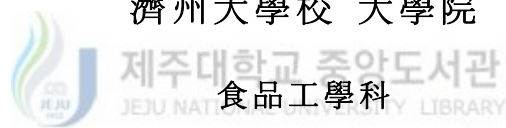


博士學位論文

초고압 처리에 의한 생굴의 살균 및  
저장 중 품질 변화



濟州大學校 大學院

朴 煥 竣

2006年 8月

# 초고압 처리에 의한 생굴의 살균 및 저장 중 품질 변화

指導教授 宋 大 鎭  
朴 煥 竣

이 論文을 工學 博士學位 論文으로 提出함

2006年 8月

朴煥竣의 工學 博士學位 論文을 認准함



제주대학교 중앙도서관  
LIBRARY

審查委員長	姜 永 周	印
委 員	河 璫 桓	印
委 員	任 尙 彬	印
委 員	卞 大 錫	印
委 員	宋 大 鎭	印

濟州大學校 大學院

2006年 8月

# High Hydrostatic Pressure Sterilization and Quality Changes of Raw Oyster during Storage

Whan-Jun Park

(Supervised by professor Dae-Jin Song)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
DOCTOR OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF FOOD SCIENCE AND ENGINEERING  
GRADUATE SCHOOL  
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

2006. 8.

## 목 차

List of Figures .....	IV
List of Tables .....	VI
Summary .....	1
I. 서 론 .....	3
II. 연구 사 .....	7
2.1. 고압 가공 .....	7
2.2. 고압처리가 미생물에 미치는 영향 .....	9
2.2.1. 미생물의 형태에 미치는 영향 .....	9
2.2.2. 미생물의 세포벽에 미치는 영향 .....	10
2.2.3. 미생물의 셀 형태에 미치는 영향 .....	10
2.3. 고압처리에 의한 미생물의 사멸 .....	11
2.3.1. 미생물의 사멸 .....	11
2.3.2. 세균포자의 사멸 .....	13
2.3.3. 영양세포의 사멸 .....	16
2.3.4. 효모와 곰팡이의 사멸 .....	16
2.3.5. Virus와 prions의 사멸 .....	17
2.4. 고압처리시 미생물 감수성에 영향을 미치는 외부 요인 .....	17
2.4.1. 기질의 영향 .....	17
2.4.2. 온도의 영향 .....	19
2.5. 고압처리에 의한 단백질의 변성 .....	19
2.6. 고압처리에 의한 효소의 불활성화 .....	20
2.7. 고압처리에 의한 식품의 살균 .....	21

<b>Ⅲ. 재료 및 방법</b> .....	25
3.1. 굴 .....	25
3.2. 사용 균주 및 배지 .....	25
3.3. <i>V. parahaemolyticus</i> 와 <i>E. coli</i> 의 접종 및 배양 방법 .....	25
3.4. 초고압 처리 및 저장실험 .....	25
3.5. 미생물 균수 측정 .....	26
3.5.1. <i>V. parahaemolyticus</i> 와 <i>E. coli</i> 의 균수 .....	26
3.5.2. 총세균수, 저온세균수 및 젖산균수 .....	26
3.6. 품질 측정 .....	26
3.6.1. 굴과 침수의 pH .....	26
3.6.2. 침수의 염분농도 .....	27
3.6.3. 휘발성 염기질소 .....	27
3.6.4. 색차 .....	27
3.6.5. 관능검사 .....	27
3.7. 통계처리 .....	28
<b>Ⅳ. 결과 및 고찰</b> .....	29
4.1. 생굴 중 <i>V. parahaemolyticus</i> 와 <i>E. coli</i> 의 초고압 살균 .....	29
4.1.1. <i>V. parahaemolyticus</i> 의 초고압 살균 .....	29
4.1.1.1. 처리압력에 따른 <i>V. parahaemolyticus</i> 의 균수 변화 .....	29
4.1.1.2. 처리시간에 따른 <i>V. parahaemolyticus</i> 의 균수 변화 .....	30
4.1.1.3. 처리온도에 따른 <i>V. parahaemolyticus</i> 의 균수 변화 .....	31
4.1.2. <i>E. coli</i> 의 초고압 살균 .....	33
4.1.2.1. 처리압력에 따른 <i>E. coli</i> 의 균수 변화 .....	33
4.1.2.2. 처리온도에 따른 <i>E. coli</i> 의 균수 변화 .....	35
4.1.2.3. 처리시간에 따른 <i>E. coli</i> 의 균수 변화 .....	36

4.2. 초고압 처리한 생굴의 저장 중 미생물수 및 품질 변화 .....	38
4.2.1. 총세균수, 저온세균수 및 젖산균수의 변화 .....	38
4.2.2. 품질변화 .....	42
4.2.2.1. 굴과 침수의 pH .....	42
4.2.2.2. 침수의 염농도 .....	45
4.2.2.3. 휘발성 염기질소 .....	46
4.2.2.4. 색차 .....	47
4.2.2.5. 관능검사 .....	48
요 약 .....	51
참 고 문 헌 .....	53



## List of Figures

Fig. 1. Microbial count of <i>V. parahaemolyticus</i> in inoculated oyster treated with different pressures at 22°C for 10 min. ....	30
Fig. 2. Microbial count of <i>V. parahaemolyticus</i> in inoculated oyster treated with different times at 22°C/150 MPa. ....	31
Fig. 3. Microbial count of <i>V. parahaemolyticus</i> in inoculated oyster treated with different temperatures at 100 MPa. ....	33
Fig. 4. Microbial count of <i>E. coli</i> in inoculated oyster treated with different pressures at 22°C for 15 min. ....	35
Fig. 5. Microbial count of <i>E. coli</i> in inoculated oyster treated with different temperatures at 300 MPa. ....	36
Fig. 6. Microbial count of <i>E. coli</i> in inoculated oyster treated with different times at 10°C/350 MPa. ....	37
Fig. 7. Changes in total viable cell count during storage of raw oyster treated with high hydrostatic pressure at 350 MPa/15 min. ....	40
Fig. 8. Changes in psychrotrophic cell count during storage of raw oyster treated with high hydrostatic pressure at 350 MPa/15 min. ....	41
Fig. 9. Changes in lactic acid bacteria count during storage of raw oyster treated with high hydrostatic pressure at 350 MPa/15 min. ....	42
Fig. 10. Changes in pH of oyster meat during storage of raw oyster treated with high hydrostatic pressure at 350 MPa/15 min. ....	44

Fig. 11. Changes in pH of oyster liquor during storage of raw oyster treated with high hydrostatic pressure at 350 MPa/15 min. .... 45

Fig. 12. Changes in salt concentration of oyster liquor during storage of raw oyster treated with high hydrostatic pressure at 350 MPa/15 min. .... 46

Fig. 13. Changes in volatile basic nitrogen during storage of raw oyster treated with high hydrostatic pressure at 350 MPa/15 min. .... 47





## List of Tables

Table 1. Quality assessment scheme used to identify the quality index demerit scores .....	28
Table 2. Changes in Hunter L, a, and b values of raw oyster treated with high hydrostatic pressure at 350 MPa/15 min during storage at 10°C .....	48
Table 3. Demerit scores of raw oyster treated with high hydrostatic pressure at 10°C/350 MPa/15 min after storage for 4 and 8 days at 10°C ...	49



## Summary

Raw oyster(*Crassostrea gigas*) was inoculated with *Vibrio parahaemolyticus* and *Escherichia coli*, treated with high hydrostatic pressure(HHP) and evaluated for microbial counts. Cell death of *V. parahaemolyticus* increased with the increase of applied pressure. *V. parahaemolyticus* starting inoculum of  $3.8 \times 10^5$  CFU/mL was totally eliminated after exposure to 200 MPa for 10 min at 22°C. Viable cell of *V. parahaemolyticus* decreased with the increase in treatment time and dropped below the detection limit with treatment for 25 min at 22°C/150 MPa. The number of *V. parahaemolyticus* decreased with the decrease of applied temperature at the same treatment pressure and time. *V. parahaemolyticus* was killed by treatment of 0°C and 10°C for 20 and 25 min at 100 MPa, respectively. For *E. coli*, there was an initial lag up to 250 MPa followed by a rapid decline. Treatment at 325 MPa/22°C for 15 min caused 5-log reduction, while that at 375 MPa resulted in total reduction of starting inoculum of  $4.0 \times 10^7$  CFU/mL. Lower treatment temperature showed higher killing effect of *E. coli* at the same treatment pressure and time. Viable cell of *E. coli* decreased with the increase in treatment time, and 4-log reduction was achieved with treatment of 5 min at 10°C/350 MPa and then total reduction was achieved after treatment of 15 min. Higher pressure, lower temperature and longer time were more effective in sterilizing *V. parahaemolyticus* and *E. coli*.

Raw oysters were pressure-treated at 10°C and 22°C/350 MPa/15 min, and microbial counts and quality were measured during storage of 14 days at 10°C. Total viable cell count(TVCC) in untreated oyster was increased

greatly during storage from starting inoculum of  $1.6 \times 10^2$  CFU/mL, and reached to  $5.6 \times 10^4$  CFU/mL after 4 days of storage. TVCC of the pressure-treated was about  $10^1$  CFU/mL just after HHP treatment and increased slowly during storage, and only about  $10^3$  CFU/mL even after 7 days of storage. Lactic acid bacteria count(LABC) in the untreated was increased greatly during storage from starting inoculum of  $3.3 \times 10^3$  CFU/mL at 3 days of storage, and  $7.2 \times 10^4$  CFU/mL after 4 days of storage. LABC in the pressure-treated was detected only after 5 days of storage, and only about  $10^2$  CFU/mL after 8 days of storage. pH of the untreated was 6.19 and decreased gradually during storage, and 5.83 after 4 days of storage. pH of the pressure-treated showed little change during storage, and 6.07, 6.03 and 5.82 after storage of 4, 8 and 14 days, respectively. Volatile basic nitrogen(VBN) in the untreated was 16.8 mg%, and maintained almost the same value until 3 days of storage, and then increased suddenly, and 30.1 mg% after 4 days of storage. VBN of the pressure-treated stayed unchanged during storage, and about 20 and 23 mg% even after 4 and 8 days of storage, respectively. Hunter L, a and b values were increased until 2 days of storage and then showed no change during storage. Demerit score was the lowest in the thawed raw oyster, and then in the increasing order of the pressure treated(4 day and 8 day storage) and the untreated(4 day storage).

## I. 서 론

굴은 우리나라 모든 연안에 천연적으로 서식하고 있으나 그 생산량이 그리 많지 않고, 지금은 대부분이 연승 수하식으로 양식에 의하여 청정해역인 통영 부근 및 여수 가막만 해역에서 생산되고 있다. 2004년도 양식 굴의 연간 생산량은 25,690 M/T으로 그 중 14,660 M/T(76,641천불)(생굴: 2,222, 냉동굴: 7,010, 마른굴: 509, 통조림: 4,919 M/T)은 수출되고, 나머지는 국내에서 소비되는데 그 중 30%는 생굴로, 나머지는 냉동굴로 유통되고 있는 것으로 파악되고 있다(해양수산부, 2004a,b).

굴은 영양소의 보고로서, 영양분을 균형 있게 함유하고 있기 때문에 ‘바다의 우유’라 하여 우수한 영양식품으로 호평을 받고 있다. 굴 육질의 대략적인 성분 조성은 수분이 76.0%, 조단백이 11.6%, 조지방이 1.8%, 회분이 2.3%이고, 나머지는 glycogen으로서 5~8%에 이른다(Linehan 등, 1999). 또한 굴은 글리코겐, 철분, 타우린, 셀레늄, 카로테노이드, 아미노산, 비타민 등을 다양하게 함유하고 있는데, 이러한 물질들은 혈액을 생성하거나 생성된 혈액을 맑게 해주는 작용이 뛰어나며 항암성 등 생리활성을 지니고 있는 것으로 알려져 있다(Hur 등, 2002).

굴은 연체동물문(*phylum Mollusca*)에 속하며 해안 만에서 양식되고 있는 filter feeder이므로 해수에 산재해 있는 미생물이 내장 속에 쉽게 침투하여 농축되어 축적되는데, 그 중 대장균과 종속영양성 세균 중 90% 이상은 주로 소화기관에서 발견된다(Kueh과 Chan, 1985). 굴로부터 분리된 미생물에는 *Vibrio*, *Serratia*, *Pseudomonas*, *Proteus*, *Clostridium*, *Bacillus*, *Escherichia*, *Enterobacter*, *Lactobacillus*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*속 등이 있는데, 이들 미생물은 단순히 생굴을 물에 침지하는 것만으로 제거하기 어려우므로 공중보전에 위협 요소로 작용하고 있다(Jay, 1996).

*V. parahaemolyticus*와 *V. vulnificus*는 패혈증의 발병 원인과 관련이 있는데, 특히 *V. parahaemolyticus*는 인간 병원성 비브리오 종으로서 해양 환경에 널리 분포되어 있다(Hagen 등, 1994). 비브리오에 오염된 생굴을 섭취하여 패혈증이 발병한 사례가 보고되고 있어 굴의 섭취를 두렵게 만드는 요인이 되고 있다. 소비자들은 굴의 내장을 포함하여 통째로, 생체로 그리고 최소 가공해서 섭취하는 경우가 많은데, 굴 자체의 filtration system으로 인한 병원성 미생물의 내재 가능성 때문에 위생적인 면에서 항상 위험이 도사리고 있다.

굴의 부패에 관여하는 주요 미생물에는 그람음성 단백질 분해 균주로서 amine과 ammonia을 생산하는 *Pseudomonas* 및 *Vibrio*와, 그람양성 당질 분해 균주로서 pH를 감소시키는 *Lactobacillus*가 있다(Lopez-Caballero 등, 2000). 굴은 쉽게 변질되는 특성을 가지고 있어 냉장 조건에서도 저장수명이 짧다. 특히 육 조직이 다른 패류보다도 연약하여 소화 분해되기 쉬운 특징을 가지고 있어서 단백질의 이용효율이 높으나, 가공, 유통 중 부적절한 온도 조건으로 인하여 품질저하가 빨리 일어나는 단점이 있다. 또한 다른 가공품에 비하여 유통 중에 미생물 오염, 영양성분 파괴뿐만 아니라, 효소활성으로 인하여 맛, 색, 향 등의 손실이 초래되므로 유통기간이 짧을 뿐만 아니라 유통조건이 까다로워 소비자의 불만이 높은 제품이다.

우리나라에는 생굴의 유통기간에 대한 법적 규제가 없으나, 일본에서는 생굴의 유통기간을 10℃에서 4일로 규정하고 있다.

굴을 가열살균하면 저장기간을 연장시킬 수 있으나 가열처리에 따른 생굴 본래의 독특한 풍미와 조직감의 변질 때문에 바람직하지 않다. 그러므로 굴의 원래 품질을 유지하면서 병원성 미생물이나 부패성 미생물을 효과적으로 살균할 수 있는 새로운 가공 방법의 개발이 필요하다.

최근 초고압을 이용한 가공방법이 비열처리 가공방법으로서 주목을 받고 있는데, 이는 상온에서 미생물을 살균하고 효소를 불활성화 시키면서도 풍미, 조직감, 그리고 영양 성분의 변화를 최소화하여 원래 제품의 품질을 유지할

수 있기 때문이다(Styles 등, 1991; Berlin 등, 1999; Ohshima 등, 1993). 따라서 식품을 초고압으로 처리하면 위생적으로 안전성이 있으면서, 식품 원료 고유의 향, 모양, 조직감, 영양적 품질을 유지한 제품을 생산할 수 있는데(Smelt, 1998), 이는 압력처리가 열처리와는 달리 공유결합을 파괴하지 않으며 단백질의 1차 구조에 비교적 영향을 미치지 않기 때문이다.

미생물을 초고압으로 처리하면 세포의 형태나 내부 배열이 변화되는데, 이러한 예로는 세포질의 확대, 세포벽과 공극형성의 억제, 세포벽으로부터 세포막의 분리, 기체 액포의 수축, DNA와 리보솜의 재배열 등이 있는데, 이러한 현상 때문에 세포가 사멸하거나(Cheftel, 1995), key enzymes의 불활성화와 세포벽 투과성이 변화되어 미생물이 사멸된다고 보고하고 있다(Seyderhelm 등, 1996).

초고압 처리에 의한 미생물의 살균은 미생물 종류, 초기 미생물수, 처리압력, 처리온도, 처리시간 그리고 식품의 종류에 따라 다르게 영향을 미친다(Ohshima 등, 1993; Carlez 등, 1994). 생굴의 소비자들은 특히 고유의 향, 조직감, 영양적 품질을 중시하므로 초고압처리 방법을 굴의 가공에 적용하는 것은 커다란 의미가 있다.

지금까지 굴의 초고압 처리에 대한 연구는 주로 *Vibrio spp.*을 살균하는데 목적이 있었다. *Vibrio spp.*은 고압에 비교적 민감하여 상온/250~350 MPa에서 1~3분의 처리로 멸균되므로 대다수의 연구는 비교적 온화한 *Vibrio spp.*의 살균조건에서 굴을 초고압 처리하여 저장 중 품질변화를 살펴보았다(Patterson, 2005). 한편 *E. coli*는 이 보다 높은 초고압 처리조건에서 살균되는 것으로 알려져 있는데, 우리나라에서 양식하고 있는 굴은 육지에서 유입되는 하수에 의하여 오염될 가능성을 배제할 수 없으므로 *E. coli*의 살균도 중요하다. 따라서 적절한 초고압 살균방법으로 *V. parahaemolyticus* 이외에도 *E. coli*까지 살균될 수 있는 처리조건을 확립하고, 그 조건에서 처리한 굴의 저장 중 품질변화에 대한 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

따라서 본 연구에서는 *V. parahaemolyticus*와 *E. coli*를 접종한 생굴을

대상으로 초고압 처리조건을 달리하여 살균 효과를 검토하여 최적조건을 찾고, 그 조건에서 생굴을 처리하여 10℃ 저장 중 미생물수와 품질 변화를 측정하여 저장성 증진 효과를 검증하였다.

## II. 연구사

### 2.1. 고압 가공

21세기에 있어 소비자들은 첨가물을 사용하지 않고 신선한 맛을 유지하며 미생물로부터 안전한 저장성이 있는 높은 품질의 식품을 요구하고 있다. 이러한 요구를 맞춰줄 수 있는 잠재력을 가진 식품가공 기술의 하나가 고압 가공이다. 대부분의 식품은 가열 또는 비가열처리에 의해 일정 수준 이상의 저장성이 확보되도록 만들어지는데, 일반적으로 가열처리는 미생물의 생육을 억제할 수 있지만 식품 자체의 품질에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 이에 반해 최근 들어 더욱 주목받고 있는 비가열처리법으로서 고압가공은 식품의 품질에는 영향을 미치지 않으면서 부패 미생물을 살균할 수 있는 장점이 있다. 고압가공은 높은 정수압 가공(high hydrostatic pressure processing) 또는 초고압가공(ultra high pressure processing)으로 알려져 있으며, 식품에 존재하는 미생물을 사멸하기 위하여 900 MPa의 높은 압력을 이용하여 상온에서 처리한다 (Patterson, 2005).

식품가공 분야에서 이용되는 압력의 크기는 0.1 MPa 정도의 증류장치로부터 0.2 MPa 전후의 가압술, 0.3~0.5 MPa 정도의 레토르트 장치, 5 MPa 정도의 압출성형기, 7.5 MPa 이상의 초임계유체 추출장치, 100 MPa 정도의 균질기가 사용되고 있으나, 초고압 식품가공은 300~900 MPa 정도의 압력을 이용한다.

압력은 가압술의 경우 물의 비등점을 상승시킬 목적으로 이용되며, 초임계유체 추출의 경우 탄산가스를 유체로 만들기 위하여 이용되며, 압출성형기의 경우 압축의 목적으로 압력이 사용된다. 한편 초고압 식품가공은 압력 퍼텐셜을 이용하는 방법이며, 높은 정수압 하에서 나타나는 식품의 물리적 및 생화학적 변화를 이용하는 것이다(Hayashi, 1989).

압력(P)도 온도(T)처럼 하나의 에너지 양으로 존재하므로, 물질의 상태를



변화시키는 열역학적 인자로서 온도와 동일하게 이용될 수 있다. 따라서 압력처리에 의해서도 열처리에 의하여 얻어지는 효과를 기대할 수가 있다.

초고압의 일반적인 원리는 Le Chatelier 법칙에 따르며 압력이 미치는 영향은 다음과 같다. 첫째, 압력이 가해지면 분자형태나 화학반응의 변화와 같은 여러 가지 현상이 나타나며, 온도가 증가하면 부피가 증가하는 열처리와는 반대로 압력의 증가에 따라 부피가 감소하는 양상을 나타낸다. 둘째, 압력은 식품의 크기와 기하학적인 구조에 관계없이 순간적이면서 균일하게 전달된다(Smelt, 1998; Tamaoka 등, 1991).

상태변화 인자로서 열과 압력은 물질의 상태변화에 상반되게 작용한다. 일반적으로 가열에 의하여 체적, 분자간 거리, 미세구조의 혼란은 증가되지만, 가압에 의해서는 감소한다. 또한 고압처리에 의하여 공유결합의 절단 및 생성은 일어나지 않고 비공유결합만 영향을 받는다. 따라서 상온에서 열처리에 의하여 영양성분의 파괴, 이취의 발생, 향기성분의 변화가 야기되는 반면, 초고압 처리는 식품의 고유의 풍미를 유지할 수 있는 이점이 있다(Yen과 Lin, 1996).

식품가공에 압력을 이용하는 기술은 오래전부터 행하여져 왔다. 식품의 저장법으로 고압을 이용한 첫 번째 보고는 Hite(1899)가 하였다. 그는 상온에서 600 MPa의 압력으로 한시간 처리한 우유의 단맛이 더 오래 지속되었다고 보고 하였다. 또한 Hite 등(1914)은 압력은 과일의 저장성을 연장시키는 데는 성공적이었지만, 채소는 효과가 적다고 보고하였는데, 그 이유는 아포를 형성하는 세균은 압력처리에 의해서도 생존하며 산성 조건에서도 증식이 가능하였기 때문이었다. 지난 100여 년 동안 초고압 가공에 관한 많은 실험적 데이터가 나왔지만 1990년대 초까지는 상업적으로 식품을 대상으로 한 기술은 아니었다. 이러한 기술은 식품산업에 있어서 용기 안에서 거대한 압력을 연속적으로 발생시키거나 유지하는 문제를 포함하고 있었다. 그러나 지난 25년 동안 일상적으로 고분자, 세라믹, 인공 다이아몬드에 사용된 것을 바탕으로 고안한 특별한

고압 용기는 고압처리 식품의 생산을 가능하게 하였다.

## 2.2. 고압처리가 미생물에 미치는 영향

### 2.2.1. 미생물의 형태에 미치는 영향

대부분의 미생물은 약 20~30 MPa의 압력조건에서 생육이 가능하며, 일부 barophilic 미생물은 40~50 MPa 이상에서도 생육할 수 있다. 이에 비해 barophobic 미생물은 30~40 MPa 이상의 높은 압력에서 생육속도가 느려지거나 거의 생육할 수 없다. 0.1~50 MPa의 범위에서 생육하는 미생물을 eurybaric이라 하며, 50~200 MPa의 고압에서도 생존할 수 있으나 더 이상 증식하지 않는 미생물을 baroduric이라고 정의한다(Zobell, 1970). 초고압으로 처리한 미생물에서 발견할 수 있는 가장 큰 형태적 변화는 필라멘트의 형성으로 *E. coli*의 경우 27~40 MPa의 압력에서 매우 긴 필라멘트를 형성하는 성질을 나타내었다. 즉, 대기압에서 생육하였을 때 1~2  $\mu\text{m}$ 가 정상적인 길이인데 반해 40 MPa에서는 10~100  $\mu\text{m}$ 의 긴 필라멘트를 형성하였는데, 이때 고압에 의해 생성된 필라멘트는 정상적인 두께( $\sim 0.6 \mu\text{m}$ )의 분열되지 않은 단일 세포들(single unsegmented cells)의 연결체이다(Zobell과 Cobet, 1962). 또한 *Vibrio spp.*는 40 MPa로 처리하였을 때 대기압에서 성장한 종에 비해 길이가 5~8배인 필라멘트를 형성하였고, *Bacillus mycoides*는 약 27 MPa에서 2~3배 더 긴 세포를 형성하였으며, *Serratia marinorubra*는 60 MPa에서 약 200  $\mu\text{m}$ (정상적인 대기압에서는 0.6~1.5  $\mu\text{m}$ )의 매우 긴 필라멘트를 형성하였다. 이러한 압력에 의한 형태적 변화는 미생물의 종에 따라 다르며 같은 종이라도 세부 종 및 계통에 따라 달라질 수 있다. 한편 처리 압력이 달라도 *E. coli* 세포의 단위길이 당 생성되는 단백질의 양은 같으나, 정상적인 세포에 비해 고압 처리한 경우 세포질의 RNA 양은 증가하는 반면 DNA 양은 현저하게 감소하였다(Zobell, 1970). 대부분의 운동성 미생물은 20 MPa에서 flagella를 지니

는 반면 40 MPa에서는 없어지는데(Zobell, 1970), 일부 세균에서는 잃었던 운동성을 다시 복원하기도 한다(Kitching, 1957).

### 2.2.2. 미생물의 세포벽에 미치는 영향

세포벽은 일반적으로 미생물에서 압력의 손상을 받는 첫 번째 부위로 알려져 있다(Morita, 1975; Ulmer 등, 2000; Casadei 등, 2002). 세포벽의 물리적 손상의 증거는 압력에 의해 영향을 받은 세균 세포로부터 ATP의 방출 또는 UV 흡수되는 물질에 의해 붕괴되거나(Smelt 등, 1994), 건강한 세포벽에는 일반적으로 침투하지 않는 형광 염료인 propidium iodide의 흡수가 증가하는 것으로 나타났다(Benito 등, 1999).

정지기의 세포는 성장기의 세포보다 일반적으로 저항성이 강하다. Manas와 Mackey(2004)에 의하면 성장기의 세포는 초고압 처리로 세포벽의 비가역적인 손상을 받아 불활성화 된다. 반대로 정지기의 세포는 강한 세포질의 세포벽을 가지고 있어 압력처리에 더 잘 견딜 수 있다. 이러한 사실은 정지기의 세포에서는 보이지 않는 껍질의 변화가 성장기의 세포에서 보인다는 것에 근거를 두고 있다. 셀 껍질의 이런 물리적 동요는 세포 물질의 삼투압 반응의 감소와 RNA와 단백질의 감소를 포함한다. 고압 처리에 의한 세포막의 기능성의 감소에 관한 연구로서 Wouters 등(1998)은 250 MPa의 고압처리로 *Lactobacillus planetarium*의  $F_0F_1$  ATP 효소 활성이 감소하였다고 보고하였다.

### 2.2.3. 미생물의 셀 형태에 미치는 영향

세포벽은 세포막에 비하여 압력의 영향을 덜 받는데, 일반적으로 형태학적 변화가 없다는 것이 원핵생물과 저급 진핵생물에 대한 현미경 관찰로부터 판명되었으나 세포내부의 손상은 전자현미경에 의해 관찰되었다. Ritz 등(2001)은 citrate buffer에서 *Listeria monocytogenes*를 400 MPa, 10분 처리 후 세포 표면의 돌기자국(bud scars)을 주사현미경(SEM)을 사용하여 관찰하였다고 보고

하였다. Park 등(2001)도 *Lactobacillus viridescens*의 미세구조에 미치는 압력의 영향을 연구하였는데, 유기체의 세포벽 마디를 25℃, 400 MPa에서 10분간 처리하여 전자현미경으로 관찰한 결과 세포질 막과 세포벽 사이의 빈 동공 현상을 발견하였다.

### 2.3. 고압처리에 의한 미생물의 사멸

#### 2.3.1. 미생물의 사멸

일정 수준의 고압 처리는 미생물의 성장과 증식을 억제하지만 매우 높은 초고압은 완전히 불활성화 시킨다. 이러한 미생물의 증식 지연 및 사멸을 유발하는 한계압력(threshold pressure)은 미생물의 종류에 따라 다르다. 예를 들어 *E. coli*(ATCC 11303)는 10~50 MPa에서 성장과 증식이 지연되는데, 증식(생균수의 증가)이 성장(흡광도로 측정되는 균체량의 증가)에 비해 더 지연된다고 한다. 또한 *E. coli*는 20 MPa의 압력에서 배양할 때 온도가 증가함에 따라 성장속도도 증가하며, 30℃에서는 10~15시간, 40℃에서 5~10시간 만에 정지기에 도달하고, 40 MPa 이상에서는 유도기가 연장되며, 52.4 MPa에서는 더 이상 성장하지 않는다. 다만, 온도가 높을 때는 더 낮은 압력에서도 사멸될 수 있다고 한다(Zobell과 Cobet, 1962).

Metrick 등(1989)은 *Salmonella typhimurium* 7137과 *S. senftenberg* 775 W 균주의 내열성 및 내압성에 대해 비교 연구한 결과, *S. senftenberg*는 57.5℃에서 15분의 D값을 갖는 내열성 균주인데 반해 *S. typhimurium*은 동일 온도에서 D값이 3분임을 확인하였다. 또한 압력에 의한 불활성화 연구로서 인산염 완충액과 닭고기 함유 유아식에 현탁된 두 균주를 272 MPa, 23℃에서 가압처리 하였을 때 두 가지 모두 유아식보다 인산염 완충액에서 더욱 현저한 불활성화 효과가 나타났다. 한편 340 MPa에서는 초기에 생균수 감소가 일어난 후 점차 사멸속도가 감소하는 안정화 효과(stabilization effect) 또는 'tailing'이

나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 안정화 효과는 일부 소수의 미생물 군집이 나머지 대다수에 비해 압력에 대한 저항성이 더 크기 때문이거나 혹은 사멸속도가 상대적으로 매우 느리기 때문에 나타나는 현상으로 이해된다 (Hong 등, 1999). 이들 압력에 대해 저항성이 있는 미생물 군집을 따로 분리하여 배양시킨 후 다시 고압으로 처리한 결과, 원래 배양액이나 내압성 2차 배양액 간에 압력 효과는 차이가 없는 것으로 나타났다. 더욱이 유아식에 현탁한 세균은 초고압 처리 후 다시 복원되었지만 완충액의 세포는 복원되지 않았는데, 이는 유아식 자체가 완충액에 비해 영양성분을 더 많이 함유하기 때문에 세포 복원시 필요한 에너지를 쉽게 공급받을 수 있기도 하지만 한편으로는 이들 영양성분은 현탁된 미생물의 세부구조에도 영향을 미쳐 압력에 의한 세포의 손상 및 사멸 정도를 악화시키는 것으로 판단된다. 특히 세포막은 초고압에 의한 미생물 사멸을 좌우하는 핵심 부위이며, 그밖에도 amino acyl-tRNA와 ribosome 및 mRNA의 결합, 주요 세포내재 효소의 불활성화 등이 압력에 민감하게 영향을 받는다. 따라서 고압에 의한 미생물의 사멸작용은 세포의 불활성화에 관여하는 요인이 여러 가지라는 측면에서 열처리에 의한 미생물의 사멸과 유사하다.

*Listeria monocytogenes*와 *V. parahaemolyticus*에 대한 고압처리 효과를 Styles 등(1991)이 보고한 바 있다. *L. monocytogenes*는 우유에서, *V. parahaemolyticus*는 해산물에서 주로 발견되는 오염 미생물로서 이 두 균주를 각각 인산염 완충액과 모델 식품에 현탁하여 실험하였다. *L. monocytogenes*에 사용된 모델 식품은 초고온 순간살균(UHT) 우유와 생우유이었으며, *V. parahaemolyticus*에 대해서는 가열 살균한 조개국물을 사용하였다. 완충액에 현탁된 *L. monocytogenes*의 경우 238 MPa에서는 생균수의 변화가 거의 없었으나 272 MPa에서는 약 1 log cycle 정도 감소하였고, 305 MPa에서는 20분에 3 log cycle 감소하였으며 340 MPa에서는 10 CFU/mL 이하로 생균수가 감소하였다. 또한 우유를 균체 현탁액으로 사용했을 때는 어느 정도 압력에

대한 보호 작용이 확인되었으나 340 MPa의 압력에서 UHT 우유는 80분 내에, 생우유는 60분 내에 생균수가 6 log cycle 감소하였다. 한편, *V. parahaemolyticus*의 경우에는 170 MPa 이상의 압력에서 매우 급속하게 사멸되었는데, 완충액에 현탁된  $10^6$  CFU/mL 수준의 생균수는 170 MPa에서 30분 내에 6 log cycle 감소하였고, 조개국물에서는 170 MPa에서 10분, 136 MPa에서 30분, 102 MPa에서 40분 내에 6 log cycle이 감소하였다.

일반적으로 미생물의 압력에 대한 민감성(baro-sensitivity)은 효모와 곰팡이, 그람음성세균, 그람양성세균, 세균포자의 순서로 증가한다. 돈육 마쇄물에 *Bacillus cereus*, *Campylobacter jejuni*, *Candida utilis*, *E. coli*, *Micrococcus luteus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus faecalis*, *Yersinia enterocolitica* 등의 미생물을 접종한 후 300~600 MPa로 가압 처리한 결과, 포자를 형성하는 *B. cereus*를 제외한 모든 미생물이 10 CFU/g 이하로 사멸되었다(Shigehisa 등, 1991). 이때 돈육 마쇄물에서는 응고 및 탈색 현상이 발견되었는데, 300 MPa 이상 가압시 응고물은 더욱 흰색을 띠며 단단해졌다고 한다. *E. coli*의 경우 400 MPa로 가압하였을 때 생육이 억제되어 400 MPa 이상에서 10분간 가압처리시 6 log CFU/mL 이상 사멸되었으나, *B. cereus*는 600 MPa로 가압하여도 살균효과가 1 log CFU/mL에 못 미치는 것을 알 수 있었다. 한편 이러한 초고압 처리는 미생물 세포막에 손상을 일으킴으로써 UV 흡수물질(약 260 nm에서의 흡광)을 유출시키는데 처리 압력이 증가할수록 유출량도 증가하였다.

### 2.3.2. 세균포자의 사멸

미생물의 압력에 대한 반응은 다양하다. 세균의 포자는 방사선 조사나 열과 같은 물리적 처리에 강한 저항성을 갖는 것과 같이, 1000 MPa 이상에서도 생존할 수 있으며 강한 저항성을 갖는다. 이는 종, 포자의 종류에 따라 다르며

같은 종에서도 계통에 따라 확연한 차이가 있다. *Clostridium botulinum* 포자는 압력저항성이 가장 강하며, 특히 비단백 가수분해형 B가 가장 강하다 (Reddy 등, 1999). 그러나 상대적으로 낮은 압력(200 MPa 이하)으로는 포자 발아를 유도 할 수 있다(Gould와 Sale, 1970). 이로부터 포자는 두 단계의 압력을 이용하여 사멸할 수 있다는 것을 암시한다. 즉 첫 단계에서는 낮은 압력의 처리로 포자를 발아 시키고, 두 번째 단계에서 높은 압력으로 발아된 포자를 사멸시키는 것이다. 이 공정은 포자 저항성의 문제를 극복하기 위하여 낮은 압력과 높은 압력 사이에서 압력의 순환이 계속적으로 몇 번 반복되어야 한다. 그러나 불활성화의 정도가 매우 변하기 쉬우며(Heinz와 Knorr, 2001), 각 포자 집단의 작은 부분은 압력 유도 발아에 저항성을 가지고 있는 것으로 보였다(Gould, 1973).

세균 포자의 압력 저항성에 대한 다른 접근 방법은 높은 온도와 압력을 조합하는 것이다. 이 접근법은 저장성이 좋은 식품의 상업적인 생산에 적극적으로 고려되고 있으며, pH가 4.5보다 높은 식품의 상업적 살균을 성취하기 위해 고안된 많은 특허의 주제이기도 하다.

고압으로 처리하는 동안 일의 압축으로 발생한 단열 가열은 식품의 온도를 상승하게 한다. 온도 증가의 정도는 식품의 성분에 따라 다양하지만 일반적으로 3~9°C/100 MPa이다. 전체적인 처리 조건은 전통적인 레토르트에 비하여 심하지 않으므로 제품의 저장 수명을 연장시킬 수 있음은 물론 전통적인 공정에 비하여 조직, 향미, 영양소가 유지된 높은 품질을 가진다(Master 등, 2004).

식품 가공 및 저장에 있어서 가장 어려운 공정 중 하나가 바로 세균 포자의 살균이다. 물론 레토르트와 같은 가열공정에 의해 포자의 살균이 가능하기는 하지만, 잘 알려진 바와 같이 이러한 고온의 열처리는 식품의 품질 자체에도 좋지 않은 영향을 미치기 때문에 바람직하다고 볼 수 없다.

포자의 살균이라는 측면에서 온도와 압력의 상관관계는 다소 복잡한 양상을 나타낸다. Johnson과 Zobell(1949)의 보고에 따르면 초기 균체농도  $8 \times 10^4$

CFU/mL인 *B. subtilis* 포자를 93.6°C, 0.1 MPa에서 1시간 동안 가열처리했을 때 불활성화 되었으나, 같은 온도에서 압력을 60 MPa로 증가시켰을 경우 동일 수준으로 포자를 불활성화 시키는 데는 약 4시간이 소요되었다고 한다. 그러나 저온에서는 압력이 증가할수록 사멸속도가 증가하여, 25°C에서 60 MPa로 처리한 경우 48시간 후에는 초기의 10% 이하로 포자의 생균수가 감소하였다. 이에 반해 Sale 등(1970)도 100~800 MPa의 압력에서 *Bacillus spp.* 포자의 불활성화를 연구하였는데, 포자의 사멸속도는 상대적으로 저압(100~300 MPa)에서 더 크게 나타났으며 동일 압력범위에서 온도를 70°C로 증가시키면 사멸속도가 향상된다고 하였다. 한편 Gould와 Sale(1970)에 의하면 수백 기압 수준의 압력은 포자를 발아시킬 수 있으나 사멸시키기에는 부족하며, 100 MPa 이상에서 발아된 포자는 저압에서 발아된 포자와 비교하였을 때 열에 의한 영향을 더 적게 받는다고 하였다.

고압에 의한 포자의 사멸효과는 온도에 의해 크게 좌우되며, 그 밖에 pH, 수분활성도, 이온강도 등에 의해서도 영향을 받는다. 포자를 발아시키기 위한 최적 온도는 처리 압력에 따라 달라진다. pH의 경우 중성 부근일 때 압력에 의한 포자의 발아가 활발히 시작된다. 수분활성이 낮은 상태에서 비이온성 용질은 포자의 불활성화에 거의 영향을 미치지 않으나 이온성 용질인 NaCl, 특히 CaCl<sub>2</sub>는 압력에 의한 포자의 불활성화를 억제한다(Sale 등, 1970). 한편 대부분의 포자는 무기질 이온이 없으면 고압 처리를 하여도 발아되지 않는데, 이는 이온성분이 발아과정 중 peptidoglycan의 효소 분해반응에 영향을 미치기 때문이다. 포자가 발아될 때 영향을 미치는 이온의 순서는 H>K>Ca, Mg, Na로서(Bender와 Marquis, 1982), 실제로 이들 이온성분은 동일한 압력 및 온도 조건일 경우 증류수에 현탁한 것에 비해 완충액에 현탁한 포자의 내열성 소실을 더욱 증가시키는 효과가 있다(Clouston과 Wills, 1969).

캔 우유제품에서 발견되는 내열성 포자의 경우 실제 공장에서는 121°C에서 20분간 가열처리하여 살균되지만 이러한 열처리는 색 변화 및 카제인의 응고



를 유발하여 전체적인 제품의 품질을 저하시킨다. 따라서 가열과 고압으로 적절히 병용 처리할 경우 제품의 품질을 최대한 보존하면서도 효과적인 살균이 가능하다. 내열성 포자인 *Clostridium thermoaceticum*은 열 봉합과정을 거친 캔 커피 음료제품에서 맛있는 신맛을 나게 하는데, 이 포자는 20℃에서 20~60분간 400~100 MPa로 가압 처리하여도 사멸되지 않지만, 60℃에서 60분의 열처리와 병행하면  $10^0$  CFU/mL 이하로 포자수를 현저하게 줄일 수 있었다. 또한 이러한 열과 고압의 병용처리 효과는 *B. stearothermophilus*의 불활성화에서도 확인할 수 있었다(Hayakawa 등, 1994).

### 2.3.3. 영양세포의 사멸

일반적으로 그람양성세균은 그람음성세균에 비하여 압력 저항성이 더 크며 구균이 간균보다 저항성이 큰 경향이 있다. 이것은 그람음성세균의 세포벽이 복잡하여 압력에 의한 환경적 변화에 영향을 받기 쉽기 때문인 것으로 추정된다(Shigehisa 등, 1991). 그러나 이런 규칙에는 예외가 있다. 예를 들어 *E. coli* O157:H7의 어떤 종은 압력의 저항성이 예외일 수 있다. Benito 등(1999)의 보고에 의하면 hamburger patty에서 분리된 *E. coli* O157:H7 속은 45℃, 500 MPa, 30분 처리하였을 때 1 log cycle 보다 덜 감소하였다. 이 종은 압력에 민감한 다른 종에 비하여 열, 산, 산화, 삼투압에도 저항성이 강하다. 그러나 *Salmonella*와 같은 병원균은 저항성이 약하다(Sherry 등, 2004).

### 2.3.4. 효모와 곰팡이의 사멸

효모는 일반적으로 식중독과는 관계가 없지만 특히 산성식품의 오염에 중요하다. 효모는 압력에 매우 민감한데 그 근거의 하나로 과일 제품의 저장성을 연장시키기 위해 압력처리를 하면 효과가 크기 때문이다. 곰팡이의 압력 민감도에 대한 연구는 적지만 영양 세포는 압력에 민감한 반면, 자낭포자는 더 저항력이 있다(Voldrich 등, 2004). 이미 형성된 mycotoxin에 대한 압력의

영향은 고압처리가 공유결합에 미치는 영향이 적기 때문에 제한적이다. 사과 주스에 함유된 patilin 함량은 20℃에서 압력을 300, 500, 800 MPa로 달리하여 한시간 처리한 후 42, 53, 62%까지 감소하였다.

### 2.3.5. Virus와 prions의 사멸

다른 미생물과 비교하여 압력에 의한 virus의 영향은 상당히 다양함을 보인다. 조직 배양 배지에서 *Polio virus*는 21℃, 450 MPa, 5분의 처리에 저항성을 보였으며, 플라그 형성 단위(plaque forming units, PFU)의 감소도 가져오지 않았다. 같은 처리 조건에서 hepatitis A는 6 log cycle의 stock culture를 검출되지 않는 수준까지 감소시켰다(Kingsley 등, 2002). 그러나 바닷물에서의 처리는 hepatitis A virus의 압력 저항성을 증가시켰는데, 이는 소금의 방어 효과 때문으로 추정된다. Norwalk virus의 대리역할을 하는 Felin calicivirus(Kingsley 등, 2002)와 human rota virus(Khadre와 Yousef, 2002)를 조직 배양배지에서 처리했을 때 hepatitis A virus보다 압력에 더 민감하였다. 또한 HIV-1은 조직 배양배지에서 25℃, 400~600 MPa, 10분 처리하였을 때 4~5 log cycle의 감소를 가져와 압력에 비례하여 민감하지만 다른 종들은 압력저항성이 다르다고 보고하였다(Otake 등, 1997).

고압이 prion에 어느 정도의 영향력이 있다는 연구가 있다. Garcia 등(2004)은 hamster를 감염시키기 위하여 scrapie 종 263을 hamster에 적용시켰다. 60℃, 700 MPa, 2시간의 처리로 prion이 동물에서의 생존율이 상당히 감소되었다.

## 2.4. 고압처리시 미생물 감수성에 영향을 미치는 외부 요인

### 2.4.1. 기질의 영향

기질의 화학적 조성은 처리하는 동안 압력에 대한 미생물의 반응에 상당한

영향을 줄 수 있다. 특히 단백질, 탄수화물, 지질과 같은 식품 성분은 보호효과를 갖는다(Simpson과 Gilmour, 1997). 완충용액이나 실험실에서 배지를 사용하여 얻어진 불활성화 데이터는 실제 식품에 적용시킬 수 없기 때문에 같은 수준의 불활성화를 이루기 위해서는 더 높은 압력이 요구되어 진다. 예를 들어 *E. coli* O157:H7은 phosphate buffer(pH 7.0)에서 20℃, 375 MPa, 30분 처리로 6 log cycle 감소되었지만 같은 조건에서 가금류 육에서는 2.5 log cycle, 우유에서는 1.75 log cycle만이 감소되었다(Patterson 등, 1995). Ca<sup>2+</sup>와 같은 양이온은 baroprotective 할 수 있는데 이는 우유와 같은 식품의 미생물들이 압력에 강한 저항성을 나타내는 것으로부터 설명되어 질 수 있다(Hauben 등, 1998). 낮은 수분활성도도 압력의 영향에 대하여 미생물을 보호하는데, Oxen과 Knorr(1993)는 배지의 수분 활성도를 0.98~1.00에서 0.94~0.96으로 떨어뜨려 *Rhodotorula ruba*를 25℃에서 200~400 MPa로 15분간 처리했을 때 생존율이 더 좋았다고 보고하였다. 같은 수분활성도에서 세포는 단당류와 이당류보다 glycerol에서 압력에 더 민감하였다. Trehalose는 가장 강한 보호 작용을 준다고 보고하고 있다(Smelt, 1998). 압력이 증가함에 따라 산성용액의 pH는 감소하며 사과주스에서는 100 MPa당 0.2U 떨어지는 것으로 보고하고 있다(Heremans, 1995).

압력을 방출했을 때 pH가 원래의 값으로 돌아가는데 이러한 pH의 급작스런 변화가 압력 효과에 첨가되어 미생물 생존에 영향을 미치는 지는 밝혀져 있지 않다. pH와 압력은 미생물의 불활성화를 증가시키는 상승제로 작용하는 것으로 알려져 있다.

Liston 등(1999)은 초기 pH는 오렌지 주스의 *E. coli* O157:H7의 불활성화 속도에 상당한 영향을 미친다고 보고하고 있다. pH가 낮아질수록 세포의 압력에 의한 불활성화가 쉬워지며 치사량에 가깝게 손상 받은 세포는 회복이 불가능하며 주스의 저장 동안에 더 빨리 사멸한다고 보고하였다.

식품 첨가제는 미생물의 압력 저항성에 다양한 영향을 미칠 수 있다. 압력

처리시에 그람음성세균인 *Salmonella* 뿐만 아니라 그람양성세균인 *L. monocytogenes*가 nisin과 lysozyme에 민감하기 때문에 사용한다 (Kalchayanand 등, 1998). 압력과 nisin의 조합은 cheese의 *B. cereus* 포자의 불활성화를 증가시키기 위하여 사용되고 있다(Lopez-Pedemonte 등, 2003).

#### 2.4.2. 온도의 영향

압력처리 동안 온도는 미생물 사멸에 중요한 영향을 미친다. 20℃ 이하나 이상의 온도에서 미생물의 불활성화가 촉진되었다(Takahashi 등, 1992). 70℃ 이상의 높은 온도는 압력에 의한 살균을 도와준다. 50℃ 까지의 온도와 압력의 조합은 압력에 대한 저항성을 갖는 영양세포를 사멸하는데 이용하도록 제안되고 있다. Patterson과 Kilpatrick(1998)은 400 MPa, 50℃, 15분 처리로 압력 저항성을 갖는 *E. coli* O157:H7을 마쇄한 가금육에서 약 6 log cycle, 우유에서는 5 log cycle 불활성화 시켰다고 보고하였다. 압력 또는 온도 단독으로 이 정도의 불활성화는 불가능하다. 냉장온도 또한 압력 불활성화를 향상시킬 수 있다.



#### 2.5. 고압처리에 의한 단백질의 변성

단백질 수용액을 가열하면 분자운동이 심해져 약한 비공유결합을 파괴하므로 붕괴되어 변성한다. 반면 단백질 수용액을 가압하여 압축하면 분자간 거리, 체적, 구조의 흐트러짐, 엔트로피 등이 가열과는 반대로 감소되어 응고하게 된다(Seyderhelm 등, 1996).

단백질 수용액에 압력을 가하면 Le Chatelier 법칙에 따라 물도 단백질도 구조변화를 일으켜 수용액 전체의 체적이 감소하게 되어 구조가 뽁뽁하게 된다. 먼저 수분 한 분자간 거리의 감소와 단백질 분자가 구상상태로 체적 감소에 의한 충전효과(packing)가 나타난다. 물분자도 분자간의 거리가 줄어든다. 물 분자의 체적은 자유수로 존재할 때 보다 단백질의 아미노산

측쇄(side chain)의 주변에 위치하였을 때 충전효과에 의한 체적감소가 더 크다. 단백질의 압력변성은 계 전체의 체적감소에 따라 수중에서 단백질의 비공유결합(소수성결합, 이온결합, 수소결합이)이 자발적으로 변화하며 나아가서는 4차, 3차, 2차 구조가 붕괴하는 과정을 거치게 되는데, 이러한 변성은 단백질 내부의 아미노산 측쇄가 수중에 노출되어 여기에 물이 결합함으로써 발생하는 충전에 의한 체적감소 효과보다 훨씬 더 체적이 감소한다(Hayashi, 1989).

단백질뿐만 아니라 비공유결합에 의하여 전체구조를 형성하는 생체고분자는 고압의 영향을 받는다. 따라서 핵산, 다당류, 전분, 지질, 지질-단백질 복합체(세포벽) 등도 입체구조가 붕괴되어 기능을 상실한다(Messens 등, 1997). 열처리가 공유결합뿐만 아니라 비공유결합에도 영향을 미치는 것과는 반대로, 상온에서의 고압처리는 단지 약한 화학적 결합인 수소결합, 소수성결합, 이온결합을 파괴할 뿐이다. 단백질 구조의 변화는 식품 단백질의 기능적 특성변화를 초래하므로, 초고압처리에 의하여 특유한 조직과 맛을 갖는 새로운 제품의 개발도 가능하다고 할 수 있다(Seyderhelm 등, 1996).



## 2.6. 고압처리에 의한 효소의 불활성화

효소불활성화를 유도하는 인자는 분자내 구조의 수정 및 활성부위 형태의 변형이다(Suzuki와 Suzuki, 1962). 고압 하에서 효소 불활성화는 pH, 기질의 농도, 효소의 subunit 구조에 의하여 영향을 받는다(Laidler, 1951). 이러한 효소반응은 압력에 의하여 가속화 또는 비가속화되기도 하며, 효소촉매반응의 반응체적의 변화에 의존한다(Morild, 1981). 이러한 영향으로 압력처리에 의하여 효소는 불활성화 되거나 반대로 활성이 증가하기도 하며 미생물을 사멸시키는 압력에 비하여 더 높은 압력을 필요로 하기도 한다.

식품에 있어서 압력처리효과는 완충용액에서와는 다르며, Seyderhelm 등(1996)은 설탕은 압력에 의한 pectinesterase의 불활성화를 보호하는 것으로

보아, 식품성분이 효소활성에 영향을 미칠 수 있다고 보고하였다. Peroxidase는 blanching의 유효성을 나타내는 지표로서, 완전 불활성화를 위해서는 장시간의 가열을 필요로 하며, 60°C/600 MPa/30분의 처리로 90%의 효소활성이 잔존하였다. 그러나 pH를 7에서 9로 변화시켰을 때 효소활성이 50%가 감소하여 알칼리 pH와 온도 상승의 조합으로 peroxidase의 불활성화를 유도할 수 있다. 고압처리기술을 효소의 불활성화에 이용하여 자몽주스의 쓴맛을 제거할 수 있는데, 120~400 MPa로 고압 처리하여 쓴맛 성분인 limonin의 생성을 방지할 수 있었다(Yuki 등, 1993).

단백질의 변성은 구조의 변화와 관련이 있으므로, 초고압처리에 의하여 효소 및 미생물의 기능성을 변화시킬 수 있다고 추정할 수 있는데, 상온에서 300 MPa 이상의 압력처리는 비가역적인 단백질 변성을 일으키는 반면, 낮은 압력에서는 단백질 구조의 가역적인 변화를 가져온다고 알려져 있다. 따라서 효소를 완전히 불활성화 시키기 위해서는 단백질의 가역반응을 방지할 수 있어야 하는데, 비가역적인 효소 불활성화는 비교적 높은 압력의 처리조건을 필요로 한다.



## 2.7. 고압처리에 의한 식품의 살균

식품에 대한 고압살균효과는 오래 전부터 가능성 있는 저장기술로 알려져 왔는데, 1899년 Hite가 우유를 690 MPa, 10분 처리하였을 때 우유속의 미생물이 감소하였다고 최초로 보고하였다. Horie 등(1991)은 가압 가공된 과실 잼을 개발하였고 1991년에 일본에서 상업적으로 시판하기 시작하였다. 특히 400 MPa 정도의 압력으로 5분간 처리는 특히 효모와 곰팡이의 상당한 미생물수의 감소를 가져왔다. 효모 (*Saccharomyces cerevisiae*와 *Zygosaccharomyces rouxii*) 뿐만 아니라 세균(*Staphylococcus spp.*, *Salmonella spp.*)과 대장균 까지도 살균되었다고 보고하고 있다. 또한 영양학적으로 볼 때 가압 가공된 딸기 잼은 신선한 초기의 딸기 잼에 비하여

95%의 비타민을 함유하고 있다. 과일 쥘을 상온에서 가공 처리한 후 냉장은 효소활성에 의한 갈변과 색변화 때문에 필수적이었다. 초고압 처리한 제품의 수명은 약 30일이었으며 전통적 방식에 의해 제조된 것과 비교하면 뛰어난 품질을 가졌다(Ludikhuzye와 Hendrickx, 2001).

Parish(1998)는 무처리 Hamulin orange juice(pH 3.7)에 초고압을 적용한 결과, *S. cerevisiae*의 자낭포자를 350~500 MPa로 가압시 D-value는 4~76초이었고, *S. cerevisiae* 영양세균의 D-value는 1~38초이었다. 파인애플 slice는 340 MPa, 15분 처리에 의하여 저장성은 연장되었는데, 과실의 효모나 영양세균의 사멸은 과실 자체의 pH 때문에 더 효과적이었다(Aleman 등, 1994). Yukizaki(1994)는 비브리오 속 3종(*V. parahaemolyticus*, *V. cholera*, *V. mimicus*)을 성계에 접종하여 0℃에서 10분 고압 처리한 결과 200~300 MPa에서 균수가 급격히 감소되었다고 하였다.

미생물에 대한 압력의 영향은 가압의 정도는 물론 생육단계 배지의 조성, pH 등에 따라 다르다. 즉 동일한 균에 있어서도 주변의 환경에 따라 살균조건이 달라지므로, 식품과 같은 복잡한 계의 살균에는 고려해야 할 사항이 대단히 많다. 일반적으로 pH 4.6 이하의 산성식품의 보존에 초고압처리 가공기술의 응용은 매우 효과가 좋으며(Lechowich, 1993), 설탕 등의 당류는 압력에 대한 보호 작용을 한다(Delfini 등, 1995). 따라서 어육과 같은 중성식품과 저산성 식품(pH>4.6)의 살균은 거의 대부분 압력과 온도를 병행하고 있으며 이에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.

과일 주스는 일반적으로 압력은 400 MPa 보다 높게, 온도는 20℃ 보다 낮은 온도에서 몇 분간 처리하여 효모와 곰팡이의 수를 현저히 감소시킬 수 있었으며, 저장기간을 30일까지 연장할 수 있었다. *E. coli* O157:H7과 같은 병원균도 이러한 처리조건에서 사멸되었다(Liston 등, 1999). 오렌지 주스와 포도 주스의 압력처리는 프랑스에서 1994년부터 실시하였고 이탈리아에서는 사과 주스에 이용되고 있다.

채소 가공에 있어 고압처리 효과는 크지 않았는데, 이는 채소의 높은 pH는 아포 미생물을 형성하는 병원성 미생물의 생존과 증식의 가능성을 가져오기 때문이다. 초고압 처리 식품 중 guacamole(아보카도를 으깨어 토마토·양파·양념을 더한 멕시코 소스·샐러드)의 시장점유율은 상승하고 있는데, 이는 소비자들의 전통적인 열처리와 냉동에 비하여 신선한 풍미가 좋다는 소비자들의 선호에 기인하고 있는 것으로 보고하고 있다. 처리는 약 500 MPa에서 2분간의 처리로 냉장저장온도에서 저장기간을 7일에서 30일 까지 연장시킬 수 있었다. 다양한 병원균에 관한 연구에서, 이 처리 조건은 5 log cycle의 감소가 충분하다고 보고하고 있으며(Parnell, 2003), 이 공정은 미국 식품의약품안전청(US FDA)의 승인을 받았다.

유연한 봉지에 담겨 있는 얇게 썬 햄이나 육고기의 조제식품은 500 MPa에서 몇 분간의 조건으로 성공적으로 처리되었다. 햄의 관능적 품질은 유지되었고 저장 수명은 냉장 유통 하에 60일 까지 연장 할 수 있었다. 조리된 조제식품은 가공 후 *L. monocytogenes*와 같은 병원균의 감염 위험을 갖고 있다. 포장 후 저장의 마지막 단계에서의 초고압처리는 부가적으로 미생물 안전을 보증할 수 있다. 500 MPa의 압력처리는 육포(dry-cured ham)의 *L. monocytogenes*를 5 log cycle 감소시킬 수 있었다(Minerich와 Krug, 2003).

미국에서 상업적으로 성공한 초고압 식품의 다른 하나는 굴이다. 처음 초고압 처리 목적은 생굴의 *Vibrio* 속을 제거하는 것이었다. *Vibrio* 속은 종에 따라 약간의 차이가 있으나 압력에 민감하였다(Cook, 2003). 상온, 250~350 MPa, 1~3분 처리는 상업적으로 관능적 품질에 특별한 영향이 없는 전형적인 처리조건이었다. 굴의 초고압처리의 또 하나의 장점은 물리적 탈각 효과로 껍데기로부터 패각근이 분리되는 것이다(He 등, 2002). 먹을 수 있을 때까지 껍질이 단혀 있도록 하기 위하여 열가소성의 플라스틱 밴드를 가공전 각각의 굴에 장착하였다. 압력은 홍합, 대게의 탈각에 성공적 일뿐만 아니라 미생물학적 품질을 향상시키며, 이 기술은 이런 목적을 위하여 널리 이용되고 있다. 또한



고압처리는 갑각류 이외의 생선의 미생물학적 안전성뿐만 아니라 surimi를 포함한 새로운 범주의 가공식품 생산을 위한 기술로서의 관심이 증가하고 있다 (Lakshmanan과 Dalgaard, 2004).

우유와 낙농제품의 미생물학적 안전성과 품질을 향상하기 위한 압력처리는 Hite(1899)의 연구 이래 계속 관심을 받고 있다. 그러나 이 기술은 상업적으로 틈새시장에 사용된다면 현재의 일상적인 가열제품 보다는 상업적 이득을 가져올 수 있다. 예를 들어 우유를 초고압 처리하여 생우유 치즈의 제조에 사용하면 *L. monocytogenes*와 같은 병원성 미생물의 감소를 가져올 수 있다. 그러나 *E. coli* O157:H7과 같은 병원성 미생물은 우유의 초고압 처리에 내성을 지닌 것으로 알려져 있다(Patterson 등, 1995). 요구르트의 고압처리도 연구되어지고 있는데, Tanaka와 Hatanaka(1992)는 요구르트의 저장 중 생기는 산생성을 방지하기 위해 초고압처리는 효과가 있다고 보고하고 있다. 상온에서 200~300 MPa, 10분 처리로 저장 중 유산균의 성장을 억제시킬 수 있었으며 요구르트의 품질 또한 유지되었다고 보고하였다.

초고압처리 식품의 판매가 매년 증가하고 있다. 최근 완전한 식사 세트가 미국에서 판매되고 있는데, 이 세트는 조리된 초고압처리 고기 또는 닭고기, salsa, guacamole, 후추, 양파로 구성되어 있다. 이 제품은 냉장온도에서 적어도 30일 저장성이 있으며, 간단히 microwave로 가열하여 먹을 수 있다.

### Ⅲ. 재료 및 방법

#### 3.1. 굴

굴(*Crassostrea gigas*)은 경남 통영의 한산만 소재 양식장에서 채취하여 탈각한 것(체장  $7.2 \pm 0.5$  cm, 체중  $10.5 \pm 2.5$  g)을 2004년 12월에 구입한 후  $-20^\circ\text{C}$ 에 저장하면서 사용하였다.

#### 3.2. 사용 균주 및 배지

본 연구에서 사용한 균주로서 *V. parahaemolyticus*(ATCC 17802)와 *E. coli*(ATCC 8739)는 한국과학기술연구원 생명공학연구원에서 분양받아 사용하였다. 균의 생육배지로서 *V. parahaemolyticus*는 tryptic soy agar(Difco, USA)에 2% NaCl을 첨가하여 사용하였으며, *E. coli*는 EC media(Difco, USA)와 한천을 사용하여 각각  $35^\circ\text{C}$  항온배양기에서 18시간 배양하였다.

#### 3.3. *V. parahaemolyticus*와 *E. coli*의 접종 및 배양 방법

멸균된 폴리프로필렌 병에 생굴 100 g과 멸균인공해수 50 mL를 가하고, stock culture 1 백금이를 액체배지에 접종한 후  $35^\circ\text{C}$ 에서 18시간 배양한 균액 1 mL를 가하여  $30^\circ\text{C}$  항온배양기에서 *V. parahaemolyticus*는 24시간, *E. coli*는 18시간 배양하여 사용하였다. 인공해수의 조성은 400 mM NaCl, 100 mM  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 20 mM KCl, 20 mM  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 와 같았다(Berlin 등, 1999).

#### 3.4. 초고압 처리 및 저장실험

*V. parahaemolyticus* 또는 *E. coli*를 배양한 굴이 들어 있는 폴리프로필렌 병을 초고압 장치(MFP-7000, Mitsubishi, Japan)의 고압 용기(55 x 5.1 cm)에 넣고 초고압 처리하였는데, 이 때 압력 매체로 증류수를 사용하였다. *V. parahaemolyticus*가 배양된 굴의 초고압처리는 온도 0, 10,  $22^\circ\text{C}$ , 압력 100~300 MPa, 시간 5~30분에서, *E. coli*가 배양된 굴의 초고압처리는 온도 0, 10,

22℃, 압력 150~400 MPa, 시간 5~45분에서 실시하였다. 압력 상승속도는 초당 2.5 MPa이었고, 감압에 걸리는 시간은 15초였다.

저장성 실험을 위한 굴의 초고압 처리조건은 상온(22℃)/350 MPa/15분과 10℃/350 MPa/15분이었다. 무처리 시료와 초고압 처리한 시료는 10℃에서 14일간 저장하면서 미생물수와 품질변화를 측정하였다.

### 3.5. 미생물 균수 측정

#### 3.5.1. *V. parahaemolyticus*와 *E. coli*의 균수

굴을 멸균된 비닐팩에 담고 멸균인공해수 50 mL을 가하여 Bag Mixer(model 400, Interscience, France)에서 6 strokes/초의 속도로 5분 동안 분쇄한 후, 일정 비율로 연속적으로 희석하여 균수 측정용 시료로 사용하였다. *V. parahaemolyticus*는 2% NaCl을 가한 TCBS(Difco, USA)를, *E. coli*는 EC agar(Difco, USA)를 각각 배지로 사용하였고, 희석액 0.1 mL를 평판도말하고 35℃에서 24시간 배양한 후 생균수를 계수하였다.

#### 3.5.2. 총세균수, 저온세균수 및 젖산균수

굴 중의 미생물은 표준평판배양법(한국식품공업협회, 2000)으로 총세균수, 저온세균수, 젖산균수를 측정하였다. 총세균과 저온세균은 표준한천배지에서 각각 35℃와 25℃에서 48시간 배양하였다. 젖산균은 0.133%의 초산을 가하여 최종 pH를 5.5로 조정된 Rogosa SL agar 배지에서 37℃/72시간 배양한 후 집락수 30~300개인 평판을 택하여 집락수를 측정하고 희석배수를 곱하여 단위 부피당 미생물수를 산출하였다. 3회 반복 측정하여 평균하였다.

### 3.6. 품질 측정

#### 3.6.1. 굴과 침수의 pH

분쇄한 굴 10 g에 100 mL의 증류수를 가한 후 혼합하여 BagMixer(model

400, Interscience, France)에서 6 strokes/초의 속도로 3분 동안 분쇄한 후 pH 미터(Corning, NY, USA)로 측정하였다.

### 3.6.2. 침수의 염분농도

침수의 염분농도는 Mohr 법으로 측정하였다. 즉 침수 1 mL에 증류수 약 20 mL를 가한 다음 5%  $K_2CrO_4$  3방울을 가한 후 0.1 N  $AgNO_3$  용액으로 적정하여 옅은 분홍색이 되는 점을 종말점으로 하였다.

### 3.6.3. 휘발성 염기질소

굴 5 g를 원심분리관에 취하여 증류수 25 mL와 20% TCA 5 mL을 가한 후 3,000 rpm에서 20분간 원심분리시켰다. 상등액을 여과지(Toyo No. 5A)로 여과한 후 2% TCA로 50 mL 정용하여 시료로 사용하였다. Conway 미량확산용기 내실에 붕산흡수제 1 mL를 가하고, 외실에 포화  $K_2CO_3$  1 mL와 시료 1 mL를 가한 후 즉시 덮개를 덮어 클립으로 고정하였다. 미량확산용기를 전후좌우로 기울이면서 회전하여 외실에 있는 시료와  $K_2CO_3$  포화용액이 잘 섞이도록 하였다. 이를 30°C의 배양기에서 2시간 방치한 후 0.1 N HCl로 적정하였다(Yang과 Lee, 1972).

### 3.6.4. 색차

굴의 색도는 색차계(Tokyo Denshoku Co., Ltd., Japan)로 3회 측정하여 L 값(명도), a 값(적녹도), b 값(황청도)으로 나타내었으며,  $\Delta E$ 는  $(\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2}$  이었다. 이 때 백색판의 L, a, b 값은 각각 96.25, -0.18, 0.24 이었다.

### 3.6.5. 관능검사

굴과 침수에 대한 관능검사는 일본의 식품·첨가물 등의 규격기준(Ministry of Health, Labor and Welfare, 1984)에 의거하여 냄새, 굴의 색, 굴의 상태,

침수의 색, 침수의 상태에 대하여 식품생명공학과 학생 24명을 대상으로 실시하였다(Table 1). 3점 척도(0~2)를 이용하여 각 품질 특성에 대하여 demerit point에 대하여 점수화하였는데, 낮은 점수일수록 고품질을 의미한다.

Table 1. Quality assessment scheme used to identify the quality index demerit scores

Parameter	Quality index being assessed	Demerit points
Smell	No changes	0
	Unpleasant smell	1
	Strong unpleasant smell	2
Color of oyster meat	No changes(creamy white)	0
	Whitening of color(decolorization)	1
	White or gray color(discoloration)	2
Texture of oyster meat	No changes(firm, elastic)	0
	Swelling(expansion)	1
	Softened flesh and loosened digestive system	2
Appearance of oyster liquor	No changes(clear and transparent)	0
	Hazy(light milky)	1
	Very hazy, floating flesh pieces and fragments of digestive organs	2
Viscosity of oyster liquor	No changes(No viscosity)	0
	Mucus visible(Viscous)	1
	Large quantity of mucus visible(very viscous)	2

### 3.7. 통계처리

실험결과는 SAS package(SAS, 1996)를 이용하여 통계 처리하였으며, Duncan's multiple range test에 의하여 분석하였고, 유의성 검정은  $\alpha=0.05$ 에서 시행하였다.

## IV. 결과 및 고찰

### 4.1. 생굴 중 *V. parahaemolyticus*와 *E. coli*의 초고압 살균

#### 4.1.1. *V. parahaemolyticus*의 초고압 살균

##### 4.1.1.1. 처리압력에 따른 *V. parahaemolyticus*의 균수 변화

생굴에 접종 배양된 *V. parahaemolyticus*의 살균에 미치는 처리압력의 영향을 측정하기 위하여, 상온(22℃)에서 처리압력을 100~300 MPa로 달리하여 10분간 초고압 처리한 굴의 균수 변화는 Fig. 1과 같았다. 무처리한 굴의 초기 배양균수는  $3.8 \times 10^5$  CFU/mL이었는데, 처리압력의 증가에 따라 175 MPa까지는 균수가 서서히 약 2 log cycle 감소하였으나, 그 이상의 압력에서는 급격히 감소하였으며 200 MPa 이상의 처리로 완전히 사멸되었다.

Kalchayanand 등(1998)은 초고압 처리에 의한 미생물의 사멸율은 처리압력에 비례한다고 하였고, Berlin 등(1999)도 *V. parahaemolyticus*와 *V. vulnificus*의 순수 배양액은 25℃에서 처리압력의 증가에 따라 살균 효과가 증가하였고 각각 200 MPa/15분과 250 MPa/10분의 처리로 멸균되었으며, 굴에 접종한 *V. parahaemolyticus*와 *V. vulnificus*는 25℃/200 MPa/10분 처리로 멸균되었다고 보고하여 본 연구와 유사한 경향을 나타내었다. 따라서 초고압 처리 공정은 생굴 중의 병원성 미생물을 살균시키는데 이용될 수 있을 것으로 추정되었다.

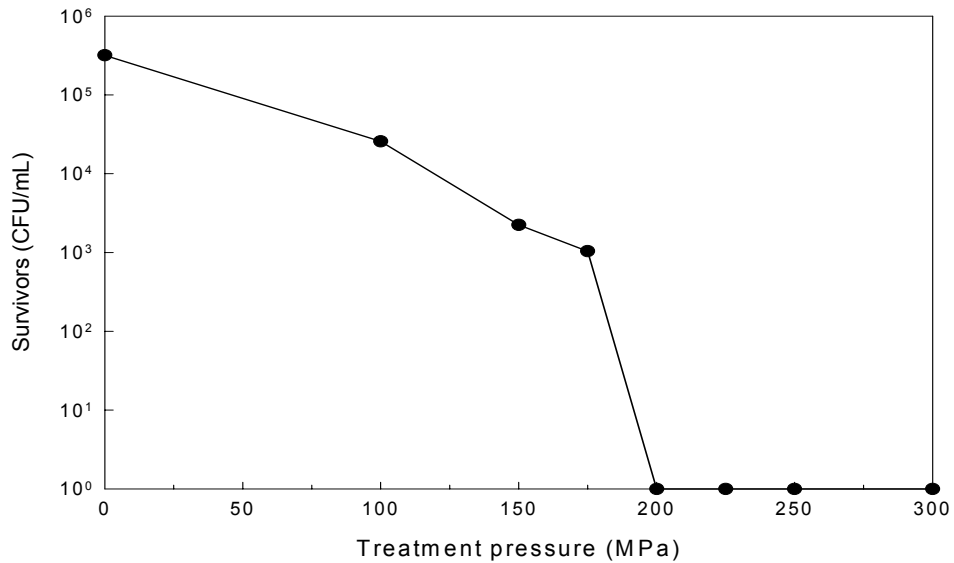


Fig. 1. Microbial count of *V. parahaemolyticus* in inoculated oyster treated with different pressures at 22°C for 10 min.



#### 4.1.1.2. 처리시간에 따른 *V. parahaemolyticus*의 균수 변화

생굴에 접종 배양된 *V. parahaemolyticus*의 살균에 미치는 처리시간의 영향을 측정하기 위하여, 상온(22°C)과 150 MPa에서 처리시간을 5~30분으로 달리하여 초고압 처리한 굴의 균수 변화는 Fig. 2와 같았다. 무처리한 굴의 초기 배양균수는  $1.8 \times 10^5$  CFU/mL이었는데, 처리시간 10분까지는 약 2 log cycle 감소하였고 처리시간의 증가에 따라 지속적으로 감소하였다가 25분 이상 처리하였을 때 모두 사멸되었다.

Styles 등(1991)도 조개 액즙에 배양된 *V. parahaemolyticus*가 136 MPa에서는 30분, 102 MPa에서는 40분간 처리하였을 때 사멸되었으나, 68 MPa에서

는 80분간 처리하여도 거의 균수 감소가 없었다고 보고하였다. 따라서 처리압력과 처리시간 간에는 역 상관관계가 있어서 낮은 처리압력에서는 더 긴 처리시간이 요구되었다.

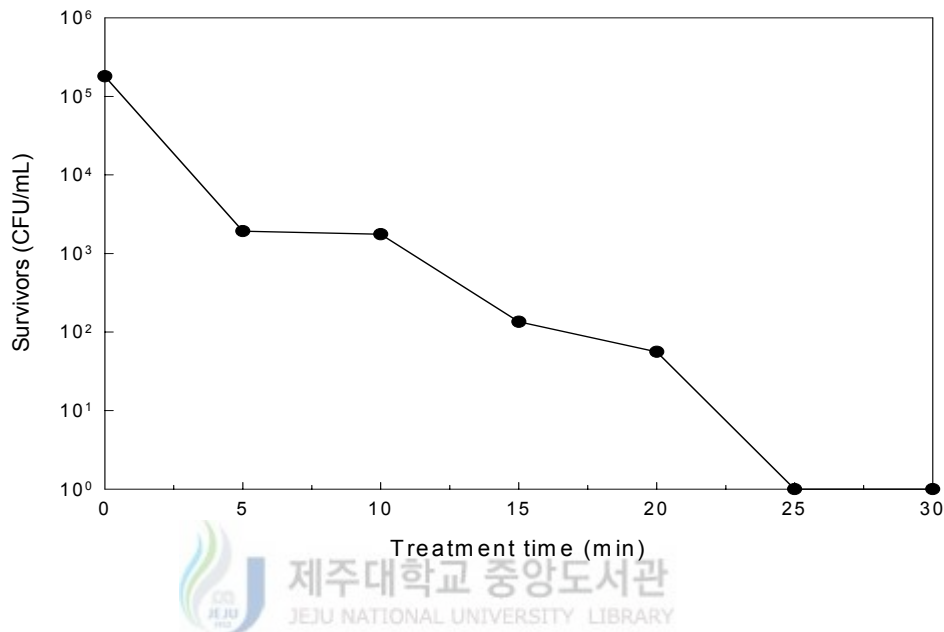


Fig. 2. Microbial count of *V. parahaemolyticus* in inoculated oyster treated with different times at 22°C/150 MPa.

#### 4.1.1.3. 처리온도에 따른 *V. parahaemolyticus*의 균수 변화

생굴에 접종 배양된 *V. parahaemolyticus*의 살균에 미치는 처리온도의 영향을 측정하기 위하여, 100 MPa에서 처리온도를 0, 10°C로 달리하여 초고압 처리한 굴의 균수 변화는 Fig. 3과 같았다. 무처리한 굴의 초기 배양균수는  $3.4 \times 10^5$  CFU/mL이었는데, 상온에서 처리하였을 때와 마찬가지로 각 처리온도에서 처리시간의 증가에 따라 균수는 감소하였다. 동일 처리압력과 처리시간



에서 처리온도가 낮을수록 미생물의 사멸율은 높았다. 100 MPa/0℃와 10℃에서 각각 20분과 25분 처리하였을 때 완전히 사멸된 것으로 보아, 처리온도를 낮추면 *V. parahaemolyticus*를 사멸시키는데 요구되는 처리시간이 더 감소됨을 알 수 있었다.

초고압에 의한 미생물의 살균에 있어서 온도의 영향은 복잡하다. 일반적으로 초고압 처리시에 상온보다 조금 높은 온도에서 가열처리를 병행하면 미생물 살균효과가 더 높는데, 이는 단백질에 더 큰 손상을 입히기 때문이다. 한편 20~30℃보다 저온에서도 초고압 처리에 의하여 상온에서 보다 미생물이 더 빨리 사멸되는 것으로 알려져 있는데, 상온보다 낮은 온도에서는 상온에 비하여 세포막의 유동성이 둔화되어 고압에 대한 저항성이 작아지기 때문이라고 보고하고 있다(Manas와 Pagan, 2005).

Casadei 등(2002)은 *Escherichia coli* NCTC 8164를 200 또는 250 MPa에서 처리온도를 10, 20, 30℃로 달리하여 처리하였을 때 처리온도가 낮을수록 처리효과가 더 높았는데 그 이유로 낮은 온도에서는 세포막 유동성의 저하에 따른 압력에 대한 저항성 감소로 해석하고 있으며, Gervilla 등(1997)은 양젖을 450 MPa/15분 처리하였을 때에 *Listeria innocua*의 불활성화는 처리온도 25℃에서 보다 2℃에서 더 효과적이었지만, 50℃에서 보다는 덜 효과적이었다고 보고하였다. 따라서 생굴도 저온에서 초고압으로 처리하면 상온에서 보다 초고압 가공에 따른 생굴의 품질 변화를 최소화하면서 *Vibrio spp.*를 멸균시킬 수 있을 것으로 기대되었다.

이상의 결과로부터 *V. parahaemolyticus*는 비교적 낮은 압력에서 멸균시킬 수 있는 것으로 나타났는데, 그 이유는 *Vibrio*와 같은 그람음성균은 그람양성균에 비하여 압력에 대한 저항성이 약하기 때문이다. Shigehisa 등(1991)은 그람음성균의 세포벽은 압력에 의한 환경적 변화에 영향을 더 쉽게 받으며, 압력을 가하면 세포막의 기능이 붕괴되어 세포막 내외로부터 성분 누출을 일으키는데, 이러한 현상은 고압 처리한 세포는 소금과 담즙 염에 더 민감하였고,

ATP의 용출이 증가하였다는 사실로부터 증명되어진다고 보고하고 있다.

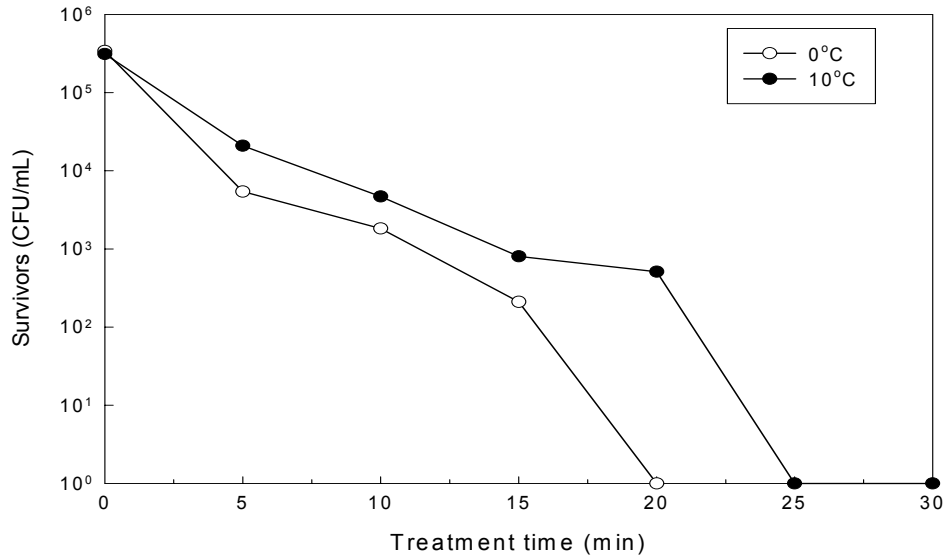


Fig. 3. Microbial count of *V. parahaemolyticus* in inoculated oyster treated with different temperatures at 100 MPa.

#### 4.1.2. *E. coli*의 초고압 살균

##### 4.1.2.1. 처리압력에 따른 *E. coli*의 균수 변화

생굴에 접종 배양된 *E. coli*의 살균에 미치는 처리압력의 영향을 측정하기 위하여, 상온(22°C)에서 처리압력을 150~400 MPa로 달리하여 15분간 초고압 처리한 굴의 균수 변화는 Fig. 4와 같았다. 무처리한 굴의 초기 배양균수는  $4.0 \times 10^7$  CFU/mL이었는데, 처리 압력 250 MPa 까지는 균수의 변화가 거의 없

었으나 그 이상의 압력에서는 급격히 감소하였다. 275 MPa 처리로 약 3 log cycle 감소하였고 처리압력의 증가에 따라 급격히 감소하였으며 325 MPa 처리로 약 5 log cycle 감소하였으며, 375 MPa 이상에서는 완전히 사멸되었다.

Kalchayanand 등(1998)은 *E. coli* 배양액을 25°C/5분으로 138~483 MPa에서 처리한 결과 처리압력의 증가에 따라 균수는 초기에 유도기를 거친 후 급격히 감소하는 경향을 나타내었고 414 MPa 이상에서 멸균되었다고 보고하였으며, Ramaswamy 등(2003)도 사과주스에 배양시킨 *E. coli*를 400 MPa의 처리로 8 log cycle 감소시켜 완전 붕괴되었으며, 동일 처리시간에서는 처리 압력의 증가에 따라 D-value가 감소하였다고 보고하였는데, 본 연구에서도 유사한 경향을 나타내었다.

*V. parahaemolyticus*는 상온(22°C)에서 200 MPa/10분 처리로 완전 사멸된 반면(Fig. 1), *E. coli*는 375 MPa/15분 처리로 완전 사멸되어, *E. coli*의 사멸에 더 높은 처리압력과 시간이 요구되었다(Fig. 4). 일반적으로 그람음성균은 그람양성균에 비하여 압력에 대한 저항성이 약한 것으로 알려져 있다. Styles 등(1991)은 조개 액즙에 배양한 *V. parahaemolyticus*를 멸균시키는 데에는 23°C/173 MPa에서 10분이 소요되었지만, *Listeria monocytogenes*를 멸균시키는 데에는 그 보다 2배 높은 압력(345 MPa)에서 처리시간도 2배(20분)가 더 요구되었다고 보고하여 이러한 사실을 입증하였다. 그러나 *E. coli*는 그람음성균인데도 불구하고 사멸에 높은 압력이 요구되었다. Smiddy 등(2005)은 그람음성균인 *E. coli* O157:H45는 그람양성균인 *L. monocytogenes*보다 압력에 대한 저항성이 조금 더 강하였으며, Alpas 등(1999)은 25°C/345 MPa/5분 동안 처리하였을 때 *E. coli* O157:H7은 변이주에 따라 2.8~5.6 log cycle이 감소하였으며, *L. monocytogenes*도 변이주에 따라 0.9~3.5 log cycle이 감소하였다고 보고하여, 균의 종류는 물론 동일균주라고 할지라도 변이주에 따라 압력에 대한 저항성이 달랐다.

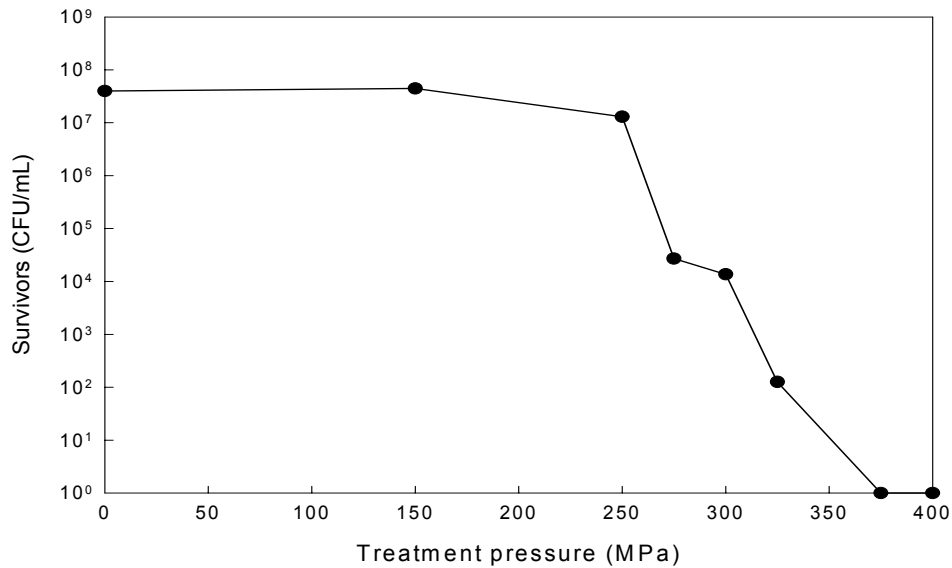


Fig. 4. Microbial count of *E. coli* in inoculated oyster treated with different pressures at 22°C for 15 min.



#### 4.1.2.2. 처리온도에 따른 *E. coli*의 균수 변화

생굴에 접종 배양된 *E. coli*의 살균에 미치는 처리온도의 영향을 측정하기 위하여, 처리압력 300 MPa에서 처리온도를 0, 10, 22°C로 달리하여 초고압 처리한 굴의 균수 변화는 Fig. 5와 같았다. 무처리한 굴의 초기 배양균수는  $1.1 \times 10^7$  CFU/mL이었는데, 동일한 처리압력과 처리시간에서 처리온도가 낮을수록 살균효과가 더 높았다. 처리온도 0°C와 10°C에서는 각각 25분과 35분 처리 후 *E. coli*가 멸균되었으나 22°C에서는 45분 처리 후에도 완전히 멸균되지 않은 것으로 보아, 처리온도를 낮추면 *E. coli*의 초고압 멸균에 짧은 시간이 요구됨을 알 수 있었다. Lopez-Caballero 등(2000)도 굴을 7°C/400 MPa/10분

의 처리로 coliforms와 *E. coli*를 멸균시킬 수 있었다고 보고하였다.

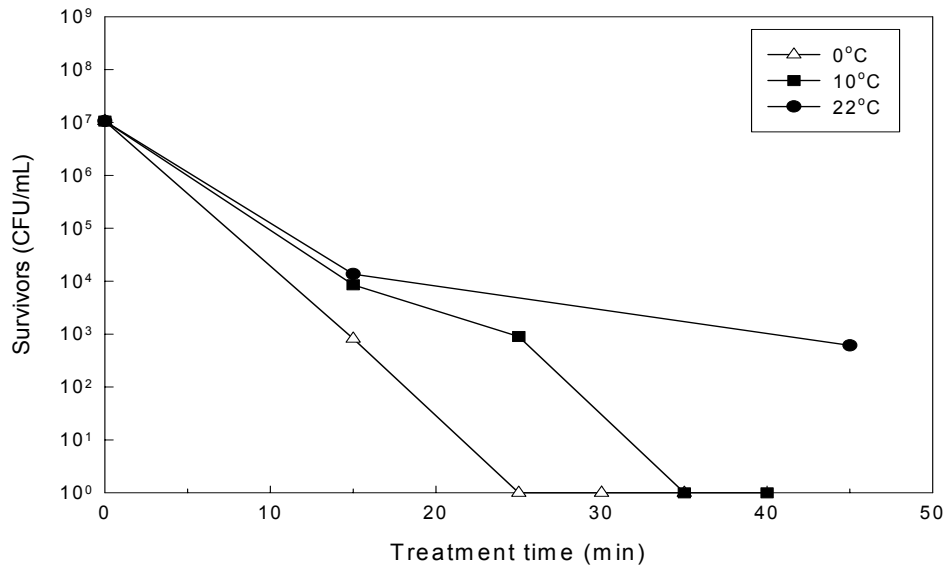


Fig. 5. Microbial count of *E. coli* in inoculated oyster treated with different temperatures at 300 MPa.

#### 4.1.2.3. 처리시간에 따른 *E. coli*의 균수 변화

우리나라에는 생굴의 유통기간에 대한 법적 규제가 없으나, 일본에서는 생굴의 유통기간을 10°C에서 4일로 규정하고 있다. 따라서 처리온도에 따른 *E. coli*의 살균 효과에 대한 실험 결과 22°C에서 보다 10°C에서 살균효과가 더 크므로 가공 과정 중 품질변화를 최소화하기 위하여 처리온도는 10°C으로 설정하였다. 물론 0°C에서는 10°C에서보다 초고압 살균효과가 더 높지만 저온처리에 따른 가용비용의 증가와 일본에서 굴의 유통온도와 기간의 규정을 고려하여 처리온도를 10°C으로 설정하였다.

생굴에 접종 배양된 *E. coli*의 살균에 미치는 처리시간의 영향을 측정하기

위하여, 처리온도를 10℃로 고정하고 350 MPa에서 처리시간을 5~25분으로 달리하여 초고압 처리한 굴의 균수 변화는 Fig. 6과 같았다. 무처리한 굴의 초기 배양균수는  $7.2 \times 10^7$  CFU/mL이었는데, 처리시간의 증가에 따라 균수가 급격히 감소하였으며, 350 MPa에서 5분 처리로 약 4 log cycle 감소하였고 15분 이상의 처리로 검출한계 이하가 되었다.

이상의 결과로부터 굴에 접종된 *E. coli*를 멸균시키기 위해서는 10℃/350 MPa/15분으로 처리하는 것이 바람직하였는데, 이 조건에서 생굴을 처리하면 *V. parahaemolyticus*도 멸균되므로 초고압처리를 통하여 병원성 미생물을 사멸시킬 수 있으므로, 생굴 섭취에 따른 위생적 안전성을 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

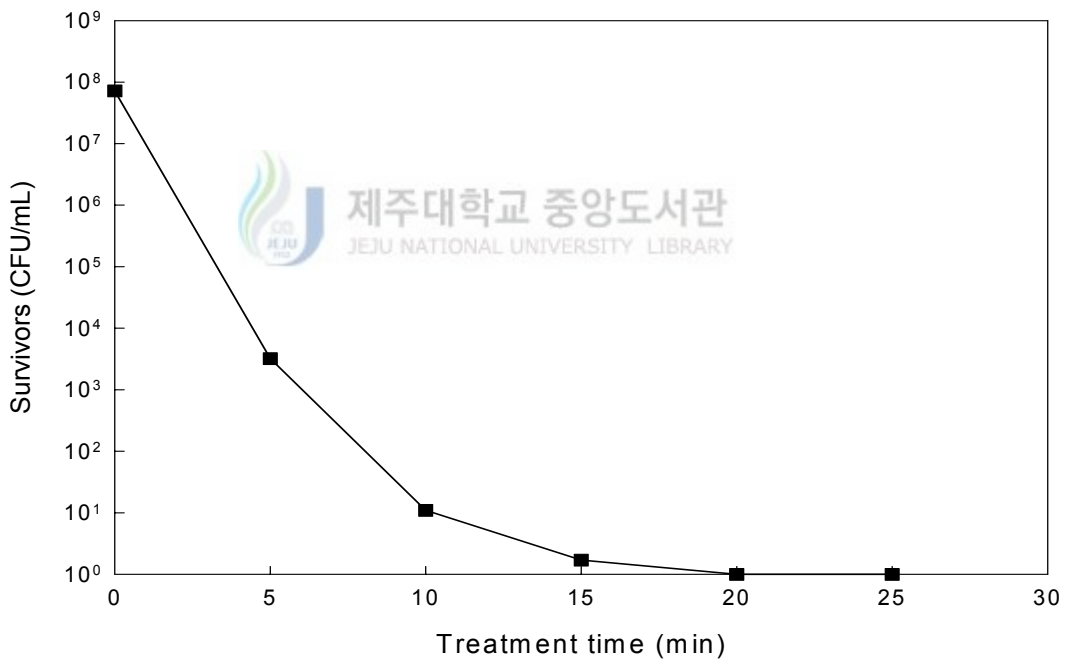


Fig. 6. Microbial count of *E. coli* in inoculated oyster treated with different times at 10℃/350 MPa.

## 4.2. 초고압 처리한 생굴의 저장 중 미생물수 및 품질 변화

### 4.2.1. 총세균수, 저온세균수 및 젖산균수의 변화

무처리 굴과 초고압 처리한(350 MPa/15분) 굴의 10°C 저장 중 총세균수의 변화는 Fig. 7과 같았다. 무처리한 굴의 초기 총세균수는  $1.6 \times 10^2$  CFU/mL이었는데, 저장기간 동안 급격히 증가하였으며 저장 4, 8, 14일에 각각  $5.6 \times 10^4$ ,  $7.5 \times 10^7$ ,  $7.3 \times 10^8$  CFU/mL이었다. 초고압 처리한 굴은 초기 총세균수가 약  $10^1$  CFU/mL으로 초고압 처리에 의하여 약 1 log cycle 감소하였으며, 저장기간 동안 균수의 증가가 크지 않아 저장 7일까지는 약  $10^3$  CFU/mL 이하를 유지하였으며, 저장 14일 후에는 약  $10^5$  CFU/mL이었다. 10°C에서 4일 저장하는 동안 무처리균은 총균수가 약  $10^4$  CFU/mL으로 2 log cycle 증가한 반면, 초고압 처리균은 저장 14일 후에도 무처리균 저장 4일째와 비슷하였다.

무처리 굴과 초고압 처리한 굴의 10°C 저장 중 저온세균수의 변화는 Fig. 8과 같았다. 무처리한 굴의 초기 저온세균수는  $9.5 \times 10^2$  CFU/mL이었으나, 저장기간 동안 급격히 증가하였으며 저장 4, 8, 14일에 각각  $9.7 \times 10^4$ ,  $2.0 \times 10^7$ ,  $7.5 \times 10^8$  CFU/mL이었다. 초고압 처리한 굴은 초기 저온세균수가 약  $10^2$  CFU/mL으로 초고압 처리에 의하여 약 1 log cycle 감소하였으며, 저장 4일까지는 약  $10^2$  CFU/mL을 유지하였지만 그 이후 급격히 증가하기 시작하였으며, 저장 8일과 14일에는 각각 약  $10^5$ 와  $10^6$  CFU/mL이었다.

무처리 굴과 초고압 처리한 굴의 10°C 저장 중 젖산균수의 변화는 Fig. 9와 같았다. 무처리한 굴에는 초기에 젖산균이 존재하지 않았으나 저장 2일 이후부터 검출되기 시작하여 저장 3일에는  $3.3 \times 10^3$  CFU/mL을 시작으로 급격히 증가하기 시작하였으며, 저장 4, 8, 14일에 각각  $7.2 \times 10^4$ ,  $7.7 \times 10^7$ ,  $1.1 \times 10^9$  CFU/mL이었다. 초고압 처리한 굴은 저장 4, 5일 까지 젖산균이 검출되지 않았으나 그 이후에는 검출되기 시작하여 저장 8일과 14일에는 각각 약  $10^2$ 와  $10^3$  CFU/mL이었다. *V. parahaemolyticus*와 *E. coli*는 초고압 처리전후와 저장

기간 내내 검출되지 않았다.

미국식품의약청은 굴과 같은 쌍각류에서 표준 호기성 미생물수는 <500,000 CFU/g로 규정하고 있고, >1,000,000 CFU/g이면 표준 이하의 품질로 규정하고 있다. 본 실험결과에 따르면 무처리군은 총세균수가 저장 5일부터  $10^6$  CFU/mL 이상이였지만, 초고압 처리군은 저장 14일 후에도  $10^5$  CFU/mL을 나타내었다. 저온세균수는 무처리군이 저장 5일부터  $10^6$  CFU/mL 이상이였지만, 초고압 처리군은 저장 10일에도 약  $10^5$  CFU/mL이었으며, 저장 14일 후에는  $10^6$  CFU/mL을 나타내었다. 젖산균도 무처리군은 저장 5일부터  $10^6$  CFU/mL 이상이였지만, 초고압 처리군은 저장 14일에도 약  $10^3$  CFU/mL을 나타내었다. 이상의 결과로부터 굴을 초고압으로 처리하면 무처리군에 비하여 총세균, 저온세균, 젖산균의 생육억제에 현저한 효과가 있어 저장기간 동안 미생물의 증식을 지연시킬 수 있음을 알 수 있었다.

Carlez 등(1994)은 초고압 처리로 *Pseudomonas*, *Lactobacillus*와 coliforms의 균수가 3~5 log cycle 감소하였다고 보고하였다. 초고압으로 처리하면 미생물은 형태 변화, 생화학적 반응, 유전적 기작, 세포벽에 변화를 일으키거나 (Smelt, 1998), key enzymes의 불활성화와 세포벽 투과성이 변화되어 미생물이 사멸되는 것으로 알려져 있다(Seyderhelm 등, 1996).

Lopez-Caballero 등(2000)은 굴을 7°C/400 MPa/10분의 처리로 coliforms, *E. coli*와 총세균을 멸균시킬 수 있었으며, 초고압 처리로 치명적인 상해 또는 세포에 스트레스를 주어 젖산균과 총세균의 성장을 지연시킬 수 있었다. He 등(2002)도 굴을 초고압 처리(압력: 207~311 MPa, 시간: 0~2분)하였을 때 초기 총세균수가 2 또는 3 log 까지 감소하였으며, 3°C에서 27일 저장기간 동안 그 수를 유지하였다고 보고하였다.



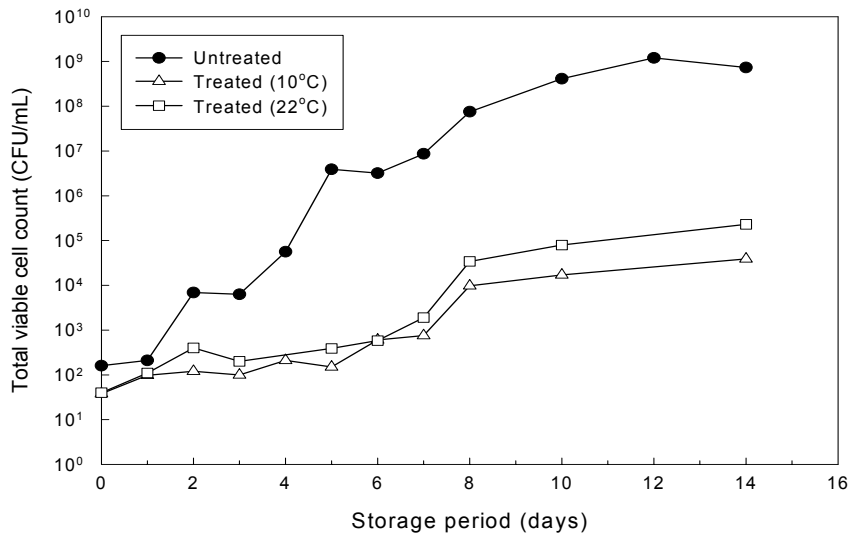


Fig. 7. Changes in total viable cell count during storage of raw oyster treated with high hydrostatic pressure at 350 MPa/15 min.

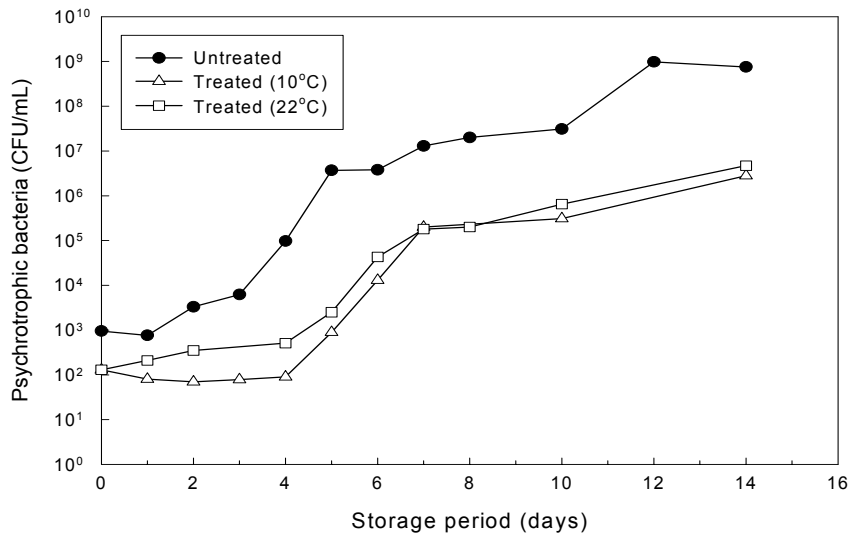


Fig. 8. Changes in psychrotrophic cell count during storage of raw oyster treated with high hydrostatic pressure at 350 MPa/15 min.



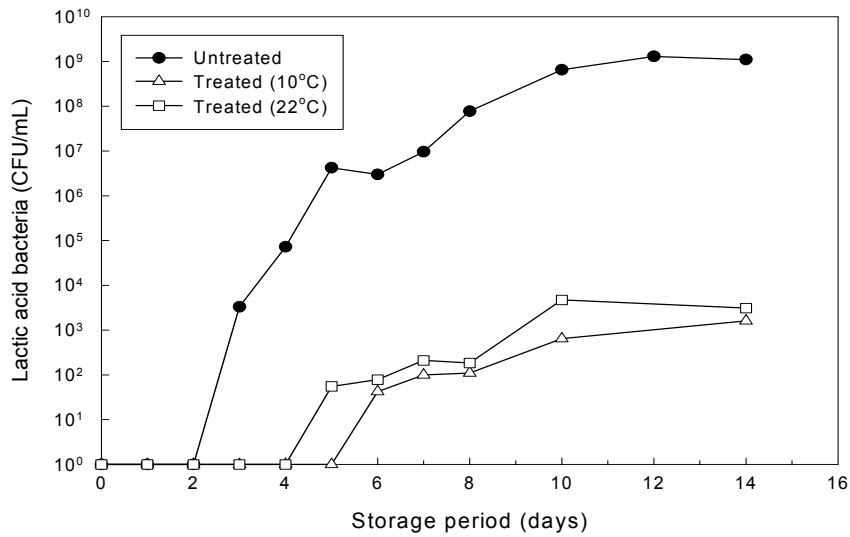


Fig. 9. Changes in lactic acid bacteria count during storage of raw oyster treated with high hydrostatic pressure at 350 MPa/15 min.



#### 4.2.2. 품질변화

##### 4.2.2.1. 굴과 침수의 pH

굴의 저장 중 pH 변화는 품질 변화를 알려주는 주요 지표인데, 일반적으로 패류는 어류나 다른 갑각류와는 달리 특히 탄수화물(glycogen)의 함량이 높으며, 총질소의 함량이 낮은 등 화학적 조성에서 차이가 있는데, 굴의 부패는 비교적 높은 함량의 glycogen에 기인하며 발효과정을 거쳐 유기산의 축적으로 인하여 pH의 점차적 감소로 나타나는데, pH가 6.2~5.9는 "good", 5.8은 "off", 5.7~5.5는 "musty", 5.2 이하는 sour 또는 putrid로 규정하고 있다(Jay, 1996).

무처리 굴과 초고압 처리한 굴의 저장 중 pH 변화는 Fig. 10과 같았다. 무처리한 굴의 초기 pH는 6.19이었는데, 저장 중 지속적으로 감소하였으며 저장 4, 8, 14일에 각각 5.83, 5.61, 4.44이었다. 초고압 처리한 굴의 pH는 각각 6.26

과 6.19로 초고압 처리에 의하여 거의 변화가 없었으며, 저장 중 pH 변화가 매우 작았으며 10℃에서 초고압 처리한 굴인 경우에는 저장 4, 8, 14일에 pH가 각각 6.07, 6.03, 5.82로 매우 높은 값을 유지하였다. 이상의 결과로부터 무처리 굴은 저장 5일 이후부터 pH가 5.8 이하로 떨어진 반면, 10℃에서 초고압 처리한 굴은 저장 14일 후에도 pH 5.82를 유지하였고, 상온(22℃)에서 초고압 처리한 경우에도 저장 12일까지는 거의 같은 pH를 유지하였다.

He 등(2002)은 무처리 굴의 pH는 2~4℃에서 16일 저장 후 5.1로 떨어져 부패한 것을 확인할 수 있었으며, 초고압 처리 시료는 초고압 처리에 의한 미생물수 감소로 4주 저장 기간 동안 pH가 6.3에서 점차적으로 감소하였고 5.8 이상을 유지하였으며, Lopez-Caballero 등(2000)은 7℃/400 MPa/10분 처리한 굴은 2℃ 저장 중 pH 감소가 없었는데, 이는 초고압 처리로 굴 중의 미생물이 살균되었기 때문이었다고 보고하였다. 한편 초고압 처리한 굴은 무처리 굴에 비하여 pH 값이 높은 경우가 있는데, 이는 단백질 변성과 관련이 있거나 또는 굴 조직의 pH 보다 높은 pH를 갖는 해수(pH 약 8.2)가 굴 조직 사이에 남아 있다가 초고압 처리에 의하여 육조직으로의 흡수된 것으로 볼 수 있다 (Cruz-Romero 등, 2004; Zhang, 2000).

무처리 굴과 초고압 처리한 굴의 저장 중 침수의 pH 변화는 Fig. 11과 같았다. 무처리한 굴 침수의 초기 pH는 5.99이었는데, 저장 중 지속적으로 감소하였으며 저장 4, 8, 14일에 각각 5.44, 5.24, 4.23이었다. 초고압 처리한 굴 침수의 pH는 각각 6.02, 6.00으로 무처리군과 비슷하였으며, 저장 10일까지는 pH가 각각 5.60과 5.74로 변화가 작았으나 그 이후 급격히 감소하는 경향을 보였다. 초고압 처리한 굴의 pH는 저장 기간 중 변화가 적었으나, 굴 침수의 pH는 저장 10일 후부터 급격히 감소하였는데, 앞으로 이에 대한 연구가 필요하다.

Cook(1991)은 굴 침수의 pH가 6.0 이상인 굴은 양호한 제품이고, 5.0 이하인 제품은 부패 과정이 진행된 것으로 간주하였다.

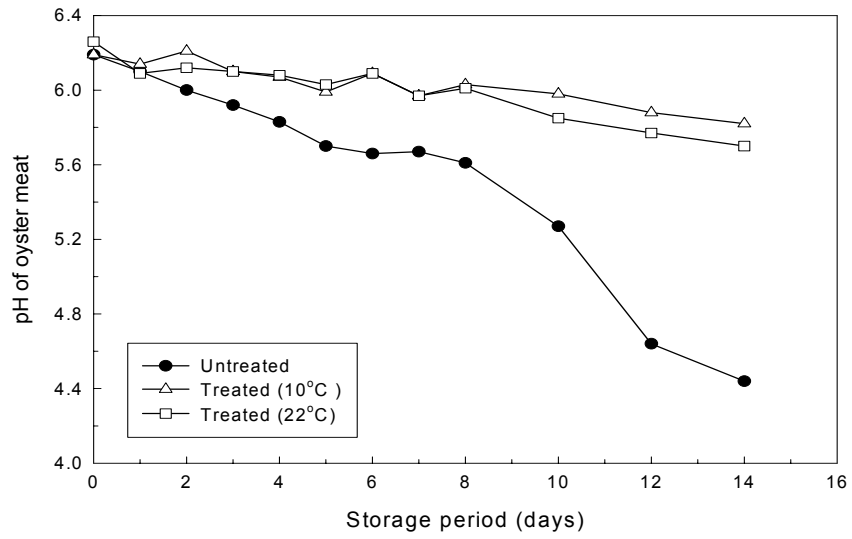


Fig. 10. Changes in pH of oyster meat during storage of raw oyster treated with high hydrostatic pressure at 350 MPa/15 min.



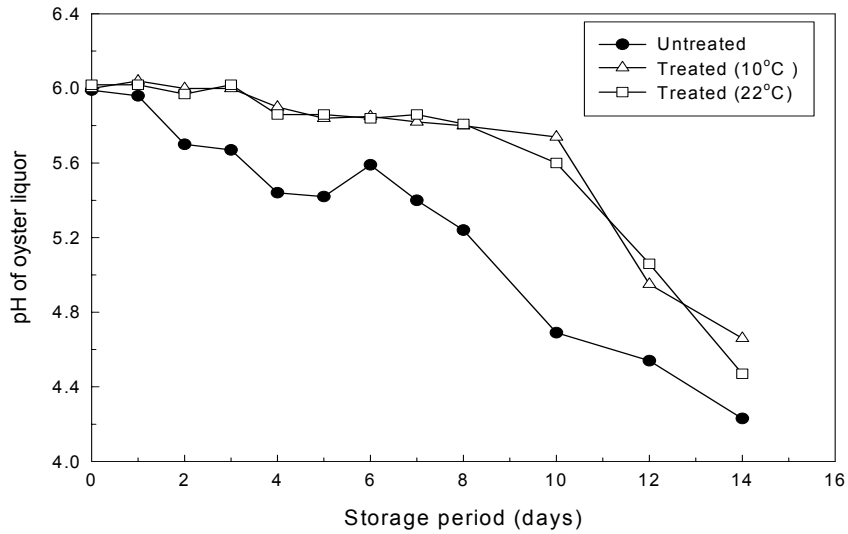


Fig. 11. Changes in pH of oyster liquor during storage of raw oyster treated with high hydrostatic pressure at 350 MPa/15 min.



#### 4.2.2.2. 침수의 염농도

무처리 굴과 초고압 처리한 굴의 저장 중 침수의 염농도 변화는 Fig. 12와 같았다. 무처리한 굴 침수의 초기 염농도는 2.56%이었는데, 저장 초기에 증가하였다가 지속적으로 조금씩 감소하였으며 저장 4, 8, 14일에 각각 2.53, 2.35, 2.17%이었다. 초고압 처리한 굴 침수의 염농도는 각각 2.48과 2.47로 초고압 처리에 의하여 다소 감소하였는데, 이는 초고압 처리로 굴 내용물이 침출하여 침수를 희석하였기 때문인 것으로 추정된다. 초고압 처리한 굴의 침수 염농도도 저장 초기에 다소 증가하였다가 저장 기간 동안 지속적으로 조금씩 감소하는 경향을 나타내었다.

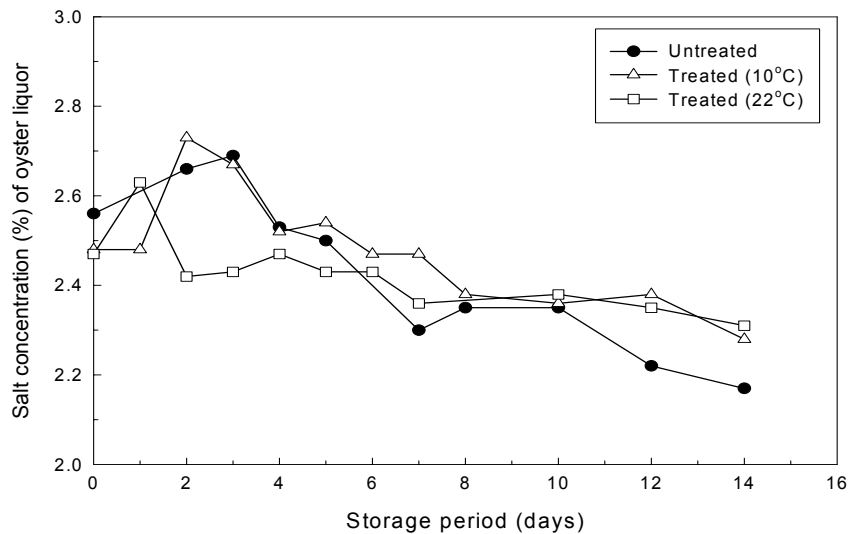


Fig. 12. Changes in salt concentration of oyster liquor during storage of raw oyster treated with high hydrostatic pressure at 350 MPa/15 min.



#### 4.2.2.3. 휘발성 염기질소

무처리 굴과 초고압 처리한 굴의 저장 중 휘발성 염기질소의 변화는 Fig. 13과 같았다. 무처리한 굴의 초기 휘발성 염기질소는 16.8 mg%이었는데, 저장 1일 까지는 변화가 없다가 그 이후 급격히 증가하였으며, 저장 4, 8, 14일에 각각 30.1, 43.4, 60.7 mg%로 저장 3일 이후부터는 부패되고 있음을 알 수 있었고 부패취를 감지할 수 있었다. 한편 초고압 처리한 굴의 휘발성 염기질소는 저장 중 변화가 그다지 크지 않아 저장 4일과 8일에 각각 약 20과 23 mg%로 보통 선도의 어육에 해당되는 값을 나타내었으며 부패치에 이르지 않음을 알 수 있었다. 14일 후에도 10°C와 22°C에서 초고압 처리한 굴의 휘발성 염기질소의 값은 각각 27.6과 32.2 mg%로 그다지 크게 증가하지 않았다.

Lopez-Caballero 등(2000)도 무처리한 생굴의 초기 휘발성 염기질소의 값은

13.3 mg%이었지만 2°C에서 10일 저장 후에는 25~30 mg%로 부패치에 이르렀으며 부패취가 감지된 반면, 7°C/400 MPa/10분 처리한 굴은 13일 저장 후에도 약 20 mg%이었으며 부패취가 감지되지 않았다고 보고하였다.

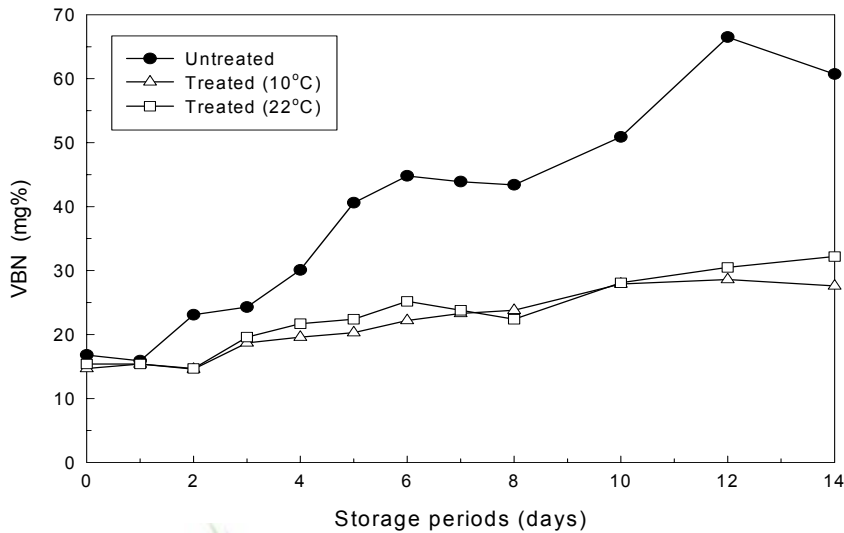


Fig. 13. Changes in volatile basic nitrogen during storage of raw oyster treated with high hydrostatic pressure at 350 MPa/15 min.

#### 4.2.2.4. 색차

초고압 처리한 굴은 무처리 굴에 비하여 Hunter L, a와 b값이 모두 높았다 (Table 2). 무처리 굴은 저장 초기에 L, a와 b값이 증가한 후 저장 2일부터는 일정한 경향을 나타내었다. 초고압 처리한 굴도 무처리 굴과 마찬가지로 저장 초기에 L, a와 b값이 증가한 후 저장 2일부터 일정한 경향을 나타내었다.

Cruz-Romero 등(2004)도 굴을 100~800 MPa/20°C/10분 처리하였을 때 처리 압력의 증가에 따라 Hunter L값이 증가하였고, Hunter a값은 감소하였는데, 이는 근원섬유(myofibrilla)와 근소포(sarcoplasmic) 단백질의 변성과 관련



이 있다고 보고하였다(Ledward, 1998).

굴의 변색은 내장중의 chlorophyll과 carotenoid 색소에 의한 것인데, 굴 육의 변색은 이들 색소가 초고압 처리 및 저장 중에 내장에서 육으로 확산 이행되는 것이 주요인이었고, 그 중 carotenoid의 이행에 따른 굴 육의 황변이 변색의 주도적 역할을 한다고 보여진다(Lee 등, 1976).

Table 2. Changes in Hunter L, a, and b values of raw oyster treated with high hydrostatic pressure at 350 MPa/15 min during storage at 10°C

Treatment (MPa/min)	Storage period (day)											
	0	1	2	3	5	6	7	8	10	12	14	
Untreated	L	38.6±0.1 <sup>c</sup>	40.4±1.1 <sup>c</sup>	54.6±3.0 <sup>a</sup>	53.9±1.9 <sup>a</sup>	51.7±4.6 <sup>ab</sup>	-	-	-	-	-	-
	a	0.2±0.0 <sup>d</sup>	0.8±0.3 <sup>d</sup>	3.0±1.0 <sup>a</sup>	3.2±1.4 <sup>a</sup>	3.5±0.6 <sup>b</sup>	-	-	-	-	-	-
	b	6.9±0.8 <sup>c</sup>	8.9±0.9 <sup>bc</sup>	10.5±2.1 <sup>abc</sup>	13.2±2.4 <sup>a</sup>	11.3±0.5 <sup>ab</sup>	-	-	-	-	-	-
	ΔE	57.8±0.2 <sup>a</sup>	56.3±1.1 <sup>a</sup>	42.5±3.3 <sup>c</sup>	44.0±1.8 <sup>bc</sup>	45.8±4.2 <sup>bc</sup>	-	-	-	-	-	-
Treated (10°C)	L	47.1±0.3 <sup>b</sup>	58.6±2.6 <sup>a</sup>	54.9±2.3 <sup>a</sup>	55.4±0.5 <sup>a</sup>	59.6±1.2 <sup>a</sup>	55.2±2.4 <sup>a</sup>	54.8±1.1 <sup>a</sup>	56.2±3.1 <sup>a</sup>	54.9±4.9 <sup>a</sup>	58.8±4.5 <sup>a</sup>	58.0±1.3 <sup>a</sup>
	a	0.7±0.0 <sup>d</sup>	2.6±0.6 <sup>bc</sup>	3.4±0.1 <sup>b</sup>	3.0±0.1 <sup>bc</sup>	3.6±0.7 <sup>b</sup>	3.6±0.5 <sup>b</sup>	2.3±0.6 <sup>bcd</sup>	3.4±0.3 <sup>b</sup>	2.5±0.6 <sup>bc</sup>	3.6±0.3 <sup>b</sup>	7.2±1.4 <sup>a</sup>
	b	9.8±1.0 <sup>a</sup>	10.1±1.5 <sup>c</sup>	9.3±1.1 <sup>bc</sup>	11.0±0.9 <sup>bc</sup>	12.2±1.1 <sup>c</sup>	10.3±1.3 <sup>bc</sup>	11.1±0.1 <sup>abc</sup>	10.4±0.9 <sup>bc</sup>	11.2±0.8 <sup>abc</sup>	13.2±1.4 <sup>c</sup>	10.7±0.8 <sup>c</sup>
	ΔE	49.9±0.1 <sup>a</sup>	38.9±2.3 <sup>c</sup>	42.0±2.0 <sup>bc</sup>	41.9±0.3 <sup>bc</sup>	38.4±0.8 <sup>c</sup>	42.3±2.0 <sup>bc</sup>	42.7±0.9 <sup>bc</sup>	41.4±2.7 <sup>bc</sup>	42.8±4.6 <sup>bc</sup>	39.8±3.9 <sup>c</sup>	40.3±1.5 <sup>c</sup>
Treated (22°C)	L	45.4±2.4 <sup>d</sup>	58.0±2.0 <sup>ab</sup>	55.5±3.7 <sup>ab</sup>	56.6±1.7 <sup>ab</sup>	57.9±1.1 <sup>ab</sup>	52.4±2.4 <sup>bc</sup>	57.7±1.0 <sup>ab</sup>	55.5±1.9 <sup>ab</sup>	58.9±1.5 <sup>a</sup>	57.8±2.3 <sup>ab</sup>	58.0±3.8 <sup>ab</sup>
	a	2.5±0.1 <sup>de</sup>	3.2±0.6 <sup>abcd</sup>	4.4±0.8 <sup>a</sup>	3.6±0.2 <sup>abcd</sup>	3.7±0.6 <sup>abcd</sup>	2.2±0.9 <sup>bcde</sup>	1.6±1.5 <sup>cde</sup>	4.2±0.0 <sup>ab</sup>	3.4±1.1 <sup>abc</sup>	3.1±0.7 <sup>a</sup>	3.9±0.9 <sup>abcd</sup>
	b	6.7±0.1 <sup>d</sup>	8.8±1.1 <sup>c</sup>	9.7±0.3 <sup>c</sup>	9.5±0.7 <sup>c</sup>	9.9±1.1 <sup>c</sup>	10.3±0.3 <sup>c</sup>	12.3±0.8 <sup>ab</sup>	10.4±0.4 <sup>bc</sup>	12.5±0.3 <sup>ab</sup>	12.5±1.3 <sup>ab</sup>	12.8±1.2 <sup>a</sup>
	ΔE	51.2±2.4 <sup>a</sup>	39.3±1.7 <sup>c</sup>	41.6±3.6 <sup>c</sup>	40.4±1.5 <sup>c</sup>	39.4±0.8 <sup>c</sup>	44.9±2.4 <sup>bc</sup>	40.4±1.0 <sup>c</sup>	42.1±1.7 <sup>c</sup>	39.4±1.5 <sup>c</sup>	40.4±2.0 <sup>c</sup>	40.4±3.3 <sup>c</sup>

The same superscripts in the same row are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range test.

#### 4.2.2.5. 관능검사

지금까지 연구에 의하면 demerit score로 나타낸 수산물의 관능적 품질과 저장 수명과는 직선적인 상관관계를 잘 보여 주므로, 이 방법을 이용한 관능 검사를 통하여 수산물의 저장수명을 예측할 수 있게 된다(Nielsen과 Jessen, 1997).

굴과 침수의 관능적 품질을 비교하기 위하여 일본의 식품, 첨가물 등의 규격기준(Ministry of Health, Labor and Welfare, 1984)에 의거하여 냄새, 굴의 색, 굴의 상태, 침수의 색, 침수의 상태에 대하여 측정한 결과는 Table 3과 같았다. Demerit score의 합을 보면 해동한 생굴이 가장 낮은 점수를 보였으며, 그 다음으로 10℃에서 초고압 처리한 후 10℃에서 4일 저장한 굴, 8일 저장한 굴의 순이었고, 초고압 처리를 행하지 않고 4일 저장한 생굴이 가장 높은 점수를 보였다. 이와 같이 초고압 처리한 굴은 10℃에서 4일과 8일 저장 후에도 무처리 4일 저장한 굴보다는 높은 품질을 유지하여 초고압 처리로 저장기간을 2배 이상 증진시킬 수 있음을 알 수 있었다.

Table 3. Demerit scores of raw oyster treated with high hydrostatic pressure at 10℃/350 MPa/15 min after storage for 4 and 8 days at 10℃

Parameters	Untreated		Treated	
	Storage period(day)		Storage period(day)	
	0	4	4	8
Smell	0.25 <sup>c</sup>	1.33 <sup>a</sup>	0.83 <sup>b</sup>	0.92 <sup>b</sup>
Color of oyster meat	0.54 <sup>b</sup>	1.38 <sup>a</sup>	1.33 <sup>a</sup>	1.21 <sup>a</sup>
Texture of oyster meat	0.54 <sup>c</sup>	1.71 <sup>a</sup>	1.08 <sup>b</sup>	1.17 <sup>b</sup>
Appearance of oyster liquor	0.71 <sup>b</sup>	1.50 <sup>a</sup>	1.42 <sup>a</sup>	1.46 <sup>a</sup>
Viscosity of oyster liquor	0.67 <sup>b</sup>	1.34 <sup>a</sup>	0.96 <sup>b</sup>	1.00 <sup>ab</sup>
Sum of demerit points	2.71 <sup>c</sup>	7.26 <sup>a</sup>	5.62 <sup>b</sup>	5.76 <sup>b</sup>

The same superscripts in the same row are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range test.

He 등(2002)도 초고압 처리 압력(207~311 MPa)과 시간(0~2분)을 달리하여 처리한 굴은 2~4℃에서 22일간 저장 동안 무처리 굴에 비하여 높은 품질

을 유지하였다고 보고하였다. Lopez-Caballero 등(2000)은 굴의 조직감은 초고압 처리 전후 다소 차이가 있었지만, 일주일 저장 후에는 shear strength가 초기의 두 배가 되었는데, 이는 myofibrillar fraction의 변성에 의한 응집과 수분 손실에 기인한다고 보고하였다. 또한 모든 압력에서 초고압 처리 후 굴의즙은 더 점성이 있으며, 이는 염용성 단백질의 추출 때문으로 추정하였다.



## 요 약

*V. parahaemolyticus*와 *E. coli*를 접종한 생굴을 대상으로 초고압 처리조건을 달리하여 살균효과를 측정하였다. 처리조건에 따른 *V. parahaemolyticus*의 균수 변화를 보면, 무처리한 굴의 초기 배양균수는  $3.8 \times 10^5$  CFU/mL이었는데, 22°C/10분에서 100~300 MPa로 처리한 결과 처리압력의 증가에 따라 감소하였으며 200 MPa 이상의 처리로 완전히 사멸되었다. 22°C/150 MPa에서 5~30분으로 처리한 결과 처리시간의 증가에 따라 지속적으로 감소하였다가 25분 이상 처리하였을 때 모두 사멸되었다. 100 MPa에서 0, 10°C로 처리한 결과 동일 처리압력과 처리시간에서 처리온도가 낮을수록 미생물의 사멸율은 높았으며, 100 MPa/0°C와 10°C에서 각각 20분과 25분 처리하였을 때 완전히 사멸되었다. 처리조건에 따른 *E. coli*의 균수 변화를 보면, 무처리한 굴의 초기 배양균수는  $4.0 \times 10^7$  CFU/mL이었는데, 22°C/15분에서 150~400 MPa로 처리한 결과 처리 압력 250 MPa까지는 거의 변화가 없었으나 그 이상의 압력에서는 급격히 감소하였으며 375 MPa 이상에서는 완전히 사멸되었다. 300 MPa/15분에서 0, 10, 22°C로 처리한 결과 동일한 처리압력과 처리시간에서 처리온도가 낮을수록 살균효과가 더 높았다. 10°C/350 MPa에서 5~25분으로 처리한 결과 처리시간의 증가에 따라 균수가 급격히 감소하였으며, 350 MPa에서 5분 처리로 약 4 log cycle 감소하였고 15분 이상의 처리로 검출한계 이하였다.

생굴을 10°C와 22°C/350 MPa/15분의 조건에서 초고압 처리하여 10°C 저장 중 미생물수와 품질 변화를 측정하였다. 무처리한 굴의 초기 총세균수는  $1.6 \times 10^2$  CFU/mL이었는데, 저장기간 동안 급격히 증가하였으며 저장 4일에  $5.6 \times 10^4$  CFU/mL이었다. 초고압 처리한 굴은 초기 총세균수가 약  $10^1$  CFU/mL이었는데, 저장 7일에는 약  $10^3$  CFU/mL으로 저장기간 동안 세균수의 증가가 적었다. 무처리한 굴에는 초기에 젖산균이 존재하지 않았으나 저장 2일 이후부터 검출되기 시작하여 저장 3일에는  $3.3 \times 10^3$  CFU/mL을 시작으로

급격히 증가하기 시작하였으며, 저장 4일에  $7.2 \times 10^4$  CFU/mL이었다. 초고압 처리한 굴은 저장 4, 5일 까지 젖산균이 검출되지 않았으나 그 이후에는 검출되기 시작하여 저장 8일에는 약  $10^2$  CFU/mL이었다. 무처리한 굴의 초기 pH는 6.19이었는데, 저장 중 지속적으로 감소하였으며 저장 4일에 5.83이었다. 초고압 처리한 굴은 저장 중 pH 변화가 매우 작았으며 저장 4, 8, 14일에 pH가 각각 6.07, 6.03, 5.82로 매우 높은 값을 유지하였다. 무처리한 굴의 초기 휘발성 염기질소는 16.8 mg%이었는데, 저장 3일 까지는 변화가 없다가 그 이후 급격히 증가하였으며, 저장 4일에 30.1 mg%이었다. 초고압 처리한 굴의 휘발성 염기질소는 저장 중 변화가 크지 않아 저장 4일과 8일에 각각 약 20과 23 mg%로 보통 선도의 어육에 해당되는 값을 나타내었다. 초고압 처리한 굴은 무처리 굴에 비하여 Hunter L, a와 b값이 모두 높았으며, 처리 여부에 관계없이 저장 초기에 L, a와 b값이 증가한 후 저장 2일부터는 일정한 경향을 나타내었다. Demerit score에 의한 관능검사 결과 해동한 생굴이 가장 낮은 점수를 보였으며, 그 다음으로 10℃에서 초고압 처리한 후 10℃에서 4일 저장한 굴, 8일 저장한 굴의 순이었고, 초고압 처리를 행하지 않고 4일 저장한 생굴이 가장 높은 점수를 보였다.

## 참 고 문 헌

한국식품공업협회, 2000. 식품공전. pp.630-632, 641.

해양수산부, 2004a. 어업생산통계. 12권, pp.34-36.

해양수산부, 2004b. 수산물 수출입 통계연보. pp.28-29.

Aleman, G.D., D.F. Farkas, S. McIntyre, J.A. Torres and E. Wilhelmsen, 1994. Ultra-high pressure pasteurization of fresh cut pineapple, *J. Food Protect.*, 57, 931~934.

Alpas, H., N. Kalchayanand, F. Bozoglu, A. Sikes, C.P. Dunne and B. Bay, 1999. Variation in resistance to hydrostatic pressure among strains of food-borne pathogens. *Appl. Environ. Microbiol.*, 65, 4248~4251.

Bender, G.R. and R.E. Marquis, 1982. Sensitivity of various salt forms of *Bacillus magaterium* spores to the germinating action of hydrostatic pressure. *Can. J. Microbiol.*, 28, 643~649.

Benito, A., G. Ventoura, M. Casadei, T. Robinson and B. Macket, 1999. Variation in resistance of natural isolates of *Escherichia coli* O157 to high hydrostatic pressure, mild heat and other stresses. *Appl. Environ. Microbiol.*, 65, 1564~1569.

Berlin, D.L., D.S. Herson, D.T. Hicks and D.G. Hoover, 1999. Response of pathogenic *Vibrio* species to high hydrostatic pressure. *Appl. Environ. Microbiol.*, 65, 2776~2780.

Carlez, A., J.P. Rosec, N. Richard and J.C. Cheftel, 1994. Bacterial growth during chilled storage of pressure-treated minced meat. *Lebensm.-Wiss. Technol.*, 27, 48~54.

Casadei, M.A., P. Manas, G. Niven, E. Needs and B.M. Mackey, 2002. Role of membrane fluidity in pressure resistance of *Escherichia coli* NCTC 8164. *Appl. Environ. Microbiol.*, 68, 5965~5972.

Cheftel, J.C., 1995. Review: High pressure, microbial inactivation and food preservation. *Food Sci. Technol. Int.*, 1, 75~90.

Clouston, J.G. and P.A. Wills, 1969. Inhibition of germination and inactivation of *Bacillus pumilus* spores by hydrostatic pressure. *J. Bacteriol.*, 97, 684~690.

Cook, D., 2003. Sensitivity of vibrio species in phosphate buffered saline and in oysters to high-pressure processing. *J. Food Protect.*, 66, 2276~2282.

Cook, D.W., 1991. Microbiology of bivalve molluscan shellfish. pp.19~39, In "Microbiology of Marine Food Products" (ed. Ward, D.R. and C. Hackney), NY, Van Nostrand Reinhold.

Cruz-Romero, M., M. Smiddy, C. Hill, J.P. Kerry and A.L. Kelly, 2004. Effects of high pressure treatment on physicochemical characteristics of fresh oysters. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 5, 161~169.

Delfini, C., L. Conterno, G. Carpi, P. Rovere, A. Tabusso, C. Cocito and A.

Amati, 1995. Microbiological stabilization of grape musts and wines by high hydrostatic pressures. *J. Wine Res.*, 6, 143~151.

Garcia, A.F., P. Heindl, H. Voight, M. Buttner, D. Wienhold, P. Butz, J. Starke and B. Tauscher, 2004. Reduced proteinase K resistance and infectivity of prions after pressure treatment at 60°C. *J. Gen. Virol.*, 85, 261~264.

Gervilla, R., M. Capellas, V. Ferragut and B. Guamis, 1997. Effect of high hydrostatic pressure on *Listeria innocua* 910 CECT inoculated into ewe's milk. *J. Food Protect.*, 60, 33~37.

Gould, G.W., 1973. Inactivation of spores in food by combined heat and hydrostatic pressure. *Acta Aliment.*, 2, 377~383.

Gould, G.W. and A.J.H. Sale, 1970. Initiation of germination of bacterial spores by hydrostatic pressure. *J. Gen. Microbiol.*, 60, 335~346.

Hagen, C.J., E.M. Sloan, G.A. Lancette, J.T. Peeler and J.N. Sofos, 1994. Enumeration of *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio vulnificus* in various seafoods with two enrichment broths. *J. Food Protect.*, 57, 403~409.

Hauben, K.J.A., K. Bernaerts and C.W. Michiels, 1998. Protective effect of calcium on inactivation of *Escherichia coli* by high hydrostatic pressure. *J. Appl. Microbiol.*, 85, 678~684.

Hayakawa, I., T. Kanno, M. Tomita and Y. Fujio, 1994. Application of high pressure for spores by inactivation and protein denaturation. *J. Food Sci.*, 59, 159~163.

Hayashi, R., 1989. Use of high pressure to food processing and



preservation. pp.1~30, In "Use of High Pressure in Food" (ed. Hayashi, R.), San-Ei Pub. Co., Kyoto.

He, H., R.M. Adams, D.F. Farkas and M.T. Morrissey, 2002. Use of high-pressure processing for oyster shucking and shelf-life extension. *J. Food Sci.*, 67, 640~645.

Heinz, V. and D. Knorr, 2001. Effects of high pressure on spores, pp.77~113. In "Ultra High Pressure Treatments of Foods" (ed. Hendrickx, M.E.G and D. Knorr), Kluwer Academic Plenum Pub. New York.

Heremans, K., 1995. High pressure effects on biomolecules. pp.81~97, In "High Pressure Processing of Foods" (ed. Ledward, D.A., R.G. Earnshaw and A.P.M. Husting), Nottingham Univ. Press.

Hite, B.H., 1899. The effect of pressure in the preservation of milk. *Bull. WV Univ. Agric. Exp. Station*, 58, 15~35.

Hite, B.H., N.J. Giddings and C.E. Weakley, 1914. The effect of pressure on certain microorganisms encountered in the preservation of fruits and vegetables. *Bull. WV Univ. Agric. Exp. Station*, 146, 1~67.

Hong, S.I., W.S. Park and Y.R. Pyun, 1999. Nonthermal inactivation of *Lactobacillus plantarum* as influenced by pressure and temperature of pressurized carbon dioxide. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 34, 125~130.

Horie, Y., K. Kimura, Y. Yosida and K. Ohki, 1991. Jam preparation by pressurization. *Nippon Nogeikagaku Kaishi*, 65, 975~980.

Hur, S.H., H.J. Lee and J.H. Hong, 2002. Characterization of materials for

retort processing in oyster porridge. *J. Kor. Soc. Food Sci. Nutr.*, 31, 770~774.

Jay, J.J., 1996. *Modern Food Microbiology*. 5th ed. Chapman Hall, New York, p.127.

Johnson, F.H. and C.E. Zobell, 1949. The retardation of thermal disinfection of *Bacillus subtilis* spores by hydrostatic pressure. *J. Bacteriol.*, 57, 353~358.

Kalchayanand, N., A. Sikes, C.P. Dunne and B. Ray, 1998. Factors influencing death and injury of foodborne pathogens by hydrostatic pressure-pasteurization. *Food Microbiol.*, 15, 207~214.

Khadre, M.A. and A.E. Yousef, 2002. Susceptibility of human rotavirus to ozone, high pressure and pulsed electric field. *J. Food Protect.*, 65, 1441~1446.



Kingsley, D.H., D.G. Hoover, E. Papafragkou and G.P. Richards, 2002. Inactivation of hepatitis A virus and a calicivirus by high hydrostatic pressure. *J. Food Protect.*, 65, 1605~1609.

Kitching, J.A., 1957. Effects of high hydrostatic pressure on the activity of flagellates and ciliates. *J. Experimental Biol.*, 34, 494~510.

Kueh, C.S.W. and K.Y. Chan, 1985. Bacteria in bivalve shellfish with special reference to the oyster. *J. Appl. Bacteriol.*, 59, 41~47.

Laidler, K.J., 1951. The influence of pressure on rates of biological reaction. *Arch. Biochem.*, 30, 226~240.

Lakshmanan, R. and P. Dalgaard, 2004. Effects of high-pressure processing on *Listeria monocytogenes*, spoilage microflora and multiple compound quality indices in chilled cold-smoked salmon. *J. Appl. Microbiol.*, 96, 398~408.

Lechowich, R.V., 1993. Food safety implications of high hydrostatic pressure as a food processing method. *Food Technol.*, 47, 170~172.

Ledward D.A., 1998. High-pressure processing of meat and fish. pp.165-175, In "Fresh Novel Foods by High-Pressure" (ed. Autio, K.), Espoo: VVT Biotechnology and Food Rresearch.

Lee, K.H., W.K. Choe, J.H. Pyeun and M.N. Kim, 1976. Discolorization of canned boiled oyster. *Bull. Kor. Fish Soc.*, 9, 111~119.

Linehan, L.G., T.P. O'Connor and G. Burnell, 1999. Seasonal variation in the chemical composition and fatty acid profile of Pacific oyster. *Food Chem.*, 64, 211~214.

Liston, M., J.M.J. McClementes and M.F. Patterson, 1999. Survival of *Escherichia coli* O157:H7 during storage of pressure-treated orange juice. *J. Food Protect.*, 62, 1038~1040.

Lopez-Caballero M.E., M. Perez-Mateos, P. Montero and A.J. Bonderias, 2000. Oyster preservation by high-pressure treatment. *J. Food Protect.*, 63, 196~201.

Lopez-Pedemonte, T.J., A.X. Roig-Sagues, A.J. Trujillo, M. Capellas and B.

Guamis, 2003. Inactivation of spores of *Bacillus cereus* in cheese by high hydrostatic pressure with the addition of nisin or lysozyme. *J. Dairy Sci.*, 86, 3075~3018.

Ludikhuze, L. and M.E.G. Hendrickx, 2001. Effects of high pressure on chemical reactions related to food quality. pp.167~188, In "Ultra High Pressure Treatments of Foods" (ed. Hendrickx, M.E.G. and D. Knorr), New York, Kluwer Academic Pub.

Manas, P. and B.M. Mackey, 2004. Morphological and physiological changes induced by high hydrostatic pressure in exponential- and stationary-phase cells of *Escherichia coli*: relationship with cell death. *Appl. Environ. Microbiol.*, 70, 1545~1554.

Manas, P. and R. Pagan, 2005. A review: microbial inactivation by new technologies of food preservation. *J. Appl. Microbiol.*, 98, 1387~1399.

Master, A.M., B. Krebbers, R.W. Van den Berg and P.V. Bartels, 2004. Advantages of high pressure sterilization on quality of food products. *Trends Food Sci. Technol.*, 15, 79~85.

Messens, W., J. Van Camp and A. Huyghebert, 1997. The use of high pressure to modify the functionality of food proteins. *Trends Food Sci. Technol.*, 8, 107~112.

Metrick, C., D.G. Hoover and D.F. Farkas, 1989. Effects of high hydrostatic pressure on heat-sensitive strains of salmonella. *J. Food Sci.*, 54, 1547~1564.

Minerich, P.L. and R. Krug, 2003. Case study in real world: use of high pressure technology for processing hams. p.89, In "Institute of Food

Technology Annual Meeting Book of Abstracts", Chicago, Illinois, Institute of Food Technologists.

Ministry of Health, Labor and Welfare, 1984. Panel Test (visual examination, sensory examination): Standardized criteria on food and additives in Japan. Notification No. 370.

Morild, E., 1981. The theory of pressure effects on enzymes. *Adv. Protein Chem.*, 34, 93~166.

Morita, R.Y., 1975. Effect of hydrostatic pressure on succinic, malic and formic dehydrogenases in *Escherichia coli*. *J. Bacteriol.*, 74, 251~255.

Nielsen, J. and K. Jessen, 1997. New development in sensory analysis for fish and fishery products. pp.537-547, In "Seafood from Producer to Consumer Integrated Approach to Quality" (ed. Luten, J.B., T. Borresen and J. Oehlenschläger), Amsterdam, Elsevier.

Ohshima T., H. Ushio and C. Koizumi, 1993. High pressure processing of fish and fish products. *Trends Food Sci. Technol.*, 4, 370~375.

Otake, T., H. Mori, T. Kawahata, Y. Izumoto, H. Nishimura, I. Oishi, T. Shigehisa and H. Ohno, 1997. Effects of high hydrostatic pressure treatment on HIV infectivity. pp.233~236, In "High Pressure Research in the Bioscience and Biotechnology" (ed. Heremans, K.), Leuven University Press.

Oxen, P. and D. Knorr, 1993. Baroprotective effects of high solute concentrations against inactivation of *Rhodotorula rubra*. *Lebensm.-Wiss. Technol.*, 26, 220~223.

Parish, M.E., 1998. High pressure inactivation of *Saccharomyces cerevisiae*, endogenous microflora and pectinmethylesterase in orange juice. *J. Food Protect.*, 18, 57~65.

Park, S.W., K.H. Shon, J.H. Shin and H.J. Lee, 2001. High hydrostatic pressure inactivation of *Lactobacillus viridescens* and its effects on ultrastructure of cell. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 36, 775~781.

Parnell, S., 2003. High pressure processing of fruit and vegetables. p.89, In "Institute of Food Technology Annual Meeting Book of Abstracts", Chicago, Illinois, Institute of Food Technologists.

Patterson, M.F., 2005. A review: Microbiology of pressure-treated foods. *J. Appl. Microbiol.*, 98, 1400~1409.

Patterson, M.F. and D.J. Kilpatrick, 1998. The combined effect of high hydrostatic pressure and mild heat on inactivation of pathogens in milk and poultry. *J. Food Protect.*, 61, 432~436.

Patterson, M.F, M. Quinn, R. Simpson and A. Gilmour, 1995. Sensitivity of vegetative pathogens to high hydrostatic pressure treatment in phosphate-buffered saline and foods. *J. Food Protect.*, 58, 524~529.

Ramaswamy, H.S., E. Riahi and E. Idziak, 2003. High-pressure destruction kinetics of *E. coli* in apple juice. *J. Food Sci.*, 68, 1750~1756.

Reddy, N.R., H.M. Solomon, G.A. Fingerhut, E.J. Rhodehamel, V.M. Balasubramaniam and S. Palaniappan, 1999. Inactivation of *Clostridium*

*botulinum* type E spores by high pressure processing. *J. Food Saf.*, 19, 277~288.

Ritz, M., J.L. Tholozan, M. Federighi and M.F. Pilet, 2001. Morphological and physiological characterization of *Listeria monocytogenes* subjected to high hydrostatic pressure. *Appl. Environ. Microbiol.*, 67, 2240~2247.

Sale, A.J., G.W. Gould and W.A. Hamilton, 1970. Inactivation of bacterial spores by hydrostatic pressure. *J. Gen. Microbiol.*, 60, 323~334.

SAS Institute Inc., 1996. SAS User's Guide. Statistical Analysis Systems Institute, Cary, NC, USA.

Seyderhelm, I., S. Bogusawski, G. Michaelis and D. Knorr, 1996. Pressure induced inactivation of selected food enzymes. *J. Food Sci.*, 61, 308~310.

Sherry, A.E., M.F. Patterson and R.H. Madden, 2004. Comparison of 40 *Salmonella enterica* serovars injured by thermal, high pressure and irradiation stresses. *J. Appl. Microbiol.*, 96, 887~893.

Shigehisa, T., T. Ohmori, A. Saito, S. Taji and R. Hayashi, 1991. Effects of high pressure on the characteristics of pork slurries and inactivation of microorganisms associated with meat and meat products. *Int. J. Food Microbiol.*, 12, 207~216.

Simpson, R.K. and A. Gilmour, 1997. The effect of high hydrostatic pressure on *Listeria monocytogenes* in phosphate buffered saline and model food systems. *J. Appl. Microbiol.*, 83, 181~188.

Smelt, J.P.P.M., 1998. Recent advances in the microbiology of high pressure processing. *Trends Food Sci. Technol.*, 9, 152~158.

Smelt, J.P.P.M., A.G.F. Rijke and A. Hayhurst, 1994. Possible mechanisms of high pressure inactivation of microorganisms. *High Press. Res.*, 12, 199~203.

Smiddy, M., L. O'Gorman, R.D. Sleator, J.P. Kerry, M.F. Patterson, A.L. Kelly and C. Hill, 2005. Greater high-pressure resistance of bacteria in oyster than in buffer. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 6, 83~90.

Styles, M.F., D.G. Hoover and D.F. Farkas, 1991. Responses of *Listeria monocytogenes* and *Vibrio parahaemolyticus* to high hydrostatic pressure. *J. Food Sci.*, 56, 1404~1407.

Suzuki, C. and K. Suzuki, 1962. The protein denaturation by high pressure. *J. Biochem.*, 52, 67~72.

Takahashi, K., H. Ishii and H. Ishikawa, 1992. Sterilization of microorganisms by hydrostatic pressure at low temperature. pp.303~307, In "High pressure Science and Biotechnology" (ed. Balny, C., R. Hayashi, K. Heremans and P. Masson), Colloque INSERM John Libbey Eurotext Ltd..

Tamaoka, T., N. Itoh and R. Hayashi, 1991. Effects of pressure on the chemical reactions relating to food. pp.58~73, In "High Pressure Science for Food" (ed. Hayashi, R.), San-Ei Pub. Co. Kyoto.

Tanaka, T. and K. Hatanaka, 1992. Application of hydrostatic pressure to yoghurt to prevent its after-acidification. *J. Jpn. Soc. Food Sci. Technol.*, 39, 173~177.

Ulmer, H.M., M.G. Ganzle and R.F. Vogel, 2000. Effects of high pressure on survival and metabolic activity of *Lactobacillus plantarum* TMW1. 460. *Appl Environ. Microbiol.*, 66, 3966~3973.



Voldrich, M., J. Dobias, L. Ticha, M. Cerovsky and J. Kratka, 2004. Resistance of vegetative cells and ascospores of heat resistance mould *Talaromyces avellaneus* to the high pressure treatment in apple juice. *J. Food Eng.*, 61, 541~543.

Wouters, P.C., E. Glaasker and J.P.P.M. Smelt, 1998. Effects of high pressure on inactivation kinetics and events related to proton efflux in *Lactobacillus plantarum*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 64, 509~515.

Yang, S.T. and E.H. Lee, 1972. Freshness of fish and shrimp during cold storage. *Bull. Pusan Fish Coll.*, 12, 703~712.

Yen, G.C. and H.T. Lin, 1996. Comparison of high pressure treatment and thermal pasteurization effects on the quality and shelf-life of guava puree. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 31, 205~213.

Yuki, N., H. Mieda, O. Mutsushika and Y. Tamaki, 1993. Bitterness inhibition in grapefruit juice by high pressure treatment. pp.350~354, In "High pressure Bioscience and Food Science" (ed. Hayashi, R.), San-Ei Pub. Co. Kyoto, Japan.

Yukizaki, C., 1994. Sterilization of sea urchin eggs by hydrostatic pressure. *Shokuhin Kogyo*, 94, 50~53.

Yukizaki, C., M. Kawano and H. Tsumagari, 1993. The sterilization of sea urchin eggs by high hydrostatic pressure. pp.225~228, In "High Pressure Bioscience and Food Science" (ed. Hayashi, R.), San-Ei Pub. Co. Kyoto, Japan.

Zhang, J.Z., 2000. The use of pH and buffer intensity to quantify the carbon cycle in the ocean. *Marine Chem.*, 70, 121~131.

Zobell, C.E., 1970. Pressure effects on morphology and life processes of bacteria. pp.85-130, In "High Pressure Effects on Cellular Process" (ed. Zimmerman, A.M.), Acad. Press, New York, USA.

Zobell, C.E. and A.B. Cobet, 1962. Filament formation by *Escherichia coli* at increased hydrostatic pressures. *J. Bacteriol.*, 87, 710~714.



## 謝 辭

오늘의 큰 영광은 많은 고마운 분들의 도움이 있었기에 가능하였음을 감사드리며 매사에 더욱 열심히 노력하려고 합니다.

먼저 미흡한 저를 학문의 길로 안내해 주시고 본 논문이 완성되기까지 지도와 격려를 해 주신 송대진 교수님께 머리 숙여 감사드립니다. 부족한 저를 열과 성의를 다하여 끝까지 이끌어 주신 임상빈 교수님께도 진심으로 감사드립니다. 그리고 학위과정동안 격려를 아끼지 않으시고 용기를 북돋아 주신 하진환 교수님, 항상 곁에서 깊은 관심과 많은 가르침을 주신 강영주 교수님, 김수현 교수님, 고영환 교수님께도 감사드립니다.

논문 완성까지 어렵고 힘들 적에 많은 도움을 주신 부경대학교 식품영양학과 변대석 교수님, 식품분리공정실 좌미경 박사님, 후배 현선희에게도 고마움을 전합니다.

오늘에 이르기까지 언제나 변함없는 사랑과 인내로 지켜봐 주신 어머님 그리고 아내 김현옥과 아들 박성익, 딸 박수연에게도 고맙고 사랑한다는 말을 전합니다.