

## 진공인터럽터 내부 shield gap에 따른 전계분포해석

**윤재훈**, 김병철, 이승수, 임기조, 강성화\*  
충북대학교\*, 충청대학교\*\*

### Electric field distribution analysis along shield gap inner vacuum interrupter

Yoon jae-hun, Kim byung-chul, Lee seung-su, Lim kee-jo, Kang seong-hwa\*\*  
Chungbuk University, Chungcheong University\*\*

**Abstract** - this paper describes the electric field distribution analysis along a shield form inner vacuum interrupter(VI). The equipotential line and electric field and field vector in a VI are analysed by a finite element method at various shield form. in result, The equipotential line and electric field distribution was affected to VI shield gap. The reason is as it gets distortion of equipotential line done. finally, this paper recognized whether or not affected, and proposed gap with the most suitable shield length and an external insulation

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0 \tag{4}$$

여기서  $\Phi_i$ 는 전원 또는 접지 전위를 기지의 값이며, 식 (4)는 경계조건을 나타낸다.

본 연구의 해석모델인 진공 인터럽터의 차폐판과 같이 전원 또는 접지와 연결되지 않은 부유상태의 도체는 등전위 상태이지만 그 값이 주어지지 않는다 따라서 차폐판과 같이 동일한 전위값을 갖지만 값을 알 수 없는 경우에는 아래와 같은 등전위 경계조건을 적용하여 계방정식의 해를 구하여야 한다.

$$\Phi_f = \Phi_1 = \Phi_2 = \dots \dots \dots \Phi_k \tag{5}$$

여기서,  $\Phi_f$ 는 차폐판의 전위로 미지값이며,  $\Phi_1 \sim \Phi_k$ 는 차폐판에 위치한 유한요소 절점의 전위값이다. 즉, 도체계 내부에 부유도체가 있을 경우, 부유 도체에 위치한 미지 절점은 k개 존재하지만 동일한 전위값을 가지므로 미지값은 하나만 존재하게 된다. 따라서 계방정식의 해를 구할 때 부유 도체에 대해서는 k개의 방정식을 유도하는 대신 한 개의 식만을 적용시켜야 한다.

### 1. 서 론

진공차단기는 1980년대 국내 교류계통에 적용되기 시작하여 약 20년동안 고신뢰성, 보수절감의 용이, 소형 및 경량화 등 많은 이점이 입증됨으로써 현재 국내 배전압급의 개폐장치에 대부분 적용되고 있다. 최근에는 전력 계통 부하의 급증으로 인한 차단 용량 증가 및 핵융합로의 전원설비로서의 적용에 대한 필요성이 대두되어 소형, 고 전압화를 위한 진공 절연의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히 진공이 갖는 절연과피전압특성을 위해 다양한 전극 재료 개발이 이루어지고 있으며 전극형상에 의해 아크 구동력을 이용한 검토가 이뤄지고 있다.

VI의 소형화 대응양화를 동시에 만족시키기 위해서는 무엇보다도 먼저 VI의 기본 내부 구조와 전극형상에 의해 결정되는 전계 및 전위 분포의 해석과 관련 실험을 통해 절연 특성을 이해하는 것이 요구된다.

일반적으로 VI 내부에는 전류 차단시 발생하는 금속 증기 및 입자가 절연 용기의 내벽에 응결함으로써 발생하는 연면의 절연 성능 저하를 방지하기 위해 금속 재질의 Arc shield가 설치되어 있으며, 서로 다른 유전율을 갖는 삼중점을 보호하기 위한 End shield가 설치되어 있다.

이에 본 연구에서는 End\_shield의 형상과 위치가 VI내부 전계 분포에 어떠한 영향을 주는지 살펴보기 위하여 2차원 유한요소 프로그램(MAX-WELL)을 이용하여 VI에 대해 각각의 등전위선과 전계값을 비교함으로써 Shield가 절연에 미치는 영향과 End shield의 최적화를 검토하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 관련이론

VI의 전위 분포 및 전계를 해석하기 위한 지배 방정식은 Maxwell 방정식 및 poisson 방정식으로부터 식(1)과 같이 유도된다.

$$\nabla \cdot \epsilon \nabla \Phi = -\rho \tag{1}$$

여기서  $\epsilon$ 은 유전율,  $\Phi$ 는 전위이며  $\rho$ 는 전하밀도 이다. 1차 시험 함수에 Galerkin법을 적용하면 식(2)와 같은 계방정식을 구성할 수 있다.

$$[K] \{ \Phi \} + \{ F \} = \{ 0 \} \tag{2}$$

여기서 [K]는 계수 행렬이며, {F}는 구동 행렬이다. 정전계에서 방정식의 해를 구하기 위한 해석영역의 경계조건은 일반적으로 다음과 같이 주어진다.

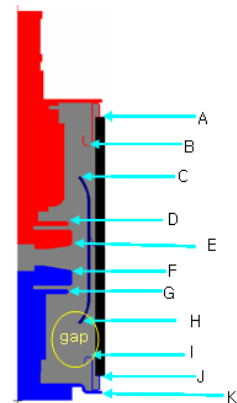
$$\Phi = \Phi_i \tag{3}$$

#### 2.1.1 해석 모델 요소

<표 1> 해석 요소들의 물성치

	electrode	end shield	external insulation
material	copper	aluminum	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ceramic
permittivity	1	1	9.8
conductivity	5.8e+007	3.8e+007	0

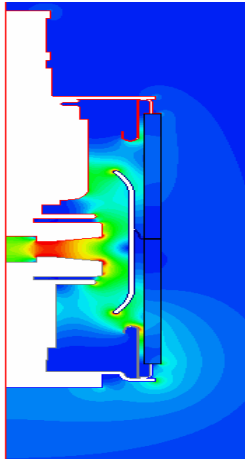
<그림 1>은 해석을 진행하기 위해 modelling 된 VI의 내부 구조로서 절연용기(Ceramic) 내에 고정절점, 가동절점 및 Arc shield 및 end shield등 으로 구성된다. 용기 내부의 압력은  $10^{-5} \sim 10^{-6}$  torr정도의 고진공을 유지하도록 되어있으며 가동 절점은 bellows와 연결되어 진공을 유지하면서 절점의 동작이 가능하도록 설계되어 있다. 해석을 진행함에 있어서 가동부 및 고정부의 critical point를 선정하여 각 point에서의 전계값을 비교하였고, 해석에 필요한 각각의 물성치는 <표1>에 나타내었다.



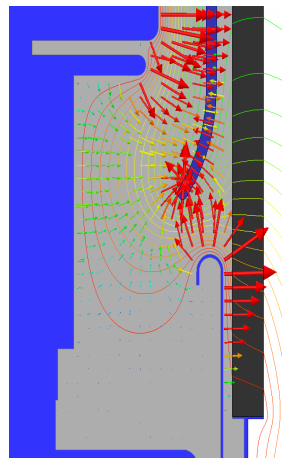
<그림 1> 해석모델

### 2.2.1 전계해석 결과

end shield와 arc shield간 gap이 전계 분포에 미치는 영향을 검토하기 위해 해석을 진행하였다. <그림 2>와 <그림 3>은 각각 전계분포와 등전위분포 및 전계방향을 나타낸 것이다.



<그림 2> 전계분포



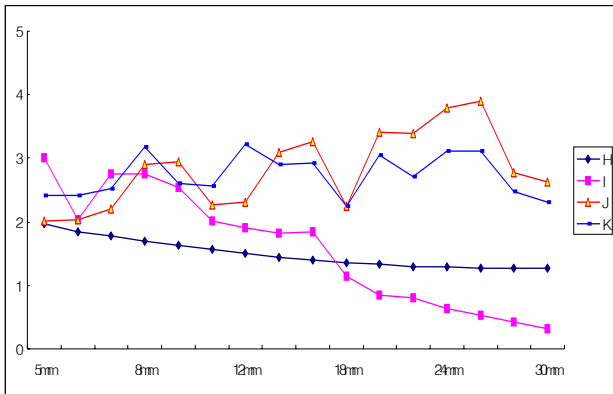
<그림 3> 등전위분포와 전계 벡터

<그림 2>를 살펴보면 arc shield 끝단과 접점 그리고 end shield 끝단에 전계가 집중되는 모습을 볼 수 있다. <그림 3>은 등전위 분포와 전계방향을 나타내며 end shield가 등전위 선을 왜곡시키는 것을 확인할 수 있다. 또한 전계방향이 shield끝단에 집중되는 모습도 관찰할 수 있다. 이것은 삼중점 및 각 shield의 끝단이 전계에 상당한 스트레스를 받는다는 것을 확인할 수 있다.

	16mm	18mm	20mm	22mm	24mm	26mm	28mm	30mm
A	0.616	0.475	0.590	0.469	0.579	0.575	0.575	0.573
B	0.513	0.513	0.502	0.496	0.495	0.497	0.495	0.490
C	1.386	1.366	1.356	1.317	1.336	1.330	1.315	1.313
D	0.937	0.903	0.919	0.945	0.905	0.900	1.702	0.899
E	1.597	1.650	1.752	1.311	1.539	1.722	1.527	1.712
F	3.464	3.198	4.064	3.215	3.309	3.288	3.662	3.185
G	1.952	1.328	2.056	1.289	2.853	1.751	1.756	2.510
H	1.39	1.353	1.334	1.3	1.293	1.279	1.271	1.276
I	1.839	1.144	0.858	0.807	0.641	0.527	0.417	0.316
J	3.272	2.239	3.417	3.395	3.797	3.891	2.766	2.627
K	2.925	2.244	3.061	2.721	3.113	3.114	2.468	2.315

<표 2> gap에 따른 각 point에서의 전계값

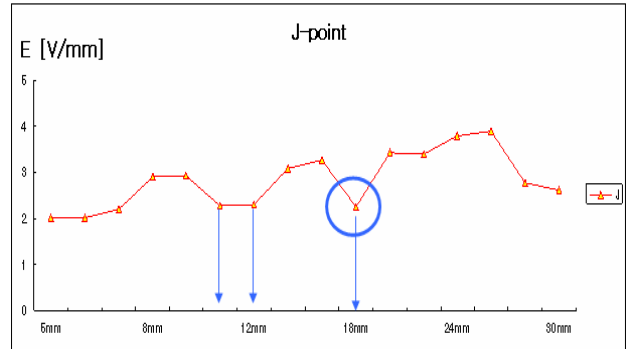
<표 2>에는 각각의 gap에 따른 전계값을 보여준다. 본 해석에서는 고정부(하단부)에 source를 인가하고 가동부를 접지로 설정하여 해석을 진행하였다. 그렇기 때문에 gap의 변화에 따른 전계값은 고정부에 국한시켜 비교하였으며 가동부(접지)는 전계값의 차이가 없기에 source부의 전계값에 한하여 유효값으로 설정 하였다.



<그림 4> 유효 point에서의 전계값

<그림 4>는 5mm~30mm까지 gap을 변화시켰을때 유효 point에서의 전계값을 비교한 것이다. 그래프에서 확인할 수 있듯이 end shield의 길이가 짧아짐에 따라서 arc shield 경우 끝단의 전계값이 지속적으로 감소하는 것을 확인할 수 있으며, end shield끝단의 전계값은 곡률반경

의 영향이 크므로 gap에 의한 전계값 차이는 미미하다는 것을 확인하였다. <그림 5>는 절연설계에 있어 가장 취약하다고 판단되어 지는 삼중점에서의 전계값을 비교한 것이다. end shield 길이가 전계값에 영향을 끼친다는 것을 알 수 있으며 삼중점에 대한 전계값이 완화되는 지점이 존재함을 확인할 수 있다. 또한 가동부와 고정부의 gap을 대칭으로 가져간 경우 각 critical point 전계가 집중되는 경향이 낮음을 확인 하였다.



<그림 5> 삼중점에서의 전계값

### 3. 결 론

end shield 와 arc shield 간 gap에 따른 해석을 진행한 결과 end shield의 길이가 VI내부의 전계분포에 상당한 영향을 미치고 있다는 것을 확인할 수 있다. 삼중점을 보호하기 위해 설치되는 End shield는 등전위 선의 왜곡을 가져와 전계집중을 유발하여 VI 내부의 절연 성능을 저하 시킨다. 하지만 VI내부절연이 아닌 차단측면에서 살펴 볼 때, 삼중점을 보호하기위한 shield의 역할은 중요하다. 때문에 절연 특성을 확보하기 위하여 shield의 최적 설계가 요구되어 지며, 위 해석모델에 사용된 shield형태에서는 가동부와 고정부의gap과 shield형태(shield의 곡률반경)를 대칭으로 가져갔을 때 전계완화에 효과가 있음을 확인하였다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 대학전력연구센터 지원사업의 지원으로 이루어 졌으며, 이에 관계자 분들께 감사드립니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 최승길, “진공 인터럽터의 차폐판이 전계분포에 미치는 영향의 유한요소 해석”, journal of the korea institute of electrical and electronic material engineers, vol 12,no 2,pp.182.187,1999
- [2] M. Binnendijk, et al, “high-current interrupter in vacuum circuit breakers”, IEEE Trans. Dielectrics and Electrical Inculation, vol. 4, pp. 836-840, 1997”
- [3] H.okumura, E. Kaneko, “Recently developed vacuum interrupter construction and performance improvement”, Toshiba Review, no. 141, pp.5-10, 1982
- [4] M, Okawa, et al, “Development of vacuum interrupters with high interrupting capacity”, IEEE Trans. Power Delivery, vol. PWRD-2, pp. 805-809, 1987
- [5] K. Kato, et, al. “Breakdown conditioning characteristics of precision-surface-treatment”, Jan IEE Trans. to be published, 2006
- [6] 임달호, “전기계의 유한요소법”, 동명사, 175-179pp, 198[2]
- [7] Falkingam et al “twenty years of field service experience of the shieldless vacuum interrupter” ISDEIV XXI Yalta 2004