

배전용 폴리머 피뢰기의 장기 신뢰성 평가

김주용, 송일근, 정종욱, 이동영, 박대희
전력연구원, 위덕대학교, 원광대학교

Long-term reliability assessment of polymer housing distribution lightning arrester

Ju-Yong Kim, Il-Keun Song, Jong-Wook Jung, Dong-Young Yi, Dae-Hee Park
KEPRI, Ui-Duk Uni., Won-Kwang Uni.

Abstract - 최근 전력설비의 절연을 위해 고분자 재질의 절연물이 광범위하게 사용되고 있다. 이러한 고분자 재료는 현재까지 주로 사용되어 온 세라믹 재질과는 달리 환경에 의한 열화를 동반하게 된다. 최근에 현장에 적용되기 시작한 고분자 재질의 절연물에 대한 장기 열화특성을 평가하기 위한 연구들이 다수 진행되고 있는 것도 이러한 이유 때문이다. 피뢰기의 경우에도 기존의 세라믹 애관을 고분자 재질의 애관으로 대체하기 시작하여 일부 제품들이 현장에서 우수한 특성을 보이는 것으로 보고되고 있으나 장기신뢰성에 대해서는 명확하지 않은 상태이다. 본 논문에서는 국내에서 제작되어 현장사용중인 폴리머 피뢰기를 발취하여 사용기간중 성능상의 변화를 분석하고 가속열화시험을 통해 성능의 변화를 관찰하고자 하였다.

리머피뢰기는 ZnO소자를 적층하고 소자를 필라멘트와 인당함에 따라 기존의 피뢰기에서 큰 문제점으로 지적되어 오던 수분 흡수에 의한 열화를 막을 수 있게 되었다. 이러한 폴리머 피뢰기는 설치 및 운반이 용이하며 폭발시 비산하는 경우 재질의 특성상 파편의 비산으로 인한 2차 사고도 일어나지 않는다. 본 논문에서는 국내에서 개발되어 배전선로에서 시사용을 완료한 폴리머피뢰기의 성능을 평가하여 시사용기간중의 열화정도를 평가하고 향후 확대사용 가능성을 검토하였다. 피뢰기의 특성평가를 위해 ES 153-261~282에 따라서 전기적시험을 실시하였고, 전기적 시험 후 고분자애관의 열화정도를 평가하기 위해 접촉각, 화학구조, 미세구조, 트래킹성능 시험 등을 실시하여 시사용으로 인한 열화정도를 평가하였다. 그리고 장기신뢰성 평가를 위해 가속열화시험장치를 제작하고 온습도 열화주기에 따른 폴리머 피뢰기의 누설전류 특성을 분석하였다.

1. 서 론

2. 본 론

선로 및 기기의 보호를 위해 배전선로에 사용되는 피뢰기는 이상전압 발생시 동작하여 이상전압의 파급을 방지하는 역할을 수행한다. 지금까지 배전선로에 적용되어 온 피뢰기는 세라믹 애관을 사용하기 때문에 피뢰기 폭발시 애관의 비산으로 인해 인명 및 물질 피해가 발생하는 문제가 있다. 한편 최근 세라믹을 대체할 만한 고분자 절연재료가 등장하면서 각종 전력설비의 절연재료로서 폭넓게 활용되고 있다. 특히 고분자애자의 경우 전 세계적으로 최근 급속히 확대 사용되고 있는 추세이며, 장기신뢰성 측면에서도 어느정도 성능이 입증된 상태이다.

이에 따라 피뢰기의 경우에도 애관 비산으로 인한 인명 및 재산상의 피해를 방지하고 시공성 향상을 위해 세라믹 애관을 폴리머재질의 애관으로 대체하는 추세에 있다. 국내에서도 1995년 최초로 폴리머애자를 국외에서도 도입한 후 시사용중에 있고 1997년 국산폴리머 애자가 개발됨에 따라 세라믹 애관을 사용하는 애자, 붓싱, 피뢰기 애관 등 각종 절연물에 고분자 재질이 적용되고 있다. 옥외용 절연재료로 사용되는 대표적인 고분자 재료로는 Silicon, Silicon Alloy, EPDM(Ethylene Prolylene Diene Monomer), Epoxy, EVA(ethylene vinyl acetate), 테프론 등이 있다. 이중 실리콘 재질의 절연특성이 가장 우수한 것으로 평가되고 있으나 가격이 고가이기 때문에 주로 송전급에서 사용되고 있으며, EPDM은 절연특성이 우수하고 가격도 저렴하여 배전용 절연물에 많이 사용된다. 국내에서도 대부분의 배전용 절연물에 EPDM이 사용되고 있으며, 국내에서 개발된 18kV급 배전용 폴리머피뢰기 또한 EPDM 애관을 채용하고 있다.

기존의 피뢰기는 자기 애관 내부에 ZnO(Zinc Oxide)소자를 적층하고 EPDM 재질의 O-ring을 삽입한 금속캡으로 상부 및 하부 전극을 밀봉한다. 그러나 애관의 자기품질 및 냉열특성이 미흡하거나 밀봉시 O-ring의 특성저하로 기밀불량이 문제점으로 지적되어 왔고 제작시 애관이 파손되는 문제도 있었다. 그러나 폴

2.1 시료발취

1998년 배전선로에 시범사용한 후 1년 경과된 폴리머 피뢰기를 발취하였다. 시료는 그림 1과 같이 애관표면이 심하게 오손되었고 표면에서 경화현상이 나타나고 있었다.

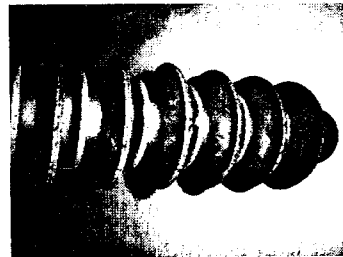


그림 1. 시료외관

2.2 전기적 특성시험

현장에서 시 사용된 폴리머피뢰기의 성능변화를 분석하기 위해 규격시험항목중 구조검사, 절연저항시험, 누설전류시험, 동작개시전압시험, 내열화성시험, 단로기 T-C 시험, 상용주파내전압시험, 충격내전압시험을 실시하였다.

시험결과 모든 규격시험항목에서 양호한 특성을 나타내어 현장 사용중 피뢰기 성능성의 저하는 없었던 것으로 나타났다.

2.3 폴리머 애관의 재질분석

이상과 같은 전기적 시험 후 고분자 재질의 열화특성을 분석하기 위해 표면 접촉각을 측정하고 FTIR 및 SEM/EDX를 이용하여 애관 오손부분의 화학분석을 실시하여 오손의 원인

및 열화정도를 분석하고자 하였다.

시료의 접촉각은 90° 이상으로 나타나 발수성에는 문제가 없는 것으로 나타났다.

한편 애관 오손부분의 정밀한 분석을 위해 FTIR 및 SEM/EDX를 이용하여 화학분석을 실시하였다. 그림 2는 현장에서 발취한 시료와 신품을 비교한 결과로서 신품에 비해 1000cm⁻¹에서 큰 피크가 측정되었다. 이는 Si-O 결합이 존재함을 의미하고 그림 3은 EDX를 사용하여 오손부분의 성분을 분석한 결과로서 Si 성분이 많이 존재하는 것으로 나타나 FTIR에 의한 결과와 잘 일치했다.

이는 애관 제조공정시 첨가한 충전제중 일부가 표면으로 노출된 것으로 판단되며, 그 위에 오손물이 부착되어 표면이 오손된 것으로 판단된다.

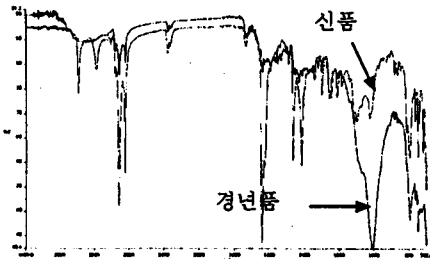


그림 2. 애관표면의 화학구조분석(FTIR)

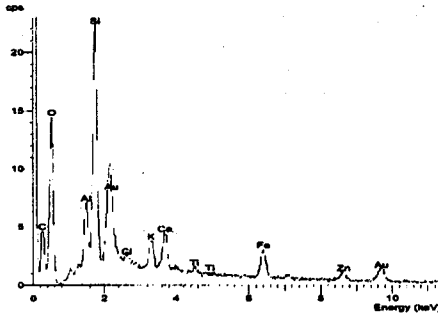


그림 3 오손물의 성분분석(EDX)

시험에 사용된 시료의 경우 그림 4와 같이 오손이 심각하여 표면의 오손에 의해 크랙이 생긴 것처럼 보인다. 하지만 오손부분의 단면을 관찰한 결과 그림 5와 같이 표면의 크랙은 애관자체의 크랙이 아니라 애관 표면 위에 부착된 오손물의 갈라짐으로 보인다.

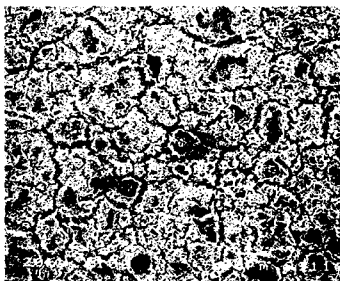


그림 4 시료표면 미세구조

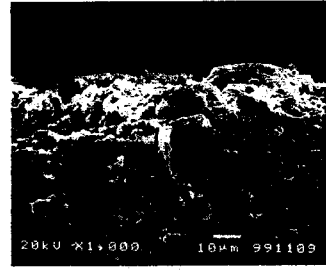


그림 5 시료의 단면 미세구조

2.4 피뢰기 가속열화시험

현재까지 피뢰기의 가속열화시험은 피뢰기 소자 자체의 수명예측을 위한 온도가속시험이 사용되고 있다. 하지만 피뢰기는 소자뿐만 아니라 애관, 밀봉장치, 내부 지지물 등 다양한 요소로 구성되어 있으므로 현장에서의 수명은 이들의 영향을 모두 고려할 때 가능하다. 따라서 본 논문에서는 실 피뢰기에 대한 가속열화가 가능하도록 그림 6과 같이 가속열화시험장치를 제작하여 신품과 열화품의 누설전류 특성을 파악하여 피뢰기 열화평가 자료로 활용하고자 하였다.

본 연구에서 제작한 피뢰기 장기신뢰성 시험장치는 피뢰기에 상시운전전압인 13.2[kV]를 인가한 상태에서 챔버 내부의 온도, 습도를 변화시키면서 피뢰기의 누설전류 변화를 관찰할 수 있는 장치이다. 이 장치는 고전압 발생부, 항온항습부, 누설전류 측정부, 데이터 취득 및 제어부분 등으로 구성되었다.

고전압 발생부는 시료 피뢰기에 일정한 입력전압을 유지하기 위한 것으로 교류전압(13.2[kV], 60[Hz])을 피뢰기에 인가하기 위한 것이다.

항온항습부는 효과적인 가속열화를 위해 -40[°C] ~ 200[°C]까지 온도 제어가 가능하도록 설계되었으며, 온도 승/감온 성능은 승온 6[°C/min], 감온 2[°C/min]이다. 습도는 95[%]까지 변화가능하게 하여 열화된 밀봉부위에서의 흡습이 가능하게 하였다. 항온항습부 내부에는 시험용 피뢰기 6개와 dummy 피뢰기 1개를 장착할 수 있으며, 피뢰기에 인가되는 고전압은 천장에 설치된 테프론 애관을 통해 공급된다.



그림 6. 피뢰기 가속열화 시험장치

누설전류 측정부에서는 피뢰기 열화인자 중 가장 중요한 전체 누설전류 및 저항분 누설전류 측정을 위해 각 시료의 접지선에 누설전류 측정용 저항을 연결하여 누설전류를 관찰할 수 있도록 하였으며, 온·습도의 변화를 포함한 실험조건 변화와 시간의 경과에 따른 누설전류 변화를 측정하여 열화과정을 상세히 관찰할 수 있도록 구성했다. 한편 각 피뢰기의 저항분 누설전류, watt loss의 정밀한 측정을 위해 Nihon Keisokuki Seizosho Co.의 CT와 누설전류 검출기(Leakage Current Detector-4)를 사용하여 필요시 해당 시료의

접지측에 설치가능 하도록 구성했다.

또 습기로 인한 피뢰기 애관 외부의 누설전류 영향을 배제하기 위해 각 시료의 애관 외부를 별도의 접지선으로 연결하여 접지하였다.

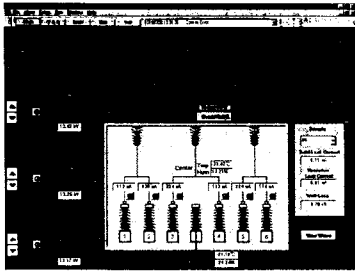


그림 7 제어 프로그램 화면

피뢰기의 가속열화를 위해서는 피뢰기 사용환경을 가속 모의할 수 있는 열화주기가 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 컴퓨터 프로그램상에서 원하는 열화주기를 편리하게 작성할 수 있도록 하였으며, 전체 시스템의 동작상황 및 제어 가능하도록 그림 7과 같이 가속열화 시험장치 운용 및 데이터 취득 프로그램을 개발하였다. 본 논문에서 사용한 가속열화시험주기는 그림 8과 같이 한 주기가 12시간이고 $-35[^\circ\text{C}] \sim 90[^\circ\text{C}]$ 의 온도변화와 $20[\%] \sim 90[\%]$ 의 습도 변화를 가진다.

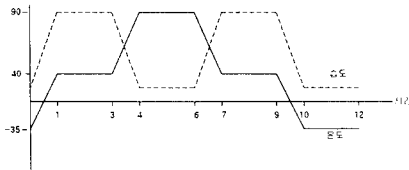


그림 8 시험주기(총 12시간)

이 주기에 따라 270시간 가속열화시험을 실시한 결과 그림 9와 같이 나타났다.

그림에서처럼 전체 누설전류는 $200\mu\text{A}$ 내외로 정상적인 배전용 피뢰기와 유사하게 나타났다. 저항분 누설전류의 변동폭이 매우크고 온도가 90°C 일 때 저항분 누설전류가 열화된 피뢰기와 같이 크게 나타났다.

일반적으로 피뢰기가 열화되면 온도에 따른 누설전류의 변동폭이 커지고 전체 누설전류중 저항분 누설전류가 급증하게 된다.

그러나 본 논문에서 사용한 시료의 경우 누설전류가 지속적으로 증가하지는 않고 있으므로 열화에 의한 영향으로 보기는 힘들것으로 판단된다.

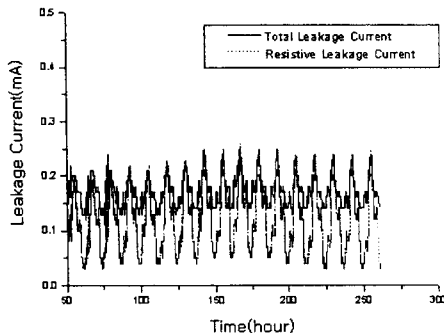


그림 9. 누설전류 변화패턴

이는 폴리머 피뢰기의 내부 소자를 필라멘트 외인딩처리하였기 때문에 고온에서 소자의 열방산에 영향을 미치지 때문인 것으로 생각된다. 따라서 이에 대해 추가적인 실험을 통한 확인이 필요한 것으로 보인다.

3. 결 론

이상과 같이 현장에서 시범 사용된 폴리머 피뢰기를 발취한 결과 시료의 애관이 다소 오손된 시료가 존재했다. 하지만 시사용 폴리머피뢰기의 성능확인시험을 실시한 결과 모든 시험항목에서 양호한 특성을 나타냄으로서 전기적 성능에는 변화가 없음을 알 수 있었다. 한편 애관의 경년변화특성을 평가하기 위해 접촉각, 화학구조, 미세구조, 트래킹성능을 분석한 결과 표면특성도 양호한 것으로 평가되었다.

그러나 화학구조 분석결과 애관 표면의 오손물은 애관 제조공정시 사용되는 오일 등의 충전제가 표면으로 노출되면서 주변환경에 의해 표면오손이 발생한 것으로 나타나 향후 오손에 의한 표면성능 저하가 우려되었다.

이상의 결과를 종합할 때 시사용 피뢰기는 시사용 기간동안 큰 열화현상의 진전은 없는 것으로 평가되나 폴리머 애관이 개발초기 제품임을 감안할 때 품질의 균일성이 다소 미흡하여 일부시료에서 충전제가 표면으로 노출되어 애관이 오손되고, 내열화성 시험 후 애관의 경화현상이 나타나는 경우가 있으므로 향후 애관 제조시 제품의 균일성 확보가 필요하다고 판단된다.

그리고 피뢰기 내부 구조 변경에 따라 소자의 흡습은 방지할 수 있으나 온도상승에 따른 영향을 가속열화시험을 통해 향후 평가할 필요가 있을 것으로 보인다.

(참 고 문 헌)

- [1] T. Taniguchi, "Long Term Performance of Polymer Housing Surge Arrester for 6.6kV Distribution Lines", 일본 전력중앙연구소보고 W96020, 1998, 9
- [2] Philip P. "Characteristics of Lightning Arresters Measured at Metal Oxide Distribution Arresters", IEEE Winter Meeting 1992.
- [3] Y. Fujiwara, "Evaluation of Surge Degradation of Metal Oxide Surge Arrester", IEEE Trans. on Power Apparatus and System, Vol. PAS-101, No. 4, 1982.
- [4] K. Feser, "Behaviour of Zinc Oxide Surge Arresters Under Pollution", IEEE Trans. on Power Delivery Vol. 6, No. 2, 1991, 4
- [5] T. Taniguchi, "Application of polymer Insulating Material for Surge Arrester Housing Development of Gapless type Polymer Arresters for 22kV Class Distribution Lines", CRIEPI REPORT, 1990.5
- [6] H. Homma, "Improvement of Energy Absorption Capability of ZnO Element -Thermal Properties of ZnO with Additives", CRIEPI 연구보고서 W94005, 1996, 2
- [7] "酸化亞鉛形避雷器", JEC-217, 1984
- [8] "IEEE Guide for the Application of Metal-Oxide Surge Arresters for Alternating-Current Systems", IEEE Std C62.22-1991
- [9] "IEEE Standard for Metal-Oxide Surge Arrester for AC Power Circuits", ANSI/IEEE C62.11-1987
- [10] "Metal-Oxide Surge Arresters without gaps for a.c. systems", IEC 99-4