

가스절연 개폐장치에서 전극 및 경사 유전율 고체 스페이서의 형상 변경

주홍진, 고광철
한양대학교

Abstract : 가스절연 개폐장치 (Gas Insulated Switchgear : GIS)의 고체 스페이서에 경사 기능성 재료 (Functionally Graded Material : FGM)가 적용될 때, 절연성능이 크게 향상된다. 본 논문에서는 FGM 스페이서가 적용된 GIS의 전극 및 스페이서의 형상을 변경하여 최대전계를 완화시켰다. 이를 위해 완전요인실험 (Full Factorial Design : FFD)과 결합된 반응표면법 (Response Surface Methodology : RSM)의 최적화기법을 이용하여, 전극 및 스페이서의 최적 형상을 설계하였다.

Key Words : 고체 스페이서, 경사 기능성 재료, 완전요인실험, 반응표면법, 최적 설계

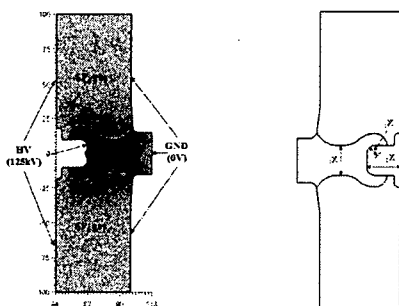
1. 서론

가스절연 시스템에서 스페이서의 절연성능을 향상시키기 위해 기존에 이용되었던 여러 방법들은 스페이서의 구조를 복잡하게 하여 설계시 유연성을 제한하며, 제조비용을 증가시키는 단점이 있다. 이러한 한계를 극복하고자, 최근 경사 기능성 재료(FGM)가 대두되고 있다. 절연소재로써 사용되는 FGM 스페이서는 고체 절연체 내부의 유전율 분포를 공간적으로 변화시키는 것으로, GIS에 적용될 때, 절연성능을 향상시킬 수 있다.

2. 해석모델 및 설계변수

그림 1(a)은 본 연구에서 해석할 상용 GIS의 스페이서 모델이며, 축대칭 3차원 유한요소법을 이용하여 전계분포를 계산하였다. FGM 스페이서를 모의하기 위해 스페이서 내부의 공간적인 유전율 분포는 방사(r)방향의 변화만 고려하였다. 특히, FGM 스페이서의 유전율 분포를 균일한 유전율 분포를 가지는 스페이서에서 전계집중이 발생하는 양극의 첨두부분($r=66.5\text{mm}$)을 중심으로, $r<66.5$ 인 영역에서는 $\epsilon_r = 12$, $r>66.5$ 인 영역에서는 12에서부터 에폭시 수지의 유전율인 3.5까지 포물선 형태로 급격하게 감소한다고 가정하였다 [1].

반응표면법을 적용하기 전에 반응값과 설계변수를 결정해야 한다. 반응값은 최대전계값으로, 반응값에 영향을 줄 수 있는 인자인 설계변수는 그림 1(b)에 나와 있는 것처럼 3가지 인자로 설정하였다. 또한 전계집중부가 아닌 양극 중심의 오목한 부분을 그림 1(b)처럼 변경함으로써, 약간의 전계감소 효과 및 구조도 간단히 하였다.



(a) 해석모델 (b) 최적설계를 위한 설계변수

그림 1. 해석모델 및 최적설계를 위한 구조에서의 설계변수.

3. 최적화 기법 및 결과

본 연구에서는 먼저 설계변수의 최적 조건을 계산하기 위한 실험계획법으로 2^3 완전요인실험을 실시하였다. 이 결

과를 바탕으로 반응표면법에 적용하기 위한 세부적인 설계영역을 설정하였다 [2]. 다음으로 주어진 설계영역 안에서 설계변수와 반응값 사이의 관계를 구하기 위해 중심합성계획을 수행하였고, 그 결과를 통해 2차 근사다항식을 결정하였다. 또한 순차 이차계획법을 사용하여 최적화문제의 해를 계산하여 표 2와 같은 결과를 얻었다.

$$\hat{y} = 58.138 - 2.863X_1 - 0.316X_2 - 2.021X_3 + 0.0584X_1^2 + 0.0225X_2^2 + 0.0449X_3^2 + 0.0043X_1X_2 + 0.0094X_1X_3 - 0.0045X_2X_3$$

표 1. 중심합성계획을 실행하기 위한 설계변수의 범위.

| 설계변수 (mm) | 설계변수의 수준 ($\alpha=1.682$) | | | | |
|-----------|-----------------------------|------|------|------|----------|
| | $-\alpha$ | -1.0 | 0.0 | 1.0 | α |
| X_1 | 21.318 | 22.0 | 23.0 | 24.0 | 24.682 |
| X_2 | 5.659 | 6.0 | 6.5 | 7.0 | 7.341 |
| X_3 | 20.427 | 20.7 | 21.1 | 21.5 | 21.773 |

표 2. 최적점에서의 결과 비교.

| | | 최적설계점 (mm) | | | 최대전계 (kV/mm) |
|------|---------|------------|-------|--------|--------------|
| | | X_1 | X_2 | X_3 | |
| 초기모델 | Non-FGM | 20 | 5 | 22.5 | 6.2403 |
| | FGM | | | | 5.4336 |
| RSM | | 22.581 | 6.899 | 20.464 | 5.0101 |
| FEM | | 22.581 | 6.899 | 20.464 | 4.9716 |

4. 결론

FGM 스페이서가 적용된 GIS에서의 절연성능에 영향을 주는 최대전계를 완화시키기 위해 전극 및 FGM 스페이서의 형상을 최적화 기법을 통해 설계하였다. 계산된 결과, 최적 설계된 형상에서 최대전계는, 균일 유전율 분포 스페이서와 FGM 스페이서가 사용된 초기모델에 비해 각각 20%와 8.5%만큼 완화되었으며, 절연성능이 개선됨을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구사업임 (2009T100100593).

참고 문헌

- [1] H. J. Ju, S. K. Choi, K. C. Ko, J. Korean Phys. Soc., to be published, in Nov., 2009.
- [2] A. I. Khuri and J. A. Cornell, "Response Surface Designs and Analyses", Marcel Dekker, NewYork, 1996.