

수중에서의 이중 절연 방전관과 구형 유전체의 전계 분포 시뮬레이션

이동훈*, 박재윤**, 박홍재*, 고희석**

* : 경남대학교 전기공학과 대학원, ** : 경남대학교 전기전자공학부

The Simulation of Electric Field Distribution of Dielectric Tube with Two Layers and Gloular Dielectric in Water

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

Kyongnam Univ.

Abstract

This paper was simulated the electric field distribution in dielectric tube with two layers and spherical dielectric in water . The reactor was made up of the spherical dielectric that is diameter : 2.5[mm], ϵ_r : 5, 25, 100, 1000, 5000 respectively and two glass plate being 2[mm] thickness, ϵ_r : 5 as electrode. The discharge gap was .9[mm]. As a result of the simulation, in case of being about the same value between the dielectric constant of spherical dielectric and water, when the reactor was applied to high voltage, dielectric polarization characteristic was trending toward disappearance. To get more strong electric field, the dielectric constant should be higher comparatively. Increasing the spherical dielectric constant, the location of equipotential line was shifting from the interior to the exterior.

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

1. 서 론

최근 우리 사회는 급속한 산업 경제의 발달과 인구 증가로 인해 대기 및 수질 오염이 심각한 상황에 놓여 있으며 넓게는 국가간의 환경 문제로 인해 분쟁의 소지를 안고 있는 실정이다. 특히, 수질 및 대기 환경의 개선을 위해 더 많은 노력을 기울이고 있다. 다양한 오염원들 중에서 지구 온난화 근원적인 원인 물질로 석유와 화석 연료가 대표적인데 이와 관련된 산업 활동 모든 분야가 이와 직간접적으로 관련을 가지고 있으며, 결국 화학 에너지 소비의 증가와 연계되고 있다. 그리고 이러한 에너지 소비형 산업 활동의 부산물로서 연소나 소각 과정에서 발생하는 질소 산화물, HC계열의 발암 물질, 휘발성 유기화합물(VOCs)과 중화학 공업에서 배출되는 유사 유해 가스과 난분해성 폐수 물질과 축산 폐수, 농약 등은 자연 환경의 리사이클에 의해 지구상의 지표수를 심각하게 오염시키고 있다. 이러한 환경 오염원을 처리하는 방법들 중에 유전체를 이용하는

고전압 방전법은 현재 오존의 발생, 물을 산성 또는 알카리수로의 변환, 난분해성 유해 가스 처리, 수중 세균 처리 등에 다양한 분야에 사용되고 있다. 특히 전기적 방법으로 구형의 유전체를 사용하는 경우에 있어 구형 유전체의 고전압에 대한 전계 및 전위 분포 특성을 이해함에 있어 도움을 주고자 상용 전자계 해석 프로그램을 이용하여 시뮬레이션하였고 다양한 변수에 대한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 구형 유전체 방전에 있어서 우수한 방전 조건을 도출하였다.^{[4]~[8]}

2. 시뮬레이션

2.1 형상의 설계 및 초기 전위 분포 해석

그림 1은 수(水)중에서 구(球)형 유전체를 가지는 이중의 절연성 유전체 내면의 형상과 고전압 전위 분포 예를 나타낸 것이다. 그림 1에서 상부와 하부 간격은 9 [mm]이고, 구형 유전체가 존재하는 구간의 상부와 하부 간격은 5[mm]이며, 시뮬레이션에서 사용된 유전체구의 지름은 $\varnothing 2.5$ [mm]이다.

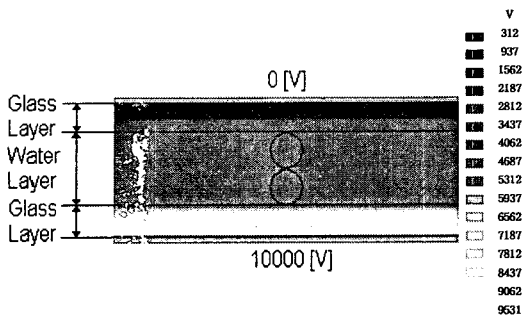


그림 1 시뮬레이션의 형상 및 초기 전위 분포

수중 상태에서 상부면에는 0[V]을 인가하였고, 하부 전극면에 10000[V]의 전압을 인가한 경우의 전위 시뮬레이션 해석 결과를 살펴보면 전극 형상이 평판 전극인 관계로 평등 전계에 의해 전위 분포의 형태도 대체적으로 평행 전위 분포가 나타나는 특징이 있다.

2.2 구형 유전체의 유전 분극 특성

유전체 분극에서 일반적인 유전 분극의 세기는 두 점전하가 가지는 대전 전하량의 전계 강도 (V/m)의 특성에 의존한다. 이러한 특성은 쿨롱의 법칙과 이 법칙과 관련된 전계(E)와 전하량(Q) 그리고 정전용량(C)과 관련된 수식들의 관계를 정립함으로 설명할 수 있다. 그림 1과 같이 전극에 인가된 전압에 의해 대전된 직렬의 다중 점전하의 특성을 아래의 수식들을 이용하여 설명할 수 있다. 수식 (2.1)은 쿨롱의 법칙으로 두 정전하 Q_1 과 Q_2 의 대전 전하량의 크기와 성질에 따라 두 전하의 상호 힘의 관계로서 인력과 척력의 크기가 결정되는 것을 의미하는 수식이고, 수식 (2.2)는 단일 정전하의 전계 강도를 나타내는 수식이며, 수식 (2.3)은 기본적으로 정전하의 대전 전하량의 경우 콘덴서의 인가전압과 콘덴서의 용량에 비례하고 있음의 나타내는 수식이다. 그리고 수식 (2.4)는 콘덴서의 정전용량을 나타내는 수식으로 고정 상수인 진공의 유전율 (ϵ_0)과 비례 상수인 전극 사이에 인가되는 물질의 비유전율 (ϵ_r) 그리고 마주보는 전극의 면적(s)과 전계의 크기에 있어 반비례 상수인 거리(d)로 구성된다. 그리고 이와 같은 기본적인 조건들에 의해 대칭형 전극에서의 유전체구들의 유전 분극 특성을 설명할 수 있다. 그리고 그림 1의 형상 및 결과를 살펴보면, 대전 전하의 유전 분극에 의한 전계 강도는 인가 전압에 비례하는 특징이 있다. 하지만 유전체구의 크기가 변화하면 전극과 유전체구 또는 유전체구 상호간에 마주보는

면적(s)과 거리(d)가 비례적이지 않으면서 가변적 특성을 가지므로 인해 전계 강도(V/m)가 유전체구의 크기에 대해 일정한 비례 관계식을 가지지는 않는 특징이 있다. 그리고 이와 같은 구형 유전체의 형상적 특징으로 인해 수식 (2.4)와 같이 비유전율(ϵ_r)에 대한 전계 강도(V/m)도 일정한 상수에 따른 비례 관계식으로 나타내기 힘들며, 이에 대한 설명은 3장의 전계 시뮬레이션 결과들의 상호 비교 분석을 통해 설명할 수 있다.

$$F = K \frac{(Q_1 \cdot Q_2)}{R^2} \quad (2.1)$$

(비례상수 $K : \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, R : 거리, Q : 양 또는 음전하)

$$E = K \frac{Q}{R^2} \quad (2.2)$$

$$Q = CV \quad (2.3)$$

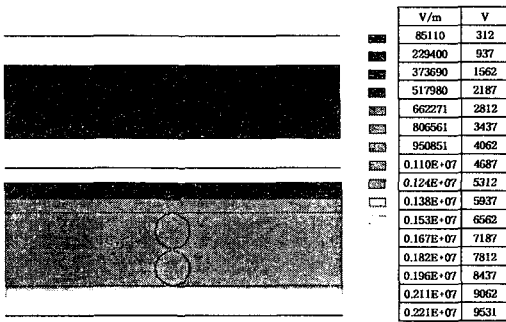
$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{s}{d} \quad (2.4)$$

3. 시뮬레이션

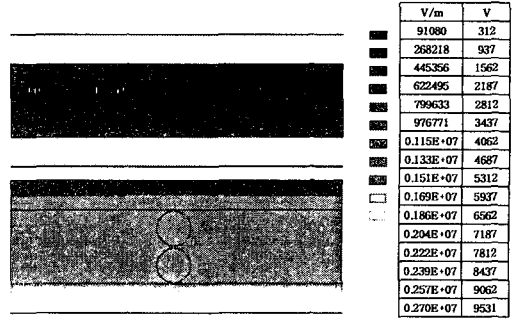
3.1 시뮬레이션 결과

그림 2는 유전체구의 지름 : $\phi 2.5[\text{mm}]$, 구형 유전체의 비유전율 : 5, 25, 100, 1000, 5000 그리고 상부와 하부 방전 전극 간격 : 9 [mm], 상부와 하부 절연성 유전체판(Glass) 두께 : 각각 2[mm]의 경우 전계 및 전위 분포를 시뮬레이션한 결과이고, 공간상의 매질이 비유전율이 80 정도인 물(水) 속에 비유전율 : 5인 판형 유전체 상부면에 0[V]의 전압을 인가하고, 판형 유전체 하부면에 10000[V]의 전압을 인가한 경우의 전위 시뮬레이션 해석 결과로 그림 내에서 위쪽 그림은 전계 분포 특성을 나타낸 것이고, 아래쪽 그림은 동일 조건에서의 전위 분포를 해석한 것이다. 방전 구간에 유전율을 가지는 물질은 물과 판형 유전체 그리고 구형 유전체로 이 세 물질의 유전율의 상대적인 비율에 따라 유전 분극 특성이 달리 나타남을 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있다. 그리고 방전관 내부의 세 가지 재료의 비유전율의 상대적 비율이 클수록 대체로 수중에서 유전 분극이 우수한 특징을 보여주고 있다.

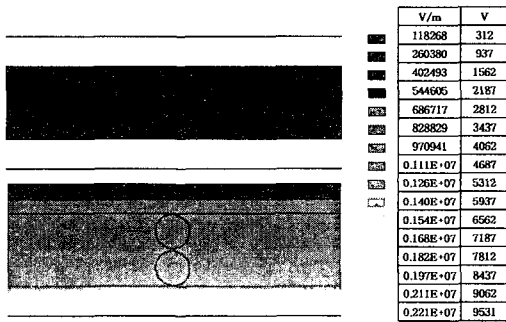
그림 2는 구형 유전체의 유전율의 변화에 다른 전계 및 전위 분포를 시뮬레이션한 결과이다. 구형 유전체의 유전율이 물(水)의 비유전율과 비슷한 그림 2의 (c)의 경우 인가 전압에 의한 유전 분극 특성은 거의 사라지고 2개의 판형 유전체 표면



(a) 구형 유전체의 비유전율 : 5



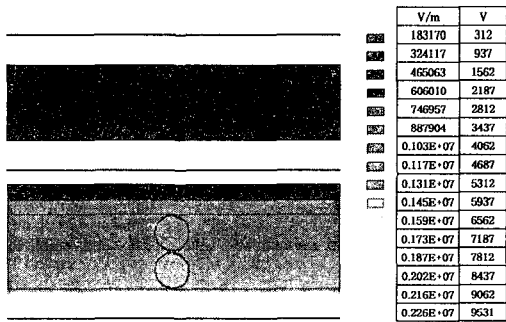
(e) 구형 유전체의 비유전율 : 5000



(b) 구형 유전체의 비유전율 : 25

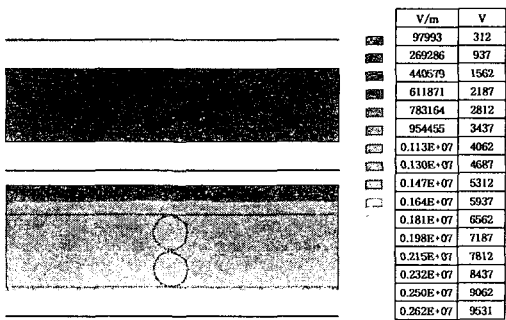
그림 2. 구형 유전체와 9[mm]갭을 가지는 이층 절연 유전체 판의 전계 분포 시뮬레이션.

에 존재하는 전위차에 의해 전위 분포 특성만 나타나고 있으며, 물과 구형 유전체의 유전 비율의 차이가 상대적으로 큰 경우에는 대전 전계에 의한 전계의 세기도 증가하였다. 이것은 물과 유전체의 비유전율이 비슷한 경우에 있어서 구형 유전체가 분극 특성을 가지지 못하기 때문으로 사료된다. 그리고 시뮬레이션에 사용된 유전체들간의 비유전율의 상대적인 비율이 비슷하다더라도 최대 전계는 유전체의 유전율이 상대적으로 큰 쪽에서 강하게 나타나는 특징을 보여 주고 있으며, 전극 형상이 평판 전극의 구조인 관계로 평행 전계에 의해 전위 분포 형태도 대체적으로 평행 전위 분포를 나타내는 특징이 있다. 하지만 균등한 평행 전계 분포가 아니라 비유전율 5 정도인 절연물(유리 : Glass) 판이 방전 영역에 존재함으로 인해 각각의 절연물 내부에 많은 등전위 경계층이 분포하는 특징을 보여주고 있다.

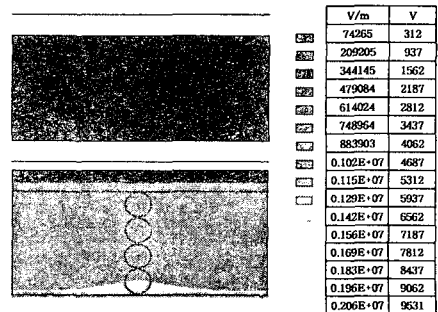


(c) 구형 유전체의 비유전율 : 100

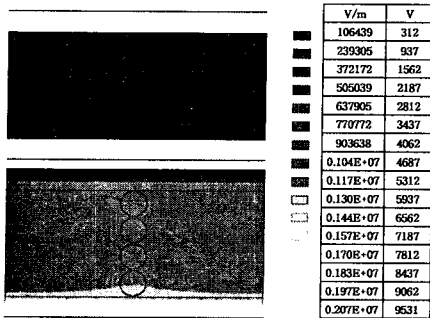
그림 3은 그림 2의 조건과 동일하고 단지 수증 방전 거리를 5[mm]에서 10[mm]로 증가한 경우로서 전체적인 경향은 앞서 설명한 그림 2의 경향과 거의 동일하다고 사료되며, 구형의 유전체의 유전



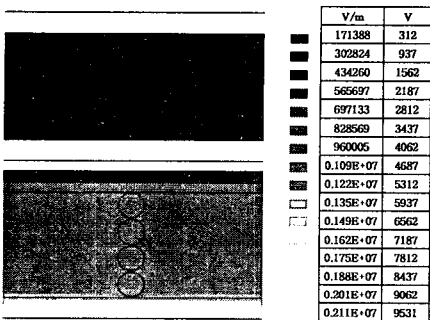
(d) 구형 유전체의 비유전율 : 1000



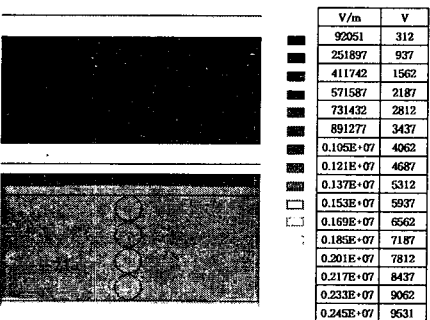
(a) 구형 유전체의 비유전율 : 5



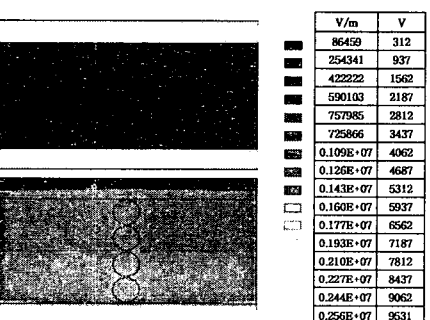
(b) 구형 유전체의 비유전율 : 25



(c) 구형 유전체의 비유전율 : 100



(d) 구형 유전체의 비유전율 : 1000



(e) 구형 유전체의 비유전율 : 5000

그림 3. 구형 유전체와 14[mm]갭을 가지는 이중 절연 유전체 판의 전계 분포 시뮬레이션.

율이 증가하면 평행 등전위선의 위치가 구형 유전체의 내부에서 외부로 밀려나는 특성을 그림 2의 결과와 같이 나타내고 있다.

3. 결론

구형 유전체의 유전율이 물(水)의 비유전율과 비슷한 경우, 고전압 인가시 유전 분극 특성은 거의 사라지는 경향을 나타내었고, 더 강한 전계를 얻기 위해서는 유전체의 비유전율이 상대적으로 더 크게 설정하는 것이 좋으며, 구형의 유전체의 유전율이 증가하면 평행 등전위선의 위치가 구형 유전체의 내부에서 외부로 밀려나는 특성을 나타내었다.

참고 문헌

- [1] 이동훈, 박재윤, 박상현, “자계를 이용한 질소 산화물 제거 효과”, 대한전기학회 전문위원회 학술발표, June 2002.
- [2] 이동훈, 박재윤, “전자계-축매형 플라즈마 반응기의 질소산화물 제거특성”, 전기전자재료학회 논문지, June 2002.
- [3] 이동훈, 박재윤, 박상현, “고전압 방전에 의한 이산화탄소의 제거 특성”, 대한전기학회 추계 학술대회, Sep. 2002.
- [4] 이동훈 외 2명, “Ti-SiI-Al형 세라믹 축매 방전판의 오존발생특성 연구”, 조명전기설비학회 논문지, 6호, 제 16권, pp. 130-136, 2002.
- [5] 이동훈 외 4명, “수중 직접 방전 전극의 최적 전극 형상 설계”, 대한전기학회 춘계학술대회, pp. 60-63, April. 2003.
- [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.
- [9] 남효덕, 우동찬, “BaTiO₃ 세라믹스의 절연 파괴 거동에 미치는 기공의 크기와 기공율의 영향”, 전기전자재료학회 논문지, 3호, 제 10권, pp. 1896-1900, 1997.
- [10] 김진규, “유전체구 충전형 전극계의 코로나 방전과 강전해수 발생 특성”, 조명전기설비학회 논문지, vol. 16, No. 4, pp. 46-54, July 2002.
- [11] 박재윤 외 2명, “비열 플라즈마를 이용한 CF₄ 분해에 미치는 혼합가스 영향”, 전기전자재료학회 논문지, 6호, 제 15권, pp. 543-550. 1896, 2002.