

## ZnO 피뢰기의 저항분 누설전류와 제 3고조파 누설전류의 관계

김일권, 송재용, 문승보, 차명수, 길경석  
한국해양대학교

### Correlation between the resistive and the 3<sup>rd</sup> harmonic leakage current of ZnO arresters

Il-Kwon Kim, Jae-Yong Song, Seung-Bo Moon, Myung-Soo Cha, Gyung-Suk Kil  
Korea Maritime University

**Abstract :** The resistive leakage current is an important parameter for arrester diagnosis. However, the 3rd harmonic leakage current is more widely used than the resistive one because of its easy measurement. In this paper, we studied the correlation between the resistive and the 3<sup>rd</sup> harmonic leakage current of ZnO arresters. The resistive leakage current was measured according to the IEC 60099-5 in AC applied voltage. The 3<sup>rd</sup> harmonic leakage current was analyzed by using a designed band-pass filter having 180 [Hz] - center frequency and 10 [Hz] - bandwidth.

The experimental results show that the 3<sup>rd</sup> harmonic leakage current changes proportionally with the resistive leakage current variation under the maximum continuous operating voltage (MCOV).

**Key Words :** ZnO arresters, Leakage current, Resistive leakage current, the 3<sup>rd</sup> harmonic.

### 1. 서론

피뢰기의 열화진단기술은 제한전압, 공칭방전전류, 손실 전력 및 정전용량 등을 측정하는 방법이 있으나, 피뢰기가 전력계통에 설치된 상태에서 진단할 수 있는 누설전류 검출방식을 많이 사용한다<sup>[1-2]</sup>. 이러한 방식은 피뢰기의 비선형 저항특성에 의해 나타나는 저항분 누설전류를 가장 효과적인 분석 파라미터로 이용한다. 저항분 누설전류를 측정하기 위해서는 다양한 알고리즘과 복잡한 회로가 필요하기 때문에, 제 3고조파 누설전류 검출방법을 주로 사용하고 있다. 그러나 대부분의 문헌들은 저항분 누설전류와 제 3고조파 누설전류의 관계에 대한 개략적인 결과만을 나타낼 뿐 실측 데이터를 제시할 수 있는 연구는 찾아보기 힘들다.

따라서 본 논문에서는 정격전압 2 [kV<sub>rms</sub>]인 5개의 기사용 피뢰기를 대상으로 저항분 누설전류와 제 3고조파 누설전류의 관계를 분석하였다. 피뢰기에 인가된 교류전압을 변화시키면서 전체 누설전류, 저항분 누설전류 및 제 3고조파 누설전류를 측정하였으며, 직류전원에 대한 저항분 누설전류도 분석하였다.

### 2. 실험계의 구성

저항분 누설전류와 제 3고조파 누설전류의 관계를 파악하기 위하여, 본 연구에서는 5개의 기사용된 폴리머 하우스 ZnO Gapless 피뢰기를 대상으로 누설전류를 측정, 분석하였다. 실험에 사용된 피뢰기의 전기적 사양은 다음과 같다.

정격전압(Rated Voltage ; U<sub>r</sub>) 2 [kV<sub>rms</sub>], 최대연속사용전압(MCOV, U<sub>c</sub>) 1.5 [kV<sub>rms</sub>], 공칭방전내량 10 [kA]이다.

피뢰기의 누설전류는 교류 전압 인가시 전체 누설전류, 저항분 누설전류 및 제 3고조파 누설전류, 직류전원에서 전체 누설전류 즉 저항분 누설전류를 측정하였다.

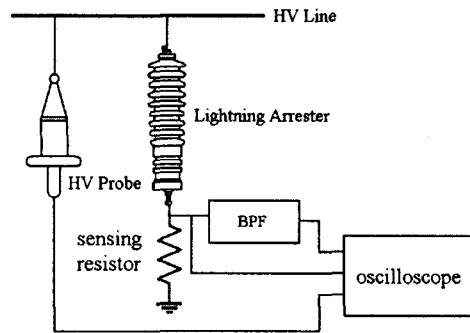


그림 1. 실험장치의 구성

그림 1은 실험장치의 구성을 나타내고 있다. HV Line을 통하여 피뢰기 양단에 고전압을 인가하며, 전원전압은 고전압 프로브(Tektronix, P6015), 전체 누설전류는 검출저항 양단의 전압으로 측정하였다.

제 3고조파 누설전류는 본 연구에서 설계, 제작한 2차 대역통과 필터를 사용하였으며, 필터의 중심 주파수는 180 [Hz], 대역폭은 10 [Hz]이다.

피뢰기에 교류전압 인가시 누설전류는 식 (1)과 같이 저항분 누설전류와 용량분 누설전류가 흐르게 되며, 접지선에 이들 누설전류 성분이 합하여져 흐르기 때문에 저항분 누설전류만을 측정하는 것은 어렵다.

본 연구에서는 IEC 60099-5에 규정되어 있는 방법과 같이 인가전압의 최대값인 지정,  $dv/dt = 0$ 인 곳에서 누설전류 크기를 저항분 누설전류의 최대값으로 하였다.

$$I_t = I_c + I_r \quad [\mu A] \quad (1)$$

그림 2는 측정된 누설전류 파형의 예를 나타내고 있으며, 저항분 누설전류는 앞서 설명한 바와 같이 인가전압의 90° 위상인 곳에서 검출하였다.

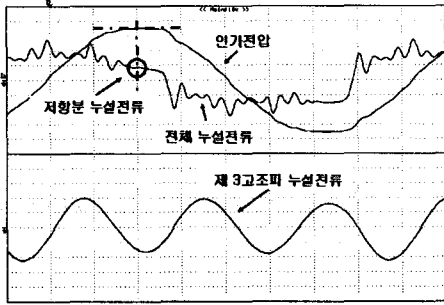


그림 2. 누설전류의 측정 예

한편, 피뢰기에 직류전압이 인가될 경우,  $I_c = 2\pi fCV$  [ $\mu A$ ]에서 주파수  $f = 0$ 가 되어, 용량분 누설전류( $I_c$ ) 성분은 나타나지 않고 저항분 누설전류만 크게 되므로 측정값을 저항분 누설전류로 하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

실험은 5개의 기사용된 피뢰기에 대하여 직,교류전원을 인가한 후 전압의 크기를 변화시키면서, 누설전류 성분을 측정하였다. 교류전압의 크기는 실효값으로 측정하고, 직류전압 인가시에 설정전압은 교류전압의 실효값에 해당하는 최대값을 기준으로 하였다.

그림 3은 시험 피뢰기중 저항분 누설전류가 가장 작게 나타나 열화가 적은 것으로 판단되는 #1 피뢰기에 대한 누설전류의 전압 의존성을 나타낸 것이다.

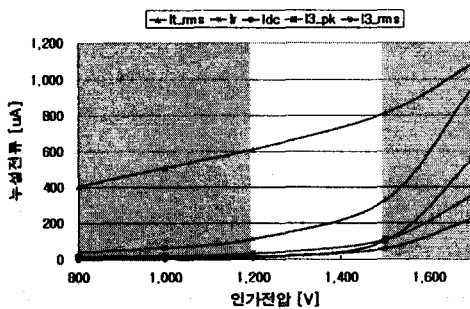


그림 3. 누설전류의 전압 의존성

그림에서  $I_{t\_rms}$ 는 전체 누설전류의 실효값,  $I_r$ 은 저항분 누설전류,  $I_{3\_pk}$ 와  $I_{3\_rms}$ 는 제 3고조파 누설전류의 최대값과 실효값,  $I_{dc}$ 는 직류전원을 인가했을 때의 누설전류값이다. 인가전압 800~1,700 [V]의 실험 전압범위에서 직,교류 저항분 누설전류  $I_{dc}$ 와  $I_r$ 은 크기만 다르고 동일한 변화를 나타내었으며, 최대연속사용전압 이하에서  $I_{dc}$ 와  $I_{3\_pk}$ 도 동일한 경향을 보였다.

이와 같이 피뢰기의 운전전압 영역인 1,200~1,500 [V]의 범위에서  $I_r$ 과  $I_{3}$ ,  $I_{dc}$ 의 변화 양상이 매우 유사하므로, 피뢰기 운전중 온라인 상태에서 제 3고조파 누설전류의 측정으로부터 저항분 누설전류의 추정이 가능하고 열화진단에도 이용할 수 있을 것으로 생각된다.

그림 4는 최대연속사용전압의 0.8 [p.u]에서 각각의 피뢰

기를 흐르는 누설전류 성분을 비교한 것이다. 전체 누설전류에 포함된 저항분 누설전류가 증가할수록 제3고조파 누설전류도 증가하며, 특히 저항분 누설전류의 비율이 30 [%] 이상인 경우  $I_{3\_pk}$ 와  $I_{dc}$ 의 비율은 거의 일치하고 있다. 따라서 저항분 누설전류가 일정부분 증가한 피뢰기의 경우, 전체 누설전류에 포함된 제 3고조파의 비율을 측정함으로써 저항분 누설전류의 예측이 가능할 것으로 판단된다.

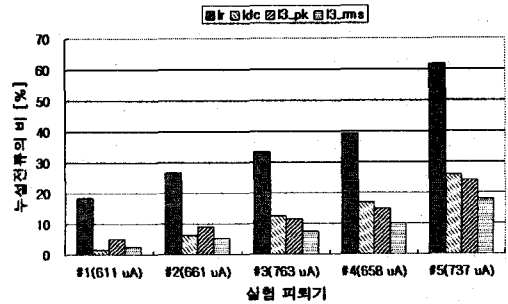


그림 4. 누설전류의 상대비교

### 4. 결론

본 논문에서는 기사용된 5개의 ZnO 피뢰기에 대한 누설전류를 측정하여, 저항분 누설전류와 제 3고조파 누설전류의 상관관계를 분석하였다.

인가전압의 상승에 따라 누설전류는 비례적으로 증가하였으며, 특히 저항분 누설전류는 MCOV 이상에서 급격히 상승하였다. 피뢰기의 사용영역인 1,200~1,500 [V]의 범위에서  $I_{dc}$ 와  $I_{3}$ 의 크기 및 경향이 매우 유사하였다. 또한 전체 누설전류에 포함된 저항분 누설전류의 비율에 따라  $I_{3\_pk}$ 와  $I_{dc}$ 의 비율도 유사하게 나타났다.

본 연구를 통하여 피뢰기의 사용영역에서 제 3고조파 누설전류는 저항분 누설전류의 변화에 대하여 비례적인 관계를 나타내므로, 전원주파수와 구별되는 제 3고조파 누설전류를 이용하여 저항분 누설전류의 측정, 분석이 가능할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-005-B-138)주관으로 수행된 과제임.

### 참고 문헌

- [1] J. Lundquist et al., "New method for measurement of the resistive leakage currents of metal-oxide surge arrester in service", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 5, No. 4, p. 1811~1822.
- [2] Gyung-Suk Kil et al., "New Method for Analyzing Deterioration of Lightning Arresters", Proceedings of ICEE, p. 1555~1558.