

온도에 따른 ZnO 피뢰기 소자의 누설전류의 온도의존성

이복희, 이수봉*, 이봉, 김동성
인하대학교

Temperature dependent characteristics of leakage currents of ZnO blocks

Bok-Hee Lee, Su-Bong Lee*, Li Feng, Dong-Sung Kim
Inha University

Abstract - This paper presents electrical properties of Zinc Oxide(ZnO) surge arrester blocks under the power frequency AC voltages and various temperatures. The leakage current, I_R -V curves and power dissipation for the fine and aged ZnO surge arrester blocks were measured as a function of the temperatures and applied voltages. When the temperature is increased from 50 [°C] to 150 [°C], the total leakage current significantly increased at the same applied voltage level. Also, the resistive leakage currents and power dissipation were increased with increasing temperature. The leakage current and power dissipation of the aged ZnO arrester blocks were higher than the fine ZnO arrester blocks.

인가시킨 노후시료에 대해서 실험을 수행하였다. ZnO 피뢰기 소자에 전류의 크기가 5 [kA]인 뇌임펄스전류를 150회 인가시켜 피뢰기의 노후를 모의하였다. ZnO 피뢰기 소자의 온도의존성 평가를 위한 측정회로를 그림 1에 나타내었다. 그림 1의 회로는 상용주파 고전압 발생장치와 일정온도를 유지하기 위한 전기로로 구성되어 있고, 온도변화에 따른 누설전류를 측정하였다. 전기로는 1600 [°C]까지 가열이 가능하며, 실험에서 측정온도 범위는 50 [°C]~150 [°C]이다. 변압기 출력 측에 노이즈 제거용으로 커패시터 C를 병렬로 접속시켰으며, ZnO 피뢰기 소자에 흐르는 미세한 누설전류는 검출용 저항 R을 이용하여 측정하였다. ZnO 피뢰기 소자의 인가전압과 누설전류의 측정에는 디지털 오실로스코프(BW 500 [MHz], 2.5 [GS/s] 2채널), 수동형 고전압 프로브(BW 75 [MHz], 감쇠율 1/1000, 최대 입력 DC 20 [W]), 능동형 FET 프로브(BW 1 [MHz], 감쇠율 1/10, 최대전압 ±15 [V])를 사용하였다.

1. 서 론

송·배전 전력계통에서는 일반적으로 낙뢰나 스위칭 서지 등과 같은 이상전압으로부터 전력기기를 보호하고 절연레벨의 저감을 위해 피뢰기가 사용되고 있다. 피뢰기 소자는 현재 주로 ZnO(산화아연) 소자를 사용하고 있는데, 이것은 전압-전류 특성의 비선형성이 매우 급격히 변하는 특징을 가지고 있다. 이런 변하는 비선형성은 과전압 보호에 대해서는 매우 이상적이라 할 수 있다. 그러나 ZnO 피뢰기도 제조사의 결함이나 사용 환경에서의 온도나 흡습, 이상전압에 대한 반복되는 보호동작으로 열화가 진전되며, 열화된 피뢰기가 계통에 설치되어 있으면 정상운전전압에서도 1선 지락과 같은 사고를 유발시킬 수 있다. 그러므로 전력계통에 설치된 피뢰기의 열화정도를 상시 관측하여 열화된 피뢰기를 사전에 제거함으로써 피뢰기로 인한 사고를 예방하기 위한 진단기술의 개발이 필요하다. 현재 열화진단기술에는 피뢰기의 제한전압, 방전전류, 손실전력, 누설전류, 정전용량 등을 측정하여 열화를 진단하는 방법이 광범위하게 사용되고 있다. 그 중에서도 피뢰기의 전체 누설전류나 저항성 누설전류를 파라미터로 사용하는 방법이 널리 사용되고 있으며, 특히 사계절이 뚜렷한 우리나라에서는 주위의 온도변화에 따른 ZnO 피뢰기 소자의 성능과 특성에 대하여 심층적으로 연구할 필요가 있다.¹⁻²⁾

따라서 본 논문은 60 Hz의 상용주파전원을 인가시킨 경우 온도변화에 따라 정상적인 ZnO 피뢰기 소자와 열화된 ZnO 피뢰기 소자에 흐르는 누설전류의 특성을 조사/분석하였다. 또한 온도변화에 따른 저항성 누설전류 및 손실전력과 같은 ZnO 피뢰기 소자의 전기적 특성 변화를 검토하였다.

2. 실험장치 및 측정방법

ZnO 피뢰기 소자는 전력계통에 설치되어 사용되고 있는 도중에 주위 온도의 변화와 운전전압에 의해 흐르는 누설전류로 인해 발생되어 온도가 상승하게 된다. 따라서 실제의 운전조건과 동일한 상태에서 ZnO 피뢰기 소자의 특성의 변화를 정확하게 검출하는 것이 중요하며, 실증화를 위해 검증할 필요가 있다.

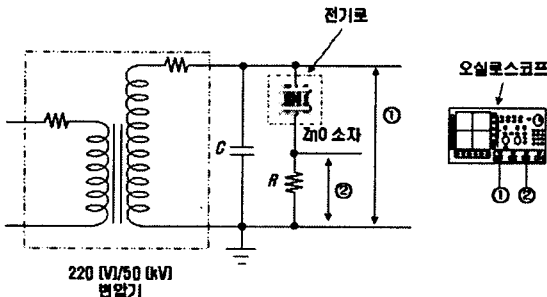


그림 1 ZnO 피뢰기 소자의 온도의존성 평가를 위한 측정회로
Fig. 1. Measuring circuit for evaluating the temperature dependence of ZnO arrester blocks

본 실험에서는 60 [Hz]의 상용주파전원에 의한 ZnO 피뢰기 소자의 누설전류 특성을 분석하기 위해 정격전압 3 [kV]인 정상시료와 임펄스전류를

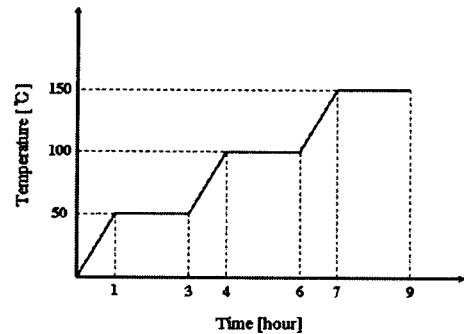


그림 2 시험주기(총 9시간)
Fig. 2 Test cycle(total 9 hours)

피뢰기의 온도의존성 실험을 위해서는 피뢰기 사용 환경을 가속 모의 할 수 있는 열화주기가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 열화시험주기는 그림 2와 같이 한 주기가 15시간이고, 50 [°C]~150 [°C]까지의 온도변화를 가진다. 실험은 1시간동안 가열시키고 2시간동안 유지시킨 후에 실시하였다.³⁾

실험에서 사용한 시료인 ZnO 피뢰기 소자는 18 [kV] 상용 배전급 피뢰기로부터 채취하였으며, 이들의 규격과 전기적 특성은 표 1과 같다. 배전용 피뢰기(애관내에 ZnO 피뢰기 소자 6개로 구성)로 사용되는 ZnO 피뢰기 소자이며, 22.9 [kV-y] 특고압 배전선로의 정상 운전조건에서 ZnO 피뢰기 소자 1개에 인가되는 전압은 2.2 [kV_{rms}]이다.

표 1. ZnO 피뢰기 소자의 규격과 전기적 특성
Table 1. Specifications and electrical properties of ZnO arrester blocks

항목	규격
직경	33 mm
두께	29 mm
정격전압	3 kV _{rms}
정격방전전류	2.5 kA _{peak}
최대연속 운전전압	2.55 kV _{rms}
공칭동작개시전압(DC)	5.0 kV at 1mA
제한전압	9.8 kV _{peak} at 5 kA

3. 결과 및 고찰

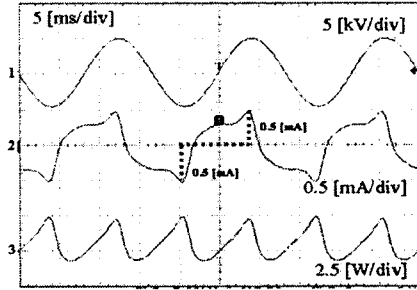
3.1 정상시료와 임펄스전류에 의해 열화된 시료의 전압-전류 특성

온도의 변화에 따라 ZnO 피뢰기 소자를 통해 흐르는 누설전류를 측정하기 위한 일련의 실험을 수행하였다. 그림 3에 인가전압 4.7 [kV_{peak}]와 온도 50 [°C] 에서 정상적인 ZnO 피뢰기 소자와 임펄스전류에 의해 열화된 ZnO 피뢰기 소자를 통해 흐르는 누설전류, 인가전압, 손실전력의 파형을 나타내

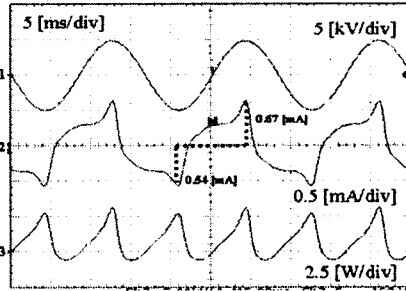
었다. 상용주파전원에서 ZnO 피뢰기 소자를 통해 흐르는 누설전류는 인가 전압에 동상인 저항성 누설전류와 인가전압에 90° 앞선 용량성 전류로 구성된다. 이러한 파형을 통해 ZnO 피뢰기의 전기적 특성 및 성능을 결정짓는 주요 요소가 전기적 저항과 고유 커패시턴스라는 것을 알 수 있으며, ZnO 피뢰기 소자는 저전계 영역에서 RC 병렬회로에 의해 일반적으로 나타낼 수 있다. 시간 t에서 누설전류는 다음 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$I(t) = I_C(t) + I_R(t) = C \frac{dV(t)}{dt} + I_R(t) \quad (1)$$

I_C 와 I_R 은 각각 누설전류의 용량성과 저항성 성분이며, C는 ZnO 피뢰기 소자의 고유 커패시턴스이다.



(a) 정상시료



(b) 열화시료

그림 3 인가전압 4.7 kV_{peak}와 온도 50 °C에서 정상 ZnO 피뢰기 소자와 열화된 ZnO 피뢰기 소자의 누설전류 및 손실 파형

Fig. 3. Waveforms of leakage currents and power dissipation of the fine and aged ZnO arrester blocks under applied voltage of 4.8 kV and temperature of 50 °C

낮은 전압에서 누설전류는 용량성 성분이 높고, 저항성 누설전류는 인가 전압의 거의 피크 부분에서 나타났다. 상용주파전원에서 정상적인 ZnO 피뢰기 소자의 누설전류는 정·부극성에서 대칭적인 파형인데 반해 열화된 ZnO 피뢰기 소자의 누설전류 파형은 비대칭적으로 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 또한 열화된 ZnO 피뢰기 소자의 누설전류의 용량성 성분과 저항성 성분은 정상소자에 비해 다소 높게 나타났다.

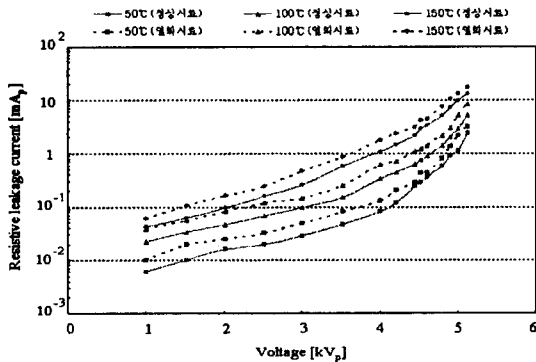


그림 4 온도변화에 따른 정상 ZnO 피뢰기 소자의 I_R -V 곡선
Fig. 4. I_R -V curves of the fine and aged ZnO arrester blocks as a function of temperature

온도변화에 따른 정상적인 ZnO 피뢰기 소자와 열화된 ZnO 피뢰기 소자의 I_R -V 특성곡선을 그림 4에 나타내었다. 그림에서와 같이 온도와 인가전

압의 증가에 따라 저항성 누설전류는 증가하는 것으로 나타났다. 또한 정상 시료에 비해 열화된 시료가 저항성 누설전류가 다소 높게 나타났다. 저항성 누설전류의 온도존성은 저전계 영역에서 현저하게 나타나며, 고전계 영역으로 갈수록 서서히 줄어드는 경향을 보였다. 이는 저전계 영역에서의 전도는 입계층에 있는 열적으로 여기된 불순물과 이온이 ZnO 입자사이의 전위장벽을 호핑 전도를 하고, 인가전계가 더욱 높아지면 실효 전위장벽의 감소로 인해 ZnO 입자의 전도대로부터 입계층으로의 터널링에 의해 전도가 일어나게 된다. 특히, 1 [mA_{peak}]이하의 저전류 영역에서의 ZnO 피뢰기 소자는 매우 큰 저항값을 갖는 선형 저항으로 작용하고 온도에 의한 의존성이 매우 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 특히, 저전계 영역에서의 일정한 전압에 대한 저항성 누설전류의 변화는 온도의 함수로 나타나며, 이는 ZnO 피뢰기 소자가 저전계 영역에서는 n형 반도체의 성질을 가지므로 저항성 누설전류는 온도증가에 따라 전류캐리어 밀도가 증가하게 되기 때문이다.^[4]

3.2 정상시료와 임펄스전류에 의해 열화된 시료의 손실전력

인가전압 4.7 [kV_{peak}]에서 온도변화에 따른 인가전압, 전체 누설전류, 손실에 대한 전형적인 파형은 그림 3에 나타내었다. 평균손실은 다양한 인가전압과 온도에서 측정되었다. 그림 5에 인가전압 대 평균손실에 대한 특성곡선을 나타내었다. 낮은 전압 영역에서 열화된 시료의 손실은 정상시료의 손실에 비해 높은 값을 나타내고 있으며, 손실 파형은 비대칭적이다. 하지만 높은 전압으로 갈수록 손실의 차이는 그다지 크지 않았다. 손실은 인가전압과 온도의 증가에 따라 비례적으로 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 인가전압이 증가함에 따라 누설전류가 급격하게 증가하게 되고 증가된 누설전류가 손실을 증가시키는 원인이라 할 수 있다. 또한 인가전압이 증가할수록 저항성 누설전류가 급격하게 증가하고, 일정 값 이상이 되면 ZnO 소자의 주유열에 의해 지속적인 온도상승과 외부 온도의 증가가 반복됨으로써 누설전류는 급증하게 된다. 따라서 누설전류 대 인가전압의 비로 정의되는 손실은 지속적으로 증가하게 되는 것이다.

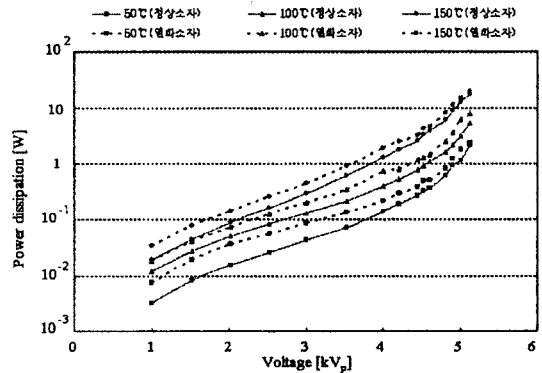


그림 5 온도변화에 따른 ZnO 피뢰기 소자의 손실전력
Fig. 5. Power dissipation of the ZnO arrester block as a parameter of temperature

4. 결 론

본 논문은 60 Hz의 상용주파전원을 인가시킨 경우 주변온도 변화에 따라 정상적인 ZnO 피뢰기 소자와 열화된 ZnO 피뢰기 소자에 흐르는 누설전류의 특성을 분석하고, 주변온도 변화에 따라 저항성 누설전류 및 손실전력과 같은 ZnO 피뢰기 소자의 전기적 특성 변화를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

열화된 ZnO 피뢰기 소자의 누설전류와 손실전력은 정상적인 ZnO 피뢰기 소자에 비해 다소 높게 나타나는 것을 확인하였다. 주변온도를 50°C에서 150°C까지 증가시키기에 따라 동일한 전압에서 저항성 누설전류는 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 또한 온도와 인가전압의 증가에 따라 ZnO 피뢰기 소자의 손실은 증가하는 것으로 나타났다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이복희, 강성만, 박진영, "직류와 60 Hz 교류가 중첩된 전압에 대한 산화아연 피뢰기소자의 누설전류 특성", 대한전기학회 논문지, Vol.54C, N o.1, pp.23~29, 2005.
- [2] Bok-Hee Lee, Sung-Man Kang, Ju-Hong Eom, Tatsuo Kawamura, "A Monitoring Device of Leakage Currents Flowing through ZnO Surge Arresters", Japanese Journal of Applied Physics, Vol.42, Pt.1, No.2 A, pp.1568~1574, 2003
- [3] T. Taniguchi, K. Izumi, "Application of Polymer Insulating Materials for Surge Arrester Housing", CRIEPI 연구보고서 W89024, 1989
- [4] 강성만, "산화아연 피뢰기의 파도특성 및 열화진단에 관한 연구", 박사 학위논문, pp.40~48, 2004