

복합가속열화시험에 의한 폴리머 피뢰기의 경년특성

(Aging Characteristics of Polymer Lighting Arrester by Multi-Stress Accelerated Aging Test)

송현석* · 이재봉 · 장상옥 · 한용희 · 오재형

(Hyun-Seok Song* · Jae-Bong Lee · Sang-ok Jang · Yong-Huei Han · Jae-Hyoung Oh)

Abstract

Recently polymer arresters are being used widely but we don't have appropriate long term characteristics test methods. Therefore we need to develop special test facility to evaluate long term reliability of polymer arresters. It's polymeric housing can be degraded by environmental stress and the interface between housing and inner module can be affected by moisture absorption. This moisture absorption can cause leakage current and tracking in the interface. We developed multi stress accelerated ageing test facility to simulate field conditions including UV, temperature, humidity, voltage, salt fog and rain. In addition, we carried out field exposure test at the outdoor test yard and characteristics analysis of field operated specimens to evaluate accelerating factor of this accelerated aging test.

1. 서 론

폴리머 하우징을 채택한 피뢰기는 제조불량과 더불어 폴리머 재질의 열화에 의하여 피뢰기에 고장이 발생하는 사례가 많다. 피뢰기 소자와 하우징의 계면의 접합이 불량한 경우 대부분 3년 이내에 고장이 발생하고 있다. 또한 계면의 접합이 양호한 경우에도 폴리머 하우징 표면이 열화에 의하여 표면에 트래킹이 발생하고 고장으로 이어지는 사례도 많다. 새로 개발된 폴리머 피뢰기의 장기 신뢰성을 짧은 시간 내에 평가할 수 있다면, 설계 또는 제조 결함이 있는 피뢰기가 현장에 설치되는 것을 방지할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 우리는 폴리머피뢰기의 장기신뢰성을 평가할 수 있는 복합가속열화 시험장치를 개발하였으며, 가속계수를 결정하기 위하여 옥외노출시험도 함께 진행하고 있다.

먼저 복합가속열화 시험장치에서 가속 열화 된 피뢰기에 대한 전기적 시험과 재질분석을 수행하였으며 그 결과를 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1. 복합가속열화 시험장치의 개발

2.1.1 복합열화 시험장치 구조

복합가속열화 시험장치는 폴리머피뢰기가 사용되는 현장의 환경을 모의할 수 있도록 설계되었으며, 여기에 인가되는 환경요소는 자외선(UV), 온도, 습도, 고전압 인가, 염무, 강우 등이 있으며 태양광의 자외선을 모의하기 위하여 시료에서 15[cm] 떨어진 곳에서 파장이 280~315[nm]인 UV-B 램프가 조사되도록 제작하였고 기온은 -20~80[°C] 변화 범위에서 여름주기에는 15~80[°C], 겨울주기에는 -20~15[°C]까지 변화 시키도록 하였다. 그리고 습도는 여름주기에는 40~80[%], 겨울주기에는 30~60[%]로 변화시키며 피뢰기 표면 열화에 가장 큰 영향을 미치는 항목으로 예상된다.

전압은 소자에도 스트레스가 가해지도록 최대연속 운전전압(MCOV)인 15.3[kV]를 인가하며 염무는 전도도가 4000 [$\mu\text{S}/\text{cm}$]인 물을 2.5 [kg/m^3] 씩 분무하고 강우는 전도도가 30~70 [$\mu\text{S}/\text{cm}$]인 물을 5[mm/min]의 강수량 비율로 분사한다.

누설전류 측정방식은 복합열화가속 시험 중 피뢰기의 열화상태 감시를 위하여 누설전류 측정시스템을 설치하였고 피뢰기 애관을 통한 누설전류와 내부를 통한 누설전류를 구분하여 측정할 수 있도록 하였으며, 내부 누설전류 중에 포함된 저항분 누설전류도 분석이 가능하도록 구성하였다. 챔버 내에서 열화 된 피뢰기 시료에 대해 시험기

간동안 측정된 내부 누설전류 변화량을 분석하고, 하우징 표면의 트래킹이나 침식상태를 관찰하여 열화상태를 평가하였으며, 또한 필요시 동작개시전압 및 미세구조 분석 등과 같은 화학분석 시험도 병행하였다. 다음 그림 1은 복합가속열화 시험장치이며 그림 2는 시험장치의 개략도이다.

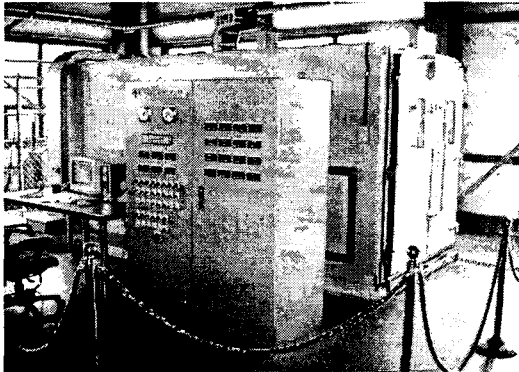


그림 1. 복합가속열화 시험장치
Fig.1. Multi-stress accelerated aging test chamber

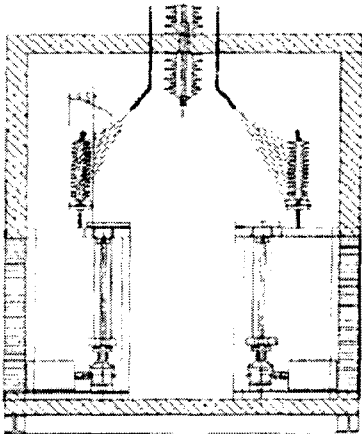


그림 2. 복합가속열화시험장치 개략도
Fig. 2. Schematic diagram of test chamber

2.1.2 복합가속열화 시험주기

국내의 기후환경을 모의하여 복합열화주기를 만들었다. 여름주기와 겨울주기로 나누어지며, 여름주기에는 온도, 습도 그리고 자외선이 가해지는 시간이 많으며, 강수도 자주 있다. 겨울주기에는 기온 및 습도가 낮으며, 강수가 1회에 그치고 여름주기는 11회 반복하며 겨울주기는 10회 반복하여 전체 주기의 3000시간동안 반복된다. 다음 표 1은 가속열화 주기표이다.

표 1. 복합열화시험장치 주기
Table. 1 cycle of multi-stress accelerated aging test chamber

(a) 여름주기 Summer Cycle

업무									
강수									
온도[°C]	80		15						
습도[%]	98		40						
UV									
전압[kV]	15.3								
시간[hour]	1	2	3	4	5				

(b) 겨울주기 Winter Cycle

업무									
강수									
온도[°C]	4		15						
습도[%]	30		60						
UV									
전압[kV]	15.3								
시간[hour]	1	2	3	4	5				

2.2. 복합가속열화 후 재료시험 결과

2.2.1 전기적 성능 평가

국내 배전계통전압 22.9kV(Y-Y)에 사용되는 피뢰기의 정격은 18[kV]-5[kA]을 사용한다. 가속열화장치에 18개의 피뢰기를 설치하여 3000시간동안 가속열화를 시킨 후 전기적 화학적 분석을 하였다. 열화 된 피뢰기의 누설전류 측정은 LCD-4 누설전류 측정기를 사용하였다. 그 결과는 표 2와 같다. 열화 된 시료의 누설전류는 신제품보다 약간 증가하였고 표 3는 열화 된 피뢰기 동작개시 전압(DC)의 결과를 나타내고 있으며 아래의 결과를 볼 때 전기적 성능평가에서는 열화 된 시료의 전기적 특성에 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

표 2. 누설전류 측정결과
Table 2. Leakage current

인가전압[kV]	누설전류[μA]		
	신품	시료 A	시료 B
10	80	160	141
13.2	106	200	190
15	130	220	210

표 3. 동작개시전압(dc)
Table 3. Critical operation voltage(dc)

시료	신품	시료 A	시료 B
동작개시전압 [kV]	31.5	29.0	29.7

2.2.2 화학적 성능 평가

(가) 발수성 시험 결과

열화 된 피뢰기는 발수성에서 변화를 볼 수 있었다. 발수성은 STRI의 발수성 등급 가이드에 의거하였다. 아래 그림 3은 신품, 그림 4는 시료 A, 그림 5는 시료 B의 발수성 결과를 나타내는 그림이다. 열화시험 후 피뢰기의 HC(발수성 등급)는 HC 1로부터 HC 3으로 변화되었다.



그림 3. 신품(Virgin) - HC 1
Fig. 3. Virgin- HC 1



그림 4. 시료A - HC 3
Fig. 4. Sample A- HC 3



그림 5. 시료B - HC 3
Fig. 5. Sample B- HC 3

(나) FTIR 분석 결과

아래 그림 6은 FTIR(푸리에 변환 적외선 분광기)를 통한 폴리머 하우징 분석 결과이다.

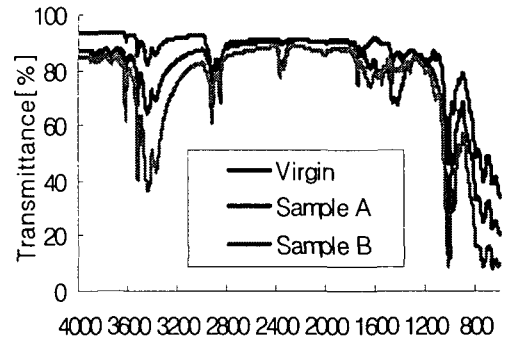


그림 6. 폴리머 하우징의 FTIR 결과
Fig. 6. FTIR results of Polymer housing

위 그림에서 알 수 있듯이 폴리머 하우징의 수분 함유량은 증가하였고 폴리머의 수분 흡수는 누설 전류의 원인이 된다. 따라서 오랜 시간 발수성을 지속시킬 수 있는 발수성 재질의 사용이 필요하다.

(다) SEM 촬영 결과

SEM 촬영을 통하여 신품 피뢰기의 표면은 거칠지만 열화 된 후 시료 A의 표면은 크랙의 발생이 보였고 시료 B의 표면은 신품보다 더 매끄러워졌음을 알 수 있었다. 거친 표면에서의 발수성은 더 우수하며 이는 거친 표면의 미세한 골이 물분자를 반발하기 때문이다. 이러한 골이 열화 후 제거된 것으로 보인다.

SEM 촬영결과 시료 A의 경우 크랙이 발견되었으며, 시료 B의 경우에는 큰 변화는 보이지 않는다. 다음 그림 7, 8, 9는 SEM 촬영(1000배 확대)한 신품, 시료A, 시료B의 사진이다.



그림 7. 신품 (×1000)
Fig. 7. Virgin(×1000)

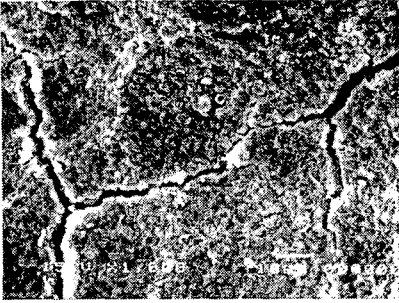


그림 8. 시료 A-크랙 (×1000)
Fig.8. Sample A-cracked(×1000)

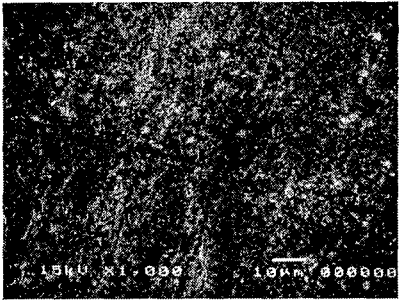


그림 9. 시료 B (X1000)
Fig. 9. Sample B(×1000)

2.3 옥외시험장

폴리머 피뢰기의 열화과정을 관찰하기 위해 옥외 열화 테스트 시험장을 서해안에 설립하였다. 옥외 열화 테스트 결과와 복합가속열화 시험장치의 결과를 비교할 것이다. 이 결과를 통해 옥외 조건보다 복합가속열화 챔버에서 어느 정도 가속되는지 결정할 것이다. 20개의 폴리머 피뢰기를 시험장에 설치하였다. 인가전압은 13.2[kV]이고 기후 상태와 누설전류의 관찰을 통해 기상조건이 폴리머 피뢰기의 열화에 미치는 영향을 파악할 수 있을 것이다.

측정된 기후조건은 다음과 같다.

- 풍속과 풍향
- 상대 습도
- 기온
- 이슬점 온도
- 기압
- 강수량
- UV-B(280~315[nm])방사

누설전류에 관한 측정요소들은 다음과 같다.

- 누설전류 피크
- 누설전류 펄스 수
- 평균누설전류
- RMS 누설전류

다음 그림 10은 옥외 열화 시험장이다.

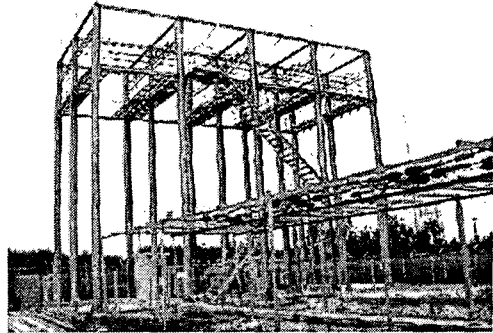


그림 10. 옥외 열화 시험장
Fig. 10. Outdoor aging test station

5. 결 론

피뢰기 가속 열화 후 단기간에 상당한 열화가 발생하였다. 누설전류는 증가하였고 발수성은 감소하였으며 표면은 열화와 크랙이 발생하였다. 그러나 열화주기의 가속계수를 결정하기는 부족하다. 복합가속 열화 시험장치의 성능이 온도제어와 열화주기를 정확하게 추종하지 못하여 열화주기의 조정이 필요한 것으로 나타났다. 향후 이러한 문제를 보완하기 위한 추가시험을 진행할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] Edward A. Cherney, "Salt Fog Testing of Polymer Housed Surge Arresters", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 16, no. 2, Apr. 2001
- [2] Steven J. Benna, "Multistress Aging Tests of Polymer Housed Surge Arresters", IEEE Trans. On Power Delivery, vol. 13, no. 2, Apr. 1998
- [3] *Surge Arresters Selection and Application Recommendation*, IEC-60099-4
- [4] B. Biglar, "Evaluation of the Insulation Design of Polymer Housed Surge Arresters using Salt-fog Test", 2000 Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena
- [5] V.M. Moreno, "Effect of Long-term Corona on Non-ceramic Outdoor Insulator Housing Materials", IEEE Trans. On Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 8, no. 1, Feb.