

## GIS 스페이스 삼중점 전계 완화를 위한 쉴드링 설계에 관한 연구

권구민\*, 이승관\*, 강민철\*, 정경식\*, 김경희\*  
 일진전기 중전기기술연구소\*

### A Study on Shield ring Design for Relieved Electric Field Intensity in GIS Spacer Triple Junction

Gumin Kwon\*, Seungkwan Lee\*, Mincheol Kang\*, Kyengsik Jeong\*, Kyonghoe Kim\*  
 ILJIN Electric R&D Center\*

**Abstract** - 본 논문에서는 초고압 가스절연개폐장치(GIS, Gas Insulated Switchgear) 내 고체 절연물인 스페이스에서 삼중점의 전계를 완화하기 위한 쉴드링 설계 방법과 그에 따른 효과를 분석하였다. 이를 위해 420kV GIS 스페이스를 축대칭 모델로 단순화하여 전계해석을 수행하였으며, 쉴드링 직경에 따른 삼중점 전계세기 변화를 확인하였다. 또한 쉴드링과 스페이스 계면 사이의 최소 이격거리를 계산하여 쉴드링의 최적 직경을 구하였다. 추가적으로, 새로운 설계 기법인 Double 쉴드링 기법을 소개하고 기존의 쉴드링이 하나인 경우와 비교·분석하여 그 효과를 확인하였다.

#### 1. 서 론

산업기술이 발달함에 따라 전력 수요는 해마다 증가하고 있으며, 전력 계통 또한 대용량, 초고압화 되어가고 있다. 이와 더불어 환경 문제에 대한 관심이 대두되면서, 전력계통 내 보호기기인 가스절연개폐장치는 점차 소형화 및 친환경화 되는 추세이다. 가스절연개폐장치의 절연매질로 사용되는 SF<sub>6</sub> 가스는 절연 특성 및 소호성능이 매우 우수하고 안전한 물질이므로 현재 초고압기기의 절연매질로 널리 이용되고 있으나, 높은 지구온난화 계수로 인해 최근에는 그 사용량을 줄이거나 건조공기(Dry air), 질소 등의 대체 절연매질이 검토되고 있다. [1] 그러나 이러한 대체 매질의 절연성능은 동일한 가스 압력에서 SF<sub>6</sub> 가스의 30~40% 정도로 열등하기 때문에 기기 내부에서 발생할 수 있는 전계 집중 부위를 완화하기 위한 최적의 절연설계가 필요하다.

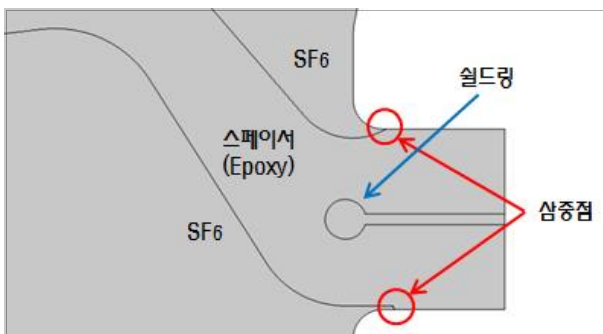
특히 스페이스 삼중점은 전계가 집중되어 절연과피에 취약함으로 스페이스 설계에 있어 중요하게 고려해야 할 부분이다. 스페이스 삼중점의 절연성능을 확보하기 위해 스페이스 내부에 쉴드링을 삽입하는 방법이 주로 사용되고 있는데, 쉴드링 설계 최적화에 대한 연구는 아직 미흡한 상황이다.

본 논문에서는 쉴드링 직경에 따른 스페이스 삼중점 전계 완화 효과를 확인하기 위하여 420kV GIS 스페이스를 축대칭 모델로 단순화하여 전계해석을 수행하였으며, 이를 통해 삼중점 전계를 완화하는 쉴드링의 최적 직경을 구하고자 하였다. 일반적으로 GIS 절연설계는 뇌충격내전압 시험전압에 대해 고려하면 충분함으로, 중심도체에 420kV GIS의 뇌충격내전압 시험전압을 인가하고 그때 스페이스 계면에 발생하는 전계세기 분포를 비교·분석하였다. [2]

#### 2. 본 론

##### 2.1 스페이스 삼중점

GIS 내부에는 그림 1과 같이 고체절연물인 스페이스와 금속물질인 GIS 탱크 그리고 SF<sub>6</sub> 가스가 만나는 삼중점이 존재한다.



〈그림 1〉 GIS 스페이스 삼중점 위치

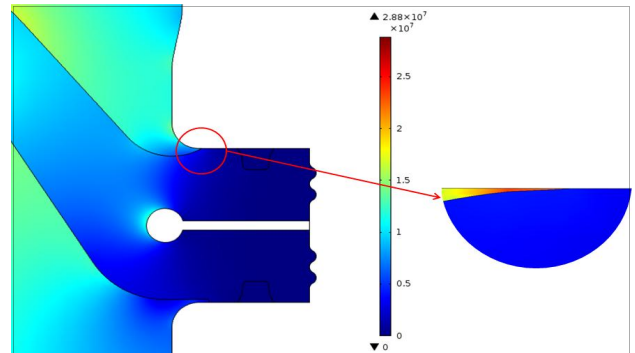
삼중점은 전계가 집중되는 부위로 구조상 미세한 부위를 형성하는 경우가 많으며, 이러한 특징 때문에 상용 전계해석 툴을 사용하여도 정확한 해석결과를 얻는데 한계가 있다.[3,4]

GIS 스페이스의 구조적 특성상 내부에서 발생한 금속이물이 삼중점 주변에 쌓이기 쉬우며, 이 경우 삼중점의 절연내력이 약화되어 해당부위에서 절연과피가 발생하기 쉽다. 따라서 GIS 절연설계에 있어 스페이스 삼중점은 중요한 포인트가 되며 스페이스 형상과 쉴드 구조에 따라 절연내력은 크게 달라진다.

##### 2.2 쉴드링 크기에 따른 삼중점 전계세기 비교

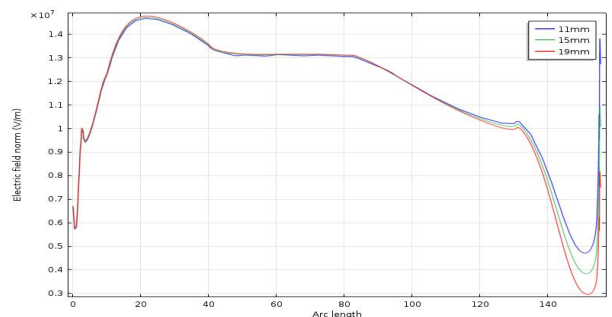
본 논문에서는 420kV GIS 스페이스를 축대칭 모델로 단순화하여 쉴드링 직경에 따른 삼중점 전계 완화 효과를 확인하였다. 스페이스 내부 쉴드링의 직경을 11mm, 15mm, 19mm로 4mm씩 늘려가며 전계해석을 수행하였으며, 중심도체에는 420kV GIS의 뇌충격내전압 시험전압인 1425kV를 인가하였다.

그림 2는 쉴드링 직경이 11mm인 경우의 시뮬레이션 결과이다. 앞서 설명한 것과 같이 삼중점의 전계세기가 주변과 비교해 매우 높은 것을 확인할 수 있다.

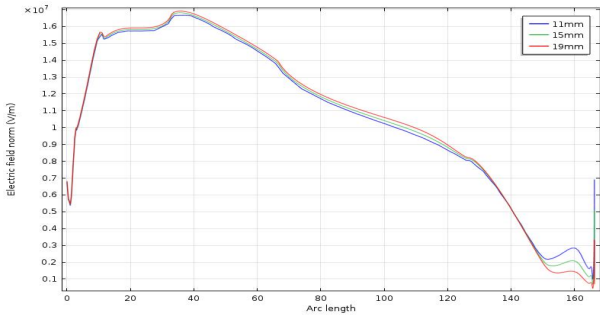


〈그림 2〉 스페이스 전계해석 결과(쉴드링 직경 11mm)

쉴드링 직경에 따른 스페이스 상부 계면의 전계세기는 그림 3의 그래프와 같다. 그래프 상에서 우측부분이 스페이스와 탱크가 만나는 삼중점 부위이며, 쉴드링의 직경이 커질수록 삼중점 부위의 전계세기가 완화되는 것을 확인할 수 있다. 그리고 그림 4를 통해 스페이스 하부 계면 또한 상부와 동일하게 쉴드링 직경이 커질수록 삼중점 부위의 전계세기가 완화되는 것을 확인할 수 있다. 삼중점에서의 전계세기를 수치화하여 나타내면 표 1과 같으며, 스페이스 상부가 하부에 비해 전계세기가 높은 것을 확인할 수 있다.



〈그림 3〉 삼중점 전계세기 비교(스페이스 상부)



〈그림 4〉 삼중점 전계세기 비교(스페이서 하부)

〈표 1〉 쉴드링 직경에 따른 삼중점 전계세기

인가전압 (kV)	위치	쉴드링 직경 (mm)	계면과의 이격거리 (mm)	전계세기 (kV/mm)
1425	상부	11	19.06	13.84
		15	17.06	10.96
		19	15.06	8.18
	하부	11	19.06	6.91
		15	17.06	5.38
		19	15.06	3.50

시뮬레이션 결과를 통해 쉴드링 직경을 키우는 것이 삼중점 전계세기 완화에 도움이 된다는 결론을 얻을 수 있으나, 스페이서 하부의 경우 쉴드링 직경이 커짐에 따라 계면과의 거리가 줄어들기 때문에 관통과피의 위험이 생길 수 있다. 그럼으로 관통과피의 위험이 없는 범위 내에서 쉴드링의 직경을 최대로 키우는 것이 스페이서 삼중점 전계세기 완화에 도움이 될 것이다.

### 2.3 쉴드링과 스페이서 계면사이의 최소거리

앞서 살펴본 바와 같이, 쉴드링의 최적 직경을 구하기 위해서는 스페이서 계면과의 최소 이격거리를 알아야 한다. 참고문헌에 따르면 쉴드링과 스페이서 계면과의 최소 이격거리  $d$ (mm)는 식 (1)을 통해 구할 수 있다.

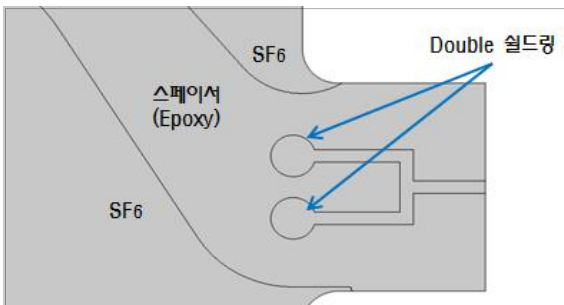
$$d = \left( \frac{V_{IMP}}{190} \right)^{\frac{1}{0.77}} \quad (1)$$

$V_{IMP}$ (kV)는 절연시험 시에 가장 가혹한 조건인 뇌충격내전압 시험전압을 의미하며, 본 논문에서는 420kV GIS 스페이서의 경우를 가정하고 있으므로 1425kV를 대입하면 약 13.7mm라는 결과를 얻을 수 있다. 여기에 절연설계 안전율 20%를 고려하면 스페이서 계면으로부터 16.4mm는 최소 이격시켜야 안전할 것으로 보인다.

본 절에서 구한 쉴드링과 스페이서 계면 사이의 최소 이격거리를 통하여 쉴드링의 최적 직경은 15~17mm로 정할 수 있다.

### 2.4 Double 쉴드링

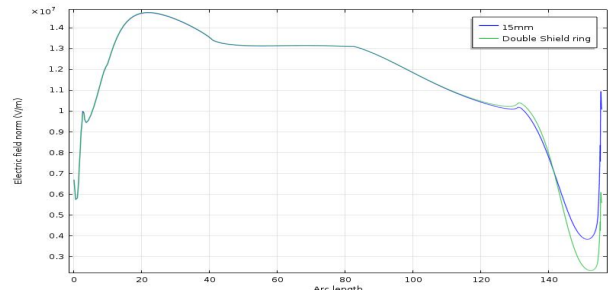
2.3절을 통하여 쉴드링이 하나일 경우에 스페이서 삼중점 전계를 최소로 하는 최적 직경을 구해보았다. 본 절에서는 스페이서 삼중점 전계세기 완화를 위해 그림 5와 같이 쉴드링을 위,아래로 배치하는 Double 쉴드링 설계 기법을 소개하고 그 효과에 대해 분석해보았다.



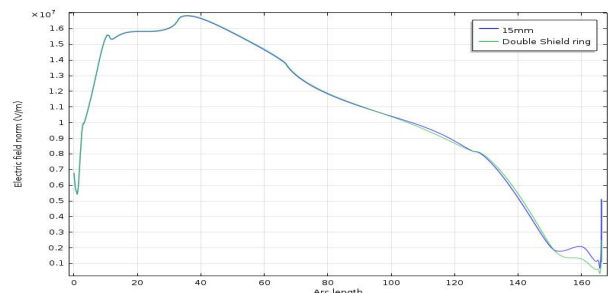
〈그림 5〉 Double 쉴드링 설계

시뮬레이션에 사용된 Double 쉴드링은 스페이서 계면과의 이격거리를 17mm로하고 직경은 11mm로 하였다. 그 외에 인가전압 및 물성치와 같은 조건은 이전과 모두 동일하게 하였다.

앞서 시뮬레이션을 통해 쉴드링이 하나일 경우 최적 직경이었던 15mm 삼중점 전계세기와 Double 쉴드링에서의 삼중점 전계세기를 비교해보았다. 그림 6과 그림 7을 통해 알 수 있듯이 Double 쉴드링의 경우 스페이서 상부 삼중점의 전계세기는 약 4.8 kV/mm 낮아지며, 하부 삼중점의 전계세기는 약 2.9 kV/mm 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 이 내용을 정리하면 표 2와 같다.



〈그림 6〉 Double 쉴드링 전계완화 효과(스페이서 상부)



〈그림 7〉 Double 쉴드링 전계완화 효과(스페이서 하부)

〈표 2〉 Double 쉴드링의 경우 삼중점 전계세기

인가전압 (kV)	위치	쉴드링 직경 (mm)	계면과의 이격거리 (mm)	전계세기 (kV/mm)
1425	상부	11	17	6.11
	하부	11	17	2.48

결과적으로 Double 쉴드링으로 스페이서를 설계할 경우 쉴드링이 하나일 경우보다 삼중점의 전계세기를 크게 완화할 수 있으며 쉴드링의 직경 또한 최소화하여 설계할 수 있다는 장점이 있다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 삼중점 전계 완화를 위한 쉴드링 설계 기법을 제안하였다. 먼저 420kV GIS 스페이서를 축대칭 모델로 단순화하여 쉴드링 직경에 따른 전계 세기를 비교·분석하였고, 그 결과 쉴드링 직경이 커질수록 삼중점 전계가 완화되는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 쉴드링 두 개를 위, 아래로 배치하는 Double 쉴드링 기법을 소개하고 기존에 쉴드링이 하나만 있는 경우와 비교해보았다. 시뮬레이션 결과 Double 쉴드링의 경우 쉴드링이 하나인 경우와 비교하여 삼중점 전계가 크게 완화되는 것을 확인할 수 있었다.

본 논문의 한계로는 절연물 설계에 있어 필수적인 허용전계기준을 제시하지 못한데 있다. 지금까지 연구된 여러 논문에서 실험적인 방법을 통하여 절연물의 허용전계기준을 제시했지만, 아직 실제 설계에 적용할 만큼 신뢰할 수준은 아닌 것으로 보인다. 따라서 향후 연구과제로는 신뢰성 있는 허용전계기준을 제시하고, 그것을 바탕으로 스페이서 쉴드링 최적 설계에 대한 연구를 진행할 계획이다.

### [참 고 문 헌]

[1] T. Rokunohe, Y. Yagihashi, F. Endo, and T. Oomori, EE Japan, 9호, pp.155, 2006  
 [2] 김덕수, "GIS의 절연특성과 현장시험법", 대한전기학회 논문지, 41권 4호, pp.35-41, 1992  
 [3] 송계현, 김준연, 석복렬, "GIS 삼중점에서의 각도에 따른 전계분포 및 방전특성 분석", 대한전기학회 전기물성·응용부문화 연구회 공동 춘계학술대회, pp.85, 2012  
 [4] 조용성, 정진교, 이우영, "SF<sub>6</sub> 가스 중의 삼중점 절연과피 예측기술에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 제58권, 5호, pp.989-993, 2009