

## ZnO 바리스터의 비선형 계수 산정과 유전특성

강대하\*, 노일수\*, 김원희\*, 박윤동\*\*  
 부경대학교\*, 한국전기안전공사\*\*

### Estimation of Nonlinear Coefficients for ZnO varistor and Dielectric Properties

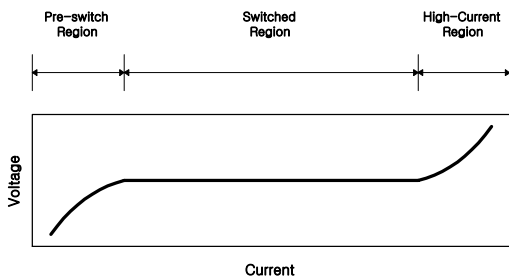
Dae-Ha Kang\*, Il-SOO Rho\*, Won-Hee Kim\*, Yoon-Dong Park\*\*  
 Pukyong National University\*, Korea Electrical Safety Corporation\*\*

**Abstract** - In this study V-I characteristics of ZnO varistor were measured and an equation taking into the leakage current. The results were very well consistent and the fitting parameters analyzed.

#### 1. 서 론

기능면에서 바리스터는 서로 반대방향으로 연결된 제너 다이오드와 동가이며, 전압 서지로부터 보호하려는 회로와 병렬로 사용한다. 정상상태에서는 바리스터의 항복전압 이하의 전압이 인가되며, 누설전류만을 통과시킨다. 인가전압이 항복전압을 초과할 때 바리스터는 매우 높은 도전성을 나타내며 도통하기에 이른다. 전압이 정상으로 돌아올 때 바리스터는 다시 절연성을 회복한다. 이러한 바리스터적 특성은 가역적이다. 전항복(pre-breakdown) 영역에서는 저항성이며, 누설전류는 온도의존성이다.

항복전압 이상에서는 두 가지 특징을 나타낸다. 그 하나는 고도의 비선형성이며, 다른 하나는 최상위전압에서 다시 저항성을 갖는 고전류영역을 나타낸다는 사실이다. 그림 1은 바리스터의 전형적인 전압-전류 특성을 나타낸다.



**<그림. 1> 바리스터의 전형적인 V-I 특성**  
**<Fig. 1> A typical V-I characteristics of the varistor**

바리스터의 전류 I와 전압 V의 관계는 다음 식으로 나타낸다.

$$I = K \cdot V^\alpha \quad (1)$$

여기서, K는 비례상수이며, α는 비선형지수로서 큰 것은 80에 이른다.

α=1의 경우 ohm성 저항체에 해당되며, α가 클 경우 바리스터로서의 성능이 우수한 것으로 되어있다. 바리스터는 주로 전압의 안정화, 접점의 소호, 전자회로의 서지흡수, 전력계통의 뇌해대책 등에 사용된다. 일반적으로 전압 안정화의 용도에는 α가 크고 서지내량이 큰 것이 사용된다.

바리스터는 기능에 따라 BaTiO3와 같이 소결체와 전극계면의 비오염성을 이용한 배리어(barrier)형과 ZnO, SiC, SrTiO3와 같이 소결체의 입계(grain boundary)가 갖는 비오염성을 이용한 BL(boundary layer)구조형으로 구분된다. 배리어형 바리스터는 세라믹 반도체의 표면에 비오염성 전극과 오염성 저항을 조합함

으로써 비대칭 바리스터를 얻을 수 있지만 전압의 비선형특성에 기여하는 배리어층이 극히 얇기 때문에 서지내량이 비교적 적고, 바리스터 특성을 얻을 수 있는 전압범위도 적은 결점이 있다.

BL구조형은 세라믹 내부 입계전압의 비직선성을 이용하고 있다. 이러한 구조의 바리스터는 전압-전류 특성이 대칭이고, 입계가 소결체 내부에서 망목상으로 퍼져 있으므로 높은 서지내량을 나타내며, 입계 및 입자의 특성을 제어함으로써 바리스터 전압을 얻을 수 있다[1].

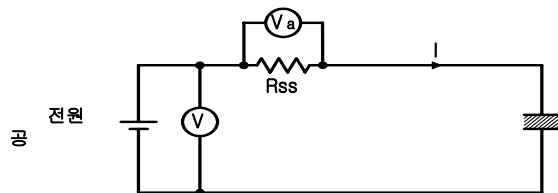
본 연구에서는 ZnO 바리스터의 전압-전류특성을 측정하여 그 특성을 분석하는데 누설전류를 고려한 식을 사용함으로써 실제의 데이터와 잘 일치함을 입증하였다.

#### 2 실험 및 검토

##### 2.1 실험

전압-전류 특성(V-I 특성)은 그림 4.53과 같은 회로를 사용하여 측정하였다.

전원 공급 장치는 Unicorn사의 DC Power Supply(up-100DT)를 사용하였고, 전압측정에는 Weston사의 Digital Multimeter(6400)를 사용하였으며, 전류측정은 표준저항  $R_{SS} = 100[\Omega]$ 을 사용하여 전압 강하법을 이용하였다.



**<그림 4.53> V-I 특성을 위한 측정회로**  
**<Fig. 4.53> Experimental circuit for V-I characteristics**

##### 2.2 실험결과

바리스터의 특성은 일반적으로 식 (4.33)으로 표현된다. 그러나 이 식은 바리스터의 실제적인 V-I 특성을 만족시킬 수 있는 경우가 드물다. 또한 전항복영역에서의 V-I 특성은 오염성을 나타내며, 항복영역에서도 절연과 파괴 전구전류가 흐르므로 실제의 특성과는 상당한 차이를 보인다. 일반적으로 바리스터의 특성값 중의 하나로서 비선형지수 α값을 들 수 있다. 이 값은 일반적으로 식 (4.34)로 계산된다[2,3].

$$\alpha = \frac{\log \frac{0.1}{I}}{\log \frac{V_{0.1}}{V_1}} \quad (2)$$

단,  $V_{0.1}$  : 0.1[mA]일 때의 전압

$V_1$  : 1[mA]일 때의 전압

그러나 이 식은 실제적인 V-I 특성을 전체적으로 반영함에 있어서 매우 미흡하다. 예로서 본 실험에서 ZnO바리스터 SVR47 시료의 경우  $V_{0.1} = 45.5[V]$ ,  $V_1 = 48.6[V]$ 로서  $\alpha = 34.9$ 로 계산되며 제조회사의 대표값의 범위에 속한다. 이 값을 식 (1)에 적용하여 실제적인 V-I 측정값에 피팅할 경우 전혀 맞지 않는다. 따라서 본 연구에서는 전항복영역의 오용성을 감안하여, 식(3)을 적용하였다.

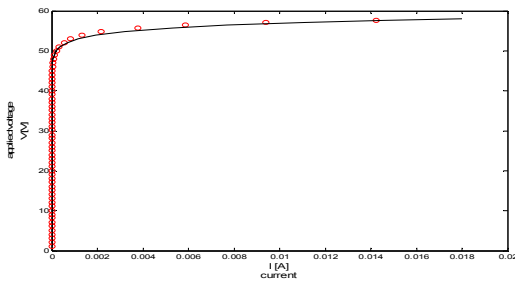
$$I = K_1 V + K_2 V^\alpha \quad (3)$$

여기서  $K_1$  : 선형 요소의 비례상수

$K_2$  : 비선형 요소의 비례상수

식 (1)의 첫째 항은 전항복영역의 오용성을 반영한 것이며 둘째 항은 항복영역의 비선형성을 반영한다.

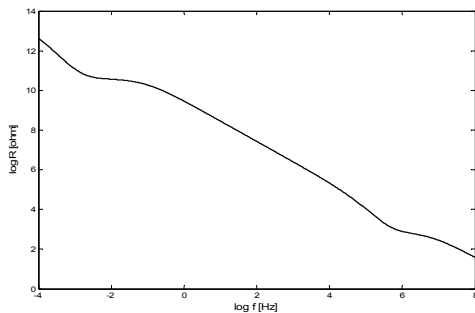
그림 3은 47 [V] ZnO 바리스터의 V-I 특성(O) 및 식(1)에 의한 커브피팅 결과(실선)를 나타낸 것이다.



〈그림 3〉 ZnO 바리스터의 SVR47-2 시료에 대한 V - I 특성(O) 및 커브피팅결과

〈Fig. 3〉 V-I characteristics(o) and curve-fitting result for the sample SVR47-2 of ZnO varistor.

이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 커브피팅 결과가 실제의 데이터와 잘 일치함을 알 수 있다. 표 1 및 표 2는 커브피팅 결과 얻어진 파라미터를 나타낸 것이다.  $K_1$ 은 바리스터전압이 클수록 큰 값을 나타내고 있다.  $K_1$ 의 역수는 전항복영역의 직류저항을 의미한다. 이  $K_1$ 의 역수를 검토해 보면 ZnO바리스터의 유전특성으로부터 산출한 그림4의 저항 - 주파수특성에 있어서 극히 낮은 주파수의 저항값과 대체적으로 일치한다.



〈그림 4〉 ZnO 바리스터의 SVR47-2 시료에 대한 주파수-저항특성  
〈Fig. 4〉 R-f characteristics for the sample SVR47-2 of ZnO varistor.

$K_2$ 는 비선형전압( $V^\alpha$ )에 대한 콘덕턴스를 의미하며, 표에서 알 수 있는 바와 같이 바리스터전압이 클수록 작은 값을 나타내고 있어 전항복영역에서의 비선형전압에 대한 절연성이 바리스터전압이 클수록 양호함을 알 수 있다.

비선형계수  $\alpha$ 는 바리스터전압이 클수록 큰 값을 나타내고 있다.

〈표 4.12〉 SrTiO3 바리스터 시료에 대한 커브피팅 V-I특성의 파라미터  
〈Table 4.12〉 Curve-fitting parameters of V-I characteristic s for samples of SrTiO3-based varistor

samples	K1	K2	$\alpha$	varistor voltage $V_{10}$
SR3F-1	$3.29 \times 10^{-14}$	$2.605 \times 10^{-5}$	2.994	7.39
SR5F-2	$2.196 \times 10^{-12}$	$2.952 \times 10^{-5}$	2.84	5.86
SR3H-2	$2.498 \times 10^{-12}$	$6.886 \times 10^{-8}$	4.02	17.04
SR5H-2	$3.293 \times 10^{-12}$	$4.192 \times 10^{-8}$	4.192	19.18

〈표 4.13〉 ZnO 바리스터 시료에 대한 V-I특성의 커브피팅 파라미터  
〈Table 4.13〉 Curve-fitting parameters of V-I characteristic s for samples of ZnO-based varistor

samples	K1	K2	$\alpha$	varistor voltage $V_{1.0}$
SVR18-2	$3.9589 \times 10^{-12}$	$9.3858 \times 10^{-20}$	12.55	18.92
SVR22-2	$4.5647 \times 10^{-12}$	$4.6966 \times 10^{-21}$	12.74	22.94
SVR27-2	$7.9728 \times 10^{-12}$	$2.0878 \times 10^{-38}$	23.81	28.62
SVR39-2	$1.3564 \times 10^{-11}$	$1.7933 \times 10^{-43}$	24.61	41.21
SVR47-2	$2.0015 \times 10^{-11}$	$1.9042 \times 10^{-47}$	25.61	50.91

### 3 결 론

본 연구에서는 ZnO 바리스터의 전압-전류(V-I)특성을 측정하여 그 특성분석에 누설전류를 고려한 식을 사용함으로써 실제의 데이터와 잘 일치함을 보였으며 관련 특성 파라미터를 분석하였다. 이상의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) V-I 특성분석을 위하여 전항복영역의 누설전류를 고려한 실험식을 사용함으로써 실제의 V-I 특성에 아주 잘 일치한 피팅 결과를 얻었다.

(2) 이 실험식에서  $K_1$ 의 역수는 누설저항을 나타내며 매우 높은 값으로서 저항-주파수 특성에 있어서 매우 낮은 주파수의 저항값과 거의 일치한다.  $K_2$ 는 비선형전압( $V^\alpha$ )에 대한 콘덕턴스를 나타내며 바리스터전압이 클수록 작은 값을 나타낸다. 이것은 전항복영역에서의 비선형전압에 대한 절연성이 바리스터전압이 클수록 양호함을 의미한다.

### 〔참 고 문 헌〕

- [1] T. Masuyama and M. Matsuoka, "Current Dependence of Voltage nonlinearity in SiC Varistors," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 7, pp.1294, 1968.
- [2] David R. Clake, "Varistor Ceramics", J. Am. Ceram. Soc., Vol. 82, No. 3, pp. 485-502, 1999.
- [3] D. Fernandez-Hevia, A. C. Cballeo, J. de Frutos and J. F. Fernandez, "Dominance of deep over shallow donors and non-Debye response of ZnO-based varistors", J. Europ. Ceram. Soc., Vol. 25, pp.3005-3009, 2005.