유전체 비드를 이용한 수중 방전의 전계 분포 특성 평가

이동훈, 박홍재, 박재윤*

경남대학교 전기공학과 대학원, 경남대학교 전기전자공학부*

The simulation on a electric field distribution of dielectric beads with a shape of ball in water

Lee Dong Hoon, Park Honh Jae, Park Jae Youn*

The post-graduate of Electric Eng. Dept. and Dept. of Electrical & Electronics Eng. of Kyungnam Univ.

Abstract

In this paper, We explained the best shape design of electrode for discharge on the water. Electrode with rounding was reduced maximum electric field of over 40% to electrode without rounding for discharge on the water and the best shape of electrode for discharge on the water designed when shape of electrode had a curve radius of over 60° at electrode's face to electrode's face with minimum distance and a curve radius of under 120° at electrode's side face to electrode's front face. And When dielectric beads are used between electrodes, the life of electrodes is improved by lower stress of electric field on surface of electrodes.

Key Words : Silent Discharge, Ceramic, Dielectric.

1. 서 론

오늘날 사회는 산업화와 인구 증가로 대기 및 수질 오염이 국제적 문제로 확장되고 있으며, 수질 및 대기 환경의 개선을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 그러나 너무나 다양한 분야에서 다량의 오염물이 배출되고 있어, 이를 해결하는 데에는 많은 기술과 시간이 요구된다. 관련 부분의 다양한 기술들 중에서 전기적인 방법의 한 부분인 수중 방전이 있어서 수중 방전용 수중 전극의 전극 마모를 줄일 수 있는 방법의 제시하여 최장 기간 사용할 수 있도록 전극의 최적 형상의 제작 및 설계를 돕고자 하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 수중 직접 방전에 있어서 다양한 변수에 대한 방전 및 전극 형상의 최적 조건을 도출하기 위해 상용 전자계 해석 프로그램인 Flux 2D를 이용하여 다양한 변수에 대해 수중 직접 방전 전극의 최적 형상 및 유전체구에 의한 전계 분포를 해석하고자 시도하였다.

2. 시뮬레이션

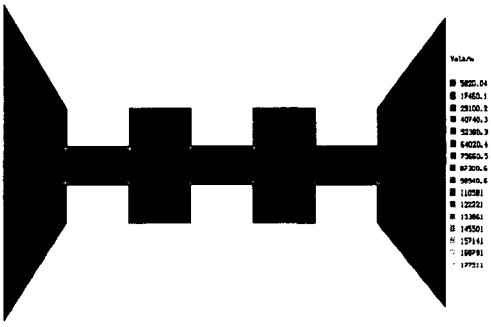

그림 2.1 수중 방전 전극 전계 시뮬레이션 결과
◎ 전극 간격 : 1.0[mm]
◎ 전극 길이 : 2.0[mm]

그림 2.1은 전극 간격 : 1.0[mm], 전극 길이 : 2.0[mm]에서 돌출된 6개의 흰색 사각 부분(ㅁ ㅁ ㅁ) 즉, 수중 방전용 전극의 조건에서 마주보는 3쌍의 전극 사이 전위차 100[V]를 인가할 경우, 수

중 전계 분포를 해석한 것이다. 전극의 간격과 길이는 일반적으로 수중 직접 방전시 물의 저항 성분으로 인해 마주보는 전극의 간격과 단일 전극의 폭은 수[mm] 이하로 설계하므로 본 시뮬레이션에서도 이와 유사하게 설정하였다. 그리고 그림 2.1의 시뮬레이션 결과 그림에서 밝은 부분은 강한 전계가 형성되고 있음을 의미하고, 어두운 부분은 전계 강도가 작음을 의미한다. 최대 전계는 177511[V/m], 최저 전계는 5820[V/m]로 나타났다.

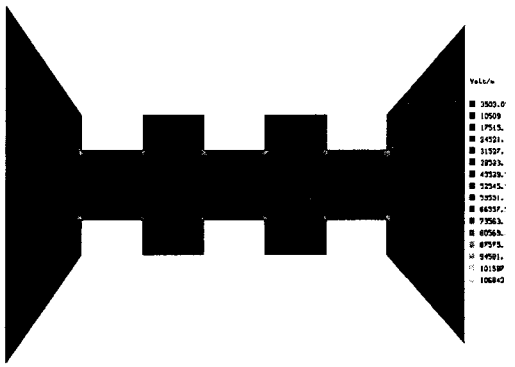

그림 2.2 수중 방전 전극의 전계 시뮬레이션 결과
◎ 전극 간격 : 2.0[mm]
◎ 전극 길이 : 2.0[mm]

그림 2.2는 그림 2.1의 조건에서 마주보는 전극 간격을 2[mm]로 증가할 경우의 수중에서의 전계 분포를 시뮬레이션한 결과이다. 해석 결과 방전 전극 사이의 이격 거리가 늘어남으로 인해 그림 2.1과 비교하여 보면, 최대 전계는 106842[V/m]로, 최저 전계는 3503[V/m]로 줄어들었다.

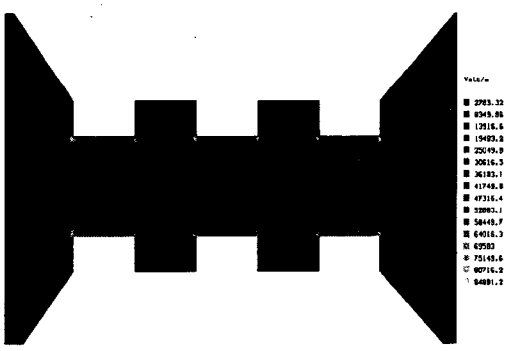

그림 2.3 수중 방전 전극의 전계 시뮬레이션 결과
◎ 전극 간격 : 3.0[mm]
◎ 전극 길이 : 2.0[mm]

그림 2.3은 그림 2.1 또는 2.2의 조건에서 마주보는 전극 간격을 3[mm]로 증가할 경우의 수중에서의 전계 분포를 시뮬레이션한 결과이다. 시뮬레이션 결과 방전 전극 사이의 이격 거리가 늘어남으로 인해 그림 2.1과 그림 2.2의 시뮬레이션 결과와 비교하여 보면, 최대 전계는 84891[V/m]로, 최저 전계는 2783[V/m]로 줄어드는 특징이 있었다.

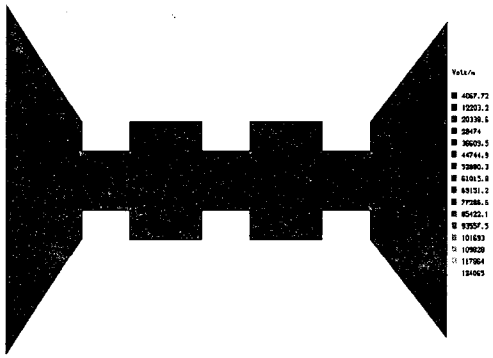

그림 2.4 수중 방전 전극의 전계 시뮬레이션 결과
◎ 전극 간격 : 2.0[mm]
◎ 전극 길이 : 1.5[mm]

그림 2.4는 2.2의 조건에서 전극면의 길이를 2[mm]에서 1.5[mm]로 줄인 경우, 전극 부근의 전계 분포를 시뮬레이션한 결과이다. 해석 결과 전극면의 길이가 줄어듬으로 인해 그림 2.2의 해석 결과와 비교하여 보면, 최대 전계는 124065[V/m]로, 최저 전계는 4067[V/m]로 조금 증가하는 경향을 보여주고 있다. 이러한 경향은 시뮬레이션 결과 그림과 데이터를 동시에 살펴보면 두 가지 측면에서 그 이유를 찾아볼 수 있다. 첫 번째로는 전극면이 줄어듬으로 인해 마주보는 전극면에 전하 집중 현상이 생기기 때문이고, 두 번째는 전극면이 줄어듬으로 인해 상대적으로 동전위의 전극 사이 거리는 늘어나게 된다. 그리고, 전극의 사선 방향에 존재하는 전극에 전압이 인가될 경우, 그림 2.2의 경우보다 사선에 존재하는 전압이 인가된 전극에 의한 영향이 줄어들게 되고, 동시에 각 전극 모서리의 전하는 외부적인 힘에 의한 전하 분산 현상이 줄어들게 된다. 그 결과 전극면의 전계가 증가되는 것으로 사료된다.

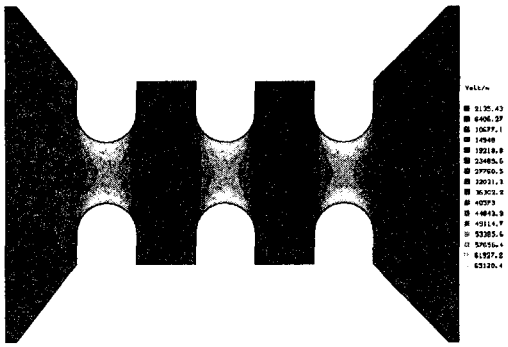

그림 2.5 수중 방전 전극의 전계 시뮬레이션 결과
◎ 전극 간격 : 2.0[mm]
◎ 전극 길이 : 2.0[mm]
◎ 원호 각도 : 120°

그림 2.5는 그림 2.2의 조건, 전극 간격 : 2.0[mm], 전극 길이 : 2.0[mm]에서 돌출된 6개 상하의 흰색 사각 부분(ㅁ ㅁ ㅁ)을 전극면상에서 원호의 안쪽의 임의의 지점에서 원호의 양끝 부분이 이루는 각도를 120° 로 둥글게 가공한 수중 방전용 전극의 조건에서 마주보는 3쌍의 전극 사이에 전위차 100[V]를 인가하였을 경우, 수중에서의 전계 분포를 시뮬레이션한 결과이다. 이는 앞서 기술한 바와 같이 그림에서 밝은 부분은 강한 전계가 형성되고 있음을 의미하고, 어두운 부분은 전계의 강도가 미미함을 의미한다. 시뮬레이션 결과 그림 3.2의 경우 최대 전계를 나타내는 지점은 전극의 모서리였지만 전극면을 가공한 후에는 마주보는 전극면의 최단 거리에서 나타나는 특징을 보여주고 있다. 또한 그림 2.2의 시뮬레이션 결과와 상호 비교하여 보면, 그림 2.2의 최대 전계 106842[V/m]가 그림 2.5의 경우에서 65130[V/m]로 약 40[%]정도 최대 전계가 감소하는 특성을 얻었다. 그리고, 그림 2.2의 최저 전계 3503[V/m]도 또한 2135[V/m]로 약 40[%] 정도 최소 전계가 감소하는 특성을 얻었다.

그림 2.6은 그림 2.5의 조건에서 보면, 돌출된 6개 상하의 흰색 원호 안쪽의 임의의 지점에서 원호의 양끝 부분이 이루는 각도를 120° 에서 60° 로 전극면상에서 원호의 평면을 그림 2.2의 경우보다 평탄하게 가공한 경우로 마주보는 3쌍의 전극 사이에 전위차 100[V]를 인가하였을 경우의 수중의 전계 분포를 시뮬레이션한 결과이다.

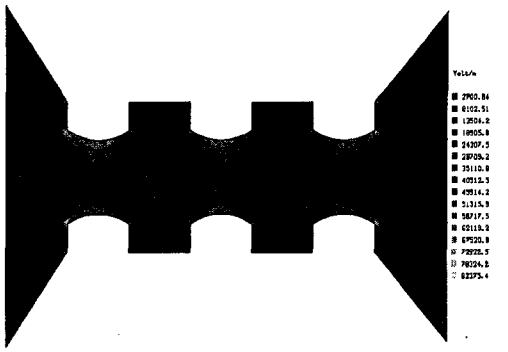

그림 2.6 수중 방전 전극의 전계 시뮬레이션 결과
◎ 전극 간격 : 2.0[mm]
◎ 전극 길이 : 2.0[mm]
◎ 원호 각도 : 60°

시뮬레이션 결과 그림 2.5의 경우 최대 전계를 나타내는 지점은 마주보는 전극간의 최단 거리에서 이었지만 그림 2.6의 경우 원호와 전극 옆면이 만나는 지점에서 최대 전계 82375[V/m]로 그림 2.5의 최대 전계보다 증가하는 특징을 보였다. 그러나 그림 2.5의 최대 전계 65130[V/m] 지점과 동일한 그림 2.6의 지점에서는 최대 전계가 56717[V/m]로 도리어 13[%]정도 감소하는 특징을 보여주고 있다.

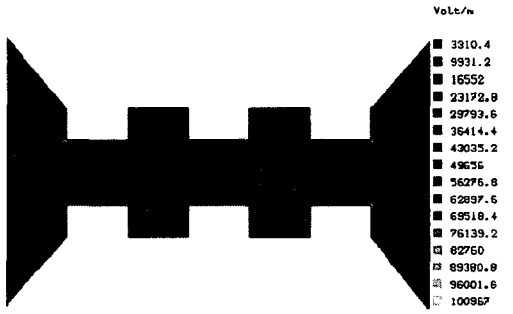

그림 2.7 수중 방전 전극의 전계 시뮬레이션 결과
◎ 전극 간격 : 2.0[mm]
◎ 전극 길이 : 2.0[mm]
◎ 유전체구의 비유전율 : 10

그림 2.7은 그림 2.2의 조건에서 마주보는 두 전극 사이에 유전체구(비유전율 : 10)를 삽입한 경우

이다. 유전체구의 표면에서 전극 표면에 일어나는 전계 스트레스를 분담하고 있음을 알 수 있다. 그러므로 동일한 수중 소비 전력에서 전극의 스트레스를 줄일 수 있고 그 결과 전극의 수명조 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

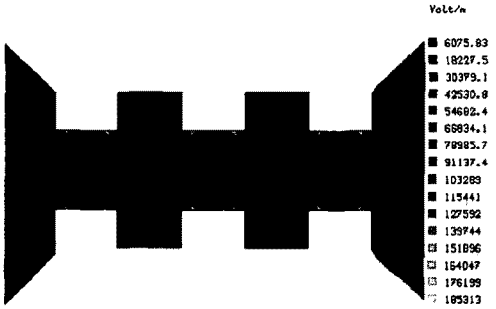

그림 2.8 수중 방전 전극의 전계 시뮬레이션 결과
◎ 전극 간격 : 2.0[mm]
◎ 전극 길이 : 2.0[mm]
◎ 유전체구의 비유전율 : 3000

그림 2.8은 그림 2.2의 조건에서 마주보는 두 전극 사이에 유전체구(비유전율 : 3000)를 삽입한 경우이다. 유전체구의 표면에서 전극 표면에 일어나는 전계 스트레스가 더 집중되고 있음을 알 수 있다. 그러므로 동일한 수중 소비 전력에서 전극의 스트레스가 증가하여, 결과적으로는 전극의 수명을 단축시킬 수 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

이상과 같이 여러 경우에 대한 시뮬레이션 결과들을 상호 비교하여 분석하면 수중 직접 방전 전극의 형상 설계는 크게 세 가지의 특징을 가지고 있음을 알 수 있다.

첫째로, 수중 직접 방전 전극 설계를 위한 전계 시뮬레이션 결과를 살펴보면, 전계에 의한 전극의 마모를 줄이기 위해서는 전극 표면에서 부분 전계 집중에 의한 스트레스를 줄이는 것이 좋은데, 이를 위해서는 마주보는 전극들의 간격을 가능한 멀리 유지하도록 설계하는 것이 좋고, 전극의 단부는 둥근 형태로 가공하는 것이 좋다. 이렇게 둥글게 가공한 경우에 있어서 수중 직접 방전 전극의 전계 집중 현상을 최소 40[%]이상 감소시킬 수 있는 특징이 있었다.

둘째로, 전극 형상을 둥근 형태로 가공할 경우에 있어서 두 지점의 설계를 유의해야 함을 알 수 있었다. 하나는 마주보는 두 전극의 최단 지점의 설계이고, 다른 하나는 전극의 상부면과 좌우측면이 만나는 지점으로 나누어 전극을 설계해야 한다는 것이다. 두 전극이 마주보는 상부면의 경우에는 원호 안쪽의 임의의 지점에서 원호의 양끝 부분이 이루는 각도를 60° 이상으로 설계하는 것이 좋았고, 전극의 상부면과 좌우측면이 만나는 지점의 곡률 반경은 원호 안쪽의 임의의 지점에서 원호의 양끝 부분이 이루는 각도를 120° 이하로 설계하는 것이 적절한 것으로 판단되었다.

셋째로, 수중 전극 사이에 유전체구(비유전율 : 10)를 삽입한 경우, 유전체구 표면의 전계에 의한 스트레스 줄일 수 있어 전극의 수명을 향상시킬 수 있다.

참 고 문 헌

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

[4] 이동훈 외 2명, "Ti-SiI-Al형 세라믹 촉매 방전관의 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.