구형 ZrO2를 충진한 방전관의 수질 변환 및 대장균 제거 특성

論 文
53C-3-5

Property Conversion of Water and Removing Characteristics of Escherichia Coli Inner Discharge Tube With ZrO_2 Beads

李 東 勳*, 朴 在 潤**
(Dong-Hoon Lee*, Jae-Youn Park**)

Abstract - This paper shows property conversion of water and removing charactristics of *Escherichia coli* for discharge tube with ZrO_2 beads. At the result of the removal charactristic experiments of *Escherichia coli* using the discharge tube with ZrO_2 beads, because the electric field is also increased when input voltage is increased, the removal charactristic of *Escherichia coli* was appeared relation connection to input voltage. And if a passing number of test water in discharge tube with ZrO_2 beads is increased, the removal ratio of *Escherichia coli* is to be increased because passing number of electric field section is increased. And if diameter of ZrO_2 beads is increased, the removal time of *Escherichia coli* is to be decreased because dielectric polalization of ZrO_2 beads. Also, the removal ratio of *Escherichia coli* of the discharge tube with ZrO_2 beads. is appeared higher than the removal ratio of the discharge tube without ZrO_2 beads. And a satulation point of ozone and H_2O_2 generation density inner water was appeared near 60[min].

Key Words : Ozone, Silent Discharge, Ceramic, Dielectric, *Escherichia coli.*

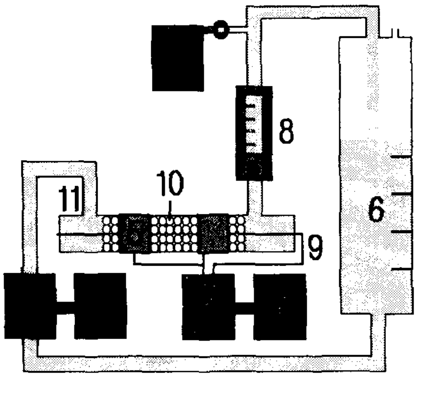
1. 서 론

오늘날 산업 사회의 급속한 현대화 과정과 더불어 물의 수요는 실질적 산업의 발전 속도보다 현저히 증가하고 있는 실정이다 하지만 이에 따른 수질의 품질은 매우 열악해 지고 있다. 이는 생활 환경 주변이 산업화로 인해 더욱 오염물질의 발생이 급격히 증가했기 때문이다. 그 결과 모든 국제 사회는 이 환경 오염에 대해 지대한 관심을 가지고 있고 이러한 문제에 대응하기 위해 국내외에서 환경 보호를 위한 규제와 행정 지도가 이루어지고 있을 뿐만 아니라 이러한 관점에서 환경 오염의 원인이 되는 다양한 형태의 오염원이나 오염 물질의 제거를 위해 다방면의 대책이 실시되고 있고, 향후 더 강화된 규제가 마련될 것으로 사료된다[1-3]. 그리고 우리가 생활하고 있는 지구는 온난화로 인한이상 기후와 환경 오염원의 증가로 인해 사계절 지속적으로 사용 가능한 물의 총량이 급감하고 있어 국가간의 수자원 공유에 있어 큰 문제점을 발생하고 있다. 그리고, 이러한 수질 오염원에 의한 사고의 경우에는 한 번 사고가 발생하게 되면 수많은 사람들이 오염원에 노출되고, 폭넓은 지역에서 많은 주민에게 고통과 병을 유발하는 특징을 보여주고 있어 그 문제의 심각성은 이루말 할 수 없는 실정이다. 따라서 먹는물의 수질 기준은 모든 환경 기준 중에서 가장 엄격하게 설정되어야 하고, 공공성 측면에서 보면 다른 어떠한 경우보다 높기 때문에 국가적인 차원에서 철저히 관리할 필요가 있다. 그리고 일반적으로 식수로 사용하고 있는 지하수는 정수처리가 되어 있지 않기 때문에 식수로 시용하기 위해서는 소독이 필수적이며, 수돗물을 물탱크와 같은 용기에 저장하여 사용할 경우에, 물이 충분히 오염될 수 있으므로 장시간 저장된 물의 품질 유지를 위해서 반드시 물을 살균 및 소독할 수 있는 장치의 개발이 필요하다. 그리고 현재 농어촌 지역의 약 75[%]는 70년대 전후에 설치된 노후 간이 상수도 시설을 이용하여 생활 용수를 공급되고 있다. 2001년 현재 전국의 간이 상수도는 11,451개소, 소규모 급수 시설은 13,201개소, 저수조는 약 196,000개가 설치 운영되고 있다. 하지만 이와 같은 시설의 경우, 시설의 설치 구역이 방대하여 유지 및 보수를 철저히 하기란 사실상 불가능하다는 문제점으로 인해 용수의 2차 오염을 유발시키는 장소로 변질될 가능성이 항상 상존해 있고 많은 문제점을 발생하고 있다[4-5]. 지하수를 수원으로 이용하는 생활 용수 특히, 식수의 경우에는 지금까지 거의 모두 염소 및 오존을 이용하여 소독 처리하고 있다. 이러한 염소와 오존 가스는 수중으로 용해되어 시간이 지나감에 따라 소독 효과가 떨어지고, 냄새 등이 수반되며 바이러스, 세균, 효모, 사상균 등의 제거에는 한계가 있는 것으로 알려져 있다. 그리고 수처리 이후 배출 가스에 의한 2차적인 오염 문제와 염소와 오존 가스를 투입하는 경우에는 투입 가스를 물속으로 용존시키기 위해 많은 부대 비용과 유지비 및 설비치가 필요로 하는 문제점이 있다. 그리고 일반적으로 수돗물에서 바이러스가 검출된 직후에는 염소 소독을 강화하는데, 이 경우에는 발암 물질인 트리할로메탄(THM)의 생성 가능성이 높아지는데,

* 正 會 員 : 慶南大學校 電氣工學科 博士科程
** 正 會 員 : 慶南大學校 電氣電子工學部 敎授
接受日字 : 2003년 9월 19일
最終完了 : 2004년 1월 17일

염소를 과다하게 투입하여 소독할 경우, 염소와 물 속의 유기 물질이 결합하여 트리할로메탄이 더 발생하는 문제점을 야기한다. 이와 같이 염소 소독의 단점과 담수 시간 경과에 따른 대장균의 제거를 위하여 많은 연구 기관에서 연구가 진행 중에 있다[6-8]. 본 논문은 이러한 수질 환경 오염원의 개선 방법의 한 부분으로서 수질 기준의 하나인 수중 대장균을 적정 수중 대장균 개체수 이하로 처리하기 위한 방법으로써 구형 지르코니아(ZrO_2)를 충진한 단층 절연 방전관에 내·외부 전극에 고전압을 인가하여 수중 대장균의 제거 특성을 조사한 것이다. 구형 지르코니아를 갖는 절연 수방전관에 고전압을 인가할 경우에는 방전관 내부의 구형 지르코니아들 상호 접촉부와 방전관 내의 수중 유전 분극에 의한 고전계를 발생하게 되는데, 이 때 발생한 고전계는 물을 순간적으로 이온성 물질로 변화시켜 수중에서 미량의 오존 성분과 과산화 수소 성분을 발생시킨다. 본 논문은 이와 같은 수중에서 오존, 과산화수소 및 수중 고전계 발생 특성을 이용하여 수중 대장균의 제거 특성을 연구하였다[9-13].

2 실험 장치



1 수(水)펌프
2 전압 조절부
3 고압 전원부
4 전압 조절부
5 외부 전극
6 저수조
7 시료 채취부
8 수량계
9 내부 전극
10 구(球)형SiO_2
11 수(水)방전관

그림 1. 실험 장치도
Fig. 1 Schematic of experimental

그림 1의 실험 장치는 전극이 부착된 수방전관, 수유량을 표시하는 수량계, 시험수를 모아두는 수조, 고압 전원부, 수펌프와 시료 채취부 등으로 구성되어 있고, 방전관의 구조는 유리로 제작된 원통형 방전관으로서 방전관 내부에는 구형의 지르코니아가 넣어져 있으며, 이 방전관의 외부와 중심부에 전극이 설치되어 있다. 그리고 두 전극 사이에 20[㎑], 6~12[kV]의 교류 전압을 인가하고, 이 때 방전관을 통과한 시험수 2[ℓ]에 존재하는 대장균의 제거 특성을 조사하였으며, 시험수는 수(水)펌프에 의해 순환되도록 하였다. 시험수는 식수에 초기 대장균수를 1[㎖]당 약 5,000마리의 개체가 존재하도록 물속의 세균 개체수를 조절하여 수험수로 사용하여 실험하였는데, 대장균의 제거 특성을 조사하기 위하여 대장균 증식을 위한 배양지로 사용되고 있는 3M Petrifilm (Coliform Count Plate, USA)제품을 사용하였고, 수중 발생 오존(O_3)과 과산화수소(H_2O_2)의 농도 측정을 위하여 종합 수질 분석기(975-MP 20)를 사용하였으며, 방전관은 수류의 흐름과 균일한 수중 전계 분포를 고려하여 동축 실린더형을 사용하였다. 그리고 수(水)중의 선전극은 수중 방전시 전극 재료의 수소 이온화 경향을 고려하여 백금선을 사용하였다. 사용한 전원은 최대 출력 전력이 150[W]정도이고, 출력 주파수는 20[㎑], 최대 출력 전압이 20[kV]인 고전압 전원을 사용하였다. 이외의 다양한 파라미터로는 처리 시간에 대한 전압, 유량, 유전체구의 크기 및 전력에 대한 대장균 제거 특성과 수질의 성분 변화를 조사하였다.

그림 2는 방전관의 내·외부의 구조를 나타낸 그림이다. 방전관은 시험수의 유출입부, 내부 백금 전극과 전극 지지대, 방전관 외부면의 동(銅)전극, 그리고 외경∅:5[㎜], 비유전율(ε_r):12인 ZrO_2를 충진한 외경:∅24[㎜], 길이:250[㎜]인 파이렉스관으로 구성되어 있다.

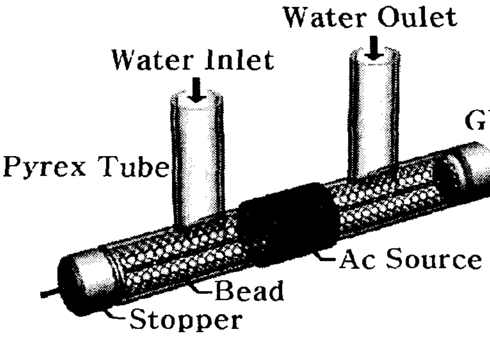


그림 2 방전관의 구조
Fig. 2 Schematic of discharge tube

아래의 수식은 전계 관련 수식으로 구형의 유전체를 방전관 내부에 충진할 경우에는 다종(多種)의 유전체를 방전 영역에 충진 가능하기 때문에 기본적인 전계 분포 특성을 단순히 수식 2.1만으로 설명하기는 상당히 힘들다. 그러므로 이러한 경우에는 전계는 수식 2.2와 같이 유전체의 유전율(ε_r)과 전기력선속밀도(D)의 관계의 복합적인 관계식으로 나타내는 것이 일반적이다. 그리고 수식 2.2에서 인가 전압이 일정하게 유지하면 전기력선속밀도도 일정하다고 볼 수 있는데, 이 경우에 구형 유전체의 비유전율이 가변적이 되어 방전관 내의 수중 최대 전계는 ZrO_2 비드를 충진하지 않는 경우보다 전계가 2~3배 이상 증가되는 것으로 알려져 있다. 이러한 전기적인 강한 전계 에너지 집중 현상으로 인해 방전관 내의 대장균은 비드를 충진하지 않은 경우보다 높은 제거율을 나타내는 것으로 사료되고, 비드를 충진한 경우에 수중 이온화 물질의 양이 비드를 충진하지 않은 경우보다 증가하기 때문에 방전관 내의 수중 대장균의 제거율이 증가하는 것으로 판단된다. 그리고 구형 유전체의 크기가 증가할 경우는 전극과 유전체 비드, 또는 유전체 비드 상호간에 마주보는 면적(s)은 늘어나게 되고, 전반적인 유전체간 거리(d)도 줄어드는 형태가 된다. 결과적으로 수식 2.3에서 알 수 있는 바와 같이, 각 유전 물질의 접촉부에서의 정전용량(C)이 늘어나게 된다. 그리고 이러한 이유로 인하여 일정한 비율은 아니지만 상대적으로 전계 세기(V/m)가 유전체구의 크기가 작은 경우보다 크게 나타나게 된다. 그러므로 유전체 비드의 크기와 유전율이 변화하는 경우에 있어서는 면적(s), 거리(d), 그리고 비유전율(ε_r)에 대한 전계 세기(V/m)를 일정 상수를 가지는 함수로서 나타낼 수 있다. 한편 구형 유전체를 충진하지 않은

경우에 직류 또는 저주파 형태의 방전은 실제 수방전시 방전관 내부 수중 임피던스가 미소한 차이가 날 경우, 저항이 낮은 곳으로 전류가 흐르는 문제가 발생함으로 인해 수중 대장균의 제거 있어 상대적으로 불리한 결과를 나타낸다. 그러므로 대도록이면 높은 교류나 펄스 주파수를 가지는 전원을 사용하는 것이 수중 대장균의 제거에 유리하고, 더 나아가 높은 교류나 펄스 주파수를 가지는 전원과 구형 유전체를 동시에 사용하는 경우, 더 나은 수중 대장균 제거 특성을 얻을 수 있다.

$$E = \frac{V}{d} \tag{2.1}$$

$$E = \frac{D}{\varepsilon_o \varepsilon_r} \tag{2.2}$$

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d} \tag{2.3}$$

3.1 수(水)방전관의 수중 대장균 제거 특성

그림 3은 인가 전압 6~12[kV], 수유량 1, 2, 3[l/min], 전극 간격 12[mm], 구형 유전체인 지르코니아의 직경이 5[mm]인 경우 전압과 유량에 대한 수중 대장균 제거 특성을 나타낸 것이다. 실험 결과 동일 유량에 대한 전압 변화의 경우 전압이 높을수록 제거 특성이 좋게 나타났다. 이는 전압이 상승하면 수중 전계가 동시에 상승하기 때문에 제거율이 높아진 것으로 사료된다. 또한 동일 전압에 대한 유량 변화의 경우 시험수가 펌프에 의해 순환되기 때문에 펌프의 회전 속도가 높으면 단위 시간당 방전관 통과 횟수가 증가하면 유량이 증가되므로, 수중 대장균이 고전계와 접촉할 확률이 높아지기 때문에 수중 대장균의 제거율이 증가하는 것으로 사료된다.

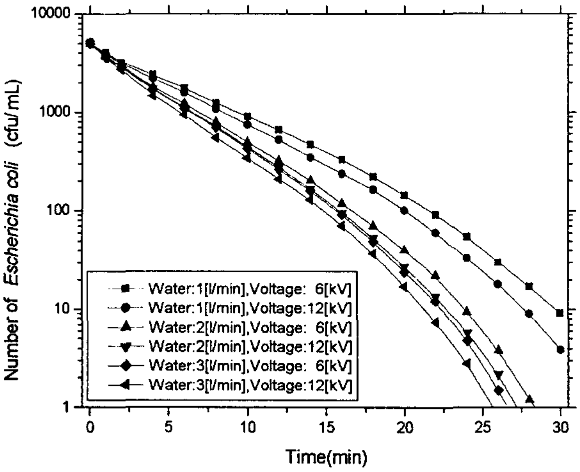


그림 3 전압과 유량에 대한 대장균 제거 특성

Fig. 3 Removing characteristics of Escherichia coli to voltage and flow ratio

그림 4는 인가 전압 12[kV], 수유량 1~5[l/min], 전극 간격 12[mm], 지르코니아 직경이 5[mm]인 경우에 시간 경과에 대한 수중 대장균의 제거 특성을 나타낸 것이다. 수유량이 증가할수록 수중 대장균 제거 시간이 짧아지는 경향을 보였으나, 수유량을 지속적으로 증가시켜도 수유량에 따른 대장균의 제거 특성은 일정한 증가를 나타내지 않고, 포화되는 특성을 나타내었다.

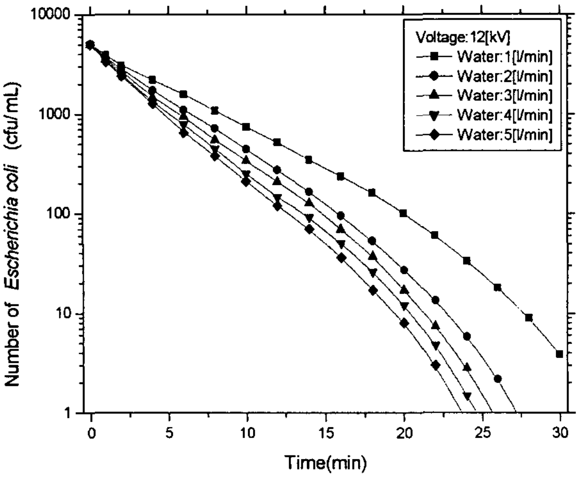


그림 4 유량 변화에 대한 대장균 제거 특성

Fig. 4 Removal characteristics of Escherichia coli to flow ratio

그림 5는 인가 전압 12[kV], 수유량 3[l/min], 전극 간격 12[mm], 지르코니아의 직경이 2[mm], 3.5[mm], 5[mm]인 경우 시간경과에 대한 수중 대장균 제거 특성을 나타낸 것이다. 구형 유전체의 크기가 클수록 수중의 대장균 제거 특성이 좋은 것으로 나타났다. 그러나 방전관의 전극 사이 거리가 제한적이므로 방전관의 내부 직경과 인가 전원의 전압을 고려하여야 한다. 또한, 동일 실험 조건에서 대장균이 완전 제거될 때까지의 시간을 살펴보면, 지르코니아의 직경이 5[mm]일 때, 수중 대장균의 제거 시간이 직경 2[mm]일 때 보다 약 4분 정도 단축되는 결과를 얻을 수 있었다. 이것은 지르코니아의 직경이 증가하면 지르코니아의 상호 접촉부에서의 전계의 크기가 직경이 작은 경우보다 크게 나타나기 때문이다.

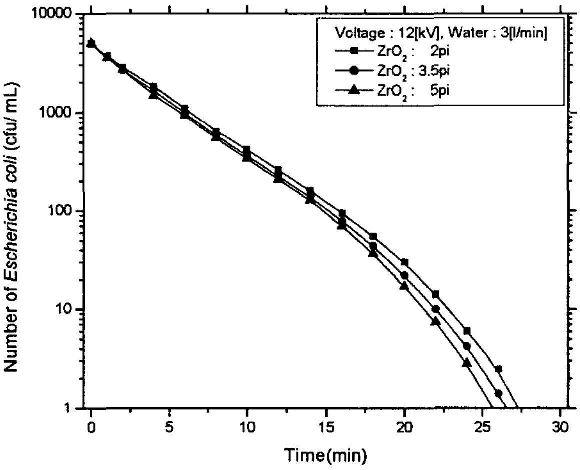


그림 5 구형 유전체의 크기에 대한 대장균 제거 특성

Fig. 5 Removing characteristics of Escherichia coli to globular dielectric

그림 6은 인가 전압 12[kV], 수유량 3[l/min], 전극 간격 12[㎜], 직경 5[㎜] 지르코니아 사용 유무에 대한 수중 대장균 제거 특성을 나타낸 것이다. 실험 결과 대장균 완전 제거 시점을 비교하면 유전체를 사용한 경우 약 25분 정도 소요되었고 유전체를 사용하지 않은 경우 약 80분 정도의 시간이 소요되었다. 구형의 지르코니아와 같은 유전체를 사용할 경우에는 구형 유전체의 물성 및 형상적 특성에 의해 강한 유전 분극이 나타나므로 유전체를 사용하지 않은 경우보다 수중 대장균의 제거 특성이 더 우수하게 나타난 것으로 사료된다.

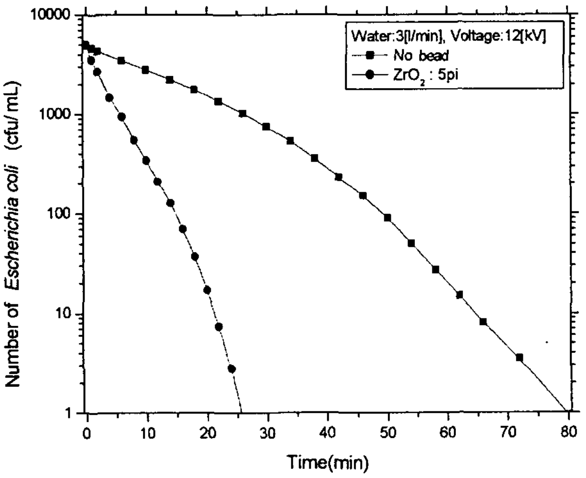


그림 6 구형 유전체의 유무에 대한 대장균 제거 특성

Fig. 6 Removal characteristics of Escherichia coli to existence of globular dielectric

그림 7은 인가 전압 12[kV], 수유량 3[l/min], 전극 간격 12[㎜]인 경우 직경 5[㎜]의 지르코니아를 갖는 수(水)방전관에 동일한 방전 면적 1배(약 20[W])와 2배(약 40[W]) 즉, 소비 전력비에 따른 수중 대장균의 제거율을 나타낸 것이다. 이와 같이 전력이 두 배로 증가하게 되면 유량당 받는 전계 에너지가 비례적으로 높아지기 때문에 수중 대장균의 제거 시간도 상대적으로 2배 빨라지는 특성을 보였다.

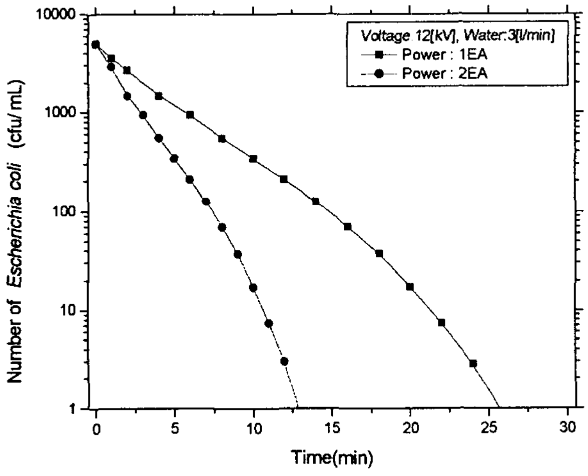
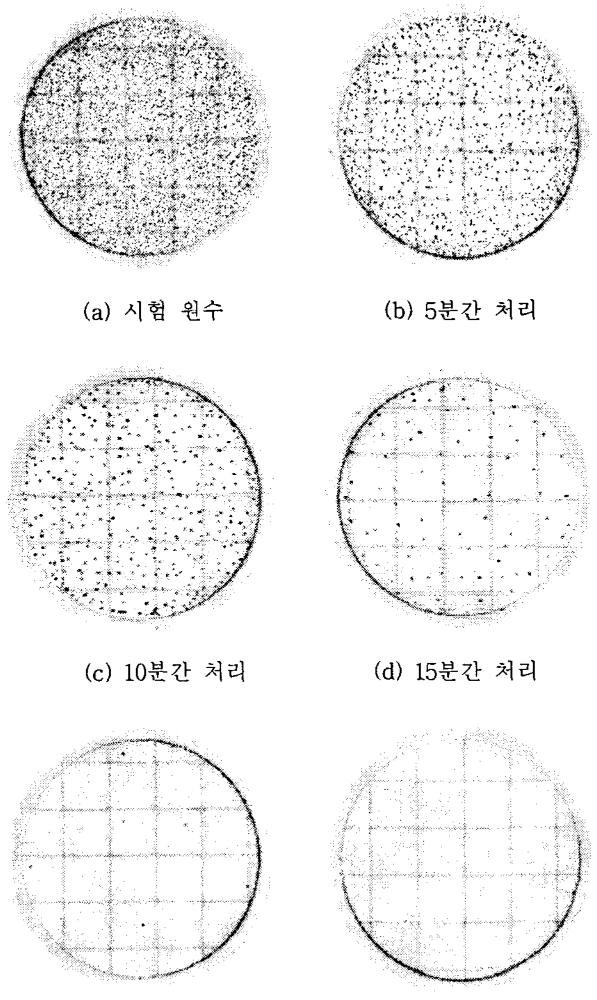


그림 7 인가 전력에 대한 대장균 제거 특성

Fig. 7 Removal characteristics of Escherichia coli to Influence of input power



(a) 시험 원수 (b) 5분간 처리

(c) 10분간 처리 (d) 15분간 처리

(e) 20분간 처리 (f) 25분간 처리

그림 8 Petrifilm을 이용한 시험수 내의 대장균수 측정

Fig. 8 Number of Escherichia coli inner water using petrifilm

그림 8은 직경 5[㎜]의 구형 ZrO_2 유전체를 충진한 방전관에 인가 전압 12[kV], 수유량 3[ℓ/min], 전극 간격 12[㎜]이고m 방전 소비 전력이 약 20[W]인 경우에 시험수 처리 시간에 대한 대장균의 제거 결과를 3M petrifilm으로 확인한 것이다. 초기의 시험 원수 1[㎖]에는 대장균수가 (a)와 같이 초기에 약 5,000 정도의 개체수가 존재하도록 액체 배양기 내에서 증식된 대장균을 수조에 주입하고, 물을 적절히 희석하여 제조하였다. 그리고 방전관에 전압을 인가하면, 방전관 내부의 수중 대장균은 수중의 고전계 영역을 통과하면서 사멸하게 되는데, 실험 결과 대장균수는 처리 시간에 대해 지수함수적으로 개체수가 줄어드는 특징을 나타내었는데, 전압이 인가된 약 25분 이후에는 방전관 내부 시험수 중의 대장균이 모두 제거되는 특징을 나타내었다. 위에 나타난 사진은 3M petrifilm을 이용하여 시험수의 처리 시간에 따른 결과를 나타낸 것으로 각각의 점들은 대장균군을 나타내고 있고, (f)의 경우에 있어서는 대장균이 모두 제거되는 특징을 나타낸다.

3.2 수(水)방전관의 수(水)오존 발생 특성

그림 9는 유량(1, 2, 3[l/min]), 전극 간격 12[㎜], 지르코니아의 직경이 5[㎜]인 경우 인가 전압을 0~20[kV]로 증가시킬 때, 수중의 수오존(O_3)농도를 나타낸 것이다. 각각의 실험 결과는 전압 변화 후 30분마다 측정한 수치로서 시험수 2[ℓ]를 순환 방식으로 방전관을 통과시켜 실험하였다. 오존(O_3) 발생량 결과를 살펴보면 반응기 내부에서 유속이 느릴수록 또한, 전압이 높을수록 수오존(O_3) 농도가 높게 측정되었다. 이는 물의 흐름이 빠른 경우보다 느린 경우가 오존수로 변환될 수 있는 시간과 전계 영향을 더 많이 받기 때문으로 사료된다.

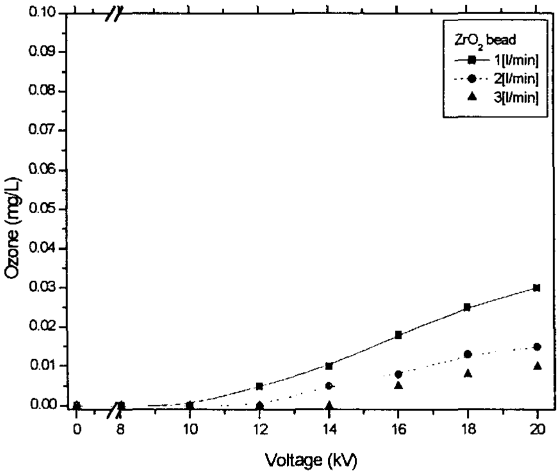


그림 9 전압에 대한 수중 오존(O3)의 농도 측정

Fig. 9 Density measurement of ozone to voltage in water

그림 10은 인가 전압 12[kV], 유량(1, 2, 3[l/min]), 전극 간격 12[㎜], 지르코니아의 직경이 5[㎜]인 경우 시간경과에 대한 수중 오존(O_3) 농도를 나타낸 것이다. 실험 결과 수방전관 내부의 수오존(O_3)이 안정화되는 시점은 전원을 인가한 후 약 60분 정도에서 나타나고 있다. 이는 수오존(O_3)의 생성 및 소멸량이 동일하게 되는 시점이 전원을 인가한 후 약 60분 정도에서 나타나고 있음을 의미한다.

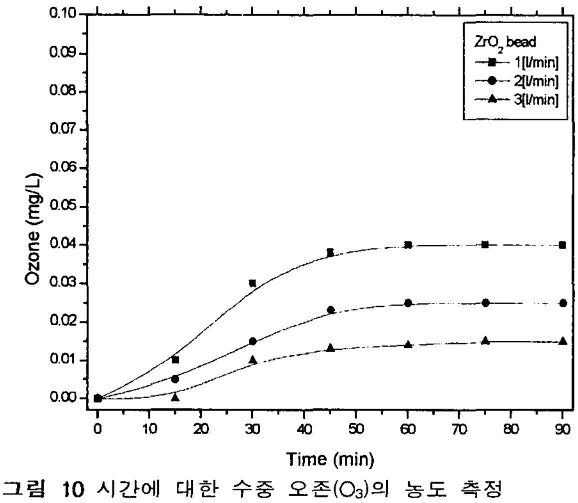


그림 10 시간에 대한 수중 오존(O_3)의 농도 측정

Fig. 10 Density measurement of ozone to time in water

3.3 수(水)방전관의 과산화수소 발생 특성

그림 11은 유량(1, 2, 3[l/min]), 전극 간격 12[㎜], 지르코니아 직경이 5[㎜], 인가 전압이 0~20[kV]일 때, 인가 전압에 따른 수중 과산화수소(H_2O_2) 농도를 측정한 것이다. 실험 결과는 전압 인가 30분 후 측정한 수치로, 시험수 2[ℓ]를 순환 방식으로 방전관을 통과시켜 실험하였다. 과산화수소의 발생은 그림 9 결과와 유사하게 반응기 내부 유속이 대체로 느린 경우, 농도가 높게 측정되었다. 이는 물의 흐름이 느린 경우가 물의 흐름이 빠른 경우 보다 과산화수소로 변환될 수 있는 시간과 전계의 영향을 더 많이 받기 때문으로 사료된다.

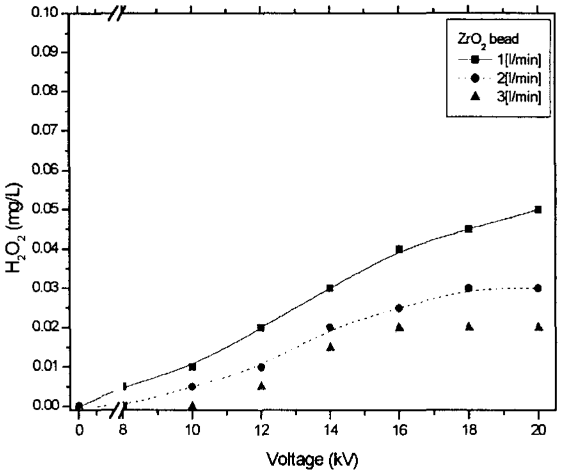


그림 11 전압에 대한 수중 과산화수소(H2O2)의 농도 측정

Fig. 11 Density measurement of H_2O_2 to voltage in water

그림 12는 인가 전압 12[kV], 유량(1, 2, 3[l/min]), 전극 간격 12[㎜], 지르코니아의 직경이 5[㎜]인 경우 시간경과에 대한 수중 과산화수소(H_2O_2)의 농도를 나타낸 것이다. 실험 결과 그림 8과 같이 수방전관 내부의 과산화수소(H_2O_2)가 안정화되는 시점은 전원을 인가한 후 약 60분 정도에서 나타났는데,. 이는 수중에서 과산화수소(H_2O_2)의 생성 및 소멸량이 동일하게 되는 시점이 전원을 인가한 후 약 60분 정도에서 나타나고 있음을 의미한다.

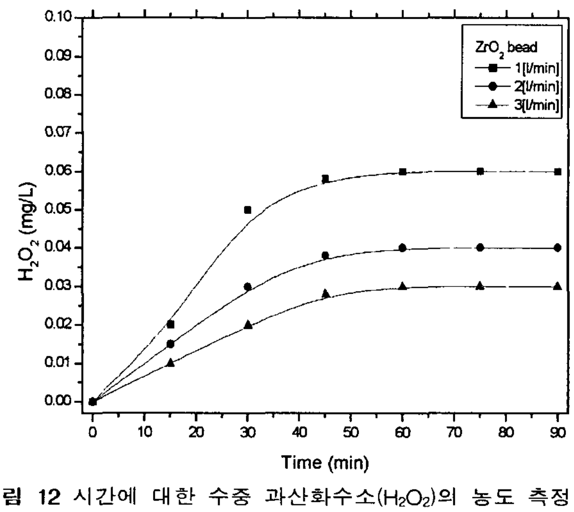


그림 12 시간에 대한 수중 과산화수소(H_2O_2)의 농도 측정

Fig. 12 Density measurement of H_2O_2 to time in water

5. 결 론

방전관 내부에 구형 지르코니아(ZrO_2)를 넣은 수방전관에서 수중 대장균의 제거 특성 실험 결과에서 전압의 영향을 살펴보면, 전압이 높을 경우 전계가 비례적으로 증가하기 때문에 수중 대장균의 제거 특성이 우수하게 나타났다. 또한, 유량의 영향을 살펴보면 시험수가 순환 방식으로 방전관을 통과하기 때문에 단위 시간당 방전관 통과 횟수가 증가하면 유량이 증가하게 되므로 수중 대장균이 수중의 고전계 영역 즉, 지르코니아가 서로 맞닿는 부근의 전계 집중에 의하여 고전계의 영향을 받는 기회가 많아지기 때문에 수중 대장균의 제거율이 향상되었다. 구형 지르코니아 직경이 2[mm], 3.5[mm], 5[mm]인 경우 반응 시간에 대한 수중 대장균 제거 특성을 측정한 결과, 지르코니아의 직경이 큰 경우 전계 강도는 직경이 작은 경우보다 수중에서 전계 강도가 높게 나타나기 때문에 수중 대장균의 제거율이 상승함을 알 수 있었다. 그리고 전압에 대한 오존(O_3) 발생량은 반응기 내부 유속이 느린 경우에 수중 오존(O_3) 농도가 다소 높게 측정되었는데, 이는 물의 흐름이 빠른 경우보다 물의 흐름이 느린 경우가 오존수로 변환될 수 있는 시간을 더 많이 제공받기 때문이다. 또한 수온존과 과산화수소의 수중 발생 농도를 측정한 결과 생성 및 소멸량은 각각 전압인가 후 약 60분 정도에서 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2003학년도 경남대학교 학술논문연구게제비 지원으로 이루어졌음.

참 고 문 헌

[1] 이동훈, 박재윤, 이현수, "전자계 촉매형 플라즈마 반응기의 질소 산화물 제거 특성", 전기전자재료학회 논문지, Vol. 15, No.6, pp. 634-640, June 2002.

[2] 이동훈, 박재윤, 박상현, "고전압 방전에 의한 이산화탄소의 제거 특성", 대한전기학회 추계학술대회, Sep. 2002.

[3] 이동훈, 박재윤, 박상현, "자계를 이용한 질소 산화물의 제거 효과", 대한전기학회 전문대학위원회 학술발표, June 2002.

[4] 이동훈, 박홍재, 박재윤, "수중 직접 방전 전극의 최적 전극 형상 설계", 대한전기학회 고전압 방전 응용 연구회 춘계학술대회, PP. 60-63, April. 2003.

[5] 김용호, 홍상희, "교류 유전체장벽 코로나방전을 이용한 NOx / SOx 분해 실험", 한국물리학회지 응용물리 11호, pp. 393-400, 1998.

[6] 이동훈, 조국희, "Ti-Si-Al형 세라믹 촉매 방전관의 오존발생특성 연구", 조명전기설비학회 논문지, Vol. 16, No.6, pp. 130-136, June, 2002.

[7] Woo Seok Kang, Yong-Ho Kim, and Sang Hee Hong, "Spatio-temporal images of single streamer propagation in dielectric barrier discharge", IEEE Transaction on Plasma Science, pp. 166-167, 2002

[8] H. K. Joo, M. S. Jeon, and T. K. Lee, "Photocatalysts : Theory and Its Application", J. of Korean Soc. of Environmental. Eng., Vol. 21, No. 6, p. 1231, 1999.

[9] 김진규, "유전체구 충진형 전극계의 코로나 방전과 강전해수 발생특성", 조명전기설비학회 논문지, Vol. 16, No.4, pp. 46-54, July 2002.

[10] 이동훈, 박재윤, 박홍재, 고희석, 이현수, "구형 유전체비드를 가지는 단층절연방전관의 H2O2 농도측정 및 전계분포시뮬레이션", 전기전자재료학회 영호남학술대회, pp. 44-47, August, 2003.

[11] 이동훈, 박재윤, 박홍재, 고희석, "대기중에서 구형 유전체의 전계 분포 시뮬레이션", 대한전기학회 논문지, Vol. 52, No.7, pp. 305-309, July 2003.

[12] 이동훈, 박재윤, 박홍재, "Ba-Ti-Si 세라믹 방전관의 오존 발생특성", 전기전자재료학회 논문지, Vol. 16, No.7, pp. 634-640, July 2003.

[13] 이동훈, 박홍재, 박재윤, 고희석, 이현수, "구형 유전체비드를 가지는 단층절연방전관의 수(水)오존농도측정 및 전계분포시뮬레이션", 전기전자재료학회 영호남학술대회, pp. 40-43, August, 2003.

저 자 소 개

이 동 훈(李 東 勳)

1972년 2월 24일생. 1996년 경남대학교 공과대학 전기공학과 졸업(공학사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2004년 동 대학원 전기공학과(박사과정)

Tel : 055) 232-3444

H.P : 018) 582-3444

E-mail : 2323444@hanmail.net

박 재 윤(朴 在 潤)

1960년 4월 15일생. 1986년 경남대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1991년 인하대학교 대학원 전기공학과 석사졸업(공학석사). 동 대학원 전기공학과 박사졸업(공학박사). 현재) 경남대학교 전기전자공학부 교수.

Tel : 055) 249-2636, Fax : 055) 249-2839,

E-mail : jypark@kyungnam.ac.kr