

## 소결온도에 따른 ZPCCE계 바리스터의 제한전압특성

### Clamping Voltage Characteristics of ZPCCE-Based Varistors with Sintering Temperature

남춘우<sup>1,a</sup>, 박종아<sup>1</sup>, 김명준<sup>1</sup>, 유대훈<sup>1</sup>

(Choon-Woo Nahm<sup>1,a</sup>, Jong-Ah Park<sup>1</sup>, Myung-Jun Kim<sup>1</sup>, and Dea-Hoon Yoo<sup>1</sup>)

#### Abstract

The surge characteristics of ZnO varistors consisting of ZnO-Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>-CoO-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramics were investigated at various sintering temperatures. As sintering temperature raises, the varistor voltage was decreased from 341.2 to 223.1 V/mm, the nonlinear exponent was decreased from 64.9 to 44.1. On the other hand, the leakage current exhibited a minimum(0.64 μA) at 1340°C. The clamping capability was slightly deteriorated with increasing sintering temperature. On the whole, the ZPCCE-based ZnO varistors exhibited good clamping voltage characteristics as exhibiting the clamping voltage ratio of 1.85~1.92 approximately at surge current of 100 A.

**Key Words** : Ceramics, Varistors, Surge, Clamping voltage ratio

#### 1. 서론

최근의 전기, 전자통신, 전자기기는 대부분 반도체부품을 이용하여 기기의 소형, 경량화, 다기능화를 추구하고 있다. 하지만 낙뢰 및 개폐 썬지 등의 과도이상 전압에 매우 민감하여 기기의 오동작과 파괴에 이르기 쉬운 약점을 안고 있다. 이로 인한 정보수집의 중단사고는 신속하고 신뢰적인 데이터 송수신이 요구되는 각종 설비 운용에 중대한 장애요소가 되고 있으며, 이들 장비의 소손으로 인한 경제적인 손실도 매우 큰 것으로 보고되어지고 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 몇 가지 보호 소자들이 사용되어지고 있지만 이상 전압에 대한 동작속도 및 에너지 흡수능력이 가장 우수한 ZnO 바리스터의 사용이 신뢰성 측면에서 볼 때 효과적이라 하겠다[1,2]. 최근에 관심이 높아지고

있는 Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>계 ZnO 바리스터[3-12]는 미세구조, 전 f기적 특성, DC 스트레스에 대한 안정성 측면에서 주로 연구되어지고 있으나, 바리스터의 응용측면에서 가장 중요하다고 할 수 있는 썬지특성에 대한 연구는 상용 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>계 바리스터에 대해 한정되어 있고, 대개 규격집에 나타내어져 있지만 Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>계 ZnO 바리스터에 대해서는 거의 보고가 없다. 아무리 우수한 비직선성을 나타낼지라도 썬지 침입을 억제하지 못한다면 무용지물에 불과하다. 따라서 우수한 Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>계 ZnO 바리스터를 개발하기 위해서는 썬지특성에 관한 실험이 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서는 ZnO, Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>, CoO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>으로 구성된 5성분계 Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>계 ZnO 바리스터에 소정의 썬지전류를 인가하여 소결온도에 따른 바리스터의 제한전압특성을 고찰하였다.

1. 동의대학교 전기공학과

(부산시 부산진구 엄광로 995)

a. Corresponding Author : cwnahm@deu.ac.kr

접수일자 : 2004. 5. 10

1차 심사 : 2004. 6. 4

심사완료 : 2004. 6. 15

#### 2. 실험 방법

5성분계 시료 ZnO, Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>, CoO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 칭량하여 24시간동안 불밀 한 후 750°C에서 2시간

하소시켰다. 하소된 시료를 80 MPa 압력 하에서 성형한 후, 1335, 1340, 1345°C에서 2시간 소결하였다. 소결된 시편을 연마기(Logitech, PM5, UK)를 사용하여 경면가공한 후에 직경이 5 mm 되게 Ag 전극을 도포한 다음 600°C에서 10분간 열처리하였다.

ZPCCE계 바리스터 세라믹스의 밀도( $\rho$ )는 밀도측정용 소프트웨어가 장착된 전자천평기를 이용하여 측정하였으며, 평균 결정립 크기( $d$ )는 SEM(S2400, Hitachi)사진으로부터 선형교차기법[13]으로 결정되었다.

전압-전류( $V-I$ ) 특성은 곡선추적기와 Keithley 237를 사용하여 측정하였다. 바리스터 전압( $V_{1mA}$ )은 바리스터에 1 mA 전류가 흐를 때의 단자전압으로 측정하였으며, 누설전류( $I_L$ )는 0.80  $V_{1mA}$  인가시 흐르는 전류로 측정되었다. 비직선 지수 ( $\alpha$ )는 다음과 같은 식으로 구하였다.

$$\alpha = \frac{1}{\log E_2 - \log E_1} \quad (1)$$

여기서  $E_1$ 과  $E_2$ 는  $J_1=1.0 \text{ mA/cm}^2$ 와  $J_2=10 \text{ mA/cm}^2$ 에 대응되는 전계이다. 써지 제한전압( $V_C$ )특성은 써지발생장치(태양엔지니어링)를 사용하여 8/20  $\mu\text{s}$  파형의 10~200 A 써지전류( $I_p$ )를 흘렸을 때 바리스터 두 단자 사이의 전압으로 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 ZPCCE계 세라믹스의 소결온도에 따른 미세구조를 나타낸 SEM 사진이다. 모든 소결온도에서 ZnO 결정립과 입간상 외에는 다른 상이 존재하지 않는 단순한 미세조직을 나타내며, 소결온

표 1. 소결온도에 따른 ZPCCE계 바리스터의 미세구조 및  $V-I$  특성 파라미터.

Table 1. Microstructure and  $V-I$  characteristic parameters of ZPCCE-based varistors with sintering temperature.

Sintering temp.	$d$ ( $\mu\text{m}$ )	$\rho$ ( $\text{g/cm}^3$ )	$V_{1mA}$ (V/mm)	$\alpha$	$I_L$ ( $\mu\text{A}$ )
1335°C	9.67	5.46	341.2	64.9	0.88
1340°C	12.06	5.55	257.7	50.3	0.64
1345°C	14.07	5.59	223.1	44.1	0.94

도가 증가함에 따라 표면형상으로부터 기공이 감소함을 알 수 있다. 소결온도가 증가함에 따라 평균 결정립 크기( $d$ )는 9.67~14.07  $\mu\text{m}$  범위로 소결밀도( $\rho$ )는 5.46~5.59  $\text{g/cm}^3$  범위로 각각 증가하였다. 소결온도에 따른 자세한 미세구조 파라미터를 표 1에 나타내었다.

그림 2는 ZPCCE계 바리스터의 소결온도에 따른 곡선추적기의  $V-I$  특성곡선을 나타낸 것이다. 이 곡선으로부터 ZnO 바리스터의 대칭적이고, 저전압 영역에서 오프상태, 바리스터 전압 이상에서는 온상태인 분명한 비직선적인  $V-I$  특성을 확인할 수 있다. 보

다 자세한 바리스터의 전도특성을 분석하기 위해서는 그림 3과 같이 대수눈금으로 나타내는 것이 중요하다. 저전압에서는 비슷한 특성을 보이며 항복영역에서는 소결온도가 증가할수록 저전압 쪽으로 이동함으로써 바리스터 전압이 감소함을 보이고 있다. 상세한 바리스터의  $V-I$  특성 파라미터는 표 1에 요약하여 나타내었다. 바리스터 전압( $V_{ImA}$ )은 소결온도 증가에 따라 341.2~223.1 V/mm의 범위로 선형적으로 감소하였다. 또한, 비직선 지수( $\alpha$ )는 곡선의 꺾임의 정도

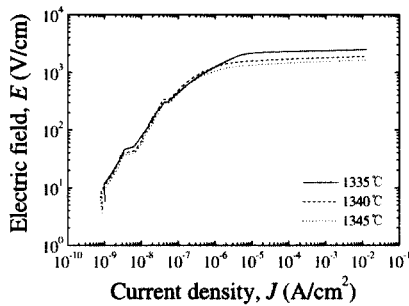


그림 3. 소결온도에 따른 ZPCCE계 바리스터의  $E-J$  특성; (a) 1335°C, (b) 1340°C, (c) 1345°C.

Fig. 3.  $E-J$  characteristics of ZPCCE-based varistors with various sintering temperature; (a) 1335°C, (b) 1340°C, and (c) 1345°C.

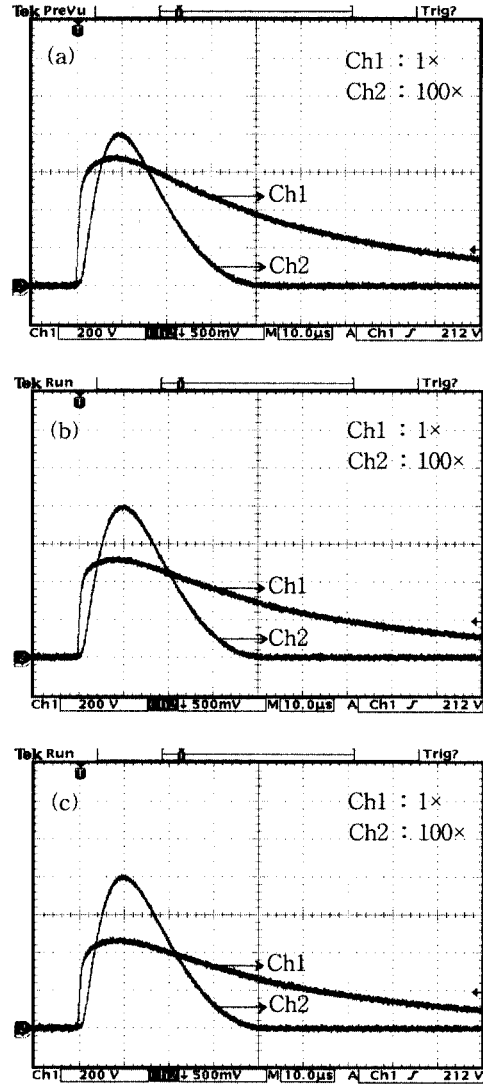


그림 4. 소결온도에 따른 ZPCCE계 바리스터의 제한전압특성; (a) 1335°C, (b) 1340°C, (c) 1345°C.

Fig. 4. Clamping voltage characteristics of ZPCCE-based varistors with sintering temperature; (a) 1335°C, (b) 1340°C, and (c) 1345°C.

에 따라 그 높고 낮음을 확인할 수 있지만 곡선으로부터는 확인하기가 어렵다. 소결온도에 따라 64.9~44.1의 범위로 감소하였지만 전체적으로 우수한 특성을 나타내었다. 누설전류( $I_s$ )는 소결온도가 증가함에 따라 0.64~0.94  $\mu A$  범위에서 감소하다 증가하는

경향을 보였으며, 1340℃에서 소결된 바리스터가 0.64 μA로 가장 낮은 값을 나타내었다.

그림 4는 소결온도에 따른 ZPCCE계 바리스터에 IEC 규정에 의한 8/20 μs 파형[14]인 200 A의 써지 전류( $I_b$ )를 인가하였을 때의 제한전압( $V_c$ ) 파형을 관찰한 것이다. 제한전압은 소정의 임펄스 전류가 흐를 때 바리스터에서 억제되는 전압으로 단자간의 전압으로 측정된다. 소결온도 증가에 따라 제한 전압이 감소함을 알 수 있다. 바리스터의 써지특성은 제한전압비( $K$ )가 작을수록 우수하다.  $K$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$K = \frac{V_c}{V_{1mA}} \quad (2)$$

써지전류를 10A에서 200A까지 증가시켰을 때  $K$ 는 1.99~2.08 범위로 소결온도 증가에 따라 증가하였다. 1335℃에서 소결된 바리스터가 전 써지전류 범위에서 상대적으로 낮은  $K$ 값을 나타내었지만 모든 바리스터에 대한 제한 전압특성은 양호한 것으로 나타났다. 따라서 비직선성 및 써지특성으로 보아 응용가능할 것으로 판단된다. 자세한 제한전압 및 제한전압비를 표 2에 요약하여 나타내었다.

표 2. 소결온도에 따른 ZPCCE계 바리스터의 제한전압특성 파라미터.

Table 2. Clamping voltage characteristic parameters of ZPCCE-based varistors with sintering temperature.

Sintering temperature	$I_b$ (A)	$V_c$ (V)	$K$
1335℃	10	528	1.55
	50	592	1.74
	100	632	1.85
	200	680	1.99
1340℃	10	400	1.55
	50	452	1.75
	100	480	1.86
1345℃	10	352	1.58
	50	400	1.79
	100	428	1.92
	200	464	2.08

#### 4. 결 론

ZnO, Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>, CoO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 구성되는 ZnO 바리스터의 소결온도에 따른 전기적 특성 및 써지특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 소결온도가 증가함에 따라 비직선 지수는 64.9~44.1범위로 감소하였으며, 1335℃에서 64.9의 최대 값을 나타내었다. 200 A의 써지전류에 대한 제한 전압비는 1.99~2.08 범위로 증가하였으며, 1335℃에서 1.99로 최소값을 나타내었다. 따라서 1335℃에서 소결된 바리스터가 바리스터 특성 평가에 중요한 비직선 지수와 제한전압비가 가장 우수한 것으로 나타났다.

#### 감사의 글

이 논문은 2004학년도 동의대학교 교내일반연구비 지원에 의하여 연구되었음.(과제번호 2004AA142)

#### 참고 문헌

- [1] 뉴클레러스-리리즈 編集委員會, “半導体セラミクスとその應用,” 學獻社, p. 149, 1990.
- [2] 電氣學會, “酸化亞鉛避雷器의 特性と 評價試驗法,” 電氣學會技術報告, 第474号, 1993.
- [3] K. Mukae, “Zinc oxide varistors with praseodymium oxide”, Ceram. Bull., Vol. 66, p. 1329, 1987.
- [4] A. B. Alles, R. Puskas, G. Callahan, and V. L. Burdick, “Compositional effects on the liquid-phase sintering of praseodymium oxides-based zinc oxides varistors”, J. Amer. Ceram. Soc., Vol. 76, p. 2098, 1993.
- [5] 남춘우, “ZnO-Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>-CoO-Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>계 바리스터의 안정성에 관한 연구”, 전기전자재료학회논문지, 13권, 8호, p. 667, 2000.
- [6] 남춘우, 윤한수, 류정선, “ZPCCE계 바리스터의 미세구조와 전기적 성질 및 안정성”, 전기전자재료학회논문지, 13권, 9호, p. 735, 2001.
- [7] 남춘우, 류정선, “Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>계 ZnO 바리스터의 전기적 안정성에 소결온도의 영향”, 전기전자재료학회논문지, 14권, 8호, p. 640, 2001.
- [8] 남춘우, 류정선, “Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>계 ZnO 바리스터의 DC 가속열화특성”, 전기전자재료학회논문지,

14권, 10호, p. 808, 2001.

- [9] C.-W. Nahm, "The nonlinear properties and stability of ZnO-Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>-CoO-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic varistors", *Mater. Lett.*, Vol. 47, No. 3, p. 182, 2001.
- [10] C.-W. Nahm, H.-S. Yoon, and J.-S. Ryu, "The nonlinear properties and d.c degradation characteristics of ZPCCE-based varistors", *J. Mater. Sci. Lett.*, Vol. 20, No. 5, p. 393, 2001.
- [11] C.-W. Nahm and C.-H. Park, "Effect of Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> addition on the microstructure, electrical properties, and stability of Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>-based ZnO ceramic varistors", *J. Mater. Sci.*, Vol. 36, No. 7, p. 1671, 2001.
- [12] C.-W. Nahm, "ZnO-Pr<sub>6</sub>O<sub>11</sub>-CoO-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub> based-ceramic varistors with high stability of nonlinear properties", *J. Mater. Sci. Lett.*, Vol. 21, No. 3, p. 201, 2002.
- [13] J. C. Wurst and J. A. Nelson, "Lineal intercept technique for measuring grain size in two-phase polycrystalline ceramics", *J. Amer. Ceram. Soc.*, Vol. 55, No. 97-12, p. 109, 1972.
- [14] International Electrothechnical Committee, "IEC 1000-4-series, Elctromagnetic Cmpatibility", IEC publisher, 1992.