

송전급 피뢰기용 ZnO 바리스터 소자의 전기적 특성

김석수*, 박춘현**, 조이곤**, 박태곤**

한국전기연구원*, 동아타이어공업(주) 절연물사업팀**, 창원대학교 전기공학과**

Electrical Characteristics of ZnO Varistor for Transmission Class Arrester

Seok-Sou Kim*, Choon-Hyun Park**, I-Gon Cho**, Tae-Gon Park**

KERI*, DTR Electric Insulator Div**, ChangWon National Uni.**

Abstract

ZnO varistor for transmission class arrester($\Phi 65 \times 20 \text{mm}$) of 10kA(Class 3) grade was recently developed in Korea and is tested for the properties by switching surge operating duty test to know the line discharge class and complex surge property in electric properties.

To find out changing rate of residual voltage before and after lightning impulse residual voltage testing, the sample is cooled to room temperature after finishing switching surge operating duty test, and the rate is good as 1.0~1.7%.

The element had been considered as applicable ZnO varistor for electricity transmission from the test results of state control, switching surge operating duty, thermal stability and above test. But various tests should be required for actual application because this is a part of the to be needed for application.

Key Words : ZnO varistor for transmission class arrester, switching surge operating duty, line discharge class, lightning impulse residual voltage,

1. 서론

전력계통인 송전선로, 배전선로, 전차선로에는 회로에 사용되는 최고사용전압이 규정되어 있다. 그러나, 이러한 전력계통에는 각종 요인에 의해 이 최고사용전압을 초과하는 이상전압이 발생한다. 특히 전차선로의 경우, 회생방식 차량(PWM 방식)의 도입으로 부하 특성이 기존의 차량 방식보다 많은 변화를 나타내고 있으며, 여러 제어 방법(저항 제어, Thyristor 위상제어, PWM 제어)을 사용하는 전기차량이 한 급전구간을 동시에 운행하게 됨으로써 고조파의 합성 또는 상쇄 등 다양한 부하 패턴이 나타나고 있다. 이와 같은 원인에 의해 보호 계전기의 오동작 유발로 차단기가 동작되고, 또한 변전기에서 발생하는 내부적 혹은 외부적 요인에 의해 오동작하면서 차단 서지가 자주 발생하게 되었다.[1]

피뢰기는 보호기로서 변압기, 차단기 등 피뢰

호기와 병렬로 연결되어 선로의 정상 운전전압 레벨에서는 고 저항체(절연체)로 작용하여 대지에 대하여 누설전류를 차단하고 선로에 비정상적인 과도 전류 유입시 저 저항체(도체)로 작용하여 피뢰 호기가 절연 파괴에 이르지 않도록 대지로 과도 전류를 흘려 전력설비를 보호하는 보호기기의 일종이다.

현재 국내에서 개발된 피뢰기는 배전급에 국한되어 있을 뿐 전량 수입에 의존한 상황이지만 최근 송전급 피뢰기에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

따라서 본 논문에서는 최근 국내에서 개발된 10 kA(Class 3)급 ZnO 바리스터 소자의 전기적 특성 중 선로방전등급과 복합적인 서지 특성을 확인할 수 있는 개폐서지동작채무시험을 통해서 송전급 피뢰기용

ZnO 바리스터 소자의 성능을 확인하였다.

2. 실험

2.1 ZnO 바리스터 사양

전기적 특성을 평가할 소자의 크기가 직경 65mm, 높이 20mm인 국내에서 제작된 10kA(Class 3)급 ZnO 바리스터 소자이며, 시료의 수는 3개를 준비하였다.

2.2 동작개시전압시험

동작개시전압(바리스터 전압: V_{1mA})의 측정은 동작개시전압시험기(DC Tester)를 이용하여 바리스터에 1mA의 전류를 흘렸을 때 바리스터 양단자간의 전압을 측정하였다.

2.3 뇌충격제한전압시험

ZnO 바리스터의 개폐서지동작책무시험을 하기전의 초기 뇌충격제한전압을 측정하기 위한 시험으로 8/20 μ s의 파형을 가지는 10kA의 뇌충격전류가 ZnO 바리스터에 흐를 때 양단자간 전압을 분압기(Voltage divider)로 측정하였다.[8],[9]

2.4 개폐충격제한전압시험

ZnO 바리스터의 개폐서지동작책무시험 중 선로방전에너지를 구하기 위한 파라미터로, 10kA 선로방전 등급 Class 3의 전류 파고값은 250A, 파형은 30/60 μ s인 규정된 전류를 ZnO 바리스터에 흐를 때 양단자간 전압을 분압기(Voltage divider)로 측정하였다.[8],[9]

2.5 개폐서지동작책무시험

그림 2.1과 같은 시험방법으로 개폐서지동작책무시험을 측정하였다. 이 시험은 선로 방전 등급 3인 10,000A 피뢰기에 대한 시험이다. 초기 뇌충격제한 전압을 측정한 시료를 상태조절을 시험하였다. 상태조절은 연속운전전압(MCOV)의 1.2배를 중첩시킨 상태에서 공칭방전전류(10kA, 8/20 μ s) 충격을 5회 4군(총 20회)을 인가하고 소자를 냉각시킨 후 대전류(100kA, 4/10 μ s) 충격을 2회 인가하는 시험이다. 상태조절이 완료된 시료를 60 \pm 3 $^{\circ}$ C로 예열한 후 장시간뇌충격전류내력시험을 시행하였다. 10kA 선로 방전 시험 조건에 따라 시료에 유입되는 에너지(W)는 식 2.1에 따라 표 2.1의 파라미터로 결정한다.

$$W = U_{res} \cdot (U_L - U_{res}) \cdot 1/Z \cdot T \quad (2.1)$$

U_{res} 는 250A에서 측정한 3개 시료의 개폐충격제한 전압 중 가장 낮은 값이다.

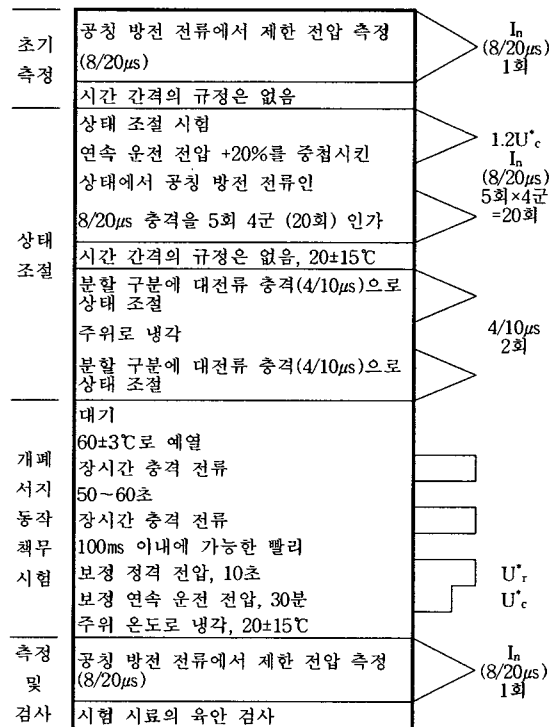
결정된 에너지에 해당하는 장시간충격전류를 50~60초의 시간간격으로 2회 시험한 후 규정된 시간내

에 상용주파전압을 인가하였다. 시료는 상용주파 전압의 인가 시간 동안 열적으로 안정해야 하며, 열 폭주가 일어나지 않아야 한다.

표 2.12 10kV, Class 3 피뢰기의 선로 방전 시험 파라미터

피뢰기 등급	선로 방전 등급	선로의 서지 임피던스 $Z(\Omega)$	규약 파고 지속 시간 $T(\mu s)$	충전 전압 $U_L(kV_{dc})$
10,000A	3	1.3 U_r	2,400	2.8 U_r

* U_r : 시료의 정격 전압 (kV_{rms})



I_n =공칭 방전 전류

그림 2.1 선로 방전 등급 3인 10,000A 피뢰기 개폐서지동작책무시험

2.6 시험 평가

시험 후 시료를 주위 온도로 냉각시킨 다음 뇌충격제한전압시험을 하여 시험 전, 후의 제한 전압 변화율이 5% 이하이어야 한다. 시료를 육안을 검사하였을 때 특성 요소에 관통 파괴, 섬락 및 균열 등의 흔적이 없어야 한다.

3. 결과 및 고찰

표 3.1과 같은 동작개시전압 특성을 가지는 공칭 방전전류 10kA(Class 3)급 ZnO 바리스터 소자에 대한 초기 뇌충격제한전압과 개폐충격전류 250A에 대한 개폐충격제한전압을 측정하였고 각각 표 3.2와 3.3에 나타내었다.

표 14.1 ZnO 바리스터 소자의 동작개시전압 특성

시료번호	인가 전류	
	100 μ A	1mA
#1	3.95kV	4.42kV
#2	4.29kV	4.78kV
#3	4.19kV	4.65kV

표 3.2 개폐서지동작책무 시험 전 ZnO 바리스터 소자의 뇌충격제한전압 특성

시료번호	공칭 방전 전류 10kA (8/20 μ s)	
	인가전류	제한전압
#1	10.09kA	7.52kV
#2	9.73kA	8.07kV
#3	10.06kA	7.86kV

표 3.3 ZnO 바리스터의 개폐충격제한전압 특성

시료번호	개폐충격전류 250A (30/60 μ s)		최 저 값
	인가전류	제한전압	
#1	245A	6.45kV	6.21kV
#2	250A	6.47kV	
#3	251A	6.21kV	

초기 제한전압을 측정된 시료는 상태조절을 시험하였다. 이 바리스터는 현재 철도 전차선로용 42kV 용 피뢰기에 사용되는 소자이며, 정격은 2.8kV이다. 따라서 연속운전전압(MCOV)의 1.2배 즉, 2.69kV를 중첩시킨 상태에서 공칭방전전류(10kA, 8/20 μ s) 충격을 5회 4군(총 20회)을 인가하였다. 표 3.4는 각 시료에 인가한 공칭 방전 전류값을 나타낸 것이다. 시험 완료 후의 소자 상태는 양호하였다.

공칭방전전류 충격을 총 20회 인가한 시료는 주

위 온도로 냉각시킨 후 대전류(100kA, 4/10 μ s) 충격을 2회 인가하였다. 표 3.5는 대전류 충격전류와 제한전압 값을 나타내었다. 시험 완료 후의 소자 상태는 양호하였다.

표 3.4 상태조절 시험 중 공칭방전전류 인가한 과고값

구분	공칭 방전 전류 : 10kA (8/20 μ s)	
#1	5회	10.12kA
	10회	10.55kA
	15회	10.39kA
	20회	10.75kA
#2	5회	10.09kA
	10회	10.08kA
	15회	10.15kA
	20회	10.56kA
#3	5회	10.38kA
	10회	10.40kA
	15회	10.25kA
	20회	10.31kA

표 3.5 상태조절 시험 중 대전류 충격시험 특성

구분	대전류 방전전류 100kA (4/10 μ s)		외관검사
	인가전류	제한전압	
#1	1회	102.9kA	양호
	2회	103.0kA	
#2	1회	98.95kA	양호
	2회	101.3kA	
#3	1회	100.1kA	양호
	2회	100.2kA	

대전류 시험까지의 상태조절이 끝난 시료는 60 \pm 3 $^{\circ}$ C로 예열한 후 장시간뇌충격전류내력시험을 시행하였다. 10kA 선로 방전 시험 조건에 따라 표 22의 파라미터와 식 2.1의 에너지(W) 계산값을 표 3.6에 나타내었다.

표 3.6에 나타낸 바와 같이 6.67kJ 에너지(W)에 장시간충격전류를 50~60초의 시간간격으로 2회 시험한 후 그림 2.1의 규정된 시간 내에 정격전압(2.8kV)과 연속운전전압(2.24kV)을 인가하였고 전압의 인가 시간 동안 열적으로 안정하였으며, 열 폭주

표 3.6 선로방전시험 조건 파라미터와 에너지 계산값

U_{res}	6.21kV
U_L	7.84kV
Z	3.64Ω
T	2400μs
W	6.67kJ

일어나지 않았다. 시험 완료 후의 시료 상태는 관통 파괴, 섬락 및 균열 등의 흔적이 없이 양호하였다. 표 3.7은 시료에 인가한 장시간충격전류내력시험의 결과를 나타내었다.

표 3.7 장시간 충격전류 내력시험 결과치

구분	장시간충격전류 : 2400μs					열적 안정 상태	외관 검사
	인가 전류	파형	제한 전압	에너지			
#1	1회	444A	2,516μs	6.21kV	6.94kJ	안정	양호
	2회	450A	2,521μs	6.26kV	7.10kJ		
#2	1회	429A	2,516μs	6.69kV	7.22kJ	안정	양호
	2회	436A	2,519μs	6.72kV	7.38kJ		
#3	1회	435A	2,516μs	6.50kV	7.11kJ	안정	양호
	2회	442A	2,520μs	6.50kV	7.24kJ		

개폐서지동작책무가 완료된 시료는 주위 온도로 냉각시킨 다음 뇌충격제한전압시험을 하여 시험 전, 후의 제한 전압 변화율을 측정하였고 그 결과를 표 3.8에 나타내었다.

표 3.8 개폐서지동작책무 시험 전, 후의 뇌충격제한전압 변화율

구분	시험 전		시험 후		변화율
	공칭 방전 전류 10kA (8/20μs)				
	인가전류	제한전압	인가전류	제한전압	
#1	10.09kA	7.52kV	10.01kA	7.63kV	1.0%
#2	9.73kA	8.07kV	10.03kA	8.18kV	1.4%
#3	10.06kA	7.86kV	10.01kA	7.99kV	1.7%

표 3.8에 나타낸 바와 같이 개폐서지동작책무시험 전, 후의 변화가 1.0~1.7%로 양호한 특성을 나타내었다.

4. 결론

본 논문에서는 최근 국내에서 개발된 10kA(Class 3)급 ZnO 바리스터 소자(Ø65×20mm)의 전기적 특성 중 선로방전등급과 복합적인 서지 특성을 확인할 수 있는 개폐서지동작책무시험을 통해서 송전급 피뢰기용 ZnO 바리스터 소자의 성능을 확인하였다.

상태조정, 개폐서지동작책무 및 열적안정특성까지 확인한 결과 송전급 피뢰기용 ZnO 바리스터 소자로 적용 가능한 것으로 사료된다. 하지만 이 시험은 바리스터 소자의 시험중 일부만 실시한 것으로 앞으로 다양한 시험이 이루어져야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 변전설비 보호용 피뢰기 기술 (철도청)
- [2] 뉴클래스시리즈 編集委員會, “半導體セミクスとその應用,” 學獻社, p. 188, 1990.
- [3] 노瀬 昇, “電子セラミクス,” 오ム社, p. 90, 1985.
- [4] 한세원, 강형부, 김형식, “Al₂O₃가 미량 첨가된 비선형성 ZnO 바리스터의 미세구조와 전도 기구,” 전기전자재료학회논문지, 9권, 7호, p. 708, 1996.
- [5] 남춘우, 박춘현, “ZnO-Pr₆O₁₁-CoO-Er₂O₃계 바리스터의 미세구조 및 전기적 성질,” 전기전자재료학회논문지, 13권, 6호, p. 493, 2000.
- [6] 김석수, 조한구, 박태곤, 박춘현, 정세영, 김병규, “배전급 피뢰기용 ZnO 바리스터 소자의 미세구조 및 서지 특성에 관한 연구,” 전기전자재료학회논문지, 15권, 2호, p. 190, 2002.
- [7] M. Matsuoka, “Nonohmic Properties of Zinc Oxide Ceramics,” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 10, p. 736, 1971.
- [8] 한국산업규격, “갭리시형 금속산화물 피뢰기,” KS C 4616, 1997
- [9] 한국전력공사, “전력용피뢰기,” ES-153-261~283, 1998.
- [10] J. C. Wurst and J. A. Nelson, “Lineal Intercept Technique for Measuring Grain Size in Two-Phase Polycrystalline Ceramics,” J. Am. Ceram. Soc., Vol. 97-12, p. 109-111, 1972.
- [11] 서울 지하철 공사 표준 규격서, 2000.