

열폭주 방지 ZnO 배리스터 설계에 대한 연구

정태훈\*, 신희상\*, 조성민\*, 최성욱\*\* 김재철\*  
 숭실대학교\*, 삼현CNS(주)\*\*

A study on ZnO varistor Design Prevented from Thermal Explosion

Tae-Hun Jung\*, Hee-Sang Shin\*, Sung-Min Cho\*, Sung-Wook Choi\*\*, Jae-Chul Kim\*  
 Soongsil University\*, Samhyun CNS CO.,LTD.\*\*

**Abstract** - This paper examines the characteristics of ZnO varistor to prevent from thermal explosion. We carry out performance evaluation of electrical characteristics on ZnO varistor. we will develop ZnO varistor Prevented from thermal explosion using test result of this paper.

1. 서 론

전원용 서지보호기에 사용되는 ZnO 배리스터(MOV : Metal Oxide Varistor)는 낙뢰에 의한 서지로부터 설비를 보호하기 위해 사용되고 타 보호소자인 가스튜브(GDT : Gas Discharge Tube)에 비해 반응속도가 빠르고 반도체 형식의 TVS(Transient Voltage Surge Suppressor)에 비해 큰 서지내량을 가지도록 구현할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 그러나, 이러한 장점에도 불구하고, 배리스터의 특성상 열화 및 최대 방전 내량 이상의 서지유입으로 소자가 소손되었을 때 전원 선로 상에서 저 저항 상태로 소손되어 소손된 배리스터 소자에 의해 배전선로에 단락현상 및 화재를 유발하는 치명적인 단점을 가지고 있다[2]. 이러한 문제점을 해결하기 위해 외부에 별도의 단로기(MCB, 휴즈)를 장착 하여야 하는 불편함이 있어 왔으며, 또한 이러한 단로기가 뇌서지에 반응하여 차단되거나 파괴되어 배리스터의 정상동작을 방해하는 사례가 빈번하게 발생한다. 또한 서지에 대한 내성을 가지는 대용량의 단로기를 사용하는 경우, 소자 소손 시 안전성 확보를 위한 배리스터의 열폭주 현상 발생 시, 반응속도가 느려 소자의 발열 및 선로의 순간 지락을 제거하는 경우 또한 빈번하였다. 본 논문에서는 배리스터 소자가 지니고 있는 문제점인 외장형 단로기의 장착으로 인한 부피의 제약과 배리스터의 공칭방전내량 및 최대방전내량의 기준이 되는 8/20 $\mu$ s 전류 파형의 높은 내량에 대한 신뢰성 확보를 위해 배리스터 소자 표면의 온도를 감지하는 감응물질을 ZnO 배리스터 표면에 도포하여 최대 방전전류 내량에 대한 신뢰성을 최대한 확보하고 소자의 소손 시 ZnO 배리스터의 표면 온도를 감지하여 즉각적으로 반응하도록 설계하기 위한 연구이다.

2. 본 론

2.1 ZnO 배리스터의 특성

ZnO 계열의 금속산화물 배리스터는 배리스터 효과에 의해 우수한 전압제한 특성을 가지고 있다. ZnO의 입자는 매우 높은 전기전도도를 가지고 있으나 입체면에 존재하는 여러 가지 산화물(Bi, Co, Mn, Ni, Sb etc)은 높은 저항을 갖는다[1]. 금속산화물 배리스터의 전기적 특성의 경우 미세 배리스터 grain이 직/병렬로 연결되어 나타난다. 배리스터는 P-N접합 영역에서 에너지를 제어하는 반도체 소자와는 달리 고용량의 에너지를 직/병렬로 연결된 미세 배리스터에서 소비하거나 외부로 연결된 접지로 순시적 대용량의 서지 전류를 방출시키는 특성을 지니고 있다. 이러한 특성으로 인해 배리스터는 상용교류 전원용 설비를 보호하기 위한 소자로 많이 사용되고 있다.

2.1.1 기존 ZnO 배리스터 금속산화물 배리스터의 문제점

금속산화물 배리스터의 경우 장기적인 스트레스에 의한 누설전류량 증가에 따른 파괴 특성을 보이고 접지로 방출 할 수 있는 전류 내량 이상의 서지가 유입되어 배리스터가 소손 될 때, 단락 고장 모드와 고콜램핑 전압 고장 모드 등 여러 유형의 고장 모드로 나타난다[2]. 특히, 단락 고장 모드의 경우 사용전원이 배리스터 양단에 인가되어 일종의 저항성 부하가 되며 이로 인해 화재의 위험성이 발생하는 치명적인 단점을 가지고 있다[3].

2.2 일반적인 ZnO 배리스터 시편을 이용한 문제점 도출

우리나라의 저압 수전의 특성상 가장 많이 사용되는 상용교류전원 110[V]와 220[V]에 적용 가능한 II등급 SPD에 사용할 목적으로 2종의

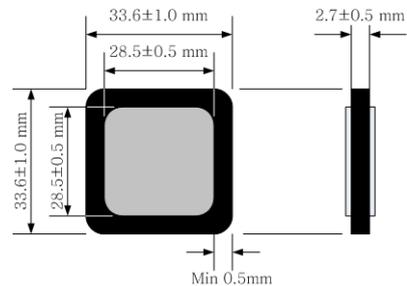
ZnO 배리스터 시편을 사용하여 제작하였다. 아래에서는 최대연속동작전압(V<sub>M</sub>) 150[V]용 ZnO 배리스터 시편을 시편-A로 최대연속동작전압(V<sub>M</sub>) 275[V]용 시편을 시편-B로 표기하였다.

<표2-1> 시편-A ZnO 배리스터의 전기적 특성

항목	단위	특성값
단일펄스피크전류(I <sub>TM</sub> )	kA	40
다중펄스피크전류(I <sub>TSM</sub> )	kA	20
동작 온도	℃	-20~+60
공칭 배리스터 전압(V <sub>N</sub> )	V	240±10%

<표2-2> 시편-B ZnO 배리스터의 전기적 특성

항목	단위	특성값
단일펄스피크전류(I <sub>TM</sub> )	kA	40
다중펄스피크전류(I <sub>TSM</sub> )	kA	20
동작 온도	℃	-20~+60
공칭 배리스터 전압(V <sub>N</sub> )	V	430±10%



<그림 1> ZnO 배리스터 시편의 외형

사용된 시편은 일반적으로 외부전극이 부착된 ZnO 배리스터 소자가 아닌 산화아연 파우더를 이용하여 제조과정에서 소결된 시편에 외부전극을 부착하기 위한 제1차 전극인 은(Ag)를 사용하여 증착된 전극면을 지니고 있으며 이러한 시편을 bare disc라고 칭한다.



<그림 2> 은(Ag) 전극위에 외부 전극 접합사신

2.3 시편-A와 시편-B를 이용한 문제점 도출

제작된 시편-A와 시편-B를 이용하여 제작한 일반적인 ZnO 배리스터 소자의 특성은 IEC 61643-331 : 2003 (저압 서지 보호 장치의 부품-계 331부:산화 금속 배리스터(MOV)에 대한 규정)를 만족하도록 제작을 하였다. 해당 ZnO 배리스터 소자를 이용하여 제작된 SPD가 사용 중 노화 및 열화에 의해 발생될 수 있는 열폭주 현상으로부터 전원계통을 보호

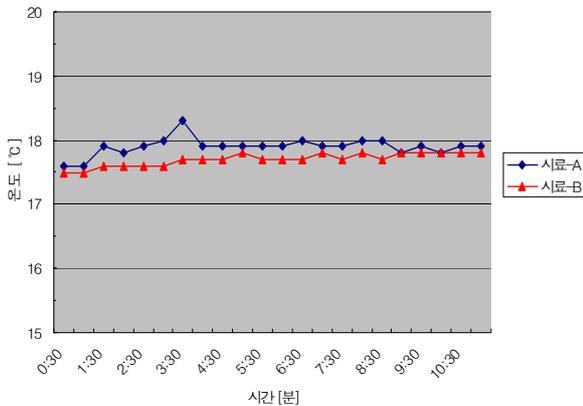
하거나 화재를 예방하기 위해 SPD 단로기(휴즈, 차단기 등)를 하우징 내부 또는 외부에 부착하게 된다. 그러나 단로기와 ZnO 배리스터 소자의 trade-off 관계에 의해 ZnO 배리스터 소자의 단일 임펄스 피크 전류 및 다중 펄스 피크 전류와 열폭주 현상에 의한 즉각적인 계통의 분리를 동시에 만족할 수 있도록 설계가 이루어져야하는 어려운 문제점이 발생하게 된다. 본 논문에서는 IEC 61643-1 (저전압 배전 계통의 서지 보호 장치-제1부 : 성능 및 시험방법)에서 제시하는 열적 안정성 시험을 통한 SPD 단로기와 안전 성능에 있어 ZnO 배리스터 소자의 열적 안정성 성능 개선을 위한 방안을 제시하기 위해 일반적인 ZnO 배리스터소자가 열적 안정성이 확보되지 않았을 때 열적 불평형 상태에 의한 배리스터 소자의 고장모드로 전환되는 것을 확인하였다.



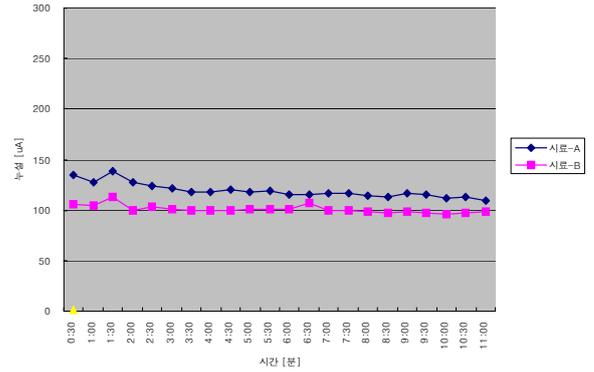
〈그림 3〉 열폭주 방지용 단로기와 협조가 없는 배리스터의 소손 사진

### 2.3.1 최대 연속 전압(V<sub>M</sub>) 인가에 따른 온도 특성과 누설전류

두 개의 전극을 가진 ZnO 배리스터에 연속적으로 인가될 수 있는 전압으로 교류 최대 연속 전압(V<sub>M(AC)</sub>)과 직류 최대 연속 전압(V<sub>M(DC)</sub>)에서 고장으로 인한 내부 소자의 온도 누적 상승이 없어야 하며 배리스터 소자가 열적 안정성을 지녀 ‘소자 고유의 전기적 특성이 유지되는가?’에 관한 기초적인 척도가 되는 파라미터이다. 본 시험에 사용된 시편-A의 경우 교류 최대 연속 전압이 150VAC이고, 시편-B의 경우 275VAC로 해당 최대 교류 전압 인가에 따른 열적 평형 상태를 확인 하였다. 또한, 본 시험에서는 열적 평형이 확보될 때까지 유지되어야 하며, 10분 이내에 2K 이하의 온도 변화가 유지되면 열적 안정성이 확보된 것으로 간주하였다. <그림 4>과 <그림 5>에서 보는 것과 같이 시편-A와 시편-B에 교류 최대연속동작전압(V<sub>M</sub>)(시편-A : 150V, 시편-B : 275V)이 인가되어도 배리스터 표면자체에서 누적되는 열적 불평형 상태는 확인 할 수 없으며, 향후 배리스터 표면에 온도 감응 가용합금을 이용하여 외부/인출 단자를 접합하여도 해당 항목은 문제될 것이 없다.



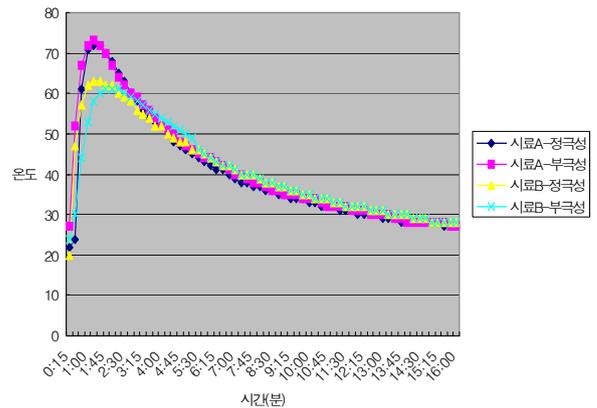
〈그림 4〉 시편-A와 시편-B의 교류최대연속전압(V<sub>M</sub>) 인가에 따른 열적 안정성



〈그림 5〉 최대연속전압(V<sub>M</sub>) 인가에 따른 누설전류

### 3.2.2 단일 펄스 피크 전류(I<sub>TM</sub>)인가에 따른 온도 특성

배리스터가 손상을 입지 않고 규정된 전류 임펄스를 견디도록 설계되었다는 것을 검증하는 것으로 본 시험을 위해 제작된 시편-A와 시편-B는 I<sub>TM</sub>= 40kA(8/20us)에 대한 정극성/부극성에 대해 시료의 손상이 없어야 하는 시험으로 해당 시험에 의해 “ZnO 배리스터 표면의 온도상승이 어느 정도 상승하는가?”에 관한 시험을 진행하였다. 두 개의 전극을 가진 시편-A와 시편-B는 배리스터가 손상되지 않는 단일 임펄스 정격 최대 전류값인 40kA(8/20us)를 인가하여 배리스터 소자 자체의 온도 누적 상승이 어느 정도 발생되는가를 확인하였다. 사용된 ZnO 배리스터 소자는 정상적인 동작온도가 -20~+85℃로 단일 펄스 피크 전류 (I<sub>TM</sub>) 인가에 따른 배리스터 소자 자체 발열로 인한 온도 상승 정도를 파악하고, 열적 평형이 확보될 때까지 상태를 유지하여 10분 이내에 2K 이하의 온도 변화가 유지되면 열적 안정성이 확보된 것으로 간주하였다.



〈그림 6〉 단일펄스피크전류(I<sub>TM</sub>) 인가에 따른 온도 특성

## 3. 결 론

본 논문에서는 기존 ZnO 배리스터문제점을 개선한 열폭주 방지 ZnO 배리스터 설계를 위한 성능시험에 관련된 기초 연구를 진행하였다. 제작된 시편을 통해 온도특성과 누설전류, 단일 펄스 피크 전류인가에 따른 온도특성의 성능 평가를 통해 thermal disconnector를 내장한 ZnO 배리스터 소자를 설계하기 위해 단일 임펄스 피크전류 시험을 통해 최대 보호 전류 내량이 유입되어 배리스터 소자가 보호 동작을 할 때 배리스터 표면의 발열량에 의해 thermal disconnector가 동작하지 않도록 하기 위한 기초 데이터를 추출하였다.

## [참 고 문 헌]

- [1] KS C IEC 62305-4 : 2007 피뢰시스템-제4부:구조물 내부의 전기전자시스템
- [2] M. Matsuoka, "Nonlinear Properties of Zinc Oxide Ceramics", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 10, pp. 736~746, 1971
- [2] Keith W.Eilers, "Applications and Safety Issues for Transient Voltage Surge Suppressors", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL.36, NO.6, NOVEMBER/DECEMBER 2000