

가스절연 개폐장치의 고체 스페이서에 대한 유전을 경사기능성 재료의 영향

주흥진*, 김봉석*, 황휘동*, 박정호*, 최승길**, 고광철*
 한양대학교*, 안산공과대**

Effect of Permittivity Functionally Graded Materials on Solid Spacer in Gas Insulated Switchgear

Heung-Jin Ju*, Bong-Seok Kim*, Hui-Dong Hwang*, Jeong-Ho Park*, Seung-Kil Choi**, Kwang-Cheol Ko*
 Hanyang University*, Ansan College of Technology**

Abstract - 가스 절연 개폐장치(Gas Insulated Switchgear)의 고체 스페이서에 다양한 유전을 분포를 가진 경사기능성 재료(Functionally Graded Material)를 적용할 때, 전계의 완화를 예상할 수 있다. FGM 스페이서는 전계의 집중을 완화시킬 수 있고, 내부의 전계를 더 균일하게 분포시킬 수 있다. 본 연구에서는 유한요소법을 이용하여 상용 GIS의 FGM 스페이서에서 전계의 세기를 계산하였다. 계산 결과를 통해 스페이서의 유전율이 빠르게 변화하는 경우, 더 효율적으로 최대전계를 감소시켰고, 스페이서 내부의 전계를 균일하게 하였다. 결과적으로 FGM 스페이서는 단일 유전율을 가진 스페이서에 비해 절연 성능을 향상시킬 수 있다.

전율의 분포를 총 9가지의 경우로 나누어 실험을 실시하였으며, 각각의 유전율 분포는 크게 다음과 같이 구분하였다.

- 1) 실험 1, 2, 3 : $r < 61.5\text{mm}$ 인 경우 $\epsilon_r = 12$, $r \geq 61.5\text{mm}$ 인 경우 각각 유전율의 선형감소, 완만한 감소, 급격한 감소
- 2) 실험 4, 5, 6 : $r < 66.5\text{mm}$ 인 경우 $\epsilon_r = 12$, $r \geq 66.5\text{mm}$ 인 경우 각각 유전율의 선형감소, 완만한 감소, 급격한 감소
- 3) 실험 7, 8, 9 : $r < 71.5\text{mm}$ 인 경우 $\epsilon_r = 12$, $r \geq 71.5\text{mm}$ 인 경우 각각 유전율의 선형감소, 완만한 감소, 급격한 감소

1. 서 론

송·배전 계통에서 고전압, 대전력 기기는 친환경, 높은 신뢰성 및 안정성을 요구하며, 점차 소형화되어 가는 추세이다. 한편 가스 절연 설비는 좁은 공간에 모선, 차단기, 단로기, 접지 개폐기, 변류기 등이 설치되어 있으므로, 절연과피의 원인을 분석하고 복구하기가 어려운 단점을 가지고 있으며, 또한 SF₆ 가스는 불활성 전계에서 절연내력이 급격히 감소하는 높은 전계의존성을 가지므로 설계 단계에서부터 주의를 요하게 된다. 이러한 이유로 가스 절연 시스템에서 스페이서의 절연 성능을 향상시키기 위해 스페이서 형상의 제어, 전계 완화를 위한 쉴드 전극 추가, 스페이서 표면에 낮은 도전성 재료로 만들어진 박막의 삼입 등, 다양한 시도가 이루어지고 있다. 그러나 이러한 기술들은 스페이서의 구조를 복잡하게 하여 스페이서의 설계시 유연성을 제한하며, 제조비용을 증가시킨다. 따라서 이러한 한계를 극복하고, 스페이서의 구조를 간단하게 유지시키며, 절연성능을 향상시키기 위해 FGM 스페이서를 제안한다.

경사기능성 재료(FGM)는 재료의 한쪽 방향에서 다른쪽 방향에 걸쳐 구성성분의 농도를 연속적 또는 불연속적으로 변화시킴으로써 성질을 경사화한 재료로써, 여러 분야의 극한 환경에서 이용될 수 있다[1]. 특히 절연소재로서의 FGM 스페이서는 내부 유전체의 유전율 분포를 공간적으로 변화시킨 것으로, 이를 통해 스페이서 내부 및 외부의 전계 분포를 완화시킬 수 있다. 본 연구는 상용 GIS의 스페이서에 FGM을 적용하여 절연 성능의 향상을 수치해석을 통해서 확인하는 것이다.

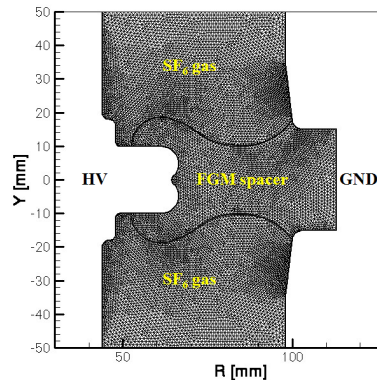
2. 해석 모델 및 유전율 분포

2.1 해석 모델

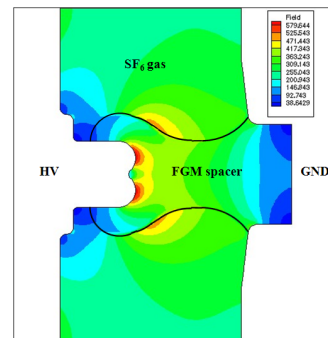
본 연구에서 사용된 모델은 (주)엘렉콤의 C-GIS로 그림 1에 FGM 스페이서의 구조 및 해석영역을 나타내었다. 왼쪽면은 고전압 영역으로 시험전압으로써 기술 사양서에 명시된 정격 충격 내전압 125kV를 인가하였고, 오른쪽 금속 외함은 접지상태로 경계조건을 부여하였다. 또한 금속 외함 근처의 삼중점(금속-가스-절연물의 접촉부) 부근에서 전계 집중을 완화시키기 위해 그 부근의 음극 형상은 라운드 처리를 하였다.

2.2 스페이서 내부의 유전율 분포

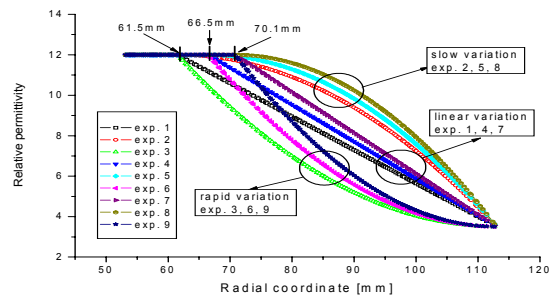
본 연구에서는 축대칭 3차원 FEM 코드를 이용하여 각각의 실험 모델에 대해 전계를 계산하였다. 먼저 예폭시 수치로 구성된, 실제 스페이서 재료에 해당되는 균일 유전율($\epsilon_r = 3.5$)을 가지는 스페이서에서 전계의 세기를 계산하여 그림 2에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 스페이서 내부의 양극 근처에서 전계가 집중되는 것을 확인할 수 있다. 또한 가스와 스페이서의 접촉면-스페이서 형상의 변곡점 부분-에서도 작은 전계 집중이 발생된다. 따라서 본 연구에서는 전계가 집중되는 부분, 특히 스페이서 내부의 양극 근처에서 전계 집중을 완화하기 위해 그림 3에서 보인 것처럼 스페이서의 유전율 분포를 스페이서 내부에서 r방향 성분에 따라 변화시켰다. 스페이서의 공정은 ref[2]의 방법을 통해 할 수 있으며, 본 연구에서는 예폭시 수치($\epsilon_r = 3.5$)로 구성된 실제 스페이서 재료에 충전제로써 이산화티타늄($\epsilon_r = 114$)을 이용하여 스페이서 내부의 유전율이 12.0에서 3.5까지 연속적으로 변화한다고 가정하였다. 특히 유



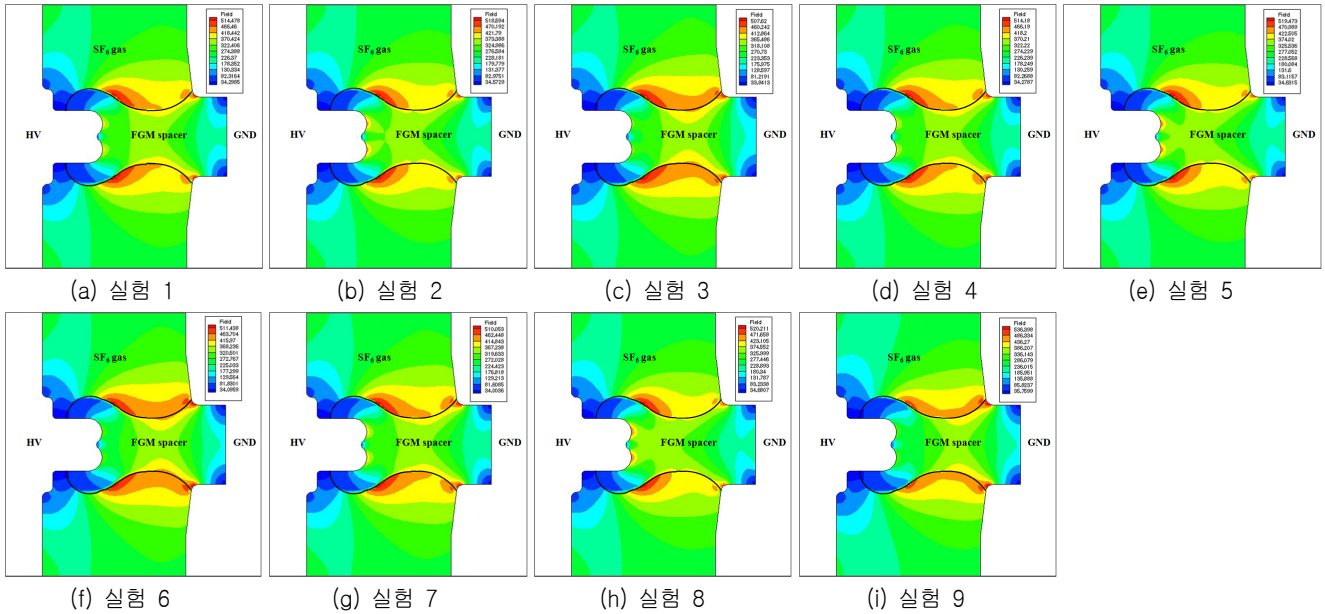
<그림 1> FGM 스페이서의 구조 및 해석영역



<그림 2> 균일 유전율($\epsilon_r = 3.5$) 스페이서에서 전계의 공간적 분포



<그림 3> 스페이서 내부의 유전율 분포



〈그림 4〉 FGM 스페이스에서 전계의 공간적 분포

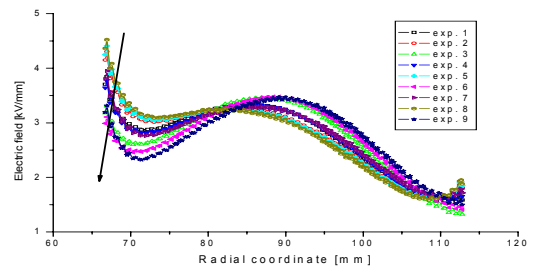
여기서 유전율 분포가 변화하기 시작하는 지점인 61.5, 66.5, 71.5mm는 각각 스페이스 형상의 곡률반경이 변하는 부분, 스페이스 내부의 양극부분, 스페이스 형상의 변곡점 부분의 r방향 좌표이다.

3. 수치적 결과

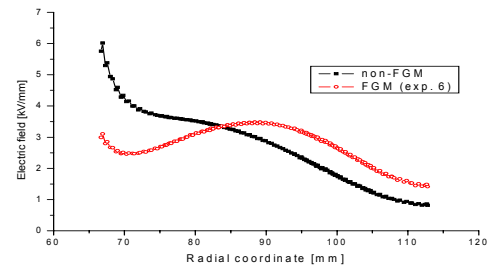
그림 4는 FGM 스페이스에서의 공간적인 전계분포를 나타낸 것이다. 보통 전계 집중이 발생하는 곳은 스페이스 내부의 양극 근처, 스페이스와 가스의 접촉부(대략 $r=71.5\text{mm}$ 정도에서), 음극근처의 삼중점 부근임을 알 수 있다. 균일 유전율 스페이스를 가지는 경우(그림 2)와 비교해 보면, FGM 스페이스에서는 최대전계가 발생하는 위치가 스페이스 형상의 변곡점 부근 또는 음극의 삼중점 부근으로 이동되며, 그 크기도 약간 감소된다. 특히 양극 근처의 전계 집중은 크게 완화된 것을 확인할 수 있다.

표 1은 균일 유전율 스페이스와 FGM 스페이스에서의 전계의 크기를 나타내었다. 유전율 분포가 급격히 변화하는 실험 3, 6, 9에서 양극근처의 최대전계의 크기가 크게 감소됨을 확인할 수 있고, 또한 유전율 변화가 양극근처에서 시작되는 실험 4, 5, 6에서 최대전계가 더 감소됨을 알 수 있었다. 특히 실험 6의 경우, 양극근처의 최대전계는 균일 유전체 스페이스에서의 크기에 비해 약 48% 정도 개선된 것을 확인할 수 있다. 또한 최대 전계도 약 10% 정도 완화된 것을 확인할 수 있다.

그림 5는 스페이스의 내부에서 $y=5\text{mm}$ 일 때, r방향의 변화에 따른 전계의 분포를 보인 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 유전율 분포의 변화가 급격한 실험 3, 6, 9의 경우에 스페이스 내부에서의 전계분포가 더 균일하게 분포됨을 확인할 수 있다. 특히 실험 6번의 경우, 최대전계의 감소가 가장 크게 나타나고, 내부의 전계도 가장 균일하게 분포된다. 그림 6을 통해 알 수 있듯이 FGM 스페이스는 최대전계를 완화시킬 수 있고, 스페이스 내부의 전계를 균일하게 유지시킬 수 있어 절연 성능을 크게 개선시킬 수 있다.



〈그림 5〉 $Y=5\text{mm}$ 일 때, FGM 스페이스에서의 전계 분포



〈그림 6〉 $Y=5\text{mm}$ 일 때, 균일 유전체 스페이스와 FGM 스페이스에서의 전계 분포

4. 결 론

유한요소법을 이용하여 다양한 유전율 분포를 가지는 FGM 스페이스에서의 전계의 세기를 계산하였다. 해석결과로부터 급격한 유전율 변화를 가지는 FGM 스페이스를 사용할 때, 전계가 집중되는 양극 부근에서의 최대전계를 완화시킬 수 있고, 스페이스 내부의 전계를 더 균일하게 유지시킬 수 있었다. 따라서 FGM 스페이스의 사용은 균일 유전율 스페이스에 비해 절연 성능을 크게 개선시킬 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] Y. Miyamoto, W. A. Kaysser, B. H. Rabin, A. Kawasaki, R. G. Ford, "Functionally Graded Materials: Design, Processing and Application", Kluwer academic publishers, 1999
- [2] K. Kato et al, "Application of Functionally Graded Material for Solid Insulator in Gaseous Insulation System" IEEE Trans. on Dielect. and Elect. Insul., vol. 13, pp. 362, 2006

〈표 1〉 각 실험에서의 양극근처의 전계 및 최대전계

| 실험 번호 | 양극근처의 최대전계 (스페이스 내부) [kV/mm] | 최대 전계 [kV/mm] |
|---------|------------------------------------|------------------|
| non-FGM | 6.015 | 6.015 |
| 1 | 3.845 | 5.505 |
| 2 | 4.302 | 5.564 |
| 3 | 3.303 | 5.414 |
| 4 | 3.777 | 5.502 |
| 5 | 4.719 | 5.577 |
| 6 | 3.106 | 5.400 |
| 7 | 3.948 | 5.456 |
| 8 | 4.523 | 5.589 |
| 9 | 3.316 | 5.570 |