

## Effect of Various LED Light Wavelengths on the Growth of Food-borne Bacteria

Ji-Eun Lee<sup>1</sup>, Xiaotong Xu<sup>1</sup>, So-Mi Jeong<sup>2</sup>, Su-Ryong Kim<sup>1</sup>, Han-Ho Kim<sup>1</sup>, Woo-Sin Kang<sup>1</sup>,  
Si-Hyeong Ryu<sup>1</sup>, Ga-Hye Lee<sup>2</sup> and Dong-Hyun Ahn<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Food Science & Technology/Institute of Food Science, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

<sup>2</sup>Institute of Fisheries Sciences, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

Received August 5, 2021 / Revised September 17, 2021 / Accepted September 23, 2021

In this study, four common food-borne bacteria, namely, *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus*, and *Bacillus subtilis*, were targeted via irradiation with 270 nm UV C-LED, 365 nm UV A-LED, 465~475 and 620~630 nm visible-LED, and 850 and 5,000~7,000 nm infrared-LED light. The effect on the growth of each bacterial species was investigated. In the case of 270 nm UV C-LED, all four strains showed inhibitory effects compared with the control group when irradiated for 10 or 30 min. Furthermore, when irradiated with 365 nm UV A-LED for 1 or 3 hr, *B. subtilis* showed 100% growth inhibition. When irradiated with 465~475 nm visible-LED for 1 hr, all four strains showed no significant difference from the control group but showed significant growth inhibition when irradiated for 3 hr. *S. aureus* and *B. subtilis* treated with 620~630 nm visible-LED; *S. typhimurium* and *S. aureus* treated with 850 nm infrared-LED; and *E. coli*, *S. typhimurium*, and *S. aureus* treated with 5,000~7,000 nm infrared-LED were confirmed to significantly proliferate compared with the control group. The results of this experiment show the potential of the use of various LED light sources as a food preservation and application technology by examining their effect on the inhibition and growth of food-borne bacteria and by grasping the characteristics of each wavelength.

**Key words** : Food borne bacteria, infrared-LED, UV A-LED, UV C-LED, visible-LED

### 서 론

기존의 식품 산업은 유해 미생물을 원인으로 한 부패 및 변질이 세균성 식중독 문제를 야기시켰지만, 최근에는 식이 습관, 조리 행위의 변화, 식품 공급의 세계화 및 인구의 고령화 등의 이유로 식중독 발생이 증가되고 있다. 또한 이로 인해 식품의 안전성에 대한 위협과 경제적 손실 등의 문제점이 대두되고 있다[2, 29]. 우리나라의 식중독 발생건수는 최근 10년 동안 지속적으로 증가하는 추세이며, 건당 발생 환자 수도 상승세를 보여 점차 식중독이 대형화되어가고 있음을 확인할 수 있다[33]. 최근 5년간 식품의약품안전처에서 발표한 식중독 발생 현황에서는 세균성 식중독이 60%의 비율을 차지하고 있으며, *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., *Staphylococcus aureus*의 순서로 가장 많이 발생한다고 보고된 바 있다[52].

*E. coli*는 *Escherichia* 속 중의 대표적인 균종으로 장의 정상적인 생리기능을 유지하는데 주요한 역할을 담당하고 있다[42]. 대장균은 숙주의 면역력이 저하되거나 위장관 계통의 방

어벽이 손상을 입었을 경우 장 점막에서 대량 증식하고 감염을 유발하여 요로계 감염, 폐렴, 뇌막염, 패혈증 등을 일으킨다. 요로감염의 80% 정도가 패혈증 환자에게서 발견될 정도로 위장관 질환의 중요한 원인균이다[45].

인류 건강에 위협이 되고 있는 *Salmonella*는 매우 중요한 식중독 원인균으로 전세계적으로 문제가 되고 있으며, 우리나라에서는 제1종 전염 병원체로 지정되어 있다. *Salmonella*는 장티푸스 및 파라티푸스를 발생시키며, *Salmonella typhimurium*과 *Salmonella enteritidis*는 대표적인 식중독균 병원체로서 도축장에서 동물 배설물에 의한 오염, 포장, 판매 과정 중 먼지 및 취급 도구에 의한 2차 오염 때문에 식육이나 축산가공물로부터 *Salmonella*균이 많이 검출된다[27, 31, 49]. *Salmonella*는 동물[30, 54], 식물, 토양, 분변[22, 24], 사료[21]에서 분리되기도 하고, 자연환경이나 가축[23, 32, 47, 49], 식품[1]에서 광범위하게 분리되며, 사람의 대변, 혈액, 골수 등에서 가장 많이 검출되고 있다[8, 20, 50].

*S. aureus*는 즉석조리식품에 있어 가장 중요한 식중독균으로[14, 53], 식품과 조리 종사원 또는 환경, 용기 및 기구의 부적절한 식품 취급 등에서 교차 오염이 발생하는 것이 *S. aureus* 식중독에 있어 가장 심각한 위해 요소이다[13]. *S. aureus*는 식품 중에 증식하여 생산한 enterotoxin을 경구 섭취하여 일어나는 독소형 식중독으로 전체인구의 30~50%가 *S. aureus*를 보유하고 있으며, 그 중 절반 이상이 장독소를 생산하고, 인체에서 1 µg 이하의 장독소로 *S. aureus* 식중독이 발생됨으로 각별한

#### \*Corresponding author

Tel : +82-51-629-5831, Fax : +82-51-629-5824

E-mail : dhahn@pknu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

주의가 요구된다[16, 51].

국가는 중대한 정책 중 하나인 식품 원료의 제조, 생산, 유통 및 섭취 전 과정의 식품 안전성을 확보하기 위한 노력이 필요하며, 미생물에 의한 식품의 오염 방지 및 저장 기간 연장을 위하여 물리적 방법(냉동, 가열)과 화학적 방법(방부제, 보존제, 훈증제) 등이 이용되고 있으나 이러한 방법들은 독성, 영양 손실, 품질 저하, 환경오염 및 제어 기술에 따른 문제점을 가지고 있다[28, 34, 35, 51]. 따라서 식품 고유의 특성 및 영양성분을 유지하고, 오염과 변질이 없는 고품질의 식품 생산을 위하여 다양한 비가열가공기술(non-thermal process)이 활발하게 연구되고 있다[28].

최근 이러한 산업적 필요성에 따라 Light Emitting Diode (LED) 기술 분야가 주목받고 있는데, LED란 화합물 반도체 기술의 특성을 이용해 전기를 자외선, 가시광선, 적외선 등으로 전환시키는 반도체 소자이다. 서로 다른 두 가지 물질이 접합되어 이들 사이로 전력이 흐를 때 빛이 발생하는 원리로 두 물질의 배합과 전류의 세기를 조절하는 것으로 원하는 파장의 빛을 얻을 수 있는 특징이 있다. LED는 기존 백열전구나 형광등에 비하여 수명이 길고, 소비전력이 적으며 수온을 사용하지 않아 친환경적이고 에너지 절약 효과의 장점을 가지고 있다.

LED 파장 중 270 nm와 365 nm는 100~400 nm 사이의 Ultra Violet-LED (UV-LED)에 속하며 물과 공기의 살균, 폐수처리, 피부병 치료와 같은 의료용으로 생활 보건 분야에서 많이 사용되고 있다[6, 41]. 현재 LED 관련 시장의 90% 이상을 차지하고 있는 400~760 nm 파장의 visible-LED (V-LED)는 노트북, 각종 실내조명, 자동차, 휴대폰 등에 이용되고 있고, 최근에는 농업, 의료, 환경 및 해양 등 응용범위가 확대되고 있다[40].

Visible-LED는 보라색(400~450 nm), 파란색(450~500 nm), 녹색(500~570 nm), 노란색(570~590 nm), 주황색(590~610 nm) 및 빨간색(610~760 nm) 등 6개의 파장으로 세분화되어 있는데, 이 중 청색, 녹색, 적색광은 식품 산업에서 일반적으로 사용된다[10]. 750 nm 이상의 파장인 infrared-LED의 경우, 피부 미용[37]과 알레르기 비염 치료[48] 등에 이용되고 있다. 이 중 LED 조사의 식품 위생 및 안전성에 관한 연구는 고춧가루의 미생물 저감화와 품질 특성[57], UV-LED의 안질환 미생물 불활성화[43], 405 nm LED 조사의 Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA)의 살균 효과[11], 적색, 녹색, 청색 및 혼합광 LED 조사의 식중독균 저해 효과[7] 등이 있다. 하지만 LED의 다양한 파장을 이용한 식중독 원인균의 성장 억제 효과와 장파장이 미생물의 성장에 미치는 영향에 대한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 대표적인 식중독 균 4종(*E. coli*, *S. typhimurium*, *S. aureus*, *Bacillus subtilis*)을 대상으로 270 nm UV C-LED, 365 nm UV A-LED, 465~475, 620~630 nm visible-LED, 850, 5,000~7,000 nm infrared-LED 광원을 조사하였

을 때 각 균의 성장에 미치는 영향을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 사용 균주 및 배양 조건

본 연구에서 사용된 균주는 한국미생물자원센터(Korean Collection for Type Cultures, KCTC, Seoul, Korea)에서 분양 받은 *B. subtilis* KCTC 1332, *S. aureus* KCTC 6538와 한국미생물보존센터(Korean Culture Collection of Microorganism, KCCM, Seoul, Korea)에서 분양 받은 *E. coli* ATCC 25922, *S. typhimurium* ATCC 14028 균주를 사용하였다. 표준균주들은 -70°C 심온동결고에서 20% glycerol stock(w/v) 형태로 보관하였고, 멸균된 Nutrient broth (NB, Acumedia, San Bernardino, California, USA)와 agar (Junsei Chemical, Tokyo, Japan)를 사용하여 각 균들을 접종하여 37°C incubator에서 18~24시간 배양하였으며, 3회 이상 계대 배양을 거친 균주를 실험에 사용에 하였다.

### LED 광 조사 장치

각 파장에 따른 각 균주의 생육에 미치는 영향을 비교하기 위하여 모든 실험 장비를 가로 26 cm, 세로 13.5 cm 크기의 판을 제작하였다. 270 nm, 365 nm LED 판 하부에 LED 소자 40개를 각각 가로, 세로 2 cm 간격으로 부착하여 실험용 장비로 사용하였으며, 465~475 nm LED 판 하부에 LED 소자 168개를 가로 0.8 cm, 세로 1.6 cm 간격으로 부착하였고, 620~630 nm LED는 판 하부에 LED 소자 168개를 가로 1.2 cm, 세로 0.8 cm 간격으로 부착하여 실험용 장비로 사용하였다. 또한, 850 nm LED는 판 하부에 LED 소자 160개를 가로 0.9 cm, 세로 1.3 cm 간격으로 부착하였고, 5,000~7,000 nm LED 판 하부에 LED 소자 204개를 가로 1.5 cm, 세로 0.6 cm 간격으로 부착하여 실험용 장비로 사용하였다.

실험에 사용된 광원으로는 270, 365 nm의 UV-LED 소자와 465~475, 620~630 nm visible-LED 및 850, 5,000~7,000 nm infrared-LED의 단일 파장을 사용하였으며, 전류 전원은 AC adapter (0~8 A, 0~24 V)를 이용하여 공급하였다. 같은 방사광도 조건에서 각각의 노출된 에너지 밀도(dose)는 다음 식을 이용하여 계산하였고, E는 dose (energy density, 에너지 밀도)로  $J/cm^2$ , p는 irradiance (방사 광도)로  $W/cm^2$ , t는 second (조사 시간)으로 정의된다.

$$E = pt$$

### LED 조사 실험

각 균주는 주입평판법으로 배양하였으며, Nutrient agar가 균기 전에 접종하여 37°C에서 18~24시간 동안 배양하였다. 배양 후, 집락을 계수하여  $10^3$ ~ $10^4$  또는  $10^7$ ~ $10^8$  CFU/ml로 성장하는 것을 확인하였다. 각 LED 파장 조사 시간에 따른 성장

및 살균효과를 평가하기 위하여 각각의 균은  $10^3 \sim 10^4$  또는  $10^7 \sim 10^8$  CFU/ml의 상태로 60×15 mm petri dish에 1 ml씩 일정하게 분주하였다.

조사한 LED 파장은 270 nm UV C-LED 램프로 10분과 30분 조사하였고, 365 nm UV A-LED 램프, 465~475, 620~630 nm visible-LED 램프, 850, 5,000~7,000 nm infrared-LED 램프를 사용하여 60분과 180분 동안 조사하였다. 또한, 램프와 petri dish와의 거리는 4.5 cm, 방사 광도는 270 nm 파장은 0.4 W/cm<sup>2</sup>, 365 nm 파장은 35 W/cm<sup>2</sup>, 나머지 다른 파장들은 150 W/cm<sup>2</sup>의 조건에 맞춰서 진행하였다.

조사가 끝난 후, 37°C에서 1시간 동안 정치하였고, 계수할 수 있는 범위 내로 단계 희석하여 주입평판배양 하였다. 한편, 대조구의 경우 광 조사를 하지 않고 같은 조건으로 배양하여 형성된 집락 수를 계수하였다. 각 파장별 LED 조사구와 대조구 모두 아래 식을 이용해 성장률을 확인하였다.

$$\text{Log survival ratio} = \text{Log} (N_i/N_0)$$

N<sub>i</sub>: LED 광 조사한 샘플의 집락 수

N<sub>0</sub>: LED 광 조사하지 않은 대조구의 집락 수

**통계처리**

분석된 모든 결과들은 SAS 프로그램(Statistical analytical system V8.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 사용하여 통계 분석하였다. 통계 분석은 SAS 프로그램의 던컨의 다중범위검정을 이용하여 유의성(p<0.05)을 검증하였다.

**결과 및 고찰**

**270 nm UV-C LED 조사에 의한 식중독 미생물 성장 억제 효과**

4종의 균주에 대해 270 nm UV-C LED를 사용하여 0.4 W/cm<sup>2</sup>의 방사 광도로 10분 또는 30분 동안 조사하고, 각 균주의

생장에 미치는 영향을 알아 본 결과는 Table 1과 같다. *E. coli*, *S. typhimurium*, *S. aureus*의 경우 10분 또는 30분 동안 조사 시 대조구에 비해 모두 100% 성장 억제를 보였다. *B. subtilis*의 경우 10분 조사 시 대조구에 비해 0.54 log CFU/ml 만큼 성장 억제를 보였으나, 30분 동안 조사 시에는 100% 성장 억제 효과를 보였다. 이와 같은 결과는 식물성 플라크톤에 대한 UV-LED를 1 cm 간격에서 100~400 mJ/cm<sup>2</sup>의 에너지로 조사하였을 때, 260~270 nm 파장이 살균력이 가장 우수한 것으로 보고한 결과와 유사하다[26].

자외선은 100~400 nm 파장의 전자기파로서 UV-A (315~400 nm), UV-B (280~315 nm), UV-C (200~280 nm), 그리고 vacuum-UV (100~200 nm) 등 4개의 영역으로 분류 할 수 있으며, 200~280 nm 사이의 UV-C 영역이 살균 효과가 가장 크다고 알려져 있다. UV-C 영역이 살균선으로 불리는 이유는 이 파장대역이 세포 내의 DNA에 잘 흡수되기 때문이다[12]. 살균 효과를 높이기 위하여 260~265 nm 파장 영역이 가장 많이 사용되었고, 미생물의 살균 효과 기작은 자외선이 DNA에 흡수되어 DNA 사슬에 인접한 티민 이량체를 형성하여 미생물의 DNA구조를 파괴시켜 살균 작용을 일으키는 것으로 알려져 있다. UV-C 영역의 파장은 오래전부터 복미와 유럽의 정수장 살균 장치로 이용되어 왔으며[39], Wurtele 등[55]은 269 nm와 282 nm의 LED를 이용한 물의 소독연구에서 *B. subtilis*의 살균효과를 보고한 바 있다. 따라서 270nm UV-C LED 조사는 비교적 단시간 내에 *E. coli*, *S. typhimurium*, *S. aureus* 및 *B. subtilis*를 비활성화 시키기 위한 효과적인 살균 기술로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

**365 nm UV-A LED 조사에 의한 식중독 미생물 성장 억제 효과**

4종의 균주에 대해 365 nm UV-A LED를 사용하여 35 W/cm<sup>2</sup>의 방사 광도로 1시간 및 3시간 동안 조사하였을 때,

Table 1. Survival rate of *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* by ultraviolet C light emitting diode irradiation (270 nm) (Unit: log CFU/ml)

270 nm		Irradiation time (min)		
Strain	Group	0	10	30
<i>E.coli</i>	Control	7.16±0.01 <sup>b2)</sup>	8.17±0.03 <sup>a</sup>	8.20±0.03 <sup>a</sup>
	Treatment (10 <sup>7</sup> ) <sup>1)</sup>		>3 <sup>3)</sup>	>3
<i>S. typhimurium</i>	Control	8.20±0.02 <sup>c</sup>	9.15±0.01 <sup>b</sup>	9.36±0.03 <sup>a</sup>
	Treatment (10 <sup>7</sup> )		>3	>3
<i>S. aureus</i>	Control	8.40±0.06 <sup>b</sup>	9.24±0.04 <sup>a</sup>	9.47±0.01 <sup>a</sup>
	Treatment (10 <sup>7</sup> )		>3	>3
<i>B. subtilis</i>	Control	6.90±0.00 <sup>c</sup>	7.08±0.00 <sup>bA4)</sup>	7.56±0.04 <sup>a</sup>
	Treatment (10 <sup>7</sup> )		6.54±0.34 <sup>aB</sup>	>3

<sup>1)</sup>Initial strain concentration

<sup>2)</sup>Means in the same row (a-c) bearing different superscript in samples are significantly different (p<0.05).

<sup>3)</sup>No growth

<sup>4)</sup>Means in the same column (A-B) bearing different superscript in samples are significantly different (p<0.05).

Table 2. Survival rate of *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* by ultraviolet A light emitting diode irradiation (365 nm) (Unit: log CFU/ml)

365 nm		Irradiation time (min)		
Strain	Group	0	60	180
<i>E. coli</i>	Control	8.51±0.04 <sup>c2)</sup>	8.70±0.00 <sup>bA3)</sup>	9.25±0.03 <sup>aA</sup>
	Treatment (10 <sup>7</sup> ) <sup>1)</sup>		7.22±0.00 <sup>aB</sup>	7.32±0.16 <sup>aB</sup>
<i>S. typhimurium</i>	Control	8.76±0.05 <sup>b</sup>	9.15±0.01 <sup>aA</sup>	9.36±0.03 <sup>a</sup>
	Treatment (10 <sup>7</sup> )		8.38±0.11 <sup>aB</sup>	>3 <sup>4)</sup>
<i>S. aureus</i>	Control	9.19±0.03 <sup>c</sup>	10.76±0.03 <sup>bA</sup>	11.20±0.11 <sup>aA</sup>
	Treatment (10 <sup>7</sup> )		9.59±0.02 <sup>aB</sup>	4.50±0.50 <sup>bB</sup>
<i>B. subtilis</i>	Control	7.33±0.04 <sup>b</sup>	7.45±0.04 <sup>ab</sup>	7.54±0.07 <sup>a</sup>
	Treatment (10 <sup>7</sup> )		>3	>3

<sup>1)</sup>Initial strain concentration

<sup>2)</sup>Means in the same row (a-c) bearing different superscript in samples are significantly different ( $p < 0.05$ ).

<sup>3)</sup>Means in the same column (A-B) bearing different superscript in samples are significantly different ( $p < 0.05$ ).

<sup>4)</sup>No growth

각 균주의 생장에 미치는 영향을 알아 본 결과는 Table 2와 같다. *E. coli*의 경우 1시간 조사 시 대조구에 비해 0.48 log CFU/ml만큼 성장 억제 효과를 보였으나 3시간 동안 조사 시 1.93 log CFU/ml만큼 성장 억제 효과를 보였다. *S. typhimurium*의 경우 1시간 동안 조사 시 대조구에 비해 0.77 log CFU/ml의 성장 억제 효과를 보였으며, 3시간 조사 시 100% 성장 억제 효과를 보였다. *S. aureus*의 경우 1시간 조사한 결과, 대조구에 비해 1.17 log CFU/ml의 억제 효과를 나타내었고, 3시간 조사 시 6.70 log CFU/ml의 억제 효과를 보였다. *B. subtilis*의 경우 1시간 또는 3시간 동안 조사 시 대조구에 비해 모두 100% 성장 억제 효과를 보였다.

최근 들어 그동안 관심을 기울이지 않았던 UV-A 영역의 자외선 살균에 대한 연구가 진행되고 있는데, Berney 등[5]은 마시는 물의 오염 균주 중 하나인 대장균에 대한 320 nm UV-A의 살균 효과를 보고하였으며, Mori 등[44]은 UV-A LED를 이용한 연구에서 365 nm UV-A LED 살균 시스템이

수산업에서 새로운 유형의 물 살균 시스템으로 개발될 수 있을 것이라고 밝힌 바 있다. 또한, Hamamoto 등[15]도 365 nm UV-A LED를 이용하여 대장균의 살균 효과를 입증한 바 있고, Lante 등[36]은 절단한 과일과 채소에 390 nm UV-A LED로 조사하여 식품의 품질 및 유통기한 보존 효과를 보고한 바 있으며, LB broth의 농도에 따른 대장균의 살균효과를 365 nm UV-A LED로 연구한 Lian 등[38]은 UV-A LED가 오렌지 주스(유색 음료)의 살균에 이용 될 수 있다고 밝힌 바 있다.

#### 465~475 nm visible-LED 조사에 의한 식중독 미생물 성장 억제 효과

4종의 균주에 대해 465~475 nm visible-LED를 사용하여 150 W/cm<sup>2</sup>의 방사 광도로 1시간 또는 3시간 동안 조사하였을 때, 각 균들의 생장에 미치는 영향을 알아 본 결과는 Table 3과 같다. 4종의 균주 모두 1시간 동안 조사 시 대조구와 유의적인 차이가 없어 성장 억제 효과를 보이지 않았으며, 3시간

Table 3. Survival rate of *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* by visible light emitting diode irradiation (465~475 nm) (Unit: log CFU/ml)

465~475 nm		Irradiation time (min)		
Strain	Group	0	60	180
<i>E. coli</i>	Control	8.33±0.01 <sup>b2)</sup>	8.40±0.08 <sup>bA3)</sup>	9.03±0.03 <sup>aA</sup>
	Treatment (10 <sup>7</sup> ) <sup>1)</sup>		8.45±0.03 <sup>aA</sup>	8.46±0.22 <sup>aB</sup>
<i>S. typhimurium</i>	Control	9.23±0.03 <sup>c</sup>	10.02±0.08 <sup>bA</sup>	10.39±0.01 <sup>aA</sup>
	Treatment (10 <sup>7</sup> )		10.06±0.00 <sup>aA</sup>	9.83±0.01 <sup>bB</sup>
<i>S. aureus</i>	Control	9.10±0.04 <sup>c</sup>	11.76±0.01 <sup>bA</sup>	11.87±0.01 <sup>aA</sup>
	Treatment (10 <sup>7</sup> )		11.76±0.03 <sup>aA</sup>	10.78±0.00 <sup>bB</sup>
<i>B. subtilis</i>	control	6.27±0.02 <sup>c</sup>	7.39±0.03 <sup>bA</sup>	7.65±0.00 <sup>aA</sup>
	Treatment (10 <sup>7</sup> )		7.35±0.00 <sup>aA</sup>	7.29±0.00 <sup>bB</sup>

<sup>1)</sup>Initial strain concentration

<sup>2)</sup>Means in the same row (a-c) bearing different superscript in samples are significantly different ( $p < 0.05$ ).

<sup>3)</sup>Means in the same column (A-B) bearing different superscript in samples are significantly different ( $p < 0.05$ ).

조사 시 *E. coli*, *S. typhmuriurium*, *S. aureus* 및 *B. subtilis* 각각 0.57, 0.56, 1.09, 0.36 log CFU/ml만큼의 억제 효과를 나타내었다.

Moon 등[43]은 적색(654 nm), 녹색(518 nm), 청색(456 nm) 및 혼합광(청색:녹색) LED를 이용하여 식중독균인 *E. coli*, *Listeria monocytogenes*, *S. aureus*의 살균 효과를 연구한 결과, 청색과 혼합광 LED는 세 가지 균주에 대해 모두 높은 살균 효과를 보였다고 보고한 바 있다. 또한, Do와 Bang의 연구[9]에서는 461 nm 청색 LED를 이용하여 3가지 유형의 식중독세균인 *E. coli* O157:H7, *S. aureus*, *Vibrio parahaemolyticus*의 살균 효과를 입증하였다.

**620~630 nm visible-LED 조사에 의한 식중독 미생물의 성장에 미치는 영향**

4종의 균주에 대해 620~630 nm visible-LED를 사용하여 150 W/cm<sup>2</sup>의 방사 광도로 1시간 또는 3시간 동안 조사하였을 때, 각 균들의 성장에 미치는 영향을 알아 본 결과는 Table

4와 같다. *E. coli*와 *S. typhmuriurium*의 경우 1시간 조사 시 대조구에 비해 각각 0.31, 0.30 log CFU/ml 증식되었으며, 3시간 동안 조사 시 각각 0.14, 0.15 log CFU/ml 증식되었다. *S. aureus*의 경우 1시간 조사 시 대조구에 비해 0.20 log CFU/ml 증식되었으며, 3시간 조사 시 0.17 log CFU/ml 정도 증식되었다. *B. subtilis*의 경우, 1시간 조사 시 대조구에 비해 0.63 log CFU/ml 정도 증식되었으며, 3시간 동안 조사 시 0.75 log CFU/ml만큼 증식되었다.

Moon 등[43]은 654 nm 적색 LED를 이용하여 식중독균인 *E. coli*, *L. monocytogenes*, *S. aureus*의 살균 효과를 연구한 결과 적색광이 3가지 세균 모두에 대해 살균 효과가 없다는 연구 결과를 보고하였으며, 이러한 결과는 식물 생장 조절을 위한 LED 광처리 장치에 대한 연구[4]에서 645 nm 적색광을 이용하여 재배한 잎상추가 7일만에 수확할 수 있을 정도로 성장 속도가 증가한 결과와 일치한다. 또한, 광환경에 따른 잣버섯의 생장 특성을 연구한 결과 660 nm 적색 LED 조사 시 버섯대의 길이와 굵기가 커지는 경향이 있다고 보고하였으며[17],

Table 4. Survival rate of *Escherichia coli*, *Salmonella typhimuriurium*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* by visible light emitting diode irradiation (620~630 nm) (Unit: log CFU/ml)

620~630 nm		Irradiation time (min)		
Strain	Group	0	60	180
<i>E.coli</i>	Control	4.00±0.00 <sup>2)</sup>	4.39±0.01 <sup>bA3)</sup>	5.75±0.07 <sup>aA</sup>
	Treatment (10 <sup>3</sup> ) <sup>1)</sup>		4.70±0.12 <sup>bA</sup>	5.89±0.02 <sup>aA</sup>
<i>S. typhimuriurium</i>	Control	4.70±0.02 <sup>b</sup>	5.00±0.31 <sup>bA</sup>	5.62±0.06 <sup>aA</sup>
	Treatment (10 <sup>3</sup> )		5.30±0.03 <sup>aA</sup>	5.77±0.21 <sup>aA</sup>
<i>S. aureus</i>	Control	4.00±0.02 <sup>c</sup>	5.03±0.03 <sup>bB</sup>	5.96±0.02 <sup>bB</sup>
	Treatment (10 <sup>3</sup> )		5.23±0.02 <sup>bA</sup>	6.13±0.09 <sup>aA</sup>
<i>B. subtilis</i>	Control	3.99±0.02 <sup>c</sup>	4.82±0.31 <sup>bB</sup>	5.95±0.03 <sup>aB</sup>
	Treatment (10 <sup>3</sup> )		5.45±0.21 <sup>bA</sup>	6.70±0.05 <sup>aA</sup>

<sup>1)</sup>Initial strain concentration

<sup>2)</sup>Means in the same row (a-c) bearing different superscript in samples are significantly different (*p*<0.05).

<sup>3)</sup>Means in the same column (A-B) bearing different superscript in samples are significantly different (*p*<0.05).

Table 5. Survival rate of *Escherichia coli*, *Salmonella typhimuriurium*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* by visible light emitting diode irradiation (850 nm) (Unit: log CFU/ml)

850 nm		Irradiation time (min)		
Strain	Group	0	60	180
<i>E.coli</i>	Control	4.21±0.08 <sup>b2)</sup>	5.81±0.06 <sup>aA3)</sup>	6.11±0.13 <sup>aA</sup>
	Treatment (10 <sup>3</sup> ) <sup>1)</sup>		5.96±0.06 <sup>bA</sup>	6.45±0.02 <sup>aA</sup>
<i>S. typhimuriurium</i>	Control	5.11±0.01 <sup>c</sup>	5.65±0.01 <sup>bB</sup>	5.96±0.05 <sup>aB</sup>
	Treatment (10 <sup>3</sup> )		5.84±0.04 <sup>bA</sup>	6.67±0.02 <sup>aA</sup>
<i>S. aureus</i>	Control	4.29±0.05 <sup>c</sup>	5.40±0.04 <sup>bB</sup>	5.56±0.01 <sup>aB</sup>
	Treatment (10 <sup>3</sup> )		5.51±0.02 <sup>bA</sup>	5.69±0.02 <sup>aA</sup>
<i>B. subtilis</i>	Control	3.50±0.16 <sup>c</sup>	4.58±0.06 <sup>bA</sup>	4.80±0.14 <sup>aA</sup>
	Treatment (10 <sup>3</sup> )		4.66±0.09 <sup>aA</sup>	5.23±0.16 <sup>aA</sup>

<sup>1)</sup>Initial strain concentration

<sup>2)</sup>Means in the same row (a-c) bearing different superscript in samples are significantly different (*p*<0.05).

<sup>3)</sup>Means in the same column (A-B) bearing different superscript in samples are significantly different (*p*<0.05).

Table 6. Survival rate of *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis* by far infrared light emitting diode irradiation (5,000~7,000 nm) (Unit: log CFU/ml)

5,000~7,000 nm		Irradiation time (min)		
Strain	Group	0	60	180
<i>E. coli</i>	Control	4.19±0.12 <sup>c2)</sup>	5.84±0.01 <sup>bB3)</sup>	6.52±0.01 <sup>aB</sup>
	Treatment (10 <sup>3</sup> ) <sup>1)</sup>		5.95±0.01 <sup>bA</sup>	7.04±0.04 <sup>aA</sup>
<i>S. typhimurium</i>	Control	4.29±0.03 <sup>b</sup>	4.94±0.05 <sup>aB</sup>	5.14±0.10 <sup>aB</sup>
	Treatment (10 <sup>3</sup> )		5.96±0.03 <sup>bA</sup>	6.45±0.01 <sup>aA</sup>
<i>S. aureus</i>	Control	3.98±0.03 <sup>c</sup>	4.95±0.01 <sup>bB</sup>	5.20±0.05 <sup>aB</sup>
	Treatment (10 <sup>3</sup> )		5.06±0.08 <sup>bA</sup>	5.40±0.01 <sup>aA</sup>
<i>B. subtilis</i>	Control	4.17±0.07 <sup>b</sup>	4.33±0.00 <sup>aA</sup>	4.69±0.37 <sup>aA</sup>
	Treatment (10 <sup>3</sup> )		4.46±0.22 <sup>aA</sup>	4.84±0.20 <sup>aA</sup>

<sup>1)</sup>Initial strain concentration

<sup>2)</sup>Means in the same row (a-c) bearing different superscript in samples are significantly different ( $p < 0.05$ ).

<sup>3)</sup>Means in the same column (A-B) bearing different superscript in samples are significantly different ( $p < 0.05$ ).

이 외에도 큰느타리버섯[19, 56], 만가닥버섯[18], 표고버섯[3], 맛버섯[25]도 이와 비슷한 경향이라고 보고하였다. 이러한 결과에 의하여 620~630 nm Vis-LED 조사는 *E. coli*, *S. typhimurium*, *S. aureus* 및 *B. subtilis* 균주의 성장 억제에 효과가 없는 것으로 판단되었다.

**850 nm, 5,000~7,000 nm infrared-LED 조사에 의한 식중독 미생물의 성장에 미치는 영향**

4종의 균주에 대해 850 nm와 5,000~7,000 nm infrared-LED 를 사용하여 각각 150 W/cm<sup>2</sup>의 방사 광도로 1시간 또는 3시간 동안 조사하였을 때, 각 균들의 생육에 미치는 영향을 확인한 결과는 Table 5, 6과 같다. 850 nm와 5,000~7,000 nm 각각 조사한 결과, 4종의 균주 모두 대조구에 비해 1시간 또는 3시간 조사 시 증식 효과를 보였으며, *S. typhimurium*의 경우 3시간 동안 850 nm 조사 시 0.71 log CFU/ml, 5,000~7,000 nm 조사 시 1.31 log CFU/ml 정도 증식되어 가장 높은 증식률을 보였다. 이와 같은 결과는 810 nm 빛 조사가 대장균의 성장률을 높인다는 연구 결과[46]와 일치하였고, 850 nm와 5,000~7,000 nm infrared-LED 조사가 *E. coli*, *S. typhimurium*, *S. aureus* 및 *B. subtilis* 균주의 성장 억제에 효과가 없는 것으로 판단되었다.

**감사의 글**

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2021년)에 의하여 연구되었습니다.

**The Conflict of Interest Statement**

The authors declare that they have no conflicts of interest with the contents of this article.

**References**

- Ahn, Y. T., Lim, J. H., Kang, H. J., Jang, Y. H. and Kim, H. U. 1997. Survival of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella* ser. Typhimurium in fermented milk products. *J. Food Hyg. Safety* **12**, 175-180.
- Altekruse, S. P., Cohen, M. L. and Swerdlow, C. 1997. Emerging foodborne disease. *Emerg. Infect. Dis.* **3**, 285-293.
- Baek, I. S., Lee, Y. H., Jang, M. J., Jeoung, Y. K., Lee, H. B. and Chi, J. H. 2013. Effects of cultural characteristics of *Lentinula edodes* according to LED wavelength with sawdust substrate cultivation. *J. Mushroom Sci. Prod.* **11**, 226-229.
- Bang, G. W. and Kim, Y. H. 2012. LED for plant growth regulators for the study of light on the device. *J. Digital Convergence* **10**, 267-272.
- Berney, M., Weilenmann, H. U., Ihssen, J., Bassin, C. and Egli, T. 2006. Specific growth rate determines the sensitivity of *Escherichia coli* to thermal, UVA, and solar disinfection. *J. Appl. Microbiol.* **72**, 2586-2593.
- BIR research group. 2010. Eco-friendly, high-efficient LED technology development trends and market outlook. pp. 27-188, BIR Inc., Seoul, Korea.
- Chevremont, A. C., Farnet, A. M., Sergent, M., Coulomb, B. and Boudenne, J. L. 2012. Multivariate optimization of fecal bioindicator inactivation by coupling UV-A and UV-C LEDs. *Desalination* **285**, 219-225.
- Cocolin, L., Manzano, M., Astori, G., Botta, G. A., Cantoni, C. and Comi, G. 1998. A highly sensitive and fast non-radioactive method for the detection of polymerase chain reaction products from *Salmonella* serovars, such as *Salmonella typhi*, in blood specimens. *FEMS Immunol. Med. Microbiol.* **22**, 233-239.
- Do, J. S. and Bang, W. S. 2013. Bactericidal effect of 461 nm blue light emitting diode on pathogenic bacteria. *Kor. J. Food Preserv.* **20**, 419-423.
- D'Souza, C., Yuk, H. G., Khoo, G. H. and Zhou, W. 2015. Application of light-emitting diodes in food production,

- postharvest preservation, and microbiological food safety. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* **14**, 719-740.
11. Enwemeka, C. S., Williams, D., Hollosi, S., Yens, D. and Enwemeka, S. K. 2008. Visible 405 nm SLD light photo-destroys methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) *in vitro*. *Lase. Surg. Med.* **40**, 734-737.
  12. EPA. 2003. Ultraviolet disinfection guidance manual. Office of Water, pp. 35-59, Washington DC, USA.
  13. Garcia, M. L., Francisco, J. J. and Moreno, B. 1986. Nasal carriage of *Staphylococcus* species by food handlers. *Int. J. Food Microbiol.* **3**, 99-108.
  14. Genigeorgis, C. A. 1989. Present state of knowledge on staphylococcal intoxication. *Int. J. Food Microbiol.* **8**, 327-360.
  15. Hamamoto, A., Mori, M., Takahashi, A., Nakano, M., Wakikawa, N., Akutagawa, M., Ikehara, T., Nakaya, Y. and Kinouchi, Y. 2007. New water disinfection system using UVA light-emitting diodes. *J. Appl. Microbiol.* **103**, 2291-2298.
  16. ICMSF (International Commission of Microbiological Specifications for Foods). 1986. Microorganisms in Foods. Sampling for Microbiological Analysis, pp. 1432, 2nd ed., Principles and Specific Applications, Toronto University of Toronto Press, Toronto.
  17. Jang, M. J., Lee, Y. H., Cho, Y. K., Koo, H. M. and Oh, T. S. 2015. Growth properties of *Neolentinus lepideus* according to the light environment. *J. Mushroom Sci. Prod.* **13**, 125-128.
  18. Jang, M. J., Lee, Y. H., Ju, Y. C., Kim, S. M. and Koo, H. M. 2013. Effect of color of light emitting diode on development of fruit body in *Hypsizygus marmoreus*. *Mycobiology* **41**, 63-66.
  19. Jang, M. J., Lee, Y. H., Kim, J. H. and Ju, Y. C. 2011. Effect of LED light on primordium formation, morphological properties, ergosterol content and antioxidant activity of fruit body in *Pleurotus eryngii*. *Kor. J. Mycol.* **39**, 175-179.
  20. Jung, S. Y., Son, C. K., Kim, B. C. and Park, W. 2002. Organization of antibiotic resistance gene cluster of multi-drug plasmid in clinically isolated *Salmonella Enteritidis* strain. *Kor. J. Microbiol.* **38**, 299-305.
  21. Kang, H. J., Chung, B. G. and Chang, K. S. 1988. Isolation and survival of *Salmonella* in animal feed ingredients and experimental infection in chick. *Kor. J. Vet. Public Health* **12**, 171-178.
  22. Kang, H. J., Kim, J. S., Suk, J. M., Lee, S. M. and Son, W. G. 1998. Prevalence of *Salmonella* spp., *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* in fresh feces and in drinking water of feedlots. *Kor. J. Vet. Public Health* **22**, 195-200.
  23. Kang, J. H., Lee, Y. D., Jung, K. C. and Park, J. H. 2001. Sanitizing agent effect and antibiotic resistance of *Salmonella* spp. isolated from raw chicken carcasses in food service. *Kor. J. Food Sci. Technol.* **33**, 582-588.
  24. Kang, S. M., Choi, S. M., Kim, E. J., Park, S. G. and Kim, T. J. 1994. Bioserological characteristics and antimicrobial susceptibility of *Salmonella* species isolated from swine feces. *Kor. J. Vet. Public Health* **18**, 15-22.
  25. Kaori, S., Katsunori, J., Koji, S., Hidehiko, N., Norimitsu, F., Toshio, O., Junji, H. and Toshio, M. 2005. Analysis on genes expressed during photomorphogenesis the fruiting bodies in *Pholiota nameko*. *J. SHITA.* **17**, 3-10.
  26. Kil, G. S., Choi, S. K., Park, D. W., Kim, S. W. and Cheon, S. G. 2009. Analysis of disinfection performance of UV LEDs for a phytoplankton. *J. Kor. Soc. Mar. Eng.* **33**, 959-964.
  27. Kim, H. H., Lee, M. W., Lee, Y. H., Kim, K. S., Yoo, C. K., Kim, M. S. and Yu, M. O. 1991. Epidemiological investigations on *Salmonella* strains isolated in Korea. *The Report of National Institute of Health, Korea.* **28**, 54-61.
  28. Kim, J. H., Kim, E. K., Shin, S. R. and Song, K. B. 2009. Effect of UV-V irradiation on inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* on washed carrot during storage. *Kor. J. Food Preserv.* **16**, 636-643.
  29. Kim, J. Y., Chun, H. H. and Song, K. B. 2008. Effect of UV-C irradiation on the quality of imported dried fish during storage. *Kor. J. Food Preserv.* **15**, 922-926.
  30. Kim, K. H., Kim, K. S. and Tak, R. B. 2002. The distribution of *Salmonella* in mammals in dalsung park (Daegu) and genetic investigation of isolates. *Kor. J. Vet. Public Health* **26**, 31-37.
  31. Kim, M. S., Kim, O. M., Kim, I. G., Lee, K. L. and Lee, S. H. 2002. Food Sanitation. pp. 74-77. Hunmins, Seoul.
  32. Kim, N. H. and Tak, R. B. 1998. Contamination of *Salmonella* spp. in chickens slaughtered in Daegu area. *Kor. J. Vet. Public Health* **22**, 365-372.
  33. Kim, Y. S., Kim, H. J., Yoon, Y. H., Shin, M. G., Kim, C. J., Shin, M. H. and Lee, J. W. 2010. Antimicrobial effects retort and gamma irradiation on bacterial populations in spicy chicken sauce. *Kor. J. Food Sci. Ani. Resour.* **30**, 141-147.
  34. Kim, Y. S. and Shin, D. H. 2003. Researches on the volatile antimicrobial compounds from edible plants and their food application. *Kor. J. Food Sci. Technol.* **35**, 159-165.
  35. Kwon, J. H., Byun, M. W. and Cho, H. O. 1987. Quality evaluation of ground garlic and onions treated with chemical fumigants and ionizing radiation. *Kor. J. Food Sci. Technol.* **19**, 107-112.
  36. Lante, A., Tinello, F. and Nicoletto, M. 2016. UV-A light treatment for controlling enzymatic browning of fresh-cut fruits. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* **34**, 141-147.
  37. Lee, J., Kim, C. H. and Chung, G. H. 2012. Development of a personal compound stimulus device for skin-care. *J. Inst. Electron. Eng. Korea SC.* **49**, 12-19.
  38. Lian, X., Tetsutani, K., Katayama, M., Nakano, M., Mawatari, K., Harada, N., Hamamoto, A., Yamato, M., Akutagawa, M., Kinouchi, Y., Nakaya, Y. and Takahashi, A. 2010. New colored beverage disinfection system using UV-A light-emitting diodes. *Biocontrol. Sci.* **15**, 33-37.
  39. Lopez, M. A. and Palou, E. 2005. Ultraviolet light and food preservation, pp. 405-421. 2nd ed., In: Barbosa-Canovas, G. V., Tapia, M. S. and Cano, M. P. (eds.), Novel Food Processing Technologies: CRC Press Inc., Boca Raton, Florida.
  40. Mata, T. M., Martins, A. A. and Caetano, N. S. 2010. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renew. Sust. Energ. Rev.* **14**, 217-232.
  41. Matsunaga, T., Takeyama, H., Sudo, H., Oyama, N., Ariura, S., Takano, H., Hirano, M., Burgess, G., Sode, K. and Nakamura, N. 1991. Glutamate production from CO<sub>2</sub> by

- marine cyanobacterium *synechococcus* sp. using novel biosolar reactor employing light diffusing optical fibers. *Biochem. Biotechnol.* **28**, 157-167.
42. Moon, H. W. 1974. Pathogenesis of enteric disease caused by *Escherichia coli*. *Adv. Vet. Sci. Comp. Med.* **18**, 179-211.
43. Moon, J. S., Oh, M. M., Joo, W. H. and Han, N. S. 2013. Inactivation of bacterial pathogens by irradiation of red, green, blue and combined Light-Emitting Diode (LED). *Kor. Soc. Biotechnol. Bioeng. J.* **28**, 428-432.
44. Mori, M., Hamamoto, A., Takahashi, A., Nakano, M., Wakikawa, N., Tachibana, S., Ikehara, T., Nakaya, Y., Akutagawa, M. and Kinouchi, Y. 2007. Development of a new water sterilization device with a 365 nm UV-LED. *Med. Biol. Eng. Comput.* **45**, 1237-1241.
45. Nataro, J. P. and Kaper, J. B. 1998. Diarrheagenic *Escherichia coli*. *Clin. Microbiol. Rev.* **11**, 142-201.
46. Nussbaum, E. L., Lilge, L. and Mazzulli, T. 2002. Effects of 630-, 660-, 810-, and 905-nm laser irradiation delivering radiant exposure of 1-50 J/cm<sup>2</sup> on three species of bacteria *in vitro*. *J. Clin. Laser Med. Surg.* **20**, 325-333.
47. Oh, G. H., Kim, S. W., Lee, K. H., Ha, J. S., Park, S. C., Jung, K. S., Lee, K. W. and Song, J. C. 2002. Virulence and plasmid profiles of *Salmonella gallinarum* isolated from chickens. *J. Vet. Clin.* **19**, 159-164.
48. Park, E. W. 2019. Effect of red and infrared LED light therapy on allergic rhinitis. *J. Biomed. Eng. Res.* **40**, 125-131.
49. Park, K. Y., Yeh, J. G. and Park, S. G. 1994. Characteristics of *Salmonella* species isolated from poultry. *Kor. J. Vet. Public Health* **18**, 107-116.
50. Park, S. G., Park, S. K., Jung, J. H. and Jin, Y. H. 2002. Antibiotic susceptibility of *Salmonella* spp. Isolated from diarrhoea patients in Seoul from 1996 to 2001. *J. Food Hyg. Safety* **17**, 61-70.
51. Schmitt, M., Schuler-Schmid, U. and Schmidt-Lorenz, W. 1990. Temperature limits of growth, TNase, and enterotoxin production of *Staphylococcus aureus* strains isolated from foods. *Int. J. Food Microbiol.* **11**, 1-19.
52. The Korea Food and Drug Administration. In the summer, be careful of foodborne disease. Available from <https://impfood.mfds.go.kr/CFBBB02F02/getCntntsDetail?cntntsSn=323090>.
53. Wieneke, A. A., Roberts, D. and Gilbert, R. J. 1993. *Staphylococcal* food poisoning in the United Kingdom, 1969-90. *Epidemiol. Infect.* **110**, 519-531.
54. Woo, Y. K., Park, J. Y., Lee, Y. J., Gwun, Y. G. and Mo, I. P. 2001. Serotyping and molecular typing of *Salmonella* isolated from herons and environmental samples in Geo-je Island. *Kor. J. Vet. Public Health* **25**, 151-163.
55. Wurtele, M. A., Kolbe, T., Lipsz, M., Kulberg, A., Weyers, M., Kneissl, M. and Jekel, M. 2011. Application of GaN-based ultraviolet-C light emitting diodes - UV LEDs- for water disinfection. *Water Res.* **45**, 1481-1489.
56. Yanagibashi, H., Matsuoka, D., Hiram, J., Miyamoto, T., Nishibori, K. and Ohdaira, Y. 2005. Effects of wavelength of light stimuli on the bio-electric potential and the morphogenetic properties of *Pleurotus eryngii*. *J. SHITA.* **17**, 175-181.
57. Yun, H. J., Park, K. H., Ryu, K. Y., Kim, S. R., Yun, J. C. and Kim, B. S. 2012. Effects of LED treatment on microbial reduction and quality characteristics of red pepper powder. *J. Food. Hyg. Saf.* **27**, 442-448.

### 초록 : 다양한 파장의 LED 조사가 주요 식중독 미생물의 성장에 미치는 영향

이지은<sup>1</sup> · 쉬시아오통<sup>1</sup> · 정소미<sup>2</sup> · 김수룡<sup>1</sup> · 김한호<sup>1</sup> · 강우신<sup>1</sup> · 류시형<sup>1</sup> · 이가혜<sup>2</sup> · 안동현<sup>1\*</sup>  
(<sup>1</sup>부경대학교 식품공학과/식품연구소, <sup>2</sup>부경대학교 수산과학연구소)

본 연구에서는 4가지 일반적인 식중독 병원균인 *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*에 대해 270 nm UV C-LED, 365 nm UV A-LED, 465~475, 620~630 nm visible-LED, 850, 5,000~7,000 nm infrared-LED를 조사하여 각 세균의 성장에 미치는 영향을 조사 하였다. 270 nm UV C-LED의 경우, 10 min 또는 30 min 조사 시 4가지 균주 모두 대조구에 비해 억제 효과를 나타냈다. 또한 365 nm UV A-LED를 1시간 또는 3시간 조사한 경우 *B. subtilis*의 100% 성장 억제를 보였다. 465~475 nm visible-LED를 1시간 조사한 경우, 4 종류 균주 모두 대조구과 유의 한 차이가 없었으며, 3시간 조사 시 유의한 성장 억제를 보였다. 620~630 nm visible-LED를 처리한 *S. aureus*와 *B. subtilis*, 850 nm infrared-LED를 처리한 *S. typhimurium*과 *S. aureus*, 5,000~7,000 nm infrared-LED를 처리한 *E. coli*, *S. typhimurium* 및 *S. aureus*는 각각 대조구에 비해 증식되는 것으로 확인되었다. 이에 따라 다양한 LED 광원의 사용을 통해 식중독 미생물의 억제 및 증식 효과를 확인한 바, 다양한 LED 광원의 파장 특성을 이용한 식품 보존과 응용 기술로서의 잠재력이 있음을 시사한다.