

## 초고압 피뢰기용 ZnO 소자의 장시간 방전내량과 균일성

조한구, 유대훈, 이유정  
한국전기연구원

### Long Duration Current Impulse Withstand Characteristics and Uniformity of ZnO Blocks for High Voltage Surge Arresters

Han-Goo Cho, Dae-Hoon Yoo, You-Jong Lee  
KERI

**Abstract :** This paper describes the evaluation of long duration current impulse withstand characteristics of ZnO blocks for high voltage surge arresters. Four ZnO varistors were manufactured with the general ceramic production method and three abroad varistors were also prepared to be compared. All varistors exhibited high density, which was in the range of 5.42~5.49g/cm<sup>3</sup>. In the electrical properties, the reference voltage of all samples was in the range of 5.11~5.72kV and the residual voltage was in the range of 8.314~9.305kV. In the long duration current impulse withstand test, sample 2 and 3 failed at the 2nd and 4th shot of series impulse currents, respectively, but the rest survived 18 shots during the test. Before and after this test, the variation ratio of the residual voltage of samples survived were below 1.7%, which were in the acceptance range of 5%.

**Key Words :** Arrester, Varistor, Residual voltage, Uniformity, Long duration current impulse withstand

#### 1. 서론

낙뢰 및 선로개폐 등으로부터 발생하는 이상 과전압에 의한 전력사고는 빈번히 발생하고 있으며, 이를 위한 대책으로 전력용 피뢰기가 개발되어 현재까지 그 성능에 관한 많은 연구가 행해지고 있다.

한편 피뢰기 시험에 관해서는 국제규격 IEC 60099-4가 세계적으로 가장 많이 적용되고 있으며, 국내 규격 역시 상당부분 이 규격을 따르고 있다. 또한 이 규격내의 소자 시험에 관해서는 동작개시전압시험 및 동작책무시험 등 다양한 시험항목을 제공하고 있으며, 특히 본 연구에서 제작된 공칭방전전류 10 kA, 선로방전등급 3의 ZnO 소자에 대해서는 배전용 ZnO 소자 시험과 비교하여 장시간 방전내량시험이 보다 가혹한 것으로 알려져 있다.

따라서 본 논문에서는 초고압용으로 제작된 ZnO 소자와 외산 소자와의 기본적인 전기적 특성과 더불어 장시간 방전내량시험을 실시하였으며, 시험이 완료된 소자에 대해서 균일성 평가와 미세구조 분석을 통하여 소자의 에너지 내량을 향상하고자 하였다

#### 2. 실험 방법

##### 2.1 ZnO 소자의 제작

표 1과 같은 원료 조성식에 따라 일반적인 세라믹 공정으로 ZnO 소자를 제작하였다.

먼저 주원료 ZnO 및 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 등의 특성 개선용 첨가물들을 각각 칭량하였다. 칭량된 ZnO와 첨가물들은 각각 4시간 및 24시간 동안 불밀을 행한 후, 다시 혼합하여 18시간 동안 불밀하였다. 이처럼 습식으로 분쇄 및 혼합된 원료 슬러리를 Spray Dryer에 의해 분무

건조하여 조립화하였다. 건조된 원료분말은 seperator를 이용하여 입자 사이즈 150 μm 이하로 분급하였고, 이 후 성형압력 800 kg/cm<sup>2</sup>, 높이를 각각 35~36 mm로 성형하였다. 성형된 ZnO block은 터널 전기로에서 1차 및 2차 소성하였으며, 그 후 절연코팅, 연마 및 전극처리 과정을 통해 최종 ZnO 소자로 제작되었다.

표 1. ZnO 소자의 원료 조성식.

원료	mol%	원료	mol%
ZnO	96.0	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0.3
Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.0	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.3
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.7	NiO	0.3
Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0.7	기타	0.003~0.3

##### 2.2 장시간 방전내량시험

제작된 ZnO 소자와 외산소자는 기본적인 전기적 특성을 평가하기 위해 동작개시전압과 제한전압을 측정하였다. 동작개시전압은 DC 1 mA 흐를 때 소자에 인가되는 전압으로 측정하였으며, 제한전압은 공칭방전전류(10 kA, 8/20 μs)에서 측정하였다. 한편 장시간 방전내량 시험은 IEC 60099-4 규격을 의해 먼저 개폐서지 제한전압(250A, 1000A, 40/100 μs)을 측정하여 ZnO 소자에 유입되는 에너지를 식 (1)에 의해서 계산한 후 계산된 에너지에 해당하는 전류를 3회 6군으로 총 18회 인가하였다.

$$W = U_{res} \cdot (U_L - U_{res}) \cdot 1/Z \cdot T \quad (1)$$

여기서, U<sub>res</sub>는 250 A에서 측정된 개폐서지 제한전압값이며, 그 외 파라미터들은 표 2와 같이 규격에 명시되어 있다. 장시간 방전내량시험의 시험방법 및 순서를 그림 1

에 나타내었다.

표 2. 장시간 방전내량 시험 파라미터.

공칭방전전류	10 kA
선로방전등급	3
선로의 서지 임피던스 Z( $\Omega$ )	1.3 $U_r$
규약 파고 지속 시간 T( $\mu$ s)	2400
충전전압 $U_L$ (kV <sub>dc</sub> )	2.8 $U_r$

### 3. 결과 및 고찰

표 3은 동작개시전압과 제한전압 그리고 계산된 단위 두께당 동작개시전압 및 제한전압과 제한전압비를 나타내었다. 제작된 소자는 외산소자에 비해 높이가 조금 높았으나, 단위 두께당 동작개시전압의 저하로 소자의 동작개시전압 및 제한전압은 외산소자에 비해 낮은 값을 나타내었다. 하지만 동작개시전압에 대한 제한전압의 비인 제한전압비는 1.63 정도로 시험된 모든 소자들이 우수한 특성을 나타내었다. 제작된 소자의 정격전압은 3.6kV이며, 외산소자는 4.0kV로, 제작된 소자는 낮은 동작개시전압으로 인한 정격전압의 감소로 동일 정격의 피뢰기에 적용하기 위해서는 외산소자에 비해 더 많은 소자를 채용해야하기 때문에 피뢰기의 길이가 길어지므로 단위 두께당 동작개시전압의 상승이 필요한 것으로 판단되었다. 배전용 및 발전용 피뢰기에 적용되는 ZnO 소자의 단위 두께당 동작개시전압이 200V 내외인 것을 감안하면, mm당 30V 정도의 전압상승이 필요하며, ZnO 소자의 동작개시전압은 ZnO 결정립 크기에 의존하므로 첨가물 또는 소결온도를 조절함으로써 충분히 성취 가능할 것으로 판단되었다.

표 3. ZnO 소자의 전기적 특성

		$V_{1mA}$	$V_{10kA}$	$V_{1mA}/mm$	$V_{10kA}/mm$	제한 전압비
		kV	kV	V	V	
국산	1	5.11	8.314	176.2	286.7	1.627
	2	5.12	8.338	176.6	278.5	1.629
	3	5.22	8.474	174.0	282.5	1.623
	4	5.25	8.523	175.0	284.1	1.623
외산	5	5.56	9.068	205.9	335.9	1.631
	6	5.72	9.305	211.9	344.6	1.628
	7	5.51	9.024	204.1	334.2	1.638

표 4는 장시간 방전내량시험시 소자에 유입되는 에너지를 계산하기 위해 측정된 각각의 전류에서의 개폐서지 제한전압값과 계산된 유입에너지를 나타내었다. 식 1)에서 알 수 있듯이 제작된 국산소자는 조금 낮은 정격전압으로 인해 유입에너지가 외산소자에 비해 조금 낮은 것으로 나타났으나, 소자에 인가되는 전류 파고값은 600A 정도로 큰 차이는 없었다. 본 연구에서 장시간 방전내량 시험에 적용되는 개폐서지전류는 선로방전등급 3에 해당하는 것으로, 배전용 시험조건에 비해 8배의 파고값 및 2배 이상

의 지속시간으로 상당히 가혹한 스트레스이다. 배전용의 경우 장시간 방전내량시험 보다는 대전류 충격시험(65kA, 4/10 $\mu$ s)에서 소자의 파괴가 빈번히 발생하지만, 적용되는 선로의 전압이 상승하고 피뢰기의 사양이 고사양으로 갈수록 대전류 충격시험보다는 장시간 방전내량시험이 보다 가혹한 것으로 알려져 있다.

표 4. ZnO 소자의 개폐서지 제한전압 및 유입되는 에너지

시험 시료	250 A	1000 A	유입에너지 kJ
	kV	kV	
1	6.593	7.037	11.790
2	6.618	7.081	11.750
3	6.718	7.195	11.583
4	6.773	7.244	11.486
5	7.533	7.976	12.749
6	7.538	8.009	12.740
7	7.571	8.023	12.680

장시간 방전내량시험 전·후의 제한전압값 및 변화율을 나타내었다. 제작된 소자는 총 4개 중 2개가 시험 중에 파괴되어 제한전압을 측정할 수 없었으며, 시험을 통과한 2개는 변화율이 -0.34% 및 0.05%로 거의 변화가 없는 것으로 나타났으며, 외산소자는 모두 1.7% 이하로 허용 범위인 5% 이내에 있는 것으로 나타났다.

### 4. 결론

- [1] ZnO 소자의 동작개시전압 및 제한전압은 제작 소자와 외산 소자의 경우 각각 5.11~5.25kV, 8.314~8.523kV 및 5.51~5.72kV, 9.024~9.305kV로 나타났다.
- [2] 장시간 방전내량시험 동안에 제작 소자는 4개 중 2개가 파괴되었으며, 파괴되지 않은 소자들은 제한전압 변화율이 0.5 % 이하로 매우 안정된 특성을 나타낼 수 있었다.
- [3] ZnO 소자 표면 및 절연 코팅부의 미세구조 관찰에서 제작 소자는 기공이 조금 분포하는 반면에 외산소자는 치밀한 구성을 나타내었다.

### 참고 문헌

- [1] S. Shirakawa and S. Kojima, "Review of Surge Arresters for Power Systems and Transition of their Standards", T.IEE Japan, Vol. 124-A, No. 8, pp. 561-568, 2004.
- [2] IEC 60099-4, Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems, 2004.
- [3] R. Perkins, "Metal Oxide Discs Impact Performance of Arresters", INMR, Vol. 12, No. 2, pp. 60-64, 2004.
- [4] S. Boggs, J. Kuang, H. Andog, and S. Nishiwaki, "Increased Energy Absorption in ZnO Arrester Elements Through Control of Electrode Edge Margin", IEEE Trans. PWRD, Vol. 15, No. 2, pp. 562-568, 2000.