

광 펄스 처리 조건에 의한 식중독균 사멸에 미치는 영향

신정규¹ · 권오연 · 박민우 · 손석민*

¹전주대학교 한식조리학과, 호서대학교 식품공학과

Effect of High Intensity Pulsed Light Treatment Conditions on Inactivation of Pathogens

Jung-Kue Shin¹, Oh Yeoun Kwon, Min Woo Park, and Seok Min Son*

¹Department of Korean Cuisine, JeonJu University

Department of Food Science and Technology, Hoseo University

Abstract

Most of foods were secured their microbiological safety by heat treatment. However, the quality of food was also reduced by heat treatment. Therefore, non-thermal treatments were recently suggested as an alternative methods for heat treatment. Among the non-thermal treatments, the high intensity pulsed light (IPL) treatment was investigated in this study to find out the most important processing factors for killing the food borne pathogens. First of all, in order to know whether the initial cell concentration affects on death rate, the death rates of two different pathogens were measured at three different intial cell load. As a result, there was no significant different in death rates on two different pathogens. Additionally, the penetration thickness of pulse light showed the most important processing factors on sterilization by IPL treatment in that the survival ratio of bacteria was dramatically increased by increasing the thickness. The lethal effect of surround medium color showed that there was no significance on death rate of bacteria by adsorption of light.

Key words: nonthermal sterilization, intensity pulse light(IPL), pathogens

서 론

건강에 대한 관심이 높아지면서 소비자들은 가공식품의 기호성, 기능성뿐만 아니라 위생과 안전을 보장할 수 있는 고품질의 식품을 요구하고 있다. 식품의 위생과 안전을 확보하기 위하여 아직까지도 식품산업에서는 가열처리에 의한 살균방법을 대부분 이용하고 있으나 이는 식품의 영양학적 손실뿐만 아니라 관능적 품질을 떨어트리는 단점이 있다(Cho et al., 2002). 이러한 이유로 가열살균을 대체할 수 있는 비가열 살균에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이러한 비가열 살균 기술 중 하나인 광펄스 기술은 자외선(ultraviolet)부터 근적외선(near infrared)부분까지의 폭 넓은 범위의 빛을 짧은 시간동안 강하게 조사하여 식품의 표면에 존재하는 미생물을 사멸시키는 기술로 Intense

Pulsed-Light, IPL(Choi et al., 2009), Pulsed White Light, WHL(Marquenie et al., 2003), High Intensity Broad-spectrum Pulse Light(Roberts et al., 2003), Pulsed UV Light(Sharma et al., 2003), Pulse Light(Rowan et al., 1999) 등의 여러 가지 이름으로 사용되어지고 있다. 광 펄스 처리에서 사용되어지는 빛은 400 nm과 500 nm사이에서 peak emission을 하는 햇빛과 매우 비슷하고 해수면에 쬐지는 햇빛에 비해 20,000 배의 강도를 갖으며(Dunn, 1996), 기존 연속적 자외선 처리보다 훨씬 짧은 시간이 걸리고 효과가 높기 때문에 UV 살균과는 구별된다(Takeshita et al., 2003). 광 펄스 처리에 사용되는 빛은 0.01-50 J/cm² 범위의 에너지 밀도를 가지며, 1 μs-0.1 s의 폭을 갖는 펄스를 초당 1-20 회 조사하는 플래쉬 형태로 식품에 가해지며 광원으로 는 일반적으로 450 torr 정도의 압력으로 xenon이 채워진 clear fused quartz tube가 사용된다. 이러한 광펄스 기술의 적용은 가열살균이 어려운 야채나 과일, 생선등과 같은 식품의 표면에 존재하는 유해미생물을 감소시켜 제품의 유통 기한을 연장하고 품질을 높이기 위한 목적으로 사용되고 있다. 또한 식품 표면의 살균뿐만 아니라 포장재, 의약품의 표면 미생물 수를 감소시켜 식품 표면 살균 외의 다른 분

*Corresponding author: Seok Min Son, Department of Food Science and Technology, Hoseo University, Baebang-eup, Asan, 336-795, Korea

Tel: +82-41-540-5643; Fax: +82-41-532-5640

E-mail: sson@hoseo.edu

Received September 13, 2012; revised November 19, 2012; accepted November 20, 2012

야의 적용 가능성을 보고 하였고(Dunn et al., 1995), 액상 식품인 음료에서도 살균의 가능성을 보였다(Keyser et al., 2008). 광펄스에 의한 미생물의 사멸기작은 photothermal, photochemical 효과 그리고 DNA 손상등에 의한 것으로 보고되고 있으나 이 중 어느 하나로 보기는 어려우며 세 가지 기작이 모두 작용하는 것으로 판단된다(Shin et al., 2011). 그러나 우리나라의 경우에는 아직까지 광 펄스 살균 기술에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

본 연구는 광 펄스의 처리시간, 처리시료의 두께와 색에 따른 미생물의 불활성화의 영향을 알아보고 이를 통해 실제 식품에 적용시킬 수 있는 기초자료를 확보하고자 한다.

재료 및 방법

사용균주 및 배양조건

본 실험에 사용된 균주는 *Bacillus subtilis* ATCC 51189, *Staphylococcus aureus* KCCM 40050, *Escherichia coli* ATCC 9633, *Salmonella typhimurium* ATCC 12023으로 한국중균협회 부설 한국 미생물보존센터(Korea Culture Center of Microorganisms, KCCM)로부터 분양받아 사용하였다. 모든 균주들은 nutrient broth(NB, Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)에 37°C의 온도에서 20 시간 전 배양시킨 후 NB 배지가 50 mL이 들어있는 100 mL 삼각 플라스크에 2%(v/v)접종하여 같은 온도에서 200 rpm으로 대수 증식기 후반기 까지 8-10 시간 배양하여 사용하였으며, 이 때 균체 농도는 10^9 CFU/mL 수준이었다.

광원 및 광 펄스 실험 장치

광 펄스 처리를 위한 광원은 59 kPa의 압력으로 xenon을 충전한 quartz 재질의 Heraeus Noblelight XAP series(type NL 4006, Heraeus Noblelight GmbH, Hanau, Germany)를 사용하였다. Lamp에 인가되는 전원의 세기와 파형은 digital phosphor oscilloscope(TDS 3032C, Tektronix Inc., Beaverton, OR, USA)로 측정하였다.

광 펄스 실험장치의 전체적인 시스템은 크게 전원 공급기(power supply), 펄스 발생기(pulse generator), 펄스 변압기(transformer), 광원(light source) 그리고 처리 용기(treatment chamber)로 구성 되어져 있다(Fig. 1). 전원 공급기는 220 V AC의 입력 전원을 고전압 변압기를 통하여 승압하고 DC로 정류하여 최대 50 kV DC 전원을 발생시킬 수 있도록 하였으며, 최대 허용치 전력은 50 kW이다. 펄스 발생기는 광원에 펄스를 구성시킬 수 있는 펄스 발생망(pulse forming network, PFN)과 고전압의 전기를 순간적으로 방전시킬 수 있는 스위치로 구성되어져 있으며, 펄스 발생망은 광원에 인가되는 펄스의 형태와 길이를 결정하는 중요한 부분으로서 전원 공급부에서 공급된 전원을 충전하고 펄스의 상승시간(rising

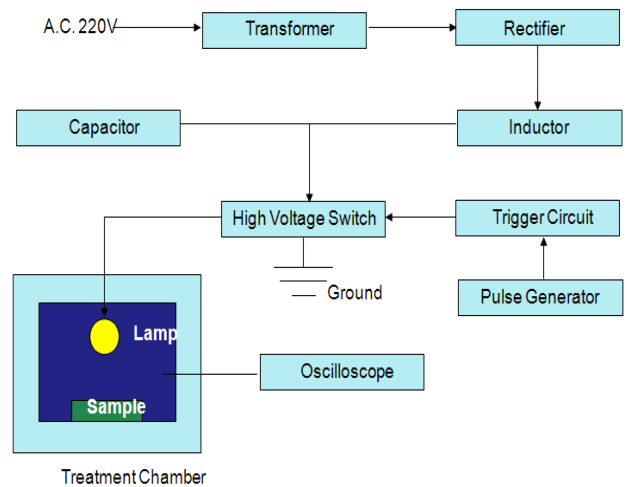


Fig. 1. Schematic diagram of Intense Pulsed Light system.

time)을 결정하는 축전지(capacitor, 1800 pF/each), 펄스의 길이와 하강시간(falling time)을 조절하는 방전 지연 유도기(discharge delay inductor, 2-20 μ H)로 되어 있으며, exponential decay pulse와 square wave pulse를 발생시킬 수 있도록 구성되었다. 광 펄스 처리 용기는 회분식 처리를 위하여 1 개의 lamp를 연결하고 시료와의 거리를 조절할 수 있도록 설계하였다. 실험에 사용된 각 균주 현탁액을 분주한 35 mm(지름) \times 10 mm(높이)의 페트리디시를 처리용기에 올려놓고 용기를 밀봉하였고 공통적으로 주파수 5 Hz, 전압 25 kV의 DC를 제는 가스로 충전한 석영 재질의 램프에 직접 인가하여 처리하였다. 초기 미생물수에 따른 영향을 보기 위하여 *B. subtilis*, *E. coli*를 10^9 CFU/mL의 농도의 균 현탁액을 제조한 후 10^7 CFU/mL, 10^5 CFU/mL 농도로 희석하여 각각 1500 μ s(5 min)동안 광 펄스 처리를 하였다. 그리고 처리시간(250 μ s, 500 μ s, 1000 μ s, 1500 μ s), 배지두께(0.346 mm(350 μ L), 0.572 mm(550 μ L), 1.072 mm(1030 μ L), 1.572 mm(1512 μ L), 2.072 mm(1993 μ L), 2.572 mm(2475 μ L), 3.072 mm(2956 μ L)), 배지바탕색(노란색, 빨간색, 초록색, 파란색, 검은색)을 달리한 처리구에 광 펄스 처리를 하였다.

사멸을 측정

광 펄스 처리 각 균주를 단계별 희석한 후 한천 평판배지에 100 μ L를 분주하여 도말한 후 최적 온도 37°C에서 24-48 시간 배양하고 균락수(colony)를 계수하여 CFU/mL로 나타내었다. 한 평판에 30-300 개 이내 집락이 나온 것을 계수하였으며 각 실험구를 3 번 반복 실험하였다.

통계 분석

본 실험은 3 회 반복하여 그 평균값을 사용하였고 선형 회귀법을 사용하여 상관관계를 나타내었다.

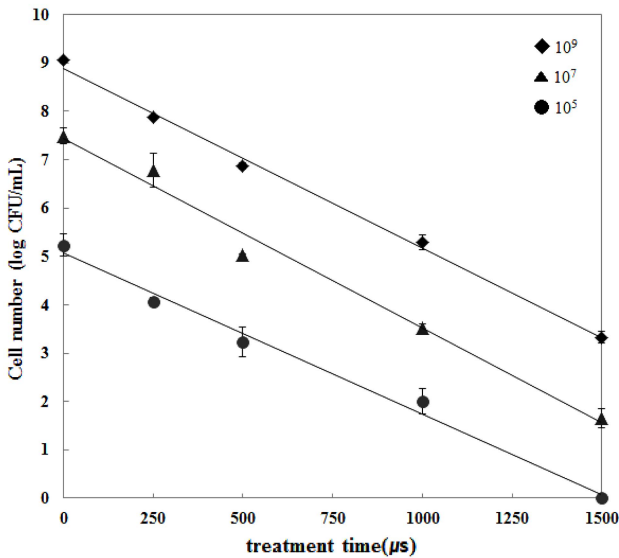


Fig. 2. Influence of initial cell concentration on the inactivation of *B. subtilis* by high intensity pulsed light.

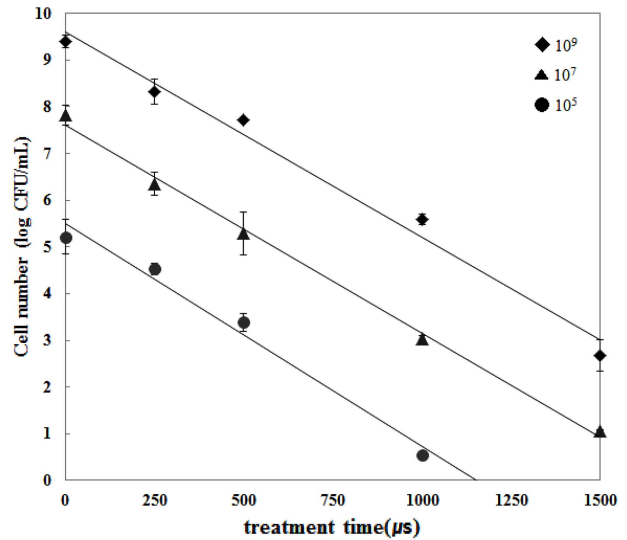


Fig. 3. Influence of initial cell concentration on the inactivation of *E. coli* by high intensity pulsed light.

결과 및 고찰

초기 미생물수에 따른 사멸 효과

초기 미생물수에 따라서 광 펄스의 미생물 불활성화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 *B. subtilis*, *E. coli*에 적용하였다. Fig. 2는 *B. subtilis* 초기 미생물수가 10⁵ CFU/mL, 10⁷ CFU/mL, 10⁹ CFU/mL의 세 가지 미생물의 농도를 가진 현탁액을 이용하여 광 펄스 처리를 한 결과 10⁵ CFU/mL와 10⁷ CFU/mL의 미생물은 모두 사멸하였고, 10⁹ CFU/mL의 균은 5 log 감소하였다. 그리고 Fig. 3은 *E. coli* 결과로 10⁵ CFU/mL, 10⁷ CFU/mL의 미생물에서 *B. subtilis*와 같이 모두 사멸하였고, 10⁹ CFU/mL의 미생물에서 6 log 감소하는 경향을 보였다. 10⁹ CFU/mL의 농도에서 *B. subtilis*보다 *E. coli*가 광 펄스에 1 log 더 사멸되는 것을 확인할 수 있었으며 이는 *B. subtilis*가 포자를 생성하는 균으로 일반적으로 열, 빛 등의 외부조건에 *E. coli*보다 더 큰 저항력을 갖고 있기 때문으로 생각된다. 그리고 *E. coli*와 *B. subtilis*의 초기 미생물 농도에 따라서 사멸율을 비교한 결과(Table 1) 두 미생물 모두 초기 농도에 따른 사멸율과의 통계학적으로 유의적인 차이를 보이지 않았다($p < 0.05$). 이는 Zhang et al.(1995)에서 초기 균체량이 세포의 사멸 정도에 영향을 미치지 않는다고 하였고 Son & Shin(2008)에 연구에서도 *Saccharomyces cerevisiae*의 초기 균체량이 세포 사멸율에 미치는 영향은 미미하다고 보고한 결과와 일치하였다. 그래서 *E. coli*와 *B. subtilis* 모두 초기 균체 농도에 따라 광 펄스의 미생물 사멸율에 미치는 영향은 낮은 것으로 판단되었다.

Table 1. Death rates of *Bacillus subtilis* and *Escherichia coli* at various initial cell concentration by high intensity pulsed light.

Initial load (CFU/mL)	<i>Bacillus subtilis</i>		<i>Escherichia coli</i>	
	Death rate (μs ⁻¹)	R ²	Death rate (μs ⁻¹)	R ²
10 ⁹	0.0037	0.9963	0.0044	0.9854
10 ⁷	0.0039	0.9854	0.0045	0.9962
10 ⁵	0.0033	0.9900	0.0048	0.9813

처리 시간에 따른 유해미생물의 사멸 효과

Krishnamurthy et al.(2004)의 *Staphylococcus aureus*를 대상으로 한 연구 결과에 따르면 완충 용액이나 평판배지 상에서 광 펄스 처리를 5 초 동안 하였을 경우 약 7.5-8 log 사멸시킬 수 있다고 보고하였으며, Ghasemi et al.(2003)은 *E. coli*와 *Salmonella*를 액체에 현탁하여 약 900 J(9 J/pulse)의 에너지를 가하여 9 log의 사멸율을 얻었고, *E. coli*의 경우 450 J(4.5 J/pulse)의 에너지를 가하여 7 log의 사멸율을 얻을 수 있다고 보고하였다. 본 연구에서는 새롭게 구성한 광펄스 처리 장치가 식품에 존재하는 유해 미생물의 불활성화에 어느 정도 효과가 있는지를 알아보기 위하여 4종의 대표적인 유해미생물에 대한 광펄스 처리시간에 따른 미생물의 사멸 정도를 조사하였으며, 그 결과 Fig. 4에서와 같이 *B. subtilis*, *S. aureus* 그리고 *S. typhimurium*는 1500 μs까지 처리 시 6 log 감소함을 보였다. *B. subtilis*는 초기 1.13×10⁹ CFU/mL에서 2.12×10³ CFU/mL, *S. aureus*는 5.05×10⁹ CFU/mL에서 2.72×10³ CFU/mL로 그리고 *S. typhimurium*는 2.65×10⁹ CFU/mL에서 5.25×10³ CFU/mL로 감소하여 1500 μs 시간 처리 시 약 6의 생균수 감소를 보였다. 또한 *E. coli*의 시간에 따른 사멸 효과를 보여주는 그래프로서 250 μs 처리

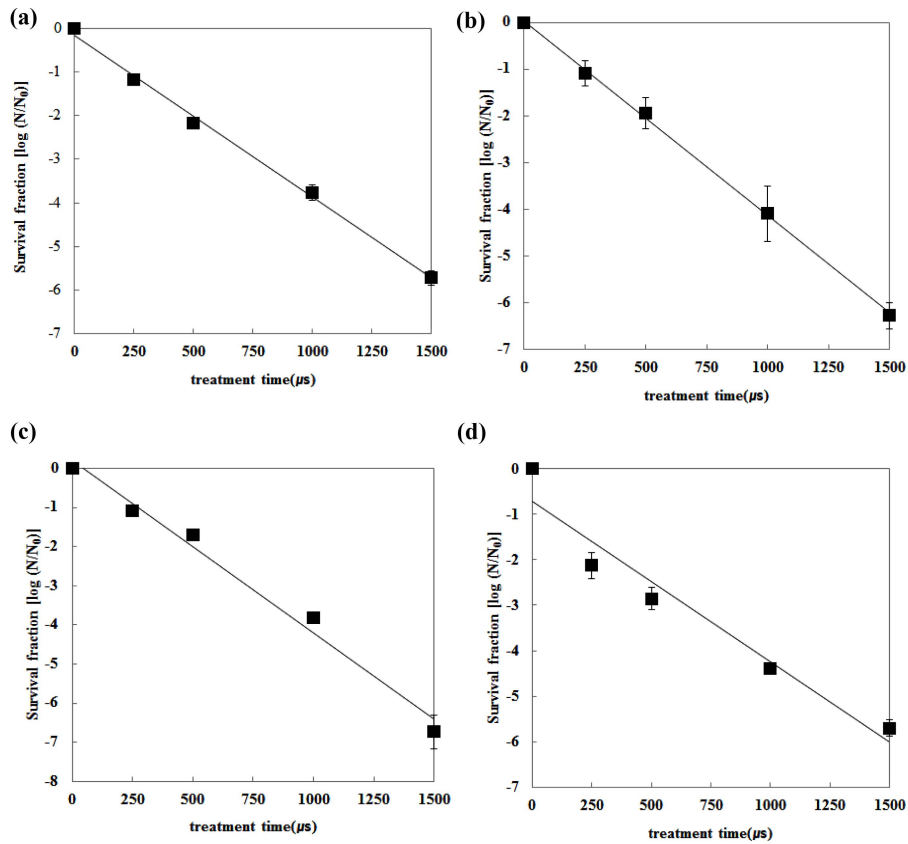


Fig. 4. Survival ratio of pathogens by high intensity pulsed light treatment at 25 kV. (a) *B. subtilis*, (b) *S. aureus*, (c) *E. coli*, (d) *Salmonella typhimurium*

시 1 log의 감소를 보였고, 1500 μs까지 처리 시 7 log 감소를 보였다. 처리 시간이 커짐에 따라서 미생물들의 사멸 속도는 직선적으로 증가하였고 이는 가열 살균 시 가열시간에 따라 미생물의 사멸속도는 1 차 반응속도와 유사하여 아래와 같은 관계식으로 정리할 수 있었다.

$$\log \frac{N}{N_0} = -K_L t$$

N_0 는 초기 미생물수, N 은 광 펄스 처리 후 살아있는 미생물수, k_L 은 사멸 속도 상수, t 는 처리 시간이다. 그리고 미생물 종류에 따른 사멸속도를 Table 2에 *E. coli*가 0.0044, *S. aureus*가 0.0042, *B. subtilis*는 0.0037, *S. typhimurium*가 0.0035 순으로 나타냈다.

두께에 따른 유해미생물의 불활성화 효과

광 펄스 처리 후 미생물의 사멸율을 측정된 결과 초기균수를 평균적으로 6 log 감소시킴을 알 수 있었다. 그러나 이러한 사멸은 고체배지의 표면에 국한되는 단점을 가지고 있음을 파악할 수 있었다. 그러므로 본 실험에서는 액체배지를 이용하여 광 펄스 처리가 어느 정도의 살균 투과율을

Table 2. Death rates of 4 pathogens according to the applied time by high intensity pulsed light.

Microorganisms	Death Rate (μs^{-1})	R ²
<i>Bacillus subtilis</i>	0.0037±0.0001	0.9963
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.0042±0.0001	0.9991
<i>Escherichia coli</i>	0.0044±0.0003	0.9854
<i>Salmonella typhimurium</i>	0.0035±0.0003	0.945

가지고 있는지 알아보기로 하였다. 두께에 따른 미생물들의 불활성화 정도를 측정하기 위해 미생물의 초기농도를 10^9 CFU/mL로 만든 다음 시료의 두께를 변화시켜 주면서 (0.346 mm, 0.572 mm, 1.072 mm, 1.572 mm, 2.072 mm, 2.572 mm, 그리고 3.072 mm) 4종 유해미생물들의 생균수를 측정하였다. 그 결과 4종 유해미생물 모두 초기에는 두께가 증가할수록 생균수가 높았으며 두께 2 mm 이상에서는 모두 비슷한 수준의 생균수가 측정되었다(Fig. 5). *B. subtilis*는 초기 3.70×10^9 CFU/mL의 농도로 처리하여 0.346 mm에서 4.73×10^3 CFU/mL로 6 log 감소한 반면에 3.072 mm에서 2.17×10^7 CFU/mL로 2 log 감소하였다. *S. aureus*의 경우에는 초기 6.40×10^9 CFU/mL의 농도로 처리하

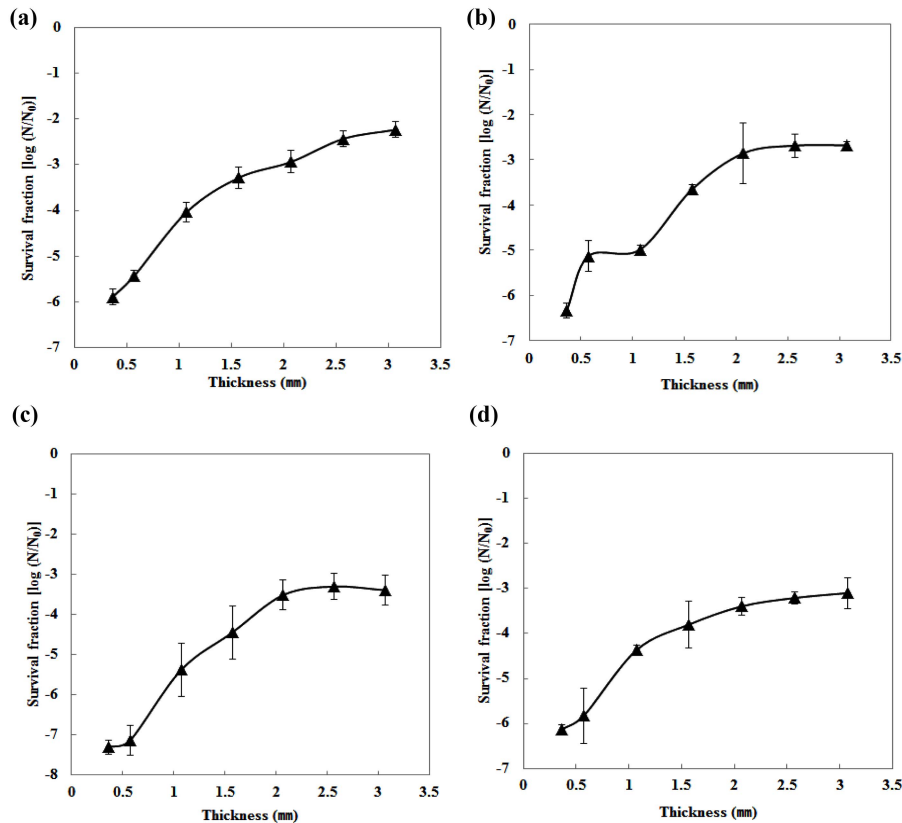


Fig. 5. The effect of the thickness on survival ratio of pathogens by high intensity pulsed light treatment (25 kV, 1500 μs). (a) *B. subtilis*, (b) *S. aureus*, (c) *E. coli*, (d) *Sal. typhimurium*

여 0.346 mm에서 3.00×10^3 CFU/mL로 6 log 감소하였으나 3.072 mm에서 1.35×10^7 CFU/mL로 3 log 감소하였다. *E. coli*는 초기 2.97×10^9 CFU/mL의 농도로 처리하여 0.346 mm에서 1.76×10^2 CFU/mL로 7 log 감소하였고 3.072 mm에서는 1.12×10^5 CFU/mL로 3 log 감소를 보였다. 그리고 *S. typhimurium*는 초기 3.52×10^9 CFU/mL의 농도로 처리하여 0.346 mm의 두께에서 2.63×10^3 CFU/mL로 6 log, 3.072 mm에서는 2.79×10^6 CFU/mL로 3 log 감소하였다. 위 결과로 알 수 있듯이 생존수가 두께에 따라 증가하다가 점차 일정해지는 로그 함수를 보였다. 그래서 생존수와 두께와의 상관관계를 알아본 결과 양의 상관관계가 있음을 알 수 있었으며(Table 3) 광 펄스 처리 시 두께에 따른 생존수 변화를 다음 식으로 나타낼 수 있었다.

$$\log \frac{N}{N_0} = Ct^n$$

N_0 는 초기 미생물수, N은 광 펄스 처리 후 살아있는 미생물수, C는 상수, t(thickness)는 처리 두께, n은 상수이다. 두께 민감 상수인 n은 *E. coli*가 4.9로 두께 변화에 제일 민감하였으며 *S. typhimurium*가 3.5로 가장 낮은 민감도를 나타내었다. 이는 *E. coli*가 두께가 증가하면 미생물의 사

Table 3. The death rates of 4 pathogens according to the applied thickness(mm) by high intensity pulsed light treatment.

Microorganisms	Death Rate (μs^{-1})	R ²
<i>Bacillus subtilis</i>	4.1547 ± 0.0527	0.9929
<i>Staphylococcus aureus</i>	4.0788 ± 0.2618	0.9464
<i>Escherichia coli</i>	4.9193 ± 0.2608	0.9652
<i>Salmonella typhimurium</i>	3.5776 ± 0.3861	0.9775

멸 효과가 급격히 저하될 수 있으며 *S. typhimurium*는 상대적으로 사멸 효과가 덜 감소할 수 있을 것이다. 즉, 두께 민감 상수가 4.9인 *E. coli*의 경우 두께가 2배 증가할 때 살균 효과는 약 16배 감소할 것이다.

색에 따른 유해미생물의 불활성화 효과

광 펄스 처리 시 투명도 및 배지의 색상이 미생물의 불활성화에 어떤 영향을 미치는지 알아보았다. 여러 가지 색상(노랑, 빨강, 파랑, 녹색 및 흑색)의 페트리디시를 준비하여 여기에 *E. coli*를 넣은 후 25 kV에서 1500 μs로 광 펄스 처리하여 생존하는 미생물 수를 계수하여 Fig. 6에 나타내었다. 초기 농도 4.74×10^9 CFU/mL에서 처리한 결과, 노랑,

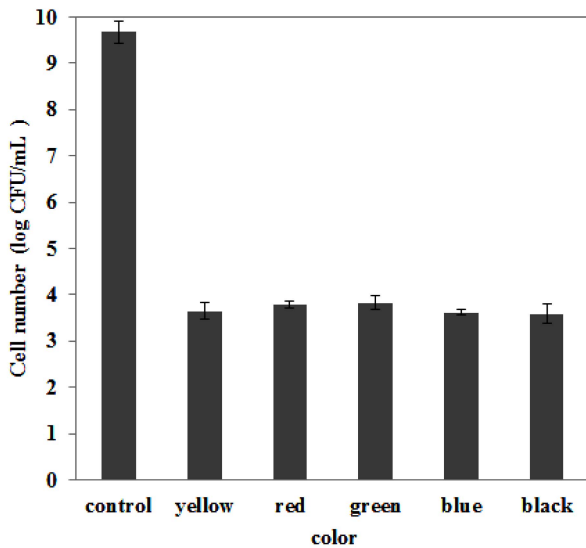


Fig. 6. Survival susceptibility of *E. coli* by high intensity pulsed light treatment(25 kV, 1500 μ s) at the various colors of culture suspension.

빨강, 파랑, 녹색, 흑색에서 각각 4.43×10^3 CFU/mL, 6.17×10^3 CFU/mL, 6.23×10^3 CFU/mL, 4.15×10^3 CFU/mL, 3.88×10^3 CFU/mL로 감소하였으며 5 가지 색 모두 6 log 감소함을 보여 색상에 따른 미생물 불활성화 효과는 유의적인 차이가 없는 것으로 판단된다.

요 약

대표적인 2 종의 미생물(*E. coli*, *B. subtilis*)을 이용하여 초기 미생물 농도에 대한 광 펄스의 영향을 살펴본 결과, 미생물의 사멸율이 초기 농도에 영향을 받지 않았고 25 kV에서 1500 μ s 처리 시 최소 5 log 이상의 미생물 감소를 보인다는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 4 종의 유해미생물(*B. subtilis*, *E. coli*, *S. aureus*, *S. typhimurium*)의 광 펄스 처리시간에 따른 미생물 사멸효과는 모든 미생물이 처리시간에 증가함에 따라 효과가 상승하였고 1500 μ s 처리 시 모든 미생물이 6 log 이상의 감소를 보였다. 또한 광 펄스 처리시간에 따른 미생물 사멸속도는 1 차 반응속도와 상응함을 알 수 있었다. 그리고 4 종 유해미생물의 배지 두께에 따라 미생물 불활성화 효과에 대한 민감 정도를 알아본 결과 *E. coli*의 두께 민감 상수가 4.9로 가장 높게 나타났으며 이는 시료의 두께가 증가함에 따라 미생물 사멸효과가 감소하는 것을 알 수 있었다. 마지막으로 여러 가지 색(노랑, 빨강, 파랑, 녹색, 흑색)에 따른 *E. coli*의 사멸 효과는 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다. 결과적으로 초기 균체농도, 광 펄스 처리 시간, 두께에 따른 미생물 사멸효과의 민감도 등이 실제 식품 적용하기 위한 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 호서대학교의 재원으로 학술연구비 지원(과제번호 20090557, 해당연구년도 2010년)을 받아 수행된 연구임

참고문헌

- Cho HY, Shin JK, Song YA, Yoon SJ, Kim JM, Pyun YR. 2002. Nonthermal pasteurization of lactic acid bacteria by high intensity light pulse. *Korean J. Food Sci. Technol.* 34: 631-636.
- Choi MS, Cheigh CI, Jeong EA, Shin JK, Park JY, Song KB. 2009. Inactivation of *Enterobacter sakazkii* inoculated on formulated infant foods by intense pulsed light treatment. *Food Sci. Biotechnol.* 18: 1537-1540.
- Dunn J, Ott T, Clark W. 1995. Pulsed-light treatment of food and packaging. *Food Technol.* 49: 95-98.
- Dunn J. 1996. Pulsed light and pulsed electric field for foods and eggs. *Poult Sci.* 75: 1133-1136.
- Ghasemi Z, Macgregor S, Anderson J, Lamont Y. 2003. Development of an integrated solid-state generator for light inactivation of food-related pathogenic bacteria. *Meas. Sci. Technol.* 14: N26-N32.
- Krishnamurthy K, Demirci A, Irudayaraj J. 2004. Inactivation of *Staphylococcus aureus* by pulsed UV-light sterilization. *J. Food protection*, 67: 1027-1030.
- Keyser M, Muller I.A, Cilliers F.P, Nel W, Gouws, P.A. 2008. Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 9: 348-354.
- Marquenie D, Geeraerd A.H., Lammertyn L, Sontjens C, Vanimpe J.F., Michiels C.W. 2003. Combinations of pulsed white light and UV-C or mild heat treatment to inactivate conidia of *Botrytis cinerea* and *Monilia fructigena*. *Int. J. Food Microbiol.* 85: 185-196.
- Roberts P, Hope A. 2003. Virus inactivation by high intensity broad spectrum pulsed light. *J. Virological Methods.* 110: 61-65.
- Rowan NJ, MacGregor SJ, Anderson JG, Fouracre RA, McIlvaney L, Farish O. 1999. Pulsed-light inactivation of food-related microorganism. *Appl. Environ. Microbiol.* 65: 1312-1315.
- Sharma RR, Demirci A. 2003. Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 on inoculated alfalfa seeds with pulsed ultraviolet light and response surface modeling. *J. Food Sci.* 68: 1448-1453.
- Shin JK, Kim BR, Kim AJ. Nonthermal Food Processing Technology using Electric Power. *Food Sci. Ind.* 43: 21-34.
- Son SM, Shin JK. 2008. The effect of environmental factors on inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* by high voltage pulsed electric fields. *Food Eng. Prog.* 12: 154-162.
- Takeshita K, Shibato J, Sameshima T, Fukunaga S, Isobe S, Arihara K, Itoh M. 2003. Damage of yeast cells induced by pulsed light irradiation. *Int. J. Food Microbiol.* 85: 151-158.
- Zhang QH, Barbosa-canovas GV, Swanson BG. 1995. Inactivation of *E. coli* for food pasteurization by high-strength pulsed electric fields. *J. Food Pro. Preserv.* 19: 103-188.