

고전압 펄스 전기장과 Ohmic Heating을 이용한
새로운 식품가공 기술

김 성 수 박사
(한국식품개발연구원)

고전압 펄스 전기장과 Ohmic Heating을 이용한 새로운 식품가공 기술

김 성 수

한국식품개발연구원

1. 고전압 펄스 전기장(High Voltage Pulsed Electric Fields)을 이용한 비열살균 기술

식품산업에서 가열가공(thermal processes)은 부패성 혹은 병원성 미생물을 불활성화하여 식품의 안전성과 저장수명을 연장하기 위하여 사용되는 일반적인 방법이다. 그러나 가열처리는 영양소의 파괴, 텍스처와 색깔의 변화, 고유 향미의 손실과 변화 등의 품질의 열화를 초래하기도 한다.

최근 국민생활이 향상되면서 소비자들의 기호도 건강과 천연지향형으로 관심이 고조됨에 따라 최소가공된(minimally processed) 천연에 가까운 신선도가 높은 식품에 대한 수요가 급증하면서 식품보존을 위한 비열가공(nonthermal processes)에 관심이 높아지고 있다.

현재 비열보존기술들은 미생물생장을 억제하는 보존료의 첨가, 박테리아를 불활성화하기 위한 방사선 조사, 미생물을 제거하기 위한 물리적인 방법, 미생물 성장을 지연시킬 수 있는 냉장, 냉동 저장과 이 방법들을 병용하는 방법들

이 있다.

이외에 최근 식품산업에서 비열처리기술로 개발중에 있는 것들은 물리적 방법으로 고전압 펄스 전기장(high voltage pulsed electric fields, PEF), 진동 자기장(oscillating magnetic fields), 이온화 조사(ionizing radiation), 광펄스(pulsed intensive light), 초고압(high hydrostatic pressure), 초음파(ultrasonication) 등을 이용하며, 화학적 방법으로는 이산화탄소, 박테리오신, 양이온 다중 고분자와 같은 화학물질, 세포벽 분해효소 등을 이용하고 있으며 이와 병행하여 무균포장기술도 급속히 발전하고 있다.

이러한 식품가공에 응용하는 여러 가지 비열가공 방법 중에서 고전압 펄스 전기장을 이용한 방법은 전통적인 가열살균방법의 대체 기술로 유망한 비열살균기술 중의 하나로 연구에 박차를 가하고 있다.

고전압 펄스 전기장을 이용한 미생물의 불활성화는 처리중 온도가 거의 상승하지 않고 처리시간이 짧으며 연속 처리가 가능하며, 처리 후에 식품의 물리적, 화학적 및 영양학적인 특성들이 거의 변하지 않기 때문에 최근 관심이 집중되고 있는 신기술이다. .

먼저 고전압 펄스 전기장 처리에 대한 원리를 살펴보면 고전압 펄스 전기장의 발생장치는 2개의 전극 사이에 식품을 넣고 10 kv/cm 이상의 고전압 전기장을 순간적으로 방전시켜 처리하는 기술이라 할 수 있다. 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.

고전압 펄스 전기장에 의해 미생물이 불활성화는 세포막의 손상이 세포의 탈활성화의 직접적인 원인인 것으로 알려져 있다.

최근까지 고전압 펄스 전기장을 이용한 미생물의 불활성화 효과를 조사한

연구의 결과로서 주로 대상으로한 식품은 유동성 식품으로 액란 제품, 우유, 오렌지 주스, 요쿠르트, 액란 등이며 그외에 NaCl완충용액 등 여러 가지 완충용액과 반고형상태의 시료에 대한 처리효과도 나타내었다. 처리한 전장 (electric field, kV/cm)의 강도는 15-90kV/cm의 범위로 각 시료 중의 미생물 *E. coli*, *Salmonella dublin*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus brevis* 등의 사멸율은 0.5~9 Log reduction 까지 다양하게 나타났다.

고전압 전기장을 식품의 살균에 적용하려는 연구는 국내에서는 한국식품개발연구원 가공공학연구팀과 한국전기연구소 연구진과 공동으로 실험실 규모의 장치를 제작하여 각종 미생물에 대한 처리효과를 조사하고 과실음료에 적용실험을 진행 중에 있으며, 연세대학교 식품공학과에서도 농림부 첨단기술개발사업비를 지원받아 현재 연구를 다방면으로 수행중에 있다.

외국에서는 독일의 Krupp Maschinentechnik GmbH 연구팀과 Hamburg대학의 연구팀이 공동으로 오렌지 주스와 우유 등과 같은 유동식품의 살균에 impulse generator, capacitor, high voltage switch(Ignitron)과 25kv/cm의 전압을 방출하는 축전기를 통하여 두 개의 탄소전극으로 구성된 회전식장치에서 실험한 연구자료를 바탕으로 Berlin 대학과 공동 연구를 통해 두 개의 평행하는 탄소전극으로 구성된 처리chamber를 가진 연속식 살균장치를 개발하였다.

미국의 Maxwell Lab.은 유제품, 과일 주스, 액란 등의 유동식품의 살균에 대해서, Washington 주립 대학은 stimulated milk ultrafiltrate(SMUF)와 같은 model 식품의 살균에 대한 결과 등을 보고하였다. 최근에 Ohio 주립대학에서는 pilot 규모의 연속식 고전압 펄스 처리장치와 무균 포장장치를 연결하여 실제 제품을 생산하고자 하고 있다. 그외에도 Guelph 대학, Berlin 공대, FMC, Campden Food & Drink Research Association 등에서 연구가 진행중이다.

실험실 규모의 연속식 처리장치를 이용하여 액상 식품을 처리한 후, 저장

실험을 한 결과는 농축 희석 사과 주스와 fresh 사과 주스를 50 kV/cm, 2 μ S의 pulse로 10, 16번 처리하였을 경우 농축 희석 사과 주스는 상온(20-25℃)에서 약 4주간, fresh 사과 주스는 냉장온도(4-6℃)에서 약 3주간 저장이 가능하였다.

또한 지방을 제거한 달지유를 PEF처리(40kV/cm, 2 μ sec, 20번)한 후 냉장 온도에서 저장하였을 경우 약 2주간 저장이 가능하였으며, 이외에도 전란액과 green pea soup을 PEF처리(35kV/cm, 2 μ sec)하였을 때 냉장온도에서 각각 28일, 10일간 저장이 가능하였으며 관능검사에서 일반시판되는 제품들 보다 높은 선호도를 보였다고 하였다.

2. Ohmic Heating을 이용한 식품가공 기술

통전가열(Ohmic Heating)이란 완전한 전도체가 아닌 식품에 전기를 통과시키면 전기에너지가 열에너지로 전환되면서 급격한 거시적함열이 발생되어 가열하는 것이며 기본원리는 Joule의 법칙이다. 이러한 통전가열에서의 driving force는 전압이므로 식품의 내외부 온도차가 없이 균일하게 식품내부에서 열이 발생되며 온도증가에 따른 driving force의 감소가 없다. 통전가열 방식은 식품자체에 전류를 통과시키는 방식이므로 액상과 고체상의 전기전도도의 차이가 크지 않을 경우에 액체와 고체 모두 입자의 크기에 구애받지 않으면서 일정한 속도로 고르게 가열 가능한 장점이 있다. 그밖에 ohmic heating 공정의 장점을 간추려 보면 표면으로의 열전달이 없어 연속적인 생산이 가능하며, 열에 의한 손상을 최소한으로 하면서 액체와 고체 입자 모두 빠르고 고른 열처리가 가능하며, 느린 유속으로 인해 shear-sensitive 식품에 이상적인 공정이다. 또한 특별한 손상없이 영양성분의 잔류를 증가시킬 수 있고,

기존의 연처리 방식에 비해 신선한 맛과 품질이 뛰어난 제품의 생산이 가능하며, 고체성분의 투입량을 늘릴 수 있으므로 설비투자과 제품의 안정성을 최적화시킬 수 있으며 선풍적인 가열방식에 비하여 fouling을 최소화 할 수 있으며, process조절이 용이하며, 유지비를 줄일 수 있으며 빠르고 환경보존적인 방법이며, aseptic system과 연계로 상온저장 및 유통을 가능하게 한다.

통전가열에 의한 식품의 가공은 이미 19세기말경에 Johns가 식품의 살균에 적용한 예가 있으며 1900년에는 Roberts가 캔제품의 살균에 전기저항열을 이용한 장치를 고안한 바 있다. 그 이후에도 유사한 장치의 제작이 시도되었으나 전극 및 주변장치의 개발이 이루어지지 않아 상업화시키지는 못하였다. 20세기 초에는 전위차가 있는 평행의 판사이를 우유를 통과시켜 살균하는 연속식 살균법이 고안되기도 하였고 Anglim등이 제작한 electro-pure system은 1920년대 획기적인 우유살균기술로 인정받았을 뿐만아니라 HTST(High Temperature Short Time)법의 선구자적인 역할을 하였다. 그러나 초기 이러한 통전가열장치가 도입될 시에는 크게 실용화 되지 못하였는데 그 이유는 이미 언급한 바와 같이 적절한 전극과 조절장치가 개발되지 못한 것이 가장 큰 이유이었다. 그러나 최근 10여년간 새로 개발된 전극물질과 ohmic heating 장치에 필요한 기타 여러 장치들이 개발되어 통전가열장치를 이용한 다양한 연구가 진행되었다. 특히 영국의 Electrical Research Center에서는 continuous flow ohmic heater를 이용한 APV Baker ohmic heating process를 개발하여 여기에 aseptic process를 가미하므로써 상업화에 성공하였다. 그 밖에도 일본의 Joule가열장치, 러시아의 meat emulsion가열장치와 냉동물고기 블록의 해동장치 등이 상업화 되어 있다. 그 밖에도 오렌지 주스의 가열살균 시험 등 다양한 연구가 미국 등 선진 각국에서 진행되고 있다.

국내의 경우에는 통전가열장치를 이용한 식품의 가공 및 살균에 대한 연구

는 아직 시작단계이고 1995년에 한국식품개발연구원에서 실험실용 장치를 제작하여 사과주스의 살균처리에 관한 연구를 수행한 바 있고, 조 등이 페이스트상 식품의 살균,공의 유효성분 추출,두유박의 압착,탈수에 관한 연구 결과를 보고한 바 있다.

통전가열을 이용한 식품의 살균에 응용한 예는 1980년대 말 영국의 APV사에서 입자함유 액체식품의 연속식 살균장치를 개발하였으며 이를 무균포장 기술과 연결하여 사용하므로써 그 효과를 극대화시켰다.이 장치의 경우 가공물의 입자 크기는 최대 25mm이며 전해질이 없는 지방,기름유,당류,시럽 등의 살균에는 적용이 불가능한 것으로 알려졌다.

한국과 일본의 경우 0.4~0.5W/MK의 낮은 전도도와 높은 점도를 지닌 고추장과 된장과 같은 페이스트상 식품의 살균에 통전가열을 적용하고자 하였다. 이 경우 끓는 물증탕이나 스팀솥을 이용한 것보다 훨씬 효과적인 살균이 가능한 것으로 보고된 바 있다.

일본에서는 Joule열을 이용한 근원섬유 단백질의 조직화에 대한 연구와 장치개발에 대한 연구를 수행하여 그 결과 통전가열을 이용시에 내부의 급속한 가열에 의해 50~60℃ 온도대를 통과하는 시간이 짧아 젤리강도가 매우 강해짐이 밝혀졌으며 이러한 결과를 바탕으로 연속식,또는 회분식의 수산 연제품, 생산장치를 개발하였다.

식품의 해동에 Joule열의 이용은 일본의 Naveh 등은 냉동고기덩어리를 냉각수를 채운 항온조에 넣고 통전가열방식으로 해동시험을 한 결과 20℃상온 수조상에서 가열시에 미하여 약 3배 정도 빠른 해동속도를 나타냄을 보고한 바 있으며 이 경우에는 물과 직접 접촉해서는 안되는 냉동식품에는 적용이 불가능 하였다. 구 소련에서도 많은 연구를 수행하였는데 통전가열을 이용한 해동시스템은 50Hz, 220V의 교류를 이용하여 10Kg의 냉동어 블록을 해동시키

는 데 약 25~30분 정도가 소요된다고 보고하였다.

탈수건조에 이용은 과실착즙박을 건조시키는 시스템, 활성오니와 두유박의 전기침투탈수기의 개발, 압착탈수시 효율증대 등이 있다.

추출액의 이용은 김, 변이 콩의 마쇄유액을 급속히 가열하는 동시에 영양성분의 파괴를 최소화시키면서 콩으로부터 단백질 등의 유효고형물의 회수율을 높이는 연구를 수행하여 종래의 방법에 비하여 두유추출량은 10% 이상, 고형분량은 약 18%, 단백질 함량은 약 25% 증진된 두유액을 얻었음을 보고한 바 있다.

이외에 ohmic heating을 이용한 식품가공 기술이 매우 다양한 분야에서 연구개발되고 있다.