1999년도 대한전기학회 정기총회 및 추계학술대회 논문집 1999. 11. 20

ZnO 피뢰기 소자의 뇌충격전류에 의한 전기적 특성 변화 비교

°한주섭*, 박영호*, 길경석*, 김찬영**
한국해양대학교 전기공학과*, 한전전력연구원 전력계통연구실**

Comparison on electrical characteristic changes of ZnO Arrester Blocks by Lightning Impulse Current

°Joo-Sup Han*, Young-Ho Park*, Gyung-Suk Kil*, Chan Young Kim**
Korea Maritime University*, Korea Electric Power Research Institute**

Abstract - This paper describes the comparison results on electrical characteristic changes of ZnO blocks by lightning impulse current.
The five types of ZnO blocks used in lightning arrester for distribution lines have been estimated repeatedly till about 400 times by a standard lightning impulse current of 3kA, 8/20 μs, and changes of the performance characteristics of them to operation times were examined and compared quantitatively every fifty times discharge.
It is expected that the result will be useful to diagnose the soundness of ZnO blocks or lightning arresters, and to develope deterioration diagnosis device for them.

1. 서 론

본 논문에서는 전력계통에 발생한 이상전압을 피보호기기의 절연전압 이하로 억제시켜 기기를 안전하게 보호하는 ZnO 피뢰기 소자의 뇌충격전류에 의한 전기적 특성에 관하여 연구하였다. 현재 전압-전류의 비선형 저항특성이 우수한 산화아연(ZnO) 소자를 이용한 피뢰기가 주류를 이루고 있으며, ZnO 소자의 개발에 의해 피뢰기의 보호능력이 현저히 향상됨으로써 기술적, 경제적으로 혁신을 이루어 왔으나, 아직도 전력계통의 사고에 많은 부분이 피뢰기가 원인이 되고 있다.

특히, 특고압 배전선로와 같은 전력계통에서는 부하설비의 광범위한 분포로 피뢰기의 설치개수가 많아지고, 복잡한 연계로 인하여 이상전압의 발생빈도가 높기 때문에 피뢰기의 보호동작횟수가 많아지게 되며, 이러한 과정에서 피뢰기는 많은 열화가 진전된다[1]~[3]. 열화된 피뢰기가 전력계통에 계속 설치되어 있으면 상용전압에서의 과열 또는 그 후 계속되는 보호동작에서 피뢰기의 폭발 또는 지락사고로 진전하여 2차적인 인적·물적 사고를 유발시킨다.

따라서 본 연구에서는 ZnO 소자의 열화진전에 따른 특성변화를 파악하고 열화진단에 관한 기초적 자료를 확보하기 위하여, 국내 배전계통에 사용하는 5개 사의 피뢰기 소자에 대하여 기본특성과 뇌충격전류에 의한 가속열화실험으로 특성변화를 분석하였다.

ZnO 소자의 특성분석은 기제작한 누설전류 분석장치를 이용하여, 전체 누설전류, 저항분 누설전류 및 이와 관계된 제 3 조파 누설전류를 측정하여 분석하였다[4].

2. 실험장치 및 실험방법

배전용 피뢰기에 사용되는 ZnO 소자의 특성 변화를 파악하기 위하여 뇌충격전류 발생장치를 제작하고, 소자를 단독 또는 2개 직렬로 연결하여 뇌충격전류를 인가하였다. 초기 특성은 운전전압과 정격전압에서의 전체 누설전류 및 제 3 조파 누설전류를 측정하였으며, 뇌충격전류에 의한 가속열화실험에서는 제한전압, 방전전류 및 동작개시전압 등을 측정·분석하였다.

2.1 실험장치

피뢰기 소자의 뇌충격전류에 의한 전기적 특성 변화를 파악하기 위하여 그림 1과 같이 실험장치 및 측정계를 구성하였다. 고전압 발생장치, 뇌충격전류 발생장치 및 측정장치로 구성되며, 뇌충격전류 발생장치는 8/20μs, 3kA를 발생시킬 수 있다.

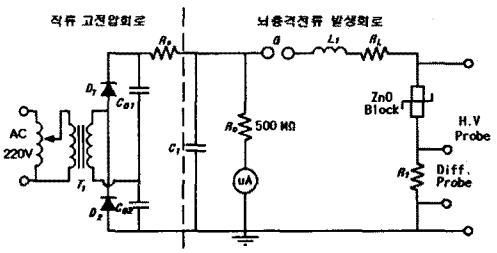


그림 1 실험장치 및 측정계의 구성
Fig. 1 Configuration of the experimental apparatus and measurement system

측정계는 뇌충격전류 인가시 ZnO 소자를 흐르는 방전전류와 소자 양단의 제한전압을 측정하기 위하여 차동프로브(1,300V_{max}, 50㎒) 및 고전압 프로브(1000:1, 40kV_{max}, 70㎒)를 사용하였다. 그림 2는 제작한 뇌충격전류 발생장치의 사진이다.

그림 2 뇌충격전류 발생장치의 사진
Fig 2 Photograph of the lightning impulse current generator

2.2 실험 방법

실험에는 국내 배전계통에서 사용 중인 ZnO 소자의 V-I 특성을 측정하고, 뇌충격전류의 인가에 따른 ZnO 소자의 전기적 특성 변화를 비교·분석하였다.

실험에 사용한 ZnO 소자의 정격은 표 1과 같이 제조사별로 다르므로 동일한 8/20μs, 3kA 뇌충격전류가 소

자에 인가되도록 뇌충격전류 발생장치의 R_L, L_1, C_1을 조정하여 실험하였다.

뇌충격전류의 인가에 의해 인위적으로 열화시키면서 정상운전전압 및 정격전압에서의 누설전류를 측정하였다. 뇌충격전류 인가시마다 피뢰기 소자를 흐르는 방전전류와 제한전압, 동작개시전압을 측정하였다. 뇌충격전류는 매 1분마다 인가하였으며, 매 50회 인가후 1시간 이상 충분히 냉각시킨 다음 피뢰기 소자가 파괴될 때까지 또는 일정 횟수까지 실험하였다.

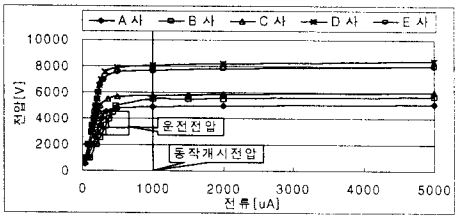
표 1 ZnO 소자의 일반적 사양
Table 1 General specifications of ZnO Blocks

제조사	직경(㎜)	높이(㎜)	정 격	운전전압
A 사	32	32	3.6kV, 5kA	2.64 kV
B 사	33	30	3.6kV, 5kA	2.64 kV
C 사	31.5	30	4.5kV, 5kA	3.3 kV
D 사	31.5	40	6.0kV, 5kA	4.4 kV
E 사	31.2	40	6.0kV, 5kA	4.4 kV

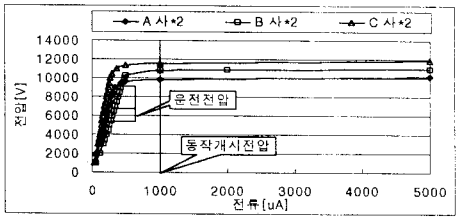
3. 실험 결과 및 고찰

ZnO 피뢰기 소자를 단독 또는 직렬로 연결한 경우 교류전압에 대한 누설전류의 변화 즉, V-I 특성을 그림 4에 나타내었다. 소자별로 동작개시전압과 정상 운전전압에서의 누설전류의 크기를 파악할 수 있었으며, 운전전압에서 전체누설전류는 150㎂~270㎂ 정도이었다.

그림 4(a)는 소자를 단독으로 실험했을 때, 그림 4(b)는 소자를 2개 직렬로 연결했을 때의 V-I 특성으로, 직렬 연결의 경우는 단독 실험의 경우보다 동작개시전압의 크기가 약 2배 증가하지만, 누설전류의 차이는 없었다.



(a) 소자 단독



(b) 2개 직렬 연결

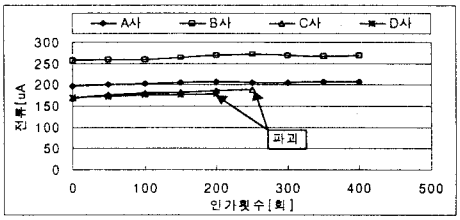
그림 4 교류전압에서 전압-전류 특성
Fig. 4 V-I characteristics in AC voltage

표 2는 ZnO 소자에 뇌충격전류를 인가하면서 소자 양단에서 제한전압의 최대값을 측정한 것으로, 피뢰기 소자의 열화진전에도 불구하고 변화가 없었다[3],[5]. 따라서 제한전압을 평가하여 피뢰기 및 소자의 열화정도를 파악하는 것은 어렵다고 판단된다.

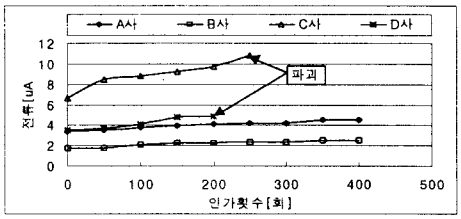
그림 5와 그림 6은 ZnO 소자를 단독으로 연결하고 뇌충격전류를 정해진 횟수만큼 인가한 후, 소자의 정상 운전전압과 정격전압에서 누설전류의 변화를 측정하여 나타낸 것이다. 뇌충격전류의 흡수에 의해 전체 누설전류의 현저한 변화는 관측할 수 없었으나, 제 3 조파 누설전류는 많은 증가를 보였다. 특히 제 3 조파 누설전류는 정격전압에서 측정하였을 때, 정상운전전압에서 보다 훨씬 큰 증가를 나타내었으며, 소자의 파괴 직전에는 전체누설전류와 제 3 조파 누설전류가 모두 급격히 증가함을 알 수 있다.

표 2 8/20㎲, 3kA에서 ZnO 소자의 제한전압
Table 2 Residual voltage of ZnO Blocks at 8/20㎲, 3kA

구분	A사	B사	C사	D사
제한전압[kV]	13.2	14.6	15.5	20.4

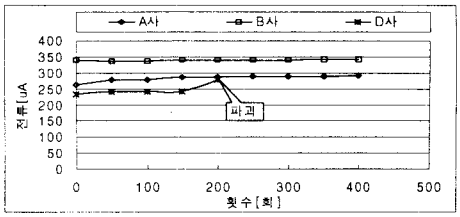


(a) 전체 누설전류

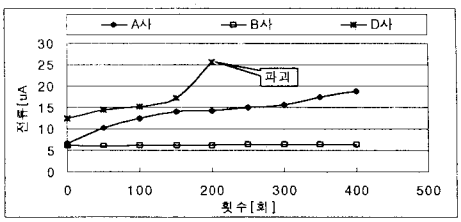


(b) 제 3 조파 누설전류

그림 5 정상 운전전압에서 누설전류 변화
Fig. 5 Changes of leakage currents in normal operating voltage



(a) 전체 누설전류



(b) 제 3 조파 누설전류

그림 6 정격전압에서 누설전류 변화
Fig. 6 Changes of leakage current in rated voltage

그림 7은 동일한 실험조건에서 동작개시전압의 변화

를 나타낸 것으로, 수 백회의 뇌충격전류 인가에도 동작개시전압에는 변화가 없었으나, 파괴 직전에는 급격히 감소하는 것을 알 수 있다.

뇌충격전류에 의한 가속 열화실험에서 ZnO 소자의 파괴상태는 외형적인 손상이나 전기적 특성의 저하 즉, 뇌충격전류 인가시 마다 제한전압과 방전전류의 파형을 관측하면서 정상적인 소자에서 나타나는 파형과 현저히 달라 기능적 손상이 발생되었을 때를 기준으로 하였다[3],[5].

뇌충격전류를 인가할 때마다 ZnO 소자 양단의 제한전압과 소자를 흐르는 방전전류를 관찰함으로써 ZnO 소자의 상태를 판별할 수 있다. 매회 제한전압과 방전전류를 측정하였으나, 소자가 파괴될 때가지 거의 변화가 없었다.

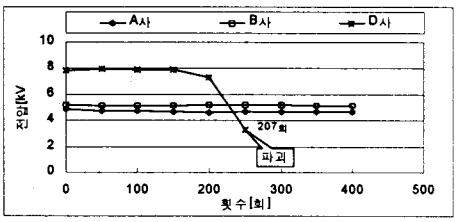
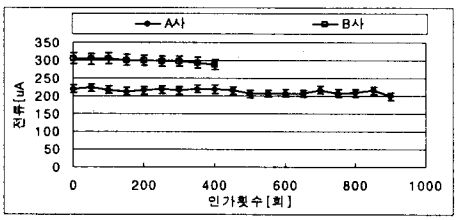


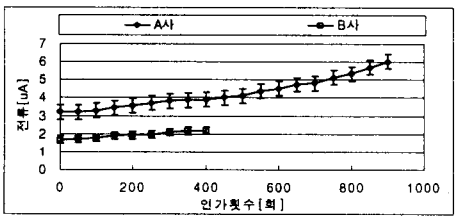
그림 7 동작개시전압의 변화
Fig. 7 Changes of reference voltage

소자 2개를 직렬로 연결하고 뇌충격전류를 인가한 후, 정상운전전압과 정격전압에서 누설전류의 변화를 그림 8에 나타내었다.

단독 실험 결과에서와 마찬가지로 전체 누설전류는 거의 변하지 않았으나, 제 3 조파 누설전류는 현저한 증가를 나타내었다. 누설전류의 크기는 소자를 단독으로 연결한 경우와 거의 동일하며, 이것은 소자 2개를 직렬로 연결하여 2배의 전압을 인가하지만 소자의 정전용량은 1/2로 감소하고 누설저항은 2배로 증가하기 때문이다.



(a) 전체 누설전류(2개 직렬)



(b) 제 3 조파 누설전류(2개 직렬)

그림 8 정상 운전전압에서 누설전류 변화
Fig. 8 Changes of leakage current in normal operating voltage

상기 실험결과로부터 ZnO 소자는 뇌충격전류의 흡수에 따라 동작개시전압, 제한전압, 방전전류 및 누설전류 등의 전기적 파라미터가 변화하는 것을 알 수 있었다.

ZnO 소자의 열화 정도를 전체 누설전류의 변화로 분석할 경우, 파괴 직전의 열화 상태는 검출이 가능하지만 그 이외의 조건에서는 판단이 어려우며, 제 3 조파 누설전류를 기준으로 분석하는 경우에는 소자의 초기 상태와 비교하여 열화정도를 충분히 판단할 수 있을 것이다.

동작개시전압에 의해 열화를 진단하는 것은 전체 누설전류에 의한 방법과 마찬가지로 파괴직전의 열화 상태는 검출이 가능하지만 보통의 열화 상태에서는 판단이 불가능하다. 또한 ZnO 소자를 2개 직렬로 연결하여 평가한 실험결과는 단독 실험에서와 동일한 결과가 얻어졌다. 그러므로 피뢰기 소자를 4~5개를 직렬로 연결하여 사용하는 배전용 피뢰기의 열화도 동일한 방법으로 진단이 가능하다고 생각된다.

4. 결 론

전력계통에서 이상전압에 대한 보호장치로 사용되는 ZnO 소자의 전기적 특성을 파악하고, 뇌충격전류에 의한 가속열화 실험으로 열화 진전에 따른 특성 변화를 분석하였다. 국내 배전용 피뢰기에 사용되는 5개 사의 ZnO 소자를 단독 또는 2개 직렬로 조합하여 평가함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. ZnO 피뢰기 소자는 열화가 진행됨에 따라 전체 누설전류는 현저한 변화가 없으나, 제 3 조파 누설전류의 크기가 현저히 증가하므로 정상 운전전압 및 정격전압에서 저항분 누설전류와 제 3 조파 누설전류의 크기를 기준으로 열화정도를 파악하는 것이 가능하다.
2. 동작개시전압은 열화의 정도가 클 경우와 파괴 직전에는 현저히 감소하지만, 일반적인 경우에는 어느 정도 열화가 진행되어도 차이가 나타나지 않았다. 그러므로 열화 정도가 심한 ZnO 소자는 동작개시전압을 측정하여 열화를 판단할 수 있으나, 대부분의 경우에는 어려울 것으로 판단된다.
3. 열화된 ZnO 소자의 제 3 조파 누설전류는 정상운전전압보다 정격전압에서 훨씬 큰 변화가 관측되었다. 또한 동일 특성의 ZnO 소자를 2개 직렬로 조합한 실험에서는, 소자 1개를 단독으로 실험한 경우와 동일한 특성을 나타내었다.

결론적으로 ZnO 소자 또는 ZnO 소자를 사용하는 피뢰기의 열화정도는 정상운전전압과 정격전압에서 누설전류의 크기를 측정하여, 초기값과 비교하는 것에 의해 진단할 수 있음을 확인하였다. 특히 제 3 조파 누설전류는 열화진전에 따라 현저한 변화를 나타내므로, 정확한 열화진단에는 국내 전력계통에 사용되는 ZnO 소자의 기본적인 전기적 특성과 제 3 조파 누설전류에 관한 자료가 장기간에 걸쳐 관리되어야 할 것이다.

[참 고 문 헌]

[1] S. Shirakawa et al, "Maintenance of Surge Arrester by Portable Arrester Leakage Current Detector", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 3, No. 3, pp. 998~1003, 1988.

[2]J. Lundquist et al, "New Method for Measurement of the Resistive Leakage Currents of Metal-Oxide Surge Arrester in Service", IEEE Trans. Delivery, Vol. 5, No. 4, pp. 1811~1822, 1990.

[3] 길경석, 한주섭, 박영호, "뇌충격전류에 의한 산화아연형 피뢰기 소자의 전기적 특성변화", 대한전기학회 논문지, 48C권 7호, pp. 550~555, 1999.

[4] 길경석, 한주섭, 박영호, 송일근, "피뢰기 누설전류 분석장치의 설계 및 제작", '99 대한전기학회 방전고전압연구회 춘계학술대회 논문집, pp. 65~68, 1999.

[5] 한주섭, 송재용, 길경석, "뇌충격전류에 의한 산화아연형 피뢰기 소자의 전기적 특성변화", '98 대한전기학회 추계 학술대회 논문집, C권, pp. 907~909, 1998.