

회전형 저온 플라즈마 시스템을 이용한 분말식품의 균일한 살균 연구

김명찬 · 박덕모 · 한진수* · 우인봉* · 김동후* · 장성은* · 윤찬석* · †김 인

(주)셀로닉스, *국가식품클러스터지원센터

A Study of Homogeneous Sterilization of Micro-sized Food Powder by Rotatable Low-Temperature Plasma System

Myung Chan Kim, Duck Mo Park, Jin Soo Han*, In Bong Woo*, Dong Hoo Kim*,
Seong Eun Jang*, Chan Suk Yoon* and †In Kim

CELLONIX Inc., Jeonbuk 54576, Korea

*Agency for Korea National Food Cluster(AnFC), Jeonbuk 54576, Korea

Abstract

In this study, a relatively effective process is used to sterilize *Escherichia coli* on the surface of micro-sized calcium citrate powder using nitrogen and argon as process gases in a low-temperature vacuum plasma treatment. The purpose of this study is to confirm and to introduce the effectiveness of homogeneous surface treatment for the sterilization of fine inorganic powder by the rotatable low-temperature RF plasma system designed by ourselves. The results of the test using 3M petrifilm showed that there were no remarkable spots in the case of the surface of plasma treated powder, whereas the untreated powder showed many blue spots, which indicating that the *E. coli* was alive. After 5 days, in the same samples, the blue spots were seen to be larger and darker than before, while the plasma-treated powder showed no changes. The results from FE-SEM analysis showed that the *E. coli* was damaged and/or destroyed by reactive species generated in the plasma space, resulting in the *E. coli* being sterilized. Furthermore, the sterilization effects according to the selected parameters (N₂ and Ar; flow rate 30 and 50 sccm) adapted in this study were mutually similar, regardless of such different process parameters, and this indicates that homogeneous treatment of powder surfaces could be more effective than conventional methods. Therefore, the plasma apparatus used in this study may be a practical method to use in a powerful sterilization process in powder-type food.

Key words: powder-typed food, homogeneous sterilization, low-temperature plasma, rotatable system

서 론

최근 건강에 대한 인식 개선으로 건강기능식품 시장이 급속도로 확대되고 있고, 소비자의 성향 및 요구에 맞는 다양한 종류와 형태의 제품이 소개되고 있다. 이러한 제품 중 미네랄은 건강기능식품으로서 큰 비중을 차지하는 품목이며, 그 기능성도 점점 다양화되고 있다(Park 등 2012). 일반적으로 미네랄 원료는 마이크론 크기의 분말상이 대부분이며, 정제 또

는 캡슐 형태로 가공 및 포장된다. 미세 크기의 분말형 식품은 위생 기준을 만족시키는 클린 시스템에서 일련의 제조 과정을 거치지만, 이 과정에서 공기 등의 원치 않는 환경에 조금이라도 노출되면 인체에 유해한 식중독균(*Salmonella* spp., *E. coli*, *Campylobacter jejuni*, *Campylobacter coli*, *Yersinia enterocolitica* 등) 및 기타 유해 미생물에 의해 오염될 가능성이 있으므로 제조 시 위생 관리가 매우 중요하다(Mok & Song 2010). 특히, 최근 미세 먼지를 포함한 오염된 공기의 확산으

† Corresponding author: In Kim, CELLONIX Inc., Jeonbuk 54576, Korea. Tel: +82-63-838-5840, Fax: +82-63-832-5843, E-mail: pro-life@hanmail.net

로 식품오염 가능성이 더욱 높아지고 있어 제품의 위생 관리를 위해서는 고가의 설비 운용이 필요한 실정이다.

더욱이 미크론 크기의 분말식품이 유해 미생물에 의해 오염되면 부패할 뿐만 아니라, 분말이 뭉쳐져서 섭취 시 체내 영양 흡수가 저해되어 제품 본래의 기능성 및 상품성이 상실되므로 소비자의 건강에 위협이 되고, 생산업체의 폐기 비용 부담도 증가하게 된다. 이러한 위생상의 문제를 해소하기 위해서는 전체 제품에 대해 오염 여부를 검사하는 것이 바람직하지만, 매번 전수 검사를 진행하기는 어려운 것이 현실이다. 그러므로 포장 전 분말 표면을 살균하여 최종 포장 단계까지의 확실한 위생을 유지함으로써 식품의 기능성을 확보하고, 유통 안전성을 높이는 것이 중요하다.

기존의 식품 살균은 대부분 고온고압 처리 및 자외선, 적외선, 방사선(감마선, 전자선, X선 등)과 같은 조사선을 이용하여 왔으나, 처리 용량 및 대상물의 종류에 따라 적용범위가 제한되어 왔다(Shin 등 2010; Mok & Jeon 2013). 특히, 고온고압 및 화학적 습식 살균법은 처리대상 식품의 본래 성분 변화를 야기하고, 제품 표면층에 살균반응원료의 잔류물 또는 중간 생산물이 남을 가능성이 있어 품질 확보가 어려워 그 대체기술로써 건식 살균법에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다(Mok & Song 2010). 건식 살균 방법 중, 방사선 조사법은 균 종류에 따라 방사선 에너지량을 달리 조사해야 하며, 예상치 못한 반응으로 제품 성분 변화의 우려가 있고, UV-NIR 영역까지 포함하는 파장의 빛을 광펄스 형태로 조사하는 방법도 보고되었으나, 빛은 직진성을 가지므로 살균 시 조사되지 않는 부분의 살균은 어렵고, 다양한 종류의 세균을 살균하기에는 공정제어에 한계가 있다(Kadlec 등 2011; Cheigh 등 2012; Kim 등 2013; Oh 등 2017).

최근 식품 분야로 응용범위를 넓히고 있는 플라즈마 기술은 가스분자가 전기 방전에 의해 이온, 라디칼, 여기입자, 전자, 고/저속 중성입자로 전환되어 공존하는 활성화된 상태를 이용하며, 또한 생성된 활성종이 안정화될 때 전자 에너지 수준에 따르는 다양한 파장의 전자기파를 방출한다(Park 등 2013). 플라즈마 살균 메커니즘은 ① UV 조사에 의한 유해 세균체의 DNA 및 세포질의 분자 구조 파괴, ② 광탈착(photodesorption), ③ 활성화종에 의한 에칭(etching) 순서로 이뤄지며, UV 단독 조사보다는 플라즈마에 의한 복합적인 살균 방법이 더 우수하다는 연구결과도 발표되었다(Lisovskiy 등 2000; Moisan 등 2002).

대기압 플라즈마는 비교적 간단한 장치 구성으로 고밀도의 활성종 생성이 가능한 장점이 있으나, 주위 환경에 의한 오염 및 국부적인 온도상승의 우려가 있고, 복잡한 형상의 대상물의 균일한 처리가 곤란하며, 특히 미세 분말을 대상으로 적용하기에는 기술적인 어려움이 따른다(Sohbatzadeh 등 2010; Mok & Lee 2011; Mok & Jeon 2013; Won 등 2016). 진공 플라

즈마는 상대적으로 저온 유지 및 균일한 표면처리가 가능하여 분말 살균에 적용한 사례들이 발표되고 있으나, 대부분 고정된 샘플에 대한 살균처리 효과를 보고하고 있고, 실험실 규모의 장치이므로 실제 공정에 적용하기에는 시스템적으로 많은 보완이 필요하다(Kelly-Wintenberg 등 1998; Oh 등 2015; Youn & Mok 2015). 특히, 온도에 민감한 식품의 살균처리는 극소 부위라도 한계 온도를 초과해서는 안 되지만 처리 시간에 따른 플라즈마 발생 전극의 가열로 분말식품의 성분 또는 형상의 변화를 야기할 수 있으므로 저온 유지 기술이 식품 살균에 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 분말 처리에 적합한 저온 플라즈마 전극 및 챔버를 고안하여 대표적인 식중독 균인 대장균을 대상으로 플라즈마 살균 능력을 평가하고자 하였으며, 특히 분말식품의 균일한 살균 효과에 대해 소개하고자 한다.

재료 및 방법

1. 플라즈마 살균 장치

본 연구에서 사용된 플라즈마 살균 장치의 개요도는 Fig. 1(a)와 같다. 플라즈마 살균 장치는 원통형 챔버, 가스공급

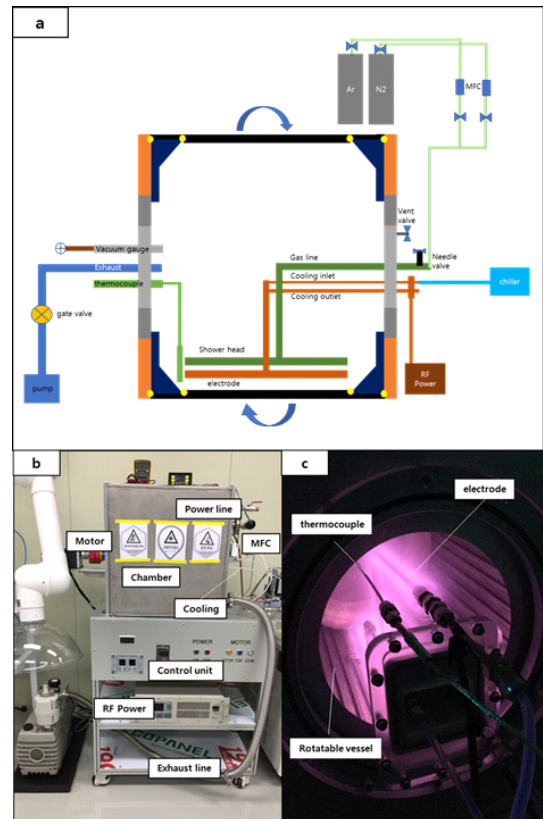


Fig. 1. A schematic (a), the set-up system (b) and plasma generation mode (c) used in this study.

부, 교류전원부, 회전부, 진공라인부, 전극부로 구분되며, 자체 제작하였다. 플라즈마 활성을 위한 공정 가스로써 공기와 산소를 이용한 분말 살균 효과를 보고한 사례가 있으나 (Azharonok 등 2011; Paskalov 2015), 본 연구에서는 비교적 취급이 용이하고, 안전한 고순도(99.999%) 질소와 아르곤으로 사용하였다. 챔버 내의 온도 상승을 막고 전극 가열에 의한 분말 손상을 줄이기 위해 튜브형 전극관에 18~20℃의 냉각수를 지속적으로 순환시켰다. 또한, 분말의 구름(rolling)을 향상시켜 균일한 살균을 유도하기 위해 회전 챔버 내벽을 요철 형태로 가공하였다. 교류전원으로 RF 파워 서플라이(13.56 MHz-1 kW, RF-gen Co., Korea)를 사용하였고, 플라즈마 가스는 질량유량계(Mass Flow Controller(MFC), max. 100 sccm (Ar, N₂), Line Tech Co., Korea)로 유량을 조절하였다. 전극은 스테인리스 스틸 관으로 가공하였고, 챔버 회전 시 요철 부위에서 떨어지는 분말이 전극에 방해 받지 않고 떨어지도록 링 형태로 제작하였다. 챔버 내부로 열전대 센서를 장착하여 플라즈마 생성 전, 후 온도를 측정하였고, 튜브형 샤워헤드 하부에 1 mm 폭의 슬릿을 통해 공정가스가 챔버 내부로 도입되고 튜브형 전극 주위에서 플라즈마가 생성되어 분말 표면과 접촉하면서 살균 반응이 진행된다. Fig. 1(b)와 (c)는 제작 완료된 플라즈마 살균장치 및 플라즈마 생성 시의 챔버 내부를 각각 보여준다.

2. 살균 공정 조건

살균실험을 수행하기에 앞서, 챔버 내에 안정적인 플라즈마와 저온이 유지되는 플라즈마 생성조건을 미리 확인하였으며, 그 결과 챔버 내 압력 100 mTorr, 살균시간 30분, 챔버 회전속도 5 rpm, 인가전압 RF 50 W, 처리 분말량 200 g(1 batch 기준)으로 일부 공정변수들을 고정하였고, 질소와 아르곤 가스 각각에 대해 30 및 50 sccm의 유량 변화를 조건으로 실험하였다. 실험 중 챔버 내 온도는 30℃ 이하로 유지되었다.

3. 실험재료

본 연구에서 사용된 구연산 칼슘(calcium citrate, Gadot Biochemical Industries LTD) 분말은 칼슘강화제로 체내 칼슘 흡수력이 우수한 건강보조식품 성분 중의 하나로, 수백 마이크로 크기이며, 수분에 대한 용해도가 상대적으로 낮아 액상 대장균 접종 시 분말의 표면성분 용해를 최소화하기 위해 선정되었다.

4. 대장균 살균 효과 분석(*E. coli* counting test)

분변에서 채취한 대장균(*E. coli*)을 고의적으로 구연산 칼슘에 오염시켜 살균 대상 분말로 사용하였다. 구연산 칼슘 분

말 표면을 멸균 생리 식염수로 희석된 분변 혼합액으로 접종하고, 그 혼합액을 시험용지(3M Petrifilm *E. coli/Coliform* Count Plate) 위에 1 mL씩 접종하여 35℃에서 24시간 배양한 후 대장균에 기인된 푸른색 점을 계수하였다. 각 조건별로 시험용지는 두 장씩(Fig. 4 참조) 사용하였다. 또한 분변 혼합액에 접종된 분말을 플라즈마 처리한 후, 상기와 동일한 절차로 실험한 후 그 결과를 서로 비교 분석하였다.

5. 미생물 형상 분석

분말의 플라즈마 살균 처리 후 대장균 사멸효과를 이미지로 확인하기 위해 살균처리 전, 후 분말을 멸균 생리 식염수로 혼합/교반하고 그 혼합액으로 접종된 분말을 알루미늄 호일에 올려 진공건조기에 넣고 진공 챔버를 100 mTorr로 감압하여 1시간 건조 후 FE-SEM 장비(JSM-7100F(ZEOL), Japan)를 이용하여 분말 표면에 존재하는 대장균의 사멸 형상을 확인하였다. 전자현미경의 X선에 의한 손상을 방지하기 위해 빔 세기를 최대한 줄였고, 대장균이 손상되어 잘못된 결과를 획득할 수 있으므로 샘플을 스퍼터링 장치로 전처리하는 하지 않고 분석하였다. 본 연구에서 진행한 실험 절차는 Fig. 2와 같다.

결과 및 고찰

1. 플라즈마 처리에 따른 대장균 감소

Fig. 3은 플라즈마 처리 전, 후 샘플을 petrifilm에 접종한 후 35℃에서 24시간 배양된 대장균에 의해 형성된 균체를 비교 분석한 사진이다. 3M petrifilm에는 β-glucuronidase indicator가 들어있고, 대장균은 β-glucuronidase를 가지고 있기 때문에 petrifilm에서 자란 대장균 균락은 푸른색을 띠게 된다. 푸른색 균체의 가장자리에는 대부분의 대장균이 대사과정에서

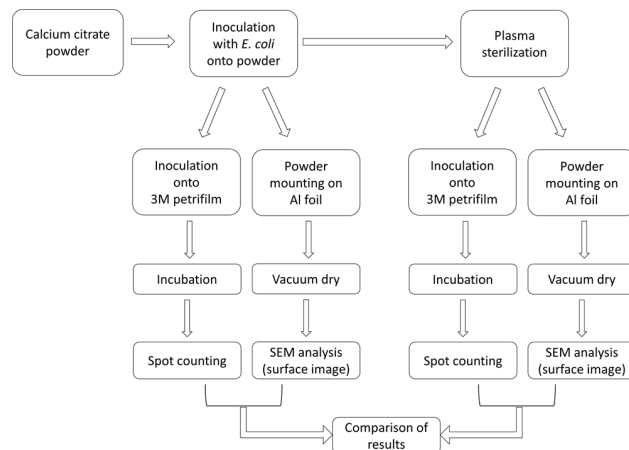


Fig. 2. The experimental procedure performed in this study.

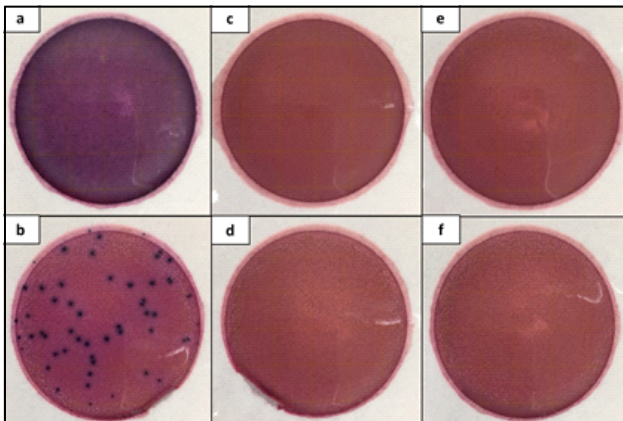


Fig. 3. Comparative images of resultant surface changes of test sheets after incubating at 35°C for 24. hrs. The samples mean *E. coli*-mixed liquid (a), plasma untreated powder (b), treated with N₂-30 sccm(c) and -50 sccm(d), treated with Ar-30 sccm(e) and -50 sccm(f), respectively.

발생시키는 이산화탄소 가스 방울이 관찰되며, 대장균 이외의 대장균군은 가스방울들이 붙어있는 붉은 색 균체를 형성하고, 비 대장균군 균체는 붉지만 가스방울들은 나타나지 않는다.

비교 사진을 보면, 대장균 혼합원액은 전체적으로 푸른색 또는 자색을 띄면서 미세한 가스 방울이 형성된 것이 관찰되었으나, 플라즈마 미처리 샘플은 대장균 혼합원액을 멸균 생리 식염수로 희석하여 상대적으로 대장균 밀도가 낮기 때문에 점 형태로 나타났다. 이 각각의 대장균에서 기인된 푸른색 점들 주위를 가스방울이 둘러싸고 있고, 그 이외의 부분은 전체적으로 대장균군의 존재를 의미하는 붉은 색을 띠며, 미세 가스방울이 형성되어 있는 것이 확인되었다. 반면, 플라즈마 처리 후의 모든 샘플에서는 미처리 샘플에서 관찰되는 푸른색 점이 나타나지 않았으며, 별다른 변화가 관찰되지 않은 것으로 보아, 대장균이 효과적으로 살균되었다는 것을 확인할 수 있다. 특히, 분말 하나를 기준으로 봤을 때, 대장균에 의해 오염된 분말의 표면 전체에 균일한 플라즈마 처리 효과가 있다는 것으로 볼 수 있다. 또한 플라즈마 공정가스로 사용된 질소와 아르곤에 의한 대장균 살균효과의 차이를 구분하기는 어려웠으며, 각 가스의 유량 변화에도 유사한 살균효과를 보이므로 본 연구에서의 공정 조건이 분말 표면의 대장균 살균에 적합하게 설정되었다고 판단된다.

상기 샘플들의 시간 경과에 따른 대장균 변화를 확인하기 위해서 약 20°C에서 5일간 방치 후 다시 표면변화를 비교하였고, 그 결과를 Fig. 4에 나타냈다. Fig. 3의 방치 전과 비교하면, 혼합원액 및 미처리 샘플(a, a-1)은 푸른색이 더욱 짙어졌고, 기존의 점에 비해 크기가 더욱 커지고 선명해진 것(b, b-1)

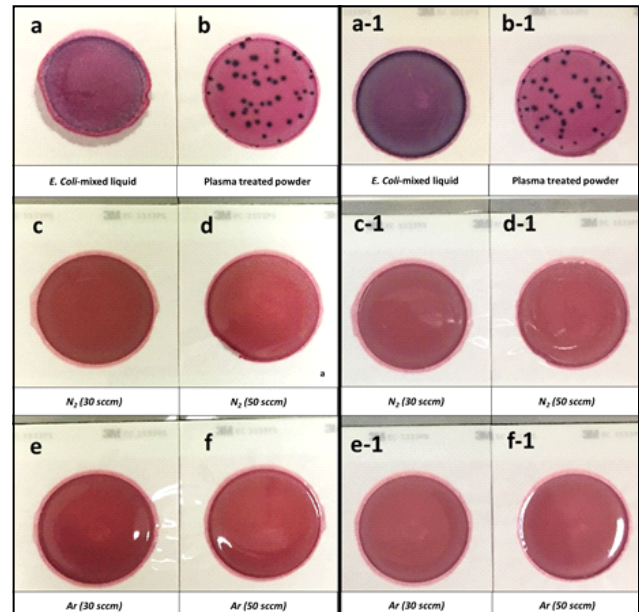


Fig. 4. Comparative images of the same samples as of Fig. 3 observed after 5 days under the room temperature.

을 확인할 수 있다. 반면, 플라즈마 처리 후의 샘플들(c, c-1, d, d-1, e, e-1, f, f-1)은 처리 전에 비해 특이할 만한 변화는 관찰되지 않았다. 이 결과는 방치 기간 동안 샘플에 존재했던 대장균에 의한 추가 반응이 일어났다는 것을 의미하며, 한편으로 플라즈마 처리 샘플에서는 추가 반응이 일어날 만한 대장균이 존재하지 않았다는 것을 의미한다.

문헌에 따르면 유해균 중 포자를 형성하는 종류와 그렇지 않은 경우, 그리고 그람 양성 또는 음성인 경우는 동일한 조건의 플라즈마 살균처리에 대해 그 효과에는 차이가 있으며, 공정가스 종류에 따라서도 다르게 나타남이 보고된 바 있다(Lee 등 2006). 본 연구에서 처리하고자 하는 대상 균인 대장균은 그람 음성이며 포자를 형성하지 않으므로 플라즈마 공간 내의 이온 및 라디칼 또는 중성입자에 의한 물리화학적 충격에 민감하게 반응한다. 플라즈마 내에서 생성되는 UV 조사와 라디칼에 의한 지속적인 손상으로 포자균 및 그람 양성균에 비해 균체 표면의 보호막이 상대적으로 약한 대장균은 플라즈마 공간에서 효과적으로 살균될 것이라 예상되며, 이 이유로 질소와 아르곤 모두에 대해서 유사한 플라즈마 살균처리 효과가 나타난 것으로 판단된다(Moisan 등 2002).

따라서 본 실험의 결과들은 플라즈마 공간 내에서 분말의 균일한 살균처리가 가능하다는 것을 간접적으로 제시하고 있다.

2. 표면 형상 분석

Fig. 5는 플라즈마 처리 전 구연산 칼슘 분말(a, b)과 대장

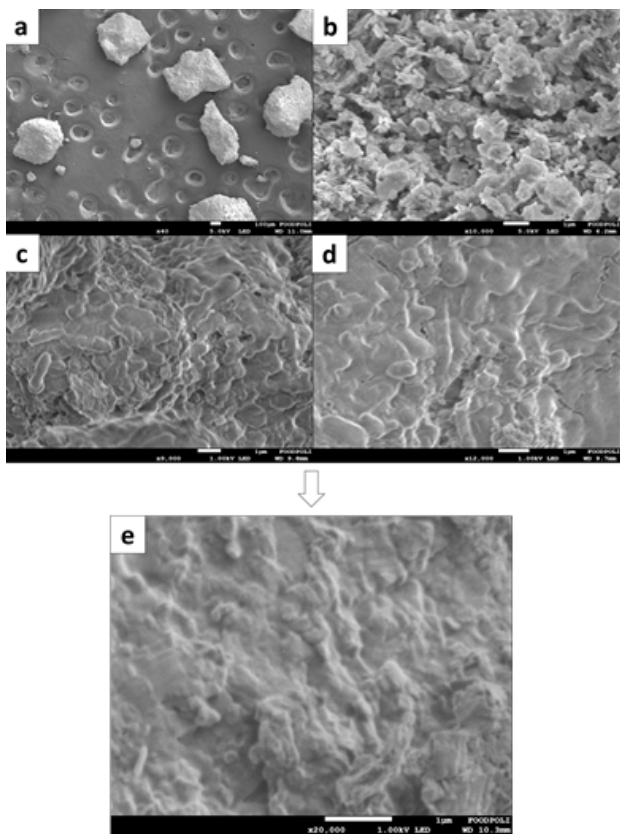


Fig. 5. SEM images of calcium citrate(a) and the surface (b), inoculated(c and d) and plasma treated(e) powder, respectively.

균 접종 후의 분말 표면(c, d), 그리고 플라즈마 살균 후 분말 (e)의 SEM 분석을 통해 얻어진 표면 이미지들이다. 구연산 칼슘 분말의 표면은 각이 진 미세 결정을 포함하는 거친 표면 구조를 나타냈으나, 대장균 접종 후 결정형 구조는 관찰되지 않고 대신 길고 둥근 모서리의 균들의 형상이 표면에서 확인되었다. 반면, 플라즈마 처리 후에는 결정형태도 아니고 둥글고 긴 형태의 균 이미지도 아닌, 표면 살균반응 후의 잔여물이 표면을 덮고 있는 것이 관찰되었다.

본 연구에서는 구연산 칼슘 분말의 표면 거칠기 영향이 없는 순수한 대장균만의 표면 이미지로 사멸 형상을 확인하기 위해 평판형의 스테인리스 스틸 금속판 위에 대장균 원액을 떨어뜨린 후 Fig. 5의 N₂ 50 sccm의 조건과 동일한 조건에서 플라즈마 처리하여 SEM 분석을 시도하였다(Fig. 6). 일반적인 대장균의 형상(Shintani 등 2010; Morent & De Geyter 2011)과 비교하면, 플라즈마 살균처리 후의 대장균은 Fig. 6(a)와 같이 각 균체 주위를 액체가 변진 것 같은 흔적이 둘러싸고 있으며, 각 개별 균체의 외형이 손상되어 무너져 서로 엉겨 붙어 각각의 구분이 어려우며, 크기가 작아질 뿐만 아니라, 둥근 막대 형상이 사라지고 체적이 감소하는 것이 관찰된다.

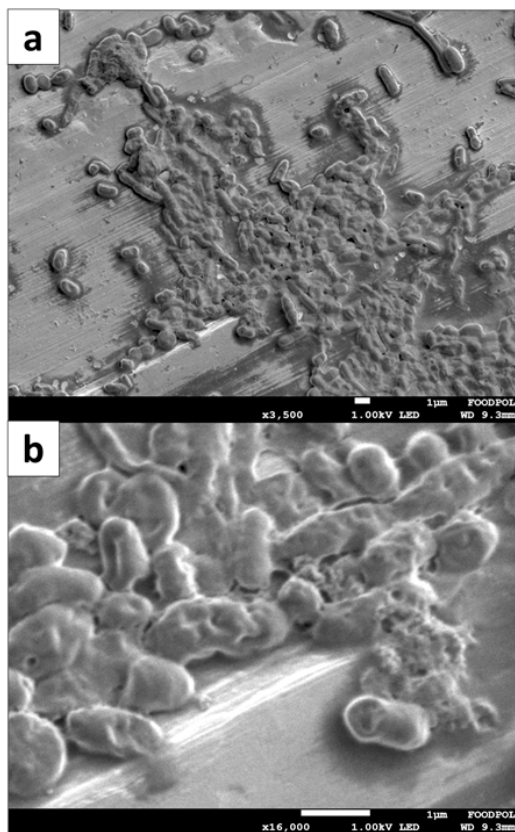


Fig. 6. SEM images of dead microorganism including *E. coli*(a) and the partial enlargement of the upper image(b), respectively.

이 이미지를 부분적으로 확대하면(Fig. 6(b)) 대장균체에 구멍이 나거나 터져서 균체 내부 물질이 노출되는 형상을 보이며, 부피 감소가 전체적으로 일어남이 확인되었고, 이 결과는 앞선 연구논문에서 보고된 이미지와 유사하였다(Shintani 등 2010; Morent & De Geyter 2011).

요약 및 결론

본 연구에서는 분말식품의 살균처리를 위해 저온 회전형 플라즈마 장치를 이용하여 대장균(*E. coli*)에 대한 살균 효과를 살펴보았다. 대장균에 접종된 구연산 칼슘 분말에서는 배양 후 대장균에 의해 형성된 푸른 점이 나타났으나, 플라즈마 처리 후에는 관찰되지 않았고, 질소와 아르곤 각각의 유량에 따른 살균 효과는 유사하게 나타났다. 배양 후 5일 동안 방치된 플라즈마 미처리 샘플의 경우, 푸른색의 점 크기가 더욱 커지고 색깔이 짙어졌으나, 처리된 샘플에서는 방치 전과 거의 변화가 없었다. 플라즈마 미처리 분말의 표면에서는 대장균 형상에서 기인된 둥글고 긴 형태의 이미지가 확인되었으나, 처리 후 분말의 표면에서는 그러한 형상 대신 대장균이

사멸된 잔유물의 이미지가 관찰되었다. 처리 후, 대장균은 부피가 축소되고 구멍이 나거나 파괴되어 균체 내부의 구성 물질이 외부로 드러난 사멸 형상을 보였다. 본 연구결과를 통해서 온도에 민감한 식품 분말을 대상으로 30°C 이하에서 균일한 살균이 가능하다는 것을 확인할 수 있었으며, 저온 회전형 플라즈마 장치는 분말형 식품의 대장균 살균뿐만 아니라, 기타 유해균의 균일한 살균에도 적용이 가능할 것으로 예상되므로 미크론 크기 분말의 본래 식품영양을 유지하고 치밀한 위생유지 기술을 확보하기 위해 많은 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다. 본 연구에서 사용한 분변에는 대장균뿐만 아니라, 다종의 타 세균도 함께 존재하지만, 모든 종류의 세균에 대한 살균 공정 조건을 동시에 확립하기에는 무리가 따르므로, 우선 가장 흔한 유해 미생물인 대장균을 대상으로 실험하였으며, 이후 연구에서 타 미생물에 대한 살균 효과를 다루고자 한다.

감사의 글

본 연구는 국가식품클러스터지원센터의 ‘2017년 기업공동 기술개발사업’에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- Azharonok V, Filatova I, Bosneaga Iu, Bologa M, Shedikova O. 2011. Non-thermal plasma sterilization in RF and MW discharges. *Rom Journ Phys* 56:62-68
- Cheigh CI, Mun JH, Chung MS. 2012. Nonthermal sterilization and shelf-life extension of seafood products by intense pulsed light treatment. *Korean J Food & Nutr* 25:69-76
- Kim BR, Kim AJ, Hong HJ, Shin JKe. 2013. Sterilization of yeast isolated from *Makgeolli* by intense pulsed light treatment in batch system. *Food Eng Prog* 17:159-164
- Kadlec T, Babický V, Člupek M. 2011. Application of pulsed electric field on bacteria. *WDS'11 Proceedings of Contributed Papers, Part II*. pp.263-266
- Kelly-Wintenberg K, Montie TC, Brickman C, Roth JR, Carr AK, Sorge K, Wadsworth LC, Tsai PPY. 1998. Room temperature sterilization of surfaces and fabrics with a one atmospheric uniform glow discharge plasma. *J Ind Microbiol Biotechnol* 20:69-74
- Lee KN, Paek KH, Ju WT, Lee YH. 2006. Sterilization of bacteria, yeast, and bacterial endospores by atmospheric-pressure cold plasma using helium and oxygen. *J Microbiol* 44:269-275
- Lisovskiy VA, Yakovin SD, Yegorenkov VD, Terent'eva AG. 2000. Plasma sterilization in low-pressure RF discharge. *ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ* 2000. №1. Серия: Плазменная электроника и новые методы ускорения 2:77-81
- Moisan M, Barbeau J, Crevier MC, Pelletier J, Philip N, Saoudi B. 2002. Plasma sterilization. Methods and mechanisms. *Pure Appl Chem* 74:349-358
- Morent R, De Geyter N. 2011. Inactivation of bacterial by non-thermal plasmas. *InTech. Biomedical Engineering - Frontiers and Challenges* Chapter 2:25-54
- Mok CK, Song DM. 2010. Low-pressure plasma inactivation of *Escherichia coli*. *Food Eng Prog* 14:202-207
- Mok CK, Lee TH. 2011. Operational properties and microbial inactivation performance of dielectric barrier discharge plasma treatment system. *Food Eng Prog* 15:398-403
- Mok CK, Jeon HJ. 2013. Low pressure discharge plasma inactivation of microorganisms in black pepper powder. *Food Eng Prog* 17:43-47
- Oh NS, Kim MY, Jang GY, Baek SY, Joung MY. 2017. Comparison of UV-irradiation and high hydrostatic pressure sterilization for storage stability of carrot juice. *Korean J Food Nutr* 30:1113-1118
- Oh YJ, Lee HN, Kim JE, Lee SH, Cho HY, Min SC. 2015. Cold plasma treatment application to improve microbiological safety of infant milk powder and onion powder. *Korean J Food Sci Technol* 47:486-491
- Park HA, Kim SY. 2012. Nutritional supplements. *J Korean Med Assoc* 55:889-897
- Park SR, Hong JW, Lee HJ, Kim GC. 2013. Plasma medicine; how can nonthermal atmospheric plasma be applied to medicine. *J Life Sci* 23:838-846
- Paskalov G. 2015. Plasma sterilization of dispersed material. *22nd International symposium on plasma chemistry* P-II-7-25
- Shin JK, Kim BR, Kim AJ. 2010. Nonthermal food processing technology using electric power. *Food Sci Ind* 43:21-34
- Shintani H, Sakudo A, Burke P, McDonnell G. 2010. Gas plasma sterilization of microorganisms and mechanisms of action (Review). *Exp Ther Med* 1:731-738
- Sohbatzadeh F, Colagar HA, Mirzanejhad S, Mahmodi S. 2010. *E. coli*, *P. aeruginosa*, and *B. cereus* bacteria sterilization using afterglow of non-thermal plasma at atmospheric pressure. *Appl Biochem Biotechnol* 160:1978-1984
- Won MY, Choi HY, Lee KS, Min SC. 2016. Helium dielectric

barrier discharge-cold plasma treatment for microbiological safety a preservation of onion powder. *Korean J Food Sci Technol* 48:486-491

Youn GA, Mok CK. 2015. Microbial inactivation of grains used in Saengshik by corona discharge plasm jet. *Korean J Food*

Sci Technol 47:70-74

Received 19 March, 2018

Revised 02 April, 2018

Accepted 10 April, 2018