

# 부유전극 유전체장벽방전 플라즈마에 의한 모짜렐라 자연 치즈의 *Listeria monocytogenes* 저감화 효과

홍혁수 · 전은비 · 박은희 · 박신영†

경상국립대학교 해양산업연구소(학생) · †경상국립대학교(교수)

## Reduction of *Listeria monocytogenes* in Mozzarella Natural Cheese by Floating Electrode-Dielectric Barrier Discharge (FE-DBD) Plasma Treatment

Hyuk Soo HONG · Eun Bi JEON · Eun Hee PARK · Shin Young PARK†

Gyeongsang National University(student · †professor)

### Abstract

*Listeria monocytogenes* is one of the major foodborne pathogens and is commonly detected in dairy products such as natural mozzarella cheese. In this study, the effects of FE-DBD plasma (1.1 kV, 43 kHz, N<sub>2</sub> 1.5 m/s, 5-90 min) on the microbial reduction of *L. monocytogenes* inoculated on natural mozzarella cheese and on pH changes were investigated. When FE-DBD plasma was applied for 5, 10, 30, 60, and 90 minutes, *L. monocytogenes* was reduced by 0.56, 0.69, 0.93, 1.50, and 1.97 log CFU/g, respectively. According to the Weibull model, the coefficient of determination (R<sup>2</sup>) was 0.98, and the D-value was calculated to be 25 min. For quality evaluation, pH analysis showed no significant difference between the control and treatment groups ( $p > 0.05$ ). These results suggest that FE-DBD plasma treatment can enhance the safety of natural mozzarella cheese and protect the product from microbial hazards.

**Key words** : Mozzarella natural cheese, FE-DBD plasma, Weibull model, *Listeria monocytogenes*

## I. 서론

모짜렐라 치즈는 숙성되지 않은 신선하고 부드러운 파스타 필리타 치즈로, 커드를 뜨거운 물에 담가 연화(plasticization)하고 반죽(kneading)하는 공정을 통해 제조되며, 이로 인해 특유의 섬유질 구조와 신장성을 갖는다(Mijan et al., 2010). 이러한 늘어나는 특성 덕분에 피자 토핑 치즈로 많이 사용되고, 신선한 우유 풍미를 지니고, 크림만한 질감덕에 샐러드 등 다양한 요리에 자주 사용된다(Ganesan et al., 2012).

이처럼 모짜렐라 치즈는 조리 후 섭취하기도

하지만, 일부 제품은 별도의 조리과정 없이 바로 섭취되어 ready-to-eat(RTE) 제품으로 분류된다. 이는 제품에 식중독 유발균이 존재할 경우 소비자가 그대로 섭취하게 될 위험이 있다(Iulietto et al., 2024). 또한 치즈는 단백질, 미네랄, 칼슘 및 인 등 영양이 매우 풍부하기 때문에 부패와 미생물 오염에 취약한 요인이 되기도 한다(Chon et al., 2022). 특히 유제품에서 자주 검출되는 병원성 세균인 *Listeria monocytogenes*는 낮은 온도와 다양한 환경 조건에서도 생존 및 증식이 가능하여 식품 안전에 큰 위협이 되고 있다(Melo et al., 2015). 이 균은 신선 치즈, 연성 치즈 및 기타 유

† Corresponding author : 055-772-9143 [sypark@gun.ac.kr](mailto:sypark@gun.ac.kr)

제품에서 빈번히 검출되며, 면역력이 약한 취약 계층에게 심각한 감염을 유발할 수 있다.

모짜렐라 치즈는 높은 수분 함량과 중성에 가까운 pH로 인해 *L. monocytogenes*가 성장하기 쉬운 기질이다(Iulietto et al., 2024). 치즈에 *L. monocytogenes*의 오염 잠재 원인이 다양한데 원유의 오염, 불충분한 저온살균 처리, 천연 유청 스타터 배양균, 조제액 재료로 사용되는 유청, 가열 이후 공정에서의 재오염, 오염된 표면이나 도구로 인한 교차오염 등이 있다(Greco et al., 2014; Serraino et al., 2013).

Dielectric Barrier Discharge(DBD) 플라즈마는 두 전극 사이에서 생성되는 비열성 플라즈마로, 이때 적어도 한쪽 전극은 폴리머, 유리, 석영 등과 같은 유전체 물질로 덮여 있다. 이러한 구조 덕분에 대기압 환경에서도 안정적인 플라즈마 형성이 가능하며, 열에 의한 손상이 거의 없어 생의학 및 식품 안전 분야에 활용할 수 있다(Kuchenbecker et al., 2009).

DBD 플라즈마 장치는 전극의 설계와 유전체 장벽의 배치에 따라 다양한 구성이 가능하며, 특정 목적에 맞게 시스템을 유연하게 조절할 수 있다는 장점이 있다. 그 중 Floating Electrode-Dielectric Barrier Discharge(FE-DBD) 시스템은 간단한 구조로 주목받고 있는데, 이 방식에서는 처리 대상 시료가 부동 전극(floating electrode) 역할을 하며, 유전체 표면 근처에 위치할 때 고전압 전극과 시료 간 전위차로 인해 플라즈마가 생성되어 전극과 직접 접촉하지 않고도 효과적인 플라즈마 처리가 가능하다(Lee et al., 2019). 이러한 기술은 상처 치유에서 항염증, 피부 재생, 피부 탄력, 주름 개선 및 색소 침착에서도 효과가 있다고 입증되었다(Subramaniam et al., 2024; Charipoor et al., 2024).

최근에는 FE-DBD 플라즈마를 이용한 조개젓갈에서의 노로바이러스 저감화(Jeon et al., 2021), 어묵에서의 황색포도상구균, 살모넬라 티피무리늄 저감화(Kim et al., 2024), 검은 큐민(*Nigella*

*sativa*)의 총 미생물 수 저감화 등 미생물 저감화에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 그러나 모짜렐라 치즈에서 *L. monocytogenes*에 대한 FE-DBD 플라즈마 처리 효과를 평가한 연구는 아직 없다. 따라서 본 연구에서는 부유전극 유전체장벽방전 플라즈마를 활용하여 모짜렐라 치즈에서 *L. monocytogenes*에 대한 FE-DBD 플라즈마 처리의 저감화 효과를 조사하였으며 pH의 변화를 함께 조사하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 시료

본 연구에서 이용한 치즈는 온라인에서 유통 중인 모짜렐라 자연치즈 제품을 구매하여 사용하였으며 구입 즉시 실험을 실시하였다. 모짜렐라 자연치즈는 3 g씩 소분하였으며 잔존 미생물을 제거하기 위해 70% 에탄올로 시료 표면을 소독하였다.

### 2. 균주 및 접종

본 연구에서는 3 종의 *L. monocytogenes* (ATCC 19113, ATCC 19115, ATCC 19111)를 사용하였다. 균주는 30% 그리세롤이 함유되어 있는 tryptic soy broth(TSB, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)에 보관하여, -80 °C의 초저온 냉동고에 저장하였다. *L. monocytogenes*는 5 mL의 tryptic soy broth(TSB, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)를 사용하여 각각 30 °C에서 24시간 동안 2 회 증균 배양한 후 각 균주를 섞어 각테일을 확보하였다.

### 3. FE-DBD 플라즈마 처리

FE-DBD 플라즈마 장치( $\mu$ -DBD Surface Plasma Generator, Model; Micro DBD Plasma)는 Plasma Biomedicine Institute (Plasma Bioscience Research

Center, Seoul, Korea)에서 공급받았다. FE-DBD 플라즈마 장치의 작동 전압은 진폭 2.8 kV의 47 kHz 사인파를 발생시키는 인버터로 지지하였으며, 질소를 이용하여 가상접지 역할을 하는 시료의 표면과 전기전극 아래 유리 사이에 플라즈마를 발생시켰다. 상기 과정 동안 분당 1.5 lpm의 유량을 유지하였으며, 플라즈마 방출 전극과 샘플 사이의 거리는 3 mm로 유지하였다. FE-DBD의 전기 전압 및 전류 특성은 각각 고전압 프로브(P6015A, Tektronix)와 픽업 프로브(P6021A, Tektronix)를 사용하여 측정하였다. 플라즈마 방전은 주로 1 kV에서 발생하였으며, 피크 방전은 16 mA에서 측정하였다. 전력은 0.55 W로 측정하였다. RMS(root mean squarevalue) 전압과 전류는 각각 2.0 kV와 13.5 mA에서 측정하였다. 플라즈마 처리 중, 방전되는 전극과 처리하고자 하는 시료는 3 mm의 거리로 일정하게 유지되었다. 모짜렐라 치즈 시료에 대한 FE-DBD 플라즈마 처리 시간은 5, 10, 30, 60, 90분으로 설정하였다.

#### 4. 균 분석

본 실험은 FE-DBD 플라즈마 처리 후 시료 내 *L. monocytogenes*를 정량적 검출을 위해 다음과 같은 방법으로 수행하였다. *L. monocytogenes*가 접종된 시료를 0.85% 멸균 식염수와 함께 멸균된 스토머커 백(Korea, Seoul, 3M)에 넣어 균질화하였다. 그 후, 균질화 된 용액 1 mL를 9 mL의 0.85% 멸균 생리 식염수로 희석하여 1 mL의 희석된 시료를 페트리 디시에 넣고 Tryptic Soy Agar(TSA, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)와 혼합하였다. *L. monocytogenes*를 30 °C에서 48시간 배양하였다.

#### 5. 비선형 모델을 이용한 소수 감소값 (Decimal Reduction Value)의 결정

*L. monocytogenes*의 D-value를 결정하기 위해, 두 개의 매개변수를 가지는 비선형 모델인

Weibull 모델을 사용하였다. 계산식은 다음과 같다:

$$\log\left(\frac{N_t}{N_0}\right) = -bt^n \dots\dots\dots (1)$$

- Nt: 플라즈마 처리시간 t (min) 후의 미생물 수 (log CFU/g)
- N0: 초기 미생물 수(log CFU/g)
- t: 플라즈마 처리시간(min)
- b: 미생물 수를 1 log 단위로 감소시키는 데 필요한 시간
- n: 생존곡선의 형태를 나타내는 매개변수로, n = 1일 때는 선형 생존곡선을, n 값이 1보다 작거나 클 때는 각각 아래로 볼록하거나 위로 볼록한 곡선을 의미한다.

Weibull 매개변수로부터 D-value를 구하기 위해 Buzrul and Alpas(2007)의 식을 사용하였다:

$$D = \left(\frac{1}{b}\right)^{1/n} \dots\dots\dots (2)$$

D는 미생물을 90% 감소시키는데 필요한 시간을 의미한다.

Weibull 모델은 GraphPad Prism 소프트웨어(버전 5.0, GraphPad Software, San Diego, CA, USA)를 사용하여 분석하였다.

#### 6. pH 측정

모짜렐라 치즈 3 g과 희석수 27 mL를 혼합 후 실온에서 2분간 교반하여 pH 측정용 시료로 사용하였으며, pH meter(Orion Star A211, Thermo Scientific, MI, USA)를 사용하여 pH 값을 측정하였다.

#### 7. Statistical Analysis

모든 실험은 각 시료에 대해 3회 반복하여 수행되었으며, 데이터는 평균 ± 표준편차(SD)로 나타났다. 통계 분석은 FE-DBD 플라즈마 처리 후

시간 경과에 따른 *L. monocytogenes*의 평균 감소량(log CFU/g), pH 간의 유의적인 차이를 확인하기 위해 수행되었다. 통계 분석은 SPSS 소프트웨어 버전 12.7 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하여 ANOVA 및 Duncan의 다중 범위 검정을 통해 수행되었다. 유의수준 5% ( $p < 0.05$ )에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 판단하였다.

### III. 연구 결과

#### 1. FE-DBD 플라즈마 처리 후 모짜렐라 자연 치즈에 *L. monocytogenes* 저감화 평가

본 연구에서는 모짜렐라 자연치즈에 대해 FE-DBD 플라즈마를 5, 10, 30, 60, 90분 동안 처리하여 *L. monocytogenes* 저감 효과를 <Table 1>에 제시하였다. 대조군에서의 *L. monocytogenes*는

8.07 log CFU/g이었으며, 처리시간에 따라 5분, 10분, 30분에서는 각각 7.50 log CFU/g (0.56 log CFU/g), 7.39 log CFU/g (0.69 log CFU/g), 7.09 log CFU/g (0.93 log CFU/g)의 값으로 감소하였다 ( $p < 0.05$ ). 처리시간 60분에서 6.56 log CFU/g로 1.50 log CFU/g가량 감소되었고, 최대 처리시간인 90분 처리에서는 6.03 log CFU/g으로 1.97 log CFU/g로 유의적인 감소량을 보였다( $p < 0.05$ ). *L. monocytogenes*의 생존도는 Weibull 모델을 이용하여 계산하였으며(Fig. 1), 해당 모델의 매개변수는 <Table 2>에 제시하였다. Weibull 모델에 기반한 D value는 25분으로 산출되었으며, 결정계수 ( $R^2$ )는 0.98로 나타났다.

치즈는 혼합 비율과 후속 공정에 따라 치즈의 종류가 다양하게 분류된다(Beresford et al., 2001). 원료를 사용하여 최소한의 가공을 거친 자연치즈와 자연치즈에 카제인, 버터 및 기타 유·비유제품

<Table 1> Effect of FE-DBD plasma treatment against *L.monocytogenes* incubated Mozzarella cheese.

FE-DBD Plasma (min)	L.monocytogenes	
	log CFU/g	Log reduction
0	8.07±0.07 <sup>a</sup>	-
5	7.50±0.15 <sup>b</sup>	0.56±0.09 <sup>d</sup>
10	7.39±0.21 <sup>bc</sup>	0.69±0.19 <sup>cd</sup>
30	7.12±0.15 <sup>c</sup>	0.93±0.09 <sup>c</sup>
60	6.56±0.19 <sup>d</sup>	1.50±0.14 <sup>b</sup>
90	6.05±0.24 <sup>e</sup>	1.97±0.23 <sup>a</sup>

Different letters within the same column (a-e) indicate significant differences ( $p < 0.05$ ) by Duncan's multiple range test. The data represent as mean ± standard deviation (SD). Number of replicates (n = 3).

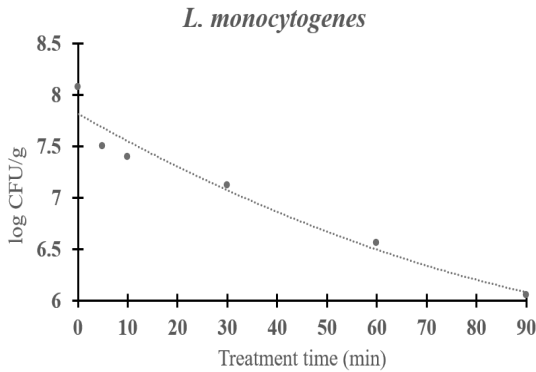
<Table 2> Weibull model parameters for *L. monocytogenes* treated with plasma.

Microorganism	Model Parameters			
	b ± SD	n ± SD	R <sup>2</sup>	D-value ± SD (min)
UV E. coli	0.21±0.11	0.50 ± 0.14	0.98	25.00 ± 5.76

The D-value of *L. monocytogenes* in plasma treated Mozzarella cheese was calculated using the Weibull model. b represents the scale parameter, and when  $n < 1$ , the survival curve is concave upward, while  $n > 1$  or  $n = 1$  indicates a concave downward survival curve.

R<sup>2</sup> represents the correlation coefficient.

Values are presented as the mean ± standard deviation (SD) of three independent experiments.



[Fig. 1] Effects of plasma treatment on *L. monocytogenes* in Mozzarella natural cheese and survival curves fitted with the Weibull model.

을 열처리 조건에서 제조한 가공치즈가 있다(Liu et al., 2024). 가공치즈는 열처리 조건에서 가공되어 병원성 미생물이 덜 취약한 반면, 자연치즈는 별도의 열처리 공정이 없어 미생물에 더욱 취약할 수 있다(Kim, 2019).

특히 모짜렐라 치즈는 수분이 많고 pH가 중성에 가까운 특성으로 인해, 유제품에서 위험성이 있는 *L. monocytogenes*의 성장에 취약할 수 있다(Iulietto et al., 2024; Abrahao et al., 2008). 신장성을 위해 커드 스트레칭 전 가열 및 산도 조절 과정에서 *L. monocytogenes* 수를 크게 감소시킬 수 있지만, 가열이 균일하지 않은 비대칭 열처리이기 때문에 병원균의 사멸률은 커드의 위치에 따라 1-8 log 단위로 다양하게 나타난다(Murru et al., 2018). 또한 원유의 오염이 아니더라도 스트레칭 이후의 가공단계에서 발생하는 2차 오염 가능성도 배제할 수 없다(Ricci et al., 2021).

Tirioni et al.(2019)의 연구에서 브랜드별 모짜렐라 치즈를 대상으로 *L. monocytogenes*의 영향을 미칠 수 있는 요인을 조사하였고 서로 다른 온도에서 *L. monocytogenes*의 성장 가능성을 평가하였다. 거의 모든 제품 유형이 수분 함량이 52% 이상으로 고수분이었으며 시험한 온도 (4, 9, 15, 20 °C)에서 빠르게 *L. monocytogenes*가 성장하였고

유기산과 미생물 군집만으로 성장을 방해하기에 충분하지 않아, 생산 후 오염을 방지하기 위한 철저한 위생관리가 필요하다고 언급하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 현재 많은 연구에서 치즈의 품질을 유지하면서 *L. monocytogenes* 균 문제를 해결하기 위한 많은 연구가 있다. 예를 들어, Han et al.(2014)의 연구에서 Rosemary 및 Thyme 오일을 포함한 향균 파우치를 적용시켰을 때, 시간이 지남에 따라 향균 파우치가 *L. monocytogenes*를 2.5 log CFU/g 감소가 나타났지만, 파우치 처리는 특정 냄새를 발생시켜 관능평가 패널들에게 부정적인 평가를 얻었다. 또한 Kundu(2019)의 감마선 조사에서는 최대 조사량인 10 kGy에서 모든 균주는 약 1.2-1.6 log CFU/gm 까지 감소하였다. 이는 섭취 허용치 이하로 효과적인 감소이지만, IAEA의 규정상 10 kGy 이상은 일부 식품에서 허용되지 않으며, 고선량에서는 영양소가 분해되어 식품의 품질에 영향을 줄 수 있다고 한계가 있다고 보고하였다. 이러한 기존의 접근법들은 관능적 한계나 조사량 제한 등의 문제로 실용화에 어려움이 있다.

저온 플라즈마는 플라즈마 생성에 사용되는 방전 가스에 따라 달라지는데, 이들은 시료에 오염성 및 독성이 없으며, 처리 후 물체의 통기가 필요하지 않기 때문에 화학적 멸균 기술을 대체할 수 있는 이상적인 방법으로 주목받는다(Svarnas et al., 2020). 플라즈마에서 생성된 반응성 중 및 자유 라디칼(ROS 및 RNS)은 미생물 세포막의 인지질과 단백질과 상호작용하여 이온적·화학적 반응을 유도하고, DNA를 손상시키며, 결국 병원성균의 생존율을 감소시킨다(Baggio et al., 2020; Aguilar et al., 2022). Ricciardi et al.(2022)의 연구에서는 리코타 치즈의 저장성을 연장시키기 위해 플라즈마 처리를 하였을 때 직접적 및 간접적 플라즈마 처리 모두 리코타 치즈의 저장성이 향상하였고, Ott et al.(2022)는 Queso Fresco 치즈에 *L. monocytogenes*를 바이오필름 형태로 접종하였을 때, 처리시간이 증가함에 따라 저감화 효과가 증

가하였다고 보고하였다. 이런 연구들은 플라즈마 처리가 치즈 보존 기술의 유망한 대안이 될 수 있음을 시사한다.

특히 FE-DBD 플라즈마는 기존 사용되던 DBD 플라즈마 시스템의 특수한 형태로 시료가 다른 하나의 전극 역할을 할 수 있다는 점에 플라즈마의 반응성을 높이고 처리 표면의 유연성을 향상시키는 장점이 있어 효과적인 저감화를 기대할 수 있다(Adil et al., 2020). 따라서 본 실험에서는 FE-DBD를 적용하여 모짜렐라 치즈에서의 리스테리아 모노사이토제 느스 저감화 효과를 평가하였다.

본 연구와 동일 조건인 Kim et al.(2024)의 연구에서는 튀김어묵에 *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* Typhimurium을 접종하여 FE-DBD 플라즈마 60분 처리했을 때 각각 동일하게 1.13 log CFU/g가 감소하였다. 그리고 Jeon et al.(2021)의 조개젓갈에 휴먼 노로바이러스(HuNoV)를 접종하여 처리한 연구에서는 30분 처리하였을 때 1-1.30 log CFU/g가 감소하였다고 보고하였다. 본 연구에서는 30분 처리에서 약 1 log CFU/g 감소, 60분 처리에서 약 1.5 log CFU/g 감소하였다. 이러한 차이는 다른 연구를 보면 알 수 있는데, Ziuzina et al.(2014)의 연구에서 딸기와 토마토에 *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* serovar Typhimurium, *L. monocytogenes*를 접종하여 DBD 플라즈마(50 Hz, 70 kV) 저감화 효과를 비교하였다. 토마토에 접종된 *L. monocytogenes*는 대조군 6.7 log CFU/sample에서 플라즈마 120초 처리하였을 때 균이 검출되지 않았고, 딸기는 대조군 7.3 log CFU/sample에서 최대 처리시간인 300초 처리에서 4.2 log CFU/sample로 감소되어 균이 검출되었다. *E. coli*과 *S. enterica* serovar Typhimurium은 *L. monocytogenes*보다 플라즈마에 의한 저감화가 더 빠르게 나타났다. 이러한 결과는 플라즈마에 의한 미생물 저감 효과가 전압, 주파수, 입력 전력, 처리 시간, 가스 종류, 시료 노출 방식 등 다양한 요인에 따라 달라짐을 보여준다(Baggio et

al., 2020). 또한, 시료 표면이 거칠 경우 미생물이 미세 틈에 숨어 플라즈마가 균일하게 침투하는 것을 방해할 수 있어, 처리 효율에 영향을 미칠 수 있다(Aguilar et al., 2022). 처리시간을 증가하여 시료를 처리하게 되면 미생물 저감 효과가 향상될 수 있으나, 플라즈마 특성상 시료의 내부에 침투를 할 수 없어, 치즈 표면의 균이 사멸된 이후에는 추가적인 저감 효과는 제한적일 것으로 사료된다. 또한 장시간 플라즈마 처리 시 활성 산소 및 질소종(ROS/RNS)의 축적이 발생할 수 있으므로, 처리 조건 최적화에 대한 추가적인 검토가 필요할 것으로 사료된다(Kim et al., 2023).

## 2. FE-DBD 플라즈마가 모짜렐라 자연치즈 품질에 미치는 영향

FE-DBD 플라즈마 처리에 의한 품질특성 pH를 측정하였다. 처리 후 pH 값은 5.51-5.52로, 대조군간 유의적인 차이가 관찰되지 않았다( $p > 0.05$ )(<Table 3>). 이는 Kim et al.(2024)의 FE-DBD 플라즈마를 조개젓갈에 처리한 연구에서도 pH 변화가 없는 결과와 동일하다. 이처럼 pH가 변하지 않는 이유는 식품 내 유기 성분의 완충 효과 때문으로 사료된다(Ricciardi et al., 2022). 다만 본 연구는 모짜렐라 치즈에 접종된 *L. monocytogenes*의 저감화 효과에 중점을 두어 수행되었으므로, 품질특성에 대한 평가는 추후 연구에서 추가적으로 진행될 필요가 있다고 사료된다.

<Table 3> pH of Mozzarella Cheese by FE-DBD plasma treatment.

FE-DBD Plasma (min)	pH
0	5.51±0.05 <sup>NS</sup>
5	5.51±0.04
10	5.52±0.05
30	5.50±0.06
60	5.51±0.04
90	5.52±0.06

NS = non-significant.

본 연구에서는 FE-DBD 플라즈마 처리가 모짜렐라 치즈에 있는 식중독균 저감화 효과를 확인하였으며, pH의 유의미한 변화가 없었다. 따라서 시료의 품질 변화를 최소화하면서도 효과적인 FE-DBD 플라즈마 조건을 탐색하기 위한 추가 연구가 필요하다고 판단된다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 FE-DBD 플라즈마 처리가 모짜렐라 자연치즈의 *L. monocytogenes*에 미치는 영향을 조사하였다. 플라즈마 최대 처리시간인 90분에서 1.97 log CFU/g로 가장 큰 감소량을 보였다. *L. monocytogenes*의 생존곡선은 Weibull 모델에 적합하였으며 결정계수(R<sup>2</sup>)은 0.98, D value는 25.00으로 확인되었다. 플라즈마 처리시간에 따른 모짜렐라 자연치즈의 pH 변화는 유의적인 차이를 보이지 않았다(p > 0.05).

이러한 결과는 FE-DBD 플라즈마 처리가 모짜렐라 자연치즈의 미생물학적 안전성을 확보하는데 효과적인 비가열 기술임을 시사한다.

#### References

- Abrahão WM, Abrahão PRDS, Monteiro CLB and Pontarolo R(2008). Occurrence of *Listeria monocytogenes* in cheese and ice cream produced in the State of Paraná, Brazil. Rev. Bras. Cienc. Farm., 44(2), 289~296.
- Adil BH, Al-Shammari AM and Murbat HH(2020). Breast cancer treatment using cold atmospheric plasma generated by the FE-DBD scheme. Clin. Plasma Med., 19, 100103.  
https://doi.org/10.1016/j.cpm.2020.100103
- Aguilar Uscanga BR, Calderón Santoyo M, Ragazzo Sánchez JA, Alemán Duarte MI, Pérez Montaña JA, Balcázar-López E and Solís Pacheco JR(2022). Effect of the application of cold plasma energy on the inactivation of microorganisms, proteins, and lipids deterioration in adobera cheese. J. Food Qual., 2022(1), 8230955.  
https://doi.org/10.1155/2022/8230955
- Baggio A, Marino M, Innocente N, Celotto M and Maifreni M(2020). Antimicrobial effect of oxidative technologies in food processing: an overview. Eur. Food Res. Technol., 246(4), 669~692.  
https://doi.org/10.1007/s00217-020-03447-6
- Beresford TP, Fitzsimons NA, Brennan NL and Cogan TM(2001). Recent advances in cheese microbiology. Int. Dairy J., 11(4 - 7), 259~274.  
https://doi.org/10.1016/S0958-6946(01)00056-5
- Buzrul S and Alpas H(2007). Modeling inactivation kinetics of food borne pathogens at a constant temperature. LWT - Food Sci. Technol., 40(4), 632~637.
- Charipoor P, Nilforoushadeh MA, Ostovarpour F, Amirkhani MA, Ghasemi E, Nouri M and Khani M(2024). Evaluation of voltage effect on FE-DBD plasma for skin treatment: biometrics analysis and hyperspectral investigation. Plasma Process. Polym., 21(12), e2400148.  
https://doi.org/10.1002/ppap.202400148
- Chon JW, Kim TJ, Seo KH, Youn HY, Kim HJ, Her J, Jeong D and Song KY(2022). Techniques to Extend the Storage Period of Cheese - A Review of the Current Status and Future Prospects. J. Dairy Sci. Biotechnol., 40(1), 1~14.  
https://doi.org/10.22424/jdsb.2022.40.1.1
- Ganesan B, Irish DA, Brotherson C and McMahon DJ(2012). Evaluation of microbial survival post-incidence on fresh Mozzarella cheese. J. Dairy Sci., 95(12), 6891~6896.  
https://doi.org/10.3168/jds.2012-5390
- Greco S, Tolli R, Bossù T, Rodas EMF, Di Giamberardino F, Di Sirio A, Vita S, De Angelis V, Bilei S, Sonnessa M, Gattuso A and Lanni L(2014). Case of contamination by *Listeria monocytogenes* in mozzarella cheese. Ital. J. Food Saf., 3(1), 1708.  
https://doi.org/10.4081/ijfs.2014.1708
- Han JH, Patel D, Kim JE and Min SC(2014). Retardation of *Listeria monocytogenes* growth in mozzarella cheese using antimicrobial sachets containing rosemary oil and thyme oil. J. Food Sci., 79(11), E2272 - E2278.  
https://doi.org/10.1111/1750-3841.12659

- Iulietto MF, Condoleo R, De Marchis ML, Bogdanova T, Russini V, Amati S, Zanarella R, Zottola T and Campagna MC(2024). Mozzarella cheese in Italy: Characteristics and occurrence of *Listeria monocytogenes* and coagulase-positive staphylococci at retail. *Int. Dairy J.*, 157, 106023. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2024.106023>
- Jeon EB, Choi MS, Kim JY, Choi EH, Lim JS, Choi J and Park SY(2021). Assessment of potential infectivity of human norovirus in the traditional Korean salted clam product “Jogaejeotgal” by floating electrode-dielectric barrier discharge plasma. *Food Res. Int.*, 141, 110107. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110107>
- Kim M(2019). Microbiological quality of processed cheese marketed in Korea. Master’s thesis, Korea University, Seoul, South Korea.
- Kim SH, Roy PK, Jeon EB and Park SY(2024). The efficacy of floating electrode-dielectric barrier discharge plasma against *Staphylococcus aureus* and *Salmonella Typhimurium* on fried fish paste. *Appl. Sci.*, 14(5), 1875. <https://doi.org/10.3390/app14051875>
- Kuchenbecker M, Bibinov N, Kaemling A, Wandke D, Awakowicz P and Viöl W(2009). Characterization of DBD plasma source for biomedical applications. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 42, Article 045212. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/42/4/045212>
- Kundu S(2019). Distinguishing the disinfection patterns of *Listeria monocytogenes* contaminated mozzarella cheese by using gamma irradiation treatment. Doctoral dissertation, East West University.
- Lee KH, Kim S, Jo H, Son BK, Shin MS and Cho G(2019). Plasma skincare device based on floating electrode dielectric barrier discharge. *Plasma Sci. Technol.*, 21, 124403. <https://doi.org/10.1088/2058-6272/ab428a>
- Liu T, Wu J, Aziz T, Xue R, Khowdiary MM and Yang Z(2024). Changes of physicochemical and functional properties of processed cheese made with natural cheddar and mozzarella cheeses during refrigerated storage. *Sci. Rep.*, 14(1), 3714. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53748-z>
- Melo J, Andrew PW and Faleiro ML(2015). *Listeria monocytogenes* in cheese and the dairy environment remains a food safety challenge: The role of stress responses. *Food Res. Int.*, 67, 75~90. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.10.031>
- Mijan MA, Haque MA, Habib MA and Wadud MA(2010). Evaluation of quality of mozzarella cheese. *Bangladesh Vet.*, 27(1), 36~42. <https://doi.org/10.3329/bvet.v27i1.5913>
- Murru N, Peruzzy MF, De Carlo E, Mercogliano R, Aponte M, Morena C and Fraulo P(2018). *Listeria monocytogenes* survival during production and storage of water buffalo Mozzarella cheese. *Int. J. Dairy Technol.*, 71(2), 356~361. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12449>
- Ott LC, Jochum J, Burrough L, Clark S, Keener K and Mellata M(2022). High voltage atmospheric cold plasma inactivation of *Listeria monocytogenes* in fresh Queso Fresco cheese. *Food Microbiol.*, 105, 104007. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2022.104007>
- Ricci A, Alinovi M, Martelli F, Bernini V, Garofalo A, Perna G and Mucchetti G(2021). Heat resistance of *Listeria monocytogenes* in dairy matrices involved in mozzarella di Bufala Campana PDO cheese. *Front. Microbiol.*, 11, 581934. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.581934>
- Ricciardi EF, Del Nobile MA, Conte A, Fracassi F and Sardella E(2022). Effects of plasma treatments applied to fresh ricotta cheese. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 76, 102935. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102935>
- Serraino A, Finazzi G, Marchetti G, Daminelli P, Riu R, Giacometti F, Losio MN and Rosmini R(2013). Fate of *Listeria monocytogenes* during production and storage of artisan water buffalo mozzarella cheese. *Ital. J. Food Sci.*, 25(1), 16~22.
- Subramaniam MD, Bae JS, Son J, Anggradita LD, Kim MK, Lee MY and Hwang Y(2024). Floating electrode - dielectric barrier discharge-based plasma promotes skin regeneration in a full-thickness skin defect mouse model. *Biomed. Eng. Lett.*, 14(3), 605~616. <https://doi.org/10.1007/s13534-024-00356-5>
- Svarnas P, Giannakopoulos E, Kalavrouziotis I, Krontiras C, Georga S, Pasolari RS and Chrysochoou D(2020). Sanitary effect of FE-DBD cold plasma in ambient air on sewage biosolids. *Sci. Total Environ.*, 705, 135940.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135940>  
Tirloni E, Bernardi C, Rosshaug PS and Stella S(2019). Potential growth of *Listeria monocytogenes* in Italian mozzarella cheese as affected by microbiological and chemical-physical environment. *J. Dairy Sci.*, 102(6), 4913~4924.  
<https://doi.org/10.3168/jds.2018-15991>  
Ziuzina D, Patil S, Cullen PJ, Keener KM and Bourke P(2014). Atmospheric cold plasma inactivation

of *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* serovar Typhimurium and *Listeria monocytogenes* inoculated on fresh produce. *Food Microbiol.*, 42, 109~116.  
<https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.02.007>

- 
- Received : 10 December, 2025
  - Revised : 31 December, 2025
  - Accepted : 14 January, 2026