

발변전용 피뢰기의 구조 및 ZnO 바리스터 소자의 전기적 특성

조한구*, 한세원*, 이운용*, 윤한수*, 최인혁**
한국전기연구원*, 전력연구원**

Structure of Station Class Lightning Arresters and Electrical Characteristics of ZnO Varistor Blocks

Han-Goo Cho*, Se-Won Han*, Un-Yong Lee*, Han-Soo Yoon*, In-Hyuk Choi**
KERI*, KEPRI**

Abstract

This paper presents structural characteristics of station class lightning arresters and electrical characteristics of manufactured ZnO varistor blocks which are usable in those arresters. Three types of station class lightning arresters were investigated and those are a ceramic arrester, a FRP tube type polymer arrester, and a FRP rod type polymer arrester. Each arrester has merits and demerits with structural characteristics. In general, polymer arresters were made of silicon rubber for housing materials, FRP tube or rod for mechanical strength, ZnO blocks for electrical characteristics, and metal parts for electrical contact and the silicon rubber, the housing materials, was directly injected to the arrester module which was assembly composed of electrodes, ZnO blocks and FRP tube or rod, and to prevent the nonlinear electric fields distribution on upper parts of arresters, the grade ring was adopted to the upper electrodes. The reference voltage, nonlinear coefficient, residual voltage, and voltage ratio of manufactured ZnO varistors are 4.90kV, 50, 9.54kV, 1.94, respectively. Compared to designed electrical characteristics, the reference voltage was low for 600V and the voltage ratio was slightly high. However, the characteristics of discharge withstand was so excellent that the mechanical destruction does not occur at the impulse current of $8/20\mu\text{s}$ 10kA for 100 times.

Key Words : arresters, varistor, reference voltage, nonlinear coefficient, residual voltage

1. 서 론

현재 국내의 전력계통에 시설되어 있는 많은 전력기기 및 장치들은 외국 기술의 도입 및 산학연의 지속적인 연구를 통해 많은 부분 국산화를 이룩하여 왔다. 한편 발변전소 및 송전선로에 사용되는 전력기기들은 계통에 사용되는 전압이 높을 뿐만 아니라 사고의 위험성이 크고, 보다 안정성이 확보될 필요가 있다. 하지만 국내 기술의 부족으로 전량 수입에 의존하는 기기 및 장치들이 다수 존재하고, 국산화가 이루어진 분야 또한 핵심 부품은 수입에 의존하고 있는 실정이다. 특히, 전력계통에서 낙뢰 및 이상과전압으로부터

전력기기를 보호하는 피뢰기에 있어서 배전용의 경우, 과거 다년간의 연구를 통한 기술 축적으로 ZnO 소자 제작 및 피뢰기를 제작하는 업체가 다수 있어 국산화를 이루었지만, 발변전용 및 송전선로용 피뢰기의 경우 전량 수입에 의존하고 있다. 또한 발변전용 및 송전선로용 피뢰기의 경우 기술 선진국에서 이미 피뢰기 제작에 관계된 특허 및 기술들을 다량 보유하고 있어, 국산화를 더욱 어렵게 하고 있다.

따라서, 본 논문에서는 발변전용 피뢰기의 국산화를 위한 기초 연구로서 154kV 계통에 사용되고 있는 발변전용 피뢰기의 구조 및 전기적 특성을 조사하고, 발변전용 피뢰기의 ZnO 바리스터 소자

를 제작하여 전기적 특성을 관찰하여, 발변전용 피뢰기뿐만 아니라 향후 345kV 송전용 피뢰기 개발에 기초를 다지고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 발변전용 피뢰기

현재 국내 및 각국에서 사용되고 있는 발변전용 피뢰기에 대해서 간단한 구조적 특징 및 전기적 특성에 대해 조사하여 ZnO 소자 제작에 참고하였다.

2.2 발변전용 ZnO 바리스터 소자의 제작

본 연구에서는 발변전용 피뢰기 사양에 적합한 ZnO 바리스터 블록을 일련의 세라믹 공정을 통해 제작하였다. 먼저 주원료인 ZnO와 Bi₂O₃, Co₃O₄ 및 Sb₂O₃ 등의 첨가물들을 원료 조성에 따라 칭량하였다. 칭량된 첨가물들은 Ball mill에서 24시간 분쇄 및 혼합하였으며, 그 후 충분히 Mixing된 ZnO 원료와 함께 15-17 시간 동안 다시 Ball mill하였다. 분쇄 및 혼합된 원료 slurry는 Spray dryer에 의해 분무 건조하여 조립화하였으며, 건조된 Granule의 입자 크기는 약 80-100 μ m정도가 되게 하였다. 또한 건조된 원료 분말은 Seperator를 이용하여 입자 사이즈 150 μ m 이하의 크기로 분급하였고, 이 후 성형 압력 820kg/cm²으로 성형하였다. 성형된 ZnO 바리스터 블록들은 터널(tunnel) 전기로에서 1차 및 2차 소성하였으며, 그 후 절연 코팅, 연마 및 전극처리 과정을 거쳐 최종 ZnO 바리스터 소자를 제작하였다. 표 1에 ZnO 소자의 성형 조건 및 소성 후의 변화된 물성을 나타내었다.

표 1. ZnO 소자 소성 전·후의 기본 물성

소성	직경 (mm)	높이 (mm)	밀도 (g/cm ³)
전	76.8	36.0	3.2-3.3
후	64.5-65.0	30	5.42-5.49
수축율(%)	16.0-17.5	17.4-18.0	

한편 제작된 ZnO 바리스터 소자는 동작개시전압, 제한전압, 방전내량 특성 등 피뢰기 소자 평가

시험을 행하여, 발변전용 피뢰기용 ZnO 소자로서의 가능성을 검토하였다.

3. 결과 및 고찰

발변전용 피뢰기는 크게 그림 1과 같이 하우스형 재질에 따라 자기형과 폴리머형으로 나눌 수 있으며, 현재 현장에는 두 종류 모두 사용되고 있으나, 신규로 설치되는 피뢰기는 대부분 폴리머 피뢰기가 차지하고 있다.

그림 1에 나타난 자기 피뢰기 및 폴리머 피뢰기는 비직선 특성을 갖는 ZnO 블록, 내부의 기계적 특성을 담당하는 FRP는 물론 단락시 폭발 비산을 방지할 목적으로 방압장치가 기본적으로 설치되어 있었으나, 최근에는 피뢰기 모듈에 실리콘 고무를 일체형으로 사출하여 별도의 방압장치를 가지지 않은 제품도 있다. 이러한 피뢰기는 폴리머 하우스 및 FRP bar 또는 rod의 채움으로 방압성을 크게 개선하였기 때문이다. 이처럼 각각의 피뢰기는 서로 다른 구조로 인하여 각각 장·단점을 가지고 있는데, 자기 피뢰기는 세가지 구조 중 중간 정도의 기계적 강도와 가격을 가지고 있지만, 고장전류 후에 2차적인 열충격이 일어날 수 있다. 또한 폴리머 피뢰기 중 그림 1과 같이 FRP 튜브를 사용한 피뢰기의 경우는 가장 우수한 방압 특성을 가지고 있지만, 가격면에서 다른 제품에 비해 고가이며, 구조 또한 일체형 피뢰기에 비해 복잡하다. 끝으로 피뢰기 모듈에 일체형으로 사출된 피뢰기는 제한적인 기계적 강도와 우수한 방압 특성을 가지며 저가이지만, 단점으로는 부적당한 핸들링에 의해 내부 구조에 예기치 못한 손상의 위험이 있다[1].

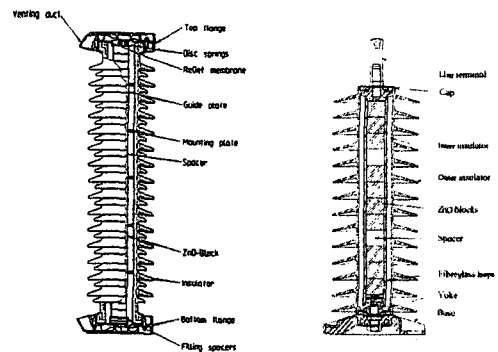


그림 1. 자기형 및 폴리머형 발변전용 피뢰기

한편 폴리머 피뢰기는 기계적인 강도를 만족하기 위해 일반적으로 2단 또는 3단의 구조를 가지게 되며, 일부 제품에서는 비선형적인 전압분포를 해결하기 위해 Grade Ring을 채용한 제품도 있으며, 일부 연구자들은 비선형적인 전압분포를 개선하기 위해 Grade Ring 채용 외에도 커패시턴스가 큰 ZnO block을 상부에 위치시켜 문제점을 해결하려는 연구도 진행되고 있다[2].

한편 국내에 적용되는 발변전용 피뢰기의 정격을 표 2에 나타내었으며, 표 3에는 발변전용 피뢰기 제작 시에 적용 가능한 정격전압 4 kV인 ZnO 바리스터 소자의 특성을 나타내었다. 본 연구에서 제작된 ZnO 소자는 표 3의 정격에 부합하도록 제작하였으며, 이 후에 발변전용 피뢰기 시제품 제작 시에 피뢰기 내부에 위치하게 된다.

표 2. 발변전용 피뢰기의 정격

항 목	정 격	
연속운전전압 (kV)	115	
정격전압 (kV)	144	
공칭방전전류 (kA)	10	
선로방전등급	3	
보호레벨 (kV)	뇌임펄스	375
	개폐임펄스	315
	급준전류	413
방압등급 (kA)	40, 50, 63	

표 3. 발변전용 피뢰기 ZnO 소자의 정격

항 목	정 격
직경 (mm)	60-70
정격전압 (kV)	4
연속운전전압 (kV)	3.2
동작개시전압 (kV)	5.56
공칭방전전류 (kA)	10
선로방전등급	3 등급
제한전압 (kV)	10
대전류 내력 (kA)	100
제한전압비 (V_{10kA}/V_{1mA})	1.8
피뢰기내의 소자 개수	36

정격전압 4kV인 ZnO 바리스터 소자는 피뢰기를 2단으로 제작시 각 단에 18개씩 총 36개의 소자가

필요하게 된다. 한편 표 4에 실제 제작된 ZnO 바리스터 소자의 동작개시전압, 비직선 지수, 제한전압 및 제한전압비의 평균값을 나타내었다.

표 4에서 알 수 있는 바와 같이 비직선 지수의 경우, 일반적으로 피뢰기에 사용되는 ZnO 소자의 값인 30-60 정도의 범위 내에 있는 것을 확인할 수 있었으며, 동작개시전압은 설계했던 값에 비해 약 600 V정도 부족한 것으로 나타났다. 또한, 제한전압은 목표치 이하로 제작되었으나, 제한전압비를 고려할 때 조성비의 변화 및 소결온도의 변화를 통해 전기적 특성이 개선되어야 할 것으로 사료된다.

표 4. 제작된 피뢰기 ZnO 소자의 전기적 특성

항 목	특성값
$V_{100\mu A}$ (kV)	4.68
V_{1mA} (kV)	4.90
비직선 지수	50
제한전압 (kV)	9.54
제한전압비	1.94

일반적으로 동작개시전압의 증가는 Sb_2O_3 등과 같은 ZnO 입자 성장 억제 첨가물을 통한 방법이나 소결온도의 저하에 의해서도 이루어질 수 있으며, 제한전압비는 Al_2O_3 등의 첨가물에 의해서 조절 가능하다고 보고되고 있다[3]. 그러나 가속열화시험이나 대전류시험 등과 같은 여러가지 평가시험 특성을 만족하기 위해서는 원료 조성이나 소결온도 등 보다 다양한 실험이 필요할 것으로 생각된다.

한편 ZnO 소자의 방전내량특성을 평가하기 위해 10kA, 8/20 μ s의 뇌충격 전류를 제작된 소자에 100 회 인가하였으나, 관통과피 및 연면 심략 등이 발생하지 않아 이의 특성은 양호한 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 논문에서는 현재 국내 발변전소에 사용되고 있는 폴리머형 피뢰기의 구조 및 전기적 특성 등을 관찰하였으며, 향후 발변전용 피뢰기에 적용 가능한 ZnO 소자를 제작하여 그 특성을 조사한 결과는 다음과 같다.

- [1] 발변전용 피뢰기는 자기 및 폴리머 피뢰기로 구분되며, 폴리머 피뢰기는 다시 내부 구조적

으로 FRP 튜브 및 rod형으로 구분되고, 각각의 피뢰기는 구조적인 특징에 의해 장·단점을 가지고 있다.

- [2] 발변전소에 사용되는 피뢰기는 비선형적인 전압분포를 개선시키기 위해 Grade ring을 채용하는 경우도 있다.
- [3] 제작된 ZnO 바리스터 소자의 동작개시전압, 비직선 지수, 제한전압 및 제한전압비는 각각 4.90kV, 50, 9.54kV, 1.94이다.
- [4] 제작된 ZnO 바리스터 소자의 전기적 특성은 최초 설계된 특성에 비해 동작개시전압은 낮고, 제한전압비는 높게 나타났다.
- [5] ZnO 바리스터 소자는 10kA, 8/20 μ s의 뇌충격 전류 100회 인가 후에도 관통파괴 및 연면접락이 발생하지 않는 우수한 방전내량특성을 나타내었다.

참고 문헌

- [1] K. Steinfeld, R. Gohler, and A. L. Frederdorff, "Rating and Design of Metal-oxide Surge Arresters for High Voltage AC System", Power System Technology Int. Conf., Vol. 3, pp. 1416-1421, 2002.
- [2] L. Xuezhong and L. Fuyi, "The Influence of Varistor Disk Capacitance of MOV Arrester on its Voltage Distribution", Proc. 6th Int. Conf. IEEE, pp. 761-764, 1999.
- [3] J. Fan and R. Freer, "The Role Played by Ag and Al Dopants in Controlling the Electrical Properties of ZnO Varistor", J. Appl. Phys., Vol. 77, pp. 4795-4800, 1995.