

배전용 폴리머피뢰기의 복합 가속열화 시험방법 개발

김주용, 송일근, 박철배
한국전력공사 전력연구원 배전연구소

Multi-stress accelerated aging test method for distribution polymer surge arresters

Juyong Kim, Ilkeun Song Chulbae Park
Power Distribution Lab., Korea Electric Power Research Institute, KEPCO

Abstract - 국내 배전선로에서는 1999년부터 폴리머피뢰기를 설치하여 운영하고 있으나, 이들의 열화특성에 관한 데이터와 적합한 평가방법이 부족하여 장기적인 운영계획 수립이 어려운 상태이다. 이에 따라 본 논문에서는 폴리머피뢰기의 현장 열화인자를 인가할 수 있는 복합가속열화 시험장치를 제작하고 국내 환경조건을 모의할 수 있는 시험주기를 개발하여 폴리머피뢰기 완제품에 대한 장기신뢰성 평가법을 제안하였다. 그리고 가속열화시험 및 현장설치에 의한 전기적, 화학적 특성변화를 분석하여 폴리머피뢰기의 열화정도를 평가함으로써 본 연구에서 제안한 평가기법의 실효성을 검증하고 국산 폴리머피뢰기의 유지보수에 필요한 특성 데이터를 제시하였다.

조건은 가속효과를 위해 국내보다 업무의 영향이 큰 플로리다 지역의 환경조건을 참고하였다. 그리고 주수는 실제 빗물의 전도도와 강우량을 고려하여 스트레스 기준을 설정하였으며 시험전압은 통상적으로 피뢰기 소자의 가속열화시험에 사용되는 전압인 MCOV(Maximum Continue Operating Voltage)를 사용하였다.

한편 가속열화 시험주기는 그림 1 및 그림 2와 같이 여름주기와 겨울주기 각각 8시간으로 구성되며, 여름주기를 10일간 반복한 후 겨울주기를 11일간 반복하게 된다. 총 시험시간은 3,000시간으로 설정하였다. 여름에는 비가 많고 고온이며 자외선 조사량이 많으며, 겨울에는 저온이며 업무가 많은 특징이 있다.

1. 서 론

폴리머 피뢰기의 장기신뢰성 또는 열화특성 평가는 크게 두 가지 측면에서 접근 가능하다. 우선 피뢰기의 핵심요소인 ZnO 소자의 열화를 생각할 수 있다. ZnO 소자는 이상전압에 의해 동작될수록 증가할수록 입계층이 파괴되어 누설전류가 증가하고 이로 인한 소자의 온도 상승이 열폭주 고장을 일으키게 되므로 온도상승시험을 통해 이를 모의한다.

또 피뢰기 고장의 주요원인이 수분침투로 인한 소자의 흡습에 의한 것이므로 수분침투 특성을 평가하기 위한 다양한 방법의 기밀시험을 통해 장기신뢰성을 평가하고 있다.

폴리머피뢰기의 애관재질은 자연환경에 의해 열화되고 이로 인해 피뢰기의 표면 누설전류가 증가하여 외부섬락이 발생하거나 애관이 침식되어 내부로 수분유입을 초래 할 수 있다. 그러나 폴리머재질에 대한 열화평가는 폴리머 재료 자체를 대상으로 하거나 폴리머에자에 대해서는 많은 연구가 있었으나 폴리머피뢰기 완제품을 대상으로 한 연구는 국내에서 이루어진바가 없고 적절한 시험법도 없는 상태이며, 국외에서도 폴리머피뢰기 장기신뢰성 평가를 폴리머 애자에서 사용되는 시험방법과 동일하게 수행하고 있다.

한편 국내에서는 우리나라 환경에 적합한 조건을 근거로 폴리머 애자 복합열화시험방법을 개발하여 폴리머애자의 장기신뢰성 평가에 활용중에 있다.

폴리머피뢰기의 애관은 폴리머애자와 같은 재질을 사용하기 때문에 이 시험을 통해 애관 재질의 열화특성은 어느 정도 평가가 가능하지만, 피뢰기 소자의 열화에 중요한 인자인 온도와 기밀성능 평가에 필요한 온도편차를 이용한 기계적 스트레스 등이 폴리머피뢰기에 적용하기에는 부적절하여 새로운 방법의 개발이 필요하다.

또한 폴리머 재질의 현장 사용이력이 짧기 때문에 단기간에 장기특성을 평가 할 수 있는 방법을 개발하는 것은 효율적인 피뢰기운영을 위해 필수적인 사항이다.

이에 따라 본 연구에서는 국내에서 사용중인 폴리머피뢰기의 운전환경을 고려하여 가속열화 시험조건을 결정하고 이를 모의할 수 있는 시험장치를 개발하였다. 또 이 장치를 활용하여 국산 폴리머피뢰기의 장기 열화 특성 시험방법을 개발하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 시험주기

폴리머피뢰기의 애관재질에 대한 성능평가뿐만 아니라 소자와 기밀성능의 평가가 추가로 이루어져야 한다는 점을 고려하여 본 연구에서는 시험온도를 애관과 내부모듈 사이의 계면에 기계적인 스트레스를 가할 수 있도록 -20℃ ~ 80℃의 조건을 구현하였다. 특히 여름주기의 최고온도는 애관재질의 변형을 초래하지 않고 피뢰기 소자의 온도상승 효과를 확인할 수 있도록 설정하고 겨울주기는 우리나라 겨울철 최저온도를 기준으로 하였다. 습도는 고온 다습한 환경을 제공하여 불량한 피뢰기의 계면으로 습기 유입이 가능하도록 하였다. 자외선은 연간 일조시간을 고려하여 조사시간을 결정하였으며, 태양광 파장을 모의하기 위해 UV-B램프를 사용하였다. 한편 업무

시간 (hr:cm)	1	2	3	4	5	6	7	8
주수 (4,000mm)								
습도 (30~75%)								
온도 (15%~95%)	15°C 40%		60°C 95%	15°C 40%		60°C 95%	15°C 40%	60°C 95%
자외선 (1.0 W/m²)								
전압 (15.0 kV)								
복합열화 조건								

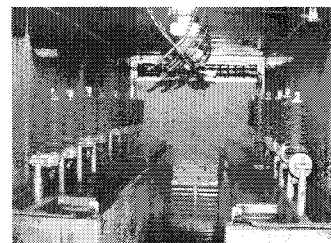
<그림 1> 여름주기

시간 (hr:cm)	1	2	3	4	5	6	7	8
주수 (4,000mm)								
습도 (30~75%)								
온도 (-20%~45%)	15°C 30%		10°C 60%	4°C 30%	5°C 30%		-20°C 30%	4°C 30%
자외선 (1.0 W/m²)								
전압 (15.0 kV)								
복합열화 조건								

<그림 2> 겨울주기

2.2 복합 가속열화 시험장치.

시험용 챔버는 그림 3과 같이 한쪽면에 8개의 시료를 설치하여 총 16개의 폴리머피뢰기 완성품 설치 가능하도록 내부용적을 8 m³ (1,500 mm × 1,800 mm × 3,000 mm)로 제작하였으며, 내부 벽면은 주수와 업무에 의한 부식을 방지하기 위해 스테인레스 스틸로 제작하였다. 시험에 사용되는 전원은 40 kVA 변압기에서 인출되어 챔버 상단의 부싱을 통해 공급되며, 자외선램프는 챔버 하부의 밀폐 공간에 설치한 후 모터 구동방법으로 챔버내로 이동하여 시료의 측면 5 cm 거리에서 자외선을 조사할 수 있도록 제작하였다. 주수노즐은 챔버 상부에 각 시료마다 1개씩 설치되며 시료와의 각도를 45°로 유지하면서 시료가 골고루 젖을 수 있도록 IEC 60507에 따라 제작하였으며 열선을 설치하여 겨울주기에 노즐이 동결되지 않도록 하였다.



<그림 3> 시험장치

또 각 시료의 단로기 하부와 애관 하단부에 누설전류 측정을 위한 전극을 설치하여 내부와 표면 누설전류를 측정하였으며, 내부 누설전류로부터 저항분 누설전류를 추출하였다. 또 챔버의 운전상태와 각 시료의 누설전류를 모니터링하고 일별로 저장 할 수 있도록 제어 및 계측을 위한 HMI를 구성하였다.

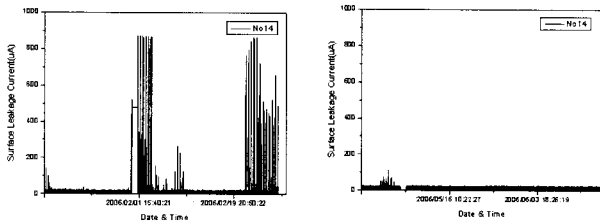
2.3 실험결과

가속열화시험을 위해 현재 배전선로에서 가장 많이 사용되고 있는 두 제작사의 신제품(V사, B사) 2 그룹과 현장 운전경험이 있는 경년품 시료(S사, V사) 2 그룹을 준비하였다.

한편 가속열화 후 시료와의 비교를 위해 가속열화시험에 사용된 시료와 동일한 제작사 피뢰기를 해안가 옥외실증시험장에 3년간 설치하여 자연열화시켰다.

2.3.1 누설전류 특성

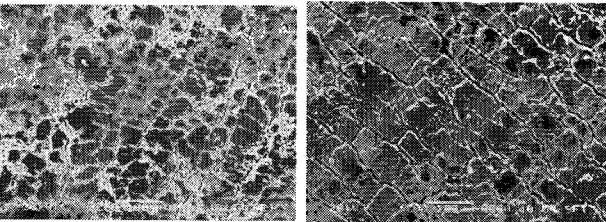
3,000시간의 시험 중 모든 시료의 전체 누설전류와 저항분 누설전류는 온도변화와 함께 일정폭의 변화를 나타냄으로써 가속열화로 인한 소자의 열화나 수분침투 등은 발생하지 않은 것으로 나타났다. 하지만 경년품의 표면 누설전류는 1,000시간이 경과하면서 그림 4와 같이 크게 증가하였다가 2000시간 이후 다시 감소하는 경향을 나타내었으며, 신제품에서는 2,000시간 이후 누설전류가 증가하는 것으로 나타나 현장 설치 제품에서 관찰되는 표면 온손특성변화와 유사한 양상을 보이는 것으로 확인되었다.



<그림 4> 경년품 시료의 누설전류 변화

2.3.2 애관 표면 미세구조

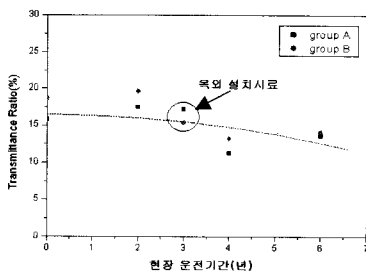
경년품 시료는 2년간의 현장운전에 의해 미세균열이 발생한 상태였으며, 발수성도 현저히 저하된 시료였다. 이 시료는 3,000시간 열화 후 그림 5와 같이 표면의 미세균열이 더욱 확대된 것으로 나타났다. 발수성도 회복되지 않았다. 이로부터 발수성은 부착성 온손물과 관련이 있으며, 본 가속열화 시험방법이 시료에 비정상적인 열화를 촉진하지 않음을 확인 할 수 있었다.



<그림 5> 경년품 시료의 표면 미세구조 변화

2.3.3 애관재질의 화학구조

열화 평가 요소로 주로 활용되는 CH_2 비대칭 결합(2916cm^{-1})에 대한 피크를 비교하였다. 1,000시간은 여름주기 10일 겨울주기 11일을 2회 반복한 것으로써 현장에서 2년에 해당되는 것으로 가정하였다. 그리고 실제 옥외에 3년간 설치된 시료의 결과를 표기하면 그림 6과 같이 열화로 인한 CH_2 비대칭 결합이 감소함을 알 수 있다. 이와 같이 본 논문에서 적용한 복합 가속열화시험은 현장 열화와 유사한 양상의 열화를 유도할 수 있는 것으로 판단된다.

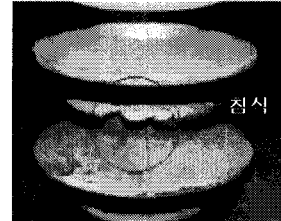


<그림 6> 열화에 의한 CH_2 비대칭 결합의 변화

2.3.4 전기적 성능

3,000시간 동안의 가속열화시험을 종료한 후 시료를 육안으로 관찰한 결과 일부 시료에서는 심각한 손상 현상이 나타났다. 대부분 시료의 브래킷은 변색되고, 금속캡이 부식되었으며, 브래킷에서 트래킹 흔적도 발견되었다. 그리고 그림 7과 같이 날개 끝부분과 시스에서 침식현상이 관찰되었다. 이는 표면누설전류의 급증으로 인한 것이며, 애관 재질의 설계불량 때문으로 생각된다.

또 일부 시료의 브래킷 굽힘강도가 불량한 것으로 나타났으나 이는 가속열화 때문이 아니라 제조상의 결함에 의한 것으로 생각된다. 그리고 일부시료의 브래킷이 현장 사용과 가속열화로 인해 트래킹 성능이 저하된 것으로 나타난 것을 제외하고 모든 시료의 전기적 성능은 가속열화 후에도 양호한 특성을 나타내었다. 단, 가속열화 후 단로기의 성능이 급격히 저하되는 것으로 나타나 대책 마련이 필요한 것으로 나타났다.



<그림 7> 애관의 침식

3. 결 론

본 논문에서는 국내에서 사용중인 폴리머피뢰기의 장기신뢰성 평가를 위해 국내 자연환경조건을 고려한 가속열화 시험장치를 제안하고 이를 구현하기 위한 가속열화 시험장치를 제작하였다.

그리고 총 16개의 신제품 및 경년품 시료를 제안한 방법으로 가속열화하고 전기적 성능을 검증한 결과 시료의 기밀성능이 가속열화로 인해 저하되었고, 설계 및 제조결함을 내재한 애관재질의 식별이 가능하였으며, 옥외시험장에서 자연열화된 시료와의 비교 할 때 폴리머피뢰기의 장기성능 평가에 적용 가능한 것으로 나타났다.

이에 따라 본 논문에서 제안한 3,000시간 복합 가속열화 시험방법이 신개발 피뢰기의 확대보급 이전에 제조 및 설계결함 검출을 위해 사용하고 있는 1년 6개월의 현장시험사용을 효과적으로 대체할 수 있을 것으로 예상된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Dennis W, Lenk, "A new approach to distribution arrester design", IEEE Trans. on PD, Vol. 3, No. 2, pp. 584-590, 1988
- [2] R. Sundarajan, "In-Service Aging and Degradation of 345 kV EPDM Transmission Line Insulators in Coastal Environment", IEEE Trans. on DEI, Vol. 11, pp. 348-361, 2004
- [3] Jean-Marie Fournigie, "Testing method for performance prediction of outdoor insulation housing", IEEE Annual report of CEIDP, pp. 451-454, 1996
- [4] T. Imai, "Development of High Gradient Zinc Oxide Nonlinear Resistors and Their Applications to Surge Arresters", IEEE Trans. on PD, Vol. 13, No. 4, pp. 1182-1187, 1998
- [5] IEC standard 60099-4, "Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems", 2006
- [6] IEEE standard C62.11, "Metal-oxide surge arresters for AC power Circuit", 1999
- [7] K. Lahti, "A comparison between the DC leakage current of polymer housed metal oxide surge arresters in very humid ambient conditions and in water immersion tests", IEEE Trans. on PD, Vol. 14, No. 1, pp. 163-168, 1999
- [8] K. Lahti, "Behaviour of the DC leakage currents of polymeric metal oxide surge arresters in water penetration tests", IEEE Trans. on PD, Vol. 13, No. 2, pp. 459-464, 1998
- [9] T. Taniguchi, "Application of polymer insulating materials for surge arrester housing- development of gapless-type polymer arresters for 22 kV class distribution lines", W89024, CRIEPI report, 1989
- [10] IEC Standard 61109, "Composite insulators for a.c overhead lines with a nominal voltage greater than 1000 V-definition, test methods and acceptance criteria", 1992