수산식품 중 위해미생물 제어법

Reduction Technology against Hazardous Microorganisms in Seafood

박신영 · 최송이 · 정세희 · 이나영 · 오세라 · 박건상[1] · 하상도*

Shin Young Park · Song-Yi Choi · Se-Hee Jeong · Na-Young Lee · Se-Ra Oh · Kun-Sang Park[1] and Sang-Do Ha*

중앙대학교 식품공학부, [1]식품의약품안전청

School of Food Science and Technology, Chung-Ang University, Korea

[1]Korea Food and Drug Administration, Korea

영양학적으로 수산식품은 각종 아미노산, 지방, 비타민 A, 비타민 B_1, 칼슘, 칼륨 등의 각종 영양소가 균형 있게 함유되어 있다. 다른 육류의 동물성 식품에 비해 소화, 흡수가 잘 돼 인체의 건강을 유지하고 증진시키는 최고의 영양식품이면서 과일이나 채소처럼 계절별 산물의 종류와 맛 또한 다양해 우수한 자연식품으로 분류할 수 있다. 이미 알려진 바와 같이 등푸른 생선에 함유된 오메가-3 지방산인 EPA, DHA 등 불포화지방산이 풍부해 두뇌발달, 동맥경화 예방, 심장병 예방, 골다공증 예방, 혈액순환 개선, 인슐린 분비 촉진 및 시력개선 등의 건강기능적인 다양한 효과와 더불어 해조류는 다어어트 식품 및 해초 팩과 같은 미용재료의 원료로도 각광받기 시작하였다.

이러한 영양학적, 식품학적, 건강기능적 및 미용학적 이유와 함께 2003년~2004년 광우병 파동, 2004년 3월 고병원성 조류인플라엔자(AI) 발생, 2010년 초 국내 구제역 발생과 전국적 확산 등 "축산물" 질병 발생이 급증해 육류 섭취에 대한 불안감이 "수산물"의 인기로 전환되면서 국내 수산물 시장규모는 날로 증가되고 있는 실정이다. 2011년 통계청 보고에 의하면 어업생산금액은 2011년 7조 4,257억원으로 1980년의 8,431억원과 비교해 7.8배 증가하였고 국내 수산물 국민 1인당 소비량은 2001년 42.2kg 대비 2009년에는 49.8kg으로 약 18% 증가되었다.

그러나, 수산식품은 농축산물에 비하여 어획 후 사후 변화가 빨라 선도가 급격히 저하되고 수분활성도(a_w=0.98~0.99)가 높고 영양이 풍부하기 때문에 미생물의 오염과 증식이 용이하다. 또한 재래시장 등에서 비포장상태로 유통되는 점과 대부분의 수산식품이 섭취 시 별도의 조리 없이 날것으로 섭취하기 때문에 식중독 발생과 같은 식품위생에 취약함을 보이고 있다.

식품의약품안전청 2011년 통계자료에 의하면 전체 식중독 원인식품 중 어패류 및 그 가공품으로 인한 식중독 발생은 발생건수는 1위(25건/270건), 환자수로는 2위(405명/7,253명)에 해당될 정도로 높게 나타났다. 식품공전에 수록된 101개 식품유형에 대한 노출평가, 심각성평가 및 섭취량 추정부분으로 구성된 위해평가모델을 이용한 상대적 위해순위를 결정한 연구(박경진, 2009)에서도 수산물 가공품(2

*Corresponding Author: Sang-Do Ha
School of Food Science and Technology, Chung-Ang University, Ansung 456-756,Korea
Tel: 82-31-670-4831, Fax: 82-31-675-4853, E-mail: sangdoha@cau.ac.kr

위)과 수산물건조품(11위)이 높은 위해순위를 보였다.

특히 근래에는 기후변화 등의 다양한 수산 환경변화로 인한 바이러스, 기생충 등의 미생물학적 위해인자들이 오염(유통 굴의 54% 노로바이러스 오염, KFDA 2011. 1 검사결과)되어 있으며, 최근(2011년 11월 29일) 영국 식품기준청(FSA)보고 에서도 영국 굴 재배 지역(39곳, 800건)에서 검사한 굴 중 76%에서 노로바이러스가 검출되었다(수산식품안전정보, 2011). 또한 최근 미국 질병관리본부(CDC)에서 수행한 수산식품관련 질병 심층 역학조사에서도 188건(1973년~2006년) 중 세균(76.1%)이 가장 높고 다음이 바이러스(21.3%), 기생충(2.6%)으로 판명되었다(Wang 등, 2011; Iwamoto 등, 2010). 특히, 우리나라는 회, 사시미, 생선초밥, 회덮밥 등 수산물 생식습관으로 식중독 사고의 우려가 다른 어떤 나라보다도 높다.

수산식품과 관련된 위해도 높은 병원성세균은 주로 *Vibrio* spp., *Salmonella* spp., *Shigella* spp., *Clostridium botulinum*로 보고되고 있으나 최근에는 기존의 세균성 질병뿐만 아니라 노로바이러스와 장기적인 유전적인 독성을 나타내는 곰팡이 등의 위생문제가 국내외적으로 이슈화되고 있다. 이와 관련된 직접적인 국민건강의 위험 뿐만아니라 수산식품의 안전성에 대한 소비자의 신뢰를 상실하게 되면, 소비가 위축되는 등 경제적 손실이 크게 나타난다. 특히 수산가공산업의 경우 산업규모 측면과 국내 수산업의 후방 연관산업이라는 특성을 가지고 있기 때문에 신뢰 받는 수산식품을 공급하기 위한 안전관리 체계의 구축은 국가 사회경제적 측면에서도 매우 중요하다.

따라서 본고에서는 수산식품의 안전관리체계의 구축을 위해 가장 직접적인 연관성이 있는 위해미생물 저감화 수단을 논하고자 한다. 지금까지 연구개발된 수산식품 유래 위해미생물을 저감화 할 수 있는 활용성 높은 가열살균과 비가열살균에 대한 원리를 제시하고 이들 의 실용화에 이은 산업적 적용을 살펴보고자 한다.

I. 미생물 제어의 원리 : 정균작용과 살균작용

식품과 환경 중 오염된 미생물을 제어하는 기술은 크게 미생물의 생육과 대사를 저지하여 더 이상의 증식을 막는 정균작용(Microbiostatic effect)과 미생물 자체를 단시간에 사멸시키는 살균작용(Micobiocidal effect)(그림 1)으로 구분한다.

정균의 기본원리는 살균과는 달리 식품 중 초기균수를 감소시키지는 않으나 원래 오염되어 있던 균이 더 이상 성장하지 않고 그 수준을 그대로 유지하도록 하거나 성장속도를 늦춰 저장기간을 연장시키는 방법이다. 정균작용은 미생물 생육요인 중 식품에 직접 조절하는 내적요인인 온도, 영양소, 수분활성도(Water activity, a_w), pH, 보존료 등과 식품을 보존하는 환경(외적요인)에 해당하는 가스조절, 상대습도(Relative humidity, RH) 조절 등의 방법으로 만들어 낼 수 있다. 이 중 수분활성도를 조절하는 건조법이 전통적으로 가장 오래 전부터 사용되어 왔으나 현재는 진공, 이산화탄소 등 가스조절법이 일부 사용되고 있으며 냉장· 냉동이 가장 대중적으로 사용되고 있다.

살균의 기본원리는 물리적, 화학적 자극을 통해 식품 중의 균을 단시간에 사멸시키는것을 의미하는데 포자를 포함한 모든 대상미생물을 zero로 만드는 멸균(Sterilization)과 병원성미생물만을 사멸시키는 소독(Disinfection)을 포함한다. 식품 내 오염된 미생물의 사멸방법 중 가장 전통적이고 일반적인 방법은 가열에 의한 방법으로서 일반적으로 미생물의 생육 가능한 최고 온도보다 10~20℃ 이상의 조건에서 사멸하기 시작하며 효소도 불활성화되어 식품의 저장성이 높아진다.

직접적인 가열처리 외에도 마이크로파(Microwave)와 방사선 진동(Radio frequency), 저항열처리(Ohmic heating), 원적외선살균 등의 열처리방법(Thermal processing)이 있고 펄스전기장(Pulsed electric field), 방사선처리(Irradiation, ionizing radiation), 강력광펄스(Intense light pulses), 초고압처리(High pressure processing), 진동자기장(Oscillating magnetic fields), 초음파(Ultrasound), 광촉매(Photocatalysis), 여과(Filtration), 화학적 살균소독제, 천연항균제

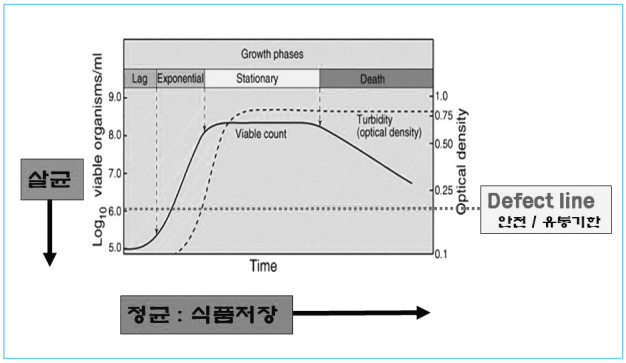

그림 1. 미생물의 생육과 정균/살균작용

(Nutural antimicrobials), 훈연법(Smoking) 및 가스 멸균법(Gas sterilization)등의 다양한 비열처리방법(Non-thermal processing)이 있다.

II. 가열살균기술(Thermal Process Technology)

1. 열처리(Heat treatment)

식품의 살균방법은 저온살균법과 고온살균법이 있는데, 식품의 영양소와 관능적 품질을 유지하기 위하여 초고온처리법(ultra-high temperature treatment, UHT)이 주로 사용된다. 대표적인 예로 UHT 처리는 우유를 130~150℃ 범위에서 최소 1~2초 열처리하여 모든 생명체를 죽이는 것이 아니라 병원성균 등 유해한 미생물만 죽이므로 "상업적으로 살균된 우유(commercially sterilized milk)"라고 한다. 이 때 살균은 우유 내에 존재하는 병원성균 등 대부분의 미생물을 사멸시키는 방법이다. 반면에 멸균은 초고온으로 우유 내 모든 생명체를 사멸시키는 것으로 상온에서도 1~3개월간 보존이 가능하다. 고온살균법은 매 10℃가 증가할 때마다 화학반응속도(Q10)는 2~3배 증가하고, 열에 의한 우유성분의 변질속도는 일정하지만, 내열성 미생물 및 미생물 포자의 사멸속도는 8~30배로 증가하므로 온도 증가에 따른 미생물 포자의 사멸 속도 증가율이 우유성분의 화학 변화속도 증가율보다 몇 십 배 빠르기 때문에 활용되고 있다. 멸균 시에는 극히 짧은 시간 동안만 열처리를 하여 가급적 영양성분의 파괴나 원하지 않는 화학반응의 야기를 억제하게 된다.

특히, 노로바이러스에 오염된 굴도 85℃ 이상에서 1분 이상 가열하면 파괴되기 때문에 굴, 홍합, 바지락, 광어, 게 등의 생식어패류의 가열섭취가 식중독의 주요 예방법이 된다.

2. 마이크로파(Microwave)와 방사선 진동(Radio frequency)

마이크로파나 방사선 진동 열처리는 진동을 가진 전기 자기장의 파장을 이용해서 물질에 열을 만들어 주는 방법이다. 미국의 경우, 일반적으로 마이크로파를 식품에 처리하기 위해 산업체에서는 2,450과 915 MHz의 두 가지 주파수를 주로 이용하는데, 가정용 오븐에는 2,450 MHz만이 주로 이용되고 있다. 방사진동을 이용한 열처리의 경우, 세 가지의 주파수가 이용되고 있는데, 제과 및 제빵 등 일부 식품산업에서 이용되고 있을 뿐 거의 상업화되지 못하고 있다.

마이크로파나 방사선 진동 열처리 방법은 기존의 열처리 방법과 비교했을 때 식품의 온도를 매우 빠르게 증가시키며, 원하는 온도에 빨리 도달하게 한다. 이 방법은 특히 고체나 반고체 물질에 적용이 용이하며, 포장된 식품에서도 이용 가능하다. 식품산업에서 이용된 마이크로파 살균의 적용 예는 호상요구르트, 우유 등 유제품의 살균에 처음으로 시도되었다. 마이크로파를 이용해 우유를 살균할 경우 부착현상(fouling) 발생을 극소화시키면서 균을 사멸시킬 수 있어 향, 영양성분 등 품질의 보존효과가 클 것으로 예상되며 별도의 연료 사용 없이 전기 에너지만을 이용함으로써 친환경적 방법으로 인식되고 있다. 현재는 전 세계적으로 가정 혹은 산업에 널리 이용되고 있다.

3. 저항열처리(Ohmic heating)

전기저항 열처리 방법은 최소한의 에너지를 이용함으로써 식품의 열에 의한 손상을 줄이기 위한 열처리 방법이다. 이 방법은 낮은 볼트의 교차 전류를 식품 내로 흐르도록 하여, 식품의 전기 전도성으로 인하여 식품 내에 열이 발생하도록 하는 것이다. 즉, 이것은 액체 혹은 고체 물질내의 전기저항의 효과를 이용하여 전기에너지를 열로 전환시키는 방법으로 여러 개의 전극이 장치된 관 속으로 식품을 투입하여 처

리하게 된다.

이 방식은 이미 19세기에 유동식품을 전기에너지로 가열하는 방법으로 특허 등록되었고 1919년에 우유의 전기적 저온살균이 성공하여 새로운 살균법으로 주목받고있다. 이 방법은 신속하고 균일하게 식품에 열을 전달하며, 식품내부 온도를 곧바로 상승시켜 식품 내 미생물을 제어할 수 있다는 장점이 있다. 현재 일본과 유럽 등에서 과일의 살균을 위해서 이용되고 있으며, 미국에서는 액상 계란의 처리를 위하여 전용설비를 개발하여 이용하고 있다. 저항열처리방법은 식품을 데치는 과정, 증류, 수화, 발효, 그리고 추출 등의 공정에 이용될 것으로 기대되며, 액화 식품이나 미립자 식품, 특히 인스턴트 음식, 과일, 채소, 고기, 또는 어류 등 충분한 전도성을 가진 식품의 살균이나 멸균 등에도 적용될 것으로 예상된다.

4. 원적외선 살균

원적외선 살균은 2.5~20 ㎛ 파장의 원적외선을 조사하여 물질을 가열함으로써 살균하는 방법이다. 원적외선은 공기에 거의 흡수되지 않고 직접 물체의 표면에 도달하여 물질의 내부 깊이까지 침투하기 보다는 가열된 물질 표면에서 열전도에 의하여 내부가 가열되므로 비교적 두껍지 않는 식품의 가열살균에 이용된다.

원적외선은 에너지 수준이 낮으므로 식품에 조사하여도 식품 성분의 화학변화는 없으므로 식품의 품질 변화가 거의 일어나지 않는다. 원적외선의 살균은 가열에 의한 살균이므로 가열이 되는 재료에 한하여 적용 가능하며 가열 속도가 빠르고 가열 효율이 우수하여 처리시간이 짧고 설비가 저렴하며 안전성이 높은 특징을 가진다. 원적외선 가열은 비스킷과 같은 비교적 두껍지 않는 식품의 가열가공, 수산연제품이나 생선의 굽기, 생선, 채소, 송이, 김 등의 건조, 포장식품의 살균 등에 이용할 수 있다.

III. 비가열살균기술 (Non-Thermal Process Technology)

1. 펄스전기장(Pulsed electric field, PEF)

펄스전기장 방법의 식품에의 적용은 1920년대 말 미국에서 우유에 처음으로 시도되었다. 이 방법은 두 개의 전극을 이용하여, 높은 볼트의 전기장(일반적으로 20~80 kV/cm2)을 만들어 식품의 살균이나 멸균에 이용하는 것이다. 펄스전기장 방법은 식품의 열처리에 의한 에너지를 최소화하며, 식품의 바람직하지 않은 관능상의 변화와 물리적 손상을 줄일 수 있으며, 병원성 세균, 효모, 그리고 곰팡이 등을 파괴하는데 효과가 있다.

미생물의 제어 원리는 다양하게 설명되고 있는데, 그 중 가장 유력한 것은 전기분해와 전기 천공(electroporation) 원리이다. 전기의 높은 볼트 충격은 세포막 안과 밖에 다른 전위를 일으키며, 양쪽에 약 1 V의 정도의 전위 차이가 일어나서 세포막의 파손이 야기된다. 따라서 높은 전극의 강도(10 kV/cm 이상)에서 전기 충격을 받게 되면 미생물 세포는 회복할 수 없을 정도로 세포막 손상을 입게 되며(전기분해) 높은 강도의 전극은 세포막의 이중 지방층이나 단백질을 불안정화시켜 미생물 세포의 파괴를 가져올 수 있다(전기천공).

펄스전기장을 이용한 미생물 제어효과에 영향을 주는 요소로는 전기장의 조건(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, 이온물질, 전도성, 배지의 이온 강도 등) 등이 있다. 현재 상업적인 시스템이 이용 가능하며, 액체 식품의 경우 입자의 크기로 제한될 수 있다. 실제 사용 예로 과일 주스, 우유, 액상계란 등의 살균에 일부 이용되고 있으며, 미생물 살균뿐 아니라, 채소 및 과일 주스의 추출이나 식물 세포로부터 색소를 추출하는 데에도 유용한 것으로 알려져 있다. 펄스자기장 방법이 식품 보존기술로서 그 가능성을 가지고 있다 하더라도, 아직 대중적인 실용화는 이루어지지 못한 실정이다.

2. 방사선 처리(Irradiation, ionizing radiation)

식품의 방사선조사(Ionizing radiation, 이온화살균)는 주로 가열할 수 없는 식품을 대상으로 하는 살균법이다. 농산물의 경우 해충 구제와 곰팡이 사멸, 독소생산 억제, 발아

· 발근 억제에 사용되며, 축산물은 식육에 오염된 병원균 및 부패균을 사멸시켜 안전성과 저장성을 보장하는데 이용된다. 수산식품에서도 장염비브리오균이나 콜레라균을 사멸시켜 식중독을 예방할 수 있으며, 영유아제품의 안전성 확보, 우주식품 개발, 국제식량 위기 대처에 널리 활용되고 있는 기술이다.

1895년 X-ray가 발견된 후 방사선의 생물학적 효과에 대한 연구가 시작되었으며, 1921년 미국에서 육류에 존재하는 기생충(Trichinella spiralis)의 살균기술로 특허를 받아 본격적으로 이용되기 시작하였다. 2차 대전 이후부터 식품에의 적용을 위하여 유효성, 안전성, 경제성에 관한 검토가 이루어졌으며 감자의 발아억제를 시작으로 러시아(1958년), 캐나다(1960년), 미국(1964년)에서 법적으로 허가되었다. 현재는 세계 53개국 234기의 시설에서 향신료, 건조채소류, 근채류, 가금류 등 약 250 여종의 식품군에의 적용이 허가되어 있으며 우리나라도 1987년부터 현재까지 26개 품목이 허가되어 있다.

이 기술은 사멸효과가 크고, 선량을 목적에 맞게 조정할 수 있으며 가열살균기술에 비해 식품 중 화학적인 변화가 적다는 장점이 있다. 식품의 최종 포장 후 공정에 사용하여 미생물을 사멸시킴으로써 재오염을 방지할 수 있으며, 식품 자체의 품질과 가공 중 환경에 미치는 영향이 거의 없다는 장점이 있다. 또한 순간적으로 균일하고 깊게 작용하며, 가열에 비해 정확하게 에너지 조절이 가능하고 포장한 채로 살균할 수 있으며, 연속적으로 대량처리가 가능하며, 가열살균이나 냉동살균에 비해 에너지 소요가 낮아 경제적이다. 그러나 화학적 변화가 양적으로는 극히 적지만 감수성이 큰 식품이나 고선량의 조사식품에서는 바람직하지 않은 관능적인 변화가 일어날 가능성이 있으며 허가된 품목과 선량에 한해서만 조사처리가 가능하다는 단점도 있다.

국내에서는 현재 감자, 양파, 마늘에는 0.15 kGy 이하, 밤에는 0.25 kGy 이하, 생버섯, 건조버섯에 1 kGy 이하, 난분, 가공식품 제조원료용 곡류, 두류 및 그 분말, 조미식품 제조원료용 전분에 5 kGy 이하, 가공식품 제조원료용 건조식육 및 어패류분말, 된장분말, 고추장분말, 간장분말, 가공식품 제조원료용 건조채소류, 효모, 효소식품, 조류식품, 알로에 분말, 인삼(홍삼포함) 제품류에 7 kGy 이하, 건조향신료 및 이들 조제품, 복합조미식품, 소스류, 침출차, 분말차, 2차 살균이 필요한 환자식에 10 kGy 이하로 허가되어 있다.

방사선 처리기술은 위생적 품질관리가 절대적으로 요구되는 가공식품의 대량생산체제에서 분말 및 건조식품에 적용할 수 있는 살균, 살충방법이 미흡하므로 그 수요가 지속적으로 증가될 것으로 예상된다. 방사선 처리 식품의 안전성에 대한 의견은 아직까지 논란이 계속되고 있다. 그러나 오랜 안전성 연구 결과, 적절한 수준의 방사선 처리 시 조사된 식품은 안전하다는 결론을 내리고 있다. 또한 세계적으로 동물과 식물에 방사선을 조사한 식품의 생식독성시험 등 다양한 독성시험을 계속하고 있으나 아직까지 발암성 등 위해성이 확인되지 않고 있다.

3. 강력 광 펄스(Intense light pulses)

강력 광 펄스는 넓은 스펙트럼 백색광(white-light)의 강하고 짧은 파의 충격을 이용한 식품 보존 방법이다 (그림 2). 빛의 분광은 적외선(infrared) 근처의 자외선(ultraviolet, UV) 파장을 포함한다. 무균포장 또는 공기, 물, 염 용액과 같은 유체를 처리할 경우 UV가 많은 광 펄스, 즉 최소한 광에너지의 30%가 300 nm 이하의 파장을 갖는 펄스를 사용한다. UV광 펄스는 광열 및 광화학 기작을 통해 미생물을 살균한다.

1666년 Newton이 스펙트럼을 발견한 이래 빛에 대한 많은 연구가 이루어 졌으며, 1800년 Herschel은 가시광선의 적색 파장 바깥에 가시광선보다 큰 열에너지를 갖는 적외선이 있음을 발견하였다. 1801년 Ritter는 보라색 가시광선 보다 짧은 파장을 갖는 자외선을 발견하였다. 이어서 1804년 Young은 UV의 광화학 작용을 처음으로 관찰하였다. UV의 선원은 태양과 같은 자연적인 것과 아크등, 백열등과 같은 인공적인 것으로 나뉜다. UV는 X-선보다는 길고 가시광선보다는 짧은 파장을 나타내는 전자파로서 파장에 따라 장파장(315~400 nm)인 UV-A, 중간파장(280~315 nm)인 UV-B, 단파장(200~280 nm)인 UV-C 및 80~200 nm

의 파장을 갖는 진공 UV로 구분한다. UV는 최대 흡수파장 260 nm에서 미생물의 DNA에 흡수, 손상을 일으켜 살균력을 나타낸다. 따라서 파장 200~300 nm의 단파장 UV-C가 가장 높은 살균력을 지닌다. UV-C는 세균, 효모, 곰팡이, 바이러스 등 공기 및 표면 미생물에 강한 살균력을 지니므로 식품제조 용수, 생수, 음료 등의 살균, 식품가공 기계기구의 살균, 식품가공 시설 내 공기 살균, 식품가공 폐수 살균처리 등에 널리 사용되고 있는 기술이다.

현재 국내에서의 자외선 살균소독기는 작은 식당에서부터 단체급식소, 대형식품제조업체에 이르기까지 폭 넓게 사용되고 있으며, 그 용도 또한 컵 살균은 물론 칼, 도마, 행주 등 기구 살균과 위생복, 앞치마, 장화, 고무장갑 등의 개인위생용구에 이르기까지 다양하다.

4. 초고압처리(High pressure processing, HPP)

초고압 처리기술은 흔히 ultra high pressure(UHP) 혹은 high hydrostatic pressure(HHP)로 불리우며, 열처리를 대체할 수 있는 식품보존법으로 오래 동안 연구되어 왔다. HPP는 일정한 온도에서 식품 전체에 균일하게 높은 정압력(static pressure)을 가하는 기술로서, Hite(1899)에 의해 처음으로 식품가공에 시도된 이래, 20세기 초반에 이미 우유 등에서 미생물 살균효과나 유용한 물질의 추출 향상 등의 기능이 확인된 바 있었으나 본격적으로 식품산업에 적용된 것은 최근의 일이다.

초고압에 의한 생화학적 변화는 주로 부피의 증감에 따라 발생하며, 압력에 의해 분자 사이의 공간이 감소하거나 연쇄

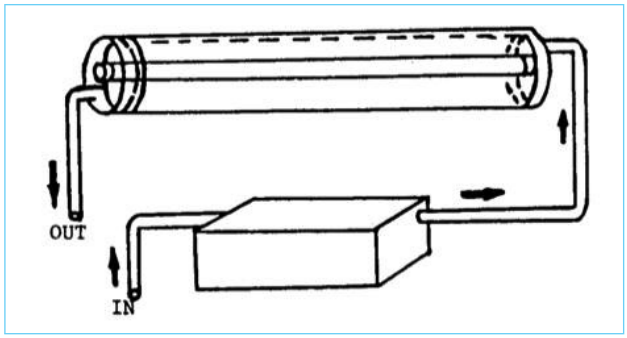

그림 2. 광펄스시스템의 Schematic view (Dunn 등, 1988)

반응이 증가하는데서 비롯된다. 공유결합이나 수소결합의 경우 결합이 파괴될수록 몰 부피의 합이 증가하기 때문에 압력의 증가가 이들 결합의 파괴를 촉진하지 않고 오히려 압력이 증가할수록 결합이 촉진된다. 고압 하에서도 DNA가 안정한 이유는 이러한 이유 때문이다.

HPP는 미생물 세포막에 작용함으로써 살균효과를 나타내는 것으로 알려져 있는데, HPP에 의해 세포막 단백질이 변성되고 인지질의 크기가 감소되어, 세포의 생명 유지에 필수적인 이미노산의 흡수를 억제한다. 이에 따라 대사활동에 관여하는 효소 등 단백질을 불활성화시켜 미생물의 생육을 저해한다. 식품의 고압처리는 미생물의 저해뿐만이 아니라 단백질 변성 또는 변형, 효소의 활성 혹은 불활성, 효소와 기질의 결합의 변화, 탄수화물과 지방 등의 복합체의 성질 변화, 용액에서 화학반응 정도의 변화 등의 효과도 수반한다. 그러나 이러한 효과는 열처리 보다는 낮은 것으로 알려져 있다. 이 기술은 처리된 식품이 고유의 신선도, 색, 향, 그리고 맛을 유지하고, 크기나 모양, 식품의 구성과 상관없이 적용될 수 있다는 장점을 갖는다. 압력을 이용한 살균은 상온에서 이용 가능하고, 열처리와 비교해서 에너지를 절약할 수 있다. 처리 온도, 수분의 양과 pH는 HPP 처리 결과에 영향을 주는 주요한 요소이다. 처리온도 45~50℃에서 식품으로부터 유래하는 식중독균과 부패균의 제어를 향상시킬 수 있으며, 500~700 MPa 압력과 결합된 90~110℃ 범위의 온도는 *Clostridium botulinum*과 같은 미생물의 포자도 제어할 수 있다고 한다.

HPP 처리된 포장 혹은 미포장 상태의 액체 및 고체식품은 미국, 일본, 프랑스, 스페인 등 국제시장에서 이미 시판되고 있다 (그림 3). 식품의 처리를 위해서는 주로 100~800 MPa의 높은 압력이 이용되며, 압력 처리 시 온도는 0~100℃, 처리시간은 수초에서 20분 이상으로 다양하다. HPP는 열처리를 대체하는 식품보존법으로 오랫동안 주목되어 왔고, 많은 연구가 이루어졌지만, 아직까지 장치의 높은 비용, 처리에 대한 신뢰성 부족 등으로 산업적 이용이 제한되고 있다.

그림 3. 초고압살균 제품화 사례

5. 진동자기장(Oscillating magnetic fields, OMF)

진동자기장 방법은 최근 식품으로부터 미생물을 제어하기 위한 하나의 방법으로서 그 가능성이 대두되고 있다. 진동자기장이 에너지를 동반한 상태에서 수차례의 발진에 의해 생물분자의 자기활성 부분으로 침투했을 때 분자 내에 자성 쌍극자(magnetic dipole)의 수가 많으면 충분한 에너지가 분자에 전달되어 공유결합을 파괴할 수 있는 것으로 알려져 있다.

식품에 진동 자기장의 충격을 주는 시간은 10 ㎲ 또는 milliseconds(ms) 정도이며, 진동수는 최대로 500 MHz이 이용될 수 있다. 하지만, 그 이상의 진동수에서는 미생물의 제어효과가 없으며, 열이 발생하기 시작하는 것으로 알려져 있다. 보통 처리할 식품은 비닐팩으로 봉합되며, 0~50℃의 온도에서 5~500 kHz의 진동수를 가진 자기장이 25~100 ms 동안에 1~100펄스로 처리된다. 일부 연구에서 진동 자기장이 식품에서의 병원균 제어에 가능성을 보여주었으나, 이 기술이 실용화되기 위해서는 효과에 대한 보다 많은 연구가 선행되어야 한다.

6. 초음파(Ultrasound)

초음파는 20 KHz 이상의 음파 파장으로부터 유래되는 에너지를 말하며, 음파가 발생했을 때, 순식간에 액체배지에서 높은 온도와 압력을 수반하는 공기방울을 발생할 수 있다. 초음파의 항미생물 효과는 추진기 뒤에 생기는 진공현상인 캐비테이션에 기인하여 발생되며, 세포조직과 기능성 요소들을 파괴하며, 결과적으로 세포를 용해시킨다(Ramkova 등, 1989). 이 기술에 영향을 줄 수 있는 요소로는 초음파 파장, 미생물의 종류, 처리되는 식품의 양, 식품의 구성, 온도 등이 있으며 식품에는 주로 20 KHz에서 10 MHz 사이의 초음파가 이용되나 (Piyasena 등, 2003) 이 방법은 단독으로 처리되었을 때, 미생물에 충분한 저해를 일으키지 못하는 단점이 있으므로, 주로 열처리, 압력, 살균소독제, UV 등 다른 미생물 저해방법과 병용 사용된다(Piyasena 등, 2003).

대표적인 적용으로 양상추에 오염된 *Salmonella*균의 살균을 위해 처리된 염소의 살균력을 증가시키는 병용처리로서 초음파가 사용된 보고도 있었으나(Seymour 등, 2002) 아직 식품산업에서 미생물의 제어 혹은 효소의 불활성화를 위해 실용적으로 활용되고 있지는 못한 기술이다. 그러나, 최근 신선편의 과채류 등의 살균 보조 전처리에 활용이 활발하게 시도되고 있다.

IV. 화학적 살균소독제 살균기술 (Chemical Sanitation Technology)

식품산업현장에서는 위해미생물을 제어하기 위해 다양한 방법을 도입, 활용하고 있다. 미생물 제어를 위해 물리적, 화학적 및 생물학적 방법이 사용되고 있지만, 경제적인 측면과 사용 편리성 등을 고려하여 식품첨가물, 살균제 및 살균소독제를 이용하는 화학적 방법이 가장 많이 사용되고 있다. 화학적 제어방법을 사용함에 있어 대상 미생물의 종류, 제어대상물의 특성 및 제어법의 특성 등 세 가지 요소를 고려하여야 한다.

국내 식품분야에서 식품에 직접 사용할 수 있는 살균제는 차아염소산수(hypochlorites acid water), 오존수, 이산화염소수의 사용이 허가(식품의약품안전청 고시 제2007-74호, 2007. 11.9)되어 있다 (표 1). 차아염소산나트륨(수)는 기준이 개정 (식품의약품안전청 고시 제2008-62호, 2008.8.27)되면서 식품 등의 살균을 목적으로 사용할 수 있다. 교차오염을 방지하기 위하여 식품접촉표면(food contact surface)의 살균·소독을 목적으로 과산화수소

(CAS No. 7722-84-1) 등 총 114개의 성분이 사용할 수 있는 화학적 살균소독제로서 우리나라에 등록되어 있다. 이 중 에탄올, 4급 암모늄(2종), 이염화이소시아눌산나트륨, 차아염소산나트륨, 차아염소산수, Polyhexametylene Biguanide(PHMB) 등 7개 주요 살균소독제의 유효성분에 대해서는 식품첨가물 공전 제3. 품목별 규격 및 기준에서 별도로 용도별 기준을 설정하고 있다.

미국 식품의약품안전청(Food and Drug Administration, FDA)에서는 헹구지 않는(no-rinse) 살균소독제를 염소계(chlorine), 요오드계(iodophors), 4급 암모늄계(quaternary ammonium compounds), 산음이온계(acid anionic sanitizers), 카복실산계(carboxylic acid sanitizers), 과초산계(peroxyacetic acid sanitizer) 등 6가지로 구분하고 있다. 일본에서는 식품에 직접 사용되는 항균제, 살균제 이외에 식품접촉표면에 살균 및 소독을 목적으로 사용되는 제품군을 살균세정제라 하며, 알코올계와 염소계 제품이 각각 35%와 28%를 차지할 정도로 많이 사용되고 있다. 우리나라는 식품공장, 급식 및 레스토랑에서 기구 등의 살균제로 대부분 염소와 알코올계를 사용하고 있다.

사용되는 유효성분의 종류가 다양하고 배합방법에 따라 수많은 제품들이 생산되고 올바른 살균소독제의 선택은 적절한 관리를 위하여 매우 중요하다. 살균제의 선택에 있어서 신중히 고려해야할 요소 중 하나가 살균소독제를 구성하는 유효성분의 특징과 대상 미생물에 대한 유효성을 나타내는 작용 기작이다.

화학적 살균소독제를 고농도로 사용할 경우 효능은 좋으나, 소비자들의 저농도 사용 요

구가 높아 "저농도 사용과 물리적 제어법 병용"을 실시하는 Hurdle technology를 도입하는 추세에 있다. Hurdle technology에 대한 기초적 설명은 본고 후반부에서 살펴보겠다.

1) 염소(Chlorine)

가장 오래된 대표적인 화학적 살균소독제인 염소는 생식품에 세계적으로 가장 널리 사용되고 있지만 최근 트리할로메탄(trihalomethane, THM)과 같은 발암성 물질 형성 등 안전성이 문제시되고 있다. 이는 CAC(Codex Alimentarius Commission)에서 2002년부터 논의되고 있으며 염소계 살균소독제를 사용하는 기존 화학적 제어방법의 실효성에 대한 논란이 가중되고 있다. 차아염소산수, 이산화염소와 오존은 염소계 살균소독제의 단점을 해결할 수 있는 대체 성분으로 살균소독력 이외에 다양한 장점들을 가지고 있다. 국내에서도 2007년부터 이들 성분에 대해 과일과 야채 등의 살균을 목적으로 사용이 허가되어 있다. 현재 국내 단체급식소에서는 신선농산물의 소독법으로 유효염소농도 100 ppm에서 5분간 사용하는 것을 권장하고 있다.

2) 전기분해수(전해수, Electrolyzed water)

염소계인 차아염소산나트륨 등의 안전성 문제점을 해결하기 위해 대체법의 하나로 가장 살균력이 높은 성분인 차아염소산만을 생성할 수 있는 제조장치가 개발되었다. 차아염소산수는 염화나트륨(sodium chloric acid)이나 염산(hydrochloride)을 전기분해하여 생성되는 전기분해수로서 과채류나 식품 등의 표면 살균을 위하여 사용된다 (그림 4). 미국에서는 과일이나 채소의 세척 및 살균에 차아염소산수의 주요 성분인 차아염소산(hypochlorous acid)을 GRAS(Generally Recognized As Safe)로 인정하여 1999년 21CFR 184.1369에서 최종 사용농도 200 ppm 이하로 승인되었다. 일본 후생노동성도 차아염소산수를 식품첨가물로 사용하는 것이 타당하다고 인지하여 2002년 6월 식품위생법 개정을 통해 첨가물로 지정했다.

3) 오존(Ozone, O_3)

공기 중의 산소가 번개나 태양광선, 자외선과 반응하여 생성되기도 하고, 고전압 하에서 전기적인 힘에 의해 생성되기도 하기 때문에 오존은 우리 주위에 항상 존재하는 물질이다.

오존에 의한 살균작용은 주로 당단백질, 당지질, 트립토판 등으로 구성된 미생물의 세포막을 공격함으로써 시작된다. 오존이 세포 내부로 침투하여 각종 호흡관련 효소, 불포화지방산, 단백질과 핵산, 포자 등의 구성요소들을 산화시키며,

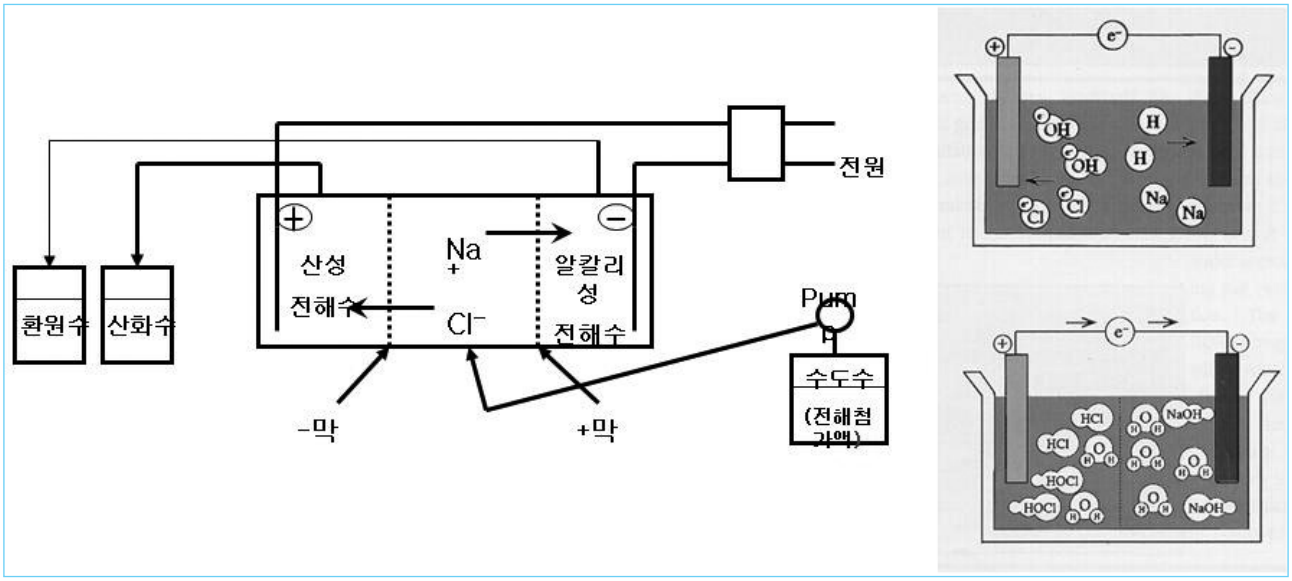

그림 4. 전해수 세척 원리

세포막의 투과도가 증가하면서 세균의 사멸 속도가 가속화되고 결국 세포용해가 일어난다. 열이나 외부 요소로부터 안정한 세포의 특정한 구조인 포자도 오존에 의해 불활성화 된다는 것이 증명된 바 있다.

오존 가스는 공기 중에서 지속 시간이 짧아 대부분은 물에 녹인 오존수 형태로 사용한다. 오존 자체가 매우 불안한 상태의 고에너지 분자로서 반감기가 짧기 때문에 처리 후 자연적으로 무해한 산소로 분해되어 잔존에 대한 우려가 없다. 그리고 다른 가공법에 비해 초기 설비비가 저렴하고 식품의 표면뿐만 아니라 조직 내부까지 살균할 수 있는 장점이 있다. 그러나 불소 다음으로 산화력이 높아 유·무기물 등과 높은 반응성을 보이며, 고농도로 사용할 경우 탈색되거나 원치 않는 이취가 생성될 수 있다.

우리나라 식품의약품안전청에서도 2007년부터 오존을 식품첨가물로 인정하고 있다. 그러나 살균력이 강한 고농도의 오존을 발생시키는 장치개발의 기술적인 문제와 작업장 내 환기시설 설치 등 안전관리 문제 등으로 인해 산업화에 어려움을 겪고 있다.

V. 살균기술의 병용(Hurdle Technology)

Hurdle technology(병용기술)는 개별적인 하나의 억제

표 1. 식품첨가물공전상 살균 및 소독용도 물질의 종류

1.	염소(Chlorine, Cl_2): 케이크류 및 카스테라 제조용 소맥분에만 사용 (2.5 g/kg 이하)
2.	차아염소산나트륨(Sodium hydrochloride, NaClO): 차아염소산나트륨 및 이를 함유하는 제제는 참깨에 사용하여서는 아니됨
3.	이산화염소(Chlorine, ClO_2): 케이크류 및 카스테라 제조용 소맥분에만 사용 (30 mg/kg 이하)
4.	과산화수소(Hydrogen peroxide): 최종제품 완성 전 분해 또는 제거
5.	이염화이소시아눌산나트륨(Sodium dichloroisocyanurate)
6.	자몽종자추출물(Grapefruit Seed Extract)
7.	주정(주세법)
8.	Acids(Acetic, Lactic, Propoinic, Sorbic, Benzoid acid)
9.	Calcium Oxide(CaO)
10.	Ozone

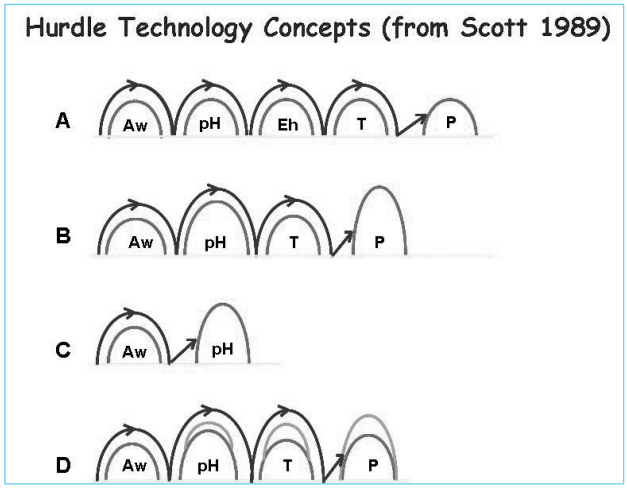

그림 5. Hurdle technology의 개념

기술이기보다는 여러 억제효과의 최소량을 사용하면서 식품의 품질손실을 최소화하고 조기의 저장효과를 얻을 수 있도록 하는 새로운 개념의 식품저장기술이다 (그림 5).

따라서, 수산식품에 이용 가능한 병용기술로는 위에서 언급한 저농도의 살균소독제와 초고압, 초음파, UV 등의 비가열/가열 물리적 방법이 있으며, 이를 활용해 위해미생물을 제어하는 동시에 식품의 품질을 최상으로 유지시키게 된다.

VI. 감사의 글

본 연구는 식품의약품안전청의 2012년 용역연구사업의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다 (12162식품안012).

참고 문헌

1. 박경진. 국내 주요 가공식품에 대한 위해순위 결정. 한국식품위생안전성학회 24(3), 200-203, 2009
2. 수산식품안전정보. 2011. available to http://blog.daum.net/gofsis/8916767
3. 식품의약품안전청. 식중독 통계자료. 2011. available to http://e-stat.kfda.go.kr/intro.jsp
4. 신동화, 오덕환, 우건조, 정상희, 하상도. 식품위생안전성학. 한미의학. 2012
5. 통계청, 어업생산량 30년간 어떻게 변화 하였을까?, 2011. 5. 13. 보도자료
6. Dunn, J., Clark, R.W., Asmus, J.F., Pearlman, J.S., Boyer, K., Pairch, F. and Hofmann, G. Methods and apparatus for preservation of foodstuffs. US Int Pat Appl No. WO 88/03369, 1988
7. Hite, B.H. The effect of pressure in the preservation of milk. Washington, Va. Univ., Agriculture Experiment Station, Bulletin, 58, 15-35, 1899
8. Iwamoto, M., Ayers, T., Mahon, B.E., and Swerdlow, D.L. Epidemiology of seafood-associated infections in the United States. Clin Microbiol Rev, 23, 399-411, 2010
9. Ludwig, H., and Schreck, C. The inactivation of vegetative bacteria by pressure. In K. Heremans (Ed.), High pressure research in bioscience and biotechnology (pp. 221 – 224). Leuven' Leuven University Press, 1997
10. Piyasena, P., Mohareb, E. and McKellar, R.C. Inactivation of microbes using ultrasound: A review. Int J Food Microbiol 87(3), 207-216, 2003
11. Ramkova, N.V., Me'lnikova, G.N., Evtikova. L.V., Epshte□, A.E., and Polosina, IuA. Possibilities of sterilization of medical equipment using ultrasonics combined with disinfectants and sterilizing agents. Med Tekh Sep-Oct;(5),9-12, 1989
12. San Martin, M.F., Barbosa-Canovas, G.V., and Swanson, B.G. Food processing by high hydrostatic pressure. Crit. Rev. in Food Sci Nutr 42, 627-645, 2002
13. Seymour, I. J., Burfoor, D., Smith, R. L., Cox, L. A., Lockwood, A. Ultrasound decontamination of minimally processed fruits and vegetables. Int J Food Sci Technol 37(5), 547 – 557, 2002
14. Wang, F., Jiang, L., Yang, Q., Han, F., Chen, S,, Shuaihua, P., Amanda, V., and Beilei, G. Prevalence and antimicrobial susceptibility of major foodborne pathogens in imported seafood. J Food Prot 74, 1451-1461, 2011