

# 초고압을 이용한 식품 보존 기술의 발전

## Advances in Food Preservation Technology Using High Pressure

이 승 환  
Seung Hwan Lee  
CJ제일제당 식품연구소  
CJ Foods R&D

### 1. 배경

천연, 건강, 고품질 지향의 소비자 선호도는 지속적으로 증가하고 있다. 소비자들은 안전을 위한 낮은 pH, 충분한 열처리가 아닌 최소가공, 보존제 무첨가 등 보다 높은 수준의 가공 기술을 요구하고 있으며 이에 부응하여 식품 본연의 품질을 최대한 간직하면서 동시에 유통 안전성을 확보하기 위한 새로운 식품 가공기술 역시 지속적으로 연구되고 있다. 주목 받고 있는 미생물제어기술로는 초고압(high pressure processing, HPP), 고전압 펄스 자기장(high-voltage pulsed electric field, PEF), 광펄스(high-intensity pulsed light) 등의 물리적 방법과 이산화탄소, 오존, 박테리오파지, 양이온 다중 고분자(polycationic polymer) 등의 화학적 방법이 있다(1). 이 중 초고압 기술은 최근 50년간 식품기술에 있어 가장 혁신적인 기술 중 하나로 평가받으며(2) 빠르게 산업적 적용이 이루어지고 있다.

초고압 기술은 냉장 유통 제품의 고품질 구현을 위한 비가열 가공기술로서 보편화되고 있는 동시에 압력과 열의 효과적 병행 처리를 통한 멸균 기술로 영역을 확대하는 연구가 진행되고 있다. 상온 유통 안전성 확보를 위한 미생물 포자 제어 기술로서의 가열 초고

압 기술(Pressure Assisted Thermal Processing, PATP or Pressure Assisted Thermal Sterilization, PATS)에 대해 정리하고자 한다.

### 2. 초고압 기술의 발전

초고압 기술의 식품에의 적용 가능성은 이미 19세기 후반 확인되었다. 1884년 초고압이 미생물 생육에 영향을 준다는 보고가 있었고, 1899년 Hite는 초고압에 의해 우유의 보존성이 늘어난다는 사실을 밝혔으며 1914년 Brightman은 난백을 고압 처리 시 압력에 의해 단백질 변성이 일어남을 확인하였다. 이후에도 초고압 연구는 지속되었으나 안정적인 고압 장치 제작의 어려움과 제작 비용, 생산성 등의 이유로 산업적으로 활성화 되지 못하였다. 초고압 설비에 대한 기술적 발전이 이루어지면서 1990년에 이르러서야 일본에서 잼, 주스 등 컷 상용화 제품이 출시되었다. 과채주스, 잼, 젤리 외에 가공밥에 대한 초고압 기술 적용 역시 이루어졌으나 이는 미생물제어를 통한 저장성의 연장 보다 압력에 의한 물성 변화를 주된 목적으로 하였다. 초고압 기술의 산업적 이용이 본격적으로 확대되기 시작한 것은 2000년대 이후로 신선함과 천

\*Corresponding author: Seung Hwan Lee  
CJ Foods R&D 636, Guro-dong, Guro-gu,  
Seoul, 152-051, Korea  
TEL: +82-2-2629-5250  
FAX: +82-2-2629-5368  
E-mail: foodeng@cj.net

연을 강조하는 보존료 무첨가 육가공품, 과채가공품 및 프리미엄 과채주스 중심으로 적용이 확산되고 있으며 고품질 구현을 위한 보편화된 기술로 자리매김하고 있다(그림 1, 표 1).

초고압 기술은 비가열 기술로서 초고압 처리 식품의 향미, 색, 영양 등 화학적 반응에 최소한의 영향을 주면서 효과적으로 미생물을 제어하여 프리미엄 냉장 유통 제품 적용에 각광받고 있으나 압력만으로는 세균 포자를 완벽하게 제어할 수 없다는 취약점을 갖고 있어 상온 유통 제품으로의 적용 확대는 제한적이다. 이러한 한계를 극복하고 레토르트로 대표되는 상온 편의제품의 품질 한계를 극복하기 위한 방법으로 압력과 열을 병행 처리하는 초고압 응용 기술이 연구되고 있다. 가열 초고압 기술은 압력에 의한 식품의

폼온 변화(compression heating)를 이용하는 기술로서 오랜 산학 컨소시엄 연구를 통해 저산성 상온 유통 제품에 대해 적용 가능한 살균 기술로 2009년 FDA 승인을 얻어 첫 산업적 적용을 위한 연구개발이 활발히 진행되고 있는 차세대 기술이다.

### 3. 가열 초고압 기술

#### 가열 초고압의 특징

가열 초고압 기술의 가장 특징은 압력의 증가에 따른 제품 폼온 상승 효과(adiabatic temperature increase)와 압력과 열 시너지 효과에 의한 미생물 사멸 효과의 극대화이다. 압력은 부피와 위치에 상관 없이 균일하게 작용하기 때문에 초기 온도가 동일한 경우 부피와 상관 없이 제품 내부의 편차 없는 균일한 가열(volumetric heating)이 가능하다. 레토르트 공정의 경우 제품의 냉점(cold point)까지의 온도 변화를 위해 오랜 가열 시간이 필요하나 가열 초고압 기술의 경우 온도 변화의 주된 요인이 열 전달이 아닌 압력이므로 빠른 가열과 냉각이 가능(그림 2)하며 시너지 효과로 인해 보다 효과적인 미생물 제어가 가능하다.

#### 가열 초고압 공정

전형적인 가열 초고압 공정은 예열-이송-가압-유지-감압-냉각의 과정을 거치게 된다. 예열을 통해 60~90℃ 수준의 균일한 제품 초기 온도를 확보한 이후 단열 가압 vessel 내부에서 600MPa 이상의 압력을

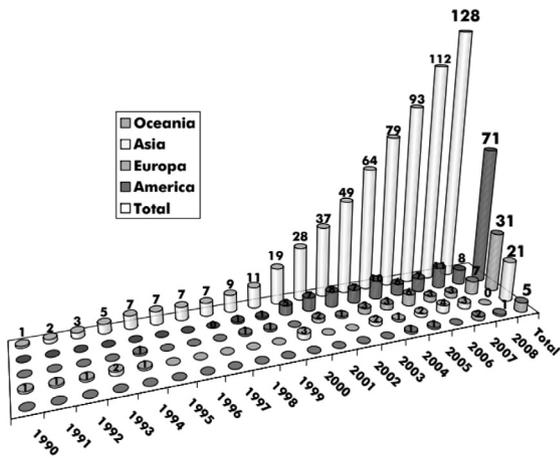


그림 1. 대륙별 초고압 설비 도입 현황, 1990~2008(3)

표 1. 비가열 초고압 기술의 산업적 적용 사례

Applications	Products details
Meat	Sliced ham, turkey or chicken cuts, whole pieces of cured ham, RTE
Avocado	Guacamole, avocado halves, and pulp
Seafood	Oyster, clams, mussels, lobsters, crabs, shrimp, cod, hake
Juice	Non-thermal fresh-like organoleptic quality and nutrition
Fruit	Wet salads, purees, sauces, smoothies, slices, RTE
Dips and fillings	Tomato sauces, salsa, dressings, sandwich fillings
Dairy	Colostrum, Yogurt
Pharma-cosmetic	Liquid and semisolid, emulsions, gels

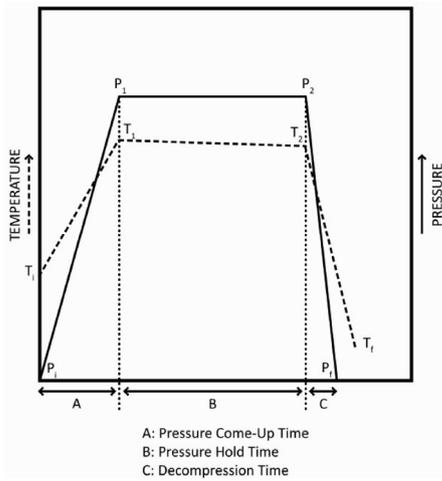


그림 2. 초고압 처리에 따른 압력-온도 변화(4)

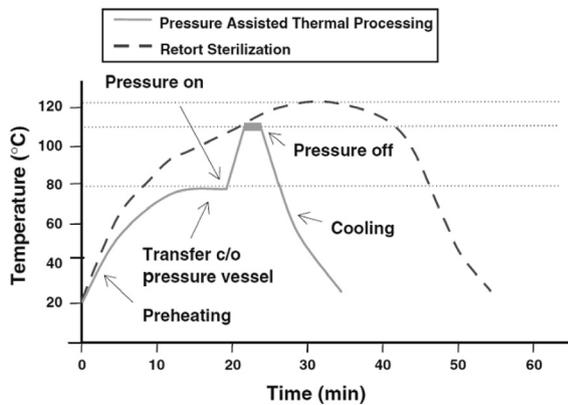


그림 3. 레토르트와 가열 초고압 기술과의 공정 비교(5)

가하여 90~130°C로 제품 품온을 상승시킨다. 이후 미생물 제어에 필요한 일정 시간 압력을 유지한 후 감압과 냉각으로 살균 공정을 마무리 하게 된다(그림 3). 일반적인 레토르트 공정은 가열 과정에 있어 상대적으로 느린 열 전달로 냉점까지 열 전달이 이루어지는 과정에서 제품 표면 부위는 필요 이상의 가열로 품질이 손실되는 문제점을 갖고 있다. 하지만 가열 초고압의 경우에는 압력에 의해 온도가 상승되므로 편차 없는 가열과 살균이 가능하다. 현재 산업화 초고압 설비는 3분 이내에 600MPa 수준까지 압력을 올릴 수 있어

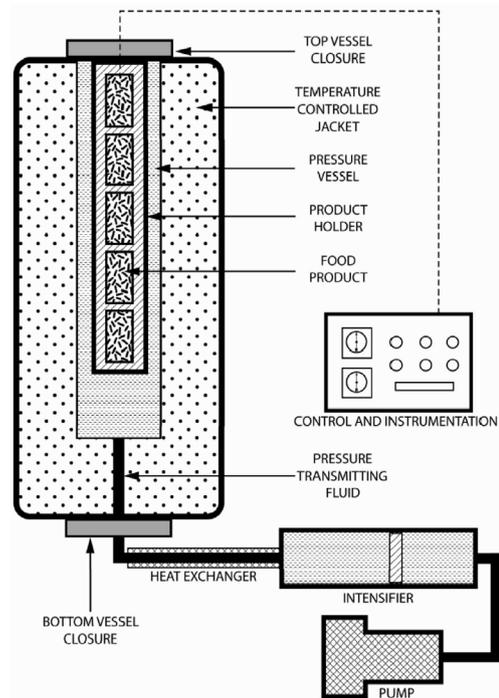


그림 4. 가열 초고압 설비 구성(4)

충분히 예열된 제품의 품온을 3분 이내에 부피와 상관없이 90~130°C까지 상승시킬 수 있다. 생산성에 있어 레토르트 설비의 경우 에너지 전달을 위한 제품 적재 이외의 vessel 내부 공간을 필요로 한다. 하지만 이론적으로 초고압을 이용하는 경우 제품 이외의 여유 공간 없이 처리 가능하다는 특징이 있다.

가열 초고압 설비는 pump, intensifier, vessel 등 현재 산업화된 비가열 초고압 설비와 기본 구성은 같으며 heat exchanger와 jacket heating system 등 fluid와 vessel 온도를 높이고 유지하기 위한 장치가 추가된다(그림 4). 현재 고온 고압 처리가 가능한 초고압 설비 제작은 기술적으로 가능하다. 산업적으로 가열 초고압 기술의 핵심은 예열부터 가압에 이르기까지 열 손실과 편차를 최소화하는 시스템 안정성과 내구성, 그리고 경제성이라 할 수 있다.

표 2. 초기 온도에 따른 물의 compression heating factor 변화(6)

Initial temperature (°C)	Compression heating factor (°C per 100MPa)
0	1.6
15	2.5
30	3.0
45	3.5
60	4.0
75	4.6
90	5.3

### 압력에 의한 가열 특성

압력에 의한 식품의 온도 상승 정도(compression heating factor)는 초기 온도와 식품 구성 성분에 영향을 받는 고유의 특성이다. Balasubramaniam 등(6)에 의하면 물은 초기 온도 30°C에서 가압이 시작되는 경우 3°C/100MPa의 온도 상승이 이루어지나 초기 온도가 90°C인 경우 5.3°C/100MPa로 초기 온도가 높아짐에 따라 압력에 의해 더 빠르게 온도가 변화한다(표 2). 식품에 따른 온도 상승 정도를 비교해 보면 탄수화물은 2.6~3.6°C/100MPa, 단백질은 2.7~3.3°C/100MPa, 지방은 6.2°C/100MPa 이상으로 구성에 따라 온도 상승 정도가 다르다(표 3). 일반적인 가공 식품의 경우 수분을 다량 함유하고 있어 물과 비슷한 특성을 보이며 지방의 경우 초기 온도에 따른 상승 정도의 차이는 적은 것으로 알려져 있다(4). 가열 초고압 살균의 최적 공정 설계를 위해서는 목적 제품에 대한 압력에 의한 가열 특성이 반드시 조사되고 고려되어야 한다.

### 미생물 사멸 효과

가열 초고압 기술은 압력에 의한 효과적인 가열이 가능할 뿐만 아니라 열과 압력에 의한 시너지 효과로 미생물 사멸 효과가 증대되는 장점을 갖는다. 기존의 가열 처리 대비 상대적으로 낮은 온도 또는 짧은 시간의 살균 처리로 기존 레토르트 대비 동등 이상의 상온 유통 안전성을 확보할 수 있다. Rajan 등(7)은 내

표 3. 식품의 compression heating factor 비교(6)

Food substance (25°C of initial temperature)	Compression heating factor (°C per 100MPa)
Orange juice, tomato salsa Skim milk, salmon fish	2.6-3.0
Carbohydrates	2.6-3.6
Proteins	2.7-3.3
Mayonnaise	5.0-7.2
Extracted beef fat	6.2-8.3
Soybean oil	6.2-9.1
Olive oil	6.3-8.7

열성 미생물인 *Bacillus stearothermophilus* 포자를 egg patties에 접종(10<sup>6</sup>cfu/g)하여 가열조건(121°C, 15분)에서 1.5Log, 초고압과 가열 병행 조건(700MPa, 105°C, 5분)에서 4Log 감균되는 결과를 확인하였으며, deionized water에 접종한 경우 가열 초고압은 6Log 이상의 감균 효과를 얻을 수 있었다(그림 5). Ananta 등(8)은 브로콜리에 *Bacillus stearothermophilus* 포자를 접종(10<sup>7</sup>cfu/g)하여 60~120°C, 50~600MPa에서의 열과 압력의 병행 처리에 의한 시너지 효과가 있음을 입증했다(그림 6). Koutchma 등(9)은 600MPa 압력의 병행 처리시 *Clostridium sporogenes*의 121°C에서의 D value가 48초에서 20초로 감소함을 확인하였다. 가열 초고압 기술의 효율적 포자 제어력은 많은 연구가 이루어졌으나 안전과 직결된 새로운 살균 기술의 산업화를 위해서는 열과 압력 시너지 효과에 대한 목표 제품을 대상으로 보다 철저한 연구와 검증이 필요하다.

### 품질 변화 최소화

압력과 열의 병행 처리는 전통적인 가열 살균법과 비교시 품질 구현에 있어서도 장점을 갖는다. Master 등(10)은 가열 초고압 처리 이후 바질(basil)의 향미 성분, 콩(green bean)의 조직감에 있어 레토르트 대비 매우 우수한 품질을 구현할 수 있으며, 과채류의 색상과 ascorbic acid 함량 비교에 있어서는 레토르트 대비 동등 이상의 품질을 확보할 수 있음을 보고하였으며, Rastogi 등(11)은 당근을 칼슘 처리한 후 압력과 열 병

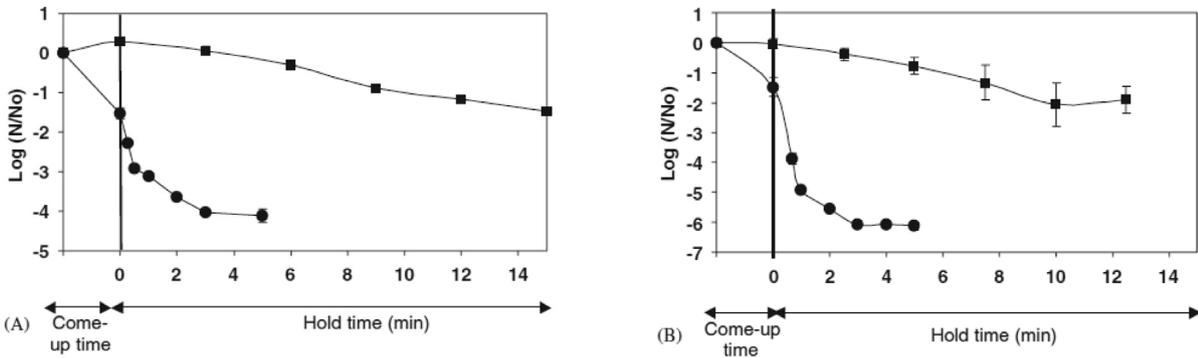


그림 5. 가열 초고압에 의한 egg patties, deionized water에서의 *B. stearotherophilus* 포자 생육 특성(7)  
 (A)egg patties, (B)deionized water, (■)heating at 121 °C, (●)700MPa and 105 °C

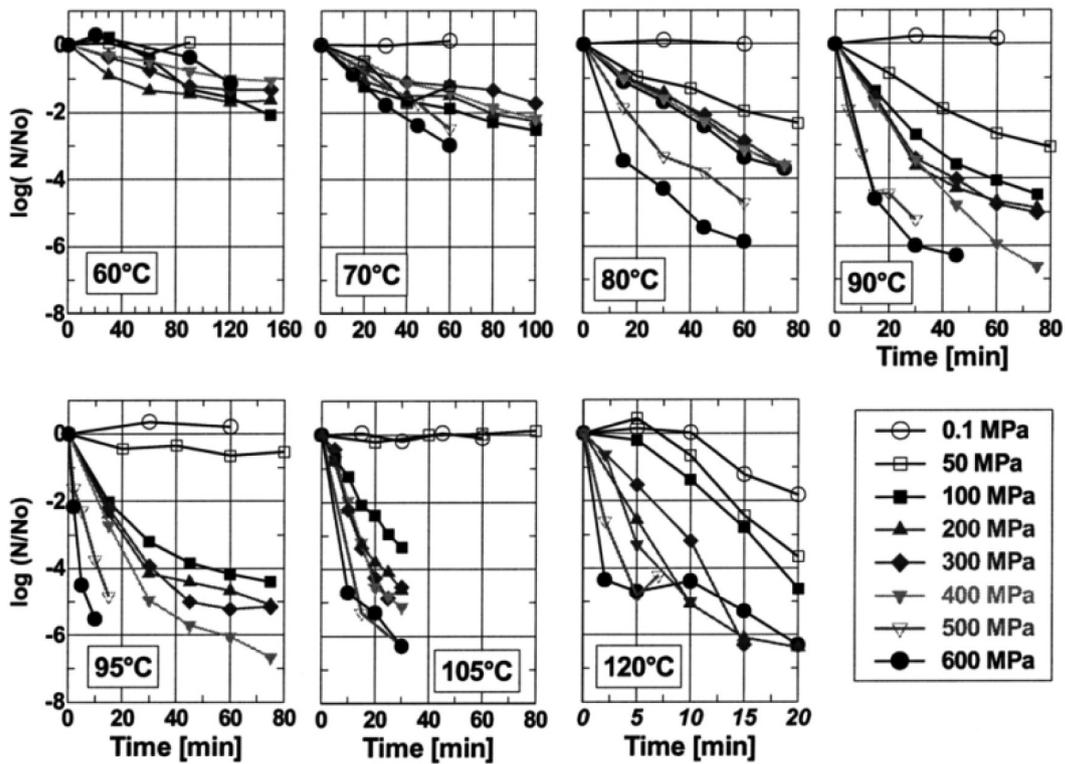


그림 6. 온도와 압력 조건에 따른 mashed broccoli에서의 *B. stearotherophilus* 포자 생육 특성(8)

행 처리 시 조직 손상을 적어지면서 보다 좋은 품질을 구현할 수 있음을 확인하였다(그림 7).

가열 초고압 기술은 기존 가열 살균 기술과 비교하

여 보다 낮은 온도 또는 짧은 시간의 가공으로 동등한 안전성을 확보하여 고품질 구현이 가능할 것으로 기대된다. 하지만 모든 식품의 품질 속성이 시간, 온도

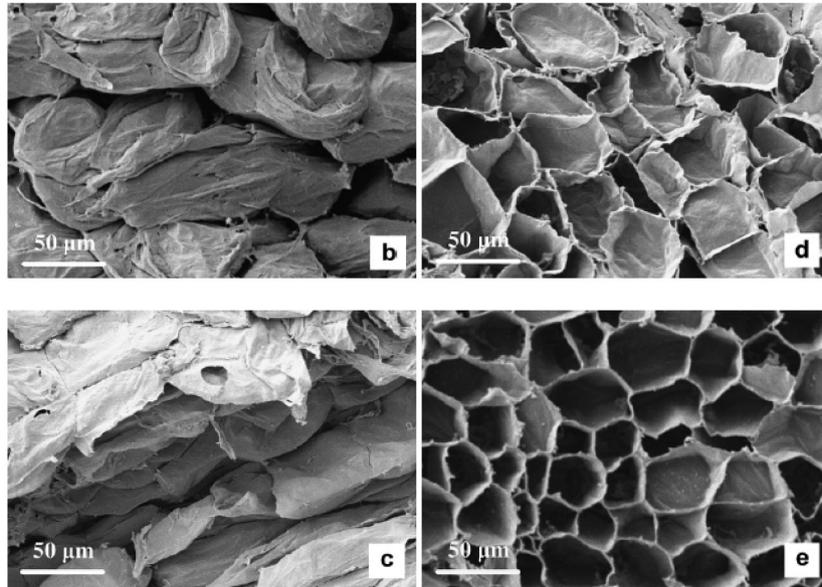
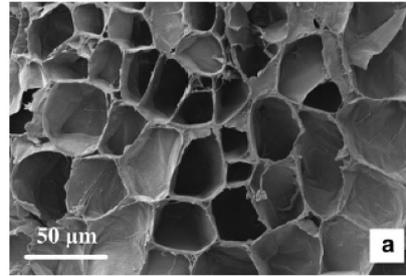


그림 7. Microstructure of carrot samples(11)

(a)Fresh, (b)Thermal processed (105°C, 10min), (c)Thermal processed (105°C, 10min) with pretreatment, (d)PATS (700MPa, 105°C, 5min), (e)PATS (700MPa, 105°C, 5min) with pretreatment

등 가공 조건 최소화와 비례하여 최종 제품에 구현되는 것은 아니기 때문에 기술의 산업적 적용을 위해서는 안전성 확보 뿐만 아니라 시간, 온도, 압력 조건에서의 품질 변화(quality degradation kinetics) 연구를 통한 최적화, 그리고 소비자에게 인정받는 특색 있는 제품 개발이 함께 진행되어야 한다.

#### 4. 뺏음말

초고압 기술은 보다 건강하고 신선한 식품에 대한 소비자의 강한 요구로 인해 높은 투자 비용에도 불구하고 비가열 가공기술로서 산업적 적용이 빠르게 이루어지고 있다. 현재까지 신선함과 보존성을 강조하

는 제품으로 시장을 확대하고 있으며 기능적인 측면에서 보다 차별화된 제품으로 응용 범위가 넓어질 것으로 예상된다.

앞으로의 초고압 기술은 열과 압력의 병행 처리를 통해 그 냉장 유통 제품뿐만 아니라 상온 유통 제품의 고품질 구현을 위한 기술로 적용 영역을 넓힐 수 있을 것으로 기대된다. 가열 초고압 기술은 기술 파급력이 매우 높은 기술로서 해외에서는 식품의 안전성과 품질, 설비 안정성 등 다양한 연구가 진행되고 있으나 국내 기술 개발은 미진한 상황이다. 향후 산업화를 위한 미생물 사멸 기작 및 안전 품질 확보를 위한 공정 조건, 고품질 구현을 위한 최적 제품의 선정, 최적 품질을 확보하기 위한 공정 개발과 안정적인 설비 구축

등 체계적이고 구체적인 연구개발을 통해 기존 가열 살균 기술의 한계를 넘는 고부가가치 식품기술로 발전할 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 농림수산식품부 고부가가치식품기술개발사업에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) 박지용, 나상열, 이연정. 비가열 식품가공기술의 현재와 미래. 식품과학과 산업 3월호:2-20 (2010)
- (2) Dunne, C.P. High pressure keeps food fresher. Available at <http://www.natick.army.mil/about/pao/05/05-22.htm> (2005)
- (3) Tonello, C. Commercial applications of high pressure processing, processing capacities and costs. Available at [http://www.doublefresh.eu/Workshop2apr09\\_Presentations/7Tonello.pdf](http://www.doublefresh.eu/Workshop2apr09_Presentations/7Tonello.pdf) (2009)
- (4) Somerville, J.A. The effects of pressure-assisted thermal processing on the quality attributes of black beans(*Phaseolus vulgaris* L.). Master's Dissertation. Ohio State University, Columbus, USA (2009)
- (5) Barbosa-Cánovas, G.V., and Juliano, P. Food sterilization by combining high pressure and thermal energy. In Gutierrez-Lopez, G., Barbosa-Cánovas, G.V., Welti-Chanes, J., and Parada-Arias E.(Eds). Food Engineering Integrated Approaches. New York: Springer pp.9-46 (2008)
- (6) Balasubramaniam, V.M., ting, E.Y., Stewart, C.M., and Robbins, J.A. Recommended laboratory practices for conducting high-pressure microbial inactivation experiments. Innovative Food Science & Emerging Technologies 5:299-306 (2004)
- (7) Rajan, S., Pandrangi, S., Balasubramaniam, V.M., and Yousef, A.E. Inactivation of *Bacillus stearothermophilus* spores in egg patties by pressure-assisted thermal processing. LWT 39:844-851 (2006)
- (8) Ananta, E., Heinz, V., Schluter, O., and Knorr, D. Kinetic studies on high pressure inactivation of *Bacillus stearothermophilus* spores suspended in food matrices. Innovative Food Science & Emerging Technologies 2:261-272. (2001)
- (9) Koutchma, T., Guo, B., Patazca, E., and Parisi, B. High pressure-high temperature sterilization: From kinetic analysis to process verification. Journal of Food Process Engineering 28:610-629 (2005)
- (10) Master A. M., Krebbers B., Berg R.W., and Bartels P.V. Advantage of high pressure sterilisation on quality of food products. Trends in Food Science & Technology 15:79-85 (2004)
- (11) Rastogi, N.K. Nguyen L.T., and Balasubramaniam V.M. Effect of pretreatments on carrot texture after thermal and pressure-assisted thermal processing. Journal of Food Engineering 88:541-547 (2008)