
뇌충격전류에 의한 저압용 산화아연형 바리스터의 전기적 특성변화

이종혁*, 한주섭*, 길경석*, 권장우**, 송동영***, 최남섭

Changes of Electrical Characteristics of Low-voltage ZnO Varistors by a lightning Impulse Current

Jong-Hyuk Lee, Joo-Sup Han, Gyung-Suk Kil, Jang-Woo Kwon, Dong-Yeong Song,
Nam-Sup Choi

요 약

본 논문에서는 저전압 교류회로에서 과도이상전압에 대한 보호소자로 사용되는 산화아연형 바리스터의 뇌충격전류에 대한 영향에 대하여 기술하였다. 산화아연형 바리스터는 뇌충격전류에 의해 열화가 진행되며, 열화된 바리스터는 정상 운전전압에서도 열폭주에 도달하여 파괴되므로, 바리스터의 전기적 특성변화를 평가하는 것은 대단히 중요하다.

바리스터를 가속열화시키기 위하여 국제규격 IEC 61000-4-5에 규정된 뇌충격전류를 적용하였으며, 1회의 방전에 바리스터에는 약 12[J]의 에너지가 인가된다. 뇌충격전류의 인가에 따른 바리스터의 누설전류, 정격전압 등을 측정하였으며, 또한 바리스터에 뇌충격전류를 200회 인가 후 초기상태의 미세구조와 비교하였다. 실험결과로부터 바리스터는 뇌충격전류의 인가에 따라 누설전류는 증가하고 정격전압은 감소하는 경향을 나타내면서 전기적 성능이 저하됨을 확인하였다.

Abstract

This paper presents the effect of lightning impulse current on ZnO varistors(390 [V], 6.5 [kA]) used in low-voltage AC mains as a protective device against transient overvoltages. The electrical characteristics of ZnO varistors are deteriorated by overtime impulse current, and a deteriorated ZnO varistor is brought to a

thermal runaway and finally destroyed even in normal operating voltage. Therefore, it is important to estimate the changes of the electrical characteristics of ZnO varistors.

A lightning impulse current standardized in IEC 61000-4-5 is applied to the varistors to accelerate deterioration, and the energy applied to the varistor at each time is about 12 [J].

In the experiment, various parameters such as leakage current, reference voltage are measured with the number of applied impulse current. Also, micro-structure changes of the varistors after applying the lightning impulse current of 200 times are compared.

The electrical characteristics of the varistors are degraded by overtime impulse current, showing increase in leakage current and decrease in reference voltage.

I. 서 론

초고속 정보화시대에 부응하여 전기·전자·통신기기의 고기능화, 소형화를 위한 고밀도 집적회로의 사용으로, 이들 기기는 과거와는 달리 낙뢰나 개폐기 조작시 발생하는 과도전압에 매우 취약한 실정이다. 과도전압에 대한 대책으로 전기·전자기기의 전원 및 신호·통신회로에 가스 튜브, 아발란시 다이오드, 바리스터 등 각종의 보호소자들이 사용되고 있으며, 이들 보호소자의 적용으로 기기의 신뢰성은 한층 증가되었다.

그 중 산화아연형 바리스터(ZnO varistor)는 양방향성 보호소자로 다른 보호소자에 비해 에너지 내량이 크고 동작속도가 빠르면서도 광범위한 제한전압의 설정이 가능하며, 전압-전류의 비선형 저항특성이 우수하고 가격이 저렴하여 가장 널리 사용되고 있다[1].

이와 같이 ZnO 바리스터는 과도전압에 대해 보호소자가 갖추어야 하는 전기적 특성을 가지고 있지만, 과도전압에 대한 반복되는 보호동작으로 많은 열화가 진행되면서 정상 운전조건에서도 누설 전류가 흘러 이로 인한 기기의 오동작, 감전, 화재 등 2차적인 사고를 유발시킬 수 있으므로 이에 대한 분석과 대책이 필요하다[2],[3]. 현재까지는 바리스터의 에너지 내량 향상, 보호회로 개발 등에 관한 연구만 활발히 진행되어 왔을 뿐, 열화전전에 관한 연구는 거의 수행된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 ZnO 바리스터의 주된 열화 요인인 뇌충격전압을 인가시켜 바리스터를 가속열화시키고 열화전전특성을 분석하였다. 열화가 진전된 바리스터

의 미세구조 변화를 주사형 전자현미경(SEM)으로 분석하여, 열화전전에 따른 바리스터의 전기적 파라미터에 미치는 영향을 분석하였다.

본 연구결과는 산화아연 바리스터의 열화전전에 따른 전기적 특성변화를 이해하고, 바리스터의 수명예측, 신뢰성 평가 등에 요구되는 기초적 자료를 제공할 수 있으리라 생각된다.

II. ZnO 바리스터의 구조 및 특성

ZnO 바리스터의 구조는 그림 1(a)에 나타낸 것과 같이 세라믹 다결정체로서 ZnO 입자(grain), 스피넬(spinel), 입계층(grain boundary)의 3가지 결정상으로 구성되어 있다.

바리스터의 주성분인 ZnO 입자는 10~20 [μ m] 정도의 균일한 크기이며, 순수한 ZnO와는 달리 쌍을 이룬 형상으로 n형의 반도체성을 가지고 있다.

스피넬은 ZnO 입자사이에 존재하는 물질로 높은 저항을 가지고 있으며 ZnO 입자의 성장을 제한하는 역할을 하지만, 특별한 전기적인 역할은 하지 않는다. 입계층은 Bi₂O₃ 중심의 첨가물을 가진 ZnO 입자를 둘러싸고 바리스터의 비선형 저항특성에 영향을 미치는 100 [A]보다 작은 층으로, 소자의 열화시 가장 큰 변화를 보인다[4].

ZnO 입자의 크기는 소자의 비선형 저항에 의한 보호동작중 전압 제한 특성인 항복전압을 결정하게 된다. 항복전압은 그림 1(b)와 같이 입계가 직렬로 연결된 수에 따라 증가하며, 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 즉, 주어진 바리스터에 있어서 입자의 크기가 작으면 입계의 수가 많으므로 보다

큰 전압에서 항복이 일어나게 된다.

$$V_b = n v_b \quad [V] \quad \dots\dots\dots (1)$$

여기서 V_b 는 바리스터의 항복전압, n 는 직렬로 연결된 입계의 수, v_b 는 입계층의 항복전압이다.

바리스터의 에너지 내량은 입계의 병렬 연결수에 의해 결정되며, 바리스터의 단면적이 증가하면 입계의 병렬 연결수가 증가하므로 에너지 내량도 증가하게 된다. 그림 1(a)에서 하나의 입계층은 3~4 [V]의 항복전압을 갖고 있으며, 전압-전류 특성이 대칭인 미세 비선형 저항소자가 직·병렬로 연결된 다중접속 구조를 갖는다.

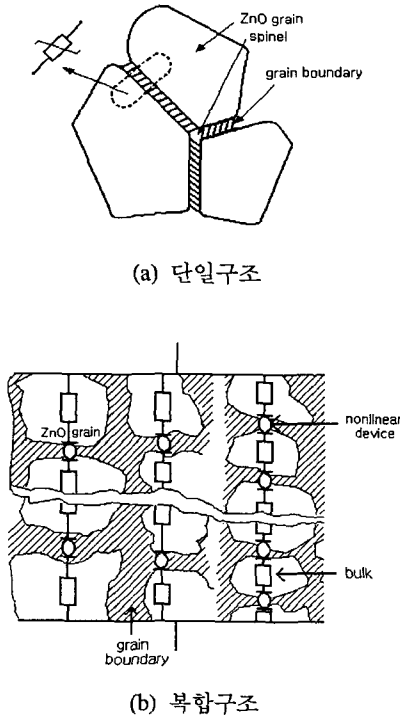


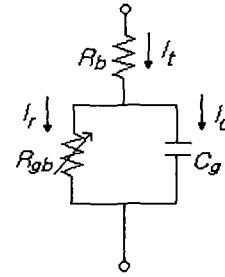
그림 1 ZnO 바리스터의 미세구조
Fig. 1 Micro-structure of a ZnO varistor

바리스터는 통상적인 세라믹 소자와 유사한 제조 과정을 거치게 되며, ZnO 분말에 여러 가지 화합물을 섞어 성형과 소결의 과정을 통해 제조되어진다.

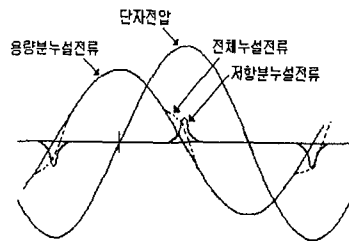
그림 2에는 바리스터의 등가회로와 정격전압이 인가되었을 때의 전압·전류파형을 나타낸 것이다. 여기서 I_t , I_r , I_c 는 전체 누설전류, 저항분 누설전류, 용량분 누설전류를 나타낸 것으로, 바리스터 양단에 교류전압을 인가하면 저항분 누설전류와 용량분 누설전류가 흐르게 된다. 또한 바리스터의 열화가 진행되면서 누설전류가 증가하는데, 이것은 ZnO 입계층의 변화에 의해 저항분 누설전류와 용량분 누설전류가 증가하기 때문이다.

ZnO 소자에 흐르는 누설전류는 인가되는 전압과 동상인 저항분 누설전류와 $\pi/2$ 앞서는 용량분 누설전류로 나타낼 수 있으며, 저항분에 비해 용량분 누설전류가 크게 나타난다[5],[6].

이들 누설전류는 바리스터의 한 단자에서 검출할 수 있으며, 저항분 누설전류의 증가는 전체누설전류중에서 3조파 누설전류의 변화를 측정하여 알 수 있다. 또한 누설전류의 최대값, 실효값, 평균값



(a) 전기적 등가회로



(b) 누설전류 파형 예

그림 2 바리스터의 등가회로와 누설전류 파형
Fig. 2 Equivalent circuit and leakage current waveforms of a varistor

등의 변화방향은 소자의 특성, 그 중에서도 에너지 내량에 따라 다르게 나타나는데, 가장 민감한 변화를 나타내는 것은 최대값의 변화이다.

바리스터는 그림 1에서와 같이 ZnO 입자가 입계층에 직·병렬로 연결된 구조이며, 입자의 크기와 입계층의 두께가 모두 동일한 것은 아니므로 ZnO 소자에 뇌충격전류가 인가될 때, 입계층에 가해지는 전계의 세기도 달라지게 된다. 따라서 각 입자에 인가되는 에너지량도 달라서 입자의 전기적 스트레스는 소자 전체에 걸쳐 다르므로 일부 입자 또는 입계층에만 변형이 발생하게 된다.

이와 같이 열화가 진전되는 과정에서 직·병렬로 연결된 일부 입자와 입계층만이 변형되었다면 임의의 전압에서 입계에 가해지는 전계가 입자 사이의 비선형 특성으로 어떤 전계 이상에서만 비선형 특성을 나타내면서 누설전류의 최대값의 변화가 관측될 것이며, 실효값은 전 정상운전전압의 1/2주기에서는 큰 변화로 나타나지 않을 것이다. 이러한 이유로 본 연구에서는 누설전류의 변화는 최대값만을 비교하여 그 결과를 분석하였다.

III. 실험장치 및 방법

ZnO 바리스터는 교류 과전압과 뇌과전압에 의해 열화가 진전되며, 현재 전기·전자회로는 안정한 상태의 전원을 사용하므로 교류 과전압에 의한 열화보다는 뇌과전압에 의한 열화가 지배적이다.

본 연구에서는 ZnO 바리스터를 뇌충격전류로 가속열화시키면서 전기적 특성변화와 미세구조 변화를 분석하였다. 실험에 사용한 ZnO 바리스터는 정격전압 390 [V](1 [mA] 누설전류), 방전내량 6.5 [kA]로 220[V] 전원계통에 광범위하게 사용되는 소자이다.

뇌충격전류 인가장치는 국제규격의 조합형 서지 발생장치(Haefely, PSURGE 4010, 1.2/50 [μ s], 4.2 [kVmax], 8/20 [μ s] 2.1 [kAmax])를 이용하였으며, ZnO 바리스터 양단의 제한전압은 1000 : 1 고전압프로브(P6015, 40 [kV], DC ~ 70 [MHz], Tek.)로 측정하였다.

ZnO 바리스터의 뇌충격전류에 의한 특성변화를 분석하기 위하여 국제규격 IEC 61000-4 -5(surge

immunity test)에 규정된 정극성 1.2/50 [μ s], 4[kV]의 표준 뇌충격전압을 상용전원 220 [V], 60 [Hz]의 90° 위상에 중첩시켜 1분 간격으로 20회씩을 군단위로 200회 인가하였다[7]~[9]. 매 군단위마다 ZnO 바리스터의 누설전류 성분과 동작개시전압, 표면온도 변화를 관측하였으며, 마지막으로 뇌충격전류에 의해 열화된 ZnO 바리스터의 미세구조변화를 주사형 전자현미경(SEM)으로 분석하였다.

그림 3은 실험장치 및 측정계의 구성을 나타낸 것이다. 뇌충격전류 인가 후 ZnO 바리스터의 누설전류 성분 즉, 전체누설전류 및 3조파 누설전류의 최대값은 그림 4와 같은 누설전류 분석장치를 이용하였다.

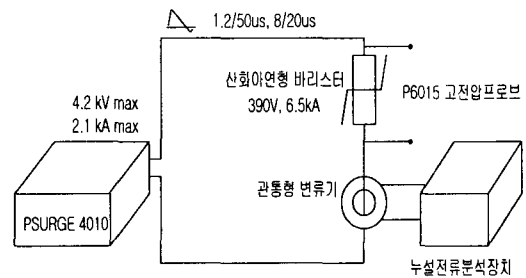


그림 3 실험장치 및 측정계의 구성
Fig. 3 Configuration of the experimental apparatus and the measurement system

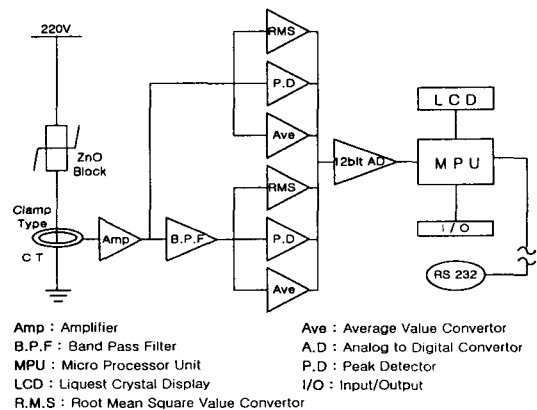


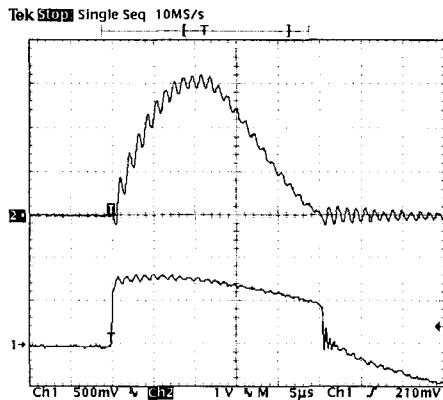
그림 4 누설전류 분석장치의 구성
Fig. 4 Configuration of the leakage current analyzer

누설전류 분석장치는 증폭회로 및 마이크로 프로세서(PIC BASIC)로 구성하였으며 관통형 변류기에서 입력된 신호는 증폭단을 통해 3조파 필터로 입력된 후 원신호와 비교되어 전체 누설전류 및 3조파 누설전류의 평균값, 실효값, 최대값을 LCD를 통해 나타나도록 하였다. 또한 3조파 필터는 중심주파수가 180 [Hz]인 대역 통과 필터로써 ZnO 바리스터의 전체 누설전류에서 3조파 누설전류 성분을 검출할 수 있도록 하였고 분해능이 0.7 [μ A]로써 최대 2862 [μ A]까지 전체 누설전류를 검출할 수 있도록 하였다.

IV. 실험결과 및 고찰

ZnO 바리스터의 열화진전에 따른 특성변화를 분석하기 위하여 8/20 [μ s]의 뇌충격전류를 인가하면서 바리스터의 제한전압, 방전전류, 누설전류 및 동작개시전압 등의 변화를 분석하였다.

그림 5는 PSURGE 4010을 사용하여 저압용 ZnO 바리스터(390 [V], 6.5 [kA])에 표준 뇌충격전압(1.2/50 [μ s])를 인가하였을 때 바리스터의 보호동작으로 뇌충격전류(8/20 [μ s])가 흐르는 것을 측정 한 파형이다.



상 : 방전전류파형 [500 A/div, 5 μ s/div]

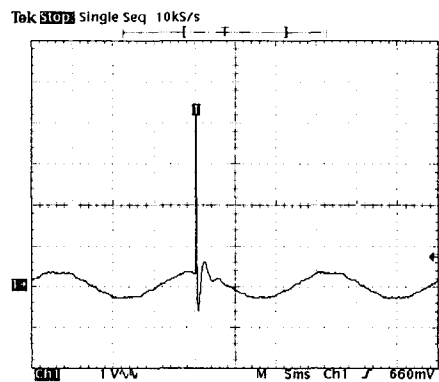
하 : 제한전압파형 [500 V/div, 5 μ s/div]

그림 5 뇌충격전류와 제한전압의 파형

Fig. 5 Waveforms of the lightning impulse current and the clamping voltage

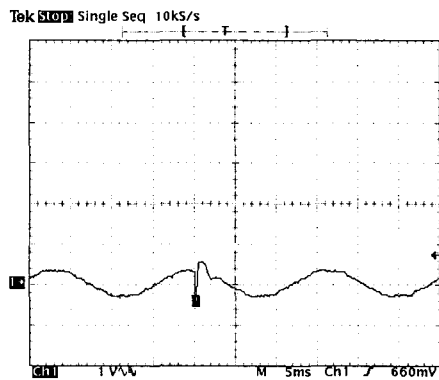
4 [kV]의 뇌충격전압이 바리스터에 인가되었을 때 소자에 흐르는 전류는 1.54 [kA], 소자 양단의 제한전압은 약 750 [V]를 나타내었다. 이와 같은 조건에서 바리스터에 1회의 뇌충격전류로 인가되는 에너지는 11.65 [J]이다.

ZnO 바리스터의 가속열화에 있어 뇌충격전류는 바리스터가 사용되는 실제 환경과 마찬가지로 그림 6(a)에 나타낸 바와 같이 상용주파수(60 [Hz], 220 [V]) 전원을 소자 양단에 인가한 상태에서, 뇌충격전압을 전원전압의 90° 위상에 중첩시켰다. 인가된 뇌충격 전류는 그림 6(b)와 같이 ZnO 바리스



[500 A/div, 5 ms/div]

(a) 90° 에 중첩



[500 A/div, 5 ms/div]

(b) ZnO 바리스터 동작에 의한 파형

그림 6 ZnO 바리스터의 동작특성

Fig. 6 Characteristics of behavior to ZnO varistor

터의 보호동작으로 제한됨을 알 수 있다. 이때 ZnO 바리스터에 인가된 뇌충격전압은 약 4.14 [kV]이며, 바리스터의 보호동작으로 제한된 전압은 약 500 [V]이다.

뇌충격전류 인가에 따른 ZnO 바리스터의 동작 개시전압의 변화를 그림 7(a)와 (b)에 나타내었다. 교류전압에서의 동작개시전압은 뇌충격전류를 인가하기 전에 318 ~ 320 [V]이었으나, 뇌충격전류의 인가에 따라 점차 감소하여 200회 인가 후에는 ZnO 바리스터의 열화로 인해 약 20 [V]정도로 감소함을 알 수 있었다.

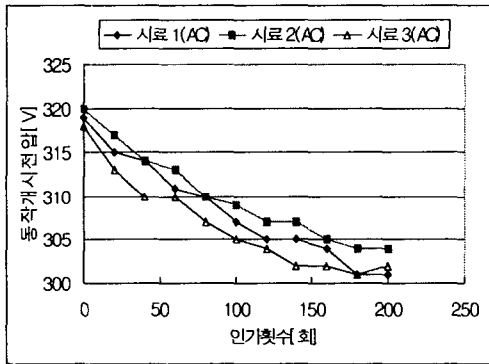
또한 직류에서의 동작개시전압도 뇌충격전류를 인가하기 전에는 시료 모두 414 [V]로 동일한 값이 측정되었지만, 뇌충격전류에 인가에 의해 점차 감소하여 200회의 뇌충격전류를 인가한 후에는 383

~ 394 [V]정도로 낮아짐을 알 수 있었다.

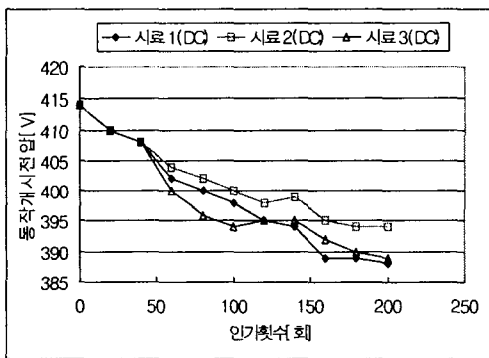
ZnO 바리스터에 뇌충격전류를 인가함에 따라 직류 및 교류에서의 동작개시전압이 감소하는 이유는 뇌충격전류가 ZnO 바리스터에 인가될 때마다 ZnO 입자에 가해지는 고전계로 인하여 ZnO 입자는 점차 커지는 반면에 비선형 저항특성을 가지는 입계층은 점차 감소하게 되어 보다 낮은 전압에서도 입계간의 전자 이동이 쉬어지기 때문으로 생각된다.

그림 8은 뇌충격전류의 인가에 따른 ZnO 바리스터의 전체 누설전류와 3조파 누설전류의 최대값 변화를 나타낸 것이다.

그림 8(a)에서 전체 누설전류(peak)는 뇌충격전류의 인가전에는 약 100 ~ 104 [μ A] 정도가 측정되

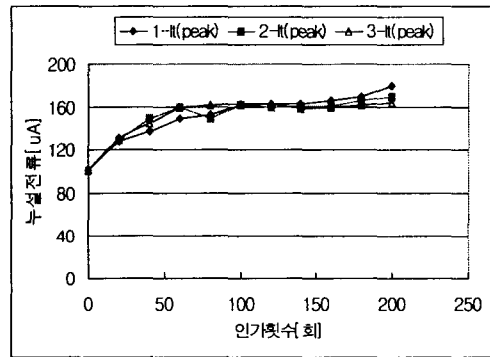


(a) 교류 인가시

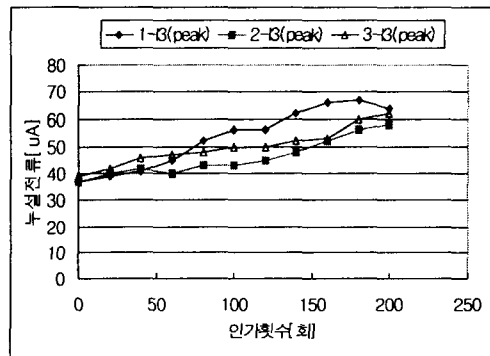


(b) 직류 인가시

그림 7 동작개시전압 변화
Fig. 7 Changes of reference voltages



(a) 전체 누설전류



(b) 3조파 누설전류

그림 8 뇌충격전류 인가에 의한 누설전류 변화
Fig. 8 Changes of leakage current to applied number of lightning impulse current

있지만 200회를 인가한 후에는 164 ~ 180 [μ A]지 증가하는 경향을 나타내었다.

또한 3조파 누설전류(peak)는 그림 8(b)와 같이 뇌충격전류 인가전에 37 ~ 39 [μ A]의 값을 나타내었지만, 뇌충격전류를 인가함에 따라 서서히 증가하는 경향을 보였고 200회를 인가한 후에는 58 ~ 63 [μ A]까지 증가하였다. 전체 누설전류와 3조파 누설전류에서 뇌충격전류를 인가후의 값이 크게 변화하였고, 바리스터의 열화 정도가 심해질수록 전체 누설전류의 증가보다는 상대적으로 3조파 누설전류의 증가가 현저한 변화를 나타냈다.

그 이유는 ZnO 바리스터에 흐르는 전체 누설전류는 용량성과 저항성 성분(3조파 성분)으로 구분되며, 뇌충격전류로 인해 점차 열화가 진전됨에 따라 입계층(입계저항)이 감소하므로 전체 누설전류의 대부분인 용량성 전류보다는 입계저항에 흐르는 저항성 전류가 증가하기 때문이다.

그림 9는 뇌충격전류를 인가할 때 바리스터에 흡수되는 에너지가 소자의 표면온도에 어느 정도 영향을 미치는지 확인하기 위하여 바리스터의 표면 온도변화를 나타낸 것으로, 주위온도를 27 [$^{\circ}$ C]로 유지시키고 뇌충격전류를 20회씩 인가한 후 대기온도로 충분히 냉각시키는 반복실험을 하였다. 실험결과 ZnO 바리스터에 뇌충격전류를 인가함에 따라 소자의 표면온도는 점차 급속하게 상승하였고, 200회의 뇌충격전류를 인가한 후 바리스터의 표면온도가 최고 41 [$^{\circ}$ C]까지 상승함을 알 수 있었

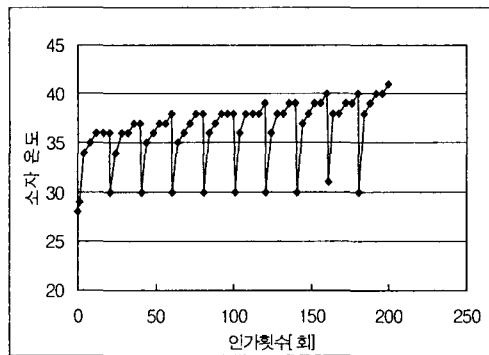
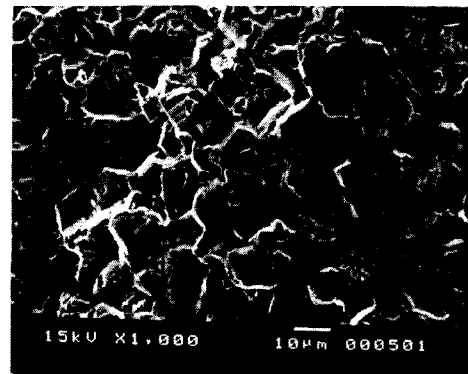


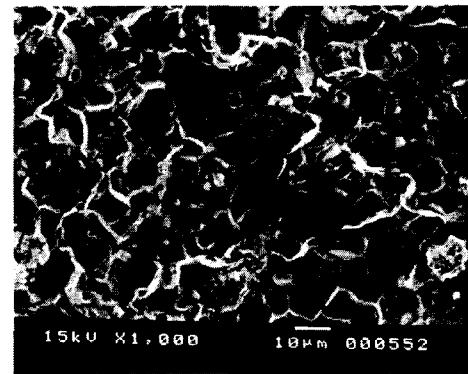
그림 9 ZnO 바리스터의 표면온도 변화
Fig. 9 Changes of surface temperature of the ZnO varistor

다. 이렇게 온도의 상승정도가 뇌충격전류를 인가함에 따라 증가하는 것은 바리스터 소자에 누설전류가 흐르게 되면 열이 발생하게 되고 열화진전에 따라 저항분 누설전류(3조파 성분)가 증가하여 소자내의 분자운동을 촉진시켜서 소자의 온도를 상승시키기 때문이다.

그림 10은 주사형 전자현미경(SEM)을 이용하여 바리스터의 미세구조를 나타낸 것이다. 그림 10(a)는 뇌충격전류를 인가하지 않은 초기 신품의 ZnO 바리스터이며, 그림 10(b)는 200회의 뇌충격전류를 인가한 후의 상태이다.



(a) 뇌충격전류 인가전



(b) 뇌충격전류 인가후

그림 10 바리스터의 미세구조 변화
Fig. 10 Micro-structure changes of a varistor

신품 바리스터의 경우 흰색 부분의 입계층과 회색부분의 ZnO 입자는 균일하게 분포하고 있으나, 뇌충격전류 인가로 인해 열화된 소자는 입계층이

감소하고, ZnO 입자가 불규칙하게 분포되어 있는 것을 알 수 있다. 이러한 미세구조의 변화는 뇌충격전류의 흡수시 고전계와 열누적으로 인하여 입계층이 감소하고 ZnO 입자가 성장한 것이다. 따라서, ZnO 바리스터는 뇌충격전류에 의하여 물리적으로 변형되고 입계층의 감소로 인해 3조파 누설전류가 증가하고 전체 누설전류도 증가하는 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구에서는 뇌충격전류의 인가에 따른 ZnO 바리스터의 전기적 특성변화를 분석하기 위하여, 국제규격(IEC 61000-4-5)에 의한 뇌충격전압을 200회 인가하면서 동작개시전압과 누설전류 및 소자의 표면온도 변화를 측정·분석하였으며, 실험을 마친 시료는 전자현미경으로 광학적 미세구조의 변화를 관찰하여, 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 뇌충격전류의 인가에 따라 ZnO 소자를 흐르는 누설전류는 지속적으로 증가하였으며, 전체누설 전류는 100 [μ A]에서 180 [μ A], 3조파 누설전류는 38 [μ A]에서 60 [μ A]로 증가하였다.
2. ZnO 바리스터의 동작개시전압은 뇌충격전류의 인가에 따라 서서히 감소하는 특성을 나타내었으며, 200회의 뇌충격전류 인가 후에는 교류 및 직류전원에서 모두 약 20 [V] 정도 감소하였다.
3. ZnO 바리스터의 표면온도는 뇌충격전류의 인가에 의해 급증하였으며 41 [$^{\circ}$ C]에서 포화되었다.
4. ZnO 바리스터의 미세구조 분석결과, 뇌충격전류로 ZnO 입자가 성장하여 입계층이 다소 감소함을 알 수 있었으며, 입자의 배열이 불규칙해지는 경향을 나타내었다.

이와 같이 ZnO 바리스터는 뇌충격전류에 의해 급격한 열화가 진행되며, 열화 정도는 전체 누설전류 및 3조파 누설전류의 증가, 동작개시전압의 감소로 판단할 수 있다. 따라서 ZnO 소자가 사용되는 보호회로에서는 이들 파라미터를 감지하여 열화된 바리스터를 사전에 제거함으로써 누설전류를 감소시키고 ZnO 바리스터의 단락에 의한 2차적 사고를 방지하여 피보호기기의 신뢰성을 향상시킬

수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] S. B. Smith and R. B. Standler, "The Effects of Surges on Electric Appliances", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7, pp. 1275~1282, 1992.
- [2] N. Kuwabara, H. Koga and T. Motomitsu, "A New Lightning Surge Test Circuit for Telecommunications Equipment in Japan", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. 30, No. 3, pp. 393~400, 1988.
- [3] M. Bartkowiak et al., "Failure Modes and Energy Absorption Capability of ZnO Varistors", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 14, No. 1, pp. 152~162, 1999.
- [4] S. S. Kershaw, G. L. Gaibrois, K. B. Stump, "Applying metal-oxide surge arresters on distribution systems", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, No. 1, pp. 301~307, 1989.
- [5] 小島宗次, 菅雅弘, 舛澤弘一, "酸化亜鉛避雷器の依存モデル", 日本電氣學會 論文誌, B114卷, 3号, pp. 310~316, 1994.
- [6] Philip p. Barker et al, "Characteristics of Lightning Surge Measured at Metal Oxide Distribution Arresters", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No. 1, pp. 301~310, 1993.
- [7] IEC 61000-4-5, Surge immunity test, pp. 60~77, 1999.
- [8] IEEE C62.41 IEEE Recommended Praticce on Surge Voltages in Low-Voltage AC Power Circuit, 1991.
- [9] ANSI/IEEE Std. C62.11, "Standard for Metal - Oxide Surge Arrester for AC Power Circuits", 1987



이 종 혁(Jong-Hyuk Lee)
 1999년 한국해양대학교 전기공
 학과 졸업(공학사)
 1999년~현재 (주)신동아전기
 연구원
 1999년~현재 동 대학원 전기공
 학과 석사과정



권 장 우(Jang-Woo Kwon)
 1990년 인하대학교 전자공학과
 졸업(공학사)
 1992년 동 대학원 전자공학과
 졸업(공학석사)
 1996년 동 대학원 전자공학과
 졸업(공학박사)
 1998년~현재 동명정보대학교 컴퓨터 공학과 조교수



한 주 섭(Joo-Sup Han)
 1997년 부경대학교 제어계측공
 학과 졸업(공학사)
 1999년 한국해양대학교 대학원
 전기공학과 졸업(공
 학석사)
 1999년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정

송 동 영(Dong-Yeong Song)
 1980년 인하대학교 금속공학과 졸업(공학사)
 1980~1992년 포항제철 근무
 1992년~현재 포항 1대학 자동차학과 전임교수
 2000년~현재 한국해양대학교 대학원 석사과정



길 경 석(Gyung-Suk Kil)
 1984년 인하대학교 전기공학과
 졸업(공학사)
 1987년 동 대학원 전기공학과
 졸업(공학석사)
 1996년 동 대학원 전기공학과
 졸업(공학박사)
 1996년 4월~현재 한국해양대학교 전기공학과 조교수
 * 주관심분야 : 고전압 · 방전, EMI/EMC



최 남 섭(Nam-Sup Choi)
 1987년 2월 고려대학교 전기공
 학과 졸업
 1989년 2월 KAIST 전기및전자
 공학과 졸업(공학석사)
 1994년 2월 KAIST 전기및전자
 공학과 졸업(공학박사)
 1994년 2월~1995년 3월 KAIST 정보전자연구소
 연구원
 1995년 3월~현재 국립여수대학교 전기 및 반도체
 공학과 교수
 1999년 3월~2000년 2월 미국 Wisconsin-Madison
 주립대학 방문교수
 관심분야 : 전력전자회로 모델링 및 해석, 멀티레벨
 컨버터 설계 및 응용