



인삼제품 가공 기술(초고압 및 초임계 기술) Technology for Ginseng Products Processing

신창식

전남식품산업연구센터 연구개발팀

Chang Sig, Shin

R&D Team, Jeonnam Biofood Technology Center

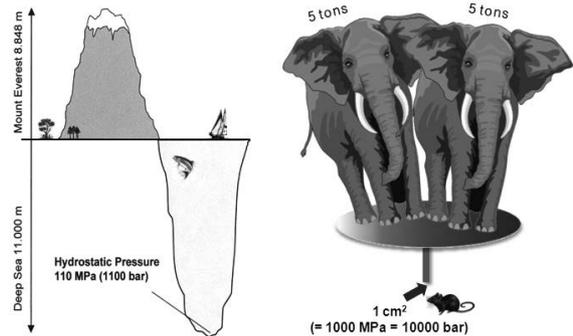
I. 초고압을 이용한 가공 기술

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. 즉, 압력 매체로 물이나 오일을 이용해 모든 면에 압력을 순간적으로 균일하게 전달시키는 비가열 처리 가공 공법으로 기존의 가열처리에 의한 미생물 위해 문제는 물론, 식품의 조직감 및 풍미 저하 등을 극복할 수 있는 식품 가공 기술이다.

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 파

괴, 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 전



Corresponding author : Shin, Chang Sig
Department of R&D Team, Jeonnam Biofood
Technology Center,
Naju-city, Jeollanam-do, 520-330, Korea
Tel : +82-61-339-1214
Fax : +82-61-336-9627
E-mail : csshin@daum.net



기장(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.

초고압을 발생시키는 방법은 기계적 압축에 의한 정적(靜的) 방법과, 화약 등이 폭발할 때 발생하는 충격파를 이용한 동적(動的) 방법으로 크게 나눌 수 있으며, 일반 공업 및 산업현장에서 실용화된 압력은 기계장치에서의 에너지 전달을 포함하여 100~700MPa 정도이다.

초고압 상태에 놓인 물질은 상압(常壓)에서와는 크게 다른 성질을 나타낸다. 10GPa에서 얼음의 녹는점이 약 -350℃이고 약 13GPa에서 반도체인 실리콘은 금속물이 되며, 초고압 발생법으로는 유체를 전달매체로 하는 이상적인 정수압 방법, 부드러운 고체 물질을 매체로 하는 준정수압을 얻는 방법, 화약의 폭발로 인한 충격파를 이용하는 방법 등이 있다.

즉, 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 비공유 결합에 영향을 미친다는 것이다. 물이 수소이온과 수산기로 나뉘는 반응($H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$)의 경우 1 mole의 물이 해리 되

어 수소이온과 수산기로 나뉘는 때마다 21.3mL의 부피감소가 일어난다. 따라서 압력은 물의 해리를 촉진하게 되어 25℃, 1기압 하에서 순수한 물의 pH는 7.00이지만 1000 기압 하에서는 pH가 6.27로 감소하게 된다. 마찬가지로 압력은 수소결합의 파괴를 촉진하는데 이러한 현상은 고차구조 내부에 수소결합을 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 관찰 되었다.

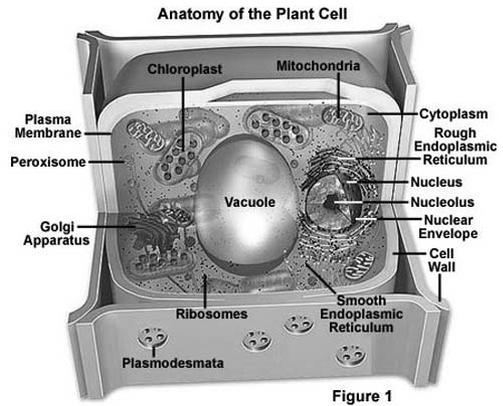


그림 1. Effects of HHP on cell membrane permeability to increase specific plant metabolites

표 1. Volume changes associated with chemical bond breakage at 25℃

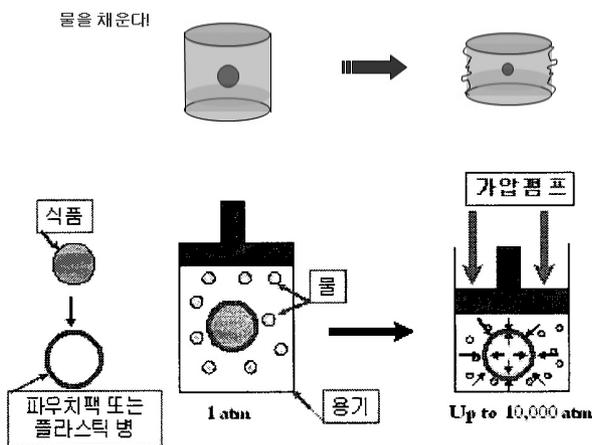
Bond type	Example	ΔV (mL/mole)	Effect of pressure
Covalent	C—C	+12	Inhibits bond breakage
Ionic	$H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$	-21	Disrupts electrostatic interactions
Hydrophobic	CH_4 in hexane \rightarrow CH_4 in Water	-23	Disrupts hydrophobic interactions
Hydrogen	$\cdot OH \dots OH \cdot \rightarrow \cdot OH + OH \cdot$	+4	Enhances hydrogen bonding

1. 초고압 처리 기술의 특성

압력에너지는 순간적으로 그리고 고르게 피가압 물질에 전달되며(Gradient Free), 일반적으로 피가압 물질의 크기나 모양에 영향을 받지 않는다.

만약에 포도를 손가락 사이에 끼우고 압력을 가하면 어떻게 될 것인가? 포도는 터져 버린다. 하지만, 포도를 액체가 들어있는 플라스틱 용기에 넣고 용기를 압축하면 어떻게 될 것인가?

100~700MPa (대기압의 1000~7000배) 정도의 압력을 수분에서 수십 분 정도 식품에 가하며, 고체식품의 경우는 flexible pouch 또는 container를 이용하여 진공포장한 뒤 초고압처리장치를 이용하여 압력을 가하여 주는데 액체식품의 경우는 직접 가압 용기에 충전한 뒤 초고압 처리를 한다. 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 관계 없이 모든 부분에 동일한 작용을 한다.



2. 초고압 기술의 장점

상온에서 순간적으로 처리가 가능하므로 시간과 에너지를 절약하여 주며, 열에 의한 식품원료의 변화를 줄여준다. 또한 식품 고유의 신선함, 질감과 색깔을 유지 및 Vitamin C의 손실을 최소화 할 수 있다.

- 비열살균을 통한 식품의 보존기간 연장
- 병합살균을 통한 초고압의 시너지 효과
- 식품 저장시의 품질 유지
- 맛, 풍미, 기호도 향상
- 건강기능식품의 유효성분 증가 및 신규 기능성 부여
- 식품소재의 물성 변화
- 친환경, 저에너지 공정

3. 초고압 처리의 메카니즘

평형상태에서 부피의 변화를 수반하는 어떠한 반응도 초고압에 의하여 증가될 수 있다(Le Chatelier's Principle. Chemical reaction, phase transition, change in molecular configuration).

일정한 온도에서 압력이 오르면 분자배열이 일정해 지고(Microscopic Ordering Principle), 압력은 순간적으로 일정하게 매체에 전달되며, 크기나 모양에 영향을 받지 않는다(Isostatic Principle).

4. 초고압 처리가 식품에 미치는 영향

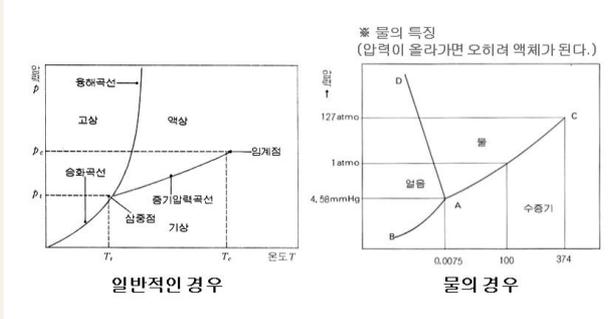
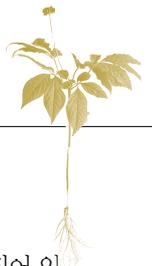
4-1. 분자수준에서의 영향

초고압은 분자간의 비공유결합 (Non-covalent bonds; hydrogen, ionic and hydrophobic bonds)에 영향을 미친다.

식품의 구성요소 중 저분자 물질(주로 영양 또는 맛과 향기에 관여)에는 큰 영향을 미치지 않으며, 고분자 물질(다양한 단위구조가 4차구조로 조합되어 있다)의 분자구조에 주로 영향을 미치게 된다.

4-2. 식품조직 수준에서의 영향

생명체는 대부분 물로 이루어져 있는데, 물은 온도와 압력의 변화에 의하여 기체, 액체, 고체의 상태를 나타내게 되는데 특이적인 물의 특성은 다양한 차이를 만들어 낸다. 하지만, 초고압 처리에 의하여 이루어진 상변화에 의하여 전체 식품의 조



직의 질감 등에 영향을 미치게 된다.

- 껍질이 있는 원료는 생체로 또는 최소 가공해서 섭취하는 경우가 많은데, 수산물의 경우 병원성 미생물의 내재 가능성으로 인해 위생적인 면에서 항상 위험이 도사리고 있음. 그래서 전통적인 방법을 가열처리를 하는데, 이로 인하여 원재료의 독특한 풍미와 조직감이 변화될 수 있으므로, 원래 품질을 유지하면서 병원성·부패성 미생물을 효과적으로 살균할 수 있는 가공 방법의 도입이 필요함.

5. 초고압 처리에 따른 효과

5-1. 미생물의 사멸

미생물의 세포막을 파괴하여 주며(정수압의 단열팽창에 의한 세포막의 내외부 압력차이에 의한 막의 파괴), 미생물의 세포막과 세포질에서 주요 기능을 가진 단백질 또는 효소를 비가역적으로 실패시켜 더 이상의 생명활동을 할 수 없도록 한다.

- * 초고압처리에 대한 민감도: 그람양성균 < 효소 < 그람음성균

5-2. 효소에 대한 작용

효소작용을 저해시킬 수 있는데, 기본적으로 효소의 3차 구조는 non-covalent bond로 형성되어 있으므로 이 결합을 변화시켜 주어 효소의 활성을 잃게 된다. 또한, 효소작용을 촉진 시켜줄 수 있는데 일반적으로 효소와 기질은 막으로 차단되어 분리되어 있다. 하지만, 초고압 처리를 통하여 이러한 막의 붕괴(Decompartimentalization)는 두 반응물질이 최적의 반응을 이룰 수 있도록 도와줄 수 있다.

5-3. 단백질, 탄수화물 등 구성요소에 대한 작용

단백질의 4차 구조(Quaternary structure)는 단위구조가 되

는 Sub units들이 non-covalent bond를 이용하여 결합되어 있으며, 탄수화물은 분자구조 내부에 non-covalent bond를 이용하여 역시 일정한 구조를 형성하고 있다. 하지만, 초고압 처리에 의하여 단백질과 탄수화물 같은 생체내 고분자의 구조가 변형(denaturation) 된다.

6. 초고압 처리의 한계점

처리되는 고체식품은 물이 있거나, 탄력이 있어야 하며, 기공이 있으면 곤란하며(예 : 찌그러짐, strawberries or marshmallows), Low acid products에는 아직 사용이 제한적이다(예 : vegetables, milk, or soups). 또한 냉장 유통을 병행해야 하며, 설비비용 및 처리 단가가 기존에 것에 비하여 비싸고 연속공정이 어렵다.

7. 초고압 기술 응용분야

초고압을 이용한 저장성 향상(살균 및 효소활성 변화)이다. 즉, 열을 이용하지 않으므로 식품의 신선함과 풍미에 영향을 주지 않으며 저장성을 향상시킨다.

- * 일반적으로 초고압 처리에 대한 민감도 : 그람음성균 > 효모 > 그람양성균 > Clostridium botulinum

1980년대 식품가공에 이용할 수 있는 초고압기의 제조가 가능해지면서 압력을 이용한 식품의 조리, 살균에 관한 연구가 본격적으로 시작되었다. 대장균은 2000 기압까지는 압력에 내성이 있으나 4000 기압 이상에서 처리하면 10-8이상의 살균 효과를 보이는 것이 보고되어 있다. 신선초에서 착즙한 녹즙의 경우 초기 8.80×10^3 CFU/mL 존재하던 것이 초고압 처리에 의해 완전히 사멸되었다. 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 Salmonella와 대장균, 어패류에 존재하는 Vibrio와 바이러스, 육류에 존재하는 Campylobacter 등이 있다.

육제품을 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.

과일주스의 또 다른 문제점 중의 하나는 비타민 C, 아미노산, 영양성분 등의 손실이다. 오렌지 주스는 55~70℃의 열처리 시에는 비타민 C의 손실이 적어 높은 수준을 유지하나 85℃, 2분 처리시에는 20% 이상의 손실이 일어난다. 열처리 대신 초고압 처리를 하면 압력 처리하지 않은 대조구와 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.

초고압 가공이 천연 그대로의 맛과 향을 보존하고 영양성분의 파괴가 적더라도 관능적 품질이 나쁘다면 식품으로서의 가치가 없다고 하겠다.

Horie 등은 딸기, 키위, 사과 잼 등 7개 제품을 대상으로 열처리한 잼과 가압 처리한 잼의 관능적 특성을 비교하였는데, 30명의 관능요원들 중 모든 제품에서 20명 이상의 관능요원들이 가압 처리된 잼을 선호했다. 가압 처리된 쌀에 대해 검사한 결과 밝기, 향미, 텍스처 등에서 우수한 결과가 나왔다. 그림은 가압 처리한 신선초 녹즙을 정량적 묘사분석(QDA)에 의한 관능검사 결과를 나타낸 것이다. 전체적으로 저장기간이 증가할

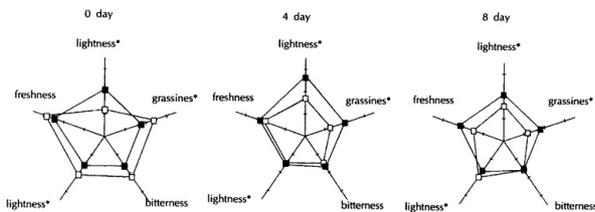


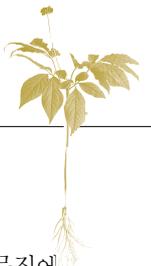
그림 2. Changes in sensory characteristics of pressurized Angelicakeiskeijjuice(■) and non-treated Angelicakeiskeijjuice(□) during storage at 4°C. Based on 7-point scale (from 0 to 6) for lightness (dark - light), grassiness (weak - strong), bitterness (weak - strong), sweetness (weak - strong) and freshness (putrid - fresh). *: different at 5% significance level.

수록 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.

압력을 통해 얻을 수 있는 효과로는 미생물의 불활성화, 단백질 변성, 효소의 활성화 또는 불활성화, gel 형성, 추출 등의 생체고분자의 변형, 천연의 색과 맛의 유지, 밀도, 어는점, 끓는점, 물성의 변화 등을 통한 기능성 부여가 있다. 식품과 생물 재료에 대한 초고압의 효과는 1000 기압 정도부터 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 불활성화 되고 내열성 포자의 사멸 등의 변화가 일어난다. 이러한 효과를 식품에 응용하면 보존성향상, 미생물의 오염방지, 물성개량 등의 여러 방면에 이용할 수 있다.

8. 초고압 처리를 통한 새로운 물성 또는 새로운 기능성의 개발(new "value-added" food products)

- Egg whites undergo a mild gelation effect, resulting in a flan-type product.
- High-pressure-treated milk has increased cheese yield.
- Swollen starch granules to keep their granule like structure and improve enzyme-digestibility and gelatinized structure(without retrogradation).
- Rapidly freeze and thaw products(Tenderize meat).
- Improve the coagulation properties of milk
- Increase moisture retention of fresh cheese.
- Pressure-shift freezing due to reduced crystal size and multiple ice-phase forms; and minimal undesirable functionality alterations.



9. 국내 산업 동향

- 1990년대 초반에 초고압 기술을 이용한 마늘, 녹즙, 김치, 과일 및 야채주스, 전통주, 홍삼제품 등에 대한 연구가 시작되었고, 1996년 이후 생산 규모 설비를 이용한 제품이 생산되기 시작하여 시판된 이래 그 시장은 1996년 70억 원, 2005년 1,100억 원, 그리고 2006년 1,300억 원으로 급성장 하고 있음.
- 1994년 (주)풀무원과 제일제당에서 초고압 장치를 구입 함으로서 초고압 식품가공의 연구가 시작되었고, 1995년 한국과학재단 중점과제연구회인 비열식품가공연구회(연구책임 연세대 박지용 교수)를 중심으로 연구가 진행되었음.
- 바닷가재, 굴, 조개 등의 해산물로부터 껍질을 제거하는데 3,000기압 정도의 압력을 이용함으로써 속살을 거의 100% 분리할 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 증가시키며, 유통기한을 연장하는데 사용할 수 있음.
- 초고압 기술은 다양한 조리식품 및 즉석식품에 응용되고 있다. Salsa, pasta sauce, salad dressing, hummus 등 소스류에 응용 가능하며, 두부를 기본으로 한 제품, 과일을 기본으로 한 스프레드와 dip, 과일 토핑 및 소스, 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 있음.
- 동원F&B의 즉석밥 ‘썬쿵’ 과 ‘초고압 홍삼정’은 3,000기압의 초고압 식품공법을 적용하여 출시되었음.
- 아모레퍼시픽은 초고압 ‘예진생 홍삼진액’ 제품을 출시 하였음.
- 강원대학교와 생명의 나무에서는 초고압을 처리하기 전

에 저에너지 초음파를 병행하여 유용 생리활성 물질에 대하여 높은 수율을 얻는 기술을 확보함.

- (주)CJ에서는 초고압 처리기술을 이용하여 마늘의 알리시나아제를 불활성화시켜 매운 향을 제거하는 기술과 마늘의 영양성분의 소실없이 단시간에 조미 마늘을 제조하는 공정을 확립하였다. 특히 갈변화 반응을 억제키 위하여 갈변화 효소를 저해시키는 방법과 갈변화 효소의 최적조건을 변동시키는 방법을 이용하여 가압처리 후 상온에서 장기간 보존할 때도 색상변화가 나타나지 않음.
- (주)풀무원은 초고압 처리기술을 이용하여 케일, 신선초, 당근의 풍미 및 영양성분의 소실 없이 갈변화를 방지하고 저장성을 향상시킬 수 있는 녹즙을 제조하는 기술을 확보하여 녹즙의 상품화에 가장 문제가 되었던 녹색의 갈변화 방지수단으로서 착즙액을 초고압 처리하고, 동시에 변패의 원인인 미생물을 현저히 감소시켜 냉장상태에서 장기간 보존이 가능하고, 생녹즙의 향미의 열화가 없는 녹즙을 제조함.
- (주)오뚜기는 레토르트 야채죽에 300MPa로 10여분간 초고압 처리를 하고, 115~120℃에서 20~40분간 살균처리하여 미생물의 활성을 억제하고, 야채류의 우수한 식감, 색상 등의 외관을 좋게 하여 상품성을 높였음.
- 한국식품연구원, 동원F&B, 뉴트렉스테크놀로지 등에서는 수삼 및 인삼을 초고압 처리하여 품질의 변화 없이 저장성을 확보하여 유통기한을 늘리고, 진세노사이드 등의 유효성분의 추출 수율을 높이는 제조공정 기술을 확보함.
- 탁주 등의 전통주는 곡류와 누룩을 발효하는 대표적인 발효 식품으로 각종 변패미생물에 의한 변질을 방지하기 위하여 가열살균을 하게 되는데, 이로 인해 품질에 영향을 준다. 그러나 열 대신 압력을 처리하게 되면 천연의 향과 맛을 손상시키지 않으면서 미생물을 살균하거나 효소를 불활성화할 수 있으므로 전통식품의 보존성을 향상시킴.
- 장류는 유통 중 미생물에 의한 과도한 발효와 성분의 분해 및 변질로 인하여 품질 저하를 초래하므로 초고압 기술을 적용하여 미생물의 성장과 증식을 감소시키는데 압력별로 미생물에 미치는 다양한 영향을 제주대학교 연구팀에서 최적의 처리 조건 확립함.
- 현재 초고압 가공은 비열살균, 효소반응의 제어와 불활

성화, 단백질의 겔화, 탄수화물의 호화에 의한 물성개량 및 신소재 개발, 숙성의 정지 및 제어, 의료 및 약물에의 이용 등의 분야에서 활발하게 연구되고 있음.

10. 해외 초고압 처리 응용 상품 사례

- Fruit juices, Jams. Soften meat, Yogurt(Japan, 1989-1993)
- Orange Juice (French, 1995)
- Avocado puree, Oysters (USA, 1997, 1999)
- Packaged sliced cured ham (Spain, 1999)
- Fish steaks (Italy)
- Retain freshness of Jams and fruit and vegetable juices
- Inactivate enzymes
- Polyphenol oxidase(PPO) in guava puree

11. 현재 연구 중인 초고압 전락 제품 및 처리 기술

- 굴 껍질 까기[(주)해진물산]
- 랍스터, 새우껍질 까기
- 저칼로리 기능성배[(주)서울 다손]
- 저알레르겐 밥(Echi해 seika, 일본)
- RTE, 즉석 편이 식품
- 유제품
- 초고압 처리를 이용한 기능성 식품
- 지역 특산물의 유통기한을 확보하고 고급 선물용 제품으로 가공(배, 쌀 등)
- 가압에 의한 반조리 제품
- 야채류, 육가공류, 해산물, 어류, 주스류 제품
- 전통 식품
- Cold temperature jellification of starch and Pectin
- Denaturation of egg protein, whey or soya
- Meat tenderization
- Freezing & thawing process(Small ice crystals, Gradient free)
- Changes in functional characteristics of proteins

12. 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. 실제 초고압 처리는 vessel 내에서 일어나며, vessel의 용적은 2 liter 보다 작은 실험용 장비로부터, 50 liter 이하의 pilot 장치, 300 liter에 이르는 생산용 장치까지 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. Vessel은 pressure medium을 써서 가압되는데, 이

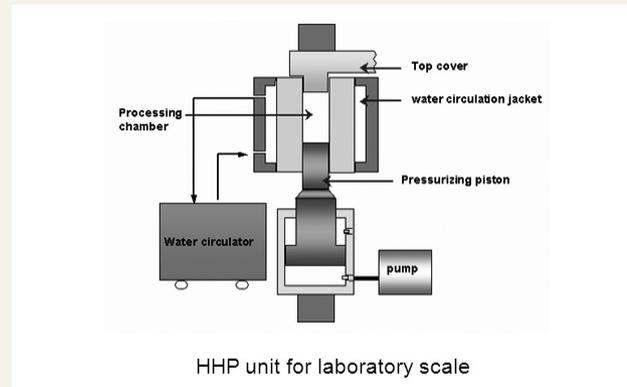


그림 3. High pressure equipment for food



그림 4. Pilot-scale 초고압 장비(Quintus QFR, 온도 0~50℃, 압력 660mpa, 용량 35L, AVURE(스웨덴)社)

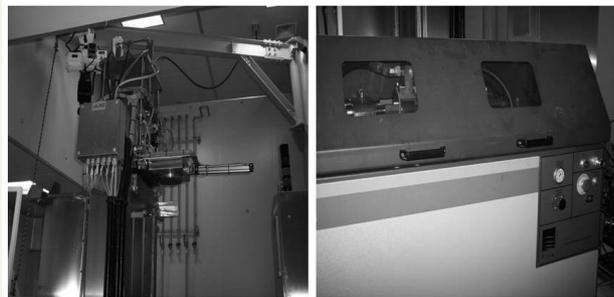
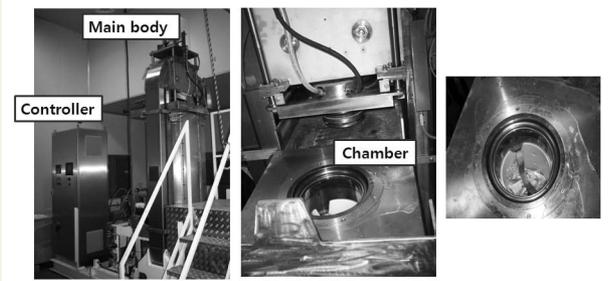
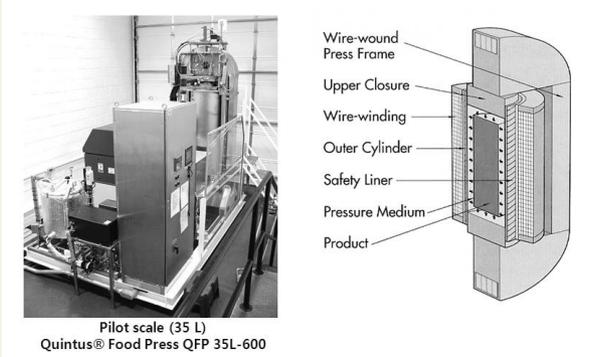
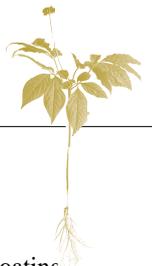


그림 5. Pilot-scale UHP equipment of Jeonnam BioFood Technology Center

medium은 식품가공에 적합한 액체여야 하며 주로 물이 사용된다. 이러한 pressure medium은 수압펌프를 이용하여 가압한다. Vessel이 제품과 함께 load되어 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.

액체식품 가공을 위한 반연속(semi-continuous) 초고압 시스템의 전반적인 과정을 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.

13. 초고압을 이용한 인삼제품

최근 인삼의 특정 유효성분 함량을 증가시키기 위해 생물학적, 물리화학적 방법이 다양하게 연구되고 있다. 즉, 진세노사이드의 구조적 유사성, 단일 성분으로 대량 생산하기 위하여 β -glucosidase 효소를 이용한 생물학적 전환(bio-conversion), 화학적 변형(화학적 합성, 당 가수분해; 산, 염기에 의한 당 제거), 물리적 변형(홍삼, 흑삼; 구증구포, 선삼; 열가수 분해), 균주에 의한 발효홍삼(장내 미생물; Prevotella oris, A-44 균주), 당 관련 효소에 의한 다양한 방법들이 시도되고 있다.

인삼에 초고압 기술을 적용하여 제품화하고 하고 있는 아모

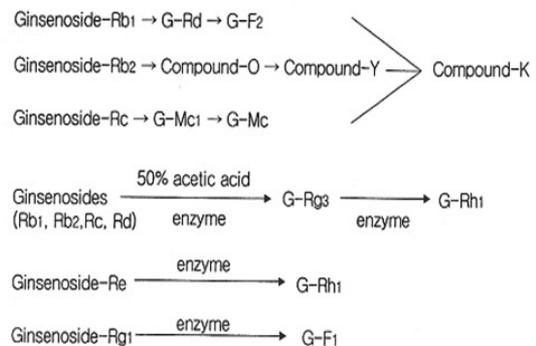


그림 6. Ginsenoside의 생물화학적 변환

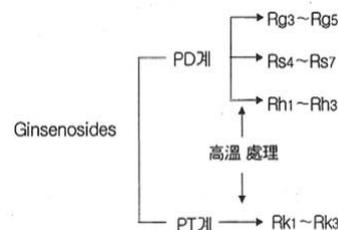


그림 7. 고온가열 처리에 의한 사포닌 변환

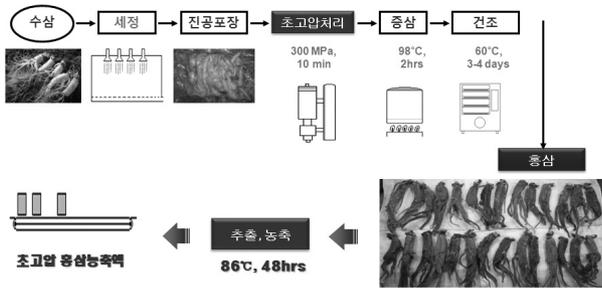


그림 8. 초고압 기술을 이용한 홍삼농축액 제조과정

레퍼시픽과 동원F&B는 3,000~5,000 기압으로 수삼을 초고압 처리하여 홍삼화한 후 홍삼농축액, 홍삼추출액 등 다양한 제품을 출시하여 판매하고 있다.

공정은 폴리에틸렌 필름 백을 사용하여 진공 포장한 후 높은 기압으로 초고압 처리한 후 약 95~98°C에서 증삼한 후 60°C 열풍 건조를 거쳐 홍삼을 제조한 후 85~90°C에서 24~48시간 추출한 후 홍삼 제품을 제조하고 있다.

수삼을 초고압 처리하여 백삼(또는 피부백삼), 홍삼으로 제조하면 조사포닌 함량이 증가하여 추출효율이 좋아져 수율이 높아지며, 특정 개별 진세노사이드인 Rg1, Re, Rb2, Rc 및 Rb1의 함량이 증가하여 기억력 증진, 학습기능 증진작용, 간 보호작용, 항당뇨작용, 진통작용, 중추신경억제 및 정신안정 작용에 효과가 있다고 알려진 특정 성분들의 함량이 증가한다.

즉, 수삼 제품으로 유통시키고자 할 때 튜블러 세척기 및 저온으로 세척한 후에도 표면에 남아 있는 수삼의 토양미생물을 일부 제어함으로써 빠른 시간 내에 품질의 변화 없이 유통기

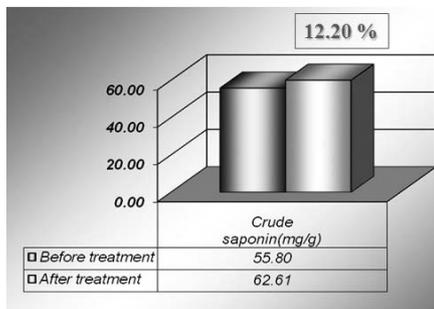


그림 9. Comparison of crude saponins on conventional Korean red ginseng and Korean red ginseng treated by HHP

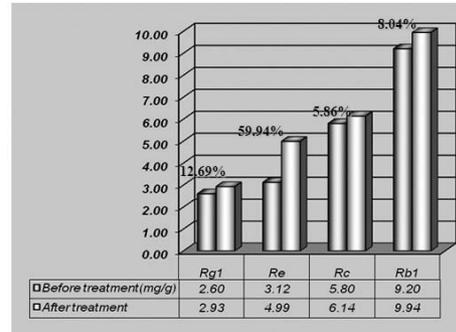


그림 10. Comparison of major ginsenosides on conventional Korean red ginseng and Korean red ginseng treated by HHP

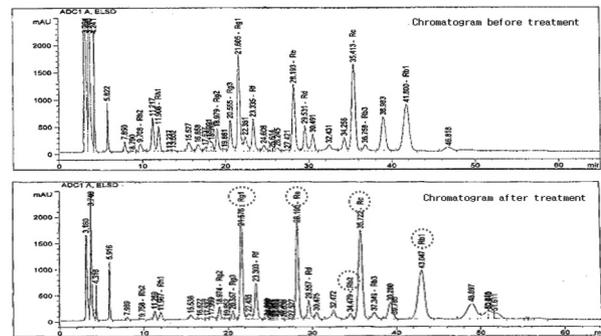


그림 11. Comparison of chromatogram on conventional Korean red ginseng and HHP treated Korean red ginseng by HPLC/ELSD

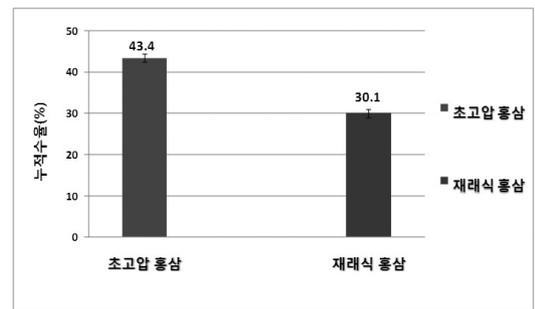


그림 12. 홍삼농축액분말 제조시 초고압과 재래식 홍삼농축액 수율 비교

한을 약 7일 더 늘일 수 있으므로 '세척수삼' 제품으로 제조시 제조단가가 절감할 수 있으며, 유효성분인 조사포닌의 양이 약 10% 이상 더 추출되므로 기존 홍삼 대비 경제적으로 이득이다.

또한, 인삼의 주요 성분이 특정 진세노사이드가 초고압 처



HHP red ginseng extract

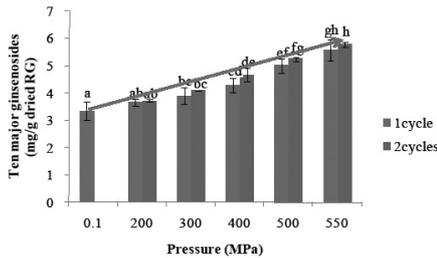


그림 11. Contents of total ten major ginsenosides in dried red ginseng of non-treated(0.1 MPa) and HHP pre-treated red ginseng extract (pressurized at 200–550 MPa; 1 cycle or 2 cycles). The means marked by different letters are significantly different ($p < 0.05$). Values are the mean of 2 samples. → 73.0% increase maximum



그림 12. 초고압 홍삼 원료(UHP Red Ginseng)를 접목하여 판매 중인 A사 제품



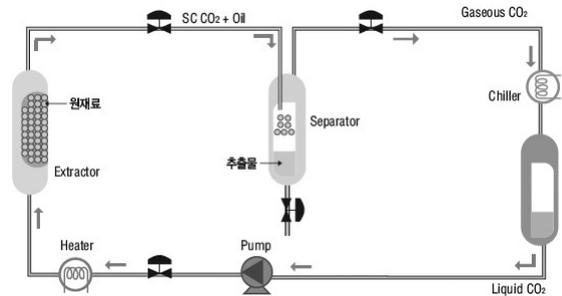
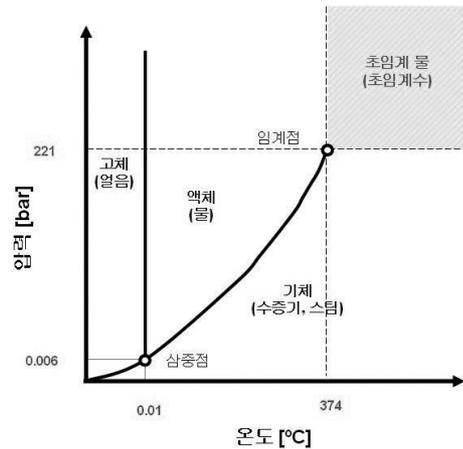
그림 13. 초고압 홍삼 원료(UHP Red Ginseng)를 접목하여 판매 중인 D사 제품

리전의 PD(protopanaxadiol)계가 17.53mg/g에서 처리후에 17.88mg/g으로 높아졌으며, PT(protopanaxatriol)계 역시 7.96mg/g에서 9.57mg/g로 높아지므로 PD/PT계 비유리 2.20에서 1.87로 낮아졌다.

II. 초임계 유체 기술

초임계 유체는 온도와 압력이 기액의 임계점을 넘는 비응축성 유체라고 정의되는데, 기체-액체-고체와 마찬가지로 온도-압력조건에 따라 결정되는 물질의 상이다. 임계점을 넘어서 분자의 열운동이 격렬하며, 게다가 상변화를 동반하지 않기 때문에 임계점 이상의 고온, 고압 상태에서는 물질 사이의 밀도변화가 연속적이므로 기체가 액화하지 않는다. 즉, 기체가 가까운 희박한 상태에서부터 액체에 가까운 고밀도 상태까지 연속적으로 변화시키는 것이 가능하다. 모든 물질에는 초임계 영역이 존재하지만, 학술적으로나 산업적으로나 가장 중요한 물질은 물과 이산화탄소이며, 실제로 적용사례도 압도적으로 많다.

현재는 물과 이산화탄소가 환경친화적인 지속가능한 사회 시스템 구축의 기반기술 창출을 위한 기본적인 물질로 간주되어 그 적용분야나 적용사례가 확대되고 있다. 주지하는 바와



같이, 이 두 물질은 지구상의 생명을 비롯한 모든 물질의 생성에 관여하고 있으며, 자연계에 존재하는 용매라 할 수 있다.

1. 초임계유체의 종류

○ 초임계유체에는 많은 종류가 있지만, 여러 가지 측면에서 주로 초임계이산화탄소, 초임계수, 초임계알코올이 주목받고 있다.

- ① 초임계이산화탄소(임계온도 31.1℃, 임계압력 7.4MPa)
 - 실온 부근인 35~100℃, 25~30MPa조건에서 주로 사용된다.
 - 공정 대상물이 열변성을 일으킬 염려가 적기 때문에 추출, 함침, 건조, 세정, 코팅, 반응, 가공 등의 용매로서 이용이 기대된다.
- ② 초임계수(임계온도 374℃, 임계압력 22.1MPa)
 - 380~650℃, 25~30MPa조건에서 주로 사용된다.
 - 고온과 고압으로 인해 분해력이 매우 강해, 모든 유기물을 분해한다.
- ③ 초임계 메탄올(임계온도 239℃, 임계압력 8.1MPa)
 - 240~300℃, 8~15MPa 조건에서 주로 사용한다.
 - 초임계수에 비해 분해력이 떨어진다.
 - 액체 메탄올에 비해 고속으로 유기물의 메틸화나 선택적인 메탄올 분해 가능하다.

2. 초임계수

○ 초임계수의 특성

초임계수는 물과는 다른 특성을 지니고 있다. 초임계수는 수소결합이 매우 약해져서 비극성에 가까운 용매 된다. 따라서 초임계수는 질소, 산소, 수소 등을 잘 녹일 수 있다. 벤젠, 헥산과 같은 비극성 용매와도 잘 섞인다.

그리고 초임계상태의 물은 표면장력도 거의 없고 (물은 매우 강한 표면장력을 가짐), 점도는 기체처럼 낮고 확산계수는 기체처럼 매우 높은 특성이 있다.

더욱이 초임계수는 온도압력을 조절하여 밀도를 자유자재로 변화하게 하여 우리가 원하는 물성을 얻을 수 있는 장점을 지니고 있다.

○ 초임계수의 이용

이러한 초임계수의 독특한 물성을 이용하여 여러 가지 기술



그림 6. Pilot-scale 초임계 추출기(용량 5L, 오스트리아 Natex社)

이 개발 중에 있다. 초임계수를 이용한 폐수처리(SCWO : Supercritical Water Oxidation), 세라믹 나노입자제조, 추출, 화학반응, 에너지변환공정 등 다양한 분야에서 응용이 되고 있다. 국내에서는 한화석유화학이 개발한 TNT 제조공정 폐수처리(남해화학), TPA 제조공정 폐수처리(삼남석유화학), 세라믹 나노입자제조공정(한화석유화학) 등이 상업적 규모로 운전이 되고 있으며 이 분야의 기술개발은 우리나라가 세계를 선도하고 있다.

* 임계점(critical point)

대부분의 물질은 어는점(녹는점)과 기화점(응축점)이 존재 하듯이 삼중점도 존재하고 임계점도 존재한다. 임계점은 그 물질의 특성이고 물질마다 다른 임계점을 가지고 있다. 임계점은 임계온도와 임계압력을 동시에 만족하는 조건을 말한다. 물의 임계점은 임계온도 = 374℃, 임계압력 = 221bar (218.3atm)이다. 임계온도는 물질의 온도가 너무 높아서 아무리 압력을 가해도 액화되지 않는 온도를 말한다. 임계압력은 물질의 압력이 너무 높아 아무리 온도를 올려도 기체가 되지 않는 압력을 말한다.

3. 국내외 동향

(주)유맥스가 세계 최초로 초임계 이산화탄소를 이용하여 참깨로부터 참기름을 생산하는 공정의 상업화에 성공하여 추출공장을 건설하였으나, 현재 (주)CJ 제일제당에서 인수하여 '초임계 귀한 맛 황금참기름'을 생산하고 있으며, 한국인삼공사, 이마트, 대상, 신동방, 동원F&B 등 대기업에서 다양하게 유통 판매되고 있다.

세계적으로는 향신료, 카페인, 호프 추출물과 같이 고부가



가치의 천연물을 미량 추출하는 공정이 상업화된 사례가 많았으나 비교적 가격이 저렴한 식용유를 대량 추출한 사례는 없었다. 즉, 초임계 유체는 혼합물에서 특정 A 성분을 추출·분리하는 능력이 뛰어나서 식품 분야에서 응용이 활발하다. 현재 맥주용 홉 엑스 추출, 커피의 탈 카페인 프로세스에 이용되며, 식품의 비가열살균 시스템에 응용하는 것도 연구 중에 있다. 일본에서는 정부 주도로 주변에 흔한 탄산가스나 물 등을 초임계 유체로 만들어 화학반응 등에 이용하는 기술개발을 추진하고 있다. 또한, 일본 기업인 오르가노(주)는 초임계수를 사용해서 유해물질을 분해하는 장치를 개발하였다. 이밖에 맹독성의 다이옥신 등도 분해할 수 있으며, 유해물질이 들어있는 폐액을 1 일량으로 환산하여 2톤까지 처리할 수 있다고 한다.

향후 식품을 포괄하는 바이오메스 자원에 기반을 두고 관련 분야와 유기적으로 결합한다면 자연계에 존재하는 환경친화적인 녹색용매인 물과 이산화탄소를 주로 활용하는 초임계 유체기술은 발전할 수밖에 없을 것이다.

또한, 의약품이나 화장품의 에센셜 오일과 같은 값비싼 물질의 분리, PCB 등의 매우 분해하기 어려운 유해물질의 무해화 등에 한정되어 응용되고 있는 것을 생태계나 환경에 대한 악영향이 없는 응용분야로 기반을 확립하고, 실용화한다면 초임계 유체기술이 다양하게 확대될 것으로 판단된다.

III. 초고압, 초임계 식품가공 장치 향후 전망

고품질, 최소 가공 식품에 대한 소비자의 요구가 커짐에 따라 비열 식품가공 기술의 개발은 계속될 것이다. 비열가공 기술 중 산업적으로 가장 발달한 기술은 초고압과 초임계 기술이며 앞으로도 계속 발전할 것으로 예상된다. 초고압, 초임계 기술이 도입된 이래 100여 년이 지난 지금 미국, 일본, EU에서 이미 초고압, 초임계 기술을 이용한 육가공 식품, 과채류 식품, 수산식품 등이 상품화되어 소비자들에게 판매되고 있다. 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, 3,000~5,000 기압 압력을 이용한 즉석밥과 홍삼제품이 생산되고 있다.

초임계는 (주)CJ 제일제당의 ‘초임계 귀한 맛 황금참기름’, 한국인삼공사의 ‘호마정’, 이마트의 ‘프리미엄 이플로스 진함미 참기름’, 대상의 ‘100% 유기농 생참기름’, 신동방의 ‘해표 유기농참기름’ 등 다양한 상표로 판매되고 있다.

이에 따라 향후 제품 개발은 날로 까다로워지는 소비자들의 요구와 엄격해지는 식품 규정으로 식품 산업으로 하여금 안전성 확보는 물론 고품질 식품의 생산을 위한 새로운 초고압, 초임계 가공 방법 개발될 것으로 기대된다.

첫째, 미생물의 불활성화, 단백질 변성, 효소의 활성화/불활성화 등을 통하여 보존성 향상, 유통기한 연장, 천연의 색과 맛의 유지, 밀도, 어는점, 끓는점, 물성의 변화 억제 등을 통한 기능성 부여한 제품 개발

둘째, 단백질의 응고, 천연의 맛과 향미, 색, 신선도 유지 가능하고 새로운 조직과 맛 특성을 갖는 제품 개발

셋째, 식품의 물성 개량과 품질 보존을 위해 원치 않는 미생물의 성장을 방지하고 생리활성 성분의 활성 수준을 유지하기 위해서 생리활성 조성물을 가압 처리한 방법 등 목적에 따라 공정 확립된 제품이 개발되어 출시될 것으로 판단된다.

references

참고문헌

1. 농림부 보고서. “전기·물리적 비열 식품가공 신기술 개발” (2000)
2. 최수진, 노봉수. “신제품 개발 전략으로서 Hurdle Technology” 식품과학과 산업, 29, 4-56 (1996)
3. Agterof, W., Lelieveld, H.L.M., Reichelt, T. & Smelt, J.P.M. Method for preservation under pressure. Patent WO97/43914 (1997)
4. Ahvenainen, R.: New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. Trends in

- Food Sci. Technol., 7, 179-187 (1996)
5. 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)
 6. Chefrel, J.C., & Culioli, J. Effects of high pressure on meat: A review. *Meat Sci.*, 46, 211-236 (1997)
 7. 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)
 8. Cruess, W.V. *Commercial Fruit and Vegetable Products*. New York: McGraw-Hill (1924)
 9. 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)
 10. 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)
 11. Farr, D.: High pressure technology in food industry. *Trends Food Sci. Technol.*, 1, 14-16 (1992)
 12. Gidding, N.J., Alland, A.H., & Hite, B.H. Inactivation of tobacco-mosaic virus by high pressures. *Phytopathology*, 19, 749-750 (1929)
 13. Hayashi, R. and Asaka M. Activation of polyphenoloxidase in pear fruits by high pressure treatment. *Agric. Biol. Chem.* 55(9), 2439 (1991)
 14. Hayashi, R.: Application of high pressure to food processing and preservation: Philosophy and development. *Eng. and Food*, 2, 815-826 (1989)
 15. Heremans, K.: High pressure effects on proteins and other biomolecules. *Ann. Rev. Biophys. Bioeng.*, 11, 1-21 (1982)
 16. Hite, B.H.: The effects of pressure in the preservation of milk. *Bull.*, 58, 15-35 (1899)
 17. 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)
 18. Hoover, D.G.: Minimally processed fruits and vegetables: Reducing microbial load by nonthermal physical treatment. *Food Technol.* 51(6), 66 (1997)
 19. Horie, Y., Kimura, K., Ida, M., Yosida, Y. and Ohki, K.: Jam preparation by pressurization. *Nippon Nogeikagaku Kaishi*, 65(6), 975-980 (1991)
 20. King, K.: Partial characteriaztion of the in situ activity of pectinesterase in bramley apple. *Int. J. Food Sci. Technol.* 25, 188 (1990)
 21. 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)
 22. 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)
 23. 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)
 24. 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) *Sci.*, 53(2), 504 (1988)
 25. 신정규. “식품의 신제품 개발 및 기술연구 동향” 보건산업 기술동향 (2005)





26. 식품과학과 산업 10월호, 2~20 (2010)
27. 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)
28. Ray, B.: "Fundamental Food Microbiology" CRC Press, New York (1996)
29. Sale, A.J.H., Gould, G.W. and Hamilion, W.A.: Inactivation of bacterial spores by hydrostatic pressure. *J. Gen. Microbiol.*, 60, 323-334 (1970)
30. 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)
31. 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)
32. Wicker RL and Temelli F.: Heat inactivation of pectinesterase in orange juice pulp. *J. Food Sci.* 53(1), 162 (1988)
33. Zipp, A., & Kauzmann, W. Pressure denaturation of metmyoglobin. *Biochemistry*, 12, 4217-4228 (1973)
34. Zimmerman, F. and Bergman, C.: Isostatic high-pressure equipment for food preservation. *Food Technol* 47(6), 162-163 (1993)
35. Ponce, E., Pla, R. Mur-Mur, M., Gervilla, R. and Guamis, B., "Inactivation of *Listeria innocua* inoculated in liquid whole egg by high hydrostatic pressure" *J. Food Prot.*, 61, 119 (1998)
36. Larry T. Taylor, "Supercritical Fluid Extraction", AWiley-Interscience Publication, pp.42~53 (1996)
37. 구송이, 차광현, 이동연: "식품·생물 산업에서의 초고압 기술 응용", *식품과학과 산업* 9월호, 40, 3 (2010)