

## 전기펄스에 의한 식물성 플랑크톤의 사멸

최용기\* · 장운용\*\* · 박대원\*\* · 천상규\*\* · 길경석\*\*

\*한국해양대학교 산업기술연구소

\*\*한국해양대학교 전기전자공학부

## Disinfection of Phytoplankton by Electrical Pulse

Yong-Ki Choi\* · Un-Yong Jang\*\* · Dae-Won Park\*\* · Sang-Gyu Cheon\*\* · Gyung-Suk Kil\*\*

\*Research Institute of Industrial Technology, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

\*\*Division of Electric and Electronics Engineering, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**요약** : 선박평형수와 함께 이동되는 해양생물, 세균, 박테리아 등은 환경오염과 생태계파괴의 원인이 되고 있다. 이에 국·내외적으로 다양한 선박평형수 처리기술이 개발되고 있다. 본 논문에서는 전기적 살균 방법을 선박평형수 처리기술에 적용하기 위한 기초연구로써, 구형파 및 정현파 펄스를 처리를 통한 식물성 플랑크톤의 사멸효과를 조사하였다. 식물성 플랑크톤 *Phaeodactylum* sp. 배양액에 구형파 및 정현파 펄스를 인가전압(10 V, 30 V)과 주파수(60, 100, 300, 500, 1000 Hz)를 달리 처리하여 각각의 살균효율을 분석하였다. 실험 결과, 정현파 및 구형파에서 각각 최고 92%, 91%의 사멸율을 나타내었으며, 인가전압이 높아질수록 사멸율이 높아지는 것으로 나타났다. 주파수에 따른 사멸율은 100 Hz에서 가장 높은 사멸율을 나타내었지만 주파수에 따른 차이는 나타나지 않았다.

**핵심용어** : 선박평형수, 펄스, 구형파, 정현파, 식물성 플랑크톤, 사멸율

**ABSTRACT** : Ship ballast water affects various marine species in the port or near the coast. When ships come in and/or out of the port, the discharged ballast water contaminates the seawater and destroys the marine ecology system. In this paper, the disinfection efficacy of phytoplankton (*Phaeodactylum* sp.) were analyzed by application of electric pulse (square wave and sine wave) as a basic study for the development of a ballast water treatment system. We applied the pulse (square wave and sine wave) to culture solution and compared with census figures before and after pulse application according to voltage and frequency. The experiment results showed that disinfection rate of phytoplankton depend on the voltage magnitude and the highest disinfection (92%) were appeared at 30 V and 100 Hz frequency in square wave application group.

**KEY WORDS** : Ballast water, Electric pulse, square wave, sine wave, phytoplankton, disinfection rate

### 1. 서 론

국제 교역량의 90% 이상이 선박을 통해서 운송되고 있으며, 이와 함께 선박의 안정적인 운항을 위하여 탑재하는 선박평형수(Ballast water)도 연간 100억여 톤 이상이 이동되고 있다[1]. 이 과정에서 선박평형수내의 수산생물, 미생물, 병원균 등이 함께 이동되어 타국의 연안 해역에서 해양생태계의 파괴와 해양 오염을 야기 시키고 있다[2]. 이러한 배경에서 국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)는 2004년 2월

“선박 밸러스트 수와 침전물 관리를 위한 국제협약”을 채택하여 2010년부터 선박평형수의 처리기준을 적용하기로 하였다[3]. 국제협약이 적용될 경우 모든 선박은 의무적으로 선박평형수 처리장치를 탑재하여 선박평형수내에 존재하는 해양생물을 포함한 각종 세균을 처리해야한다. 이에 따라, 국내·외적으로 선박평형수의 처리 및 관리기술에 관한 연구개발이 활발하게 진행되고 있다.

현재까지 밸러스트 수 처리 기술은 여과, 분리, 자외선, 열, 초음파, 오존, 전기분해 등을 이용한 다양한 물리, 화학적인 처

\* yonk@hhu.ac.kr 051)410-4175

\*\* kilgs@hhu.ac.kr 051)410-4414

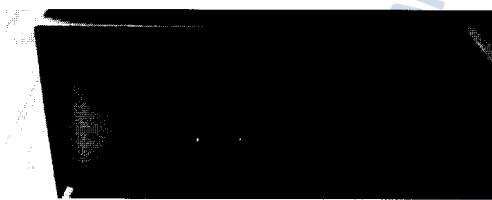
리방법이 적용되고 있다. 하지만, 처리장치의 규모, 유지, 안전, 2차 부산물을 통한 오염 등의 문제가 야기되어 기존 처리방법의 개선이나, 새로운 방법의 처리기술개발이 요구되고 있다.

본 연구에서는 식품공업에서 사용되고 있는 세균 및 미생물 살균방법 중 하나인 전기적 펄스 살균방법을 선박평형수 처리방법에 적용하고자 한다. 전기적인 처리방법은 액체 내에 살아있는 미생물에 전압 및 전류를 인가하여 살균하는 기술[4]로 처리시간이 짧고 연속처리가 가능한 특징이 있다. 본 실험에서는 식물성 플랑크톤에 정현파와 구형파 펄스를 인가하고 사멸율을 분석하여 펄스 살균방식의 선박평형수 처리시스템으로의 적용가능성을 알아보았다.

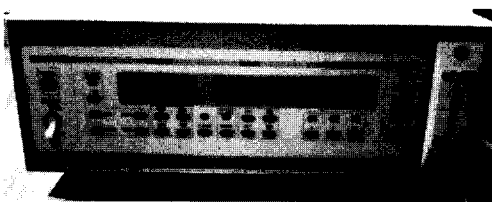
## 2. 실험 및 방법

### 2.1 펄스 발생장치

펄스에 대한 식물성 플랑크톤의 사멸효과를 분석하기 위하여 Fig. 1과 같이 구형파 및 정현파 발생장치를 사용하였다. 구형파 발생장치는 출력전압과 주파수를 각각 0~300 V<sub>p-p</sub>, 60 Hz~1 kHz까지 가변 할 수 있으며 정현파 발생장치는 출력전압 및 주파수를 각각 0~300 V<sub>rms</sub>, 45 Hz~500 Hz까지 조절이 가능하다.



(a) Square wave generator



(b) Sine wave generator

Fig. 1 Photograph of wave generators

### 2.2 실험 생물

실험에 사용된 식물성 플랑크톤은 Heterokontophyta의 *Phaeodactylum* sp.을 사용하였다. IMO에서 승인된 “선박평형수 관리장치의 승인에 관한 지침서”내 “관리장치 승인시 성능요건”의 실험생물 농도 규정(10~50 μm 크기생물, ml당 10<sup>3</sup>개체 이상)에 따라 2~3 x 10<sup>3</sup> cell/ml 농도의 시험수를 준비하였다.

### 2.3 실험계의 구성

정현파 및 구형파의 살균효율을 분석하기 위하여 Fig. 2와 같이 실험계를 구성하였다. 식물성 플랑크톤 *Phaeodactylum* sp.의 배양액 200 ml에 정현파 및 구형파 전압을 30초간 인가하였으며 이 때 측정된 전압 및 전류의 파형을 Fig. 3에 나타내었다.

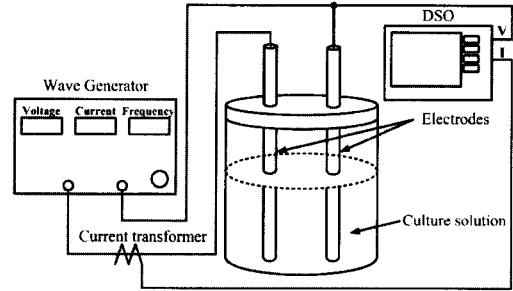
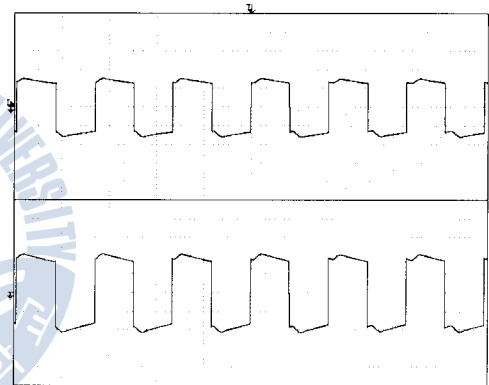


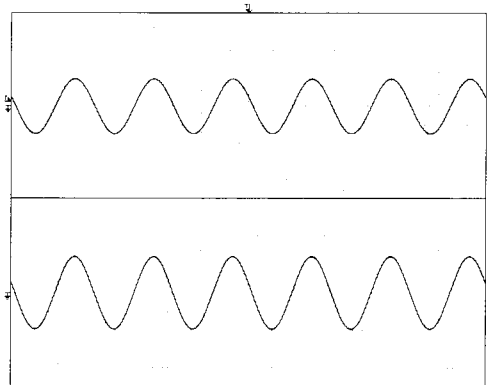
Fig. 2 Configuration of the experimental apparatus



Upper : Applied voltage [20 V/div, 5 ms/div]

Lower : Applied current [ 2 A/div, 5 ms/div]

(a) Square wave



Upper : Applied voltage [20 V/div, 5 ms/div]

Lower : Applied current [ 2 A/div, 5 ms/div]

(b) Sine wave

Fig. 3 Typical waveform of applied voltage and current

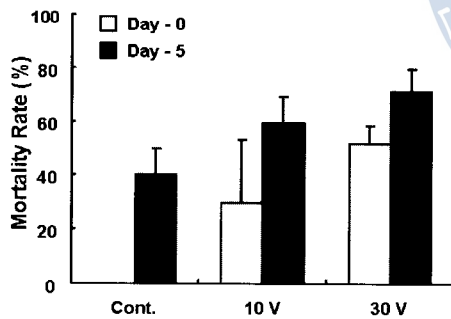
인가전압에 따른 살균효율 분석을 위해 주파수를 고정시키고 전압을 각각 10 V, 30 V로 인가하였으며, 주파수에 따른 사멸효율 분석을 위해 전압을 30 V로 고정시키고 주파수를 60, 100, 300, 500, 1000 Hz로 변화시키면서 각각의 주파수에 따른 사멸효율을 측정하였다.

#### 2.4 사멸여부 판단

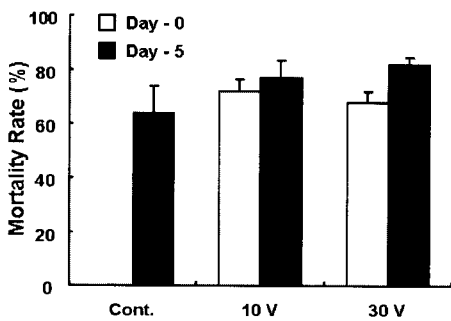
펄스 처리 후의 식물성 플랑크톤은 IMO 협약 “처리수를 최소 5일간 보존 후에 배출 할 것”에 근거하여 5일 동안 암실조건에서 방치하였으며, 펄스 처리 전과 직후 그리고 처리 후 5일째에 개체수를 측정하였다. 식물성 플랑크톤의 생사 판별은 후운동성의 유무를 관찰한 후에 형광현미경(Axiostar-plus /Carl Zeiss)을 이용하여 엽록소 형광색 차이를 기준으로 측정하였다. 관찰시 적색은 살아있는 개체로 노란색은 죽어있는 개체로 판단하여 계수하였다.

### 3. 결과 및 고찰

식물성 플랑크톤 *Phaeodactylum* sp.를 대상으로 구형파와 정현파 펄스 각각 인가 후 현미경관찰을 통하여 생존 개체를 계수하였다. 생존 개체수를 처리 전 대조구의 개체수와 비교하여 사멸율을 계산하였다. Fig. 4에 전압에 따른 사멸율을 나타내었다.



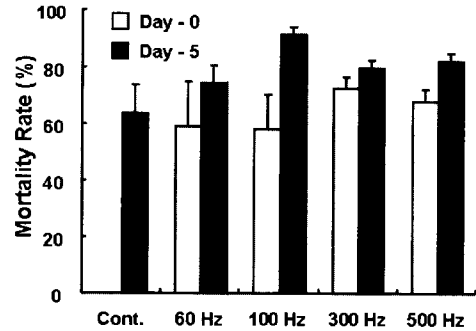
(A) Square wave



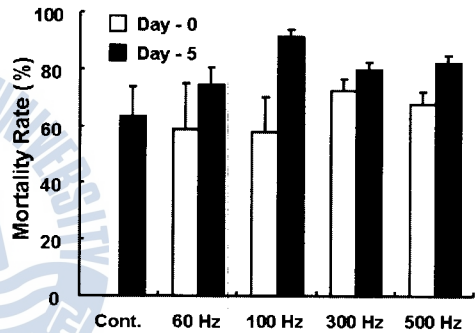
(B) Sine wave

Fig. 4 Disinfection rate according to voltage

구형파, 정현파 처리구 모두 인가전압이 증가할수록 사멸율이 증가하는 것으로 나타났다. 주파수에 따른 사멸율은 구형파, 정현파 간의 차이는 없었으며, Fig. 5와 같이 100 Hz에서 구형파 92%, 정현파 91%로 가장 높은 사멸율을 나타내었다.



(A) Square wave



(B) Sine wave

Fig. 5 Disinfection rate according to frequency

본 실험결과, 펄스 처리를 통하여 약 90%의 높은 사멸능력을 가지는 것으로 났으나, IMO에서 규정하고 있는 ml당 생존존량 10 cells 미만(사멸율 99.5%)에는 부합하지 못하였다. 하지만, 간단한 처리방법과 저전압의 장점으로 볼 때, 사멸능력을 조금만 더 개선한다면 선박평형수 처리의 한 방법으로서의 펄스 처리방법의 적용 가능성이 매우 높을 것으로 사료된다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 선박 평형수의 전기적인 처리방법에 대한 기초연구로서 펄스에 대한 식물성 플랑크톤의 사멸 효과에 대한 연구를 수행하였다.

*Phaeodactylum* sp. 배양액에 구형파와 정현파 전압을 인가하여, 각각의 인가전압 및 주파수에 따른 영향을 분석하였다. 실험결과, 인가전압이 상승할수록 사멸효율이 높게 나타났으며, 100 Hz의 주파수에서 가장 높은 사멸율을 나타내었다. 그리고 구형파와 정현파를 비교해 볼 때 정현파가 더 높은 사멸

## 전기필스에 의한 식물성 플랑크톤의 사멸

율을 나타내었지만, 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 실험결과를 통하여 볼 때, 필스 처리시 90% 이상의 높은 사멸효과로 필스처리방법은 선박평형수 처리에 적용 가능성이 매우 높을 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- [1] IMO, 2000(4-6): Global Ballast Water Management Programme, Ballast Water News.
- [2] 길경석, 최성국, 박대원, 김성욱, 천상규, 2009: 식물성 플랑크톤에 대한 UV-LED의 살균성능 분석, 한국마린엔지니어링학회지, 제33권 제6호, pp.959-964.
- [3] IMO, 2004: International Convention for the Control and Management of Ship's Ballast Water and Sediments, IMO, BWM/CONF/36.
- [4] 유동욱, 김학성, 백주원, 류홍제, 임근희, Pavlov, 박선순, 1997: 저온 살균용 필스형 고압 대전류 전원장치 개발, 전력전자학회 1997년 학술대회논문집, pp.266-268.
- [5] 박대원, 김성욱, 최성국, 반찬용, 길경석, 2009: 구형과 필스에 의한 식물성 플랑크톤의 비활성화 특성 분석, 한국마린엔지니어링학회 2009년도 공동학술대회논문집, pp.445-446.

원고접수일 : 2010년 01월 11일

원고채택일 : 2010년 02월 25일

