

연구노트

## 비열 플라즈마 처리를 이용한 polystyrene, 소시지 케이싱, 그리고 훈제연어에서의 식중독균 저해

이한빛 · 노영은 · 양희재 · 민세철\*  
서울여자대학교 식품공학과

### Inhibition of Foodborne Pathogens on Polystyrene, Sausage Casings, and Smoked Salmon Using Nonthermal Plasma Treatments

Hahn-Bit Lee, Young-Eun Noh, Hee-Jae Yang, and Sea Cheol Min\*  
Department of Food Science and Technology, Seoul Women's University

**Abstract** The effects of nonthermal plasma treatments against *Salmonella* Typhimurium, *Escherichia coli* O157:H7, and *Listeria monocytogenes* living on polystyrene (PS), sausage casings, and smoked salmon were investigated. Inoculated PS, casings, and salmon were treated with nonthermal plasma generated with helium (5 L/min) or with both helium (5 L/min) and oxygen (100 mL/min) at 60 Hz and 30 kV/cm for 2, 5, or 10 min. *S.* Typhimurium exhibited the highest sensitivity to the helium-used treatment. The greatest reduction ( $3.9 \pm 0.8 \log \text{CFU/cm}^2$ ) was observed with *L. monocytogenes* on PS after the treatment with the mixed gas for 5 min. The treatment with the mixed gas inhibited *L. monocytogenes* on casings and salmon by  $0.5 \pm 0.3 \log \text{CFU/cm}^2$  and  $1.0 \pm 0.3 \log \text{CFU/g}$ , respectively. Different treatment times did not result in different reductions of *L. monocytogenes* on both casings and salmon. The types of treatment gas and material of contamination need to be considered for evaluating the antimicrobial effects of nonthermal plasma treatments.

**Keywords:** nonthermal plasma, foodborne pathogen, polystyrene, sausage casing, smoked salmon

## 서 론

가열 살균은 전통적인 살균 방식으로 살균에는 효과적이지만 처리 중 식품으로 유입되는 열에 의해 식품의 영양학적 특성, 관능적 특성, 그리고 기능성을 감소시킬 수 있다(1,2). 식품에 유입되는 열을 최소화하여 열에 의한 부정적인 영향을 줄이면서도 미생물을 저해하고 효소의 작용을 억제하여 식품의 품질 저하를 감소시키는 식품의 비열처리(nonthermal food preservation method)에 관한 연구가 식품 과학분야에서 활발히 연구되어왔다(3,4). 비가열 살균은 방사선 조사(5), 초고압 처리(6), pulsed electric field 처리(7), 자외선 조사(8)를 포함한다. 각각의 이들 비열처리 공정 기술은 비약의 발전을 해 왔지만, 그들을 사용해 다양한 상업적 제품들을 생산하기에는 아직도 궁극적으로 해결해야 하는 문제들이 있다. 방사선 조사의 경우 소비자 비 선호, 초고압 처리의 경우 연속식(또는 반연속식) 공정의 고비용 등이 그 예가 될 수 있다.

최근 식품의 비가열 살균 방법으로 비열 플라즈마 처리에 관심이 모아지고 있다(9). 플라즈마는 자유 전자, 여기 원자와 분자,

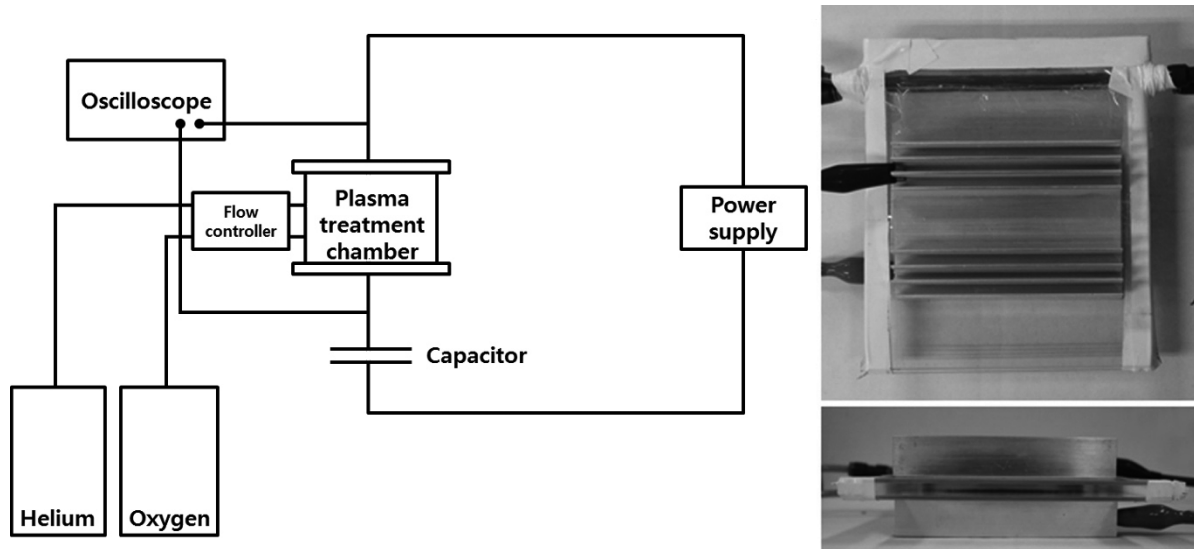
라디칼 등을 포함하는 이온화된 가스로서 미생물 세포막의 지질을 산화시키거나 아미노산 또는 핵산의 변화를 일으켜 미생물을 사멸시키거나 해를 입힐 수 있다(2,10-12). 플라즈마 처리의 미생물 저해 효과는 처리 전압(13), 교류 진동수(14), 사용 가스(15), 처리 시간(10), 미생물의 종류(16), 미생물이 감염된 재료(2) 등에 의해 영향을 받는다. 따라서, 본 연구의 목적은 대표적 식중독균들(*Salmonella* Typhimurium, *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*)을 플라스틱(polystyrene) 필름 위에서 두 종류의 가스를 각각 사용한 비열 플라즈마 시스템을 이용하여 처리 시간을 변수로 두고 처리시켜 그들의 저해 정도를 관찰하고, *L. monocytogenes* 저해 효과가 높은 가스를 사용하는 플라즈마 처리를 이용해 소시지 케이싱과 훈제연어에서의 *L. monocytogenes* 저해 정도를 처리 시간을 변수로 놓고 연구함으로써 비열 플라즈마의 식품 살균 기술로서의 적용 가능성을 확인하는 것이었다.

## 재료 및 방법

### 비열 플라즈마 장치

플라즈마 장치에 사용된 전극의 크기는 120 mm×80 mm이었고, 플라즈마 처리 공간(플라즈마 treatment chamber)의 높이는 5 mm 였다(Fig. 1). 아크릴 관(3 mm 내경)에 3 mm 간격으로 직경 1 mm 의 가스 주입구를 가공하여 최대 두 개의 가스가 플라즈마 발생기 내부로 균일하게 주입되도록 제작하였고, 유량계(Cheong Sol Science, Seoul, Korea)를 사용하여 유속을 조절하였다(Fig. 1). 전압조정기(Han Chang Transformer Co., Ltd., Busan, Korea)와 변압기(15 kV, 60 Hz, 전자 네온 트랜스 DH-15000, Dae Han Trans

\*Corresponding author: Sea Cheol Min, Department of Food Science and Technology, Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea  
Tel: 82-2-970-5635  
Fax: 82-2-970-5977  
E-mail: smin@swu.ac.kr  
Received April 27, 2011; revised June 16, 2011; accepted June 21, 2011



**Fig. 1. Cold plasma system (SWU-1) used in this study.** Right top, top view of the cold plasma treatment chamber; right bottom, side view of the cold plasma treatment chamber.

Co., Ltd., Incheon, Korea)를 사용하여 플라즈마 장치에 전기를 공급하였다(Fig. 1). 제작된 장치의 최대 전기장의 세기는 30 kV/cm 이었다.

#### 접종원

*S. Typhimurium* DT 104, *E. coli* O157:H7 ATCC 35150, 그리고 *L. monocytogenes* 19114(School of Food Science Culture Collection, Washington State University, Pullman, WA, USA)는 tryptic soy broth(BD™, MD, USA)에서 증균배양되어 각각  $8.9 \pm 0.1$  log CFU/mL,  $9.3 \pm 0.2$  log CFU/mL, 그리고  $9.3 \pm 0.3$  log CFU/mL 농도의 접종원으로 준비되었다.

#### Polystyrene(PS) 필름 시료

PS 필름은 Korea Ace Scientific Co., Ltd(Seoul, Korea)에서 구매하여 지름 5 cm의 크기로 준비되었으며, 실험 전 70% 에탄올과 자외선을 사용하여 살균되었다. 접종원 1 mL를 PS 필름 표면에 10  $\mu$ L씩 나누어 접종시켰고, 접종 농도는 *S. Typhimurium*, *E. coli* O157:H7, 그리고 *L. monocytogenes* 각각  $7.6 \pm 0.1$  log CFU/cm<sup>2</sup>,  $8.0 \pm 0.2$  log CFU/cm<sup>2</sup>, 그리고  $8.0 \pm 0.3$  log CFU/cm<sup>2</sup>이었다. 식중독균이 접종된 PS 필름은 2시간 동안 clean bench 내에서 건조된 후 플라즈마 처리되었다.

#### 소시지 케이싱 시료

소시지 케이싱은 소시지(휠 터치, 사조대림, Seoul, Korea)로부터 clean bench 내에서 벗겨 4 cm×4 cm의 크기로 준비되었다. 준비된 소시지 케이싱에 *L. monocytogenes* 100  $\mu$ L를 피펫팅 한 후 ( $8.1 \pm 0.3$  log CFU/cm<sup>2</sup>) spreader를 사용해 고르게 퍼뜨려 플라즈마 처리 시료로 준비하였다.

#### 훈제연어 시료

훈제연어(순수 훈제연어 퓨어, 아워홈, Seoul, Korea)는 무방부제 제품으로 정제염과 정백당이 들어 있었다. 훈제연어 시료는 clean bench 내에서 70% 에탄올로 소독된 틀을 사용하여 지름 5 cm, 두께 3 mm의 크기(6.8 g)로 준비되었다. 훈제연어 표면에 *L.*

*monocytogenes* 100  $\mu$ L를 피펫팅 한 후( $5.5 \pm 0.3$  log CFU/g 훈제연어 또는  $5.0 \pm 0.3$  log CFU/cm<sup>2</sup>) spreader를 사용해 고르게 퍼뜨려 플라즈마 처리 시료로 준비하였다.

#### 비열 플라즈마 처리

사용된 전압은 15 kV였고, 교류 진동수는 60 Hz였다. 플라즈마 처리는 상압에서 실행되었다. 헬륨(<99.9%) 5 L/min의 유속으로 플라즈마 treatment chamber로 방출되도록 하거나, 헬륨(<99.9%)과 산소(<99.9%)를 함께 각각 5 L/min, 100 mL/min의 속도로 방출되도록 하였다. PS 필름 시료에는 헬륨 가스만 또는 헬륨과 산소가 함께 사용되었고, 소시지 케이싱과 훈제연어 시료에는 헬륨과 산소가 함께 사용되었다. PS 필름 시료는 2분 또는 5분, 소시지 케이싱과 훈제연어 시료는 5분 또는 10분 처리되었다.

#### 균 수 측정

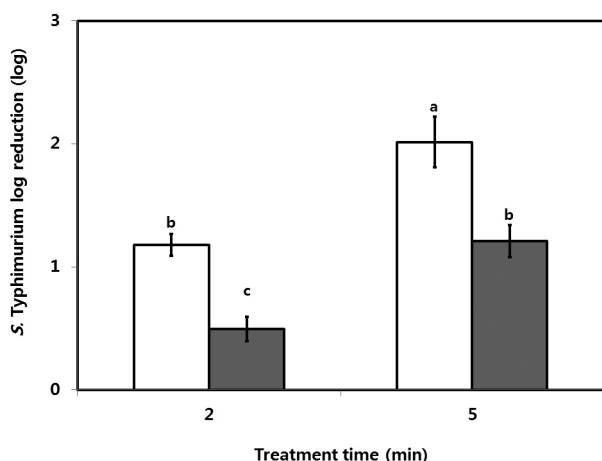
비열 플라즈마 처리된 PS 필름, 소시지 케이싱, 또는 훈제연어를 0.1%(w/v) peptone water가 담긴 stomacher bag에 넣어 2분간 Normal speed로 stomaching(Stomacher® 400, Seward Ltd., London, UK) 한 뒤, 선택배지에 도말 배양하여 생균수를 측정하였다. *S. Typhimurium*, *E. coli* O157:H7, 그리고 *L. monocytogenes*의 생균수를 측정하기 위해 각각 xylose lysine desoxycholate agar (BD Difco™), sorbitol MacConkey agar(BD Difco™), 그리고 *Listeria* selective agar base(Oxoid Ltd., Hauts, UK)와 *Listeria* selective enrichment supplement(Oxoid Ltd.)가 혼합된 Oxford agar를 사용하였다.

#### D 값 결정

D 값은 다음 식을 이용하여 계산되었다.

$$D = \frac{t}{\log N_0 - \log N_t}$$

여기서 D는 특정 미생물을 90% 저해하는데 요구되는 시간, t는 시간,  $N_0$ 는 초기 미생물 수,  $N_t$ 는 t 시간에서의 미생물 수를 말한다.



**Fig. 2. Reductions of *Salmonella Typhimurium* DT 104 (7.6 log CFU/cm<sup>2</sup>) on polystyrene by the cold plasma treatments.** Treatment conditions: electric field, 30kV/cm; frequency, 60 Hz; pressure, atmospheric pressure; □, 5 L He/min; ■, 5 L He/min+100 mL O<sub>2</sub>/min. Different letters on the bars indicate significant difference at  $p < 0.05$ .

### 통계처리

미생물, 플라즈마 처리 기체 및 처리 시간, 미생물이 접종된 재료, 그리고 저해 효과가 실험 변수로 사용되었고 총 3회 반복 실험이 이루어졌다. PASW Statistics 18(IBM Co., Ver. 18.0.0, NY, USA)을 이용하여 실험을 통해 얻은 미생물 저해 데이터들을 1원 분산분석(one-way ANOVA)하였고, 95% 신뢰 수준에서 다중 비교법 중 최소유의차(least significant difference, LSD)를 이용하여 유의성을 검증하였다.

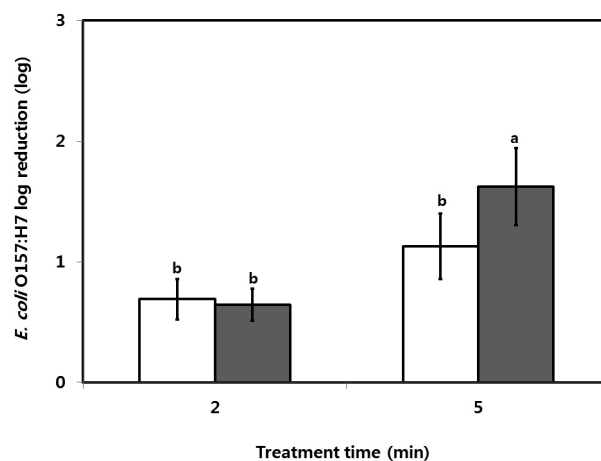
## 결과 및 고찰

### PS 필름

헬륨 가스를 사용하여 2분과 5분 비열 플라즈마 처리하였을 때 *S. Typhimurium*은 각각 1.2±0.1 log와 2.0±0.2 log가 저해되었고(Fig. 2), 이때 D 값은 1.4분이었다(Table 1). *E. coli* O157:H7은 2분과 5분 처리 시 각각 0.7±0.2 log와 1.1±0.3 log가 저해되었으며(Fig. 3), 이때 D 값은 4.2분이었다(Table 1). *L. monocytogenes*는 처리 시간에 관계없이 0.7±0.1 log 저해되었다(Fig. 4). *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes*의 저해에 있어서 2분과 5분의 처리 시간 차이는 저해 정도에 크게 영향을 미치지 않았다(Fig. 3-4). 헬륨 가스를 사용한 비열 플라즈마 처리는 PS 필름에 접종된 식중독균들의 저해에 있어 D 값이 1.4분인 *S. Typhimurium*를 가장 효과적으로 저해시켰다.

*E. coli*를 저해하는 헬륨 가스 비열 플라즈마 처리의 D 값이 1.2분으로 Yu 등(17)에 의해 보고되었었다(Table 1). 본 연구에서 보다 그 처리의 저해 능력이 컸던 이유 중 하나는 Yu 등(17)의 처리가 본 연구의 처리 보다 약 233배 높은 교류 진동수를 이용하였기 때문으로 사려된다. Deng 등(14)의 대기를 사용한 플라즈마 처리 연구에서 적용되는 교류 진동수(1.2-2.4 kHz)의 *E. coli* 저해에 대한 효과가 보고 된 바 있다(Table 1).

본 연구에서 헬륨 가스를 사용한 플라즈마 처리에 의한 *S. Typhimurium*, *E. coli* O157:H7, 그리고 *L. monocytogenes*의 저해 정도는 미생물 종류에 따라 다르게 나타났다(Table 1). Lee 등(16)과 Ben Gadri 등(18)의 연구에서도 동일한 조건의 플라즈마 처리에 의한 미생물의 저해 정도가 미생물 종류에 따라 다르게 나타



**Fig. 3. Reductions of *Escherichia coli* O157:H7 ATCC 35150 (8.0 log CFU/cm<sup>2</sup>) on polystyrene by the cold plasma treatments.** Treatment conditions: electric field, 30kV/cm; frequency, 60 Hz; pressure, atmospheric pressure; □, 5 L He/min; ■, 5 L He/min+100 mL O<sub>2</sub>/min. Different letters on the bars indicate significant difference at  $p < 0.05$ .

났으며(Table 1), 이는 각각 미생물이 가진 세포벽 구조의 차이 때문인 것으로 설명되었다(16).

헬륨과 산소를 동시에 사용한 경우 2분과 5분 처리하였을 때 *S. Typhimurium*은 각각 0.5±0.1 log와 1.2±0.1 log가 저해되었으며(Fig. 2), *E. coli* O157:H7은 각각 0.6±0.1 log와 1.6±0.3 log가 저해되었다(Fig. 3). *L. monocytogenes*의 경우 2분과 5분 처리되었을 때, 각각 1.6±0.6 log와 3.9±0.8 log가 저해되었다(Fig. 4). 헬륨과 산소를 동시에 사용한 비열 플라즈마의 *S. Typhimurium*, *E. coli* O157:H7, 그리고 *L. monocytogenes*에서의 D 값은 각각 4.0분, 2.7분, 그리고 1.2분이었다(Table 1). 모든 식중독균의 헬륨과 산소를 동시에 사용한 비열 플라즈마에 의한 저해 정도는 처리 시간이 증가함에 따라서 증가하였고(Fig. 2-4), 헬륨과 산소를 사용한 비열 플라즈마 처리는 PS 필름에 접종된 식중독균들의 저해에 있어 D 값이 1.2분으로 나타난 *L. monocytogenes*에 가장 높은 항균 효과를 보였다.

헬륨만 사용한 플라즈마 처리보다 헬륨과 산소를 동시에 사용한 플라즈마 처리에서 *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes*의 저해 정도가 더 크게 나타났다(Table 1). 플라즈마 처리에 사용된 가스 종류에 따라 미생물의 저해 정도가 다르게 나타난 것은 Mok과 Song(13)의 연구에서도 관찰되었다(Table 1).

PS는 polyethylene(PE), polypropylene(PP) 등과 함께 식품 포장에 많이 사용되는 재료이다(19). 헬륨과 산소 가스를 사용한 비열 플라즈마 처리는 합성 플라스틱으로 포장된 식품에서 공정 후 포장 표면에 감염된 *L. monocytogenes*를 효과적으로 저해할 가능성을 보여주었다.

### 소시지 케이싱과 훈제연어

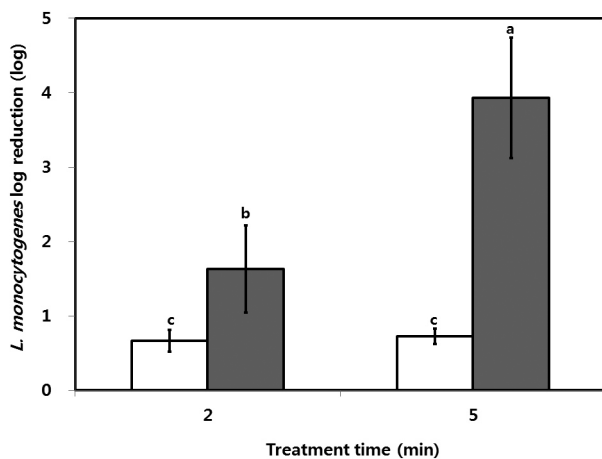
PS 필름에 감염된 식중독균의 저해 연구에서 헬륨과 산소를 동시에 사용한 비열 플라즈마 처리가 *L. monocytogenes* 저해 정도에 있어 헬륨만 사용한 처리보다 더 높게 나타났기 때문에 소시지 케이싱과 훈제연어에 감염된 *L. monocytogenes* 저해 연구에는 헬륨과 산소가 함께 사용되었다.

헬륨과 산소를 동시에 사용한 비열 플라즈마 처리는 소시지 케이싱과 훈제연어에 감염된 *L. monocytogenes*를 그 처리 시간에 상관없이 모두 1 log 이하로 저해하였다(Fig. 5). 다양한 편이식

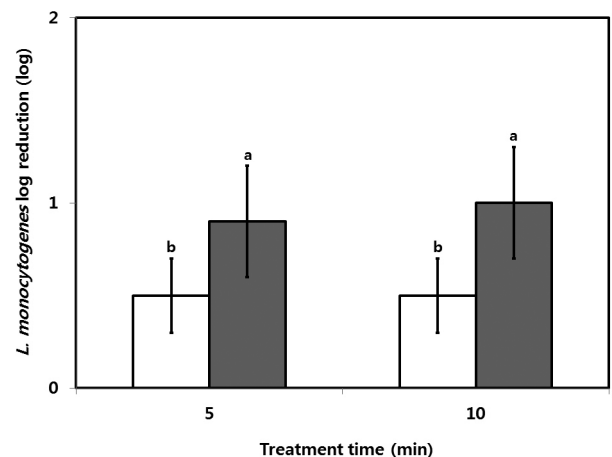
**Table 1. Reported D values and conditions for inhibiting foodborne pathogens by nonthermal plasma treatments**

Material	High-voltage AC power supply		Gas (flow rate)	Treatment time (min)	Microorganism	D value (min)	Reference	
	Power	Frequency						
Polysterene	15 kV (100 W)	60 Hz	He (5 L/min)	2.0 or 5.0	<i>S. Typhimurium</i>	1.4	Present study	
					<i>E. coli</i> O157:H7	4.2		
					<i>L. monocytogenes</i>	ND <sup>1)</sup>		
					<i>S. Typhimurium</i>	4.0		
					<i>E. coli</i> O157:H7	2.7		
Sausage casing Smoked salmon			He (5 L/min) + O <sub>2</sub> (100 mL/min)	5.0 or 10.0	<i>L. monocytogenes</i>	1.2		
					<i>L. monocytogenes</i>	ND <sup>1)</sup>		
Disposable plastic tray (polystyrene)	75-150 W	13.56 MHz	He (4 L/min)	0.5-2.0	<i>L. monocytogenes</i>	0.3-0.8	(2)	
Aluminum foil						0.5-2.2		
Paper cup						0.7-8.8		
Glass	1.5kV	50 kHz	Air	≤10.0	<i>E. coli</i>	0.6	(13)	
			O <sub>2</sub>			0.8		
			N <sub>2</sub>			1.0		
Almonds	16-30 kV	1.2-2.4 kHz	Air	0.2, 0.3, or 0.5	<i>E. coli</i>	0.1-0.6	(14)	
Nitrocellulose membrane filter	6 kV	10 kHz	He + O <sub>2</sub>	≤2.0	<i>E. coli</i>	0.3	(16)	
						<i>Staphylococcus aureus</i>		0.3
						<i>Saccharomyces cerevisiae</i>		1.8
Polycarbonate membrane	6 kV	14 kHz	He	≤3.0	<i>E. coli</i>	1.2	(17)	
Polypropylene	10 kV	7 kHz	Air	0.4	<i>E. coli</i>	0.1	(18)	
Agar				5.0		1.2		
Glass				1.2		0.6		
				0.8		<i>Deinococcus radiodurans</i>		0.1
				1.0		<i>Bacillus subtilis</i>		0.2
Sliced cheese	75-150 W	13.6 MHz	He (10 L/min)	0.5-2.0	<i>L. monocytogenes</i>	0.3-1.2	(20)	
Sliced ham						1.1-7.9		

<sup>1)</sup>ND: Not determined.



**Fig. 4. Reductions of *Listeria monocytogenes* 19114 (8.0 log CFU/cm<sup>2</sup>) on polystyrene by the cold plasma treatments.** Treatment conditions: electric field, 30 kV/cm; frequency, 60 Hz; pressure, atmospheric pressure; □, 5 L He/min; ■, 5 L He/min+100 mL O<sub>2</sub>/min. Different letters on the bars indicate significant difference at  $p < 0.05$ .



**Fig. 5. Reductions of *Listeria monocytogenes* 19114 on sausage casing or smoked salmon by the cold plasma treatment.** Treatment conditions: electric field, 30 kV/cm; frequency, 60 Hz; pressure, atmospheric pressure; □, sausage casing; ■, smoked salmon. Inoculum levels for sausage casing and smoked salmon were 8.1 log CFU/cm<sup>2</sup> and 5.5 log CFU/g, respectively. Different letters on the bars indicate significant difference at  $p < 0.05$ .

품(ready-to-eat 식품)의 살균에 있어 5 D 정도의 *L. monocytogenes* 저해가 성취돼야 한다고 가정했을 때, 본 연구에서 사용된 비열 플라즈마 처리는 편이식품 살균에 효과적이지 못했다.

소시지 케이싱과 훈제연어에 *L. monocytogenes*를 접종할 때, 접종원이 표면에서 식품의 내부로 이동되었다면 플라즈마가 내부에 존재하는 *L. monocytogenes*를 효율적으로 저해시키지 못했을 수 있었을 것이다. Yun 등(2)은 플라즈마 처리가 식품 내부에 존재하는 미생물에 대해 저해 효과를 나타내기 위해서는 플라즈마로부터 생성된 미생물 저해 물질이 식품 내부로 확산되어야 하기 때문에 식품의 표면에 감염된 미생물을 저해할 때 보다 더 많은 처리 시간이 요구될 것이라고 하였다. 본 연구에서 사용된 비열 플라즈마 처리를 이용하여 소시지 케이싱과 훈제연어에 감염된 *L. monocytogenes*를 효과적으로 저해하기 위해서는 더욱 긴 처리 시간이 필요할 것으로 사료된다.

본 연구에서 같은 조건의 플라즈마 처리에 의한 *L. monocytogenes* 저해 정도는 PS 필름에서 가장 높았고, 소시지 케이싱 그리고 훈제연어 순으로 나타나 감염된 소재에 따라 저해 정도에 차이가 생겨남을 알 수 있었다. Song 등(20)과 Yun 등(2)의 비열 플라즈마 연구에서도 다양한 재료에 감염된 *L. monocytogenes*가 같은 플라즈마 처리에 대해 다르게 저해되는 것이 관찰되었다(Table 1). Ben Gadri 등(18)의 플라즈마 연구에서도 polypropylene, 유리, 그리고 agar에 감염된 *E. coli*의 저해에 있어 그 D 값이 각각 0.1분, 0.6분, 그리고 1.2분으로 미생물이 감염된 재료에 따라 그 저해 정도가 다르게 나타났다(Table 1). 미생물이 감염된 재료에 따라 그 저해 정도가 다르게 나타난 것은 미생물이 감염된 재료의 특성 중 단면의 거칠기와 관계된 것으로 설명되었다. 거친 표면은 미생물이 재료 내부로 유입되게 할 수도 있고 미생물에게 항균 처리를 피할 수 있는 공간을 제공할 수도 있기 때문이다(2,18,20).

## 요 약

PS 필름에 접종된 *S. Typhimurium*, *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*를 저해시킬 때 헬륨을 사용한 플라즈마 처리의 경우에는 *S. Typhimurium*이, 헬륨과 산소를 동시에 사용한 플라즈마 처리의 경우에는 *L. monocytogenes*가 가장 많이 저해되었다. *E. coli* O157:H7과 *L. monocytogenes*는 헬륨과 산소를 함께 사용하여 플라즈마 처리하였을 때 헬륨만 사용하였을 때보다 더 큰 저해를 보였다. 헬륨과 산소를 함께 사용한 비열 플라즈마 처리는 *L. monocytogenes*가 소시지 케이싱이나 훈제연어에 감염되었을 때보다 PS 필름에 감염되었을 때 *L. monocytogenes*를 더 효과적으로 저해시켜 감염된 재료에 따라 다른 저해 효과를 보여 주었다. 비열 플라즈마 처리에 사용된 가스의 종류와 미생물이 감염된 재료는 그 처리의 항균 효과에 대한 평가에서 중요하게 고려되어야 할 것이다. 헬륨과 산소를 사용한 비열 플라즈마 처리는 공정 후 포장재에 감염된 *L. monocytogenes*를 효과적으로 저해할 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

이 논문은 2011학년도 서울여자대학교 자연과학연구소 교내 학술연구비의 지원을 받았음.

## 문 헌

1. Luksiene Z, Buchovec I, Paskeviciute E. Inactivation of several strains of *Listeria monocytogenes* attached to the surface of packaging material by Na-chlorophyllin-based photosensitization. *J. Photochem. Photobiol. B* 101: 326-331 (2010)
2. Yun H, Kim B, Jung S, Kruk ZA, Kim DB, Choe W, Jo C. Inactivation of *Listeria monocytogenes* inoculated on disposable plastic tray, aluminum foil, and paper cup by atmospheric pressure plasma. *Food Control* 21: 1182-1186 (2010)
3. Min S, Evrendilek GA, Zhang HQ. Pulsed electric fields: processing system, microbial and enzyme inactivation, and shelf life extension of foods. *IEEE T. Plasma Sci.* 35: 59-73 (2007)
4. Paskenviciute E, Buchovec I, Luksic Z. High-power pulsed light for decontamination of chicken from food pathogens: A study on organoleptic properties. *J. Food Safety* 31: 61-68 (2011)
5. Grecz N, Rowley DB, Matsuyama A. The action of radiation on bacteria and viruses. pp. 167-218. In: *Preservation of Foods by Ionizing Radiation*. 2<sup>nd</sup> ed. Josephson ES, Peterson MS (eds). CRC Press, Boca Raton, FL, USA (1983)
6. Knorr D. Hydrostatic pressure treatment of food: microbiology. pp. 159-175. In: *New Methods of Food Preservation*. Gould GW (ed). Blackie Academic & Professional, London, UK (1995)
7. Zhang Q, Barbosa-Canovas GV, Swanson BG. Engineering aspects of pulsed electric field pasteurization. *J. Food Eng.* 25: 261-281 (1995)
8. Shama G. Process challenges in applying low doses of ultraviolet light to fresh produce for eliciting beneficial hormetic responses. *Postharvest Biol. Tec* 44: 1-8 (2007)
9. Laroussi M. Low temperature plasma-based sterilization: overview and state-of-the-art. *Plasma Process. Polym.* 2: 391-400 (2005)
10. Ragni N, Berardinelli A, Vannini L, Montanari C, Sirri F, Guerzoni ME, Guarnieri A. Non-thermal atmospheric gas plasma device for surface decontamination of shell eggs. *J. Food Eng.* 100: 125-132 (2010)
11. Gilliland SE, Speck ML. Mechanism of the bactericidal action produced by electrohydraulic shock. *Appl. Environ. Microb.* 15: 1038-1044 (1967)
12. Gweon BM, Kim DM, Moon SY, Choe W. *Escherichia coli* deactivation study controlling the atmospheric pressure plasma discharge conditions. *Curr. Appl. Phys.* 9: 625-628 (2009)
13. Mok CK, Song DM. Low-pressure plasma inactivation of *Escherichia coli*. *Food Eng. Progress* 14: 202-207 (2010)
14. Deng S, Ruan R, Mok CK, Huang G, Lin X, Chen P. Inactivation of *Escherichia coli* on almonds using nonthermal plasma. *J. Food Sci.* 72: M62-M66 (2007)
15. Boucher RM. State of the art in gas plasma sterilization. *Med. Device Diagn. Ind.* 7: 51-56 (1985)
16. Lee K, Paek K, Ju WT, Lee Y. Sterilization of bacteria, yeast, and bacterial endospores by atmospheric-pressure cold plasma using helium, and oxygen. *J. Microbiol.* 44: 269-275 (2006)
17. Yu H, Pemi S, Shi JJ, Wang DZ, Kong MG, Shama G. Effects of cell surface loading and phase of growth in cold atmospheric gas plasma inactivation of *Escherichia coli* K 12. *J. Appl. Microbiol.* 101: 1323-1330 (2006)
18. Ben Gadri R, Reece Roth J, Montie TC, Kelly-Wintenberg K, Tsai PPY, Helfritsch DJ, Feldman P, Sherman DM, Karakary F, Chen Z, UTK Plasma Sterilization Team. Sterilization and Plasma processing of room temperature (surfaces with a one atmosphere uniform glow discharge plasma (OAugDP). *Surf. Coat. Tech.* 131: 528-542 (2000)
19. Ozen BF, Floros JD. Effects of emerging food processing techniques on the packaging materials. *Trends. Food Sci. Tech.* 12: 60-67 (2001)
20. Song HP, Kim B, Choe JH, Jung S, Moon SY, Choe WH, Jo C. Evaluation of atmospheric pressure plasma to improve the safety of sliced cheese and ham inoculated by 3-strain cocktail *Listeria monocytogenes*. *Food Microbiol.* 26: 432-436 (2009)