

식육의 안전성과 식육가공 공정개선에서 대기압 플라즈마의 응용

Application of Atmospheric Pressure Plasma on Improvement of Meat Safety and Processing Procedure

용해인¹, 김현주², 정사무엘³, 조철훈^{1,4,*} (Hae In Yong¹, Hyun-Joo Kim², Samooel Jung³, Cheorun Jo^{1,4,*})

¹서울대학교 농생명공학부, ²농촌진흥청 국립식량과학원, ³충남대학교 동물자원과학부, ⁴서울대학교 그린바이오과학기술연구원
¹Department of Agricultural Biotechnology, Seoul National University, ²National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, ³Division of Animal and Dairy Science, Chungnam National University, ⁴Institute of Green Bio Science and Technology, Seoul National University

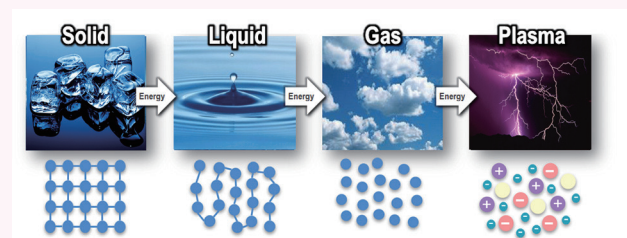
I. 서론

최근 경제성장 및 생활수준 향상 등의 사회적 변화에 따라 소비자의 식생활은 물량중심에서 안전과 건강을 중시하는 경향으로 변화하고 있다. 점차 증가하고 있는 소비자의 요구와 함께 강화된 식품 관련 규정들은 식품 산업으로 하여금 안전성 확보는 물론 고품질 식품 생산을 위한 새로운 기술 개발을 요구하는 실정이다.

현재 식품의 부패 방지 및 품질 유지·향상을 위한 기술로 활발히 연구되고 있는 것은 비가열 가공 기술(non-thermal process)이다(박지용 등, 2010). 실제로 식품 산업에서 이용되고 있는 비가열 가공 기술로 초고압, 자외선 및 방사선 등이 있으나 각각 비용이 많이 들고 살균효과가 미비하거나 소비자 수용성이 낮다는 단점을 가지고 있다(Kim 등, 2013). 따라서 소비자의 요구에 대응하며 경제적이고 안전한 소재 창출을 위한 새로운 식품 가공 기술 개발이 요구되고 있다.

최근 플라즈마 기술을 식품산업에 적용하기 위한 시도가 이루어지고 있으며, 이에 대한 관심이 급증하고 있다. 플라즈마란 물질의 제 4상태로서 고체, 액체, 기체 다음의 이온화된 기체 상태를 의미한다(그림 1). 초고온 상태에서

그림 1. 물질의 제 4상태라 불리는 플라즈마(고체-액체-기체-플라즈마)



*Corresponding author: Cheorun Jo
 Institute of Green Bio Science and Technology, Seoul National University
 Tel: +82-2-880-4804
 Fax: +82-2-873-2271
 Email: cheorun@snu.ac.kr

만들어진 플라즈마의 경우 분자가 완전히 해리되어 원자 상태가 되고 원자에 구속되어 있던 모든 전자들이 전자궤도를 자유 전자로 이탈하게 되어 이온과 전자로 이루어진 기체상태가 되지만 플라즈마의 온도가 높지 않은 경우에는 불완전하게 해리된 분자, 불완전하게 이온화된 이온분자 등으로 반응성이 높은 라디칼이 형성되게 된다(유석재, 2015). 이러한 낮은 온도의 플라즈마의 경우 이온 및 전자를 포함하여 매우 다양한 라디칼로 구성되어 있어 다양한 분야에서 활용이 가능하다.

플라즈마는 주로 공업 분야에서 사용되어져 왔으나, 1990년대 후반 플라즈마에 의한 폐기물 처리 연구결과가 보고되면서 식품산업에서의 적용 가능성이 대두되었다. 특히 경제적 및 기술적 효율성을 극대화시킨 저온 대기압 플라즈마 장치의 개발은 살균 기술 연구 분야에서 큰 성장을 가져왔으며, 현재까지 그 가능성이 입증되면서 심도 있는 연구가 진행되고 있다.

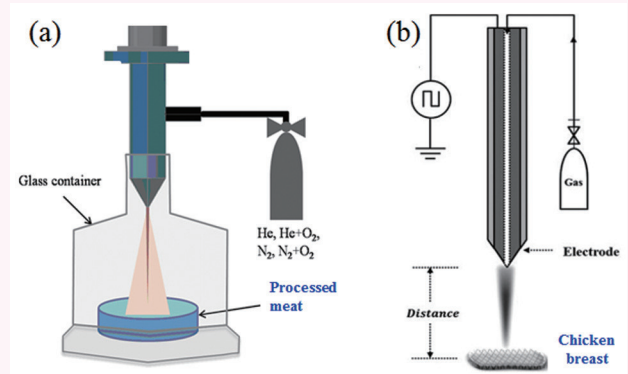
따라서 본 원고에서는 대기압 플라즈마 기술을 축산식품에 적용한 연구사례를 살균 및 염지 분야로 나누어 소개하고 향후 축산식품 분야에서 대기압 플라즈마의 이용 가능성에 대해 논하고자 한다.

II. 대기압 플라즈마 살균 기술

1. 축산식품의 안전성 현황

안전한 식품에 대한 관심은 사회 전반적으로 크게 증가하고 있으나 식중독 발생은 그 규모가 점차 집산화 및 대형화되고 있는 추세이다. 이러한 식중독 유발 병원성 미생물은 축산물 위해요소 중 큰 비중을 차지하고 있다. 실제로 국내 발생 식중독 건수 중 축산물이 차지하는 비중은 약 70% 정도이며 이 중 50~60%에 달하는 식중독은 식육 및 육제품과 연계되어있는 실정이다(Lee 등, 2015). 식육을 비롯한 대부분의 축산식품은 우수한 고단백 영양 식품으로서 다른 식품보다 부패 및 변질이 용이하며 동물 분변에 존재하는 *Salmonella* 및 *Escherichia coli* 등에 의하여 직·간접적으로 오염되기 쉽다. 따라서 축산식품의 경

그림 2. 다양한 형태의 제트 플라즈마



(a) Lee 등, 2011; (b) Yong 등, 2014

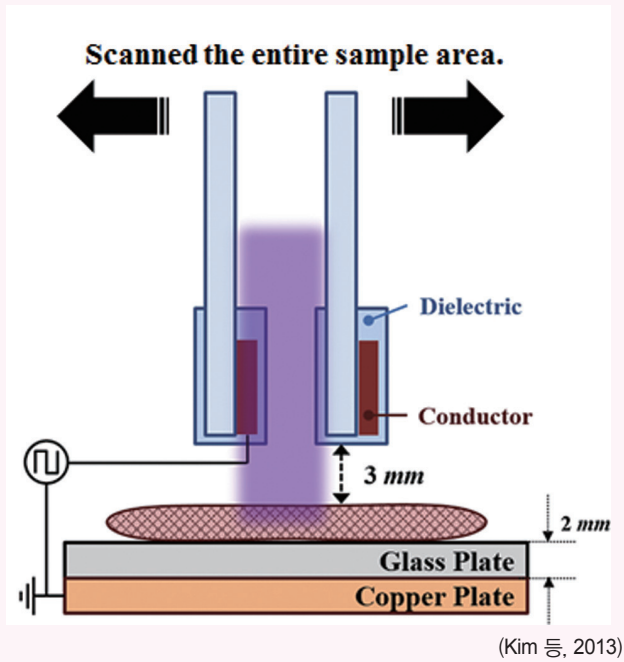
우 일반식품에 비해 매우 전문적이고 체계적인 살균 기술이 요구된다.

2. 대기압 플라즈마의 축산식품 적용의 시작

대기압 플라즈마의 병원균 멸·살균 관련 시험은 주로 유리나 종이 위에서의 효과를 관찰하는 것으로 시작하다가 2000년대부터 본격적으로 축산식품에 적용하는 연구가 시작되었다. 본 연구팀의 경우 한국과학기술원(KAIST) 기체방전물리연구실 최원호 교수 연구팀과 밀접한 연구협력으로 대기압 플라즈마의 기초 이론과 장치개발, 축산식품 응용 등에서 다양한 연구를 함께 진행하고 있다. 연구 초기에는 공업 분야에서 자주 이용되는 제트 형태의 플라즈마가 이용되었다. 제트 또는 펜 형태의 플라즈마는 얇고 긴 원통형의 내부에 기체를 주입하며 발생하게 되는 구조이다(그림 2).

연구 초반에는 주로 축산식품에서 플라즈마의 살균효과를 확인하고 이에 영향을 미치는 요인들을 찾고자 하였다. Lee 등(2011)은 제트 형태의 플라즈마를 가공육제품에 적용한 결과 주입되는 기체(헬륨, 질소에 산소를 저농도 첨가)에 따라 *Listeria monocytogenes*의 살균효과가 달라짐을 확인하였다. Yong 등(2014)의 연구에서는 제트 플라즈마와 닭가슴육 사이의 거리에 따른 *E. coli*의 살균효과 연구를 통해 플라즈마 내의 charged particles 보다는 reactive species들의 살균효과가 더 높다고 발표하였다.

그림 3. 처리 면적이 넓어진 플라즈마 형태



하지만 처리 면적이 작은 제트 형태의 플라즈마는 산업적으로 적용이 어렵다는 한계점을 가지고 있다.

3. 식육 산업에 적합한 플라즈마 발생장치 개발

대기압 플라즈마를 이용한 살균 연구가 점차 진행됨에 따라, 산업적으로 식품 크기에 맞춘 대면적 플라즈마 기술개발에 대한 요구가 증가했다. 이를 위해 제트 플라즈마를 여러 개 연결하거나 플라즈마 기기를 좌우로 이동시키며 플라즈마 처리 면적을 넓히고자 하는 연구가 시도되었다(그림 3). 또한 유전체장벽방전(dielectric barrier discharge, DBD) 플라즈마에 대한 연구도 다양하게 시도되었다. 유전체장벽방전은 큰 비평형 조건에서 동작하고, 고출력 방전이 가능하며, 전기적 충격이 없고, 넓은 면적을 처리할 수 있기 때문에 식품 처리에 적합한 방전 형태로 알려져 있다. Dirks 등(2012)은 이러한 유전체장벽방전 플라즈마를 닭가슴육에 적용하며 기존의 플라즈마 보다 넓은 면적을 처리하고자 하였으며, 플라즈마 처리시간이 증가함에 따라 *Campylobacter jejuni* 및 *S. enterica*의 수가 감소함을 확인하였다.

특히 대면적 플라즈마는 공장 내 컨베이어에 적용할 경우 효과적으로 산업에 이용될 것이라고 예상된다. Toyokawa 등(2017)은 식품 가공 공정 중에 발생할 수 있는 오염을 방지하기 위해 컨베이어 롤러를 유전체장벽방전이 가능하도록 제작하고 전도성이 있는 식품을 이용하여, 플라즈마 처리가 가능하도록 하였다. 해당 연구팀은 개발된 롤러 상단에 *Xanthomonas* 균을 접종한 양배추를 5분간 플라즈마 처리 및 배양하였으며 그 결과 대조군과 외관상의 차이가 없었다고 발표하였다. 또한 미국에서 발표한 특허(US 9295280B2)에 따르면 컨베이어벨트 상단에 유전체장벽방전 플라즈마를 장착하여 컨베이어 벨트 위의 식품을 직접적으로 처리하는 방법이 개발되었다. 위와 같은 공정 등을 적극 활용한다면 플라즈마의 산업적 적용이 극대화될 것이라고 판단된다. 식육산업에서 대기압 플라즈마 적용에 관한 기본적인 이론과 응용사례, 그리고 추후 발전방향 등은 총설논문에서 자세히 다루고 있다(Misra and Jo, 2017).

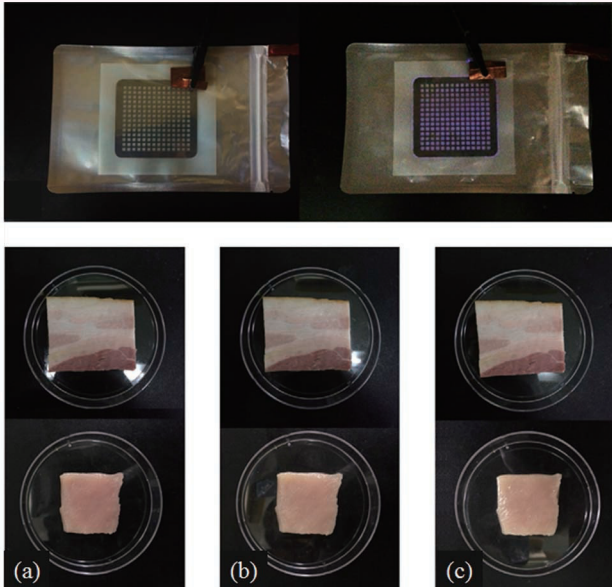
4. 밀폐 형태(Closed type) 플라즈마 개발의 시작

4.1. 기체 주입 밀폐 형태의 플라즈마 개발

식품 가공과정 중에 빈번하게 발생하는 교차 오염은 대형 식중독 발생의 주요 원인으로 알려지고 있다. 플라즈마 기술을 이용하여 제품 생산에 이용하는 가공 장치나 포장용기 등에 적용할 경우 교차오염을 최소화할 수 있으며 이는 경제적인 측면에서도 긍정적인 효과를 얻을 수 있다. 따라서 국내·외 플라즈마 연구팀들은 포장 또는 밀폐된 상태 내에서 플라즈마를 처리하기 위한 다양한 장치 개발을 시도하였다.

Fröhling 등(2012)은 유리병 내부에 돈육 등심을 넣고 process gas air를 주입하며 플라즈마를 발생시키는 형태를 개발하였다. 해당 연구는 돈육에 플라즈마를 직접 처리하는 것이 아닌 비직접 처리(indirect treatment)를 이용하는 방식이다. 이 외에도 Rød 등(2012)은 polyethylene 재질의 포장재 내부에 육가공품(bresaola)을 넣고 70%

그림 4. 봉지 형태의 플라즈마(flexible thin-layer DBD plasma)에 의한 닭 가슴육의 변화



(a) 0분, (b) 5분, (c) 10분

(Kim 등, 2016)

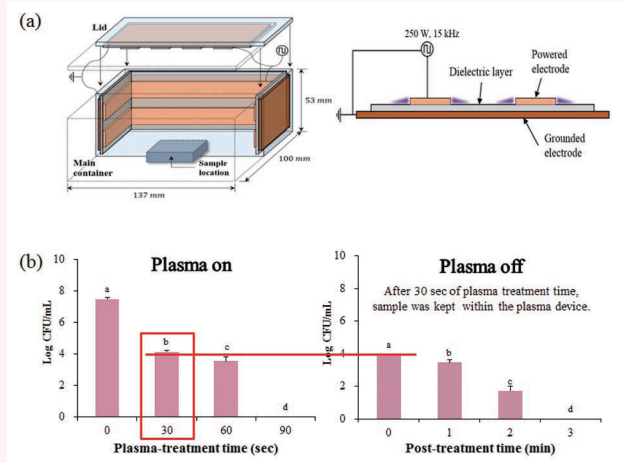
argon과 30% oxygen로 충전한 후 포장된 상태 그대로 플라즈마를 발생시켜 *L. innocua*에 대한 살균 효과를 확인하기도 하였다.

4.2. 공기를 이용한 밀폐 형태(Closed type)의 플라즈마

초기 투자비용이 높은 방사선 및 초고압과 같은 비가열 가공 기술에 비하여 대기압 플라즈마는 높은 진공을 요구하는 특수 장비가 필요 없고 기계장치가 단순하여 비용이 적게 드는 경제적인 기술로 알려져 있다. 그럼에도 불구하고 플라즈마 발생을 위한 주입 기체의 운영비용은 고려되어야만 하는 문제 중 하나로 지목되고 있다. 이에 맞춰, 기체의 주입 없이 공기(ambient air)를 이용한 플라즈마 방전 방식이 개발되기 시작하였다.

본 연구팀은 공기(ambient air)로 방전되는 봉지 형태의 플라즈마(flexible-thin layer DBD plasma)를 개발하여 닭 가슴육, 돈육 후지, 우육 등심, 치즈, 육포 등에서 살균 효과를 확인하고 그 품질 변화를 측정하였다(특허등록: 한국 제 10-1492864호). 그림 4는 해당 플라즈마를 베이컨

그림 5. 컨테이너 형태의 플라즈마(encapsulated DBD plasma) 장치 및 방치 효과에 의한 살균 효과



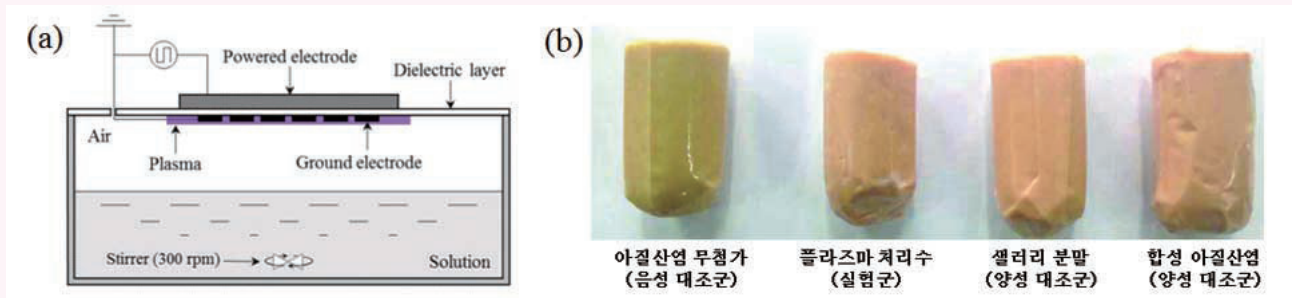
(a) 플라즈마 장치 도면, (b) 방치효과에 의한 배지 내 살균 효과

(Yong 등, 2015)

및 닭가슴육에 0, 5, 10분간 처리 결과로서 플라즈마 처리 후 베이컨 및 닭가슴육의 품질 변화는 관찰되지 않았다. 본 연구팀은 이 외에도 공기 방전 컨테이너 형태의 플라즈마(encapsulated DBD plasma)를 개발하고 우유 및 치즈 등을 처리하여 그 살균 효과를 확인하였다(Kim 등, 2015; Yong 등, 2015). 특히 밀폐된 형태의 플라즈마는 제트 또는 펜 형태의 플라즈마와 다르게 “방치효과(post-treatment)”를 이용하여 살균효과를 더 높일 수 있다는 특징이 있다. Yong 등(2015)의 연구결과에 따르면 컨테이너 형태의 플라즈마 내부에 식중독균이 접종된 배지 및 체다 치즈를 넣고 플라즈마를 발생시킨 후 전기를 끊어 중단한 다음 일정시간 방치한 결과 방치시간이 증가함에 따라 살균력이 증가하였다고 발표하였다(그림 5). 이러한 방치효과는 전력 공급의 차단에도 불구하고 살균 효과가 지속됨으로서 일반 플라즈마 장치에 비해 경제적이고 효율적이라고 사료된다.

밀폐형태의 플라즈마 역시 식품 산업 내에 용이하게 적용 될 것으로 기대된다. 미국에서는 컨베이어 벨트 위를 지나가는 포장된 식품에 플라즈마가 처리되는 방법과, 포장과 동시에 플라즈마가 처리되는 방법에 대하여 특허가 출원되었다(특허 번호: US 8372460B2). 또한, 중국에서는 냉장고 내부에 플라즈마를 장착하여 음식 냄새를 탈취

그림 6. (a) 플라즈마 처리수 제조기기; (b) 서로 다른 방법으로 제조된 유화형 소세지



(Jung 등, 2015)

하거나, 살균하는 방식의 특허를 출원한 바 있다(특허 번호: CN104874005A). 플라즈마는 어떠한 물질의 상태일 뿐으로서, 일정한 기기 형식에 국한되어 있지 않기에 다양한 형태로 제작 및 응용이 가능하며 이러한 점이 식품 산업 적용의 장점으로 작용할 것이라고 판단된다.

5. 플라즈마 식품의 인체 안전성

대기압 플라즈마를 식품 산업에 적용하고자 하는 노력은 지속적으로 증가하는 추세이다. 하지만 대기압 플라즈마를 식품에 적용하기 위해서는 플라즈마 처리된 제품을 사람이 섭취하였을 때 안전하다는 결과가 입증되어야 한다. 본 연구팀은 플라즈마 처리 식품의 인체 안전성을 입증하고자 플라즈마가 처리된 조리 난백과 난황의 SOS chromotest를, 그리고 플라즈마 처리된 닭가슴육의 Ames test를 실시하여 유전독성학적 안전성을 입증한 바 있다 (Lee 등, 2012; Lee 등, 2016). 하지만, 아직까지도 플라즈마 처리 식품에 대한 화학, 독성 및 알레르기 관련 결과는 미비한 실정이다. 독일 연구 협회(Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG, 2012)는 이른 시일 내에 플라즈마 처리 인증에 대한 논쟁이 발생할 것이라고 보고하였다. 플라즈마 처리 식품에 대한 인체 안전성 관련 연구와 발맞춰 산업 내 적용 가능성과 인증에 관심과 노력을 기울여야 한다고 사료된다.

III. 대기압 플라즈마의 식육 가공 기술 활용

1. 식육가공 산업의 현황

최근 소비자들은 ‘자연주의’, ‘무방부제’, ‘건강식품’에 대한 소비 경향을 보이며 화학적 합성 첨가물을 기피하는 경향을 보이고 있다. 이는 육가공 산업에서도 마찬가지로 가장 많이 지적되는 첨가물이 바로 합성 아질산염이다. 아질산염은 염지육색의 발현, *Clostridium botulinum*에 대한 정균작용, 육제품의 풍미 향상, 산패취 발생 감소 등의 중요한 역할을 하는 필수적인 첨가제이다. 하지만 육가공 업체들은 자연주의 트렌드에 맞춰 이러한 합성 아질산염을 천연소재로 대체하거나 배제시킴으로서 소비자들의 요구에 부응하는 육제품을 개발 및 생산하고자 하고 있다.

육제품에서 아질산염의 사용을 대체하기 위한 가장 대표적인 방법은 소위 ‘채소분말’ 또는 ‘채소즙’을 이용하는 것으로 실제 상업화된 육제품에 적용되어 판매되고 있다. 채소류 중 셀러리, 비트, 무 등은 상당량의 질산 이온(NO_3^-)이 함유되어 있다고 알려져 있으며 이를 질산염 환원균을 이용하여 아질산 이온(NO_2^-)으로 환원시켜 육제품 제조 과정 중에 적용하고 있다. 하지만 이러한 채소 분말은 가격이 비싸고, 일정한 환원 시간을 필요로 하며, 식물 원료에서 기인된 냄새가 육제품에서 이취로 받아들여질 수 있다는 문제가 있다(정종연, 2016). 따라서 염지 육제품 제조 시 효과적으로 합성 아질산염을 대체할 수 있고, 비용을 절감할 수 있는 기술 개발을 통해 육가공 산업의 발전을 도모할 필요가 있다.

2. 식육가공에서의 대기압 플라즈마 적용

2-1. 플라즈마 처리수의 이용

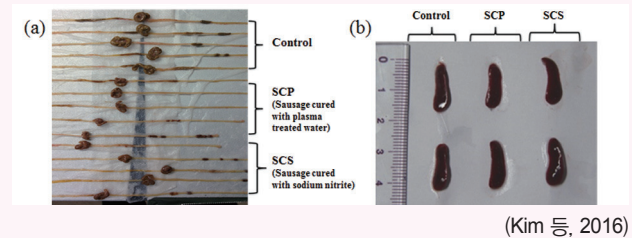
플라즈마 수처리 기술은 환경 분야에서 폐수 정화에 이용되며 개발되어 오다가 최근 플라즈마가 처리된 물 즉, 플라즈마 처리수(plasma treated water, PTW)에 대한 살균 가능성이 제시되었다. 일부 연구진들이 이러한 살균 원인을 구명하고자 플라즈마 처리수의 화학종을 분석한 결과 공기 중에서 유입된 질소와 산소로부터 플라즈마 처리수 내에 HNO_2 및 HNO_3 등과 이들이 해리되어 생성되는 질산 이온(NO_2^-)과 아질산 이온(NO_3^-)이 생성되어 살균 작용을 한다고 보고하였다(Oehmigen 등, 2010).

위와 같은 연구를 바탕으로 본 연구팀은 처리수 내 아질산 이온(NO_3^-)이 많이 생성되는 플라즈마 장치를 개발하고, 이 플라즈마 처리수를 활용하여 유화형 소시지를 제조하여 이에 대한 품질평가를 진행하였다(그림 6). 해당 장치로 제조한 플라즈마 처리수를 이용하여 유화형 소시지를 제조한 결과, 합성 아질산염(NaNO_2) 및 천연 첨가제(셀러리 분말)가 이용된 소시지의 적색도와 유의적인 차이가 없었다고 발표하였으며, 이를 통해 플라즈마 처리수의 합성 아질산염 대체 가능성이 제시되었다(Jung 등, 2015; 특허출원 10-2015-0027737).

2-2. 플라즈마 식육가공 공정의 적용

본 연구팀은 플라즈마 이용범위를 좀 더 확대하고자 플라즈마 기술을 육제품 제조에 첨가의 형태가 아닌 하나의 공정으로의 적용을 시도하였다. 이를 위하여 플라즈마 처리 시에 아질산 이온을 생산하고 이를 육제품에 직접 노출시키는 기기 및 처리 방법을 개발하였다(출원 번호: KR 1020150029641). Jung 등(2017)은 개발된 플라즈마 기기를 이용하여 육반죽을 제조한 결과 플라즈마 처리 시간이 증가함에 따라 적색도와 잔류 아질산 이온 함량이 증가하였다고 발표하였다. 이러한 방식은 대기압 플라즈마 기술의 응용을 통한 육가공 산업의 지속적인 발전에 도움이

그림 7. 각기 다른 방법으로 제조한 소시지를 급여하였을 때 (a) 급성실험(1일) 후 마우스의 Peyer's patch; (b) 아급성실험(1주) 후 마우스의 비장



(Kim 등, 2016)

될 것이라 판단된다.

2-3. 플라즈마를 활용하여 생산된 육제품의 안전성

플라즈마 기술을 육가공 산업에 적용하기 위해서는 안전성 입증에 반드시 필요하다. Kim 등(2016)은 플라즈마 처리수로 제조된 유화형 소시지가 유전 독성학적으로 안전함을 확인하였다. 또한 마우스에게 각각 일반사료(Control), 플라즈마 처리수 이용 소시지(SCP) 그리고 아질산염 이용 소시지(SCS)를 자유 급여한 결과 장관면역을 대표하는 Peyer's patch의 수가 급여군들 사이에 유의적인 차이가 없다고 보고하였다. 아급성과 만성독성실험 실시 후 Control, SCP, 그리고 SCS 급여군 마우스의 비장 크기 및 무게를 측정한 결과 역시 모두 정상으로 나타났다(그림 7). 하지만, 더 구체적이고 장기적인 추가 실험으로 그 안전성을 거듭 확인할 필요성이 있으며, 이를 통하여 산업에 한걸음 더 다가갈 수 있을 것이라 사료된다.

IV. 결론

플라즈마의 다양한 기능을 농장에서 식탁에 이르기까지 농업의 전주기에 걸쳐 적용하는 방식을 ‘플라즈마 파밍(Plasma Farming)’이라고 명명한다(유식재 2015). 플라즈마 파밍을 축산가공에 적용하기 위한 다양한 연구가 시도되고 있다. 현재 육가공 산업에서는 생산성과 안전성을 모두 해결할 수 있는 새로운 방법이 요구되고 있다. 대기압 플라즈마 기술은 농식품 분야뿐만 아니라 육가공 산업

에서도 다양한 문제를 해결할 수 있는 신기술로 그 영역은 점차 넓혀질 것이라고 판단된다. 국내에서도 대기압 플라즈마를 이용한 축산식품 분야에 관심과 노력을 기울

인다면 주목할 만한 비가열 가공 기술에 대한 기술을 확보할 수 있다고 사료된다.

사사

본 결과물은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: 011617)의 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

- Dirks, B. P., Dobrynin, D., Fridman, G., Mukhin, Y., Fridman, A., and Quinlan, J. J. (2012). Treatment of raw poultry with nonthermal dielectric barrier discharge plasma to reduce *Campylobacter jejuni* and *Salmonella enterica*. *J. Food Prot.* **75**, 22–28.
- German Research Community (Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG) (2012). Stellungnahme zum Einsatz von Plasmaverfahren zur Behandlung von Lebensmitteln [Opinion on the Application of Plasma-technology for Treatment of Foods].
- Fröhling, A., Durek, J., Schnabel, U., Ehlbeck, J., Bolling, J., and Schlüter, O. (2012). Indirect plasma treatment of fresh pork: Decontamination efficiency and effects on quality attributes. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* **16**, 381–390.
- Jung, S., Kim, H. J., Park, S., Yong, H. I., Choe, J. H., Jeon, H. J., Choe, W., and 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.
- Jung, S., Lee, J., Lim, Y., Choe, W., Yong, H. I., and Jo, C. (2017). Direct infusion of nitrite into meat batter by atmospheric pressure plasma treatment. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* **39**, 113–118.
- Kim, H. J., Yong, H. I., Park, S., Choe, W., and Jo, C. (2013). Effects of dielectric barrier discharge plasma on pathogen inactivation and the physicochemical and sensory characteristics of pork loin. *Curr. Appl. Phys.* **13**, 1420–1425.
- Kim, H. J., Yong, H. I., Park, S., Kim, K., Choe, W., and Jo, C. (2015). Microbial safety and quality attributes of milk following treatment with atmospheric pressure encapsulated dielectric barrier discharge plasma. *Food Control.* **47**, 451–456.
- Kim, H. J., Sung, N. Y., Yong, H. I., Kim, H., Lim, Y., Ko, K. H., Yun, C. H., and Jo, C. (2016). Mutagenicity and immune toxicity of emulsion-type sausage cured with plasma-treated water. *Korean J. Food Sci. An.* **36**, 494.
- Kim, H. J., Jayasena, D. D., Yong, H. I., and Jo, C. (2016). Chapter 11. Quality of cold plasma treated foods of animal origin; Cold Plasma in Food and Agriculture: Fundamentals and Applications. Academic Press.
- Lee, E. M., Shin, D. S., Kwon, M. S., and Lee, S. J. (2015). Survey of pathogenic microorganisms contamination of chicken carcasses. *Korean J. Vet. Serv.* **38**, 167–171.
- Lee, H. J., Jung, H., Choe, W., Ham, J. S., Lee, J. H., and Jo, C. (2011). Inactivation of *Listeria monocytogenes* on agar and processed meat surfaces by atmospheric pressure plasma jets. *Food Microbiol.* **28**, 1468–1471.
- Lee, H., Yong, H. I., Kim, H. J., Choe, W., Yoo, S. J., Jang, E. J., and 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.
- Misra, N. N., and Jo, C. (2017) Application of cold plasma technology for microbiological safety in meat industry. *Trend Food Sci. Technol.* doi:10.1016/j.tifs.2017.04.005.
- Oehmigen, K., Hahnel, M., Brandenburg, R., Wilke, C., Weltmann, K.D., and von Woedtke, T. (2010). The role of acidification for antimicrobial activity of atmospheric pressure plasma in liquids. *Plasma Process. Polym.* **7**, 250–257.

15. Toyokawa, Y., Yagy, Y., Misawa, T., and Sakudo, A. (2017). A new roller conveyer system of non-thermal gas plasma as a potential control measure of plant pathogenic bacteria in primary food production. *Food Control* **72**, 62–72.
16. Rød, S. K., Hansen, F., Leipold, F., and 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.
17. Yong, H. I., Kim, H. J., Park, S., Choe, W., Oh, M. W., and Jo, C. (2014). Evaluation of the treatment of both sides of raw chicken breasts with an atmospheric pressure plasma jet for the inactivation of *Escherichia coli*. *Foodborne Pathog. Dis.* **11**, 652–657.
18. Yong, H. I., Kim, H. J., Park, S., Alahakoon, A. U., Kim, K., Choe, W., and Jo, C. (2015). Evaluation of pathogen inactivation on sliced cheese induced by encapsulated atmospheric pressure dielectric barrier discharge plasma. *Food Microbiol.* **46**, 46–50.
19. 유석재 (2015) 플라즈마 기술의 농식품 분야 활용. *Vacuum Magazine* 12월호. 특집_플라즈마응용
20. 박지용, 나상열, 이연정 (2010) 비가열 식품가공기술의 현재와 미래. *식품과학과 산업* 3월호. Vol.43 No.1
21. 정종연 (2016) 육제품에서의 합성 아질산염 대체기술. *축산식품 과학과 산업*. 10. Vol.5, No.2