

유한요소법을 이용한 진공인터럽터 절연설계 기초연구

박 치영, 안 희일, 함 길호  
LG산전 전력연구소

The Basic Study on the Insulation Design of Vacuum Interrupter using Finite Element Method

Chi-Young Park, Hee-Il Ahn, Gil-Ho Ham  
LG Industrial Systems Electrotechnology R&D Center

**Abstract** - This paper describes on the basic study for the insulation design of vacuum interrupter using Finite Element Method. For the basic study of insulation design, first, the maximum electric field was calculated on each curvature radius of arc shield and electrode. Second, the maximum electric field was also calculated on applied voltage and end shield with or not. Thus, the maximum electric field calculated have an effect on curvature radius and voltage polarity.

key word - Vacuum Interrupter, Arc Shield, End Shield, Maximum Electric Field

1. 서 론

산업의 신장과 생활수준의 향상으로 전력수요량이 증가함에 따라 전력을 생산하여 수용가에 공급하기 위한 전력설비가 늘어나게 되었다. 이에 따라서 전력공급 기능상 필수장치인 차단기, 개폐기의 수요가 증대되고 있다. 또한 경제적 측면에서 부품의 소형화 및 기기의 소형화, 도심지의 부하집중에 따른 부지난과 환경친화 측면에서 진공절연을 지향하게 되었다.<sup>(1)</sup> 진공차단기(Vacuum Circuit Breaker)는 절연성능 및 차단성능이 우수하고 신뢰성이 높으며 소형으로서 공간점유가 적고 조작메카니즘이 간단할 뿐 아니라 유지보수가 쉬운 특징을 지니고 있기 때문에<sup>(2)</sup> 진공인터럽터(Vacuum Interrupter)의 소형화가 필수적이다. 현재 진공인터럽터의 소형화를 위하여 차단부의 설계, 해석, 제작 및 검증을 위한 연구가 활발히 진행되었다.<sup>(3)</sup> 따라서 본 논문에서는 진공인터럽터의 절연설계에 대한 설계방향을 찾기 위한 방법으로 유한요소법을 이용하여 진공인터럽터 절연설계의 기초연구를 하였다. 먼저 진공인터럽터 절연설계를 위한 기초연구로 End Shield의 유·무, 전압극성, 아크셴드와 전극의 곡률반경에 따른 최대전계강도를 측정하였다.

2. 전계해석 이론

전계해석은 식(1)과 같은 가우스법칙(Gauss's Law)을 이용하여 계산하였다.

$$\nabla \cdot D = \rho \tag{1}$$

여기서, D는 전속밀도이며, 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$D = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 E \tag{2}$$

식(2)를 식(1)에 대입하면 다음과 같다.

$$\nabla \cdot (\epsilon_r \epsilon_0 E(x, y)) = \rho \tag{3}$$

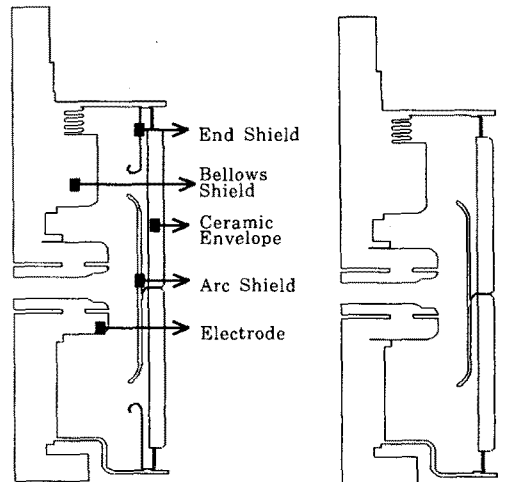
여기서, ρ는 정전계를 나타내므로  $E = -\nabla\phi$  를 식(3)에 대입하면 식(4)와 같이 된다.

$$\nabla \cdot (\epsilon_r \epsilon_0 \nabla\phi(x, y)) = -\rho \tag{4}$$

본 연구에서는 식(4)에 유한요소법을 적용하여 정전계 해석을 행하였다.

3. 해석모델 및 방법

그림1은 본 연구에서 사용된 해석모델을 2차원 축대칭(RZ좌표계)으로 모델링한 것이다. 그림1에서 (a)는 End Shield가 있는 경우이며, (b)는 End Shield가 없는 경우를 나타낸 모델이다. 전계해석 모델에서 전극간 거리는 12[mm]로 고정시켜 놓고 해석을 하였다. 그림2는 본 논문에서 사용한 전계해석 프로그램의 해석순서를 나타낸 그림이다. 그림2에서 전압인가는 가동부에 임펄스 내전압을 95[kV]로 인가하였고 고정부전극은 0[V]로 하였다. 또한 아크셴드부는 부동전위(Floating Potential)처리를 하였다. 재료선정에서는 고정부 전극과 가동부 전극을 구리합금으로 사용하였다. 또한 아크셴드부, 진공인터럽터 내부, 절연용기는 각각 스테인레스강, 진공, 알루미늄 세라믹을 사용하였다. 해석에서 메쉬상태는 먼저 초기 메쉬상태로 해석을 한 후 전계가 집중하는 부분 즉, 아크셴드 선단부분을 좀더 집중적으로 메쉬를 주어 해석을 하였다. 이후에 해석결과를 나타내었다.



(a) End Shield 있는 경우

(b) End Shield 없는 경우

그림 1 해석모델

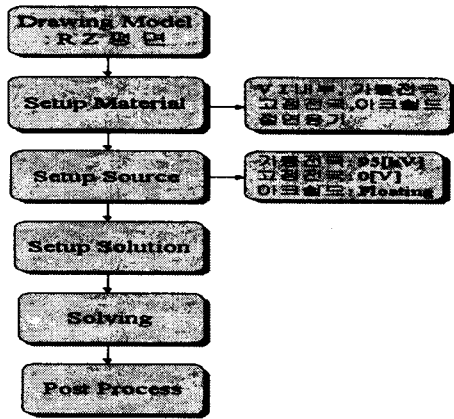


그림 2 전계해석 방법

#### 4. 해석결과

그림 3과 그림 4는 End Shield 유·무에 따른 등전위 및 전계분포도를 나타내고 있다. 진공인터럽터 내부의 최대전계강도는 아크셸드 선단부분에서 나타났으며, End Shield가 있는 경우의 최대전계 강도의 값은  $1.6512 \times 10^7$  [V/m]이고, End Shield가 없는 경우의 최대전계 강도의 값은  $2.9301 \times 10^7$  [V/m]로 나타났다.

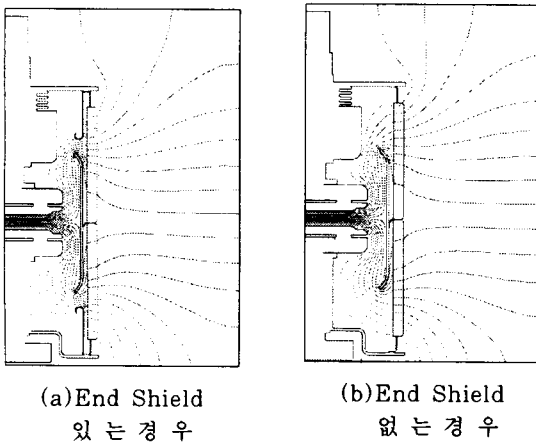


그림 3 End Shield 유무에 따른 등전위선도

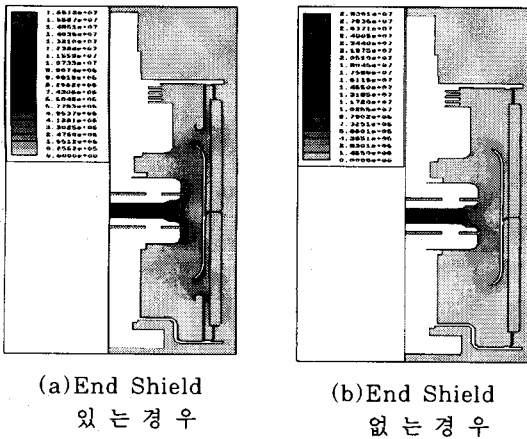


그림 4 End Shield 유무에 따른 전계분포도

그림 5와 그림 6은 극성변화에 따른 전계분포도와 전계강도의 값을 나타내고 있다. 해석결과 End Shield가 있는 경우의 최대전계 강도값은 End Shield가 없는 경우의 최대전계 강도값 보다 낮게 나타났다. 전압극성에 따른 최대전계 강도는 정극성인 경우에서 부극성인 경우 일 때보다 더 높게 나타났다.

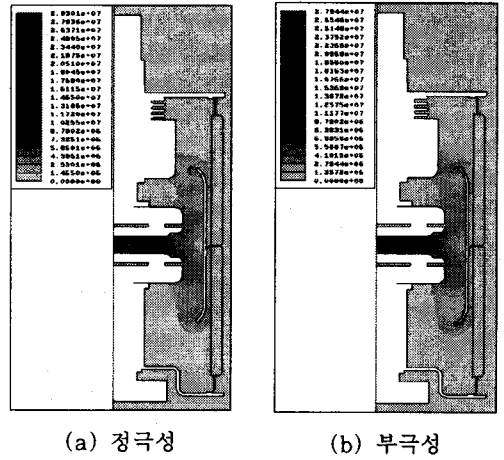


그림 5 극성변화에 따른 전계분포도

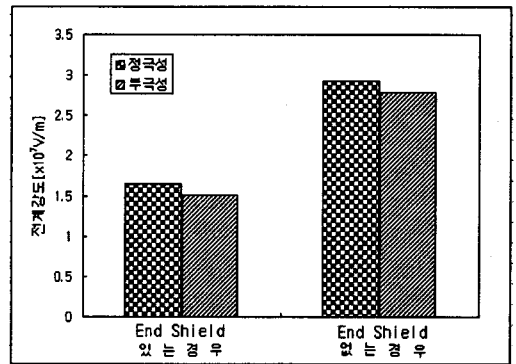


그림 6 극성변화에 따른 최대전계강도

그림 7은 End Shield가 없는 경우 아크셸드 선단부분의 곡률반경에 따른 최대전계강도를 나타내고 있다. 그림 7에서 알 수 있듯이 곡률반경이 0.75(mm)일 때 최대전계강도를 나타내었으며, 곡률반경이 1(mm) 이상 일 경우에는 전계강도가 거의 변화가 없음을 알 수 있다.

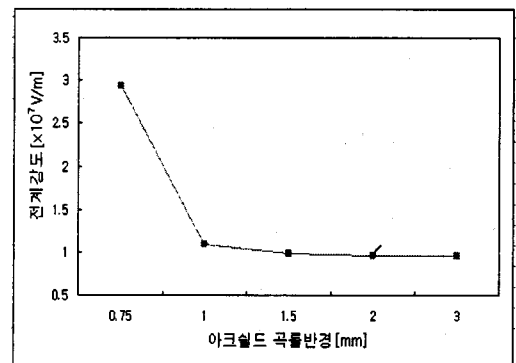


그림 7 아크셸드 곡률반경에 따른 최대전계강도

그림 8은 End Shield가 없는 경우 전극 곡률반경에 따른 최대전계강도를 나타내고 있다. 그림 8에서 알 수 있듯이 전극의 곡률반경에 따른 최대전계강도는 곡률반경이 2[mm]에서 가장 낮게 나타났으며, 곡률반경이 4[mm] 이상일 경우 전계강도가 현저하게 증가함을 알 수가 있다.

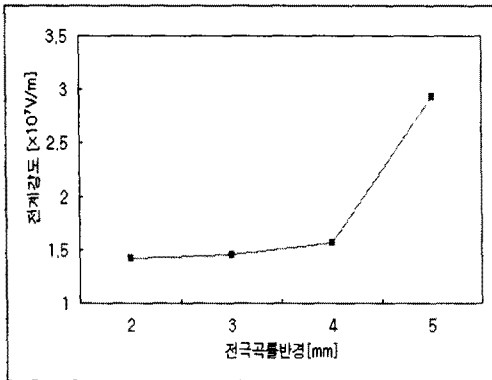


그림 8 전극 곡률반경에 따른 최대전계강도

## 5. 결 론

본 연구에서는 유한요소법을 이용하여 진공인터럽터 내부의 전계분포를 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. End Shield 유무에 따른 전계강도는 End Shield가 있는 경우에서 높게 나타났으며, 전압극성에 따른 최대전계강도는 정극성인 경우에서 높게 나타났다.
2. 아크셸드 선단부분의 곡률반경에 따른 최대전계강도는 아크셸드 곡률반경이 0.75[mm]에서 가장 높게 나타났다.
3. 전극의 곡률반경에 따른 최대전계강도는 4[mm] 이상에서 현저하게 증가하였다.

### [참 고 문 헌]

- (1) H.Toya, etc.al, "Numerical Modeling to Evaluate the Withstand Voltage of a HV Vacuum Interrupter", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol.24, No.1, pp21~30, 1989.
- (2) "眞空遮斷器의 原理와 最近의 技術動向" pp6~8, 明電舎.
- (3) M.Okawa, etc.al, "Area Effect on Electric Breakdown of Copper and Stainless Steel Electrodes in Vacuum", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol.23, No.1, pp77~81, 1988.