

안전한 육제품 생산을 위한 미래 지향적인 기술들

Future Technologies for the Manufacture of Safe Meat Products

김형상 (Hyeong Sang Kim)

한경대학교 동물생명환경과학과

Department of Animal Life and Environment Science, Hankyong National University

I. 서론

우리나라를 비롯하여 전 세계적으로 육가공 산업은 꾸준히 발전하고 있으며, 국민들에게 안정적으로 우수한 단백질을 공급함으로써 국민 건강에 기여하고 있다. 하지만 제품 생산의 대량화와 글로벌화가 이루어지면서 육제품이 가지는 맛과 영양의 순기능을 넘어서서 육제품의 안전성과 유통기한을 연장시킬 수 있는 방법에 대해 많은 연구들이 필요하게 되었다. 첨단 기술을 사용하여 육제품의 영양성분과 관능 성상에 영향을 미치지 않으면서 제품의 유통기한을 연장하는 연구들이 꾸준히 행해지고 있다(Jayasena et al., 2015; O'Dowd et al., 2013; Rød et al., 2012). 하지만 이러한 기술 발전에도 불구하고, 육제품에 대한 응용 연구는 여전히 실용적으로 실현 가능한지에 대해 입증하기 위해 많은 연구가 필요하다. 높은 투자비용, 공정 운영과 관련된 변수의 불완전한 통제 및 규제 승인의 부족과 관련된 여러 한계로 인해 이러한 첨단 기술의 산업적 규모로의 구현이 지연되고 있다.

본 원고에서는 육제품 제조 및 제품의 안전성을 연장할 수 있는 여러 기술들을 알아보고, 이 중 가까운 미래에 대량 산업화 될 수 있는 기술들을 중점적으로 다루고자 한다. 먼저 육제품에 적용되는 다양한 기술들을 다음에 간단히 나타내었다.

- 초고압 공정기술(High pressure processing, HPP): 초고압 공정은 상온에서 최대 600 MPa의 압력을 사용하여 식물성 박테리아, 효모 및 곰팡이를 효과적으로 비활성화 시키고, 고온 처리를 할 때 포자를 비활성화 시킬 수 있다. 초고압 공정은 대부분의 관능성상과 액체 또는 고체, 또는 냉장 제품의 영양학적 품질을 대부분 유지한다. 효소에 미치는 영향은 다양하다(Barba et al., 2014; Barbosa-Cánovas et al., 2014; Rendueles et al., 2011).
- 펄스 자기장 처리(Pulsed electric field, PEF): 펄스 자기장 공법은 2개의 전극 사이에 배치되거나 순환하는 식

*Corresponding author: Hyeong Sang Kim
Department of Animal Life and Environment Science, Hankyong National University,
Anseong-si 17579, Korea
Tel: +82-31-670-5123
Fax: +82-31-670-5129
Email: dock-0307@hknu.ac.kr

- 품에 20–80 kV/cm의 고전압을 적용시킨다. 이는 보존 목적으로도 적용할 수 있다. HPP와 유사하게 식물 박테리아, 효모 및 곰팡이는 파괴하지만 포자 및 여러 효소는 파괴하지 않는다(Barba et al., 2014; Huang et al., 2012; Terefe et al., 2015).
- 자외선(Ultraviolet light, UV): 자외선 방사는 200–280 nm 범위의 파장에서 살균 특성을 갖는 비이온화 방사선을 생성한다. UV는 육제품 및 첨가물에 대한 비열처리로서 제품 표면에 처리될 수 있다(Falguera et al., 2011; Gayán et al., 2014; Koutchma, 2009).
 - 마이크로파 가열(Microwave heating, MWH): 마이크로파 가열은 식품 재료에 열을 발생시키기 위해 915 MHz와 2,450 MHz의 특정 주파수에서 전자기 에너지를 사용한다. 기존의 열처리 기술과 달리 열이 보다 빠른 속도로 제품 전체에 걸쳐 생성된다. MWH는 고체 및 부풀어질 수 있는 음식에 사용할 수 있으며, 여기에는 큰 입자를 갖는 액상 식품이 포함된다(Barba et al., 2014; Barbosa-Cánovas et al., 2014; Data & Rakesh, 2013).
 - 방사선(Radiation): 방사선에는 감마선, X선 또는 전자선의 세 가지 방사선원에 의한 방사선 조사가 포함된다. 이는 또한 전리 방사선이라고도 한다. 감마선은 음식에 침투할 수 있지만 전자빔은 침투 깊이가 제한적인 특징이 있다(Alam Khan and Abraham, 2010; Otto et al., 2011).
 - 적외선 가열(Infrared heating, IR): 적외선 가열은 1.3에서 4.0 μm (적외선 복사)의 파장을 갖는 전자기 복사에 의한 물질의 가열을 말한다. 이러한 방사선의 스펙트럼의 특정 부분을 흡수하는 물질의 능력에 기초한다. 적외선이 가해진 식품의 심부 또는 표면 가열뿐만 아니라, 대상 물질 전체를 가열하지 않고 국소 건조하는 것은 적외선 복사의 방출 스펙트럼을 적절하게 선택하여 수행될 수 있다(Raghavan et al., 2005).
 - 저항가열(Ohmic heating, OMH): 저항가열은 줄(Joule) 가열이라고도 하며, 교류 전류가 식품을 통과하는 공정이다. 식품의 전기 저항은 식품 내부의 직접적인 열 발생을 촉진한다. 기존의 열 기술과 달리 열이 제품 전체에 걸쳐 생성된다. 이 기술은 MHW와 같이 고체 및 팽창할 수 있는 음식에 사용할 수 있다(Sakr and Liu, 2014; Varghese et al., 2012).
 - 오존(Ozone, O_3): 오존은 높은 산화전위를 갖는 강력한 광역 항균제이다. 이는 염소 대신에 사용될 수 있다. 과일과 채소의 경우, 오존 처리된 물에 담그거나 오존수에 씻거나 가스 오존을 적용하여 처리할 수 있다(Guyzel–Seydim et al., 2004; Khadre et al., 2001; Perry and Yousef, 2011).
 - 압력 및 CO_2 처리(Pressure and CO_2): Dense phase carbon dioxide(DPCD 또는 DP- CO_2), 액체 CO_2 , 초임계 CO_2 (supercritical CO_2 , SCCO₂) 또는 고압 처리된 이산화탄소(high pressurized carbon dioxide, HPCD)라고도 불린다. 이 기술은 식품 보존을 위한 수단으로 미생물을 파괴하기 위해 이산화탄소와 함께 압력을 이용하는 액체 식품을 위한 연속적인 비 열처리 시스템이다(Martín–Belloso and Sobrino–López, 2011; Otto et al., 2011).
 - 출력 초음파(Power ultrasound): 출력 초음파는 저주파수(약 20 kHz)에서 고출력 음파를 사용하는 다용도 기술이다. 유화, 균질화, 점도 및 조직감 변형, 결정화, 미생물 감소, 세척 및 추출 등의 다양한 용도로 사용된다. 주로 유체에 사용된다(Abbas et al., 2013, Chandrapala et al., 2013; Deora et al., 2013).
 - 저온 대기압 플라즈마(Cold atmospheric plasma, CAP): 이 기술은 저온 플라즈마, 비평형 또는 비열 플라즈마라고도 불리며, 다른 전자, 이온 그리고 중성 온도를 갖는다. 이러한 플라즈마는 반응성이 높은 산화성 및 환원성 종과 플라즈마 전자의 우수한 공급원이다. 이러한 종을 통해 전기 에너지를 가스 화학(오염 물질 분해 또는 더 큰 탄화수소를

더 작고 쉽게 연소되는 물질로 분해)으로 유도할 수 있다. 화학적 처리 또는 표면이 쉽게 부서질 수 있는 식품의 오염 제거에 사용하기 위해 연구되었다(Misra et al., 2011; Otto et al., 2011; Smeu and Nicolau, 2014).

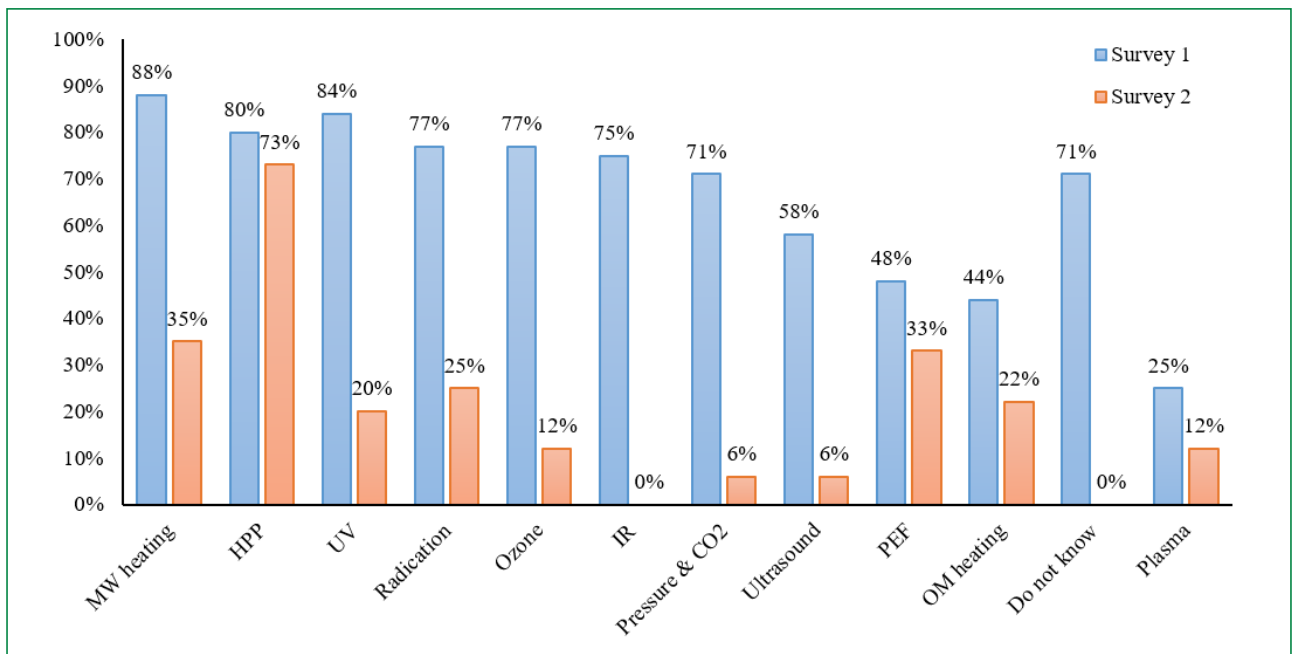
- 전해수 처리(Electrolyzed water): 전해수는 전기 산화수, 전기 활성수 또는 전기 화학적으 활성수라고도 불리며, 약한 염 용액을 전기 분해하여 생성된다. 이는 소독제인 차아염소산 나트륨을 생성한다. 산성 전해수 또한 존재하며 더욱 효율적일 수 있다. 이러한 전해수는 음식의 표면을 청소하거나 오염원을 제거하는 데 사용할 수 있다(Koseki and Isobe, 2007).

II. 본론

Jermann 등(2015)은 이러한 다양한 기술들에 대하

여 이 중 어떠한 것이 가장 새롭고 최신의 기술인지에 대해 전 세계 소비자들을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 설문조사 1에서는 자국에서 상업적으로 응용되어져 왔거나, 가공 식품 기술 분야에서 새롭게 생성된 기술에 대해 묻는 내용으로, 마이크로파 가열이 88%, 초고압 기술이 80%, 그리고 자외선 처리가 84%로 나타났다(그림 1). 설문조사 2에서 응답자는 현재 자국에서 이용할 수 있는 가장 중요한 5가지 기술에 대해 응답하였으며, 전체 응답자의 73%가 HPP를 상위 5대 기술 중 하나인 것으로 분석되었다. 그 다음으로 마이크로파 가열(35%)과 펄스 자기장 처리(33%), 방사선(25%), 저항 가열(22%) 순으로 랭크되었다. PEF에 대해 언급한 모든 응답자는 유럽 출신이었으며, 이는 유럽에서 상업적으로 PEF 기술이 다른 아메리카, 아시아, 오세아니아 또는 아프리카에 속하는 국가에 비해 더욱 많이 홍보되고, 실제로 육가공을 비롯한 식품 제조에 이용되고 있음을 말한다. 방사선 조사의 경우, 설문조사 1과 2에서 모

그림 1. 식품 생산을 위해 어떠한 상업적 또는 신기술을 적용할 수 있는지(설문조사 1)와 현재 자신의 국가에서 이용할 수 있는 가장 중요한 기술은 무엇인가(설문조사 2)에 대한 응답자의 비율



(Jermann et al., 2015)

두 4위에 랭크되었는데, 이는 소비자들이 방사선 조사로 건강에 미칠 수 있는 건강상의 우려 때문인 것으로 판단된다.

따라서 이러한 설문조사 결과를 바탕으로, 안전한 육제품 생산에 적용될 수 있는 기술을 4가지로 간추려 보았다. 이는 초고압 기술, 펄스 자기장 처리 및 대기압 플라즈마 기술이며, 이와 같은 선별 기준은 소비자들에게 생소할 수도 있지만, 향후 10년 내에 육가공 분야에서 안정적으로 적용되고 널리 사용될 가능성이 있는 기술 가능성을 근거로 결정하였다.

1. 초고압 기술

(1) 기술 개요

전 세계적으로 식품의 저장 수명을 연장시키기 위해 미생물을 불활성화 시킬 수 있는 기술로 초고압 기술이 가장 크게 산업적으로 적용되고 있다. 일반적인 산업용 초고압 장치는 수평 초고압 용기와 외부 압력 생성 장치로 구성된다. 증압기의 가장 간단한 실용 시스템은 단동 수압식 펌프이다(Rovere, 2002). 초고압 기술의 경우, 포장된 식품은 운반대에 옮겨져 초고압 용기에 자동으로 적재된 후 밀봉된다. 압력 전달 매체로 물이 한쪽 또는 양쪽에서 용기 내로 펌핑된다. 원하는 최대 압력에 도달한 후 펌핑이 중단된다. 온도 구배가 발생하는 열처리 공정과는 달리 압력 용기의 등속성으로 초고압 용기 내의 물체에 정확히 같은 양의 압력이 가해진다(Heinz et al., 2009; Rastogi et al., 2007).

(2) 역사

식품에서 초고압 기술 처리는 1890년대 후반 우유에서 미생물의 불활성화에 대한 보고를 통해 처음으로 이루어졌는데(Hite, 1899), 초고압 처리를 통해 우유의 유통기한이 연장되었다고 보고하였다. 1980년대 초반부터 초고압 기술은 고전적인 열처리 기술에 대한 식품

가공의 대안 기술로 평가되었다(Knorr et al., 1998). 왜냐하면 소비자들의 최소한으로 가공된 신선하고 안전하며 고품질의 제품에 대한 수요가 증가했기 때문이다(Hendrickx and Knorr, 2002). 초고압 기술의 첫 산업적 적용은 1991년 일본에서 이루어졌다(Yaldagard et al., 2008). 식품업계 및 관련 연구소는 이 분야를 더욱 광범위하게 연구하고, 다양한 제품에 적용하게 되었다. 결과적으로 최근 10년 동안 산업용 초고압 시스템의 수는 꾸준히 증가했으며, 전 세계에서 30만 톤 이상의 식품에 적용되어 안전한 제품 생산에 이용되고 있다(Knorr et al., 2011).

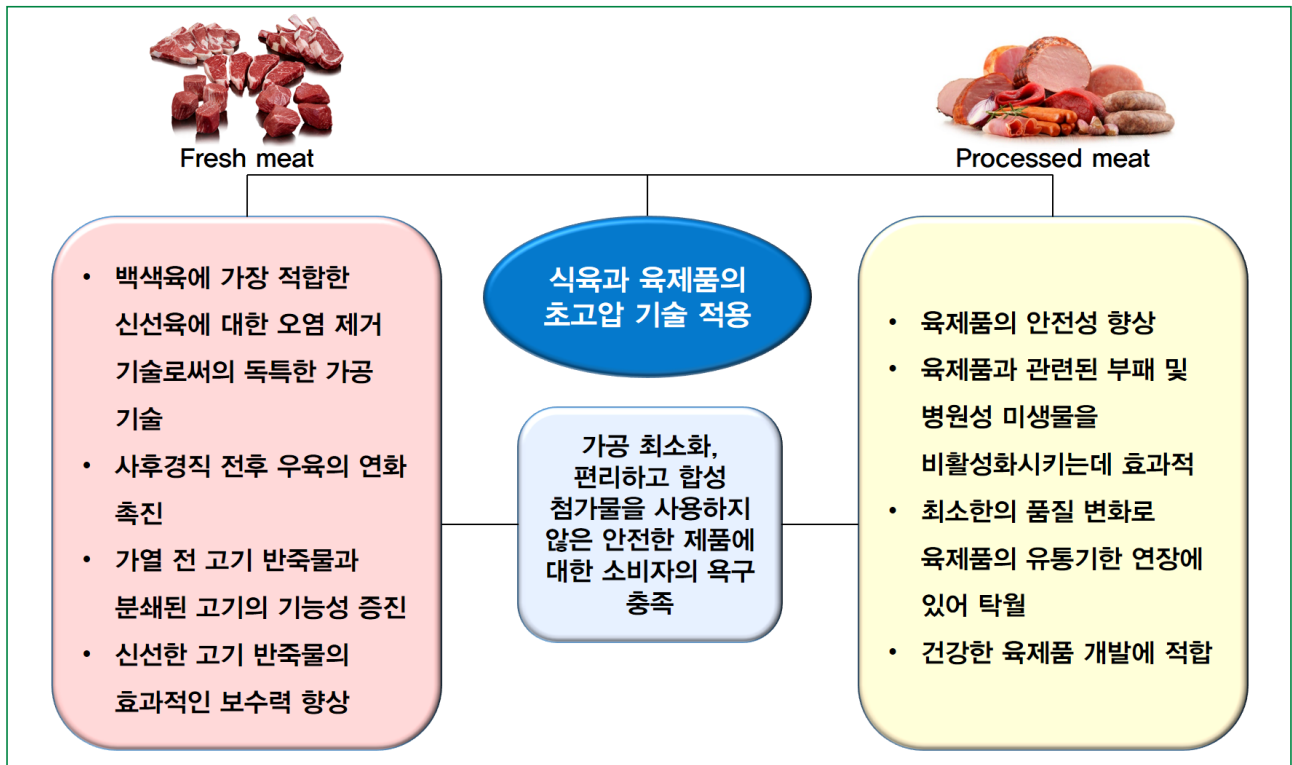
(3) 육제품에 이용

초고압 처리는 비가열 공정 기술이다. 관능 성상과 영양적 특성에 대한 최소한의 영향을 미치며 신선육과 육제품의 유통기한을 연장시키는 기술로 사용되어져 왔다(Macros et al., 2013). 육제품을 약 400–600 MPa에서 초고압 처리하면 포장된 육제품의 미생물 안전성을 보장할 수 있는 열처리 공정을 대체할 수 있는 기술로 될 수 있음이 보고되었다(Fulladosa et al., 2009). 고품질의 신선육과 육제품 개발과 관련하여 초고압 기술이 미치는 중요한 효과에 대해 그림 2에 정리하였다(Hygreeva and Pandey, 2016). 초고압 기술이 전 세계적으로 많이 이용될 수 있는 이유는 육제품의 미생물적 안전성 외에도 제품 고유의 신선한 맛, 질감 및 영양 성분을 더욱 많이 유지하기 때문이다(Patterson et al., 2007). 특히 슬라이스 햄, 칠면조 또는 닭고기 부분육과 즉석식품과 같은 가공 육제품에 적용되어 *Listeria*를 불활성화 시키고 유통기한을 연장시키는데 적용되고 있다(Knorr et al., 2011).

2. 펄스 자기장 처리

(1) 기술 개요

그림 2. 고품질의 신선육과 육제품 개발에 있어 초고압 기술의 중요한 기능들



(Hygreeva and Pandey, 2016)

높은 전기장 펄스에 노출되면 세포막은 강도 및 처리 조건에 따라 영구적이거나 일시적인 공극을 형성한다(Angersbach et al., 2000). 공극 형성은 막 투과성을 증가시켜 세포 내용물의 손실 또는 주변 매개체의 침입을 초래한다(Vorobiev and Lebovka, 2008). 저장도 처리는 식물 세포에서 스트레스 반응을 유발하여 이차 대사산물이 증가함에 따라 방어 기작을 촉진할 수 있다(Galindo et al., 2009). 세포막의 비가역적 천공은 영구적으로 그 장벽 효과를 감소시켜 세포 사멸을 일으키며(Toepfl and Heinz, 2007), 미생물의 비가열성 불활성화를 이끌어낸다(Lelieveld et al., 2007). 펄스 자기장 처리는 0.1-1 kV/cm 범위의 전기장 강도(식물 세포에서 스트레스 유도에 대한 가역적 투과성화), 0.5-3 kV/cm 범위의 전기장 강도(식물 및 동물 조직의 비가역적 투과성화) 그리고 15-40 kV/cm 범위의 전기장 강도(미생물 세포의 비가역적 투과성화)에서 매우 짧

은 전기 펄스(1-100 μs)를 적용시킨다. 세포 크기와 모양에 따라 앞서 언급한 펄드의 강도는 중요한 막전위를 형성하게 되며, 이는 막 파괴의 전제조건으로 간주된다(Tsong, 1996). 전기 천공의 기작은 주로 세포막에 영향을 미치는 기계적 전자 압축력에 기반하기 때문에, 펄스 자기장 처리 기술은 비가열성 세포 분열 또는 보존 과정으로 간주된다. 펄스 자기장 처리는 식물 및 동물성 원료의 기계적, 열적 또는 효소적 세포 분해에 대한 대체 기술로 사용될 수 있으며, 단시간(밀리 초), 저에너지 처리 및 액상 식품의 전통적인 저온 살균법에 적용될 수 있다(Raso and Heinz, 2006).

(2) 역사

저온 살균을 위한 전기 에너지의 최초 상업적 적용은 저항가열을 토대로 1920년대 우유의 유통기한을 증

진시키기 위해 설립된 Electropure 공정이었다. 음식물 재료의 저항력에 의해 열이 발생하는 줄(Joule) 가열에 근거한 Electropure 공정과 달리 두 개의 전극에 걸친 펄스 방전을 최대 32 kV의 고전압 전기를 사용하는 기술이 1950년대부터 연구되어 전자 유압식 처리라는 프로세스가 진행되었다(Gilliland and Speck, 1967). Doevenspeck(1961)은 식품 가공을 위한 펄스 자기장 응용 프로그램의 선구적인 실험을 수행하였다. 미생물에 대한 펄스 자기장의 비가열적 치사 효과에 대한 최초의 체계적인 연구는 영국의 Unilever Research Center에서 수행되었다(Sale and Hamilton, 1967). Krupp(1988)은 기술의 잠재력을 인식하고 Elcrack[®]과 Elsteril[®] 프로세스를 개발하였다. 최초의 상용 펄스 자기장 처리 기술은 2005년 미국에서 과일 주스 보존을 위해 설립되었다(Clark, 2006). 1996년부터 Food and Drug Administration(FDA) 허가가 가능해졌으며, 이는 펄스 자기장 기술을 통해 안전한 식품 보존이 가능하다는 것을 시사한다.

(3) 육제품에 이용

펄스 자기장 처리의 육제품 적용 연구는 주로 원료육의 연도 개선 목적으로 활용되고 있다. 숙성이 일어나기 전 펄스 자기장을 적용함에 따라 강직개시 전 또는 사후 강직 후 고기는 막 손상을 초래한다. 이후 (1) 세포 소기관으로부터 칼슘이 방출되어 칼슘 의존성 프로테아제와 칼파인을 활성화 (2) 리소좀으로부터 카텝신 방출, (3) 칼슘 방출의 결과로써 해당작용을 활성화함으로써 고기의 연도를 증진시킨다. Bekhit 등(2014)이 보고한 바와 같이 펄스 자기장 처리 이후 숙성 단계가 요구되는데, 이는 소고기 연도에 대한 펄스 자기장 처리 효과가 부족하기 때문이며(O'Dowd et al., 2013), 이는 2일간의 짧은 숙성 기간으로 달성될 수 있다(Arroyo et al., 2015). 펄스 자기장의 적용은 강직 전과 후의 고기로 나누어 적용할 수 있다. 강직전 온도체에 적용할 경우, 적용하는 근육 부위에 따라 다른 효과를 나타내는 것으

로 보고되었다. 5-10 kV/cm의 강도로 펄스 자기장을 *longissimus lumborum* 근육에 처리할 경우, 주파수의 증가(20, 50, 90 Hz)와 함께 질감성이 증가되었지만, *semimembranosus* 근육의 경우 연도가 증진되었다(Bekhit et al., 2016). 강직 후 냉도체의 경우 펄스 자기장의 강도에 따라 연도가 변화하는 것이 보고되었다. 사후 48시간의 강직 후 우육 *logissimus lumborum* 근육에 20 μ s의 300 또는 600 펄스를 갖는 낮은 강도의 PEF(1.4 kV/cm)를 처리할 경우 전단력의 유의적인 차이를 보이지 않았다(Arroyo et al., 2015). 이후 10, 18 또는 26일간의 숙성기간 동안 근육의 연도는 펄스 자기장 처리구에서 보다 낮은 전단력을 보임으로써 연도가 증가하는 경향을 보였다. 사후 24시간의 냉도체 *logissimus lumborum* 근육에 높은 강도의 펄스 자기장 처리(10 kV/cm, 90 Hz)는 21일의 숙성육에서 연도의 증가를 가져왔다(Suwandy et al., 2015).

3. 대기압 플라즈마 기술

(1) 기술 개요

플라즈마 공정은 전자 및/또는 모든 플라즈마 구성 요소의 큰 운동 에너지와 전하 캐리어 및 시스템 특성에 대한 전자기 상호 작용에 상당한 영향을 미치는 중성 입자(원자, 분자)를 포함하는 자유 전자 및 이온의 기체 또는 유체와 같은 혼합물 형태의 준 중성 입자 시스템으로 설명될 수 있다(Rutscher, 2008). Friedman 등(2005)에 따르면 모든 종류의 플라즈마 시스템은 전통적으로 열 및 비열 플라즈마의 두 가지 주요 범주로 나뉘어져 있으며, 특정한 이점과 단점이 있다. 열 플라즈마(일반적으로 아크 또는 고주파(radiofrequency (RF) 유도 결합 플라즈마 방전)은 줄(Joule) 가열 및 열 이온화와 관련이 있으며, 높은 작동 압력에서 고출력(단위당 50 MW 이상)을 전달할 수 있다. 다른 한계점 외에도 매우 높은 가스 온도는 식품 시스템에 적용 가능성을 제한한다는 단점이 있다. 비가열 플라즈마의 경우 전자 온도는

벌크 가스 온도보다 훨씬 높다. 전자 온도가 수만 K에 도달할 수 있는 반면, 가스 온도는 40°C 이상의 온도 수준으로 유지된다(Mastwijk and Nierop Groot, 2010). 비가열 플라즈마는 다른 압력 수준에서 다양한 전기 방전에 의해 생성될 수 있다. 대기압 조건 하의 작업 압력은 주로 건조식품 또는 포장재에 적합하다. 이는 진공 상태에서 습도가 높은 식품에서 액상을 기체상으로 변화시키는 것을 돕기 때문이다. 육가공에 가장 적합한 시스템은 극한 조건이 필요 없고, 저온이 실현될 수 있는 대기압 플라즈마 장치이다. 대기압 플라즈마는 일반적으로 코로나 방전, 유전체 장벽 방전(dielectric barrier discharge(DBD) 또는 플라즈마 제트에 의해 생성된다(Keener, 2008). 특히 균일하지 않은 모양의 제품 처리를 위해 플라즈마 제트의 적용은 다양한 이점을 제공한다(Foest et al., 2005).

(2) 역사

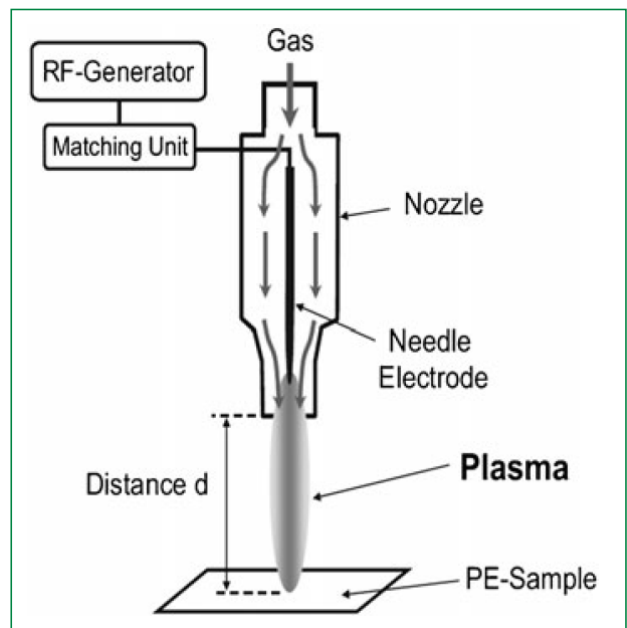
1801년 Cruickshank는 물의 전기 분해 중 양극에서 특정 냄새가 발생한다는 것을 확인하였다. 1808년 Humphry Davy 경은 정상 상태의 DC 아크 방전을 개발하였으며, 1830년대에 Michael Faraday 등은 고전압 DC 방전 튜브를 개발하였다. 19세기에는 전기 방전 물리학에서 급속한 진전이 이루어졌으며, 영국과 독일의 많은 실험실에서 이루어졌다. 1840년 Schönbein은 전기 분해를 통해 특정 냄새가 나는 이 물질을 ‘냄새가 나다’라는 뜻의 그리스어 Ozein으로부터 오존으로 명명하였다(Rubin, 2001). 1857년, Siemens는 상업적으로 이용 가능한 오존 발생기의 대부분을 차지하는 원통형 유전체 유형으로 진화한 오존 발생기를 설계하였다. 1898년 William Crookes 경은 중성 원자가 전자와 양이온으로 분해되는 것을 설명하기 위해 이온화라는 용어를 도입하였다. Irving Langmuir는 1928년 플라즈마라는 용어를 도입하였다.

(3) 육제품에 이용

플라즈마의 육제품 관련 응용에 대한 최근의 연구는 주로 미생물의 불활성화에 초점을 맞추고 있다. 방출된 반응 물질이 박테리아와 반응하기 때문에 물, 지질, 단백질 및 탄수화물과 같은 제품 성분에도 영향을 줄 수 있다(Keener, 2008). 최근의 기술적 개발로 인해 플라즈마 처리 온도를 낮게 유지할 수 있다. RF 구동 플라즈마 제트의 경우, 식품 관련 물질의 처리에 대한 연구에 사용될 수 있는데, 이러한 플라즈마 소스는 세라믹 노즐의 중심에 있는 바늘 전극과 접지된 외부 전극으로 구성된다. RF 전압은 일치하는 네트워크를 통해 바늘 전극에 연결된다. 전극 사이를 흐르는 가스는 이온화되고, 그 다음 방출된다(Brandenburg et al., 2007). 플라즈마 제트 시스템의 설계 원리를 그림 3에 나타내었다.

플라즈마 처리의 주요 기능은 미생물의 불활성화에 있다. 닭고기에서 플라즈마 처리는 미생물을 파괴할 수 있다는 보고가 있었으며(Noriega et al., 2011), 즉석 육류식품에서 플라즈마 처리를 통해 *Listeria innocua*의 수를 최대 1.6±0.5 Log cfu/g 감소시킬 수 있다고 보고하였다(Rød et al., 2012). 플라즈마 처리는 미생

그림 3. 플라즈마 제트 시스템의 원리



(Brandenburg et al., 2007)

물 억제 활성뿐만 아니라, 육제품의 품질에도 관여하는 것으로 보고되었는데, 먼저 색도 측면에서 플라즈마 처리 시간이 길어질수록 돈육과 우육의 적색도를 감소시키고(Jayasena et al., 2015), 닭가슴살의 경우 적색도를 감소시키고, 명도를 증가시키는 것으로 보고되었다(Lee et al., 2016). Jung 등(2015)은 아질산 이온이 많이 생성되는 플라즈마 처리수를 활용하여 유화형 소시지를 제조하고 품질을 평가한 결과, 합성 아질산염을 첨가하여 제조한 소시지의 적색도와 유의적인 차이를 보이지 않아 플라즈마 처리수를 통한 아질산염 대체의 가능성을 시사하였다. 이 외에도 플라즈마 처리 시간이 10분 이상으로 길어질수록 오히려 육제품의 지방 산화를 증가시킨다고 보고하였으며(Jayasena et al., 2015), DBD 플라즈마를 처리한 가열 돈육과 우육에서 대조군과 유사한 관능성상을 보여 제품의 품질 저하를 일으키지 않는 것으로 보고되었다(Lee et al., 2011).

III. 결론

초고압 처리를 통해 미생물학적으로 안전하고 고품질의 맞춤형 육제품을 생산할 가능성을 높여준다. 실제 육 제품에 초고압 처리를 적용 시 가능한 경우, 공정 변수

가 일정하게 최적으로 유지될 수 있도록 조절이 되어야 한다. 육제품과 펄스 자기장 처리 중 일어날 수 있는 바람직하지 않은 변화는 여전히 불명확하며, 추가적인 연구가 필요하다. 예를 들어 열에 민감한 효소나 비타민 또는 육제품에서 유래된 단백질 분획물과 같은 요인 또한 고려되어야 한다. 대기압에서의 플라즈마 처리는 육 제품의 안전성 및 품질에 있어서 다양한 가능성을 이끌어낼 수 있다. 예를 들어 표면 오염 제거, 제품 표면 특성의 변화 및 관능성상의 유지 등이 있다. 이와 같은 기술들은 육제품의 생산 라인에서 효율적으로 안전성을 향상시키는 기능을 부여할 것이다. 그러나 더욱 다양화 되는 육제품에 적용을 위한 안전하고 맞춤형 공정 개발을 보장하기 위해서는 더욱 많은 연구가 이루어져야 할 것이다. 이를 통해 지속적으로 발전하는 우리나라 육제품 소비자들뿐만 아니라, 수출을 통한 전 세계 국민들에게 고품질과 위생적으로 안전한 육제품 제조에 더욱 크게 기여할 수 있을 것이다.

사사

본 결과물은 국립한경대학교의 지원에 의해 이루어진 것이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Abbas S, Hayat K, Karangwa E, Bashari M, Zhang X. 2013. An overview of ultrasound-assisted food-grade nanoemulsions. *Food Eng Rev* 5:139-157.
2. Alam KK, Abraham M. 2010. Effect of irradiation on quality of spices. *Int Food Res J* 17: 825-836.
3. Angersbach A, Heinz V, Knorr D. 2000. Effects of pulsed electric fields on cell membranes in real food systems. *Innov Food Sci Emerg Technol* 1:135-149.
4. Arroyo C, Lascorz D, O'Dowd L, Noci F, Arimi J, Lyng JG. 2015. Effect of pulsed electric field treatments at various stages during conditioning on quality attributes of beef *longissimus thoracis et lumborum* muscle. *Meat Sci* 99:52-59.
5. Barba FJ, Grimi N, Vorobiev E. 2014. New approaches for the use of nonconventional cell disruption technologies to extract potential food additives and nutraceuticals from microalgae. *Food Eng Rev* 7:45-62.

6. Barbosa-Cánovas GV, Medina-Meza I, Candoğan K, Bermúdez-Aguirre D. 2014. Advanced retorting, microwave assisted thermal sterilization (MATS), and pressure assisted thermal sterilization (PATS) to process meat products. *Meat Sci* 98:420-434.
7. Bekhit AEDA, Suwandy V, Carne A, van de Ven R, Hopkins DL. 2016. Effect of repeated pulsed electric field treatment on the quality of hot-boned beef loins and topsides. *Meat Sci* 111:139-146.
8. Bekhit AEDA, van de Ven R, Suwandy V, Fahri F, Hopkins DL. 2014. Effect of pulsed electric field treatment on cold-boned muscles of different potential tenderness. *Food Bioprocess Tech* 7:3136-3146.
9. Brandenburg R, Ehlbeck J, Stieber M, von Woedtke T, Zeymer J, Schlüter O, Weltmann KD. 2007. Antimicrobial treatment of heat sensitive materials by means of atmospheric pressure RF-driven plasma jet. *Contrib Plasma Phys* 47:72-79.
10. Chandrasekaran S, Ramanathan S, Basak T. 2013. Microwave food processing-A review. *Food Res Int* 52:243-261.
11. Clark P. 2006. Pulsed electric field processing. *Food Technol* 60:66-67.
12. Datta AK, Rakesh V. 2013. Principles of microwave combination heating. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 12:24-39.
13. Deora NS, Misra NN, Deswal A, Mishra HN, Cullen PJ, Tiwari BK. 2013. Ultrasound for improved crystallisation in food processing. *Food Eng Rev* 5:36-44.
14. Doevenspeck H. 1961. Influencing cells and cell walls by electrostatic impulses. *Fleischwirtschaft* 13:968-987.
15. Falguera V, Pagán J, Garza S, Garvín A, Ibarz A. 2011. Ultraviolet processing of liquid food: A review. Part 1: Fundamental engineering aspects. *Food Res Int* 44:1571-1579.
16. Foest R, Kindel E, Ohl A, Stieber M, Weltmann KD. 2005. Non-thermal atmospheric pressure discharges for surface modification. *Plasma Phys. Control Fusion* 47:B525-B536.
17. Fridman A, Chirokov A, Gutsol A. 2005. Non-thermal atmospheric pressure discharges. *J Phys D-Appl Phys* 38:R1-R24.
18. Fulladosa E, Serra X, Gou P, Arnau J. 2009. Effects of potassium lactate and high pressure on transglutaminase restructured dry-cured hams with reduced salt content. *Meat Sci* 82:213-218.
19. Galindo F, Dejmek P, Lundgren K, Rasmusson A, Vicente A, Moritz T. 2009. Metabolomic evaluation of pulsed electric field-induced stress on potato tissue. *Planta* 230:469-479.
20. Gayán E, Condón S, Álvarez I. 2014. Biological aspects in food preservation by ultraviolet light: A review. *Food Bioprocess Tech* 7:1-20.
21. Gilliland SE, Speck ML. 1967. Inactivation of microorganisms by electrohydraulic shock. *Appl Microbiol* 15:1031-1037.
22. Guzel-Seydim ZB, Greene AK, Seydim AC. 2004. Use of ozone in the food industry. *LWT-Food Sci Technol* 37:453-460.
23. Hite BH. 1899. The effect of pressure in the preservation of milk: A preliminary report. *West Va Agr Exp Stat Bull* 58:15-35.
24. Huang K, Tian H, Gai L, Wang J. 2012. A review of kinetic models for inactivating microorganisms and enzymes by pulsed electric field processing. *J Food Eng* 111:191-207.
25. Hygreeva D, Pandey MC, Radhakrishna K. 2014. Potential applications of plant based derivatives as fat

- replacers, antioxidants and antimicrobials in fresh and processed meat products. *Meat Sci* 98:47-57.
26. Jayasena DD, Kim HJ, Yong HI, Park S, Kim K, Choe W, Jo C. 2015. Flexible thin-layer dielectric barrier discharge plasma treatment of pork butt and beef loin: Effects on pathogen inactivation and meat-quality attributes. *Food Microbiol* 46:51-57.
 27. Jermann C, Koutchma T, Margas E, Leadley C, Ros-Polski V. 2015. Mapping trends in novel and emerging food processing technologies around the world. *Innov Food Sci Emerg* 31:14-27.
 28. Jung S, Kim HJ, Park S, Yong HI, Choe JH, Jeon HJ, Choe W, Jo C. 2015. The use of atmospheric pressure plasma-treated water as a source of nitrite for emulsion-type sausage. *Meat Sci* 108:132-137.
 29. Keener KM. 2008. Atmospheric non-equilibrium plasma. *Encycl Agric Food Biol Eng* 1:1-5.
 30. Khadre MA, Yousef AE, Kim JG. 2001. Microbiological aspects of ozone applications in food: A review. *J Food Sci* 66:1242-1252.
 31. Knorr D, Froehling A, Jaeger H, Reineke K, Schlueter O, Schoessler K. 2011. Emerging technologies in food processing. *Annu Rev Food Sci Techno* 2:203-235.
 32. Koseki S, Isobe S. 2007. Microbial control of fresh produce using electrolyzed water. *JARQ* 41:273-282.
 33. Koutchma T. 2009. Advances in ultraviolet light technology for non-thermal processing of liquid foods. *Food Bioprocess Tech* 2:138-155.
 34. Krupp M. 1988. Fish processing by the Elcrack process. Brochure Krupp Maschinenteknik GmbH. Hamburg, Germany.
 35. Lee HJ, Jung H, Choe W, Ham JS, Lee JH, Jo C. 2011. Inactivation of *Listeria monocytogenes* on agar and processed meat surfaces by atmospheric pressure plasma jets. *Food Microbiol* 28:1468-1471.
 36. Lee H, Yong HI, Kim H-J, Choe W, Yoo SJ, Jang EJ, Jo C. 2016. Evaluation of the microbiological safety, quality changes, and genotoxicity of chicken breast treated with flexible thin-layer dielectric barrier discharge plasma. *Food Sci Biotechnol* 25:1189-1195.
 37. Lelieveld HLM, Notermans S, de Haan SWH. 2007. Food preservation by pulsed electric fields. Woodhead Publish, Abington, UK.
 38. Martín-Belloso O, Sobrino-López A. 2011. Combination of pulsed electric fields with other preservation techniques. *Food Bioprocess Tech* 4:954-968.
 39. Mastwijk HC, Nierop Groot MN. 2010. Use of cold plasma in food processing. Taylor & Francis, New York, USA.
 40. Misra NN, Tiwari BK, Raghavarao KSMS, Cullen PJ. 2011. Nonthermal plasma inactivation of food-borne pathogens. *Food Eng Rev* 3:159-170.
 41. Noriega E, Shama G, Laca A, Díaz M, Kong MG. 2011. Cold atmospheric gas plasma disinfection of chicken meat and chicken skin contaminated with *Listeria innocua*. *Food Microbiol* 28:1293-1300.
 42. O'Dowd LP, Arimi JM, Noci F, Cronin DA, Lyng JG. 2013. An assessment of the effect of pulsed electrical fields on tenderness and selected quality attributes of post rigor beef muscle. *Meat Sci* 93:303-309.
 43. Otto C, Zahn S, Rost F, Zahn P, Jaros D, Rohm H. 2011. Physical methods for cleaning and disinfection of surfaces. *Food Eng Rev* 3:171-188.

44. Patterson MF, Linton M, Doona CJ. 2007. Introduction to high pressure processing of foods. Wiley, New York, USA. pp 1-15.
45. Perry JJ, Yousef AE. 2011. Decontamination of raw foods using ozone-based sanitization techniques. *Annu Rev Food Sci Technol* 2:281-298.
46. Raghavan GSV, Rennie TJ, Sunjka PS, Orsat V, Phaphuangwittayakul W, Terdtoon P. 2005. Overview of new techniques for drying biological materials with emphasis on energy aspects. *Braz J Chem Eng* 22:195-201.
47. Raso J, Heinz V. 2006. Pulsed electric fields technology for the food industry. Springer Verlag, Heidelberg, Germany. p 245.
48. Rendueles E, Omer MK, Alvseike O, Alonso-Calleja C, Capita R, Prieto M. 2011. Microbiological food safety assessment of high hydrostatic pressure processing: A review. *LWT-Food Sci Technol* 44:1251-1260.
49. Rød SK, Hansen F, Leipold F, Knøchel S. 2012. Cold atmospheric pressure plasma treatment of ready-to-eat meat: Inactivation of *Listeria innocua* and changes in product quality. *Food Microbiol* 30:233-238.
50. Rovere P. 2002. Industrial-scale high pressure processing of foods. In *Ultra high pressure treatments of foods*. (ed.) Hendrickx MEG, Knorr D. Kluwer Academy/Plenum Publish, New York, USA. pp 251-268.
51. Rutscher A. 2008. Characteristics of low-temperature plasmas under nonthermal conditions: A short summary. In *Low temperature plasmas: fundamentals, technologies, and techniques*. (ed.) Hippler R, Kersten H, Schmidt M, Schoenbach KH. Wiley-VCH, Weinheim, Germany. pp 1-14.
52. Sakr M, Liu S. 2014. A comprehensive review on applications of ohmic heating (OH). *Renew Sust Energ Rev* 39:262-269.
53. Sale AJ, Hamilton WA. 1967. Effect of high electric fields on micro-organisms. I. Killing of bacteria and yeast. II. Mechanism of action of the lethal effect. *Biochim Biophys Acta* 148:781-800.
54. Smeu I, Nicolau AI. 2014. Enhancement of food safety—Antimicrobial effectiveness of cold plasma treatments. *Annal. Univ. Dunarea de Jos Galati, Fascicle VI: Food Technol.* 38:9-20.
55. Suwandy V, Carne A, van de Ven R, Bekhit AEDA, Hopkins DL. 2015. Effect of pulsed electric field treatment on the eating and keeping qualities of coldboned beef loins: Impact of initial pH and fibre orientation. *Food Bioprocess Tech* 8:1355-1365.
56. Terefe NS, Buckow R, Versteeg C. 2015. Quality-related enzymes in plant-based products: Effects of novel food processing technologies part 2: Pulsed electric field processing. *Crit Rev Food Sci Nutr* 55:1-15.
57. Toepfl S, Heinz V. 2007. Application of pulsed electric fields to improve mass transfer in dry cured meat products. *Fleischwirtschaft Int* 22:62-64.
58. Tsong TY. 1996. Electrically stimulated membrane breakdown. In *Electrical manipulation of cells*. (ed.) Lynch PT, Davey MR. Chapman & Hall, New York, USA. pp 15-36.
59. Varghese KS, Pandey MC, Radhakrishna K, Bawa AS. 2012. Technology, applications and modelling of ohmic heating: A review. *J Food Sci Technol* 51:2304-2317.
60. Vorobiev E, Lebovka N. 2008. *Electrotechnologies for extraction from plant foods and biomaterials*. Springer, New York, USA. p 272.