

GIS 스페이서에 파티클 부착시 연면방전과 전계해석

장덕근*, 이재화*, 광희로*, 박하용**, 김영찬***
 송실대*, 삼척대**, 신자부 기술표준원***

Numerical Analysis of Surface Discharge due to Particles Attached to the GIS spacer

D.G. Jang*, J.H. Lee*, H.R. Kwak*, H.Y. Park**, Y.C. Kim***
 Soongsil University*, Samchuk University**, A.T.S.***

Abstract - GIS is a typical power equipment with higher reliability. It is compact and safe because all the energized parts are enclosed by a sealed cylindrical tank which is filled with SF_6 . Generally gas insulated power equipments like GIS are designed to have sufficient electrical strength to prevent partial discharges under normal operating condition. Despite of the careful processes in manufacturing, transporting and assembling, voids or particles can be created, resulting in partial discharges at electrically weak points.

The key factors causing partial discharges in GIS are; particles, voids in solid insulation, protrusions, poor contact of metal components, etc. The particle can be attached on; spacers, electrodes, internal wall of the GIS tank. It also moves in GIS freely. Most of partial discharges are likely to occur when particles are attached to spacers.

In this paper, the electrical characteristics of a surface discharge were investigated under various conditions by using simulation program of FEMLAB.

1. 서 론

전력수요증가로 인한 전력설비의 대용량, 초고압화 및 높은 신뢰도는 송배전 계통에 있어서 중요한 관심사가 되고 있다. SF_6 가스를 사용하는 GIS (Gas Insulated Substation)는 설계시부터 충분한 절연내력과 차단성능을 가지도록 설계되어 높은 신뢰성을 가진다. 그러나 이 GIS는 도체의 거칠음과 파티클, 스페이서내 보이드 등의 여러 가지 결함이 존재할 수 있다.

또한, 제작, 조립, 운전중 발생할 수 있는 파티클로 인해 절연과피가 일어나 사고로 이어질 수 있다. GIS에 파티클이 존재하면 높은 전계에 의하여 이 파티클이 GIS내에서 자유운동을 하게 된다. 자유운동을 하던 이 파티클이 스페이서에 부착되어 연면방전으로 진전될 확률이 높다.

본 논문에서는 자유운동 하던 파티클이 스페이서에 부착되었을때 전기적인 특성을 조사하기 위해 파티클의 직경, 길이, 형태, 스페이서의 부착위치, 부착각도 등을 모의하여 부분방전 개시 전압과 절연과피전압을 측정하여 연면방전 특성을 연구하였다. SF_6 가스내 파티클에 의한 연면방전의 특성을 알아보기 위하여 전계해석을 하였다. 이때 사용한 전계해석 프로그램은 FEMLAB으로 3D로 해석이 가능한 방식이다. 이 결과를 기초로 실험결과와 비교하여 파티클 부착에 따른 전기적 특성을 살펴보고자 한다.

2. 실험장치 및 전계해석 방법

GIS 스페이서에 파티클 부착시 연면방전 실험장치는

참고문헌 [3]에서의 장치와 같다.

본 연구에서는 전계해석을 수행하기 위하여 FEMLAB 프로그램을 이용하였다. 적용한 변수는 파티클의 부착위치, 파티클의 길이, 파티클의 직경, 파티클의 형태, 선형 파티클의 각도등이다. 이때 사용된 유전체 및 도체의 물질상수는 표 1과 같다.

표 1 전계해석에 사용된 물질상수

재질	비유전율	도전율(σ/m)
스페이서(아크릴)	2.7	0
SF_6 가스	1.00191	0
구리	0.001	5.80×10^7

표 1에 사용된 값을 이용하여 그림 1과 같은 3D 전계해석 모델을 만들었다.

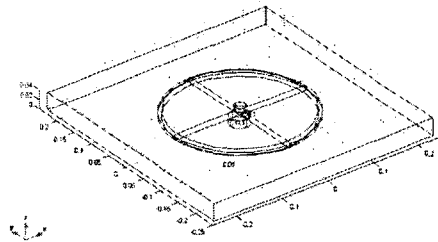
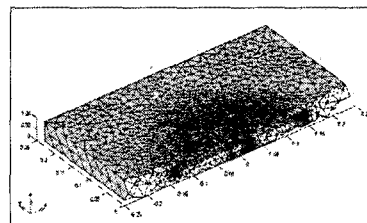


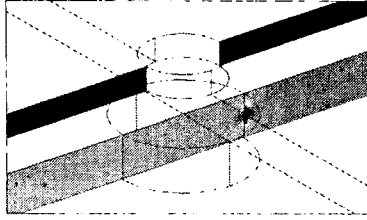
그림 1 전계해석 모델

그림 1에서 보는 것처럼 가능한 본 논문의 실험조건과 일치하게 하기 위하여 위전극의 지름은 약 300 [mm]로 하였으며, 스페이서도 실제 크기와 똑같이 지름 40 [mm], 높이 15 [mm]로 하였다. 이때 전극에는 약 80 [kV]의 전압을 인가하였다.

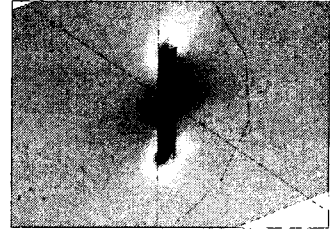
그림 2는 5/1.0 [mm](길이/지름) 구리 파티클을 스페이서 중단에 부착하였을 경우 FEMLAB을 이용한 전계해석 결과의 예를 Mesh와 3D로 나타낸 것이다.



(a) Mesh



(b) 3D
그림 2 전계해석 예



(b) 선형
그림 3 파티클 형태에 따른 전계해석

3. 연면방전 실험결과

스페이서에 파티클 부착시 연면방전 실험에서 파티클 형태에 따른 특성은 부분방전 개시전압의 경우 파티클 상단과 하단 부착시에는 면형 파티클이 선형 파티클보다 높게 나타나지만 중단 부착시에는 부분방전 개시전압이 큰 차이가 나타나지 않았다. 절연과피의 경우 파티클의 재질에 상관없이 선형 파티클이 면형 파티클보다 높게 나타났다.

파티클 부착위치에 따른 특성은 부분방전 개시전압의 경우 중단 부착시가 가장 높게 나타났고, 상단 부착시와 하단 부착시가 비슷하지만 중단 부착시가 5/0.5 [mm]인 경우를 제외하면 하단 부착시보다 높게 나타났다. 절연과피전압의 경우에도 중단 부착시가 가장 높게 나타나고 있으며, 상단과 하단 부착시에는 비슷하게 나타나고 있다.

파티클 길이에 따른 특성은 파티클의 재질에 상관없이 파티클의 길이가 늘어나면 부분방전 개시전압과 절연과피전압이 감소하고 있음을 알 수 있다.

파티클 직경에 따른 특성은 부분방전 개시전압은 파티클의 직경이 커지면 증가하고 있다.

그리고 파티클 부착각도에 따른 특성은 부착각도가 세워져 있는 90°에서의 부분방전 개시전압이 제일 낮았고 45°, 0° 순으로 부분 방전개시전압이 증가 하였다. 절연과피전압의 경우도 부분방전개시전압과 같은 90°, 45°, 0° 순으로 과피전압이 증가 하였다. [3]

4. 전계해석결과

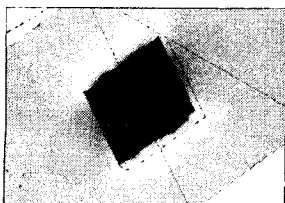
4.1 파티클 형태에 따른 전계해석

파티클의 형태에 따른 전계의 특성을 살펴보기 위하여 인가전압 80 [kV]일 경우 5/1.0 [mm] 구리 선형파티클과 5×5/1.0 [mm] 구리 면형파티클을 FEMLAB에 적용하여 전계해석한 결과를 그림 3에 나타내었다.

표 2는 파티클 형태에 따른 최대전계 계산치를 나타낸 것으로 선형이 면형인 경우보다 더 높은 전계임을 알 수 있다.

표 2 파티클 형태에 따른 전계 계산치

	면형	선형
최대전계 [kV/m]	1.41×10^4	1.56×10^4



(a) 면형

4.2 파티클 부착위치에 따른 전계해석

파티클의 부착위치에 따른 전계의 특성을 살펴보기 위하여 5/1.0 [mm] 구리가 스페이서 상단과, 중단 그리고 하단에 부착시 인가전압이 80 [kV]일 경우를 적용하여 전계를 해석하였다. 그림 4는 파티클이 스페이서 상단 부착시의 결과를 나타낸 것이다. 이때에는 파티클 아랫부분 끝에서 전계가 집중되고 있으며, 중단부착시는 파티클 양끝에서 전계가 집중되고 있다. 하단부착시는 상단과 마찬가지로 파티클 윗부분 끝에서 전계가 집중되었다.

표 3은 파티클 부착위치에 따른 최대전계 계산치를 나타낸 것이다.

표 3 파티클 부착위치에 따른 전계 계산치

	상단	중단	하단
최대전계 [kV/m]	2.54×10^4	1.56×10^4	1.98×10^4

표 3에서 보는 것처럼 파티클이 상단에 부착하였을 경우 전계가 가장 높게 나타나고 있으며 다음은 하단, 중단 순이었다. 이 결과는 실험과 일치하고 있다. 이 결과로부터 파티클이 스페이서 상단이나 혹은 하단에 부착하게 되면 더욱 위험함을 알 수 있다.

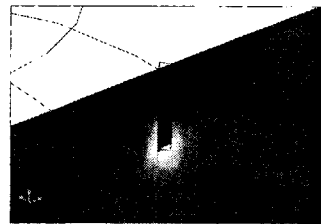


그림 4 파티클 상단부착시 전계해석

4.3 파티클 길이에 따른 전계해석

파티클의 길이에 따른 전계의 특성을 살펴보기 위하여 인가전압 80 [kV]일 경우 3/1.0 [mm], 5/1.0 [mm], 7/1.0 [mm] 구리 선형파티클을 적용하였다. 5/1.0 [mm] 선형파티클을 전계해석한 결과를 그림 5에 나타내었다.

파티클의 길이에 따른 전계분포도 파티클의 양끝단에 집중하는 것을 볼 수 있다.

표 4는 파티클 길이에 따른 최대전계 계산치를 나타낸 것이다.

표 4 파티클 길이에 따른 전계 계산치

	3 [mm]	5 [mm]	7 [mm]
최대전계 [kV/m]	1.42×10^4	1.56×10^4	1.98×10^4

표 4에서 보는 것처럼 파티클의 길이가 길어짐에 따라 전계가 커지고 있음을 알 수 있다. 즉, 실험과 계산치가 잘 일치하고 있음을 나타내고 있다.

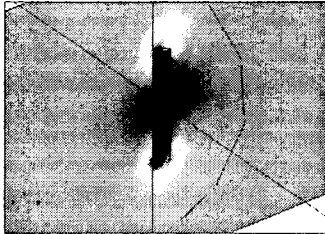


그림 5 5 [mm] 파티클의 전계해석

4.4 파티클 직경에 따른 전계해석

파티클의 직경에 따른 전계의 특성을 살펴보기 위하여 인가전압 80 [kV]일 경우 5/0.5 [mm], 5/1.0 [mm], 5/1.5 [mm] 구리 선형파티클을 적용하였다. 5/1.5 [mm] 파티클을 전계해석한 결과를 그림 6에 나타내었다.

표 5은 파티클 직경에 따른 최대전계 계산치를 나타낸 것이다.

표 5 파티클 지름에 따른 전계 최대치

	0.5 [mm]	1.0 [mm]	1.5 [mm]
최대전계 [kV/m]	2.42×10^4	1.56×10^4	0.95×10^4

표 5에서 보는 것처럼 파티클의 직경에 따른 전계는 0.5 [mm]일 경우가 가장 높고, 1.0 [mm]인 경우가 그 다음, 1.5 [mm]인 경우가 가장 낮음을 알 수 있다.

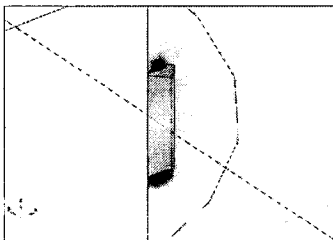


그림 6 1.5[mm] 파티클의 전계해석

4.5 선형파티클 부착각도에 따른 전계해석

선형파티클의 부착각도에 따른 전계의 특성을 살펴보기 위하여 인가전압 80 [kV]일 경우 5/1.0 [mm] 구리 선형파티클을 세워져 있는 90°와 45° 그리고 0°로 하여 적용하였다. 그림 7은 부착각도 45°에서의 전계해석 결과를 나타낸 것이다.

표 6은 선형파티클 부착각도에 따른 최대전계 계산치를 나타낸 것이다.

표 6 선형파티클 부착각도에 따른 전계 계산치

	90°	45°	0°
최대전계 [kV/m]	1.56×10^4	0.89×10^4	0.57×10^4

표 6에서 보는 것처럼 전계해석 결과는 90°에서는 최대전계가 1.56×10^4 [kV/m]이었지만 45°에서는 0.89×10^4 [kV/m]로 약 57[%]로 감소하였고, 0°에서는 0.57×10^4 [kV/m]로 약 37[%]로 감소하여 실험과 계산치 잘 일치함을 보이고 있다. 이 결과로부터 파티클이 90°로 부착되어 있으면 훨씬 위험함을 알 수 있다.

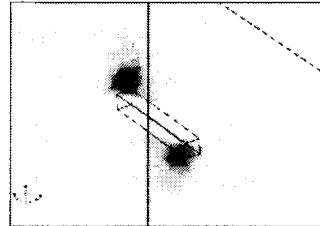


그림 7 부착각도 45°에서의 파티클 전계해석

4. 결 론

각 파티클의 형태, 위치, 길이, 직경, 부착 각도를 모 의해 실험과 전계해석을 한 결과 실험과 전계해석한 계산치가 거의 일치 하였다.

선형파티클일 경우 면형파티클보다 전계가 더 집중되었고 위치에서는 파티클이 전극의 상단이나 혹은 하단에 부착하게 되면 부분방전 개시전압과 절연파괴전압이 낮게 나타났고 길이는 길어질수록 낮은 부분방전 개시전압과 절연파괴전압이 나타났다. 직경에 따라서는 직경이 커질수록 부분방전 개시전압은 증가하였다. 부착 각도는 스페이서에 세운 90°에서 위험성이 가장 컸고 높은 0°에서 위험성이 적었다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소 주관으로 수행된 과제임.

[참 고 문 헌]

- [1] B.A. Fruth and D.W. Gross, "Modelling of Stre-amer Discharges between Insulating and Conducting Surfaces", IEEE International Conference on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics, 5th, pp350-355, 1995
- [2] S. Tenbohlen and G. Schroder, "The Influence of Surface Charge on Lightning Impulse Breakdown of Spacers in SF₆", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical insulation, vol.7 no.2, pp241-246, 2000
- [3] 박희로의 4명, "모의 GIS내 파티클에 의한 연면방전 특성 연구", 2003년도 춘계학술대회 논문집, pp128-130