

## 열화정도에 따른 배전용 피뢰기의 열화특성 분석

### Analysis of degradation of distribution lightning arresters as degradation degree

장동욱, 박동배, 박영국, 이용희, 강성화\*, 임기조

(Dong-Uk Jang, Dong-Bae Park, Young-Guk Park, Yong-Hee Lee, Seong-Hwa Kang\*, Kee-Joe Lim)

#### Abstract

The primary function of ZnO lightning arrester is to protect transmission and distribution equipment from overvoltages and to absorb electrical energy resulting from lightning or switching surges and form temporary overvoltage. However, ZnO lightning arrester are known to exhibit an increases in resistive current with time, the rate of increase being exacerbated with increasing applied voltage and ambient temperature. So, it is important to the leakage current measurement of ZnO lightning arrester. In addition, since the resistive leakage current caused by deterioration of ZnO lightning arrester mainly caused an increase of the third harmonic component, thereby it is possible the arrester degradation diagnosis by measuring the third harmonic component in the total leakage current. The leakage current and third harmonic component are measured and used to investigate the degradation diagnosis of ZnO element of arrester. Also the SEM photography is used to investigate the change of crystal structure of ZnO element with degradation.

**Key Words(중요용어)** : Lightning arrester, Leakage current, Third harmonic component, Degradation

#### 1. 서론

전력계통에서 과도이상전압에 대한 가장 경제적이고 효과적인 보호장치는 피뢰기이다. 배전용 피뢰기는 전력계통에서 발생한 이상전압을 절연전압 이하로 억제시켜 전력기기를 안전하게 보호하는 역할을 한다[1-3]. 현재, 전압-전류의 비선형 저항 특성이 우수한 ZnO 피뢰기 소자의 개발에 의해 피뢰기의 보호능력이 현저히 향상됨으로써 기술적, 경제적으로 혁신을 이루어 왔으며, 전력계통의 신뢰성이 더욱 향상되었다[2,4-5]. 그러나 피뢰기 소자는 상시과전, 서지흡수, 흡습, 소자의 온도상승과 과도이상전압에 대해 보호동작을 반복하면서 소자의 비선형 저항특

성이 열화가 진전된다. 열화가 진전되면 누설전류가 증가함으로써 소자의 열화가 더욱 촉진되어 열폭주에 도달하여 피뢰기가 파괴된다[6]. 피뢰기 소자의 열화는 누설전류에 의하여 진행되므로 주기적으로 피뢰기 소자의 누설전류를 측정함으로써 피뢰기 소자의 열화를 검지 할 수 있다[6-9].

따라서 본 연구에서는 피뢰기 소자의 열화특성을 평가하기 위하여 피뢰기 소자의 누설전류를 측정·검토하였다. 또한 피뢰기 소자의 열화에 따른 결정구조의 변화를 SEM(scanning electron microscopy) 촬영으로 관측하였다.

#### 2. 실험방법

본 실험에 사용한 시편은 배전급(2.29 kV-y)에 사용되는 피뢰기를 사용하였고, 내부의 소자는 ZnO이다. 시편들은 사용하지 않은 시편, 현장에서 사용 중인 것, 사고를 일으킨 것, 현장에서 문제점 발생으로

충북대학교 전기공학과  
(충북 청주시 개신동 충북대학교,  
Fax: 0431-263-2419  
E-mail : dujang@hanmail.net )  
\* 충청대학 산업안전과  
(충북 청원군 강내면 월곡리 330번지)

수거한 것을 사용하였다.

그림 1은 본 실험을 하기 위하여 구성된 측정장치의 개략도이며, 그림에서 전누설전류를 관측하기 위해서 피뢰기에 직렬로 1 kΩ의 저항을 연결하였다.

피뢰기별로 기본적인 피뢰기의 동작 특성을 살펴 보기 위해서 전압-전류 특성을 살펴보았다. 피뢰기에 전압을 증가 시켜 가면서 전류를 측정하였다. 전압은 고전압발생장치(Pulse 전자, 0.5 MVA)를 이용하였고, 피뢰기와 직렬로 연결된 저항을 통해서 전류를 측정하였다.

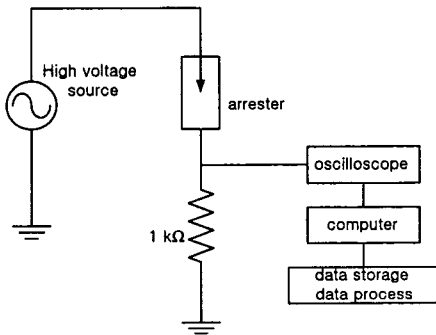


Fig. 1 Experimental system for arrester

피뢰기의 열화정도를 판단하기 위해서 피뢰기에 13.2 kV의 전압을 인가하면서 전누설전류를 오실로스코프와 컴퓨터를 연결하여 측정하였고, 얻어진 데이터를 가지고 FFT(Fast Fourier Transform)를 실시하여 전누설전류 성분 중 제 3고조파 성분의 변화를 살펴보았다.

ZnO소자의 표면미세 구조변화를 측정하기 위해서 SEM촬영(HITACHI S-2500C EDS)을 실시하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 누설전류측정

실험에 적용한 배전용 피뢰기의 정격전압은 18 kV로 현장에서 정상운전상태일 경우는 피뢰기 양단에 13.2 kV가 인가되고 있다. 따라서 피뢰기에 전압을 13.2 kV까지 증가시켜 가면서 누설전류를 측정하였다. 그림 2는 각 피뢰기에 따른 전압-전류의 특성을 나타내고 있다. 전압에 따라 누설전류가 증가하고 있는 것을 확인할 수가 있다. 이것은 피뢰기의 동작영역 중에 저전계영역으로 누설전류가 전계의 제곱근에 비례하여 증가를 하는 영역이다. 그러므로, 사용전압까지만 전압을 상승 시켜서 누설전류의 급증하는 영역은 나타나지 않았다.

그림 2에서 피뢰기의 누설전류크기는 0.04~0.32 mA로 작게 흐르고 있다. 이 중에서 시편 #6과 #7이 다른 시편들에 비해 더 크게 증가를 하였고, 이 시편들은 각각 단로기가 동작한 것과 현장에서 누설전류의 크기가 커서 수거한 피뢰기들이다.

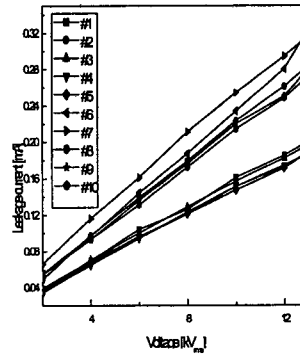


Fig. 2 Voltage vs. current for arrester specimen

피뢰기의 열화를 평가하기 위한 것으로 저항분 누설전류측정과 제 3고조파 측정이 많이 이용되고 있다. 본 논문에서는 제 3고조파 측정을 통해서 피뢰기의 열화를 평가하였다.

컴퓨터에 저장된 전누설전류로부터 제 3고조파 성분을 검출하기 위하여 입력된 데이터로부터 Danielson-Lanczos의 알고리즘에 따라 주파수 분석을 하였다. 식 (1)은 FFT분석에 사용한 식을 나타내고 있다.

$$X[k] = \sum_{j=0}^{N/2-1} x[2j] \exp(-i \frac{2\pi kj}{N/2}) + W^k \sum_{j=0}^{N/2-1} x[2j+1] \exp(-i \frac{2\pi kj}{N/2}) \quad (1)$$

여기서  $W = \exp(-i \frac{2\pi}{N})$ 이다.

그림 3은 피뢰기에 13.2 kV의 전압을 인가하고 측정한 전누설전류성분 중에서 각각의 시편에 대한 3고조파 성분만 나타낸 것이다. 그림을 보면 시편 #6과 #8이 3고조파 성분이 크게 나타났으며, 누설전류를 관측해 보면 파형의 왜곡이 심한 것을 관측할 수가 있다. 이것은 피뢰기의 ZnO소자가 많이 열화가 되어 저항분 누설전류가 많이 흐르고 있는 것을 나타낸다. 이러한 이유로 #6번 시료가 현장에서 저항분 누설전류 증가로 인하여 피뢰기 내부의 온도가 상승함에 따라서 단로기가 동작한 것이다. 시편 #8도 현

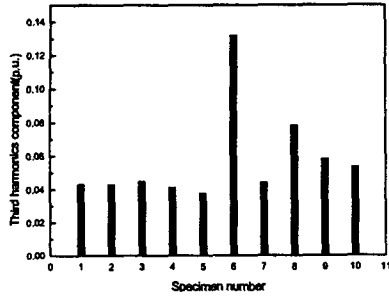


Fig. 3 Third harmonics component for specimens

장 누설전류 증가로 인하여 내부의 온도가 상승하고 이어서 누설전류가 크게 나타나 수거한 것으로 소자의 열화가 많이 진행이 된 것을 제 3고조파성분으로

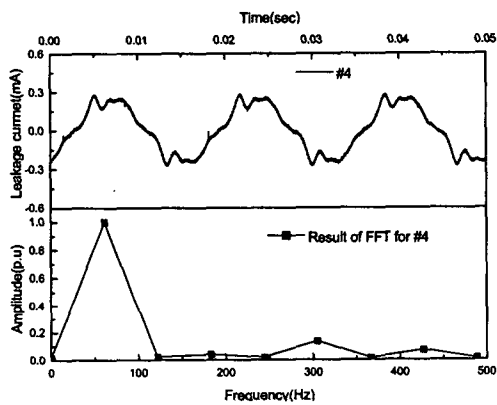


Fig. 4. Leakage current waveform and FFT analysis for specimen #4

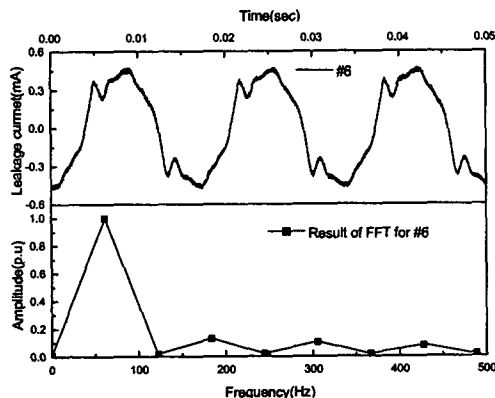
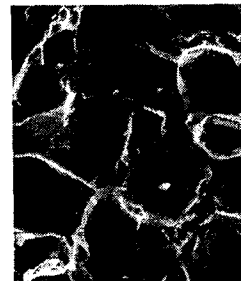


Fig. 5 Leakage current waveform and FFT analysis for specimen #6

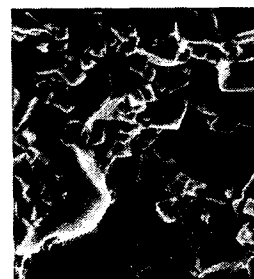
확인할 수 있다. 또 시편 #7은 전누설전류의 크기는 크게 나타났지만 제 3고조파성분은 작게 나타나고 있는 것을 확인 할 수가 있다. 그리고 시편 중에서 3고조파의 성분이 작은 경우에도 불구하고 단로기가 동작을 한 것은 제품의 단로기 결함에 의한 것으로 생각된다. 그림 4, 5는 3고조파 성분이 작은 시편 #4와 3고조파 성분이 가장 큰 시편 #6의 누설전류 파형과 FFT분석 결과이다.

### 3.2 SEM촬영

사용하지 않은 피뢰기와 현장에서 단로기가 동작한 피뢰기의 ZnO소자를 절단해서 미세구조를 관찰하기 위해서 SEM촬영을 실시하였다. 그림 6(a)에서 보면 사용하지 않은 피뢰기에서는 산화아연 입자들이 균일하게 분포를 하고 있는 것을 볼 수가 있다. 반면에 그림 6(b)는 ZnO소자에서 산화아연 입자들의 크기가 불규칙하고, 산화아연을 둘러싸고 있는 spinel들이 정확하게 구별이 되지 않는다. 이러한 것은 ZnO소자에 전압이 인가되면 varister로 동작을 제대로 할 수가 없게 하는 요인이 된다. 따라서 소자에 높은 전압이 인가되면 장벽 층이 없기 때문에 전류가 집중되어 ZnO소자의 열화를 더욱 촉진하는 원인이 된다.



(a) Virgin specimen



(b) Degraded specimen

Fig. 6 SEM photography of ZnO block

#### 4. 결론

본 연구에서는 피뢰기의 열화를 진단하기 위한 연구로 피뢰기 소자의 열화에 기인하는 피뢰기의 누설 전류를 검토하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 피뢰기의 전압-전류 특성은 전압에 따라서 전류가 증가하였으며, 이것은 ZnO소자가 저전계 영역에서 동작하고 있기 때문이다.
- (2) 피뢰기의 열화를 평가하는 항목으로 제 3고조파를 측정하여 분석한 결과 전누설전류의 크기는 거의 비슷하게 나왔지만, 제 3고조파 성분의 크기는 각 시편마다 차이가 있으므로 피뢰기의 열화를 평가하는 중요한 항목임을 확인하였다.
- (3) SEM분석을 한 결과 현장에서 고장을 일으킨 피뢰기의 경우 산화아연 소자간의 spinel형성과 입자의 크기가 불규칙하여 ZnO소자에 전압이 인가될 경우 소자를 열화시키는 원인이 된다.

#### 참고 문헌

- [1]. E. Beck et al, "Lightning Protection for Electric Systems", New York : McGraw-Hill, pp. 43~60, 1954.
- [2]. 今井康友 外, "架空地線直撃雷に對する配電用避雷器のロケシト誘電實驗結果と送電線への適用檢討", 日本電氣學會論文集, B117卷 4号, pp. 458~463, 1997.
- [3]. A. Haddad et al, "An improved non-inductibe impulse voltage measruement technique for ZnO surge arresters", IEEE Trans. on PD, Vol. 10, No. 2, pp. 778~785, 1995.
- [4]. M. V. Lat et al., "Distribution Arrester Research", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-100, No. 7, Apr. 1981
- [5]. J. Lundquist et al., "New Method for Measurement of The Resistive Leakage Currents of Metal-Oxide Surge Arresters in Service", IEEE Trans. on PD, Vol. 5, No. 4, Nov. 1990
- [6]. 志賀 悟, "酸化亞鉛形避雷器の劣化機構と活線診斷技術", 일본고전압연구회, HV-89, 1989
- [7]. S. Shirakawa et al., "Maintenance of Surge Arrester by a Portable Leakage Currnet Detector", IEEE Trans. on PD, Vol. 3, July 1988
- [8]. Hinrichsen V. et al., "Online monitoring of high-voltage metal-oxide surge arresters by wireless passive surface acoustic wave (SAW) temperature sensors", High Voltage Engineering, 1999. Eleventh International Symposium on (Conf. Publ. No. 467), Vol. 2, pp. 238 -241, 1999
- [9].Zhu H. et al., "Influence of harmonics in system voltage on metal oxide surge arrester diagnostics", Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 1999 Annual Report Conference on Vol. 2 , pp. 542-545, 1999