

## ZPCCY계 바리스터의 썬지 스트레스 특성에 소결시간의 영향

### Effect of Sintering Time on Surge Stress Characteristics of ZPCCY-Based Varistors

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

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

#### Abstract

The electrical stability against surge stress of ZPCCY-based varistors were investigated at different sintering times. Sintering time decreased the varistor voltage and nonlinear exponent from 279.6 to 179.1 and from 52.5 to 24.9, respectively. On the contrary, the leakage current and dielectric dissipation factor increased from 1.2 to 9.8  $\mu\text{A}$  and from 0.0461 to 0.0651 with increase of sintering time. For all varistors, the variation rates of  $V-I$  characteristic parameters against surge stress were affected in order of varistor voltage  $\rightarrow$  nonlinear exponent  $\rightarrow$  leakage current. On the whole, the electrical stability against surge stress increased with increasing sintering time. Conclusively, it is assumed that the varistor sintered for 2 h exhibited comparatively good characteristics, in view of overall characteristics.

**Key Words** : ZPCCY-based varistors, Nonlinearity, Stability, Surge stress.

#### 1. 서론

다결정 산화아연 세라믹스 소자인 바리스터는 입계의 전기적 절연성에 기인하는 입계효과를 이용한 대표적인 썬지보호소자이다. 항복전압인 바리스터 전압을 전·후로하여 절연체와 도전체로 스윛칭되는 비직선적인 전류-전압 특성을 나타냄으로서 썬지로 일컫는 과도 이상 전압, 전류, 에너지를 흡수하여 접지로 방출시킨다. 따라서 바리스터와 병렬로 연결된 피보호체는 이러한 썬지로부터의 피해를 회피할 수 있다. 썬지어레스터, 썬지업소버로 독립 또는 모듈화되어 사용되며 전자회로에서부터 송·배·발·변전 시스템에 까지 광범위한 응용범위를 갖고 있다[1,2]. 비스무스산화물이 바리스터 형성산화물로 사용된 비스무스계 산화아

연 바리스터가 상용화되어 상품화된 대부분의 바리스터를 차지하고 있으나 최근들어 프라세오디뮴 산화물을 대체 형성산화물로 사용한 프라세오디뮴계 산화아연 바리스터에서 비스무스계의 액상소결에 기인하는 몇몇 단점들을 보완하는 우수한 특성이 보고되고 있어 관심이 높아지고 있다[3,4]. 한편 주로 연구개발 단계에서의 바리스터 성능평가는 주로 전기적 특성이나, DC 가속열화특성 시험이 위주였으나, 최근들어 썬지발생기의 보급으로 다양한 썬지시험들이 진행되고 있어 고품질 바리스터 개발에 기여하고 있다.

본 연구에서는 썬지 스트레스에 의한  $\text{ZnO-Pr}_6\text{O}_{11}\text{-CoO-Cr}_2\text{O}_3\text{-Y}_2\text{O}_3$ (ZPCCY)계 바리스터의 전기적 특성 변화에 소결시간이 미치는 영향을 조사하였다.

#### 2. 실험 방법

$\text{ZnO-Pr}_6\text{O}_{11}\text{-CoO-Cr}_2\text{O}_3\text{-Y}_2\text{O}_3$ 로 구성된 시료 조성식으로 칭량하여 시료를 지르코니아불이 든 폴

1. 동의대학교 전기공학과

(부산광역시 부산진구 엄광로 995)

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

리프로필렌 병에 넣은 다음, 분산매로 아세톤을 사용하여 24시간 불밀하였다. 750℃에서 2시간 하소한 후 하소된 시료를 재분쇄하고, 성형조제 PVA 수용액을 시료무게의 2 wt%를 첨가하여 혼합한 다음, 200 mesh 체로 조립하였다. 800 kg/cm<sup>2</sup> 압력에서 직경 10 mm의 디스크형으로 성형하고, 성형체를 소결온도 1350℃에서 1, 2, 3시간 소결하였다. 소결된 시편을 연마기(Logitech PM5)를 사용하여 1.4 mm 두께로 경면가공한 후, 실크스크린 기법으로 5 mm 직경의 은전극을 도포하여 600℃에서 10분간 열처리하였다. *V-I* 특성은 High Voltage Source-Measure Unit(Keithley 237)로 측정하였다. 바리스터 전압( $V_{1mA}$ )은 1 mA에서 전압으로 결정하였으며, 누설전류( $I_L$ )는 0.80  $V_{1mA}$ 에 대응하는 전류로 하였다. 비직선 지수( $\alpha$ )는 식  $\alpha = 1/(\log V_2 - \log V_1)$ 로부터 구하였다. 여기서  $V_1$ 과  $V_2$ 는 0.1 mA와 1 mA에 대응되는 전압이다. 유전손실계수( $\tan\delta$ )는 RLC 미터(Quadtech 7600)로 측정하였다. 썬지 스트레스에 따른 노화 특성은 썬지발생장치(TYENG)를 사용하여 150 A/cm<sup>2</sup>의 썬지전류(8/20  $\mu$ s)를 100, 400, 700, 1000회 1시간 간격으로 인가하여 조사하였다. SEM(S2400, Hitachi)으로 관찰한 미세구조로부터 선형교차기법에 의한 식,  $d = 1.56C_{eff}/MN_{eff}$ ( $C_{eff}$ 는 테스트 길이의 유효길이,  $M$ 은 SEM의 배율,  $N_{eff}$ 은 입계와 테스트 길이와의 유효교차수)를 이용하여 평균 결정립 크기( $d$ )를 계산하였다[5]. 세라믹스의 밀도( $\rho$ )는 밀도측정용 소프트웨어가 장착된 전자저울을 이용하여, 아르키메데스법으로 구하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 ZPCCY계 바리스터의 소결시간별 미세구조를 나타낸 SEM 사진이다. 소결시간이 1~3시간으로 증가함에 따라 소결성이 향상되어 평균 결정립 크기( $d$ )과 밀도( $\rho$ )는 각각 11.4~16.0  $\mu$ m, 5.34~5.54 g/cm<sup>3</sup>의 범위로 증가하였다. 자세한 미세구조 파라미터를 표 1에 나타내었다.

그림 2는 ZPCCY계 바리스터의 소결시간별 전계-전류밀도( $E-J$ ) 특성을 나타낸 것이다. 곡선에서 알 수 있듯이 바리스터가 유사절연체로서 동작하는 예비항복영역과 유사도전체로서 동작하는 항복영역으로 구분되는 knee 부위가 있는데, knee의 각

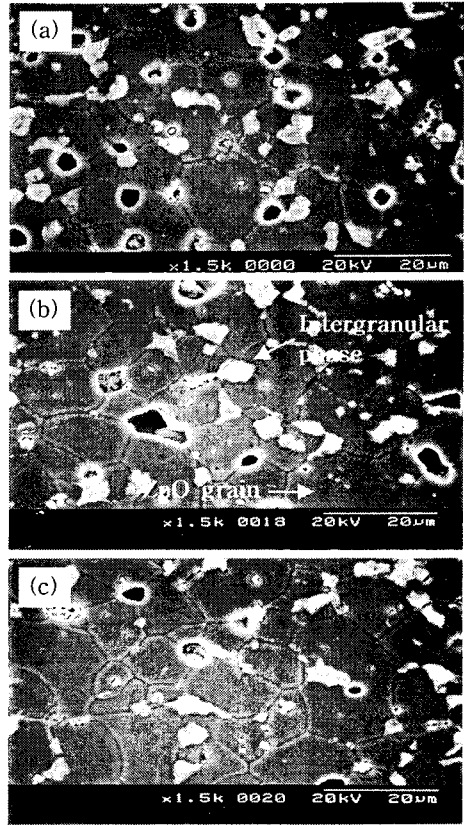


그림 1. ZPCCY계 바리스터의 소결시간별 SEM 사진; (a) 1시간, (b) 2시간, (c) 3시간.

Fig. 1. SEM micrographs of ZPCCY-based varistors with sintering time; (a) 1 h, (a) 2 h, and (b) 3 h.

표 1. ZPCCY계 바리스터의 소결시간별 미세구조 및 전기적 특성 파라미터.

Table 1. Microstructure and electrical characteristic parameters of ZPCCY-based varistors with sintering time.

Sintering time	$d$ ( $\mu$ m)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$V_{1mA}$ (V)	$\alpha$	$I_L$ ( $\mu$ A)	$\tan\delta$
1 h	11.4	5.34	279.6	52.5	1.2	0.0461
2 h	13.9	5.41	220.4	40.7	2.4	0.0651
3 h	16.0	5.54	179.1	24.9	9.8	0.0635

임성이 클수록 비직선성은 향상된다. 소결시간이

증가함에 따라 knee가 라운드 형태로 변화하며 비직선성이 저하될 것임을 예상할 수 있다. 바리스터 전압( $V_{1mA}$ )은 소결시간이 증가함에 따라 279.6~179.1 V의 범위로 감소하였다. 이것은 평균 결정립 크기의 증가에 따른 유효입계수의 감소에 기인하는 결과이다. 소결시간이 증가함에 따라 비직선 지수( $\alpha$ )는 52.5~24.9의 범위로 감소하였고, 반대로 누설전류( $I_L$ )는 1.2~9.8  $\mu A$ 의 범위로 증가하였다. 한편 1 kHz에서 측정된 유전손실계수( $\tan\delta$ )는 0.0461~0.0651의 범위에 존재하였다. 전체적으로 보아 1시간 소결된 바리스터가 가장 우수한 전기적 특성을 나타내었다. 자세한 전기적 특성 파라미터를 표 1에 나타내었다.

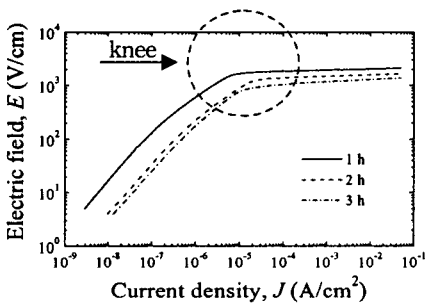


그림 2. ZPCCY계 바리스터의 소결시간별 E-J 특성.

Fig. 2. E-J characteristics of ZPCCY-based varistors with sintering time.

그림 3은 ZPCCY계 바리스터의 소결시간별 제한전압 특성으로 써지 스트레스 전류로 사용된 8/20  $\mu s$ 의 파형을 갖는 150 A/cm<sup>2</sup>의 써지 전류( $I_P$ )에 대한 제한전압( $V_C$ )을 나타낸 것이다. 소정의 일정한 써지 전류에 대해 소결시간이 증가함에 따라 제한전압이 감소하였는데, 이것은 바리스터 전압의 감소에 기인하는 결과이다. 상기의 써지 전류는 ZPCCY계 바리스터의 시편직경에 대한 정격써지전류인 10 A와 비교하면 큰 전류이다.

그림 4는 ZPCCY계 바리스터의 소결시간별 써지 스트레스 전·후의 전기적 특성 변화를 나타낸 것이다. 바리스터 전압 변화는 1시간 및 2시간에서 각각 미약하게 증가 또는 감소하였으며, 3시간에서

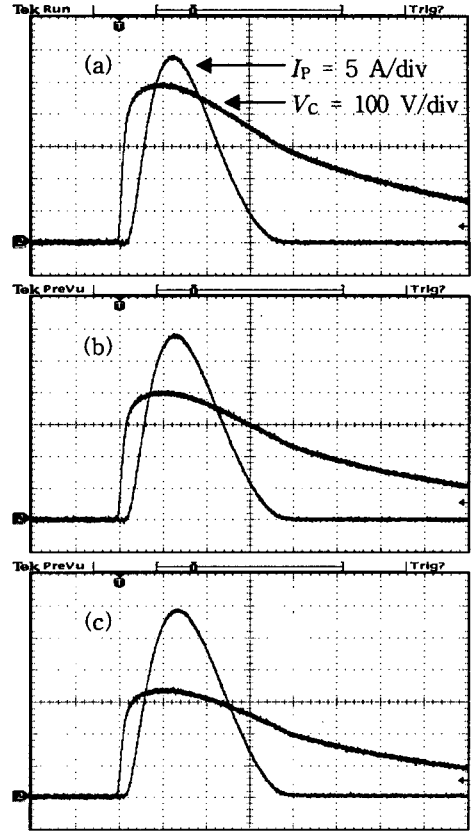


그림 3. ZPCCY계 바리스터의 소결시간별 제한전압 특성; (a) 1시간, (b) 2시간, (c) 3시간.

Fig. 3. Clamping voltage characteristics of ZPCCY-based varistors with sintering time; (a) 1 h, (a) 2 h, and (b) 3 h.

는 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 대체로 바리스터 전압의 써지 스트레스에 대한 저항성은 높은 것으로 나타났다. 비직선 지수 변화는 전체 소결시간에서 감소하였으며, 특히 3시간 소결된 바리스터에서 거의 변화가 없었다. 누설전류 변화는 상대적으로 다른 전기적 특성 파라미터보다 크게 나타났으나 3시간 소결된 것을 제외하고는 낮은 값을 나타내었다. 유전손실계수 변화는 1, 2시간에서는 증가한 반면 3시간에서는 감소하였다. 전체적으로 써지 스트레스에 따른 특성 변화를 볼 때 3시간 소결된 바리스터가 상대적으로 높은 안정성을 나타내었다. 한편 써지 침입시 바리스터의 보호능력을 나타내는 제한전압비( $K=V_C/V_{1mA}$ )는 소결시간

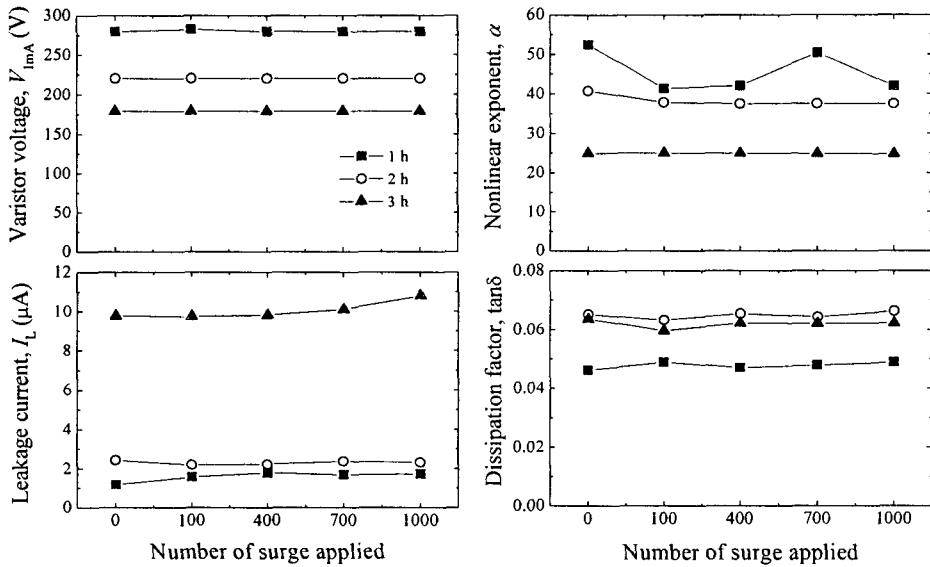


그림 4. ZPCCY계 바리스터의 소결시간별 썬지 스트레스 전·후의 전기적 특성 파라미터 변화.

Fig. 4. Variation of electrical characteristic parameters of ZPCCY-based varistors with sintering time before and after surge stress.

의 증가에 따라 증가하였는데, 이것은 비직선 지수와 반대되는 경향이며, 스트레스에 의한 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 자세한 썬지 스트레스 전·후의 전기적 특성 파라미터 변화를 표 2에 나타내었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 소결시간이 ZPCCY계 바리스터의 썬지 스트레스에 대한 안정성에 미치는 영향을 조사하였다. 썬지 스트레스는 바리스터 전압→비직선 지수→누설전류의 순서로 전기적 특성에 크게 영향을 미쳤다. 소결시간의 증가는 썬지 스트레스에 대한 전기적 안정성을 향상시켰으며, 3시간 소결된 바리스터가 썬지 스트레스에 대한 특성이 가장 우수하였다. 썬지 스트레스 전의 전기적 특성 파라미터를 고려하면, 2시간 소결된 바리스터가 우수한 전기적 특성 및 썬지 스트레스 특성을 나타내었다.

#### 참고 문헌

[1] L. M. Levinson and H. R. Pilipp, "Zinc oxide

varistors—a review", Am. Ceram. Soc. Bull., Vol. 65, No. p. 639, 1986.

[2] A. B. Alles and V. L. Burdick, "The effect of liquid-phase sintering on the properties of  $Pr_6O_{11}$ -based ZnO varistors", J. Appl. Phys., Vol 70, p. 6883, 1991.

[3] C.-W. Nahm, "Microstructure and electrical properties of  $Y_2O_3$  doped ZnO- $Pr_6O_{11}$ -based varistor", Mater. Lett., Vol 57, No. 7, p. 1317, 2003.

[4] C.-W. Nahm, J.-A. Park, M.-J. Kim, and D.-H. Yoo, "ZPCCE계 바리스터의 썬지 스트레스에 대한 안정성," 대한전기학회 하계 학술대회 논문집., Vol C, p. 1706, 2004.

[5] 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.