

배전용 폴리머애자 최적 교체기법 연구

최선규, 김주용, 정연하, 박철배
한국전력공사 전력연구원 배전연구소

Optimal replacement methods for distribution polymer insulators

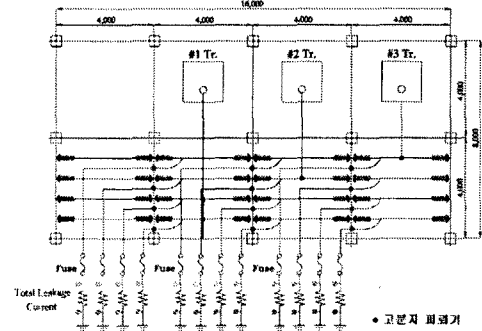
Sun-Kyu Choi, Ju-Yong Kim, Yeon-Ha Jung, Chul-Bae Park
Power Distribution Lab., Korea Electric Power Research Institute, KEPCO

Abstract - 폴리머 애자는 경량, 미려함, 소형, 비 분해 폭발 특성과 같은 다양한 장점 때문에 세라믹 애자를 대체하여 사용이 증가되고 있다. 그러나 폴리머 재료는 동일 목적의 세라믹 애자에 비하면 열화가 빠르고 성능이 저하되는 문제점이 있다. 최근 폴리머 애자의 사용기간이 10년 이상 경과하면서 이들에 대한 교체시기에 관한 관심이 증가하고 있으나 사용기간이 짧아 교체시기를 예측하기 불가능한 실정이다. 이에 따라 본 논문에서는 국내에서 사용중인 폴리머애자 신품과 경년품의 복합가속열화시험을 실시하고 자연열화 시료와 비교하여 장기 열화특성을 평가하고 최적 교체방법을 제안하였다.

하였다. 그리고 누설전류 신호를 2 kHz로 샘플링하여 매 10분마다 기록하였다.

1. 서 론

배전기자재의 신속한 유지·보수와 기기의 소형화·경량화 추세에 따라 배전계통에서 대부분을 차지하던 세라믹 절연물이 점차 폴리머 절연물로 대체되고 있으며, 그 중에서도 특히 실리콘 고무, EPDM (Ethylene Propylene Diene Monomer), 에폭시 수지 등을 사용한 폴리머 애자류는 국내에서 가장 먼저 도입되어 사용년수가 10년 이상 경과하고 있으나 아직 열화로 인한 고장 발생은 거의 없다. 하지만 폴리머 재료는 현장의 자연환경 조건에 의해 열화되는 특성이 있으므로 현재까지의 열화상태를 평가하고 열화 경향을 예측함으로써 열화로 인한 대규모 고장을 사전에 방지할 필요가 있다. 이를 위해 본 논문에서는 국내에 최초로 설치된 폴리머애자를 철거하여 특성분석을 실시하고 열화상태를 평가함과 동시에 신품에 대한 복합가속열화 시험을 실시하여 국내에서 사용중인 폴리머애자의 열화특성을 예측하고자 하였다. 이를 통해 복합가속열화시험의 현장 열화 모의 성능을 검증하고 가속열화시험법을 활용한 폴리머애자 관리 및 교체 기법을 제안하였다.



〈그림 2〉 시료설치 및 측정회로 구성도

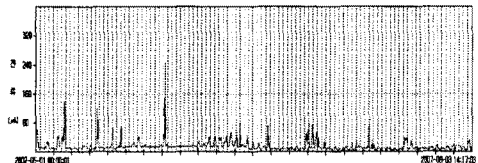
2. 본 론

2.1 옥외 자연열화 시험

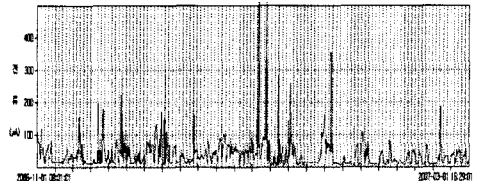
오손 환경에서 사용되고 있는 폴리머애자의 장기 열화 특성을 실시간으로 측정하기 위해 그림 1과 같은 옥외 자연열화 시험장치를 설계, 제작하였다. 자연열화 시험용 설비는 열해 오손 환경 특성을 평가하기에 적합한 고장 배전 실증시험장에 설치하였으며, 해안에서 약 150 m 거리에 위치하고 있다. 시료가 설치된 구조물은 8m(W)×16m(D)×14m(H)이며, 현장의 설치환경과 동일하게 지상에서 12.5 m~13.0 m 되는 위치의 완철에 시료를 설치하였다.

2.1.1. 표면 누설전류

옥외 자연열화 시험장치 구축 후 2003년에 폴리머 현수애자 32개, 폴리머 LP애자 20개를 설치하고 누설전류를 측정하였다.



(b) 여름철 누설전류



(b) 겨울철 누설전류

〈그림 3〉 폴리머애자의 누설전류 변화



〈그림 1〉 옥외 자연열화 시험장치

폴리머 애자의 누설전류는 여름철에 그림 3과 같이 수십 μA를 나타내었으나, 겨울철에는 염분의 영향으로 수백 μA를 초과하는 전류의 발생빈도가 높은 것으로 나타났다.

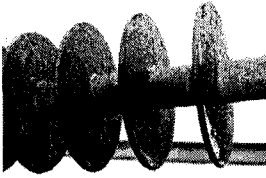
2.1.2. 표면특성

설치된 시료에 대한 열화상태 확인하기 위해 STRI에서 제안하여 IEC TS 62073으로 제정된 스프레이법으로 젖음성(wettability)을 관찰하였다.

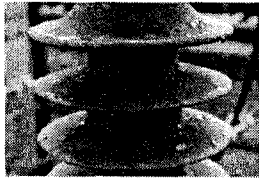
설치 2년 후 EPDM 현수애자의 표면은 깨끗한 상태로 유지되고 있었으나 발수성은 WC 3에서 4정도로 저하된 것으로 관찰되

누설전류 측정을 위해 각 시료의 집지극에 측정용 저항을 연결

었다. 한편 실리콘을 사용한 LP 애자의 경우에는 갖의 표면이 EPDM에 비하여 더 많이 오염되어 있는 것으로 관찰되었으나 발수성은 2에서 3정도로 EPDM에 비하여 상대적으로 좋은 값을 나타냈다.



<그림 4> EPDM 애자 발수성

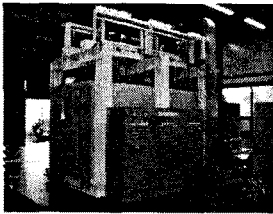


<그림 5> 실리콘 애자 발수성

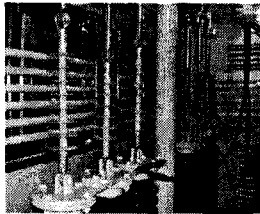
2.2 복합가속열화 시험

폴리머 애자 복합가속열화 시험장치는 배전급 폴리머애자의 장기 신뢰성을 단기간에 평가하기 위해 1999년 전력연구원에서 최초로 설계, 제작하였으며, 국내 자연환경조건을 고려한 열화인가 및 열화주기를 사용한다. 또한 연속적인 시험을 통해 가속열화 설비의 신뢰성도 입증되어 현재 한국전력공사 표준규격 및 국가 신뢰성시험규격에 사용되고 있다.

복합가속열화 시험장치는 챔버내에 시료를 설치하고 현장에서 발생하는 스트레스를 조건을 구현하여 피시험을 가속열화시키는 것으로 시료를 설치하는 챔버부와 자외선 조사부, 인장 인가부, 온습도 제어부, 측정부 등으로 구성된다.



<그림 6> 시험장치 외관



<그림 7> 시험장치 내부

챔버는 폴리머애자 표면 결빙 상태로 모의 가능할 수 있도록 내부온도를 -5℃까지 내릴 수 있게 제작되었으며, 시험중에도 UV 램프를 교체할 수 있도록 구성하였다. 챔버 내부에 설치된 시료에 가해지는 열화 인자는 개별적으로 동작가능하며, 입력된 프로그램에 의해 제어된다.

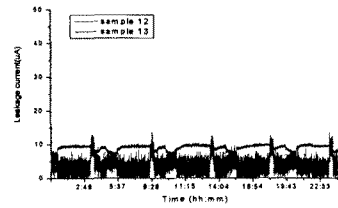
가속열화 시험주기는 그림 3과 같이 여름주기와 겨울주기로 구성된다. 시험은 3,000시간 동안 지속되며, 이는 여름주기와 겨울주기를 6번 반복하는 것이다.

	<여름주기>					<겨울주기>				
Salt Fog										
Clean Water										
Temp(℃)	50	50	15	50	50	15	50	50	15	50
UV										
Humi(%)	95	95	40	95	95	40	95	95	40	95
Voltage(V)	30 ~ 60									
Tension										
Time	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

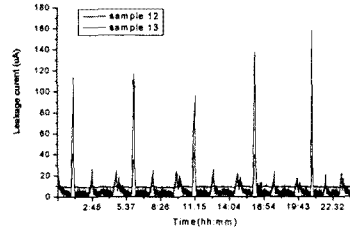
<그림 8> 복합가속열화 시험주기

2.2.1 전기적 특성

복합가속열화 시험중 시료의 표면에 흐르는 누설전류를 측정 한 결과 열화 시간에 따라 점차 증가되고 표면에서 극부적인 아크가 발생하였다. 누설전류 값은 온도 및 습도의 영향을 많이 받으며, 온도 및 습도의 증가와 더불어 누설전류가 급격히 상승하는 특성을 보였다. EPDM 재질의 경우 1,000시간 정도 경과하면 서 표면 누설전류가 점차 증가되어 2,000시간 이상에서는 급격히 증가되었다. 반면 실리콘 재질의 경우 2,000시간 이상 열화 되더라도 표면 누설전류량이 극히 작았으며 변화도 아주 작았다. 또한 누설전류는 겨울주기에 크게 증가하는 것으로 나타나 자연환경 조건에서와 유사함을 확인할 수 있었다.



<그림 9> 가속열화시험 초기 누설전류

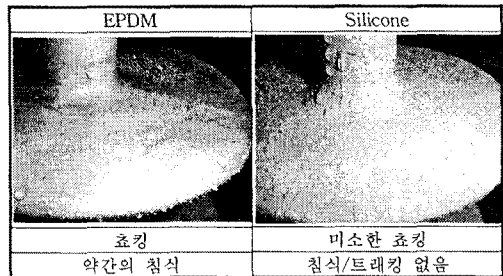


<그림 10> 2,300시간 경과 후 누설전류

3,000시간 가속열화 후 전기적 검증시험으로 상용주파 건조성 탐전압, 상용주파 주수섬락전압, 뇌충격 섬락전압 값을 측정하였다. 측정결과 주수섬락전압 값은 신품에 비해 약간 저하되는 특성을 보였으나, 건조 및 뇌충격 섬락전압 값은 신품과 유사한 결과를 보여 열화 후에도 트래킹이나 침식이 없는 경우 전기적 특성 변화가 적은 것을 알 수 있었다.

2.2.2 표면특성

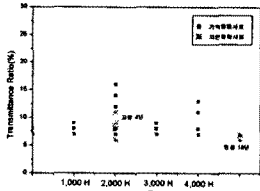
육안 관찰 결과 EPDM 애자의 하우징 표면에 약간의 초경과 신품에 비해 상당한 발수성 저하가 있었으며, 물방라인으로 침식 흔적도 발견되었다. 하지만 실리콘 재질 애자의 표면 발수성 저하는 크지 않은 것으로 나타났다. 애자 양쪽의 금구부분에 약간의 부식이 진행되고 있었다.



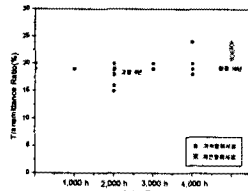
<그림 11> 가속열화후 시료의 발수성

한편 가속열화 시료의 애관재질의 변화를 관찰하기 위해 FTIR로 재질분석을 실시하였다. 시료는 매 1,000시간 마다 애관일부를 절단하여 사용하였다.

그림 12는 이러한 가속열화시험시료와 고창실증시험장에서 4년간 자연열화된 시료 및 현장에서 10년간 사용된 EPDM 시료의 FTIR 결과로부터 애관재질의 CH₂ 결합의 변화를 분석한 것이다. 일반적으로 폴리머재료가 열화된 경우 주 결합인 C-H 결합이 절단된다. 분석결과 4,000시간 동안의 가속열화에도 뚜렷한 감소경향을 보이지 않고 있으며, 측정시 시료의 상태와 주위환경에 의한 영향이 크게 나타나 경년에 따른 변화추세를 확인하기 어려운 상태였다. 하지만 전반적으로 약간의 감소 경향은 확인할 수 있었다. 그리고 내트래킹 억제제를 위해 첨가되는 ATH 성분을 분석한 결과 그림 13과 같이 열화에 따라 점차 증가하는 것으로 나타났다. 이는 사용시간 경과에 따라 내부의 충전재가 표면으로 이동하기 때문으로 생각된다.



〈그림 12〉 CH2 결합의 비교



〈그림 13〉 ATH 성분 비교

한편 현장에서 10년간 사용된 동일제작사 시료와 고장 시험장에서 4년간 자연열화된 시료의 분석결과로부터 복합열화시험의 가속효과를 추정하고자 하였다. 3,000시간 운전을 6년 정도의 현장운전에 해당하는 것으로 보고 자연열화시료 분석결과를 그림 12와 그림 13에 표기하면 가속열화 시료의 CH₂ 결합의 감소와 ATH 성분의 증가 경향과 부합하는 것으로 나타났다.

이로부터 복합가속열화시험은 현장 자연열화를 모의 가능한 방법이며, 3,000시간 시험으로 약 6년의 현장 설치를 모의 할 수 있음을 알 수 있었다.

2.3 현장 발취 시료 분석

현장에서 장기간 운전된 시료의 열화정도를 분석하기 위해 1994년 해안가에 설치되어 11년 6개월 정도 사용한 폴리머 현수애자 6개를 발취하였다. 발취된 폴리머애자는 초킹으로 하우징 표면에서 무기물이 많이 관찰되었으며, 표면 방전현상에 의해 일부 갯에서 침식이 진전되고 있었다. 또한, 금구와 접하고 있는 시스부분에서 침식 현상이 두드러지게 나타났으며, 일부 시료는 중간부분 시스에서도 침식이 진전되고 있었다. 그러나 코어의 노출이나 금구부의 수분유입 등과 같이 사용상 위험한 정도는 아니었다.

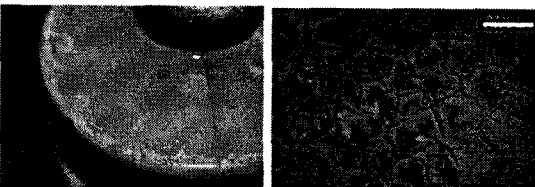
발취한 6개 시료에 대해 상용주파 건조심탁 전압을 측정할 결과 초기 기준치의 약 85% 정도의 심탁전압 값을 보였지만, 12년 정도 사용한 것을 감안하면 큰 감소는 아닌 것으로 판단된다.



〈그림 14〉 1994년 설치된 제품 열화현상

그러나 발취한 모든 시료에서 침식이 관찰되었고, 표면이 완전 벗겨진 상태로 나타난 것으로 볼 때 수명의 종기에 근접했음을 알 수 있다.

한편 1997년 현장에 설치된 폴리머 현수애자 12개를 발취하여 육안 관찰한 결과 10개의 시료에서 금구와 코어 부분에 많은 침식이 발견되었으며, 일부 애관표면에서 열화에 의한 손상흔적이 발견되었다.



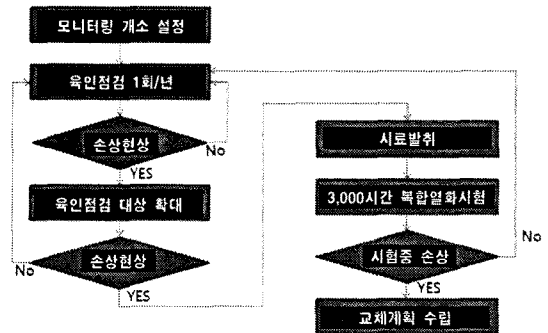
〈그림 15〉 1997년 설치된 제품의 열화현상

금구와 코어 부분에 침식이 일어난 애자에 대한 인장 실험을 실시한 결과 모두 9분 이상으로 나타났다. 이상의 결과들을 종합하면 10년 운전기간동안 비교적 양호한 특성을 유지하고 있는 것으로 보이지만 일부시료에서 열화현상이 관찰되고 발수성이 현저히 저하된 점을 고려할 때 지속적으로 열화상태를 추적관리할 필요가 있는 것으로 판단된다.

3. 결 론

국내에서 10년 이상 사용된 수입애자 및 국산애자를 발취하여 분석한 결과 일부 시료는 전기적 성능이 저하된 것으로 나타나 교체할 시기가 임박한 것으로 판단된다. 이 제품은 현재 13년간 현장에서 운전중이며 열화에 의한 고장사례는 보고된 바 없다. 특히 국산애자는 누설거리가 길기 때문에 약 15년 정도까지는 고장이 발생할 가능성이 낮은 것으로 판단된다. 그러나 일부 시료에서 열화 현상이 나타나고 발수성이 현저히 저하된 상태이므로 설치 15년 이후부터는 주기적인 점검을 통해 열화상태를 파악할 필요가 있는 것으로 판단된다.

그러나 현재까지의 해외 전력회사의 사용경험을 볼 때 20년 이상 사용에도 문제가 없는 것으로 나타남에 따라 15년 이후 최초 육안점검 대상 시료 선정은 최소화하여 운영한 후 열화상태에 따라 육안점검 대상을 확대하는 방법을 사용하는 것이 타당할 것으로 생각된다. 그러므로 최초 육안점검은 동일 제품이 설치된 해당 지역중에서 오손이 심한 장소 2~3경관에 설치된 애자를 대상으로 하며 이들 시료 중 손상 현상이 발견될 경우 육안 점검 대상을 해당 선로 전체로 확대하여 실시한 후 추가적인 손상이 발견되지 않을 경우 손상 시료만 교체한 후 계속 운전하며, 추가적인 손상 시료가 발견될 경우 해당 제품을 발취하여 가속열화시험 및 정밀분석을 실시하고 그 결과에 따라 교체여부를 결정하는 것이 적합할 것으로 생각된다. 단 현장에서 절거된 시료가 경년품임을 감안하여 복합가속열화시험 후 전기적 검증은 제외하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 또한 현재 육의 실증시험장에 설치된 시료의 주기적인 분석을 통해 특정 제품에서 열화가 발생하는 시점에 현장 설치 제품의 기별점검을 실시하는 방법도 병행함으로써 최소한의 비용으로 고장 전 교체를 시행할 수 있도록 해야 한다. 복합열화시험 중 시료에서 심각한 손상현상이 발견될 경우에는 해당 시료의 교체계획을 수립하며, 그 외의 경우에는 현장에서 계속 사용한다. 이것을 그림으로 나타내면 그림 16과 같다.



〈그림 16〉 폴리머애자 교체 알고리즘

〔참 고 문 헌〕

- [1] "Surface Analysis of Polymer Surge Arresters under Coastal Florida Condition", IEEE 2002 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 2002
- [2] "Accelerated Multistress Aging of Polymer Insulators under San Francisco Coastal Environment", IEEE CEIDP, 2001
- [3] IEC 507-1991 Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used on a.c. systems
- [4] IEC 587-1984 Test methods for evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used under severe ambient conditions
- [5] IEC 815-1986 Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions
- [6] "폴리머애자 경년열화실증연구", 전력산업연구개발 사업 최종 보고서, 2007
- [7] "배전용 폴리머애자의 신뢰성 평가 및 운영기준 제정", 한국전력공사 전력연구원, 2001