

# 비열 식품가공 기술의 최신 동향

박 지 용 교수  
(연세대학교)



# 비열 식품가공 기술의 최신 동향

박 지용

연세대학교 생명공학과

## 서 론

최근 소비자들의 건강에 대한 관심이 높아짐에 따라 가공식품에 대한 안정성과 위생성이 강조되고, 건강 지향적인 식품이 요구되고 있다. 따라서 최소의 가공을 통해 자연 그대로의 품질을 유지하는 식품에 대한 관심이 높아지고 있다 (Hoover, 1997) 시장에서 신선한 제품을 찾는 경향이 강해지면서 저장수명이 긴 제품이 더 이상 **selling point**가 될 수 없으며, 소비자들은 레토르트제품 같은 열처리 식품보다 자연식품을 선호하게 되었다. 따라서 장기간 저장이 가능하도록 가공하는 식품은 오히려 어느 정도의 저장수명을 희생하더라도 품질을 향상시킬 수 있는 최소가공(minimal processing)으로 전환하는 것이 필요한 시기이다. 최소 가공법은 식품 본래의 신선한 품질을 가능한 그대로 유지하면서 안전하게 저장수명을 연장시키는 가공 방법을 말하며, 최근 “invisible processing”이라고도 불리워진다 (Ahvenainen, 1996). 식품의 저장기간을 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 (Mertens and Knorr, 1992; Ray, 1996). 이에 따라 여러 가지 비열(非熱)처리 기술 (non-thermal process)과 무균 포장 기술이 활발히 연구되고 있으며, 현재 식품 산업에서 개발되고 있는 비열처리 기술은 물리적 방법으로 고전압 펄스 전기장 (high voltage pulsed electric fields, PEF), 진동 자기장 (oscillating magnetic fields, OMF), 이온화 조사 (ionizing radiation), 광 펄스 (high-intensity pulsed light), 초고압 (high hydrostatic pressure), 초음파 (ultrasonics) 등이 있으며, 화학적 방법으로는 이산화탄소, 박테리옌, 양이온 다중 고분자 (polycationic polymer)와 같은 화학 물질, 세포벽 분해 효소 (lytic enzyme) 등을 이용하고 있다 (Mertens and Knorr, 1992; Castro et al., 1993, Qin et al., 1995).

## 고전압 펄스 전기장 (high voltage pulsed electric fields, PEF)

PEF는 매우 짧은 펄스 고전압을 식품에 걸어주어 저온살균에 상당하는 효과를 가지게 하는 방법이다 PEF에 의한 미생물의 불활성화는 처리 중 온도가 거의 상승하지 않고 처리 시간이 짧으며 연속 처리가 가능하며, 처리 후에 식품의 물리적·화학적 및 영양학적인 특성이 거의 변하지 않기 때문에 최근 관심이 집중되고 있는 신기술이다. PEF는 미생물의 비열 살균뿐만 아니라 식물이나 미생물로부터 유용 성분의 추출에도 이용할 수 있는 등 그 응용 범위가 확대될 것으로 기대된다 (Knorr et al., 1994). PEF 처리는 임의의 온도에서 단시간에 행할 수 있으며, 식품의 가열에 의한 에너지의 손실을 최소화 하게 한다. PEF에 의한 살균의 경우 실험 결과 열처리에 비해 10%이상의 에너지 절감 효과가 있는 것으로 나타났다. PEF 살균이 현재 실험실 규모에서 행해지고 있지만 장차 산업적인 응용이 가능할 것이다.

### (1) PEF 발생장치

2 개의 전극 사이에 식품을 넣고 10 kV/cm 이상의 고전압 전기장을 순간적으로 방전시켜 처리하는 기술이 PEF 기술이다. 고전압 펄스를 발생하는 장치의 일반적인 그림은 Fig 1 과 같다. 이 장치의 기본적인 요소는 직류 전원 장치(DC power supply), 에너지를 저장하기 위한 충전기(capacitor), 저장된 에너지를 순간적으로 방전하는 switching 장치, 그리고 식품의 처리를 위한 용기(chamber)로 이루어져 있다. 직류 전원 장치에서 발생된 고전압의 전류는 충전기에 충전된다. 충전이 끝난 후 방전 스위치가 접촉되면 두 전극 사이의 식품을 통하여 방전된다. 일반적으로 액체 식품은 자신이 갖고 있는 이온때문에 식품 내에 고전압 펄스를 걸어주면 순간적으로(수  $\mu$  sec 내에) 용기내의 식품 속으로 고전류가 흐르게 된다. 방전이 끝나면 방전 스위치는 다시 떨어지고 충전기는 다시 충전된다. 이와 같은 충전, 방전 사이클이 매우 짧은 시간에 반복된다 이때 순간적인 방전이란 m sec 에서  $\mu$  sec 단위로 일어나며, 펄스와 펄스 사이의 간격은 펄스 폭보다 훨씬 길게 만든다 식품에 펄스를 반복 처리하여도 실제 처리 시간은 매우 짧기(1 sec 이하) 때문에 식품은 거의 가열되지 않는다.

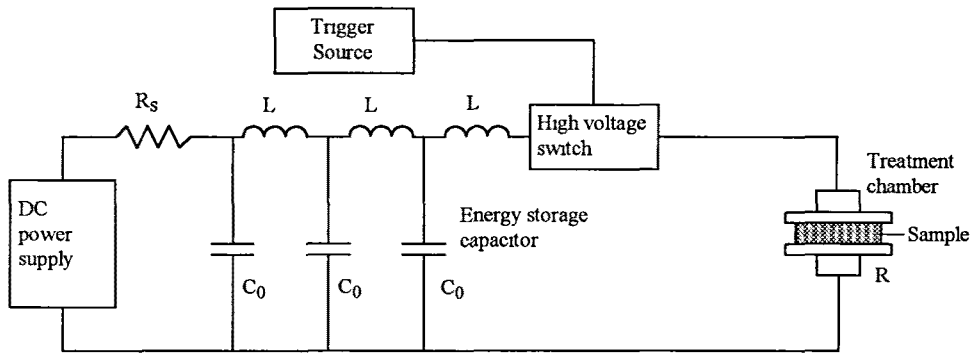


Fig. 1. Layout of a square generator using a pulse forming network of three capacitor-inductor units.

### (2) 용기 설계 (chamber design)

식품에 전기장이 균일한 세기로 처리되고, 정확한 파형의 형성 및 운전의 안전성을 위해서는 처리 용기의 설계가 매우 중요하며, 특히도 이에 관련된 것이 많이 있다. 일반적으로 처리 용기는 두 전극을 고정시키고, 식품을 새지 않게 담을 수 있는 polysulfone 과 같은 절연 물질로 구성되어 있다. 전극의 배치는 평행한 판형(plates)이나 선형(wires), 동심의 실린더형, 그리고 막대 판형(rod-plate)등이 가능하다. 이 중 평행한 판형의 전극은 균일한 전기장을 형성할 수 있으며, 넓은 면적을 사용할 수 있어 가장 이상적인 형이라 할 수 있다. 반면에 동심의 실린더형은 식품을 균일하고 평탄하게 흐르게 할 수 있어 실제 산업적 적용에 큰 장점을 갖고 있다

회분식 처리 용기(static treatment chamber)로는 Fig 2 에 나타낸 판형 전극이 사용되며, 전극은 설계시 액상 식품의 유전 파괴(dielectric breakdown) 가능성을 줄일 수 있고, 전기장의 불균일성을 최소화할 수 있는 round-edge 의 disk 형 전극을 사용한다 고전압 전기장을 연속적으로 받을 경우 전극 자체가 가열되어 식품에 열을 전할 수 있기 때문에 처리시에 낮은 온도를 유지하기 위해서는 전극을 냉각시킬 수 있는 장치가 연속식 처리 용기(continuous flow treatment chambers)를 설계하기 위해서 필수적이다.

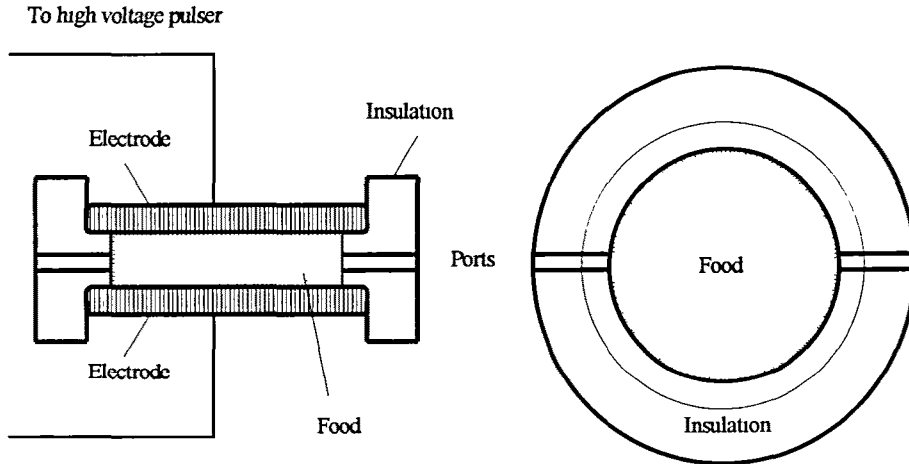


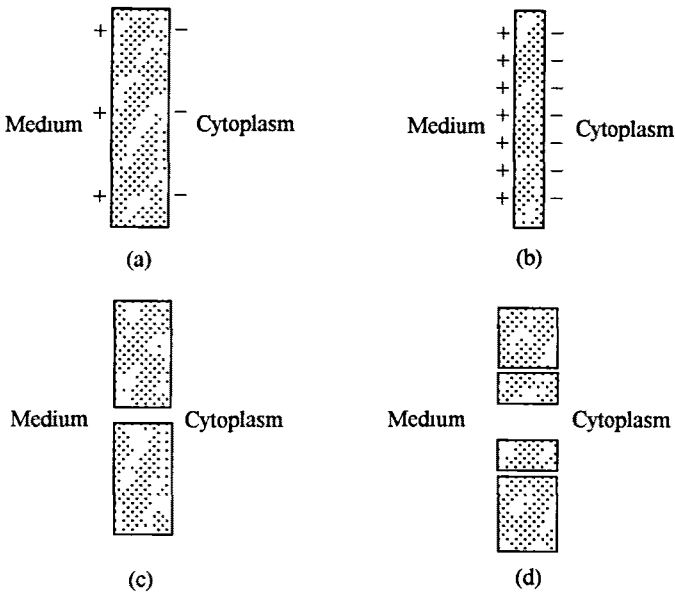
Fig. 2. Schematic drawing of static treatment chamber. Electrodes are positioned horizontally at work.

### (3) PEF 에 의한 살균

고전압 펄스 전기에 의해 미생물이 불활성화되는 기작에 대해서는 몇몇 연구 그룹에서 논의 되었으나, 최근의 연구 결과에서는 세포막의 손상이 세포의 불활성화의 직접적인 원인인 것으로 알려져 있다. 외부 전기장에 의하여 유도되는 세포막 사이의 전위가 1 V 이상이 되면 치사 효과가 나타난다. 임계막 전위 1V 이상에서 치사 효과를 나타내는 명확한 기작은 밝혀져 있지 않으나 1V 이상이 되면 세포의 투과성이 급격히 증가하는 것이 관찰되었다. Zimmermann (1974)의 전기 파괴 모델을 Fig 3에 나타내었다. 세포막이 약 2~10 kV/cm의 강도를 가진 고전압 전기장에 약 20 ns~10 ms정도 노출되면 가역성 세공(pore)이 형성된다. 즉 전기장이 제거되면 막은 초기의 정상적인 상태로 돌아가게 된다. 그러나 노출 시간이 10~15 ms 이상이면 세포막은 비가역적인 손상을 입게 된다. 세포막은 축전지로서 간주할 수 있다. 세포막의 이중 구조(bilayer structure)는 약 2정도의 작은 유전 상수를 갖는(물의 유전 상수는 약 80) 유전체이다. 결과적으로 양쪽 막표면에 자유 전하가 축적되어 외부에서 전기장 펄스가 가해졌을 때 세포막 사이의 전위차를 증가시키게 된다. 세포막 표면에 발생한 전하는 반대 전하를 갖고 따라서 두 전하 사이에 인력이 작용하게 된다. 이 힘은 세포막을 압축시키고 막의 두께를 감소시킨다. 두께가 감소된 세포막 사이의 인력은 증가하게 되고 증가한 인력이 세포막의 두께를 더욱 감소시키며, 동시에 세포막 양쪽의 같은 전하들은 반발력을 형성하게 된다. 이러한 작용이 계속되면 결국, 세포막에 세공(pore)이 형성되고 외부 전기장의 세기가 어느 값 이상이 되면 비가역성 세공이 형성되어 세포는 사멸된다.

PEF에 의한 미생물의 치사 효과에 미치는 가장 직접적인 영향 인자는 전압의 세기와 처리 시간(반복 처리 했을 경우, 펄스수×펄스폭)이다. 즉, 전압의 세기를 증가시키거나 처리 시간이 길면 치사 효과는 증가한다. 미생물의 종류에 따라 임계 최저 전기장 세기( $E_c$ )가 존재한다. 또한, 미생물의 종류와 배지에 따라 임계 최소 처리 시간 이상 처리하여야 한다. 그러나 처리 시간이 너무 길어지면 식품이 가열되므로 비열처리로서는 적합하지 못하게 된다. Jayaram et al. (1992)은 처리 시간을 길게 하는 것보다 전기장의 세기가 강할수록 *Lactobacillus brevis*를 사멸시키는데 효과적이라고 하였다. 여

러 연구 보고에 의하면 효과적으로 세포막의 비가역적인 파괴를 일으키기 위한 임계 전기장의 세기는 약 25 kV/cm 라고 한다.



**Fig. 3. Diagram of reversible and irreversible electric breakdown. (a) Cell membrane with a potential  $V_m$ , (b) membrane compression, (c) pore formation, (d) large pores are formed irreversible breakdown.**

식품의 전기 전도도 역시 치사 효과에 영향을 미친다 (Zhang et al, 1994a; Jayaram et al, 1993) 전기 전도도가 작을수록 고전압 펄스 처리가 효과적이며, 전기 전도도가 클수록 높은 전류가 흐르게 되고 에너지 소비도 증가하게 되어 열이 생성된다. 고전압 펄스 처리를 비열처리로 운전하기 위해서는 처리 시료의 전도도에 따라서 전기장의 세기와 처리 시간의 조합이 이루어져야 할 것이다. 몇가지 식품의 전기 전도도는 살펴보면 사과 주스(15℃) 1750, 우유(15-20℃)는 3850-4550, 오렌지 주스(42℃)는 4270, 달걀 흰자(10℃)는 6450  $\mu\text{S/cm}$  이다.

현재 고전압 발생 장치를 통해 일반적으로 사용되고 있는 파형은 exponential decay 파와 square 파가 있으며, square 파는 주어진 일정 시간내에 0 V에서 최대치까지 전압이 상승한 뒤 일정 시간 유지 후 바로 0 V로 감소하는 파형을 말한다. Square 파는 system의 에너지가 열로 전환되는 것을 최소화할 수 있을 뿐만 아니라 Zhang et al (1994b)은 square 파가 exponential decay 파 보다 효모를 사멸시키는데 더 효과적이라고 보고하였다

Gossling (1960)은 미생물을 파괴시키기 위하여 처음으로 고전압 펄스를 이용할 것을 제안하였으며, 유전공학 분야에서는 유전자를 재조합하는데 electroporation 또는 electrofusion 방법을 개발하였다 식품 산업에서도 고전압 펄스 전기장이 에너지 소비가 큰 기존의 식품 저장법이나 식품 보존제를 대체할 수 있는 혁신적인 기술로서 개발되고 있으며, 대부분 소규모의 고전압 펄스 처리 장치와 모델 식품을 사용하여 고전압 펄스가 열이 발생되지 않으면서 미생물에 대한 치사 효과가 있음을 증명하기 위한 연구를 하였다.

PEF에 의한 영양 세포의 불활성화 연구 결과를 살펴보면 Zhang et al. (1994a)은 70 kV/cm의 세기로 *E. coli*를 9 log cycle 만큼 감소시킬 수 있었다고 하였으며, Zhang et al. (1994c)은 광섬유 온도 센서와 처리 용기 내의 온도를 조절하여 고전압 펄스 전기장에 의한 미생물의 불활성화는 비열 처리임을 입증하였다. 일반적으로 효모의 불활성화가 세균보다 용이하며, 대수 증식기의 세포가 정지거나 유도기 상태의 세포보다 불활성화가 용이하다.

Castro et al. (1993)과 Matsumoto et al. (1991)은 고전압 펄스가 *Bacillus subtilis* 포자를 불활성화시키지 못한다고 하였으며, 또한 Murata (1993)는 효모 포자는 고전압 펄스에 의해서 쉽게 파괴되지만 박테리아 포자의 경우에는 치사 효과를 관찰하지 못했다고 보고하였다. 그러나 5.4 kV/cm의 세기로 900  $\mu$ s 동안 처리하면 *Bacillus subtilis* 포자 표면에 약간의 흠집이 생기고 포자 내부의 성분이 작게 부서지는 현상을 TEM 사진에 의해서 관찰할 수 있었다(Yonemota et al., 1993). 다시 말해서 고전압 펄스가 포자의 발아를 유발할 수 있을 것으로 예상된다. 이러한 결과를 이용하여 Zhang et al. (1996)은 초음파 처리로 포자를 발아시킨 후 30 kV/cm의 고전압 펄스 처리를 함으로서 *Bacillus subtilis* 포자를 90% 이상 사멸시킬 수 있다고 하였다.

#### (4) PEF를 이용한 추출

식물성, 동물성 세포로부터 즙액을 추출하는 방법으로 전기 원형질 분리(electroplasmolysis)를 이용하고 있다. 동·식물세포에서 대상 물질을 추출할 때 수율을 높이기 위해서는 저항력이 가장 큰 원형질막을 파괴하여야 하는데 PEF를 걸어주면 세포 구조에 손상을 주어 추출 효율을 증대시킬 수 있다. Rogob (1988)에 의하면 과일과 야채 중의 즙액의 함유량은 90~95%에 달하지만 일반적인 추출법 즉 기계적, 열적, 효소적 방법에 의해서는 추출량이 50~60% 밖에는 되지 않는다. 전기 원형질 분리는 열 원형질 분리와는 달리 세포벽을 파괴하지 않기 때문에 즙액내로 펙틴 물질의 이동이 일어나지 않으며 처리 시간이 짧고 장치 구성이 간단한 장점을 가지고 있다. 전기 원형질 분리가 일어나는 전기장의 크기는 약 5~15 kV/m로 세포 원형질막 선택적으로 가열, 파괴되지만 즙액의 온도는 거의 증가하지 않는다. 전기 원형질 분리가 크지 않은 전기장(40kV/m 이하)에서 일어나면 세포의 생리 기능은 완전히 파괴되지 않으며, 부분적으로나마 복원된다. 실제 예로서 미세하게 분쇄한 사과를 10<sup>5</sup> Pa의 압력으로 압착하였을 경우 사과 주스의 수율은 67~68%이었으나, 동일 압력하에서 전기 원형질 분리를 병행하였을 때는 분쇄 정도에 큰 관계없이 사과 주스의 수율을 약 78%까지 향상시킬 수 있었다. Geulen et al. (1997)은 당근을 거칠게(30 mm 입자) 혹은 미세하게(1.5 mm 입자) 파쇄하여 2.6 kV/cm의 고전압을 처리한 후 상온에서 10 MPa로 5분간 압착한 결과 재래 수율 51.3%에 비하여 최대 수율 76.1%를 얻었다. 고전압 처리하여 얻은 주스의 품질은 45℃에서 80분간 pectinase 처리를 한 시료에 비하여  $\beta$ -carotene 함량은 높았으며 약간 밝은 색을 띠었다.

고전압 전기장 기술은 채소 및 과일 주스의 추출뿐만 아니라 식물 세포로부터 색소를 추출하는데 유용한 것으로 보고되고 있다. Dornenburg and Knorr (1993)은 적색 색소를 생성하는 *Chenopodium rubrum* 세포를 상온에서 1.6 kV/cm, 10 pulse 처리한 결과 생성된 amaranthin 색소가 거의 100% 추출물내로 배출된 것으로 보고하고 있다. 또한 *Morinda citrifolia* 세포로부터 anthraquinone의 추출에도 효과가 큰 것으로 보고하고 있다.

그 밖의 이용 예로서 Abara et al. (1992)은 밀가루 반죽에 고전압 처리(50 kV, 20 min)를 한 결과,

빵을 굽는 동안에 수분 손실이 줄어들고 처리를 하지 않은 시료에 비해서 처리한 시료로 제작한 빵의 저장 수명이 길다고 하였다. Urano et al. (1993a, 1993b)은 electrofusion 을 이용하여 응집성이 없는 맥주 발효 효모를 응집성이 있는 효모로 전환시켰다. 장치면에서는 Bushnell et al. (1991)이 유제품, 과일 주스 그리고 액체 달걀 제품과 같은 식품의 저장 수명을 연장하기 위한 연속 고전압 펄스 처리 장치에 대한 특허를 취득하였다. Sitzmann and Munch (1988)는 폐수 처리에 고전압 펄스를 이용하기도 하였다.

### 진동자기장 (oscillating magnetic fields, OMF)

20세기 초부터 자기장이 미생물의 성장에 영향을 미친다는 것은 알려져 왔다 (Hoover, 1997) 적절한 조건하에서는 OMF가 식품을 살균하는 데 사용될 수 있다 (Pothakamury et al, 1993) 그러나 OMF 기술의 산업적인 이용은 효과가 일정하지 않고 처리 제품의 두께에 대한 제한 때문에 실용화 되지 않고 있다. 식품을 5 - 50 Telsa와 5 - 500 kHz 강도의 single pulse OMF에 노출시켰을때 최대 약 2 log cycle의 미생물 수가 감소되었으며, 20°C의 오렌지주스를 416 kHz의 pulse로 처리하였을 때 총세균수  $2.5 \times 10^4$ 가 6 CFU/mL로 감소되었다 (Hofmann, 1985). 그러나 이러한 살균을 위하여서는 식품은 높은 저항 (10 - 25 ohms/cm)을 가지고 있어야 하며 식품의 두께에 따라 그 효과가 차이가 났다. 고 강도의 OMF는 magnetic coil 주변에만 주로 존재하며 coil로부터 아주 짧은 거리 내에서도 강도가 급감한다 자기장은 미생물의 성장을 반대로 유도할 수도 있으며, 효소나 포자형성균에는 거의 영향이 없다. OMF system의 식품 응용에는 Table 1과 같다. 그러나, 식품가공 방법으로써의 OMF의 응용은 아직 미지수이며, 보다 많은 연구가 수행된 후이나 가능할 것 같다.

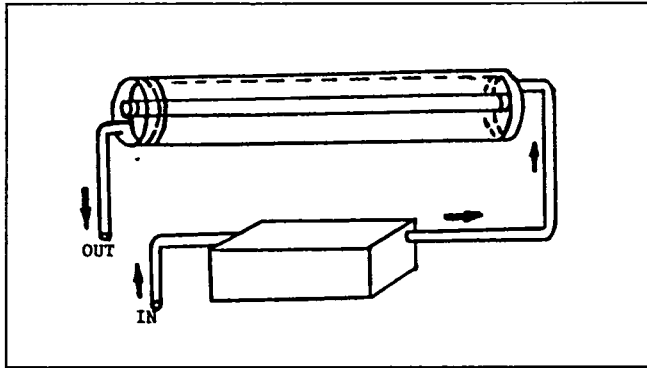
**Table 1. Magnetic field inactivation of microorganisms (Hofmann, 1985)**

Microorganisms	Magnetic field intensity (T)	Number of pulses	Frequency (kHz)	Initial number (per mL)	Final number (per mL)
<i>Streptococcus thermophilus</i> in milk	12	1	6	25,000	970
<i>Saccharomyces</i> in orange juice	40	1	416	25,000	6
<i>Saccharomyces</i> in yogurt	40	10	416	3,500	25
Mold spores in "Brown N serve" rolls	7.5	1	8.5	3,000	1

### 광 펄스 (high-intensity pulsed light)

광 펄스를 이용하는 기술은 capacitor로 부터 얼마나 빠르고, 고 강도로 증폭된 빛 또는 전기 에너지를 만들어 내는가에 달려있다 (Dunn et al., 1995) 광 펄스에 노출시키면 식품 표면의 온도가 증가하고 이로 인해 표면 미생물이 불성화 된다. 사용되는 광 펄스는 170 - 2600 nm 의 파장을 가진 빛이 사용된다. 광 펄스 에너지는 0.01 - 50 J/cm<sup>2</sup>로 다양하며, 펄스 시간은 1 μs - 0.1 s로 변화시킨다 (Dunn et al, 1988). 광 펄스는 gas-filled flashlamp 또는 spark-gap discharge apparatus를 이용하여 발생시킨다 (Fig. 4)





**Fig. 4. Schematic view of pulsed light processing system to treat pumpable foods flowing in a direction parallel to one or more elongated incoherent light sources (Dunn et al., 1988).**

광 펄스의 파장은 매우 길기 때문에 작은 분자의 이온화를 일으키지 않으며, non-pulsed 또는 연속 파장 자외선 (UV) 보다 살균 효과가 매우 크다. 광 펄스 처리는 모든 종류의 박테리아와 진핵 미생물에 살균 효과가 있으며, 여러 번의 pulse ( $1 \text{ J/cm}^2$  per flash)를 이용할 경우 7 - 9 log CFU/cm의 감소가 가능하였다.

이러한 광 펄스의 응용은 빛이 식품 표면이나 투명한 매개체 (포장재 또는 물)를 통과할 수 있는 경우에 한한다. 빛을 차단하는 층이나 균열을 가진 복잡하고, 불규칙한 표면은 빛으로부터 미생물이 노출되는 것을 보호하여 1 - 3 log cycle의 감소 효과를 가져왔다 (Dunn et al, 1995) FDA에 광 펄스를 식품가공에 이용하는 것을 허가 신청중에 있으며, 산업적으로 이용하기에 경제적인 측면에서도 가능성이 높다. 보다 많은 연구를 수행하여 응용 가능 제품을 개발하고, 이 공정의 장단점을 이해하는 것이 필요하다.

### 초음파 (ultrasonics)

초음파의 식품에의 응용은 고주파 (0.1 - 20 MHz), 낮은 power의 초음파를 식품의 비파괴 분석에 이용하는 것이 주 이었다 (Gunasekaran and Ay, 1994) 초음파를 살균의 목적으로 단독으로 사용하는 것은 효과가 없으며, 다른 살균 방법과 병행하여 사용하면 효과가 있다고 본다. 이 분야의 많은 문헌들은 가급류나 우유와 같이 쉽게 부패되는 식품에 성장하는 그람 음성 병원성균에 대한 연구에 대하여 언급하고 있다 (Lillard, 1994). 대부분의 model system에 사용되는 대상 물질은 액체로 예를 들면 초음파로 10분 처리한 peptone water에 있는 salmonella 균을 4 log cycle 감소 시켰으나 초코릿 밀크의 경우 0.8 log cycle 밖에 감소시키지 못했다 (Lee et al., 1989). 초음파는 효소나 포자형성균에 거의 효과가 없기 때문에 특히 살균을 목적으로 산업적으로 이용되려면 다른 방법과 병행하여 사용하던 단독으로 사용하던 간에 확실한 살균 효과를 지속적으로 보인다는 것을 입증하여야 한다.

## 초고압 (high hydrostatic pressure)

초고압기술은 Hite (1899)에 의해 식품가공에 처음으로 시도되었고, 1914년 Bridgman (1974)은 난백 단백질이 압력에 의해 변성되는 현상을 발견하였고, Timson and Short (1965)는 원유(raw milk)가 압력에 영향을 받는 것을 관찰하였다. 그러나 지금까지 많은 연구가 진행된 것은 아니며 100여년이 지나면서도 초고압기술에 대한 연구가 미비했던 점은 실험에 필요한 초고압기의 제조에 기술적, 경제적 문제점이 있었기 때문이다. 초고압이 식품에 미치는 영향에 대한 연구가 미비했던 반면 해양미생물의 생리에 대한 연구는 활발히 진행되어 왔는데 여기서 축적된 정보들은 압력에 의한 미생물의 살균 등 압력이 식품에 미치는 영향을 연구하는데 많은 도움이 되었다 (Marquis, 1976; Heremans, 1982) 심해의 압력은 10미터 깊어짐에 따라 약 1기압정도씩 증가한다. 따라서 가장 깊은 해저에서 발생하는 압력은 약 1100 기압정도이다 (Marquis, 1976). 식품에 응용하는 초고압의 범위는 6000 기압 이상으로 응용범위가 심해의 압력에 비해 매우 높으나 기본적인 이론 바탕은 앞에서 언급한 바와 같이 해양생물학에서 나왔다.

초고압은 식품의 조리, 가공, 보존에 있어서 열처리와 비교되는데 기존의 열처리가 단백질의 변성, 단백질의 응집, 전분의 호화, 화학적 변화, 효소의 불활성화, 살균, 기생충의 사멸 등에 영향을 미치는 반면 초고압은 열처리의 장점을 대체로 유지하고 maillard reaction, 비타민의 파괴, 천연적 맛의 손실과 같은 열처리에서 유발되는 화학적 변화를 최소화한다는 점에서 차이가 있다 (Hayashi, 1989) 초고압 기술이 최근 들어 식품의 개발에 직접 응용되면서 1990년대 초에 일본에서는 초고압을 이용해 과일 잼을 생산하기에 이르렀다. Horic et al. (1991)은 잼을 만들어 본 결과 열처리를 통해 발생하는 향과 색깔의 변화가 적고 과일 특유의 성질이 유지된다고 보고하고 있다.

### (1) 초고압기술의 특징

초고압기술의 가장 기본적인 원리는 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, 고압하에서는 몰 부피가 감소하는 방향으로의 반응들이 촉진된다는 것이다 (Marquis, 1976). Table 2에 압력이 생물학적으로 중요한 화학결합에 미치는 영향이 요약되어 있다. 고압의 특징중의 하나는 압력이 고유결합에는 영향을 미치지 않고 비공유결합에 영향을 미친다는 것이다. . 물이 수소이온과 수산화기로 나뉘는 반응 ( $H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$ )의 경우 1 mole의 물이 해리 되어 수소이온과 수산화기로 나뉠 때마다 21.3 mL의 부피감소가 일어난다. 따라서 압력은 물의 해리를 촉진하게 되어 25℃, 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 소수성결합을 포함하는 단백질(효소 포함)들이 압력에 의해 변성되는 이유를 설명해 준다. 공유결합이나 수소결합의 경우 이들 결합이 파괴될수록 몰 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 관찰되었다 (Marquis, 1976).

**Table 2. Volume changes associated with chemical bond breakage at 25 °C**

Bond type	Example	$\Delta V$ (mL/mole)	Effect of pressure
Covalent	C—C	+12	Inhibits bond breakage
Ionic	H <sub>2</sub> O → H <sup>+</sup> + OH <sup>-</sup>	-21	Disrupts electrostatic interactions
Hydrophobic	CH <sub>4</sub> in hexane → CH <sub>4</sub> in Water	-23	Disrupts hydrophobic interactions
Hydrogen	—OH...OH— → —OH + OH—	+4	Enhances hydrogen bonding

Isostatic pressure는 오래 전부터 금속, 세라믹 등의 물질로 부터 혁신적인 신물질을 생산하기 위해 사용되어 왔다. 낮은 온도(상온~250 °C)에서 액체를 압력 매체로 하여 분말재료를 성형하는 CIP (cold isostatic pressure)와 보통 압착 상태 동안 화학반응을 필요로 하는 생산물에 사용하는 성형기술인 WIP (warm isostatic pressure) 그리고 높은 온도(최고 2000 °C)에서 기체를 압력 매체로 하여 금속분말을 가공하는 HIP (hot isostatic pressure)가 보급되어 있다 (Zimmerman and Bergman, 1993; Mertens and Deplace, 1993; Deplace and Mertens, 1992) 식품에서의 초고압 처리는 바로 CIP를 이용한 기술이다. 식품의 대부분은 물로 구성되어 있어 압축율은 거의 물과 같은 10% 정도이다. 파스칼법칙에 의하면 압력은 time-delay가 없고 제품의 크기나 형태에 관계없이 모든 부분에 동일한 작용을 한다

## (2) 초고압의 이용분야

이러한 특징을 갖는 압력을 통해 얻을 수 있는 효과로는 미생물의 불활성화 (Hoover, et al, 1989), 단백질 변성 (Heremans, 1982), 효소의 활성화 또는 불활성화 (Morild, 1981), 젤 형성 (Cheftel, 1991), 추출 (Kuribayashi and Hayashi, 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 정도 부터 나타나는데 2000 기압 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 이용하여 식품에 응용하면 보존성향상, 미생물의 오염방지, 물성개량 등의 여러 방면에 이용할 수 있다.

## (4) 초고압처리가 식품에 미치는 영향

1980년대 식품가공에 이용할 수 있는 초고압기의 제조가 가능해 지면서 압력을 이용한 식품의 조리, 살균에 관한 연구가 본격적으로 시작되었다. *E. coli*는 2000 기압까지는 압력에 내성이 있으나 4000 기압 이상에서 처리하면 8 log cycle 이상의 살균효과를 보이는 것이 보고되어 있다 (Ludwig et

al., 1991). 신선초에서 착즙한 녹즙의 경우에는 초기  $8.80 \times 10^3$  CFU/mL 존재하던 것이 초고압 처리에 의해 완전히 사멸되었다 (Lee et al., 1995) 총 세균의 경우에는 부분적인 살균이 이루어졌다. 이는 그램음성세균에 비해 압력에 내성을 갖고 있는 그램양성세균 및 포자형성균(*Bacillus*, *Clostridium*)이 다수 포함되어 있기 때문이다. 포자형성균은 8000 기압 이상의 높은 압력에서 불활성화된다고 보고되고 있다 (Sale et al., 1970). Fig. 5는 녹즙의 초고압처리 결과를 contour plot한 것이다. 살균의 최적조건은 stationary point에 해당하는 점으로 5700 kg/cm<sup>2</sup> 기압에서 7.16 min 처리할 때 3.44 log cycle의 총균수 감소가 있었다 (Lee et al., 1995). 초고압 처리한 딸기잼에서 미리 첨가한 *Saccharomyces cerevisiae*의 시간에 따른 생존현상을 x를 시간 변수로 하고 y를 세균수의 log값으로 하고 plot한 결과  $y = -0.855x + 4.714$ 의 방정식으로 표시되었다 (Hori et al., 1991)

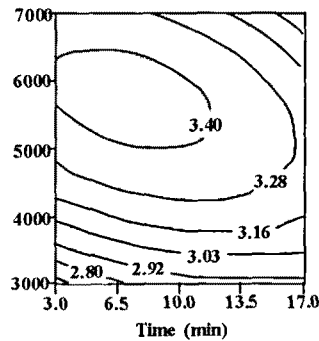


Fig. 5. Response surface contour for reduction ( $-\log N/N_0$ ) of total aerobes in *Angelica keiskei* juice as a function of pressure and time.

야채나 과일가공시에 문제가 되는 갈변현상은 maillard reaction, ascorbic acid oxidation 등의 비효소적 갈변과 polyphenoloxidase(PPO), peroxidase, lipoxygenase 등에 의한 효소적 갈변으로 구분되는데 열처리 공정이 이용될 경우 효소적 갈변화는 효과적으로 억제될 수 있으나 비효소적 갈변화는 열처리 공정중 촉진되는 문제점이 있다 초고압처리의 경우 maillard reaction에 의한 비효소적 갈변화는 효과적으로 억제할 수 있다고 보고 (Tamaoka et al., 1991)되고 있으나 갈변효소에 의한 효소적 갈변화에 초고압처리가 미치는 영향은 연구자마다 다른 결과를 보고하고 있다 Shimada et al. (1990)은 압력에 의해 감자의 효소적 갈변화가 가속화되었고, Horie et al (1991)은 600 MPa에서도 초고압 처리된 잼에서 효소활성이 여전히 존재한다고 보고하였다. Hayashi et al. (1991)은 배(Bartlett pear)에서 분리한 PPO를 400 MPa의 압력으로 10분 처리하면 PPO의 활성이 5배 증가한다고 보고하였으며, Eshitiaghi and Knorr (1993)은 0.5~1.0% citric acid를 immersion medium으로 사용하여 4000 기압에서 15분 처리하면 감자에 존재하는 PPO를 완전히 불활성화시킨다고 보고하였다. Fig. 6은 신선초에서 착즙한 녹즙을 초고압처리 했을때 PPO와 peroxidase의 불활성화정도를 반응표면분석 하여 그 결과를 contour plot한 것이다 (Lee et al., 1995). Peroxidase의 불활성화는 시간보다 압력에 의존하였으며 peroxidase를 상온에서 불활성화하려면 매우 높은 압력이 필요하다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 감귤류에 존재하는 peroxidase가 쉽게 불활성화되지 않는다는 Ogawa et al (1992)의 보고와 일치한다

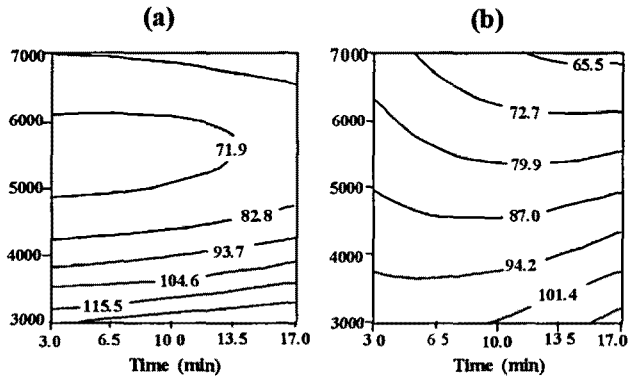


Fig. 6. Response surface contour for inactivation (%activity) of polyphenoloxidase (a) and peroxidase (b) in *Angelica keiskei* juice as a function of pressure and time.

오렌지 주스는 현탁상태(cloud)를 유지하고 있을 때 소비자에게 신선감을 부여하는데 저장기간이 길어짐에 따라 물과 고체성분의 분리가 일어나면서 cloud loss가 발생하여 주스에 대한 소비자의 선호도를 떨어뜨려 품질저하를 유발한다. Pectinesterase(pectin methylesterase, pectase)는 이러한 현상을 유발하는 효소로 과실과 야채류의 세포벽이나 세포막사이의 결합제로 작용하는 pectin을 low methoxyl pectin(또는 pectic acid)으로 분해하고 이는 주스내의  $Ca^{2+}$ 와 결합, 침전되어 cloud loss를 일으킨다 (Wicker and Temelli, 1988). 이러한 현상은 사과주스(clear apple juice)경우에는 청정화하는데 역으로 이용될 수 있다 (King, 1990). Pectinesterase를 불활성화시키기 위한 많은 노력이 이루어져 왔는데 Owusu-Yaw et al. (1988)은 양이온수지와 염산을 이용해 주스의 pH를 3.75에서 2.00으로 조정하여 pectinesterase를 불활성화시켜 12주 저장동안 냉장주스에서 cloud loss가 발생하지 않음을 보고하였다. Ogawa et al (1990)은 300~400 MPa에서 10분 동안 초고압 처리할 경우 주스중의 pectinesterase를 불활성화 시키는데 효과적이라고 보고했으며, Balaban et al. (1991)은 super critical carbon dioxide( $CO_2$ )를 pectinesterase 불활성화에 이용하였다. Fig. 7은 압력에 따른 peroxidase와 pectinesterase의 활성 변화량이다 (Ogawa et al., 1992). 과일주스의 또다른 문제점중의 하나는 비타민 C (ascorbic acid), 아미노산 등의 영양성분의 손실이다. 오렌지 주스는 55℃~70℃의 열처리 시에는 비타민 C의 손실이 적어 높은 수준을 유지하나 85℃, 2분 처리시에는 20% 이상의 손실이 일어난다. 전통적인 딸기잼과 초고압 처리한 딸기잼을 비교했을 때 열처리 잼에서 일어나는 비타민 C의 파괴를 초고압 처리한 잼에서는 발견하지 못했다고 보고 (Hayashi et al., 1991)하고 있다.

Hayashi (1989)는 45℃~50℃의 온도로 4000~5000kg/cm<sup>2</sup>로 압력 처리하면 밀, 옥수수, 감자 등의 전분이  $\alpha$ -amylase에 의해 분해가 잘 된다고 보고했다. 이러한 현상은 단백질이 압력 처리될 때 protease에 의해 잘 분해되는 현상과 비슷한 것이다 (Hayashi, 1987) 열, 압력에 의해 변성되는 단백질과 마찬가지로 전분도 열뿐만 아니라 압력에 의해 변성된다. 소화되는 압력은 전분의 종류에 따라 다르고 가압과정 동안 온도를 높이면 낮아진다. 가압처리를 할 경우 최소의 가열로 전분을 가수분해 효소에 의해 잘 분해되도록 한다 (Hayashi, 1989).

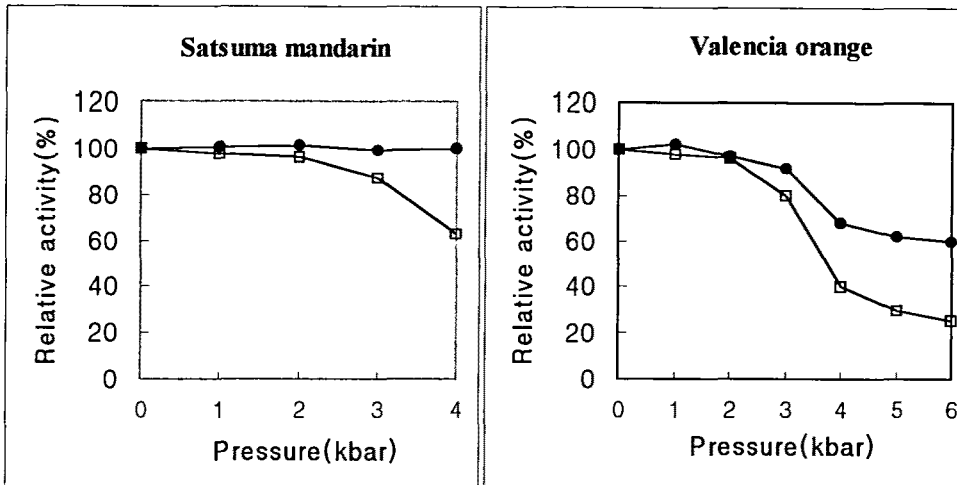


Fig. 7. Change in pectinesterase (●) and peroxidase (□) activities in freshly-squeezed, non-pasteurized citrus juices after pressurization.

초고압처리가 식품의 자연 그대로의 맛과 향을 보존하고 영양성분의 파괴가 적더라도 관능적 효과가 나쁘다면 식품으로서의 가치가 없다고 하겠다. Horie et al. (1991)은 딸기, 키위, 사과잼 등 7개 제품을 대상으로 열처리한 잼과 가압처리한 잼의 관능적 특성을 비교했다. 30명의 관능요원들중 모든 제품에서 20명 이상의 관능요원들이 가압처리된 잼을 선호했다. Watanabe et al. (1991)도 가압처리된 쌀에 대해 검사한 결과 brightness, flavor, texture 등에서 우수한 결과가 나왔다. Fig. 8은 가압처리된 신선초 녹즙을 정량적 묘사분석(QDA)을 통해 나타낸 것이다 (Lee et al., 1996) 전체적으로 저장기간이 증가할수록 초고압처리군과 대조군 모두 각각의 관능항목에서 낮았으나 초고압처리군이 대조군에 비해 상대적으로 높은 점수대를 나타내는 경향을 보였다. 이러한 결과는 초고압처리군이 무처리 대조군에 비해 품질특성을 일정하게 유지하고 있다는 것을 의미하는데 초고압처리가 녹즙중의 미생물 및 효소를 불활성화시킨데 따른 결과이다 (Sale et al., 1970)

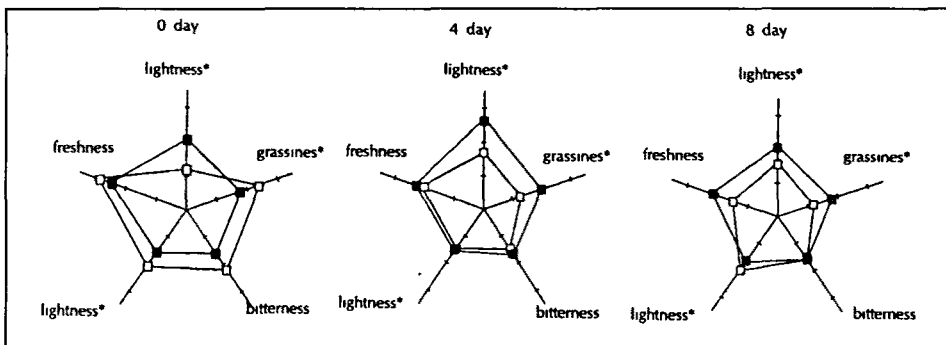


Fig. 8. Changes in sensory characteristics of pressurized *Angelica keiskei* juice (■) and non-treated *Angelica keiskei* juice (□) during storage at 4C. Based on 7-point scale (from 0 to 6) for lightness (dark – light), grassiness (weak – strong), bitterness (weak – strong), sweetness (weak – strong) and freshness (putrid – fresh). \*. different at 5% significance level.

## 향후 전망

고품질, 최소 가공 식품에 대한 소비자의 요구가 커짐에 따라 비열 식품가공 기술의 개발은 계속 될 것이다. 앞에 설명한 비열처리 기술 중 아마 산업적으로 가장 발달한 것은 초고압기술일 것이다. 초고압기술이 도입된 이래 100여년이 지난 지금 일본에서는 이미 초고압기술을 상품화하여 딸기, 사과, 키위, 무화과의 잼을 생산, 판매하였고 이외에 젤리나 소스등 15종을 발매하였다. 지금까지 상품화되기에 부적절했던 초고압기가 현실적으로 가능해지면서 나온 결과이다. 미국에서는 최근 텍사스와 멕시코 경계 지역에서 초고압 설비를 갖추고 초고압처리한 guacamole을 생산하고 있다. Table 3에 초고압기술의 응용 가능 분야 중 주목 받고 있는 분야를 개략적으로 설명하였다 (Vadim et al, 1994).

**Table 3. Potential applications of high pressure in food technology**

Pasteurization and sterilization at low or moderate temperature guarantees a better taste, flavor, color and longer shelf-life in a refrigerator, or at ambient temperature, in comparison with high sterilization
Protein modification via unfolding and aggregation results in restructuring and texturization (often tenderization) of meat, discoloration of hemoglobin (in animal blood) and inactivation of toxins.
Changes in phase transitions : Reversible decrease in the melting point of ice permits food storage at -5°C to 20°C without freezing Reversible increase in the melting point of lipids may be used for tempering chocolate Starch gelatinization at reduced temperature softens the legume seeds and cereal grains.
Gas removal or solubilization may be useful in deaeration by compression and saturation of aqueous solutions or moist foods with carbon dioxide
Extraction of constituents (such as pectin) from food, or dewatering of foods
Powder agglomeration may be used for the production of food bars, tablets, cubes, etc.
Surface impregnation or coating of various foods : Adsorption of minerals, vitamins, flavors, pigments, antioxidants, etc Encapsulation of liquids. Stabilization of Emulsions.

## 참 고 문 헌

- Ahvenainen, R.: New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables Trends in Food Sci. Technol., 7, 179-187 (1996)
- Aibara, S., Hisaki, K. and Watanabe, K.: Cereal Chem., 69(4), 465 (1992)
- 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)
- Bridgman, P.W.: The coagulation of egg albumin by pressure. J. Biol. Chem., 19(1): 511, 1974
- Bushnell, A.H., Dunn, J.E. and Clark, R.W.: High pulsed voltage systems for extending the shelf life of pumpable food products. U. S. Patent 5,048,404 (1991)
- Castro, A.J., Barbosa-Canovas, G.V. and Swanson, B.G.: Microbia; inactivation of foods by pulsed electric fields. J. Food Process Preserv., 17, 47 (1993)
- Cheftel, J.C.: Application des hautes pressions en technologie alimentaire. *Actualite des Industries Alimentaires et*

*Agro-Alimentaires*, 108(3), 141-153 (1991)

- 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)
- Dornenbug, H. and Knorr, D. Food Biotechnol. 7, 35 (1993)
- Dunn, J, Ott, T. and Clark, W.: Pulsed-light treatment of food and packaging Food Technol , 49(9), 95-98 (1995)
- Dunn, J.E., Clark, J F , Asmus, J.S , Pearlman, K B and Painchaud, F.: Methods and apparatus for preservation of food stuffs. International Patent WO 88/03369 (1988)
- Eshitiaghi, M N and Knorr, D : Potato cubes response to water blanching and high hydrostatic pressure J. Food Sci 58(6), 1371-1374 (1993)
- Farr, D High pressure technology in food industry. Trends Food Sci. Technol , 1, 14-16 (1992)
- Geulen, M., Teichgraber, P and Knorr, D.. Z Lebensmittelwirtschaft (in press)
- Gossling, B.S.: U K Patent 845,743 (1960)
- Gunasekaran, S and Ay, C : Evaluating milk coagulation with ultrasonics Food Technol 48(12), 74-78 (1993)
- Hayakawa, I, Kanno, T., Yoshiyama, K. and Fujio, Y.: Oscillatory compared with continuous high pressure sterilization on *Bacillus stearothermophilus* spores. J Food Sci., 59(1), 164 (1991)
- Hayashi, R. and Asaka M. Activation of polyphenoloxidase in pear fruits by high pressure treatment. Agric Biol Chem 55(9), 2439 (1991)
- Hayashi, R., Kawamura, Y. and Kunugi, S : Introduction of high pressure to food processing : Preferential proteolysis of  $\beta$ -lactoglobulin in milk whey. J Food Sci., 52, 1107-1108 (1987)
- Hayashi, R.: Application of high pressure to food processing and preservation. Philosophy and development. Eng. and Food, 2, 815-826 (1989)
- Hayashi, R.: Utilization of pressure in addition to temperature in food science and technology, in "High Pressure and Biotechnology" Balny, C , Hayashi, R., Heremans, K. and Masson, P.(ed.), John Libbey, London, p.185-193 (1992)
- 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)
- Hofmann, G.A.: Deactivation of microorganisms by an oscillating magnetic field U.S. patent 4,254,079 (1985)
- 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)
- Jayaram, S , Castle. G S.P. and Margaritis, A.: Kinetics of sterilization of *Lactobacillus brevis* by the application of



- high voltage pulses. *Biotech Bioeng.* 40(11), 1412 (1992)
- Jayaram, S, Castle, G.S.P. and Margaritis, A. The effects of high field DC pulse and liquid medium conductivity on survivability of *Lactobacillus brevis*. *Appl. Microbiol Biotech.*, 40, 117 (1993)
- King, K : Partial characterization of the in situ activity of pectinesterase in bramley apple. *Int. J Food Sci Technol.* 25, 188 (1990)
- Knorr, D, Geulen, M., Grahl, T. and Sitzmann W.. Food application of high electric field pulses *Trends in Food Sci Tech.*, 5, 71 (1994)
- Kuribayashi, 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, B.H., Kermasha, S. and Baker, B E : Thermal ultrasonic and ultraviolet inactivation of *Salmonella* in thin films of aqueous media and chocolate *Food Microbiol.*, 6, 143-152 (1989)
- 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)
- Lillard, H S : Decontamination of poultry skin by sonication. *Food Technol.*, 48(12), 72-73 (1994)
- 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)
- Marquis, R E : High pressure microbial physiology. *Adv Microbiol Physiol* , 11, 159-241 (1976)
- Matsumoto, Y., Satake, T., Shioji, N. and Sakuma, A.. Inactivation of microorganisms by pulsed high voltage applications. *Conf. Tec of IEEE Industrial Applications Society Annual Meeting*, 652 (1991)
- 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)
- Morild, E. The Theory of pressure effects on enzymes. *Adv in Protein Chem* , 34, 93-166 (1981)
- Murata, K · Use of microbial spores as a biocatalyst. *Critical Reviews in Biotechnology.* 13(3), 173 (1993)
- Ogawa, H., Fukuhisa, K. and Fukumoto, 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)
- Pothakamury, U R., Barbosa-Canovas, G V. and Swanson, B.G.: Magnetic-field inactivation of microorganisms and generation of biological changes *Food Technol.* 47(12), 85-93 (1993)
- Pothakamury, U R., Monsalve-Gonzalez, A., Barbosa-Canovas, G V. and Swanson, B.G.: Inactivation of *E. coli* and *S aureus* by pulsed electric field technology, *J. Food Res Intl.* Unpublished manuscript, Univ. of

- washington, Pullman (1995)
- Qin, B.L., Pothakamury, U.R., Vega, H., Martin, O., Barbosa-Canovas, G.V. and Swanson, B.G.: Food pasteurization using high-intensity pulsed electric fields. *Food Technol*, 49(12), 55 (1995)
- Ray, B.: "Fundamental Food Microbiology" CRC Press, New York (1996)
- Rogob, E.A.: 식품의 전기물리적 가공. 모스크바 농업생산 (1988)
- 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)
- Shimada, A., Kasai, M., Yamamoto, A. and Hatae, K.: Effect of hydrostatic pressurization on the palatability of foods, in Hayashi R.(ed), *Pressure Processed Food-Research and Development* San-ei Pub. Co., Kyoto, Japan p 249-261 (1990)
- Sitzmann, W. and Munch, E.-W.: *Die Fleischmehlindustrie* 40, 22 (1988)
- Tamaoka, T., Iton, N. and Hayashi, R.: High pressure effect on maillard reaction. *Agric Biol Chem.*, 55(8), 2071 (1991)
- Timson, W.J. and Short, A.J.: Resistance of microorganisms to hydrostatic pressure *Biotechnol. Bioeng.*, 7(1), 139-159 (1965)
- Urano, N., Hirishisa, S. and Koshino, S.: *Journal of Biotechnology*. 28, 237 (1993a)
- Urano, N., Hirishisa, S. and Koshino, S.: *Journal of Biotechnology* 28, 249 (1993b)
- 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)
- Yonemoto, Y., Yamashita, T., Muraji, M., Tatebe, W., Oshima, H., Kato, J., Kimura, A. and Murato, K.: *Journal of Fermentation Bioengineering*. 75(2), 99 (1993)
- Zhang, Q., Monsalve-Gonzalez, A., Barbosa-Canovas, G.V. and Swanson, B.G.: Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* by square wave and exponential decay pulsed electric fields. *J. Food Process Eng.*, 17(4), 469 (1994b)
- Zhang, Q., Monsalve-Gonzalez, A., Barbosa-Canovas, G.V. and Swanson, B.G.: Inactivation of *E.coli* and *S cerevisiae* by pulsed electric fields under controlled temperature conditions. *Transaction of ASAE* 37, 581 (1994b)
- Zhang, Q., Qin, B.-L., Barbosa-Canovas, G.V. and Swanson, B.G.: Inactivation of *E. coli* for food pasteurization by high-intensity-short-duration pulsed electric fields. *Journal of Food Process and Preservation*, *J. Food Process Preserv.* 19, 103 (1994a)
- Zhang, Q., Y. Su, and Yin Y. Inactivation of *Bacillus subtilis* spores using high voltage pulsed electric fields IFT annual meeting Book of Abstracts p 48 (1996)
- Zimmerman, F. and Bergman, C.: Isostatic high-pressure equipment for food preservation *Food Technol* 47(6), 162-163 (1993)
- Zimmermann, U., Pilwat, G. and Riemann, F.: Dielectric breakdown of cell membranes. *Biophys. J.*, 14, 881 (1974)