

중첩전압(직류+교류 60%)에서 산화아연 피뢰기 소자의 누설전류 특성

이복희, 박건영*, 강성만, 최취성, 오성균
 인하대학교 차세대 고전압전력기술연구소

**The characteristic of leakage current in ZnO surge arrester elements
 with mixed direct and 60% voltage**

B.H. Lee, K.Y. Pak*, S.M. Kang, H.S. Choi, S.K. Oh
 HEIRC, Inha Univ.

Abstract - The ZnO surge arrester is the protective device for limiting surge voltages on equipment by diverting surge current and returning the device to its original status. The occurrence of overvoltage appears in any phase to AC power supply system and it appears in mixing AC and impulse voltages. moreover because HVDC power supply system uses converter in semiconductor, it makes mixed DC and high harmonics voltages.

In this study, the various mixed AC and DC voltages was made for investigating the degradation effect of ZnO arrester according to mixed voltage. As a result, the increase of DC component to mixed voltages causes the increase of resistive component of total leakage current to ZnO block. In changing V-I curve for mixed voltages, the cross-over point acts a factor as making the proper capacitor size of an equivalent circuit for ZnO block.

1. 서 론

송·배전 전력계통에서는 일반적으로 낙뢰나 스위칭 서지 등과 같은 이상전압에 대해 전력기기의 보호 및 절연 레벨의 감소를 위해 피뢰기가 사용되고 있다. 현재 피뢰기 내부에 사용되는 소자는 주로 산화아연(ZnO)소자를 사용하고 있는데, 이것은 전압-전류 특성의 비선형성이 매우 급격히 변하는 특성을 가지고 있다. 이런 급격한 비선형성은 피뢰기같은 경우의 과전압 보호에 대해서는 매우 이상적이라 할 수 있지만 그와 동시에 ZnO 소자에는 매우 복잡한 특성이 수반되기 때문에 소자 자체의 도전기구를 이해하는 데는 많은 어려움이 따른다.

피뢰기의 열화검출 방법시, 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 뿐 아니라, 보다 현실적이고 간편하게 소자의 열화정도를 파악할 수 있기 때문이다.

따라서 본 논문에서는 누설전류의 도전기구를 분석하기 위해 직류와 60Hz 교류를 중첩시킨 중첩전압(DC+AC)이 ZnO 소자의 열화에 미치는 영향 및 누설전류 영역의 도전기구 이해에 필요한 교차효과에 대해서 평가를 하였다. 여기서 중첩전압을 이용해 ZnO 소자에 대한 평가를 실시한 이유로는 다음과 같은 배경 때문이다.

- ① 과전압의 발생은 교류계통전압에서 어떠한 임의의 위상에서도 일어날 수 있으며, 이 때 그 형태는 교류전압과 임펄스전압이 중첩된 형태가 된다. 이는 과전압이 발생한 부분만 국한했을 때, 교류에 직류전압이 중첩된 형태와 유사하게 된다.
- ② 직류고전압(HVDC) 송전시스템에서는 직류와 교류

전압의 변환을 위해 반도체 소자를 이용한 컨버터를 사용한다. 이로 인해 발생하는 고조파 전압에 의해 계통에 직류전압과 고조파전압이 중첩된 형태로 작용하게 된다.

또한 본 논문에서는 평가하고자 하는 중첩전압에 대해 교류와 직류의 중첩비율을 결정하기 위해 중첩율 K라는 파라미터를 도입하였고, 그에 대한 정의는 다음과 같다.

$$\text{중첩율 } K \text{의 정의 : } K = \frac{Vac(\text{peak})}{Vac(\text{peak}) + Vdc}$$

2. 실험장비 구성 및 방법

실험에 사용한 ZnO 소자는 정격전압과 공칭 방전전류가 각각 18[kV], 2.5[kA]인 배전용 피뢰기 소자로 사용되는 ZE32GE20소자를 사용하였다. 이에 대한 제원은 아래 표에 표현하였다.

Model		ZE32GE20
Dimensions(mm)	Diameter	32±1.0
	Height	20.0±1.0
Range of critical operating voltage (V1mA-DC), (kV-DC)		4.50-5.50
Max. residual voltage ratio (VxkA/V1mA), (at 8/20μs)		1.75 (at 5kV)
Current Withstand Capability	4/10μs(kA)	40
	2ms(A)	100
Application for IEC 99-4 (1991)		5kA Distribution

중첩전압이 열화에 미치는 영향을 살펴보기 위해 위의 동일 소자 2개를 실험에 사용하였다. 그 중 하나는 정상상태로, 다른 하나는 다중 뇌서지를 100회 인가한 후의 상태로서 실험을 진행하였다. 그림 1에는 최대 10W까지 중첩전압이 발생되는 중첩전압 발생장치 실험장치를 구

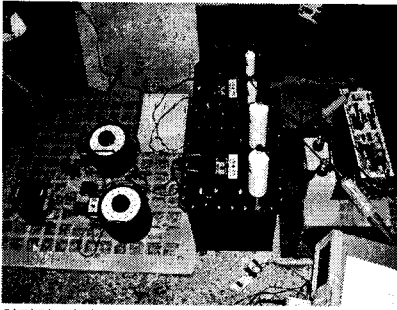


그림 1. 중첩전압 발생장치 실제모습
Fig 1. The photo of mixed voltage generator

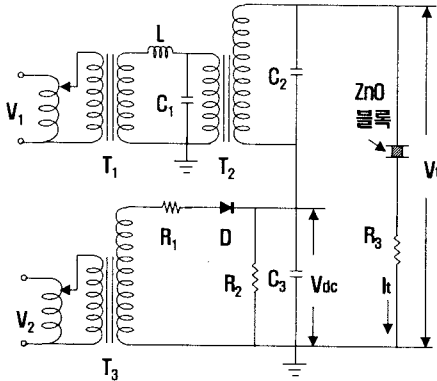


그림 2. 중첩전압 발생장치의 회로도
Fig 2. The circuit diagram of the mixed voltage generator

성한 실제모습이다. 그림 2에는 이 발생장치의 회로도를 표현하였다.

상위부분은 교류전압을, 하위부분은 직류전압을 인가하도록 구성되어 있다. 변압기 T1과 T2사이에는 LC저역 통과필터를 사용하여 노이즈를 제거하였다. R1은 충전용 저항으로 50kΩ을 사용하였고 R2는 방전용 저항으로 2MΩ을 사용하였다. 또한 ZnO에 흐르는 미소한 누설전류의 원활한 측정을 위해 1kΩ 저항(R3)을 사용하여 오실로스코프 상에서 1[V/mA]의 측정감도가 되도록 조정하였다.

중첩전압에 의한 실험방법으로는 직류와 교류전압의 중첩된 비율을 나타내는 파라미터 K를 이용하여 실험하고자 하는 비율에 따라 교류전압을 인가한 후 직류전압(Vdc)을 중첩시켜 총 중첩전압의 피크치(Vt)를 측정하였고 그 때 ZnO 소자에 흐르는 총 누설전류(It)의 파형과 피크치를 측정하였다.

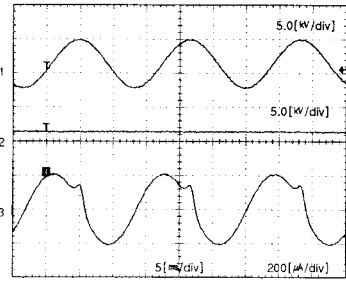
측정을 위해 사용된 장비는 디지털 오실로스코프(BW 500[MHz], 2.5[GS/s] 4채널), 수동형 고전압 probe(BW 75 [MHz], 감쇠율 1000X, 최대 입력 DC 20W), 능동형 FET probe(BW 1[MHz], 감쇠율 10X, 최대전압 ±15V)가 사용되었다.

3. 실험결과 및 분석

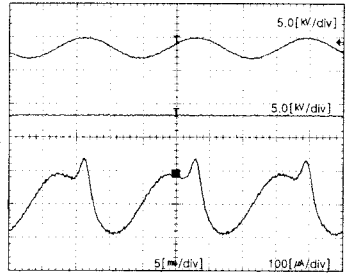
3.1 정상상태 ZnO소자에 대한 중첩전압 실험

정상상태인 ZnO 소자를 가지고, 중첩전압 발생장치를 이용하여 중첩율(K)을 0에서 1까지 증가시키면서 중첩전압 1[W]-5.4[W]사이에서 실험을 진행하였다.

그림3에서 일정한 중첩전압에서 K의 변화에 따라 나타나는 누설전류의 특성을 살펴보면, 중첩전압이 동작개시전압 이하인 경우에는 누설전류의 대부분은 용량성 성분이 차지하며, 동작개시전압 이상인 경우, 직류성분이 증가할수록 누설전류 중 용량성 성분보다 저항성 성분이 크게



(a) K=0.7



(b) K=0.3

1 : 중첩전압 2 : 직류 인가전압

3 : ZnO 소자의 총 누설전류

그림 3. 일정 인가전압(5μ)에서 중첩율 K의 변동에 따른 ZnO 소자의 총 누설전류 파형(정상상태)

Fig 3. The waveform of total leakage current of ZnO block according to Mixed voltage ratio(K) in fixed total voltage(5μ)(normal state)

증가하는 것을 확인할 수 있었다. 두 경우 모두 직류성분이 증가할수록 누설전류는 감소하였다.

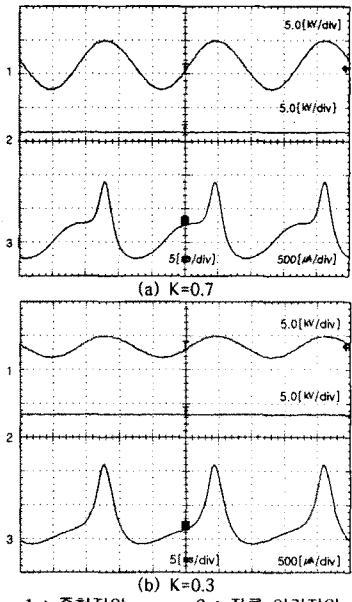
이상의 실험결과에 대해, 관찰된 현상에 대한 원인분석은 ZnO의 등가회로를 이용하여 설명이 가능하다. ZnO의 등가회로 경우, 일반적으로 커패시터와 비선형저항의 병렬회로로 표현된다. 여기에 직류와 교류성분이 중첩된 전압이 인가된 경우, 동작개시전압 이하에서는 ZnO소자는 이론적으로 무한대의 저항값을 가지므로 인가전압의 대부분은 커패시터에 걸리고 이에 따라 누설전류도 대부분 용량성 성분을 지닌다. 하지만 동작개시전압 이상에서는 비선형계수가 급격히 커져서 무한대로 작용하던 저항값이 작아지고, 이로 인해 커패시터로 흐르지 못하던 누설전류 중 직류성분이 저항으로 흐르게 된다. 직류성분의 증가는 곧 동상인 누설전류의 저항성 성분이 증가함을 의미한다. 따라서 이 경우 ZnO소자에 흐르는 누설전류는 용량성 성분보다 저항성 성분이 크게 증가하는 결과를 가져오게 된다. 또한 중첩전압의 직류성분이 증가할수록 누설전류의 직류성분은 ZnO 등가 병렬회로의 커패시터에 의해 제한되므로 전체적으로 누설전류는 감소하게 된다.

3.2 열화가 진행된 ZnO소자에 대한 중첩전압 실험

다중 서지를 100여회 인가했던 ZnO소자를 가지고, 중첩전압 발생장치를 이용하여 중첩율(K)을 0에서 1까지 증가시키면서 중첩전압 1[W]-5.4[W]사이에서 실험을 진행하였다.

그림 4에서 직류성분이 증가할수록 동작개시전압 이하에서는 누설전류의 용량성 성분이 눈에 띄게 감소하였고, 총 누설전류는 감소하는 경향을 나타내었다. 동작개시전압 이상에서도 용량성 성분이 감소하는 현상이 관찰되었으며 총 누설전류는 증가하는 경향을 나타내었다.

이상의 실험결과에서 정상상태의 ZnO소자와 비교시, 열화가 진행된 ZnO소자의 경우 입력측 커패시터의 용량이 감소되어 동작개시전압이 정상상태인 경우보다 낮아졌다. 또한 동작개시전압 이하에서는 감소된 용량만으로도 충분히 직류성분을 제한할 수 있어서 누설전류가 감소하게 되지만, 동작개시전압 이상에서는 커패시터의



1 : 중첩전압 2 : 직류 인가전압
3 : ZnO 소자의 총 누설전류

그림 4. 일정 인가전압(5W)에서 중첩율 K의 변동에 따른 ZnO 소자의 총 누설전류 파형(열화상태)

Fig 4. The waveform of total leakage current of ZnO block according to Mixed voltage ratio(K) in fixed total voltage(5W)(degradation state)

용량 한계로 인해 직류성분의 제한이 제대로 이루어지지 않아 누설전류는 약간씩 증가하게 된다.

3.3 교차점과 입계층 커패시터사이의 관계

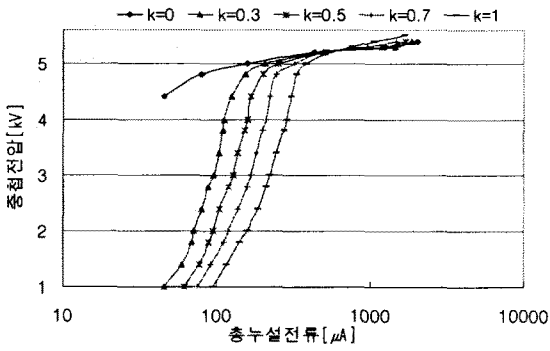


그림 5. 중첩전압의 V-I 곡선(정상상태)
Fig 5. V-I curves for mixed voltage(normal state)

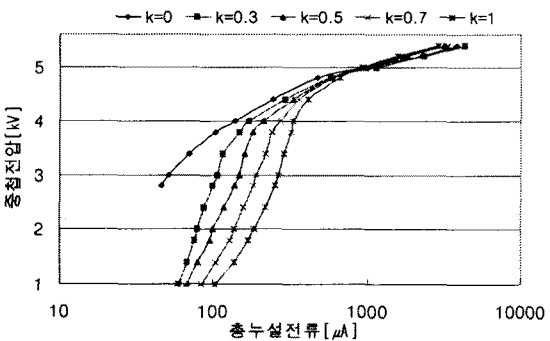


그림 6. 중첩전압의 V-I 곡선(열화상태)
Fig 6. V-I curves for mixed voltage(degradation state)

그림5는 정상상태의 ZnO에 대해 중첩율 K에 따라 1 kV~5.4kV 사이에서 실험한 결과를 그래프로 정리한 것이다. 그 결과 K의 변화에 따라 중첩전압과 총 누설전류의 V-I곡선에서 교차하는 부분이 나타났다. 약 5.3kV에서 생기는 이 교차점을 기준으로 하위 전도영역에서는 동일전압에서 직류성분이 증가할수록 누설전류가 감소하였다. 반면 상위 전도영역에서는 미소하나마 동일전압에서 누설전류가 증가하였다.

그림6은 열화상태의 ZnO에 대해 중첩율 K에 따라 1 kV~5.4kV 사이에서 실험한 결과를 그래프로 정리한 것이다. 그 결과 마찬가지로 K의 변화에 따라 중첩전압과 총 누설전류의 V-I곡선에서 교차하는 부분이 나타났다. 약 4.8kV 부근에서 교차점이 나타나는데 하위 전도영역에서는 동일전압에서 직류성분이 증가할수록 누설전류는 감소, 상위 전도영역에서는 누설전류가 증가하였다. 하지만 하위 전도영역에서의 누설전류 감소 폭은 정상상태에 비해 줄어든 형태를 보여주었다. 또한 정상상태에 비해 V-I 곡선의 비선형계수가 많이 감소되었음을 확인할 수 있었고 흐르는 총 누설전류의 양도 약간 증가한 것을 관찰할 수 있었다.

중첩전압 V-I 특성곡선들을 분석해보면, 중첩전압의 직류성분이 증가함에 따라 그래프상의 교차점 통과 전·후로 누설전류 피크치의 특성이 바뀌는 것을 확인할 수 있다. 즉, 통과 전에는 직류성분이 증가할수록 누설전류 피크치는 감소하였으나 통과 후에는 누설전류 피크치는 약간 증가하였다. 이것은 앞서 관찰했던 열화된 경우에서 나타난 현상과 매우 유사하며, 이로부터 교차점은 ZnO 소자의 입계층 커패시터 용량을 결정하는데 의미있는 factor로 작용함을 유추해 볼 수 있다.

4. 결 론

중첩전압이 ZnO 소자의 열화에 미치는 영향에 대해 연구를 수행한 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 중첩전압에서 직류성분이 증가(K가 감소)할수록 동일전압에서 누설전류의 용량성 성분보다는 저항성 성분이 증가하였다.
- (2) 중첩전압에서 직류성분이 증가할수록 동일전압에서 누설전류의 피크치는 감소하였다. 다만 ZnO 소자의 커패시터 용량이 직류성분을 제한할 수 있는 성능을 초과하면 누설전류 피크치는 증가하였다.
- (3) 중첩전압-누설전류 특성곡선에서 K의 변동에 따라 나타난 특성곡선들의 교차점은 ZnO 소자의 입계층 커패시터 용량을 결정하는 의미있는 factor로 작용함을 추론하였다.
- (4) 정상상태와 열화가 진행된 상태의 ZnO 소자를 비교해본 결과, 중첩전압-누설전류 특성곡선의 비선형계수나 교차점이 나타나는 중첩전압 값이 열화가 진행되면서 감소되어짐을 확인할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

[1] Haddad, A.; Elayyan, H.S.B.; German, D.M.; Waters, R. T.; "ZnO surge arrester elements with mixed direct and 50 Hz voltages", Science, Measurement and Technology, IEE Proceedings A, Volume: 138Issue: 5, Page(s): 265-272, Sept. 19 91
 [2] 이복희, "고전압대전류공학", 청문각, pp.223-226, 2001.8
 [3] 조경해, "발·변전소공학의 현장실무(4)",구미기술, pp.281-28 3, 1989.1