

구형 유전체비드를 가지는 단층절연방전관의 H₂O₂ 농도 측정 및 전계분포시뮬레이션

The measurement of H₂O₂ Concentration and Simulation of Electric Field Distribution at Dielectric Tube of one Layer with Globular Dielectric in Water

박홍재*, 박재윤*, 이동훈*, 고희석*, 이현수**

Park Hong Jae*, Park Jae Youn*, Lee Dong Hoon*, Koh Hee Seog*, Lee Hyun Su**

Abstract

In this paper, the electric field distribution in dielectric tube with one layer and spherical dielectric(glass) in water was simulated. The reactor was made up of the spherical dielectric that is diameter : 3.0[mm], glass(ϵ_r :5) and one glass plate of thickness(2[mm]), ϵ_r (5) as electrode. The discharge gap was 8[mm]. To get more strong electric field, the dielectric constant should be higher comparatively. Using the spherical dielectric for water discharge in dielectric tube, the location of equipotential line was shifting from the interior to the exterior. At real water discharge experimental, H₂O₂ was measured higher generated H₂O₂ in water at condition of water rate(1[l/min]) and injector than condition of non-injector or 2~3[l/min]

Key Words : Water discharge, Potential, Dielectric, Electric field.

1. 서 론

현대 사회는 급속한 산업 발달과 인구 증가로 인해 대기 및 수질오염이 각 개별 나라의 문제에서 국경을 초월하는 지구 전체의 환경 문제로 부각되고 있다. 특히, 수질 및 대기 환경의 개선을 위해 더 많은 노력을 기울이고 있는 실정이다.^{[1]-[3]} 오염원들 중에는 다양한 원인 물질들이 있는데 이 중에서 연소나 소각 과정에서 발생하는 발암성 물질인 다이옥신과 분진, 매연 그리고 페인트 등의 공업 화학 제품에 다량으로 함유되어 있는 휘발성 유기화합물(VOCs) 등의 난분해성 유해 가스나 화학 폐수, 가정하수, 축산 폐수, 농약 등의 수질 오염원은 시간이 지남에 따라 그 성장 속도가 가속되어 심각한 실정에 이르고 있다.^{[4]-[6]} 이러한 다양한 환경 오염원들을 처리하는 방법들 중에서 최근에 시도되고 있는 유전체를 이용하는 고전압 방전법은 오존의 발생, 물을 산성 또는 알칼리수로의 변환, 난분해성 유해 가스 처리, 수중 세균 처리 등에 다양한 분야에 사

용되고 있다.^{[7]-[8]} 특히 이러한 고전압을 이용하는 전기적 방법에서 구형의 유전체를 사용하는 경우가 있는데 구형 유전체의 고전압에 대한 전계 및 전위 분포 특성을 이해함으로써 실제 시스템의 운전 및 설계에 있어 도움을 주고자 상용 전자계 해석 프로그램을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 그리고 다양한 비유전율과 방전거리에 대해 시뮬레이션 하였고,^{[9]-[12]} 실제 실험을 통하여 H₂O₂의 생성을 조사하였다.

2. 시뮬레이션

2.1 형상의 설계 및 초기 전위 분포 해석

그림 1은 수(水)중에서 구(球)형의 유전체를 가지는 단층의 절연성 유전체 내면의 형상과 고전압 전위 분포 예를 나타낸 것이다. 그림 1에서 상부와 하부 전극 간격은 8[mm]이고, 구형 유전체가 존재하는 구간의 상부와 하부 간격은 6[mm]이며, 시뮬레이션에서 사용된 유전체구의 지름은 \varnothing 3.0[mm]이다. 이 구형의 유리구의 비유전율이 5일 때 발생하는 수중 전위 및 전계 분포의 특성을 알기 위해 시뮬레이션을 시도하였다. 수중에서 상부면에는 0[V]을 인가하였고, 하부면에 10000[V]의 전압을 인가한 경우의 전

* : 경남대학교 전기전자공학부

** : 마산대학 컴퓨터전기공학부

위 시뮬레이션 해석 결과로 전극 형상이 평판 전극인 관계로 평등 전계에 의해 전위 분포도 평행의 평등 전위 분포를 나타내는 특징을 보였다. 하지만 균등한 평등 전계의 분포가 아니라 비유전율 5 정도인 절연물(유리 : Glass) 판이 방전 영역에 존재함으로써 인하여 각각의 절연물 내부에 많은 등전위 경계층이 분포하는 특징을 보여주고 있다.

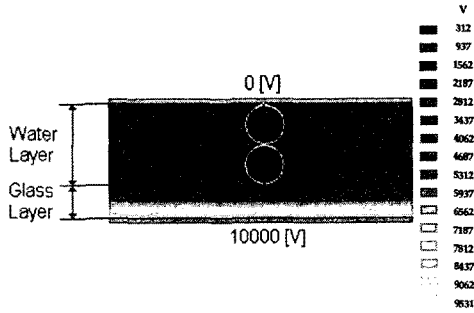


그림 1. 시뮬레이션의 형상 및 초기 전위 분포

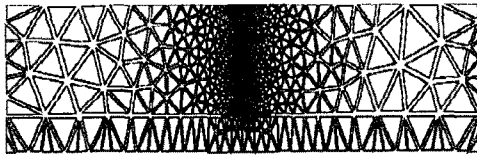
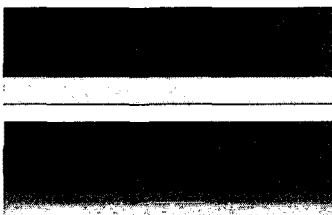


그림 2. 시뮬레이션을 위한 셀(cell) 분할

그림 2는 논문의 시뮬레이션 전처리에서 해석 영역을 삼각셀로 분할한 것의 일 예를 나타낸 것으로 왜곡부의 해석상의 수렴 정도의 정확성을 기하기 위해 곡률 반경이 작은 부분은 세밀하게 잘라서 해석 하도록 설계하였다.

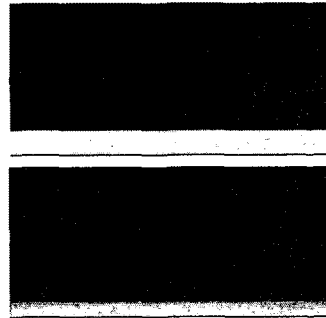
2.2 시뮬레이션 결과

그림 3과 그림 4는 구형(Glass) 유전체의 전계 및 전위 분포를 시뮬레이션한 것이다. 그림 3의 경우는 인가전압 10[kV]에서 최대 전계 약 41[kV/m]를 나타내었고, 전계 형태는 대체적으로 평행 전계 분포이지만 균등 전계는 아니었다. 이는 비유전율이 5 정도인 절연물(유리 : Glass) 판이 방전 영역에 존재함으로써 인하여 절연물 내부에 많은 등전위 분포층을 가지기 때문으로 사료된다.



V/m	V
153140	312
422715	937
692290	1562
961866	2187
0.123E+07	2812
0.150E+07	3437
0.177E+07	4062
0.204E+07	4687
0.231E+07	5312
0.258E+07	5937
0.285E+07	6562
0.312E+07	7187
0.339E+07	7812
0.366E+07	8437
0.393E+07	9062
0.413E+07	9531

그림 3. 구형 유전체(비유전율:5)와 8[mm]갭을 가지는 단층 절연 유전체 판의 전계 분포 시뮬레이션



V/m	V
130286	312
368303	937
606320	1562
844337	2187
0.108E+07	2812
0.132E+07	3437
0.156E+07	4062
0.180E+07	4687
0.203E+07	5312
0.227E+07	5937
0.251E+07	6562
0.275E+07	7187
0.299E+07	7812
0.322E+07	8437
0.346E+07	9062
0.364E+07	9531

그림 4. 구형 유전체(비유전율:5)와 13[mm]갭을 가지는 단층 절연 유전체 판의 전계 분포 시뮬레이션

그림 4는 그림 3의 조건과 동일하고 단지 수중 방전 거리를 6[mm]에서 12[mm]로 증가한 경우로서 전체적인 경향은 앞서 설명한 그림 3과 거의 동일하며, 구형의 유전체의 유전율이 증가하면 평행 등전위선의 위치가 구형 유전체의 내부에서 외부로 밀려나는 특성을 나타내었다.

3. 실험 결과

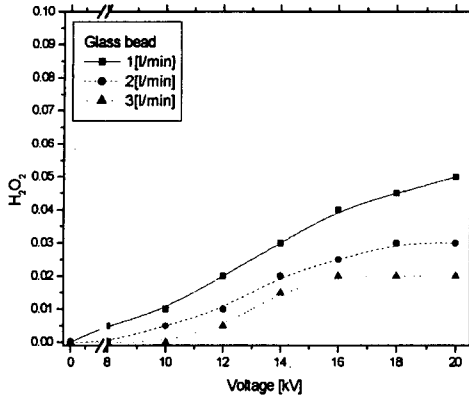


그림 5. 인가전압에 따른 유전체 비드 수방전관의 H₂O₂ 발생 특성

그림 5는 유량(1, 2, 3[l/min]), 방전갭(10[mm]), 유리구(3.0 ϕ)에서 인가전압에 따른 수방전관의 H₂O₂ 발생 특성을 조사한 것이다. 각각의 실험 결과치는 매 30분 이후에서 측정된 수치이고, 수[水] 유량은 500[ml]이며, 순환(By-pass)방식으로 실험을 행하였다. 측정결과 H₂O₂ 발생량은 반응기 내부에서 유속이 대체로 느린 경우에 농도가 다소 높게 나타났다. 이는 단위시간당 물이 H₂O₂로 변환될 수 있는 시간적 확률을 제공하기 때문으로 사료된다.

그림 6은 그림 5의 실험 조건에 공기 Mixing 장치인 인젝터를 설치한 수방전관의 인가전압에 따른 H₂O₂ 발생 특성을 조사한 것이다. 각각의 실험 결과치는 매 30분 이후에서 측정된 수치이고, 수(水) 유량은 500[ml]이며, 순환(By-pass)방식으로 실험을 행하였다. 측정결과 H₂O₂ 발생량은 인젝터가 설치되지 않은 그림5의 경우보다 H₂O₂의 발생이 증가하는 특성이 나타났다. 이는 공기 Bubble에 의해 고전압 방전에 의한 접전계의 수가 증가하게 되고, 물이 이온수로 변환이 조금 더 용이하게 되기 때문으로 사료된다.

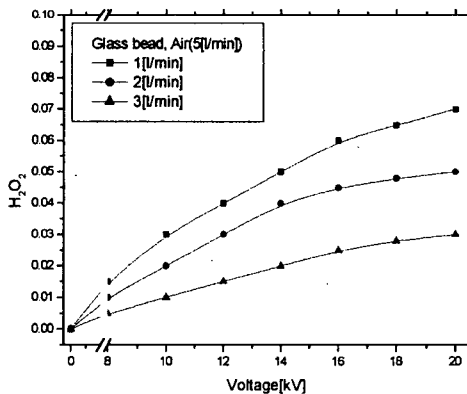


그림 6. 인가전압에 따른 유전체 비드와 인젝터형

수방전관의 H₂O₂ 발생 특성

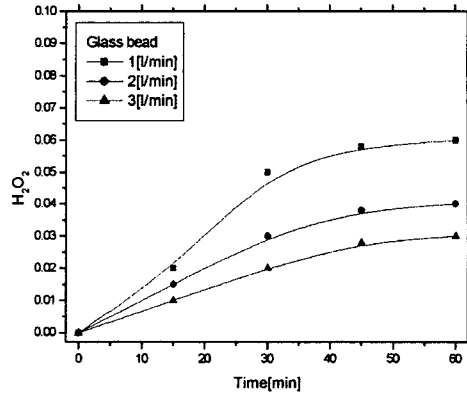


그림 7. 반응시간에 따른 유전체 비드 수방전관의 H₂O₂ 발생 특성

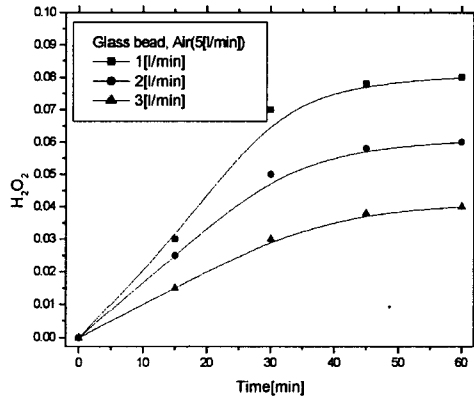


그림 8. 반응시간에 따른 유전체 비드와 인젝터형 수방전관의 H₂O₂ 발생 특성

그림 7은 유량(1, 2, 3[l/min]), 방전갭(10[mm]), 유리구(3.0 ϕ)에서 반응시간에 따른 수방전관의 H₂O₂ 발생 특성을 조사한 것이다. 수방전 실험 결과 H₂O₂의 생성 및 소멸량이 동일하게 되는 지점이 방전 개시 이후 60분 정도에서 나타나고 있음을 알 수 있었다.

그림 8은 유량(1, 2, 3[l/min]), 방전갭(10[mm]), 유리구(3.0 ϕ)와 공기 Mixing 장치인 인젝터를 설치한 수방전관의 반응시간에 따른 H₂O₂ 발생 특성을 조사한 것이다. 본 방전관의 실험 결과 H₂O₂의 생성 및 소멸량이 동일하게 되는 지점이 그림 7과 같이 방전 개시 이후 60분 정도에서 나타나고 있음을 알 수 있고, 방전관 내부로의 공기 주입 영향으로 그림 7의 경우보다 H₂O₂의 발생량이 증가하는 결과를 나타내었다.

4. 결 론

구형 유전체(비유전율:5)와 8[mm]갭을 가지는 단층 절연 유전체 판의 전계 분포 시뮬레이션 결과 인가전압 10[kV]에서 최대 전계 약 41[kV/m]를 나타내었고, 수방전 공간의 거리가 2배로 늘어난 13[mm]갭을 가지는 단층 절연 유전체 판의 전계 분포 시뮬레이션 결과 인가전압 10[kV]에서 최대 전계 약 37[kV/m]를 나타내었다. 절연물을 가지는 경우에 있어서, 방전 거리가 2배로 늘어날 경우 통상적으로는 거리에 비례하지만 본 경우에서의 전계 분포는 비례적으로 감소하지는 않았다.

유량(1, 2, 3[l/min]), 방전갭(10[mm]), 유리구(3.0 ϕ)에서 인가전압에 따른 수방전관의 H₂O₂ 발생 특성을 살펴보면, 수중 공기 주입 장치인 인젝터가 부착된 경우 공기에 의해 더 많은 점전계가 발생하여 더 높은 H₂O₂를 발생시킬 수 있음을 알 수 있었다. 그리고, H₂O₂의 생성 및 소멸량이 동일하게 되는 지점의 경우에는 인젝터가 부착된 경우와 부착되지 않은 경우 모두 반응 이후 60분 정도의 시간에서 안정화되는 경향을 나타내었다.

참고 문헌

- [1] 이동훈, 이현수, 박재윤, 박상현, 박홍재, “자계를 이용한 질소 산화물의 제거 효과”, 대한전기학회 전문대학 위원회 학술발표, June 2002.
- [2] 이동훈, 박재윤, 이현수, “전자계-촉매형 플라즈마 반응기의 질소 산화물 제거 특성”, 전기전자재료학회 논문지, June 2002.
- [3] 이동훈, 박홍재, 박재윤, 박상현, “고전압 방전에 의한 이산화탄소의 제거 특성”, 대한전기학회 추계학술대회, Sep. 2002.
- [4] 박재윤 외 2명, “비열 플라즈마를 이용한 CF₄ 분해에 미치는 혼합 가스의 영향”, 전기전자재료학회 논문지, 6호, 제 15권, pp. 543-550, 1896, 2002.
- [5] 김용호, 홍상희, “교류 유전체장벽 코로나 방전을 이용한 NO_x/SO_x 분해 실험”, 한국물리학회지 응용 물리 11호, pp. 393-400, 1998.
- [6] 이동훈, 조국희, 김영배, “Ti-Si-Al형 세라믹 촉매 방전관의 오존 발생 특성 연구”, 조명전기설비학회 논문지, 6호, 제 16권, pp. 130-136, 2002.
- [7] 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, pp. 1231, 1999.
- [8] 정병석, 신동석, 윤성희, 김병호, “MOD법에 의

한 강유전성 SrBiTaO(SBT) 박막 제조 및 후열처리 효과의 연구”, 전기전자재료학회 논문지, 3호, 제 11권, pp. 2296-2300, 1998.

- [9] 남효덕, 우동찬, “BaTiO₃ 세라믹스의 절연 파괴 거동에 미치는 기공의 크기와 기공율의 영향”, 전기전자재료학회 논문지, 3호, 제 10권, pp. 1896-1900, 1997.
- [10] 이동훈, 박홍재, 박재윤, 박상현, “수중 직접 방전 전극의 최적 전극 형상 설계”, 대한전기학회 춘계 학술 대회, pp. 60-63, April. 2003.
- [11] 김진규, “유전체구 충전형 전극계의 코로나 방전과 강전해수 발생 특성”, 조명전기설비학회 논문지, vol. 16, no. 4, pp. 46-54, July 2002.
- [12] 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).
- [13] 이동훈, 박홍재, 박재윤, 고희석, “대기중에서 구형 유전체의 전계 분포 시뮬레이션”, 대한전기학회 논문지, 제 52권, 7호, June 2003