

중첩전압(직류 + 60Hz 교류)에서 18kV 배전용 피뢰기의 전기적 특성

(The electrical properties of in 18kV ZnO surge arrester with mixed direct and 60Hz Alternating Voltage)

이복희 · 이승주* · 이수봉 · 정동철 · 백영환

(Bok-Hee Lee · Seung-ju Lee · Su-Bong Lee · Dong-Cheol Jung · Young-hwan Baek)

Abstract

This paper presents the characteristics of leakage currents flowing through 18 kV zinc oxide (ZnO) surge arrester under the mixed DC and AC voltages. The I - V curves of ZnO surge arrester were measured as a function of the voltage ratio K . The I - V curves under the mixed DC and AC voltages lay between the pure DC and AC characteristics, and the cross-over phenomenon in I - V curves was observed at the low current region. As a result, the increase of DC component to mixed voltages causes the increase of resistive component of total leakage current th ZnO surge arrester.

Keywords: ZnO Surge Arrester, Mixed voltage, Leakage Current, Cross-over Phenomenon

1. 서 론

송·배전 전력계통에서는 일반적으로 낙뢰나 스위칭 서지 등과 같은 이상전압에 대해 전력기기의 보호 및 절연 레벨의 감소를 위해 피뢰기를 사용하고 있다. 현재 피뢰기 내부에 사용되는 소자는 주로 산화아연(ZnO)소자이며, 이것의 전압-전류 특성은 비선형성이 매우 급격히 변하는 것이다.

교류계통전압에서 발생하는 과전압은 어떠한 임의의 위상에서도 일어날 수 있다. 그 형태는 교류 전압과 임펄스전압이 중첩된 형태가 되는데 과전압이 발생한 부분만 보면, 교류에 직류 전압이 중첩된 형태와 유사하게 된다. 특히 ZnO 피뢰기에 동작개시전압보다 낮은 직류전압이 인가된 경우에 흐르는 누설전류는 동일한 크기의 교류 전압이 인가된 경우에 비해서 매우 작으나, 동작개시전압의 범위 이상에서는 직류전압이 인가된 경우의 누설전류가 훨씬 크다.

본 논문에서는 직류와 60Hz 교류를 중첩시킨 중첩전압이 배전용 피뢰기에 미치는 영향을 조사하였다. 정상피뢰기와 11년 사용된 피뢰기를 사용하여 중첩전압에 대한 누설전류를 측정하고 전압-전류 특성을 분석하였다. 특히 전압-전류특성 곡선상의 동작개시전압 부근에서 나타나는 교차현상에 대하여 검토하였다.

2. 실험장치 및 방법

실험에 사용한 피뢰기는 정격전압과 공칭방전전류

가 각각 18 [kV], 2.5 [kA]의 배전용 피뢰기를 사용하였다. 중첩전압이 노화와 열화에 미치는 영향을 살펴보기 위해 정상 피뢰기와 11년 상시 운전 전압에 의해서 스트레스를 받은 배전용 피뢰기에 대해서 실험하였다. 그림 1은 최대 50 [kV]까지 중첩전압을 발생시킬 수 있는 중첩전압 발생장치의 회로도를 나타내었다.

그림 1의 회로에서 상위부분에는 60Hz 교류전압이 인가되고, 하위부분에는 다이오드와 콘덴서 C_2 를 이용하여 직류 전압이 인가되도록 구성하였다.

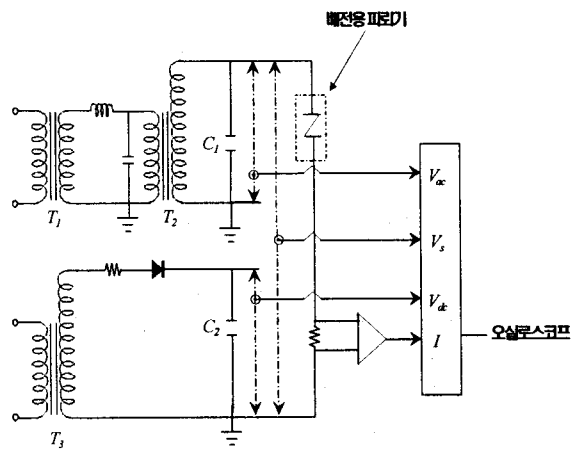


그림 1 중첩전압발생장치의 회로도

Fig. 1 Circuit diagram of the direct and 60 Hz alternating, mixed voltage generator

측정을 위해 사용된 장비는 디지털 오실로스코프

(BW 1[MHz], 5[Gs/s] 4채널), 수동형 고전압 probe(BW 75[MHz], 감쇠율 1000X, 최대입력 DC 20kV), 능동형 FET probe(BW 1[MHz], 감쇠율 1/10, 최대전압 ±15[V])가 사용되었다.

표 1. 배전용 피뢰기의 규격

Table 1. Specification of the Surge Arrester

항목		규격	
정격전압(kV)		18	
공칭방전전류(kA)		2.5	
최대연속운전전압(kV)		15.3	
동작개시전압 (V1mA, kV)	AC	16.20	
	DC	22.90	
제한전압(8/20 μ s kA crest)		65	
방전내량	단시간 대전류 (4/10 μ s kA crest)		25
	장시간 간소 전류	μ s	500
		A crest	20

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

직류와 교류전압의 중첩된 비율을 나타내는 전압 중첩률 K 를 구하는 방법은 다음과 같다.

$$K = \frac{V_{ac(peak)}}{V_{ac(peak)} + V_{dc}}$$

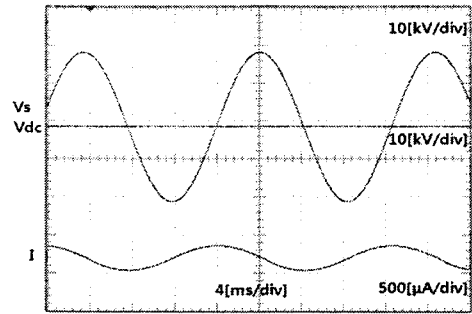
이 전압중첩률 K 를 파라미터로 하여 인가전압에 대한 누설전류를 나타내는 전압-전류 곡선을 작성하였고, 이에 대한 특성을 검토하였다.[1]

3. 결과 및 고찰

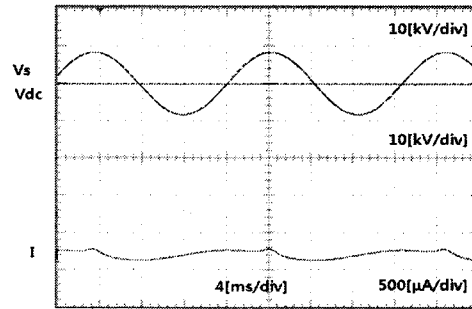
3.1. 배전용 피뢰기의 누설전류 특성

중첩전압 발생장치를 이용하여 전압중첩률 K 를 0에서 1까지 변화시키면서 20~32.2 [kV_{peak}]의 중첩전압을 배전용 피뢰기에 인가하였다. 그림 2에 정상 피뢰기와 11년 사용된 피뢰기를 일정한 중첩전압 28.2 [kV_{peak}]에서 K 의 변화에 따른 누설전류의 특성을 나타내었다.

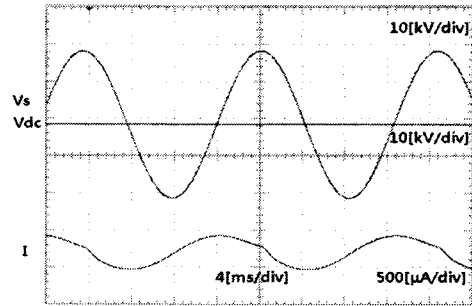
정상 피뢰기의 경우 28.2 [kV_{peak}]는 동작개시전압 이전이기 때문에 용량성 누설전류가 저항성 누설전류보다 상대적으로 크다. 하지만 전압중첩률 K 가 감소함에 따라 용량성 전류가 감소하고 저항성 누설전류가 점점 증가하는 것을 알 수 있다.



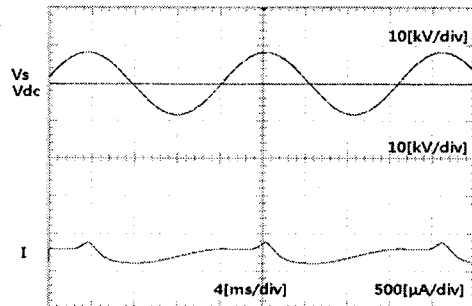
(a) $K=0.7$ (정상 피뢰기)



(b) $K=0.3$ (정상 피뢰기)



(c) $K=0.7$ (11년 사용된 피뢰기)



(d) $K=0.3$ (11년 사용된 피뢰기)

그림 2 피크전압 28.2kV ZnO 배전용 피뢰기의 전압 중첩률 변화에 따른 누설전류 파형

Fig. 2 Waveforms of leakage currents flowing through the ZnO surge arrester under the DC + AC mixed voltages of 28.2 [kV_{peak}] according to the voltage ratio

또한 정상 피뢰기와 11년 사용된 피뢰기를 비교해 보면 정상 피뢰기보다 11년 사용된 피뢰기가 동일한 전압, 동일한 전압중첩률에서 더 많은 누설전류가 흐르는 것을 확인할 수 있었다.

이것은 장시간 상시 운전전압에서 스트레스를 받은 피뢰기가 동작개시전압이 더 낮아지고, 점점 더 열화(degradation)된다고 판단할 수 있다.

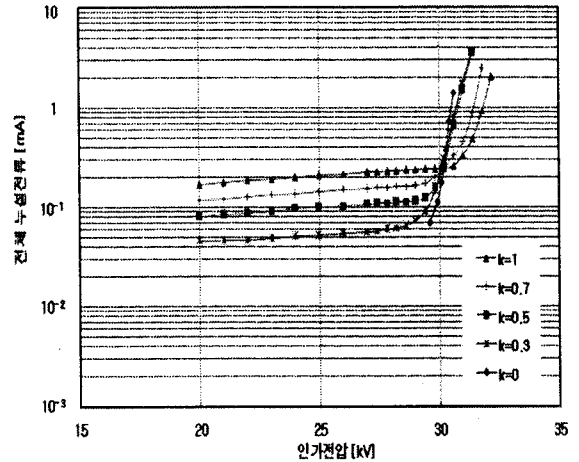
3.2 배전용 ZnO 피뢰기의 전압-전류 특성

정상 ZnO 배전용 피뢰기와 11년 상시 운전전압에 의해 지속적인 스트레스를 받아 사용된 ZnO 배전용 피뢰기를 전압중첩률 K 의 변화에 따른 $I-V$ 곡선을 그림 3에 나타냈다.

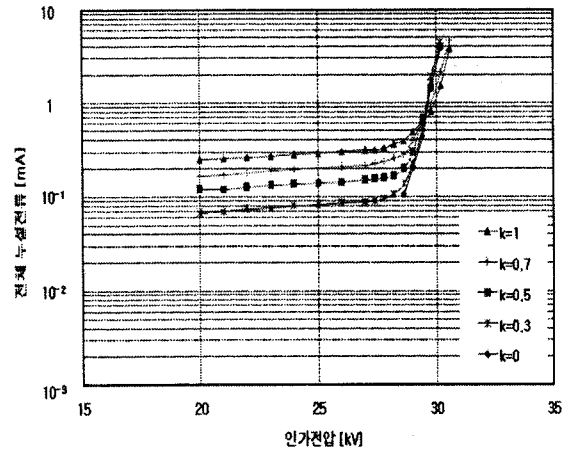
전압중첩률 K 의 변화에 따른 피뢰기의 $I-V$ 곡선을 분석해 보면 $I-V$ 곡선은 직류 전압과 교류 전압의 $I-V$ 곡선 사이에 나타났고 동작개시전압 부근에서 교차점을 가지는 교차현상(Cross-over phenomenon)이 나타났다. 교차점 이후의 동작개시전압 이상에서 누설전류는 전압중첩률 K 가 작을수록 즉, 직류 성분이 커질수록 용량성 누설전류의 크기가 조금씩 감소하였고 저항성 누설전류는 상대적으로 크게 증가하였음을 확인할 수 있다. 또한 이로 인해 누설전류의 크기도 상대적으로 증가하였다. 이러한 현상은 ZnO 피뢰기 소자의 등가회로로부터 쉽게 알 수 있다. 동작개시전압 이하에서 ZnO 피뢰기 소자는 이론적으로 무한대의 저항을 가지므로 인가된 전압의 대부분이 커패시터에 가해지고 이에 따라 누설전류도 대부분 용량성을 나타내게 된다.

그러나 동작개시전압 이상에서는 비선형계수의 급격한 증가로 인해 무한대의 값으로 작용하던 저항이 감소하게 되며, 이로 인해 커패시터로 흐르지 못했던 누설전류 중 직류 성분이 비선형저항에 흐르게 된다. 직류 성분의 증가는 곧 동상인 누설전류의 저항성의 증가를 의미한다. 따라서 ZnO 피뢰기에 흐르는 누설전류는 용량성보다 저항성이 크게 증가하는 결과를 가져오게 된다.[2-4]

사용된 피뢰기의 경우에는 사용된 시간에 비례하여 교차점이 정상시료의 교차점전압에 비해 낮게 나타났다. 동작개시전압 이하에서 누설전류가 감소하는 정도는 정상 피뢰기에 비해 줄어들었다. 또한 정상 피뢰기에 비해 $I-V$ 곡선의 비선형계수가 상당히 감소하였고 총 누설전류는 크게 증가하였음을 확인하였다.



(a) 정상 피뢰기 $I-V$ 특성



(b) 11년 사용된 피뢰기 $I-V$ 특성

그림 3. 전압중첩률에 대한 ZnO 배전용 피뢰기 $I-V$ 곡선

Fig. 3 $I-V$ curves of the ZnO surge arrester with the DC + AC mixed voltages as a parameter of the voltage ratio K

또한 순수 교류 전압만이 인가될 때에 비해 전압중첩률 K 가 감소할수록 정상 피뢰기 및 11년 사용된 피뢰기 모두 총 누설전류의 피크치는 감소하였으나 정상 피뢰기보다 11년 사용된 피뢰기에서 낮은 전압에서 누설전류가 증가하는 현상을 나타내었으며, 누설전류의 증가폭도 더 크게 나타났다. 정상 피뢰기와 11년 사용된 피뢰기의 $I-V$ 특성에서 전압중첩률 K 의 감소에 따른 누설전류의 증가는 주로 저항성 누설전류의 증가임을 감안한다면 직류 전압 비율의 증가는 배전용 피뢰기의 열화를 가속시킬 수 있는 요인으로 작용함을 알 수 있다.

3.3. 배전용 피뢰기의 전기적 저항

ZnO 피뢰기의 전기적 특성은 저항과 커패시턴스에 의해 결정된다. ZnO 피뢰기의 저항과 커패시턴스 변화는 ZnO 피뢰기의 열화를 나타내는 중요한 요소이다. ZnO 피뢰기의 열화는 저항성 누설 전류와 크게 관련된다. 그림 4에 11년 사용된 피뢰기의 일정전압에서 전압중첩률에 따른 저항의 변화를 나타냈다. 인가전압이 증가함에 따라 저항은 점점 작아지는 것을 알 수 있으며, 동작개시전압 이상에서 저항은 전압중첩률이 증가함에 따라 증가한다. 그러나 동작개시전압 이전의 전압에서는 전압비의 증가함에 따라 감소한다.

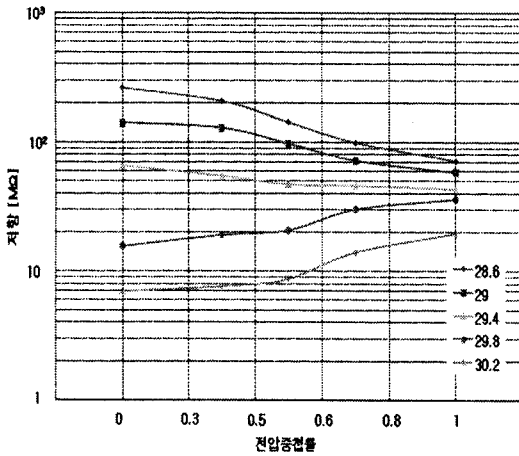


그림 4. 배전용 피뢰기의 등가 저항-전압중첩률 곡선

Fig.4 The curve of equivalent resistance-voltage ratio K of the ZnO surge arresters

공칭방전전류 1 mA 이하의 경우에는 전압중첩률이 증가하면 피뢰기의 누설전류가 증가한다. 그러나 공칭방전전류 1 mA 이상의 경우(29.8, 30.2 kV_{peak})에는 전압중첩률 1에서 0으로 감소할 때 피뢰기의 누설전류는 감소한다. 이것은 방전영역의 초기단계에서 DC 바이어스 영향이 AC 보다 더 뚜렷하다고 할 수 있다. 동작개시전압 이전 영역에서 흐르는 전류는 장벽을 넘는 열여자 전자에 의해 나타나는 반면에 동작개시전압 이상의 영역에서 흐르는 전류는 장벽을 통하는 전자의 터널링 의해서 나타난다. 쇼트키 장벽이 얇아지기 DC 바이어스가 증가하기 때문에 전기 전도의 가능성이 더 높다.[5]

4. 결론

직류와 교류가 중첩된 전압에 의해서 배전용 피뢰기에 흐르는 누설전류의 특성과 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 전압중첩률 K 를 감소시키면 누설전류의 용량성 성분은 감소하고 저항성 성분은 증가하였다.
- (2) $I-V$ 특성곡선상의 교차점 이하의 범위에서는 동일한 크기의 피크전압에 대해서 직류비중이 높아짐에 따라 누설전류가 증가하였다.
- (3) 중첩전압 중 직류 성분이 ZnO 피뢰기의 성능을 더 저하시키고, 시간이 지날수록 피뢰기의 성능이 지속적으로 저하되는 것을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] A. Haddad, H.S.B Elayyan, D.M. German, and R.T. waters, "ZnO surge arrester elements with mixed direct and 50 Hz voltages", IEC Proc., Pt. A, Vol.138, No.5, pp.265-272,1991.
- [2] B.H.Lee, S.B.Lee, D.M.Lee, D.C.Jung, S.M.Kang, C.H.Ahn, "Changes in Electrical Characteristics of ZnO Surge Arrester Blocks Subjected to Lightning Currents", Korea-Japan Joint Symposium on ED & HVE, pp 267-270, 2005
- [3] A. Haddad, P. Naylor, Y.K. Tong, W.A. Marley, "Direct voltage and trapped charge effects on the protective characteristic of ZnO surge arresters", IEE Proc.-Sci. Meas. Technol., Vol 142, No.6, pp442-448, 1995
- [4] B.H.Lee, Y.H.Baek, S.B.Lee, K.S.Lee, S.M.Kang, C.H.Ahn, P.U.Shim, K.S.Lee, "Electrical Properties of ZnO Elements under Combined DC and 60 Hz AC Voltages", The 3rd Asian lightning Protection Forum, pp 100-105, 2005.10
- [5] A. Haddad, J. Fuentes-Rosado, D. M. German, R. T. Waters, "Characterisation of ZnO surge arrester elements with direct and power frequency voltages", IEE Proc. Vol.137, Pt. A, No.5, pp.269-279, 1990
- [6] 이복희, "고전압대전류공학", 청문각, pp. 223-226, 2001.8