

논문 15-2-14

배전급 피뢰기용 ZnO 바리스터 소자의 미세구조 및 서지 특성에 관한 연구

A Study on the Microstructure and Surge Characteristics of ZnO Varistors for Distribution Arrester

김석수^{*}, 조한구^{**}, 박태곤^{***}, 박춘현^{****}, 정세영^{*****}, 김병규^{*****}

(Seok-Sou Kim^{*}, Han-Gu Cho^{**}, Tae-Gon Park^{***}, Chun-Hyun Park^{****}, Se-Young Jung^{*****}, and Byoung-Kyu Kim^{*****})

Abstract

In this thesis, ZnO varistors with various formulation, such as A~E, were fabricated according to ceramic fabrication method. The microstructure, electrical properties, and surge characteristics of ZnO varistors were investigated according to ZnO varistors with various formulation. In the microstructure, A~E's ZnO varistor ceramics sintered at 1130°C was consisted of ZnO grain(ZnO), spinel phase ($Zn_{2.33}Sb_{0.67}O_4$), Bi-rich phase(Bi_2O_3) and intergranular phase, wholly. Lightning impulse residual voltage of A, B, C and E's ZnO varistors suited standard characteristics, below 12kV at current of 5kA. On the contrary, D's ZnO varistor exhibited high residual voltage as high reference voltage. In the accelerated aging test, leakage current and watt loss of B, C and D's ZnO varistors increases abruptly with stress time under the first a.c. stress(115°C/3.213kV/300h). Consequently, C varistor exhibited a thermal run away. On the contrary, leakage current and watt loss of A and C's ZnO varistors which show low initial leakage current exhibited constant characteristics. After high current impulse test, A's ZnO varistor has broken the side of varistor but impulse current flowed. On the contrary, E's ZnO varistor exhibited good discharge characteristics which the appearance of varistor was not wrong such as puncture, flashover, creaking and other significant damage. After long duration impulse current test, E's ZnO varistor exhibited good discharge characteristics which the appearance of varistor was not wrong such as puncture, flashover, creaking and other significant damage. After high current impulse test and long duration impulse current test, E's ZnO varistor exhibited very good characteristics which variation rate of residual voltage is 1.4% before and after test.

Key Words : ZnO varistor, Lightning impulse residual voltage), Accelerated aging test, High current impulse test, Long duration impulse current test

1. 서론

ZnO 바리스터는 주성분 ZnO에 Bi_2O_3 , Pr_6O_{11} 와 같은 바리스터 본질적인 성질인 비직선성을 유발

시키는 바리스터 형성산화물과 특성개선용 산화물 들을 소량으로 첨가하여 소결한 다결정 세라믹 반도체 소자로서, 어느 임계전압 이하에서는 특히 저항이 높아 절연체로 작용하여 거의 전류가 흐르지 않으며, 그 임계전압을 넘으면 급격히 저항이 낮아져 전류를 흐르게 하는 인가전압에 따라 저항이 변하여 현저한 비직선적인 전압-전류 특성을 나타내는 소자이다[1,2]. 이와 같은 전기적 특성을 이용하여 전자회로와 전력계통의 전압 안정화, 접점소 화제거, 서지흡수를 위한 보호소자로서 널리 이용 되고 있다[3-5].

* : 한국전기연구원 (경남 창원시 성주동 28-1)
Fax: 055-280-1506, E-mail: sskim@keri.re.kr
** : 창원대학교 전기전자제어공학과 교수
*** : (주) 에이 피 케이
**** : 부산대학교 고분자공학과 박사과정
***** : 부산대학교 고분자공학과 교수
2001년 11월 10일 접수, 2001년 11월 26일 1차 심사 완료,
2001년 12월 17일 2차 심사 완료

한편 각종 산업 분야의 급속한 발달과 더불어 전력 사용량이 급격히 증가하여 송·배전 설비가 대용량 및 고전압화 되는 추세이며, 더불어 양질의 전력을 안정되고 신뢰성 있게 공급하기 위해 새로운 기능과 특성을 지닌 보호기기에 대한 연구가 활발히 진행되어 국산화되고 있다. 그러나 이러한 외형적 국산화 개발에 비해 내용적으로는 제품 개발시 선진국의 기술 도입에 크게 의존하고, 주요 핵심 소재 및 부품도 대부분 수입에 의존하고 있는 실정이다. 특히, 선로에 유입되는 각종 서지에 대한 부하 설비의 보호를 목적으로 설치하는 피뢰기(Lightning Arreater)의 경우, 그 중요성이 크게 증가하고 있는데 반해 일부 배전급의 제품만이 국산화되어 있는 실정이며, 그나마 핵심 부품인 ZnO 바리스터는 거의 미국, 일본 등의 기술 선진국에서 수입하고 있어 기술 도입의 편중 및 무역 역조가 더욱 심화되고 있다.

국내의 피뢰기 관련 기술은 배전급(18kV, 2.5kA 및 5kA)의 ZnO 바리스터 제조 및 피뢰기 설계·조립기술을 갖추고 있으나, 고특성 ZnO 바리스터의 제조기술은 극히 미흡한 실정으로 대부분 수입에 의존하고 있다. 국외(미국, 일본)와 국내기업과 학계연구소에서 활발한 연구가 진행되어 배전용 18kV 2.5kA용 ZnO 소자로 개발되어 사용되고 있고, 고전압용 (18kV 5.0kA 이상) ZnO 소자는 미국과 일본의 몇몇 회사에서 선진기술을 독점하고 있으며 기술이전을 기피하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 계통에 손상을 초래하는 뇌찌지 및 과도 이상 전압으로부터 전기 설비들을 보호하기 위해 사용되는 피뢰기의 핵심부품인 ZnO varistor라 불리는 급준파 전류에 대한 응답 특성이 우수하고 찌지 흡수 내량이 크며 또한 방전시에 흐르는 속류가 거의 없고 방전시간의 지연이 없으며, 비직선 전압-전류 특성이 우수한 금속-산화물

(ZnO) 소자를 개발하고자 한다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용된 ZnO 바리스터 제조에 있어 원료의 조성비는 표 1과 같으며, 원료혼합, 건조, 성형, 소성, 연마, 전극증착, 연면절연코팅의 공정에 따라 첨가물의 첨가량을 변화시킨 5종류의 시료를 제작하였다.

2.1 바리스터의 제작

표 1의 조성비에 의해서 정확히 평량한 원료 중에서 ZnO를 제외한 나머지 원료를 어트리션 밀(Attrition-Mill)에서 물과 분산제를 넣고 습식으로 분쇄하여 그 입도 분포가 1 μ m이하가 70% 이상이 되도록 분쇄한다. 이 분쇄된 슬러리(Slurry)와 ZnO를 볼밀러(Ball Miller)로 옮겨, 원료와 물을 적당한 비율과 나일론 볼(Nylon Ball)을 사용하여 15시간 이상 혼합(Mixing)을 하였다.

ZnO와 Bi₂O₃등의 기능성 첨가제 및 유기첨가제가 함유된 슬러리를 열풍건조방식의 스프레이 드라이어(Spray Dryer)를 사용하여 건조한 후, 100mesh 체로 조립하였다. 조립된 분말은 지름(ϕ) 38.5mm, 높이(t) 36.9mm, 무게(M) 140g, 압력(T) 8ton으로 성형밀도가 3.26~3.28g/cm³으로 성형하였다.

성형된 시편은 3단계로 나뉘어 소성하였다. 1단계는 350 $^{\circ}$ C 11시간 30분 동안 전기로(Box Furnace)에서 탈 바인더(Binder burn-out) 하였다. 2단계는 소성(Sintering)으로 1차 탈 바인더가 끝난 시료는 12개 온도분포로 구성된 킬른(Kiln) 전기로에서 소성하였다. 승온 및 냉각 속도는 100 $^{\circ}$ C/hr이며, 소결온도는 1130 $^{\circ}$ C에서 2시간 30분이다. 3단계는 열처리로 2단계 소성이 끝난 시료를 600 $^{\circ}$ C에서 10시간

표 1. ZnO 바리스터의 조성식 변화.

Table 1. Formulation of ZnO varistor.

Sample	ZnO 바리스터의 주요 성분조성 (mol%)									
	ZnO	Bi ₂ O ₃	Sb ₂ O ₃	Co ₃ O ₄	NiO	Mn ₂ O ₃	ZrO ₂	B ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃
A	96.0	0.5	1.0	0.5	0.2	0.5	0.5	0.5	0.1	0.2
B	96.0	1.0	1.0	0.5	0.2	0.5	0.5	0.5	0.1	0.2
C	96.0	1.0	0.5	0.5	0.2	0.5	0.5	0.5	0.1	0.2
D	96.0	0.5	1.0	0.5	0.2	0.5	0.5	0.5	0.1	0.3
E	96.0	0.5	1.0	0.5	0.2	0.5	0.5	0.5	0.2	0.4

열처리를 하였다.

3단계 열처리가 끝난 시료는 전극 증착을 위해 상·하부면을 연마기(Lapmaster)로 래핑(Lapping)한 후 초음파 세척기로 세척한 후 건조시킨다.

건조된 시료는 전극 증착기를 이용하여 소결된 소자의 상·하부 양면에 알루미늄 전극을 스프레이 방식으로 용사시켜 전극을 형성시킨다.

전극 처리된 시료는 오르가닉실리카(유기제)의 연면 코팅제를 사용하여 스프레이 방식으로 소자의 연면에 절연코팅을 한 후 270℃에서 2시간 30분 동안 건조기(Dry Oven)에서 건조시켰다.

2.2 전기적 특성 시험[6,7]

ZnO 바리스터의 V-I특성시험은 DC Tester와 충격전류시험기(8/20μs)로 1μA에서 10kA까지 약 10배 단위로 증가시켜가며 바리스터에 전류를 흘려, 각 전류에서의 바리스터 양단자간 전압을 측정하였다.

동작개시전압(바리스터 전압:V_{1mA})의 측정은 DC Tester를 이용하여 바리스터에 1mA의 전류를 흘렸을 때 바리스터 양단자간의 전압을 측정하였으며, 비직선 지수 α는 α=(logI₂-logI₁)/(logV₂-logV₁)의 관계식[8]으로부터 구하였다. 여기서 V₁과 V₂는 I₁=100μA과 I₂=1mA에서의 전압이다.

누설전류는 바리스터에 정격전압(3.6kV)과 85%의 정격전압(3.06kV)을 인가하였을 때 바리스터를 통해 흐르는 전류를 누설전류 Detector(LCD-4)로 측정하였다.

뇌충격제한전압은 8/20μs의 파형을 가지는 2.5kA, 5kA, 10kA의 뇌충격전류가 ZnO 바리스터에 흐를 때 양단자간 전압을 전압 분압기(Voltage divider)로 측정하였다.

가속열화시험은 115℃±4℃의 항온조에 최대 연속운전전압(Maximum continous operating voltage : MCOV)의 1.05배 전압(3.21kV)을 인가한 상태에서 300시간 동안 유지하여 저항분전류, 전력손실을 측정하였다.

가속열화시험이 끝난 시료에 대하여 대전류충격시험을 하였는데 대전류충격시험은 4/10μs의 파형을 가지는 충격전류를 65kA, 2회 인가하여 바리스터 소자의 방전내량을 측정하였으며, 충격전류 인가전과 후의 동작개시전압 및 뇌충격제한전압의 변화를 관찰하였다. 또한 바리스터의 외관검사를 하였다.

대전류충격시험이 완료된 시료에 대하여 장시간 충격전류시험을 실시하였고 끝남과 동시에 열적안정성을 확인하였다.

장시간충격전류시험은 1000μs의 파형을 가지는 충격전류를 75A, 18회(3회씩 6그룹) 인가하였으며, 시험도중에 바리스터 외관검사를 하였다.

열적안정성시험은 최대연속운전전압(MCOV)의 1.05배의 전압을 30분 동안 바리스터에 인가하여 누설전류, 저항분전류, 전력손실 등을 측정하였다.

상기의 시험이 끝난 소자는 뇌충격제한전압을 재측정하여 뇌충격제한전압의 변화율을 관찰하였다.

2.3 미세구조 관찰

미세구조의 관찰은 전기적 특성 측정이 완료된 바리스터 소자의 한 면을 SiC 연마지(#2000)로 래핑하고 0.3μm Al₂O₃ 분말로 폴리싱한 후, 초음파 세척하여 830℃에서 30분 동안 열적 에칭하였다. 상의 선명도를 개선시키기 위해 표면에 100Å의 Au를 코팅한 후, SEM으로 각 시료의 미세조직을 관찰하였다. 평균 결정립 크기 d는 SEM 사진을 이용하여 선형교차기법[9](Lineal intercept technique)에 의한 식, d=1.56C_{int}/M_{N_{eff}} (C_{int}는 Test-line의 유효길이, M은 SEM의 배율, N_{eff}은 입계와 Test-line과의 유효교차수)로 결정하였으며, 미세조직에 생성된 각 상의 성분 분포는 SEM에 부착된 EDAX로 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

A~E 시료의 밀도와 수축율을 측정하였고 밀도를 이용하여 기공율을 계산하였다. 그 결과는 표 2에 나타내었다.

표 2. 각 시편에 대한 소결밀도, 수축율 및 기공율.
Table 2. Density, shrinkage and porosity of ZnO varistor.

시편	밀도	수축율	기공율
A	5.498	16.9%	4.89%
B	5.512	16.4%	4.64%
C	5.491	16.8%	5.00%
D	5.496	16.2%	4.91%
E	5.495	16.5%	4.93%

표 3. 각 시편의 조성변화에 따른 미세구조 사진.

Table 3. Microstructure with variation formation of ZnO varistor.

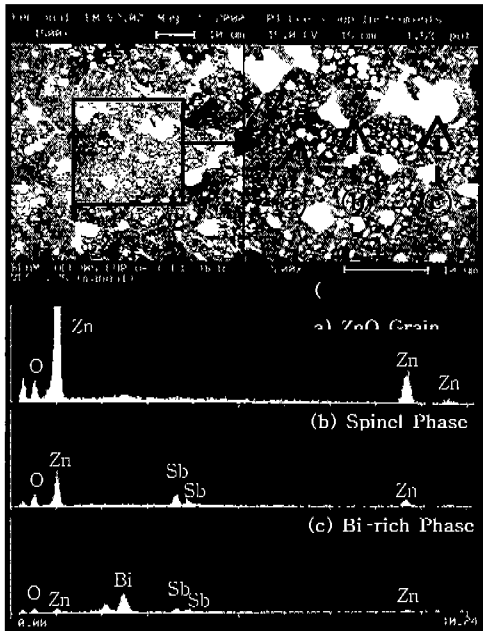
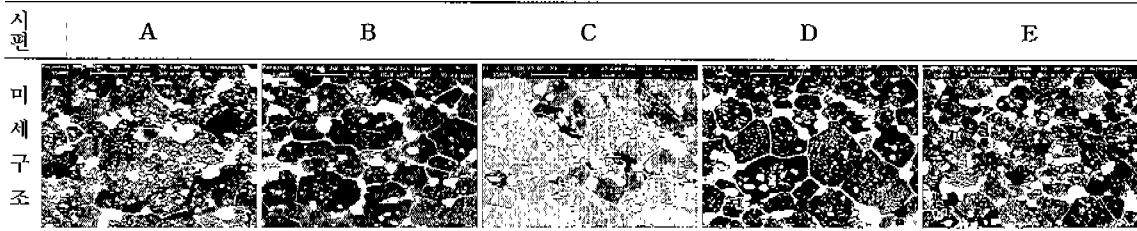


그림 1. 시편 E에 대한 EDAX 분석.

Fig. 1. EDAX analysis of sample E.

소성 밀도는 전체적으로 이론밀도(5.78g/cm³)의 95% 정도로 치밀한 소결이 이루어졌으며, 기공을 또한 5% 정도의 낮은 기공율을 보였다. 따라서 1130℃의 결정된 소결온도는 A~E 조성에 대해 적합한 소결온도라 사료된다.

소결이 완료된 소자 높이(t)는 30.5~30.7mm, 지름(φ)은 32.0~32.1mm 정도로 수축율은 전체적으로 17%이내이고, 소성 후의 시편 무게(w)는 136~137g 정도로 3~4g 정도의 휘발이 이루어졌다.

다음의 표 3은 시편 A~E의 조성 변화에 따른 미세구조를 나타낸 것이다.

미세구조를 관찰해 보면 전체적으로 기공이 적게 분포함을 알 수 있고, 앞서 설명한 밀도와 같은 결과를 나타내었다. 또한 시편 B, C, D의 경우 입간상(Intergranular phase)이 뚜렷히 생성되었음을 알 수 있다.

모든 시편의 SEM 사진에서 ZnO 결정립(ZnO), 스피넬상(Zn₂33Sb_{0.67}O₄), Bi-rich상(Bi₂O₃), 입간상 등이 존재함을 그림 1의 EDAX로 확인할 수 있다. 시편 A와 E는 Bi-rich상이 불규칙적으로 생성되었고 ZnO 결정립 내에도 상당히 존재하였으나 나머지 시편에서는 Bi-rich 상이 거의 입계에 존재하였다.

시편 A~E의 평균 결정립 크기는 각각 11.89μm, 13.57μm, 15.44μm, 11.92μm, 12.47μm로 시편 C의 ZnO 결정립이 가장 크게 나타났고, 시편 A와 D가 가장 작았다.

이러한 현상은 같은 소성온도(1130℃)에 대한 Bi₂O₃/Sb₂O₃ 첨가량 비가 시편 A는 1/2, B는 1/1, C는 2/1이므로, Bi₂O₃ 첨가량의 증가에 따른 충분한 액상소결로 인한 ZnO 결정립의 크기가 증가에 따른 것이고 동시에 Sb₂O₃ 첨가량의 증가에 따라

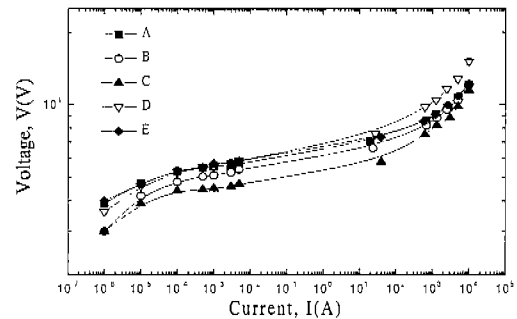


그림 2. 각 시편에 대한 V-I 특성.

Fig. 2. V-I characteristics of ZnO varistors.

표 4. 각 시편에 대한 V-I 특성 파라미터

Table 4. V-I characteristics parameter of ZnO varistors

시편 No.	동작개시전압		α	누설전류/전력손실 특성			
	V _{100μA} (kV)	V _{1mA} (kV)		3.06kV(85%)		3.6kV(100%)	
				I _r (μA)	P _w (mW)	I _r (μA)	P _w (mW)
A	5.34	5.65	41	20	30	54	90
B	4.93	5.26	36	32	48	150	228
C	4.37	4.52	68	60	63	300	456
D	5.36	5.75	33	16	24	42	72
E	5.47	5.74	48	17	18	39	66

더 많은 스피넬 상이 생성되어 입계 및 입계 교차점에 존재함으로써 피닝효과(Pinning effect)에 의해 입계의 이동이 억제되기 때문인 것으로 사료된다.

그림 2는 시편 A~E의 수 μA~수 kA에 대응되는 전압과의 관계인 전압-전류 특성을 나타낸 것이고, 동작개시 전압, 비직선 지수, 누설전류와 전력손실의 측정치를 표 4에 나타내었다.

1130°C 소성온도에 대한 동작개시전압은 시편 D, E > A > B > C 순으로 나타났다. 본 연구에서의 동작개시전압의 기준은 3.6kV이상(18kV 정격 전압에 대해 ZnO 바리스터 소자를 5개 사용시)이므로 모두 동작개시전압 특성에서는 적합한 특성을 나타내었다.

각 시편에 대한 비직선지수는 전체적으로 30이상의 높은 특성을 나타내었고, 특히 시편 C는 68이상의 매우 높은 값을 나타내고 있다.

누설전류와 전력손실은 정격전압의 85%인 최대 연속 운전전압(MCOV)과 정격전압에서 측정한 값으로 표 4에 나타낸 바와 같이 시편 A와 E가 가장 낮은 누설전류를 나타내었다.

그림 3은 각 시편의 2.5kA, 5kA와 10kA 뇌충격전류에 대한 뇌충격제한전압을 나타낸 것이고, 측정치와 각 파형을 표 5와 그림 4에 나타내었다.

이 시험은 뇌서지에 대한 보호성능을 검증하는 시험이며 근접 뇌격에 의한 유도뇌에 대한 보호특성을 확인하는 시험이다. 본 연구에서의 기준은 5kA에 대한 제한전압이 12kV 이하(5kA용 피뢰기의 제한전압 60kV 이하(한전구메시방서)에 대해 ZnO 바리스터 소자를 5개 사용시)이어야 한다.

그림 3에 나타낸 바와 같이 시편 A, B, C, E가 기준에 적합한 제한전압 특성을 나타내고 있고, 반면에 시편 D의 경우는 가장 높은 제한전압을 나타내고 있다.

이것은 앞서 설명한 동작개시전압이 높은 것에 기인하며, 5kA용 소자로서는 부적합한 것으로 판단된다.

다.

그림 5는 각 시편의 스트레스 조건(115°C/3.213 kV/300h)에 의한 시간에 따른 누설전류와 전력손실을 나타낸 것이다.

그림 5에 나타낸 바와 같이 시편 B, C, D는 누설전류와 전력손실이 스트레스 시간에 따라 급격히 증가하는 특성을 나타내었으며, 특히 시편 C는

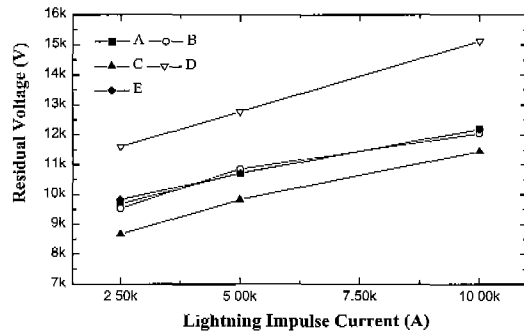
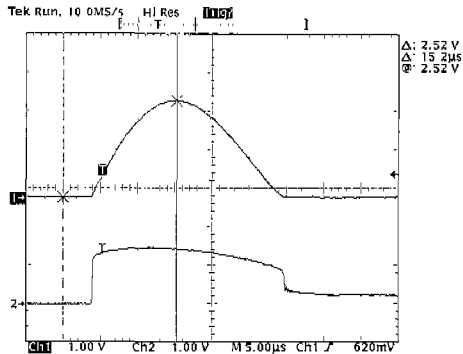


그림 3. 그림 3 뇌충격전류에 따른 제한전압의 변화.
Fig. 3. Variation residual voltage with lightning impulse current.

표 5. 뇌충격전류에 따른 제한전압.

Table 5. Residual voltage with lightning impulse current.

시편 No.	뇌충격제한전압 (kV, 8×20μs)		
	2.5kA	5kA	10kA
A	9.69	10.72	12.18
B	9.54	10.86	12.04
C	8.66	9.83	11.45
D	11.60	12.77	15.12
E	9.83	10.71	12.18



at 5kA

그림 4. 뇌충격전류에 따른 제한전압 파형.
Fig. 4. Wave of residual voltage with lightning impulse current.

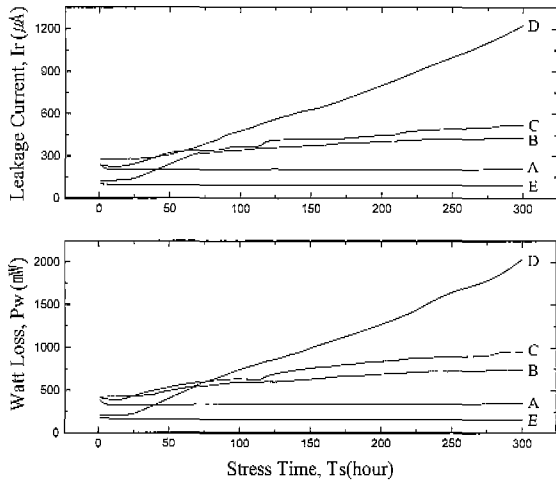


그림 5. 각 시편의 시간에 따른 누설전류와 전력손실.
Fig. 5. Leakage current and watt loss of ZnO varistors with time.

열폭주 현상(Thermal runaway)이 나타났다. 이러한 현상은 초기 누설전류의 값이 크거나 소성 밀도가 낮은 경우에는 안정성에 문제가 발생한다 [10-12]. 표 2와 4에 나타난 바와 같이 시편 B와 C는 소성 밀도에 의한 것보다는 누설전류가 초기에 큰 값을 가졌기 때문인 것으로 사료된다. 반면에 초기 누설전류가 매우 적은 시편 A와 E는 스트레스 시간에 따라 누설전류와 전력손실이 초기에는 급격히 감소하다가 일정한 특성을 나타내었다. 특히 시료 D의 경우는 시료 A의 조성에 비해 Al_2O_3 의 첨가량이 1.5배 증가된 것으로, Al_2O_3 가 첨

표 6. 시편 A와 E의 대전류충격시험 결과치.

Table 6. Results of high current impulse test of sample A and E.

시편	대전류 충격전류 파고치(kA)		외관 검사
	1회	2회	
A	68.8	67.6	연면 파괴
E	66.8	65.6	양호

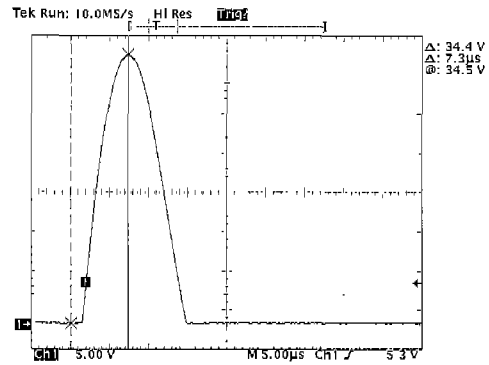


그림 6. 시편 E의 대전류 충격전류 파형

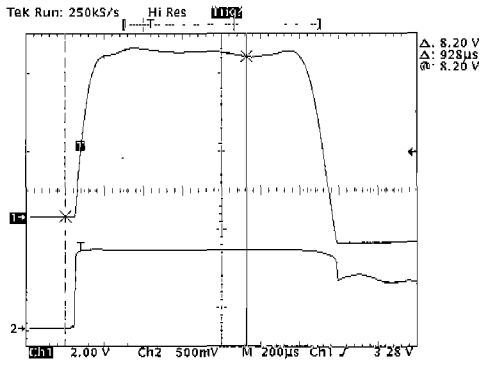
Fig. 6. Wave of high current impulse current of sample E

가됨에 따라 불안정한 입계가 형성되어 전압 인가 시 전류가 국부적으로 편중되어 누설전류가 증가하는 특성을 나타낸 것으로 생각된다.

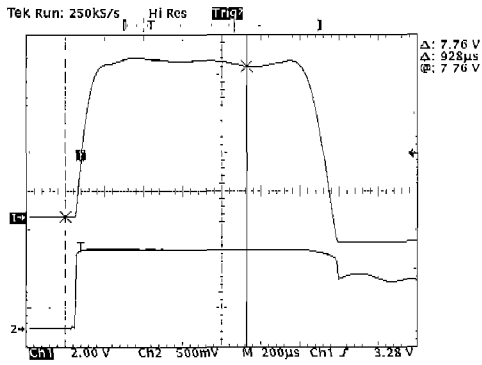
가속열화시험에서 양호한 안정성을 나타낸 시편 A와 E에 대한 대전류 충격 시험을 하였다.

표 6은 시편 A와 E의 대전류 충격 시험의 결과치를 나타낸 것이고, 그림 6은 대전류 충격전류 파형이다.

이 시험은 바리스터에 규정의 상용주파 전압이 인가된 상태에서 대전류충격전류를 2회 5분 간격으로 중첩시켜 바리스터에 가해도 매회 그 책무에 견디고 바리스터가 정상상태로 회복되는가를 확인하는 시험이다. 시험중 바리스터는 판통파괴 또는 연면접촉 등이 일어나지 않아야 한다. 2회에 걸친 65kA의 대전류 충격 시험 후, 시편 A는 충격전류는 통과하였으나 소자의 연면이 파괴되었다. 반면에 시편 E의 경우는 시험 후, 소자의 외관이 양호한 우수한 방전내량 특성을 나타내었다. 이같은 현상은 시편 E의 Al_2O_3 첨가량이 시편 A에 비해 2배 증가시켰는데, 이로 인해 ZnO 결정립의 저항치



(a) 1회



(b) 18회

그림 7. 시편 E의 장시간 충격 전류 파형.

Fig. 7. Wave of long duration impulse current of sample E.

가 낮아져 방전내량을 향상된 것으로 추정된다. 가속열화시험에서 양호한 안정성을 나타낸 시편 A와 E에 대한 대전류 충격 시험을 하였다.

대전류 충격시험에서 양호한 시편 E에 장시간 충격 전류를 인가하였다.

이 시험은 선로의 개폐 조작시에 나타나는 개폐 서지에 의해 피뢰기가 동작할 때, 바리스터의 방전 내량을 검증하는 시험이며, 소자의 표면이 균열 및 방전의 흔적이 없어야 한다.

시편 E는 18회의 장시간 충격 전류 시험 후, 양호한 특성을 나타냈으며, 소자의 표면 또한 균열 및 방전의 흔적이 없는 우수한 특성을 나타내었다.

그림 7은 시편 E에 인가된 1회 및 18회의 장시간 충격전류 파형이다.

18회의 장시간 충격전류의 인가 직후에 상용주파의 정격전압을 인가하여 바리스터의 열적 안정

성을 확인하였다. 이 시험은 상용주파전압이 인가되어 있는 실선로에서의 뇌격에 의한 뇌충격 서지 및 스위치 개폐 동작에 의한 개폐서지를 모의하는 복합안정성을 확인하는 것이다. 시험결과 그림 8과 같이 시간에 따라 전력 손실이 감소하여 안정화되는 특성을 나타내었다.

가속열화시험, 대전류 충격 시험, 장시간 충격 전류 시험, 열적 안정성이 모두 끝난 시편 E에 대하여 공칭 방전 전류인 5kA에서의 제한전압을 측정하여 초기의 값과 비교하였고, 표 7에 나타내었다. 표 7에 나타낸 바와 같이 시험전, 후의 제한전압 변화율이 1.4%인 매우 우수한 특성을 나타내었다.

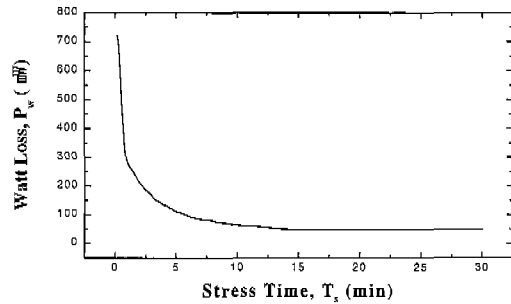


그림 8. 시편 E의 시간에 따른 전력손실 변화.

Fig. 8. Watt loss of sample E with time.

표 7. 시편 E의 시험전, 후의 뇌충격제한전압

Table 7. Lightning impulse residual voltage of sample E before and after test

시 편	뇌충격제한전압(kV) 5kA, (8×20μs)		변화율(%)
	시험전	시험후	
E	10.71	10.86	1.4 %

4. 결론

A~E의 각 조성 변화에 대한 ZnO 바리스터를 1130℃ 소결온도에서 제작하여, 조성 변화에 따른 미세구조, 전기적 성질 및 서지특성을 조사하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 소성 밀도는 전체적으로 이론밀도(5.78g/cm³)의 95% 정도로 치밀한 소결이 이루어졌으며, 기공율을 또한 5%정도의 낮은 기공율을 보였다. 시편 A~E의 평균 결정립 크기는 각각 11.89μm,

- 13.57 μm , 15.44 μm , 11.92 μm , 12.47 μm 로 시편 C의 ZnO 결정립이 가장 크게 나타났고, 시편 A와 D가 가장 작았다.
2. 모든 시편의 SEM 사진에서 ZnO 결정립(ZnO), 스피넬상($\text{Zn}_{2.33}\text{Sb}_{0.67}\text{O}_4$), Bi-rich상(Bi_2O_3), 입간상 등이 존재함을 알 수 있었다.
 3. 1130 $^{\circ}\text{C}$ 소성온도에 대한 동작개시전압은 시편 D, E > A > B > C 순으로 나타났으며, 개시 전지수는 전체적으로 30이상의 높은 특성을 나타내었고, 특히 시편 C는 68 이상의 매우 높은 값을 나타내고 있다.
 4. 뇌충격제한전압은 시편 A, B, C, E가 기준에 적합한 제한전압 특성을 나타냈으며, 시편 D의 경우는 높은 뇌충격시전압과 12kV 이상의 뇌충격 제한전압으로 5kA용 소자로서는 부적합한 특성을 나타내었다.
 5. 시편 B, C, D는 누설전류와 전력손실이 스트레스 시간에 따라 급격히 증가하는 특성을 나타내었으며, 특히 시편 C는 열폭주 현상(Thermal runaway)이 나타났다. 반면에 초기 누설전류가 매우 적은 시편 A와 E는 스트레스 시간에 따라 누설전류와 전력손실이 초기에는 급격히 감소하다가 일정한 특성을 나타내었다. 이러한 현상은 시편 A와 E가 상대적으로 낮은 초기 누설전류에 기인한 것으로 사료된다.
 6. 2회에 걸친 65kA의 대전류 충격 시험 후, 시편 A는 충격전류는 통과하였으나 소자의 연면이 파괴되었다. 반면에 시편 E의 경우는 시험 후, 소자의 외관이 양호한 우수한 방전내량 특성을 나타내었다. 이같은 현상은 시편 E의 Al_2O_3 첨가량이 시편 A에 비해 2배 증가시켰는데, 이로 인해 결정립의 저항치가 낮아져 방전내량을 향상된 것으로 추정된다.
 7. 시편 E는 18회의 장시간 충격 전류 시험 후, 양호한 특성을 나타냈으며, 소자의 표면 또한 균열 및 방전의 흔적이 없는 우수한 특성을 나타내었다.
 8. 시편 E의 시험전, 후의 제한전압 변화율이 1.4%인 매우 우수한 특성을 나타내었다.
- 이상의 결론으로부터 시편 E의 ZnO 바리스터는 고성능, 고안정성, 고서지흡수성을 갖는 우수한 소자로서 피뢰기용 ZnO 바리스터 소자로 바로 실선로에 적용할 수 있는 특성을 나타내고 있다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청의 지원에 의하여 산·학·연 컨소시엄사업으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] -ノ瀬 昇, "電子セラミクス," 오ーム社, p. 90, 1985.
- [2] 山口 喬 ほか, "エレクトロセラミクス," 技報堂出版社, p. 171, 1984.
- [3] 電氣學會, "酸化亜鉛避雷器の特性と評價試験法," 電氣學會技術報告, 第474号, 1993.
- [4] ニューケラスシリーズ 編集委員長會, "半導体セラミクスとその應用," 學獄社, p. 149, 1990.
- [5] L. M. Levinson and H. R. Philipp, "The physics of metal oxide varistors," J. Appl. Phys., Vol. 46, No. 3, p. 1332, 1975.
- [6] 한국전력공사, "전력용 피뢰기," ES-153-261-283, 1998.
- [7] 전기학회규격, "산화아연형 피뢰기," JEC-217, 1984.
- [8] M. Matsuoka, "Nonohmic properties of zinc oxide ceramics," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 10, No. 6, p. 736, 1971.
- [9] J. C. Wurst and J. A. Nelson, "Lineal intercept technique for measuring grain size in two-phase polycrystalline ceramics," J. Am. Ceram. Soc., p. 109, Feb. 1972.
- [10] 남춘우, 박춘현, "이트리아가 첨가된 프라세오디뮴계 산화아연 바리스터의 안정성에 관한 연구," 전기전자재료학회논문지, Vol. 11, No. 10, p. 842, 1998.
- [11] 남춘우, 박춘현, "ZnO 바리스터의 연속적인 DC 스트레스에 따른 노화거동," 전기전자재료학회논문지, Vol. 12, No. 5, p. 407, 1999.
- [12] 남춘우, "ZnO-Pr₆O₁₁-Er₂O₃ 계 바리스터의 안정성에 관한 연구," 전기전자재료학회논문지, Vol. 13, No. 8, p. 667, 2000.