

GIS내 금속이물의 전계해석

조국희, 이강수*, 고영주*, 최기석*, 박하용**, 박종신***, 곽희로*
 전기연구소, * 숭실대학교, ** 삼척산업대, *** 한전중앙교육원

The Electric Field Analysis of Particles in GIS

Kook Hee Cho, Kang Su Lee*, Young Ju Ko*, Ki Suk Choi*, Ha Young Park**, Jung Shin Park***, Hee Ro Kwak*
 KERI, Soongsil Univ., ** Sam Chuk Univ., *** CEIK

Abstract - In this paper, the electric field was analyzed to find the concentration of electric field by using electric field intensity, equipotential line, and mesh to the particles in GIS. The results of electric field analysis were compared with experimental values and it was shown that the analysis results were coincided with the experimental results.

석 시뮬레이션 소프트웨어이다. Maxwell 2D는 재질들을 임의로 선정할 수 있으므로 가능한한 실제 GIS와 같은 조건에서 전계해석을 수행하였다. 가스절연 개폐장치내에서 금속이물을 각각 상부전극에 부착된 상태, 하부전극에 기립된 상태, 상·하부 전극사이에 부유된 상태, 하부전극에 수평으로 부착한 상태로 구분하여 전계의 분포 상태를 해석하였다.

1. 서론

GIS는 SF₆ 가스의 절연성능이 우수하므로 고압의 절연장비에 유망한 설비로 각광받고 있으나 GIS의 절연매체인 SF₆ 가스는 매우 현저한 최대 전계의존성을 갖고 있어 사고 감소를 위해서는 GIS 내부의 전계 분포를 정확히 파악하여야 한다. 따라서 전계 분포를 고려한 GIS의 형상 최적화가 필요하며, 형상 최적화의 기초가 되는 전계해석은 중요한 의미를 갖는다고 생각된다. 본 논문에서는 GIS내에 금속이물 혼입시 금속이물에 대한 전계의 세기, 전위분포에 따른 집중정도를 알아보기 위해 전계를 해석하였고 실험에서 얻어진 측정결과와 비교·분석하였다.

가스절연 개폐장치내에 금속이물이 혼입되었을 때 전계의 집중정도를 알아보기 위해 금속이물에 대한 전계의 세기, 전위분포에 따른 등전위면 및 메쉬(mesh)로 나누어 전계를 해석하였다.

2. 실험 장치 및 전계 해석

GIS내부에서 금속이물로 인해 발생하는 절연파괴 현상을 관측하기 위해 그림 1과 같이 동축원통전극을 제작하였다. 전극간의 간격은 마이크로미터(Micrometer)를 이용하여 10[μ m]단위로 10~35[mm]까지 조절할 수 있도록 하였으며, 이 때 눈금은 회전운동을 하나 상부전극은 직진운동을 하는 마이크로미터를 사용하였다. 전극내에서 금속이물 부상시 이를 관찰하기 위하여 챔버 외부 원통을 아크릴로 제작·밀폐하였으며, 고압선, 접지선 및 가스주입구 등을 취부하고 완전 밀폐를 하였다.

전계 해석을 위해 본 논문에서 사용한 소프트웨어 Maxwell 2D는 Maxwell 방정식에 기초한 전·자기 해

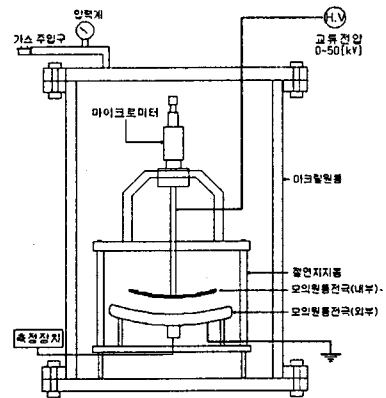


그림 1 동축원통전극을 내장한 가스 챔버

3. 실험 및 전계 해석 결과

SF₆ 가스중의 모의 동축원통전극내에 금속이물이 존재할 경우 절연파괴강도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 금속이물이 상부전극(도체)에 수직으로 부착하여 있는 경우, 금속이물이 하부전극(탱크표면)에 수직으로 고정된 경우 및 하부전극(탱크표면)에 수평으로 고정되어 있는 경우 각각에 대한 절연파괴전압을 10회 측정하여 평균한 값을 그림 2에 나타내었다. 실험에 사용한 금속이물은 직경 0.26[mm], 길이 5[mm]의 구리를 사용하였다. 전극간의 간격은 15[mm]로 조정하여 실험을 하였다.

실험 결과 금속이물이 존재하지 않는 경우에는 한계전압이 50[kV]인 고전압 발생장치로 44[kV]까지 전압을 인가하여도 절연파괴는 일어나지 않았으며, 하부전극에 수평으로 고정시킨 경우 가스압력 1.5[bar]까지는 절연파괴전압을 측정할 수 있었으나 2[bar]에서는 44[kV]까지 전압을 인가하여도 절

연과괴가 발생하지 않았다. 금속이물이 상부전극에 수직으로 고정시킨 경우의 절연과괴전압이 가장 낮은 값(2[bar]에서 39[kV])을 나타내었고, 하부전극에 수직으로 고정시킨 경우는 금속이물 부상시와 같은 상태로 침대 평판전극의 형태이기 때문에 수평으로 고정시킨 경우보다 낮은 절연과괴전압(44 [kV])을 나타냈다.

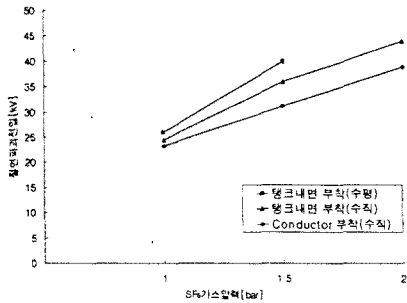


그림 2 금속이물 혼입시 SF₆ 가스압에 따른 절연과괴전압

Maxwell 2D로 전계해석을 하기 위해서, 선형 도전성 금속이물로서 직경 1[mm], 길이 3[mm]인 구리로 전위분포에 따른 등전위, 전계의 세기, 메쉬 분할을 하여 금속이물에 대한 영향을 검토하였다. 이때 전극간 거리는 15 [mm]로 하였고 하부전극은 철(Fe)이며, 금속이물은 SF₆ 가스내에 있는 것으로 하였다. 그림 3은 금속이물의 부착위치를 도시한 것이다.

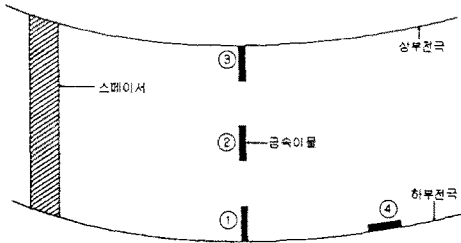


그림 3 금속이물의 부착상태

그림 3에서

- ① 금속이물이 하부전극에 기립되어 있는 상태
- ② 금속이물이 부유된 상태
- ③ 금속이물이 상부전극에 부착된 상태
- ④ 금속이물이 하부전극에 누워있는 상태

를 고려하여 전계를 계산하였다. 전계의 세기는 1[C]당 작용하는 힘을 Newton[N]으로, 즉 단위 전하에 작용하는 힘으로 표시된다.

표 1 부착위치에 따라 금속이물에 작용하는 힘

Case	금속이물부착위치	힘[N]
①	하부전극(기립)	1.65×10^{-6}
②	전극간 부유상태	0.91×10^{-6}
③	상부전극(수직)	1.82×10^{-6}
④	하부전극(수평)	0.82×10^{-6}

금속이물이 미치는 전계의 세기는 식 (1)과 같이 힘에 비례하므로 금속이물의 부착위치에 따른 금속이물에 작용하는 힘을 구한 결과를 표 1에 나타내었다.

$$F = QE \quad (1)$$

표 1에서 나타난 바와 같이 금속이물에 작용하는 힘은 상부전극에 수직으로 부착하였을 때 1.82×10^{-6} [N], 하부전극에 수직으로 부착하였을 때 1.65×10^{-6} [N], 하부전극에 수평으로 부착하였을 때 0.82×10^{-6} [N]으로 나타났다. 금속이물에 작용하는 힘은 전계의 세기와 비례하므로 각 부착위치에서의 전계의 세기는 상부전극에 수직으로 부착하였을 때가 가장 크고 다음 하부전극에 수직으로 부착하였을 때가 크며, 하부전극에 수평으로 부착하였을 때가 가장 작게 나타났다. 그런데 그림 2의 실제 실험 결과에서는 전극간 거리 15[mm], SF₆ 가스압력 2[bar]일 때 절연과괴전압이 상부전극에 수직으로 부착하였을 때 39 [kV], 하부전극에 수직으로 부착하였을 때 44[kV], 하부전극에 수평으로 부착하였을 때는 44[kV]에서도 절연과괴되지 않았다. 그러므로 전계해석과 실제 실험결과가 일치하고 있다는 것을 알 수 있다.

그림 4에서 그림 7까지는 그림 3에서 보여준 금속이물의 부착상태에 따른 전계해석 결과를 (a) 메쉬분할, (b) 전위분포도로 나타냈다.

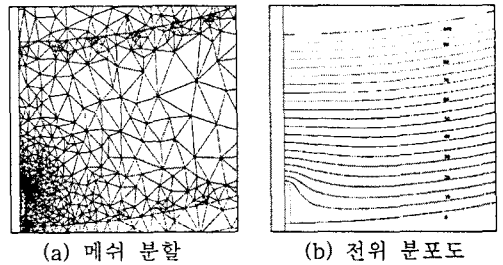


그림 4 Case ① 상태의 전계해석

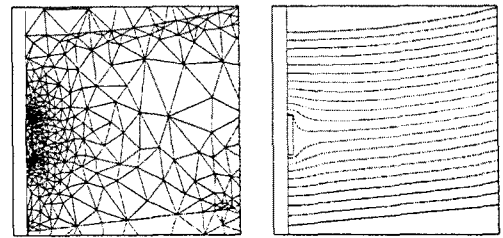


그림 5 Case ② 상태의 전계해석

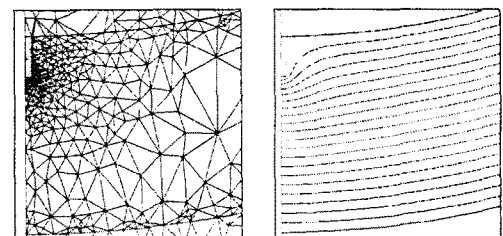
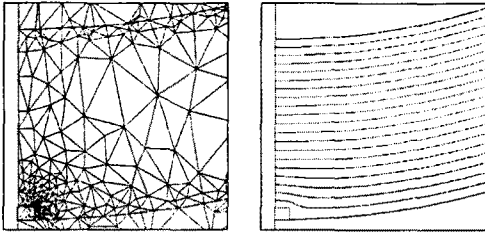
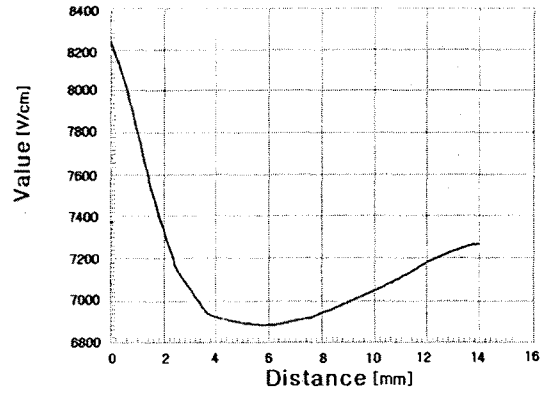


그림 6 Case ③ 상태의 전계해석



(a) 메쉬 분할 (b) 전위 분포도
그림 7 Case ④ 상태의 전계해석

그림 8의 (a), (b), (c)는 금속이물 부착위치에 따른 전계의 세기에 대한 그래프를 보여주고 있다. 그림 8의 (a)는 금속이물이 하부전극에 수직으로 부착된 것으로 전계의 세기가 1.65×10^4 이고, 그림 8의 (b)는 상부전극에 수직으로 부착된 것이며 전계의 세기가 1.82×10^4 며, 그림 8의 (c)는 하부전극에 수평으로 부착된 것으로 전계의 세기가 0.82×10^4 이다. 전계의 세기에서도 상부전극에 금속이물이 부착되었을 때가 가장 심하게 집중되었음을 알 수 있다. 따라서 그림 2의 실험결과와 일치함을 알 수 있다.



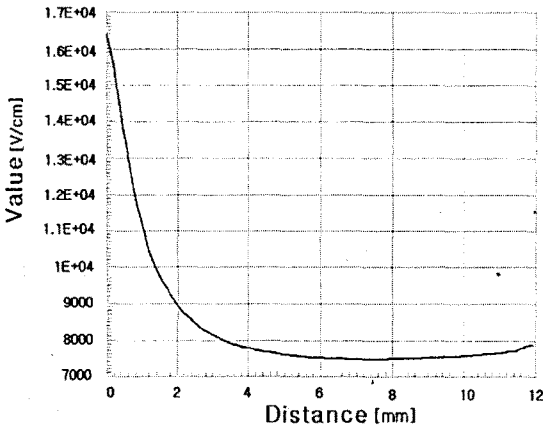
(c) 금속이물이 하부전극에 수평으로 부착한 상태
그림 8 금속이물 위치에 따른 전계의 세기

4. 결 론

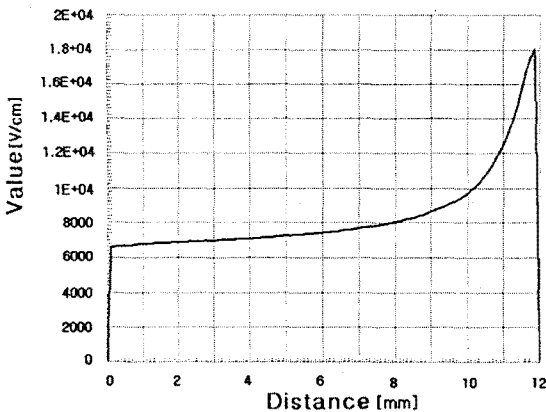
GIS내에 금속이물이 혼입되었을 때 금속이물에 대한 전계의 세기를 알아보기 위하여 전계해석을 수행하였다. 금속이물의 부착위치에 따른 전계 해석 결과에서는 금속이물이 상부전극에 수직으로 부착되어 있는 경우에 전계의 세기가 가장 크고 다음 하부전극에 수직으로 부착되어 있는 경우가 크며, 하부전극에 수평으로 부착되어 있는 경우가 가장 낮게 나타났다. 실제 실험 결과에서도 전계를 해석하여 얻은 결과와 같은 순서로 절연파괴전압이 측정되었으며, 이는 전계를 해석한 결과와 실제 실험결과가 일치하고 있다는 것을 나타내고 있다.

참고문헌

- [1] Technical Committee on the Maintenance Standard of SF6 Gas Insulated Equipments, "The Maintenance Standard of SF6 Gas Insulated Equipment", Denki Kyodo Kenkyu, Vol. 33, No. 4, 1977. (in Japanese)
- [2] T. Hattori, "A Study on Effects of Conducting Particles in SF6 Gas and Test Methods for GIS", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 3, No. 1, 1988.
- [3] Alan H. Cookson, "Particle-Initiated Breakdown between Coaxial Electrodes in Compressed SF6", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. 3, PAS-93, No. 3, pp. 343-349, 1973.
- [4] S. Tominaga, H. Kuwahara, K. Hirooka and T. Yoshioka, "SF6 Gas Insulated Analysis Technique and Its Application for Evaluation of Internal Conditions in SF6 Gas Equipment", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 9, pp. 4196-4206, 1981.



(a) 금속이물이 하부전극에 수직으로 부착한 상태



(b) 금속이물이 상부전극에 수직으로 부착한 상태