

### 10/350 $\mu$ s 서지전류의 크기와 인가횟수에 따른 바리스터의 제한 전압 특성 고찰

여인식\*, 고영민\*, 김동진\*, 김영선\*\*, 이기식\*  
 단국대학교\*, 성균관대학교\*\*

## A Study on the Characteristics of Varistor Limiting Voltage Versus Amplitude and Number of Injected Surge Current(10/350ms).

In-Sik Yeo\*, Young-Min Ko\*, Dong-Jin Kim\*, Young-Sun Kim\*\*, Ki-Sik Lee\*  
 Dankook University\*, Sungkyunkwan University\*\*

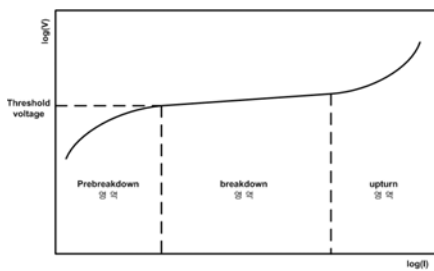
**Abstract** - 본 논문은 ZnO 바리스터에 10/350 $\mu$ s 서지전류를 인가하였을 때 서지전류의 크기와 인가횟수에 따른 바리스터의 제한 전압에 미치는 영향에 관한 것으로 동일한 사양의 시료에 서지의 크기를 다르게 하여 바리스터가 소손될 때 까지 인가하였으며 그 때의 전압을 각각 측정하였다. 그 결과 10/350 $\mu$ s 서지전류의 크기가 증가함에 따라 제한 전압의 크기는 증가하였고 바리스터가 소손되기까지의 서지인가횟수는 감소하였다.

### 1. 서 론

최근 전기·전자기기로서 침입되는 뇌서지에 대한 피해를 방지하기 위해 서지보호장치(SPD|Surge Protective Device)의 중용도가 점점 증가하고 있다. SPD를 구성하는 주요 소자로는 바리스터(Varistor)가 대표적이며 기존의 SPD의 성능평가방법으로는 8/20 $\mu$ s의 서지전류를 인가하여 평가하였으나 최근 들어 10/350 $\mu$ s의 서지전류에 대한 성능평가방법이 크게 대두되고 있다. 국내의 SPD 성능평가기관에서도 10/350 $\mu$ s의 서지전류 발생기를 보유하였거나 올해 안에 보유할 계획을 세우고 있다. 10/350 $\mu$ s 서지전류의 경우 기존의 8/20 $\mu$ s의 서지전류에 비해 단위 저항당 에너지 량이 현저하게 크며 이로 인해 서지보호장치의 보호내량도 현저하게 줄어들 수밖에 없다. 기존의 8/20 $\mu$ s 서지전류에 대해서는 누설전류를 측정하여 수명을 판단<sup>[1]</sup> 및 외관적인 상태로 소손을 판단하는<sup>[2]</sup> 연구와 클램핑(제한전압)을 측정<sup>[3]</sup>하는 연구등 다양한 연구가 수행되었으나 10/350 $\mu$ s 서지전류에 대한 연구는 전무한 상태이다. 본 논문에서는 10/350 $\mu$ s 서지전류를 인가하여 바리스터 양단에 걸리는 제한 전압을 측정하여 바리스터의 성능을 보고자 한다.

### 2. 바리스터의 V-I특성

바리스터는 일정 전류 범위 내에서 높은 비 저항성을 갖는 소자로서 일반적으로 스위칭서지 및 뇌 서지 보호용 많이 사용된다. 일반적인 바리스터의 전압-전류 특성곡선은 그림 1과 같다.



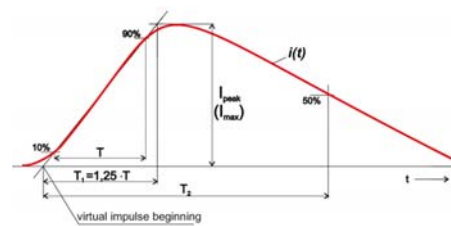
〈그림 1〉 바리스터의 전압-전류 특성곡선

그림 1에서 prebreak down 영역은 초기의 obmic한 특성을 나타내는 영역으로써 이 영역에서의 전압-전류 특성은 역방향으로 바이어스 된 Schottky 전위장벽(Reverse Biased Schottky barrier)을 넘어가는 열적으로 여기 된 전자의 흐름에 의해 지배되어지며, break down 영역은 높은 비저항성을 갖는 영역으로써 이 영역에서의 전압-전류 특성은 역방향으로 바이어스 된 Schottky 전위장벽을 tunneling 현상에 의하여 지나가는 전자의 흐름에 의해 지배되어지며 up turn 영역은 고전압-대 전류에서 reohmic한 특성을 갖는다.<sup>[4]</sup>

본 논문에서는 break down영역에서의 전류에 대한 전압 값을 보고자 한다.

### 3. 10/350 $\mu$ s 서지전류

서지전류 파형은 파두장 및 파미장의 길이와 전류의 최대값으로 결정이 되며 그림 2와 같다.



〈그림 2〉 서지전류 파형

여기서 10/350 $\mu$ s 파형의 파두장의 길이는 서지전류의 상승부분에서 최대값의 10~90% 까지 의 시간인 T에 1.25를 곱한 시간이며 이것이 10 $\mu$ s이다. 파미장은 상승부분에서 최대값의 10%부분과 90%부분을 직선으로 연결한 파형이 시간 축과 만나는 부분을 가상의 시작점으로 정하고 그 시간과 서지전류가 최대점을 지나 최대값에 50%에 해당되는 점을 통과할 때의 시간으로 정의되며 이 시간이 350 $\mu$ s이다<sup>[5]</sup>.

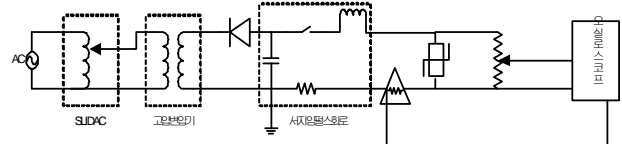
서지전류는 단위 저항 당 에너지 량으로 표현할 수 있으며 식(1)과 같다. 8/20 $\mu$ s 파형에 비해 10/350 $\mu$ s 파형의 단위 저항 당 에너지 량은 시뮬레이션을 통하여 약18배 정도 큰 것을 확인할 수 있었다.

$$W/R = \int i(t)^2 dt \quad (1)$$

### 4. 실험

#### 4.1 실험방법

바리스터 양단에 걸리는 제한 전압을 측정하기위해 전원단에서 SLIDAC와 변압기를 이용하여 서지임펄스회로에 충전되는 전압을 가변시키고 전원측과 절연시켰다. 또한 제한전압을 측정하기 위해 10M $\Omega$ 과 100k $\Omega$  저항을 바리스터와 병렬로 연결하여 바리스터 동작시 바리스터 저항보다 매우 크게 설정하여 바리스터를 통하여 흐르는 서지전류에 미치는 영향을 최대한 줄였다. 실험 장비의 구성은 그림 3과 같다.



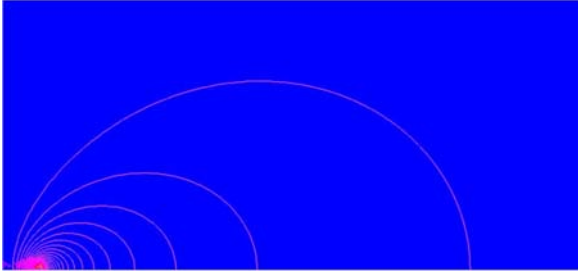
〈그림 3〉 실험 장치 회로

서지임펄스를 회로를 구성하는 R, L 및 C값은 시뮬레이션 TOOL인 Simplerer를 이용하여 선정하였으며 R, L 및 C값 중 제작이 다소 어려운 C값을 미리 선정된 다음 R과 L를 선정하는 방법으로 진행하였으며 그 중 인덕터의 제작은 전자장해석나라를 이용하여 선의 면적과 고어의 반경을 선정하였다. 여기서 C값은 710 $\mu$ F, R값은 0.68 $\Omega$  및 L값은 2.7 $\mu$ H이다.

그림 4은 전자장해석나라의 이용한 전자장해석 파형이다. 시뮬레이션

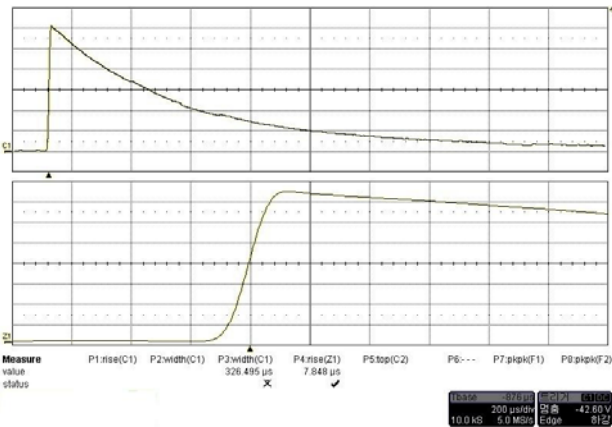
은 3차원 축대칭으로 하였으며 시뮬레이션으로 계산된 도체외부 에너지와 도체내부 에너지의 합이 전체에너지가 되며 그 값을 가지고 식 (2)를 통하여 한 턴에 대한 인덕턴스를 구하였다. 여기서  $W_m$ 은 전체에너지이다.

$$L = \frac{2W_m}{I^2} \quad (2)$$



〈그림 4〉 전자장해석

전자장해석을 위하여 도체의 외형크기를  $10 \times 2 \text{mm}^2$ 의 사각도체를 가지고 3차원 축대칭이므로  $2 \times 5 \text{mm}^2$ 로 주고 반경은 60mm로 하였으며 전류밀도는  $1 \text{A}/\text{m}^2$ 인 조건으로 시뮬레이션 하였다. 그 결과 전체에너지  $W_m$ 은  $4.8263 \times 10^{-17} [\text{J}]$ 이고 그 때의 인덕턴스는  $0.24 \mu\text{H}$ 가 되었으며 그로 인해  $2.7 \mu\text{H}$ 가 되기 위한 요구 turn수는 3.34[turns]이다. 그림 5는 실험장치의 실제 전류파형이다.



〈그림 5〉 10/350 $\mu\text{s}$  서지임펄스 전류

그림 5에서 위의 그림은 전체 파형을 나타낸 그림으로서 파미장의 길이가 326.495 $\mu\text{s}$ 는 알 수 있고, 아래 그림은 파두장 부분을 확대한 그림으로서 10~90%의 상승시간이 7.848 $\mu\text{s}$ 인 것을 알 수 있으며, 이로 인해 파두장과 파미장이 10/350 $\mu\text{s}$ 에 대하여  $\pm 10\%$  범위이내에서 만족되는 것을 알 수 있다.

시료로는 SUCCESS ELECTRONICS사에서 제공하는 32D511K 바리스터를 사용하였으며 서지전류는 0.5kA, 1kA, 1.5kA, 2kA를 1분 간격으로 인가하였으며 바리스터가 소손되기 전까지 실험하였다.

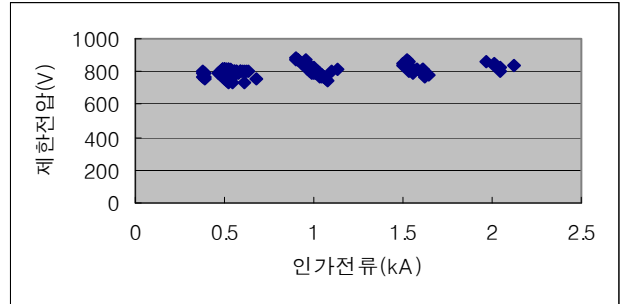
#### 4.2 실험결과

표 1은 0.5kA, 1kA, 1.5kA 및 2kA의 서지전류를 바리스터에 인가하여 측정된 제한전압과 바리스터가 소손이 될 때까지의 서지인가횟수의 평균치이다.

〈표 1〉 전류의 크기에 따른 평균제한전압 및 평균소손횟수

시료	평균실험전류	평균제한전압	소손까지의 평균횟수
32D511K	0.507 kA	790.6 V	395
	1.002 kA	801.1 V	7.1
	1.553 kA	823.1 V	4.4
	2.033 kA	835.5 V	1.4

표 1에서 실험전류인 서지전류가 증가 할수록 바리스터 양단에 걸리는 평균제한전압은 증가하는 것을 알 수 있었고 바리스터의 소손횟수는 감소하는 것을 알 수 있었다. 그림 6은 실제 실험 데이터의 전류에 대한 전압 분포도이다.



〈그림 6〉 전압 분포도

같은 사양의 시료를 사용하였음에도 불구하고 같은 전류에서의 제한전압 크기가 다소 차이가 나타나는 것을 알 수 있었다. 0.5kA를 인가하였을 경우 최소 / 최대 제한전압은 730V / 818V 이고, 1kA를 인가하였을 경우에는 670.2V / 879.2V이며, 1.5kA를 인가하였을 경우에는 770.3V / 872.5V 이며, 2kA를 인가하였을 경우에는 800V / 859V이다.

### 3. 결 론

본 논문은 10/350 $\mu\text{s}$  서지전류를 바리스터에 인가하여 바리스터의 양단에 걸리는 제한전압과 바리스터의 소손횟수를 측정된 것으로 바리스터에 인가된 서지전류가 클수록 제한전압의 평균크기가 증가하는 것을 알 수 있었고 서지전류가 작을수록 소손시 서지전류 인가횟수가 증가 하는 것을 알 수 있었다. 그러나 서지전류가 인가된 후 바리스터의 표면온도가 고온으로 증가하였으며 이로 인해 바리스터의 정확한 제한전압과 소손횟수를 측정할 수가 없었다. 차후 연구에는 온도를 고려하여 바리스터의 성능을 측정하고자 한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 이복희, 이봉, "8/20[ $\mu\text{s}$ ] 임펄스전류의 인가횟수와 크기가 ZnO바리스터의 수명에 미치는 영향", 조명·전기설비학회논문지, 제21권 제1호, pp. 118~124, 2007.
- [2] 이한규 외3명, "ZnO(산화아연)바리스터의 가속수명시험", 대한기계학회 2006년도 추계학술대회 강연 및 논문 초록집, pp. 13~18, 2006.
- [3] 김동진, 여인식, 이기식, "계통에 유입된 서지 양과 횟수에 따른 varistor 성능에 관한 연구", 대한전기학회 전기설비전문위원회 추계 학술대회 논문집, 2008.
- [4] 오명환 외5명, "전력계통 ZnO 비직선 저장체의 전기적 특성 향상을 위한 연구", 한국과학기술원, 1987.
- [5] 한국산업규격 KS C IEC 62305-1, 피뢰시스템, 제1부 일반원칙, 한국표준협회, pp.24~48 한국과학기술원, 2007.