ZnO 바리스타의 전압-전류 특성 연구

황명근*, 이상엽*, 허창수*
인하대학교*

A Study of Electrical Characteristics for ZnO Varistor in HST

M.K.Hwang*, S.Y.Lee*, C.S.Huh*
Inha Univ.*

Abstract - ZnO Varistor with composition of ZnO, Bi_2O_3, Sb_2O_3, CoO, NiO, MnO_2, Cr_2O_3, Al_2O_3 was fabricated by sintering methods.
The purpose of this paper is to present certified voltage-current test data and a summary of electrical characteristics of the ZnO varistors.

1. 서 론

반도체 저항소자로 일컬어지는 ZnO Varistor의 주 기능은 과도 서어지 전압을 감지하여 제한하는 역할을 반복적으로 이행하는 것으로써 산화아연 입자의 크기, 첨가제의 종류, 소자의 형상 등 여러 변수들에 대하여 소자의 특성은 달라지며, 종래의 SiC소자를 사용한 경우에 비하여 전압 전류 곡선상 비직선성(non lenear)이 우수하기 때문에 직렬간극(series gap)이 불필요하다. ZnO계 피뢰기 소자의 제조에는 주원료인 산화아연에 첨가물을 충분히 혼합하여 입자화 시킨후 압축 성형한 시편을 1100 - 1300℃의 고온에서 소결하여 제작한다.
또한, ZnO 바리스타는 전압-전류 특성이 매우 우수한 비오옴성과 큰 에너지의 흡수능력 때문에 각종 전기, 전자 장치에 돌발적으로 유입되는 과도 이상 전압과 뇌 서어지로 부터 회로를 보호하기 위하여 사용되는 전압 안정화 회로용 소자나 전력 계통에 유입하는 낙뢰 현상이나 각종 개폐 서어지로부터의 전기 시설물을 안전하게 보호하기 위한 송. 변. 배전의 피뢰기(Surge Arrester)용 소자 산업에 이르기까지 전력산업 전반에 걸쳐 광범위하게 사용되고 있다. ZnO바리스타를 이용한 Gapless 피뢰기는 방전지연 없이 무속류(non follow current)로서 전압-전류특성이 우수하여 반복되는 서어지에도 견딜수 있으며 충격전류에 대한 응답속도가 빠르고 직렬갭 피뢰기 보다 탁월한 보호기능을 갖는다[1],[2].
본 논문에서는 피뢰기의 특성소자로서 ZnO 바리스타를 실험하였다. ZnO바리스타의 전압-전류특성 시험은 ZnO 바리스타의 전압-전류 특성이 얼마나 변화 되었는가를 확인하는데 있으며 측정방법으로는 피뢰기 누설전류 검출기(Arrester Leakage Current Detector)장비를 사용하였다. 측정에 사용된 ZnO바리스타는 MOV(Metal Oxide Varistor) 블록(Block)으로서 1개 또는 2개의 그 정격전압값을 갖는 것으로서 측정을 용이하게 하기 위해서 실제 피뢰기의 구조와 동일하게 분할단위로 상부와 하부의 전극과 그 사이에 접시스프링(corned disk)등과 함께 ZnO 바리스타 블록을 삽입하여 실험을 하였으며 ZnO바리스타의 블록상태에서의 전압-전류측정과 동작개시전압 측정하였고, ZnO 바리스타 소자를 FRP로 와인딩한 상태에서의 전압-전류 측정과 동작개시전압을 측정하여 비교 검토하여 보았다.

2. ZnO의 기본 성질과 실험 방법

2.1 기본 성질

ZnO 바리스타의 전기적 성질은 금속 산화물 첨가에 의한 제 2상이 결정성장 과정중에 형성되는 미세구조에 의해 크게 좌우된다. 또한, 비오옴적 성질은 전계의 증가에 의한 급격한 전류증가로 특성화되며 절연파괴 특성과 더불어 첨가제의 종류에 따라 밀접한 관계를 가지고 있다.
ZnO 바리스타는 Zn산화물을 주성분으로 하여 Bi, Sb, Co, Mn등과 같은 미량의 금속 산화물을 첨가하여 고온 소결(Sintering)과정을 거치면서 반도전성의 결정입과 절연성의 결정 입계구조를 갖는 다결정 세라믹스로 변화된다.
ZnO 바리스타의 소결입자는 비저항이 1~10Ωcm인 반면 입계층의 비저항은 10^{10}cm 이상의 고저항층을 형성하기 때문에 인가된 전압의 대부분이 입계층에 집중됨으로서 현저한 비오옴적인 전압-전류 특성을 갖게 된다.

2. 2 실험 방법

ZnO 바리스타는 여러 가지 원인에 의해서 열화가 진행되는데 이 열화가 피뢰기 양단에는 누설전류를 증가하게 한다. 따라서 전압-전류특성을 분석함으로서 피뢰기 열화의 유무를 판정할 수 있다. 실험에 사용된 측정장치의 개략도를 그리면 그림 1.과 같으며, 본 실험에 사용된 ZnO 바리스타는 배전급 피뢰기 소자로서 정격은 표 1.과 같다. ZnO 바리스타의 누설전류와 동작개시전압을 측정한 결과는 표 2, 표 3.과 같다. 피뢰기에서의 동작개시전압은 피뢰기 정격전압의 90%이상(직류의 경우 정격전압 × $\sqrt{2}$의 90% 이상)이어야 한다[4].

표 1. ZnO 바리스타의 주요정격

Ur	Uc	Residual Voltage (kV Crest) 8/20μs	IEC LD Current Impulse Withstand	IEC High Current ANSI HCSD
3.0kV rms	2.55kV rms	9.2(5kA crest)	75Amps 1000μs	65kA

그림1. 측정장치의 개략도

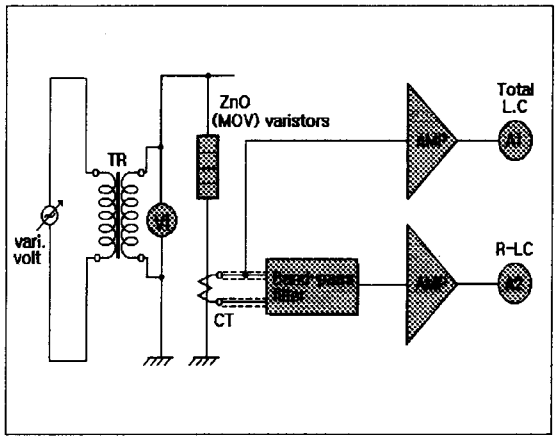


표2. ZnO 바리스타의 누설전류와 동작개시전압의 측정

ZnO 바리스타 번호	측정 결과	
	누설전류 (mA)	동작개시전압 (kV)
1	0.23	3.82
2	0.24	3.80
3	0.23	3.81
4	0.23	3.81
5	0.23	3.82
6	0.225	3.80
7	0.225	3.82
8	0.23	3.84
9	0.23	3.82
10	0.24	3.76
11	0.225	3.86
12	0.225	3.87
13	0.22	3.88
14	0.225	3.84
15	0.23	3.89
16	0.225	3.86
17	0.225	3.83
18	0.22	3.87
19	0.23	3.86
20	0.23	3.85
21	0.225	3.82
22	0.225	3.85
23	0.225	3.85
24	0.23	3.85
25	0.23	3.82
평 균 치	0.228	3.836

표2.는 ZnO 바리스타를 무작위로 25개를 추출하여 누설전류값과 동작개시전압값을 측정한 결과 누설전류의 평균치는 0.228mA이고 동작개시전압의 평균치는 3.836kV이다, 또한 표3. 에서도 25개의 ZnO 바리스타를 추출하여 누설 전류 값과 동작 개시 전압 값을 측정하였다. 따라서 그 평균값은 각각 0.218mA, 3.84kV로서 표2와 비슷한 누설 전류 값과 동작 개시 전압 값을 보이고 있다.

표3. ZnO 바리스타의 누설 전류와 동작개시전압의 측정

ZnO 바리스타 번호	측정 결과	
	누설전류 (mA)	동작개시전압 (kV)
26	0.23	3.84
27	0.225	3.88
28	0.235	3.85
29	0.225	3.84
30	0.23	3.84
31	0.22	3.84
32	0.22	3.83
33	0.22	3.83
34	0.22	3.82
35	0.22	3.81
36	0.22	3.84
37	0.218	3.86
38	0.21	3.89
39	0.20	3.87
40	0.21	3.81
41	0.215	3.83
42	0.22	3.82
43	0.215	3.82
44	0.21	3.84
45	0.205	3.87
46	0.215	3.87
47	0.235	3.80
48	0.205	3.87
49	0.215	3.78
50	0.21	3.85
평 균 치	0.21792	3.84

2.3 설계 및 제작

2.3.1 설계과정

표 2과 표 3 에서 측정한 피뢰기용 ZnO 바리스타 1개를 사용한 시료의 제작은 그림 2와 같으며 실험에 사용된 부품의 명칭은 아래와 같고 5개의 각각에 대한 부품의 치수는 표 4과 같다.

AL1, AL2 : 전극(알루미늄)
B, H : Corncave disk
C, G : Corned disk
D, F : Cornvex disk
E, E1, E2 : ZnO(MOV) varistors

그림 2. 실험을 위한 제작도(Ur: 3kV)

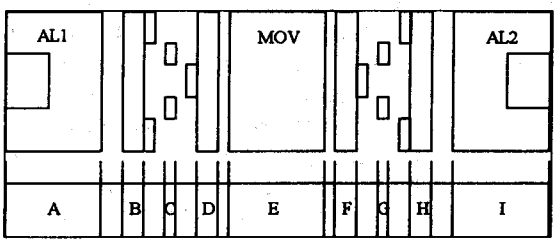


표 4. 부품의 치수(단위:mm)

	번호	ECL-01	ECL-02	ECL-03	ECL-04	ECL-05
기호 및 치수	A	129.990	129.990	129.995	130.000	129.994
	B	1.445	1.380	1.420	1.520	1.470
	C	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	D	1.097	1.092	1.093	1.095	1.090
	E	28.565	28.585	28.595	28.600	28.610
	F	1.100	1.105	1.084	1.095	1.100
	G	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	H	1.420	1.465	1.320	1.470	1.290
	I	129.995	129.995	129.995	130.003	295.783
	전체 길이	295.995	295.612	295.502	295.783	295.414

또한, 피뢰기용 ZnO 바리스타를 2개 사용한 시료의 제작은 그림 3과 같으며 실험에 사용된 5개의 각각의 부품의 치수는 표 5와 같다.

그림 4. 실험을 위한 제작도(Ur: 6kV)

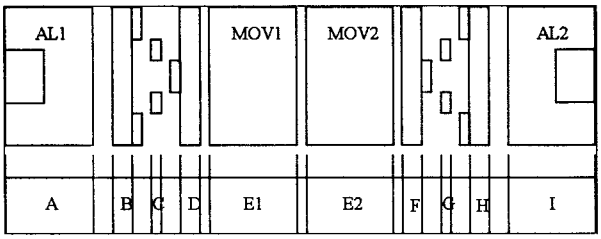
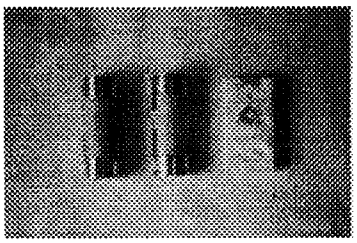


표 5. 부품의 치수 (단위:mm)

	번호	ECL-06	ECL-07	ECL-08	ECL-09	ECL-10
기호 및 치수	A	115.562	115.560	115.555	115.558	115.560
	B	1.520	1.690	1.405	1.380	1.460
	C	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	D	1.095	1.095	1.083	1.110	1.110
	E1	28.610	28.615	28.605	28.615	28.610
	E2	28.660	28.620	28.580	28.690	28.510
	F	1.100	1.112	1.100	1.110	1.087
	G	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	H	1.470	1.480	1.415	1.550	1.540
	I	115.560	115.560	115.542	115.553	115.550
	전체 길이	295.577	295.732	295.285	295.566	295.427

그림 5. 3kV, 6kV ZnO 바리스타의 셋트



3. 결과 및 고찰

ZnO 바리스타의 소자를 정격 3kV의 사용에 따라 각각 5개의 셋트로 제작하여 전압-전류의 특성과 동작개시전압을 측정한 결과와 그 ZnO바리스타에 FRP 와인딩한 상태에서의 전압-전류의 특성과 동작개시전압은 ZnO 바리스타를 FRP로 와인딩한 상태에서는 전압-전류특성과 동작개시전압이 다소 낮아짐을 확인할수 있었으며 이는 측정에 따른 계측기의 오차나 측정한 날의 기후(온도), 그리고 셋트에 함께 사용된 부품들의 특성등에 따라 서로 다른 값으로 나타난 것으로 관찰되며 그 결과는 표 6.와 같다, 또한 ZnO 바리스타를 정격 6kV의 사용으로 전압-전류의 특성과 동작개시전압을 측정한 결과와 각각의 5셋트에 FRP 와인딩한 상태에서의 전압-전류의 특성과 동작개시전압의 측정은 ZnO 바리스타가 3kV 더 추가 됨으로 전압-전류 특성에서는 그 평균값이 0.189mA에서 0.162mA로 떨어진 결과를 얻었으며 동작개시전압은 그 평균값이 7.196kV에서 7.274kV로서 전압-전류특성값이 떨어지므로 인해 동작개시전압은 78V상승됨을 알수 있었으며 그 결과는 표 7.과 같다.

표 6. ZnO 바리스타(3kV)의 측정결과

형식	구 분	ZnO 바리스타의 측정결과		ZnO 바리스타의 FRP 와인딩한 상태	
		전압-전류 특성 (mA)	동작개시 전압 (kV)	전압-전류 특성 (mA)	동작개시 전압 (kV)
ZnO 3kV	IMT-01	0.2	3.44	0.18	3.38
	IMT-02	0.19	3.67	0.16	3.60
	IMT-03	0.19	3.67	0.16	3.58
	IMT-04	0.195	3.62	0.165	3.51
	IMT-05	0.195	3.69	0.16	3.58

표 7. Zno 바리스타(6kV)의 측정결과

형식	구 분	ZnO 바리스타의 측정결과		ZnO 바리스타의 FRP 와인딩한 상태	
		전압-전류 특성 (mA)	동작개시 전압 (kV)	전압-전류 특성 (mA)	동작개시 전압 (kV)
ZnO 6kV	IMT-06	0.19	3.54	0.16	7.24(7.26)
		0.185	3.72		
	IMT-07	0.18	3.71	0.16	7.35(7.42)
		0.19	3.71		
	IMT-08	0.19	3.72	0.165	7.11(7.20)
		0.20	3.48		
	IMT-09	0.19	3.54	0.165	6.89(7.04)
		0.20	3.50		
	IMT-10	0.18	3.70	0.16	7.39(7.45)
		0.185	3.75		

4.결 론

본 연구의 목적은 전력계통에 많이 사용되어 지고 있는 피뢰기의 특성소자로서 ZnO 바리스타에 대한 전압-전류 특성과 동작개시전압에 대해서 관찰하여 보았다. ZnO 바리스타에서 누설전류의 증가는 동작개시전압이 낮아지는 것을 실험을 통하여 확인할수 있었으며 특히, 완제품 피뢰기에서 내열화성 시험후의 누설전류의 증가는 동작개시전압이 낮아짐을 짐작케 하였다. ZnO 바리스타를 6kV의 사용으로 전압-전류의 특성과 동작개시전압을 측정한 결과와 각각의 셋트에 FRP 와인딩한 상태에서의 전압-전류의 특성과 동작개시전압의 측정은 ZnO 바리스

타가 3kV 추가 됨으로 인해 전압-전류 특성에서는 그 평균값이 0.189mA에서 0.162mA로 0.027mA 낮아진 측정결과를 얻었으며, 동작개시전압에서는 그 평균값이 7.196kV에서 7.274kV로서 전압-전류특성값이 떨어지므로 인해 동작개시전압은 78V상승됨을 알수 있었다.

또한 ZnO 바리스타의 각각에 대하여 누설전류와 동작개시전압이 같은 것들도 있었지만 피뢰기 누설전류 검출기(Arrester Leakage Current Detector)로 측정한 결과 거의가 각각 다른 (전압-전류특성과 동작개시전압)값들을 나타낸 것을 확인할 수 있었으며, 이는 ZnO 바리스타의 제조과정이 얼마나 중요한가를 일깨워주는 것으로 여겨진다.

이러한 연구에 따른 생산기술의 발전과 국내 기술력 확보가 중전기 분야에 시급한 일로 여겨지며 전기 기기 및 전력 기기 등의 피뢰기 설계에 있어서 효과적으로 적용해 나가야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] IEC 99-1 Non-linear resistor-type arrester.

[2] IEC 99-4 Metal-oxide Surge arrester without gaps for a.c. systems.

[3] IEEE C62.11-1993 IEEE std. for Metal oxide surge arrester for AC power circuits.

[4] ES 153-261-282 전력용 피뢰기

[5] 김인성, 조한구, 황명근. "배전용 고분자 피뢰기의 하우징과 전극구조". '하계학술대회논문집, pp.1676~1678, 대한전기학회,'1996. 7.

[6] 황명근, 김인성, 조한구. "폴리머 피뢰기 애관 개발에서의 기밀기술". '하계학술대회논문집, pp.754~766, 대한전기학회,'1996. 7.

[7] 황명근, 허창수. "폴리머 피뢰기의 해석기법". '하계학술대회논문집, pp.303~305, 대한전기학회,'1997. 7.

[8] K. Eda, "Zinc oxide varistors", IEEE Electrical Ins, mag., vol. 5, NO. 6, pp.28~41, 1989.