

뇌임펄스 전류에 의한 ZnO 배전용 피뢰기의 열화특성

이승주, 이복희, 이수봉, 김동성, 신희경, 정동철
 인하대학교 IT공대 전기공학부

Degradation properties of ZnO surge arrester due to lightning impulse current

Seung-Ju Lee, Bok-Hee Lee, Su-Bong Lee, Dong-Soung Kim, Hee-kyung Shin, Dong-Cheol Jung,
 Inha University

Abstract - In this work, in order to investigate the effect of lightning impulse currents on ZnO surge arrester, and the deterioration characteristics of ZnO surge arrester, 8/20 [μ s], 2.5 [kA] impulse currents were applied to the ZnO surge arrester under test. The leakage currents of ZnO surge arrester were measured and ZnO element was analyzed by X-ray photoelectron spectroscopy. As a result, the resistive leakage current of ZnO surge arrester was increased with the injection number of lightning impulse currents.

1. 서 론

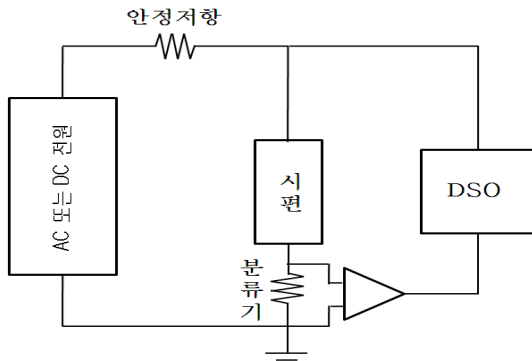
송·배전 전력계통에서는 일반적으로 낙뢰나 스위칭 서지 등과 같은 이상전압에 대한 전력기의 보호 및 절연 레벨의 저감을 위해 피뢰기를 사용하고 있다. 현재 피뢰기의 특성요소는 주로 산화아연(ZnO)소자이며, 산화아연 소자의 전압-전류 특성은 비선형성이 매우 급격히 변하는 것이다. 이런 급격하게 변하는 비선형성은 이상전압에 대한 선로 및 기기의 절연보호에 있어서는 매우 이상적이라고 할 수 있지만 ZnO 소자의 매우 복잡한 특성 때문에 소자 자체의 도전기구를 이해하는 데는 많은 어려움이 따른다[1,2].

오랜 사용으로 자연적 또는 인위적 열화에 의해 피뢰기소자의 저항성 누설전류는 증가하며 발열량이 증가된다. 따라서 n형 반도체인 산화아연 피뢰기의 부(-)온도 특성에 의해 저항성 누설전류는 더욱 증가하게 되어 결국에는 열과피되어 보호장치로서의 역할을 충분히 발휘하지 못하고 사고를 유발하게 된다[1,3]. 본 논문에서는 뇌서지가 피뢰기 소자의 특성 및 성능에 미치는 영향을 분석하기 위해 8/20 [μ s]의 뇌임펄스 전류를 75회 인가시켜 인위적으로 열화시킨 배전용 피뢰기와 신품 배전용 피뢰기의 전기적 특성을 측정, 분석하였다. 또한 신품 피뢰기와 뇌임펄스 전류에 의해 열화된 피뢰기에서 피뢰기 소자를 분리하여 피뢰기 소자를 XPS로 표면 상태를 분석하여 소자의 성분 변화를 조사하였다[7,8].

2. 본 론

2.1 실험계의 구성 및 방법

실험에 사용한 피뢰기는 정격전압과 공칭방전전류가 각각 18 [kV], 2.5 [kA]인 애자형 ZnO 배전용 피뢰기이다. 22.9 [kV] 정상 운전조건에서 ZnO 배전용 피뢰기에 인가되는 최대 연속운전전압은 15.3 [kV]이다. 그림 1은 실험계를 블록도로 나타낸 것이다.



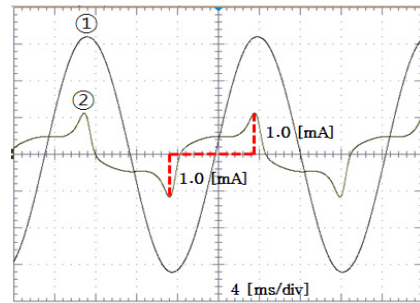
<그림 1> 실험계의 구성

측정장비로는 디지털 오실로스코프(BW 1[MHz], 5[Gs/s] 4채널), 수동성 고전압 프로브(BW 75[MHz], 감쇠율 1000X, 최대입력 직류전압 20 kV), 능동성 FET 프로브(BW 1[MHz], 감쇠율 1/10, 최대전압 ± 15 [V])를 사용하였다.

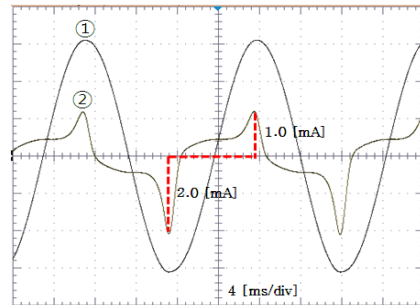
2.2 결과 및 고찰

2.2.1 뇌임펄스전류에 의한 피뢰기의 열화과정

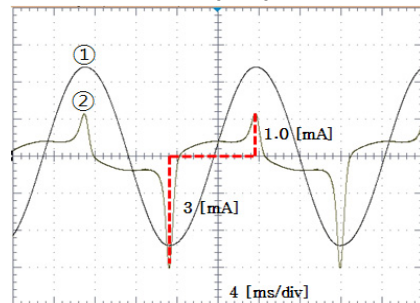
가공송전선이나 배전선에 침입한 낙뢰에 의한 뇌격전류로 8/20 [μ s] 파형의 전류를 표준 뇌임펄스 전류로 사용하고 있다. 뇌임펄스전류에 의한 ZnO 배전용 피뢰기의 열화는 상용주파수 교류과전압에 의한 열화기구와는 다르다. 이것은 뇌임펄스 전류의 경우 상용주파수 교류과전압에 비해 ZnO 피뢰기 소자의 입계층에 가해지는 전계의 강도가 정상상태보다 대단히 크므로 소자의 보호동작시 보다 큰 열이 발생하고 이 때문에 입계층의 변형이 쉽게 일어난다. 만약 ZnO 피뢰기 소자가 불균일한 구조적 결함을 포함하고 있다면, 그 부분에 열이 집중되고 이로 인해 ZnO 피뢰기 소자특성의 열화는 더욱 가속된다.



(a) 신품 피뢰기



(b) 45회 인가



(c) 75회 인가

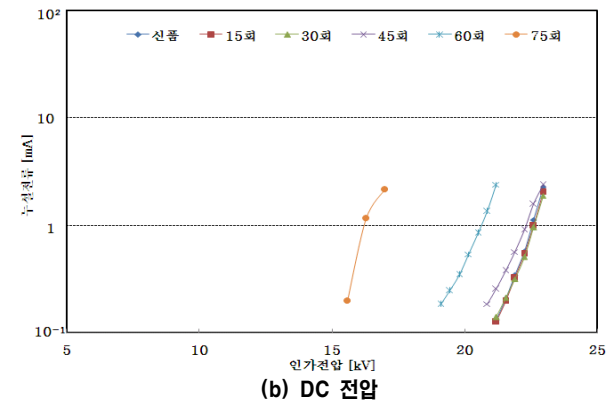
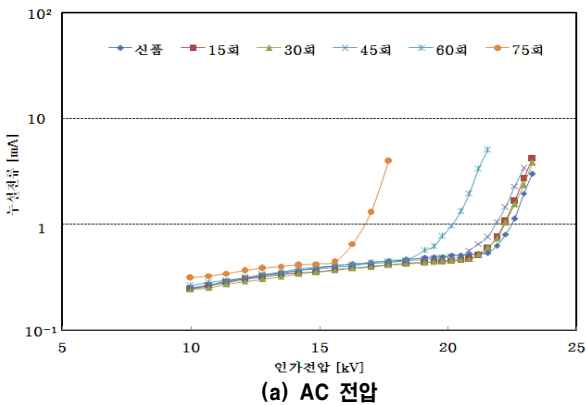
<그림 2> 8/20 [μ s], 2.5 [kA] 임펄스 전류의 인가횟수에 따른 ZnO 배전용 피뢰기의 전압-전류 파형

이와 같은 과정에서 ZnO 입자가 성장하고 입계층이 감소하면 피뢰기 소자는 정상운전전압에서도 쉽게 가열되어 열폭주가 발생하게 되고 결국 피뢰기 소자는 파괴된다. 본 연구에서는 8/20 [μ s] 임펄스전류의 인

가횟수가 ZnO 배전용 피뢰기의 전기적 수명에 미치는 영향을 평가하기 위해 실제 22.9 [kV] 배전선에서 주로 사용되는 정격전압 18 [kV], 방전 전류 2.5 [kA]의 ZnO 배전용 피뢰기를 사용하여 열화의 중요한 요인으로 작용하는 누설전류의 특성을 분석하였다. IEC 규격의 임펄스 전류 시험에 근거하여 임펄스 전류 발생장치를 사용하여 ZnO 배전용 피뢰기에 40 초 간격으로 2.5 [kA], 8/20 [μ s]의 임펄스전류 75 회를 5×15개의 군단위로 인가하였다. 임펄스전류를 인가하기 전의 신품 ZnO 배전용 피뢰기와 45 회, 75 회의 임펄스전류를 인가한 ZnO 배전용 피뢰기에 교류전압을 인가한 경우 피뢰기 양단에서 나타나는 전압과 피뢰기를 통해 흐르는 누설전류 파형을 그림 2에 나타내었다. 그림 2(a)에서 신품 ZnO 배전용 피뢰기의 누설전류 파형은 정·부극성이 대칭으로 나타나고 있지만 그림 2(b), (c) 누설전류 파형에서는 임펄스전류의 인가횟수가 많아질수록 정극성은 변화가 없지만 부극성 부분이 커져 비대칭성이 커지는 것으로 나타났다. 이처럼 한 극성의 임펄스 전류에 대한 $I-V$ 특성이 서로 다른 변화를 보이는 것은 입계층의 경계면에서 각각의 쇼트키장벽이 변형되기 때문이다. 즉, 임펄스전류가 흐르는 동안 순바이어스와 역바이어스의 쇼트키장벽의 높이가 변형되는 것으로 보인다. 특히 역바이어스된 쇼트키장벽 근처에서 산소 양의 감소는 순바이어스된 쇼트키장벽보다 잘 일어나므로 역방향으로의 장벽 높이 변형이 순방향보다 더 잘 일어나고, 역방향으로 흐르는 누설전류는 순방향으로 흐르는 값보다 크게 되는 것이다. 따라서 8/20 [μ s], 2.5 [kA] 임펄스전류의 인가횟수에 따른 열화의 진전은 누설전류의 극성에 따라 비대칭적으로 일어나게 되므로 누설전류에 의한 열화 진단시에는 극성에 대하여 고려해야 한다 [4~6].

2.2.2 뇌임펄스전류에 의해 열화된 ZnO 피뢰기의 전기적 특성

신품 ZnO 배전용 피뢰기와 8/20 [μ s], 2.5 [kA] 임펄스전류를 인가하여 열화시킨 ZnO 배전용의 $I-V$ 특성을 그림 3에 나타내었다. $I-V$ 특성 곡선은 ZnO 배전용 피뢰기에 임펄스전류를 인가시킨 횟수에 따라서 나타났으며 인가횟수가 증가할수록 배전용 피뢰기는 점차 열화되었다.



〈그림 3〉 8/20 [μ s], 2.5 [kA] 임펄스전류 인가횟수에 따른 ZnO 배전용 피뢰기의 누설전류-전압 특성

그림 3(a)와 같이 ZnO 배전용 피뢰기에 교류전압이 인가된 경우 정격전압에서 신품 ZnO 배전용 피뢰기의 누설전류는 약 0.46 [mA] 정도로 용량성 전류가 대부분이지만 75회 임펄스 전류가 인가된 ZnO 배전용 피뢰기는 대략 6 [mA] 정도로 저항성 누설전류가 증가하는 것을 알 수 있다. 인가전압이 증가함에 따라 신품 ZnO 배전용 피뢰기에 비해 임펄스

스 전류에 의해 열화된 ZnO 배전용 피뢰기의 누설전류가 급격히 증가하는 특성이 나타났으며 임펄스전류의 인가횟수가 증가함에 따라 낮은 인가전압에서 ZnO 배전용 피뢰기를 통해 흐르는 저항성 누설전류가 크게 증가한다.

반면에 그림 3(b)와 같이 직류전압이 인가되는 경우에는 용량성 전류는 흐르지 않고 순수 저항성 전류만이 존재하기 때문에 정격전압에서 신품 ZnO 배전용 피뢰기의 누설전류는 누설저항만이 존재하여 거의 전류는 검출되지 않았다. 그러나 임펄스전류에 의해 열화된 ZnO 배전용 피뢰기의 경우 교류전압에서와 마찬가지로 직류전압에서도 인가전압이 증가할수록 누설전류는 증가하였고, 신품 ZnO 배전용 피뢰기에 비해 임펄스전류의 인가횟수가 증가할수록 낮은 인가전압에서 ZnO 배전용 피뢰기를 통해 흐르는 누설전류가 크게 나타났다. 결국 임펄스전류의 인가횟수가 증가할수록 교류 및 직류전압에서 누설전류는 급격히 증가하게 되고, 신품 ZnO 배전용 피뢰기와 비교했을 때 임펄스전류 인가횟수의 증가가 피뢰기의 열화를 더욱 가속화 시키는 것을 알 수 있다.

2.2.3 뇌임펄스전류에 의해 열화된 ZnO 피뢰기의 물성

뇌임펄스전류에 의해 열화된 피뢰기의 성분변화의 분석을 통하여 피뢰기 소자의 열화에 미치는 요인을 알아보기 위하여 신품 ZnO 배전용 피뢰기와 8/20 [μ s], 2.5 [kA] 뇌임펄스전류를 인가하여 열화시킨 ZnO 배전용 피뢰기로부터 ZnO 소자만 분리하여 X-선 광전자 분광법(X-ray Photoelectron Spectroscopy: XPS)을 이용하여 표면물성을 분석하였다. 실험에 사용된 장비는 K-Alpha이며 X-ray source로는 Al을 사용하였으며 Spot size는 400 [μ m]이다. XPS로 소자표면을 분석한 결과 신품 피뢰기의 경우에는 Bi의 함유량이 4.99%가 나타났으나 뇌임펄스 전류에 의해 열화된 피뢰기는 Bi 성분이 나타나지 않았다. ZnO 소자는 ZnO 입자(grain)와 스핀넬(spinel), 입계층(grain boundary)으로 구분되어 있으며 주성분은 ZnO 입자이다. 스핀넬은 ZnO 입자 사이에 존재하고 높은 저항을 가지고 있어 ZnO 입자의 성장을 제한하는 역할을 하지만 전기적 역할은 하지 않는다. 그러나 ZnO 입자를 둘러싸고 있는 입계층은 Bi₂O₃를 주된 성분으로 하는 첨가물으로써 ZnO 소자의 비선형 저항특성에 영향을 미치는 성분이다. 따라서 뇌임펄스 전류에 의한 Bi₂O₃의 감소가 피뢰기 소자의 열화에 영향을 준다고 판단된다.

3. 결 론

뇌임펄스전류에 의해 열화된 피뢰기와 신품 피뢰기의 전기적 특성 및 XPS를 통한 표면물성의 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 뇌임펄스전류에 의해 열화된 ZnO 배전용 피뢰기는 신품 피뢰기에 비하여 AC 전압에 대하여 누설전류가 비대칭성으로 나타났으며 임펄스 전류 인가횟수가 증가할수록 그 비대칭성이 커졌다. 따라서 배전용 피뢰기의 누설전류를 이용하여 열화 진단 시에 극성에 대한 영향을 고려하여야 한다.
- (2) 뇌임펄스전류의 인가횟수가 증가할수록 교류 및 직류전압에서 누설전류는 증가하게 되고, 신품 ZnO 배전용 피뢰기와 비교했을 때 임펄스 전류 인가횟수의 증가가 피뢰기의 열화를 더욱 가속화 시켰다.
- (3) 뇌임펄스전류에 의해 열화된 피뢰기 소자의 XPS로 분석한 결과 Bi₂O₃의 감소가 피뢰기 소자의 열화에 주된 요인인 것으로 밝혀졌다.

[참 고 문 헌]

[1] W. G. Carlson, Dr. T. K. Gupta and A. Sweetana, "A Procedure for Estimating the Lifetime of Gapless Metal Oxide Surge arresters for AC Application", IEEE Trans. Vol. PWRD-1, No.2, pp67-74, 1986
 [2] S. Tominaga, Y. Shibuya, Y. Fujiwara, M. Imataki, T.Nitta, "Stability and long term degradation of metal oxide surge arresters", IEEE Trans., Vol.PAS-99, No.4, pp.1548-1556, 1980
 [3] Kazuo Eda, "Destruction mechanism of ZnO varistors due to high currents", J. Appl. Phys., Vol.56, No.10, pp2948-2955, 1984
 [4] 이복희, 박건영, 강성만, "산화아연 피뢰기 소자와 전극사이에 발생하는 방전광 현상", 한국조명설비학회논문지, Vol.19, No.3 pp.44-50, 2005
 [5] P. L. Hower and T. K. Gupta, "A Barrier Model for ZnO Varistors", J. Appl. Phys., 1979
 [6] Ken Sato, Yoshio Takada, Taketoshi Takemura, Masafumi Ototake, "A mechanism of degradation in leakage current through ZnO varistors", J. Appl. Phys., Vol.53, No.12,1982,2
 [7] 김영만, "ESCA(XPS)를 이용한 표면분석", analytical science & technology, Vol.5, No.2, 1992
 [8] E. Olsson, L.K.L.Falk, G.L.Dunlop, "The microstructure of a ZnO varistor material", Journal of materials science 20, 1985