# 식품분야에서의 고압기술의 이용

손 경 현 박사
(제일제당 식품연구소)

# 식품분야에서의 고압기술의 이용

제일제당 식품연구소 손 경현
( Fax: 02-676-8023 e-mail: khansohn@www.cheiljedang com)

## 1. 고압기술의 발전

박테리아등의 생물체가 고압하에서 활성이 감소된다는 보고가 약 100 년전에 있었으며, 1914 년 Bridgman 은 고압하에서 계란 알부민의 응고화 현상을 발견하였다(1) . 이러한 발견이후로 압력이 유기생명체에 미치는 영향에 관한 연구가 진척되어 왔으나, 새로운 식품가공기술로서의 본격적인 연구는 1986 년 교토대학의 Hayashi 박사에 의하여 시작되었다. 생활수준의 향상과 함께 식품 소비자들은 레토르트 제품과 같은 열처리식품보다 자연식품(무첨가식품), 건강지향의 식품을 점차 선호하고 있으며, 이러한 소비자 욕구변화에 부응하기 위한 새로운 식품가공기술의 개발이 식품업계에서 진행되어 왔다. 특히 고압기술은 열을 사용하지 않고 살균, 가공, 조리가 가능한 새로운 식품가공기술로서 주목받고 있다.

식품분야에서 압력은 0.1 MPa (0.1 MPa = 105 Pa = 1 bar = 0.9869 기압 = 14.5 psi) 정도의 증류장치로 부터 0 2 MPa 전후의 가압솥, 0.3~0.5MPa 정도의 레토르트 장치, 5 MPa 정도의 압출성형기, 7.5MPa 정도의 초임계 가스 추출 장치, 100 MPa 정도의 균질기 등으로 사용되고 있으며, 여기서의 초고압 식품가공은 300~900 MPa 정도의 압력을 사용한다 압력은 가압솥의 경우 물의 비등점을 상승시킬 목적으로 이용되며, 초임계 가스추출의 경우 탄산가스를 액체로 만들기 위하여 이용된다. 압출성형기의 경우 압축의 목적으로 한 방향의 압력을 사용한다. 한편 초고압 식품가공은 압력의 포텐셜을 이용하는 방법이며, 높은 정수압 (high hydrostatic pressure)하에서 나타나는 식품의 물리적 및 생화학적 변화를 이용하는 것이다. 종래부터 높은 정수압의 이용 방법으로서 비교적 낮은 온도 (상온~250°C) 에서 액체를 압력매체로 하여 분말재료를 성형하는 CIP (Cold Isostatic Pressing)와, 높은 온도 (최고 2,000°C) 에서 기체를 압력매체로 하여 금속분말 등을 가공하는 HIP (Hot Isostatic Pressing)가 보급되어 있다. CIP 성형법에서는 미세한 분말재료를 고무로 된 용기에 충진하여 밀봉후 고압용기내에서 정수압을 가한다. 이러한 과정에서 분말은 겉보기 체적이 40 ~ 50% 감소되어 치밀하고 균일한 성형체가 된다. 초고압 식품가공은 CIP 를 식품에 적용한 기술로써 금속과 같은 분말재료와 달리 식품은 대부분 수분함량이 높아 고압하에서의 압축율은 거의 물과 같은 수준인 10% 정도이다. 계란을 물에 넣어서 피스톤을 눌러 압력을 가하면 물이 압력매체가 되어 계란에 압력이 전달된다. 파스칼의 원리에 의하여 계란의 안밖이 동일한 압력이 되어, 계란의 내부도 높은 정수압의 환경에 놓이게 된다. 압력은 열과 같이 서서히 전달되는 것이 아니라 식품의 중심까지 순간적으로 전달된다. 한편 일정하게 압력을 유지시킬 경우에도 추가적인 에너지 공급이 필요없다. 일정시간후 피스톤을 뽑아 감압하여 계란을 끄집어 내면 난백과 난황이 응고된다(2). 이러한 계란의 가압실험을 통하여 고압하에서도 계란의 외형이 파손되지 않고 단백질이 응고되는 것이 입증되었다. 식품의 가압처리는 액

상 및 물을 함유한 식품에 적용할 수 있으며, 건조된 분말상의 식품은 활용이 용이하지 않다.

2. 식품에서 고압기술의 응용분야

원래 압력(P)은 온도(T)처럼 하나의 에너지량으로 존재하며, 물질의 상태를 변화시키는 열역학적 인자로서 T와 동일하게 P도 이용될 수 있다. 따라서 열처리에 의하여 얻는 효과를 압력처리에 의해서도 동일하게 기대할 수 있다. 한편 열처리의 경우 공유결합이 파괴되나, 가열을 병용하지 않은 고압처리에서는 공유결합의 절단 및 생성은 일어나지 않고, 비공유결합만 영향을 받는다. 따라서 상온에서 압력처리시 영양 성분의 파괴, 향기성분의 변화, 이취의 발생 등이 야기되지 않는다. 즉 압력처리의 최대의 잇점은 식품 고유의 풍미 및 영양성분을 그대로 지니는 것이다 식품 및 생물 재료에 대한 압력의 효과는 100 MPa 이상에서 볼수 있으며, 미생물의 사멸, 효소반응 속도의 변화, 효소의 가역적 및 비가역적 불활성화, 단백질의 겔화 및 전분의 호화 등과 같은 현상들이 보통 100 ~ 600 MPa의 범위내에서 나타난다. 이러한 현상들을 식품 분야에 이용하면 식품의 보존성 향상, 미생물 오염방지, 효소반응의 제어, 효소의 불활성화, 식품 발효의 조절, 조직감 개선, 조리 등 다양한 방면에 응용될 수 있다(3).

3. 고압처리에 의한 식품의 물성변화

단백질 및 다당류의 압력처리는 가열처리와는 다른 독특한 물성을 나타냄으로써 압력처리에 의해서 지금까지 없던 새로운 식품소재가 만들어 질 수 있다. 단백질의 대다수는 가열에 의해 변성되어 부드러운 겔(Gel)을 형성하게 되는데, 이와 같은 물성은 여러 식품에 활용되고 있다. 식품소재 단백질의 대다수는 구상 단백질이며 원형의 구상 단백질 수용액을 가열하면 분자내부에 묻혀 있던 소수성 펩타이드 체인이 분자표면에 노출하여 (unfolding), 소수성 상호작용과 S-S 교환, S-S 결합등에 의해 분자들이 결합하여 겔을 형성한다. 압력에 의해서도 단백질은 입체구조가 붕괴되어 독특한 겔이 형성되지만, 가열처리와 고압처리에 의한 결과로서의 물성은 많은 차이를 나타낸다. 가열에 의한 겔은 색상 및 풍미의 변화가 발생되나, 고압처리한 겔은 본래의 색을 유지하고, 풍미의 변화가 적으며, 부착성, 신전성 및 탄력성등의 특이한 물성을 얻을 수 있다.

난백은 400 MPa에서 반쯤 겔상태로 되며, 620 MPa 이상에서 자체 무게를 견디고 모양이 유지되는 단단한 겔이 된다. 한편 난황을 같은 조건에서 가압하면 400 MPa에서 단단한 겔이 된다. 보다 저압에서 난황쪽이 굳어지는 것은 60°C에서 30분간 가열한 반숙란에서 난황을 굳으나 난백은 반숙상태로 있는 것과 유사하다. 고압처리 계란은 소화성이 우수하며, 비타민이 보존되고, 선명한 색상과 독특한 물성을 나타낸다 (4).

생선묵은 어육 단백질의 변성을 이용한 수산가공 식품으로, 원료로 냉동 고기풀이 이용되고 있다. 냉동 고기풀은 통상 2~3%의 식염을 첨가후 30°C에서 60분 및 90°C 에서 30분의 2단계 가열처리에 의하여 단백질을 변성시켜 생선묵을 제조한다. 한편 고기풀을 고

Table 1. 식품분야에서의 고압의 응용

| 분 야 | 고 압 처 리 효 과 |
|---|---|
| 효소 및 효소반응 | - Protease에 의한 펩타이드 가수분해 및 합성<br>- 대두단백의 효소 분해<br>- Protease에 의한 우유의 β-lactoglobulin의 선택적 분해<br>- Pectin esterase의 불활성화<br>- Polyphenol oxidase의 활성화<br>- Oxidase의 불활성화 |
| 단백질 | - 고압이용 단백질의 화학적 수식 (carboxy methylation, ferrocenation)<br>- Conectin에 대한 고압효과 |
| 전분 | - 가압처리 미반<br>- 청주 양조에 고압의 이용 |
| 젤 형성 | - 계란 알부민, 냉동 고기풀, 대두단백, 우유,<br>- 알지네이트, 펙틴의 젤 형성 |
| 살균 | 우유, 어육, 난백, 우유 및 유제품, 토마토 쥬스, 잼, 차, 야채류, 만다린 쥬스, 서양오얏, 과일, 피클, 커피, 소세지 |
| 육가공 | 쇠고기의 가압처리, 쇠고기의 연화숙성 촉진 어육, 냉동 고기풀, 성게의 가압처리 |
| 농산가공 | 잼, 과일 소스, 과일 디저트의 가압제조, 펙틴의 추출, 서양오얏의 가공, 오렌지의 효소 불활성화, 오렌지 쥬스의 가공, 피클의 가공, 자몽쥬스의 쓴맛 제거, 대두 단백의 가공 |
| 유가공 | 우유, 치즈, 요쿠르트 |
| 조리 | 계란, 우육, 생선, 굴, 새우, 무우 |

압처리한 결과 200 MPa 이상에서 젤 (가압 젤)이 제조되었고, 400 MPa 에서 파단강도 (breaking strength)가 최대였다. 가압젤은 가열 젤보다 강도가 높았고, 조직과 색상이 우수한 독특한 젤이었다(5). 또한 대두 단백질, 축육도 가압에 의해 고유한 풍미를 그대로 간직하고 미끄러운 독특한 젤을 간단히 만들 수 있다

도살직후의 식육은 부드럽지만 맛과 향이 부족하며, 사후강직 상태의 식육은 질기므로 조리 및 가공적성이 나쁘다. 따라서 저온에서 식육을 보관하여 육이 다시 연화되는 숙성 (conditioning, aging) 과정을 거치는데, 쇠고기의 경우 최적 숙성기간은 4 ~ 5°C 에서 10~14 일로 알려져 있다. Suzuki 등은 사후강직후의 식육을 100~300 MPa 로 고압처리한 결과 통상의 숙성과는 다른 방식으로 육의 연화숙성이 촉진되는 것을 보고하였다(6).

전분을 가압처리하면 본래의 입체구조가 붕괴되고 amylase 소화성이 증가하는 등 가열에 의한 전분의 호화현상과 유사한 변화가 나타난다. 상온에서 수시간 고압처리하면 소맥 전분은 300~400 MPa, 옥수수 전분은 400~500 MPa 에서 amylase 에 분해되기 쉬운 형태로 변화한다 그러나 고구마 전분과 같이 45°C, 500 MPa 의 처리에서도 전혀 amylase 소화성이 증가되지 않는 경우도 있다(7).

식품에의 초고압이용 분야에서 최초로 실용화된 상품은 고압가공 잼 (하이프레서 잼)이다. 잼은 과실, 설탕, 펙틴 등을 가열하면서 혼합하고 상압 또는 감압하에서 가열농축후, 병 또는 캔에 충진-밀봉하여 열탕살균 및 냉각공정을 거쳐서 제조된다. 한편 고압 잼은 과실, 설탕, 펙틴 등의 혼합물을 상온에서 플라스틱 등의 유연한 용기에 충진-밀봉한후 고압처리 공정만으로서 제조된다. 즉, 고압처리로 과실, 설탕, 펙틴 혼합물의 젤리화가 촉진되고, 과육에 당액이 침투되며, 살균이 동시에 이루어진다. 이와 같이 제조된 고압잼은 전공정이 무가열로 이루어지므로 가열제품에서 볼 수 있는 내용물의 열변성, 열분해 등이 발생되지 않았고, 과일본래의 신선한 향기와 색이 유지된다(8).

4. 식품저장에의 이용

1 기압에서 물은 0°C 에서 얼음을 형성한다. 물의 상태도에 의하면 물을 압축하면 약 2,000 기압까지는 압력이 증가함에 따라 동결점이 -20°C 까지 하강하여, 0°C 이하에서도 물이 얼지 않는 부동결수 영역이 존재한다(9). 온도와 압력을 제어하여 이 부동결수 영역을 잘 이용하게 되면 부동결 상태에서의 식품의 장기간 저장, 동결식품의 가압하에서의 해동, 고압-저온에서의 급속동결 등이 가능해진다. 고압해동은 냉동된 식품의 온도를 -20°C 이상으로 조절하고, 이 온도에서의 얼음-I 의 융해 압력보다 높은 압력을 가하면 냉동식품중에 존재하는 얼음은 녹게 된다 압력은 순간적으로 균일하게 가해지므로, 얼음의 융해에 필요한 융해 잠열이 공급될 수 있다면 단시간에 융해가 가능해진다. 한편 급속동결법은 고압하의 부동결 상태의 식품에서 압력을 순간적으로 해제시키면 얼음-I 의 영역으로 이동되어 순간적으로 동결이 일어나는 원리를 이용한다.

Hayashi 등은 마쇄한 쇠고기를 200 MPa 에서 9 일간 보존후 냉장(5°C, 0.1 MPa) 및 냉동(-20°C, 0.1 MPa) 보존한 제품과 품질을 비교하였다. 냉장 보존한 경우 Pseudomonas 속 세균

이 우세하게 증식하여 부패취를 나타내었고, 냉동 보존한 경우 세균의 증식은 나타나지 않았으나, 해동시 drip 이 발생되었다. 한편 고압에서 보존한 경우 오히려 세균수가 감소되었고, drip 의 발생량도 적었다. 또한 식육 및 식육제품에 있어서 품질저하의 원인균인 유산균군도 살균되었다(10)

Ooide 등은 닭고기 및 어육을 부동결 보존한 결과, 보존중에는 drip 의 증가 및 단백질의 변성이 발생되지 않았다. 또한 보존후 냉장상태로 전환시킨 다음에도 동결보존의 경우보다 신선도의 저하가 적었다. 그러나 부동결보존중 효소활동은 정지되지 않아, 효소에 의한 품질변화는 동결저장보다 크게 나타났다(11). 고압하에서의 부동결 저장법은 동결보관이 어려운 식품 및 동결 해동에 의하여 현저하게 품질이 저하되는 경우에 유효한 방법이며, 식품 분야뿐만 아니라 수혈용 혈액의 보존, 臟器 보존 등 의약품 분야에도 적용이 가능하다.

5. 고압처리에 의한 식품의 살균

식품에 대한 고압살균의 연구로는 이미 19 세기에, 상온에서 우유를 690 MPa, 10 분처리한 결과 우유속의 미생물이 1/105 ~ 1/106 로 감소되었고, 52 캜에서 550 MPa, 60 분처리한 우유는 3 주간 부패되지 않았다는 보고가 있었다(12).

Ogawa 등은 Lactobacillus 및 Acetobacter 를 접종시킨 밀감 쥬스를 25°C 및 40°C 에서 400~450 MPa 로 고압처리한 후 미생물의 사멸을 조사하였다(13). 400 MPa 에서 $D_{25°C}$(decimal reduction time)은 1 분~6 분이었으며, 25°C 보다 40°C 에서 미생물의 감소가 더욱 현저하게 나타났다. 자연상태의 밀감 쥬스(pH 3 8)의 경우 400 MPa - 40°C - 10 분 처리로 안정한 제품이 되었다. 한편 밀감 쥬스에 9 종의 효모 및 곰팡이를 접종시킨 후 압력처리를 한 결과 가장 내열성이 높은 균이 가장 압력에 강하게 나타났다(14). Horie 등은 일부 효모들이 압력에 특이하게 저항성이 강한 것을 발견하여, 동정한 결과 Candida parapsilosis 로 확인되었다. 이들 효모를 사멸하기 위해서는 보다 높은 압력처리나 온도(34~54°C)의 병용이 필요하였는데(15), 식품산업에서 지속적인 압력이용의 결과로 이러한 내압성 미생물이 출현되었을 가능성이 있음을 시사하였다

요쿠르트 제품은 저장중에 유산균 발효가 계속적으로 진행되기 때문에 유통중에 지나치게 신맛이 강해지는 문제가 발생되는데, Tanaka 등은 요쿠르트를 10~20°C 에서 200~300 MPa 로 10 분간 고압처리한 결과 포장후 일어나는 산생성 (after-acidification)를 방지할 수 있었다(16). 특히 이 조건에서는 생균수 및 조직감의 변화가 없었다. 생균수가 줄지 않고도 산생성이 저하된 것은 유산균이 낮은 pH 및 온도에서 복제가 일어나지 못할 만큼 압력에 의하여 손상되었기 때문으로 추측된다.

식육 (pH 6-7)에서 미생물의 압력에 대한 감수성을 시험하기 위하여 접종한 돈육 균질물을 25°C 에서 400 MPa 의 압력을 10 분간 처리하였을 때, Esherichia coli, Campylobacter jejuni, Pseudomonas aeruginosa, Salmonella typhimurium, Yercina enterolytica, Saccharomyces cerevisiae 및 Candida utilus 는 생균수에 있어 1/106 이상으로 감소되었다(17). 한편 Micrococcus luteus, Staphylococcus aureus 및 Streptococcus faecalis 는 동일한 살균수준을 얻기 위하여 500~600

MPa 로 10 분간의 고압처리를 필요로 하였다. B. cereus 의 포자는 고압처리후에도 감소되지 않았다.

Carlez 등은 Salmonella 속의 지표균인 Citrobacter freundi 를 잘게 마쇄한 쇠고기에 접종한 후 20 분간 고압처리한 결과, 생균수는 시간에 따라 대수적으로 감소함을 보고하였다. 25°C - 280 MPa, 4°C - 230 MPa 또는 50°C - 150 MPa 의 고압처리에서 적어도 $1/10^6$의 감소율을 얻었다(18). 300 MPa 이상으로 고압처리할 경우 식육의 색상변화가 발생되어 식육가공에의 이용에 제약점이 되고 있다 한편 산소, 아질산, 또는 식품 첨가물을 사용한 미오글로빈의 안정화 연구등 추가적인 검토가 요망되고 있다.

Yukızaki 등은 비브리오속 3 종(Vb. parahaemolyticus, Vb holerae, Vb. mimicus )을 각각 성게에 접종하여 0°C 에서 10 분 고압처리한 결과, 200~300 MPa 에서 균수가 급격히 감소되었다(19) 장염 비브리오(Vb. parahaemolyticus )의 완전 사멸에는 400 MPa 의 고압이 필요하였는데, 한편 배지중에서는 200 MPa 의 처리로 완전히 사멸하였다. 대합조개 쥬스에서는 Vb. parahaemolyticus 를 6 log cycle 사멸하는데 23°C - 170MPa - 10 분의 고압처리가 필요하였다.

미생물에 대한 고압살균의 연구는 순수배지에서 한 것이 많은데, 식품과 같이 보다 복잡한 계의 살균에 가압처리를 이용하는 경우에는 여러가지 고려가 필요하며, 동일한 균에 있어서도 주변의 환경에 따라 살균조건이 달라지게 된다. 일반적으로 고압에 의한 살균효과는 식품의 pH 와 밀접하게 연관되어 있어 과즙과 같은 산성식품에서는 비교적 적용이 간단하나, 어육과 같은 중성식품에서는 살균효과에 대한 장시간의 검토를 필요로 한다. 한편, 현재 청량음료, 유제품, 육제품 등 대다수의 식품에 대하여 식품 위생법의 살균기준은 가열살균을 전제로 하여 정해져 있는 경우가 대부분이므로, 가압살균의 실용화를 위하여 각각의 식품에 대하여 가압살균이 가열살균과 동등한 효과가 있음을 입증할수 있는 연구자료가 요망된다.

Timson 등은 우유를 13°C - 830 MPa 로 40 초부터 83 분까지 고압처리후 내압성 미생물을 분리해 본 결과 미생물 포자임을 확인하였다(20). 세균의 경우 압력 및 열, 방사능, 균질화에 대한 저항력은 영양세포에 비하여 포자가 압도적으로 강하다. 다수 세균의 영양세포는 100 MPa 이상의 정수압하에서 곧바로 불활성화되지만 세균의 포자는 1,200 MPa 이상의 압력에 견디어 살아 남을 수 있다. 이 강력한 저항성은 세균의 포자각의 구조와 두께에 의한 것으로 추측된다

최근의 연구결과에 따르면 세균의 포자, 예를 들어 pH 7 완충액에 현탁한 B. lichenıformis 의 경우 압력(600 MPa)과 온도(60°C)와 시간(20~60 분)을 조합하면 사멸 가능하였다(21). 이처럼 상온에서 고압처리할 경우 거의 살균이 불가능하였으나 가온을 병용할 경우 현저히 살균효과가 나타나는 것은, 고압과 온도의 조건에 의해 포자각의 결합이 느슨해 지거나 균열이 나타나 세포벽의 파괴 및 포자 내부의 원형질이 변성되는 것으로 생각된다.

Seyderhelm 등은 완충액에 현탁한 B. stearothermophilus 포자에 대한 압력의 영향을 조사하였다(22). 90°C 에서는 200 MPa - 30 분의 고압처리로 $1/3 \times 10^6$ 감소하였으나, 80°C 에서는 동일한 감소율을 얻기 위하여 350 MPa - 30 분의 처리가 필요 하였다. 또한 70°C 의 경우

400 MPa - 45분의 처리로도 더 낮은 감소율을 보였다. 한편 포자를 50°C 또는 60°C에서 100 MPa로 짧게 압력처리하여 대기압에서 45분 경과할 경우 발아가 부분적으로 일어났다(tyndallization). 발아된 포자는 휠씬 압력과 온도에 민감하게 영향을 받게 된다. 이러한 tyndallization 공정을 응용할 경우 보다 낮은 온도(60°C)에서도 효과적인 포자의 살균이 가능함을 제시하여 준다.

Kinugasa 등은 녹차 추출물에 혼입된 Bacillus 포자수를 70°C에서 30분내에 6 log cycle 저하시키려면, B. licheniformis 는 300 MPa, B. cereus 는 500 MPa, B. coagulans 는 700 MPa의 압력이 필요하였다. 한편 catechin, 아미노산, ascorbic acid와 같은 차의 유효 성분들에 대한 가압처리의 영향은 거의 없었다(23).

가열살균의 경우 당, 단백질, 염, pH, 수분활성등 식품의 성분 또는 조성에 따라 미생물의 내열성이 다르게 나타난다. 고압살균에서도 식품성분은 미생물의 내압성에 영향을 주는데, 대부분의 식품 성분들이 세포막과 결합하거나 또는 삼투압을 변화시킴으로서 미생물에 대한 보호작용을 나타내기 때문으로 생각된다.

pH 7 완충액에 현탁한 B. licheniformis 포자는 압력(600 MPa)과 온도(60°C)와 시간(20~60분)을 조합할 경우 사멸하였으나, 10% 포도당, 15% 설탕, 12% 글리세롤 및 기타 식품 첨가물 (난백, 전분, 油)이 존재할 경우 사멸 정도가 감소하였다(21) B. licheniformis 를 가당 및 가염한 야채에 접종하여 고압처리한 결과 염농도 및 당농도가 높을 수록 포자의 저항성도 증가하였다. 이러한 포자의 보호효과는 포자의 부분적인 탈수 때문으로 추측된다. 건조식품의 경우에도 고압처리가 미생물의 감소에 크게 영향을 주지 못하며(24), 이러한 점들은 향후 검토가 요망되고 있다.

고농도의 염, 당, 글리세롤, 낮은 수분활성도, 기타 식품 조성물 등이 고압에 대하여 미생물을 보호하기 때문에, 고압처리시 식품 각각에 대하여 시험해 볼 필요가 있다. 압력작용에 의한 미생물의 사멸기작은 미생물의 대사 활성과 함께 보다 체계적으로 연구되어야 할 것이며, 향후에는 기탁 균주보다 식품에서 바로 분리된 균주를 사용한 연구가 요망된다.

미생물의 고압살균에 있어 다른 공정 또는 첨가물을 병용하는 효과에 대한 연구로서는 저온-압력 병용법, cycling 가압법, 전자기장, 고전압 pulse, 초음파, 항균성 물질 등이 검토되고 있다(25, 26).

6. 고압처리에 의한 효소 불활성화

저장중 식품에 함유된 효소가 작용하여 풍미 및 품질의 저하가 일어나는 경우가 있으며, 이러한 현상을 방지하기 위하여 열처리로서 효소를 불활성화시키게 된다. 데치기(blanching)는 과일 및 야채에서 후속되는 공정(통조림, 냉동, 탈수)에 앞서 산화 효소들을 불활성화시키기 위하여 사용되는 열처리이다. 이러한 데치기를 거치지 않을 경우 처리중 또는 보관중 색상, 향, 영양가의 변화가 발생한다. 효소 불활성화 이외에 데치기는 다른 추가적인 기능을 가진다. 조직의 가스를 제거하여, 가공중 캔 마개의 긴장을 줄여주며, 산소 농도를 낮추어 준다. 조직의 품온을 높이며, 조직을 풀죽게 하여 포장을 용이하게 하

고, 어떤 경우에는 녹색 야채에서 색상을 고정시킨다.

Peroxidase, catalase, polyphenoloxidase, lipoxygenase 등 산화성 효소계중 peroxidase가 가장 열저항성이 높은 것으로 간주되고 있다. 따라서 peroxidase의 불활성화가 전통적으로 데치기 처리의 지표로 사용되어 왔다. 완전 불활성화는 장시간의 가열을 필요로 하며, 몇몇 연구에서 냉동 식품에 있어 완전 불활성화보다 부분적 불활성화로 보다 우수한 품질을 얻었다고 보고 되어있다. 데치기 시간은 가열 방법뿐만 아니라 과일 또는 야채의 형태, 크기, 가열 매체의 온도에 따라 좌우된다. 일반적으로 heat shock 방법에서는 10~30초이며, 다른 데치기 방법에서는 1~5분이다. 과일쥬스는 65°C -30분, 77°C -1분, 또는 88°C -15초의 열처리에 의하여 pectin esterase, polygalacturonase 등의 효소를 불활성화시키고 있다

한편 식품에 따라 열처리를 피하여야 할 경우 고압처리에 의하여 이러한 목적을 수행할 수 있다. 또한 열수 데치기시의 문제점들 - 열에 의한 식품의 손상, 영양 성분의 누출, 폐수의 축적에 의한 환경문제 등-을 고압처리로 해결할 수 있을 것이다. Hayashi 등은 비살균 청주에 함유되어 있는 몇종의 효소에 대하여 가압처리에 의한 비가역적 불활성화 조건을 조사하였다(27). 생주를 100~600 MPa의 정수압을 가한 후 a-amylase, glucoamylase, acid protease, neutral protease, carboxypeptidase P의 효소활성을 측정해본 결과, 효소의 비가역적 불활성화에는 고압이 필요하였으며, 어느 효소든지 20~30%의 불활성화에 그쳤으며, 특히 glucoamylase는 고압에서도 활성이 그대로 유지되었다. 그러나 가압 시간의 연장, 온도(20~40°C)의 상승, 알콜 농도의 증가에 의하여 불활성화의 정도를 높일 수 있었다. 한편 25°C, 3,000기압, 10분의 가압처리로 생주의 Lactobacıllus 및 효모는 사멸하였다. 이렇게 가압처리한 생주는 30°C 에서 1개월 보존후에도 풍미의 저하나 변패가 발견되지 않았다.

Eshtıaghi 등은 감자 cube를 가압처리하여 열수처리에 의한 데치기(100C, 30~180초) 와 비교하였다(28). 400 MPa, 15분 고압처리로 polyphenoloxidase는 20%의 불활성화에 그쳤으나, 가압시 온도를 높일경우 polyphenoloxidase의 불활성화 정도가 증가되었다. 한편 0.5% 구연산 용액을 침지액으로 사용하였을 때 400MPa, 15분 고압처리에 의하여 polyphenoloxidase는 완전 불활성화되었다. 열수 데치기 및 고압처리는 처리후 조직감의 * 변화가 동일한 수준이었다.

Asaka 등은 서양배를 고압처리한 결과 갈변이 촉진되었고, 이때 polyphenoloxidase는 200 MPa이상의 고압처리에 의하여 현저히 활성화되었다(29). 한편 사과, 바나나, 감자, 고구마의 경우 고압처리에 의한 polyphenoloxidase의 활성화가 발견되지 않았다. Citrus juice에 함유된 pectin methyl esterase의 불활성화에는 20°C - 1000 MPa - 10분 또는 57°C - 600 MPa - 10분의 처리가 필요하였으며(30), 이 효소의 불화성화에 필요한 압력은 미생물의 불화성화에 필요한 압력수준보다 높게 나타났다. 또한 당농도가 높을 경우 (60 ~ 65 Brix) 압력에 대하여 저항성이 더욱 높았다.

현재 고압처리 기술을 효소의 불활성화에 응용하여 쓴맛을 제거한 자몽쥬스가 제품화되어 있다. 이 제품은 자몽쥬스 착즙액을 120~ 400 MPa로 고압처리하여 자몽쥬스의 쓴맛성분인 limonin의 생성을 방지하였다(31).

이상과 같이 고압을 이용함으로써 식품중 일부 효소의 불활성화가 가능하며, 특히 이 방법은 열을 가하지 않기 때문에 향기성분이나 영양성분이 그대로 유지되는 장점이 있다. 일반적으로 300 MPa 이상에서 단백질은 변성되며, 100~200 MPa 정도의 낮은 압력에서는 단백질의 변성이 일어나지 않거나, 가역반응으로 변성된 단백질의 재생이 일어난다. 따라서 효소를 완전히 제거하기 위해서는 단백질의 가역반응을 방지할 수 있도록 효소를 불활성화시켜야 하며, 현재까지 이러한 비가역적 효소 불활성화는 비교적 높은 압력의 처리조건을 필요로 하는 것으로 알려져 있다.

7. 고압살균의 응용형황

세계적으로 가장 먼저 상품화된 초고압 응용 식품은 메이지야(일본)의 고압쨈이다. 과실, 설탕, 펙틴 등의 혼합물을 상온에서 플라스틱 등의 유연한 용기에 충전밀봉후 고압처리로 과실, 설탕, 펙틴 혼합물의 젤리화가 촉진되고, 과육에 당액이 침투되며, 살균이 동시에 이루어진다(32). 이와 같이 제조된 고압쨈은 전공정이 무가열로 이루어 지므로 가열제품에서 볼 수 있는 내용물의 열변성 및 열분해등이 발생되지 않았고, 과일본래의 신선한 향기와 색이 유지되었다.

92년부터 발매된 밀감과즙은 고압 살균 쥬스로서 알콜, 알데히드 등의 저비등점의 향기성분이 보전되어 가열살균 쥬스에 비하여 신선한 풍미를 간직하였으며, 과즙속의 곰팡이, 효모는 400~500 MPa의 압력처리로 사멸하였고, B. subtılis 등 내압성 포자형성균은 잔존하나 과즙의 낮은 pH로 증식하기 어려워 문제가 되지 않았다(33). 현재 식품위생법에 과즙음료는 가열처리가 의무화되어 있어 고압에 의한 1차 처리후 저온 단시간의 가열처리를 실시하고 있다.

고압살균의 실용화를 위해서는, 고압처리에 의한 살균효과를 과학적으로 입증할 필요가 있다. 이를 위해서는 우선 가열살균과 고압살균의 스펙트럼을 비교하고, 동등한 살균으로서 인정받기 위해 압력처리로 가능한 사멸도 등에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다. 한편 냉장식품의 경우 제품규격과 보존기준을 엄수하면 시장도입이 가능하기 때문에 고압살균에 의한 냉장유통의 식품의 실용화가 보다 빨라질 수 있다.

고압처리장치는 고가로 설치 비용이 높다는 것이 결점이므로 실용화의 측면에서 보다 대량생 산이 가능하면서 싼 가격의 생산 장치가 필요하다. 일반적으로 회분식 처리에서 용기의 용적이 커질수록 1회에 처리가능한 양도 많아지나, 수천기압의 내압이 가해지기 때문에 용기의 용적을 확대하면 장치의 중량도 급격하게 증가된다. 근년에 들어 고압장치기술의 진보로 인하여 생산장치가 보다 소형화, 저가격화되고 있으며, 이러한 것에 의해 실용공정으로서의 가능성이 점차 높아지고 있다.

액상식품의 경우 각각의 고압용기에 관하여는 회분식 처리가 되지만, 액의 충전-가압-유지-감압-배출의 처리 사이클을 순차적으로 맞물리게 하여 여러개의 용기를 병렬설치할 경우 전체적으로는 연속적인 처리가 가능해진다. 또한 액체식품의 감압공정을 무균적으로 실시하여 무균충전 공정과 연계할 경우 보다 실용성이 높다. 한편 보다 낮은 압력에서도

식품에 대하여 유익한 효과가 발견되는 경우도 있어 대형생산기의 제작이 비교적 용이한 압력에서의 이용연구도 기대된다.

## 참 고 문 헌


1. Bridgman, P. W 1914. The coagulation of egg albumin by pressure. J. Biol. Chem., 19(1), 511-517

2. Hayashi, R. 1987. Possibility of high pressure technology for cooking, sterilization, processing and storage of foods. Shokuhin to Kaihatsu 22(7), 55-62

3. Hayashi, R. 1992. Utilization of pressure in addition to temperature in food science and technology. In Proceedings of 1st European Seminar on High Pressure and Biotechnology, pp 188-189

4. Hayashi, R. 1987. Use of high pressure to food processing. In Abstracts of meeting of Agric. Chem. Soc. Japan, 1987 , p.277-278

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

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

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

8. Horie, Y , Kimura, K., Ida, M , Yosida, Y and Ohki, K. 1991. Jam preparation by pressurization. J. Agric. Chem. Soc. Japan, 65, 975-980

9. Makita, T. 1993 Use of low temperature under high pressure. Shokuhin-kyogyo, 2, 26-31

10 Hayashi, R 1989. A new approach for food preservation. J. Agric. Chem. Soc.. Japan, 63, 330-335

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

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

.13. Ogawa, H., Fukuhisa, K., Sugawara, K., Kubo, Y., and Fukumoto, H. 1991. Effect of hydrostatic pressure on sterilization of citrus juice. In High Pressure Science for Food, Hayashi, R., Ed., San-Ei Pub. Co Kyoto, pp 225-232.

14. Ogawa, H , Fukuhisa, K., Kubo, Y., and Fukumoto, H. 1990. Pressure inactivation of yeasts, molds and pectinesterase in Satsuma mandarin juice· effect of juice concentration , pH, organic acids, and comparison with heat sanitation. Agric. Biol. Chem , 54, 1219-1225

15. Horie, Y. Kimura, K., Ida, M., Yosida, Y., and Ohki, K 1992. Identification and pressure-sterilization of a Candida strain resistant to high pressure. Nippon Nogeikagaku Kaishi, 66, 713-718

16. Tanaka, T. and Hatanaka, K. 1992. Application of hydrostatic pressure to yoghurt to prevent it after-acidification. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 39, 173-177

17. Shigehisa, T., Ohmori, T., Saito, A., Taji, S , and Hayashi, R. 1991. Effect of high hydrostatic

pressure on characteristics of pork slurris and inactivation of microorganisms associated with meat and meat products. Int. J. Food Microbiol. 12, 207-216

18. Carlez, A , Cheftel, J. C., Rosec, J. P , Richard, N., Saldana, J. L. and Balny, C. 1992 Effect of high pressure and bacteriostatic agents on the destruction of Citrobacter freundii in minced beef muscle. In High Pressure and Biotechnology, Balny, C , Hayashi, R., Heremans, K and Masson, P. Ed , John Libbey Eurotext Ltd. France, pp.9 -18

19. Yukizaki, C. 1994. Sterilization of sea urchin eggs by hydrostatic pressure . Shokuhin Kogyo, 94-2, 50-53

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

21. Tagi, Y., Awao, T., Toba, S., and Mitsuura, N 1991. Sterilization of Bacillus sp. spores by hydrostatic pressure In High Pressure Science ior Food, Hayashi, R , Ed , San-Ei Pub. Co. Kyoto, pp.217-224

22. Seyderhelm, T. and Knorr, D 1992. Reduction of Bacillus stearothermoph Uilus spores by combined high pressure and temperature ZFL European Food Science. 43(4), 17-20

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

24 Kowalski, E , Ludwig, H , and Tauscher, B. 1992. Hydrostatic high pressure to sterilize food. 1. Application to pepper. Deutsche Lebensmittel Rundschau , 88, 74-75

25 Shimada K and Shimahara . K. 1991. Decrease in high pressure tolerance of resting cells of Escherichia coli K-12 by pretreatment with alterating current. Agric. Biol. Chem. , 55, 1247-1251

26 Papineau A M , Hoover, D. G , Knorr, D and Farkas, D. F. 1991. Antimicrobial effect of water-soluble chitosans with high hydrostatic pressure. Food Biotechnol. , 5, 45-47

27. Hara, A., Nagahama, G., Ohbayashi, A., and Hayashi, R. 1990. Effect of high pressure on inactivation of enzymes and microorganisms in non-pasteurized rice wine J. Agric Chem. Soc. Japan, 64, 1025-1030

28. Eshitiaghi, M. N and Knorr, D. 1993. Potato cubes response to water blanching and high hydrostatic pressure. J. Food Sci. 58

29. Asaki, M., Aoyama, Y , Nakanishi, R. and Hayashi, R. 1992. Activation of polyphenoloxidase in pear fruits by high pressure treatment. Report of Toyo institute of food technology. 19, 111-121

30. Ogawa, H. Fukihisa, K., and Fukumoto, H. 1991. In High Pressure Science for Food, Hayashi, R , Ed., San-Ei Pub. Co. Kyoto, pp. 93-100

31. Yuki, N., Mieda, H., Mutsushika, O. and Tamaki, Y. 1992. Bitterness inhibition in grapefruit juice by high pressure treatment In High Pressure Bioscience and Food Science. 350-354

32. Horie, Y. Kimura, K , Ida, M., Yosida, Y., and Ohki, K. 1991. Jam preparation by pressurization.

Nippon Nogeikagaku Kaishi, 65, 975-980
33 Ogawa, H., Fukuhisa, K., Sugawara, K., Kubo, Y., and Fukumoto, H. 1991. Effect of hydrostatic pressure on sterilization of citrus juice. In High Pressure Science for Food, Hayashi, R., Ed , San-Ei Pub. Co. Kyoto, pp.225-232

연사약력

1987. 서울대학교 식품공학과 대학원졸업

1987~현재 제일제당 식품연구소 (선임연구원)

1992. 일본 농림수산성 식품총합연구소 파견연구 - 고압처리에 의한 alliinase, polyphenoloxidase 의 불활성화

1996. 농학박사학위 취득 (서울대학교 식품공학과) - 고압처리에 의한 살균과 효소불활성화가 식품의 품질과 저장성에 미치는 영향