 경우 침지 6시간까지 멸치육의 염도는 침지액의 염농도와 비례하여 증가하는 것을 보고하였다.

### 3. 휘발성 염기 질소(VBN)와 트리메틸아민(TMA) 함량

반응시간 10, 20, 30, 40분, 반응압력 25, 50, 75, 100 MPa 그리고 침지수의 염도를 0~10%(w/v)로 달리하여 고압 처리한 조피볼락 시료의 VBN와 TMA 함량은 Table 1과 같다. 반응시간, 반응압력, 침지수의 염도와 그 범위를 각각 달리하여 제조한 고압처리 시료의 VBN와 TMA 함량은 상압 대조구와 비교하여 각 공정변수의 처리범위가 커질수록 VBN 함량이 증가하는 경향이었으나 유의적인 차이는 없었고, TMA 함량은 일정한 경향을 나타내지 않았다. 이러한 결과는 수송 중 온도를 0~1°C 범위로 유지하였고, 포획 후 24시간 이내에 25°C에서 고압처리를 완료하여 고압반응공정변수의 영향과 무관하게 원료와 고압처리시료의 VBN과 TMA 값이 대부분 10 mg% 이내의 매우 신선한 상태를 유지하는 것으로 판단되었다.

### 4. 총균수

일정 조건(100 MPa, 25°C, 4%(w/v))에서 반응시간을 달리하여 고압처리한 조피볼락 시료의 총균수는 Fig. 3(a)와 같다. 반응시간이 길어짐에 따라 3.12 log CFU/g의 상압 대조구와 비교하여 모든 반응시간별 고압 처리구의 총균수는 감소하는 경향이였다. 10분 고압 처리구의 총균수는 3.09 log CFU/g으로 유의적 차이가 없었으나, 20~40분 고압 처리구는 각각 2.48 log CFU/g, 2.61 log CFU/g, 2.28 log CFU/g으로 총균수가 유의적으로 감소하였다. 또한 20분, 30분, 40분 고압 처리구 사이의 총균수는 유의적으로 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러므로 25°C, 100 MPa, 침지수의 염도 4%(w/v) 조건 하에서 고압 처리 최적 반응시간은 20분으로 판단되었다.

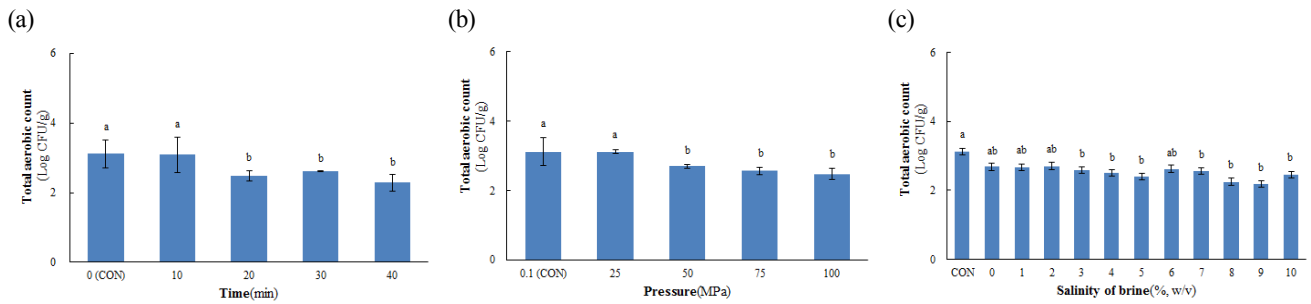
Fig. 3(b)는 일정 조건(20분, 25°C, 4%(w/v))에서 반응압력을 달리하여 고압 처리한 조피볼락 시료의 총균수를 나타낸 그래프이다. Abe F(2007)의 연구에 의하면 중고압성 미생물

**Table 1. VBN and TMA contents of HHP-treated jacoever depending on reaction time, pressure level, and salinity of brine**

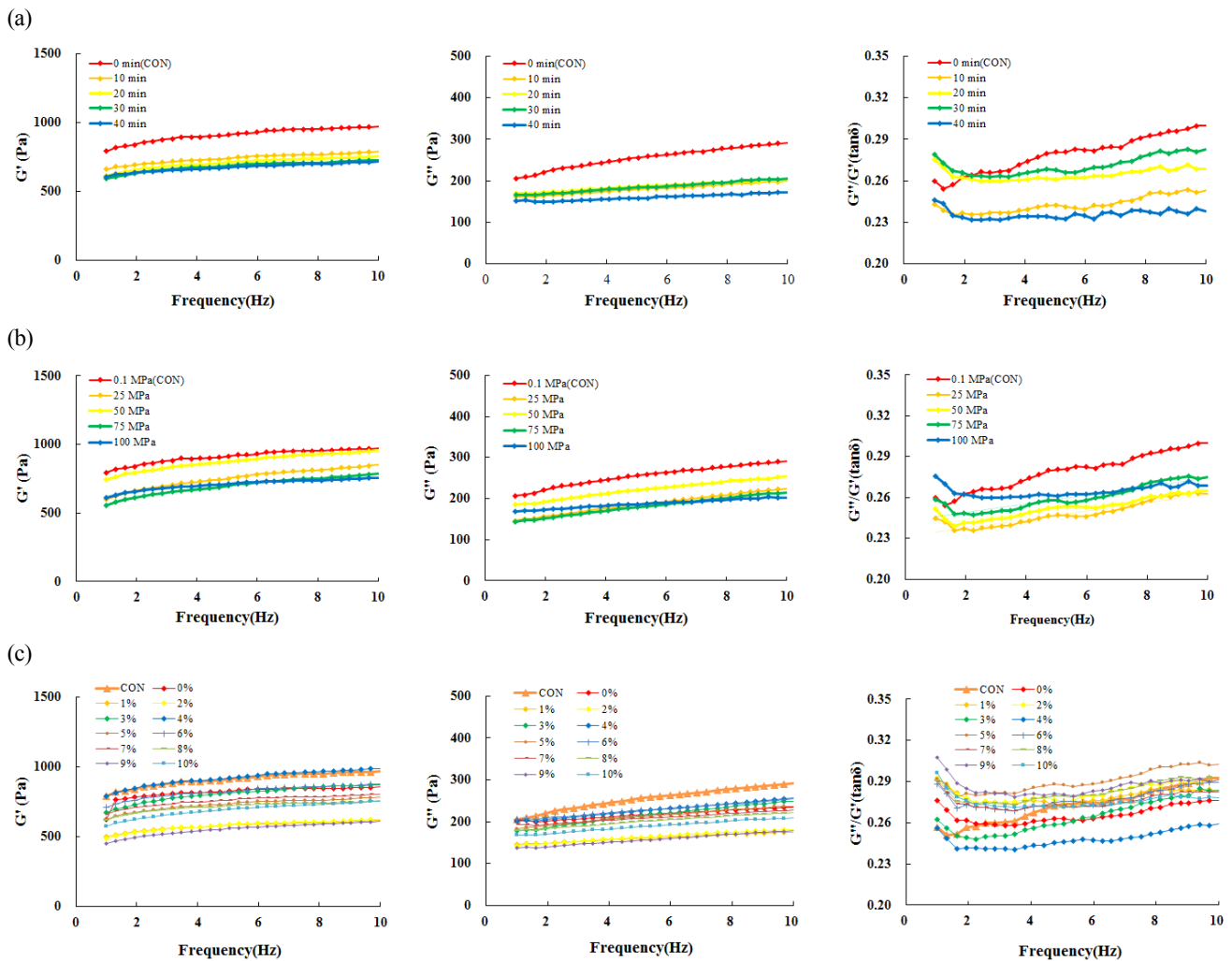
Parameters	Range	VBN(mg%)	TMA(mg%)
CON (Fresh, No treatment)			
	10	10.72±5.06	0.00±0.00
	20	9.33±2.76	7.36±4.92
Time (min), 100 MPa, 25°C	30	8.76±3.44	3.98±1.15
	40	9.51±2.28	3.57±0.54
	<i>F</i> -value	2.900	4.000
	<i>Pr</i> > <i>F</i>	0.0852	0.0390
	25	11.14±6.75	0.00±0.00
	50	9.59±4.51	0.00±0.00
Pressure (MPa), 20 min, 25°C	75	9.60±0.04	1.60±2.26
	100	9.33±2.76	7.36±4.92
	<i>F</i> -value	2.560	4.220
	<i>Pr</i> > <i>F</i>	0.1112	0.0340
	0	11.97±1.09	0.00±0.00
Salinity of brine (%w/v) 20 min, 100 MPa, 25°C	1	12.69±3.36	3.17±0.00
	2	10.41±1.13	7.21±5.66
	3	11.94±5.60	1.60±2.26
	4	9.33±2.76	7.36±4.92
	5	14.76±1.63	11.57±2.77
	6	14.77±5.13	4.22±1.47
	7	16.87±5.88	0.00±0.00
	8	18.26±5.68	3.18±2.26
	9	17.16±5.04	7.98±2.23
	10	19.16±4.51	10.78±5.08
	<i>F</i> -value	1.070	4.080
<i>Pr</i> > <i>F</i>	0.4390	0.0056	

의 경우, 세포 성장과 운동성은 10~20 MPa부터 영향을 받기 시작하고, 약 50 MPa 이상부터 절대적으로 저해를 받으며, 200 MPa 이상의 압력에서는 대부분의 미생물 사멸이 가능하다고 하였고, 압력이 증가할수록 미생물 제어에 효과적이라는 많은 연구 결과가 보고되어 있다(San Martin 등 2002; Wuytack 등 2002; Ginson 등 2013; Yi 등 2014). 본 실험 결과, 상압 대조구와 비교하여 25 MPa 고압 처리구의 총균수는 3.12 log CFU/g으로 유의적 차이가 없었지만, 50 MPa, 75 MPa, 100 MPa 고압 처리구는 각각 2.70 log CFU/g, 2.57 log CFU/g, 2.48 log CFU/g으로 총균수가 유의적으로 감소하였다. 또한 50 MPa 이상의 세 고압 처리구 사이에서 압력 정도에 따른 총균수의 유의적 차이는 나타나지 않았다.

침지수의 염도를 0~10%(w/v) 범위에서 침지 후 일정 조건



**Fig. 3.** Total bacterial counts of HHP-treated jacopever depending on reaction time, pressure level, and salinity of brine. Data with different small letters (<sup>a-b</sup>) are significantly different at  $p < 0.05$  by Duncan's multiple range test.



**Fig. 4.** Dynamic viscoelasticities of HHP-treated jacopever depending on reaction time, pressure level, and salinity of brine.

(20분, 100 MPa, 25°C)에서 고압처리한 조피볼락 시료의 총균수는 Fig. 3(c)와 같다. 침지수의 염도를 달리 한 모든 고압처리구의 총균수가 상압 대조구와 비교하여 유의적으로 감소하여 20분, 100 MPa, 25°C 조건에서 고압 처리에 의한 미생

물 감소 효과를 확인할 수 있었다( $p < 0.05$ ). 또한 동일한 고압처리 조건에서 침지수의 염농도에 따른 총균수 변화를 살펴보면 총균수가 3%(w/v) 이상의 고압 처리구는 2.19~2.58 log CFU/g 범위로서 2.68 log CFU/g인 0%(w/v) 고압 대조구와 비

교하여 유의적으로 감소하는 경향이었다(6%(w/v) 고압 처리구 제외). 그러나 6%(w/v) 고압 처리구를 제외한 3~10%(w/v) 고압 처리구 사이의 총균수는 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 위에서 조피볼락 시료의 염도 측정 결과, 침지수의 염도가 5%(w/v)까지는 고압처리 시료의 염도도 증가하였으나, 6%(w/v) 이상에서는 일정하게 유지되는 것과 유사한 결과로써, 침지수의 염농도 3~4%(w/v)부터는 총균수 제어에 효과적인 것으로 판단되었다. 이상의 결과로 미루어 볼 때 반응온도 25°C에서 총균수 제어와 경제성을 고려한 효과적인 최적 고압반응 변수 조건은 반응시간 20분, 반응압력 100 MPa, 침지수의 염농도 4%(w/v)로 판단되었다.

### 5. 동적점탄성 특성

일정 조건(100 MPa, 25°C, 4%(w/v))에서 반응시간을 달리 하여 고압처리한 조피볼락 시료의 1~10 Hz까지 진동수 변화에 따른 저장탄성률( $G'$ ), 손실탄성률( $G''$ ),  $\tan \delta$  변화는 Fig. 4(a)와 같다.

상압 대조구의 경우, 진동수가 1 Hz에서 10 Hz로 변화함에 따라  $G'$ 과  $G''$  값이 증가하는 경향이었고,  $G'$  값은 793~971 Pa,  $G''$  값은 206~291 Pa이었다.  $\tan \delta$ 는 0.260~0.300 범위에서 측정되었는데, 1.31~10 Hz까지 진동수가 커지면서  $\tan \delta$  값도 증가하여 진동수 의존성 시료로 판단되었다.

각각 10, 20, 30, 40분 반응시켜 제조한 모든 고압 처리구의  $G'$  값은 592~790 Pa과  $G''$  값은 149~206 Pa 범위로 상압 대조구의  $G'$ ,  $G''$ 와 비교하여 낮았고, 진동수 변화에 덜 의존적이었다.  $\tan \delta$  값은 0.231~0.273 범위에서 측정되었고, 상압 대조구와 비교하여 낮은  $\tan \delta$  값을 나타내었다. Hamann DD(1991)에 의하면 졸-겔 전이 상태일 때 탄젠트 값은 감소하는 것으로 알려져 있는데, 본 실험 결과, 상압 대조구와 비교하여 고압처리 후에는 졸 특성이 겔 특성으로 전이되는 것으로 판단되었다. 또한 Almdal 등(1992)은 전형적인 겔은 진동수 변화분석에서 고정값의  $G'$ 을 나타내지만, 전형적인 졸의  $G'$ 은 진동수 의존성을 가지며, Fukushima 등(2007)은 세 종류의 생선포를 37°C에서 1시간 처리하였더니 0.1~10 Hz 측정 동안 고정적인  $G'$ 을 보였고, 이때 참고로  $G''$  값은 거의 고정되어 세 종류의 생선포가 겔의 형태를 형성함을 보고하였는데, 본 결과에서는 상압 대조구와 비교하였을 때 고압 처리구의  $G'$  값의 변화가 적고 더 고정값을 유지하여 졸 특성보다는 겔 특성에 가깝게 변화되는 것으로 판단되었다. 그러므로 100 MPa, 25°C, 4%(w/v) 조건에서 10~40분 고압 처리한 조피볼락 시료의 동적점탄성 특성이 상압 대조구와 비교하여 잘 유지되는 것으로 판단되었다. 그러나 반응시간과 고압처리 시료의 동적점탄성( $G'$ ,  $G''$ ,  $\tan \delta$ ) 특성 변화 사이에서 일정한 경향은 찾을 수 없었다.

Fig. 4(b)는 일정 조건(20분, 25°C, 4%(w/v))에서 반응압력을

달리하여 고압 처리한 조피볼락 시료의 1~10 Hz까지 진동수 변화에 따른 저장탄성률( $G'$ ), 손실탄성률( $G''$ ),  $\tan \delta$  변화이다. 상압 대조구와 비교하여 50 MPa 고압 처리구를 제외하고, 반응 압력이 증가함에 따라  $G'$ 과  $G''$ 이 감소하는 경향이었다. 또한 진동수에 따른  $\tan \delta$  변화는 상압 대조구와 25, 50, 75 MPa 고압 처리구의 경우 진동수가 커지면서  $\tan \delta$ 도 변화하였으나, 100 MPa 고압 처리구의 경우 일정한 값을 유지하여 동적점탄성 특성이 다른 처리구와 비교하여 안정적인 것으로 판단되었다. 이와 같은 결과는, 고압처리는 생선근육의 동적점탄성에 영향을 미치지만, 25~75 MPa 범위에서는 단백질 세포막의 가역적인 변화로 인하여 대조구와 유사하게  $\tan \delta$  값이 변화하므로 적어도 100 MPa 이상이 가해졌을 때 전형적인 겔 특성이 나타나는 것으로 판단되었다. Ashie & Simpson(1996) 또한 상압, 1,000, 2,000, 3,000 atm의 압력으로 생선 근육을 고압처리 하였을 때 1,000 atm에서 경도와 탄력성 특성이 가장 높아 생선 텍스처를 유지하고 향상시키는 적합한 압력이라 하였고, 이와 같은 이유는 100 MPa의 압력은 섬유조직의 강도와 탄력성을 증가시키는 반면, 생선 근육 단백질 분해효소는 불활성화시키는 정수압에 의한 것이기 때문이라고 하였다.

침지수의 염도를 0~10%(w/v) 범위에서 침지 후 일정 조건(20분, 100 MPa, 25°C)에서 고압 처리한 조피볼락 시료의 1~10 Hz까지 진동수 변화에 따른 저장탄성률( $G'$ ), 손실탄성률( $G''$ ),  $\tan \delta$  변화는 Fig. 4(c)에 나타내었다. 상압 대조구와 침지수의 염도가 다른 고압 처리구 모두 진동수가 증가함에 따라  $G'$ 과  $G''$ 가 증가하는 경향이었다. 또한, 측정된 모든 시료의  $G'$  값이  $G''$  값보다 높은 값을 가졌으며,  $\tan \delta$  값 범위는 0.241~0.307로 높은 탄성 특성을 가졌다. 침지수의 염도에 따른 고압처리시료의 동적점탄성 특성은 침지수의 염도가 증가할수록 진동수 증가에 따른  $\tan \delta$  값도 증가하는 경향이 있었다(4%(w/v) 제외). 특히 7~10%(w/v) 이상의 고염 침지수에서 고압 처리한 조피볼락 시료에서는 염농도와 비례하여  $\tan \delta$ 의 기울기도 커지는 경향이었다.

Thorarinsdottir 등(2002)은 염이온은 반대로 대전된 결과지들과의 약한 상호결합에 의하여 다양한 점탄성을 나타낼 수 있으며, 과잉의 염농도는 결합과 변성을 초래할 수 있다고 보고하였다. 그러나 0~6%(w/v) 범위에서는 염농도의 증가에 따른  $\tan \delta$ 의 경향성은 나타나지 않았다. 일반적으로  $G'$ 는 탄성 특성의 지표로서 변형에 따른 에너지 측정을 나타낸다. 반면,  $G''$ 는 변형에 대한 손실에너지를 의미하고, 액체성질 또는 점성 측정 지표로서 이용되며, 전형적인 겔은 진동수 분석에서 일정한  $G'$  값을 가지는 반면, 졸은 진동수 의존성으로 알려져 있다(Almdal 등 1992; Fukushima 등 2007; Kim 등 2014b).

### 6. DSC 열전이 특성

일정 조건(100 MPa, 25°C, 4%(w/v))에서 반응시간을 10, 20, 30, 40분으로 달리하여 고압 처리한 조피볼락 시료의 열전이 특성은 Table 2에 나타내었다.

상압 대조구의 경우, 첫 번째 열전이 곡선에서 나타난 개시온도는 49.38°C, 최고온도는 54.30°C, 총 흡열량은 5.41 J/g, 종결온도는 66.33°C였고, 두 번째 열전이 곡선에서의 개시온도는 78.45°C, 최고온도는 82.13°C, 총 흡열량은 1.01 J/g, 종결온도는 88.21°C였다. 10~40분 고압 처리구의 열전이 특성 변화를 살펴보면 첫 번째 열전이 곡선의 개시온도는 43.83~46.78°C, 최고온도는 53.95~55.16°C, 총 흡열량은 4.57~5.46 J/g, 종결온도는 66.56~67.98°C였고, 두 번째 열전이 곡선의 개시온도는 75.41~77.15°C, 최고온도는 79.91~81.25°C, 총 흡열량은 1.01~1.23 J/g, 종결온도는 85.07~86.98°C였다.

상압 대조구와 비교하였을 때 첫 번째 열전이 곡선의 개시온도와 최고온도는 낮아지는 경향(10분 처리구 제외)이었고, 종결온도는 상승하였다. 또한 두 번째 열전이 곡선의 개시온도, 최고온도와 종결온도가 고압처리 후 유의적으로 낮아졌다( $p < 0.05$ ). 그러나 첫 번째 전이곡선과 두 번째 전이곡선에서의 총 흡열량 변화는 고압처리 전과 비교하여 유의적인 차이를 보이지 않았다.

고압처리 중 반응시간 증가에 따른 열전이 특성 변화를 살펴본 결과, 첫 번째 열전이 곡선의 개시온도는 일정한 경향은 나타나지 않았으나, 처리구 사이의 유의성이 확인되었다( $p < 0.05$ ). 또한 반응시간이 길어질수록 최고온도와 총 흡열량은 감소하는 경향이었고, 종결온도는 상승하는 경향이었으나, 유의적 차이는 나타나지 않았다. 두 번째 열전이 곡선에서도 반응시간과 비례하지는 않았으나, 개시온도와 최고온도에서 유의적 차이가 있었고, 종결온도는 40분 고압 처리구에서 유의적으로 낮은 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ).

일정 조건(20분, 25°C, 4%(w/v))에서 반응압력을 25, 50, 75,

100 MPa로 달리하여 처리한 조피볼락 시료의 열전이 특성은 Table 3과 같다. 25~100 MPa 고압 처리구의 열전이 특성 변화를 살펴보면 첫 번째 열전이 곡선의 개시온도는 43.83~49.53°C, 최고온도는 53.46~55.16°C, 총 흡열량은 4.78~5.14 J/g, 종결온도는 64.63~67.41°C이었고, 두 번째 열전이 곡선의 개시온도는 75.41~78.06°C, 최고온도는 79.91~84.01°C, 총 흡열량은 1.05~1.13 J/g, 종결온도는 86.28~87.33°C이었다. 반응압력을 25, 50, 75, 100 MPa로 달리하여 처리한 조피볼락의 첫 번째 곡선의 열전이 특성은 상압 대조구와 비교하여 유의적 차이가 없었다. 그러나 두 번째 열전이 곡선에서 나타난 열전이 특성을 살펴본 결과, 개시온도와 총 흡열량에서 압력과의 상관성은 나타나지 않았으나, 상압 대조구와 비교하였을 때 압력별 처리구간의 유의성이 확인되었다( $p < 0.05$ ).

Chevalier 등(2001)은 100 MPa의 압력으로 15분과 30분 처리한 가자미의 열전이 특성을 상압 대조구와 비교하여 압력 처리 하였을 때 총 흡열량은 유의적으로 감소하였으며, 30분 압력 처리구의 첫 번째 흡열곡선의 총 흡열량도 감소하였으나, 40°C 부근에서 새로운 곡선이 생성되었다고 보고하였으나, 본 연구에서는 상압 대조구와 비교하여 100 MPa 처리에 따른 유의성과 반응시간에 따른 유의성 모두 나타나지 않았다. 그는 또한 가자미 근육의 미오신은 45.2°C 부근에서 흡열곡선을 형성하며, 200 MPa에서는 완전히 붕괴되며, 액틴은 71°C 부근에서 흡열곡선이 생성되고, 300 MPa 압력에서 변성되었다고 하였는데, 이로 미루어 본 결과에서 나타난 첫 번째 흡열곡선은 미오신의 단백질 열전이 곡선이며, 두 번째 흡열곡선은 액틴의 단백질 열전이 곡선으로 판단되었다. 본 연구 결과, Table 2와 Table 3(50 MPa 고압 처리구 제외)에서 두 곡선의 총 흡열량은 유의적 변화가 없는 것으로 나타났다. 그러므로 본 실험에서의 설정한 반응시간과 반응압력은 미오신과 액틴 단백질 변성에 유의적인 영향을 미치지 않는 것

**Table 2. Thermotransition properties of HHP-treated jacobever under 100 MPa, 25°C and 4%(w/v) salinity of brine depending on reaction time**

Time (min)	First endothermic peak				Second endothermic peak			
	Onset (°C)	Peak (°C)	ΔH (J/g)	End (°C)	Onset (°C)	Peak (°C)	ΔH (J/g)	End (°C)
0	49.38±0.91 <sup>a,1)</sup>	54.30±0.77 <sup>a</sup>	5.41±0.28 <sup>a</sup>	66.33±2.25 <sup>a</sup>	78.45±0.94 <sup>a</sup>	82.13±0.76 <sup>a</sup>	1.01±0.10 <sup>a</sup>	88.21±1.77 <sup>a</sup>
10	46.78±2.61 <sup>ab</sup>	53.95±1.03 <sup>a</sup>	5.46±0.68 <sup>a</sup>	66.56±2.98 <sup>a</sup>	76.90±1.50 <sup>bc</sup>	81.14±0.85 <sup>ab</sup>	1.23±0.23 <sup>a</sup>	86.98±1.09 <sup>ab</sup>
20	43.83±2.70 <sup>b</sup>	55.16±2.80 <sup>a</sup>	4.78±1.26 <sup>a</sup>	66.42±1.65 <sup>a</sup>	75.41±1.84 <sup>b</sup>	79.91±1.80 <sup>b</sup>	1.13±0.25 <sup>a</sup>	86.34±2.46 <sup>ab</sup>
30	46.44±1.70 <sup>ab</sup>	53.94±0.71 <sup>a</sup>	4.76±0.30 <sup>a</sup>	67.98±0.80 <sup>a</sup>	77.15±1.41 <sup>ab</sup>	81.25±1.05 <sup>ab</sup>	1.04±0.24 <sup>a</sup>	86.48±1.63 <sup>ab</sup>
40	46.12±2.72 <sup>ab</sup>	53.82±0.55 <sup>a</sup>	4.57±0.49 <sup>a</sup>	67.34±0.86 <sup>a</sup>	75.44±0.99 <sup>b</sup>	80.30±0.48 <sup>b</sup>	1.01±0.25 <sup>a</sup>	85.07±0.45 <sup>b</sup>
F-value	5.05	0.63	1.29	0.64	4.62	3.15	0.84	2.01
Pr>F	0.0056	0.6465	0.3073	0.6395	0.0084	0.0367	0.5141	0.132

<sup>1)</sup> Data with different small letters (<sup>a-b</sup>) in a column are significantly different at  $p < 0.05$  by Duncan's multiple range test.

**Table 3. Thermotransition properties of under 25°C, 4%(w/v) salinity of brine for 20 min depending on pressure level**

Pressure (MPa)	First endothermic peak				Second endothermic peak			
	Onset (°C)	Peak (°C)	$\Delta H$ (J/g)	End (°C)	Onset (°C)	Peak (°C)	$\Delta H$ (J/g)	End (°C)
0.1	49.38±0.91 <sup>a,1)</sup>	54.30±0.77 <sup>a</sup>	5.41±0.28 <sup>a</sup>	66.33±2.25 <sup>a</sup>	78.45±0.94 <sup>a</sup>	82.13±0.76 <sup>a</sup>	1.01±0.10 <sup>a</sup>	88.21±1.77 <sup>a</sup>
25	49.00±1.01 <sup>a</sup>	53.46±1.34 <sup>a</sup>	5.14±0.04 <sup>a</sup>	66.99±1.22 <sup>a</sup>	76.51±1.34 <sup>ab</sup>	80.98±1.09 <sup>a</sup>	1.13±0.02 <sup>a</sup>	86.86±1.34 <sup>a</sup>
50	49.50±0.86 <sup>a</sup>	54.16±0.79 <sup>a</sup>	5.28±0.18 <sup>a</sup>	67.41±1.00 <sup>a</sup>	78.06±0.78 <sup>a</sup>	84.01±5.74 <sup>a</sup>	1.05±0.11 <sup>b</sup>	87.33±1.13 <sup>a</sup>
75	49.53±0.61 <sup>a</sup>	53.86±0.48 <sup>a</sup>	4.80±0.74 <sup>a</sup>	64.63±3.67 <sup>a</sup>	76.38±0.92 <sup>ab</sup>	80.96±0.48 <sup>a</sup>	1.09±0.30 <sup>a</sup>	86.28±1.41 <sup>a</sup>
100	43.83±2.70 <sup>b</sup>	55.16±2.80 <sup>a</sup>	4.78±1.26 <sup>a</sup>	66.42±1.65 <sup>a</sup>	75.41±1.84 <sup>b</sup>	79.91±1.80 <sup>b</sup>	1.13±0.25 <sup>a</sup>	86.34±2.46 <sup>ab</sup>
<i>F</i> -value	13.63	0.68	0.72	0.95	5.36	1.8	0.36	1.04
<i>P</i> > <i>F</i>	<.0001	0.6131	0.5913	0.4568	0.0046	0.1702	0.8343	0.412

<sup>1)</sup> Data with different small letters (<sup>a-b</sup>) in a column are significantly different at  $p<0.05$  by Duncan's multiple range test.

으로 판단되었다.

침지수의 염도를 0~10%(w/v) 범위에서 침지 후 일정 조건 (20분, 100 MPa, 25°C)에서 고압 처리한 조피볼락 선어 시료의 열전이 특성은 Table 4와 같다. 0~10%(w/v) 고압 처리구의 열전이 특성 변화를 살펴보면 첫 번째 열전이 곡선의 개시온도는 43.83~47.09°C, 최고온도는 51.68~56.80°C, 총 흡열량은 2.63~5.25 J/g, 종결온도는 64.36~66.42°C이었고, 두 번째 열전이 곡선의 개시온도는 73.32~76.00°C, 최고온도는 77.36~80.11°C, 총 흡열량은 0.75~1.23 J/g, 종결온도는 83.26~86.34°C이었다. 침지 처리하지 않은 천연 상태인 상압 대조구와 비교하였을

때 침지수의 염농도를 달리 하여 고압 처리한 조피볼락 시료의 열전이 특성 변화를 살펴본 결과, 첫 번째 열전이 곡선의 개시온도, 총 흡열량, 최고온도는 낮아지는 경향이었고, 종결온도는 유의적 차이가 없었다. 그러나 두 번째 열전이 곡선의 개시온도, 최고온도, 총 흡열량, 종결온도가 고압처리 후에는 유의적으로 낮아지는 경향이 있었다. 또한 고압처리 중 침지수의 염농도가 높을수록 첫 번째 열전이 곡선에서의 개시온도와 최고온도가 유의적으로 낮아지는 경향이 있었다(10%(w/v) 고압 처리구 제외). 총 흡열량은 침지수의 염농도가 0~10%(w/v)로 진해질수록 5.25 J/g에서 2.63 J/g으로 낮아졌지만, 고

**Table 4. Thermotransition properties of under 100 MPa, 25°C for 20 min depending on salinity of brine**

Salinity of brine (%w/v)	First endothermic peak				Second endothermic peak			
	Onset (°C)	Peak (°C)	$\Delta H$ (J/g)	End (°C)	Onset (°C)	Peak (°C)	$\Delta H$ (J/g)	End (°C)
CON	49.38±0.91 <sup>a,1)</sup>	54.30±0.77 <sup>a</sup>	5.41±0.28 <sup>a</sup>	66.33±2.25 <sup>a</sup>	78.45±0.94 <sup>a</sup>	82.13±0.76 <sup>a</sup>	1.01±0.10 <sup>a</sup>	88.21±1.77 <sup>a</sup>
0	47.09±1.13 <sup>ab</sup>	52.87±1.20 <sup>ab</sup>	5.25±0.34 <sup>a</sup>	66.05±0.45 <sup>a</sup>	76.00±0.98 <sup>b</sup>	80.11±0.82 <sup>b</sup>	1.23±0.39 <sup>a</sup>	84.59±0.88 <sup>bc</sup>
1	46.77±4.17 <sup>ab</sup>	54.24±3.61 <sup>ab</sup>	4.82±1.04 <sup>a</sup>	65.51±0.61 <sup>a</sup>	75.00±0.62 <sup>bc</sup>	79.30±1.04 <sup>b</sup>	1.23±0.24 <sup>a</sup>	83.66±1.78 <sup>c</sup>
2	44.63±1.12 <sup>b</sup>	53.85±3.88 <sup>ab</sup>	4.83±0.35 <sup>a</sup>	66.13±1.09 <sup>a</sup>	75.08±0.84 <sup>bc</sup>	79.95±0.42 <sup>b</sup>	1.18±0.27 <sup>a</sup>	84.91±0.92 <sup>bc</sup>
3	44.13±0.48 <sup>b</sup>	54.48±4.10 <sup>ab</sup>	4.82±0.24 <sup>a</sup>	65.52±0.60 <sup>a</sup>	74.73±0.38 <sup>bcd</sup>	79.46±0.71 <sup>b</sup>	1.20±0.17 <sup>a</sup>	84.23±0.82 <sup>bc</sup>
4	43.83±2.70 <sup>b</sup>	55.16±2.80 <sup>ab</sup>	4.78±1.26 <sup>a</sup>	66.42±1.65 <sup>a</sup>	75.41±1.84 <sup>bc</sup>	79.91±1.80 <sup>b</sup>	1.13±0.25 <sup>a</sup>	86.34±2.46 <sup>ab</sup>
5	44.78±0.83 <sup>b</sup>	51.93±1.34 <sup>b</sup>	4.09±0.28 <sup>a</sup>	65.11±1.09 <sup>a</sup>	75.43±0.46 <sup>bc</sup>	79.95±0.41 <sup>b</sup>	1.15±0.27 <sup>a</sup>	85.01±0.60 <sup>bc</sup>
6	45.19±1.77 <sup>b</sup>	51.81±0.90 <sup>b</sup>	4.02±0.25 <sup>a</sup>	65.62±0.58 <sup>a</sup>	74.94±0.00 <sup>bc</sup>	79.19±0.87 <sup>b</sup>	1.07±0.24 <sup>ab</sup>	84.51±1.05 <sup>bc</sup>
7	44.08±0.88 <sup>b</sup>	51.68±0.56 <sup>b</sup>	4.01±0.31 <sup>a</sup>	64.36±2.64 <sup>a</sup>	75.05±0.81 <sup>bc</sup>	79.82±0.48 <sup>b</sup>	1.13±0.14 <sup>a</sup>	84.77±0.80 <sup>bc</sup>
8	45.83±0.69 <sup>b</sup>	52.26±0.29 <sup>b</sup>	3.98±0.24 <sup>a</sup>	65.17±0.79 <sup>a</sup>	73.84±0.18 <sup>cd</sup>	79.17±0.35 <sup>b</sup>	1.07±0.18 <sup>ab</sup>	84.27±0.27 <sup>bc</sup>
9	45.78±3.40 <sup>b</sup>	54.76±3.34 <sup>ab</sup>	4.02±0.65 <sup>a</sup>	66.14±0.62 <sup>a</sup>	74.66±0.50 <sup>bcd</sup>	79.28±1.09 <sup>b</sup>	1.09±0.24 <sup>ab</sup>	84.79±1.32 <sup>bc</sup>
10	45.52±3.62 <sup>b</sup>	56.80±3.44 <sup>a</sup>	2.63±1.63 <sup>b</sup>	65.17±1.13 <sup>a</sup>	73.32±1.41 <sup>d</sup>	77.36±1.32 <sup>c</sup>	0.75±0.29 <sup>b</sup>	83.26±1.80 <sup>c</sup>
<i>F</i> -value	2.63	1.53	3.64	0.84	7.8	5.3	1.26	3.94
<i>P</i> > <i>F</i>	0.013	0.1608	0.0013	0.6034	<.0001	<.0001	0.2808	0.0007

CON: Fresh, No treatment.

<sup>1)</sup> Data with different small letters (<sup>a-c</sup>) in a column are significantly different at  $p<0.05$  by Duncan's multiple range test.



압 대조구를 포함한 모든 고압 처리구와 비교하여 10%(w/v) 고압 처리구 만이 유의적으로 낮은 값을 나타내었다( $p<0.05$ ). 두 번째 열전이 곡선에서는 고압처리 중 침지수의 염농도가 모든 열전이 특성에 유의적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

이는 침지수의 염도에 따른 고압처리시료의 동적점탄성 특성에서 언급한 바와 같이 일정 수준까지 염농도의 증가는 단백질 내부에 있던 소수성 결합부위를 노출시켜 단백질 변성과 응고를 유도하게 되어, 결과적으로 미오신과 액틴의 열안정성을 유의적으로 감소시키며, 온도전이이동이 낮은 쪽으로 이루어졌으며, 단백질의 열안정성을 감소시켰다는 Park & Kim(1992) 또는 Thorarinsdottir 등(2002)의 보고와 일치하는 결과였다. 그러나 Thorarinsdottir 등(2002)은 동일한 연구에서 염농도에 더 영향을 받는 것은 미오신과 근장단백질에 해당하는 첫 번째 곡선이며, 염농도가 증가하면서 미오신의 열안정성이 감소하여 열전이 곡선은 낮고 넓게 퍼지며 분리가 불확실하게 변화하였다고 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 미오신에 해당하는 첫 번째 흡열곡선의 총 흡열량의 경우, 10%(w/v) 고압 처리구에서만 유의적인 감소가 있었으나, 액틴에 해당하는 두 번째 열전이 곡선은 6%, 8%, 9%, 10% 고압 처리구의 총 흡열량에서 유의적 감소가 확인되었고, 이러한 결과로 볼 때 침지수의 적정 염도는 6%(w/v) 미만으로 판단되었다. 한편, Hastings 등(1985)은 미오신과 액틴 단백질의 압력에 대한 총 흡열량 변화 차이가 발생하는 원인에 대하여 가공방법, 어중 등에 의한 것으로 추정하였다.

## 요약 및 결론

본 연구에서는 반응시간 0-40분, 반응압력 0.1-100 MPa, 침지수의 염도 0-10%(w/v) 범위의 세 가지 공정변수를 달리 하여 고압 처리한 조피볼락 선어의 VBN과 TMA 함량, 총균수, 동적점탄성, DSC 특성 등의 초기 품질특성을 분석함으로써 고압처리 최적화 제조 조건을 확립하고, 나아가 고품질의 선어제품 개발을 위한 기초자료를 제시하고자 하였다. 그 결과, 침지수의 염도가 6-10%(w/v) 사이에서는 시료 근육의 염도가 0.71-0.78%(w/v)로 유의적 차이가 없었으며, 침지수의 염농도는 6%(w/v)를 넘지 않는 것이 바람직한 것으로 판단되었다. 반응시간, 반응압력, 침지수의 염도를 달리 하여 고압 처리한 조피볼락 선어 시료의 VBN과 TMA 함량은 상압 대조구와 비교하여 유의적 차이가 없었다. 반응시간을 10, 20, 30, 40분으로 달리하고, 100 MPa, 25°C, 4%(w/v) 염침지 조건으로 고압 처리한 조피볼락 선어 시료의 총균수는 상압 대조구와 비교하였을 때 20분 이상의 고압처리에 의해 유의적 감

소가 있었다( $p<0.05$ ). 동적점탄성 특성의 경우, 반응시간과 고압처리 시료의  $G'$ ,  $G''$ ,  $\tan \delta$  사이의 상관성이 나타나지 않았다. 열전이 특성은 첫 번째 열전이 곡선의 개시온도는 일정한 경향은 나타나지 않았으나, 처리구 사이의 유의성이 확인되었다( $p<0.05$ ). 두 번째 열전이 곡선에서도 반응시간과 비례하지는 않았으나, 개시온도와 최고온도에서 유의적 차이가 있었고, 종결온도는 40분 고압 처리구에서 유의적으로 낮은 것으로 나타났다( $p<0.05$ ).

반응압력을 25, 50, 75, 100 MPa로 달리하고 20분, 25°C, 4%(w/v) 염침지 조건으로 고압 처리한 조피볼락 선어 시료의 총균수는 상압 대조구와 비교하였을 때 반응압력 50 MPa 이상의 고압처리에 의하여 유의적 감소가 있었다( $p<0.05$ ). 반응압력이 증가함에 따라 동적점탄성 특성은  $G'$ 과  $G''$ 이 감소하고  $\tan \delta$ 의 기울기가 낮아지는 경향이었는데(50 MPa 고압 처리구 제외), 특히 100 MPa 고압 처리구의  $\tan \delta$ 의 기울기 변화는 거의 없었다. 열전이 특성의 경우, 압력이 증가하면서 두 번째 열전이 특성 중 개시온도와 총 흡열량에서 압력별 처리구간의 유의성이 확인되었다( $p<0.05$ ).

상압 대조구와 비교하여 침지수의 염도를 0-10%(w/v)로 달리하고 20분, 100 MPa, 25°C 조건으로 고압 처리한 조피볼락 선어 시료의 총균수는 상압 대조구와 비교하였을 때 고압 처리에 의하여 모두 유의적 감소가 있었으며, 총균수 제어에 효과적인 침지수의 염농도는 3-4%(w/v)부터인 것으로 평가되었다( $p<0.05$ ). 동적점탄성을 살펴본 결과, 침지수의 염도가 0-6%(w/v) 구간에서는 일정한 경향이 나타나지 않았으나, 7-10%(w/v) 농도 구간에서는 염농도와 비례하여  $\tan \delta$ 의 기울기 값도 커졌다. 열전이 특성 변화를 살펴본 결과, 첫 번째 열전이 곡선의 개시온도, 총 흡열량, 최고온도는 낮아지는 경향이었고, 두 번째 열전이 곡선의 개시온도, 최고온도, 총 흡열량, 종결온도가 고압처리 후에는 유의적으로 낮아지는 경향이였다. 또한 고압처리 중 침지수의 염농도가 높을수록 첫 번째 열전이 곡선에서의 개시온도와 최고온도가 유의적으로 낮아지는 경향이였다(10% 고압 처리구 제외). 총 흡열량은 침지수의 염농도가 0%(w/v)에서 10%(w/v)로 전해질수록 5.25 J/g에서 2.63 J/g으로 낮아졌지만, 고압 대조구를 포함한 모든 고압 처리구와 비교하여 10%(w/v) 고압 처리구 만이 유의적으로 낮은 값을 나타내었다( $p<0.05$ ). 두 번째 열전이 곡선에서는 6%, 8%, 9%, 10% 고압 처리구의 총 흡열량에서 유의적 감소가 확인되었고, 이러한 결과로 볼 때 침지수의 적정 염도는 6%(w/v) 미만으로 판단되었다.

그러므로 이상의 결과를 바탕으로 반응온도 25°C에서 총균수 제어와 경제성을 고려한 효과적인 고압반응변수 조건은 반응시간 20분, 반응압력 100 MPa, 침지수의 염농도 4%(w/v)로 판단되었다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부 국가연구개발사업의 “식품고압기술개발사업” 연구개발비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## References

- Abe F. 2007. Exploration of the effects of high hydrostatic pressure on microbial growth, physiology and survival: Perspectives from piezophysiology. *Biosci Biotechnol Biochem* 71:2347-2357
- Almdal K, Dyre J, Hvidt S, Kramer O. 1992. Towards a phenomenological definition of the term ‘gel’. *Polymer Gels Networks* 1:15-17
- AOAC. 1999. The Association Official Methods of Analysis. AOAC International, Washington DC, USA
- Ashie I, Simpson BK. 1996. Application of high pressure to control enzyme related fresh seafood texture deterioration. *Food Res Int* 29:569-575
- Chen S, Hirota N, Okuda M, Takeguchi M, Kobayashi H, Hanagata N, Ikoma T. 2011. Microstructures and rheological properties of tilapia fish scale collagen hydrogels with aligned fibrils fabricated under magnetic fields. *Acta Biomater* 7:644-652
- Chevalier D, Bail AL, Ghoul M. 2001. Effects of high pressure treatment (100~200 MPa) at low temperature on turbot (*Scophthalmus maximus*) muscle. *Food Res Int* 34:425-429
- Fukushima H, Okazaki E, Fukuda Y, Watabe S. 2007. Rheological properties of selected fish paste at selected temperature pertaining to shaping of surimi-based products. *J Food Eng* 81:492-499
- Ginson J, Kamalakanth CK, Bindu J, Venkateswarlu R, Das S, Chauhan OP, Srinivasa Gopal TK. 2013. Changes in K value, microbiological and sensory acceptability of high pressure processed indian white prawn (*Fenneropenaeus indicus*). *Food Bioprocess Technol* 6:1175-1150
- Hamann DD. 1991. Rheology: a tool for understanding thermally induced protein gelation. In N. Parris & R. Barford (Eds.), *Interactions of Food Proteins*. Washington, DC: American Chemical Society. ACS symposium series 454:212-227
- Han GD, Jeong BY. 2005. High pressure processing on foods. *Food Ind & Nutr* 10:30-35
- Han JY, Lee SJ. 2011. Kinetics and equilibrium study on  $\beta$ -glucosidase under high hydrostatic pressure. *Food Eng Prog* 15:214-220
- Hastings RJ, Rodger GW, Park R, Matthews AD, Anderson EM. 1985. Differential scanning calorimetry of fish muscle: The effect of processing and species variation. *J Food Sci* 50:503-506
- Herrera JJ, Pastoriza L, Sampedro G. 2001. A DSC study on the effects of various maltodextrins and sucrose on protein changes in frozen-stored minced blue whiting muscle. *J Sci Food Agric* 81:377-384
- Kim DH, Yoo HJ, Yoo JY, Park YJ, Choi SH, Jang KI. 2012. Development of rapid salting method for seasoning eggs using a temperature change method. *Korean J Food & Nutr* 25:393-397
- Kim MJ, Lee SJ, Kim JT. 2014a. Quality characteristics and storage stability of semi-dried silver pomfret (*Pampus argenteus*) processed with treatment of high hydrostatic pressure. *Korean J Food & Nutr* 27:805-816
- Kim MY, Lee SH, Jang GY, Park HJ, Meishan L, Kim S, Lee YR, Lee J, Jeong HS. 2014b. The enzyme inhibitory activity of ethanol extracts derived from germinated rough rice (*Oryza activar* L.) treated by High pressure. *Korean J Food Sci Technol* 46:44-50
- Koo SY, Cha KH, Lee DU. 2007. Effects of high hydrostatic pressure on foods and biological system. *Food Sci Ind* 40: 23-30
- Korean National Statistical Office. 2014. Fishery production survey. Available from <http://www.index.go.kr> [cited 2014 December 23]
- Lee SJ, Choi BB, Song TH, Lee SW, Han MR, Lee JW. 2014. Food Analysis. pp.99. Powerbook-Inc. Seoul. Korea.
- Oh KS, Kim JS, Hur JW. 1998. Processing of flavoring substances from small kingfish. *Korean J Food Technol* 30: 1339-1344
- Oh SH, Jung YK, Kim SH, Kim SD. 2007. Quality characteristics of sliced raw-fish washed by different methods during storage. *Korean J Food Preserv* 14:571-577
- Oh SW, Lee NH, Kim YM, Nam EJ, Jo JH. 1997. Salt penetration properties of anchovy (*Engraulis japonica*) muscle immersed in brine. *Korean J Food Sci Technol* 29:1196-1201
- Park CS, Choi KH. 1997. Changes in the freshness of frozen thawed fish fillet during cold storage. *Korean J Food & Nutr* 10:553-558

- Park HJ, Lee CH. 2008. Food Preservation. pp.418-428. KUP. Seoul. Korea
- Park JI, Yoon SM, Yoon HD, Park HY, Byun HS, Jang MS. 2009. Shelf life extension of sing sing hoe (Fresh sliced raw fish) by frozen storage. *Korean J Food Preserv* 16:824-829
- Park SJ, Kim BY. 1992. Effect of processing conditions upon heat stability and structure formation in fish protein. *Korean J Food Sci Technol* 24:463-469
- Park WH, Lee SH, Jung DH. 2004. Microbiological evaluation of chilled freshes raw-fish manufacturers before and after HACCP system establishment. *J Ed Hyg Safety* 19:74-83
- San Martin MF, Barbosa-Cánovas GV, Swanson BG. 2002. Food Processing by high hydrostatic pressure. *Crit Rev Food Sci Nutr* 42:627-645
- Shim KB, Lee GB, Kim TJ, Cho YJ. 2003. Improvement of sliced raw fish texture. *J Kor Fish Soc* 36:69-73
- Shin SH, Sung KH, Chung CH. 2013. Physicochemical changes in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) muscle by iced water pre-treatment. *Korean J Food Sci Technol* 45:700-707
- Thorarinsdottir KA, Arason S, Geirsdottir M, Bogason SG, Kristbergsson K. 2002. Changes in myofibrillar proteins during processing of salted cod (*Gadus morhua*) as determined by electrophoresis and differential scanning calorimetry. *Food Chem* 77:377-385
- Wuytack EY, Diels AMJ, Michiels CW. 2002. Bacterial inactivation by high-pressure homogenisation and high hydrostatic pressure. *Int J Food Microbiol* 77:205-212
- Yi J, Xu Q, Hu X, Dong P, Liao X, Zhang Y. 2014. Shucking of bay scallop (*Argopecten irradians*) using high hydrostatic pressure and its effect on microbiological and physical quality of adductor muscle. *Innov Food Sci Emerg Technol* 18:57-64

---

Received 6 April, 2016

Revised 11 May, 2016

Accepted 10 June, 2016