

PD3) ZrO₂ 비드형 수(水)방전관의 대장균 제거 및 수질 변환특성

이동훈

환경관리공단 유역관리처

1. 서 론

산업 사회의 고도성장으로 인하여 물의 수요는 증가하고 있으나 수질은 생활환경의 오염에 따라 문제가 대두되고 있어 오염원이나 오염 물질의 제거를 위한 대책 마련이 시급한 실정이다. 또한, 지구의 이상 기후로 인하여 사계절 물이 부족하여 물의 저장 능력이 떨어져 지하수 수질의 오염이 날로 심각한 문제를 안고 있다. 이러한 수질 오염 사고의 경우 한 번 발생하게 되면 수많은 사람들이 오염원에 노출되어 폭 넓은 지역에서 많은 주민에게 고통과 발병이 발생하는 특징을 보여주고 있다. 그러므로 수질오염에 의한 사고의 경우 그 파급효과는 대단히 광범위하며 심각할 수 있다. 따라서 먹는 물의 수질 기준은 모든 환경 기준 중에서 가장 엄격하게 설정되어야 하겠다. 그리고 일반적으로 식수로 사용하고 있는 지하수는 정수 처리가 되어 있지 않기 때문에 소독이 필수적이며, 수도물도 물탱크에 저장하여 사용할 경우에도 물은 충분히 오염될 수 있으므로 오염된 물을 획기적으로 살균 소독할 수 있는 장치의 개발이 필요하다. 현재 농어촌 지역의 약 75[%]는 70년대 전후에 설치된 노후 간이 상수도 시설에 의해 생활용수가 공급되고 있다. 2001년 현재 전국의 간이 상수도 11,451개소, 소규모 급수 시설 13,201개소, 저수조 약 196,000개가 설치되어 있다. 그러나 이와 같은 시설은 유지 및 관리가 소홀하여 용수의 2차 오염을 유발시키는 장소로 변질될 가능성이 항상 상존해 있다. 수도물에서 바이러스가 검출된 직후 염소 소독을 강화할 경우 발암 물질인 트리할로메탄(THM)의 생성 가능성이 높아질 것이라는 지적이 있는 바와 같이 염소를 과다하게 투입하여 소독할 경우, 염소와 물 속의 유기 물질이 결합하여 트리할로메탄이 더 발생하게 된다. 본 논문은 이러한 점을 개선하기 위해 구형 지르코니아(ZrO₂)를 갖는 단층 절연 수방전관에 고전압을 인가하여 수중 대장균의 제거 특성을 조사한 것으로 수방전에 의해 물이 오존 성분과 알칼리 및 산성 등의 이온화된 물질로 변하는 특성을 이용하여 수중 대장균의 제거를 시도하였다.

2. 실험 장치

그림 1은 전극이 부착된 수방전관, 수유량을 표시하는 수량계, 시험수를 모아두는 수조, 고압 전원부, 수펌프와 시료 채취부 등으로 구성되어 있고, 방전관의 구조는 유리로 제작된 원통형 방전관(pyrex, 외경:∅ 24[mm], 길이:250[mm])으로서 방전관 내부에는 구형의 지르코니아(∅ 5[mm], ZrO₂, ε_r:5)가 놓여져 있으며, 이 방전관의 외부와 중심부에 전극이 설치되어 있다. 그리고 두 전극 사이에 20[kHz], 6~12[kV]의 교류 전압을 인가하고, 이 때 방전관을 통

과한 시험수 2[l]에 존재하는 대장균의 제거 특성을 조사하였으며, 시험수는 수(水)펌프에 의해 순환이 되도록 하였다.

시험수는 일반 지하수에 초기 대장균수를 1[mL]당 약 5,000마리의 개체가 존재하도록 물속의 세균 개체수를 조절하여 시험수로 사용하여 실험하였다. 그리고 대장균의 제거 특성을 조사하기 위해 대장균 증식을 위한 배양지로 사용되고 있는 3M Petrifilm(Coliform Count Plate)제품을 사용하였고, 수중 발생 오존과 과산화수소의 농도 측정을 위하여 종합 수질 분석기(975-MP 20)를 사용하였으며, 방전관은 수류의 흐름과 균일한 수중 전계 분포를 고려하여 동축 실린더형을 사용하였다. 파라미터로는 처리 시간에 대한 전압, 유량, 유전체의 크기 및 전력에 대한 대장균 제거 특성과 수질의 성분 변화이다.

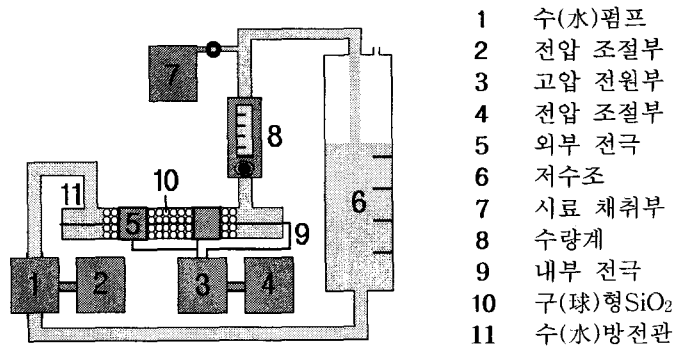


Fig. 1. 실험 장치의 개략도.

3. 실험 결과

3.1. 수(水)방전관의 수중 대장균 제거 특성

그림 2는 전압 6~12[kV], 유량 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 사료

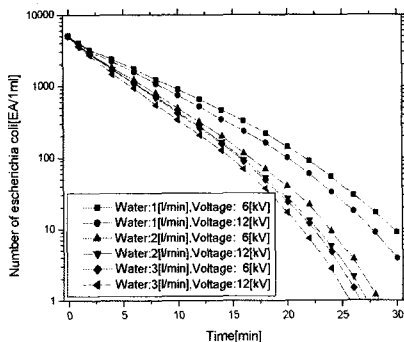


Fig. 2. 전압과 유량에 대한 대장균 제거 특성.

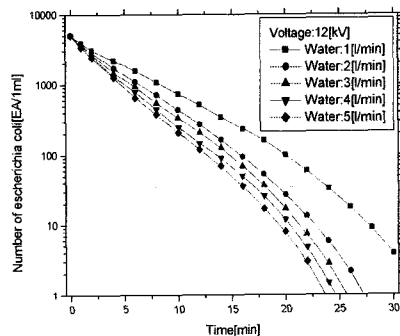


Fig. 3. 유량 변화에 대한 대장균 제거 특성.

된다. 동일 전압에 대한 유량 변화의 경우 시험수가 펌프에 의해 순환되기 때문에 펌프의 회전 속도가 높으면 대장균이 고전계와 접촉할 확률이 높아지기 때문에 수중 대장균의 제거율이 증가하였다.

그림 3은 전압 12[kV], 유량 1~5[l/min], 전극 간격 12[mm], 지르코니아의 직경이 5[mm]인 경우 시간 경과에 대한 수중 대장균의 제거 특성을 나타낸 것이다. 유량이 증가할수록 수중 대장균이 제거되기까지의 시간은 짧아지는 경향을 보였으나 유량을 지속적으로 증가시켜도 유량에 따른 대장균의 제거 특성은 비례적이지 않았다.

그림 4는 전압 12[kV], 유량 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 5는 전압 12[kV], 유량 3[l/min], 전극 간격 12[mm]의 조건에서 직경 5[mm]인 지르코니아의 사용 유무에 대한 수중 대장균 제거 특성을 나타낸 것이다. 실험 결과 대장균이 완전 제거되는 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 제거특성이 더 우수하게 나타난 것으로 사료된다.

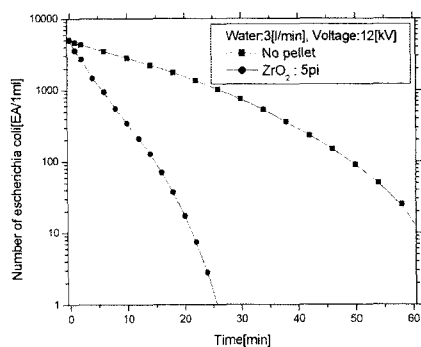
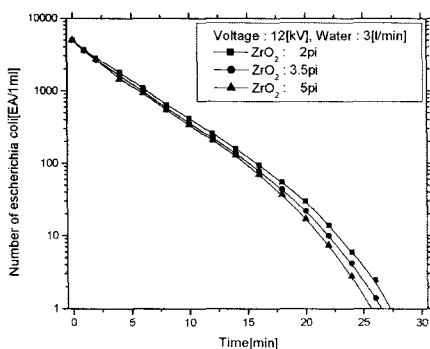


Fig. 4. 비드의 크기에 대한 대장균 제거 특성.

Fig. 5. 비드의 유무에 대한 대장균 제거 특성.

3.2. 수(水)방전관의 수(水)오존 발생 특성 및 과산화수소 발생 특성

그림 6은 유량(1, 2, 3[l/min]), 전극 간격 12[mm], 지르코니아의 직경이 5[mm]인 경우 전압을 0~20[kV]로 증가시켰을 때, 수중의 수오존 농도를 나타낸 것이다. 실험 결과는 전압 변화 후 30분마다 측정할 수 치로서 시험수 2[l]를 순환 방식으로 방전관을 통과시켜 실험하

였다. 오존 발생량은 반응기 내부에서 유속이 느릴수록, 전압이 높을수록 수오존 농도가 높게 측정되었다.

그림 7은 인가 전압 12[kV], 유량(1, 2, 3[l/min]), 전극 간격 12[mm], 지르코니아의 직경이 5[mm]인 경우 시간경과에 대한 수중 오존(O₃) 농도를 나타낸 것이다. 실험 결과 수방전판 내부의 수오존이 안정화되는 시점은 전원을 인가한 후 약 60분 정도에서 나타나고 있다.

그림 8는 유량(1, 2, 3[l/min]), 전극 간격 12[mm], 지르코니아의 직경이 5[mm]인 경우 전압을 0~20[kV]로 변화시켰을 때, 전압에 따른 수중의 과산화수소 농도를 나타낸 것이다. 실험 결과는 전압변화 후 30분마다 측정된 수치로서 시험수 2[l]는 순환 방식으로 방전판을 통과시켜 실험하였다. 과산화수소의 발생은 그림 6의 결과와 같이 반응기 내부에서 유속이 대체로 느린 경우 과산화수소의 농도가 높게 측정되었다.

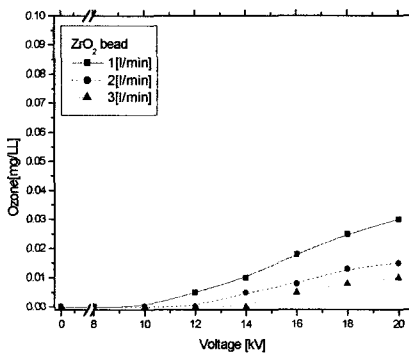


Fig. 6. 수중 오존(O₃)의 농도 측정.

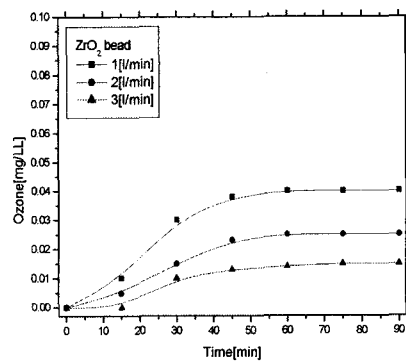


Fig. 7. 수중 오존(O₃) 농도 측정.

그림 9는 인가 전압 12[kV], 유량(1, 2, 3[l/min]), 전극 간격 12[mm], 지르코니아의 직경이 5[mm]인 경우 시간경과에 대한 수중 과산화수소의 농도를 나타낸 것이다. 수중에서 과산화수소의 생성 및 소멸량이 동일하게 되는 시점은 전원을 인가한 후 약 60분 정도에서 나타나고 있다.

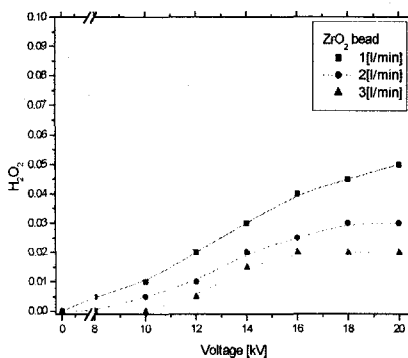


Fig. 8. 전압에 대한 수중 과산화수소의 농도.

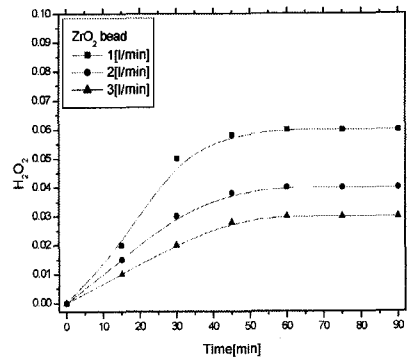


Fig. 9. 시간에 대한 수중 과산화수소의 농도.

4. 결 론

전압의 영향을 살펴보면, 전압이 높을 경우 전계가 비례적으로 증가하기 때문에 수중 대장균의 제거 특성이 우수하게 나타났다. 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 특성은 비드의 직경이 큰 경우가 전계 강도가 높게 나타나기 때문에 수중 대장균의 제거율이 상승함을 알 수 있었다. 그리고 전압에 대한 오존 발생량은 반응기 내부에서 유속이 느린 경우 수오존 농도가 다소 높게 측정되었는데, 이는 물의 흐름이 빠른 경우보다 물의 흐름이 느린 경우가 오존수로 변환될 수 있는 시간을 더 많이 제공받기 때문이다. 또한 수오존과 과산화수소의 수중 발생 농도를 측정한 결과 생성 및 소멸량은 각각 전압인가 후 약 60분 정도에서 나타났다.

참 고 문 헌

- 이동훈, Sep. 2002, 고전압 방전에 의한 이산화탄소의 제거특성, 대한전기학회 추계학술대회, pp.43-46.
- 김용호, 홍상희, 1998, 교류 유전체장벽 코로나방전을 이용한 NOx/SOx 분해 실험, 한국물리학회지 응용물리 11, 393-400.
- 김진규, July 2002, 유전체구 충전형 전극계의 코로나 방전과 강전해수 발생특성, 조명전기설비학회논문지, 16(4), 46-54.
- 이동훈, 박홍재, July, 2003, 대기중에서 구형 유전체의 전계 분포 시뮬레이션, 대한전기학회 논문지, 52(7), 305-309.