

초고압 살균 가공 기술

김지용 교수 / 연세대학교 생명공학과

서론

식품 산업에서 가장 중요한 과제는 유통 기간 중 안전성을 확보하는 것과 품질을 최대한 유지한 상태로 유통 기한을 연장하는 것이라 하겠다. 날로 까다로워지는 소비자들의 요구와 엄격해지는 식품 규정들은 식품 산업으로 하여금 안전성 확보는 물론 고품질 식품 생산을 위한 새로운 가공법 개발을 요구하고 있다. 소비자들은 *Clostridium botulinum*과 같은 식중독 균으로부터 안전성을 확보하면서도 “낮은 pH 유지와 충분한 열처리”가 아닌 “최소가공, 보존제 무첨가”와 같은 식품 가공기술의 혁신을 요구하고 있다. 식품관련 규정들도 현재 안전하다고 인정되어 상용되고 있는 보존제의 종류와 이용 한도를 규정하고 있다.

식품 원료와 제품의 신선도를 최대한 유지하면서 유통기한을 연장하는 기술로 최근 가장 활발히 연구되고 있는 것이 최소가공기술(minimal process technology)이다. 최소가공기술이란 식품 본래의 신선한 품질을 그대로 유지하면서 식중독 및 부패 미생물을 최소화시켜 유통기한을 연장시키는 최소 처리(the least possible treatment) 가공 기술을 말한다. 식품의 유통기한을 단축시키는 대표적인 원인으로 효소에 의한 품질 저하와 미생물에 의한 부패를 들 수 있으며, 식품의 보존성을 향상시키기 위하여 전통적으로 가열, 건조, 냉동 등의 물리적 방법이나 식품 보존제 첨가와 같은 화학적 방법을 사용하여 왔다. 그러나 가열 공정은 열에 의한 영양 성분의 파괴, 텍스처 및 색의 변화, 향기 성분의 손실 등 품질 저하를 피할 수 없다. 냉동이나 건조의 방법은 장기간 저장할 경우 품질 및 소비자 기호도를 감소시키며, 식품 보존제의 사용도 점점 기피하고 있다.

이에 따라 비열(非熱)가공 (non-thermal process)과 무균포장 기술이 활발히 연구되고 있으며, 현재 식품 산업에서 개발되고 있는 비열가공 기술은 물리적 방법으로 고전압 펄스 전기장(high voltage pulsed electric fields, PEF), 이온화 조사(ionizing radiation), 광 펄스(high-intensity pulsed light), 초고압 (high hydrostatic pressure), 오존(ozone), 전기분해수(electrolyzed water) 등이 있으며, 화학적 방법으로는 이산화탄소, 박테리옌, 양이온 다중 고분자(polycationic polymer)와 같은 화학 물질, 세포벽 분해 효소 등을 이용하고 있다. 초고압 가공은 비열가공 기술 중 응용가능성이 가장 높은 기술로 평가되고 있으며, 실제 가장 많이 사용되고 있다.

초고압 가공은 high pressure processing(HPP), high hydrostatic pressure(HHP) processing, ultra-high pressure(UHP) processing등으로 불리며, 액체 또는 고체 식품을 포장을 하거나 포장하지 않은 상태로 100~900 MPa(mega Pascal: 1 MPa은 약 10기압)의 정수압(hydrostatic pressure)으로 압력 처리하는 것으로 정의할 수 있다. 초고압기에 사용되는 용기(vessel)는 높은 압력으로 여러 번 반복 처리하여도 견딜 수 있도록 디자인 되어있다. 초창기 초고압 기술의 발전은 군사용 무기 개발로 이루어졌다. 대포 탄환이 더 멀리 날아가도록 더 높은 압력을 사용할 수 있는 대포를 디자인하면서 초고압 기술이 발전 되었다. 19세기 말에 처음으로 Hite(1899)에 의해 초고압이 미생물에 미치는 영향에 관한 실험이 시도되었고, 뒤이어 초고압이 식품의 물리적 특성에 어떠한 영향을 미치는 지에 대하여 보고되었다. Basset 등(1933)은 말의 혈청 단백질이 압력에 의해 gel화가 일어난다고 보고하였고, Bridgeman(1974)은 난백 단백질이 압력에 의해 변성되는 현상을 발견하였다. Macfarlane(1973)은 높은 압력으로 육류를 연화시키는 기술에 대한 가능성을 보고하였다. Hite(1899)가 고압처리 시 우유의 물리적 특성이 변화된다고 보고하였지만, 높은 압력이 식품 고분자에 미치는 효과에 대한 세부적인 연구는 훨씬 후에 이루어졌다. Payens과 Heremans(1969)는 우유의 β -casein이 압력에 어떤 영향을 받는지 연구하였으며, Zipp과Kauzmann(1973)은 metmyoglobin의 압력에 의한 변성에 있어서 이온 환경에 대한 효과를 연구하였다. 압력이 식품의 물리적 또는 기능적 특성에 미치는 영향에 대한 연구들이 최근에 와서 수행되고 있지만, 초고압 관련 대부분의 연구들은 미생물의 불활성화에 초점을 두고 있다.

초고압은 식품의 조리, 가공, 보존에 있어서 열처리와 비교되는데 기존의 열처리가 단백질 변성, 전분 호화, 효소 불활성화, 살균, 기생충 사멸 등에 이용되는 반면 초고압은 열처리의 장점을 대체로 유지하면서 비효소적 갈변, 비타민 파괴, 천연 향미의 손실과 같은 열처리에 의한 화학적 변화를 최소화한다는 점에서 차이가 있다(Hayashi, 1989).

초고압 기술의 원리

초고압 기술의 가장 기본적인 원리는 Le Chatelier의 원리로 고압 하에서는 부피가 감소되는 방향으로 반응이 촉진되며 부피가 증가하는 방향으로의 반응은 억제된다는 것이다. 즉 어떤 화학반응이 일어날 때 반응 이전 반응물의 몰 부피의 합과 반응 이후 생성물의 몰 부피의 합은 차이가 나는데, 고압 하에서는 몰 부피가 감소하는 방향으로의 반응들이 촉진된다는 것이다(Marquis, 1976). Table 1에

압력이 생물학적으로 중요한 화학결합에 미치는 영향이 요약되어 있다. 고압의 특징 중의 하나는 압력이 공유결합에는 영향을 미치지 않고 비공유결합에 영향을 미친다는 것이다. 물이 수소이온과 수산화기로 나뉘는 반응($\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$)의 경우 1 mole의 물이 해리 되어 수소이온과 수산화기로 나뉠 때마다 21.3 mL의 부피감소가 일어난다. 따라서 압력은 물의 해리를 촉진하게 되어 25°C, 1 기압 하에서 순수한 물의 pH는 7.00이지만 1000 기압 하에서는 pH가 6.27로 감소하게 된다. 마찬가지로 압력은 소수성 결합의 파괴를 촉진하는데 이러한 현상은 고차구조 내부에 소수성 결합을 포함하는 단백질(효소 포함)들이 압력에 의해 변성되는 이유를 설명해 준다. 공유결합이나 수소결합의 경우 이들 결합이 파괴될수록 물 부피의 합이 증가하기 때문에 압력의 증가가 이들 결합의 파괴를 촉진하지 않으며 특히 수소결합의 경우에는 압력이 증가할수록 결합이 촉진된다. 고압 하에서도 DNA의 변성이 일어나지 않고 안정한 이유는 이러한 이유 때문이다.

압력에 의해 미생물이 살균되는 원리는 확실히 규명되어 있지 않지만 세포막 붕괴 및 세포막에 존재하는 단백질의 변성을 원인으로 들고 있으며 실제로 2000~3000 기압으로 가압함에 따라 미생물의 세포막이 파괴되는 모습도 관찰 되었다 (Marquis, 1976).

Table 1. Volume changes associated with chemical bond breakage at 25°C

Bond type	Example	ΔV (mL/mole)	Effect of pressure
Covalent	C—C	+12	Inhibits bond breakage
Ionic	$\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$	-21	Disrupts electrostatic interactions
Hydrophobic	CH_4 in hexane \rightarrow CH_4 in Water	-23	Disrupts hydrophobic interactions
Hydrogen	$-\text{OH}\dots\text{OH}- \rightarrow -\text{OH} + \text{OH}-$	+4	Enhances hydrogen bonding

압력의 전달은 대상 물질 전체에 균등하게(isostatic) 그리고 순간적으로 일어난다. 이러한 압력의 특징에 따라 포장재의 적어도 한 면이 압력을 전달할 수 있도록 flexible하여야 한다. 샘플의 부피가 크다고 압력처리 시간을 늘릴 필요가 없으며, 포장재 내 headspace 공간을 최소화하여야 한다. 왜냐하면 공기는 식품과 다른 압축성(compressibility)을 가지기 때문이다. 식품의 대부분은 물로 구성되어 있다고 볼 수 있으며 압축율은 거의 물과 같은 10% 정도이다. 분말제품을 초고압 처리하여도 효과가 없는 것은 이러한 원리 때문이다. Figure 1은 초고압을 식품에 적용하였을 때의 상태를 나타낸 것이다. 파스칼법칙에 의하면 압력은 time-delay가 없고 제품의 크기나 형태에 관계없이 모든 부분에 동일한 작용을 한다.

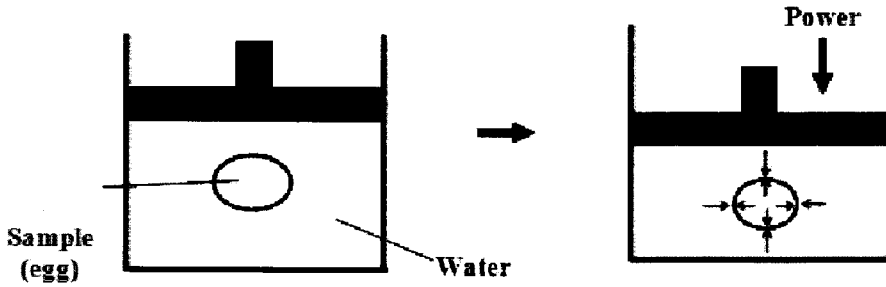


Figure 1. A schematic view of the application of hydrostatic pressure to an egg or the food packaged in a sealed plastic bag.

초고압 가공에 사용되는 등정압(isostatic pressure)은 오래 전부터 금속, 세라믹 등의 물질로부터 신 물질을 생산하기 위해 사용되어 왔다. 낮은 온도에서 액체를 압력 매체로 하여 분말재료를 성형하는 저온 등정압(cold isostatic pressure; CIP)과 최고 2000 °C의 높은 온도에서 기체를 압력 매체로 하여 금속분말을 가공하는 고온 등정압(hot isostatic pressure; HIP)이 보급되어 있다 (Zimmerman과 Bergman, 1993; Mertens과 Deplace, 1993; Deplace과 Mertens, 1992). 식품에서의 초고압 가공은 바로 CIP를 이용한 기술이다.

초고압이 식품에 미치는 영향

1980년대 식품가공에 이용할 수 있는 초고압기의 제조가 가능해 지면서 압력을 이용한 식품의 조리, 살균에 관한 연구가 본격적으로 시작되었다. 대장균은 2000 기압까지는 압력에 내성이 있으나 4000 기압 이상에서 처리하면 10^8 이상의 살균효과를 보이는 것이 보고되어 있다(Ludwig 등, 1991). 신선초에서 착즙한 녹즙의 경우 초기 8.80×10^3 CFU/mL 존재하던 것이 초고압 처리에 의해 완전히 사멸되었다 (Lee 등, 1995). 미생물에 초고압 처리를 하면, 세포벽의 투과도가 변화하게 되고, 효소와 리보솜 등이 파괴되며 핵도 영향을 받아 DNA의 복제와 전사가 제대로 일어나지 않게 되어 미생물이 사멸하게 된다. 초고압 처리에 의해 영향을 받는 세균에는 대표적으로 ready-to-eat (RTE) 육류에 존재하는 저온성균인 *Listeria monocytogenes*, 대부분의 식품에 존재하는 *Salmonella*와 대장균, 어패류에 존재하는 *Vibrio*와 바이러스, 육류에 존재하는 *Campylobacter* 등이 있다.

육제품을 초고압 처리한 연구들이 많이 보고되어 왔으며 대부분 초고압이 생육의 관능적 특성에 미치는 영향에 관한 것이었다(Cheftel과 Culioli, 1997). 냉장 RTE 육류를 초고압 처리한 경우 텍스처, 색상, 영양성분 등 고유 특성은 그대로 유지되며 유통기한은 두 배 이상 증가하기 때문에 새로운 가공방법으로 사용할 수 있다. 또한 초고압은 포장의 크기나 모양에 상관없이 균일하고 순식간에 작용한다는 장점이 있다. 특히 육류 가공에 있어서 초고압 처리는 매우 중요하게 쓰일 수 있는데, 그 이유는 sliced deli meat 등을 생산할 때, *Listeria monocytogenes*와 같은 식중독균의 재오염을 막아주기 때문이다. Figure 2는 닭고기에 압력 처리시 시간에 따른 *Salmonella* 균의 감균 효과에 대한 그래프이다.

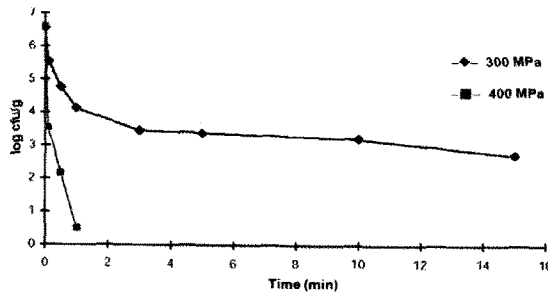


Figure 2. Effects of high pressure on three strains of *Salmonella*(*S. Typhimurium*, *S. enteritidis*, *S. braenderup*) in minced chicken meat.

일반적으로 *Listeria monocytogenes*의 경우 압력과 시간에 따라 3.5 log 이상의 감소를 보이며, 4°C에서 저장할 경우에 균들이 다시 회복되지 않는다. Figure 3은 초고압 처리한 다진 닭고기의 *L. monocytogenes*의 균수 변화를 보여준다. 처리하는 압력이 높아질수록 *L. monocytogenes*가 사멸되는데 걸리는 시간이 단축됨을 알 수 있다.

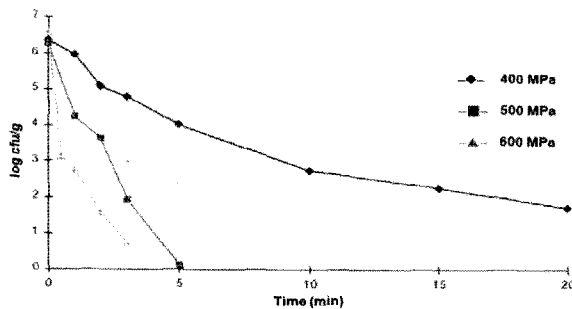


Figure 3. Effects of high pressure on two strains(Scott A and AL-2) of *Listeria monocytogenes* in minced chicken meat.

Figure 4는 대장균 균수가 압력을 처리함에 따라서 국물과 육에서 각각 어떻게 변화하는지 나타낸 그래프이다. 두 경우 모두 초고압 처리했을 때 감균 효과를 관찰할 수 있었다.

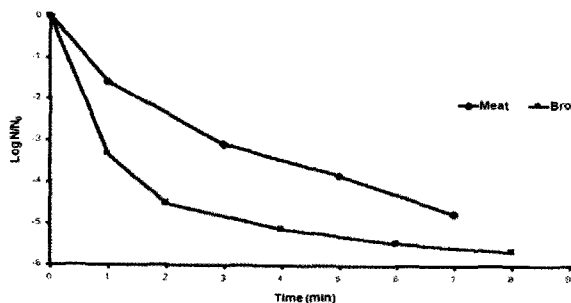


Figure 4. Effects of pressure treatment(600 MPa at room temperature) on *Escherichia coli* inoculated in broth and meat.

Ogawa 등(1992)은 오렌지 주스의 현탁 상태(cloud)를 파괴하여 품질저하를 유발하는 pectinesterase를 300~400 MPa에서 10분 동안 초고압 처리할 경우 불활성화 시키는데 효과적이라고 보고하였다. Figure 5에 압력에 따른 오렌지의 peroxidase와 pectinesterase의 활성 변화를 표시하였다.

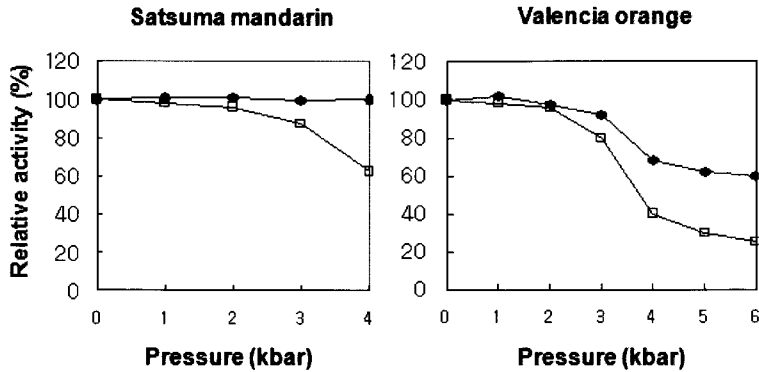


Figure 5. Change in pectinesterase (●) and peroxidase (□) activities in freshly-squeezed, non-pasteurized citrus juices after pressurization.

과일주스의 또 다른 문제점 중의 하나는 비타민 C, 아미노산, 영양성분 등의 손실이다. 오렌지 주스는 55~70 °C의 열처리 시에는 비타민 C의 손실이 적어 높은 수준을 유지하나 85 °C, 2분 처리시에는 20% 이상의 손실이 일어난다. 열처리 대신 초고압 처리를 하면 압력 처리하지 않은 대조군과 비교할 때 유의적인 차이가 없었다. 또한 당, 구연산, pH, 향기 성분 등에도 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 이와 비슷한 예로 전통적인 딸기잼과 초고압 처리한 딸기잼을 비교했을 때 열처리 잼에서 일어나는 비타민 C의 파괴를 초고압 처리한 잼에서는 발견하지 못했다고 보고하고 있다 (Hayashi 등, 1991).

초고압 가공이 천연 그대로의 맛과 향을 보존하고 영양성분의 파괴가 적더라도 관능적 품질이 나쁘다면 식품으로서의 가치가 없다고 하겠다. Horie 등(1991)은 딸기, 키위, 사과 잼 등 7개 제품을 대상으로 열처리한 잼과 가압 처리한 잼의 관능적 특성을 비교했다. 30명의 관능요원들 중 모든 제품에서 20명 이상의 관능요원들이 가압 처리된 잼을 선호했다. 가압 처리된 찐에 대해 검사한 결과 밝기, 향미, 텍스처 등에서 우수한 결과가 나왔다(Watanabe 등, 1991). Figure 6은 가압 처리한 신선초 녹즙을 정량적 묘사분석(QDA)에 의한 관능검사 결과를 나타낸 것이다(Lee 등, 1996). 전체적으로 저장기간이 증가할수록 초고압 처리군과 대조군 모두 각각의 관능 항목에서 낮아졌으나 4일 저장 이후부터 초고압 처리군이 대조군에 비해 상대적으로 높은 점수대를 유지하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 초고압 처리군이 무처리 대조군에 비해 품질특성을 일정하게 유지하고 있다는 것을 의미하는데 초고압 처리가 녹즙 중의 미생물 및 효소를 불활성화시킨 데 따른 결과로 본다(Sale 등, 1970).

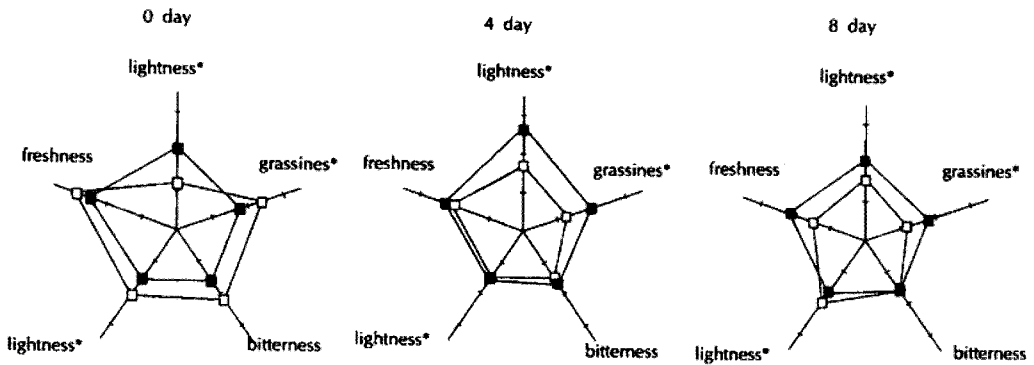


Figure 6. Changes in sensory characteristics of pressurized *Angelica keiskei* juice(■) and non-treated *Angelica keiskei* juice(□) during storage at 4C. Based on 7-point scale(from 0 to 6) for lightness(dark - light), grassiness(weak - strong), bitterness(weak - strong), sweetness(weak - strong) and freshness (putrid - fresh). *: different at 5% significance level.

초고압 식품가공 장치

초고압 식품 가공 장치는 크게 batch 시스템과 반연속(semi-continuous) 시스템으로 나눌 수 있다. Batch 시스템은 액체와 고체 제품 모두에 사용 가능하며 미리 포장된 상태로 주로 처리한다. 반면 반연속 시스템은 in-line 시스템으로 주스와 같이 pumping이 가능한 제품에만 사용할 수 있다. Batch 시스템 초고압 장치는 크게 용기(vessel), yoke frame, 수압펌프(hydraulic pump)의 세 부분으로 나뉜다(Deplace과 Mertens, 1992; Mertens과 Deplace, 1993; Mertens, 1994; Tonello 등, 1994). 실제 초고압 처리는 vessel 내에서 일어나며, vessel의 용적은 2 liter 보다 작은 실험용 장비로부터, 50 liter 이하의 pilot 장치, 300 liter에 이르는 생산용 장치(Figure 7)까지 다양하다.

Yoke frame 내부에서 vessel의 위치는 수평형 또는 수직형 모두 가능하며 가공방식에 따라 달라진다. 최근 설치가 쉽고 조작이 편리한 수평형 vessel이 생산용 장치로 많이 이용되고 있다(Figure 7C). Vessel은 pressure medium을 써서 가압되는데, 이 medium은 식품가공에 적합한 액체여야 하며 주로 물이 사용된다. 이러한 pressure medium은 수압펌프를 이용하여 가압한다. Vessel이 제품과 함께 load 되어 yoke frame 안에 장착되면, vessel은 pressure medium으로 가득 채워지게 된다. 첫 번째 단계에서 de-aeration valve에 의해 공기가 제거되고, 두 번째 단계에서 vessel 내부에 강제로 pressure medium을 pumping하고 빠져 나오지 못하게 하면서 압력이 증가하게 된다(Figure 8).

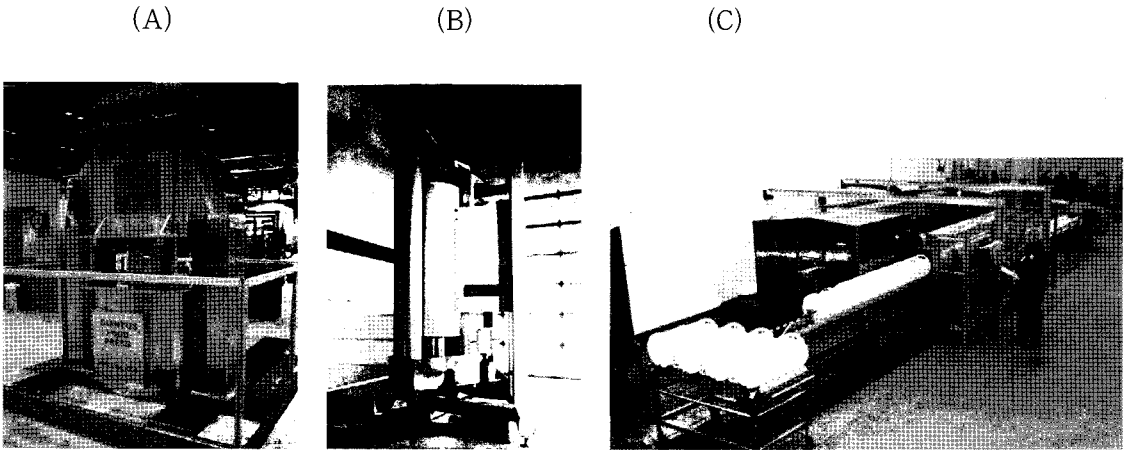


Figure 7. Commercially available high pressure processing(HPP) equipments (A) A production-scale (215 liter-600 MPa) HPP system for batch process, (B) A HPP system for pumpable foods, (C) A horizontal(350 liter-600 MPa) HPP system(capacity : 2.3 tons/h using 3 min hold time).

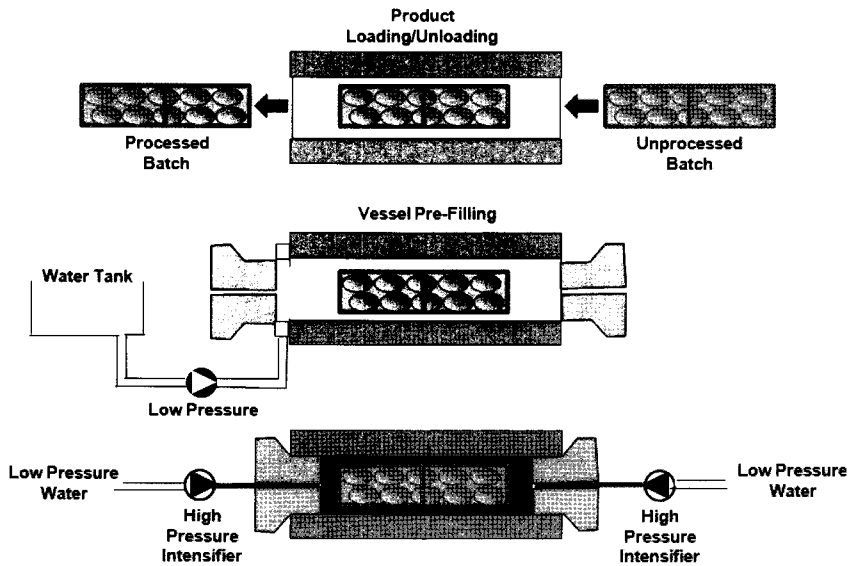


Figure 8. Operating principles of the horizontal HPP system.

액체식품 가공을 위한 반연속(semi-continuous) 초고압 시스템의 전반적인 과정을 Figure 9에 표시하였다. 낮은 압력의 운송 펌프(transport pump)로 액체원료가 pressure vessel로 이송되고, valve가 닫힌 후에 vessel은 초고압 펌프로 가압된다. Floating piston은 압력medium과 제품을 분리시키는 역할을 한다. 초고압 처리 후에, 제품은 surge vessel로 옮겨지게 된다. 여러 개의 pressure vessel이 연결되어 있어 가압된 vessel에 저장된 에너지는 두 번째 pressure vessel을 가압하는데 사용되어 에너지를 절약하고 공정시간을 단축하게 된다.

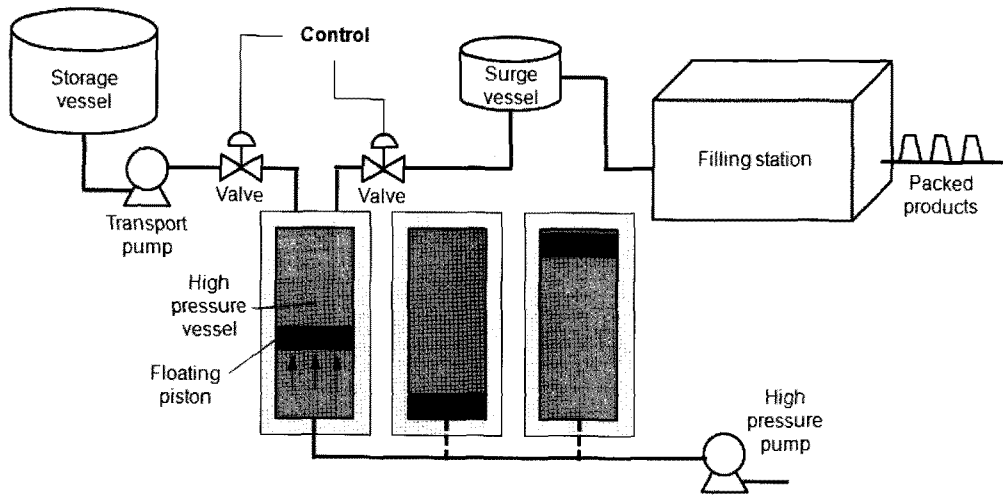


Figure 9. The semi-continuous high pressure processing system for processing of liquids.

초고압 이용분야

압력을 통해 얻을 수 있는 효과로는 미생물의 불활성화(Hoover 등, 1989), 단백질 변성(Heremans, 1982), 효소의 활성화 또는 불활성화(Morild, 1981), gel 형성(Cheftel, 1991), 추출(Kuribayashi와Hayashi, 1991) 등의 생체고분자의 변형, 천연의 색과 맛의 유지(Hayashi, 1989; Cheftel, 1991), 밀도, 어는점, 끓는점, 물성의 변화(Farr, 1992; Deuchi, 1991) 등을 통한 기능성 부여가 있다. 식품과 생물재료에 대한 초고압의 효과는 1000 기압 정도부터 나타나는데 2000기압 정도에서는 단백질 해리, 세포막의 파괴, 효소반응 속도의 변화 등이 일어나고, 2000~3000 기압에서는 효소의 가역적 불활성화가 일어나며, 3000~4000 기압에서는 미생물과 바이러스의 사멸이 일어난다. 4000~5000 기압에서는 전분이 호화되고 단백질 변성과 침전이 일어나며 5000 기압 이상에서는 효소가 비가역적으로 불활성화되고 내열성 포자의 사멸 등의 변화가 일어난다. 이러한 효과를 식품에 응용하면 보존성향상, 미생물의 오염 방지, 물성개량 등의 여러 방면에 이용할 수 있다.

Ready-to-eat (RTE) 육제품

초고압 처리한 육류는 보존기한 동안 맛, 텍스처, 색상, 영양성분 등 고유의 관능품질을 유지하면서 유통기한을 2배 이상 올릴 수 있다. 초고압 처리는 UV 처리와 같이 표면에만 작용하거나 열처리와 같이 표면으로부터 서서히 내부로 전달되는 것이 아니라 크기나 모양에 상관없이 제품 전체에 걸쳐 작용하므로 슬라이스 제품 등을 포장한 다음 후살균하는 경우에 효과적으로 적용 가능하다. 특히 육가공 제품에 문제가 되는 저온성 식중독균인 *Listeria monocytogenes*의 제어에 효과적으로 이용할 수 있다. 초고압 기술을 이용한 육가공 제품을 생산하는 북미 업체는 Hormel Foods, Oscar Mayer(Kraft), Perdue Farm, Fressurized Foods(구 Avomex), Johnsonville, APC, Coleman Natural Foods, Hillshire Farms(Sara Lee) 등 회사로 Figure 10은 실제 상업화된 초고압 육가공 제품의 사진이다.

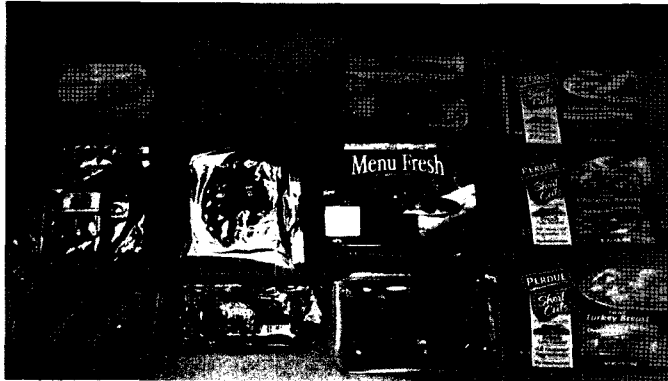


Figure 10. Examples of commercial HPP RTE meat products.

과일 및 야채 식품

초고압 기술이 식품에 직접 응용되면서 1990년대 초에는 일본에서 초고압을 이용한 과일 잼이 생산되었다. Horie 등(1991)은 잼을 만들어 본 결과 열처리를 통해 발생하는 향과 색깔의 변화가 적고 과일 특유의 성질이 유지된다고 보고하고 있다. 최근 초고압을 이용한 과일주스의 보존 연구가 많이 수행되고 있다. 초고압은 진균류를 포함한 부패 미생물, 병원성균 및 효소를 불활성화하여, 보존료와 같은 첨가물을 전혀 사용하지 않고도 방금 착즙한 것과 같은 외관과 향을 가진 주스 제품을 제조할 수 있다. 특히 *Salmonella*, *E. coli* O157:H7, *Listeria* 등 미생물을 FDA가 요구하는 5 log 이상 감소를 초고압 처리로 달성할 수 있으며, 일반적으로 10^6 CFU/g 이상 감소시키는 것이 가능하다. 북미에서 초고압 제품으로 가장 성공적인 제품은 guacamole(avocado를 갈은 것으로 멕시코 요리에 주로 사용)로 냉장 저장기한을 30일까지 연장시킬 수 있었다. Figure 11은 실제 상업화된 초고압 과일 및 야채 제품의 사진이다.



Figure 11. Examples of commercial HPP fruit and vegetable products

수산 식품

3000기압 정도의 압력을 이용하여 바닷가재, 굴, 조개 등 해산물로부터 껍질을 제거하여 속살을 거의 100% 분리하여 제품 크기에 관계없이 최대 수율을 얻을 수 있다. 이러한 초고압 기술을 수산물 가공에 이용할 경우 기계적 손상을 입지 않고 속살만 수거할 수 있어 노동력 및 제조경비를 줄일 수 있는 동시에, vibrio균이나 norovirus로부터 제품을 보호하여 안전성을 증가시킬 수 있으며, 유통기한을 연장하는데 사용할 수 있다. Figure 12은 실제 상업화된 초고압 수산 식품의 사진이다. 실제 굴 가공에 초고압 기술을 많이 사용하고 있다.

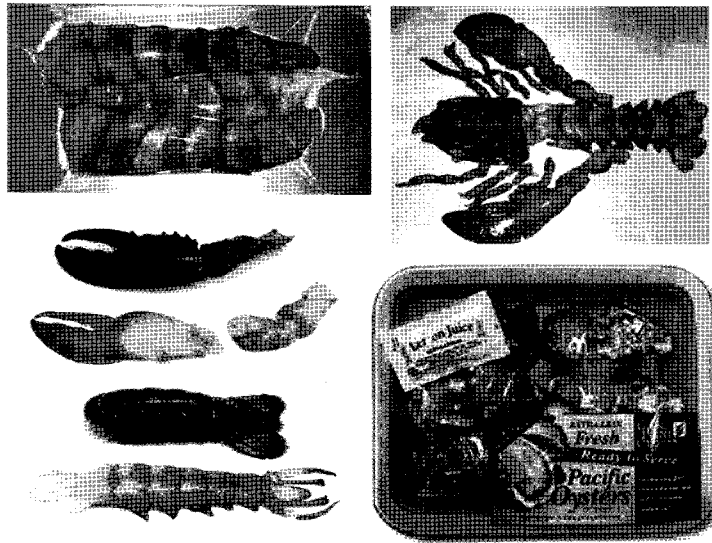


Figure 12. Examples of commercial HPP seafoods. HPP shucked lobster tails and HPP treated fresh oyster.

기타 초고압 응용 식품

초고압 기술은 여러 가지 조리식품 또는 즉석식품에 응용된다. Salsa, pasta sauce, salad dressing, hummus 등 소스류에 응용 가능하며, 두부를 기본으로 한 제품, 과일을 기본으로 한 스프레드와 dip, 과일 topping 및 소스, 즉석밥(한국과 일본에서 상용화), ready-to-use wet salad 등에 응용 가능하다. 초고압 기술은 이러한 제품을 가열 처리하거나 보존료를 첨가하지 않고도 유통기한을 연장시킬 수 있으며, 안전하고 더욱 천연에 가까운 제품을 생산할 수 있게 한다. 또한 hydrocolloid, 단백질 등을 포함하는 식품의 수화율을 높이고 점성을 변화시키며, amylase에 의한 소화율을 향상시키고, 텍스처를 개선하는 등 긍정적인 효과를 주기 때문에 관능특성을 최적화하는데 보조 수단으로 초고압 기술을 사용할 수 있다.

향후 전망

고품질, 최소 가공 식품에 대한 소비자의 요구가 커짐에 따라 비열 식품가공 기술의 개발은 계속 될 것이다. 비열가공 기술 중 산업적으로 가장 발달한 기술은 초고압 기술이며 앞으로도 계속 발전 할 것으로 예상된다. 초고압 기술이 도입된 이래 100여 년이 지난 지금 미국, 일본, EU에서 이미 초 고압 기술을 이용한 육가공 식품, 과채류 식품, 수산식품 등이 상품화되어 소비자들에게 판매되고 있다(Figure 13). 초고압 처리한 guacamole는 미국 내에서 초고압 가공 제품으로 가장 성공한 제품으로 평가되고 있으며, 미국 내 초고압 가공 제품의 매출은 총 20억불 정도로 예상하고 있다. 이런 결과는 이론적으로만 가능하고 산업적으로 응용하기에 부적절했던 초고압기의 구매가 현실적으로 가능해지면서 나온 결과이다. 초고압 장치 수요가 늘어나면서 장치 가격은 더욱 하락할 것으로 예상된다. 우리나라에서 초고압 연구는 1990년대 초반에 시작되어 초고압 기술을 이용한 마늘, 녹즙, 김치, 과일 및 야채 주스, 전통주, 홍삼제품 등에 대한 연구를 하였다. 현재 생산 규모 설비를 이용한 제품이 생산되기 시작하였으며, 3000 기압 압력을 이용한 즉석밥 제품이 생산되고 있다.



Figure 13. Commercial HPP food products in the US market.

참고 문헌

- Agterof, W., Lelieveld, H.L.M., Reichelt, T. & Smelt, J.P.M. Method for preservation under pressure. Patent WO97/43914 (1997)
- Ahvenainen, R.: New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. Trends in Food Sci. Technol., 7, 179-187 (1996)
- Balaban, M.O., Arreola, A.G., Marshall, M., Peplow, A., Wei, C.I. and Cornell, J.: Inactivation of pectinesterase in orange juice by supercritical dioxide. J. Food Sci, 56(3), 743 (1991)
- Basset, J., Macheboeuf, M., & Sandor, G. Etude sur les effets biologique des ultrapressions. Action des pressions tres elevees sur les proteides. Compres Rendus, 197, 796-798 (1933).

- Bridgman, P.W.: The coagulation of egg albumin by pressure. *J. Biol. Chem.*, 19(1) : 511 (1914)
- Cheffel, J.C.: Application des hautes pressions en technologie alimentaire. *Actualite des Industries Alimentaires et Agro-Alimentaires*, 108(3), 141-153 (1991)
- Chefrel, J.C., & Culioli, J. Effects of high pressure on meat: A review. *Meat Sci.*, 46, 211-236 (1997)
- Crossland, B. The development of high pressure equipment. In D.A. Ledward, D.E. Johnston, R.G. Earnshaw, & A.P.M. Hasting (Eds.), *High Pressure Processing of Foods*(pp. 7-26). Nottingham: Nottingham University Press (1995)
- Cruess, W.V. *Commercial Fruit and Vegetable Products*. New York: McGraw-Hill (1924)
- Deplace G and Mertens B. The commercial application of high pressure technology in the food processing industry, in : Balny C, Hayashi R, Heremans K and Masson P. (Ed.), *High Pressure and Biotechnol*, John Libbey, London p.469-479 (1992)
- Deuchi, T. and Hayashi, R.: Pressure-application to thawing of frozen foods and to food preservation under sub-zero temperature, in "High Pressure Science for Food". Hyashi, R.(ed.), San-ei Pub. Co., Kyoto, Japan, p.101-110 (1991)
- Farr, D.: High pressure technology in food industry. *Trends Food Sci. Technol.*, 1, 14-16 (1992)
- Gidding, N.J., Alland, A.H., & Hite, B.H. Inactivation of tobacco-mosaic virus by high pressures. *Phytopathology*, 19, 749-750 (1929)
- Hayashi, R. and Asaka M. Activation of polyphenoloxidase in pear fruits by high pressure treatment. *Agric. Biol. Chem.*, 55(9), 2439 (1991)
- Hayashi, R.: Application of high pressure to food processing and preservation: Philosophy and development. *Eng. and Food*, 2, 815-826 (1989)
- Heremans, K.: High pressure effects on proteins and other biomolecules. *Ann. Rev. Biophys. Bioeng.*, 11, 1-21 (1982)
- Hite, B.H.: The effects of pressure in the preservation of milk. *Bull.*, 58, 15-35 (1899)
- Hoover, D.G., Metrick, C., Papneau, A.M., Farkas, D.F. and Knorr, D.: Biological effects of high hydrostatic pressure on food microorganisms. *Food Technol.*,43(3), 99-107 (1989)
- Hoover, D.G.: Minimally processed fruits and vegetables: Reducing microbial load by nonthermal physical treatment. *Food Technol*, 51(6), 66 (1997)
- Horie, Y., Kimura, K., Ida, M., Yosida, Y. and Ohki, K.: Jam preparation by pressurization. *Nippon Nogeikagaku Kaishi*, 65(6), 975-980 (1991)
- King, K.: Partial characteriaztion of the in situ activity of pectinesterase in bramley apple. *Int. J. Food Sci. Technol*, 25, 188 (1990)
- Kunibayashi, T and Hayashi, R. Extraction of pectin by high pressure treatment, in "High Pressure Science for Food". Hyashi R.(ed.), San-ei Pub. Co., Kyoto, Japan (1991)

- Lee, D.-U., Park, J., Kang, J. and Yeo, I.-H.: Effect of high hydrostatic pressure on the shelf-life and sensory characteristics of *Angelica keiskei* juice. *Kor. J. Food Sci. Technol.*, 28(1), 105-108 (1996)
- Lee, D.-U., Park, J., Lee, Y. and Yeo, I.-H.: Inactivation of microorganisms and browning enzymes in *Angelica keiskei* juice using high hydrostatic pressure. *Kor. J. Food Sci. Technol.*, 27(6), 991-996 (1995)
- Ludwig, H., Bieler, C., Hallbauer, K. and Scigalla, W.: Inactivation of microorganisms by hydrostatic pressure, in "High Pressure and Biotechnology" Balny, C., Hayashi, R., Heremans, K. and Masson, P. (ed.), John Libbey, London, p.25 (1991)
- Macfarlane, J.J. Pre-rigor pressurization of muscle: Effect of pH, shear value and taste panel assessment. *J. Food Sci.*, 38, 294-298 (1973)
- Marc, E.G., Dietrich K., Linda, L., Ann, V.L., Volker, H. Ultra High Pressure Treatments of Food. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow
- Marquis, R.E.: High pressure microbial physiology. *Adv. Microbiol. Physiol.*, 11, 159-241 (1976)
- Mertens, B. and Deplace, G.: Engineering aspects of high-pressure technology in the food industry. *Food Technol.*, 47(6), 164-169 (1993)
- Mertens, B. and Knorr, D.: Developments of nonthermal processes for food preservation. *Food Technol.* 46(5),124 (1992)
- Mertens, B. High pressure equipment for the food industry. *High Pressure Res.*, 12, 229-237(1994)
- Morild, E.: The Theory of pressure effects on enzymes. *Adv. in Protein Chem.*, 34, 93-166 (1981)
- Ogawa, H., Fukuhisa, K. and Fukumato, H.: Effect of hydrostatic pressure on sterilization and preservation of citrus juice, in "High Pressure and Biotechnology". Balny, C., Hayashi, R., Heremans, K. and Masson, P. (ed.) John Libbey, London, p.269-278 (1992)
- Ogawa, H., Fukuhisa, K., Kubo, Y. and Fukumoto, H.: Pressure inactivation of yeasts, molds and pectinesterase in satsuma mandarin juice: Effects of juice concentration, pH and organic acids and comparison with heat sanitation. *Agric. Biol. Chem.*, 54(5), 1219 (1990)
- Owusu-Yaw, J., Marshall, M.R., Koburger, J.A. and Wei, C.I.: Low pH inactivation of pectinesterase in single strength orange juice. *J. Food Sci.*, 53(2), 504 (1988)
- Payens, T.A.J., & Heremans, K. Effect of pressure on the temperature-dependent association of β -casein. *Biopolymers*, 8, 335-345 (1969)
- Perkins, J. On the compressability of water. *Philosophical Trans. R. Soc.*, 110, 324-329 (1820)
- Perkins, J. On the progressive compression of water by a high degree of force, with trials on the effect of other fluids. *Philosophical Trans. R. Soc.*, 116, 541-547 (1826)
- Ray, B.: "Fundamental Food Microbiology" CRC Press, New York (1996)
- Sale, A.J.H., Gould, G.W. and Hamilton, W.A.: Inactivation of bacterial spores by hydrostatic pressure.

- J. Gen. Microbiol., 60, 323-334 (1970)
- Timson, W.J. and Short, A.J.: Resistance of microorganisms to hydrostatic pressure. *Biotechnol. Bioeng.*, 7(1), 139-159 (1965)
- Tonello, C., Wurtz, P., Largeteau, A., Jolibert, F., Deschamps, A., Ducastaing, A., & Demazeau, G. Recent developments in the use of high hydrostatic pressures in food processing. *High Pressure Res.*, 12, 205-213 (1994)
- Vadim, V., Mozhaev, Heremans, K., Frank, J., Masson, P. and Balny, C.: Exploiting the effects of high hydrostatic pressure in biotechnological applications. *Tibtech*, 12, 493-501 (1994)
- Watanabe, M., Arai, E., Honmo, K. and Fuke, S.: Improving the cooking properties of aged rice grains by pressurization and enzymatic treatment. *Agric. Biol. Chem.*, 55(11), 2725-2731 (1991)
- Wicker RL and Temelli F.: Heat inactivation of pectinesterase in orange juice pulp. *J. Food Sci.* 53(1), 162 (1988)
- Zipp, A., & Kauzmann, W. Pressure denaturation of metmyoglobin, *Biochemistry*, 12, 4217-4228 (1973)
- Zimmerman, F. and Bergman, C.: Isostatic high-pressure equipment for food preservation. *Food Technol* 47(6), 162-163 (1993)