

외부환경 변화에 따른 배전용 피뢰기의 전기적 특성

(Electrical properties of 18kV ZnO surge arrester according to the variation of surrounding conditions)

이복희 · 이승주* · 이수봉 · 김동성 · 신희경

(Bok-Hee Lee · Seung-ju Lee · Su-Bong Lee · Dong-Sung Jung · Hee-kyung Shin)

인하대학교 IT공대 전기공학부

Abstract

This paper describes the electrical characteristics of the ZnO surge arrester according to the variation of surrounding conditions. To investigate the characteristics of degraded ZnO surge arrester, 8/20 [μ s], 2.5 [kA] impulse currents were applied to the ZnO surge arrester to be test. To present the effect of the surrounding conditions, the leakage currents of ZnO surge arrester were measured to the surrounding temperature and wet conditions. As a result, the increase of ambient temperature causes the increase of resistive leakage current of ZnO surge arrester. Also, in the wet test, the outside leakage current through the ZnO surge arrester housing is much larger than the intrinsic leakage current.

Keywords: ZnO Surge Arrester, Surrounding Variation, Leakage Current, Degradation

1. 서론

송·배전 전력계통에서는 일반적으로 낙뢰나 스위칭 서지 등과 같은 이상전압에 대하여 전력기기의 보호 및 절연 레벨의 저감을 위해 기술적, 경제적으로 가장 효과적인 피뢰기를 사용하고 있다. 현재 피뢰기 내부에 사용되는 소자는 주로 산화아연(ZnO)소자이며, 산화아연 소자의 전압-전류 특성은 비선형성이 매우 급격히 변하는 것이다. 이런 급격하게 변하는 비선형성은 이상전압에 대한 선로 및 기기의 절연보호에 대해서는 매우 이상적이라고 할 수 있지만 직렬갭이 없으므로 계통운전전압이 직접 산화아연 소자에 인가되므로 상시 미소한 누설전류가 흐르게 된다. 따라서 산화아연 소자는 상용 주파수 전압에서 미소 누설전류에 의해 차츰 열화가 진행된다.[1,2] 또한 배전용 피뢰기는 외부 환경에 노출되어 있고 산화아연 소자는 저전계영역에서 온도에 민감하기 때문에 외부온도에 의한 영향과 강수에 의한 영향을 크게 받게 된다.[1,3] 특히 우리나라는 4계절이 뚜렷하고 계절마다 온도 변화가 크며, 강수량이 여름에 집중되기 때문에 외부 환경이 배전용 피뢰기에 미치는 영향을 고려해야 한다.

오랜 사용으로 자연적 또는 인위적 열화로 인해 산화아연 소자의 저항성 누설전류가 증가하게 되면 산화아연 소자의 발열량이 증가하고 피뢰기 고

장을 일으킬 수 있는 열적 불안정상태에 도달하고 결국에는 열과피되어 보호장치로서의 역할을 충분히 하지 못하고 사고를 유발시키게 된다.[1,4] 따라서 본 논문에서는 산화아연 피뢰기에 흐르는 누설전류를 바탕으로 하여 외부환경 변화가 배전용 피뢰기에 미치는 영향을 분석하기 위해 8/20 [μ s]의 뇌임펄스 전류를 75회 인가시켜 강제 열화시킨 배전용 피뢰기와 신품 배전용 피뢰기를 온도 변화 및 주수상태에서 AC 전압을 인가하여 전기적 특성을 측정, 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

실험에 사용한 피뢰기는 정격전압과 공칭방전전류가 각각 18 [kV], 2.5 [kA]인 ZnO 배전용 피뢰기이다.

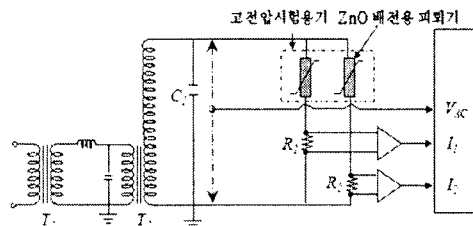


그림 1 ZnO 배전용 피뢰기의 전기적 특성의 평가를 위한 실험회로

Fig. 1 Experimental circuit for evaluating the electrical properties of ZnO surge arrester

그림 1은 최대 50 [kV]를 발생시킬 수 있는 교류 고전압발생장치의 회로도이다. 측정장비로는 디지털 오실로스코프(BW 1[MHz], 5[Gs/s] 4채널), 수동성 고전압 프로브(BW 75[MHz], 감쇠율 1000X, 최대입력 DC 20kV), 능동성 FET 프로브(BW 1[MHz], 감쇠율 1/10, 최대전압 ±15[V])를 사용하였다.

본 연구에서 사용된 ZnO 배전용 피뢰기의 규격과 전기적 특성은 표 1과 같다. 실험에 사용된 피뢰기는 산화아연소자로 이루어진 애자형 피뢰기이며, 22.9 [kV] 정상 운전조건에서 ZnO 배전용 피뢰기에 인가되는 최대 연속운전전압은 15.3 [kV]이다.

표 1 본 연구에 사용한 ZnO 산화아연 피뢰기의 규격
Table 1 Specifications of the ZnO surge arrester used in the work

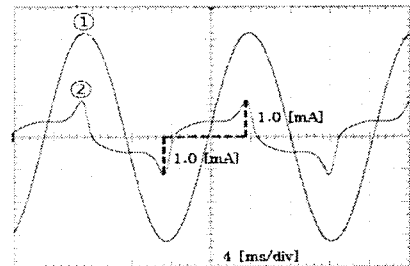
항목		규격	
정격전압(kV)		18	
공칭방전전류(kA)		2.5	
최대 연속운전전압(kV)		15.3	
동작개시전압 (V_{1mA} , kV)	AC	16.20	
	DC	22.90	
제한전압(8/20 μ s kA crest, kV)		65	
방전내량	단시간 대전류 (4/10 μ s kA crest)	25	
	장시간 소전류	μ s	500
		A crest	20

3. 결과 및 고찰

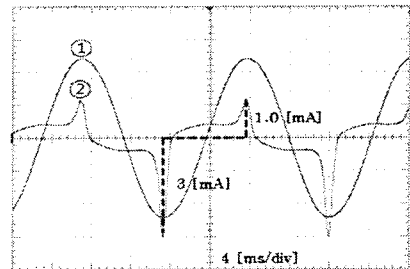
3.1. 뇌임펄스에 의한 피뢰기의 열화특성

일반적으로 가공송전선이나 배전선에 침입한 낙뢰에 의한 뇌격전류로는 8/20 [μ s] 파형의 전류를 표준 뇌임펄스 전류로 사용하고 있다. 뇌임펄스 전류에 의한 ZnO 배전용 피뢰기의 열화는 상용주파수 교류과전압에 의한 열화기구와는 다르다. 뇌임펄스 전류는 ZnO 배전용 피뢰기 내부 소자의 비선형 저항특성을 저하시켜 보호성능에 크게 영향을 준다. 이것은 뇌임펄스 전류의 경우 상용주파수 교류과전압에 비해 ZnO 피뢰기 소자의 입계층에 가해지는 전계의 강도가 정상상태보다 대단히 크므로 일반적인 소자의 보호동작시보다 많은 열이 발생하고 이 때문에 입계층의 변형이 쉽게 일어나기 때문이다.

본 연구에서는 8/20 [μ s] 뇌임펄스 전류의 인가횟수가 ZnO 배전용 피뢰기의 수명에 미치는 영향을 평가하기 위해 IEC 규격의 임펄스전류시험에 근거하여 임펄스전류발생장치를 사용하여 ZnO 배전용 피뢰기에 40초 간격으로 2.5 [kA], 8/20 [μ s]의 임펄스전류 75회를 5×15개의 군단위로 인가하였다. 임펄스 전류를 인가시키기 전의 신품 ZnO 배전용 피뢰기와 75회의 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)의 누설전류 파형에서는 임펄스전류의 인가횟수가 많아질수록 정극성은 변화가 없지만 부극성 부분이 커져 비대칭성이 커지는 것으로 나타났다. 이처럼 극성의 임펄스전류에 대한 $I-V$ 특성이 서로 다른 변화를 보이는 것은 입계층의 경계면에서 각각의 쇼트키장벽이 독립적으로 변형되기 때문이다. 임펄스전류가 흐르는 동안 순바이어스와 역바이어스의 쇼트키장벽의 높이가 변형된 것으로 볼 수 있다.



(a) 신품 피뢰기



(b) 열화된 피뢰기

그림 2 ZnO 배전용 피뢰기의 전압-전류 파형
Fig. 2 Waveforms of applied voltage and leakage current for ZnO surge arrester

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 많게 되는 것이다.[6] 따라서 임펄스전류의 인가횟수에 따른 열화의 진전은 누설전류의 극성에 따라 비대칭적으로 일어나게 되므로 누설전류에 의한 열화진단 시에는 반드시 극성에 대한 영향을 고려하여야 한다.[5,6]

3.2 외부 온도변화에 따른 전기적 특성

ZnO 배전용 피뢰기는 저전계 영역에서 온도변화에 민감하게 반응하며 온도의 증가에 의해서 ZnO 배전용 피뢰기에 흐르는 누설전류가 증가한다. 즉, 소자의 온도상승에 의해서 누설전류가 증가하고 증가된 누설전류에 의해서 온도가 더욱 상승된다. ZnO 배전용 피뢰기는 외부에 노출되어 있기 때문에 외부온도에 의한 영향과 태양의 복사열에 의한 영향을 직접적으로 받아 외부요인에 의해서도 온도가 상승한다. 따라서 ZnO 배전용 피뢰기의 열화 정도와 수명을 평가하기 위해서는 계절적인 온도 변화의 영향을 고려해야 한다.[7,8] ZnO 배전용 피뢰기의 용량성 전류는 전압레벨에만 관련되고 온도상승에는 저항성 누설전류가 주로 관련되기 때문에 동작개시전압 이전 영역에서의 저항성 누설전류의 온도의존성에 대한 평가가 필요하다.

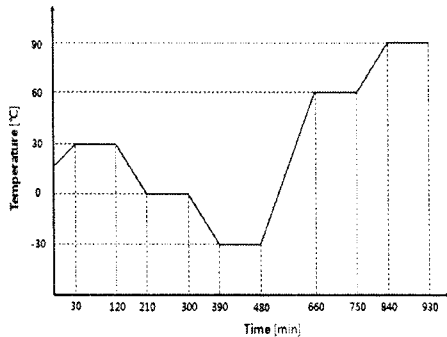


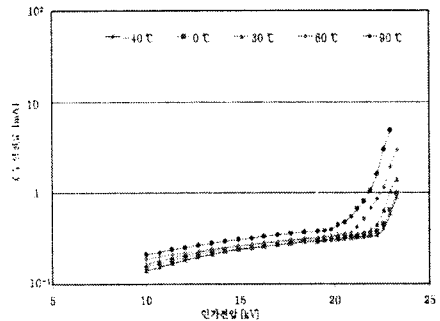
그림 3 ZnO 배전용 피뢰기의 외부온도 특성 평가를 위한 온도주기

Fig. 3 Temperature period for evaluating the temperature properties of ZnO surge arrester

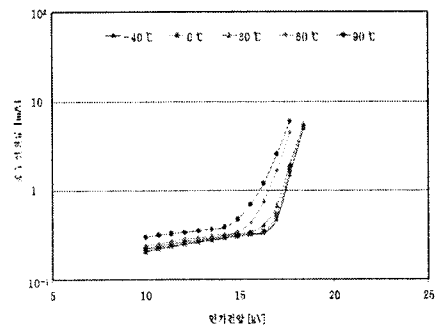
본 연구에서는 온도를 $-40\text{ [}^\circ\text{C]}\sim 120\text{ [}^\circ\text{C]}$ 까지 습도를 20 %RH ~ 90 %RH까지 조절할 수 있는 고전압시험용기를 사용하여 외부온도의 변화를 주었으며, 외부온도의 변동 주기는 그림 3와 같이 한 주기가 930분(15시간 30분)이고, $-40\text{ [}^\circ\text{C]}\sim 90\text{ [}^\circ\text{C]}$ 까지의 온도변화를 가진다.

그림 4는 $-40\text{ [}^\circ\text{C]}\sim 90\text{ [}^\circ\text{C]}$ 의 온도에서 AC 전압을 인가하였을 때 신제품 ZnO 배전용 피뢰기와 열화된 ZnO 배전용 피뢰기의 누설전류 변화를 나타낸다. $-40\text{ [}^\circ\text{C]}\sim 30\text{ [}^\circ\text{C]}$ 까지는 두 배전용 피뢰기의 누설전류 변화에 큰 차이가 없었으나 $60\text{ [}^\circ\text{C]}$ 와

$90\text{ [}^\circ\text{C]}$ 에서는 점점 동일한 인가전압에서 누설전류가 증가하였다. 특히 배전용 피뢰기는 외부온도가 증가함에 따라 저항성 누설전류가 급격히 증가하는 전압이 높아 동작개시전압도 점점 낮아졌다. 이것은 ZnO 피뢰기 소자가 저항체이기 때문에 온도의 변화에 크게 영향을 받기 때문이다. 만약 외부 온도가 낮아서 배전용 피뢰기의 열발생이 열방산과 평형을 이룬다면 줄열을 발생시키는 저항성 누설전류의 크기가 줄어들어 열평형 상태를 이루겠지만 외부 온도가 높아져서 열발생이 열방산보다 높아지면 배전용 피뢰기는 점점 온도가 상승하여 결국 열폭주 상태에 도달하게 된다. 특히 뇌 임펄스 전압과 같은 이상과전압에 의해 열화가 촉진된 배전용 피뢰기에서 온도에 의한 영향이 더욱 크다.



(a) 신제품 피뢰기



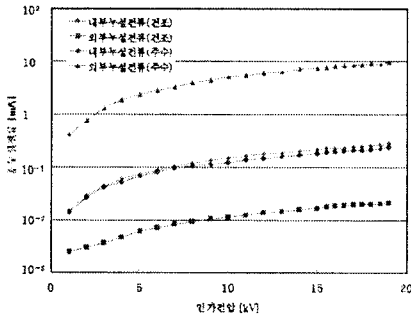
(b) 열화된 배전용 피뢰기

그림 4 온도변화에 따른 ZnO 배전용 피뢰기의 I-V 특성
Fig. 4 I-V characteristics of ZnO surge arrester according to the temperature variation

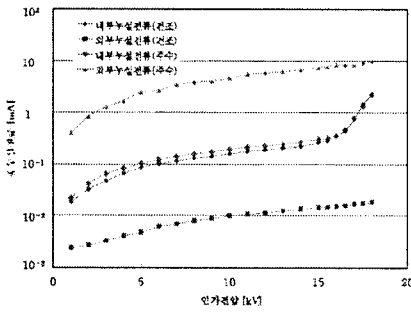
3.3 주수상태의 전기적 특성

건조상태에서 ZnO 배전용 피뢰기에 흐르는 누설전류의 대부분은 피뢰기 내부의 ZnO 소자로 흐르고 외피로 흐르는 누설전류의 양은 미세하지만 강수 시에 ZnO 배전용 피뢰기에 흐르는 누설전류는 건조상태와 크게 다르다. ZnO 배전용 피뢰기는 외부로 노출되어 있어 강수에 의한 영향을 크게 받으며 특히 우리나라의 연강수량은 약 1,000~1,850

mm 이며 계절적으로 연강수량의 50~60%가 여름에 집중되어 있기 때문에 강수가 ZnO 배전용 피뢰기에 미치는 영향을 평가할 필요가 있다. 따라서 ZnO 배전용 피뢰기의 강수 시에 대한 동작특성을 알아보기 위하여 KS C IEC 60060-1 고전압 시험 방법의 주수 교류 전압 시험에 의거하여 평균 주수율은 5mm/min이고 수직 방향에서 물을 주수하여 실험하였다. 주수 시에 ZnO 배전용 피뢰기에 흐르는 외부와 내부 누설전류를 측정하였다.



(a) 신품 피뢰기



(b) 열화된 피뢰기

그림 5 주수상태에서 ZnO 배전용 피뢰기의 누설전류 특성
Fig. 5 Electrical properties of ZnO surge arrester under wet test

그림 5는 신품 ZnO 배전용 피뢰기와 열화된 ZnO 배전용 피뢰기의 외부와 내부의 누설전류를 나타내었다. 신품 배전용 피뢰기의 건조 시에 배전용 피뢰기에 흐르는 누설전류는 내부에 흐르는 누설전류가 대부분으로 외부로 흐르는 누설전류는 작게 검출되었다. 그러나 건조 시에 비하여 주수 시에 배전용 피뢰기 외부로 흐르는 누설전류는 크게 증가하였고 주수 시에 내부로 흐르는 누설전류가 건조 시에 비해서 거의 변화가 없었다. 열화된 배전용 피뢰기도 신품 피뢰기와 유사하게 주수 시에 외부 누설전류가 크게 증가하였으며 내부 누설전류는 거의 변하지 않았다. 이것은 강수 상태에서 ZnO 배전용 피뢰기에 흐르는 누설전류는 대부분이 외부로 흐르는 누설전류이며 애자의 외피가 파

손되지 않으면 건조 시와 다르게 열화 정도에 상관없이 일정한 누설전류가 발생한다고 판단된다.

4. 결론

주위 온도 변화 및 주수 실험을 통해 ZnO 배전용 피뢰기에 흐르는 누설전류의 측정과 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 뇌 임펄스 전류에 의해 열화된 ZnO 배전용 피뢰기는 신품 피뢰기에 비하여 AC 전압에 대하여 누설전류가 비대칭성으로 나타났다. 따라서 배전용 피뢰기의 누설전류를 이용하여 열화 진단 시에 극성에 대한 고려를 하여야 한다.
- (2) ZnO 배전용 피뢰기는 외부 온도가 증가할수록 누설전류가 많이 흐르며 외부 온도에 의한 영향은 신품 피뢰기보다 열화된 피뢰기에서 더 크게 나타났다.
- (3) 주수 시에 피뢰기에는 ZnO 내부누설전류보다 외부누설전류가 많이 흐르며 신품 피뢰기와 열화된 피뢰기의 차이는 크지 않았다.

References

- [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 Transactions on Power system, 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 Transactions on Power Apparatus and System, Vol.PAS-99, No.4, pp.1548-1556, 1980
- [3] Jinbo Kuang, Jeffrey A. Bennett, Ram G. Bommakanti and Steven A. Boggs, "Temperature Distribution in a ZnO Arrester Subjected to Multiple Current Impulses", Conference Record of the IEEE International Symposium on Electrical Insulation, 1996
- [4] Kazuo Eda, "Destruction mechanism of ZnO varistors due to high currents", J. Appl. Phys, Vol.56, No.10, pp2948-2955, 1984
- [5] 이복희, 박건영, 강성만, "산화아연 피뢰기 소자와 전극 사이에 발생하는 방전광 현상", 한국조명설비학회, Vol.19, No.3 pp.44-50. 2005
- [6] P. L. Hower and T. K. Gupta, "A Barrier Model for ZnO Varistors", J. Appl. Phys, 1979
- [7] M. V. Lat, "Analytical method for performance of metal oxide surge arresters", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-104, No.10, 2665-2674, 1985
- [8] M. Mizuno, M.Hayashi and K. Mitani, "Thermal stability and life of the gapless surge arrester", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No. 5, 1981