

ZnO 피뢰기 소자에 흐르는 누설전류의 주파수의존성

(Frequency Dependences of leakage currents flowing through ZnO surge arrester block)

이복희 · 이봉* · 강성만

(B. H. Lee · B. Lee* · S. M. Kang)

Abstract

This paper presents the frequency-dependent characteristics of leakage currents flowing through ZnO surge arrester block. The leakage current-voltage ($I-V$) characteristic curves of the commercial ZnO surge arrester blocks were measured. The resistive leakage current was found to increase with increasing frequency in the low conduction region. The capacitance of ZnO block was independent of the magnitude and frequency of the applied voltage. The power losses of ZnO block increase as the frequency of applied voltage increases, because of the dielectric loss related to the frequency of the test voltage.

1. 서 론

피뢰기(Lightning surge arrester)는 전력계통의 외부에서 발생하거나 내부에서 발생하는 뇌서지, 개폐서지, 일시적 과전압 등의 큰 용량의 순시적 전기에너지에 대지로의 방출을 통하여 송전선로 및 발·변전소 및 송전선로에 광범위하게 사용되고 있다[1]. 특히, 산화아연피뢰기는 직렬갭이 없으므로 계통운전전압이 직접 산화아연소자(ZnO block)에 인가되므로 상시 미소한 누설전류가 흐르게 된다. 이 누설전류는 용량분과 저항성 누설전류의 합성으로 나타난다. 현재 피뢰기의 특성요소로 사용되는 소자는 주로 산화아연소자이며, 이것은 전압-전류 특성의 비선형성이 매우 급격히 변하는 특징을 가지고 있다. 산화아연소자가 열화되면 누설전류는 크게 증가하게 되며, 오랜 사용으로 자연적 또한 인위적 열화로 인해 피뢰기소자의 저항성 누설전류가 증가하게 되면 산화아연소자는 발열량이 증가하고 결국에는 열과 피뢰기 보호소자로서의 역할을 충분히 발휘하지 못하고 사고를 유발시키게 된다[2].

피뢰기의 열화검출 방법의 연구에 있어, ZnO 소자 자체의 도전기구에 대한 이해는 필수적이다. 특히 그 중에서도 누설전류에 의한 도전기구는 피뢰기 소자의 정확한 열화상태를 파악하는데 매우 중요한 역할을 한다. 그 이유는 누설전류에 의한 열화진단법이 활선상태의 피뢰기에 대해서 열화진단을 하기에 적합할 뿐만 아니라, 보다 현실적이고 간편하게 소자의 열화정도를 파악할 수 있기 때문이다[3].

또한 뇌서지, 개폐서지전압을 비롯하여 비선형 소자를 사용하는 부하에 의해 실제 운전 중의 피뢰기에는 다양한 주파수성분을 포함하는 전압이 인가되므로 산화아연 피뢰기에 흐르는 누설전류의 주파수특성을 파악하는 것은 매우 중요하다[4].

따라서 본 논문에서는 20~300 [Hz]의 주파수 가변이 가능한 교류고전압 발생장치를 제작하였다. 가변주파 고전압발생장치를 이용하여 산화아연소자에 고전압을 인가하고, 이 때 흐르는 누설전류의 주파수 특성을 측정하고 분석하였다.

2. 측정장치 및 방법

2.1. 측정계의 구성

본 실험에 사용한 시료는 정격전압이 3 [kV]이고 공칭 방전전류가 2.5 [kA]인 산화아연소자로서 배전급 피뢰기로부터 채취하였다. 그림 1은 실험 회로도를 나타내었다.

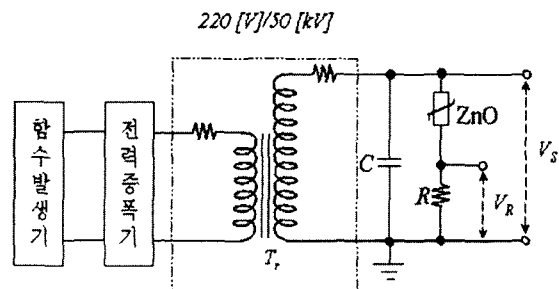


그림 1. 실험의 회로도
Fig. 1. Experimental circuit diagram

함수발생기(F·G)를 이용하여 20~300 [Hz]의 가변주파수전압을 발생시킨다. 또한, 함수발생기의 출력전압을 출력전력이 40 [W]인 전력증폭기(P·A)와 전압비가 220 [V]/50 [kV]인 변압기를 이용하여 최대로 10 [kV]로 증폭시켰으며, 노이즈제거용으로 변압기 출력양단에 콘덴서 C를 병렬로 연결시켰다. 또한 ZnO 소자에 흐르는 누설전류는 검출저항을 사용하여 측정하였다.

ZnO 소자의 단자전압과 누설전류를 측정을 위하여 디지털 오실로스코프(BW 500 [MHz], 2.5 [GS/s] 2채널), 수동형 고전압 프로브(BW 75 [MHz], 감쇠율 1/1000, 최대입력 DC 20 [kV]), 능동형 FET probe(BW 1 [MHz], 감쇠율 1/10, 최대전압 ±15 [V])를 사용하였다.

2.2. 측정 방법

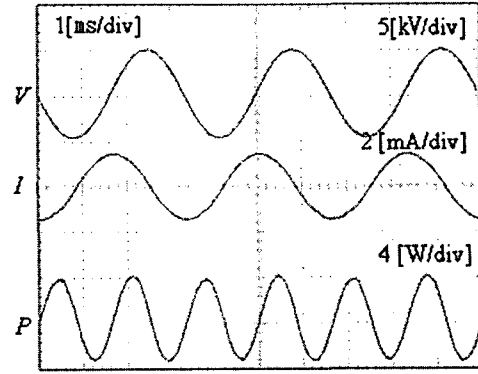
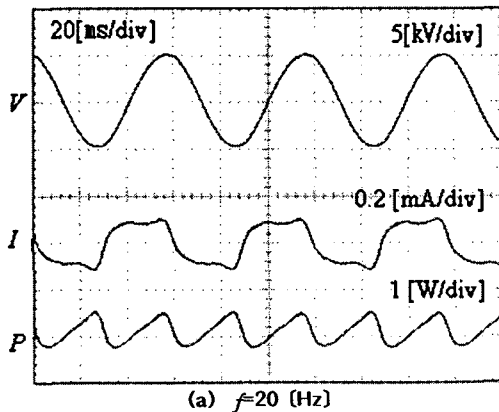
상온에서 가변주파수 발생장치를 이용하여 정상상태인 ZnO 소자 양단에 주파수를 가변시키면서 2~5.4 [kV_p]사이의 전압을 인가하여 ZnO 소자를 통해 흐르는 누설전류로부터 용량성 전류와 저항성 전류를 측정/분리하여 주파수와 전류, 인가전압 간의 상호 관계를 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 누설전류 파형

본 연구의 실증실험에 사용한 시료인 산화아연 소자는 18 [kV] 배전용 피뢰기(애관내에 산화아연 소자 6개로 구성)로부터 채취하였으며, 22.9[kV-y] 특고압 배전선의 정상운전조건에서 산화아연소자 1개에 인가되는 전압은 2.2 [kV_{rms}]이다.

그림 2에서는 상온에서 5 [kV_p]인 일정한 전압에서 주파수를 변화시켰을 경우, 누설전류의 파형을 나타낸다. 누설전류의 특성을 살펴보면, 주파수가 증가함에 따라 누설전류 중 용량성 전류가 크게 증가하였으며 따라서 총 누설전류도 크게 증가하는 것을 확인할 수 있다.



(b) $f=300$ [Hz]

그림 2. 주파수의 변동에 따른 인가전압, 전력 및 ZnO 소자의 누설전류 파형

Fig 2. Waveforms of the applied voltage, Power and leakage current flowing through ZnO block for different frequencies

실험에서 관찰된 현상에 대한 원인분석은 ZnO의 등가회로를 이용하여 설명이 가능하다. ZnO의 등가회로일 경우, 일반적으로 커패시터와 비선형저항의 병렬회로로 표현된다. 여기에서 주파수가 증가함에 따라 ZnO 소자의 용량성 리액턴스가 감소함으로서 누설전류의 대부분은 용량성 전류이다. 따라서 동일한 전압에서 주파수가 높아지면 용량성 전류가 주로 흐르게 된다.

3.2 저항성 누설전류

그림 3과 그림 4에는 상온에서 주파수를 20~300 [Hz]범위에서, 전압은 2~5.4 [kV_p]사이에서 변화시켰을 때의 저항성 누설전류-인가전압 (I_r-V)특성과 저항성 누설전류-주파수 (I_r-f)특성을 나타내었다. 측정된 저항성 누설전류와 인가전압은 각각 피크 값으로 나타내었다.

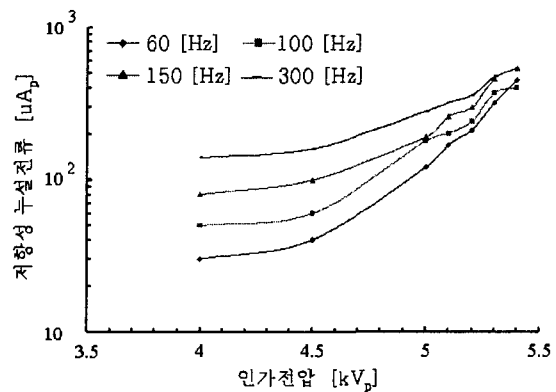


그림 3. I_r-V 특성곡선

Fig. 3. I_r-V characteristic curves

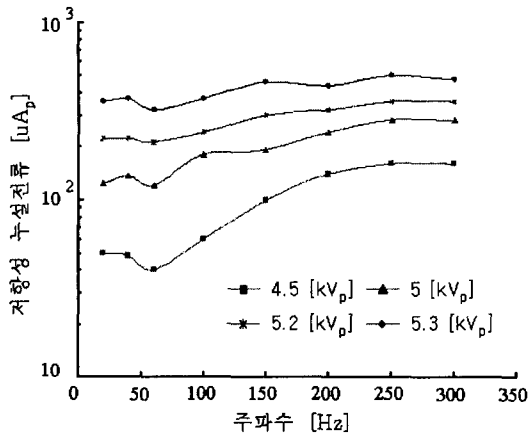


그림 4. I_r-f 특성곡선
Fig. 4. I_r-f characteristic curves

그림 3에서 정향성 전류의 특성은 일정한 전압에서 주파수가 증가함에 따라 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이의 경향은 인가전압이 낮을수록 더욱 뚜렷하게 나타났으며, 인가전압이 높을수록 주파수의존성이 미약하였다. 그림 4에서 정향성 전류의 특성은 일정한 주파수에서 전압이 증가함에 따라 증가하는 것을 확인할 수 있다. 마찬가지로 인가전압이 낮을 때는 주파수의존성이 크지만 높은 전압에서의 주파수의존성은 미약하였다.

3.3 용량성 누설전류

상온에서 주파수를 20~300 [Hz]범위에서, 전압은 2~5.4 [kV_p]사이에서 변화시켰을 때 용량성 전류-인가전압 (I_c-V)특성과 용량성 전류-인가전압 (I_c-f)특성의 측정결과를 각각 그림 5와 그림 6에 나타내었다.

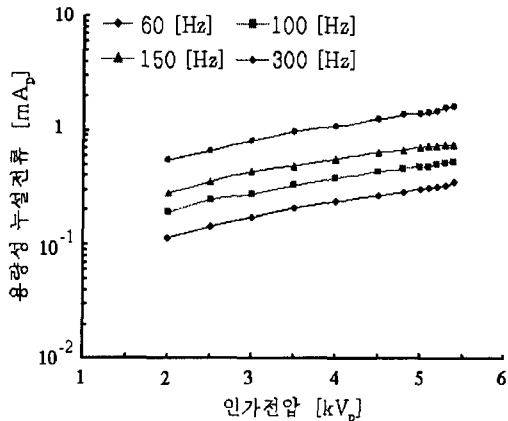


그림 5. I_c-V 특성곡선
Fig. 5. I_c-V characteristic curves

그림 5에서 용량성 전류의 특성은 일정한 전압 하에서 주파수가 증가함에 따라 증가하는 것을 확인할 수 있다.

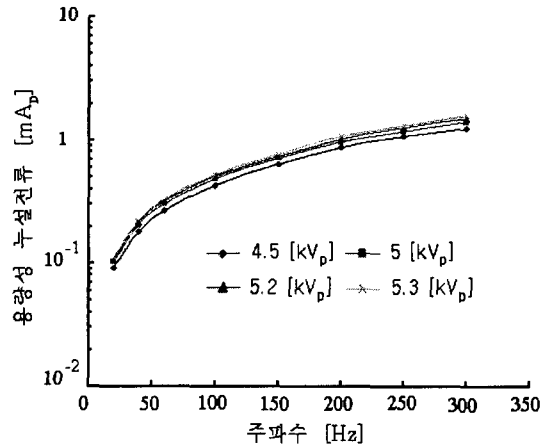


그림 6. I_c-f 특성곡선
Fig. 6. I_c-f characteristic curves

그림 6에서 용량성 전류의 특성은 일정한 주파수에서 전압이 증가함에 따라 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 ZnO 소자의 전기적 특성을 커패시터 C 와 비선형 저항 R 의 병렬등가회로로 나타내면 다음의 식 (1)을 적용하여 $C-V$ 와 $C-f$ 특성을 평가할 수 있다.

$$C = \frac{I_c}{2\pi f V} \quad (1)$$

측정된 그림 5와 그림 6의 데이터로부터 식 (1)에 의해 계산한 결과 피뢰기 소자의 정전용량은 전압과 주파수에 상관없이 일정한 값을 나타내었다.

3.4 전력 특성

상온에서 주파수를 20~300 [Hz], 전압은 2~5.4 [kV_p]범위에서 변화시켰을 때 전력-인가전압 ($P-V$)특성과 전력-주파수 ($P-f$)특성을 각각 그림 7와 그림 8에 나타내었다.

$$P = V \times I \quad (2)$$

전력의 측정은 식 (2)와 같이 오실로스코프의 연산기능을 이용하여 인가전압과 누설전류의 곱으로부터 산출할 수 있다.

그림 7에서 전력은 일정한 전압에서 주파수가 증가함에 따라 증가하는 것을 확인할 수 있다.

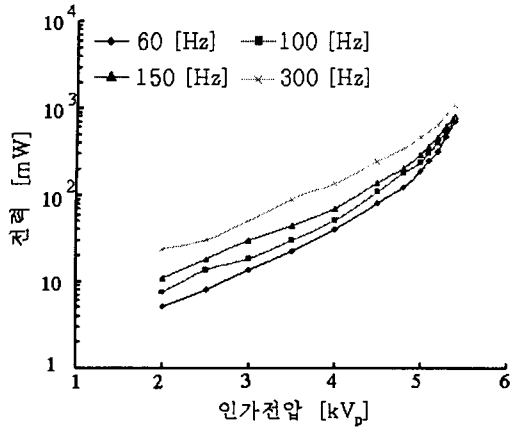


그림 7. $P-V$ 특성곡선
Fig. 7. $P-V$ characteristic curves

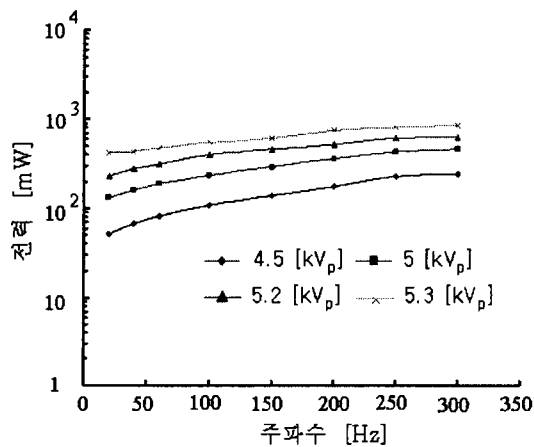


그림 8. $P-f$ 특성곡선
Fig. 8. $P-f$ characteristic curves

그림 8에서 전력은 일정한 주파수에서 전압이 증가함에 따라 증가하는 것을 확인할 수 있다. 즉, ZnO 소자 내부에서의 소비전력은 전압과 주파수의 의존성이 강하다.

4. 결론

가변주파수와 전압이 ZnO소자의 열화에 미치는 영향에 대해 실험적 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) ZnO 소자의 용량성 전류는 전압보다 주파수의 의존성이 상대적으로 크게 나타났으며, 저항성 누설전류는 주파수보다 전압에 대한 의존성이 상대적으로 강하였다.

(2) ZnO 소자의 정전용량 C 는 전압과 주파수의

변화에 거의 의존성이 없으며, 동작개시전압이하에서는 주파수가 증가함에 따라 저항성 전류보다 용량성 전류가 크게 증가하였다.

(3) ZnO 소자에 흐르는 누설전류에 의한 전기적 손실은 인가전압과 주파수에 대한 의존성이 강한 것으로 나타났다.

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력 연구센터육성 및 지원사업에 의해 작성되었습니다.

참고문헌

- [1] 이복희, “高電壓 大電流工學”, 청문각 p.223~226, 1993.
- [2] 이복희, 강성만, “산화이연 피뢰기소자에 흐르는 저항분 누설전류의 검출기법”, 조명전기설비학회지, vol.15, No.3, p.67, 2001, 5.
- [3] 이복희, 박건영, 강성만, 최휘성, “중첩전압(직류+교류 60 Hz)에서 산화이연 피뢰기 소자의 누설전류 특성”, 대한전기학회 전기물성·응용부문회 추계학술대회 논문집 p.186~188, 2003.10
- [4] A. Haddad, J. Fuentes-Rosado, D.M.Garman, and R. T. Warrers, Characterisation of ZnO surge arrester elements with direct and power frequency voltages”, IEEE Proc., Vol. 137, Pt. A, No. 5, PP.269~279, 1990.