

발변전소 피뢰기용 산화아연소자의 제작 및 성능평가

조한구*, 한세원*, 김석수*, 윤한수*, 이운용*, 오철규**, 유근양**
한국전기연구원*, (주)평일**

Fabrication and Performance Evaluation of Zinc Oxide Varistors for the Arresters used for Station System

Han-Goo Cho*, Se-Won Han*, Suk-Soo Kim*, Han-Soo Yoon*, Un-Yong Lee* and Kun-Yang Yu**
KERI*, (주)PYUNGIL. Co. Ltd.**

Abstract

This paper presents the fabrication and performance evaluation of zinc oxide varistors for the arresters used for station system. ZnO varistors were fabricated with typical ceramic production methods and the structural and electrical characteristics were investigated. All varistors exhibited high density, which were in the range of 5.41~5.49g/cm³. In the electrical properties the reference voltage increased in the range of 4.410~5.250kV with increasing their thickness and the residual voltage exhibited the same trends as the reference voltage. In the long duration current impulse withstand test, E-2 and F-1 samples failed in the two and four shots, respectively, but E-1 and F-2 samples survived 18 shots during the test. Before and after this test, the variation ratio of residual voltage of E-1 and F-2 samples were -0.34% and 0.05%, respectively, which were in the acceptance range of 5%. According to the results of tests, it is thought that if the fabrication process such as insulating coating, sintering condition, and soldering method is improved, these ZnO varistors would be possible to apply to the station class arresters in the near future.

Key Words : arrester, varistor, reference voltage, residual voltage, station class, transmission line discharging

1. 서 론

전력품질의 향상 및 전력계통의 안정화를 위해 사용되는 피뢰기는 전압제한장치로서, 낙뢰 및 선로개폐에 의해 발생하는 이상 과전압으로부터 선로 및 전력기기를 보호하여 사고 이후에도 단전없이 신속한 전력공급을 위해 널리 사용되고 있다.[1-2] 이러한 피뢰기에 사용되는 ZnO 소자는 1960년대 말 일본에서 처음 개발된 이래 제조공정 및 첨가물에 관한 많은 연구가 행하여져 왔으며, 현재는 기존 제품의 동작개시전압 및 제한전압의 2배인 제 3세대 ZnO 소자가 개발되어 송전선로 및 GIS용 소자로 널리 사용되고 있다.[3-6] 한편

국내의 ZnO 소자 기술은 선진국에 비해 크게 뒤떨어져 있으며, 현재 18kV 배전용 피뢰기용 소자의 경우 일부 업체에서 직접 소자를 제작하고 있다. 피뢰기 기술의 70~80%가 ZnO 소자임을 고려해 볼 때, 국산 소자의 개발은 피뢰기의 국산화에 있어서 기술적 측면에서 뿐만 아니라 경제성 측면에서도 중요한 과제임은 두 말할 필요가 없다. 본 논문에서 일반적인 세라믹 공정을 통해 ZnO 소자를 직접 제작하였으며, 이렇게 제작된 ZnO 소자는 공칭방전전류 10kA, 선로방전등급 3등급의 소자로서, 동작개시전압, 제한전압 및 장시간 방전내량 특성 등을 조사하여 발변전소 피뢰기용 소자로의 응용 가능성을 검토하였다.

2. 실험 방법

2.1 ZnO 소자의 제작

표 1과 같은 원료 조성식에 의해 먼저 주원료 ZnO 및 Bi₂O₃, Sb₂O₃ 및 Co₃O₄ 등의 첨가물을 각각 칭량하였다. 그 후 ZnO와 첨가물들은 각각 4시간 및 24시간 동안 불밀을 행한 후, 다시 혼합하여 18시간 동안 불밀하였다. 이렇게 분쇄 및 혼합된 원료 슬러리를 Spray Dryer에 의해 분무 건조하여 조립화하였다. 건조된 원료분말은 seperator를 이용하여 입자 사이즈 150 μ m 이하로 분급하였고, 이후 성형압력 800kg/cm²로, 높이를 각각 30.5~36mm로 성형하였다. 성형된 ZnO block들은 터널 전기로에서 1차 및 2차 소성하였으며, 그 후 절연코팅, 연마 및 전극처리 과정을 통해 최종 ZnO 바리스터 소자로 제작되었다.

표 1. ZnO 소자의 원료 조성식

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

2.2 ZnO 소자의 전기적 특성 시험

제작된 ZnO 소자의 전기적 특성을 평가하기 위해 동작개시전압, 제한전압 및 장시간 방전내량 시험을 시행하였다. 먼저 동작개시전압은 DC 1mA가 흐를 때 소자에 인가되는 전압으로 측정하였으며, 제한전압은 공칭방전전류인 10kA에서 8/20 μ s의 파형에서 측정하였다.

그리고 장시간 방전내량 시험은 일반적으로 공칭 방전전류 2.5kA 및 5kA인 ZnO 소자의 경우는 시험 전류 및 인가시간이 규격에 규정되어 있으나, 공칭 방전전류 10kA 이상의 중책무 소자에 대해서는 ZnO 소자에 유입되는 에너지를 식 1)에 의해서 계산한 후 계산된 에너지 이상을 소자에 3회 6군으로 총 18회 인가하도록 규정하고 있다.

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

여기서, U_{res}는 낮은 전류에서 측정된 개폐충격제한 전압 측정치이며, 그 외 파라미터들은 표 2와 같이 규격에 명시되어 있다. 한편 제한전압 시험을 위해 시험기에 장착된 ZnO 소자의 사진을 그림 1에 나타내었다.

표 2. 장시간 방전내량 시험 파라미터

공칭방전전류	10 kA
선로방전등급	3
선로의 서지 임피던스 Z(Ω)	1.3 U _r
규약 파고 지속 시간 T(μ s)	2400
충전전압 U _L (kV _{dc})	2.8 U _r

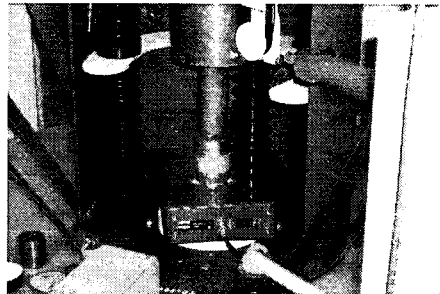


그림 1. 제한전압 시험 중의 ZnO 소자 사진

3. 결과 및 고찰

제작된 ZnO 소자의 소성전과 전극 처리후의 직경 및 높이 변화와 밀도를 표 3에 나타내었다. 성형공정에서 각각 30.5~36mm로 제작된 ZnO block들은 전극처리 후 각각 25~30mm로 1mm간격으로 5종류가 제작되었다. 표에서 알 수 있듯이 최종 제작된 ZnO 소자의 밀도는 대체로 5.4이상으로 우수한 치밀성을 나타내었으며, 27mm 소자에서 5.49의 가장 높은 밀도가 나타났다.

표 4에는 제작된 ZnO 소자의 동작개시전압 및 제한전압 특성을 나타내었다. 동작개시전압은 ZnO 소자의 높이에 의존하므로 소자의 높이가 25~30

표 3. ZnO 소자의 구조적 특성 변화

		소성 전		전극처리 후		
		직경	높이	직경	높이	밀도
		mm	mm	mm	mm	g/cm ³
A	1	76.8	30.5	64.5	25	5.46
	2	76.8	30.5	64.5	25	5.45
B	1	76.8	31.5	65.0	26	5.48
	2	76.8	31.5	65.0	26	5.46
C	1	76.8	32.5	65.0	27	5.49
	2	76.8	32.5	65.0	27	5.49
D	1	76.8	33.6	65.0	28	5.42
	2	76.8	33.6	65.0	28	5.41
E	1	76.8	35	65.0	29	5.42
	2	76.8	35	65.0	29	5.42
F	1	76.8	36	65.0	30	5.46
	2	76.8	36	65.0	30	5.45

mm로 증가함에 따라 4.410~5.250kV로 증가하는 경향을 나타내었으며, 제한전압도 동일한 경향을 나타내었다.

한편 ZnO 소자의 단위 두께당 동작개시전압과 제한전압을 조사한 결과에서는 동작개시전압은 176V 내외로 비슷한 값을 나타내었으나, 제한전압의 경우 전체적으로 큰 값의 변화는 없었지만, A-1 소자의 경우 다른 소자들에 비해 30V 정도 높았으며, 이로 인해 제한전압비가 가장 높은 1.785를 나타내었다. 일반적으로 파괴기에 적용되는 ZnO 소자의 동작개시전압이 200V 내외인 것을

표 4. ZnO 소자의 전기적 특성

		V _{1mA}	V _{10kA}	V _{1mA/mm}	V _{10kA/mm}	제한 전압비
		kV	kV	V	V	
A	1	4.410	7.873	176.4	314.9	1.785
	2	4.450	연면섬락	178.0	-	-
B	1	4.520	7.385	173.8	284.0	1.634
	2	4.560	7.409	175.4	285.0	1.625
C	1	4.770	7.764	176.7	287.6	1.628
	2	4.760	7.889	176.3	292.2	1.657
D	1	4.940	8.022	176.4	286.5	1.624
	2	4.940	8.029	176.4	286.8	1.625
E	1	5.110	8.314	176.2	286.7	1.627
	2	5.120	8.338	176.6	278.5	1.629
F	1	5.220	8.474	174.0	282.5	1.623
	2	5.250	8.523	175.0	284.1	1.623

감안하면 제작된 소자의 동작개시전압은 조금 낮은 것으로 생각되었으며, 제한전압비의 경우에는 1.6 정도로 상당히 우수한 특성을 나타내어 파괴기에 적용시 보호레벨 저감이 가능할 것으로 판단되었다. 또한 A-2 소자의 경우에는 제한전압 시험시 연면섬락 발생으로 파괴되었다.

제한전압시험이 완료된 ZnO 소자들 가운데에 E와 F 소자에 한해서 장시간 방전내량 시험을 시행하였다. 먼저 장시간 방전내량 시험에 앞서 소자에 유입되는 에너지를 계산하기 위해 40/100μs 파형으로 250A 및 1000A에서 개폐서지 제한전압을 측정하였다. 이렇게 측정된 제한전압 값을 식 1)에 대입하여 유입되는 에너지를 계산한 후, 계산된 에너지 이상의 전류를 소자에 인가하였다.

표 5에 각각의 전류에서의 개폐서지 제한전압과 계산된 유입에너지를 나타내었다.

표 5. ZnO 소자의 개폐서지 제한전압 및 유입되는 에너지

시험 시료	250 A	1000 A	유입에너지
	kV	kV	
E-1	6.593	7.037	11.790
E-2	6.618	7.081	11.750
F-1	6.718	7.195	11.583
F-2	6.773	7.244	11.486

표 6. 장시간 방전내량 시험 전·후의 제한전압 변화

시험 시료	시험전	시험후	변화량	비고
	kV	kV		
E-1	8.322	8.294	-0.34	합격
E-2	8.352	-	-	2회 파괴
F-1	8.477	-	-	4회 파괴
F-2	8.518	8.522	0.05	합격

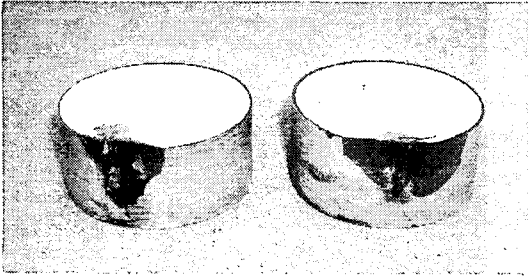


그림 2. 장시간 방전내량 시험후의 파괴사진

또한 표 6에는 총 18회의 장시간 방전내량 시험 전·후의 제한전압 및 변화율을 나타내었는데, 변화율이 5% 이하일 때 합격하게 된다. 본 연구에서 시험된 총 4개의 ZnO 소자 가운데 E-2와 F-1은 각각 2회와 4회에서 파괴되었으나, E-1과 F-2의 경우에는 시험 후에도 제한전압의 변화율이 0.5% 이내로 양호한 특성을 나타내었다. 한편 장시간 방전내량 시험 후 파괴된 E-2 및 F-1의 외형사진을 그림 2에 나타내었는데 사진에서와 같이 국부적인 과도한 열발생에 의해 puncture 현상이 발생하였으며, ZnO 소자는 결국 파괴되었다. 이 후의 ZnO 소자 제작에 있어서, 높은 에너지 내량을 위해 보다 균일한 미세구조를 가지기 위한 제조공정의 개선이 필요할 것으로 생각되었으며, 전극처리 방법 및 절연코팅재료의 개선이 필요할 것으로 사료되었다.

4. 결론

본 논문에서는 발변전소 파괴기용 산화아연소자를 제작하고, 성능을 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- [1] ZnO 소자는 25~30mm 두께로 각각 제작되었으며, 제작된 모든 소자의 밀도는 5.41~5.49g/cm³의 대체로 양호한 치밀성을 나타내었다.
- [2] 제작된 ZnO 소자는 두께가 증가함에 따라 동작개시전압은 4.410~5.250kV로 증가하였으며, 제한전압은 A 소자를 제외한 나머지 소자들은 동작개시전압과 동일한 결과를 나타내었으며, 제한전압비는 1.6 정도로 우수한 특성을 나타내었다.
- [3] 단위 두께당 동작개시전압은 모든 ZnO 소자에 서 176V 정도를 나타내었으며, 단위 두께당 제

한 전압은 A 소자를 제외하고는 모두 287V 내외의 값을 나타내었다.

- [4] 장시간 방전내량 시험에서는 E-2 및 F-1 소자는 각각 2회와 4회에서 소자가 파괴되었으나, E-1과 F-2 소자는 시험 후에도 제한전압의 변화율이 0.5% 이내로 양호한 특성을 나타내었다.
- [5] 본 연구에서 제작된 ZnO 소자의 성능을 조사한 결과에 의하면, ZnO 소자의 단위 두께당 동작개시전압을 25V 정도 상승시키고, 전극 처리 및 절연 코팅 공정을 개선한다면, 발변전소 파괴기용 ZnO 소자로서 응용 가능성이 높을 것으로 사료되었다.

참고 문헌

- [1] L. M. Levinson and H. R. Philipp, "Zinc oxide varistors—a review", Am. Ceram. Soc. Bull., Vol. 65, pp. 639-646, 1986.
- [2] T. K. Gupta, "Application of zinc oxide varistors", J. Am. Ceram. Soc., Vol. 73, pp. 1817-1840, 1990.
- [3] S. Shirakawa and S. Kojima, "Review of Surge Arresters for Power Systems and Transition of their Standards", T.IEEE Japan, Vol. 124-A, No. 8, pp. 561-568, 2004.
- [4] T. Imai, T. Udagawa, H. Ando, Y. Tanno, Y. Kayano, and M. Kan, "Development of High Gradient Zinc Oxide Nonlinear Resistors and Their Application to Surge Arresters", IEEE Trans. PWRD, Vol. 13, No. 4, pp. 1182-1187, 1998.
- [5] S. Shirakawa, S. Yamada, S. Tanaka, I. Ejiri, S. Watahiki, and S. Kondo, "Improved Zinc Oxide Surge Arresters Using High Voltage Gradient 300 V/mm, 400 V/mm ZnO Elements", IEEE Trans. PWRD, Vol. 15, No. 2, pp. 569-574, 2000.
- [6] 조한구, 한세원, 이운용, 윤한수, "발변전용 파괴기의 구조 및 ZnO 바리스터 소자의 전기적 특성", 한국전기전자재료학회 2004년도 하계 학술대회 논문집.