

ZnO 피뢰기의 경년변화 특성분석

Aging Characteristics of ZnO Surge Arresters

김주용, 김찬영, 송일근, 이병성, 한용희
(Ju Yong Kim, Chan Young Kim, Il Keun Song, Byung Sung Lee, Yong Heui Han)

Abstract

Surge arrester is used for protection of facilities and lines. Recently lots of arresters failed prematurely in the distribution lines. It is important to know that what the cause of the failures is. This paper presents characteristics of the aged and new 18kV surge arrester. In order to analyse characteristics, we measured leakage current using specially made leakage current measurement system and also investigated $\tan \delta$ of the arrester and microstructure of the elements. Through the investigation we found that the characteristics among the ZnO elements in an arrester were a little different. It means that the surge arrester can have non-uniform electric field due to the characteristic difference of the each element. Owing to this concentration of the electric field, the localized aging might be proceeded.

Key Words(중요용어) : ZnO, Surge arrester, Leakage current, Resistive leakage current, FFT, SEM

1. 서 론

산업의 고도화와 함께 고품질의 전력이 요구되면서 피뢰기의 역할이 날로 중요시되고 있다. 현재 국내 배전계통에서는 산화아연(ZnO)소자의 gapless형 피뢰기물 주로 사용하고 있으며, 최근에 피뢰기 조기열화로 인한 고장이 계통의 안정적 운전에 막대한 영향을 미치고 있다. 이러한 피뢰기 고장은 선로 및 기기고장 뿐만 아니라 애관 폭발로 인한 인명피해의 가능성도 내포하고 있기 때문에 각 제작사별 피뢰기의 열화특성 및 고장원인을 규명하여 향후 고장방지에 활용할 필요가 있다.

현재 국내에서 사용되는 피뢰기 소자는 한 개 제작업체에서 국산소자를 사용하고 나머지는 수입에 의존하고 있다. 최근 증가하고 있는 피뢰기 고장의 주요 원인은 제조공정상의 문제와 선로운영상의 문제 두가지로 나누어 생각할 수 있다.

제조공정상의 문제는 피뢰기 소자 재료의 입도, 기공 및 불순물 관리와 소자 보관상의 흡습에 의한 문제와 하나의 피뢰기 조립시 사용되는 소자 각각의 특성차이에 의한 문제가 있다.

현장 운영상의 문제는 부정확한 접지공사로 인한

접지저항 부족에 의한 문제이다.

본 논문에서는 선로운영중 고장을 일으킨 피뢰기 및 고장품과 동일선로에서 운전되고있는 경년품과 각 제조회사별 신품에 대한 특성 비교를 통해 조기 열화의 원인을 파악하고자 하였다. 이를 위해 일부 시료에 대해 규격시험을 실시했고, 피뢰기 완품에 대한 저항분 누설전류를 측정하였으며, 전 누설전류로부터 FFT를 이용하여 3 고조파 성분을 분석했다. 또 완품 시험 후 내부소자 각각에 대한 누설전류를 측정하여 소자의 균일함을 분석하였고, 특성이 불량한 소자의 미세구조를 SEM을 이용하여 분석하였다.

피뢰기의 열화요인은 상시과전, 서지흡수, 흡습 및 오손의 4가지로 나눌 수 있다. 이런 요인에 의해 소자가 열화되면 피뢰기의 누설전류는 증가하게 된다. 피뢰기의 누설전류는 소자자체의 용량성분에 의한 용량분전류와 열화에 의한 저항분전류의 합성전류이다. 저항분전류의 증가로 소자의 온도는 상승하고 결함 및 열화부분을 중심으로 열집중이 되면서 열폭주 고장을 일으키게 된다. 또 이 과정에서 누설전류에 포함된 고조파 성분이 증가하므로 제3고조파를 분석함으로써 피뢰기의 열화정도를 파악할 수도 있다.

2. 실험방법

피뢰기의 열화정도를 파악하기 위해서 가장 중요한 것은 누설전류의 측정이다. 본 논문에서는 피뢰기 완품의 전 누설전류를 측정하고 이로부터 용량분 전류를 제거하여 저항분전류를 측정할 수 있도록 장치를 구성하여 실험했으며 소자 각각의 V-I 특성을 분석하기 위해 TETTEX사의 Capacitance and Dissipation Factor Test set를 사용했다.

3. 실험결과

피뢰기는 고장시 대부분 폭발하기 때문에 고장품 자체로서 시험을 하기는 불가능한 경우가 많다. 그러므로 본 논문에서는 고장품과 동일전주에서 운전되고있는 경년품의 분석을 통해 고장원인을 유추하는 방법을 사용했다.

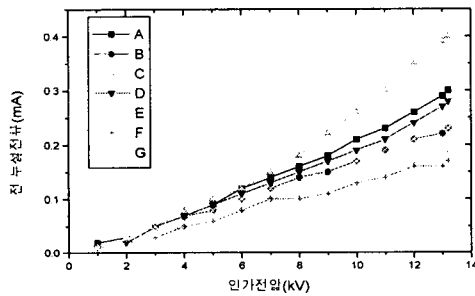


그림 1. 시료별 전 누설전류
Fig. 1. Total leakage current of each arrester

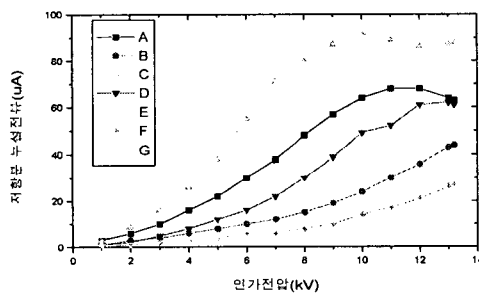


그림 2. 시료별 저항분 누설전류
Fig. 2. Resistive leakage current of each arrester

시험에 사용된 시료중 A,B,C,D는 W사의 경년품('95년)으로 고장품과 동일선로에서 운전되고 있던 것이며, E는 W사 신품('98년), F는 X사 경년품('95년), G는 Y사 신품('98년) 시료이다.

이들 시료에 대해 전 누설전류와 저항분 누설전류를 구한 결과 그림1과 그림2와 같이 C, A, D, B 시료 순으로 열화가 심한 것으로 나타났다.

이 시료중 먼저 W사의 피뢰기 신품시료 E('98년)에 사용된 소자의 전 누설전류 및 $\tan \delta$ 를 측정 한 결과 그림 3과 그림 4와 같이 나타났다

이 피뢰기는 소자 5개로 구성되어있으며 그림에서처럼 누설전류의 직선적 증가부분과 동작전압에서의 누설전류 급증부분이 명확히 나타났다. 하지만 각 소자의 특성 차이가 심하게 남을 알 수 있다.

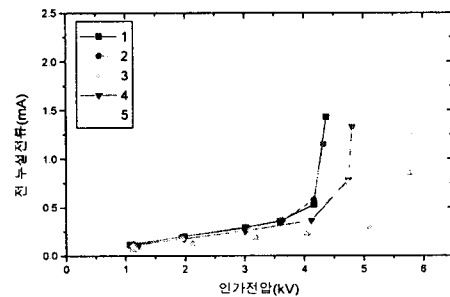


그림 3. E 시료의 전 누설전류
Fig. 3. Total leakage current of specimen E

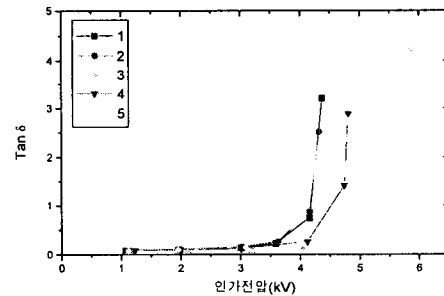


그림 4. E 시료의 $\tan \delta$
Fig. 4. $\tan \delta$ of specimen E

이러한 소자의 특성차이는 각 소자의 전압분담이 다름을 의미하며 전계집중으로 인한 국부적 열화가 발생할 수 있음을 나타낸다. 한편 동작개시전압 이전에 $\tan \delta$ 는 매우 작은값으로서 신품임을 보여주고 있다. 그림 2의 누설전류값으로 볼 때 W사 경년품중 비교적 건전한 것으로 보이는 B시료에 대해 전 누설전류, $\tan \delta$, 누설전류 파형은 그림5, 그림6 그림7과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 전체적인 피뢰기 상태는 양호하지만 특정 소자에서 국부적인 열화가 진행되고 있음을 알 수 있다. 이것은 신품에서 보듯이 하나의 피뢰기에 사용되는 소자의 특성

차이 때문인 것으로 판단된다.

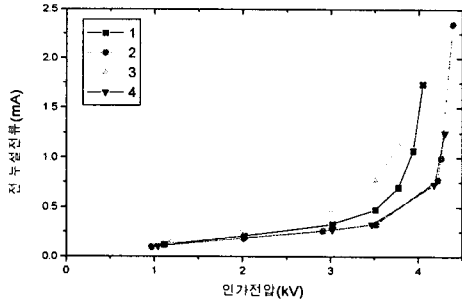


그림 5. W사 경년품 시료 B의 전 누설전류
Fig. 5. Total leakage current of specimen B

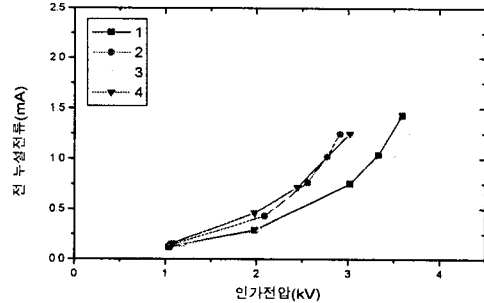


그림 8. 시료 C의 누설전류 파형
Fig. 8. Total leakage current of specimen C

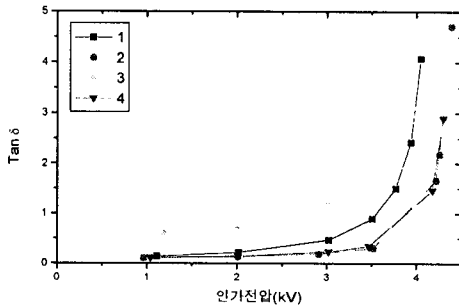


그림 6. 시료 B의 Tan δ
Fig. 6. Tan δ of specimen B

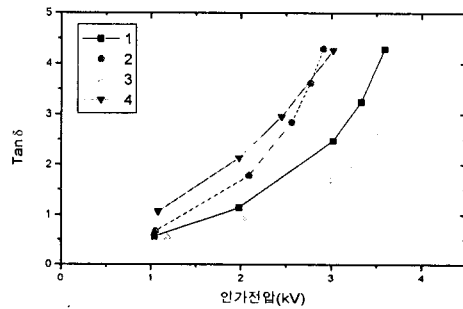


그림 9. 시료 C의 Tan δ
Fig. 9. Tan δ of specimen C

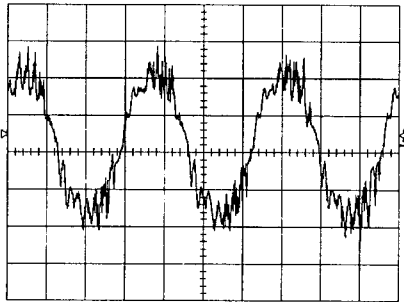


그림 7. 시료 B의 누설전류 파형
Fig. 7. Leakage current waveform of specimen B

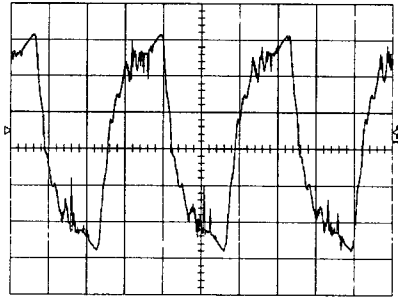


그림 10. 시료 C의 누설전류 파형
Fig. 10. Leakage current waveform of specimen C

한편, W사 경년품중 가장 열화가 심한 C시료의 전 누설전류, Tan δ , 누설전류 파형 및 FFT분석 결과는 각각 그림8, 그림9, 그림10, 그림11과 같다. 그림으로부터 누설전류가 상당히 증가했음을 알 수 있고, 열화에 의해 Tan δ 도 증가했으며 증가 경향을 볼 때 열화정도가 소자간에 상당히 차이가 난다. 또 열화로 인해 고조파성분이 상당히 증가했다.

X사의 경년품인 시료 F에 대해서 동일한 시험을 실시한 결과 누설전류의 증가경향이 유사하고 동작 개시전압도 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 F 피뢰기에 사용된 소자 각각의 특성차이가 없음을 의미한다. 또 그림 13과 같이 Tan δ 의 증가가 거의 없는 것으로 나타나 소자가 열화되지 않았음을 알 수 있다.

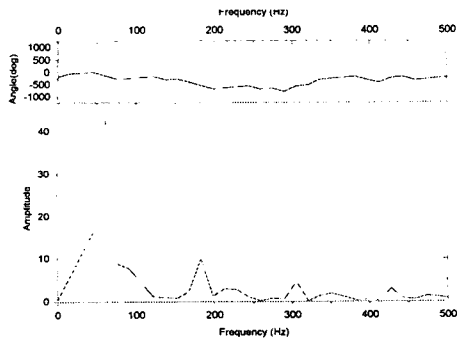


그림 11. 시료 C의 고조파 분석
Fig. 11. Harmonics analysis of specimen C

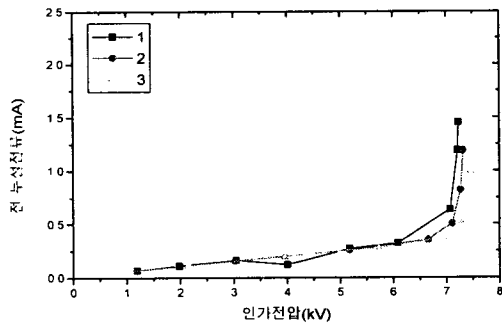


그림 12. 시료 F의 전 누설전류
Fig. 12. Total leakage current of specimen F

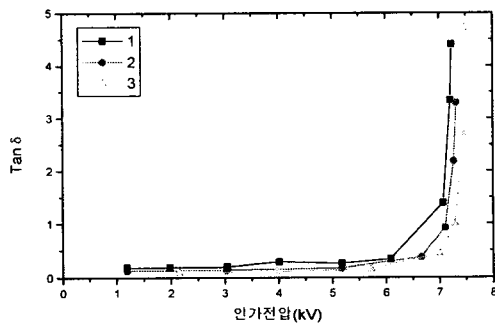


그림 13. 시료 F의 $\tan \delta$
Fig. 13. $\tan \delta$ of specimen F

그림 14는 고장피뢰기 소자의 미세구조로서 전극과 산화아연 경계면에 존재하는 불순물과 소자 내부의 기공을 나타낸다. 이러한 불순물로 인해 전기적인 스트레스가 집중되어 국부적인 열이 발생하고, 고장으로 이어질 수 있다.

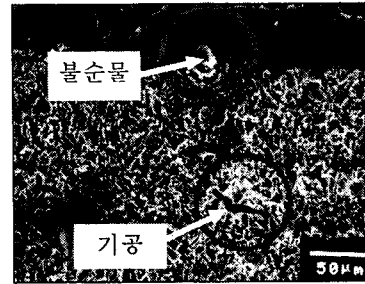


그림 14. 고장 피뢰기 소자의 미세구조
Fig. 14. Microstructure of the faulted elements

또 그림과 같이 약 $50\mu\text{m}$ 의 기공(pore)이 관찰되었는데 이것은 소자의 제조공정 중에 생성된 것이며, 이러한 기공 속의 공기는 열전도율이 적어서 열이 집중되어 피뢰기 소자의 고장으로 이어질 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 최근 증가하고 있는 배전용 피뢰기의 고장원인 및 경년열화 특성을 분석하였다. 실험결과 하나의 피뢰기에 사용되는 소자간의 특성 차이가 심한 경우가 있었다. 이런 경우 각 소자의 전압분담이 상이하게 되어 전계집중을 유발하고 국부적 열화로 조기고장을 일으킬 수 있을 것으로 생각된다. 또 소자의 균일도가 미흡하고 상당히 큰 기공이 존재함으로써 기공에서의 열집중으로 인한 고장 가능성도 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 송일근외, "배전기자재의 수명예측 기준제정", 전력연구원 중간보고서, 1998.11
2. 김찬영외, "피뢰기 소자의 열화원인 분석", 전자재료학회지 11권 7호, 1998.7
3. 田中 一夫, "配電用避雷器のラトニングパフォーマンスおよび焼損事故防止策に関する研究", CRIEPI, 1997.12