

博士學位論文

초고압처리에 의한 좁쌀 약·탁주의  
저장성 향상



제주대학교 중앙도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY  
濟州大學校 大學院

食品工學科

左 美 京

2002年 2月

# 초고압처리에 의한 좁쌀 약·탁주의 저장성 향상

指導教授 任 尙 彬  
左 美 京

이 論文을 工學 博士學位 論文으로 提出함

2002年 2月

左美京의 工學 博士學位 論文을 認准함

審査委員長	宋 大 鎭	印
委 員	金 洙 賢	印
委 員	河 璫 桓	印
委 員	趙 舜 榮	印
委 員	任 尙 彬	印

濟州大學校 大學院

2002年 2月

Shelf Life Extension of *Foxtail Millet Yakju* and  
*Takju* by High Hydrostatic Pressure Treatment

Mi-Kyung Jwa

(Supervised by professor Sangbin Lim)

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

2002. 2.

# 目 次

List of Figures .....	V
List of Tables .....	VII
Summary .....	1
I. 序 論 .....	3
II. 研 究 史 .....	7
2.1. 식품가공에 고압기술의 이용 .....	7
2.1.1. 고압처리의 원리 .....	7
2.1.2. 식품에 고압처리의 응용 .....	8
2.2. 고압처리에 의한 단백질의 변성 .....	9
2.3. 고압처리에 의한 식품의 살균 .....	10
2.3.1. 고압처리가 미생물에 대한 작용 양상 .....	10
2.3.2. 식품의 고압살균 .....	12
2.3.3. 내열성 포자의 고압살균 .....	13
2.4. 고압처리에 의한 효소의 반응조절 및 불활성화 .....	15
2.4.1. 고압처리에 의한 효소반응의 조절 .....	15
2.4.2. 고압처리에 의한 효소의 불활성화 .....	17
III. 材 料 및 方 法 .....	19
3.1. 재료 .....	19

3.2. 고압처리 .....	19
3.3. 가열처리 .....	19
3.4. 저장 실험 .....	19
3.5. 미생물 검사 .....	21
3.6. 효소활성 측정 .....	21
3.7. 품질 측정 .....	22
3.7.1. pH .....	22
3.7.2. 적정산도 .....	22
3.7.3. 탁도 .....	22
3.7.4. 환원당 .....	22
3.7.5. 관능검사 .....	22
<b>IV. 結果 및 考察</b> .....	<b>24</b>
4.1. 초고압처리에 의한 좁쌀탁주의 저장성 향상 .....	24
4.1.1. 초고압처리에 의한 좁쌀탁주의 미생물 살균 및 효소 불활성화 .....	24
4.1.1.1. 처리압력에 따른 미생물의 살균효과 .....	24
4.1.1.2. 고압살균에 미치는 온도의 영향 .....	27
4.1.1.3. 처리시간에 따른 미생물의 살균효과 .....	29
4.1.1.4. 처리압력에 따른 효소의 불활성화 .....	31
4.1.1.5. 효소불활성화에 대한 온도의 영향 .....	33
4.1.1.6. 처리시간에 따른 효소의 불활성화 .....	35
4.1.2. 초고압처리한 좁쌀탁주의 저장 중 미생물, 효소활성 및 품질 변화 .....	37
4.1.2.1. 미생물수의 변화 .....	37
4.1.2.1.1. 일반세균수의 변화 .....	37
4.1.2.1.2. 젖산균수의 변화 .....	39

4.1.2.1.3. 효모수의 변화 .....	41
4.1.2.2. 효소활성의 변화 .....	43
4.1.2.2.1. $\alpha$ -Amylase 활성의 변화 .....	43
4.1.2.2.2. Glucoamylase 활성의 변화 .....	45
4.1.2.3. 품질변화 .....	47
4.1.2.3.1. pH의 변화 .....	47
4.1.2.3.2. 적정산도의 변화 .....	49
4.1.2.3.3. 환원당의 변화 .....	52
4.1.2.3.4. 관능적 특성 .....	55
<b>4.2. 초고압처리에 의한 좁쌀약주의 저장성 향상 .....</b>	<b>58</b>
4.2.1. 초고압처리에 의한 좁쌀약주의 미생물 살균 및 효소 불활성화 .....	58
4.2.1.1. 처리압력에 따른 미생물의 살균효과 .....	58
4.2.1.2. 고압살균에 미치는 온도의 영향 .....	61
4.2.1.3. 처리시간에 따른 미생물의 살균효과 .....	63
4.2.1.4. 처리압력에 따른 효소의 불활성화 .....	65
4.2.1.5. 효소불활성화에 대한 온도의 영향 .....	67
4.2.1.6. 처리시간에 따른 효소의 불활성화 .....	69
4.2.2. 초고압처리한 좁쌀약주의 저장 중 미생물, 효소활성 및 품질 변화 .....	70
4.2.2.1. 미생물수의 변화 .....	70
4.2.2.1.1. 일반세균수의 변화 .....	70
4.2.2.1.2. 젖산균수의 변화 .....	73
4.2.2.1.3. 효모수의 변화 .....	75
4.2.2.2. 효소활성의 변화 .....	77

4.2.2.2.1. $\alpha$ - Amylase 활성의 변화 .....	77
4.2.2.2.2. Glucoamylase 활성의 변화 .....	79
4.2.2.3. 품질변화 .....	81
4.2.2.3.1. pH의 변화 .....	81
4.2.2.3.2. 적정산도의 변화 .....	83
4.2.2.3.3. 탁도의 변화 .....	86
4.2.2.3.4. 환원당의 변화 .....	89
要 約 .....	92
參 考 文 獻 .....	94
研 究 實 績 .....	104



## List of Figures

Fig. 1. Schematic diagram of high pressure processor .....	20
Fig. 2. Effect of pressure on inactivation of microorganisms in Foxtail Millet Takju at 26°C/10 min. ....	26
Fig. 3. Effect of pressure on enzyme inactivation in Foxtail Millet Takju at 26°C/10 min. ....	32
Fig. 4. Inactivation of enzymes in Foxtail Millet Takju with different pressure and treatment time at 66°C. ....	36
Fig. 5. Changes in $\alpha$ -amylase activity of Foxtail Millet Takju treated with heat and pressure during storage at 10°C(a) and 25°C(b). ....	44
Fig. 6. Changes in glucoamylase activity of Foxtail Millet Takju treated with heat and pressure during storage at 10°C(a) and 25°C(b). ....	46
Fig. 7. Changes in pH of Foxtail Millet Takju treated with heat and pressure during storage at 10°C(a) and 25°C(b). ....	48
Fig. 8. Changes in titratable acidity of Foxtail Millet Takju treated with heat and pressure during storage at 10°C(a) and 25°C(b). ....	51
Fig. 9. Changes in reducing sugar of Foxtail Millet Takju treated with heat and pressure during storage at 10°C(a) and 25°C(b). ....	54
Fig. 10. Effect of pressure on inactivation of microorganisms in Foxtail Millet Yakju at 25°C/10 min. ....	60
Fig. 11. Effect of treatment time on inactivation of total bacteria in Foxtail Millet Yakju at 65°C/300 MPa. ....	64



Fig. 12. Effect of treatment time on inactivation of enzymes in Foxtail Millet Yakju at 65°C/300 MPa. ....	69
Fig. 13. Changes in total bacteria counts of Foxtail Millet Yakju treated with heat and pressure during storage at different temperature. ....	72
Fig. 14. Changes in $\alpha$ -amylase activity of Foxtail Millet Yakju treated with heat and pressure during storage at different temperature. ....	78
Fig. 15. Changes in glucoamylase activity of Foxtail Millet Yakju treated with heat and pressure during storage at different temperature. ....	80
Fig. 16. Changes in pH of Foxtail Millet Yakju treated with heat and pressure during storage at different temperature. ....	82
Fig. 17. Changes in titratable acidity of Foxtail Millet Yakju treated with heat and pressure during storage at different temperature. ....	85
Fig. 18. Changes in turbidity of Foxtail Millet Yakju treated with heat and pressure during storage at different temperature. ....	88
Fig. 19. Changes in reducing sugar of Foxtail Millet Yakju treated with heat and pressure during storage at different temperature. ....	91

## List of Tables

Table 1. Effect of temperature on pressure inactivation of microorganisms in Foxtail Millet Takju at 400 MPa/10 min .....	28
Table 2. Inactivation of microorganisms in Foxtail Millet Takju with different treatment time .....	30
Table 3. Effect of temperature on pressure inactivation of enzymes in Foxtail Millet Takju at 400 MPa/10 min .....	34
Table 4. Changes in total bacteria counts(CFU/mL) of Foxtail Millet Takju treated with heat and pressure during storage .....	38
Table 5. Changes in lactic acid bacteria counts(CFU/mL) of Foxtail Millet Takju treated with heat and pressure during storage .....	40
Table 6. Changes in yeast counts(CFU/mL) of Foxtail Millet Takju treated with heat and pressure during storage .....	42
Table 7. Sensory properties of Foxtail Millet Takju treated with heat and pressure after storage for 30 days at 10°C and 25°C .....	57
Table 8. Effect of temperature on pressure inactivation of microorganisms in Foxtail Millet Yakju at 300 MPa/10 min .....	62
Table 9. Effect of pressure on enzyme inactivation in Foxtail Millet Yakju at 25°C/10 min .....	66
Table 10. Effect of temperature on pressure inactivation of enzymes in Foxtail Millet Yakju at 300 MPa/10 min .....	68

Table 11. Changes in lactic acid bacteria counts(CFU/mL) of Foxtail Millet Yakju treated with heat and pressure during storage at different temperature ..... 74

Table 12. Changes in yeast counts(CFU/mL) of Foxtail Millet Yakju treated with heat and pressure during storage at different temperature ... 76



## Summary

High hydrostatic pressure was applied to *Foxtail Millet Takju* and *Yakju* to prevent from deteriorating quality characteristics by heat treatment and, the effects of high pressure on inactivation of microorganisms and enzymes, and changes in quality during storage were investigated. Lactic acid bacteria and yeast in *Foxtail Millet Takju* decreased significantly with the increase of treatment pressure, and were sterilized completely with the pressurization of 400 MPa for 10 min at room temperature. Total viable cells were sterilized completely at 66°C/400 MPa/60 min and 66°C/600 MPa/10 min. Pressurization of *Takju* caused a partial inactivation of  $\alpha$ -amylase, while the activity of glucoamylase increased with the increase of treatment pressure at room temperature. The increase of treatment temperature at 400 MPa decreased the activities of  $\alpha$ -amylase and glucoamylase and, treatment at 66°C/400 MPa/10 min reduced the activity of  $\alpha$ -amylase by 59.7% and glucoamylase by 20.5%. Heat treatment at 65°C/30 min reduced the activity of glucoamylase by 83.6%, while combined high hydrostatic pressure and heat only 26.7%.

*Foxtail Millet Takju* were treated with heat(65°C/30 min) and high hydrostatic pressure(27°C/400 MPa/10 min), and stored for 30 days at 10°C and 25°C. Total viable cells were remained almost constant, while lactic acid bacteria and yeast were not detected during storage. The activity of  $\alpha$ -amylase was lower in heat-treated *Takju* than that in pressure-treated during storage. The activity of glucoamylase increased during storage and 2.1 to 4.3 times higher in pressure-treated *Takju* than in heat-treated. pH

and titratable acidity in treated *Takju* were unchanged, and the content of reducing sugar increased during storage.

Lactic acid bacteria and yeast in *Foxtail Millet Yakju* were sterilized completely with the pressurization of 300 MPa for 10 min at room temperature. Total viable cells decreased 3 log cycle with the increase of treatment time from 10 min to 60 min at 25°C/300 MPa. The activities of  $\alpha$ -amylase and glucoamylase in *Yakju* were decreased 18.1% and 21.1%, respectively with the treatment of 600 MPa at room temperature, while 77.8% and 67.9% with the increase of treatment temperature by 65°C at 300 MPa.

*Foxtail Millet Yakju* were treated with heat(65°C/15 min) and high hydrostatic pressure(25°C, 65°C/400 MPa/10 min), and stored for 64 days at 10°C, 25°C and 37°C. Total viable cells were stayed almost unchanged during storage at 10°C and 25°C, while decreased significantly at 37°C and undetected at 25 days of storage in untreated *Yakju* and 55 days in heat- and pressure treated. Lactic acid bacteria and yeast were not detected during storage. The activities of  $\alpha$ -amylase and glucoamylase were higher in pressure-treated *Yakju* at 25°C than those in heat- and pressure-treated at 65°C during storage at 10°C, and lower at 25°C and 37°C than at 10°C of storage. pH in treated *Yakju* was unchanged, while titratable acidity decreased slightly during storage. Turbidity increased significantly with storage period and temperature, and reducing sugar increased slightly during storage.

## I. 序 論

탁주와 약주는 우리나라 고유의 전통주로서 곡류와 누룩을 사용하여 병행발효로 제조하는데, 양조 후에 술덧(주요)을 혼탁하게 제성한 것을 탁주라 하고, 술덧을 여과하여 제성한 것을 약주라고 한다(한국식품공업협회, 1997). 탁주는 오랫동안 주정음료이면서도 식량과 영양제의 역할을 하면서 우리민족의 식생활에 지대한 영향을 미쳐왔다. 탁주가 식량으로 간주되는 이유는 20% 내외의 많은 탄수화물과 5~16%의 주정을 함유하고 있기 때문이며, 영양제인 이유는 곡물원료로부터 이행되는 여러 가지 비타민과 아미노산을 비롯하여 젖산균, 사상균 및 효모 등의 생균체는 물론, 균체가 합성하는 비타민까지 우리가 섭취하기 때문이다(Lee와 Kim, 1969).

그럼에도 불구하고 탁주와 약주의 소비량은 1970년대 중반 이후 지속적으로 감소하고 있는데, 이는 주류의 다양화와 소비자의 기호도 변화는 물론, 약·탁주 자체가 가지고 있는 저장성, 편이성, 소화성의 불량함에 기인하는 것으로 판단된다(Mok 등, 1997; Lee 등, 1991).

주세법상 탁주의 알콜분 규격은 6도 이상이며, 비살균 탁주는 유통기간이 계절에 따라 실온에서는 2~3일이며, 10℃ 이하에서는 5일이다. 살균탁주는 65℃에서 30분 이상 가열하거나 이와 동등 이상의 효력이 있는 방법으로 살균하여 오염이 되지 아니하도록 밀봉 포장한 탁주로서, 식품공전상 진균(효모 등)이 검출되지 않아야 되며, 유통기간은 상온에서 6개월로 규정하고 있다. 약주의 알콜분 규격은 13도 이하이며, 비살균 약주는 유통기간이 계절에 따라 실온에서는 6~15일이며, 10℃ 이하에서는 15일이다. 살균약주는 65℃에서 15분 이상 가열하거나 이와 동등 이상의 효력이 있는 방법으로 살균하여 오염이 되지 아니하도록 밀봉 포장한 약주로서, 식품공전상 진균(효모 등)이 검출되지 않아야 되며, 유통기간은 상온에서 6개월로 규정하고 있다(국세청기술연구소, 1997; 한국식품공업협회, 1997).

탁주에는 *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Mucor*속 등의 곰팡이와 *Saccharomyces*, *Pichia*, *Candida*, *Torulopsis*, *Hansenular*속 등의 효모와 *Bacillus*, *Micrococcus*, *Aerobacter*, *Pseudomonas*속 등의 세균이 생육하고 있다(Lee와 Rhee, 1970). 따라서 무살균 탁주는 유통과정 중에 이들 미생물에 의하여 탁주에 함유되어 있는 전분의 발효가 진행되어 탄산가스가 발생하므로, 병입시 가스분출을 위하여 병뚜껑에 구멍을 내므로 외부로부터 오염의 우려가 있다. 또한 탁주는 여과하지 않으므로 그 물리적 성상이 불균일하며, 저장 유통과정에서 발효가 계속적으로 진행되므로 발효가 지나친 탁주를 음용하게 된다. 또한 유통과정 중에 잔존하는 당류의 지속적인 발효로 단맛의 소실에 따라 신맛과 쓴맛이 상대적으로 증가하게 되는 등 품질의 균일화가 어려운 근본적인 문제점을 안고 있다.(Lee 등, 1989; Bae 등, 1990).

따라서 약·탁주의 저장유통 중에 함유되어 있는 각종 변패미생물과 잔존효소에 의한 변질을 방지하기 위하여 가열살균하게 된다(Mok 등, 1998). 식품공전상 가열살균 조건으로 탁주는 65℃ 이상에서 30분, 약주는 15분인데(한국식품공업협회, 1997), 대부분의 미생물 영양세포들은 65℃ 이상의 가열에 의하여 불활성화되는 것으로 알려져 있다(Lee와 Kim, 1995).

그러나 약·탁주를 가열하면 저장성은 연장시킬 수 있으나, 쓴맛의 발현, 강한 악취(화독내)의 생성, 변색, 층분리 등 물리적 성상의 변화로 인하여 상품성을 저하시키는 문제점을 안고 있다(Lee 등, 1991). Tetra-pak에 살균포장된 탁주의 관능적 품질 특성은 열처리에 의하여 회색, 쓴냄새, 떫은맛, 쓴맛, 걸쭉함이 증가하였고, 신맛, 단맛, 황색, 텁텁함 및 청량감이 감소하여, 전반적으로 기호도가 저하되었다(Lee 등, 1989). 대추술을 가열살균하면 lactose, citrate, malate 및 휘발성 성분은 손실되고 화독내와 쓴맛은 증가하면서 대추술 고유의 풍미가 손상되어 상품가치가 저하되었다(Park 등, 1998). 이와 같이 가열에 의한 살균은 식품의 안전성과 저장성을 향상시키기 위하여 보편적으로 사용되지만, 그 열로 인하여

공유결합이 절단 및 생성되어 식품의 풍미성분 변화를 일으키고 조직감, 색깔, 영양성분 등에도 좋지 않은 영향을 미친다(Marquis, 1976).

이를 방지하기 위하여 저온살균(Bae 등, 1990; Lee 등, 1991), 난백 lysozyme을 보존제로 첨가하여 잡균번식을 방지하고 산생성 세균의 생육을 억제하는 방안(Mok 등, 1998), 방사선조사와 가열처리 병행(Lee와 Kim, 1969), 그리고 저온살균 후 무균포장(Lee와 Kim, 1995) 등이 시도되었으나, 처리에 따른 이취 생성과 저장 중 백탁 생성 등 품질저하를 일으키는 문제점을 안고 있다. 따라서 약·탁주의 변질에 관여하는 주요 미생물을 사멸시키면서 품질의 저하를 최소화할 수 있는 처리 방법 및 조건을 확립할 필요가 있다.

초고압 처리기술은 열을 사용하지 않고 미생물 살균, 단백질 변성, 효소 불활성화, 젤 형성 등의 작용을 하므로 새로운 식품가공법으로 기대를 모으고 있다. 고압하에서는 부피가 줄어드는 방향으로 화학반응이 촉진된다. 즉 결합이 파괴되면 부피가 감소하는 소수성 결합과 이온결합의 파괴가 촉진되지만, 결합이 파괴되면 부피가 증가하는 공유결합과 수소결합은 안정화된다. 따라서 초고압 처리기술은 저분자량 물질보다는 소수성결합 등으로 이루어진 거대분자에 대하여 선택적으로 작용하므로, 천연의 향과 맛의 저하를 최소화하면서 미생물을 살균하거나 효소를 불활성화시킬 수 있으므로(Lee 등, 1996), 약·탁주와 같은 전통식품의 보존성 향상을 위한 새로운 공정으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

약·탁주의 양조원료는 대부분 쌀이었으나, 제주도에서는 발농사가 주로 이루어져 왔기 때문에 좁쌀, 수수, 맥류 등을 원료로 한 토속주가 양조되어 왔으며, 줄보리로 만든 누룩과 차좁쌀로 만든 오메기떡을 주원료로 제조하는 좁쌀 약·탁주는 제주도 전통식품의 하나이다(Kim 등, 1993). 좁쌀 약·탁주의 유통과정 중 잔존하는 미생물에 의한 품질변화를 억제하기 위하여서는, 좁쌀 약·탁주를 제조한 직후 젖산균과 효모를 사멸시켜 젖산균에 의한 산생성과 효모에 의한 알콜 발효를 정지시킬 필요가 있다.



또한 내포되어 있는 효소 중 특히 glucoamylase의 잔존활성을 유지시켜 저장 중 단맛 생성을 촉진시켜 제품의 품질을 유지시킬 수 있는 방법을 개발할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 품질의 변화를 최소화하면서 저장성이 있는 민속 주류를 제조하기 위하여, 양조원료로 좁쌀을 이용하여 제조한 약·탁주를 대상으로 비열살균법인 초고압처리법을 적용하여, 미생물 살균 및 효소 불활성화 효과와 저장온도 및 저장기간에 따른 품질 변화를 측정하여, 약·탁주의 저장성 증진효과를 검증하였다.



## II. 研究史

### 2.1. 식품가공에 고압기술의 이용

#### 2.1.1. 고압처리의 원리

식품가공 분야에서의 압력은 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 사용한다.

압력은 가압술의 경우 물의 비등점을 상승시킬 목적으로 이용되며, 초임계유체 추출의 경우 탄산가스를 유체로 만들기 위하여 이용되며, 압출성형기의 경우 압축의 목적으로 한 방향의 압력을 사용한다. 한편 초고압 식품가공은 압력 포텐셜을 이용하는 방법이며, 높은 정수압(high hydrostatic pressure)하에서 나타나는 식품의 물리적 및 생화학적 변화를 이용하는 것이다(Hayashi, 1989).

압력(P)도 온도(T) 처럼 하나의 에너지량으로 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 확실적으로 전달된다(Smelt, 1998; Tamaoka 등, 1991).

상태변화 인자로서 열과 압력은 물질의 상태변화에 역으로 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 처리의 잇점은 식품의 고유의 풍미를 가진다는 것이다(Yen과 Lin, 1996).

### 2.1.2. 식품에 고압처리의 응용

식품을 100~600 MPa의 압력으로 처리하였을 경우 미생물의 사멸 및 효소의 가역적 및 비가역적인 불활성화 등의 현상이 나타날 수 있다. 특히 식품의 물성은 가열처리와는 달리 고압처리에 의하여 독특한 성질을 나타낸다. 생선묵은 어육단백질의 변성을 이용한 것으로, 일반적으로 냉동고기풀은 2~3%의 식염을 첨가한 후 30℃와 90℃로 2단계 가열처리에 의하여 단백질을 변성시켜 제조한다. 그러나 고기풀은 200 MPa 이상의 압력처리로 젤이 형성되었고 본래의 색을 유지하며 부착성, 신진성, 탄력성이 높았다(Shoji, 1990) Suzuki 등(1992)은 사후 강직된 식육을 100~300 MPa로 고압처리 하였을 때 기존의 저온에서 보관하여 숙성시키는 것과 같이 육의 연화숙성이 촉진되었다. 전분을 가압처리하면 가열에 의한 호화현상과 같은 유사한 변화가 나타나며, 소맥 전분, 옥수수 전분을 300~500 MPa로 가압시 amylase에 의하여 분해되기 쉬운 형태로 변한다(Hayashi와 Hayashida, 1989).

식품은 동결, 해동에 의하여 현저하게 품질이 저하되는 경우가 있다. 기체를 가압하면 액체로 되기까지 체적이 만배 이하로 감소하지만, 물은 가압해도 물의 압축율은 훨씬 작아 수천기압에서도 체적이 수십% 정도 감소하는 것에 불과하다. 따라서 물의 압축과정에서 발생한 열이 소량에 불과한 것은 그 수축이 작기 때문이다. 물의 상태도에 의하면 1기압의 물이 0℃에서 얼음을 형성하는 것과는 달리, 약 200 MPa 까지는 압력이 증가함에 따라 물의 동결점이 -20℃까지 하강하여, 0℃이하에서도 물이 얼지 않는

부동결수 영역이 존재한다(Makita, 1993). Ooide(1993)은 닭고기 및 어육을 부동결 보존한 결과 보존중에는 drip의 증가 및 단백질의 변성이 관찰되지 않았고, 보존 후 냉장상태로 전환시킨 후에도 일반적인 동결보존법에 비하여 신선도의 저하가 적었다.

고압해동은 냉동된 식품의 온도를  $-20^{\circ}\text{C}$  이하로 조절하고, 이 온도대에서 얼음의 용해압력보다 높은 압력을 가하면 압력은 순간적으로 균일하게 가해지므로 냉동식품중에 존재하는 얼음은 단시간에 용해가 가능해진다. 이런 고압하에서 부동결 저장법은 식품뿐만 아니라 무균식사, 혈액정제, 의약품 등의 분야에서도 적용이 가능하다(Smelt, 1998).

초고압 처리에 의하여 발효식품의 숙성제어 및 정지에 의해 보존기간을 연장시킬 수 있는데, Tanaka와 Hatanaka(1992)는 요구르트를  $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 에서  $200\sim 300\text{ MPa}$ 로 10분간 고압처리한 결과 포장 후 일어나는 산생성을 방지할 수 있었으며, Matsumoto(1991)은 피클을 가압처리시 종래의 가열처리와 같은 살균효과를 얻었고, 보존에 있어서도 풍미나 물성이 우수하였는데 그 적용압력은  $400\text{ MPa}$ 이 적당하였다.

## 2.2. 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 뻣뻣하게 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, 수소결합)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; Heramans, 1983).

단백질뿐만 아니라 비공유결합에 의하여 전체구조를 형성하는 생체고분자는 고압의 영향을 받는다. 따라서 핵산, 다당류, 전분, 지질, 지질-단백질 복합체(세포벽) 등도 입체구조가 붕괴되어 기능을 소실한다(Messens 등 1997). 열처리가 공유결합 뿐만 아니라 비공유 결합에도 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).

## 2.3. 고압처리에 의한 식품의 살균

### 2.3.1. 고압처리가 미생물에 대한 작용 양상

압력은 세포의 형태에 영향을 미칠 수 있는데, Zobell과 Cobet(1962)는 세포내 gas vacuoles는 0.6 MPa의 압력에서 붕괴되며, *Escherichia coli*의 필라멘트는 대기압에서 생육하였을 때 1~2  $\mu\text{m}$ 가 정상적인 길이인데 반해, 40 MPa 처리시 10~100  $\mu\text{m}$ 의 긴 필라멘트를 형성하였다고 보고하였다. 특히 Protozoa와 같은 운동성의 유기체인 경우는 고압에 의한 구조의 변화로

운동기능이 정지된다. 이러한 현상은 종에 따라서 가역적으로 나타나며, 감압 후 원래의 상태로 전환되고 다시 운동성을 갖는 경우도 있다(Kitching, 1957).

일반적으로 생육기의 영양세포는 정지기의 세포에 비하여 압력에 민감하고(Mackey 등, 1995), 열에 대한 저항력과 유사하게 그람 양성균이 그람 음성균에 비하여 압력에 대한 저항성이 높으며, 효모와 곰팡이는 압력에 매우 민감하나 세균의 포자는 압력에 강하다(Coughi, 1993). Larson 등(1918)은 300 MPa의 고압처리에 의하여 세균의 그람 염색성이 양성에 음성으로 변화였는데, 이는 세균의 세포벽 구조가 영향을 받은 것으로 추정할 수 있다. *Candida tropicalis*는 200 MPa 이상에서 세포벽의 손상과 내부구조의 변화가 나타났고, 핵막과 미토콘드리아막에 현저한 변화가 확인되었다(Osumi, 1990). Shimada 등(1993)은 100 MPa 이하의 압력에서 효모의 핵막은 영향을 받으며, 400~600 MPa 이상에서는 미토콘드리아와 세포질의 변형을 가져오며, 300 MPa 이상의 압력에서는 금속이온을 방출된다고 보고하였다.

미생물에 대한 압력저해작용은 근본적으로 효소의 불활성화에 의한 것으로 추정하고 있으며, 세포막에 존재하여 삼투압 및 이온농도 조절에 중요한 역할을 지닌 ATPase의 기능 저해에 의한 것이다(Mackey 등, 1995; Marquis 와 Bender, 1987). Marquis(1976)는 가압하에서는 배지의 pH를 변동시켜 미생물의 생육 pH 범위를 축소시키는데, 대기압하에서 배지의 pH는 10이지만 400 MPa 하에서는 pH가 9로 저하되어 *Serratia marcescens*가 저해되었는데, 이는 bacteria cell의 ATPase가 가압에 예민하기 때문이라고 보고하고 있다.

압력으로 처리하는 동안 세포막의 지방산 조성도 변하게 되는데, 호압성 미생물의 지방산은 압력이 증가함에 따라 점점 불포화지방산으로 변하게 된다. Yano 등(1998)은 호기성 호압성균과 혐기성 호압성균의 세포막이 압력에 노출될수록 포화지방산에서 특히 불포화지방산(DHA, 22:6n-3)으로 변화되었는데, 이로 보아 DHA와 같은 불포화 지방산은 고압하에서 세포막의

유동성을 유지하는 중요한 인자로 추정할 수 있다.

Perrier-Cornet 등(1995)은 가압하는 동안 세포의 체적을 광학현미경 이미지 분석장치를 이용하여 분석하였는데, *Saccharomyces*종은 250 MPa로 압력을 가하면 체적이 25%는 압축되었다가 대기압으로 되면 10%만이 비가역적으로 압축되었다고 보고하였다.

세포막은 외부환경의 변화에 가장 민감하게 영향을 받는 부분으로, 초고압처리하는 세포막의 투과성을 증대시켜 세포내액의 누출량을 늘림으로써 세포의 고유기능을 중단시킨다. 세포의 복원은 압력을 가한 후와 온화한 온도조건에 의하여 일어날 수 있는데, 처리압력이 상대적으로 낮은 경우에는 세포의 원래 투과성은 회복되지만, 처리압력이 높은 경우에는 세포벽이 비가역적으로 분해되어 결과적으로 세포가 사멸되는 것으로 추정하고 있다(Farr, 1990).



### 2.3.2. 식품의 고압살균

식품에 대한 고압살균효과는 오래 전부터 가능성 있는 저장기술로 알려져 왔는데, 1899년 Hite가 우유를 690 MPa, 10분 처리한 결과 우유속의 미생물이 감소하였다는 보고가 있다. Horie 등(1991)은 가압가공된 과일잼을 개발하였고 1991년에 처음으로 시판하기 시작하였는데, 효모(*Saccharomyces cerevisiae*와 *Zygosaccharomyces rouxii*) 뿐만 아니라 세균(*Staphylococcus sp.*, *Salmonella sp.*와 대장균) 까지도 살균되었다고 보고하고 있다. 또한 영양학적으로 볼 때 가압가공된 딸기잼은 신선한 초기의 딸기에 비하여 95%의 비타민을 함유하고 있다.

Parish(1998)는 무처리 Hamulin orange juice(pH 3.7)에 초고압을 적용한 결과, *S. cerevisiae*의 자낭포자를 350~500 MPa로 가압시 D-value는 4~76초로 계산되었고, *S. cerevisiae* 영양세균의 D-value는 1~38초 였다. 단 한번의 5분간 초고압처리에 의하여 효모의 사멸이 관찰되었고,

그람양성세균이 그람음성균으로 변화되었다고 보고하고 있다. 파인애플 slice는 340 MPa, 15분 처리에 의하여 저장성은 연장되었는데, 과실의 호모나 영양세균의 사멸은 과실 자체의 pH 때문에 더 효과적이었다(Aleman 등, 1994). Yukizaki(1994)는 비브리오패속 3종(*V. parahaemolyticus*, *V. cholerae*, *V. mimicus*)을 성계에 접종하여 0°C에서 10분 고압처리한 결과 200~300 MPa에서 균수가 급격히 감소되었다.

발효식품은 과도한 미생물 발효와 미생물 유래 효소에 의하여 신맛이 강해지는 문제가 발생한다. 김치류는 유산균이 생성하는 유기산에 의하여 특유의 맛이 생성되지만, 유통중에 발효가 계속 진행되어 품질을 유지하는 것이 곤란하다. 김치를 100~500 MPa의 고압처리를 한 결과 생균수는 400 MPa 이상의 처리에서 거의 살균되었으며, 산의 생성도 300 MPa 이상의 압력처리로 억제되었다. 한편 고압처리에 의하여 물성 및 외관의 변화는 거의 나타나지 않았다(손경현, 1996).

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 보호작용을 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.

### 2.3.3. 내열성 포자의 고압살균

식품의 가공 및 저장에 있어 어려운 공정 중 하나가 세균 포자의 살균이다. 물론 레토르트와 같은 가열공정에 의하여 포자의 살균이 가능하지만, 고온의 열처리는 식품의 품질에 좋지 않은 영향을 미치기 때문에



바람직하지 않다.

대부분의 영양세포는 300~600 MPa에서 살균되지만, 세균의 포자는 1000 MPa 이상의 매우 높은 압력에서도 살아남을 수 있다(Smelt, 1998).

Timson과 Short(1965)도 우유를 13℃에서 830 MPa의 고압처리 후 내압성 미생물을 분리하여 미생물 포자라고 보고하고 있다. Tagi 등(1990)은 세균의 포자는 완충액(pH 7)에서 600 MPa과 60℃에서 처리하여 사멸이 가능하였다. Johnson과 Zobell(1949)은 *S. subtilis*의 포자를 98.6℃에서 가열처리하면 불활성화 되었으나, 같은 온도에서 600 MPa로 처리시 포자를 불활성화 시키는데 약 4시간이 소요되었다고 보고하고 있다. 그러나 저온에서는 압력이 증가할수록 사멸 속도가 증가하여 25℃에서 60 MPa으로 처리한 경우 사멸속도가 증가하여 초기에 비하여 10% 이하로 포자의 생존수가 감소하였다고 보고하고 있어, 상온에서도 포자의 살균이 가능함을 제시하였다. 이와 같이 상온에서는 초고압에 의한 포자의 살균효과가 거의 불가능하였으나 고온이나 저온을 병용할 경우 현저하여, 포자의 살균은 온도에 의하여 크게 좌우됨을 알 수 있다.

한편 Sale 등(1969)은 *Bacillus*속 아포의 살균시험에서 1,180 MPa의 압력으로 직접 살균하기보다는 100~300 MPa의 가압에서 아포의 발아를 촉진시킨 후 계속적으로 살균하는 방법이 유효하다고 보고하고 있다. 포자를 발아시키기 위한 최적온도는 압력에 따라 달라지며, pH의 경우 중성에 가까울수록 오히려 작아지고 중성부근일 때 압력에 의한 포자의 발아가 활발하며, 수분활성이 낮은 상태에서 비이온성 용질은 포자의 불활성화에 크게 영향을 미치지 않으나, 이온성 용질인 NaCl 특히 CaCl<sub>2</sub>는 압력에 의한 포자 불활성화를 억제한다. 또한 Cheftel(1991)은 상대적으로 낮은 압력에서 포자를 발아시킬 때는 현탁액의 구성성분에 의해 상당히 큰 영향을 받는데, 아미노산의 일종인 alanine과 riboside inosine은 *B. cereus* 포자 발아에 효과적인 상승 촉매제 역할을 한다고 보고하고 있다.

## 2.4. 고압처리에 의한 효소의 반응조절 및 불활성화

### 2.4.1. 고압처리에 의한 효소반응의 조절

효소반응을 포함한 화학반응은 가열에 의하여 촉진되지만, 압력변성이 수반되지 않는 압력범위(300 MPa 이하)에서의 효소반응은 압력에 의해 촉진될 수도 지연될 수도 있다. 이러한 원인을 이해하기 위하여 Michaelis-Menten의 효소반응식을 나타내면



K는 효소와 기질간의 평형상수(Michaelis 상수)이며,  $k_{cat}$ 는 효소 촉매 반응속도 상수이다.



열역학적으로 보면

$$\begin{aligned} G &= H - TS \\ &= E - TS + PV \end{aligned}$$

미분하면

$$\begin{aligned} dG &= dE - T dS - S dT + P dV + V dP \\ &= dE - T dS + P dV + V dP \quad (T = \text{const.}) \\ &= V dP \quad (dE = T dS - P dV) \end{aligned}$$

따라서  $\partial G / \partial P = V$

$$\partial \Delta G / \partial P = \Delta V$$

평형상태에서  $\Delta G = -RT \ln K$  이므로

$$\partial \ln K / \partial P = -\Delta V / RT \text{-----} (1)$$

여기서 R은 기체상수, T는 절대온도를 나타내며,  $\Delta V$ 는 반응 전후의 체적변화( $V_B - V_A$ )를 나타낸다.

일정온도에서 반응 전후 체적이 감소되는 계( $\Delta V < 0$ )인 경우  $R > 0$ ,  $T > 0$ 에 의하여 방정식(1)의 우변은 양수가 되므로 좌변도 양수가 되어야 한다. 따라서 압력을 증가시키면 평형상수 K는 증가하게 되어, 이로부터 압력의 효과로 반응이 촉진됨을 알 수 있다.

또한 촉매반응속도 상수  $k_{cat}$ 에 대해서는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\partial \ln k_{cat} / \partial P = -\Delta V^\ddagger / RT \text{-----} (2)$$

여기서  $\Delta V^\ddagger$ 는 초기상태와 전이상태 사이의 활성화 체적을 나타낸다. 따라서 이 식은 고압하에서 반응속도는 활성화 체적에 의하여 가속 또는 감속됨을 나타낸다.  $\Delta V^\ddagger$  및  $\Delta V^\ddagger$ 가 양수인 계에서는 압력에 의하여 반응이 현저히 가속되고, 음수인 경우는 억제된다. 또한 압축율이 큰 만큼 압력효과가 크게 된다. 즉 가압에서는 체적변화가 음수로 되는 기질쪽으로 압력효과가 뚜렷해지는 것을 나타낸다. 효모 유래 carboxypeptidase는 peptidase 활성화 외에 esterase와 amidase의 활성화도 지닌다. 가압조건에 의하여 peptidase 활성화는 esterase와 amidase의 활성화에 비해서 보다 강하게 억제되기 때문에, 각각의 반응속도의 대소관계가 역전되는 경우가 있다. Thermolysine은 잘 알려져 있는 단백질 분해효소이지만 가압에 의하여 활성이 크게 증가되었다.

100 MPa의 가압에서  $k_{cat}/k_m$ 은 13배 이상으로 되며, carboxypepidase의 활성은 약 1/3으로 저하한다고 알려져 있다.

이와 같이 효소 그 자체의 비가역적인 변성은 거의 없이 압력에 의하여 효소활성의 내용을 변화시킬 수 있으며, 이러한 현상은 식품분야에서의 이용과 함께 화학물질, 약품 등 유용물질의 효소생산 분야에서도 향후 응용연구가 기대된다. 효소반응의 경우에는 기질이 고압효과로 변화하는 것을 이용하는 방법도 있는데, 단백질과 단백질 분해효소를 함께 가압하면 효소는 불활성화 되지 않고 효소분해가 쉬워지게 기질을 변화시키는 것이 가능한데, 이러한 원리를 이용하여 Hayashi 등(1987)은 유청단백질 혼합물 중에 다량으로 존재하는  $\beta$ -lactoglobulin을 선택적으로 분해할 수 있었다고 보고하고 있다.

#### 2.4.2. 고압처리에 의한 효소의 불활성화

효소불활성화를 유도하는 인자는 분자내 구조의 수정 및 활성부위의 형태의 변형이다(Suzuki와 Suzuki, 1962). 압력하에서 효소 불활성화는 pH, 기질의 농도, 효소의 subunit 구조에 의하여 영향을 받는다(Laider, 1951). 이러한 효소반응은 압력에 의하여 가속화 또는 비가속화 되기도 하며, 효소촉매반응의 반응체적에 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 완충액에서와는 다르며, Seyderhelm 등(1996)은 설탕은 압력에 의한 pectinesterase의 불활성화를 보호한 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 잔존효소활성이 잔존하였다. 그러나 pH 7에서 9로 변화시켰을 때 효소활성의

50%가 감소하여 알카리 pH와 온도 상승의 조합으로 peroxidase의 불활성화를 유도할 수 있다. Hara 등(1990)은 무살균 청주를 가압처리하여  $\alpha$ -amylase, glucoamylase, acid protease, neutral protease의 효소활성을 측정한 결과, 600 MPa에서 대부분의 효소가 20~30% 불활성화 되었으나 glucoamylase는 활성이 그대로 유지되었다. 그러나 온도와 알콜농도의 증가에 의하여 효소의 불활성화는 더 높일 수 있었다. 고압처리기술을 효소의 불활성화에 이용하여 자몽주스의 쓴맛을 제거할 수 있는데, 120~400 MPa로 고압처리하여 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 있으며, 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.

### Ⅲ. 材料 및 方法

#### 3.1. 재료

좁쌀 약·탁주는 제주도 남군 소재 J양조회사에서 제조한 것을 구입하여 균질화한 후 사용하였다.

#### 3.2. 고압처리

본 실험에 사용한 초고압기(MFP-7000, Mitsubishi Heavy Industries Co., Japan)는 Fig. 1과 같이 내용적이 600 mL로, 먼저 125 mL 폴리프로필렌 병에 좁쌀 약·탁주를 채워 기포가 들어가지 않게 밀봉한 다음, 병을 폴리에틸렌 필름으로 두겹포장한 후 press medium으로 증류수가 채워진 processing chamber에 넣고 hydraulic pump로 pressuring piston을 상승시켜 가압하였다. 탁주의 초고압처리는 압력 100~600 MPa, 온도 26~66°C, 시간 10~60분에서, 약주는 압력 100~600 MPa, 온도 25~65°C, 시간 10~60분에서 실시하였다. 처리온도는 처리압력에서 처리시간 동안 매분마다 chamber 내부의 온도를 측정하여 평균한 값으로 나타내었다.

#### 3.3. 가열처리

시료를 125 mL 폴리프로필렌 병에 채우고 65°C의 water bath(MC-31, JeioTech Co., Korea)에서 탁주는 30분간, 약주는 15분간 가열한 후 실온에서 냉각하였다.

#### 3.4. 저장 실험

탁주는 무처리 좁쌀탁주, 열처리 좁쌀탁주(65°C/30분), 초고압처리 좁쌀탁주(27°C/400 MPa/10분)를 10°C와 25°C에서 30일간 각각 저장하면서 매 3일마다 시료를 취하여 미생물수, 효소력 및 품질특성을 측정하였다. 약주는

무처리 좁쌀약주, 열처리 좁쌀약주(65℃/15 분), 상온 초고압처리 좁쌀약주 (25℃/300 MPa/10분), 고온 초고압처리 좁쌀약주(65℃/300 MPa/10분)를 10℃, 25℃, 37℃에서 64일간 각각 저장하면서 매 7일 마다 시료를 취하여 미생물수, 효소력 및 품질특성을 측정하였다.



Fig. 1. Schematic diagram of high pressure processor

### 3.5. 미생물 검사

좁쌀 약·탁주의 미생물은 표준평판배양법(Park과 Chung, 1988)으로 세균수, 젖산균수, 효모수를 측정하였다. 세균은 표준한천배지(plate count agar)에서, 젖산균은 0.133%의 초산을 가하여 최종 pH를 5.5로 조정된 Rogosa SL agar 배지에서 37°C/72시간 배양하였다. 효모는 YM agar 배지에서 25°C/72시간 배양한 후 집락수 30~100개인 평판을 택하여 집락수를 측정하고 희석배수를 곱하여 단위부피당 미생물수를 산출하였다. 4회 반복 측정하여 평균하였다.

### 3.6. 효소활성 측정

효소활성은  $\alpha$ -amylase와 glucoamylase에 대하여 측정하였는데(Park과 Oh, 1995), 조효소액은 Hong 등(1968)의 방법에 의하여 제조하였다. 즉 시료에 0.5% NaCl 용액을 가하여 실온에서 30분 교반한 후 Toyo No. 2로 여과한 다음 사용하였다.

$\alpha$ -Amylase의 활성은 1% 전분용액(0.02 M phosphate buffer, pH 6.9) 1 mL를 기질로 사용하여 미리 제조한 조효소액을 30°C에서 30분간 반응시킨 후, 1 M 초산 10 mL로 반응을 정지시키고 N/3000 요오드화 용액 10 mL를 가하여 발색시킨 후 660 nm에서 흡광도를 측정하여 blank OD값의 10%을 감소시키는 것을 1 unit로 하여 약·탁주 1 mL로 환산하여 표시하였다(Park과 Oh, 1995). Glucoamylase의 활성은 DNS법(Hong 등, 1968; Miller, 1959)으로 측정하였는데, 0.5% 전분용액(0.4 M acetic acid buffer, pH 4.8) 1 mL를 기질로 사용하여 효소액 1 mL와 혼합한 후 30°C의 항온수조에서 30분간 반응시킨 후 dinitrosalicylic acid reagent를 3 mL 가하여 발색시켜 535 nm에서 흡광도를 측정한 다음, glucose를 이용하여 표준검량곡선을 작성한 후 효소액 1 mL가 1 mg의 glucose를 유리시킬 때의 효소량을 1 unit로 하여 약·탁주 1 mL로 환산하여 표시하였다. 2회 반복 측정하여



평균하였다.


### 3.7. 품질 측정

#### 3.7.1. pH

좁쌀 약·탁주를 교반한 후 pH 미터(Corning, USA)로 측정하였다.

#### 3.7.2. 적정산도

균질화한 좁쌀 약·탁주 10 mL를 비이커에 취하고 지시약으로 1% phenolphthalein 용액을 가한 후 0.1 N NaOH 용액으로 적정하고 소비된 0.1 N NaOH의 양으로부터 다음 식에 의하여 %젓산으로 적정산도를 나타내었다.



제주대학교 중앙도서관

$$\text{적정산도(젓산\%)} = \frac{\text{NaOH 소비량} \times \text{NaOH 역가}}{\text{시료부피}} \times 0.009$$

#### 3.7.3. 탁도

탁도는 분광광도계(UV-1201, Shimadzu, Japan)를 사용하여 420 nm에서의 흡광도를 측정하였다(Mok 등, 1997).

#### 3.7.4. 환원당

좁쌀 약·탁주 10 mL에 증류수 약 60 mL를 가하여 10분간 교반시킨 후 100 mL로 정용하고 Toyo No. 2로 여과한 다음, 여액 1 mL를 취하여 3 mL의 DNS 시약을 가한 후 5분간 중탕하고 상온 냉각한 후 550 nm에서 흡광도를 측정하고 glucose 표준검량곡선을 이용하여 환산하였다.

#### 3.7.5. 관능검사

10°C와 25°C에서 30일간 저장한 좁쌀탁주의 관능적 품질을 측정하기

위하여, 훈련된 식품공학과 재학생 20명을 패널로 선정하여 맛의 강도와 종합적 기호도에 대하여 실시하였다. 맛의 강도는 단맛, 신맛, 쓴맛에 대하여 9점법으로 실시하였다(이와 김, 1994). 이 때 채점기준은 “아주강하다(좋다)(9점), 보통으로 강하다(좋다)(7점), 적당하다(좋지도 나쁘지도 않다)(5점), 보통으로 약하다(나쁘다)(3점), 아주 약하다(나쁘다)(1점)”이었다. 관능검사 결과는 SAS program을 이용하여 Duncan의 중범위검정법으로 유의차 분석을 실시하였다(SAS, 1996).



## IV. 結果 및 考察

### 4.1. 초고압처리에 의한 좁쌀탁주의 저장성 향상

#### 4.1.1. 초고압처리에 의한 좁쌀탁주의 미생물 살균 및 효소 불활성화

##### 4.1.1.1. 처리압력에 따른 미생물의 살균효과

처리압력이 좁쌀탁주의 살균에 미치는 영향을 측정하기 위하여, 상온(26°C)에서 처리압력을 100~600 MPa로 달리하여 10분간 처리한 후 미생물수의 변화는 Fig. 2와 같았다. 무처리 좁쌀탁주의 세균수는  $6.8 \times 10^7$  CFU/mL, 젖산균수는  $1.3 \times 10^8$  CFU/mL, 효모수는  $8.4 \times 10^7$  CFU/mL이었다. Lee 등(1991)은 양조장에서 제성된 탁주를 상온에서 2일간 보관한 후 일반세균수는  $10^6$  CFU/mL, 효모수는  $10^8$  CFU/mL로, 알콜발효에 관여하는 효모가 주종을 이루고 있다고 보고하였다.

좁쌀탁주를 65°C에서 30분간 열처리하였을 때 일반세균수는  $2.2 \times 10^5$  CFU/mL로 감소한 반면, 젖산균과 효모는 완전히 사멸되었다. 초고압으로 처리한 결과 젖산균과 효모수는 처리압력의 증가에 따라 급격히 감소하였으며, 400 MPa 이상에서는 완전히 사멸되었다. Sohn 등(1996a)은 과일주스의 변패 효모인 *Candida tropicalis*를 25°C/400 MPa에서 10분 처리로 미토콘드리아막과 세포벽이 변형되어 완전히 사멸되었으며, Hara 등(1990)도 생주를 25°C/300 MPa에서 10분 처리하여 젖산균과 효모는 완전히 사멸되었다고 보고하였다.

한편 세균인 경우는 200 MPa의 처리로 초기균수  $6.8 \times 10^7$  CFU/mL에서  $6.7 \times 10^5$  CFU/mL로 약 2 log cycle 감소하였으며, 600 MPa 까지 압력을 높여도 커다란 변화는 관찰되지 않아, 좁쌀탁주의 세균은 내압성이 큰 것으로 나타났다. 그런데 초고압처리 후에는 무처리균과는 다른 colony 양상을

관찰할 수 있었다. 이 점에 대해서는 향후 좀더 구체적으로 조사해 보아야 할 것으로 사료된다.

미생물의 압력에 의한 손상은 주로 세포막에서 일어나는데, 초고압처리에 의한 세포막의 기능상실은 세포막 단백질의 변성으로 인하여 아미노산의 섭취가 저해되었기 때문이다. 또한 초고압처리에 의하여 미생물 세포내 구성분들이 유출되면 세포막에 손상을 입히게 되고, 용출되는 양이 많을수록 세포의 사멸과 상해는 가속화된다(Farkas와 Hoover, 2001).

일반적으로 생육기의 영양세포는 압력에 가장 약하며, 그람양성균이 그람음성균보다 저항력이 높고, 세균의 포자는 압력에 더욱 강한 것으로 알려져 있다(Cuoghi, 1993). Timson과 Short(1965)도 우유를 고압처리 후 내압성 미생물을 분리하여 미생물의 포자임을 확인하였으며, 대부분의 영양세포는 100 MPa 이상의 정수압 하에서 불활성화 되었지만, 세균의 포자는 1,200 MPa 이상의 압력에도 견디었는데, 이는 세균에서 강력한 포자각의 구조와 두께에 의한 것으로 추정하고 있다. 따라서 좁쌀탁주인 경우에도 열에 대한 저항력과 유사하게 고압처리에 의해 대부분의 영양세포는 파괴되나, 포자는 살아남아 600 MPa 수준의 압력처리에 의해서도 세균은 사멸되지 않는 것으로 추정된다.

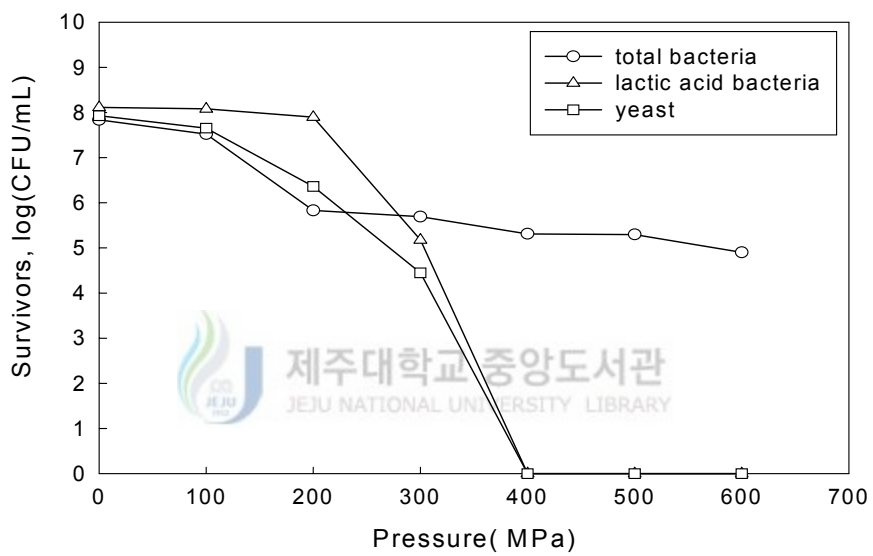


Fig. 2. Effect of pressure on inactivation of microorganisms in *Foxtail Millet Takju* at 26°C/10 min.

#### 4.1.1.2. 고압살균에 미치는 온도의 영향

좁쌀탁주 중의 세균을 사멸시키기 위하여 400 MPa에서 처리온도를 상온(26℃), 38, 49, 58, 66℃으로 달리하여 10분간 처리한 후 처리온도가 고압살균효과에 미치는 영향을 측정하였다(Table 1). 젖산균과 효모는 모든 온도 조건에서 완전히 사멸되었다. 세균은 처리온도의 증가에 따라 그 수가 급격히 감소하는 경향을 보였으나, 66℃에서도  $2.6 \times 10^2$  CFU/mL으로 완전히 사멸되지 않는 않았다. Bae 등(1990)은 시판탁주를 상압에서 55℃/10분 처리하였을 때 세균수는 약 4 log cycle 감소하여 약  $10^3$  CFU/mL가 잔존하였는데, 처리온도를 80℃로 증가시키거나, 처리시간을 20분으로 증가시켜도 세균수의 감소는 더 이상 관찰되지 않았는데, 이로 보아 잔존하는 세균은 포자형성능이 있는 *Bacillus sp.*인 것으로 추정하였다. 일반적으로 탁주 산패의 원인세균으로 알려진 *Acetobacter*속이나 *Lactobacillus*속 등은 포자형성능이 없기 때문에 탁주의 pH와 알콜농도에서 가열처리로 충분히 사멸될 것으로 판단된다. 그러나 고압처리시 세균이 내압성을 보인 것과 같이 내열성이 강한 균주가 내압성을 나타내므로(Ogawa 등, 1990), 잔존하는 세균은 포자 형성능이 있는 것으로 보인다.

상온에서 처리압력에 따른 살균효과(Fig. 2)와 비교하여 보면, 일반세균은 600 MPa의 압력에서도  $7.9 \times 10^4$  CFU/mL가 잔존하였지만, 400 MPa에서 58℃로 처리온도를 높였을 때 그 수가  $3.2 \times 10^2$  CFU/mL로 감소하는 것으로 보아, 고압처리시 온도를 병행 처리하면 살균효과가 높아짐을 알 수 있었다. 이상의 결과에서 좁쌀탁주 중의 젖산균과 효모는 초고압 처리시 내압과 내열성이 작은 반면, 일반세균인 경우는 내압과 내열성이 커서 포자를 형성할 가능성이 있으며, 초고압처리하는 가열살균에 비해 낮은 온도와 단시간으로 가열살균을 대체할 수 있는 가능성을 확인하였다.

Table 1. Effect of temperature on pressure inactivation of microorganisms in *Foxtail Millet Takju* at 400 MPa/10 min

Temperature(°C)	Total bacteria	Lactic acid bacteria	Yeast
Untreated	$6.8 \times 10^7$	$1.3 \times 10^8$	$8.4 \times 10^7$
26	$2.0 \times 10^5$	-	-
38	$8.8 \times 10^3$	-	-
49	$2.0 \times 10^3$	-	-
58	$3.2 \times 10^2$	-	-
66	$2.6 \times 10^2$	-	-

(-: not detected)

#### 4.1.1.3. 처리시간에 따른 미생물의 살균효과

내압 내열성이 있는 세균의 사멸 조건을 찾기 위하여 저온(26°C)과 고온(66°C), 저압(200 MPa, 300 MPa)과 고압(400 MPa, 600 MPa)에서 처리시간을 10, 30, 60분으로 달리하여 좁쌀탁주를 처리한 결과는 Table 2와 같았다. 26°C/200 MPa에서는 처리시간에 관계없이 일반세균 뿐만 아니라 젖산균과 효모도 멸균되지 않았으며, 300 MPa에서는 젖산균과 효모인 경우 60분 처리로 모두 사멸되었지만 일반세균은 무처리에 비하여 약 2 log cycle 감소하였다. 고온(66°C), 고압(400 MPa 이상)에서는 효모와 젖산균이 처리시간에 관계없이 모두 사멸되었으나, 일반세균은 400 MPa에서 60분, 600 MPa에서 10분 이상 처리로 완전히 사멸되었다.

Ogawa 등(1990)은 고압에서는 짧은 시간의 처리로도 살균효과가 큰 반면, 저압에서는 긴 시간 동안 처리하여도 살균효과가 크지 않았다고 보고하였다. 이로 보아 포자를 형성하는 세균인 경우 상온에서 낮은 압력으로는 멸균되지 않았지만, 고온에서 압력이 높을수록 짧은 시간내에 멸균됨을 알 수 있었다. 이와 같이 세균 포자는 상온에서 고압처리로 사멸이 불가능하였지만 고온을 병용할 경우 현저히 살균효과가 높게 나타났는데, 이는 고온과 고압의 조건에서 세균 포자각의 결합이 느슨해지거나 균열이 나타나서 세포벽 및 포자 내부의 원형질이 변성되었기 때문인 것으로 추정된다(Kinugasa 등, 1992). 이상의 결과로부터 좁쌀탁주인 경우 젖산균과 효모는 상온에서 400 MPa의 처리로, 일반세균은 66°C의 고온에서 400 MPa/60분 또는 600 MPa/10분 처리로 멸균됨을 알 수 있었다.



Table 2. Inactivation of microorganisms in *Foxtail Millet Takju* with different treatment time

Microbes	26°C						66°C					
	200 MPa			300 MPa			400 MPa			600 MPa		
	10 min	30 min	60 min	10 min	30 min	60 min	10 min	30 min	60 min	10 min	30 min	
Total bacteria	$1.5 \times 10^8$	$1.4 \times 10^8$	$1.1 \times 10^8$	$5.0 \times 10^7$	$2.2 \times 10^7$	$1.4 \times 10^7$	$2.6 \times 10^7$	$3.0 \times 10^7$	-	-	-	
Lactic acid bacteria	$1.3 \times 10^8$	$3.8 \times 10^7$	$2.1 \times 10^7$	$1.8 \times 10^7$	$1.3 \times 10^7$	-	-	-	-	-	-	
Yeast	$5.1 \times 10^6$	$2.3 \times 10^6$	$3.0 \times 10^5$	$2.8 \times 10^4$	$5.0 \times 10^2$	-	-	-	-	-	-	

(-: not detected)

#### 4.1.1.4. 처리압력에 따른 효소의 불활성화

좁쌀타주를 상온(26℃)에서 압력별로 10분간 처리한 후  $\alpha$ -amylase와 glucoamylase의 효소활성을 측정하였다(Fig. 3). 전분을 액화시키는  $\alpha$ -amylase의 상대활성은 압력의 증가에 따라 다소 감소하였으며 600 MPa에서 73.2%가 잔존한 반면, 액화된 전분을 glucose로 가수분해하는 효소인 glucoamylase의 상대활성은 압력의 증가에 따라 다소 상승하는 경향을 보였다. 따라서 좁쌀타주 상온에서 고압으로 처리하는 것만으로는 효소의 불활성화 효과가 크지 않았으며,  $\alpha$ -amylase보다 glucoamylase의 불활성화가 더 어려웠다.

고압처리를 효소 불활성화에 적용할 경우, 대부분의 효소들은 불활성화 되지만, 일부 효소들은 반대로 활성이 증가하는 경우도 있는데, Hara 등(1990)은 효소 수용액을 25℃/600 MPa에서 10분 처리한 후  $\alpha$ -amylase의 활성은 70% 잔존하였고, glucoamylase는 고압 하에서도 활성이 그대로 유지되었다고 보고하였다. Matsumoto(1994)도 고압 하에서 *Bacillus subtilis*가 분비하는  $\alpha$ -amylase는 150 MPa 까지 상대활성이 최대로 상승되었다가, 압력의 증가와 더불어 감소하여 600 MPa에서는 83%까지 불활성화 되었는데, 150 MPa에서 효소활성의 상승은 체적효과에 의한 것이고, 압력의 상승에 의한 활성저하는 압력에 의한 효소단백질의 변성이 그 원인이라고 보고하였다.

효소의 불활성화에 필요한 압력은 미생물의 사멸에 필요한 압력보다 높은 경우가 많은데, 온주밀감 주스에 함유되어 있는 pectin methylesterase의 불활성화에는 20℃/1,000 MPa/10분 또는 57℃/600 MPa/10분의 처리가 필요한 것으로 알려져 있다(Ogawa 등, 1991). 일반적으로 100~200 MPa 정도의 낮은 압력에서는 단백질의 변성이 일어나지 않거나 가역적으로 변성된 단백질의 재생이 일어나지만 300 MPa 이상에서 단백질은 변성된다. 따라서 효소의 불활성화를 위해서는 단백질의 가역반응을 방지할 수 있어야 하며, 이러한 비가역적 효소불활성화에는 비교적 높은 압력의 처리조건을 필요로 하는

것으로 알려져 있다(Ogawa 등, 1991). 따라서 좁쌀탁주인 경우도 초고압처리에 의하여 효소를 불활성화 시키기 위해서는 상온에서 600 MPa보다 높은 압력이 요구될 것으로 추정된다.

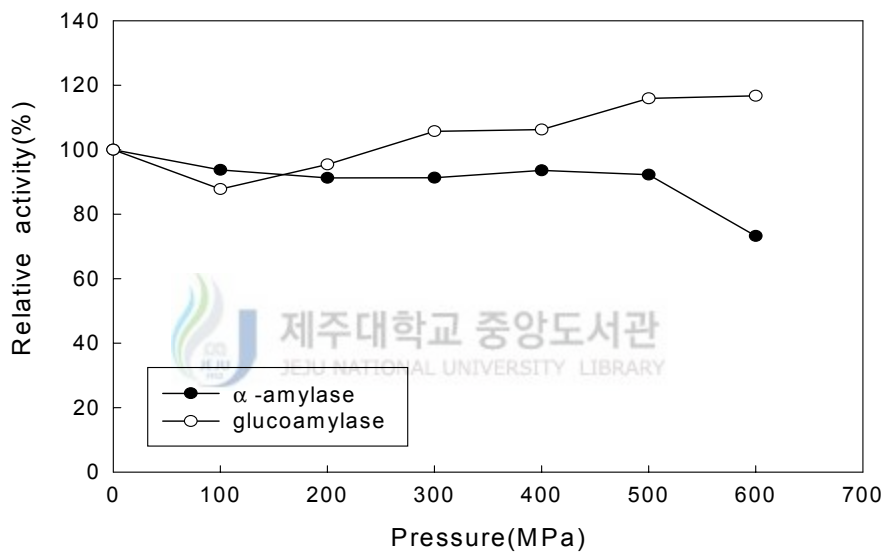


Fig. 3. Effect of pressure on enzyme inactivation in *Foxtail Millet Takju* at 26°C/10 min.

#### 4.1.1.5. 효소불활성화에 대한 온도의 영향

좁쌀타구를 400 MPa에서 처리온도를 달리하였을 때, 처리온도가 효소의 불활성화에 미치는 영향은 Table 3과 같았다.  $\alpha$ -Amylase와 glucoamylase 모두 58°C 이상에서 활성이 급격하게 감소하였으며, 66°C에서  $\alpha$ -amylase는 59.7%, glucoamylase는 20.5%가 불활성화 되었다. 처리압력에 따른 효소불활성화 효과(Fig. 3)와 마찬가지로 glucoamylase는  $\alpha$ -amylase에 비하여 불활성화가 더 어려웠으며, 효소의 불활성화는 고압처리시 온도가 높을수록 더 효과적이었다.

Sohn 등(1996b)은 고압 하에서 단백질의 변성도는 높은 온도 또는 낮은 온도에서 오히려 커지는 경향이 있으므로 고온(40~60°C) 또는 저온(10~20°C)에서의 고압처리가 효소의 불활성화에 훨씬 효과적일 수 있다고 보고하였다. Bae 등(1990)은 상압에서 저온살균에 의한 타구의 보존실험결과 환원당이 약간씩 증가함을 보고하였는데, 이는 저온처리에 의하여 불활성화 되지 않았던 glucoamylase에 의한 것이며, 또한 효모의 멸균으로 당분의 소모가 없었기 때문이라고 보고하였다. 따라서 좁쌀타구도 초고압으로 단독 처리하는 것보다는 고온을 병행하여 처리하였을 경우 단백질의 변성도가 높아짐에 따라 효소 불활성화도 커질 것으로 추정된다.

Table 3. Effect of temperature on pressure inactivation of enzymes in *Foxtail Millet Takju* at 400 MPa/10 min

Temperature (°C)	α-Amylase		Glucoamylase	
	Unit/mL	Residual activity (%)	Unit/mL	Residual activity (%)
Untreated	53.3	100	6.99	100
26	49.9	93.6	7.43	106.2
38	55.2	103.5	7.45	106.5
49	51.7	96.9	8.12	116.1
58	26.5	49.7	5.91	84.5
66	21.6	40.5	5.56	79.5

#### 4.1.1.6. 처리시간에 따른 효소의 불활성화

고온과 고압에서 처리시간이 좁쌀타주의  $\alpha$ -amylase와 glucoamylase의 효소활성에 미치는 영향을 측정하였다(Fig. 4).  $\alpha$ -Amylase의 경우 66°C에서 처리압력이 높을수록 효소의 활성저하는 뚜렷하였는데, 10분 처리시 400 MPa에서 40.3%가 잔존한 반면, 600 MPa에서는 5.1% 만이 잔존하여 실험 효과가 약 8배 더 높았다. 한편 상온에서 가열처리(65°C, 30분)에 의한  $\alpha$ -amylase의 잔존활성은 14.1%였는데 반하여, 66°C/400 MPa에서 30분 처리로 잔존활성이 8.3% 이하가 되는 것으로 보아, 단순한 가열처리보다는 고압을 병용할 경우 미생물 사멸과 마찬가지로  $\alpha$ -amylase의 불활성화를 더욱 촉진시킬 수 있었다. 고온과 고압 즉 66°C/600 MPa에서는 30분 처리시  $\alpha$ -amylase가 98.8% 불활성화 되었다.

Glucoamylase는 고온과 고압에서 처리시간의 증가에도 불구하고 활성이 20.5~26.7% 밖에 감소되지 않았지만, 가열처리(65°C, 30분)에 의해서는 83.6%가 불활성화된 것으로 보아, glucoamylase의 잔존활성은 가열처리에 비하여 고온과 고압을 병합한 처리조건에서 더욱 높았다. Hayakawa(1992)에 의하면 효소는 열에너지의 증가로 불활성화 되었다가 가압처리시 재활성화 되었는데, 이는 초고압처리에 의한 체적감소 및 이온성 수화, 수소결합에 의한 수화 등이 촉진되어, 열에너지로 느슨해진 분자구조의 회복 및 활성부위 주변의 구조 회복으로 효소활성이 회복되는 것으로 추정하였다.

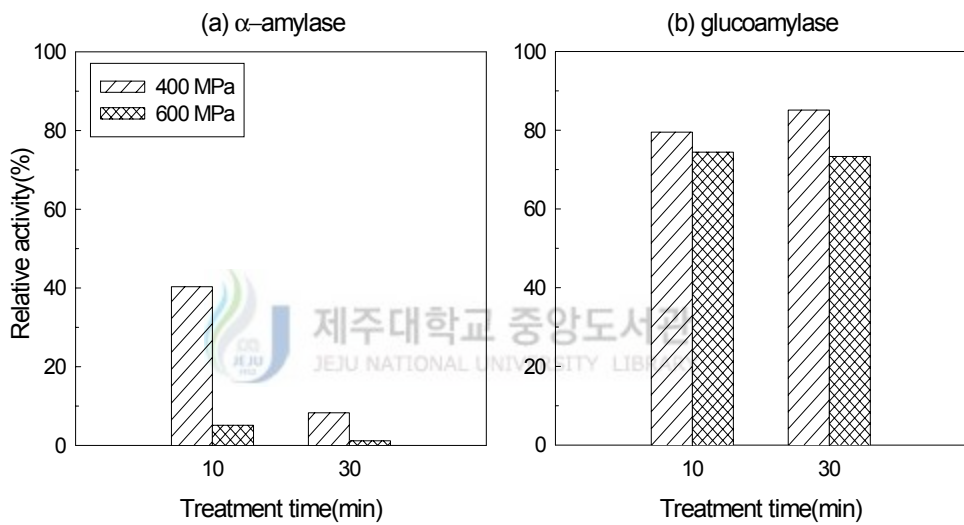


Fig. 4. Inactivation of enzymes in *Foxtail Millet Takju* with different pressure and treatment time at 66°C.

## 4.1.2. 초고압처리한 좁쌀탁주의 저장 중 미생물, 효소활성 및 품질 변화

### 4.1.2.1. 미생물수의 변화

#### 4.1.2.1.1. 일반세균수의 변화

좁쌀탁주를 열(65°C/30 min)과 초고압(27°C/400 MPa/10 min)으로 처리한 후 10°C와 25°C에서 30일간 저장하는 동안 일반세균수의 변화를 측정 한 결과는 Table 4와 같았다. 처리 직후 일반세균수는 열처리구가  $8.0 \times 10^3$  CFU/mL, 초고압처리구가  $8.3 \times 10^3$  CFU/mL로, 무처리구의  $6.8 \times 10^6$  CFU/mL와 비교하여 볼 때 열과 초고압처리로 약 3 log cycle이 감소되었다.

저장기간에 따른 생균수의 변화를 보면 무처리구는 조금씩 감소하는 경향을 보였다. 저장온도 10°C에서는 저장초기와 비교하여 저장 30일 후에 약 1 log cycle 감소한 반면, 25°C에서는 약 3 log cycle 감소하여, 10°C에서보다 25°C에서 감소폭이 더 컸다. Mok 등(1997)은 4°C와 25°C에서 비살균약주를 저장하는 동안 생균수는 저장 기간에 따라 감소하였으며, Lee와 Kim(1995)도 가열살균한 청주의 세균수는 저장기간 동안 급속히 감소하였는데, 이는 주로 포자를 형성하지 않는 세균이나 영양세포가 저장기간 중에 낮은 pH와 산의 생성에 따라 영양분의 저하로 인하여 성장이 저해를 받았기 때문인 것으로 추정하고 있다. 한편 열처리구와 초고압처리구의 일반세균수는 모든 저장온도에서 저장기간에 따라 큰 변화가 없었는데, 이들은 주로 포자형성균이나 일부 그람양성균인 것으로 추정된다. Lee 등(1996)은 소곡주를 30°C에서 18일간 저장하면서 미생물 변화를 측정한 결과 *Bacillus*속이 비교적 일정한 수로 유지된 것은 내생포자 형태로 계속 존재하여 왔기 때문이라고 보고하였다. Bae 등(1990)은 시판 탁주를 55°C에서 10분간 저온살균하여 상온에서 저장실험한 결과 일반세균수는 초기에  $10^3$ 에서 4일 후에  $10^2$  CFU/mL로 감소한 이후 거의 변화가 없었으며, 이들은 포자형성능이 있는 세균으로 추정하였다.



Table 4. Changes in total bacteria counts(CFU/mL) of *Foxtail Millet Takju* treated with heat and pressure during storage

Storage Period (day)	Storage Temp(°C)					
	10			25		
	Untreated	Heat treated	Pressure treated	Untreated	Heat treated	Pressure treated
0	$6.8 \times 10^6$	$8.0 \times 10^3$	$8.3 \times 10^3$	$6.8 \times 10^6$	$8.0 \times 10^3$	$8.3 \times 10^3$
3	$8.0 \times 10^6$	$9.6 \times 10^3$	$1.3 \times 10^4$	$9.0 \times 10^5$	$8.5 \times 10^3$	$9.2 \times 10^3$
6	$3.3 \times 10^6$	$1.2 \times 10^4$	$1.6 \times 10^4$	$5.9 \times 10^5$	$1.2 \times 10^4$	$1.6 \times 10^4$
9	$7.5 \times 10^6$	$1.6 \times 10^4$	$1.6 \times 10^4$	$2.9 \times 10^4$	$1.5 \times 10^4$	$1.6 \times 10^4$
12	$6.8 \times 10^6$	$1.1 \times 10^4$	$1.5 \times 10^4$	$8.7 \times 10^4$	$1.5 \times 10^4$	$1.5 \times 10^4$
18	$3.1 \times 10^6$	$1.3 \times 10^4$	$1.6 \times 10^4$	$3.0 \times 10^4$	$1.7 \times 10^4$	$1.7 \times 10^4$
24	$6.8 \times 10^5$	$7.2 \times 10^3$	$7.4 \times 10^3$	$3.7 \times 10^3$	$5.6 \times 10^3$	$4.6 \times 10^3$
30	$6.9 \times 10^5$	$7.1 \times 10^3$	$8.2 \times 10^3$	$2.2 \times 10^3$	$6.3 \times 10^3$	$4.5 \times 10^3$

#### 4.1.2.1.2. 젖산균수의 변화

탁주의 부패와 산패는 발효액 중에 함유되어 있는 젖산균에 의하여 젖산이 형성되거나 또는 생성된 알콜이 초산균이나 낙산균에 의하여 초산과 낙산이 형성되기 때문이므로, 탁주중의 젖산균의 존재 여부는 탁주의 품질에 지대한 영향을 미친다(Lee 등, 1994).

열과 초고압으로 처리한 좁쌀탁주의 저장기간 중 젖산균수의 변화는 Table 5와 같았다. 무처리한 좁쌀탁주의 초기 젖산균수는  $7.0 \times 10^7$  CFU/mL였지만, 열과 초고압처리에 의해서 완전히 사멸되었다. 저장기간에 따른 젖산균수의 변화는 무처리구인 경우 10℃에서는 저장 12일부터 약간 증가하는 경향 보였으나 저장 초기에 비하여 큰 변화는 없었으며, 25℃에서는 저장초기보다 약간 감소하는 경향을 보였으나 저장 초기에 비하여 큰 변화는 없었다. 무처리 시료인 경우 저장온도에 관계없이 저장기간 중 젖산균수의 변화가 거의 없는 것으로 보아 탁주의 변패는 주로 젖산균에 의한 젖산의 형성에 의한 것으로 추정할 수 있다(Lee 등, 1996). 한편 열과 초고압으로 처리한 좁쌀탁주의 젖산균은 30일 저장기간 내내 검출되지 않아 바람직한 안전성을 나타내었다.

Table 5. Changes in lactic acid bacteria counts(CFU/mL) of *Foxtail Millet Takju* treated with heat and pressure during storage

Storage Period (day)	Storage Temp(°C)					
	10			25		
	Untreated	Heat treated	Pressure treated	Untreated	Heat treated	Pressure treated
0	$7.0 \times 10^7$	-	-	$7.0 \times 10^7$	-	-
3	$6.7 \times 10^7$	-	-	$2.9 \times 10^8$	-	-
6	$3.3 \times 10^7$	-	-	$3.7 \times 10^7$	-	-
9	$2.0 \times 10^7$	-	-	$1.9 \times 10^7$	-	-
12	$1.0 \times 10^8$	-	-	$1.0 \times 10^7$	-	-
18	$1.2 \times 10^8$	-	-	$1.4 \times 10^7$	-	-
24	$1.4 \times 10^8$	-	-	$4.6 \times 10^7$	-	-
30	$1.4 \times 10^8$	-	-	$3.7 \times 10^7$	-	-

(-: not detected)

#### 4.1.2.1.3. 효모수의 변화

열과 초고압으로 처리한 좁쌀탁주의 저장기간 중 효모수의 변화는 Table 6과 같았다. 무처리 좁쌀탁주의 효모수는  $9.5 \times 10^6$  CFU/mL였지만, 열과 초고압처리에 의하여 완전히 사멸되었다. Bae 등(1990)은 시판 탁주를 121°C에서 15분간 멸균한 후 탁주에서 분리한 효모를 초기 탁주의 균수와 같은 농도( $7.1 \times 10^8$  CFU/mL)가 되게 접종한 후 50°C에서 10분의 열처리로 완전히 사멸되었다고 보고하였다.

저장기간 30일 동안 열처리구와 초고압처리구는 젖산균의 경우와 마찬가지로 효모가 전혀 검출되지 않아 바람직한 안전성을 나타내었다. 그러나 무처리구인 경우 저장온도 10°C에서는 효모수가 저장기간 동안 거의 변화가 없었으나, 25°C에서는 저장 3일부터 감소하기 시작하여 저장 30일에는  $1.9 \times 10^3$  CFU/mL로 약 3 log cycle 감소하였다. Lee 등(1996)은 소곡주를 30°C에서 18일간 저장하면서 미생물 변화를 측정된 결과, 효모는 시간의 경과에 따라 전반적으로 그 수가 감소하였는데, 이는 소곡주내 영양분의 점차적인 고갈과 pH 감소가 그 원인이라고 보고하였다.

Table 6. Changes in yeast counts(CFU/mL) of *Foxtail Millet Takju* treated with heat and pressure during storage

Storage Period (day)	Storage Temp(°C)					
	10			25		
	Untreated	Heat treated	Pressure treated	Untreated	Heat treated	Pressure treated
0	9.5×10 <sup>6</sup>	-	-	9.5×10 <sup>6</sup>	-	-
3	9.6×10 <sup>6</sup>	-	-	8.4×10 <sup>5</sup>	-	-
6	9.8×10 <sup>6</sup>	-	-	3.6×10 <sup>4</sup>	-	-
9	1.0×10 <sup>7</sup>	-	-	9.8×10 <sup>4</sup>	-	-
12	8.7×10 <sup>6</sup>	-	-	1.4×10 <sup>4</sup>	-	-
18	4.6×10 <sup>6</sup>	-	-	5.6×10 <sup>3</sup>	-	-
24	1.6×10 <sup>6</sup>	-	-	3.8×10 <sup>3</sup>	-	-
30	3.0×10 <sup>6</sup>	-	-	1.9×10 <sup>3</sup>	-	-

(-: not detected)

## 4.1.2.2. 효소활성의 변화

### 4.1.2.2.1. $\alpha$ -Amylase 활성의 변화

좁쌀타주의 전분을 액화하는 데 있어서 주역할을 하는  $\alpha$ -amylase의 저장기간에 따른 활성의 변화는 Fig. 5와 같았다. 좁쌀타주를 열처리한 직후  $\alpha$ -amylase의 상대활성은 21.8%로, 무처리에 비하여 78.2%가 불활성화되었으나, 초고압처리한 시료의 상대활성은 106.7%로 초기보다 다소 증가하였다. 초고압처리가 효소활성에 미치는 영향에 대해서는 효소의 종류에 따라 활성화와 불활성화의 효과가 모두 보고되고 있다. Hong과 Park(1998a)은 동치미를 초고압처리하였을 때 조직의 연화를 일으키는 pectinesterase와 polygalacturonase의 활성은 처리압력의 증가에 따라 증가하였고, Sohn 등(1996b)은 마늘을 초고압처리하였을 때 allinase가 불활성화 되었고, Seyderhelm 등(1996)은 대부분의 가수분해효소는 완충용액에서 처리하였을 때 압력에 민감한 반면, 산화환원효소는 압력에 대한 저항성이 다양하였다.

저장기간에 따른 효소활성의 변화는 10℃에서 저장하는 동안 무처리구와 초고압처리구는 저장 3일에 각각 161.0%와 169.7%로 효소활성이 급격히 증가하였다가 그 이후 감소하였지만 초기 활성보다는 높은 활성을 유지하였으며, 저장 30일에 각각 135.3%와 137.7%이었다. 그러나 열처리구는 저장기간 동안 활성의 변화가 거의 없었다. 저장온도 25℃에서는 무처리구와 초고압처리구인 경우 저장 3일에는 10℃에서와 같이 효소활성이 각각 161.9와 162.7로 급격히 증가하였지만, 그 이후에는 10℃에서와는 달리 급격히 감소하였으며, 저장 30일에 각각 47.9%와 68.7%를 유지하였다. 그러나 열처리구는 10℃에서와 마찬가지로 거의 변화가 없었으며 저장 초기의 효소활성을 유지하였다. Ogawa 등(1990)도 온주밀감 주스를 초고압처리하여 0℃에서 저장하는 동안 pectinesterase 활성은 회복되지 않았고 서서히 감소하였다고 보고하였다.

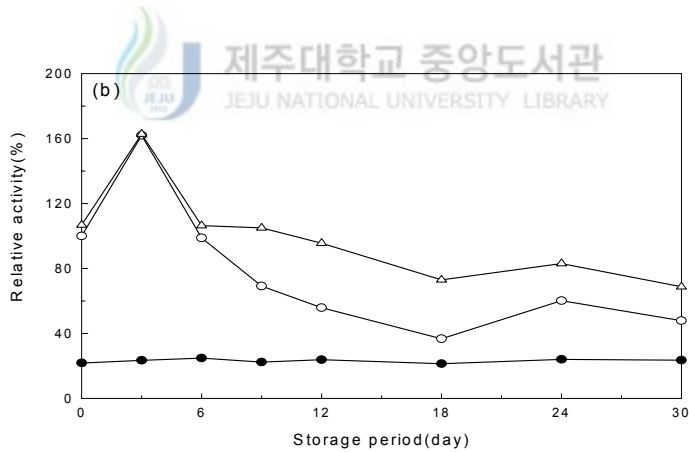
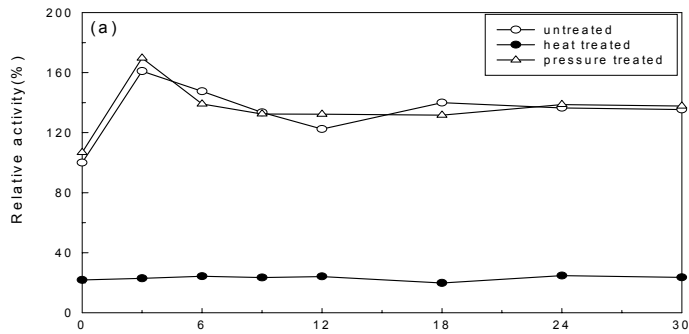


Fig. 5. Changes in  $\alpha$ -amylase activity of *Foxtail Millet Takju* treated with heat and pressure during storage at 10°C(a) and 25°C(b).

#### 4.1.2.2.2. Glucoamylase 활성의 변화

액화된 전분을 glucose로 가수분해하는 효소인 glucoamylase의 저장기간에 따른 활성의 변화는 Fig. 6과 같았다. 좁쌀타주의 glucoamylase 상대활성은 열처리 직후 17.1%인 반면, 초고압처리에 의해서는 108.0%로 오히려 활성이 증가되었다.

10℃에서 저장하는 동안 열처리 시료는 상대활성이 조금씩 증가하여 저장 초기의 17.1%에 비하여 저장 30일 후에는 36.5%로 약 2배 이상 증가하였다. 무처리구와 초고압처리구도 저장기간에 따라 활성이 증가하여 저장 30일 후에 각각 119.2%와 158.2%로, 초고압처리한 타주의 효소활성이 가장 높았다. 저장온도 25℃에서는 저장기간에 따라 열처리한 타주의 활성이 10℃에서보다 더 많이 증가하여 저장 30일 후에는 54.3%로 가역적인 활성의 증가를 보였다. 무처리구는 저장기간 동안 활성이 다소 감소하여 저장 30일 후에 89.9%를 나타내었다. 초고압처리한 좁쌀 타주는 저장 12일에 159.3%로 증가하였다가 감소하였으나 저장 30일에는 114.9%로 가장 높은 활성을 유지하였다. 즉 Glucoamylase의 활성은 저장기간에 따라 증가하였으며, 초고압 처리구는 열처리구보다 2.1~4.3배 높은 활성을 유지하였다.

Hayakawa(1992)에 의하면 효소는 열에너지의 증가로 불활성화 되었다가 가압처리를 재활성화 되었는데, 이는 초고압처리에 의한 체적감소 및 이온성 수화, 수소결합에 의한 수화 등이 촉진되어, 열에너지로 느슨해진 분자구조의 회복 및 활성부위 주변의 구조회복으로 효소활성이 회복되는 것으로 추정하였다.



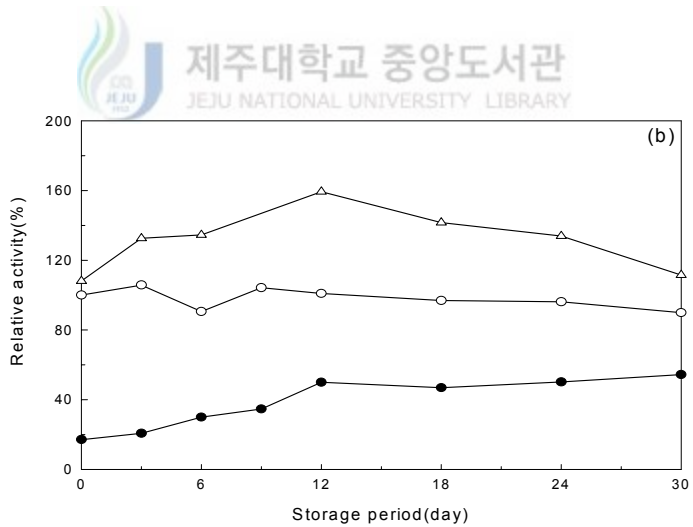
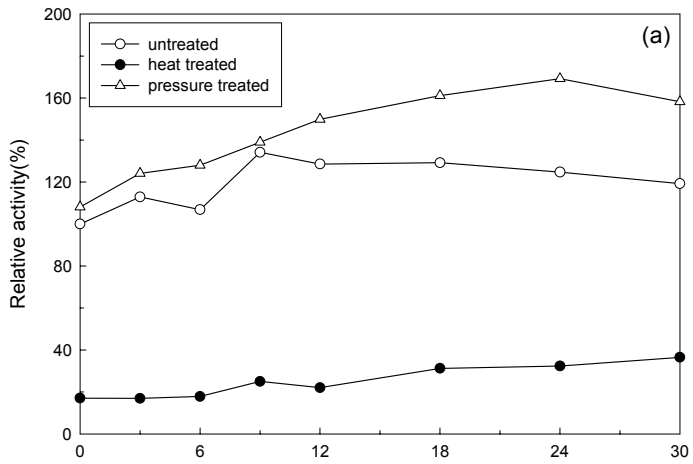


Fig. 6. Changes in glucoamylase activity of *Foxtail Millet Takju* treated with heat and pressure during storage at 10°C(a) and 25°C(b).

### 4.1.2.3. 품질변화

#### 4.1.2.3.1. pH의 변화

열과 초고압으로 처리한 좁쌀탁주의 저장 중 pH의 변화는 Fig. 7과 같았다. 무처리 좁쌀탁주의 pH는 3.75인 반면, 열처리구와 초고압처리구는 각각 3.81과 3.82로 다소 증가하였다. 일반적으로 식품을 초고압처리하면 pH는 감소하는 것으로 알려져 있는데, 본 연구에서는 다소 증가하는 현상을 보였다. Marquis(1976)는 압력은 정전기적 상호작용을 해리하려는 경향이 있어 결국 많은 이온을 물로 노출시키게 되므로, 순수한 물의 pH는 0.1 MPa에서 7.0인데 반하여, 25°C/100 MPa에서는 6.27로 감소되며 체적도 감소된다고 보고하였다. Hoover 등(1989)은 압력은 반응계에 분자공간을 가능한 감소시키고 interchain reaction을 증가시키는데, 수용액상에서 부피가 감소하는 이유는 해리반응으로 많은 수의 이온화 그룹이 증가되고 이온에 가까운 물이 전기적으로 압축되기 때문이라고 보고하고 있다.

10°C에서 저장하는 동안 무처리 시료의 pH는 감소하여 저장 초기 3.75에서 저장 30일에 3.52였는데, 이는 무처리 좁쌀탁주에 내포되어 있는 젖산균을 비롯한 산생성 세균에 의하여 유기산이 생성되었기 때문이다. 열처리와 초고압처리한 좁쌀탁주의 pH는 저장기간에 따라 거의 변화가 없었는데, 이로 보아 열처리와 초고압처리에 의하여 산생성 세균이 멸균되어 저장기간 중 산생성을 방지할 수 있을 것으로 기대된다. 이는 요구르트를 10 ~20°C에서 300 MPa로 10분 처리한 결과 유통 중에 일어나는 산생성(after acidification)을 방지할 수 있었다는 보고(Tanaka와 Hatanaka, 1992)와 일치하는 것으로, 열처리와 초고압처리에 의한 젖산균의 사멸에 기인한다.

25°C에서 저장한 무처리 좁쌀탁주의 pH는 저장 3일에 감소하였다가 그 이후 계속 증가하여 저장 30일에는 4.13으로 높은 값을 유지하였다. 이는 저장 초기에는 젖산균수가 증가하였고, 저장 후기에는 젖산균수는 그 수준을

유지하였지만, 일반세균수가 감소한 결과와 일치하는 것으로 추정된다. 열처리 시료구는 거의 변화가 없었으나, 초고압 처리구는 저장온도 10°C에서의 양상과는 달리 저장 12일까지 거의 변화가 없었다가 그 이후 감소하기 시작하여 저장 30일에는 3.61을 나타내었다.

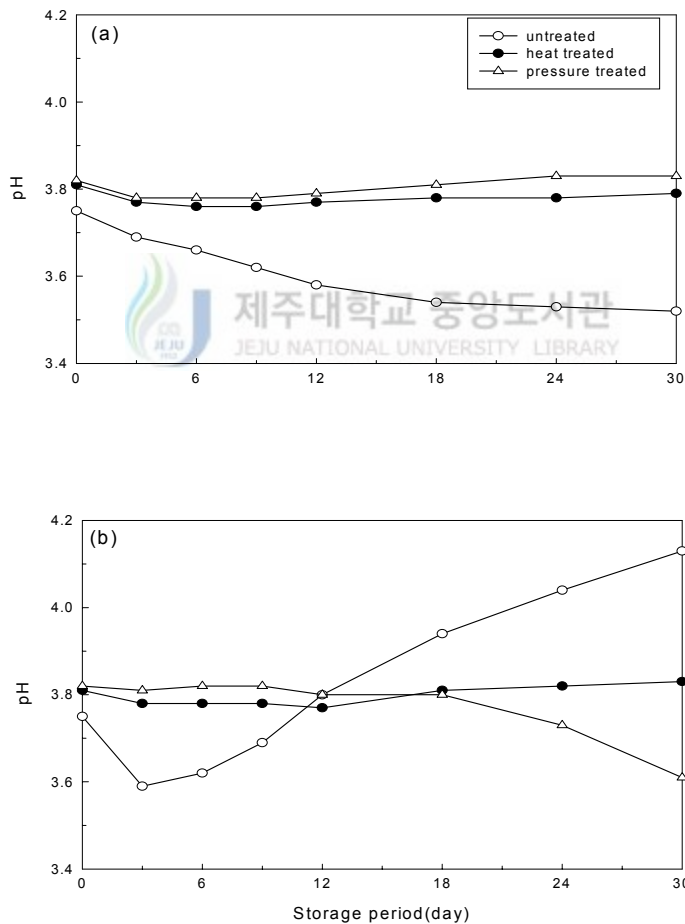


Fig. 7. Changes in pH of *Foxtail Millet Takju* treated with heat and pressure during storage at 10°C(a) and 25°C(b).

#### 4.1.2.3.2. 적정산도의 변화

열과 초고압으로 처리한 좁쌀탁주의 저장기간 중 적정산도의 변화는 Fig. 8과 같았다. 무처리 좁쌀탁주의 적정산도는 0.70인 반면, 처리 직후 열처리구는 0.72, 초고압처리구는 0.69였다.

저장온도 10℃에서 무처리구의 적정산도는 저장기간에 따라 증가하는 현상을 보여 저장 초기 0.70%에서 저장 30일에 1.02%로, 잔존미생물에 의하여 탁주의 변패가 진행되었다. 열처리구와 초고압처리구의 적정산도는 저장기간 동안 거의 변화가 없어 품질변화를 방지할 수 있을 것으로 기대된다. Bae 등(1990)은 저온살균(55℃/10분)한 탁주는 산패 세균의 사멸로 인하여 더 이상 산생성이 일어나지 않아 50일간 보관한 후에도 산도의 변화가 없었다고 보고하였다.

25℃에서 무처리 좁쌀탁주의 적정산도는 저장 3일 후 급격히 증가하였으며 저장 30일에 1.12%였는데, 일반적으로 pH가 증가하면 적정산도가 감소하는데, 본 실험에서는 그와 반대로 적정산도가 증가하는 특이한 현상을 보였다. 열처리구는 10℃에서와 마찬가지로 저장 중 거의 변화가 없었으나, 초고압 처리구는 저장기간 동안 조금씩 증가하는 현상을 보였다. Lee 등(1991)도 무처리 탁주와 60℃ 이하에서 열처리한 탁주는 30℃ 저장 중 적정산도는 저장 3일 후부터 증가하기 시작한 반면, 65℃ 이상에서 열처리한 탁주는 14일간 저장 중 적정산도의 변화가 거의 없었으며, 무처리 탁주의 경우 저장 중 적정산도의 증가에 따라 pH는 감소할 것으로 예상하였으나 4.0에서 4.6으로 증가하였다고 보고한 바 있다.

식품공전(1997)상 탁주의 총산은 초산으로서 0.5% 이하인데, 이를 젖산으로 환산하면 0.75%에 해당된다. 저장기간 중 적정산도의 변화를 보면 저장온도 10℃에서 열과 초고압 처리구는 30일 저장기간 동안 0.75% 이하 수준으로 유지하고 있는 반면, 무처리구는 저장 9일부터 그 이상을 나타내어 변패가 진행되고 있는 것으로 파악되었다. 25℃에서 저장 중 적정산도의 변화는

열처리구는 30일 동안 저장기간 내내 0.75% 이하를 유지한 반면, 초고압 처리구는 저장 12일부터 다소 증가하는 현상을 보였으며 저장 24일부터는 산패되는 것으로 추정되었으며, 무처리구는 저장초기부터 급격히 증가하여 산패가 빠르게 진행되고 있음을 알 수 있었다.

일반적으로 외부 다른 요인의 영향이 없는 한 적정산도가 직선적으로 증가함에 따라 pH는 대수적으로 감소하며 신맛의 감도는 지수적으로 증가한다(Mok 등, 1997).



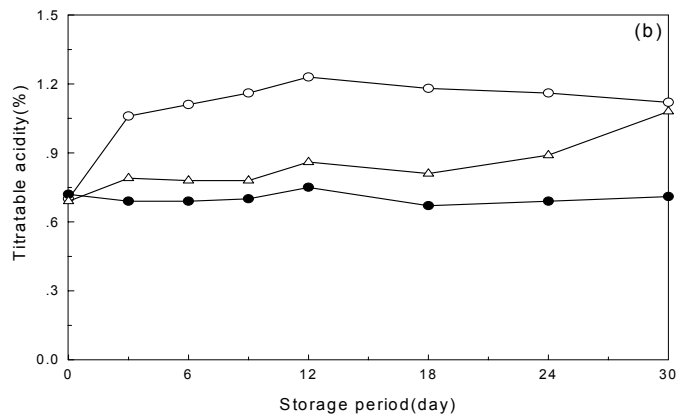
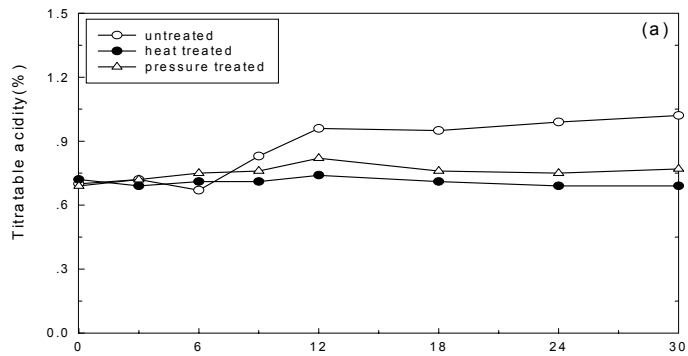


Fig. 8. Changes in titratable acidity of *Foxtail Millet Takju* treated with heat and pressure during storage at 10°C(a) and 25°C(b).

#### 4.1.2.3.3. 환원당의 변화

열과 초고압으로 처리한 좁쌀타주의 저장 중 단맛과 관계가 있는 환원당의 변화는 Fig. 9와 같았다. 무처리 좁쌀타주의 환원당 함량은 1.00%인 반면, 열처리구와 초고압 처리구는 각각 1.53%와 2.17%로 무처리에 비하여 각각 1.5배와 2.1배 증가하였고 특히 초고압처리구의 환원당 함량이 크게 증가하였는데, 이는 열과 초고압처리에 의하여 전분의 분해가 촉진된 것으로 추정된다.

10℃에서 저장기간 중 무처리구의 환원당 함량은 거의 변화가 없는 반면, 열처리구는 저장기간 중 계속적으로 증가하여 저장 30일에는 2.88%였다. 그러나 초고압 처리구의 환원당 함량은 저장 3일 이후부터 급격하게 증가하여 저장 30일 후에는 4.80%였는데, 무처리와 열처리에 비하여 각각 4.4배와 1.7배가 높았다.

환원당 함량의 변화는 glucoamylase의 활성과 관련이 있으므로 glucoamylase의 활성이 높을수록 환원당 함량이 높을 것으로 기대된다. 무처리구인 경우 10℃에서 저장 중 glucoamylase의 활성이 높은 값을 유지하고 있지만 환원당 함량이 거의 일정한 것은 잔존하는 효모가 glucoamylase에 의하여 생성되는 당분을 소비하고 있기 때문이다(Bae 등, 1990). 열처리구는 낮은 glucoamylase의 활성에도 불구하고 환원당 함량이 증가하는 것은 열처리에 의하여 전분의 분해가 촉진되었음은 물론, 열처리 후 잔존하는 효소는 활성이 매우 강한 것으로 추정된다. 초고압처리구는 초고압처리에 의하여 glucoamylase의 활성이 오히려 증가되었으며, 저장기간 동안 계속적으로 활성이 증가되었기 때문에 저장 중 환원당 함량이 증가되었으며, 또한 초고압처리에 의하여 효모가 멸균되었고 저장 중에도 검출되지 않아 효모에 의한 당분의 소비가 없었기 때문이다.

25℃에서는 저장기간 중 무처리시료의 환원당 함량은 10℃와 마찬가지로 거의 변화없이 낮은 값을 유지하였다. 그러나 열처리구는 glucoamylase

활성의 증가와 비례하여 환원당 함량도 저장 초기 1.53%에서 30일 후 5.68%로 급격히 증가하였다. 초고압처리구의 환원당 함량은 glucoamylase 활성의 변화와 유사하게 저장 12일에 5.42%로 증가하였다가 감소하여 30일에 3.03%이었다. Bae 등(1990)도 상온 저장 중 저온 살균한 시판탁주의 환원당 함량은 증가하였는데, 이는 55°C/10분 처리로 전혀 불활성화 되지 않았던 glucoamylase에 의한 것으로 보고하였다(Park과 Chung, 1988).

이상의 결과로부터 10°C와 25°C에서 저장하는 동안 열과 초고압으로 처리한 좁쌀탁주는 효모의 멸균으로 인하여 환원당을 소비하지 않을 뿐만 아니라 잔존하는 glucoamylase에 의하여 환원당 함량을 증가시키므로, 기존탁주의 후발효에 의하여 쓴맛이 증가하여 탁주의 맛을 저하시키는 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다. 한편 열과 초고압으로 처리한 좁쌀탁주의 환원당 함량은 10°C에서 보다 25°C에서 저장하는 동안 더 많이 증가하였는데, 지나친 환원당 함량의 증가는 좁쌀탁주 중의 protease에 의하여 생성되는 아미노산과 화학반응을 일으켜 갈변의 원인물질로 작용할 수 있으므로 25°C에서 보다 저온인 10°C에서 저장하는 것이 바람직하다고 판단된다.

이상의 결과를 종합적으로 판단하여 볼 때 좁쌀탁주를 초고압처리하면 젖산균과 효모의 사멸로 후발효에 의한 품질변화를 최소화시켜 유통기간을 연장시킬 수 있을 뿐만 아니라, 유통기간 중 glucoamylase의 활성화로 환원당 함량이 증가하여 탁주의 맛을 유지할 수 있으므로 탁주 품질의 고급화가 가능할 것으로 판단된다. 또한 초고압처리 가공공정은 대상식품을 포장한 후에 초고압처리가 행하여지므로, 탁주를 병입밀봉한 상태에서 살균하게 되면 탁주 중에 용존해 있는 탄산가스에 의하여 음용시 신선한 청량감을 부여할 수 있을 것으로 기대된다.



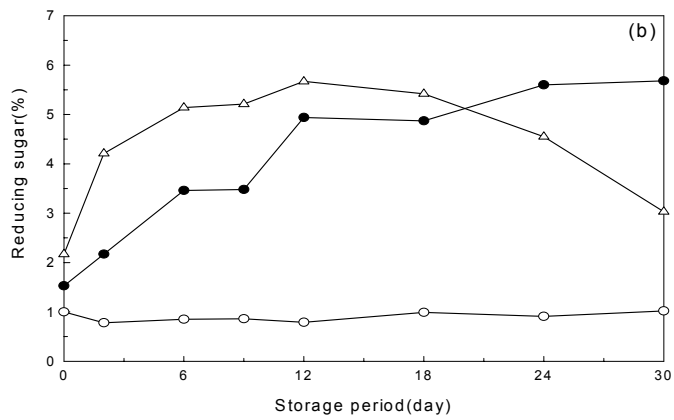
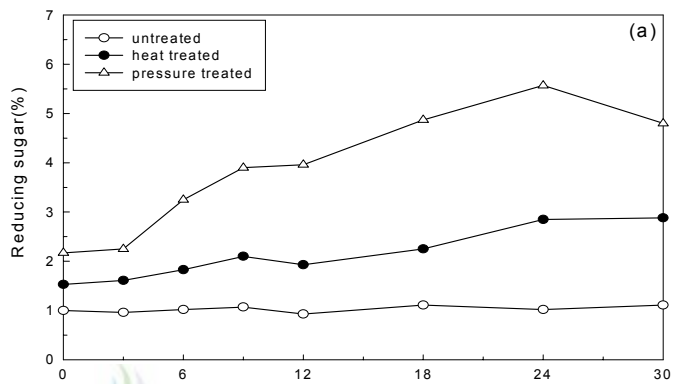


Fig. 9. Changes in reducing sugar of *Foxtail Millet Takju* treated with heat and pressure during storage at 10°C(a) and 25°C(b).

#### 4.1.2.3.4. 관능적 특성

열과 초고압으로 처리한 좁쌀탁주를 10℃와 25℃에서 30일간 저장한 후의 관능적 특성은 Table 7과 같았다. 단맛은 저장온도 10℃에서 열처리구와 초고압처리구가 무처리구보다 유의적으로 높았다. 이는 Fig. 9와 같이 10℃에서 저장한 열처리구와 초고압처리구는 저장기간 동안 계속적으로 환원당 함량이 증가한 반면, 무처리구는 그 수준을 유지하였기 때문이었다. 신맛은 25℃에서 저장한 무처리구가 가장 강하였으며 10℃에서 저장한 초고압처리구가 가장 낮았다. 이는 Fig. 8에서 적정산도의 변화와 일치하는 경향을 보였는데, 저장 중 적정산도의 증가폭이 가장 큰 25℃에서 저장한 무처리 시료가 가장 신맛이 강하였다. Mok 등(1998)도 가열살균한 약주를 8주 동안 저장한 후 신맛은 무처리에 비하여 크게 감소하였다고 보고하였다.

쓴맛의 경우 신맛과 비슷한 경향을 보여 25℃보다 저장한 무처리구가 가장 높았으며, 단맛이 강한 10℃에서 저장한 열처리구와 초고압처리구가 유의적으로 가장 낮았다. 종합적인 기호도는 10℃에서 저장한 열처리구와 초고압처리구가 가장 좋은 반면, 25℃에서 저장한 무처리구가 가장 낮았다. 전체적인 관능적 특성은 저장온도 25℃에서 보다 10℃에서 저장한 시료들이 유의적으로 높았는데, 이는 높은 저장온도에서 좁쌀탁주의 변질이 촉진되었기 때문이다. 종합적인 기호도는 단맛의 관능검사 결과와 일치하는 경향을 보였는데, 이로 보아 좁쌀탁주의 기호도는 관능적 특성 중 단맛에 의한 영향이 가장 높은 것으로 추정된다.

Lee 등(1989)은 82℃ 이상의 열처리에 의하여 탁주의 단맛과 신맛은 감소되었고 화독내와 쓴맛은 증가하였으며, 열처리에 의하여 탁주의 전체적인 기호도는 현저히 감퇴되었는데, 이는 열처리에 의하여 선냄새와 화독냄새의 증가, 청량감의 감소, 회백색의 증가, 쓴맛과 떼은맛의 증가 및 결쭉한 맛의 증가 등에 기인하는 것으로 보고하였다. Lee와 Kim(1995)은 열처리한 약주의 저장 중 관능적 특성은 단맛의 경우 저장온도가 높을수록, 저장기간이 길수록

전반적으로 감소하였으며, 신맛의 경우 저장초기에 증가하였으며, 저장기간이 길수록 적은폭으로 증가되었고, 쓴맛은 저장기간이 길수록 증가되었으며, 저장온도 20, 30℃에서는 유의차가 없었으나 35℃에서는 급격히 증가되었다고 보고하였다. 저장 약주의 맛에 대한 기호도는 저장기간과 저장온도의 증가에 따라 감소되었으며, 높은 온도에서 저장할수록 맛 기호도의 감소폭이 컸는데, 이는 저장 중에 일어나는 신맛, 쓴맛, 떼은맛의 증가와 단맛의 감소에 기인한다. 저장약주의 전체적인 기호도는 저장온도가 높을수록 저장기간이 길수록 직선적으로 감소되었는데, 맛 기호도와 향미 기호도의 저하는 전체적인 기호도의 감소를 가져온다는 것을 알 수 있다. Mok 등(1998)도 50~80℃에서 2초간 가열살균한 약주의 관능적 품질은 60℃ 이상의 열처리로 변화되었으며, 온도가 높을수록 변화의 정도는 뚜렷하였다고 보고하였다.

이상의 결과로부터 열과 초고압으로 처리한 좁쌀탁주는 저장기간 동안 효모와 젖산균이 검출되지 않았으며, 품질특성에 있어서 25℃에서 저장한 시료구는 10℃에서 저장한 시료구에 비하여 변화폭이 컸다. 따라서 초고압으로 젖산균과 효모가 멸균된 좁쌀탁주는 25℃에서보다 10℃에서 저장하는 것이 본래의 맛을 유지하면서 장기간 보존이 가능할 것으로 판단되어진다.

Table 7. Sensory properties of *Foxtail Millet Takju* treated with heat and pressure after storage for 30 days at 10°C and 25°C

Sensory attribute	Storage temp(°C)					
	10°C			25°C		
	Untreated	Heat treated	Pressure treated	Untreated	Heat treated	Pressure treated
Sweetness	2.5 <sup>bc</sup>	4.2 <sup>a</sup>	4.2 <sup>a</sup>	1.5 <sup>c</sup>	3.4 <sup>ab</sup>	1.8 <sup>c</sup>
Sourness	7.8 <sup>a</sup>	5.8 <sup>b</sup>	4.2 <sup>c</sup>	8.2 <sup>a</sup>	4.7 <sup>c</sup>	7.8 <sup>a</sup>
Bitterness	6.4 <sup>ab</sup>	4.6 <sup>c</sup>	4.6 <sup>c</sup>	7.0 <sup>a</sup>	5.0 <sup>bc</sup>	6.6 <sup>a</sup>
Overall acceptance	3.2 <sup>bc</sup>	4.7 <sup>a</sup>	4.7 <sup>a</sup>	2.0 <sup>c</sup>	4.4 <sup>ab</sup>	2.2 <sup>c</sup>

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

1: weakest in taste(or most dislike in overall acceptance), 9: strongest in taste(or most like in overall acceptance).

## 4.2. 초고압처리에 의한 좁쌀약주의 저장성 향상

### 4.2.1. 초고압처리에 의한 좁쌀약주의 미생물 살균 및 효소 불활성화

#### 4.2.1.1. 처리압력에 따른 미생물의 살균효과

처리압력이 좁쌀약주의 살균에 미치는 영향을 측정하기 위하여, 상온(25℃)에서 압력을 100~600 MPa로 달리하여 10분간 처리한 후 미생물수의 변화는 Fig. 10과 같았다. 무처리 좁쌀약주의 일반세균수는  $1.5 \times 10^4$  CFU/mL, 젖산균수는  $1.9 \times 10^4$  CFU/mL, 효모수는  $1.4 \times 10^4$  CFU/mL으로, 좁쌀약주의 일반세균수인  $6.8 \times 10^7$  CFU/mL, 젖산균수인  $1.3 \times 10^8$ , 효모수인  $8.4 \times 10^7$  CFU/mL에 비하여 약  $10^2 \sim 10^3$ 이 적었는데, 이는 여과과정 중 미생물이 제거되었기 때문이다. 배(1999)는 약주를 부패시키는 미생물은 열에 약하여 60℃에서 20~30초에 사멸하나, 탁주의 경우는 맑게 여과되어 있지 않고 탁하므로 살균시간을 최소한 10분 이상 유지시켜야 한다고 보고하였다.

좁쌀약주를 65℃에서 15분간 열처리하였을 때 일반세균수는  $4.1 \times 10^2$  CFU/mL으로 약 2 log cycle 감소하였으나 젖산균과 효모는 완전히 사멸되었다. 초고압으로 처리한 결과 일반세균수는 처리압력의 증가에 따라 서서히 감소한 반면, 젖산균과 효모수는 처리압력의 증가에 따라 급격히 감소하였으며, 300 MPa 이상에서는 완전히 사멸되었다. 좁쌀약주의 젖산균과 효모는 26℃/400 MPa/10분에서 멸균된 반면, 좁쌀약주는 25℃/300 MPa/10분에서 멸균되어, 좁쌀약주의 젖산균과 효모를 멸균하는데 필요한 압력이 더 낮았는데, 이는 시료에 함유되어 있는 초기 균수에 의한 것으로 추정된다.

Mok 등(1998)은 약주를 65℃ 이상에서 2초간 열처리하였을 때 젖산균과 효모는 물론 일반세균도 검출되지 않아 내열성 세균이나 포자들이 성장할 수

없는 상태라고 보고하였는데, 본 연구에서는 열과 초고압 처리시 젖산균과 효모는 멸균된 반면, 일반세균이 잔존하는 것으로 보아, 일반약주와 좁쌀약주 중의 미생물 군상은 다른 것으로 나타났다.

Hara 등(1990)은 청주를 25°C/300 MPa에서 10분 처리하여 젖산균과 효모는 완전히 사멸되었으며, 손(1996)은 김치에 관련된 5종의 젖산균을  $3 \times 10^6$  CFU/mL 되게 멸균수에 현탁하여 실온에서 고압처리한 결과 *Pediococcus cerevisiae*를 제외한 모든 젖산균은 400 MPa에서 완전히 사멸되었다고 보고하였다. Delfini 등(1995)은 sweet wine과 적포도주의 *Saccharomyces cerevisiae*와 젖산균도 350~600 MPa의 처리로 완전히 살균되었으며, Hoover 등(1989)도 pH 2.5~4.5인 산성식품을 상온에서 400 MPa/30분 또는 400 MPa/5~10분 처리하여 효모, 곰팡이, 영양세포의 생존능력이 급격히 감소되었다고 보고하였다.

초고압처리에 의한 미생물의 손상은 외부의 정수압에 의하여 세포의 부피가 감소되고 세포벽 중 상대적으로 강도가 약한 부위가 파손되며, 원형질막을 구성하는 인지질 및 단백질은 압축효과에 의하여 더 많은 물분자와 결합하므로써 본래의 구조가 깨지기 때문인 것으로 추정된다. 100 MPa 이하의 압력에서도 효모의 핵막은 영향을 받으며 400~600 MPa 이상에서는 미토콘드리아와 세포질의 변형을 가져오는데(Shimada 등, 1993), Osumi(1990)는 300~400 MPa에서 *Saccharomyces cerevisiae*의 핵막과 미토콘드리아막의 파괴가 발생하였다고 보고하였다.

한편 일반세균인 경우 300 MPa의 처리로 초기균수  $1.5 \times 10^4$  CFU/mL에서  $4.08 \times 10^2$  CFU/mL로 약 2 log cycle 감소하였지만, 600 MPa 까지 압력을 높여도 커다란 변화는 관찰되지 않았는데, 이로 보아 좁쌀약주의 일반세균 중 일부는 내압성이 큰 것으로 추정되었다. 지금까지 연구결과에 의하면 생육기의 영양세포는 압력에 가장 약하며 진균은 300 MPa, 그람음성균은 500 MPa에서 사멸되나 그람양성균은 700 MPa 이상에서도 생존하며 이들 다수는

포자를 형성하는 것으로 보고되고 있다(Tagi 등, 1990). 포자형성균이 강한 내압성을 보이는 것은 포자의 외피 및 포자 자체에 유리수가 거의 없고 결합수가 대부분이기 때문에 압력의 전달이 어려운 것으로 추정하고 있다(손, 1996). 따라서 좁쌀약주인 경우에도 고압처리에 의해 대부분의 영양세포는 파괴되나, 포자는 살아남아 600 MPa 수준의 압력처리에 의해서도 사멸되지 않는 것으로 추정되었다.

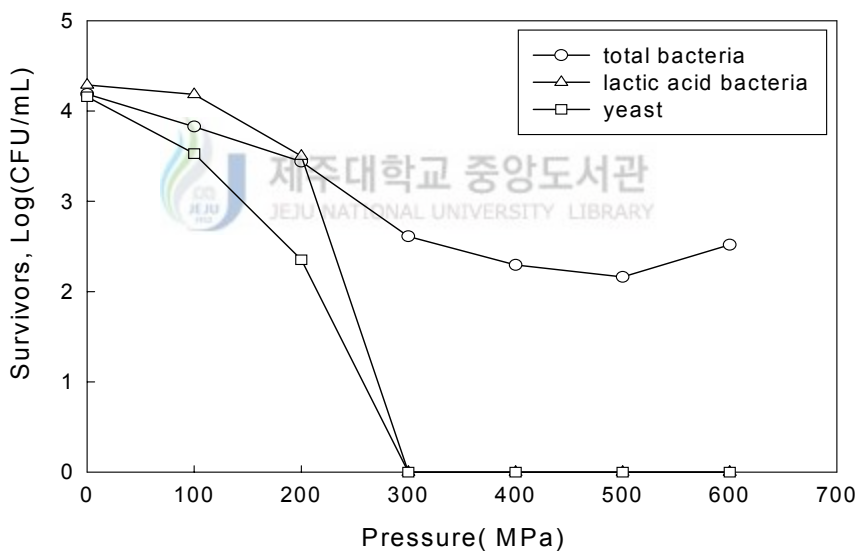


Fig. 10. Effect of pressure on inactivation of microorganisms in *Foxtail Millet Yakju* at 25°C/10 min.

#### 4.2.1.2. 고압살균에 미치는 온도의 영향

좁쌀약주 중의 세균을 사멸시킬 목적으로 300 MPa에서 처리온도를 상온(25℃), 37, 46, 56, 65℃으로 달리하여 10분간 처리한 후 처리온도가 고압살균에 미치는 영향을 측정하였다(Table 8). 젖산균과 효모는 모든 온도 조건에서 완전히 사멸되었다. 그러나 일반세균수는 처리온도가 증가하여도 거의 변화가 없었으며 65℃에서도  $4.2 \times 10^2$  CFU/mL가 잔존하여 완전히 사멸되지 않았다. 내열성 포자형성균은 압력과 온도의 병용에 의하여 살균효과가 향상되는 것으로 알려져 있으나(Taghi 등, 1990), 좁쌀약주는 25℃ 이상의 온도에서 더 이상 세균수가 감소하지 않는 tailing 현상을 보였다. 이로 보아 상온에서 고압처리로 대부분의 영양세포는 사멸되었으나 세균포자는 65℃에서 300 MPa의 처리에서도 파괴되지 않음을 알 수 있었다.

Lee 등(1991)도 탁주를 열처리한 결과 65℃ 이상에서 세균수는 초기  $10^6$ 에서  $5 \times 10^3$  CFU/mL 수준으로 감소하였으나, 그 이상의 온도(75℃까지)에서 20분간 처리하여도 그 수는 변하지 않았는데, 이는 살균초기에 대부분의 영양세포는 파괴되었으나 세균포자는 75℃ 이상의 온도에서도 사멸되지 않았기 때문이다. Delfini 등(1995)은 낮은 pH(pH 2.5~3.5), 비교적 높은 온도(40~60℃), 높은 CO<sub>2</sub> 함량은 압력에 의한 살균효과를 증진시키지만, 특히 설탕은 보호작용을 하였다고 보고하였다. 따라서 좁쌀약주의 일반세균이 멸균되지 않은 것은 약주의 구성성분들이 세포막과 결합하거나 삼투막을 변화시킴으로서 세균에 대한 보호작용을 나타내었기 때문인 것으로 추측된다.

이상의 결과에서 좁쌀약주 중의 젖산균과 효모는 초고압처리시 내압과 내열성이 작은 반면, 일반세균인 경우는 내압과 내열성이 커서 포자를 형성할 가능성이 있는 것으로 추정된다.



Table 8. Effect of temperature on pressure inactivation of microorganisms in *Foxtail Millet Yakju* at 300 MPa/10 min

Temperature(°C)	Total bacteria	Lactic acid bacteria	Yeast
Untreated	$1.5 \times 10^4$	$1.9 \times 10^4$	$1.4 \times 10^4$
25	$4.0 \times 10^2$	-	-
37	$3.7 \times 10^2$	-	-
46	$3.9 \times 10^2$	-	-
56	$3.1 \times 10^2$	-	-
65	$4.2 \times 10^2$	-	-

(-: not detected)

#### 4.2.1.3. 처리시간에 따른 미생물의 살균효과

내압 내열성이 있는 세균의 사멸 조건을 찾기 위하여 고온(65°C)과 고압(300 MPa)에서 처리시간을 10~60분으로 달리하여 좁쌀약주를 처리한 결과는 Fig. 11과 같았다. 일반세균수는 처리시간 10~40분에서 거의 변화가 없었으나 그 이상에서 감소하기 시작하여 60분 처리 후  $1.1 \times 10^1$  CFU/mL로 무처리에 비하여 약 3 log cycle 감소하였다. Fujiki와 Mochizuki(1993)는 *B. subtilis*보다 열저항성이 더 높은 것으로 알려져 있는 *B. licheniformis*는 60°C, 800 MPa, 30분의 처리로 완전 사멸되었다고 보고한 것으로 보아, 좁쌀약주도 일반세균의 사멸을 위해서는 고온과 고압에서 장시간의 고압처리가 필요한 것으로 판단된다.

일반적으로 세균포자는 50~60°C에서 100 MPa로 단시간 처리한 후 대기압에서 45분 경과하면 발아(tyndallization)가 부분적으로 일어나며, 발아된 포자는 압력과 온도에 매우 민감하게 영향을 받는다고 알려져 있다(Smelt, 1998). 따라서 이러한 발아공정을 거치면 포자의 살균이 용이하므로, 좁쌀약주의 일반세균도 낮은 압력에서 발아시킨 후 온도와 압력을 병행하여 처리한다면 효과적일 것으로 판단되며, 앞으로 이에 대한 연구가 요망된다.

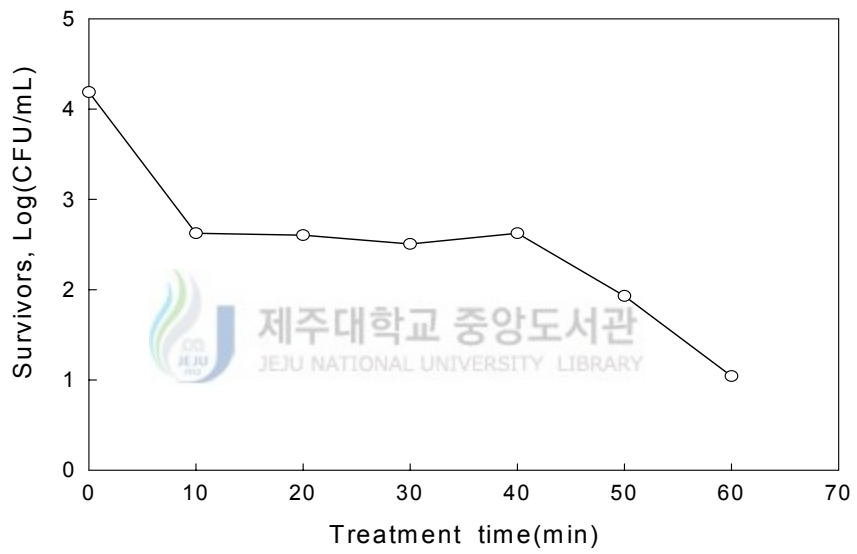


Fig. 11. Effect of treatment time on inactivation of total bacteria in *Foxtail Millet Yakju* at 65°C/300 MPa.

#### 4.2.1.4. 처리압력에 따른 효소의 불활성화

좁쌀약주를 상온(25℃)에서 압력별로 10분간 초고압처리하여 액화효소인  $\alpha$ -amylase와 당화효소인 glucoamylase의 활성을 측정하였다(Table 9).  $\alpha$ -Amylase의 활성은 400 MPa까지는 처리압력에 관계없이 무처리와 비슷하였으나, 500 MPa 이상의 처리에서는 유의적으로 감소하였으며 600 MPa에서는 18.1%가 불활성화 되었다. Glucoamylase의 활성도  $\alpha$ -amylase와 마찬가지로 500 MPa까지는 처리압력에 관계없이 거의 변화가 없었으나 600 MPa에서는 유의적으로 감소하여 21.1%가 불활성화 되었다. 따라서 좁쌀약주를 상온에서 고압처리하는 것만으로는 효소의 불활성화 효과가 적었다.

한편 좁쌀약주 중의  $\alpha$ -amylase의 상대활성은 처리압력의 증가에 따라 다소 감소하였으며 600 MPa에서 73.2%가 잔존한 반면, 액화된 전분을 glucose로 가수분해하는 효소인 glucoamylase의 상대활성은 압력의 증가에 따라 다소 상승하는 경향을 보였는데, 이로 보아 동일한 효소일지라도 media에 따라 불활성화 효과가 달라짐을 알 수 있었다. Hendrickx 등(1998)은 오렌지주스(11. Brix, 60. Brix), 설탕용액, Tris buffer 용액(pH 7)을 45℃에서 600 MPa, 10분 처리한 후 pectinesterase의 활성을 측정한 결과, 11. Brix의 오렌지주스에서 효소활성은 87%가 감소하였으나, 60. Brix의 오렌지주스와 Tris buffer 용액에서는 32%, 설탕용액에서는 19%만이 불활성화 되었다고 보고하였다.

Table 9. Effect of pressure on enzyme inactivation in *Foxtail Millet Yakju* at 25°C/10 min

Pressure (MPa)	$\alpha$ -Amylase		Glucoamylase	
	Activity (Unit/mL)	Residual activity (%)	Activity (Unit/mL)	Residual activity (%)
Untreated	154.2±1.8 <sup>a</sup>	100.0	14.1±2.0 <sup>a</sup>	100.0
100	153.4±1.3 <sup>a</sup>	99.5	14.4±1.7 <sup>a</sup>	102.0
200	151.3±0.9 <sup>a</sup>	98.2	15.6±0.6 <sup>a</sup>	110.2
300	154.1±0.8 <sup>a</sup>	99.9	15.3±0.5 <sup>a</sup>	108.6
400	153.2±2.2 <sup>a</sup>	99.3	14.6±1.4 <sup>a</sup>	103.7
500	145.7±0.7 <sup>b</sup>	94.5	14.4±0.4 <sup>a</sup>	102.2
600	126.3±3.2 <sup>c</sup>	81.9	11.1±0.3 <sup>b</sup>	78.9

\* The same letters in the same column are not significantly different ( $\alpha=0.05$ ).

#### 4.2.1.5. 효소불활성화에 대한 온도의 영향

좁쌀약주를 300 MPa에서 온도를 달리하여 처리하여 온도가 효소의 불활성화에 미치는 영향을 측정하였다(Table 10).  $\alpha$ -Amylase와 glucoamylase 모두 46°C 이상에서 활성이 급격하게 감소하였으며, 65°C에서  $\alpha$ -amylase는 77.8%, glucoamylase는 67.9% 불활성된 것으로 보아, 효소의 불활성화는 고압처리시 온도가 높을수록 효과적이었다. Eshitiaghi 등(1993)도 감자를 400 MPa, 15분의 고압처리로 polyphenoloxidase의 활성이 20% 감소되었는데, 가압시 온도를 높일 경우 불활성화가 촉진되었다고 보고하였다.

가열처리는 격렬한 분자운동을 일으켜 단백질의 공유결합 뿐만 아니라 비공유 결합에도 영향을 미쳐 단백질 변성을 유발시키고(Hayakawa, 1992), 고압처리는 단백질 구조의 재배열 및 3, 4차 구조를 붕괴시켜 일부 단백질의 변성이 일어나서 체적이 감소하므로 biopolymer인 효소도 활성이 변화한다(Seyderhelm 등, 1996). 따라서 좁쌀약주도 초고압으로 단독 처리하는 것보다는 고온을 병행하면 단백질의 변성도를 높일 수 있으므로 효소 불활성화도 커질 것으로 예측된다.

Table 10. Effect of temperature on pressure inactivation of enzymes in *Foxtail Millet Yakju* at 300 MPa/10 min

Temperature (°C)	α-Amylase		Glucoamylase	
	Activity (Unit/mL)	Residual activity (%)	Activity (Unit/mL)	Residual activity (%)
Untreated	127.8±1.3 <sup>a</sup>	100.0	15.0±0.9 <sup>a</sup>	100.0
25	128.9±3.3 <sup>a</sup>	100.9	14.8±0.6 <sup>a</sup>	98.5
37	126.6±1.5 <sup>a</sup>	99.0	14.5±0.7 <sup>ab</sup>	97.3
46	117.0±1.8 <sup>b</sup>	91.6	13.0±0.8 <sup>b</sup>	87.3
56	61.9±0.6 <sup>c</sup>	48.4	8.6±0.2 <sup>c</sup>	57.6
65	28.3±2.4 <sup>d</sup>	22.2	4.8±0.2 <sup>d</sup>	32.1

\* The same letters in the same column are not significantly different ( $\alpha=0.05$ ).

#### 4.2.1.6. 처리시간에 따른 효소의 불활성화

고온(65°C)과 고압(300 MPa)에서 처리시간이 좁쌀약주의  $\alpha$ -amylase와 glucoamylase의 활성에 미치는 영향을 측정하였다(Fig. 12).  $\alpha$ -Amylase의 경우 10분 처리시 활성이 급격하게 감소하여 77.8%까지 불활성되었다. 그러나 그 이상의 처리시간에서는 활성이 다소 감소하는 경향을 보였지만 60분 처리 후에도 효소활성이 10.2%가 잔존하였다. 한편 가열처리(65°C, 15분)에 의한  $\alpha$ -amylase의 잔존활성은 16.8%이었는데, 단순한 가열처리보다는 고압을 병용할 경우  $\alpha$ -amylase의 불활성화를 더욱 촉진시킬 수 있었다.

Glucoamylase는 65°C/300 MPa에서 10분 처리로 68.3%가 불활성화 되었지만, 처리시간을 증가시켜도 더 이상의 변화는 관찰할 수 없었으며, 열처리(65°C, 15분)에 의해서는 73.8%가 불활성되었다.

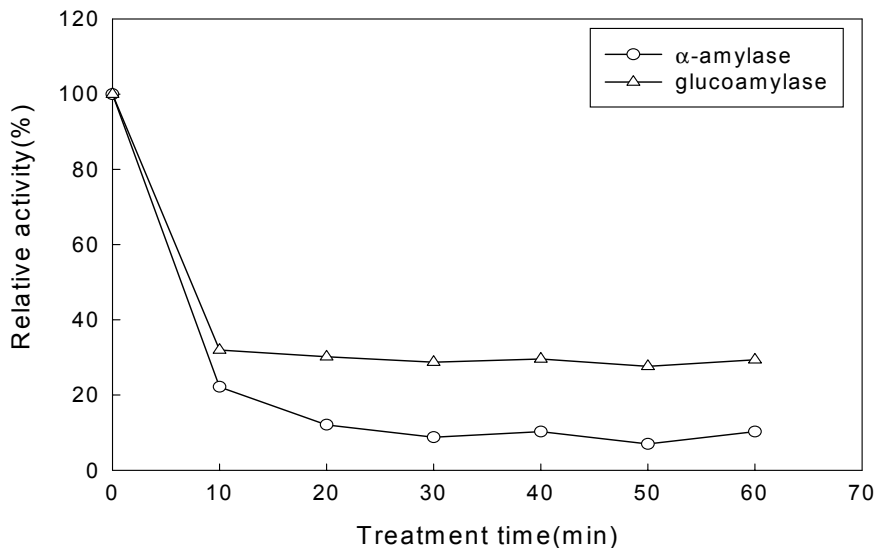


Fig. 12. Effect of treatment time on inactivation of enzymes in *Foxtail Millet Yakju* at 65°C/300 MPa.



## 4.2.2. 초고압처리한 좁쌀약주의 저장 중 미생물, 효소활성 및 품질 변화

### 4.2.2.1. 미생물수의 변화

#### 4.2.2.1.1. 일반세균수의 변화

좁쌀약주를 열과 초고압으로 처리한 후 10℃, 25℃, 37℃에서 64일간 저장하는 동안 일반세균수의 변화를 측정한 결과는 Fig. 13과 같았다. 처리 직후 일반세균수를 보면 열처리구는  $1.4 \times 10^2$  CFU/mL, 상온(25℃) 초고압처리구는  $4.0 \times 10^2$  CFU/mL, 고온(65℃) 초고압처리구는  $4.2 \times 10^2$  CFU/mL로, 무처리구의  $1.5 \times 10^4$  CFU/mL와 비교하여 볼 때 열과 초고압처리로 약 2 log cycle이 감소되었다. Mok 등(1998)은 약주를 65℃ 이상에서 2초간 열처리하였을 때 일반세균이 검출되지 않아 내열성 세균이나 포자들이 성장할 수 없는 상태라고 보고하였는데, 본 연구에서는 열과 초고압 처리시 일반세균이 살아 남은 것으로 보아, 일반약주와 좁쌀약주 중의 미생물 군상은 다른 것으로 나타났다.

저장기간에 따른 일반세균수의 변화를 보면 무처리구는 감소하는 경향을 보였는데, 저장온도 10℃에서는 저장초기와 비교하여 64일 후 약 1 log cycle이 감소된 반면, 25℃에서는 약 2 log cycle 감소되었다. 그러나 37℃에서는 급격하게 감소하였는데 저장 25일에 저장초기와 비교하여 약 3 log cycle 감소하였다가 저장 55일 후에는 검출되지 않았다. Mok 등(1997)은 비살균 약주의 총균수는 초기에  $1.8 \times 10^4$  CFU/mL 수준에서 4℃, 25℃, 37℃에서 저장하는 동안 저장기간에 따라 감소하였는데, 특히 37℃에 저장한 비살균 약주는 저장 14일 후 세균이 검출되지 않았다고 보고하였다.

열처리구와 초고압처리구의 일반세균수는 10℃와 25℃에서 저장하는 동안 약간의 증감을 보였지만 저장 초기에 비하여 큰 변화는 없었다. 그러나 저장온도 37℃에서 열처리구와 상온 초고압처리구의 일반세균수는 무처리구와

마찬가지로 저장기간에 따라 급격히 감소하여 저장 55일 후에는 검출되지 않았으며, 고온 초고압처리구는 저장 25일 이후 검출되지 않았다. 이로 보아 약주는 탁주에 비하여 시료자체가 전분과 기타 고분자 물질을 여과과정을 통하여 제거한 것으로 영양성분 함량이 큰 폭으로 감소되었고, 알콜함량 역시 12%로 높기 때문에 미생물이 생육할 수 있는 조건이 더욱 열악한 것으로 보인다. Lee와 Kim(1995)도 살균약주를 4~35℃에서 14주간 저장 중 총균수는 저장기간에 따라 급격히 감소하였다고 보고하였다.



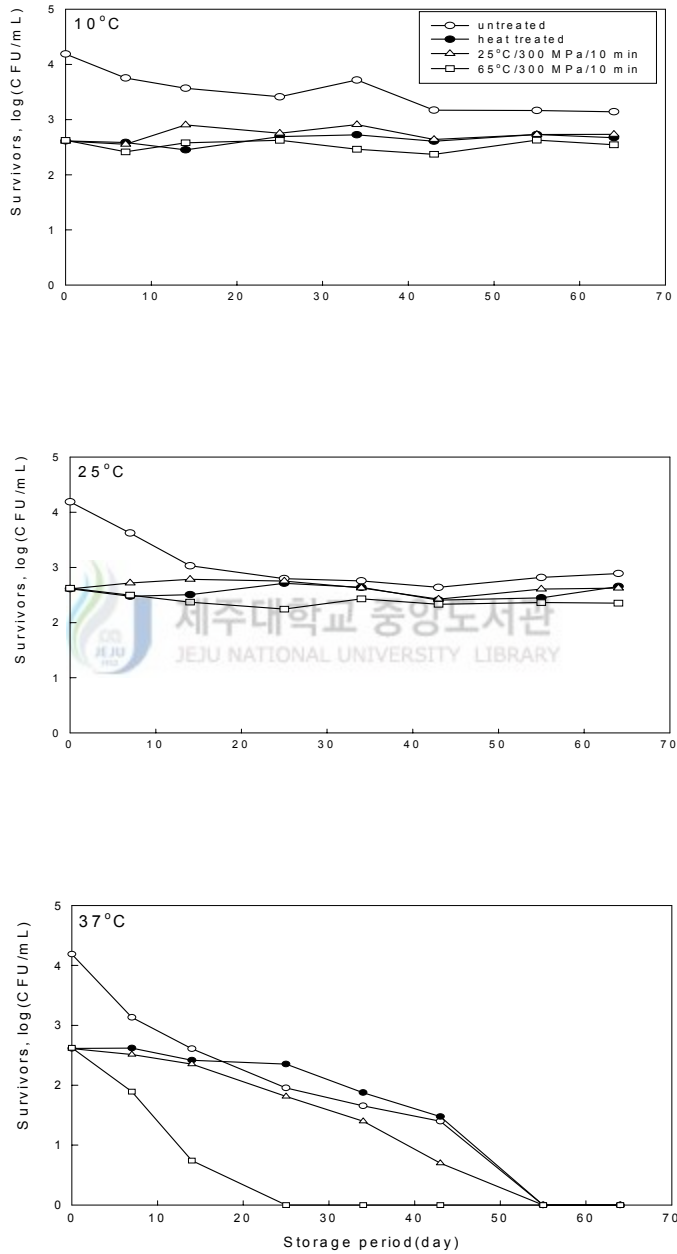


Fig. 13. Changes in total bacteria counts of *Foxtail Millet Yakju* treated with heat and pressure during storage at different temperature.

#### 4.2.2.1.2. 젖산균수의 변화

약주의 부패와 산패는 발효액 중에 함유되어 있는 젖산균에 의하여 젖산이 형성되거나 또는 생성된 알콜이 초산균이나 낙산균에 의하여 초산과 낙산이 형성되기 때문이므로, 약주 중의 젖산균의 존재 여부는 약주의 품질에 지대한 영향을 미친다(Lee 등, 1994).

열과 초고압으로 처리한 좁쌀약주의 저장기간 중 젖산균수의 변화는 Table 11과 같았다. 무처리 좁쌀약주의 젖산균수는  $1.9 \times 10^4$  CFU/mL였지만, 열과 초고압처리에 의해서 완전히 사멸되었다. Hara 등(1990)은 청주에 현탁되어 있는 젖산균은 상온에서 300 MPa의 초고압처리로 완전히 사멸되었으며, Mok 등(1998)은 약주를 65°C 이상에서 2초간 열처리하였을 때 젖산균이 검출되지 않았다고 보고하였는데 본 연구의 결과와 일치하였다.

저장기간에 따른 젖산균수의 변화는 무처리구인 경우 감소하였으며 10°C에서는 저장 64일에  $9.7 \times 10^2$  CFU/mL, 25°C에서는  $1.2 \times 10^1$  CFU/mL로 보아 10°C에서 보다는 25°C에서 감소폭이 더 컸으며, 37°C에서는 저장 7일 후에 검출되지 않았다. 무처리 좁쌀약주를 37°C에서 저장하였을 때 일반세균은 저장 55일 후에 검출되지 않은 반면(Fig. 13), 젖산균은 저장 7일 후에 검출되지 않는 것(Table 11)으로 보아, 좁쌀약주에 존재하는 일반세균은 젖산균 이외에도 다른 종이 많이 존재하는 것으로 추정된다. Mok 등(1997)도 무살균 약주의 젖산균은 저장온도 25°C에서보다 4°C에서 감소현상이 두드러졌으며, 37°C에서 저장 7일 후에는 생존하지 않았다고 보고하였다. Mok 등(1998)도 65°C 이상에서 가열한 약주 중의 젖산균은 사멸되었으며, 25°C에서 8주간 저장 중 검출되지 않았다고 보고하였다. 본 연구에서 열처리와 초고압처리한 좁쌀약주의 젖산균은 모든 저장온도에서 저장기간 내내 검출되지 않아 바람직한 안전성을 나타내었다.

Table 11. Changes in lactic acid bacteria counts(CFU/mL) of *Foxtail Millet Yakju* treated with heat and pressure during storage at different temperature

Storage Temp. (°C)	Treatment	Storage period(day)							
		0	7	14	25	34	43	55	64
10	Untreated	1.9×10 <sup>4</sup>	6.2×10 <sup>3</sup>	7.4×10 <sup>3</sup>	3.8×10 <sup>3</sup>	4.6×10 <sup>3</sup>	2.9×10 <sup>3</sup>	1.6×10 <sup>3</sup>	9.7×10 <sup>2</sup>
	Heat treated	-	-	-	-	-	-	-	-
	25°C/300 MPa /10 min	-	-	-	-	-	-	-	-
	65°C/300 MPa /10 min	-	-	-	-	-	-	-	-
	Untreated	1.9×10 <sup>4</sup>	3.4×10 <sup>3</sup>	8.0×10 <sup>2</sup>	7.4×10 <sup>1</sup>	1.7×10 <sup>1</sup>	7.5×10 <sup>0</sup>	8.0×10 <sup>0</sup>	1.2×10 <sup>1</sup>
25	Heat treated	-	-	-	-	-	-	-	-
	25°C/300 MPa /10 min	-	-	-	-	-	-	-	-
	65°C/300 MPa /10 min	-	-	-	-	-	-	-	-
	Untreated	1.9×10 <sup>4</sup>	-	-	-	-	-	-	-
	37	Heat treated	-	-	-	-	-	-	-
25°C/300 MPa /10 min		-	-	-	-	-	-	-	-
65°C/300 MPa /10 min		-	-	-	-	-	-	-	-

(-: not detected)

#### 4.2.2.1.3. 효모수의 변화

Table 12는 열과 초고압으로 처리한 좁쌀약주의 효모수의 변화이다. 무처리 좁쌀약주의 효모수는  $1.4 \times 10^4$  CFU/mL 였지만 열처리와 초고압처리에 의하여 완전히 사멸되었다. 열처리구와 모든 초고압처리구는 젖산균의 경우와 마찬가지로 저장 64일 동안 효모가 전혀 검출되지 않아 살균효과가 안정함이 확인되었다. Hara 등(1990)도 청주에 현탁되어 있는 효모는 상온에서 300 MPa의 초고압처리로 완전히 사멸되었으며, Mok 등(1998)은 약주를 65°C 이상에서 2초간 열처리하였을 때 효모는 검출되지 않았다고 보고하였는데 본 연구의 결과와 일치하였다.

10°C에서 저장한 무처리구인 경우는 저장 64일에는 저장초기에 비하여 약 2 log cycle 감소하였으나, 25°C와 37°C에서는 저장 7일 후에 저장초기와 비교하여 약 1 log cycle 감소한 후 저장기간 내내 검출되지 않았다. Lee 등(1994)은 약주의 품온이 32°C 이상으로 오르게 되면 효모는 급속도로 노쇠하여 사멸된다고 보고하였다. Mok 등(1997)은 비살균 약주의 저장 중 효모수는 37°C 저장구의 경우 저장 14일 후에 발견되지 않았으며, 4°C 저장구의 경우 25°C에 비하여 빠른 감소 경향을 나타내었다고 보고하였다. Mok 등(1998)도 65°C 이상에서 가열한 약주 중의 효모는 사멸되었으며, 25°C에서 8주간 저장 중 검출되지 않았다고 보고하였다. Lee와 Kim(1995)은 살균포장된 모든 시료에서 효모와 곰팡이는 발견되지 않았으며, 저장기간 중에도 검출되지 않았다고 보고하였다.

Table 12. Changes in yeast counts(CFU/mL) of *Foxtail Millet Yakju* treated with heat and pressure during storage at different temperature

Storage Temp. (°C)	Treatment	Storage period(day)							
		0	7	14	25	34	43	55	64
10	Untreated	1.4×10 <sup>4</sup>	3.7×10 <sup>3</sup>	3.9×10 <sup>3</sup>	2.2×10 <sup>3</sup>	1.1×10 <sup>3</sup>	4.5×10 <sup>1</sup>	2.8×10 <sup>2</sup>	1.2×10 <sup>2</sup>
	Heat treated	-	-	-	-	-	-	-	-
	25°C/300 MPa /10 min	-	-	-	-	-	-	-	-
	65°C/300 MPa /10 min	-	-	-	-	-	-	-	-
25	Untreated	1.4×10 <sup>4</sup>	5.0×10 <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-
	Heat treated	-	-	-	-	-	-	-	-
	25°C/300 MPa /10 min	-	-	-	-	-	-	-	-
	65°C/300 MPa /10 min	-	-	-	-	-	-	-	-
37	Untreated	1.4×10 <sup>4</sup>	1.0×10 <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-
	Heat treated	-	-	-	-	-	-	-	-
	25°C/300 MPa /10 min	-	-	-	-	-	-	-	-
	65°C/300 MPa /10 min	-	-	-	-	-	-	-	-

(-: not detected)

#### 4.2.2.2. 효소활성의 변화

##### 4.2.2.2.1. $\alpha$ -Amylase 활성의 변화

좁쌀약주 중의  $\alpha$ -amylase의 저장기간에 따른 활성의 변화는 Fig. 14와 같았다. 열처리 직후  $\alpha$ -amylase의 상대활성은 23.2%로 76.8%가 불활성화된 반면, 상온에서 초고압처리한 좁쌀약주의 상대활성은 99.8%로 거의 불활성화되지 않았다. 한편 65°C의 고온에서 좁쌀약주를 초고압으로 처리한 결과  $\alpha$ -amylase는 93.1%가 불활성화된 것으로 보아 고온을 병용해서 초고압으로 처리할 경우 효소의 불활성화를 촉진시킬 수 있음을 알 수 있었다. 김(1999)도 당근주스를 상온에서 초고압처리시 polyphenoloxidase와 pectinesterase가 불활성 되지 않았던 반면, 70°C의 고온과 초고압을 병행할 경우 완전히 불활성화 되었다고 보고하였다.

저장기간에 따른  $\alpha$ -amylase 활성의 변화는 10°C에서 저장하는 동안 무처리구와 상온 초고압처리구는 저장 14일에 효소활성이 각각 125.9%와 124.7%로 증가하였다가 감소하기 시작하였으며 저장 64일에 무처리구는 112.3%, 상온 초고압처리구는 112.6%였다. 열처리구는 저장기간 동안 낮은 활성을 유지하였지만 저장 64일에 39.7%로 초기 23.2%에 비하여 효소활성이 증가하였다. 고온 초고압처리구도 열처리구와 비슷한 활성을 유지하였지만 초기 활성보다는 다소 증가하는 현상을 보였다. 25°C에서 저장하는 동안 무처리구와 상온 초고압처리구인 경우 저장 7일에 상대활성이 각각 124.5%와 122.5%로 증가하였다가 급격하게 감소하여, 저장 64일에 각각 21.8%와 16.2%였다. 그러나 열처리구와 고온 초고압처리구는 10°C에서와 마찬가지로 저장기간 동안 그 수준을 유지하였다. 저장온도 37°C에서는 25°C에서와 거의 유사한 경향을 보였으며, 다만 그 활성이 다소 낮은 경향을 보였다. Hong 등(1998b)도 동치미를 초고압처리하여 저장하는 동안 pectinesterase의 활성이 감소하였으며 특히 4°C에서 보다 37°C에서 저장시 효소활성이 급격히 감소하였다고 보고하였다.



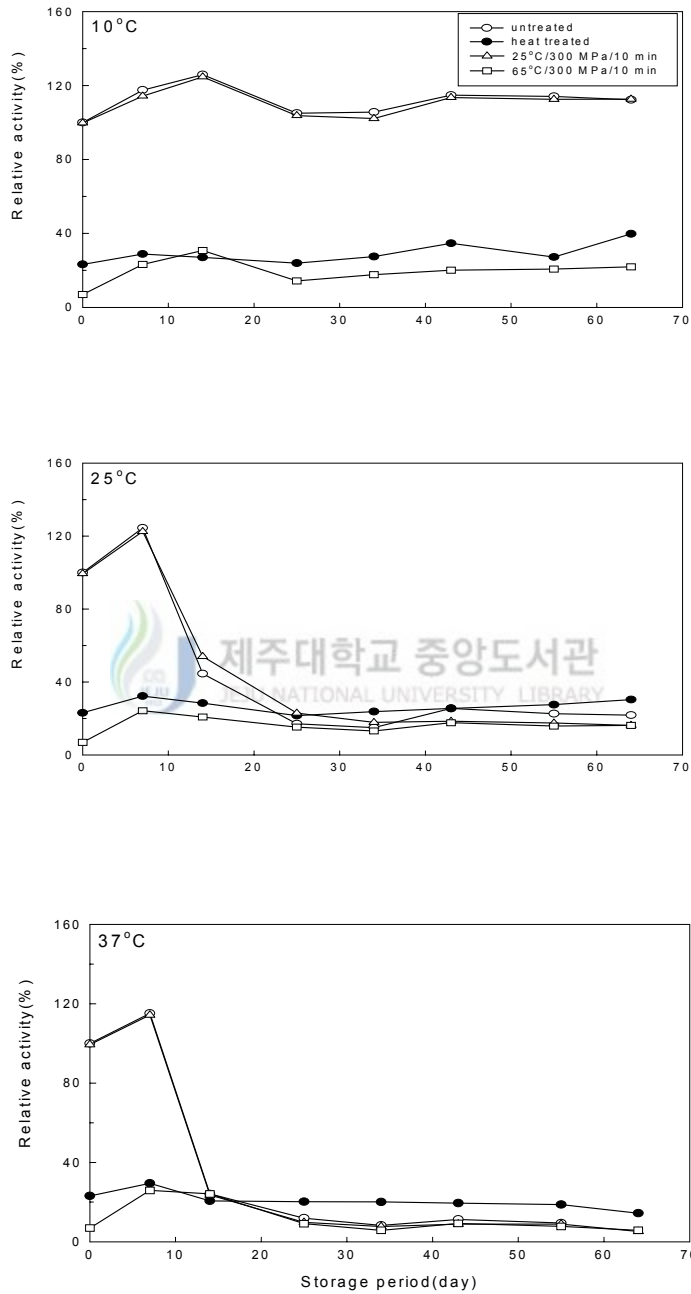


Fig. 14. Changes in  $\alpha$ -amylase activity of *Foxtail Millet Yakju* treated with heat and pressure during storage at different temperature.

#### 4.2.2.2. Glucoamylase 활성의 변화

좁쌀약주의 당화효소인 glucoamylase의 저장기간에 따른 활성의 변화는 Fig. 15와 같았다. Glucoamylase의 상대활성은 열처리 직후 29.0%로 열처리에 의하여 71.0%가 불활성화된 반면, 상온에서 초고압처리한 후 상대활성은 98.2%로  $\alpha$ -amylase와 마찬가지로 거의 불활성화 되지 않았다. 그러나 고온을 병용하여 좁쌀약주를 초고압처리한 결과 상대활성이 17.3%로 82.7%가 불활성화 되었는데,  $\alpha$ -amylase인 경우 93.1%가 불활성화된 것과 비교하여 볼 때 glucoamylase는  $\alpha$ -amylase보다 불활성화 시키기가 더 어려운 것으로 판명되었다. Hara 등(1990)도 처리압력이 증가하면 효소의 실활정도가 크며 동일 처리압력에서  $\alpha$ -amylase 보다는 glucoamylase의 활성이 더 많이 잔존하며 알콜 농도가 높을수록 불활성화가 촉진되었다고 보고하였다.

10℃에서 저장하는 동안 무처리구와 상온 초고압처리구는 거의 비슷하게 초기활성을 유지하였으며, 저장 64일에 무처리구는 89.5%, 초고압처리구는 90.2%로 저장기간 동안 활성의 변화가 거의 없었다. 한편 열처리구와 고온 초고압처리구는 낮은 활성을 유지하였으며 저장기간 동안 활성이 다소 증가하여 저장 64일에 각각 43.2%와 35.8%로 가역적인 활성의 변화를 보였다.

25℃와 37℃에서 저장하는 동안 무처리구와 상온 초고압처리구는 10℃에서와 비교하여 활성이 급격히 감소하였으며, 37℃에서 저장 64일에 무처리구는 28.4%, 상온 초고압처리구는 19.8%로 25℃에 비하여 감소폭이 더 컸다. 그러나 열처리구과 고온 초고압처리구는 25℃에서 저장기간에 따라 활성이 다소 증가하였으나, 37℃에서는 거의 변화가 없었다. 고온 초고압처리구인 경우 37℃에서 저장 64일에 상대활성이 19.8%인 반면, 25℃에서는 35.8%로 25℃에서 가역적인 증가현상을 관찰 할 수 있었다.

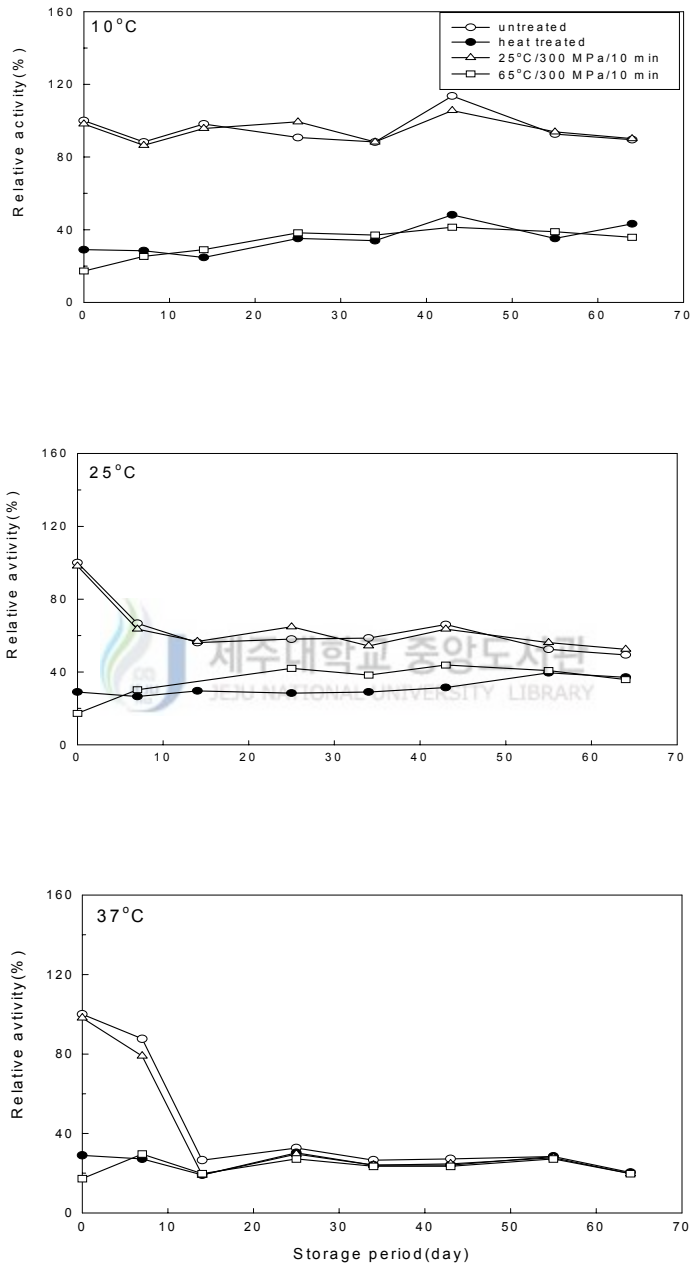


Fig. 15. Changes in glucoamylase activity of *Foxtail Millet Yakju* treated with heat and pressure during storage at different temperature.

### 4.2.2.3. 품질변화

#### 4.2.2.3.1. pH의 변화

열과 초고압으로 처리한 좁쌀약주의 저장 중 pH의 변화는 Fig. 16과 같았다. 무처리구, 열처리구, 고온 초고압처리구의 초기 pH는 3.76이었고, 상온 초고압처리구의 초기 pH는 3.74로 비슷하였다. Mok 등(1998)은 약주를 50~80℃에서 2초간 가열살균후 pH는 3.50~3.54로 살균온도에 관계없이 거의 일정하였다. 10℃에서 저장기간 동안 모든 시료의 pH 변화양상은 비슷하였으며 다소 증감을 반복하였지만 초기와 거의 유사하였다. 저장온도 25℃에서 대부분의 시료구가 저장 7일에 pH가 약간 증가하였다가 그 수준을 유지하여 저장기간 내내 거의 변화가 없었다. 그러나 무처리구는 저장 55일 후 급격히 감소하는 현상을 나타내었으며 저장 64일에 pH는 3.70였다. 37℃에서는 모든 처리구가 25℃에서와 마찬가지로 저장 7일에 pH가 약간 증가하였다가 그 후 거의 일정한 경향을 나타내었다. Mok 등(1997)은 비살균 약주의 pH는 초기 3.80에서 저장기간 동안 감소하는 경향을 보였으며, 감소 속도는 25℃ 저장구가 4℃와 37℃에 비하여 훨씬 빠르게 감소하였으며, 25℃에서는 저장 21일 후에 pH는 2.85로 급격히 저하된 것으로 보아, 약주의 변패에 관여하는 미생물이 중온균임을 시사한다고 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 무처리 좁쌀약주인 경우 25℃에서 저장 40일간은 pH 변화가 거의 없었으며, 그 이후 급격히 감소하는 경향을 보였으나 그 감소폭은 단지 0.1 unit에 지나지 않았다. 모든 저장온도에서 저장 7일 후에 pH가 증가하였는데 그 증가폭은 저장온도가 높을수록 높았다.

이상의 결과 좁쌀약주의 저장 중 pH 변화는 무처리구는 10℃와 37℃에서 저장기간 동안 거의 변화가 없었으나, 25℃에서는 감소하였으며, 열처리구와 초고압처리구는 모든 저장온도에서 거의 변화가 없었다. Lee와 Kim(1995)도 가열살균한 약주를 4~35℃에서 14주간 저장 중 pH는 최저 4.00에서 최고 4.18로 커다란 변화가 없었다고 보고하였다.

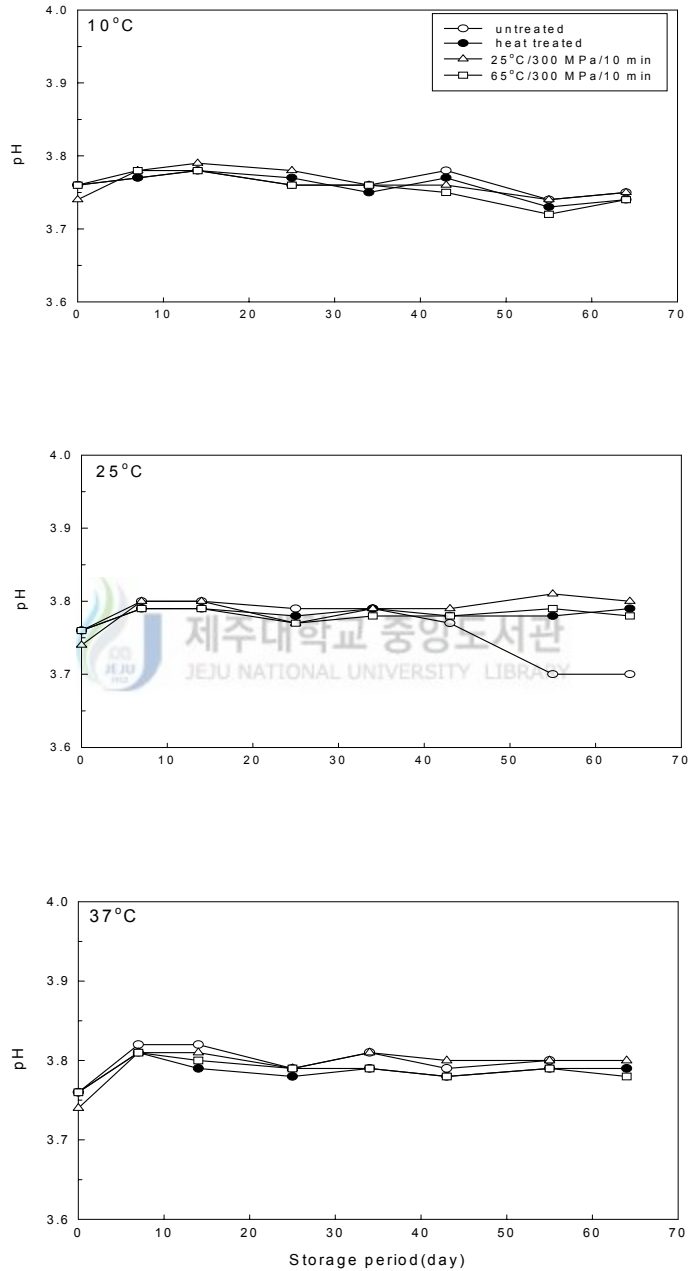


Fig. 16. Changes in pH of *Foxtail Millet Yakju* treated with heat and pressure during storage at different temperature.

#### 4.2.2.3.2. 적정산도의 변화

좁쌀약주의 신맛은 당을 발효원으로 하는 각종 미생물의 대사작용에 의해 생성되는 유기산의 농도에 의해 영향을 받는데, 저장기간에 따른 적정산도의 변화는 Fig. 17과 같았다. 좁쌀약주의 적정산도는 좁쌀탁주보다 약 2배 높았다. 무처리 좁쌀약주의 적정산도는 1.50%인 반면, 상온 초고압처리구는 1.52%, 열처리구와 고온 초고압처리구는 모두 1.55%로 비슷하였다. Mok 등(1998)은 50~80℃에서 2초간 가열살균한 약주의 적정산도는 0.37~0.39%로 거의 일정한 값을 나타내었다고 보고하였다. 그런데 식품공전상 약주의 총산 규격은 초산으로서 0.7% 이하인데, 이를 젖산으로 환산하면 1.05%이다. 그런데 좁쌀약주의 총산 함량은 무처리구가 1.50%로 식품공전의 규격보다 높은 함량을 나타내었다.

저장온도 10℃에서 무처리구의 적정산도는 저장 14일까지 증가하였다가 그 후 감소하여 저장 64일에 1.47로 저장 초기에 비하여 약간 감소하였다. 열처리구, 상온 초고압처리구, 고온 초고압처리구도 저장 14일 까지 약간 증가하였다가 그 후 저장기간 내내 조금씩 감소하는 경향을 보였다.

그러나 저장온도 25℃에서는 무처리구인 경우 저장 34일 후부터 적정산도가 증가하기 시작하여 저장 55일에 1.68로 급격하게 증가하는 현상을 나타내었다. 이로 보아 비살균 약주의 품질 악화 즉 신맛의 증가를 예측할 수 있는데, 이는 비살균 약주에 존재하는 미생물 특히 젖산균에 의한 젖산 생성에 기인하는 것으로 보고되고 있다(Chang과 Yu, 1981; Lee와 Kim, 1996). 저장온도 25℃에서 열처리구와 초고압처리구의 적정산도는 10℃에서와 마찬가지로 저장기간 동안 다소 감소하였는데 감소폭은 더 컸다. 저장온도 37℃에서 모든 시료의 적정산도는 25℃에서와 마찬가지로 저장기간 동안 계속적으로 조금씩 감소하였으며, 그 감소폭이 더 컸다. 따라서 저장기간 중 적정산도의 감소폭은 저장온도가 높을 수록 높았다.

Mok 등(1998)은 가열살균한 약주의 8주간 저장 중 적정산도는 저장온도

4℃와 37℃에서보다 25℃에서 저장기간에 따라 증가하여, 약주의 변패에 관여하는 미생물은 중온균이라고 하였는데, 본 연구에서도 무처리 시료의 경우 25℃에서 적정산도가 급격히 증가하여 이러한 사실을 뒷받침하여 주고 있다. Mok 등(1998)은 무처리 약주는 25℃와 37℃에서 저장하는 동안 적정산도는 급격히 증가한 반면, 60℃ 이상의 온도에서 가열처리한 약주는 거의 변화가 없었다고 보고하고 있어, 본 실험의 결과와 일치하는 경향을 나타내었다. Kang 등(1998)도 막여과 약주를 25℃ 저장시 적정산도의 변화가 거의 없어 높은 저장성을 나타내었으나, 무처리 약주는 저장기간 중 잔존하는 미생물에 의해 산이 생성되었다고 보고하였다. Lee와 Kim(1995)은 약주를 가열살균후 4~35℃에서 14주간 저장 중 적정산도는 0.56~0.60%로 커다란 차이를 보이지 않았다고 보고하였다.

이상의 결과로부터 열과 초고압으로 처리한 좁쌀약주는 모든 저장온도에서 저장기간 동안 pH 및 적정산도에 있어서 별다른 변화를 보이지 않아 저장성이 높았지만, 25℃에서 저장한 무처리구는 좁쌀약주에 존재하는 젖산균에 의한 젖산의 생성 또는 생성된 알코올이 초산균이나 낙산균에 의해 초산이나 낙산이 생성되어 적정산도가 증가한 것으로 추정되었다(Lee 등, 1994).

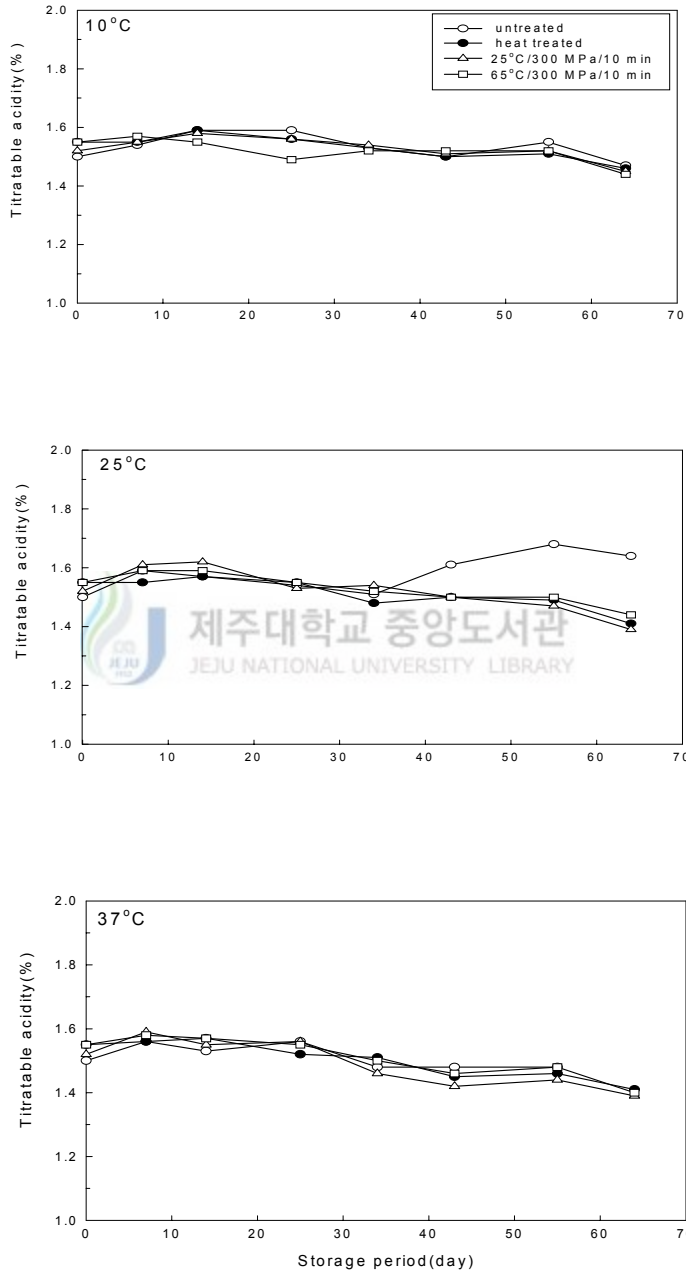


Fig. 17. Changes in titratable acidity of *Foxtail Millet Yakju* treated with heat and pressure during storage at different temperature.



#### 4.2.2.3.3. 탁도의 변화

저장기간 중 좁쌀약주의 탁도 변화는 Fig. 18과 같았다. 처리 직후 상온 초고압처리구의 탁도는 0.39로 무처리구와 동일한 반면, 열처리구와 고온 초고압처리구의 탁도는 0.44로 다소 증가하였다. Mok 등(1998)은 50~80℃에서 2초간 가열살균한 약주의 탁도는 대조구가 0.070인 반면, 열처리에 의하여 0.076~0.081로 다소 증가하였지만, 살균온도에 따라 뚜렷한 경향은 인지되지 않았다고 보고하였다.

10℃에서 저장하는 동안 모든 시료의 탁도는 저장기간에 따라 다소 증가하였는데, 특히 무처리구와 상온 초고압처리구가 더 높았다. 저장온도 25℃에서는 열처리구와 고온 초고압처리구인 경우 10℃에서와 유사한 경향을 나타내었다. 그러나 무처리구의 탁도는 저장 34일 후부터 증가하기 시작하여 저장 55일에 최대값을 나타내었으며, 상온 초고압처리구도 저장기간에 따라 증가하는 경향을 보였지만 무처리구보다는 증가폭이 낮았다. 한편 37℃에서 저장한 모든 시료의 탁도는 저장기간 동안 급격하게 증가하였는데, 특히 열처리구와 고온 초고압처리구인 경우는 10℃와 25℃에서 보다 크게 증가하는 현상을 나타내었다. 이와 같이 좁쌀약주의 탁도는 저장기간과 저장온도의 증가에 따라 증가하는 현상을 보였으며, 저장기간 동안 좁쌀약주의 흡광도가 증가함에 따라 빠르게 혼탁해지고 짙은 적갈색으로 변해가는 것을 육안으로 관찰할 수 있었는데, 무처리구인 경우 탁도의 증가는 미생물에 의한 영향인 반면, 열과 초고압 처리구인 경우는 저장온도가 탁도 증가의 주원인으로 추정되었다.

Lee와 Kim(1995)은 살균한 후 Tetra-pak에 무균 포장한 약주는 저장온도가 높고 저장기간이 길수록 탁도가 증가하였으며, 저장온도 30℃ 이상에서는 탁도가 급격히 증가하였다고 보고하였는데 본 연구의 결과와 일치하였다. Mok 등(1998)은 가열살균한 약주의 8주간 저장 중 탁도는 저장온도 4℃와 37℃에서보다 25℃에서 저장기간에 따라 증가하여, 약주의

변패에 관여하는 미생물은 증온균이라고 하였는데, 본 연구에서도 무처리 시료의 경우 25℃에서 탁도가 급격히 증가하여 이러한 사실을 뒷받침하여 주고 있다.

이상의 결과 무처리구인 경우 25℃ > 37℃ > 10℃ 순으로 탁도가 증가한 반면, 열처리와 초고압처리구는 37℃ > 25℃ > 10℃ 순으로 증가하였다. 따라서 본 연구에서 무처리구인 경우는 Mok 등(1998)의 연구결과와 일치하였으며, 열과 초고압 처리구는 Lee와 Kim(1995)의 연구결과와 일치하였다.

약주의 착색도는 술의 원료와 누룩자체가 갖고 있는 색이 술의 색에 영향을 미칠 뿐만 아니라 술 중의 철분 함량이 많아짐에 따라 술색이 진해진다. 약주는 담황색을 띠며, 착색이 지나치면 제품의 상품적 가치가 떨어진다. 착색 중 문제가 되는 것은 철분의 혼입에 의한 착색과 출하 후 제품의 착색인데, 철분에 의한 착색으로 국균에서 생성된 deferrichrysin이 청주 중에 존재하여 철과 결합하여 적갈색의 원인물질인 ferrichrysin을 형성하며, 출하 후 유통 중에는 청주중의 당류 및 기타 여러 환원성 물질과 아미노산이 반응하여 melanoidin(갈색)이 생성되며 저장기간 중에 증가한다. 약주중의 철 함량은 0.10~0.61 mg/100 mL로 철분 함유량이 많을수록 착색도가 더 높아지는 것으로 보고되고 있다(Lee 등, 1994).

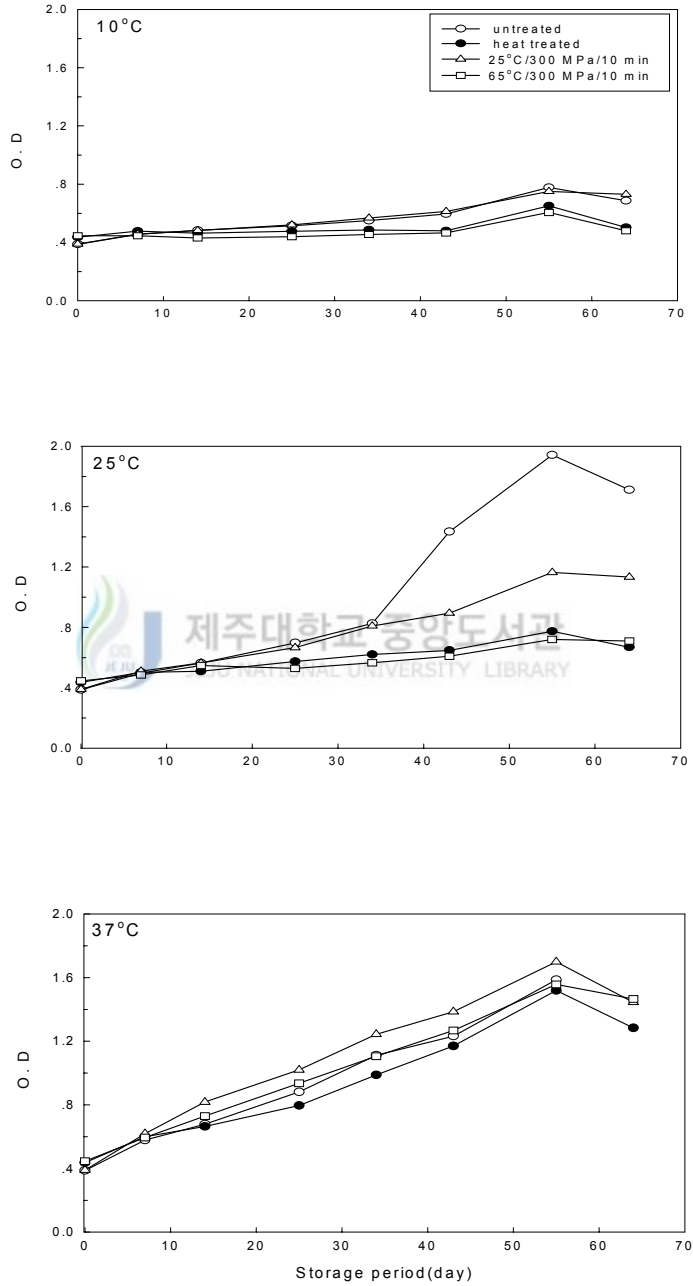


Fig. 18. Changes in turbidity of *Foxtail Millet Yakju* treated with heat and pressure during storage at different temperature.

#### 4.2.2.3.4. 환원당의 변화

Fig. 19는 저장기간 중 열과 초고압으로 처리한 좁쌀약주의 환원당 함량 변화이다. 무처리 좁쌀약주의 환원당은 2.41%인 반면, 상온 초고압처리구는 2.38, 열처리와 고온 초고압처리구는 각각 2.33과 2.34로 무처리 시료 보다 적었다.

10℃에서 저장하는 동안 모든 시료의 환원당 함량은 저장 14일에 급격히 증가한 후 저장기간 동안 다소의 증감을 보였으나 그 수준을 유지하였다. 저장온도 25℃에서 대부분의 시료의 환원당함량은 저장기간에 따라 증가하는 현상을 보였으나, 무처리구인 경우는 저장 34일 후부터 감소하기 시작하여 저장 64일에 1.81로 급격하게 감소하는 현상을 보였다. Mok 등(1997)은 비살균 약주를 25℃에서 저장 중 단맛은 저장기간이 길어짐에 따라 감소하였다고 보고하였다.

저장온도 37℃에서도 모든 시료의 환원당 함량은 저장기간에 따라 증가하였으며, 10℃와 25℃에서 보다 그 증가폭이 컸다. 이는 약주의 품온이 32℃이상으로 오르게 되면 주정발효를 하는 효모는 급속도로 노쇠하여 그 기능이 상실되고 당화작용은 급진적으로 진행되었기 때문인 것으로 추정된다 (Lee 등, 1994). 저장온도 37℃에서 환원당 함량이 높을수록 흡광도와 착색이 증가됨을 알 수 있었는데, 이는 좁쌀약주의 적색으로의 착색과 환원당 함량 증가와 관련이 있다는 것을 입증하는 것이다. 한편 환원당 함량은 glucoamylase의 활성이 높을수록 증가할 것으로 추정되는데, Fig. 14에서와 같이 glucoamylase 상대활성은 10℃>25℃>37℃ 순으로 높았지만, 환원당 함량은 glucoamylase 상대활성이 낮을수록 증가하는 특이한 현상을 보였다. Lee와 Kim(1995)은 가열살균한 약주를 4~35℃에서 14주간 저장 중 환원당 함량의 변화는 뚜렷한 경향을 보이지 않았다고 보고하였다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 열과 초고압으로 처리한 좁쌀약주는 10℃,

25℃, 37℃에서 저장하는 동안 멸균된 효모와 젖산균은 검출되지 않았으며, 일반세균은 37℃에서 저장하는 동안 모두 사멸되었다.  $\alpha$ -Amylase와 glucoamylase의 활성은 10℃에서 저장하는 동안 초기의 활성과 거의 유사하였으나, 25℃와 37℃에서는 저장 초기에 비해 활성이 감소하였다. 품질특성은 저장온도 10℃와 25℃에서 거의 비슷하였으나 37℃에서 변화폭이 가장 컸다. 따라서 상온(25℃)과 고온(65℃)에서 초고압처리로 젖산균과 효모를 멸균시킨 좁쌀약주는 25℃에서는 다소의 착색이 있어 10℃에서 저장하는 것이 양호한 품질을 유지할 수 있을 것으로 판단되었다. 따라서 초고압처리한 좁쌀약주는 10℃에서 저장하면 저장기간을 더욱 증진시킬 수 있을 것으로 예측된다.

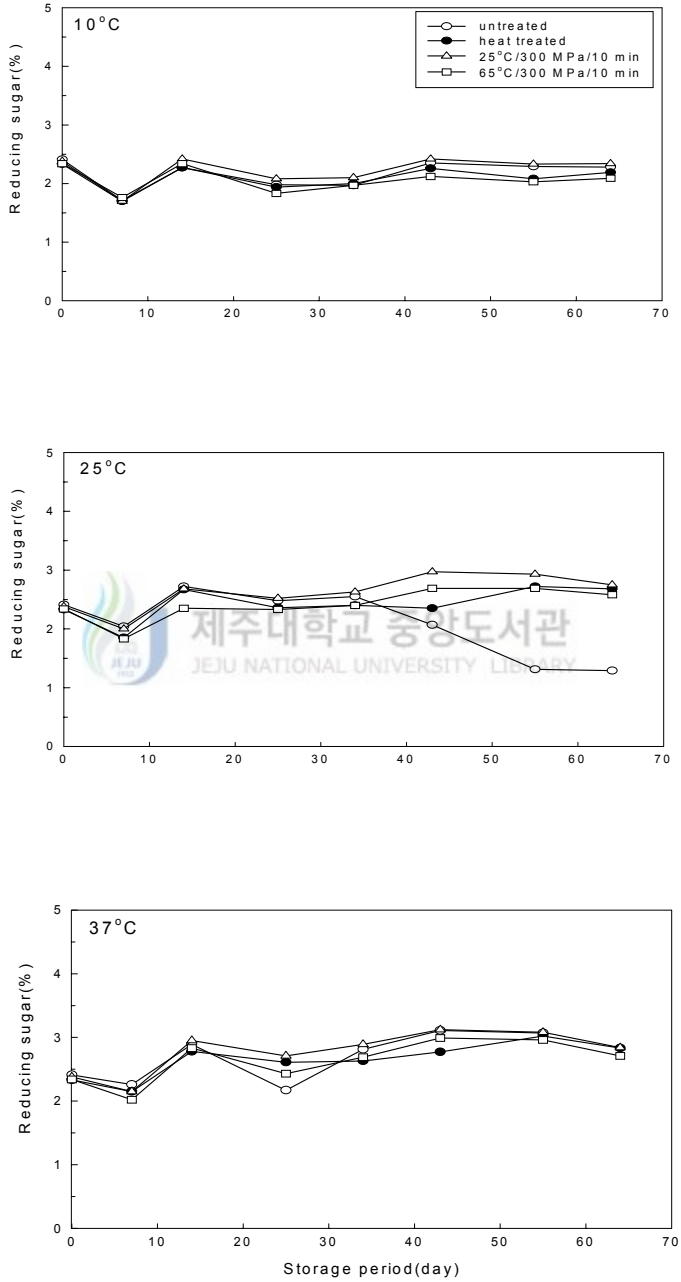


Fig. 19. Changes in reducing sugar of *Foxtail Millet Yakju* treated with heat and pressure during storage at different temperature.

## 要 約

좁쌀 약·탁주의 가열살균에 의한 품질저하를 방지할 목적으로, 비열살균법인 초고압처리법을 적용하여, 미생물 살균 및 효소 불활성화 효과와 저장 중 품질 변화를 측정하여, 약·탁주의 저장성 증진 효과를 검증하였다. 좁쌀탁주를 초고압으로 처리한 결과 젖산균수와 효모수는 처리압력의 증가에 따라 급격히 감소하였으며, 400 MPa에서는 완전히 사멸되었으며, 일반세균은 66°C/400 MPa/60분, 600 MPa/10분 처리로 멸균되었다.  $\alpha$ -Amylase의 활성은 상온에서 처리압력의 증가에 따라 감소한 반면, glucoamylase의 활성은 증가하는 경향을 보였다. 400 MPa에서 처리온도의 증가에 따라  $\alpha$ -amylase와 glucoamylase의 활성이 모두 감소하였는데, 66°C에서 각각 59.7%와 20.5%가 불활성화되었다. Glucoamylase는 고온과 고압 처리로 활성이 26.7% 밖에 감소되지 않았지만, 가열처리(65°C, 30분)에 의해서는 83.6%가 불활성화되었다.

좁쌀탁주를 열(65°C/30분)과 초고압(27°C/400 MPa/10분)으로 처리한 후 10°C와 25°C에서 30일간 저장하는 동안 열처리구와 초고압처리구의 일반세균수는 큰 변화가 없었으며, 젖산균과 효모는 저장기간 내내 검출되지 않았다. 열처리구의  $\alpha$ -amylase 활성은 저장기간 내내 낮은 초기값을 유지한 반면, 초고압처리구는 높은 값을 유지하였으며, 저장온도의 증가에 따라 감소하였다. Glucoamylase의 활성은 저장기간에 따라 증가하였으며, 초고압처리구는 열처리구보다 2.1~4.3배 높은 활성을 유지하였다. 열처리구와 초고압처리구의 pH와 적정산도는 저장 30일 동안 거의 일정한 경향을 보였지만 환원당 함량은 증가하였다.

이상의 결과로부터 좁쌀탁주를 초고압처리하면 젖산균과 효모의 사멸로 후발효에 의한 품질변화를 최소화시켜 유통기간을 연장시킬 수 있을 뿐만 아니라, 유통기간 중 glucoamylase의 활성화로 환원당 함량이 증가하여 탁주의 맛을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

좁쌀약주를 초고압처리한 결과 젖산균과 효모는 25°C/300 MPa/10분 처리로 멸균되었지만, 일반세균은 25°C/300 MPa에서 처리시간을 10분에서 60분으로 증가시켰을 때 약 3 log cycle 감소하였다.  $\alpha$ -Amylase와 glucoamylase의 활성은 상온에서 600 MPa로 처리하였을 때 각각 18.1%와 21.1%만이 불활성화된 반면, 300 MPa에서 처리온도를 65°C로 증가시켰을 때 각각 77.8%와 67.9% 불활성화되었다.

좁쌀약주를 열(65°C/15분)과 초고압(25°C, 65°C/400 MPa/10분)으로 처리한 후 10°C, 25°C, 37°C에서 64일간 저장하는 동안 일반세균수는 저장온도 10°C와 25°C에서는 큰 변화가 없었으나, 37°C에서는 급격히 감소하여 무처리구는 25일부터, 열처리구와 초고압처리구는 55일부터 검출되지 않았다. 젖산균과 효모는 열처리구와 초고압처리구에서 저장기간 내내 검출되지 않았다.  $\alpha$ -Amylase와 glucoamylase의 활성은 저장온도 10°C에서 상온 초고압처리구는 높은 활성을 유지한 반면, 열처리구와 고온 초고압처리구는 낮은 활성을 유지하였다. 저장온도가 높을수록 저장기간에 따라 활성이 감소하였으며, 저장온도 25°C와 37°C에서 모든 시료의 효소활성은 낮은 값을 나타내었다. 열처리구와 초고압처리구의 pH는 저장온도와 처리조건에 관계없이 거의 일정한 값을 유지한 반면, 적정산도는 저장기간에 따라 다소 감소하였다. 탁도는 저장기간과 저장온도의 증가에 따라 급격히 증가하였으며, 환원당 함량은 다소 증가하는 경향을 보였다.

이상의 결과로부터 초고압처리한 좁쌀약주는 10°C, 25°C, 37°C에서 저장하는 동안 멸균된 젖산균과 효모는 검출되지 않았으며,  $\alpha$ -amylase와 glucoamylase의 활성은 10°C에서 저장 중 초기의 활성과 거의 유사하였으나, 25°C와 37°C에서는 저장 초기에 비해 활성이 감소하였다. 품질특성은 저장온도가 높을수록 변화폭이 컸다. 따라서 초고압처리한 좁쌀약주는 10°C에서 저장하면 저장기간을 증진시킬 수 있을 것으로 예측된다.



## 參 考 文 獻

- Aleman, G.D., D.F. Farkas, S. McIntyre, J.A. Torres and E. Wilhelmssen. 1994. Ultra-high pressure pasteurization of fresh cut pineapple. *J. Food Protect.*, 57, 931~934.
- 배상면, 1999, 탁주의 저온살균법에 의한 보존성 증진에 관하여. 태양통신, 36, pp.7~17.
- Bae, S.M., H.J. Kim, T.K. Oh and Y.H. Kho. 1990. Preservation of *Takju* by pasteurization. *Kor. J. Appl. Microbiol. Biotech.*, 18, 322~325.
- Chang, K.J. and T.J. Yu. 1981. Studies on the components of *Sokokju* and commercial *Yakju*. *Kor. J. Food Sci. Technol.*, 13, 307~313.
- Cheftel, J.C. 1991. Application des hautes pression on technologie alimentaire. *Ind. Alim. Agric.*, 108, 141~153.
- Coughi, F. 1993. Use of high pressure in the food industry. *Industrie Alimentari.*, 32, 956~961.
- Delfini, C., L. Conterno, G. Carpi, P. Rovere, A. Tabusso, C. Cocito and A. Amati. 1995. Microbiological stabilisation of grape musts and wines by high hydrostatic pressures. *J. Wine Res.*, 6, 143~151.
- Eshitiaghi, M.N., R. Stute and D. Knorr. 1993. High pressure and freezing pretreatment effects on drying, rehydration, texture and color green beans, carrots and potatoes. *J. Food Sci.*, 58, 1168~1170.
- Farkas, D.F and D.G. Hoover. 2001. High pressure processing. *J. Food Sci. supplement*, 47~64.

Farr, D. 1990. High pressure technology in the food industry. *Trends Food Sci. Technol.*, 1, 14~16.

Fujiki, H. and K. Mochizuki. 1993. Application of high pressure to processing and preservation of the water containing cocoa mass, pp.193~205. In "Pressure Processed Food"(ed, Hayashi, R.). San-Ei Pub. Co. Kyoto.

한국식품공업협회, 1997, 식품공전, 문영사, 서울, pp.573~578.

Hara, A., G. Nagahama, A. Ohbayashi and R. Hayashi. 1990. Effects of high pressure on inactivation of enzymes and microorganisms in non-pasteurized rice wine. *J. Agric. Chem. Soc. Japan*, 64, 1205~1030.

Hayakawa, I. 1992. High pressure technology and food industry. Symposium Proceedings on Technology of Food Processing and Foods and Packaging. *Kor. Soc. Food Sci. Technol.*, pp.40-61.

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.

Hayashi, R. and A. Hayashida. 1989. Increased amylase digestibility of pressure-treated starch. *Agric. Biol. Chem.*, 53, 2543~2544.

Hayashi, R., Y. Kawamura and S. Kunugi. 1987. Introduction of high pressure to food processing: Preferential proteolysis of  $\beta$ -lactoglobulin in milk whey. *J. Food Sci.*, 52, 1107~1108.

Hendrickx, M., L. Ludikhuyze, I. Van den Broeck and C. Weemaes. 1998. Effects of high pressure on enzymes related to food quality. *Trends Food Sci. Technol.*, 9, 197~203.

Heramans, K. 1983. High pressure effects on proteins and other biomolecules. *Ann. Rev. Biophys. Bioeng.*, 11, 1.

Hite, B.H. 1899. The effect of pressure in the preservation of milk. *Bull.* 58, pp.15~35. W.Va. Agric. Exp. Sta., Morgantown.

Hong, K.P and J.Y. Park. 1998a. Changes in microorganisms, enzymes and texture of *Dongchimi* by high hydrostatic pressure treatment. *Kor. J. Food Sci. Technol.*, 30, 596~601.

Hong, K.P and J.Y. Park. 1998b. Effects of high pressure on the shelf-life and quality of *Dongchimi*. *Kor. J. Food Sci. Technol.*, 30, 602~607.

Hong, S.W., Y.C. Hah and K.S. Yoon. 1968. On the changes of amylase activity and saccharifying ability in *Takjoo* mashes during the process of brewing. *Kor. J. Microbiol.*, 6, 141~146.

Hoover, D.G., C. Metrick, A.M. Papineau, D.F. Farkas and D. Knorr. 1989. Biological effects of high hydrostatic pressure on food microorganisms. *Food Technol.*, 43, 99~107.

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

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.

Kang, M.Y., Y.S. Park, C.K. Mok and H.G. Chang. 1998. Improvement of shelf-life of *Yakju* by membrane filtration. *Kor. J. Food Sci. Technol.*, 30, 1134~1139.

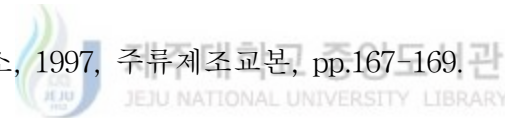
Kim, H.S., Y.T. Yang, Y.H. Jung, J.S. Koh and Y.J. Kang. 1992. Clarification of *Foxtail Millet* wine. *Kor. J. Food Sci. Technol.*, 24, 101~106.

김양식, 1999, 초고압과 열 병합처리에 의한 당근쥬스의 품질 특성 및 공정의 최적화, 연세대학교 대학원 석사학위논문.

Kinugasa, H., T. Tageo, K. Fukumoto and M. Ishihara. 1992. Changes in tea components during processing and preservation of tea extracts by hydrostatic pressure sterilization. *Nippon Nogeikagaku Kaishi*, 66, 707~712.

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

국세청기술연구소, 1997, 주류제조교본, pp.167-169.



Laidler, K.J. 1951. The influence of pressure on rates of biological reaction. *Arch. Biochem.*, 30, 226~230.

Larson, W.P., T.B. Hartzell and H.S. Diel. 1918. The effect of high pressure on bacteria. *J. Infect. Diseases*, 22, 272~279.

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

Lee, C.H and G.M. Kim. 1995. Determination of the shelf-life of pasteurized Korean rice wine, *Yakju*, in aseptic packaging. *Kor. J. Food Sci. Technol.*, 27, 156~163.

Lee, C.H., H.D. Lee, J.Y. Kim and K.M. Kim. 1989. Sensory quality attributes of *Takju* and their changes during pasteurization. *Kor. J. Dietary Culture*, 4, 405~410.

Lee, C.H., W.T. Tae, G.M. Kim and H.D. Lee. 1991. Studies on the pasteurization conditions of *Takju*. *Kor. J. Food Sci. Technol.*, 23, 44~51.

Lee, C.Y., T.W. Kim and C.K. Sung. 1996. Studies on the souring of *Hansan Sogokju*(Korean traditional rice wine). *Kor. J. Food Sci. Technol.*, 28, 117~121.

Lee, D.U., J. Park, J.I. Kang and I.H. Yeo. 1996. Effect of high pressure on the shelf-life and sensory characteristics of *angelica keiskei* juice. *Kor. J. Food Sci. Technol.*, 28, 105~108.

Lee, K.B. and J.H. Kim. 1969. Studies on radiation preservation of fermented Korean rice-wine(*Tak Joo and Yak Joo*). *Kor. J. Microbiol.*, 7, 45~56.

Lee, M.K., S.W. Lee and T.H. Yoon. 1994. Quality assessment of *Yakju* brewed with conventional *Nuruk*. *J. Kor. Soc. Food Nutr.*, 23, 78~89.

이영춘 · 김광옥, 1994, 식품의 관능검사, 학연사, 서울, p.175.

Lee, Z.S. and T.W. Rhee. 1970. Studies on the microflora of *Takju* brewing. *Kor. J. Microbiol.*, 8, 116~133.

Mackey, B.M., K. Forestiere and N. Isaacs. 1995. Factors affecting the resistance of *Listeria monocytogenes* to high hydrostatic pressure. *Food Biotechnol.*, 9, 1~11.

Makita, T. 1993. Use of low temperature under high pressure. *Shokuhin Kyogyo*, 2, 26~31.

Marquis, R.E. 1976. High-pressure microbial physiology. *Adv. Microbial Physiol.*, 11, 159~241.

Marquis, R.E. and G.R. Bender. 1987. Barophysiology of prokaryotes and protein translocating ATPases, pp.65~73. In "Current Perspectives in High Pressure Biology"(eds. Jannasch, H.W., R.E. Marguis and A.M. Zimmerman). Academic Press, London.

Matsumoto, T. 1991. High pressure treatment for preservation of pickles, pp.368~377. In "High Pressure Bioscience for Food"(ed. Hayashi, R.). San-Ei Pub. Co., Kyoto.

Matsumoto, T. 1994. Behaviors of liquefying  $\alpha$ -amylase of *Bacillus subtilis* under high pressure, pp.86~93. In "High Pressure Bioscience"(ed. Hayashi, R.). San-Ei Pub. Co., Kyoto.

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

Miller, G.L. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal. Chem.*, 31, 426~428.

Mok, C.K., J.Y. Lee and H.G. Chang. 1997. Quality changes of non-sterilized *Yakju*(rice wine) during storage and its shelf-life estimation. *Food Engineering Progress*, 1, 192~197.

Mok, C.K., J.Y. Lee and H.G. Chang. 1998. Optimization of heat sterilization condition for *Yakju*(rice wine). *Food Engineering Progress*, 2, 137~143.

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

Ogawa, H., K. Fukhsia, Y. Kubo and H. Fukumoto. 1990. Pressure inactivation of yeasts, molds and pectinesterase in *Satsma Mandarin* juice.

*Agric. Biol. Chem.*, 54, 1219~1225.

Ogawa, H., K. Fukihisa, Y. Kobo and H. Fukumoto. 1991. Effect of hydrostatic pressure on sterilization and preservation of citrus juice, pp.225~232. In "Pressure-Processed Food"(ed. Hayashi, R.). San-Ei Pub. Co., Kyoto.

Ooide, A. 1993. Non-freezing preservation of fresh foods under subzero temperature. p.39. In "Proceedings of Sixth Symposium by Japanese Research Group of High Pressure Bioscience,

Osumi, M. 1990. Effect of hydrostatic pressure to ultrastructure of yeast cell, pp.157~164. In "Pressure-processed Food: Research and Development" (ed. Hayashi, R.). San-Ei Pub. Co. Kyoto.

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

Park, I. and Y. Chung. 1988. Properties of glucoamylase isozymes produced by *Aspergillus sp. Kor.* *J. Appl. Microbiol. Bioeng.*, 16, 320~326.

Park, J.M. and H.I. Oh. 1995. Changes in microflora and enzyme activities of traditional *Kochujang meju* during fermentation. *Kor. J. Food Sci. Technol.*, 27, 56~62.

Park, H.J., Y.K. Min, K.Y. Kim and S.W. Kang. 1998. Sterilization effects of hydrostatic pressure and low temperature treatments on the jujube wine. *Food Engineering Progress*, 2, 163~170.

Perrier-Cornet, J.M., P.A. Marechal and P. Gervais. 1995. A new design intended to relate high pressure treatment to yeast cell mass transfer. *J.*

*Biotechnol.*, 41, 49~58.

Sale, A.J.H., G.W. Gould and W.A. Hamilton. 1969. 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. Bogusalwaki, G. Michaelis and D. Knorr. 1996. Pressure induced inactivation of selected food enzymes. *J. Food Sci.*, 61, 308~310.

Shimada, S., M. Andou, N. Naito, N. Yamada, M. Osumi and R. Hayashi. 1993. Effects of hydrostatic pressure on the ultra structure of internal substances in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 40, 123~131.

Shoji, T. 1990. Application of high pressure to fish processing. *Shokuhin Kakou Gijutsu*, 10, 24~28.

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

손경현, 1996, 고압처리에 의한 살균과 효소 불활성화가 식품의 품질과 저장성에 미치는 영향, 서울대학교 대학원 박사학위논문.

Sohn, K.H., C.K. Chang, U.Y. Kong and H.J. Lee. 1996a. High pressure inactivation of *Candida tropicalis* and its effects on ultrastructure of the cells. *Kor. J. Food Sci. Technol.*, 28, 587~592.

Sohn, K.H., J.K. Lim, U.Y. Kong, J.O. Park and N.C. Akinori. 1996b. High pressure inactivation of allinase and its effects on flavor of garlic. *Kor. J. Food Sci. Technol.*, 28, 593~599.



Suzuki, A., K. Kim, N. Honoma, Y. Ikeuchi and M. Saito. 1992. Acceleration of meat conditioning by high pressure treatment, pp.219~227. In "Proceedings of 1st European Seminar on High Pressure and Biotechnology".

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

Tagi, Y., T. Awao, N. Mitsura and Y. Takagaki. 1990. Sterilization of *Bacillus* sp. spores by hydrostatic pressure, pp.143~155. In "Pressure Processed Food"(ed. Hayashi, R.). San-Ei Pub. Co. Kyoto.

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. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, 39, 173~177.

Timson, W.J. and A.J. Short. 1965. Resistance of microorganisms of hydrostatic pressure. *Biotechnol. Bioeng.*, 7, 139~159.

Yano, Y., A. Nakayama, S. Kishihara and H. Saito. 1998. Adaptive changes in membrane lipids of barophilic bacteria in response to changes in growth pressure. *Appl. Environ. Microbiol.*, 64, 479~485.

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.

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

Zamyatnin, A.A. 1972. Protein volume in solution. *Prog. Biophys. Molec. Biol.*, 24, 107~110.

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



## 研究實績

1. 임상빈, 좌미경: 초임계 이산화탄소에 의한 당근중의  $\beta$ -carotene 추출, 한국식품과학회지, 27(3), 414~419(1995)
2. 임상빈, 좌미경, 송대진, 고정삼: 초피 추출물의 수율 및 항균활성, 산업기술연구소 논문집, 6, 1~6(1995)
3. 임상빈, 좌미경, 강순배: 초임계 이산화탄소에 의한 어류조직 중 유기염소계 농약의 추출수율, 한국식품과학회지, 28(3), 475~481(1996)
4. 좌미경, 임상빈, 양영택, 고정삼: 초임계 이산화탄소 처리가 감귤주스 품질에 미치는 영향, 한국식품과학회지, 28(4), 750~755(1996)
5. 좌미경, 임상빈, 고정삼: 초임계 이산화탄소에 의한 감귤주스 중 pectinesterase의 불활성화, 한국식품과학회지, 28(4), 790~795(1996)
6. 임상빈, 좌미경: Blanching 조건이 당근주스의 품질에 미치는 영향, 한국식품영양과학회지, 25(4), 680~686(1996)
7. 임상빈, 좌미경, 김수현: 초임계 이산화탄소에 의한 유기염소계 잔류농약의 포집 효율, 산업기술연구소논문집, 7(1), 22~28(1996)
8. Lim, S., Jwa, M.K., Kim, S.H. and Song, D.J.: Supercritical CO<sub>2</sub> extraction of organochlorine pesticides spiked in fish tissues, Foods Biotechnol., 6(3), 219~223(1997)
9. Lim, S., Jwa, M.K. and Kwak, H.S.: Two-stage extraction of milk fat by SC-CO<sub>2</sub>, J. Food Sci. Nutr, 2(3), 202~206(1997)
10. 임상빈, 좌미경, 고영환, 유익중: 초임계 이산화탄소에 의한 난황분의 추출, 한국식품영양과학회지, 26(5), 860~865(1997)

11. Lim, S., **Jwa, M.K.** and Kwak, H.S.: Double-extraction of anhydrous milk fat by supercritical carbon dioxide, The 4<sup>th</sup> International Symposium on Supercritical Fluids, 207~210(1997)
12. 임상빈, **좌미경**, 곽해수: 초임계 이산화탄소 추출 및 흡착에 의한 유지방중의 콜레스테롤 제거, 한국식품과학회지, 30(3), 574~580(1998)
13. 임상빈, **좌미경**, 송대진: 초임계 이산화탄소에 의한 멸치어유의 고도불포화지방산 농축, 한국식품과학회지, 30(4), 848~854(1998)
14. 임상빈, **좌미경**: 초임계 이산화탄소에 의한 어류조직 중 유기인계 농약의 첨가 회수율, 한국식품과학회지, 30(5), 1163~1168(1998)
15. 임상빈, **좌미경**, 송대진: 초임계 이산화탄소에 의한 멸치어유의 추출, 산업기술연구소 논문집, 9(1), 7~12(1998)
16. 임상빈, **좌미경**: 알긴산소다를 이용한 멸치어유의 미세캡슐화, 한국식품영양과학회지, 28(4), 890~894(1999)
17. 임상빈, **좌미경**: 키토산을 이용한 멸치어유의 미세캡슐화, 산업식품공학회지, 3(2), 69~73(1999)
18. 임상빈, **좌미경**, 송대진: 캡슐소재에 따른 멸치어유의 미세캡슐화, 산업기술연구소 논문집, 10(1), 1~8(1999)
19. 임상빈, **좌미경**, 목철균, 우건조: 초고압처리한 멸치젓의 저장 중 품질변화, 한국식품과학회지, 32(2), 373~379(2000)
20. 임상빈, **좌미경**, 송대진: 담금원료에 따른 고추장의 숙성기간 중 품질변화, 산업기술연구소논문집, 11(1), 144~149(2000)

21. 좌미경, 임상빈, 송대진, 김봉오: 시판 약, 탁주의 저장 중 품질변화, 제주생명과학연구, 3(3), 3~9(2000)
22. 임상빈, 좌미경, 김봉오: 고추장 숙성 중 품질변화와 초고압처리에 의한  $\alpha$ -amylase 활성 변화, 제주생명과학연구, 3(3), 11~18(2000)
23. 좌미경, 임상빈, 목철균, 박영서: 고압 처리에 의한 좁쌀탁주의 미생물 살균 및 효소 불활성화, 한국식품과학회지, 33(2), 226~230(2001)
24. 임상빈, 좌미경, 목철균, 박영서: 초고압 처리에 따른 고추장의 품질변화, 한국식품과학회지, 33(4), 444~450(2001)



## 謝 辭

많은 도움을 주신 여러분들 덕분에 오늘의 이 작은 결실이 가능했음을 절실히 느끼며 이제 더욱 열심히 새로운 시작을 하려 합니다.

부족한 저에게 10년간 항상 따뜻한 격려와 배려를 아끼지 않으시며 끝까지 이끌어주신 임상빈 교수님께 머리 숙여 깊이 감사드립니다. 논문심사를 맡아 많은 조언과 지도편달을 아끼지 않으신 송대진 교수님, 김수현 교수님, 하진환 교수님께 깊이 감사드립니다. 먼 길 마다 앓으시고 바쁘신 가운데도 세심하게 논문을 다듬어 주신 조순영 교수님께도 감사드립니다. 또 언제나 깊은 관심으로 지켜봐 주신 김재하 교수님, 강영주 교수님, 고영환 교수님께도 감사드립니다.

언제나 싫은 내색 없이 동거동락한 사랑스런 후배 정성근, 임지희에게 고마움을 느끼며, 분리공정실험실 대학원생과 학부생들에게도 감사의 마음을 전합니다.

제가 지금까지 있기에 언제나 변함없는 사랑으로 지켜봐 주신 부모님과 보잘 것 없는 저를 항상 자랑스럽게 생각하시는 시부모님께 감사드립니다.

어렵고 힘든 시기에 든든한 버팀목이 되어준 남편 고정만에게 깊은 고마움을 전합니다.