

식물성 플랑크톤에 대한 UV LED의 살균성능 분석

길경석† · 최성국* · 박대원* · 김성욱* · 천상규**

(원고접수일 : 2009년 7월 29일, 원고수정일 : 2009년 9월 7일, 심사완료일 : 2009년 9월 21일)

Analysis of Disinfection Performance of UV LEDs for a Phytoplankton

Gyung-Suk Kil† · Sung-Kuk Choi* · Dae-Won Park* · Sung-Wook Kim* · Sang-Gyu Cheon**

Abstract : This paper dealt with the disinfection performance by Ultra-Violet Light Emitting Diode (UV LED) for a phytoplankton as a basic study for the development of a low-energy consumption ballast water treatment system. UV LEDs having peak wavelength of 255nm, 265nm and 280nm were used in the experiment. UV LED modules with driving circuit were fabricated, and optical and electrical characteristics of them were analyzed. The disinfection performance for phytoplankton depending on the UV wavelength was evaluated by comparing the number of phytoplankton before and after the UV treatments. The experimental result showed that the highest disinfection wavelength for the phytoplankton was 265nm.

Key words : UV LED(자외선 발광다이오드), Wavelength(파장), Disinfection(살균), Phytoplankton(식물성 플랑크톤), Ballast water(평형수)

1. 서 론

평형수(Ballast water)는 선박의 평형을 유지하기 위해서 탑재하는 해수로, 전 세계에서 매년 약 100억톤의 선박평형수가 선박에 의해 옮겨지고 있다. 선박평형수와 함께 항만이나 연안에 포함되어 있는 플랑크톤, 세균, 박테리아 등이 선박평형수 탱크에 저장되며, 이러한 생물들은 타국의 연안 해역에서 선박평형수와 함께 배출되어 해양생태계를 파괴하거나 질병의 원인이 된다^[1].

이러한 배경으로 국제해사기구(International

Maritime Organization)에서는 2004년 2월에 선박평형수 관리조약을 채택하고, 2010년부터 단계적으로 모든 선박에 평형수 처리장치의 탑재를 의무화하고 있다^[2]. 선박평형수의 처리방법으로는 여과, 자외선, 오존, 전기분해 등을 이용한 방법들이 개발되고 있으며, 이 중 자외선을 이용한 방법은 잔류독성이 없고 처리부산물이 생성되지 않는 장점이 있다^[3]. 현재의 자외선 조사(照射)에는 저압 및 중압 자외선 램프가 주로 사용되고 있으나, 이러한 램프 방식은 전력 소모량이 크고 점등시 고전압을 이용하기 때문에 방폭 및 안전에 대한 문제

† 교신저자(한국해양대학교 전기전자공학부, E-mail:kilgs@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4414)

* 한국해양대학교 전기전자공학부

** (주)파나시아 기술연구소

를 고려해야 한다. 이에 비해 자외선 발광 다이오드(UV LED)는 구동전압이 수 V로 방폭 및 안전 구역에 대한 문제가 없으며, 구동전류가 수 십~수 백 mA로 소비전력이 적은 장점이 있다. 또한 UV-C 영역에 해당하는 단파장을 선택적으로 조사할 수 있어 살균 효율을 높일 수 있다.

본 연구에서는 UV LED를 이용한 선박평형수 처리장치 개발을 위한 기초연구로써 255nm, 265nm, 280nm에서 주 파장을 갖는 UV LED의 식물성 플랑크톤(Tetraselmis sp.)에 대한 살균 특성을 분석하였다.

2. UV LED 모듈

2.1 자외선 발광다이오드(UV LED)

현재 자외선 영역에서 발광하는 LED로는 직접 천이형 에너지 밴드구조의 AlN, ZnO, GaN 등을 이용한 소자가 있으며, 200~400nm의 파장대역을 가진다. 이 중 200~300nm의 파장대역은 미생물의 DNA와 RNA의 구조를 변형시키는 살균파장으로 알려져 있다^[4]. 본 논문에서는 자외선 파장에 따른 식물성 플랑크톤의 살균특성을 분석하기 위해 255nm, 265nm, 280nm의 최대 발광피크를 갖는 UV LED를 사용하였다. Table 1은 실험에 사용된 UV LED의 특성을 나타낸 것으로 모듈에 따라 순방향전압이 다르지만 구동전류는 20mA로 동일하다.

Table 1 Specification of the UV LED chips

구 분	255nm	265nm	280nm
순방향전압[V]	7.3	6.5	5.7
구동전류[mA]	20	20	20

2.2 UV LED 단위모듈

Fig. 1에 제작한 UV LED 모듈을 나타내었다. 모듈은 LED에서 방출되는 열의 배출을 용이하게 하기 위하여 금속인쇄기판(Metal PCB)로 이루어져 있으며, 40개의 UV LED를 배열하고 소자를 보호하기 위하여 제너다이오드를 UV LED와 병렬로 구성하였다.

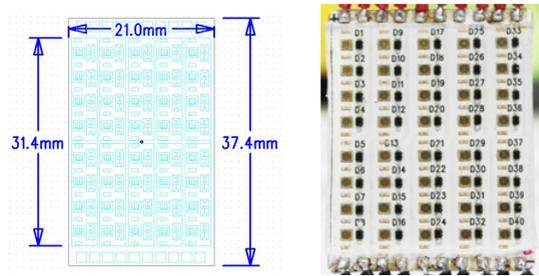
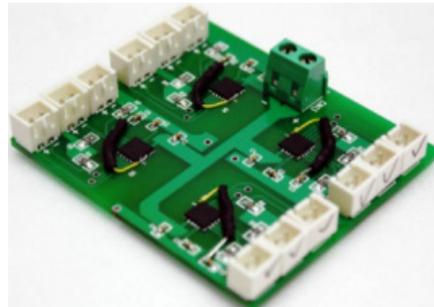


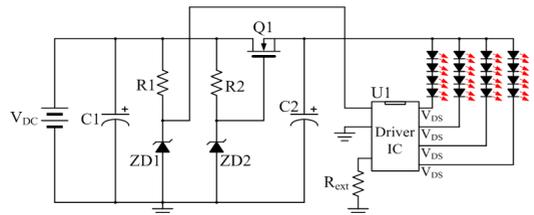
Fig. 1 Configuration of the UV LED module

2.3 모듈 구동 드라이버

LED에 허용전류 이상의 전류가 인가되면 소자가 파괴되거나 기능저하가 나타나므로 정전류 제어를 통한 구동이 필요하다. UV LED의 안정적인 구동을 위하여 Fig. 2와 같이 정전류 제어회로를 제작하였다.



(a) Photograph



(b) Circuit

Fig. 2 LED driver

제작된 제어회로의 정전류 특성은 Fig. 3과 같으며 LED의 순방향전압 V_F 를 결정하고 외부저항 R_{ext} 를 조정하면 20~60V_{DC}범위의 입력전압 변동에도 정전류를 출력할 수 있는 특성을 갖는다.

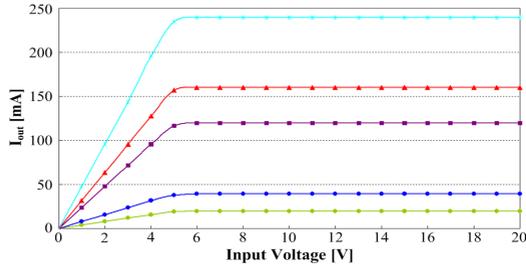


Fig. 3 I-V characteristics of the driver

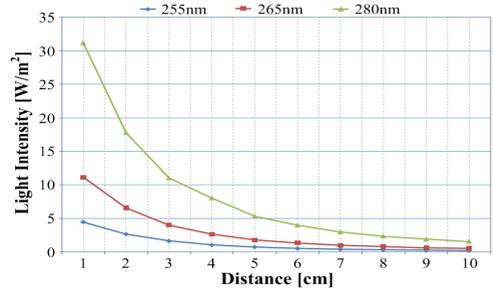


Fig. 5 Intensity of the UV LED modules

3. 실험

3.1 스펙트럼 분석

제작된 UV LED모듈의 스펙트럼 특성을 분석하기 위해 스펙트로미터(Avaspec-3648/Avantes)를 사용하였으며 Fig. 4에 UV LED의 스펙트럼 특성을 나타내었다. 실험에 사용된 UV LED 모듈은 255nm, 265nm, 280nm에서 각각 최대발광 피크를 나타내며, 약 10nm의 반치폭(FWHM)을 가진다. 해당 파장 이외의 영역에서는 스펙트럼이 측정되지 않는 단파장 발광 특성을 가지고 있어 각 파장에 따른 선택적인 광 조사가 가능하다.

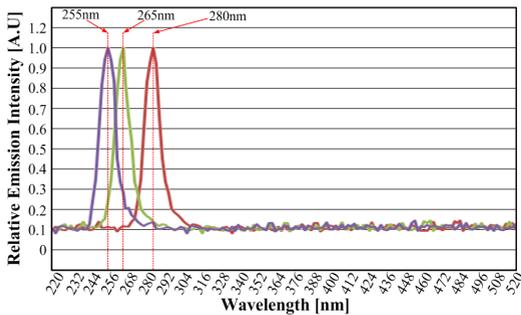


Fig. 4 Spectrum of the UV LED modules

3.2 자외선 강도 분석

동일한 조사량의 실험을 위해서는 각 모듈별 자외선강도의 분석이 필요하다. 제작된 UV LED모듈의 자외선 강도를 분석하기 위해 자외선 강도계(HD2102/Deltaohm)를 사용하였다.

Fig. 5는 측정된 UV LED모듈의 자외선강도 특성을 나타낸 것이다.

모듈별 발광강도가 다르기 때문에 본 실험에서는 동일한 조사량을 얻기 위해 식 (1)에 의해 조사시간의 변화를 주었다. I 는 자외선 강도 mW/cm^2 이며, t 는 노출시간 sec 이다.

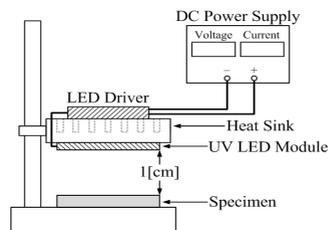
$$UVdose = I \times t \text{ [mJ/cm}^2\text{]} \quad (1)$$

3.3 살균특성 분석

UV LED모듈의 살균특성을 분석하기 위하여 Fig.6(b)와 같이 실험계를 구성하였다. 식물성 플라angk톤(Tetraselmis)배양액은 자외선 광원으로부터 1cm 하부에 배치하였으며 모듈별로 각각 100~400mJ/cm²의 에너지를 조사하였다.



(a) Photograph



(b) Set-up

Fig. 6 Configuration of the experimental apparatus

식물성 플랑크톤의 계수와 사멸 판단은 Fig. 7의 형광현미경(Axiostar-plus/Carl Zeiss)을 이용하였으며 자외선 처리 전/후 그리고 5일 후의 개체수를 비교하여 살균특성을 분석하였다.

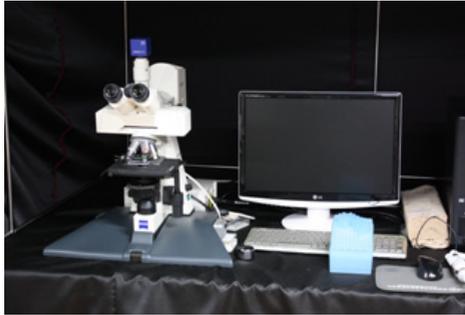
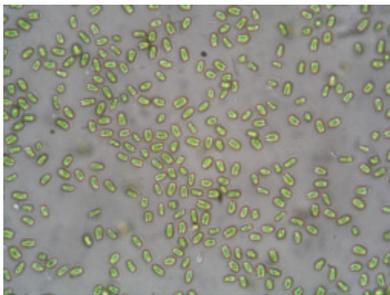


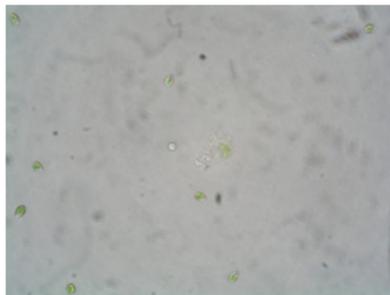
Fig. 7 Fluorescence microscope

4. 결과 및 고찰

Fig. 8에 자외선 조사 전과 후의 Tetraselmis를 각각 나타내었다. 노출 전의 Tetraselmis는 타원 형태의 선명한 세포막을 나타내고 있으나, 자외선 노출 후에는 세포막이 변형된 것을 확인 할 수 있다.



(a) Before

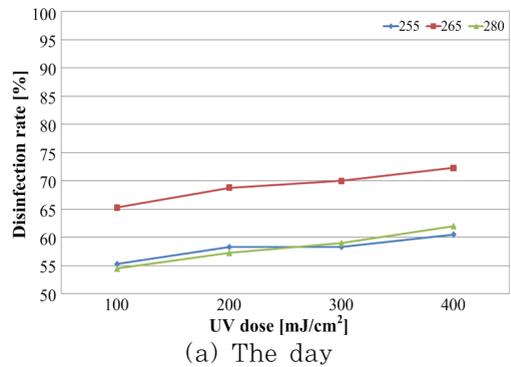


(b) After

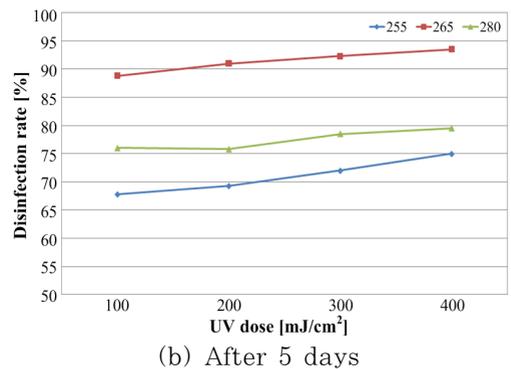
Fig. 8 Result of UV treatment

Fig. 9는 조사에너지에 따른 파장별 살균율을 나타낸 것으로 전체적으로 조사에너지가 높을수록 사멸율이 증가하는 특성이 나타났다. 각 모듈별 사멸율은 265nm UV LED모듈에서 89~93%, 280nm와 255nm 모듈은 68~75% 및 76~80%로 나타났다.

실험결과에 따르면 Tetraselmis의 경우 UV-C의 파장에서 유효살균영역이 형성되며, 특히 260~270nm구간에서 사멸율이 우수한 것으로 분석되었다.



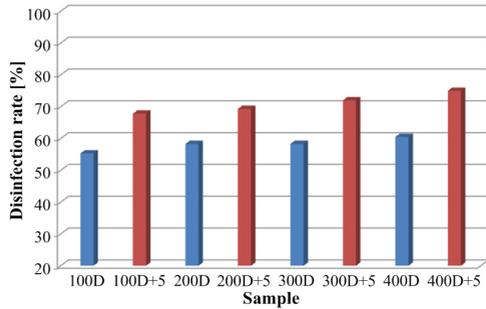
(a) The day



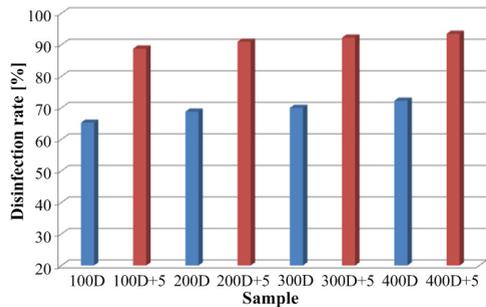
(b) After 5 days

Fig. 9 Comparison of disinfection rate for Tetraselmis by UV LED modules

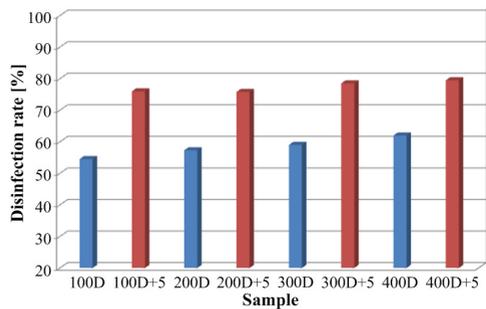
Fig.10은 각 모듈의 자외선 처리 당일과 5일 후의 사멸율을 나타낸 것으로 자외선 처리 당일에 비해 5일 후의 사멸율이 높게 나타났다. 이는 자외선에 의해 식물성 플랑크톤의 핵산의 파괴되고 세포 증식이 억제되어 나타나는 현상이라고 판단된다.



(a) 255nm module



(b) 265nm module



(c) 280nm module

Fig. 10 Disinfection rate of *Tetraselmis* by UV dose

5. 결 론

본 논문에서는 UV LED의 자외선 파장에 따른 식물성 플랑크톤의 살균특성에 대하여 기술하였다. 실험결과, 260~270nm 파장대역을 갖는 265nm LED모듈에서 살균효율이 가장 높게 나타났다. 또한 5일 후의 측정결과, 자외선 조사 당일보다 더욱 많은 개체가 사멸된 것을 알 수 있으며 이는 핵산의 파괴에 의한 세포증식 억제현상으로 판단된다^[5].

실험결과에 따르면 *Tetraselmis*의 경우 약 260~270nm의 구간에서 자외선 흡수율이 높으며, 세포의 핵산이 UV-C에 해당되는 260nm대의 파장을 잘 흡수한다는 보고와 일치한다^{[6],[7]}. 동일한 자외선 조사량에서 식물성 플랑크톤인 *Tetraselmis*를 살균하기 위해서는 265nm의 UV LED를 사용하는 것이 가장 효율적인 것으로 나타났다. 그러나 UV LED 종류에 따라 자외선의 발광 강도가 다르기 때문에 조사시간별 살균효율에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 에너지자원기술개발사업(2008-E-EL-02-P-02-0-000-2008)과 정보통신연구진흥원의 대학IT연구센터 지원사업(IITA-2009-C1090-0903-0007)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] IMO, "Alien invaders-putting a stop to the ballast water hitch-hikers", Focus on IMO, 1998.
- [2] IMO, "International Convention for the Control and Management of Ship's Ballast Water and Sediments, 2004", BWM/CONF/36, 2004.
- [3] James R. Bolton, Christine A. Cotton, "The Ultraviolet Disinfection Handbook", American Water Works Association, 2008.
- [4] A. Lopez-Malo, E. Palou, "Ultravioletlight and food preservation", Novel Food Processing Technologies. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 405-421, 2005.
- [5] H.I. Adler, "The genetic control of radiation sensitivity in microorganisms", Advances in Radiation2, pp.167-191, 1966.
- [6] R.B. Emest, III, and A.H. Bruce,

"Bioassay for full-scale UV disinfection system", Wat. Sci. Tech. Vol. 30, No. 4, pp. 115-123, 1994.

- [7] J. Jagger, Introduction to Research in Ultra violet photobiology, Prentice Hall, Inc, 1967.

저 자 소 개



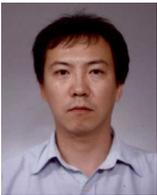
길경석(吉曠碩)

1962년 6월 30일생. 1984년 인하대학교 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2003년 3월~2004년 2월 영국 카디프대학 방문교수. 1996~현재 한국해양대학교 전기전자공학부 교수.



최성국(崔聖國)

1981년 11월 21일생. 2008년 한국해양대학교 나노반도체공학과 졸업. 2008~현재 한국해양대학교 전기전자공학부 석사과정.



박대원(朴大元)

1977년 12월 28일생. 2002년 한국해양대학교 전기시스템공학과 졸업. 2005년 동 대학원 전기전자공학과 졸업(석사). 2007~현재 한국해양대학교 전기전자공학부 박사과정.



김성욱(金星旭)

1981년 6월 15일생. 2008년 한국해양대학교 전기전자공학부 졸업. 2008~현재 한국해양대학교 전기전자공학부 석사과정.



천상규(千相奎)

1972년 1월 18일생. 1997년 한국해양대학교 전기공학과 졸업, 2008년 한국해양대학교 대학원(박사과정수료), 현재 주식회사 파나시아 차장.