

UV LED를 이용한 LED식물공장 유해미생물 살균 분석

(Sterilization Analysis of Harmful Microbes in LED Plant Factory using UV LED)

장준철* · 허인성 · 이세일 · 유영문**

(Jun-Chul Jang · In-Sung Her · Se-Il Lee · Young-Moon Yu)

Abstract

Recently, LED (Light Emitting Diode) application research is studying by using a specific wavelength. LED plant factory produced a lot of green plants in a closed spaces, so it should be taken to guard against harmful microbes. Until today, a lot of studies for green plant production in plant factory is proceed but there were no study on harmful microbes in plant factory. Thus, the analysis on sterilization for harmful microbes in plant factory were experimented using UV (Ultra Violet) LED with 282nm of wavelength. As a results on sterilization of three harmful microbes, 50% of sterilization efficiency was achieved after 2.5 hours, 97% was achieved after 12 hours of UV LED irradiation, respectively.

Key Words : UV LED, LED Plant Factory, Harmful Microbes, Sterilization

1. 서 론

고품질의 녹색식물을 생산하기 위해서는 기본적으로 빛, 온도, 습도 등의 환경조건이 양호해야 함에도 불구하고 최근 계속되는 기후변화로 인해 녹색식물의 성장에 충분한 환경을 제공하지 못하고 있다. 이러한 자연환경을 극복하기 위하여 각 식물의 특성에 맞게 생육환경 제어가 가능한 식물공장에 대한 관심이 높아지고 있다[1].

빛은 식물의 광합성을 위한 필수적인 에너지원으로써 적절히 제어하면 녹색식물의 독특한 특성 발현을 조절할 수 있으며, 녹색식물의 성장에 결정적인 영향을 주는 가장 큰 요인이다. 그러나 그 동안 빛은 인위적으로 조절하기 어려운 자연현상으로 여겨왔다. 식물공장형 재배방식의 빠른 보급과 함께 최근에는 특

* 주저자 : 부경대학교 과학기술융합전문대학원
LED융합공학전공
** 교신저자 : 부경대학교 LED-해양 융합기술 연구센터
센터장
* Main author : Pukyong National University,
Specialized Graduate School Science &
Technology Convergence, LED
Convergence Engineering
** Corresponding author : Pukyong National
University, LED-Marine Convergence
Technology R&BD Center, Professor
Tel : 051-629-7770, Fax : 051-629-7780
E-mail : ymyu@pknu.ac.kr
접수일자 : 2014년 4월 18일
1차심사 : 2014년 4월 22일
심사완료 : 2014년 5월 8일

정의 파장으로 빛을 조절할 수 있는 광효율이 높은 LED광원이 출현하여 농업적 적용 관련 연구가 활발히 진행되고 있다[2-3].

LED는 다른 발광체보다 수명이 길고, 낮은 소비전력 및 선택적 파장을 발광할 수 있는 특성을 가진 친환경적인 광원으로써 다방면으로 응용되고 있다[4]. 식물공장에서 LED광원의 장점으로서는 광의 밝기조절이 가능하며, 원하는 특정 파장을 선택적으로 조사할 수 있는 점과 여러 파장의 광을 용이하게 혼합할 수 있으며 효율적으로 광을 식물에 조사할 수 있다는 장점이 있다.

식물공장은 밀폐된 공간에서 녹색식물을 대량생산하므로 녹색식물에 유해 미생물이 증식할 경우 대량 폐사 및 식중독의 큰 피해를 입으며, 작업자에게는 유해 미생물에 의한 피부병이 발생하는 등 유해미생물 증식으로 인한 문제가 발생할 수 있어 유해 미생물에 대한 주의가 각별히 필요하다. 미생물의 살균 방법에는 소독약 사용법 및 열처리 등의 여러 가지 물리적, 화학적 방법이 있다. 하지만 성장하는 식물에 영향을 줄 수 있어 식물공장에서의 살균 방법으로는 적합하지 않다고 판단되어 식물에 큰 영향을 주지 않는 자외선 살균법을 사용하고 있다.

자외선 살균법은 수처리 및 수조내의 미생물 살균에 이용하는 대표적인 물리적 살균방법의 하나로써 UV-C 영역 (100~280nm)의 자외선 파장에 의하여 세포내 유전정보를 가지고 있는 DNA (Deoxyribo Nucleic Acid), RNA (Ribo Nucleic Acid)의 구조를 변형시킴으로써 살균력을 나타내며 소독 부산물을 만들지 않는다는 장점이 있다[5-6].

최근 식물공장내의 LED 특정 파장에 의한 녹색식물의 성장에 관한 연구가 많이 진행되고 있으나, 식물공장에서 발생하는 유해 미생물에 관한 연구는 전무하다. 또한 자외선 램프를 이용한 기존의 미생물 살균 연구는 대장균이나 비브리오균 등에 한정되어 있는 상황이다.

따라서 본 논문에서는 LED식물공장에서 발생하는 유해 미생물의 종 분석을 실시하고, 282nm 파장을 발광하는 UV LED를 사용하여 식물공장에서 발생하는 유해 미생물에 대한 살균 특성을 분석하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 UV LED 살균 시스템

현재 사용되는 UV LED로는 직접 천이형 에너지 밴드구조의 AlN, ZnO, GaN 등을 이용한 소자가 있으며, 200~400nm의 파장대역을 가진다[7]. 이 중에서 200~300nm는 살균능력을 가지는 파장대로 알려져 있다[8].

실험에 사용된 UV LED 살균 시스템은 그림 1과 같이 24개의 282nm의 UV LED를 MPCB에 45φmm 원형으로 배열하였으며, 알루미늄 방열판을 사용하여 방열시켰다.

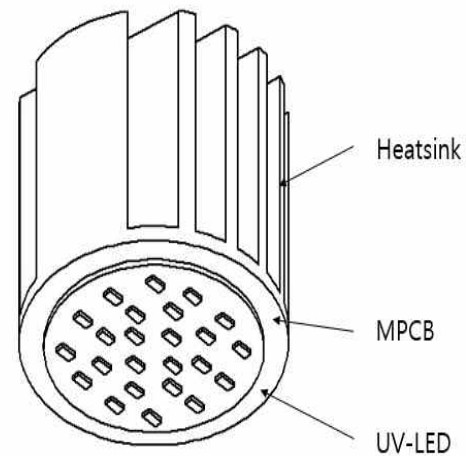


그림 1. UV LED 살균 시스템
Fig. 1. UV LED Sterilization System

표 1. UV LED의 특성
Table 1. Specification of UV LED

| 측정 항목 | 측정 값 |
|---------------------|------|
| Peak Wavelength(nm) | 282 |
| Radiant Flux(mW) | 4.7 |
| Voltage(V) | 48 |
| Current(mA) | 80 |
| Electric Power(W) | 3.8 |

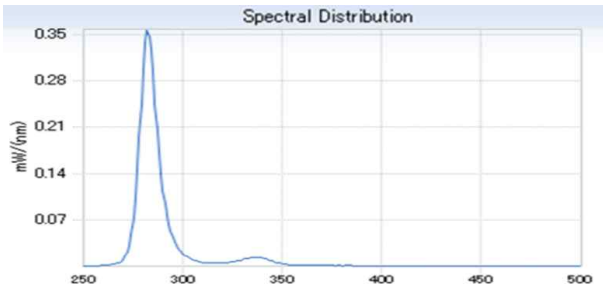


그림 2. UV LED의 스펙트럼
Fig. 2. Peak Wavelength of UV LED

제작된 UV LED 살균 시스템의 광학적, 전기적 특성은 적분구 LMS-100CM(Labsphere, USA)와 분광기 FM-9100(한국오츠카전자, Korea)를 사용하였다. 측정은 입력전류 AC 220V를 인가하여 30분간 aging 후 측정하였으며, 3회 반복 측정하여 특성을 파악하였다. 다음 표 1에 UV LED 살균 시스템의 특성을 나타내었다. 최대파장 (Peak wavelength) 282nm, 방사속 (Radiant flux) 4.7mW, 입력전류 80mA, 입력전압 48V, 전력 3.8W이며 그림 2에 실험에 사용된 UV LED의 스펙트럼을 나타내었다.

2.2 시료 채취 및 미생물 동정

LED 식물공장 내부의 식물성장 영양제인 양액, 식물공장에서 성장하고 있는 보리새싹, 롤로 로사, 샐러리 등을 3회에 걸쳐 시료로 채취하였다.

채취한 시료들을 멸균된 증류수에 희석한 후 식품 중의 미생물수를 측정할 때 사용하는 표준한천

배지(Standard agar medium)를 만든 후 평판도말(spreading)하였다. 평판도말된 시료는 인큐베이터 PDI-91(동양과학기계, Korea) 안에서 30℃의 온도로 12시간 동안 배양하였고, 표준한천배지에서 배양된 Colony를 선택하여 획선도말(streaking)하여 단일 종으로 분리하였다.

각각의 시료마다 분리된 종을 한국미생물보존센터(Korea Culture Center of Microorganisms, KCCM)에 의뢰하여 미생물 동정을 실시하였다.

표 2는 시료별 미생물 동정 결과를 나타내었다. *Achromobacter xylosoxidans*, *Enterobacter cloacae*, *Bacillus cereus*, *Aeromonas hydrophila*, *Ralstonia pickettii*, *Arthrobacter woluwensis*, *Sphingomonas paucimobilis* 등의 미생물들이 다수 발견되었으며. *Bacillus cereus*, *Arthrobacter woluwensis*, *Enterobacter cloacae* 같은 인체에 유해한 병원성 미생물과 *Sphingomonas paucimobilis*, *Aeromonas hydrophila* 같은 기회감염증이 발견되기도 하였다.

미생물 동정 결과의 신뢰성을 높이기 위하여 시료 채취를 3회 반복하였고, 3회의 채취 중 가장 발생빈도가 높은 미생물을 선정하여 살균 실험을 진행하였다.

실험에 사용된 미생물은 3회의 채취 중 2회 이상 발생한 *Arthrobacter woluwensis*, *Achromobacter xylosoxidans*, *Enterobacter cloacae* 3종을 선택하였다. UV LED 살균 실험의 정확성을 위하여 표 3에서 나타낸 바와 같이 미생물자원센터(Korean Collection for Type Culture, KCTC)에서 분양받은 미생물을 사용하여 실험을 진행하였다.

표 2. Result of microbe identification
Table. 2. 시료별 미생물 동정 결과

| | 양액 | 롤로로사 | 보리새싹 | 샐러리 | 배추 | 버터헤드 |
|----|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 1차 | <i>Acinetobacter junii</i> | <i>Enterobacter cloacae</i> | <i>Arthrobacter woluwensis</i> | - | - | <i>Aeromonas hydrophila</i> |
| 2차 | <i>Achromobacter xylosoxidans</i> | <i>Sphingomonas paucimobilis</i> | - | <i>Bacillus cereus</i> | <i>Arthrobacter woluwensis</i> | <i>Enterobacter cloacae</i> |
| 3차 | <i>Achromobacter xylosoxidans</i> | <i>Ralstonia pickettii</i> | <i>Arthrobacter woluwensis</i> | - | <i>Bacillus sp.</i> | - |

표 3. 살균시험 균주

Table 3. Standard strain of Sterilization experiment

| Standard strain | Source |
|-----------------------------------|------------|
| <i>Enterobacter cloacae</i> | KCTC 1685 |
| <i>Arthrobacter woluwensis</i> | KCTC 9905 |
| <i>Achromobacter xylosoxidans</i> | KCTC 12795 |

2.3 미생물 배양

분양받은 미생물을 획선도말하여 단일 Colony를 그림 3과 같이 획득하였으며, 액체 배지에 접종하여 대량배양을 하였다.



그림 3. 획선도말을 통한 단일 Colony 획득
Fig. 3. A single Colony obtained through streaking

실험에 사용된 배지는 모두 고압멸균기 DS-566(대원과학, Korea)를 사용하여 멸균 후 사용하였다.

Enterobacter cloacae, *Achromobacter xylosoxidans*는 액체배지 제조시 Nutrient Broth(Difco, USA)를 사용하여 제작하였으며, 고체배지는 Nutrient Broth(Difco, USA)에 Agar powder(JUNSEI, Japan)을 첨가하여 제작하였다. *Arthrobacter woluwensis*는 액체배지 제조시 Tryptic Soy Broth(OXOID, USA)를 사용하여 제작하였으며, 고체배지 제조시에는 Trypticase Soy Broth(OXOID, USA)에 Agar powder(JUNSEI, Japan)을 첨가하여 제작하였다.

각각의 미생물들은 고체배지에 30°C에서 12시간 배양하였으며, 액체배지로 대량배양시 30°C에서 200rpm으로 진탕배양기 JSSI-100C(JSR, Korea)를 이용하여 12시간 배양하였다.

2.4 UV LED 살균

액체 배지에 대량배양된 미생물들을 소량의 Colony를 획득하여 실험을 진행하기 위해 10×10^9 배 희석하여 200 μ l씩 평판도말한 뒤 배양하였다.

UV LED를 이용한 실험 시 미생물의 추가적인 성장을 방지하기 위해 저온 인큐베이터 DW-IB-231(동원과학기술기, Korea)를 사용하여 4°C에서 실험을 진행하였다. 실험은 외부의 빛으로부터 영향을 받지 않기 위해 암실 내에서 진행되었으며, UV LED는 Plate 상단 10mm에 설치한 뒤, 대조군(0시간)부터 시간 간격을 두고 24시간까지 조사하였다.

UV 살균은 미생물의 구조적 변형이 일어나 육안으로 확인할 수 없기 때문에 재배양시의 Colony를 개수하여 살균 여부를 확인하였다. UV LED 조사시간대별로 각각 Colony를 접종하여 액체배지에 재배양하였다. 대량 배양된 미생물들을 초기방법과 동일하게 각각 10×10^9 배 희석하여 200 μ l씩 분주하여 시간대별로 Plate에 평판도말하여 인큐베이터에서 12시간동안 30°C에서 배양한 뒤, 육안으로 각각의 Colony를 개수하여 결과를 도출하였다.

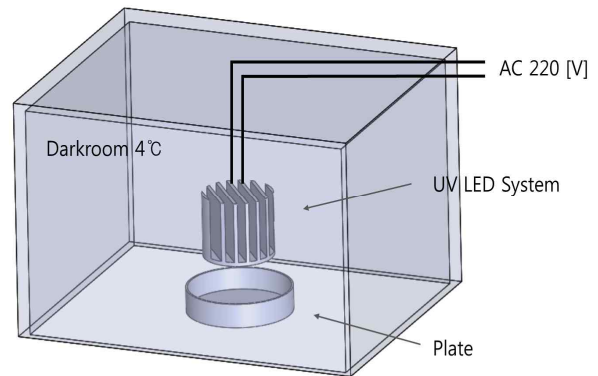


그림 4. 실험방법
Fig. 4. Experiment method

3. 결과 및 고찰

식물공장에서 발생한 3종의 유해미생물에 대한 실험결과를 그림 5에 나타내었다. UV LED 조사 시

간에 따라 Colony수가 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

*Enterobacter cloacae*는 UV LED의 조사시간에 따라 Colony수의 변화를 보이다가 2.5시간 50% 후 12시간이 지난 뒤에 97% 이상의 Colony가 사라짐을 확인할 수 있었다. *Arthrobacter woluwensis* 역시 마찬가지로 시간에 따른 Colony 수의 감소를 확인할 수 있으며, 2.5시간 후 50% 살균과 6시간이 지난 후에는 98% 이상의 살균력을 보이는 것으로 나타났다.

*Achromobacter xylosoxidans*도 UV LED 조사시간이 지남에 따라 Colony 수가 줄어드는 것을 알 수 있었으며, 1.5시간 후 50% 살균과 12시간 후 98% 이상의 높은 살균효과를 나타냈다.

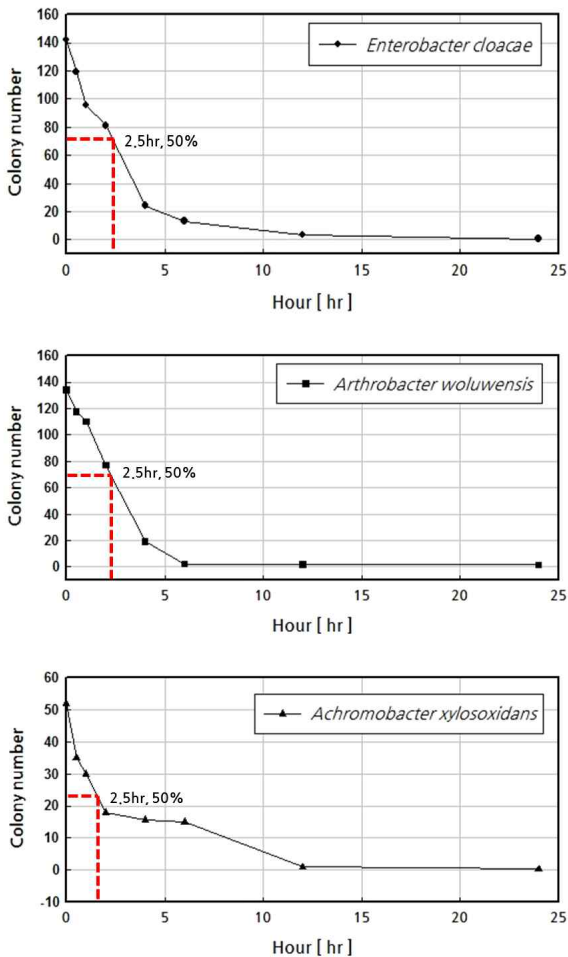


그림 5. UV LED 살균결과
Fig. 5. Result of sterilization using UV LED

표 3. 실험결과
Table 3. Rate of sterilization power

| | <i>E.cloacae</i> | <i>A.woluwensis</i> | <i>A.xylosoxidans</i> |
|-------|------------------|---------------------|-----------------------|
| 0hr | 0% | 0% | 0% |
| 0.5hr | 15.98% | 12.36% | 32.69% |
| 1hr | 32.6% | 17.87% | 42.3% |
| 2hr | 42.95% | 42.66% | 65.38% |
| 4hr | 82.88% | 85.62% | 69.8% |
| 6hr | 86.4% | 98.28% | 71.15% |
| 12hr | 97.46% | 98.51% | 98.07% |
| 24hr | 99.5% | 98.8% | 99.4% |

전체적으로 6~12시간 이상 UV LED를 조사할 경우 미생물의 DNA와 RNA가 파괴되어 미생물의 증식과 재생에 큰 영향을 미친 것으로 판단된다.

4. 결 론

LED 식물공장에서 발생하는 유해미생물 중 분석과 UV LED를 이용하여 유해미생물의 살균효과를 알아보았다. 먼저 LED 식물공장에서 채집한 시료를 미생물을 분석한 결과 *Enterobacter cloacae*, *Bacillus cereus*, *Aeromonas hydrophila*, *Arthrobacter woluwensis*, *Ralstonia pickettii* 등의 인체에 유해한 병원성 미생물들이 다수 발견되었다.

3회 반복된 실험에서 빈도수가 높은 미생물은 *Enterobacter cloacae*, *Arthrobacter woluwensis*, *Achromobacter xylosoxidans* 3종이었으며, *Achromobacter xylosoxidans*는 1.5시간 살균시 가장 높은 50% 살균효과를 나타내었고, *Enterobacter cloacae*와 *Arthrobacter woluwensis*는 2.5시간 살균시 약 50%의 살균효과를 나타내었다.

유해미생물 3종에 대한 UV LED 살균실험 결과 2.5시간에서 50% 이상, 12시간 이상 조사시 97% 이상의 살균효과를 확인할 수 있었다.

실험을 통해서 LED식물공장에서 발생하는 유해미생물의 중 분석 및 UV LED를 이용한 살균 효과를

시간대별로 확인하였다. 하지만 식물공장에 존재하는 미생물의 수는 다양하기 때문에 추가적인 종에 대한 연구가 필요하다고 판단된다. 또한 UV LED 종류에 따른 발광강도, 최대파장이 다르므로 조사시간별 살균효과에 대한 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것이다.

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2013년)에 의하여 연구되었음.

References

- [1] Hyo Gil Choi, Joon Kook Kwon, Byoung Yong Moon, Nam Jun Kang, Kyoung Sub Park, Myeong Whan Cho, and Young Cheol Kim, "Effect of Different Light Emitting Diode (LED) Lights on the Growth Characteristics and the Phytochemical Production of Strawberry Fruits during Cultivation", Korean Journal of Horticultural Science & Technology, vol. 31, no. 1, pp. 56-64, 2013.
- [2] C. G. Yoon, Ph. D. Thesis (in Korean), "A study on the LED Illumination Lamp Development and Application for Plant Factory" p. 1, Hongik University, Seoul (2012).
- [3] Chul Geon An, Yeon Hyeon Hwang, Jae Ik An, Hae Suk Yoon, Young Ho Chang, Gil Man Shon, and Seung Jae Hwang, "Effect of LEDs (Light Emitting Diodes) Irradiation on Growth of Paprika (Capsicum annum 'Cupra)" Journal of Bio-Environment Control, Vol. 20, no. 4, pp. 253-257, 2011.
- [4] Seok Jin Oh, Han-Soeb Yang, Yang Ho Yoon and Tsuneo Honjo, "Bioremediation on the Benthic Layer in Polluted Inner Bay by Promotion of Microphytobenthos Growth Using Light Emitting Diode (LED) - 1. Effects of irradiance and wavelength on the growth of benthic diatom, Nitzschia sp." Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol 10, no. 2, pp. 93-101, 2007.
- [5] R. B. III. Ernest and A. H. Bruce, "Bioassay for Full-scale UV disinfection system", Wat. Sci. Tech, Vol. 30, no. 4, pp. 115-123, 1994.
- [6] In-Soung Chang, Ju-Hun Lee, Chin-Woo Yi, "A Study on Inactivation of E.coli through 368.6nm UV Irradiation Lamp", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, vol. 23, no. 9, pp. 1-5, September. 2009.
- [7] Gyung-Suk Kil, Sung-Kuk Choi, Dae-Won Park, Sung-Wook Kim, Sang-Gyu Cheon, "Analysis of Disinfection of UV LEDs for Phytoplankton", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 33, no. 6, pp. 959-964, September. 2009.
- [8] A. Lopez-Malo, E. Palou, "Ultravioletlight and food

preservation", Novel Food Processing Technologies. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 405-421, 2005.

◇ 저자소개 ◇



장준철(張俊哲)

1988년 9월 7일생. 2013년 2월 부경대학교 해양바이오신소재학과 졸업. 현재 부경대학교 과학기술융합전문대학원 LED 융합공학 전공.



허인성(許寅盛)

1978년 2월 25일생. 2002년 2월 원광대학교 공과대학 전기전자 공학부 졸업. 2005년 동대 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 2013년 부경대학교 대학원 LED 융합과정 박사과정 중. 부경대학교 LED-해양 융합기술 연구센터 전임연구원.



이세일(李世一)

1983년 10월 16일생. 2009년 2월 원광대학교 공대 전기전자 및 정보통신공학부 정보통신 졸업. 2011년 동대 대학원 정보통신학과 졸업(석사). 현재 부경대학교 LED-해양 융합기술 연구센터 전임연구원.



유영문(劉永文)

1955년 4월 6일생. 1994년 고려대학교 대학원 재료공학과 졸업(박사). 1995년 일본 도호쿠대 금속재료 연구소 객원연구원. 1984~2001 한국화학연구원 책임연구원. 2001~2010년 한국 광기술원 LED사업단장(수석연구원). 2010년 부경대학교 석과교수. 2010~현재 부경대학교 LED-해양 융합기술연구센터 센터장(교수). 현재 부경대학교 전문대학원 LED융합공학전공 주임(교수).