

유해 세균 제거 분석 연구

조국희, 김영배, 조문수, 박보현, 신광철, 이동훈

한국전기연구원, (주)오쓰리테크, (주)태양엔지니어링, 미래워터에어텍

A study on Harmful Bacillus Removal Analysis

Kook-Hee Cho, Young-Bae Kim, Moon-Soo Cho, Bo-Hyun Park, Kwang-Chul Shin, Dong-Hoon Lee

KERI, O₃Tech, Tae Yang Engineering, Mirae Water Air Tech.

Abstract

In this research, we used discharge tube without dielectric bead or with dielectric beads(SiO₂, Al₂O₃, or ZrO₂), and discharge in water for removal of Escherichia coli. At the result of experiments, the removal characteristics of Escherichia coli appeared relation ratio to input voltage. Because, the electric field of discharge tube is increased when input voltage is increased. And, discharge tube used dielectric bead(ZrO₂), the removal characteristics of Escherichia coli was better than cases of else.

Key Words : discharge, SiO₂, Al₂O₃, ZrO₂, Escherichia coli

수질오염 측정의 대표적인 항목인 대장균 (Escherichia Coli)을 대상으로 하여 다양한 파라메타에 따라 그 제거 특성을 조사하였다.

1. 서론

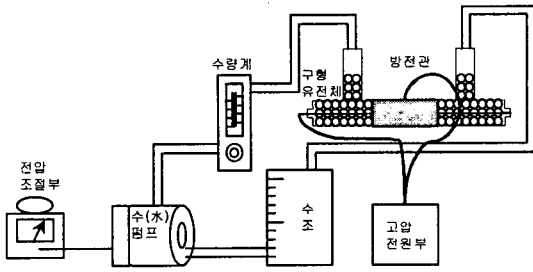
최근에는 지구 온난화의 영향으로 고온 다습한 여름뿐만 아니라 겨울에도 이상 기후에 의해 우리 생활 주변의 물과 공기는 전염성이 강한 유해 세균을 내포하고 있다. 오염의 범위가 확대되면 집단 취락 시설에서 심각한 대장균이나 리스테리아 같은 유해 세균 감염이 발생된다. 이에 세계 각국에서는 자국의 환경보호를 위해 점차 강화된 환경규제와 행정 지도가 이루어지고 있을 뿐만 아니라, 환경 오염의 원인이 되는 오염 물질의 제거나 발생원의 저감을 위한 대책 마련에 막대한 재원을 사용하고 있다. 따라서 이러한 문제점을 일부나마 해결할 수 있도록 하는 것이 본 연구의 목적이다.

이에 본 연구는 구형의 유전체 비드가 사용된 수중 방전 장치와 두 전극이 물에 잠기는 수중 방전 장치를 제시하여, 수중세균 제거 특성을 조사 하였다. 이 수중 방전 장치를 이용할 경우, 수중 방전관 내의 구형 유전체 비드 상호간 혹은 방전관과 비드상호간의 유전 분극에 의한 고전계가 발생하고, 수방전 에너지에 의해 물이 산성의 이온화된 물질로 변화하는 물리적 현상이 야기 되었다. 이에

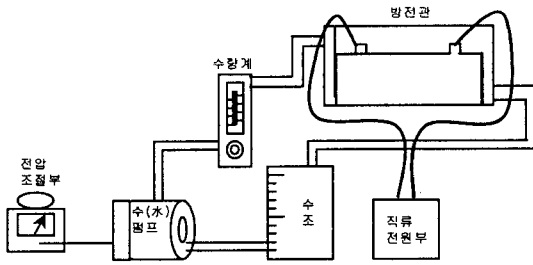
2. 실험

2.1 실험 장치

그림 1 (a), (b)는 실험 장치의 전체 구성 및 흐름을 나타낸 개략도이다. 그림 1 (a)에서 실험 장치의 각 구성을 살펴보면, 우선 1차측 입력전압을 조절시 방전관 두 전극사이의 2차측 출력 전압이 6[kV]~12[kV]로 가변 할 수 있는 고압 전원부, 일차측 입력 전압을 조절하여 수량을 1[l]~7[l]까지 가변 할 수 있는 수(水)펌프, Pyrex로 제작된 수방전관, 수(水)유량을 표시하는 수량계, 그리고 시험수를 담아주는 수조로 구성 되어 있다. 그리고 고전계 인가를 위한 고전압 전원 장치의 2차측의 출력 주파수는 약 14.5[kHz]이고, 수방전관과 수(水)부하에 대해 최대 출력 전압이 약 15[kV]가 되도록 전원을 직접 제작 하였다. 그림 1 (b)에서 실험장치의 구성을 살펴보면, 그림 1 (a)에서 전원부와 방전관만 바뀐 것을 알 수 있다. 전원부는 2차측 출력 전압이 0~30[V], 출력 전류는 0~20[A]로



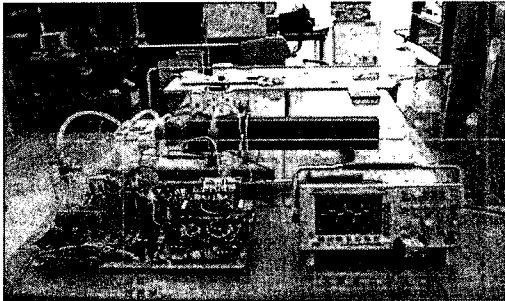
(a) 고압 펄스 전원



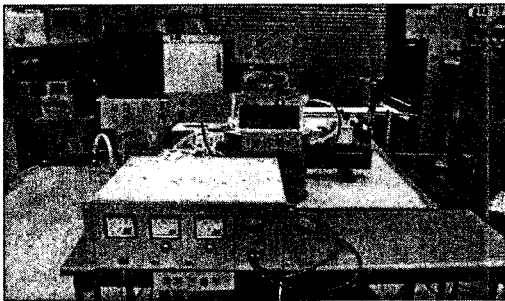
(b) 직류 전원

그림 1. 실험 장치의 개략도

가변 할 수 있는 직류 전원부로 바뀌었으며 방전관은 전극이 수중에 잠기는 방전관으로 바뀌었다.



(a) 고압 펄스 전원



(b) 직류 전원

그림 2. 실험 장치의 실제사진

그림 2 (a), (b)는 그림 1 (a), (b)의 실험 장치 개략도의 실제 사진이다.

그림 3은 본 실험에서 사용된 방전관의 형태를 정면, 윗면, 측면으로 나타낸 것이다. 방전관은 수류의 흐름과 수중의 균일한 전기 분포를 고려하여 동축 실린더형 방전관(외경 : $\varnothing 24$ [mm], 내경 : $\varnothing 20$ [mm], 길이 264[mm])으로 두께는 2[mm]로 제작하였다. 각 방전관 내부에는 SiO_2 (이산화규소), Al_2O_3 (알루미나), ZrO_2 (지르코니아)로 제작된 구형 유전체($\varnothing 4.0$ [mm]) 비드가 각각 충전되어 있고, 이 방전관의 내부 전극은 SUS304($\varnothing 1$ [mm])를 선(線) 전극으로 방전관 내부 중심축과 동일한 방향으로 설치되어 있으며, 외부 전극은 동(銅)테이프를 전극을 구성하였다.

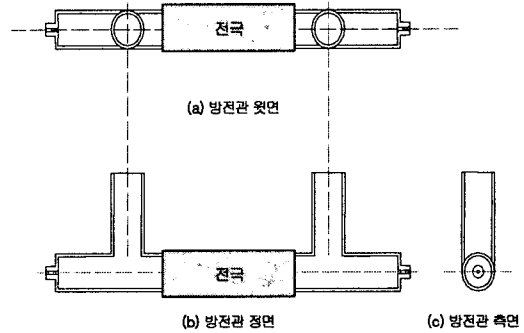


그림 3. 고압펄스 방전관 구조

그림 4는 직류전원부의 방전관 구조이다. 외부는 투명 아크릴 3[mm]로 제작하였으며 전극은 SUS304를 사용하였다. 두 전극간 간격은 5[mm]이고, 방전관 전극은 200×100 [mm]이다. 방전관 전체 크기는 $236 \times 36 \times 153$ [mm]이다.

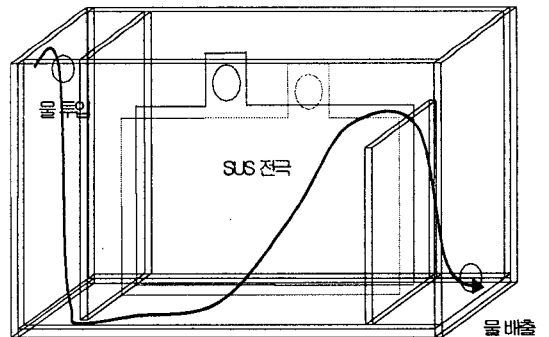


그림 4. 직류전원 방전관 구조

2.2 실험 방법

본 실험에서는 대장균을 젓당 배지법으로 대장균을 증식 및 배양하여 4~5[°C]의 온도로 냉장 보관하면서 지속적으로 실험에 사용하였다. 실험상의 시험수 수량은 2[ℓ]이고, 이 시험수 내의 대장균이 200개체수가 유지되도록 배양된 대장균을 물속에 희석하여 사용하였다. 한편 시험수는 수(水)펌프에 의해 순환되도록 하였다.

실제 실험 결과를 분석하기 위해서 초기 대장균의 개체수를 확인하였으며, 초기 대장균의 개체수가 고전압 전원, 수유량, 구형 유전체의 종류에 대한 각각의 실험 조건에서 어느 정도 대장균의 개체수가 늘거나 줄어들었는지를 확인하였다. 여러 수증 세균 개체 측정 방법 중 본 실험과 같이 많은 결과 데이터의 상호 비교 처리를 필요로 하는 실험에 있어서는 시간적, 경제적인 측면을 고려해야 하므로, 국내외적으로 상용배지로 많이 사용되고 있는 3M Petrifilm(E.coli Count Plates, 3M Co. USA) 제품을 사용하였다.

본 실험에서는 고압펄스를 사용하여 구형 유전체의 유무와 종류(SiO_2 (이산화규소), Al_2O_3 (알루미나), ZrO_2 (지르코니아)), 인가전압(6~12[kV]), 수유량(1~4[ℓ/min]), 그리고 처리시간(5분단위로 60분간) 등의 다양한 변수에 대해 수증 대장균의 제거 특성 실험을 하였고, 또한 직류전원을 사용하여 인가전압 DC 30[V], 수유량(1~4[ℓ/min]), 그리고 처리시간(1분단위로) 등의 다양한 변수에 대해 수증 대장균의 제거 특성 실험을 하였다. 그리고 본 실험 결과 그래프들은 각 실험 조건을 3회 이상 반복 실시하여 나온 결과 데이터의 상호 비교 및 분석을 통하여 작성된 것이다.

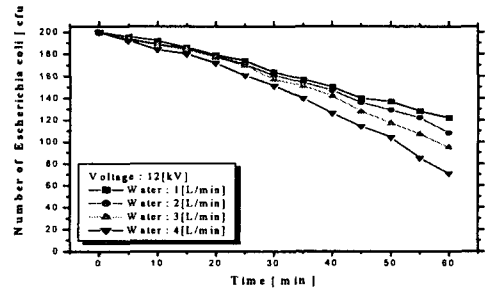
3. 결과 및 고찰

그림 5 (a), (b), (c), (d)는 유전체 비드가 없거나 SiO_2 (이산화규소), Al_2O_3 (알루미나), ZrO_2 (지르코니아) 유전체 비드를 가지는 수방전관에 인가전압은 12[kV], 수유량은 1, 2, 3, 4[ℓ/min]로 했을 때 나타난 수증 대장균 제거 특성을 나타낸 그래프이다. 수유량이 증가할 때 단위 시간당 시험수의 방전관 내부로의 순환 횟수도 각 유량에 비례하여 증가하므로 방전관 내부의 고전계 영역과 시험수 내부의 대장균이 서로 접촉할 기회를 증가하게 되어 그 결과 수증 대장균의 제거가 용이해지는 결과를 나

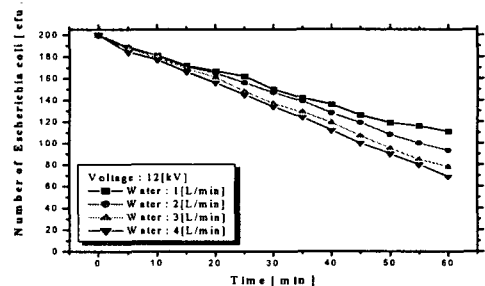
타내었다. 또한 유전체 비드를 사용한 경우가 유전체 비드를 사용하지 않은 (a)경우 보다 향상됨을 알 수 있었다. 그리고 그림 5 (b), (c), (d)의 실험 결과를 각각 상호 비교해보면 (c) ZrO_2 (지르코니아) 비드를 충전한 경우에 수증 대장균의 제거가 가장 우수함을 알 수 있었다. 이는 표 1과 같이 ZrO_2 의 비유전율이 가장 우수하기 때문에 같은 전압에서 방전 전계가 높기 때문에 대장균 제거 효율이 높은 것으로 사료된다.

표 1. 비유전율

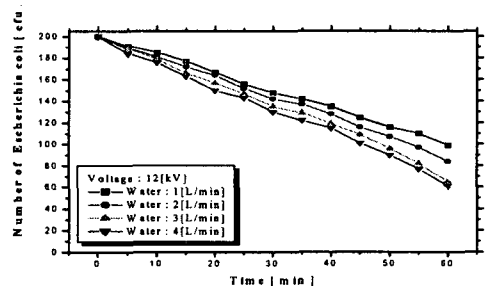
	SiO_2	Al_2O_3	ZrO_2	물	pyrex
비유전율 ϵ_r	4	9	12	80	4



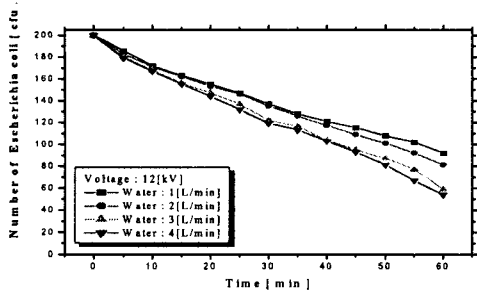
(a) 비드가 없는 방전관



(b) SiO_2 (이산화규소) 비드가 들어있는 방전관



(c) Al_2O_3 (알루미나) 비드가 들어있는 방전관



(d) ZrO_2 (지르코니아) 비드가 들어있는 방전관
 그림 5. 인가전압 12[kV]일때 수유량에 따른 수중 대장균 제거 특성

그림 6은 직류 전원에는 수중 방전관을 사용하여 수중 대장균 제거 특성을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 나타나듯이 수유량이 증가할수록 세균 수의 제거는 느려지는 경향을 나타낸다. 이 결과는 방전관에서 두 전극 사이를 지나가는 수유량보다 두 전극 외부로 지나가는 수유량이 증가하게 되어 나타난 현상이다. 두 전극이 모두 수중에 잠기는 수중 방전관은 그래프에서 나타나듯이 10분 이내에 수중 대장균이 모두 사멸하는 결과를 나타내었다. 이는 전극의 면적의 크기가 넓어서 방전관 내부의 고전계 영역과 시험수 내부의 대장균이 접촉할 기회가 증가하게 되었고, 수중에 잠긴 두 전극 중 양(+)의 전극에서 강한 산성수가 발생하여 그 결과 수중 대장균의 제거가 용이해지는 현상으로 사료된다.

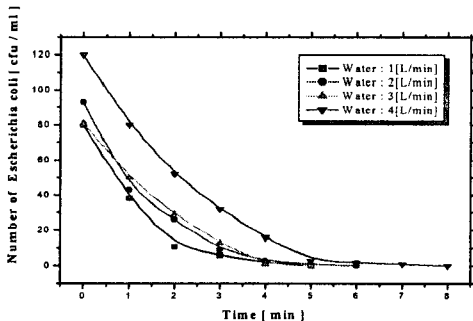


그림 6. 직류전원에서 수중대장균 제거 특성

그림 7은 수유량을 3[L/min], 직류전원을 30[V]로 고정시키고 수중 대장균 균수를 변화하여 시간에 따른 제거특성을 나타낸 그래프이다. 그래프에서

나타나듯이 수중 대장균 수는 5분 내에 약 90% 정도 사멸 된 것을 알 수 있다. 또한 수중 대장균 균수의 증가는 처리 시간을 증가시킴을 알 수 있다. 이에 처리수 속의 대장균 수에 따라 처리 시간의 적절한 안배가 필요하다고 사료된다.

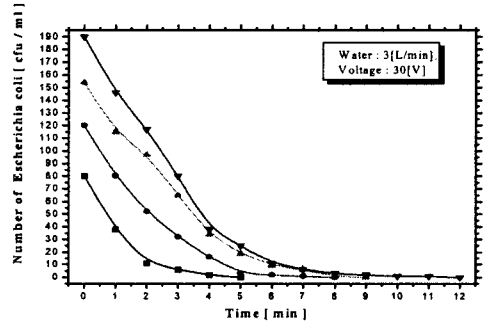


그림 7. 직류전원에서 균수에 따른 수중 대장균 제거 특성

4. 결론

유전체 비드를 충전하지 않은 방전관과 충전한 방전관의 수중 대장균 제거 특성을 살펴보면 비드를 충전한 방전관이 제거 효율이 높은 결과를 나타냈으며, 구형 유전체 비드(SiO_2 (이산화규소), Al_2O_3 (알루미나), ZrO_2 (지르코니아))를 충전한 경우에는 비유전율이 높은 ZrO_2 (지르코니아) 비드를 충전한 방전관에서 높은 수중 대장균 제거 특성이 나타났다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청 지원으로 산·학·연 공동기술개발 컨소시엄사업으로 수행된 과제입니다.

참고 문헌

- [1] 조순행, "물 환경 개론", 東和技術, pp.15~195, 2001.
- [2] 김진규, "유전체구 충전형 전극계의 코로나 방전과 강전해수 발생 특성", 조명전기설비학회논문지, Vol. 16, No. 4, pp.46~54, July 2002.
- [3] Y. V. Skvortsov, V. S. Komel'Kov, and N. M. Kuznetsov, "Expansion of a spark channel in a liquid," Sov. Phys. -Tech. Phys., Vol. 5, pp.1100, 1961.

- [4] Yoshihiro Konishi, "A Novel Silent Discharge Type Ozonizer using Pulse Density Modulated High Frequency Inverter", IEEE pp. 764~772, 1999.
- [5] Kook-Hee Cho, "Development of the Ozone System with Multiple Discharge Gap for Clean Environment", 2000 Korea-Japan Joint Symposium on Electrical Discharge and High Voltage Engineering, pp. 104.1-104.4, 5-6 October, 2000.