기획특집

식품위해미생물의 제어법 연구동향

Trends in Controlling Method of Foodborne Pathogenic Microorganisms

하상도* · 박지용[1]

Sang-Do Ha*, Jiyong Park[1]

중앙대학교 식품공학과*, 연세대학교 생명공학과[1]

Department of Food Science & Technology, Chung-Ang University*

Department of Biotechnology, Yonsei University[1]

1. 서 론

식품으로부터 위해미생물의 성장을 단순히 저해하는 방법으로는 냉장/냉동, 건조, 가스저장, 절임, 보존료 사용 등이 있으며, 이들을 사멸시키는 살균법으로는 열처리, 방사선처리(irradiation), 살균소독제 등이 이용되어 왔다. 이 같은 전통적인 식품 보존방법들은 단독 혹은 결합 형태로 식품에 처리되었으며, 식품으로부터 기존의 알려진 식품위해미생물을 억제하고, 식품의 안전성을 증대할 수 있었다. 하지만, 식품위해미생물과 관련된 새로운 사실들이 발견됨으로써 전통적인 식품 보존 방법은 그 한계를 나타내게 되었다. 새로이 발견되는 식품위해미생물들은 전통적인 식품 보존방법들에 대한 저항성을 가지며, 기존의 방법들로부터 살아남게 된다. 또한 기존의 전통적인 보존방법에 대한 저항성을 들 수 있는데, 최근의 연구에서 많은 식품위해미생물들이 열처리, 저온, 또는 산성 등의 환경 스트레스에 처해졌을 때 스트레스에 대항하는 저항성 물질을 생산하는 것이 확인되었다. 또한 한 가지 스트레스에 노출된 식품위해미생물들은 다른 스트레스에도 저항성을 가지는 유전자들의 발현을 촉진할 수 있으며, 따라서 이들 균은 식품 자체의 제한된 환경 혹은 제어를 위해 주어지는 스트레스에 적응 단계를 거쳐 전통적인 식품보존방법들로부터 살아남아 식중독을 야기 시킬 수 있다. 또한 나날이 발전하여 그 수가 증가하고 있는 식품 처리 과정/공정들로 인하여 식품위해미생물들의 새로운 저항성과 독성이 야기될 수 있다. 따라서 이러한 식품위해미생물의 전통적 식품보존방법에 대한 저항성으로 인하여 새로운 식중독 제어기술의 필요성이 대두되었으며, 실제로 최근 몇 십 년 사이 식품으로부터 새로운 식품위해미생물 제어기술들의 개발 및 연구가 선진국을 중심으로 활발하게 진행되어왔다. 또한 새로운 식품보존방법들은 식품의 안전성뿐만 아니라 식품의 질과 영양을 유지하는데도 기여를 하고 있다. 최근 소비자들은 최소한의 공정을 거친 식품을 선호하며, 화학첨가제가 함유된 식품을 기피하고 있다. 이와 같은 이유로 비가열 최소가공법법이 새로운 식품보존 기술로 각광 받고 있으며, 되도록 짧은 시간에 식품의 품질을 저하시키지 않으며, 안전성과

*Corresponding author : Sang-Do Ha
Department of Food Science and Technology, Chung-Ang University, Daeduk-myun, Ansung-si, Gyunggi-do 456-756, Korea
Tel: 82-31-670-4831 / Fax: 82-31-675-4853
E-mail: sangdoha@cau.ac.kr

저장기간을 증대할 수 있는 목적을 가지고 여러 방면에서 연구되고 있다. 이러한 최소가공법의 대부분은 가열로 인한 식품의 품질 저하를 막기 위해 비열 가공 공정을 거친다.

현재 식품 산업에서는 다양한 물리적, 화학적, 생물학적 비열 가공 기술이 연구되고 있다. 물리적인 방법으로 초고압(high hydrostatic pressure), 고전압 펄스 자기장(high voltage pulsed electric field), 진동 자기장(oscillating magnetic fields, OMF), 방사선 조사법(radiation), 초임계 이산화탄소(supercritical carbon dioxide), 광 펄스(high-intensity pulsed light), 초음파(ultrasonics) 등이 있으며, 화학적 방법에는 자외선을 이용한 광촉매 산화(photocatalytic oxidation), 오존(ozone), 전기분해수(electrolyzed water), 리소자임(lysozyme)을 비롯한 미생물 세포벽 분해효소, CA 저장법(controlled atmosphere storage), 살균소독제 등의 방법을 사용한다. 그 밖에 미생물을 이용한 발효나 미생물이 생산한 박테리오신(bacteriocin)과 같은 천연항균물질(natural antimicrobial product)을 이용한 생물학적 방법도 있다. 본 고에서는 새로운 식품보존기술을 열처리법(thermal)과 비열처리법(non-thermal)으로 구분하여 소개하겠다.

2. 본 론

가. 정균작용

수분활성도(water activity)를 조절하는 건조법이 전통적으로 가장 오래 전부터 사용되어 왔으나, 현재는 진공, CO_2 등 가스 조절법이 일부 사용되고 있으며, 냉장/냉동이 가장 대중적으로 사용되고 있다(그림 1).

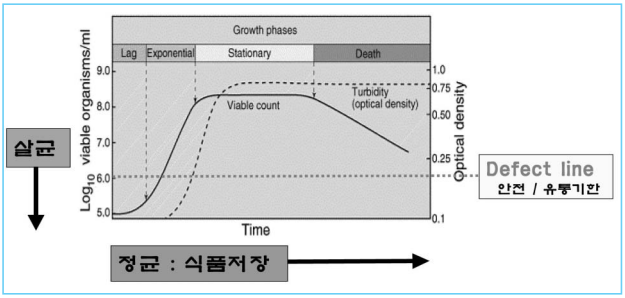

그림 1. 정균, 살균의 기본 원리

나. 살균작용

1) 열처리 이용법(Thermal processing)

(1) 가열에 의한 미생물의 파괴

식품 내 오염된 미생물의 파괴방법 중 열에 의한 우유내의 미생물 파괴방법으로 살균(pasteurization)과 초고온 처리법(ultra-high temperature treatment, UHT 또는 sterilization)이 주로 사용된다. 멸균 또는 UHT 처리는 우유를 130~150℃범위에서 최소 1초 이상 열처리하므로 "상업적으로 멸균된 우유"라고 한다. 멸균유는 상온에서도 1~3개월간 보존이 가능하므로 열대지역, 농촌, 전장 등지에서 편리하게 사용할 수 있다. 높은 온도에서 멸균을 시키는 기본 원리는 10℃ 증가 당 화학반응속도 증가(Q10)가 2~3배로서 열에 의한 우유성분의 변질속도의 증가율은 일정하지만, 내열성 미생물 및 미생물 포자의 사멸속도의 증가율은 10℃ 증가 당 8~30배로서 온도증가에 따른 미생물포자의 사멸속도 증가율이 우유성분의 화학변화 속도 증가율보다 몇 십 배 빠른 점에 근거하고 있으며 극히 짧은 시간 동안만 열처리를 하여 영양분의 파괴나 원하지 않는 화학반응을 극소로 억제시킨다.

(2) 마이크로파(Microwave)와 방사진동(Radio frequency, RF)을 이용한 열처리

마이크로파나 방사진동 열처리는 진동을 가진 전기 자기장의 파장을 이용해서 물질에 열을 주는 방법이다. 미국의 경우, 일반적으로 마이크로파의 식품의 처리를 위해서 2,450과 915 MHz의 두 가지 주파수가 주로 이용되고 있으며, 2,450 MHz는 가정용 오븐에 주로 이용되고, 산업체에서는 두 가지의 주파수가 모두 이용되고 있다. 방사진동을 이용한 열처리의 경우에는 세 가지의 주파수가 모두 이용되고 있다. 하지만, 방사진동 기술은 제과 및 제빵 등의 몇몇 식품 산업에서 이용되고 있을 뿐 실제로 상업적인 사용은 거의 이루어지지 않고 있다.

마이크로파나 방사진동 방법은 유전체적 혹은 이온적 열을 발생시킬 수 있다. 식품 내의 수분이 유전체적 열을 일으키는

주요 요소이며, 물분자의 양극성 특성으로 인하여 물분자가 높은 파장에 의해서 진동되고, 전기자기력 방사(electromagnetic radiation)와 결합하여 전기장을 만들게 된다. 이러한 식품 내의 물분자의 진동에 의하여 열이 발생된다. 식품내의 이온들 또한 진동에 의한 동요를 만들고 자기장을 형성함으로써 열을 생산한다. 마이크로파나 방사진동 열처리 방법은 기존의 열처리 방법과 비교했을 때 식품의 온도를 매우 빠르게 증가시키며, 원하는 온도를 만드는데 적은 시간이 소요된다. 또한 이 방법들은 특히 고체나 반고체 물질의 적용이 용이하며, 포장된 식품에서도 이용이 가능하다. 이 방법들은 짧은 시간에 높은 열을 생산함으로써 병원균을 효과적으로 파괴하고, 열에 의한 식품 성분의 분해를 줄일 수 있다. 식품 산업에서 이용된 마이크로파 살균 혹은 멸균의 적용 예는 30년 전 이상으로 거슬러 올라가며, 호상 요구르트나 우유와 같은 유제품의 살균에 처음으로 시도되었다. 현재는 전 세계적으로 그 이용이 가정 혹은 산업적으로 널리 이루어지고 있다. 방사진동 기술의 경우, 몇 년에 걸친 연구가 이루어졌음에도 불구하고, 아직까지 적용 실적이 저조한 형편이다. 마이크로파의 살균이나 멸균 효과는 여러 가지 요소에 의해서 영향을 받을 수 있으며, 장치의 디자인이 전통적인 열처리 방법과 다르게 결과에 큰 영향을 미칠 수 있다. 예를 들면, 포장 식품의 경우, 포장 물질은 마이크로파의 통과가 가능해야 하고, 높은 녹는점을 가져야만 한다. 또한 몇몇 금속물질은 마이크로파의 투과를 저하시키고 식품 온도의 변화를 야기할 수 있다. 마이크로파와 방사진동 기술의 가장 큰 제약은 열처리의 불균일성이며, 이러한 단점을 개선시키기 위한 노력이 계속해서 진행 중에 있다. 그러한 예로써 마이크로파 처리 동안 회전판 등을 이용하여 균일한 열처리를 가능하게 하는 방법이 개발되었으며, 산업적으로는 기존의 열처리나 화학 약품 등과 결합된 형태의 처리가 고려되고 있다.

(3) 저항 열처리(Ohmic heating)

저항 열처리 방법은 최소한의 에너지를 이용함으로써 식품의 열에 대한 손상을 줄이기 위한 열처리 방법이다. 이 방법은 낮은 볼트의 교차 전류를 식품 내로 흐르도록 하며, 식품의 전기 전도성으로 인하여 식품 내에 열이 발생한다. 즉, 이것은 액체 혹은 고체 물질내의 전기 저항의 효과를 이용하여 전기 에너지를 열로 전환시키는 방법이다. 여러 개의 전극이 장치된 관속으로 식품을 투입하여 처리하게 된다. 이 방법의 장점은 신속하고 균일하게 물질에 열을 처리를 할 수 있다는 것이며, 신속한 온도의 상승으로 식품 내 미생물을 보다 효과적으로 제어할 수 있다. 하지만, 저항 열처리를 통한 미생물의 제어는 열에 의한 효과뿐만 아니라 열에 의하지 않은 효과도 함께 보고 되고 있다. 이 방법은 현재 일본과 유럽 등에서 과일의 살균을 위해서 이용되고 있으며, 미국에서는 액상 계란의 처리를 위해서 개발된 하나의 상업적인 설비가 이용 되고 있다. 이 방법의 응용으로는 식품의 데치는 과정, 증류, 수화, 발효, 그리고 추출 등의 과정에 이용이 기대되며, 액화 식품이나 미립자 식품, 특히 인스턴트 음식, 과일, 채소, 고기, 또는 어류 등의 살균이나 멸균 등에 이용될 수 있다. 하지만, 그 응용식품에는 충분한 전도성을 가진 식품으로 제한되며, 식품에의 폭넓은 이용을 위해서 병원균의 제어 원리, 전기장과 온도의 결합된 영향, 처리되는 식품내의 온도 측정 기술 등의 추가적인 선행 연구가 요구된다.

2) 비열처리 방법(Non-thermal processing)

(1) 펄스 전기장(Pulsed electric field, PEF)

펄스 전기장 방법의 식품에의 적용은 1920년대 말 미국에서 우유에 적용시킴으로써 처음으로 시도되었다. 이 방법은 두 개의 전극을 이용하여 높은 볼트의 전기장(일반적으로 20-80 kV/cm2)을 만들어 식품의 살균이나 멸균에 이용한다. 펄스 전기장 방법은 식품의 열처리에 의한 에너지를 최소화하며, 식품의 관능적 그리고 바람직하지 않은 물리적 변화를 줄일 수 있으며, 병원균, 효모, 그리고 곰팡이 등이 파괴하는데 효과가 있음이 보고되었다. 펄스 전기장을 이용한 미생물의 제어의 원리는 여러 가지 이론으로 설명되고 있는데, 그중 가장 잘 설명된 이론은 전기의 분해와 전기 천공(electroporation)이다. 전기의 높은 볼트 충격은 세포막 안과 밖에 다른 전위를 일으키며, 세포막의 안과 밖에 전위 약 1 V의 정도의 전위 차이가 일어나서 세포막의 파손이 야기된다. 따라서, 높은 전극의 강도(10 kV/cm 이상)에서 전기 충격을 가지게 되면 미생물 세포는 회복할 수 없는 정도의 세포막의 파괴를 입게 된다(전기 분해). 혹은

높은 전극의 강도는 세포막의 이중 지방층이나 단백질을 불안정화 할 수 있으며, 그로 인해서 미생물 세포의 파괴를 가져올 수 있다(전기 천공). 펄스 전기장을 이용한 미생물 제어방법에 영향을 줄 수 있는 요소로는 과정 요소(전기장의 강도, 펄스 넓이, 처리 시간, 온도, 펄스 파장 모양 등), 미생물적 요소(종류, 수, 미생물의 성장 단계 등) 그리고, 배지 요소(pH, 항균물질의 유무, 이온 물질, 전도성, 배지의 이온 강도 등) 등이 있다. 이 외에도 최소의 온도 증가로 식품에 균일한 처리를 줄 수 있는 처리상(chamber)의 디자인과 전기분해를 최소화 할 수 있는 전극의 디자인이 중요한 요소로 작용한다. 현재 두 가지의 상업적인 시스템이 이용이 가능하며, 처리상으로 laboratory-scale과 pilot-scale 처리상이 디자인되었고, 식품의 펄스 자기장 처리에 이용되었다. 펄스 자기장 처리를 위한 도구로는 다섯 개의 주요 요소(전력 공급 장치, 축전기, 처리상, 식품 유동 펌프, 냉각장치 측정 및 제어장치)로 구성된다. 펄스 전기장 기술은 식품의 안전성을 높이고 식품의 질을 향상시키기 위해서 주로 이용되어 왔지만, 그 이용에는 높은 전기장을 견딜 수 있는 식품으로 제한되며, 또한 액체 식품의 경우 입자의 크기로 제한될 수 있다. 실제 사용에 대한 예로 과일 주스, 우유, 액상 계란 등의 살균에 이용되고 있다. 펄스 자기장 방법이 식품 보존 기술로서 그 가능성을 가지고 있다 하더라도, 실험적인 조건이 다양하며, 미생물을 제어하는데 결정적인 과정 요소들의 효과들에 대한 연구가 부족한 실정이다. 또한 처리된 식품의 인체에 대한 위해성 혹은 식품 물질의 처리에 대한 효과는 거의 보고 되지 않고 있다. 따라서, 산업적인 응용에 앞서 이 같은 연구가 선행되어야 할 것으로 생각된다.

(2) 방사선 처리(Irradiation, ionizing radiation)

방사선 처리방법은 주로 방사선 동위 원소로부터 기계나 감마 광선에 의해 생산되는 알파 입자, 베타 광선 또는 전자, 그리고 X선 등을 포함하는 이온화 방사선처리의 응용을 수반하는 모든 처리를 말한다. 식품의 보존을 위해서는 2,000옴 혹은 그보다 적은 파장을 가지는 X선, 베타 광선, 그리고 감마 광선들이 주로 이용된다. 방사선이 미생물에 대한 저해 작용 원리에 대해서는 아직 완전히 밝혀지지 않았으나, 대략 방사선이 생물체를 투과하여 생물체를 구성하고 있는 화합물 분자에 방사선의 에너지가 흡수되어 물질의 분자가 이온화되거나 들뜨게 됨으로써 생물체의 유전자의 손상과 같은 눈으로 확인되지 않는 생물학적 변화를 일으킴으로써 미생물의 저해를 일으키는 것으로 알려져 있다. 식품의 방사선 처리에 영향을 주는 주요 요소들로는 여러 가지가 있으며, 그 예로, 방사선 양, 미생물의 종류와 양, 식품의 구성, 보존방법, 온도, 공기, 가스의 구성 등을 들 수 있다. 방사선 살균은 방사선이 순간적으로 균일하고 깊게 작용하여 연속적인 대량 살균이 가능하며, 기존의 가열 살균과 달리 식품의 화학적인 변화가 적다(Fielding *et al.*, 1997). 식품의 최종 포장 후 공정에 사용하여 미생물을 사멸시킴으로써 재오염을 방지할 수 있으며, 식품 자체의 품질과 가공 중 환경에 미치는 영향이 거의 없다는 장점이 있다(Dong *et al.*, 2003). 또한 정량적인 에너지 조절이 가능하고, 일반적으로 수행되고 있는 가열살균이나 냉동살균에 비해 에너지 소요가 낮아 경제적이다(Brynjoifossn, 1981). 1895년 W.K. Roentgen에 의해 X-ray가 발견된 후 방사선의 생물학적 효과에 대한 연구가 시작되었으며, 1921년 미국에서 육류에 존재하는 기생충인 *Trichinella spiralis*의 살균 기술로 특허를 받아 본격적으로 이용되기 시작하였다. 국내에서는 1957년 한국원자력연구소의 저준위조사시설을 이용한 기초연구가 시작된 이후 1975년 연구용 대단위 감마선 조사시설이 가동되면서 식품을 비롯한 제약이나 의료기구에 대한 방사선 조사기술이 도입되었다. 현재 국내에서는 식품의 발아 억제, 숙도 지연, 살균, 저장성 향상, 물성 개선 등의 물리화학적, 생물학적 용도로 널리 사용되고 있으며, 일본에서는 1973년부터 연간 15,000톤 이상의 감자가 유통 단계에서 감마선을 이용하여 처리하고 있으며, 이렇게 처리된 감자는 가공 적성이 우수한 것으로 나타났다. 현재 세계 37개국, 170여개의 시설에서 200여종 이상의 식품 품목에 방사선 처리가 허용되었으며, 우리나라의 경우 현재 감자, 양파, 마늘에 0.15KGy이하, 밤에 0.25KGy 이하, 생버섯, 건조버섯에 1KGy 이하, 난분, 가공식품 제조원료용 곡류, 두류 및 그 분말, 조미식품 제조원료용 전분에 5KGy 이하, 가공식품 제조원료용 건조식육 및 어패류분말, 된장분말, 고추장분말, 간장분말, 가공식품 제조원료용 건조채소류, 효모.효소식

품,조류식품, 알로에분말, 인삼(홍삼포함)제품류에 7KGy 이하, 건조향신료 및 이들 조제품, 복합조미식품, 소스류, 침출차, 분말차, 2차 살균이 필요한 환자식에 10KGy 이하로 허가되어 있다. 하지만, 위생적 품질관리가 절대적으로 요구되는 가공식품의 대량생산체제에서 현실적으로 분말 및 건조식품과 수출용 가공식품에 적합한 살균 및 살충방법이 미흡한 실정이므로 국내의 식품산업에서 방사선 처리 기술은 그 수요가 지속적으로 증가될 것으로 예상된다. 방사선 처리된 후의 식품의 안전성에 대한 의견은 아직까지 논란이 계속되고 있으나, 오랜 안전성 연구 결과에 의하면, 적절한 방사선의 처리가 수행되었을 경우 처리된 식품은 안전하다는 결론을 내리고 있다. 또한 세계적으로 동물과 식물에 방사선을 조사하여 번식시험과 독성시험 등을 수행하는 등 안전성에 대한 연구를 계속하고 있으나 발암물질이나 유독 물질은 과학적으로 아직까지 보고되지 않고 있다. 하지만, 아직까지 식품으로부터 방사선의 처리 여부를 검증하는 정확하고 간단한 방법이 미흡한 실정이므로 그 규제의 범위를 설정함에 있어서 난항을 겪고 있다.

(3) 강력 광 펄스(Intense light pulses)

이 방법은 넓은 스펙트럼 백색광(white-light)의 강하고 짧은 파의 충격을 이용한 식품 보존 방법이다. 빛의 분광은 적외선 근처의 UV에서의 파장을 포함한다. 1초 이내에 몇 번의 발광으로 높은 병원균의 제어 효과를 거둘 수 있음이 보고되었다. 이 기술은 포장물질이나 식품의 표면의 미생물 수를 줄이거나 멸균하는데 주로 응용되고 있으며, 빵이나 케익 혹은 밀가루 반죽, 수산 식품이나 고기류 등의 내구성을 증진하는데 이용될 수 있다. 빛 파동을 이용한 이 방법은 특정 포장물질을 통과할 수 있기 때문에, 포장된 상품에도 사용이 가능하다. 하지만, 응용에 앞서 여러 가지 식품 혹은 표면에서 전체 분광(spectrum)에 의한 미생물 제어 동력학(kinetics)에 대한 독립적인 연구가 필요하다.

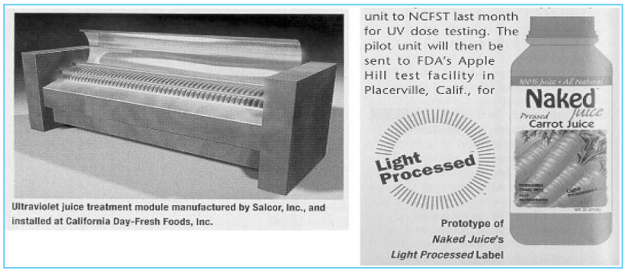

그림 2. UV light를 사용하여 살균한 과일/야채쥬스

(4) 초고압 처리(High pressure processing, HPP)

초고압 처리(HPP) 기술은 다른 용어로써 ultra high pressure(UHP) 혹은 high hydrostatic pressure(HHP)로 불리어질 수 있으며, 열처리 방법을 대체 가능한 식품보존방법으로 오래 전부터 연구되어 왔다. 초고압 처리 기술의 이용은 한 세기 이전부터 시작되었고, 오래 전부터 우유의 미생물에 대한 부패를 방지하기 위해서 이용되어오고 있다. 최근에 이 기술은 식품의 보존 방법으로써 다시 주목을 받고 있으며, 많은 수의 과학자들에 의해서 연구되고 있다. 이 방법에 의해서 처리된 식품들이 일본, 프랑스, 스페인, 그리고 미국에서 이미 시장에 선보이고 있으며, 처리되는 식품으로는 포장 혹은 미포장 상태의 액체 그리고 고체 식품이다. 식품의 처리를 위해서는 주로 100-800 MPa가 이용되며, 압력처리시의 온도는 0-100℃로 다양하고, 처리 시간은 몇 초에서 혹은 20분 이상으로 처리되어진다.

이 기술의 장점으로는 처리된 식품이 고유의 신선도, 색, 향미, 그리고 맛을 유지하고, 즉각적이고 균일한 상태로 크기나 모양, 식품의 구성과 상관없이 적용될 수 있다는 점이다. 초고압 처리에 의한 식품의 영향은 약 3℃의 온도가 증가되었을 때 100 MPa 단위당 식품 내의 압축이 증가될 수 있고, 압력의 처리로 인해 식품의 pH가 달라질 수 있음이 보고되고 있다. 압력을 이용한 살균은 상온에서 이용가능하고, 열처리와 비교했을 때 에너지의 절약을 가져온다. 처리 온도, 수분의 정도와 pH는 압력 처리의 결과에 영향을 주는 주요한 요소이며, 상온 이상으로 식품의 온도가 증가되었을 때 혹은 상온 아래로 온도가 감소되었을 때 미생물의 제어정도가 증가되는 것이 확인되었다. 45-50℃ 범위의 온도는 식품으로부터 유래하는 식중독균과 부패균의 제어를 높일 수 있으며, 500-700 MPa 압력과 결합된 90-110℃ 범위의 온도는 Clostridium botulinum과 같은 미생물의 포자를 제어할 수 있음이 보고되었다. 현재 압력 처리는 batch와 semi-continuous의 상태에서 이루어지고 있다.

식품에 대한 압력의 처리는 미생물의 저해뿐만이 아니라 그

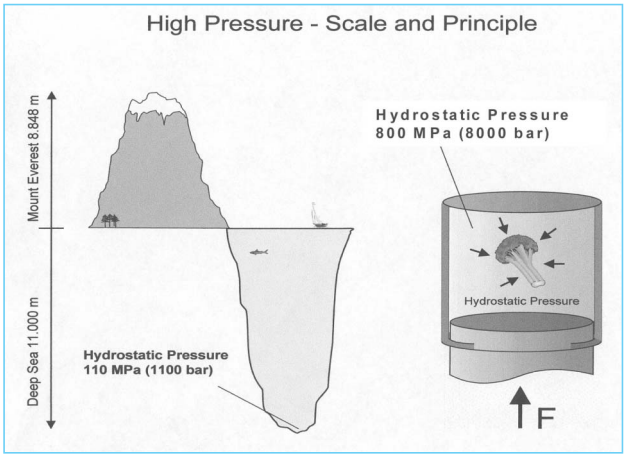

그림 3. 초고압의 단위와 원리

외의 단백질 변성 또는 변형, 효소의 활성 혹은 불활성, 효소와 기질의 결합의 변화, 탄수화물과 지방 등의 복합체의 성질 변화, 용액에서 화학 반응 정도의 변화 등과 같은 효과를 수반한다. 하지만, 이 변화들은 열처리와 비교했을 때 비교적 적은 것으로 알려져 있으며, 압력의 처리에 의한 식품 성분의 상태의 변화에 대한 정확한 원리는 아직 잘 알려지지 않고 있다.

초고압 처리는 열처리를 대체하는 식품보존방법으로서 오랫동안 주목되어왔고, 많은 연구가 이루어졌지만, 아직까지 장치의 비용이나 처리에 대한 신뢰성, 기술의 부족 등으로 산업적으로는 이용이 잘 이루어지지 않고 있다. 새로운 장치의 개발, 기술의 발전 등으로 위의 문제점들이 극복된다면, 다양하고 폭넓은 산업적 응용이 기대된다(그림 3, 그림 4).

(5) 진동 자기장(Oscillating magnetic fields, OMF)

고정 혹은 진동 자기장 방법은 최근 식품으로부터 미생물을 제어하기 위한 한 방법으로써 그 가능성이 대두되고 있다. 식품에 진동 자기장의 충격을 주는 시간은 10㎲ 또는 milliseconds (ms) 정도이며, 진동수는 최대로 500 MHz이 이용될 수 있다. 하지만, 그 이상의 진동수에서는 미생물의 제어 효과가 없으며, 열이 발생되기 시작하는 것으로 알려져 있다. 보통 식품에서의 처리를 위해서는 식품은 비닐팩으로 봉합되며, 0-50℃의 온도에서 5-500 kHz의 진동수를 가진 자기장이 25-100 ms 동안에 1-100 펄스로 처리된다. 몇몇 연구에서 진동 자기장이 식품에서의 병원균 제어에 가능성을 보여주었으나, 아직 이 기술의 처리에 대한 정보가 부족한 실정이며, 몇몇 선행 연구 결과도 매우 모순되는 결과를 보여주고 있다. 따라서 식품산업에 응용되기 전에 이 기술의 효과에 대한 많은 부분의 연구가 선행되어야 한다. 결과에 영향을 주는 주요 요소 또한 확실히 밝혀지지 않았으나 자기장의 강도, 전기 저항성, 그리고 미생물의 성장 단계 등으로 추측되고 있다.

(6) 초음파(Ultrasound)

초음파 파장(20.00 Hz 혹은 그 이상의 음파 파장으로부터 유래되는 에너지)은 음파가 순식간에 발생했을 때, 액체 배지에서 높은 온도와 압력을 수반하는 공기방울을 생산할 수 있다. 초음파의 항미생물 효과는 추진기 뒤에 생기는 진공현상인 캐비테이션(cavitation)에 기인하여 발생되며, 세포 조직과 기능성 요

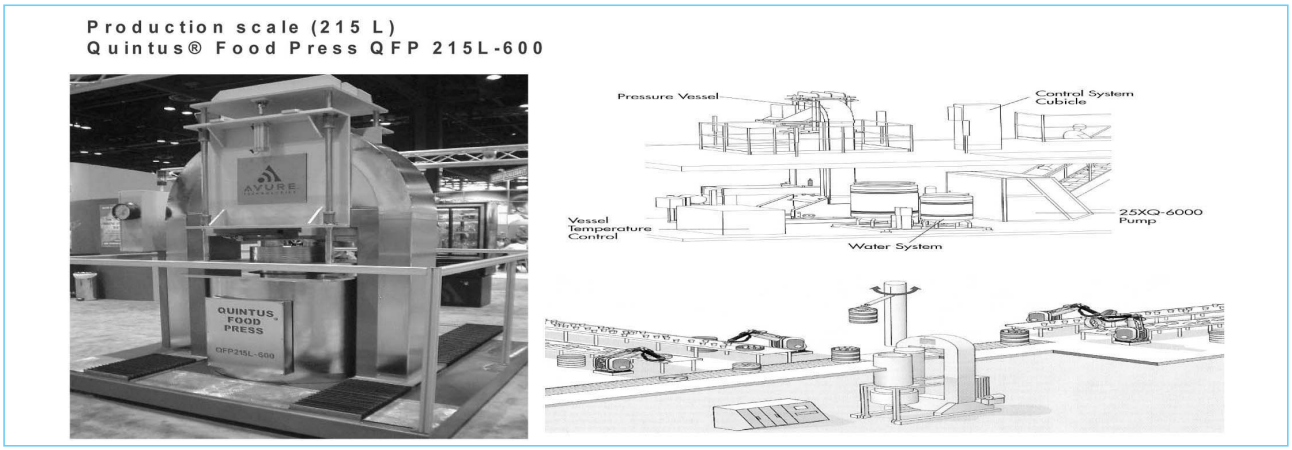

그림 4. 초고압 살균기 예시.

소들을 파괴하며, 결과적으로 세포의 용해를 일으킨다. 이 방법에 영향을 줄 수 있는 요소로는 초음파 파장, 미생물의 종류, 처리되는 식품의 양, 식품의 구성 그리고 온도 등이 있다. 그러나 이 방법이 단독으로 처리되었을 때, 미생물에 충분한 저해를 일으키지 못하므로, 주로 다른 식품보존방법들과 결합하여 사용된다. 이 방법은 식품 산업에서 미생물의 제어 혹은 효소의 불활성화를 위해서 광범위한 응용이 기대되지만, 현재는 식품에 대한 응용이 미생물과 관련되지 않은 범주에서 대부분 이루어지고 있다. 현재까지 이 방법을 이용한 미생물에 대한 저해 연구 결과가 많지 않으나, 진행되고 있는 연구들로는 주로 다른 제어 방법들(예: 열처리와 압력)과 결합한 형태의 연구가 중심적으로 이루어지고 있다.

(7) 광촉매 (photocatalysis)

최근 물이나 폐수에 함유되어 있는 유독한 유기화학물질 처리에 고급산화법(advanced oxidation process)을 이용하려는 연구가 활발하게 진행 중이며, 이는 강력한 산화력을 갖고 있는 hydroxyl radical(·OH)을 이용하여 처리대상 물질을 CO_2, HCl, H_2O의 형태로 무기화(mineralization)시키는 것으로 UV/O_3, H_2O_2/O_3, UV/H_2O_2, UV/H_2O_2/O_3 및 광촉매 공정 등으로 나누어진다(Joo *et al.*, 1999). 이 방법들 중 경제적이고 환경친화적인 광촉매 반응을 이용한 연구가 집중적으로 이루어지고 있는데, 광촉매로 쓰이는 TiO_2, ZnO, WO, CdS, ZnS, GaP, CdSe 등의 금속산화물 중 TiO는 광에 의한 자체 분해반응이 일어나지 않고, 매우 풍부한 자원이기 때문에 가격도 저렴하고, 광촉매로서 내구성, 내마모성이 우수하며, 그 자체는 무독물질이어서 폐기하여도 2차 공해에 대한 염려가 없어 환경정화용 광촉매로 매우 적합하다. 특히, 광촉매의 조건과 활성을 고려해 볼 때, 빛을 받아도 자신은 변화하지 않아 반영구적으로 사용할 수 있고, 염소나 오존보다 산화력이 높기 때문에 살균력이 뛰어나고, THMs 등의 염소 소독의 부산물들을 효과적으로 처리할 수 있어 TiO_2는 대표적인 광촉매 물질로 널리 사용되고 있다. 현재 환경 분야뿐만 아니라, TiO_2 광촉매의 살균효과에 대한 다양한 연구가 활발하게 수행되고 있다. TiO_2 광촉매의 살균효과에 대한 초기 연구로는 *Saccharomyces cerevisiae*, *Eschericia coli*, *Lactobacillus acidophilus*, *Chlorella vulgaris* 등에 대한 광화학 반응을 일으키는 반도체 입자가 살균효과를 가지고 있음이 보고되었다. 또한 아세틸 셀룰로오스막에 TiO_2, ZnO를 침착시켜 살균효과를 실험하여 실용화 가능성을 제시하였으며, 광섬유(optical fiber)를 TiO_2에 조사하여 광반응을 일으켜 *Eschericia coli*를 제거하는 실험에서도 좋은 효율을 나타내는 것으로 보고되고 있다(Cho *et al.*, 2001). 이산화티탄 표면에 자외선에 의한 빛 에너지의 조사가 이루어지면 이산화티탄 가전자대(valence band)에 있는 전자(e^-)가 전도대(conduction band)로 전이되고 가전자대에는 전자가 비어 있는 정공(h^+)이 남게 된다. 이렇게 생성된 전자(e^-)와 정공(h^+)은 이산화티탄 표면에 확산되어 아래와 같은 연속적인 반응을 일으키게 된다. 몇 단계의 과정을 거쳐 만들어지는 수산화 라디칼(·OH)과 초과산화물 라디칼($O2^{\cdot-}$) 등은 강력한 살균력을 지니고 있고 반응성이 매우 높아 유기물을 산화시키고 미생물을 멸균시키는 작용을 한다. TiO_2 광촉매에 의한 살균효과는 일반 항균제와는 달리 2차적으로 발생되는 독소를 모두 분해하는 특성을 지니고 있어 유용하며, 강력한 광화학적 산화반응을 일으켜 병원성 균의 세포 호흡활성을 감소시키고, cell permeability에 영향을 주어 세포 내 물질의 유출을 유발하며, 세포막이 손상된 cell에 free TiO_2 particle이 직접 작용해 세포내 물질을 공격하여 세포 자체를 사멸시키는 것으로 알려져 있다. TiO_2 광촉매에 의한 살균력은 세균의 크기와 모양 같은 각각의 균주의 physical property에 영향을 많이 받는다고 한다.

광촉매 기술은 환경 분야의 오염물 제거, 화장품, 페인트, 나노 산업 등에 주로 많이 이용되고 있으나, 광촉매제인 이산화티탄이 식품첨가물로 승인되어 사용될 만큼 인체에 무해하고, 생물학적, 화학적으로 안정하며, 내구성, 경제성이 있고, 저온에서의 비열 처리가 가능하므로 식품 산업에서의 다양한 이용도 가능하다고 판단된다.

(8) Filtration

균의 크기보다 작은 격자의 필터로 균을 걸러 제거하는 방법으로 depth filter, membrane filter, nucleation track (Nucleopore) filter가 주로 사용되고 있다(그림 5).

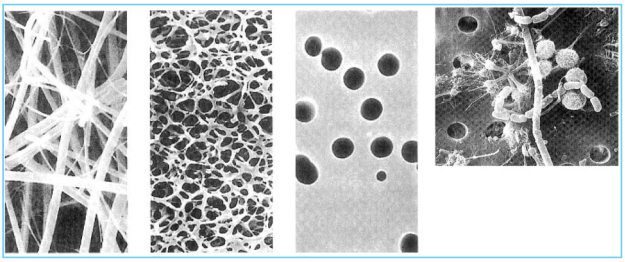

그림 5. 필터의 내부와 걸러진 균의 모습.

(9) 오존(ozone, O_3)

오존은 "산소(O_2)"가 방전에 의해 "산소원자(O)" 1개가 더해지면서 자연적으로 발생한다. 그러나 인위적으로 발생시키기 위해 산소에 물리, 화학적인 자극으로 에너지를 가해 오존으로 변화시키는 무성 방전 방법, 전해법, 광화학반응법, 방사선조사법, 고주파 전계법이 있다. 산업적으로는 무성 방전 방법이 에너지 효율성, 성능의 안정성, 조작 및 제어의 편리성으로 가장 널리 이용되고 있다. 오존(ozone, O_3)은 산화 작용을 통해 미생물들을 불활성화 시키고 무해한 산소로 분해되어 식품 산업에서 유용하게 사용될 수 있는 잠재성이 높은 항균 물질이라고 할 수 있다. 오존 가스는 공기 중에서 지속성이 짧아 대부분은 이를 물에 녹인 오존수 형태로 이용한다. 불소 다음으로 산화력이 높아 유 · 무기물 등과 높은 반응성을 가지고, 살균, 탈취, 탈색 효과가 있다.

오존에 의한 살균 작용은 주로 당단백질, 당지질, 트립토판 등으로 구성된 미생물의 세포막을 공격함으로써 시작된다. 이렇게 오존이 세포 내부로 침투하여 각종 호흡관련 효소(respiratory enzyme), 불포화지방산(unsaturated fatty acid), 단백질(protein)과 핵산(nucleic acid), 포자(spore) 등의 구성 요소들을 산화시키며, 세포막의 투과도가 증가하면서 세균의 사멸 속도가 가속화되고 결국 세포 용해가 일어난다. 열이나 외부 요소로부터 안정한 세포의 특정한 구조인 spore도 오존에 의해 불활성화 된다는 것이 증명되었다(Foegeding, 1985). 오존 살균법은 다른 가공법에 비해 초기 설비비가 저렴하고 식품의 표면뿐만 아니라 조직 내부까지 살균할 수 있어 효과가 높다. 또 오존 자체가 매우 불안한 상태의 고에너지 분자로서 반감기가 짧기 때문에 처리 후 자연적으로 무해한 산소로 분해되어 잔존에 대한 우려가 없다. 또한 세균에 의해 생성된 이취를 제거할 수 있고, 비교적 낮은 농도에서 높은 살균 효과가 나타나며, 과일 수확 후 저장기간을 연장시킬 수 있다. 그러나 오존을 고농도로 사용할 경우 탈색되거나 원치 않는 이취가 생성될 수 있다(Rice *et al.*, 1982). 오존 살균법은 수십 년 전부터 유럽 등지에서 상하수도 관리와 음용수 정화에 이용되어 왔으며, 국내에서는 주로 폐수 처리에 이용되어 왔다. 최근에 수족관, 공기청정기, 식품 저장고 등의 다양한 범주에서 오존을 이용하는 사례가 늘고 있다. 오존수는 과채류를 비롯한 육류, 가금류, 유제품과 같이 다양한 식품에 존재하는 세균, 바이러스, 효모 등 식품 관련 미생물에 대해 효과가 높으며, 이중에서도 그램 양성세균 보다는 그램 음성세균이 유기물의 유무에 따라 더 민감한 것으로 보고되었다(Restanio *et al.*, 1995). 오존의 살균력은 이미 오래전부터 연구되었지만 안전성 문제가 확증되지 않아 오존 살균법의 사용은 제한적이었다. 하지만 1997년 미국 FDA에 의해 GRAS(generally recognized as safe)로 안전성을 인정받은 이후 식품 분야에 대한 사용이 증가하고 있다(Graham, 1997). 현재 고농도의 오존을 발생시키는 장치가 없다는 기술적인 문제와 안전하고 적절한 관리가 이루어지지 않고 있다는 관리상의 문제로 인해 산업화에 어려움을 겪고 있다. 오존이 현재 식품의 살균 공정에 직접 이용되고 있는 사례는 적지만 오존을 이용한 식품 살균에 대한 다양한 연구 사례들이 보고되어 그 이용 가능성을 높이고 있다. 또한 단독처리 시 뿐만 아니라 다른 항균 물질들과 병행 처리할 경우 상승효과를 나타낼 수 있어 더욱 유용하게 사용될 수 있다.

하지만 오존은 매우 불안정한 상태의 물질로 그 효과에 비해 직접적인 식품에의 적용은 아직 조심스러운 것이 사실이다. 위험에 대한 약간의 가능성에도 유의해야 하고 작업장 내 환기시설 설치를 철저히 해야 하며, 보다 근본적인 해결 방법으로는 식품에 직접 적용할 수 있도록 활발한 연구를 진행하는 것이 중요하다.

(10) 전기분해수(electrolyzed water)

전기분해수는 수용액 상태에서 양이온과 음이온으로 분리되는 염 성분과 물을 전기 분해시켜 얻은 산성 이온수와 알칼리 이온수를 의미한다. 보통 염화나트륨(NaCl) 수용액을 넣고 격

막을 경계로 한 쪽에는 양극판을 반대쪽에는 음극판을 설치하여 양극 측에서는 수산 이온(OH^-)과 염소 이온(Cl^-) 등의 음이온이 많이 포함된 알칼리전해수를, 음극 측에서는 수소 이온(H^+)과 나트륨 이온(Na^+) 등의 양이온이 많이 포함된 산성전해수를 얻을 수 있다. 산성전해수의 살균 작용 기작은 정확히 밝혀지지 않았으나, 일반적으로 식품 표면에 있는 미생물에 흡착, 확산하여 축적 농도가 높아지면서 미생물 세포 성분과 화학반응을 일으켜 정상적인 기능과 대사 작용을 저해하여 미생물을 불활성화 시키는 것으로 알려져 있다. 산성전해수에 존재하는 유효성분들의 작용을 보면 차아염소산(HClO)은 불안정하여 공기 중에 노출되면 급속히 분해되어 미생물과 결합한 후 세포 구성 물질을 파괴시키거나 세포 대사 작용을 불활성화 시키고 여분은 유리염소(Cl_2)와 산소(O_2)로 방출된다. 염소는 세균 세포벽의 합성을 저해하거나 세포막의 아미노기를 공격하여 변성시키고, 유리산소는 미생물의 세포벽과 조직을 산화시켜 파괴하며, 수소 이온은 pH를 낮춰 균의 성장을 지연시키거나 사멸시킨다(Kim *et al.*, 2000). 전기분해수는 광범위한 항균 스펙트럼을 가지며 빠르게 살균력을 나타내어 유용한 살균법이라고 할 수 있으며, 특히 산성전해수는 낮은 pH와 높은 산화환원전위 때문에 강한 살균력을 가지고 있다(Len *et al.*, 2000). 다른 살균법에 비해 상대적으로 사용 방법이 간단하며 이취나 특정 색을 유발하지 않는 것 또한 장점이다(White, 1999). 미생물이나 유기물과 접촉하여 살균효과를 발휘한 다음 염소나 산소와 같은 휘발성 기체와 물로 전환되어, 일반적으로 사용되는 화학적 살균 소독제와는 달리 물 자체의 오염을 유발하지 않으며 인체에 해가 없다. 또한 일반적인 화학물질 처리는 일부 잔류 미생물이 스스로 적응하여 내성 등 생존 방어기전을 만들 위험이 있는 반면, 이 방법은 미생물이나 유기물과 접촉한 후 빛에 노출되면 순간적으로 분해되기 때문에 사멸되지 않은 균이 내성을 획득할 조건이 형성되기 쉽지 않다. 최근에는 각종 기능수를 이용한 수처리 방법에 대한 관심이 증대하면서 식품 가공 분야를 중심으로 식물 재배, 의약 등에 대한 전기분해수의 광범위한 응용이 시도되고 있다(Wullaert, 1997). 일본에서는 딸기 출하 직전에 산성전해수를 분무하여 유통기한을 연장시키거나, 병원에서 손의 소독이나 의료도구 세정용으로 사용하는 등 의료현장, 농작물 재배, 식품공업의 현장위생관리 등에 널리 활용되고 있으며, 식품의 가공이나 보존을 위한 채소류의 표면 살균, 양념류의 살균, 깐밤의 저장성 향상 등에 활용하기 위한 연구가 보고되고 있다. 2002년 일본에서는 식품에 직접 전기분해수를 이용해도 된다고 허가하였으며 소독용으로서 후생성의 승인을 받은 상태이다. 산성전해수는 1996년 손세척용 의료용구로서 허가된 이래 각종 독성 및 안전성 연구 결과를 바탕으로 2002년 차아염소산수로서 강산성전해수와 약산성전해수가 식품첨가물로서 지정되었다. 전기분해수는 유효성분 중 염소를 포함하고 있어 염소의 살균 효과를 가지면서도 고농도가 아니라 염소처리에 비해 상대적으로 위험성이 적고, 다른 성분들의 효과와 상승작용을 일으켜 현 과채류 살균체제의 대안으로 적합하다고 볼 수 있다. 하지만 산성전해수 생성 시 발생하는 기체 성분인 염소 가스 등은 미생물 뿐 아니라 인간의 단백질이나 세포 등에도 유해할 수 있으므로 환기 시설을 제대로 갖춰야 하며, 효과의 유지를 위해 정기적인 관리가 필요하다.

(11) 천연항균제

식중독 원인 미생물이나 부패 미생물을 제어하여 식품을 안전하게 장기간 저장하기 위한 수단으로, nitrite, sorbic acid, sodium metabisulfite, 염소제 등 다양한 합성 보존료가 장기간 사용되어 왔다. 그러나 합성 보존료는 체내 축적성 등 안전성에 관한 문제가 지속적으로 대두되고 있고, 물질의 종류, 사용량 등에 따라 인체에 부정적 영향을 주기도 한다(Sibel, 2003; Davidson과 Post, 1983; Lewis, 1989). 최근 소비자의 건강 지향적 성향과 함께 천연물에 대한 요구가 높아지고 있고 합성 보존료가 첨가된 식품의 사용을 꺼리고 있다(Oh *et al.*, 1998). 이와 같은 경향으로 인하여 식품 산업계에서도 인공 합성보존제의 사용을 될 수 있는 한 제한하려는 추세이고, 안전성이 확보된 천연항균성 물질을 식품의 보존에 이용하고자 하는 연구가 집중적으로 이루어지고 있다. 천연 항균물질에는 전통적으로 사용해 온 소금, 식초 등 일반 식품 소재뿐만 아니라 동물이나 식물에 천연적으로 존재하는 특정 단백질 및 효소류, 갑각류의 키틴질에서 추출한 키토산, 유기산, 식물의 정유(essential oil) 및 미생물에서 유래된 nisin, ε-

표 1. 식품보존재로 사용되는 주요 천연항균제의 종류와 기원

Sources	Antimicrobials
Animals	
Milk	Lactoperoxidase system, Lactoferrin
Milk, eggs	Lysozyme
Honey	Glucose oxidase
Crab, shrimp	Chitosan
Plants	
Spices, herbs horseradish	Essential oil, phenolic, isoprenoid
Onions, garlic,	Sulfur compound
Brassica (mustard, Brussels sprouts, etc.)	Isothiocyanate
Grapefruit seed	Grapefruit seed extract
Hops	Hop oil
Microorganisms	
Lactococcus	Nisin, lacticin
Pediococcus	Pediocin
Lactobacillus	Lactocin, helveticin, sakacin, bavaricin, curvacin
Leuconostoc	Leucocin, mesentericin
Carnobacterium	Carnocin
Streptomyces natalensis	Natamycin
Streptomyces albulus	e-polylysine

polylysine, natamycin 등이 있다(Kim과 Shin, 2003). 이들 중에는 특유의 맛과 냄새, 자극성으로 인하여 식품에 적용하기 위해서는 관능적 측면에서 해결되어야 할 문제가 남아있는 것도 있고, 항균력이 약하거나 항균 스펙트럼이 좁아 아직까지 천연항균제로 개발되어 상품화 된 제품은 극히 일부에 지나지 않고 있다(An, 1999). 다양한 요인들로 인해 천연항균제의 사용이 아직까지는 활발하지 않지만, 합성보존료의 안전성에 대한 문제가 심각하게 대두되고 있는 반면, 천연물은 인체에 유용한 다양한 성분이 함유되어 있고 안전하기 때문에, 앞으로 합성보존료를 대체할 수 있는 살균제로서 천연항균제의 이용 가능성은 매우 높다고 할 수 있다. 따라서 천연물로부터 새로운 천연항균물질을 발견하여 식품산업에 응용하려는 연구가 더욱 활발하게 이루어지고 이를 바탕으로 식품에의 직접적인 이용이 검토되어야 할 것이다.

(12) 화학적 살균소독제

일반적으로 식품가공기계 및 기구 등으 표면 살균 목적으로 사용되고 있는 화학적 살균소독제는 다음 표 2와 같다.

3. 결론 및 시사점

이상으로 현재 새로운 식품보존방법으로 이용되고 있거나 혹은 이용이 기대되는 식품위해미생물 제어 방법들에 대해서 살펴보았다. 주로 소개된 물리적 방법 이외에도 박테리오신(bacteriocin), 효소, 항균성 미생물(probiotics) 등을 이용하

표 2. 주요 화학적 살균소독의 종류

계열	작용기 종류	활 성 성 분		미 EPA 등록건수
할로겐	염소	무기염소	차아염소산나트륨, 차아염소산칼슘 등	542종
		유기염소	이염화이소시아눌산나트륨 등	190종
		이산화염소	이산화염소, 아염소산 등	14종
	요오드	요오드(요도퍼)		37종
	브롬	브롬화나트륨, 브롬화칼륨, 브롬화칼슘		
계면활성제	4급 암모늄	염화-n-데실-n,n-디메틸-1-데칸암모늄, 염화알킬(C_{12}-C_{14})디메틸에틸벤질암모늄,염화알킬(C_{12}-C_{16})벤질디메틸암모늄, 염화알킬(C_{12}-C_{18})벤질디메틸암모늄 등		2400여종
	산-옴이온	네오데칸산, 노나논산, 데칸산, 옥탄산, n-각르복실산, 나프탈렌설폰산나트륨, 도데실벤젠설폰산나트륨, 설포지방산 등		28종
	양성이온			
산소계	무기계	과산화수소		
	유기계	과산화초산, 과산화옥탄산		25종
기타	페놀	4-(1,1-디메틸프로필)페놀 / 메닐페놀		
	알코올	에탄올, 2-프로판올, 2-부톡시 에탄올		
	비구아니드	폴리헥사메틸렌비구아니드 등		

는 생물학적 보존방법(biopreservation or biological preservation)이 자연적인 특성을 이용하는 새로운 식품보존 방법으로서 현재 그 가능성이 활발하게 연구되고 있다. 본문 중 설명된 제어방법 중 몇 가지는 현재 제한적으로 식품 산업에 이용되고 있지만, 대부분의 새로운 식품보존방법들은 여러 가지 제약으로 인하여 아직까지 그 이용이 제한되고 있다. 하지만, 전통적인 식품보존방법과 비교했을 때, 새로운 기술들은 처리의 효율성이나 식품의 안전성 증가, 품질의 보존 등 많은 장점들을 가지고 있으므로 계속해서 나아지는 기술력과 증가되는 과학적 정보로 인해 머지않은 장래에 이러한 새로운 기술들은 식품 산업에 폭넓게 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

1. An, B.J. 1999. The material of natural anti-bacterial agents for the food preservative. *J. Kor. Soc. Food. Sci. Nutr.* **4(2):** 5-16
2. Asaka, M. and Hayashi, R. 1991. Activation of polyphenol oxidase in pear fruits by high pressure treatment. *Agric. Biol. Chem.* **55(9):** 2439-2440
3. Brynjoifossn, A., 1981. Food-energy-developing countries-food irradiation. IAEA-SM-250/26. 421
4. Cho, I.H., Moon, I.Y., Lee, H.K. and Zoh, K.D. 2001. Photocatalytic disinfection of E. coli using continuous TiO_2/UV and TiO_2/natural solar light system. *Journal of Kor. Society of Environmental engineers*. **23(7):** 1219-1229
5. Davidson, P.M. and Post, L.S. 1983. Naturally occurring and miscellaneous food antimicrobials. In Antimicobials in foods. Branen, A. L. and Davidson, P. M. (Eds.), Marcel Dekker, Inc., New York. p. 371
6. Farr, D.: High pressure technology in food industry. 1992. *Trends Food Sci. Technol.*,**1:** 14-16
7. Fielding, L.M., Cook, P.E., and Grandison, A.S., 1997. The effect of electron beam irradiation, combined with acetic acid, on the survival and recovery of *Escherichia coli and Lactobacillus curvatus, International Journal of Food Microbiology*. **35(3):** 259-265
8. Foegeding, P.M. 1985. Ozone inactivation of *Bacillus* and *Clostridium* spore populations and the importance of the spore coat to resistance. *Food Microbiology*. **2:** 123-134.
9. Graham, D.M. 1997. Use of ozone for food processing. *Food Technology*. **51:** 72-75
10. Joo, H.K., Jeon, M.S. and Lee,T.K. 1999. Photocatalysts; theory and its application. J. of Kor. Society *of Environmental engineers*. **21(6):** 1231-1240
11. Hite, B.H. 1899. The effects of pressure in the preservation of milk. Bull. **58:** 15-35
12. Hoover, D.G., Metrick, C., Papineau, A.M., Farkas, D.F., and Knorr, D. 1989. Biological effects of high hydrostatic pressure on food microorganisms. *Food Technology*. **43(3):** 99-107
13. Horie, Y., Kimura, K., Ida, M., Yosida, Y. and Ohki, K. 1991. Jam preparation by pressurization. *Nippon Nogeikagaku Kaishi*. **65(6):** 975-980
14. Kim, C., Hung, Y.C., Brackett, R.E. 2000. Efficacy of electrolyzed oxidizing(EO) and chemically modified water on different types of foodborne pathogens. *Int. J. Food Microbiol*. **61:** 199-207
15. Kim, Y.S. and Shin, D.H. 2003. Researches on the volatile antimicrobial compounds from edible plants and their food application. *Kor. J. Food Sci. Technol*. **35(2):** 159-165
16. Len, S.V., Hung Y.C., Erickson, M.C. and Kim, C. 2000. Ultraviolet spectrophotometric characterization and bactericidal properties of electrolyzed oxidizing water as influenced by amperage and pH. *J. of Food Protection*. **63:** 1534-1537
17. Lewis, R.J. 1989. Their regulatory status their use by the food industry. In Food additives handbook, Robert, W. D. (Ed.), Nostrand Reinhold, New York. p. 3-27
18. Morita, R.Y. 1957. Effect of hydrostatic pressure on succinic, formic, and malic dehydrogenases in *Escherichia coli. J. Bacteriol*. **74:** 251 – 255
19. Oh, D.W., Ham, S.S. and Park, B.K. 1998. Antimicrobial activities of natural medicinal herbs on the food spoilage or foodborne disease microorganisms. *Kor. J. Food Sci. Technol*. **30(4):** 957-963
20. Restanio, L., Frampton, E. Hemphill, J. and Palnikar, P. 1995. Efficacy of Ozonated water against various food related microorganisms. *Appl. Environ. Microbiol*. **61:** 3471-3475
21. Rice, R.G., Farquhar,b W. and Bollyky, L.J. 1982. Review of the application of ozone for increasing storage time for perishable foods. *Ozone Sci. Eng*. **4:** 147-163
22. Sibel, R. 2003. Natural antimicrobials for the minimal processing of foods. Sibel, R. (Ed.). Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK.
23. White, G.C. 1999. Chemistry of Chlorination. In Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants, 4th ed. John Wiley & Sons, New York, Chapter 4, pp 212-287
24. WHO. 1981. Wholesomeness of irradiated food. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Technical Report Series 659
25. Wullaert, R.A., 1997. Electrolysis Ionization Technology in the United States. 4th Annual Functional Water Symposium. Tokyo, Japan.
26. 조미희, 배은경, 하상도, 박지용. 2005. 천연항균제의 식품산업에의 응용. *식품과학과 산업* **38(2):** 36-4