

다중 뇌충격전류에 의한 피뢰기 소자의 전기적 특성 변화

이종혁, 천상규, 김일권, 한주섭, 길경석
한국해양대학교 전기공학과

Changes of Electrical Characteristics of Arrester Blocks
by a Multiple-Lightning Impulse Current

J.H. Lee, S.G. Cheon, I.K. Kim, J.S. Han, G.S. Kil
Dept. of Electrical Engineering, Korea Maritime University

Abstract - This paper describes the effect of lightning impulse current on deterioration of ZnO blocks for distribution arrester. In this study, a multiple-lightning impulse current generator which can produce quadruple 8/20 μ s 5 kA is designed and fabricated, and total energy applied to the arrester block at each pulse is about 1,217 J.

The experimental results indicate that the type of arresters are more vulnerable to deteriorate or damage at multiple-lightning impulse current.

1. 서 론

전력계통에서 이상전압에 대한 기기의 보호대책으로 피뢰기가 사용되고 있으며, 현재는 비선형 전류-전압 특성이 우수한 ZnO 소자를 적용하고 있다. 이러한 ZnO 소자를 내장한 피뢰기는 과거 SiC 소자를 내장한 피뢰기보다 전기적 특성이 우수하여 이상전압에 대한 보호성능도 현저히 개선되었다. 그러나 ZnO 소자도 흡습이나 이상전압에 대한 반복되는 보호동작으로 열화가 진전되며, 이러한 열화로 인하여 피뢰기의 폭발이나 지락사고 등 2차적인 사고를 발생시킨다.

국내 특고압 배전선로의 사고 통계를 보면, 절연재료와 중전기기의 성능 향상, 유지보수기술의 발전으로 전체 사고건수는 계속 감소하고 있으나, 배전선로의 증가와 피뢰기 설치개소의 증가로 개폐기 및 배전기기류 중 피뢰기에 의한 사고는 98년 44.6%, 99년 23.2%로 상당한 비중을 차지하고 있어 이에 대한 정확한 분석과 대책수립이 요구된다. 따라서 피뢰기의 성능을 향상시키고 수명을 예측하는 것은 대단히 중요한 일이며, 이에 대해 많은 연구가 발표되고 있다^{[1]-[3]}.

피뢰기의 열화로 인한 성능저하는 상용주파수 과전압이나 뇌과전압 등에 의해 피뢰기가 보호동작을 할 때, 크게 진전되며, 현재 전력계통의 전압은 안정적이므로 주로 뇌과전압이 주요인이 되고 있다.

피뢰기 시험평가에는 국내·외 규정 KSC 4609, ES 153-261, ANSI/IEEE C62.11.를 적용하며, 동작책 무시험에는 8/20 μ s의 단일 표준 뇌충격전류를 1분마다 인가하는 방법을 적용하고 있다^[4]. 그러나 자연현상에서 발생하는 낙뢰는 1 회의 방전시 최대 26 회의 다중뇌격이 관측된 바 있으며, 평균 40 ms의 뇌격시간 간격으로 평균 3~4 회 발생하는 것으로 알려져 왔다^[5]. 그러므로 피뢰기의 동작책무와 열화진단, 수명예측 등에는 단일 뇌충격전류는 물론, 자연현상의 낙뢰와 같은 다중 뇌충격전류를 인가하여 평가하는 것이 필요하다고 판단된다.

본 연구에서도 피뢰기 소자에 단일 뇌충격전류와 4 회의 다중도를 가진 뇌충격전류를 인가하여 전기적 특성

변화·분석하였으며, 단일 뇌충격전류에 의한 실험결과와 다중 뇌충격전류에 의한 실험결과는 전기적 특성변화에 있어 큰 차이가 있음을 확인하였다.

2. 실험방법

배전계통에 사용되는 피뢰기 소자에 대해 다중 뇌충격전류와 단일 뇌충격전류에 의한 전기적 특성변화를 분석하기 위해 단일 및 다중 뇌충격전류 발생장치를 설계·제작하였으며, 실험에는 국내 배전계통의 피뢰기(18 kV, 2.5 kA)에 사용되는 산화아연형 피뢰기 소자를 적용하였다.

2.1 실험장치 및 방법

그림 1과 그림2에 실험장치 및 측정계를 나타내었다. 다중 뇌충격전류 발생장치는 4개의 충전용 콘덴서(100 kV 0.5 μ F)뱅크와 4개의 방전갭(100 mm)으로 구성되어 8/20 μ s, 5 kA 4 회의 표준 뇌충격전류를 발생시킬 수 있도록 하였다^[6].

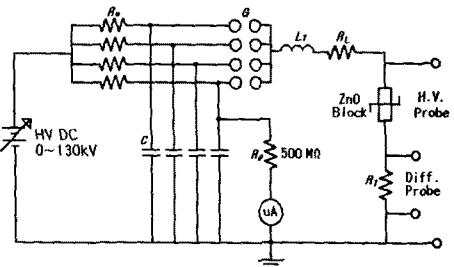


그림 1 실험장치 및 측정계의 개략 구성
Fig. 1 Configuration of the experimental apparatus and measuring system

다중 뇌충격 발생장치의 뇌격 간격은 방전갭의 위치를 조정하여 40 ms~60 ms가 되도록 하였으며, 1분 간격으로 4 중의 뇌충격전류를 발생시킬 수 있도록 하였다. 단일 뇌충격전류 인가실험의 경우, 1분 간격으로 피뢰기 소자에 뇌충격전류를 40 회 인가하고 1 시간 이상 충분히 냉각을 시키는 실험을 반복하였으며, 다중 뇌충격전류의 인가실험에서는 4 중 뇌충격전류를 10 회 인가하고 1 시간 이상 소자를 냉각시키는 방법을 적용하여 실질적으로 단일 및 다중 뇌충격전류의 인가시에 소자에 인가되는 에너지량이 동일하도록 하였다.

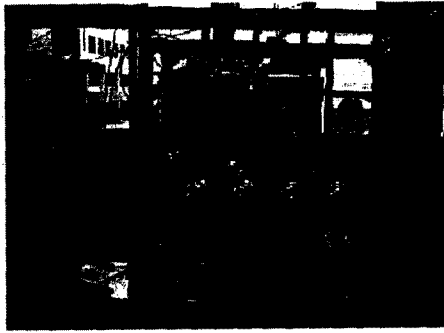
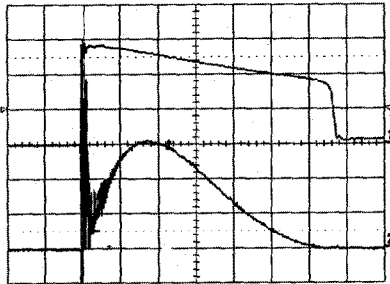
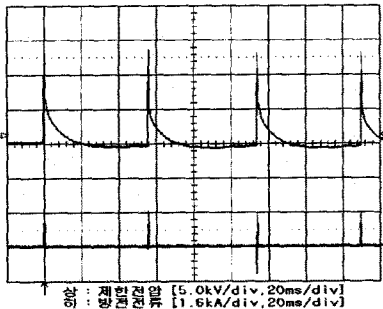


그림 2 뇌충격전류 발생장치의 사진
Fig. 2 Photograph of the multiple-lightning impulse current generator

그림 3은 다중 뇌충격전류를 소자에 인가할 때 소자를 흐르는 방전전류와 소자 양단의 제한전압 및 다중 뇌격간의 시간간격을 나타낸 것이며, 8/20 μ s, 5 kA, 1회의 방전에 피뢰기 소자에 가해지는 에너지량은 1,217 J 정도이다. 다중 뇌충격전류에 의한 피뢰기 소자의 전기적 특성변화는 상기의 조건으로 실험을 반복하면서 동작개시전압과 누설전류를 측정하였으며, 최종 단계에서 주사형 전자현미경(SEM)을 이용하여 피뢰기 소자의 미세구조 변화를 분석하였다.



(a) 방전전류 및 제한전압

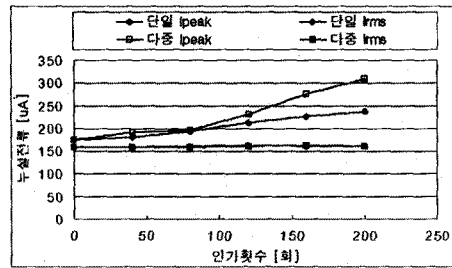


(b) 다중 뇌충격전류 및 전압 파형

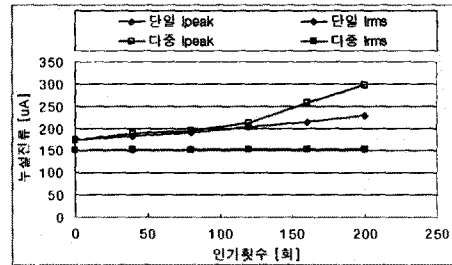
그림 3 다중 뇌임펄스 발생장치에 의해 발생된 파형 예
Fig. 3 Typical waveforms produced by multiple-lightning impulse current generator

3. 실험결과 및 고찰

피뢰기 소자에 단일 뇌충격전류와 다중 뇌충격전류로 동일한 에너지를 인가한 후, 정상운전전압에서 누설전류의 변화와 동작개시전압의 변화를 비교하여 그림 4와 그림 5에 나타내었다. 그림 4(a)를 예로 들면 뇌충격전류의 80회 인가는 단일 뇌충격전류를 1분 간격으로 1회씩 인가한 경우와 4회의 다중 뇌충격 전류를 20회(단일과 비교하면 80회로 동일한 에너지량이 인가된 경우에 해당)인가하였을 때, 누설전류를 측정하는 것이다. 피뢰기 소자의 정격이 같은 2개사 소자에 대해 뇌충격전류를 인가하고 누설전류의 변화를 측정하는 결과, 전체누설전류의 실효값은 거의 변화가 없었으나, 최대값은 단일 뇌충격전류 인가실험에서와 마찬가지로 다중 뇌충격전류 인가방법에서도 증가하는 경향을 나타내었다. 누설전류의 최대값은 피뢰기 소자의 종류에 따라 차이가 있으나, 본 실험에 사용한 I사와 K사의 경우, 200회의 뇌충격전류 인가시 초기 누설전류에 비해 현저하게 증가하였다.



(a) I 사



(b) K 사

그림 4 뇌충격전류에 의한 누설전류의 변화
Fig. 4 Changes of leakage currents by the lightning impulse current in normal operating voltage

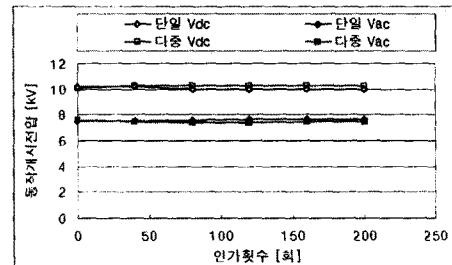


그림 5 뇌충격전류에 의한 동작개시전압의 변화
Fig. 5 Changes of reference voltages by the lightning impulse current in normal operating voltage

4. 결 론

피뢰기 소자에 뇌충격전류로 동일한 에너지를 인가하였지만 다중 뇌충격전류를 인가한 경우에 더 빠른 누설전류의 증가를 나타내었다. 이것은 입계층 쇼트키장벽의 변형에 기인하는 것으로 동일한 소자에 대해 온도가 높은 경우 열화가 가속화되며, 이것에 의해 누설전류가 증가한다. 특히 다중 뇌충격전류 인가시는 충격 전류에 의해 소자내의 ZnO 입자가 국부적으로 가열된 상태에서 수 십 ms 이내에 계면에 전계가 집중되고 연속적인 뇌충격전류가 인가되기 때문에 단일 뇌충격전류의 인가시보다 빠르게 열화가 진행되어 누설전류도 빠르게 증가하는 것으로 생각된다. 또한 뇌충격전류의 인가에 의해 누설전류의 최대값은 현저한 증가를 나타내지만, 피뢰기 소자에 1 mA의 누설전류가 흐를 때의 동작개시전압은 그림 5에 나타난 바와 같이 변화가 없었다.

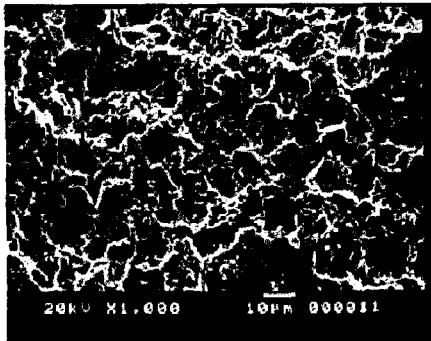
그림 6은 뇌충격전류를 단일 및 다중의 2가지 방법으로 200회 인가한 후, 피뢰기 소자의 미세구조 변화를 나타낸 것이다. 신폴의 미세구조는 일반적으로 ZnO 입자의 크기가 10 μm 정도로 균일한 크기로 배열되어 있으나, 뇌충격전류에 열화가 진행되면 입계층이 좁아지고 입계가 성장하게 된다. 그림 6(a)와 그림 6(b)를 비교하면, 전체적으로 입자가 다소 불균일하게 되고 입자의 크기도 성장한 것을 알 수 있다. 또한 동일한 에너지량을 인가하였지만 단일 뇌충격전류를 인가한 경우보다 다중 뇌충격전류를 인가한 경우가 일부분에서 입자의 크기가 조금 더 크게 성장한 것을 알 수 있으며, 이것이 원인이 되어 누설전류의 최대값도 차이가 있는 것으로 판단된다.

자연현상에서 발생하는 낙뢰는 1회의 방전에 평균 4회의 뇌격을 포함하므로, 전력계통에서 이상전압에 대한 보호대책으로 사용되는 피뢰기의 특성도 다중 뇌충격전류에 의해 평가할 필요가 있었다. 따라서 본 연구에서는 단일 뇌충격전류와 다중 뇌충격전류를 발생시켜 피뢰기 소자의 열화를 모의하고, 이에 대한 피뢰기 소자의 전기적, 광학적 특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

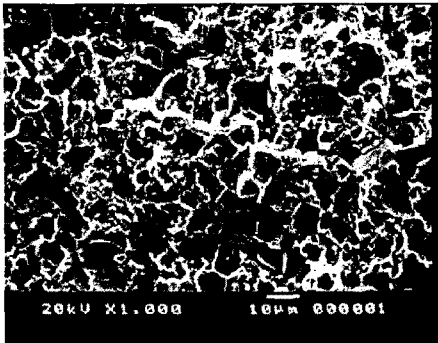
1. 피뢰기 소자는 뇌충격전류의 인가로 열화가 진행되었으며, 열화진전에 따라 피뢰기 소자의 동작개시전압은 변화가 없었으나 누설전류의 최대값은 현저한 증가를 나타내었다.
2. 1분 간격으로 단일 뇌충격전류를 인가하는 방법과 4중의 뇌충격전류를 인가하는 방법으로 피뢰기 소자에 동일한 에너지를 가하였을 때, 다중 뇌충격전류를 인가한 경우가 누설전류의 최대값이 더 크게 나타났다. 이것은 다중 뇌충격전류 인가시 충격전류에 의해 ZnO 입자가 국부적으로 가열되어 있고, 계면에 전계가 집중되어 있는 상태에서 연속적인 충격전류가 인가되기 때문에 단일 뇌충격전류의 인가시보다 빠르게 열화가 진행되어 나타나는 현상으로 판단된다.
3. 상기 2가지 실험방법으로 뇌충격전류를 인가하였을 때, 피뢰기 소자의 미세구조는 동일한 에너지를 인가하였지만 다중 뇌충격전류를 인가하였을 때가 입자의 크기가 조금 더 크게 성장한 것이 확인되었다.

(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] M. Bartkowiak et al, "Failure Modes and Energy Absorption Capability of ZnO Varistors", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 14, No. 1, pp. 15~162, 1999.
- [3] 김경석 외, "피뢰기 누설전류 분석장치의 설계 및 제작", 대한전기학회 방전 및 고전압 연구회 춘계학술대회 논문집, pp. 65~68, 1999.
- [4] ANSI/IEEE Std. C62.11, "Standard for Metal-Oxide Surge Arrester for AC Power Circuits", 1987
- [5] Uman, M.A., "The Lightning Discharge", Academic Press, 1987.



(a) 단일 뇌충격전류 인가 후



(b) 다중 뇌충격전류 인가 후

그림 6 뇌충격전류에 의한 ZnO 소자의 미세구조 변화
Fig. 6 Micro-structure changes of a ZnO block by lightning impulse current