

# 비접촉식 플라즈마 수처리 장치(플라투스) 개발

이민기, 정병조, 박준형, 조길환  
자원전자(주)

## Development of Water Treatment System Using Non-contact Plasma

Min ki Lee, Byung jo Jeong, Jun hyung, Park, Gil hwoan Jo  
JARWON Electronics

### ABSTRACT

Plasma Water Treatment, a Unique System(PLATUS) of algae(Chl a) removal efficiency is average 90.6 up to 99.6%,

It is cost effective facility because it doesn't need any other chemicals and consumables.

Also, It is Eco friendly installation with no sludge.

It is easy to transform its treatment capacity by the number of Plasma installation.

As it requires small space for installing, It can be installed in Land nearby water, vehicle mounted, and set on the ship.

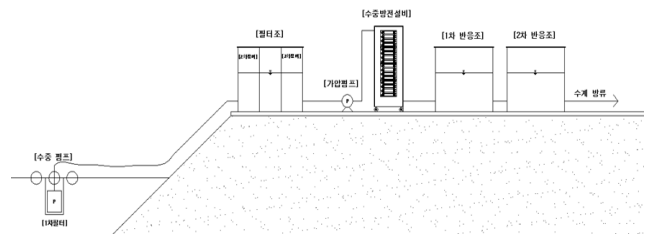


그림 1 조류제거시스템 구성도

Fig. 1 Configuration of the algae removal system

### 1. 서론

정체성 수역에서는 부유성 물질이 많이 누적되어, 조류 농도가 높고 발생 빈도도 잦아짐에 따라 용수의 이용에 어려움이 있는 실정이며, 쾌적한 친수 공간을 확보하고, 용수 이용의 효율성을 증진시키기 위해 친 환경이면서 저비용의 조류제거 시스템이 요구되어지고 있다.

2010년 한국환경공단과 공동으로 부천 하수종말처리장에 150톤/일 플라즈마 수중 방전 수처리 장치를 설치하여, 기초 시험 완료하였고, 2011년 9월 환경부 금강유역청 시범사업으로 대청댐에 2,000톤/일 비접촉식 플라즈마 조류제거장치를 설치하여, 녹조 클로로필 a 제거 효율과 생태계의 안전성 그리고 경제성을 검토하고자 한다. [1]

### 2. 비접촉식 플라즈마 조류제거 시스템

#### 2.1 전체 수처리 시스템 구성 및 특징

수중펌프에 의해 취수한 물을 필터조를 통해 물리적인 불순물을 제거하고, 플라즈마 발생장치에서 발생된 오존과 섞어 고농도오존수를 만들고, 이 오존수를 플라즈마 방전관에 유입시키고, 고압 전계를 인가하여 OH Radical을 활성화시켜 수중 유해 세균 및 조류를 사멸 시키고, 난 분해성 물질 분해하여 생분해력을 높이고, 색도 및 냄새성분을 제거 후 반응조를 거쳐 수계 방류된다.

슬러지가 없어 깨끗하고, 화학 약품을 사용하지 않으므로 경제성이 높고, 친환경 방식의 조류제거 장치이다.

#### 2.2 플라즈마 수처리 원리

산소를 고전압 방전영역에 주입하면 플라즈마 상태로 되어 오존가스를 생성시켜 생성오존을 처리원수와 함께 방전관 내부로 통과시키면 방전관 내 고전압에 의해 OH 라디칼, 과산화수소 등 산화성 물질을 생성하게 되고 오존 및 용존산소가 높은 고품질 처리수가 생성된다.

수중세균의 세포막, 세포벽 구성 물질과 OH 라디칼 반응에 의해 지질을 과산화(Lipid per oxidation)시켜 세포를 사멸하고, 오존 및 수방전 에너지에 의해 난분해성 물질이 분해되어 처리 후, 생분해도가 증가된다.

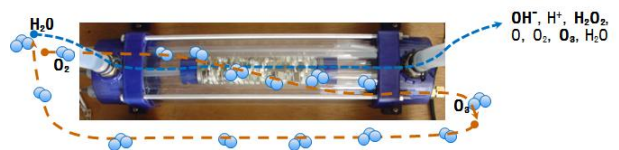


그림 2 플라즈마 수(水) 방전관 구조와 원리

Fig. 2 Principles and configuration of a plasma water DT



그림 3 플라즈마 수(水) 방전관 방전

Fig. 3 Discharged of a plasma water DT

## 2.3 플라즈마 조류제거 시스템 구성

### 2.3.1 플라즈마 수(水)방전관

가. 내부관, 외부관 이중 구조(DT: Discharge tube)

내부: 물 배관

외부: 공기(산소/오존)배관

나. 내부, 외부 절연 전극

- 내부전극은 방전관 안쪽 중앙, 외부 전극은 방전관 외면에 나선형 형태로 설치
- 두 전극이 절연되어 있어, 전류가 흐르지 않아 전기 분해에 의한 전극 마모가 없고 물에 방전 전류가 흐르지 않아 고 효율임
- 내부 전극과 외부전극에는 3kV의 고전압이 걸리지만 절연변압기 사용하여 전원 분리되어 안전함.

다. 누수 센서 전극

누수 감지용 센서전극을 하단에 설치하여 방전관 누수 감지되면 즉시 전원 차단

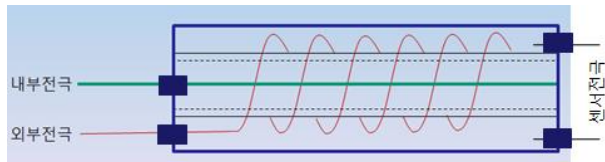


그림 4 수(水)방전관 전극구조  
Configuration of a water DT's electrode

### 2.3.2 고효율 공진형 인버터 전원장치

기존 펄스 형태의 플라즈마 전원장치는 부피가 크고, 소음이 높으며 에너지 효율도 상대적으로 낮은 문제점이 있었다. 이에 이번에 제작된 조류제거시스템에 적용된 인버터는 본 연구자가 앞서 연구에서 개발한 ZCS공진형 Full Bridge 인버터로 특징은 고효율, 소형 제품화가 가능하며 미세 출력 선형제어 가능하며, 반영구적인 특성을 가지고 있다.

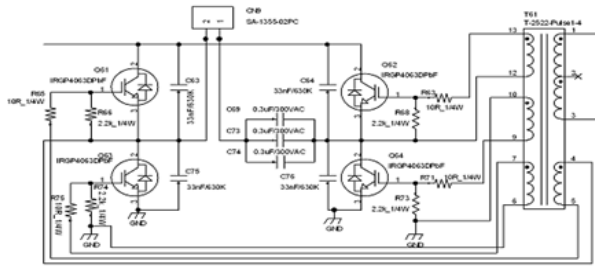


그림 5 ZCS 공진형 인버터 회로  
Fig. 5 Circuit of ZCS resonant inverter

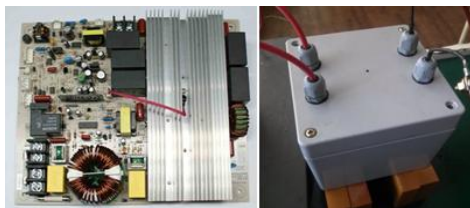


그림 6 인버터와 고압트랜스 사진  
Fig. Photos of Inverter and HV trans

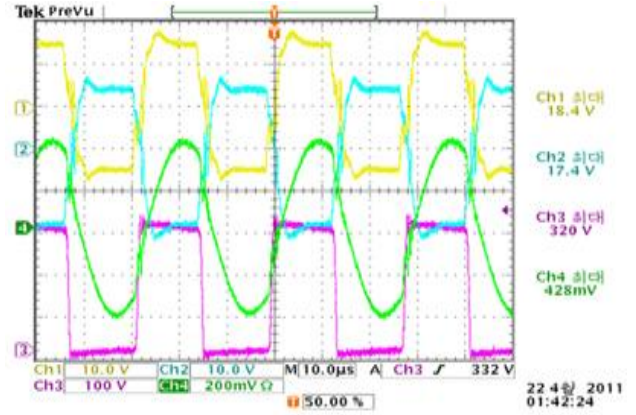


그림 7 인버터 동작 파형  
Fig. 7 Operation Waveform of the inverter

표 1 인버터 사양  
Table 1 Specifications of the Inverter

항 목	세부사양
인버터 출력	4kW Max
인버터 방식	ZCS 공진형
냉각방식	강제공냉식
동작주파수	25~30kHz

### 2.3.3 플라투스 시스템 구성 및 흐름

수중 펌프에 의해서 원수가 유입되고 이는 필터조에 의해 물리적으로 큰 입자를 거른 다음 플라즈마 발생장치에 원수가 유입된다. 플라즈마 발생장치에서는 오존이 만들어지고, 이 오존과 유입된 원수를 잘 혼합하여 고농도 오존수를 만들어 플라즈마 방전관 내측관에 유입되어 고전압 전계에 의해 사멸 또는 분자가 분해된다. 반응조에서 약 20분 정도 반응하여 오존 농도가 0.1PPM 이하가 되면 수계에 방류한다.



그림 8 플라투스 시스템 구성 및 흐름도  
Fig. 8 PLATUS system configuration and flow

## 2.4 기초실험 결과 및 실제 환경 적용 결과

방전관 내에 유전체 비드(Bead) 넣어 비드와 먼의 접점 및 비드와 비드의 접점에 큰 에너지가 집중되어 수중 고전계 형성으로 대장균이 사멸되었다. 수중 대장균 제거율은 인가전압이 2배가 될 경우 대장균 제거율도 약 2배이상 증가되었다.

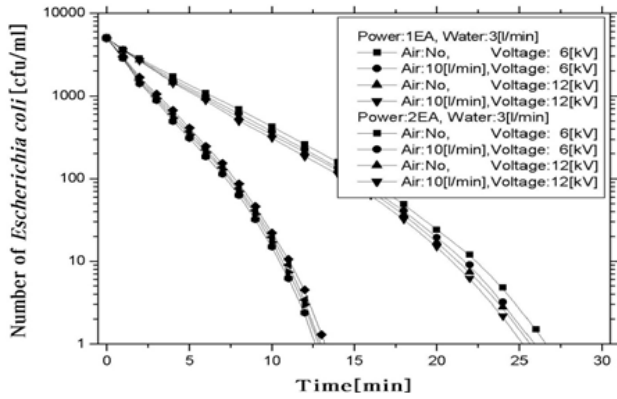


그림 9 플라즈마 수(水)방전관 대장균 제거특성  
Fig. 9 The removal characteristics of E. coli in a plasma water DT

### 2.4.1 설치 처리 결과

- 가. 굴포천 하수종찰 처리적용 결과
- BOD/COD(Cr) 110% 이상 증가 및 개선
  - 수계 중 직접(54.4%) 및 간접(생분해도 110%)처리하여 생물학적 공정 처리보다 양질의 물 생산 가능
  - 총 대장균 사멸 : 약 92%
  - 나. 대청호 적용 결과
  - 유입조류농도 평균 58(ppb)에서 처리후 5.9(ppb)로 제거효과 높음
  - 유출수의 생태독성(TU) 측정결과 0임
  - 플라즈마 방식은 녹조1톤당 처리비용이 27원으로 매우 경제 적이며, 전극소모가 없고, 어떠한 화학약품 처리를 하지 않아 환경친화적이며, 슬러지가 발생되지 않아 처리인력 감소

## 3. 결 론

플라투스(비접촉식 플라즈마 수처리 장치)의 녹조(Chl a) 제거효율은 평균 90.6%로 높고, 최적 조건에서는 99.6%까지 제거되었다.

전기 이외 별도의 화학약품이나 소모품이 들어가지 않아 처리비용이 매우 경제적(27원/톤)이며, 슬러지 발생이 없는 친환경 수처리장치를 구성할 수 있다.

플라즈마 발생장치의 병렬 개수에 따라 처리용량의 변경이 자유로워 맞춤형 용량이 설계가능하며 설치 면적이 작아 옥상 이동설치, 차량 탑재 및 수중(바지선)에 설치가 가능하지만 수중에 설치할 경우, 친환경 대전력 전원장치의 개발(예: 친환경 배터리 충전, 인버터)이 어려운 과제로 예상된다.

이 논문은 국가연구개발사업연구비 지원에 의하여 연구되었음

## 참 고 문 헌

- [1] N.G. Hingorani, "Power Electronics in Electric Utilities : Role of Power Electronics in Future Power System", Proceedings of the IEEE, Vol. 76, No. 4, pp. 481-482, 1988, April.
- [2] Curtis F. Gerald, Applied Numerical Analysis: Second Edition, Addison Wesley Publishing Company, Inc. pp. 1-14, 1978.
- [3] A Study on Microwave Oven's Power Supply with high Efficiency & Turbo Power using ZCS Inverter June 20 2003