

배전급 주상 변압기용 폴리머 부싱 설계 및 제조기술

조한구*, 이운용*, 천종욱**, 박영두***, 강영길****
한국전기연구원*, 구주기술(주)**, 산일전기(주)***, 피코산업****

Design and Manufacture Technology of Polymer Bushing for Pole Mount Transformer

가) Han-Goo Cho*, Un-Yong Lee*, Jong-Uk Cheon**,
나) Young-Doo Park*** and Young-Kil Kang****
KERI*, Guju Technology Inc**, Sanil Electric Co. Ltd***, Pico Inc****

Abstract

Recently, polymer insulator and bushing that are used for high voltage application have some advantages such as light weight, small size, vandalism resistance, hydrophobicity and easy making process. The pole mount transformer installed in distribution system is acting direct role in supply of electric power and the electric power device should drive safely for long term. In this paper, the polymer bushing of pole transformer is designed adaptively to current assembly method, designed bushing is manufactured on basis of that result. The electric field of designed transformer is investigated by FEM program.

Key Words : Polymer Bushing, Pole mount transformer, Electric field, Bushing, Silicone rubber

1. 서론

최근 고전압 기기에 대한 폴리머 재료의 적용은 계속적으로 증가하고 있으며, 특히 기존의 자기 애관으로 구성된 피뢰기, 애자, 변압기, 단로기, 차단기, 개폐기 등에 실리콘 고무, EPDM, 에폭시 수지와 같은 소재를 적용한 절연물이 개발되어 적용되고 있다. 자기 애관을 폴리머 재질로 대체함에 따른 가장 큰 장점은 소형, 경량화 및 설계의 용이성과 큰 부피를 차지하는 고압 부싱 쪽으로 폴리머화도 확대되고 있다[1, 2].

국내업체에서도 폴리머 부싱을 여러 가지 재료 및 형상을 가진 제품들이 계속적으로 개발되고 있다. 부싱은 도체를 외함 또는 지지물을 통과하여 외부로 인출하며, 도체를 외부에 대하여 절연시키는 중요한 부속물체이다. 부싱의 기본 구조는 그림 1과 같이 중심 도체가 있으며 이를

절연하는 절연체 도체가 통과하는 외함, 외함과 도체를 절연하는 절연체를 부착하는 플랜지 등으로 구성된다. 외함 내부에 분위기는 공기, 오일, 가스 등으로 구성되며 고체 절연체는 자기, 폴리머 등으로 제작한다. 플랜지는 절연체와 일체형으로 하여 절연체와 동일한 재료로 제작하는 경우도 있으며, 급속으로 선택하는 경우도 있다[2].

본 논문에서는 주상변압기용 폴리머 부싱을 현 부싱체결방식에 적합하게 설계하여 그 설계 특성을 검토하고 이를 바탕으로 부싱을 제작하였다.

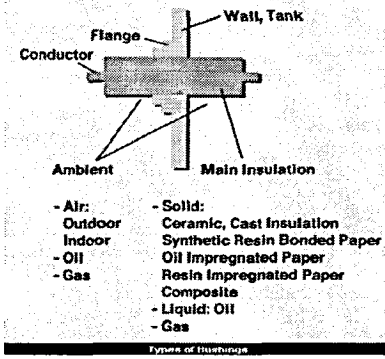


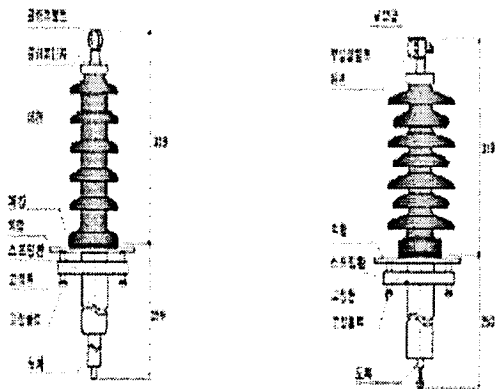
그림 1. 부싱의 기본구조

본 논문에서는 주상변압기용 폴리머 부싱을 현 부싱체결방식에 적합하게 설계하여 그 설계 특성을 검토하고 이를 바탕으로 부싱을 제작하였다.

2. 변압기 부싱 설계

2.1 주상 변압기 부싱

현재 22.9kV 주상변압기에 적용하는 부싱은 내염형으로 그 부싱 사양을 표 1에 나타내었다. 부싱의 종류는 몇가지로 나눌 수 있으나 대표적으로 내염형과 일반형으로 크게 대별되어진다. 그림 2는 자기재 일반형과 내염형의 일반적인 형상 및 각부 명칭을 나타내었다.



(a) 일반형

(b) 내염형

그림 2. 부싱의 기본구조

표 1. 주상변압기 부싱사양.

주상 변압기 내염형 부싱	
정격 [kV]	22.9
누설거리 [mm]	728±40
상용주파내전압[kV] (주수 10초)	42
상용주파내전압[kV] (건조 1분)	36
여충격 내전압 [kV]	125
갓 형태	교대갓
전체길이 [mm]	505

2.2 주상변압기 폴리머 부싱설계

옥외에 노출되는 주상변압기의 경우 부싱에 관이 내오손 성능 및 외합과의 팩킹 부분 등이 문제가 되기 때문에 국내 중전기 업체에서 내오손 성능이 우수한 폴리머로 대체개발하고 있다. 단자 인출부도 팩킹 성능을 보완하기 위해 변압기 부싱규격이 보완되어 고압단자에 고무 팩킹을 보장하고 있다. 폴리머 부싱의 경우도 부싱전체를 일체형으로 제작하는 경우도 있으며, 내부에 FRP 또는 기계적 강도가 우수한 절연물로 만들고 그 위에 폴리머로 성형하는 경우도 있다. 또한 부싱 중심 내부가 중공구조인 경우도 있으며 중공구조가 아닌 완전 일체형이면서 부싱 상, 하부에 전극을 삽입해서 제작한 경우도 있다.

본 연구에서는 종래에 사용되고 있는 자기 부싱의 구조와 유사하게 중공구조를 갖는 폴리머 부싱을 개발하고자 하였다. 누설거리는 770mm, 교대갓(큰갓 : 6개, 작은갓 : 6개)으로 설계하였으며, 중량은 약 1.7kg 정도로 나타났었다. 그림 3은 설계된 폴리머 부싱의 입체도를 나타내었다.

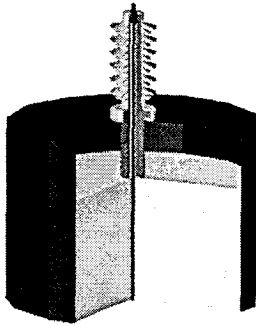


그림 3. 설계 부싱의 입체도

3. 결과 및 고찰

3.1 설계 해석

주상 변압기의 부싱은 애자와는 달리 기계적 스트레스보다는 전기적 스트레스를 어떻게 받는지 검토하는 것이 중요하다. 설계 부싱에 대한 전계분포 특성을 검토하기 위해 유한요소법 상용 프로그램을 이용하여 주상변압기의 외함에 체결된 상태의 전계분포를 해석하였다. 인가전압은 13200[V], 외함을 접지로 하였으며 각각의 재료의 유전율을 설정하였다. 그림 4는 전체 구조의 전계분포를 contour plot한 결과이다. 최대 전계값은 22.8kV/cm로 나타났으며 주요 전계집중 부위는 상부 전극부분, 도체와 부싱내벽 사이, 플랜지부분 등에서 나타나는 것을 알 수 있다. 최대 전계값의 위치는 그림 5와 같이 외함과 부싱이 접합되는 플랜지 부분으로 나타났다.

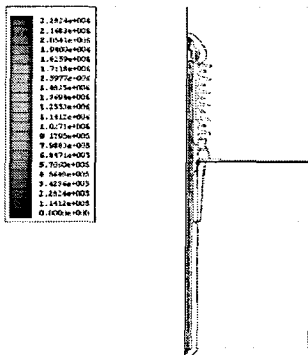


그림 4. 전체적인 전계분포

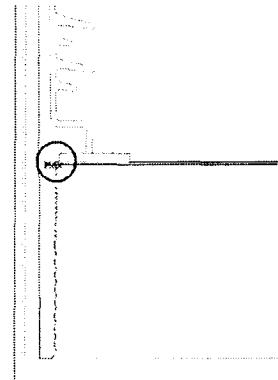


그림 5. 최대 전계값의 위치

플랜지 부분의 전계분포를 확대해서 검토한 결과 그림 6과 같이 도체와 외함사이에 전계가 집중되는 양상을 볼 수 있다. 따라서 부싱의 플랜지 부분으로의 수분침투나 내부의 보이드는 부분방전을 유발할 수 있다. 폴리머 부싱을 주상변압기에 적용할 경우 가장 중요한 것은 우선 플랜지 부분으로의 수분침투 가능성을 억제하며 부싱 제작시 내부에 보이드 발생을 없애야 한다.

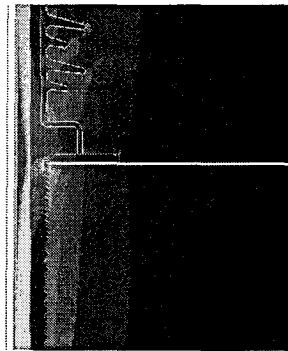


그림 6. 플랜지 부분의 전계집중 양상

그림 7은 플랜지를 금속으로 제작할 경우에 대한 모델링을 나타낸다. 폴리머 플랜지의 경우에는 외함만이 접지가 되지만, 금속 플랜지를 적용할 경우는 플랜지 자체도 접지가 된다. 이러한 영향에 의해 전계분포가 어떻게 달라지는지를 검토하기 위해 금속 플랜지 모델에 대해서도 전계해석을 검

토하였다.

그림 8은 금속 플랜지일 경우의 전체적인 전계 분포를 나타낸다. 최대 전계값은 17.5kV/cm로 나타났다으며, 주요 전계 집중 부분은 도체의 전극부분 및 도체와 부싱사이, 부싱 플랜지 부분에서 나타났다. 그림 9는 플랜지 부분을 확대하여 전계분포를 검토한 결과를 나타낸다. 플랜지와 도체사이에 전계 집중되는 양상을 확인 할 수 있으며 플랜지와 외함이 접합되는 부분에서 주로 나타났던 폴리머 플랜지와 달리 금속 플랜지와 부싱이 접합되는 두 끝부분에서 전계가 집중되는 현상이 나타나고 있다.

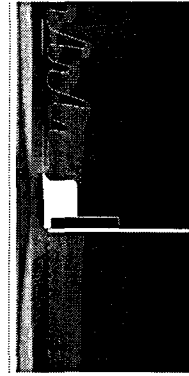


그림 9. 플랜지 부분의 전계분포

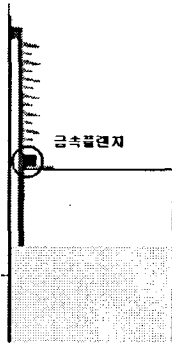


그림 7. 금속플랜지 적용 모델링

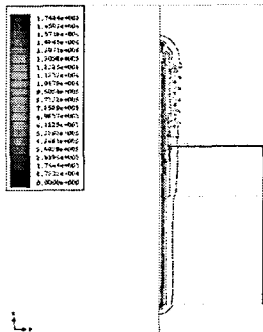


그림 8. 금속플랜지 적용모델의 전체적인 전계분포

3.2 제작

주상변압기의 부싱의 내부 기계적인 역할을 하는 내부 구조재의 재료는 표 2와 표 3의 기계적 및 전기적 특성을 고려한 재질을 선택하여 제작하였다. 또한, 그림 7은 제작된 폴리머 부싱 하우징을 제작하기 위한 금형을 모습을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 내부 구조재에 실리콘 고무 Shed를 입힌 다음 단자 클램프를 삽입하여 외함에 조립하게 된다.

표 2. 재질의 기계적 특성

기계적 특성	단 위	A	B	C
인장강도	kg/cm ²	870	1200	700-800
신율	%	30	3	1-1.5
굴곡강도	kg/cm ²	1200	1800	1100-1300
굴곡탄성률	kg/cm ²	30,000	78,000	
Rockwell 경도	R-Scale	120	91	

표 2. 재질의 전기적 특성

전기적 특성	단 위	A	B	C
절연파괴강도	kV/mm	23	30	18-20
비유전율/1MHz	-	3.2	3.6	4
체적저항	Ω·cm	10 ¹⁴	10 ¹⁶	10 ¹⁵
내아크성	sec	190	126	182-186

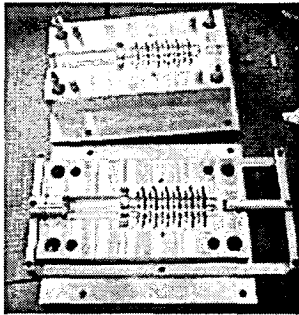


그림 7. 하우징 사출 금형

4. 결 론

주상 변압기의 오손에 의한 절연 및 섬락특성 저하에 의한 고장으로 인해 발생하는 각종 사고를 방지하기 위하여 실리콘 고무 부싱의 개발에 있어서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 주상 변압기에 적용하기 위해 폴리머 부싱을 종래의 자기 부싱 사양에 적합하도록 설계하였다. 설계 부싱에 대한 전계해석을 검토한 결과 플랜지 부분의 전계 집중 양상을 확인할 수 있었으며, 플랜지 형태에 따라 전계분포의 차이가 나타남을 알 수 있으나, 그 값은 거의 유사하였다.
- 2) 하우징 소재로 사용된 실리콘 고무에 대하여 각종 특성 시험을 실시하였으며, 특히 장기 내구성을 확인할 수 있는 트래킹 휠 및 내후성 시험을 실시한 결과 우수한 소재를 개발품에 적용하였다.
- 3) 제작된 개발품은 한전규격인 일반형 주상변압기 및 주상변압기 부싱 규격에 따라 시험한 결과 전기적, 기계적 성능 모두 양호한 것을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청의 산학연 컨소시엄 공동 연구개발사업의 연구비 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- [1] Willie B. Freeman, Tor Orbeck, Eric Moal, "Development of Conial Silicone Rubber Bushings to Replace Porcelain on SF₆ Circuit", Transmission and Distribution Conference, pp. 659-665, 1994.
- [2] Chris S. Engelbrecht, Ralf Hartings, Helena Tunell, "Pollution Tests for Coastal Conditions on an 800kV Composit Bushing", IEEE Trans. Power Deliv., Vol.18, No.3, pp.953-959, July 2003.
- [3] INMR, "Bushings : An Overview", July-Aug, 2002.
- [4] 한전표준구매시방서, "내염형 주상변압기 부싱(22.9kV-Y용)", PS149-502, 2003.