

## 배전용 피뢰기의 가속열화시험

### Accelerating aging test of distribution lightning arresters

김주용\*, 송일근\*, 김찬영\*, 이병성\*, 문재덕\*\*

(\*Ju Yong Kim, \*Il Keun Song, \*Chan Young Kim, \*Byung Sung Lee, \*\*Jae Duk Moon)

#### Abstract

This paper presents a new accelerating aging test facility for distribution lightning arresters. Aging parameters of lightning arrester are moisture ingress, electrical stress and surge absorption and so on.

In this system, we applied 13.2kV to 6 samples and controled temperature and humidity of chamber and measured leakage currents of the all samples. Also we developed accelerating aging cycle which consists of  $-35^{\circ}\text{C} \sim 90^{\circ}\text{C}$  temperature and 40%~90% humidity.

Through the aging test we found out the leakage current of aged sample increases rapidly according to the temperature rising.

Hereafter we can determine the replacement guide of leakage current for field operating arresters and condition assessment of aged samples through this aging test.

**Key Words(중요용어)** : lightning arrester, accelerating aging, leakage current, resistive leakage current

#### 1. 서론

현재 국내에서 사용되고 있는 배전용 피뢰기는 자기계 애관을 사용하고 있으며, 이로 인해 피뢰기 고장 발생시 애관 파편의 비산으로 인해 인명피해의 우려가 있고, 고장이 지락으로 이어져 전력 공급신뢰도에 막대한 영향을 미치고 있다. 그러므로 피뢰기의 적정교체주기 및 운용기준 제정을 통한 적절한 유지보수가 필요하다. 이를 위해서는 피뢰기의 장기신뢰성평가가 필수적이거나, 마땅한 평가방법이 없는 실정이다.

피뢰기의 구성을 보면 크게 애관과 특성소자로 구성되며, 현재까지 피뢰기의 수명예측 및 신뢰성 평

가를 위한 방법은 특성소자평가에만 의존하고 있다.

하지만 피뢰기 고장의 유형을 살펴보면 피뢰기에 특성소자 자체의 열화외에도 애관으로의 흡습이, 또 하나의 큰 고장원인으로 작용하고 있으므로 현재 국제규격에서 제시하는 소자 시험방법만으로 피뢰기의 장기신뢰성을 평가하기는 불가능하다.

현재 국내·외에서 사용되는 피뢰기 장기신뢰성 평가장치는 특성소자에 운전전압을 인가하고, 온도를 제어하여 이에 따른 누설전류변화를 측정하는 방법을 이용하고 있다.

하지만 이 방법은 특성 소자자체 평가일 뿐이므로 실제 피뢰기의 장기신뢰성과는 별개의 문제이다.

본 논문에서는 배전용 피뢰기의 장기신뢰성 평가를 위해 가속수명시험장치를 제작하고 가속수명시험주기를 선정하였으며, 시험장치를 통해 신제품 및 경년제품의 누설전류의 변화 및 Watt loss 변화를 측정하였다.

\* 한국전력공사 전력연구원(대전 문지동 103-16)

\*\* 경북대학교 전기공학과(대구 산격동 1370)

Fax: 042-865-5804

E-mail : kimjy@kepri.re.kr

## 2. 본론

### 2.1 피뢰기의 열화특성

배전용 피뢰기의 구조는 세라믹 또는 고분자 물질의 애관 내부에 피뢰기 소자를 직렬로 연결한 것에 단로장치가 부착되어 있다. ZnO 피뢰기는 교류전압이 인가되면 정상운전전압에서 수 백 $\mu$ A의 누설전류가 흐르게 된다.

그림 1은 피뢰기의 전기적 등가모형을 나타낸 것으로  $I_c$ 와  $I_r$ 는 각각 용량분전류와 전체 누설전류를 나타내며,  $I_t$ 는 피뢰기 소자의 입계층간의 표면에 형성된 Schottky 장벽의 변화에 의한 저항성분 누설전류로 그 값이 변하는 것을 나타낸 것이다.

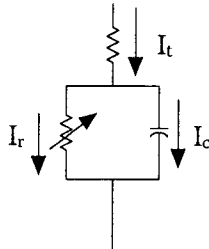


그림 1. 피뢰기의 전기적 등가모형

그림 2는 피뢰기에 교류전압이 인가된 상태에서 누설전류파형의 예를 나타낸 것으로, 피뢰기에 전압이 인가되면  $\pi/2$ 의 위상차를 보이는 용량분 누설전류와 저항분 누설전류가 흐르고, 용량분 누설전류가 대부분 차지하고 저항분 누설전류는 아주 작은 것을 알 수 있다.

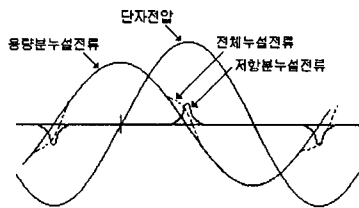


그림 2. 누설전류파형 예

피뢰기의 열화요인은 상시과전, 서지흡수, 흡습 및 오손의 4가지로 나눌 수 있다. 이런 요인에 의해 소자가 열화되면 피뢰기의 누설전류는 증가하게 된다. 피뢰기의 누설전류는 소자 자체의 용량성분에 의한 용량분전류와 열화에 의한 저항분전류의 합성전류이다. 특히 저항분전류의 증가로 소자의 온도는

상승하고 결합 및 열화부분을 중심으로 열집중이 되면서 열폭주 고장을 일으키게 된다

### 2.2 장기신뢰성 시험장치 제작

본 연구에서 제작한 피뢰기 장기신뢰성 시험장치는 피뢰기에 상시운전전압인 13.2kV를 인가한 상태에서 챔버 내부의 온도, 습도를 변화시키면서 피뢰기의 누설전류 변화를 관찰하고 각 온습도 단계별로 누설전류 파형을 측정하여 피뢰기 열화에 따른 변화를 관찰하였다.

이 장치는 고전압 발생부, 항온항습부, 누설전류 측정부, 데이터 취득 및 제어부분 등으로 구성된다.

고전압 발생부는 시료 피뢰기에 일정한 입력전압을 유지하기 위한 것으로 교류전압(13.2kV, 60Hz)을 피뢰기에 인가하기 위한 것이다. 피뢰기 열화는 인가되는 전압에 따라 민감한 영향을 받으므로 일정한 전압을 유지하기 위해 20kVA급 자동전압 조정기를 설치하였다. 또 입력되는 전압의 크기를 상황에 따라 조절할 수 있도록 각 시료마다 입력단에 슬라이더와 변압기를 설치하였다.

슬라이더는 구동 Motor를 부착하여 panel상에서 수동조작 및 PC에 의한 조작이 가능하도록 되어 있다. 이때 각 시료에 인가되는 전압은 전압검출부에서 PLC를 통해 PC에 저장된다.

효과적인 가속열화를 위해  $-40^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ 까지 온도 제어가 가능하도록 항온항습부를 설계했으며, 온도 승/감온 성능은 승온  $6^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , 감온  $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 으로써 기존의 항온항습기와 차이는 고온에서 환기없이 바로 냉동기를 가동하여  $200^{\circ}\text{C}$ 로부터 온도를 낮출 수 있는 구조로 설계하였다. 습도는 95%까지 변화가 가능하게 하여 애관 내부의 특성소자가 열에 의해 충분히 열화되고, 밀봉부위에서의 흡습이 가능하게 하였다. 항온항습부 내부에는 시험용 피뢰기 6개와 dummy 피뢰기 1개를 장착할 수 있으며, 피뢰기에 걸리는 고전압은 천장에 설치된 테프론 애관을 통해 공급된다.

온·습도 제어기는 PC와의 통신에 의해 PC상에서 자동으로 제어할 수 있다. 또 dummy 피뢰기 내부에 온·습도 센서를 설치하여 시험중인 피뢰기 시료 내부의 온·습도를 간접적으로 추정 가능하게 하였다.

그리고 이 온·습도는 PLC를 통하여 PC에 저장된다. 피뢰기 열화인자중 가장 중요한 누설전류 및 저항분 누설전류 측정을 위해 각 시료마다 CT를 설치하여 누설전류의 파형을 관찰할 수 있도록 하였으며, 온·습도의 변화를 포함한 실험조건 변화와 시

간의 경과에 따른 누설전류 변화를 측정하여 열화과정을 상세히 관찰 할 수 있도록 구성했으며, 누설전류 파형은 기록계를 거쳐 GPIB 통신으로 PC에 저장된다. 한편 각 피뢰기의 저항분 누설전류, watt loss는 정밀한 측정을 위해, 또 하나의 정밀급 CT와 누설전류 분석기인 LCD-4를 사용하여 필요시 해당 시료의 접지측에 설치가능하도록 구성했다.

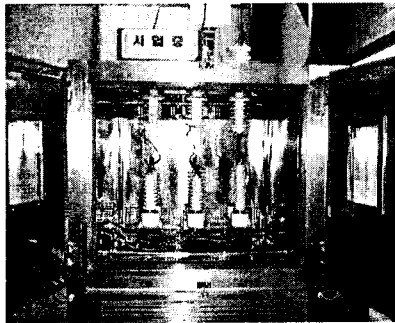


그림 3. 챔버사진

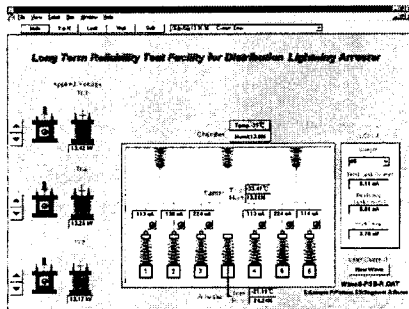


그림 4. 프로그램 화면

피뢰기의 가속열화를 위해서는 사용환경에 적합한 열화주기 산정이 필요하므로 적절한 열화주기 개발이 용이하도록 컴퓨터 프로그램상에서 원하는 열화주기를 편리하게 작성할 수 있도록 하여 전체 시스템의 동작상황 및 제어가 개발된 프로그램에 의해 가능하도록 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 시료준비

챔버 내부에는 6개의 시료가 설치 가능하므로 신 제품에 대한 기밀특성 파악을 위해 4개 제조업체의 신제품피뢰기를 설치하고, 경년품의 특성평가를 위해 현장에서 철거된 피뢰기 2개를 설치하였다.

가속시험에 사용된 시험주기는 그림 5와 같다.

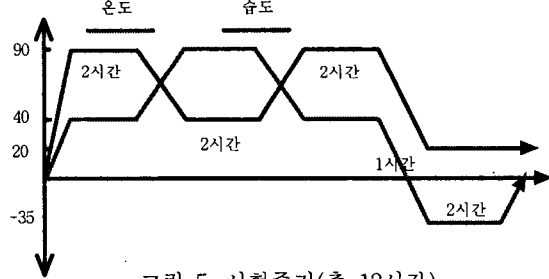


그림 5. 시험주기(총 12시간)

#### 3.2 가속열화시험 결과

일반적으로 정상적인 피뢰기의 누설전류는 제조업체에 따라 약간의 차이는 있으나, 150-300 $\mu$ A의 값을 나타낸다. 가속시험결과 그림 6과 같이 시료6번 피뢰기는 초기에 300 $\mu$ A 이상의 누설전류를 나타내 정상치를 약간 상회하는 정도였으나, 온도변화에 따른 누설전류 변화폭이 매우 크게 나타났으며, 가속시험주기가 증가하면서 누설전류가 급증하여 고장으로 이어졌다.

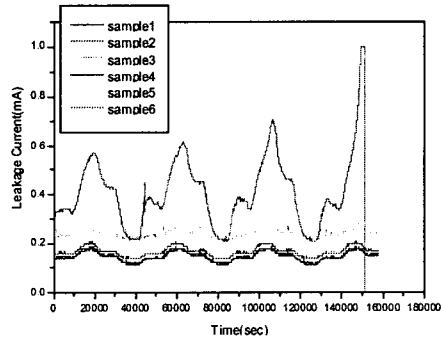


그림 6. 가속열화에 의한 누설전류 변화

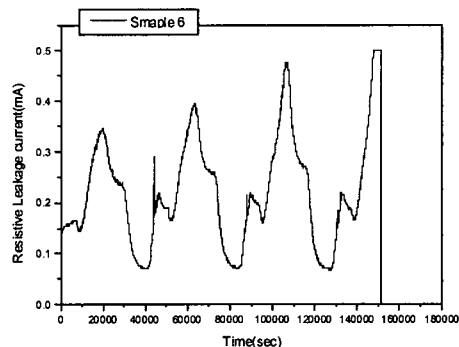


그림 7. 저항분 누설전류의 변화

하지만 다른 시료들은 온도변화에 따른 누설전류 변동폭이 30-40 $\mu$ A 정도로 나타났고, 누설전류의 증가현상은 나타나지 않고 일정한 특성을 보임으로서 정상인 것으로 판단된다.

한편 시료6의 저항분 누설전류 또한 가속주기가 경과함에 따라 그림 7과 같이 급증하였다.

한편 시료 6의 경우 온도가 -35 $^{\circ}$ C 구간에서 누설전류 파형을 살펴보면 그림 8과 같이 전류크기나 고조파 함유량이 거의 정상적인 피뢰기와 유사하게 나타난다.

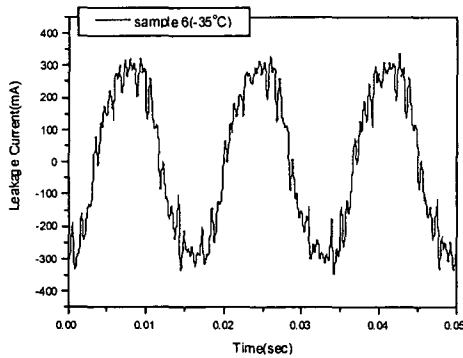


그림 8. -35 $^{\circ}$ C에서의 누설전류 파형

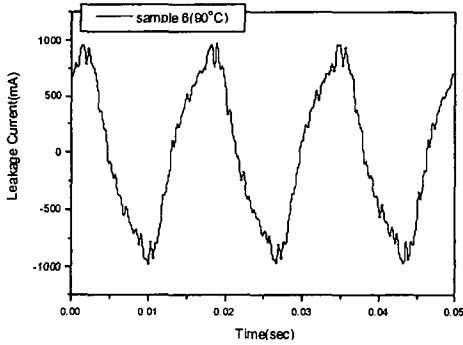


그림 9. 90 $^{\circ}$ C에서 누설전류 파형

하지만 온도가 90 $^{\circ}$ C인 구간에서는 그림 9와 같이 누설전류의 크기가 급격히 증가하고 고조파성분도 증가하는 것으로 나타났다.

이는 피뢰기 소자가 온도에 민감한 영향을 받는 것을 의미하며, 특히 열화된 피뢰기의 경우 방열특성 저하로 인해 온도상승시 누설전류가 급격히 증가하고 이로 인해 소자가 발열하여 정상적인 동작 수행을 못하고 열폭주 하는 것으로 판단된다.

이상의 시험종료 후 파손된 피뢰기를 제거하고 시

료6번 홀더에 또 다른 경년품을 설치하고 운전한 결과 그림 10과 같이 특성이 정상인 것으로 나타났다.

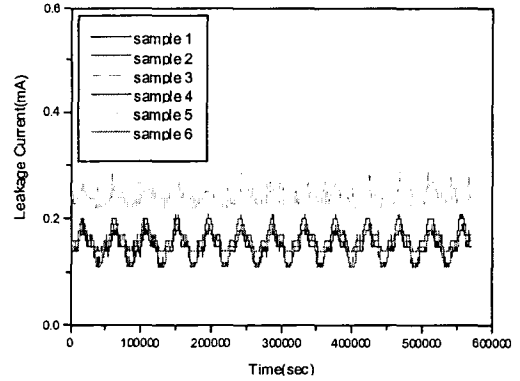


그림 10. 건전시료의 가속열화시험 결과

#### 4. 결론

본 논문에서는 배전용 피뢰기의 잔존수명 및 특성 평가를 위한 가속열화시험설비를 구축하였다. 본 설비는 기존의 온도제어를 통한 소자특성시험 뿐만 아니라 피뢰기 완품에 대한 종합적인 특성평가를 가능케 하였다. 제작된 시험설비로 신품 및 경년품을 시험한 결과 열화된 피뢰기의 경우 온도상승 구간에서 누설전류가 급격히 증가하고 고조파성분이 증가함을 알 수 있었다. 향후 개발된 가속열화시험설비를 통해 피뢰기 교체를 위한 누설전류 기준을 설정함으로써 현장에서 피뢰기 교체 및 운용에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

- [1] “배전 기자재 수명예측 기준제정”, 전력연구원 연구과제 중간보고서, 2000. 4.
- [2] “ポリマー容器型避雷器の長期性能”, CRIEPI. 電力中央研究所報告 W96020, 1996. 9
- [3] “酸化亞鉛形避雷器の現況”, 日本電氣學會, 電氣學會技術報告 第130号, 1982. 4.