

## 초고압 폴리머 부싱의 구조에 따른 전계분포 해석

조한구, 유대훈, 강형경\*  
한국전기연구원

### Analysis of Electric Field Distribution of High Voltage Polymeric Bushing with Structure

Han-goo Cho, Dae-hoon Yoo, Hyung-kyung Kang\*

KERI

**Abstract :** This paper describes the analysis of electric field distribution of high voltage polymeric bushing with structure. The high voltage bushing consists of FRP tube and housing made of LSR. The field control can be achieved by means of the design of such internal field shaper and top corona ring as grading electrodes. In accordance, the optimized design uses both internal and external elements for electric stress grading at critical parts of the bushing. Maxwell 2D simulator based on the boundary element method was also introduced in order to verify the reliability of the polymeric bushing.

**Key Words :** Polymeric bushing, Field shaper, Corona ring, Electric field

#### 1. 서론

오늘날 전력수요의 급증에 따른 전력계통은 대용량 초고압화 되어가고 있으며 전력설비의 안정화와 신뢰도는 매우 중요한 문제로 대두되고 있다. 이에 따라 전력기와 고압선로를 연결하는 부싱의 절연성능은 매우 중요한 요소로 최근에는 기존 자기재 부싱에 비해 가볍고, 절연성능 및 내오손 특성이 우수한 신소재 폴리머(LSR) 부싱에 대한 관심이 높아져 가고 있다. 하지만 국내에서 사용되는 대부분의 초고압 부싱은 전량 해외에서 수입되고 있으며 기술적 접근은 거의 이루어 지지 않고 있는 실정이다. 한편 부싱의 절연파괴의 근본적인 원인은 표면 누설거리(creepage distance)의 부족에서 찾을 수 있으며 이에 따른 임계부위에서의 전계집중이 그 원인이 된다 할 수 있다. 따라서 부싱내의 전계를 균일하게 분포하는 것은 매우 중요한 설계요소이며 전계집중을 억제하기 위한 내부설드(field shaper) 및 코로나 링(corona ring)의 사용은 매우 효과적이다 할 수 있다[1,2].

따라서 본 연구에서는 초고압 폴리머 부싱의 전계완화를 위한 최적의 내부설드 및 외부 코로나 링을 설계하였으며 전자계 프로그램 Maxwell 2D Simulator를 이용하여 전계분포 거동을 고찰하였다.

#### 2. 실험

본 연구에서는 전계해석 응용을 통한 효과적인 부싱 설계를 위해 각 타입별 전계분포특성의 차이를 검토하였다. 해석방식은 전자계 해석 프로그램 Maxwell 2D 축대칭 모델을 통한 인가전압 88.9 kV(154/√3 kV : 본 부싱의 경우 단상값으로 고려) 값을 설정하였다.

표 1은 본 시험을 위한 전계해석 실험계획으로 부싱내부에 발생하는 전계를 효과적으로 완화하기 위해 절연투

브 내부에 금속의 내부설드를 일정 간격으로 설계하였으며 이후 설드의 유·무 및 높이 변화에 따른 각각의 전계값을 확인하였다. 부싱의 HV 부위인 상단 접속부의 경우 효과적인 전계완화를 위해 부싱 외부에 코로나 링을 설계하였으며 링 설드와 절연튜브와의 간격의 증가 및 코로나 링의 크기 변화와 같은 각 요소들의 변화에 따른 전계분포를 조사하여 최종적으로 부싱의 최적 설계안을 조사하였다.

표 1. 전계해석 실험계획.

	실험 1	실험 2	
	내부설드 높이	링 간격	링 크기
A	없음	없음	40 mm
B	0 ~ 100 mm	90 mm	60 mm
C	100 ~ 250 mm	150 mm	80 mm
D	250 ~ 400 mm	250 mm	
E	400 ~ 550 mm		

#### 3. 결과 및 검토

그림 1은 부싱의 내부설드 높이에 따른 전계값을 나타낸 것이다. 먼저, 설드의 높이가 증가할수록 초기  $9.36 \times 10^5$  [V/m]에서  $0.97 \times 10^5$  [V/m]으로 전계값이 지수 함수적으로 감소하여 큰 폭의 전계완화를 가지는 것으로 확인되었다. 한편 내부설드가 플랜지보다 낮은 시료 A의 경우 큰 변화를 주지 못하는 것으로 확인되었으며 이는 부싱 내부의 등전위가 설드의 상단에 집중되는 것을 고려할 때 플랜지의 높이보다 낮은 경우 전계집중 부위가 금속 플랜지 상단부로 집중되기 때문인 것으로 판단된다. 또한 내부설드의 높이가 400 mm 부근까지는 급격한 전계완화의 양상을 나타내지만 그 이상의 높이에서는 극히 적은 변화량으로 최대전계의 위치나 크기에는 큰 변화를 주지 못하는

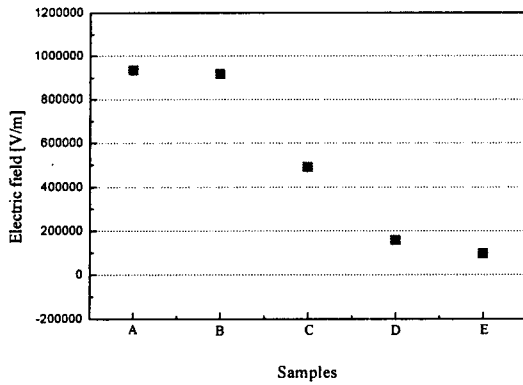


그림 1. 내부설드의 높이에 따른 전계분포.

것으로 확인되었다. 따라서 내부설드의 설계 시 경제적 및 효과적인 설드의 높이는 시료 D의 범위에 있는 것으로 판단된다.

그림 2는 내부설드의 유·무에 따른 전계분포를 나타낸 것으로 앞선 결과를 바탕으로 250~400 mm 범위의 내부설드를 가지는 부싱과 비교 나타낸 것이다. 그림에서도 알 수 있듯이 대부분의 등전위는 내부설드에 의해 설드 상단 부에서 빠져나가고 있으며 결과적으로 하부 플랜지 상단의 임계부위에서의 전위차가 큰 폭으로 줄어든 것을 확인할 수 있다. 따라서 부싱의 취약지점인 중단 접속부위 계면에서의 안정성은 큰 폭으로 향상됨을 알 수 있다.

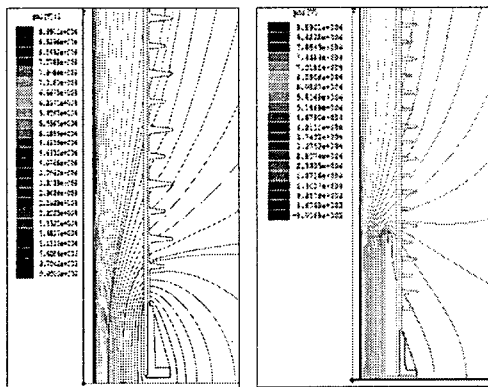
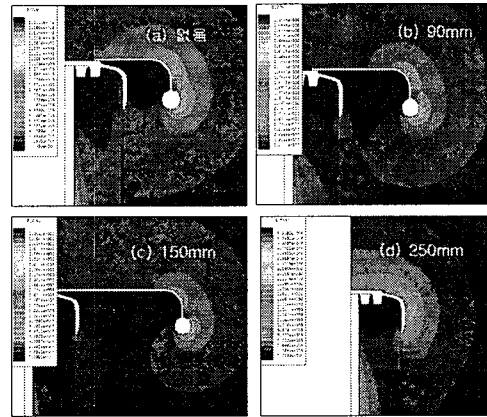


그림 2. 내부설드 유·무에 따른 등전위 분포.

그림 3은 코로나 링의 간격에 따른 전계분포를 나타낸 것으로 링이 없을 경우 부싱의 플랜지와 계면부에서 전계가 집중되고 있음을 알 수 있다. 하지만 코로나 링이 존재할 경우 최초  $1.13 \times 10^6$  [V/m]에서  $2.20 \times 10^5$  [V/m]으로 큰 폭의 전계가 완화가 일어났으며 대부분의 전계는 링 설드 주변으로 집중되는 것을 확인할 수 있다. 이는 전계불평 등에 의한 부싱의 임계부위에서의 집중전계를 곡률반경이 큰 링 설드에 의해 완화되기 때문이다. 한편 링 설드의 간격이 90 mm인 경우  $2.20 \times 10^5$  [V/m]으로 가장 낮은 전계값을 나타냈으며 이 후 간격이 증가함에 따라  $4.23 \times 10^5$  [V/m]의 값으로 전계값 또한 증가하였다.

코로나 링의 크기에 대한 변화를 살펴보면 링 설드가 가장 작은 40 mm의 경우  $1.84 \times 10^5$  [V/m], 최대간극인 80 mm의 경우  $1.31 \times 10^5$  [V/m]으로 링의 크기가 증가함에 따라 계면에서의 전계값은 감소하는 것으로 확인되었다. 하지만 부싱의 하우징과의 절연거리를 고려할 때 링 직경의 증가는 한계가 있으며 설계 모델에 따른 적정 설계 치수를 정확히 분석 후 설계해야 할 것으로 사료된다.



#### 4. 결론

본 연구에서는 초고압 폴리머 부싱의 전계완화를 위한 내부설드 및 외부 코로나 링을 설계하였으며 전자계 해석 프로그램을 통해 전계해석을 실시하여 다음과 같은 결과를 확인할 수 있었다.

1. 내부설드의 유·무에 따른 전계값을 확인한 결과 최초  $9.36 \times 10^5$  [V/m]에서  $0.97 \times 10^5$  [V/m]으로 전계값은 지수함수적으로 감소하였다.
2. 내부설드가 400 mm 부근까지는 급격한 전계완화의 양상을 나타내지만 그 이상의 높이에서는 큰 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다.
3. 코로나 링의 간격은 90 mm의 경우  $2.20 \times 10^5$  [V/m]으로 가장 낮은 전계값을 나타냈으며 이 후 간격이 증가함에 따라  $4.23 \times 10^5$  [V/m]의 값으로 전계값 또한 증가하는 것으로 확인되었다.
4. 코로나 링의 크기가 증가할수록 전계값은  $1.84 \times 10^5$  [V/m]에서  $1.31 \times 10^5$  [V/m]으로 소폭 증가하는 것으로 나타났다.

#### 참고 문헌

- [1] S. Monga and R. S. Gorur, "Design optimization of High voltage bushing using electric field computations", IEEE. Vol. 13, No. 6, pp. 1217~1224, 2006.
- [2] M. M. Rao, et al., " Measurement of transient electric field emission from a 245kV gas insulated substation model during switching", JEET. vol. 2, No. 3 pp. 306~311, 2007.