

식품 · 생물 산업에서의 초고압기술 응용

Effects of High Hydrostatic Pressure on Foods and Biological System

구송이 · 차광현 · 이동언*

Song-Yi Koo, Kwang-Hyun Cha, Dong-Un Lee

한국과학기술연구원 강릉분원, 천연물소재연구센터

Natural Products Research Center, KIST - Gangneung Institute

1. 서론

최근에는 생활수준의 향상과 함께 신선식품 및 건강식품에 대한 수요가 증가하고 있다. 대부분의 식품은 가열 처리에 의해 저장성을 확보하게 되는데 가열처리에 의한 살균 및 가공과정은 식품의 조직감 및 풍미를 저하시키며 신선식품의 경우 그 이용이 제한적이다. 이에 반해 비가열 처리는 식품의 품질에는 영향을 미치지 않으면서 살균, 가공, 조리가 가능한 새로운 식품가공 기술로 주목받고 있다. 특히, 초고압 기술은 식품 본연의 품질을 유지시켜 주며, 미생물 및 효소의 불활성화에 큰 효과를 갖고 있어 고품질 · 고기능성 제품에 대한 활용도가 높아져 식품산업에서 그 중요성이 커지고 있다.

생물 시스템에 대한 초고압 처리효과는 1,000~10,000 기압의 고압에서 미생물의 살균 및 효소반응 조절과 효소의 불활성화를 유도하는 것으로서 최근까지 많은 연구가 이루어지고 있다(San Martin *et al.*, 2002). 본문에서는 열처리에서 유발되는 화학적 변화를 최소화하는 초고압기술이 생물시스템에 미치는 효과와 식품산업에 대한 적용성을 검토하고자 한다.

2. 초고압기술의 발전

초고압기술은 심해(Deep sea)의 고압환경 생태계 연구에서부터 시작되었다. 19세기 프랑스 과학자들은 해저 고압(deep sea pressure)에 견디는 미생물을 연구하면서 현대 초고압 물리학과 초고압 화학의 기반을 마련하였다. 프랑스 과학자 P. Regnard 와 A. Certes는 미생물을 포함한 해저 생물과 해저 고압에 대한 다양한 연구를 통해 현대의 초고압 원리와 개념을 정립하였다 (Marquis, 1976; Yayanos, 1975; Regnard P, 1891; Certes A, 1884).

이러한 초고압기술이 식품에 적용된 것은 이미 19세기 후반에 시작되었다. Hite는 1899년 우유의 보존성을 늘리기 위해 초고압을 이용하였고, 이보다 앞서 1885년 프랑스에서는 600MPa의 압력이 vegetative bacteria를 사멸시킨다고 보고하였다. 최초의 연구는 Bridgman(1914)의 달걀 알부민 응고에 관한 내용으로 각종 미생물이나 단백질이 고압력 상태에서 변화를 일으킨다고 밝혀냈다. 또한 Hite(1914)는 고압상태에서 5년간 보존된 과일을 통해 초고압기술이 식품의 유통기한을 늘리는데 효과적인 방법임을 주장하였다 (Hite *et al.*, 1914; Bridgman, 1914). 하지만 이

*Corresponding author: Dong-Un Lee
Natural Products Research Center, KIST - Gangneung Institute, 290 Daejeon-dong, Gangneung, Gangwon-do, 210-340, Korea
Tel: 82-33-650-7202
Fax: 82-33-650-7299
E-mail: dong-un.lee@kist.re.kr

당시 500MPa이상의 고압장치는 구조적으로 많은 문제점을 지니고 있어 보통의 살균장치와 비교해 무겁고, 제작비가 매우 고가라는 이유로 주목받지 못했다. 그 이후에도 압력이 유기생 명체에 미치는 영향에 대한 연구는 진척되어 왔으나 식품에 대한 적용 연구와 산업화는 1980년대 중반 다시 활성화 되기 시작하였다. 일본

에서는 시간당 6톤의 처리능력을 가진 초고압 시스템이 개발되어 고압살균법에 의한 과즙생산이 가능해졌고, 잼이나 트로피칼 후르츠에도 이용되어 가열처리를 대체한 비열처리 제품으로 1990년대부터 판매가 시작되었다.

기존의 열처리에 비해 초고압 처리가 갖는 주요 장 점으로는 다음과 같은 것들이 제시되었다. (Yayanos, 1998; Askar, 1998; Mertens, 1993; Ponce *et al.*, 1998).

- ① 열처리가공에 비해 현저히 적은 열에너지를 소비 하며, 상온 또는 저온에서 실행 가능함
- ② 고압살균 처리된 식품은 천연의 맛과 향미, 색, 신 선도를 유지할 수 있음
- ③ 모든 방향에서 압력이 균일하게 작용하므로, 처리 정도의 차이가 존재하지 않음
- ④ 미생물사멸 외에도 단백질의 변성 또는 변형, 효소 활성화 또는 불활성화, 효소기질 특이성 변화, 탄 수화물과 지방의 특성 변화 등을 유도할 수 있음
- ⑤ 공유결합이나 수소결합에 영향을 주지 않음
- ⑥ 초고압가공처리는 플라스틱 필름과 같은 파우치형 태의 bag을 이용할 수 있어 실험을 용이하게 할 수 있음

초고압 처리가 위와 같은 특성을 갖는 것은 압력증 가에 따른 부피의 감소/증가가 분자결합의 분해/형성 으로 반응 평형을 이동시키기 때문이다. 즉, 초고압은

Table 1. Volume changes associated with biochemically important bond breakage at 25°C (compiled after Marquis, 1975; Gross & Jaenicke, 1994)

Bond type	Example	ΔV (ml/mole)	Effect of pressure
Ionic	$H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$	-21	Disrupts electrostatic interactions
Hydrophobic	CH_4 in hexane \rightarrow CH_4 in water	-23	Disrupts hydrophobic interactions
Covalent	C-C	+12	Inhibits bond breakage
Hydrogen	$-OH \cdots O= \rightarrow -OH + O=$	+4	Enhances hydrogen bonding
Protein (denaturation)	Myoglobin (pH 5.0) (Native \rightarrow Denatured)	-98	Enhances denaturation
Protein (dissociation)	Lactate dehydrogenase ($M_4 \rightarrow 4M$)	-500	Enhances dissociation

비공유결합(수소결합, 이온결합, 소수성결합)에만 영향을 끼치므로 저분자 물질로 구성되는 단백질의 경우 형태적 변화 및 구조적 변화를 유발할 수 있다. 일반적으로 수용액상태에서 이온이 증가하는 반응은 부피가 감소하게 되는데 이것은 이온 간의 정전기적 인력 때문이다. 압력은 이온 간의 정전기적 인력을 와 해시켜 수용액 상에 노출시키고 부피를 줄어들게 만든다. 가장 대표적인 예로 $H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$ 반응식에서 수소이온과 수산화 이온이 물에서 분리되고 25°C에서 21.3ml/mole 만큼 부피가 줄어든다 (Bodanszky & Kauzmann, 1962). 순수한 물은 상온에서 1기압 상태일 때 pH 7 이지만, 같은 상황에 1000기압 상태일 때에는 pH가 6.27로 변화되고 물 분자도 해리된다 (Owen & Brinkley, 1941). 이외에도 압력에 의해 부피가 변화되는 화학반응들을 Table 1 에서 볼 수 있다.

초고압은 식품의 향미, 색, 영양 성분과 연관된 화학적 반응에는 최소한의 영향을 끼치게 된다. 따라서 열처리방법과는 달리 초고압기술을 적용했을 때 식품의 영양 성분, 맛, 향기, 비타민 함량 등의 손실을 최대한으로 줄일 수 있다. 이것은 작은 분자로 구성된 아미노산과 비타민은 초고압에 의한 영향을 적게 받고, 거대 분자 물질인 단백질, 효소, 다당류, 핵산 등은 형태적, 구조적 변화가 유발되기 때문이다 (Balci & Wilbey, 1999).

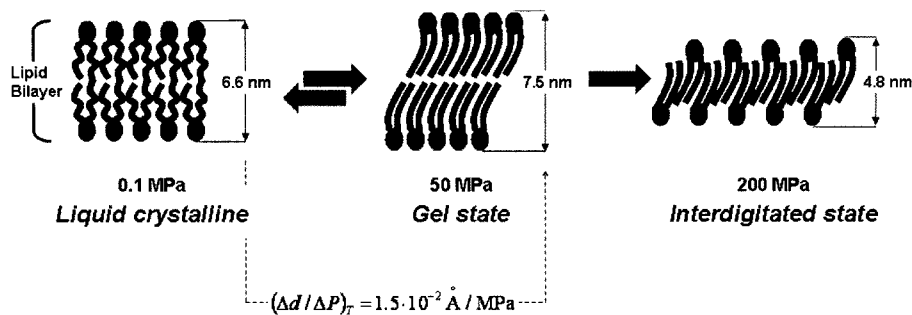


Fig 1. Effects of pressure on phospholipid bilayer (after Kato *et al.*, 1999).

3. 초고압 처리에 의한 세포막 구조의 변화

세포막은 외부환경 변화에 가장 민감하게 영향을 받는 부분이다. 세포막은 고압처리에 의해 구성 단백질이 변성되고 인지질의 크기가 감소하기도 하며, 투과성에도 영향을 받는다.

이러한 세포막은 압력에 의해 구조적인 변화를 갖게 된다. 압력처리를 통해 인지질 이중막의 탄화수소 사슬은 liquid crystalline에서 gel phase로 전환된다. 이때 탄화수소 사슬은 그 길이가 늘어나게 된다. 처리압력이 낮은 경우(50 MPa), 인지질의 이중막은 가역적인 변화를 통해 원래의 모습을 회복하지만 처리압력이 높은 경우(200 MPa), 비가역적인 변화를 거쳐 인지질의 부피가 감소하게 된다.

세포막에 대한 압력의 영향을 알아보기 위해 DPPC(1,2-dipalmitoyl-2-oleoyl-sn-glycero-3-phosphatidylcholine)를 54.5°C의 완충용액에서 상변화를 관찰하였다. Liquid crystalline 상태에서 gel state, interdigitated state로 변화하게 되는데, 0.1 MPa에서 6.6 nm의 두께를 가진 liquid crystalline 상태에서 50 MPa 압력처리를 했더니 gel state로 상태변화가 되었고 두께는 7.5 nm로 증가하였으며 더 높은 압력으로 200 MPa를 적용했을 때에는 두께가 4.8 nm로 줄어들었다고 한다 (Fig 1). 이러한 결과는 고압처리에 의해 세포막에 있는 단백질이 변성되고 상변화에 의해 세포막의 유동성이 감소하기 때문이다 (Kato & Hayashi, 1999). 압력처리를 통해 세포막이 비가

역적으로 분해되어 세포를 사멸시킬 수 있으며, 막 투과성이 증대되어 물질이동을 용이하게 하고 냉동이나 건조과정에 변화된 특성을 이용하기도 한다 (Rastogi *et al.*, 1998 ; Eshtiaghi *et al.*, 1994).

4. 미생물에 대한 초고압 처리 효과

대부분의 미생물은 약 200~300 기압까지의 압력조건에서 생육이 가능하며, 일부 barophile 미생물은 400~500 기압 이상에서도 생육할 수 있다. 이에 비해 barophobic 미생물은 300~400 기압 이상의 높은 압력에서 생육속도가 느려지거나 거의 생육할 수 없다 (Zobell, 1970). 식품가공과정에서 초고압처리가 효과적인 보존 방법으로 주목 받고 있지만, 식품에 있어서 가장 최우선이 되는 것은 안전성이다. 일정 수준의 고압처리는 미생물의 성장과 증식을 억제하지만, 세포 포자의 살균은 1200MPa 수준까지도 완벽하지는 않다. 이런 이유에서 최근 식품 가공 및 저장 방법에서는 초고압과 고온의 병합처리를 시도하고 있다.

미생물의 증식 지연 및 사멸을 유발하는 고압처리는 미생물의 종류에 따라 적용되는 압력이 다르다. 초고압처리에 의한 여러 미생물의 불활성화 정도를 Table 2 에 나타내었다.

초고압에 의한 미생물 살균 및 불활성화는 배지의 구성성분, pH, 온도 등에 의해 영향을 받는다. 특히 고압처리는 pH를 변화시킬 수 있으며 이로 인해 미생물의 생육속도 및 사멸속도가 달라진다. 예를 들어 1기

Table 2. Pressure inactivation times for several microorganism (compiled after San Martin *et al.*, 2002; Hong & Park, 1999)

Microorganism	Applied pressure (MPa)	Temperature (°C)	Time (min)	Viability
<i>Bacillus subtilis</i>	578-680	35	5	Vegetative cells killed but not sterilized
<i>E. coli</i>	290	25-30	10	Most cells killed but not sterilized
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	574	20-25	5	Killed
<i>Salmonella typhimurium</i>	408-544	25	5	Sterilized
<i>Staphylococcus aureus</i>	290	25-30	10	Most cells killed but not sterilized
<i>Vibrio cholera</i>	193.5	20-25	720	Sterilized
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	170	20-25	10-30	10 ⁶ CFU/mL reduce to less than 10CFU/mL

압, 0°C에서 바닷물은 pH 8.10을 나타내지만 1,100기압에서는 pH 7.87로 낮아진다. 압력이 수용액의 pH에 미치는 영향력은 전해질의 농도나 온도 등에 의해서도 민감성이 달라진다.

고압은 초기에 언급했듯이 적절한 열처리와 함께 사용하면 시너지 효과를 나타내지만, 특정온도에서는 오히려 미생물의 사멸이 저해되는 경향이 보고된 바 있다. *E. coli*는 46.9°C에서 0.1 MPa보다 40 MPa로 처리했을 때 더 느리게 불활성화 되었고, *Saccharomyces cerevisiae*에 대해 51°C에서 10분간 열 충격처리를 가하면 고압에 의한 손상을 방지할 수 있었으며 효모를 150 MPa에서 60분간 가압한 후 고온에 노출시켰을 때에도 세포의 손상을 억제할 수 있었다. 또한 미생물의 사멸은 수분활성에 의해서도 영향을 받는데 a_w 가 낮을 때 미생물을 보호하는 효과(protective effect)를 나타내었다고 한다 (Iwahashi *et al.*, 1996).

미생물의 압력에 대한 민감성(sensitivity)은 gram 음성세균이 gram 양성세균보다 더욱 크다고 알려지기도 했으나 또 다른 연구에서는 gram type과 압력에 대한 민감성(sensitivity)은 상관관계가 없다고 보고하였다 (Ludwig & Schreck, 1996).

초고압은 미생물의 사멸 외에도 형태적 변화를 유발한다. 이는 가역변화(reversible change)와 비가역변화(irreversible change)로 분류되는데 구조적 변화에 의해 단절(cessation) 또는 연장(elongation)된 형태를 가역변화라 하고 세포막으로부터 세포벽이 분리(separation)되거나 리보솜의 수가 감소한 경우는 비가역

변화라 한다.

초고압에 의한 미생물 사멸의 영향 인자를 Table 3에 나열하였다. 식품의 가공 및 저장에 있어서 가장 어려운 공정 중의 하나가 바로 세균 포자의 살균이다. 또한 초고압기술의 취약점 중 하나도 바로 포자의 살균을 완벽하게 할 수 없다는 것이다. 포자는 내압성이 매우 강해 1200MPa까지도 생존이 가능하다 (Lechowich, 1993).

포자의 살균이라는 측면에서 온도와 압력의 상관관계는 복잡한 양상을 나타낸다. 낮은 압력처리의 경우

Table 3. Factors contributing to inactivation of Microorganisms (San Martin *et al.*, 2002)

Contributing Factors
1. Pressure Applied
2. Type of pressure treatment
-cyclic
-continuous
3. Temperature
4. Time
5. Species and Strain
-Shape
-Gram type
6. Growth stage and age of the culture
7. Medium Composition and Properties
- Ionic Strength and Type of Ions
- Water activity
- pH

(60-100 MPa) 포자를 발아시킬 수 있고 이에 온도를 병용처리 했을 경우 포자의 발아율도 달라질 수 있다. 발아된 포자는 고압처리에 의해 불활성화 되는데, 발아된 후 잇따른 스트레스 조건에 따라 포자의 민감성 (sensitivity) 또한 달라진다 (Gould & Sale, 1970). 이에 대해 100 MPa에서 발아된 *Bacillus subtilis* spore가 500 MPa에서 발아된 것보다 압력과 자외선, UV, hydrogen peroxide에 대한 민감성이 증가한다고 보고되어 있다 (Wuytack *et al.*, 1998). *Bacillus cereus* 포자형성은 20°C에서 포자를 발아시키는 것보다 30°C에서 발아시킨 것이 발아율과 살균효과가 높았다고 보고되었다 (Raso *et al.*, 1998). *Clostridium botulinum* Type E spore의 경우 35°C에서 414~827 MPa까지 5분간 압력처리 한 것은 아무런 살균효과가 없었던 반면 55°C로 온도를 높였을 때 5 log cycle이 감소하는 살균효과를 보였다고 한다 (Reddy *et al.*, 1999). 또한 오렌지 주스의 *S. cerevisiae* ascospore를 불활성화 시키기 위해 D value와 Z value를 통해 주스의 구성성분은 ascospore의 치사율(lethality)에 아무런 영향이 없다고 결론 내렸다 (Zook *et al.*, 1999). *Clostridium sporogenes*의 포자살균은 압력처리 만으로는 유의적이지 않았으며, 400 MPa, 60°C, 30분 처리했을 때 3 log cycle 이상 감소하는 효과를 볼 수 있었다고 한다 (Mills, 1998). 이렇듯 가열과 고압을 적절히 병용처리할 경우 살균의 효과를 높일 수 있고 비용도 절감할 수 있다.

5. 단백질에 대한 초고압 처리 효과

1) 단백질 변성 (Denaturation of Proteins)

단백질에 대한 고압처리는 변성을 유도한다. 단백질의 종류와 공정조건, 적용압력에 따라 변성의 정도는 달라지며 그 과정에서는 단백질이 침전되거나 용해된다. 일반적으로 이러한 변화들은 100~300 MPa의 범위에서 가역적으로 일어나며, 300 MPa 이상의 고압에서는 비가역적으로 일어난다 (Thakur & Nelson, 1998). 압력에 의한 단백질의 변성은 열처리에 의한 것과는 다른 양상을 나타낸다. 즉, 고압처리는 단백질

분자의 소수성 결합이나 이온결합을 분해시키는데 단백질의 분자구조가 풀어지면서 단백질의 부피도 감소한다고 한다. 이렇게 분자구조가 풀린 단백질은 기능적 특징도 기존의 것과는 다르다. 반면, 열에 의한 단백질 변성은 주로 공유결합의 형성과 분해에 기인한다 (Farr, 1990; Rastogi *et al.*, 2007).

고압에서 oligomeric proteins은 작은 subunit으로 나뉘어져 쉽게 분해되려는 성질이 있으며, monomer의 경우에는 압력에 의한 어떠한 변화도 없다 (Thakur & Nelson, 1998). 고압처리는 단백질의 2차, 3차, 4차 구조에도 영향을 끼친다. 단백질 4차 구조는 압력에 민감한 소수성 결합에 의해 대부분의 구조가 유지된다. 3차 구조는 200 MPa 이상에서 주목할 만한 변화가 일어난다. 하지만 ribonuclease A와 같은 작은 단백질의 경우 400~800 MPa의 높은 압력에서 가역적으로 단백질 구조가 풀리며, 부피가 약간 줄어든다. 단백질 변성은 매우 복잡한 과정으로 완전히 변성된 형태가 되기 전 중간체 형태(intermediate form)를 띄기도 한다. 단백질 2차 구조는 700 MPa 이상의 압력에서 형태적 변화가 유발되고 이는 비가역적 변화로 분류된다 (Balny & Masson, 1993).

2) 단백질 젤형성 (Protein Gelation)

Bridgman(1914)이 최초로 압력처리에 의한 달걀의 알부민 응고를 연구하였다. 낮은 온도에서 고압처리는 gel을 형성하고 열에 의해 형성된 gel과는 다른 특성을 보인다.

초고압을 통해 얻어진 surimi gel은 전통적인 방법인 열에 의해 얻어진 gel보다 투명도가 높은 것으로 나타났고, 광택에서도 윤기가 더 난다고 보고되었다 (Chung *et al.*, 1994). 그러나 gel의 강도(strength) 측면에서는 열에 의해 형성된 것이 압력에 의해 형성된 것보다 더 강하다고 한다. 또한 Kumeno(1993)의 연구에 따르면 압력을 통해 우유로부터 얻은 gel이 열에 의해 얻은 gel보다 품질면에서 우수하다고 보고하였고, 디저트 산업에서 초고압기술의 응용을 제안하였다. 초고압기술은 미생물의 살균효과와 더불어 단백질 소화율을 높일 수 있다고 보고되었다 (Iametti *et al.*, 1999).

3) 효 소

효소의 불활성화는 고압에 의해 분자내 구조가 변형되거나 활성자리에 변화가 생기기 때문에, 일부 효소의 경우 100~300 MPa로 가압하여도 불활성화는 가역적으로 일어난다. 이때 감압 후 활성의 회복 여부는 효소분자의 변형 정도에 따라 다르지만, 일반적으로 300 MPa 이상 가압하게 되면 활성 회복의 가능성은 희박해 진다 (Jaenicke, 1981).

일반적으로 고압처리에 의해 대부분의 효소의 활성이 감소하지만, 오히려 활성이 증가하는 경우도 있다. 밀가루와 보리 가루에 400~600 MPa를 처리했을 때 α -amylase와 β -amylase는 활성이 증가한다고 보고했다 (Gomes *et al.*, 1998). 하지만 400~600 MPa의 범위에서가 아닌 600 MPa에서 20분간 압력을 처리했을 때에는 활성이 점차 감소하는 경향을 보였고 700~800 MPa 압력범위에서는 현저하게 활성이 감소했다고 한다. 따라서 400~600 MPa 범위에서는 starch granule이 호화(gelatinization) 되기도 하고, 가수분해를 통해 효소의 활성자리도 변형시킬 수 있으며, 700~800 MPa 범위에서는 starch granule이 호화되긴 하지만 효소의 활성은 잃어버린다. 고압처리에 의한 효소의 활성변화는 온도와 압력, 시간 등 여러 요소에 의해 효소 반응속도 및 기질과의 반응 특이성을 변화시킬 수 있으므로 고압 다른 요소의 복합처리를 통해 식품의 보존기간을 늘릴 수 있을 것이다.

6. 초고압 처리 기술의 산업적 응용 및 전망

초고압기술은 미생물과 효소를 불활성화시켜 살균의 효과를 낼 때 사용하기도 하지만, 냉동식품을 균일하게 해동하기 위해서도 사용되며, 최소가공을 통한 신선한 풍미와 조직감을 유지하고자 할 때도 이용된다. 특히, 해산물과 신선한 야채류의 경우 가열처리를 통한 살균이 어려우므로 초고압을 이용한 비가열처리를 통해 살균 할 수 있다. Table 4에서는 초고압기술이 적용된 여러 가지 식품을 소개하고 있다.

최초의 초고압가공식품은 1990년 일본에서 출시되었다. 그 후 미국, 프랑스, 스페인 등에서도 초고압기술에 관심을 갖고 신제품을 하나둘씩 내놓았다. 고압장치를 제조하는 기술적인 측면에 다소 어려움이 있어 초고압기술을 산업화하는데 제한을 받았으나 최근에는 여러 국가에서 초고압기술을 산업적으로 사용하고 있는 추세이다.

사과 농축액이나 사과주스에서 발견된 patulin은 *Aspergillus*, *Penicillium*, *Bysochlamys*에서 생성되는 독소 물질로 가열처리에 의해서는 유의적인 수준으로 감소되지 않는다고 한다. 하지만 사과주스에 압력을 300, 500, 800 MPa로 60분씩 처리했을 때에는 42, 53, 62 %씩 독소가 줄어들었고 온도를 50°C로 올렸을 때에는 더욱 높은 살균 효과를 얻을 수 있었다 (Bruna *et al.*, 1996).

스페인에서는 초고압기술을 햄 산업에 이용해 살균

Table 4. Example of commercial HHP applications (Cengiz *et al.*, 2004)

Product	Process condition
Jam, fruit jelly, fruit sauce topping, fruit dressing	400MPa, 10-30min, 20°C
Grapefruit juice	120-400MPa, 2-20min, 23°C
Madarin juice	300-400MPa, 2-3min, 20°C
Non-frozen tropical fruits	50-200MPa
Minced beef muscle	330-360MPa, 10-30min
Tenderized beef	100-150MPa, 30-40min, 20°C
Orange juice	500MPa, 5-10min, cycles plus 1min hold
Avocado and guacamole	600MPa
Banana puree	517-689MPa, 10min
Apple and cranberry juices	689MPa, 1s, 60°C

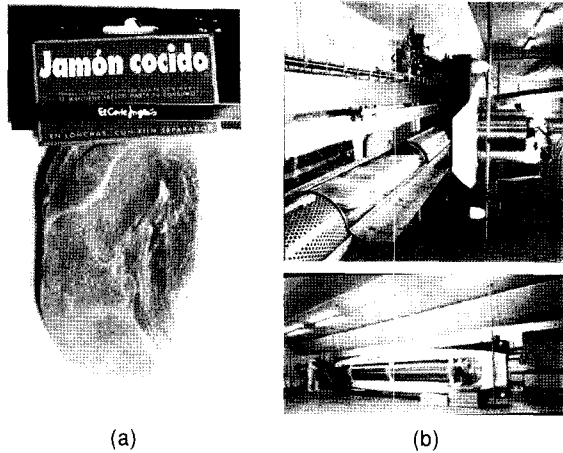


Fig 2. (a) Sliced ham under high pressure treatment (Spain) and (b) high pressure processing unit for ham processing (Alstom, France).

및 저장 안정성 효과를 얻고 있다(Fig 2). 육가공제품에 대한 압력처리는 육류를 부드럽고 연하게 만들어 육류의 숙성, 저장성, 조직 특성 및 맛을 향상시키는데 초고압 기술을 이용하기도 한다. Ueno(1999)는 육류에 대한 압력처리를 통해 근조직과 세포막을 관찰하였고, 압력에 따른 조직변화를 연구하였다. 일본 기업 Fuji Mittergam에서도 육가공제품의 육질을 연하게 만들고 조직감 및 식감을 높여주는데 초고압기술을 이용하고 있다. 이외에도 세계 유명 식품회사에서 초고압기술에 관심을 갖고 응용제품을 개발하는데 힘쓰고 있다. 또한 초고압은 *Vibrio* 종에 대한 살균능력이 있어 해산물가공 산업에도 널리 이용되고 있다.

초고압을 식품의 냉동과 해동에 적용하면 효율성을 더욱 높일 수 있다. 이것은 냉동과 해동제품에 대한 고압처리를 통해 물의 상변화를 유도하고, 보다 향상된 품질을 얻게 되는 것이다. Knorr(1998)는 압력에 의한 상변화에 대해 관련용어를 다음과 같이 정의하였다.

- Pressure-assisted : 일정한 압력상태에서의 온도변화에 의한 상변화를 의미함.
- Pressure-shift : 일정한 온도에서 압력변화에 의한 상변화를 의미 함.
- Pressure-induced : 압력변화에 의해 상변화가 개시되는 것

초고압을 냉동과 해동에 적용하면 가공 시간을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 세포의 손상을 막아 식품의 품질 향상에도 도움을 준다.

초고압기술은 비가열처리로 살균을 가능하게 하여 그 이용 분야를 넓혀 왔지만, 현재는 살균의 목적 외에도 앞서 언급한 다양한 효과를 얻기 위해 초고압가공기술을 이용하고 있다. 앞으로는 초고압기술과 다른 가공기술의 접목을 통해 우리가 원하는 효과를 극대화할 수 있을 것이다. 세계적으로 초고압에 대한 관심이 더욱 커져가고 있는 상황이므로 식품산업에 대한 초고압가공기술의 적용범위는 점차 넓어질 것으로 예상된다.

참고문헌

1. Askar, A., 1998, Minimally processed tropical fruits. *Fruit Processing*, 8, 339.
2. Balci, A.T., and Wilbey, R.A., 1999. High pressure processing of milk-the first 100 years in the development of new technology. *International Journal of Dairy Technology*, 52:149-155.
3. Balny, C., and Masson, P., 1993, Effect of high pressures on proteins. *Food Reviews International*, 9(4), 611-628.
4. Bodanszky, A. and Kauzmann, W., 1962, *Journal of Physical Chemistry* 66, 177.
5. Bridgman, P.W., 1914, The coagulation of albumen by pressure. *J. Biol. Chem.*, 19(1): 511-512.
6. Bruna, D., Voldoich, M., Marek, M., and Kamarad, J., 1996, Effect of high-pressure treatment on patulin content in apple concentrate. In Heremans, K. (Ed), *High Pressure Research in the Biosciences and Biotechnology*, Belgium: Leuven University Press.
7. Cengiz Caner, Ruben J. Hernandez and Bruce R. Harte, 2004, High-pressure Processing Effects on the Mechanical, Barrier and Mass Transfer Properties of Food Packaging Flexible Structures: A Critical Review, *Packg. Technol. Sci.* 17:23-29.
8. Certes, A., Cochin, D., 1884, *Comptes Rendus des Seances et Memories de la Societe de Biologie* 36, 639.
9. Chung, Y. C., Gebrehiwot, A., Farkas, D. F., and Morrissey, M. T., 1994, Gelation of surimi by high hydrostatic pressure, *J. Food Sci.*, 59(3):523-524, 543.
10. Eshtiagh, M. N., Stute, N., and Knorr, D., 1994, High-pressure and freezing pretreatment effects on drying, rehydration, texture and color of green beans, carrots and potatoes, *J. Food Sci.*, 59(6):1168-1170.
11. Farr, D., 1990, High-pressure technology in food industry. *Trends in Food Science and Technology*, 1:14-16.

12. Gomes, M. R. A., Clark, R., and Ledward, D. A., 1998, Effects of high pressure on amylases and starch in wheat and barley flours, *Food Chem.*, **63**(3): 363-372.
13. Gould, G.W. and A.J.H. Sale., 1970, Initiation of germination of bacteria spores by high hydrostatic pressure. *J. Gen. Microbiol.* **60**(3): 335-346.
14. Hite, B.H., Giddings, N.J., Weakly, C.E., 1914, The effects of pressure on certain microorganisms encountered in the preservation of fruits and vegetables. *Washington, Va. University, Agriculture Experiment Station, Bulletin*, **146**, 1-67.
15. Hong Seok-In and Park Wan-Soo, 1999, Effect of High Hydrostatic Pressures on Biological systems, *Food Engineering Progress*, Vol. 3, No. 3, 123-133.
16. Iametti, S., Donnizzelli, E., Pittia, P., Rovere, P. P., Squarcina, N., and Bonomi, F., 1999 Characterization of high pressure treated egg albumen, *J. Agric. Food Chem.*, **47**: 3611-3616.
17. Iwahashi, H., Obuchi, K., Fujii, S., Fujita, K., and Komatsu, Y., 1996, The reason why trehalose is more important for barotolerance than hsp104 in *Saccharomyces cerevisiae*. In Heremans, K. (Ed), *High Pressure Research in the Biosciences and Biotechnology*, Belgium: Leuven University Press.
18. Jaenicke, R., 1981, Enzymes under extreme conditions, *Ann. Rev. Biophys. Bioeng.* **10**: 1-16.
19. Kato, M., Hayashi, R., 1999, Effects of high pressure on Lipids and Biomembranes for understanding High-Pressure-Induced Biological Phenomena, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **63**(8): 1321-1328.
20. Knorr, D., Schlueter, O., and Heinz, V., 1998, Impact of high hydrostatic pressure on phase transitions of foods, *Food Technol.*, **52**(9): 42-45.
21. Kumeno, K., Nakahama, N., Honma, K., Makino, T., and Watanabe, M., 1993, Production and characterization of a pressure-induced gel from freeze concentrated milk, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **57**(5): 750-752.
22. Lechowich, R. V., 1993, Food safety implications of high hydrostatic pressure as a food processing method, *Food Technol.*, 1993, **47**(6): 170-172.
23. Ludwig, H. and Schreck, C., 1996, The inactivation of vegetative bacteria by pressure. In Heremans, K. (Ed), *High Pressure Research in the Biosciences and Biotechnology*, Belgium: Leuven University Press.
24. Marquis, Robert E., 1976, *Adv. Microbial Physiol.*, **11**: 159-241.
25. Mertens, B., 1993, Development in high pressure food processing. 2. *Lebensm Technol.*, **44**, 100.
26. Mills, G., Earnshaw, R. and Patterson, M. F., 1998, Effects of high hydrostatic pressure on *Clostridium sporogenes* spores, *Lett. Appl. Microbiol.*, **26**: 227-230.
27. Owen, B.B. and Brinkley, S. R., 1941, *Chemical Reviews* **29**, 461.
28. Ponce, E., Pla, R. Mur-Mur, M., Gervilla, R. and Guamis, B., 1998, Inactivation of *Listeria innocua* inoculated in liquid whole egg by high hydrostatic pressure., *J. Food Prot.*, **61**, 119.
29. Raso, J., Barbosa-Canovas, G. V., and Swanson, B. G., 1998, Sporulation temperature affects initiation of germination and inactivation by high hydrostatic pressure of *Bacillus cereus*, *J. Appl. Microbiol.*, **85**: 17-24.
30. Rastogi, N. K. and Niranjana, K., 1998, Enhanced mass transfer during osmotic dehydration of high pressure treated pineapple. *J. Food Sci.*, **63**(3): 508-511.
31. Rastogi, N. K., Raghavarao, K.S.M.S., Balasubramaniam, V.M., Niranjana, K., Knorr, D., 2007, Opportunities and Challenges in High Pressure Processing of Foods, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **47**: 69-112.
32. Reddy, N. R., Solomon, H. M., Fingerhut, G. A., Rhodehamel, E. J., Balasubramaniam, V. M., and Palaniappan, S., 1999, Inactivation of *Clostridium botulinum* Type E spores by high-pressure processing, *J. Food Safety*, **19**: 277-288.
33. Renard, P., 1891, *Recherches Expérimentales sur les Conditions Physiques de la Vie dans les Eaux*. Masson et Cie, Paris.
34. San Martin, M.F., Barbosa-Canovas, G.V., Swanson, B.G., 2002 *Food Processing by High Hydrostatic Pressure*, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **42**(6): 627-645.
35. Thakur, B.R., and Nelson, P.E., 1998, High pressure processing and preservation of foods. *Food Reviews International*, **14**(4), 427-447.
36. Ueno, Y., Ikeuchi, Y., and Suzuki, A., 1999, Effects of high pressure treatments on intramuscular connective tissue, *Meat Science*, **52**: 143-150.
37. Wuytack, E. Y., Boven, S., and Michiels, C. W., 1998, Comparative study of pressure-induced germination of *Bacillus subtilis* spores at low and high pressures *Appl. Environ. Microbiol.*, **64**(9): 3220-3224.
38. Yayanos, A. A., 1975, *Biochimica et Biophysica Acta* **392**, 271.
39. Zobell, C.E., 1970, Pressure effects on morphology and life processes of bacteria. In: High Pressure effects on cellular process. A.M Zimmerman (ed). Acad. Press., New York, USA.
40. Zook, C. D., Parish, M. E., Braddock, R. J., and Balaban, M. O., 1999, High-pressure inactivation kinetics of *Saccharomyces cerevisiae* ascospores in orange and apple juices, *J. Food Sci.*, **64**(3): 533-535.