

폴리머 현수애자의 복합가속열화 평가기술

박효열, 강동필, 김익수, 신영준.
한국전기연구원

Multi-Stress Aging Test Technology for Suspension Polymer Insulator

Hoy-Yul Park, Dong-Pil Kang, Ik-Soo Kim, and Young-Jun Shin
KERI

Abstract

Recently polymer insulators are being used for outdoor high voltage applications. Polymer insulators have significant advantages over porcelain and glass insulators. With the gradual improvement of their design and material, their reliability has also increased. It is however difficult to establish how they will perform after several years of service. Aging of the insulator weathershed may lead to damages such as excessive chalking and crazing, erosion and tracking which affect the insulator performance. In service insulator are subjected to aging stresses such as humidity, pollution and electrical field which act singly or in combination. There have been numerous accelerated laboratory tests developed with the intention of evaluating suitability of polymeric materials. Some of these are strictly material tests, where as, others evaluate full scale devices. Service experience plays a key role in the utility selection of polymer insulator, but is time consuming, and may not always be available. Hence there is a need for a meaningful and reliable accelerated aging test for polymer insulator.

This paper describes multi-stress aging test for reliability of polymer insulator. This paper presents the rule of multi-stress aging test and test chamber for polymer insulator in Korea Electrotechnology Research Institute.

Key Words : multi-stress, aging, polymer insulator, reliability, environment

1. 서 론

폴리머 애자가 외부의 다양한 환경에 노출되면서 복합적인 열화현상을 나타낸다. 따라서 폴리머 애자를 평가하는 방식은 각각 나타나는 단독의 스트레스를 인가하여 평가하는 방법과 실제 폴리머 애자가 놓여 있는 환경을 모의하여 여러 가지의 스트레스를 복합적으로 인가하는 방법으로 나뉘어진다. 전자의 경우는 국제적인 평가규격이 이미 확립되어 폴리머 애자의 성능평가의 측도로 사용되어 지고 있다. 그러나 폴리머 애자가 운전되는 환경은 이러한 단독의 열화인자가 복합적으로 작용하므로 전자의 방법으로 장기신뢰성을 평가하기는 쉽지가 않다. 따라서 장기신뢰성 평가를 위하여 후

자에 의한 복합열화시험의 필요성은 매우 크지만 가속인자를 결정하기가 매우 어렵다. 국제적인 시험방법이 일반화되어 있지 않을 뿐만 아니라 각 나라마다 애자의 운전환경이 다르므로 적합한 평가기준을 개발할 필요성이 있다. 현재 알려져 있는 국제규격은 IEC 61109의 1000 시간 salt fog 시험과 5000 시간 복합열화시험이다. 1000 시간 salt fog 시험은 염무에 기인한 폴리머 애자의 트래킹 및 침식을 관찰하는 것으로서 운전환경의 다양한 열화인자를 모의한 것으로 보기는 어렵다. 5000 시간 복합열화시험의 경우 비교적 다양한 운전환경을 모의하였지만 각 나라, 지역마다 폴리머 애자의 운전환경이 다르므로 이 규정을 그대로 적용하기도 곤란하다.

폴리머 애자는 주변환경에 의하여 기계적, 전기

적, 화학적인 열화가 발생되는데 온도의 변화, 태양광에 의한 열과 자외선, 습도와 수분, 오염물, 지속적인 인장응력 및 전기적 스트레스 등이 주된 환경적 스트레스이다. 폴리머 애자의 장기신뢰성 평가를 위한 복합가속열화설비는 이러한 환경적 열화인자를 모두 고려하여야 할 필요가 있다.

폴리머 애자의 신뢰성 평가를 위하여 구축한 복합가속열화설비에서는 복합적인 환경도의 및 스트레스를 가하기 위하여 온도와 습도를 조절할 수 있고, 자외선, 인공강우, 염무, 인장하중 및 전압 등의 스트레스를 가할 수 있도록 구성하였다. 실제의 환경과 유사하게 하기 위하여 복합열화인자 중 온도, 습도, 자외선, 인공강우, 염수 등은 변화를 주어가며 주기적으로 인가할 수 있도록 하고 인장하중과 전압은 동일하게 항상 인가할 수 있도록 하였다. 시간에 따른 열화과정을 관찰하기 위하여 누설전류를 연속적으로 측정할 수 있는 누설전류측정시스템을 설치하였다. 복합가속열화설비의 내부 용적은 24.6 m³이고 8 개의 폴리머 애자를 수직배치하여 각각 10 톤의 인장하중을 가할 수 있도록 하였다.

2. 본 론

옥외에서 사용되는 폴리머 애자는 다양한 환경적 요인에 의하여 복합적으로 열화된다. 따라서 장기신뢰성을 평가하기 위해서는 복합적인 스트레스를 인가하여 평가하는 복합가속열화시험법과 복합가속열화시험설비를 구축하는 것이 필요하다.

2.1 복합가속열화설비

설비의 구성은 폴리머 애자를 설치하여 시험하는 챔버, 온도, 습도, 자외선, 인공강우, 염무, 인장하중, 전압 등의 가속열화인자 발생장치, 누설전류 측정시스템, 시스템의 가동에 따른 데이터 저장 및 분석 시스템(data acquisition system)으로 되어 있다.

2.1.1 챔버

챔버는 내부가 가로 4.1 m, 세로 2.4 m, 높이 2.5 m로 되어 내부용적이 24.6 m³이다. 시료 8 개를 수직방향으로 동시에 시험할 수 있도록 바닥면에는 자기제 지지애자를 설치하여 절연을 유지하였고 상부에서 인장하중을 가할 수 있도록 설계를

하였다. 챔버의 내부벽면은 단열과 염수에 의한 부식을 방지하기 위하여 우레탄 바닥면 위에 PET 판을 깔고 테플론을 코팅하였다. 측정할 시료는 4 개씩 2 열로 배치하고 열 사이의 간격은 0.8 m로 하였다. 4 개의 시료간의 간격은 0.5 m로 하고 4 개의 시료에 동시에 전압이 인가되도록 도체를 설치하여 총 8 개의 애자에 2 개의 직선 도체를 설치하였다. 이 때 도체와 벽면과의 거리는 0.8 m이다. 과열에 기인한 공기의 팽창에 의한 폭발을 방지하기 위하여 상부에 댐퍼(damper)를 설치하였다.

2.1.2 가속열화인자

1) 온도

- 조절범위 : -50~120 °C
- 온도 균일도 : ±2 °C 이하
- 상온에서 120 °C까지 도달속도 : 90분 이내
- 상온에서 60 °C까지 도달속도 : 15분 이내
- 상온에서 -50 °C까지 도달속도 : 90분 이내
- 상온에서 -10 °C까지 도달속도 : 15분 이내
- 60 °C에서 상온까지 도달속도 : 20분 이내
- 챔버 내 온도센서 4 개 설치
- 과열방지 : 130 °C에서 shut down

2) 습도

- 조절범위 : 25~100 %RH
- 95 %RH까지 도달속도(상온) : 15분 이내
- 98 %RH까지 도달속도(상온) : 25분 이내
- 챔버 내 습도센서 3개 설치

3) 주수

- 이온교환수지 방식에 의한 탈이온수 제조
- 전도도 : 5 μS/cm 이하의 탈이온수
- 노즐은 챔버의 벽면에 설치
- 시료마다 3 개의 노즐

(노즐의 수직간격 : 200 mm)

- 노즐의 크기 및 형태 : IEEE Std 4

4) Salt Fog

- 노즐은 챔버의 천정에 4 개 설치
- salt fog가 애자에 직접분무되지 않아야 함 : 시료 사이에 설치되고 0.8 m 떨어짐
- salt fog의 직경 : 5~10 μm
- salt fog의 양 : 0.4 liter/m³h (9.84 liter/h) ±50 %
- 전도도 : 4000 μS/cm

5) 자외선

- UV램프 : UV - B type(파장 : 280~315 nm)
- 시료 2 개당 9 개의 램프 설치(10W/m²)
- 총 36개의 램프 설치

6) 인장하중

- 각 시료마다 최대 10,000 kgf의 하중 인가 (최대 총 80,000 kgf)
- 일정하중 인가
- pin-type grip에 의한 시료 부착

7) 전원

- 정격출력전압 : 50 kV
- 정격출력용량 : 150 kVA

2.1.3 누설전류측정시스템

- 시료에 흐르는 누설전류를 data acquisition system을 통하여 측정 및 분석
- 누설전류 pulse counter, 축적 전하량, 최대 최소 전류 pulse 측정
- 실시간 display와 자료를 저장하여 분석
- sampling rate : 1000 Hz

2.1.4 Data Aquisition System

- 실험 사이클 수립
- 실험장비 가동 및 모니터링
- 데이터 저장 및 분석

2.2 복합가속열화시험

폴리머 애자의 장기신뢰성을 평가하는 시험방법은 다양하지만 복합가속열화방법이 가장 적절한 것으로 평가되고 있다. 규격화 된 국제규격이 있지만 각국의 폴리머 애자의 운전환경이 다르므로 모두 각국의 운전환경을 모의한 복합가속열화시험방법을 고안하고 있다. 가속열화시험에서는 열화인자를 선정하는 방법, 그리고 열화인자를 인가하는 주기를 결정하는 방법이 매우 중요하다.

2.2.1 시험방법

폴리머 애자의 주 고장모드는 오손 등의 환경적 스트레스에 의한 외피 절연물의 고장이 대부분을 차지한다. 복합가속열화시험방법은 이러한 각종 기후나 운전환경을 모의하여 특성을 평가하는 시험으로, 국내외의 시험방법 및 열화주기에 대한 조사를 통하여 열화시험주기 등을 선정하였다.

우리나라의 기후패턴에 따라서 고장형태가 여름보다 겨울에 오손에 의해 많이 발생하고 있다. 여름의 특징은 일조량이 많고 온도와 습도가 높고 비가 많이 온다. 비가 많이 오는 여름에는 오손물이 비에 쉽게 씻겨 내려가므로 애자의 오손사고는 겨울에 비하여 상대적으로 적게 나타난다. 겨울에

는 여름과는 반대의 현상이 나타나고 있다. 따라서 가속열화시험의 주기도 비가 많이 오는 여름주기와 비가 적게 오는 겨울주기로 나누어 반복하여 시험하는 패턴이 적절한 것으로 생각된다.

실제의 기후조건과 운전환경을 대표하도록 여름주기와 겨울주기로 구분하여 열화시험을 실시하는 EPRI/FPL의 시험법을 기본으로하여 국내환경에 맞도록 적용하여 복합가속열화시험법을 결정하였다.

이러한 결과로부터 여름주기 10일, 겨울주기 11일의 순서에 의한 열화시험을 결정하였다. 여름주기는 인공비, 자외선, 온난한 온도로 구성되어 있으며 겨울주기는 오손물, 적은 양의 비, 자외선, 차가운 온도로 구성된다.

2.2.2 복합가속열화 시험주기

- 여름주기 10일, 겨울주기 11일의 순서를 반복하여 3,000시간 연속실험

(여름철)

Salt fog										
주수										
온습도/자외선										
전압										
인장하중										
시간(hours)		1	2	3	4	5				
여름주기										

(겨울철)

Salt fog										
주수										
온습도/자외선										
전압										
인장하중										
시간(hours)		1	2	3	4	5				
겨울주기										

2.2.3 인자별 스트레스 레벨

- 1) 온도
 - 여름주기 : 50±2 ℃
 - 겨울주기 : 5±2 ℃

- 2) 습도
 - 여름주기 : 95 %RH 이상
 - 겨울주기 : 50 %RH 이상
- 3) 주수
 - 전도도 : 50 μ S/cm 이하
 - 주수량 : 2~3 mm/min
- 4) Salt Fog
 - 전도도 : 4,000 μ S/cm \pm 5 %
 - salt fog의 양 : (0.4 \pm 0.1) liter/m³h
- 5) 자외선
 - UV램프 : UV - B 램프(파장 : 280~315 nm)
 - 10W/m²
- 6) 인장하중
 - 규정인장하중의 33% 인가 : 24.1 kN \pm 5 %
- 7) 전압
 - 대기간 최고전압 : 14.9 kV \pm 10 %

2.2.4 시험평가방법

- 1) 평가방법
 - 시험 중에 섬락이 발생되지 않을 것
 - 트래킹이 발생되지 않을 것
 - 침식에 의해 코아가 드러나지 않을 것
 - 날개에서 관통이 발생되지 않을 것
- 2) 전기적 검증시험

모든 시험시료에 대하여 다음의 조건을 만족하여야 함

 - 상용주파전조섬락전압시험
: 정격전조섬락전압치의 95 % 이상
 - 상용주파주수섬락전압시험
: 정격주수섬락전압치의 80 % 이상
 - 뇌충격섬락전압시험
: 정격뇌충격섬락전압치의 92 % 이상

3. 결 론

폴리머 애자의 장기신뢰성평가를 위하여 국내외의 복합가속열화설비 및 복합가속열화방법을 분석하여 복합가속열화설비를 구축하고 복합가속열화방법을 결정하였다.

폴리머 애자의 복합가속열화의 시험 및 평가방법은 국가 및 운용회사마다 다르므로 본 방법에 의한 평가결과를 바탕으로 더욱 더 국내의 환경에 적합한 방법을 만들어 나가야 할 것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] Ravi S. Gorur, B. S. Bernstein, "Field and Laboratory Aging of Polymeric Cable Terminations: Part 1 - Field Aging", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 13, No. 2, pp. 316-322, 1998.
- [2] Ravi S. Gorur, B. S. Bernstein, "Field and Laboratory Aging of Polymeric Cable Terminations: Part 2 - Laboratory Aging", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 13, No. 2, pp. 323-329, 1998.
- [3] S. M. de Oliveira et al., "Aging of Distribution Composite Insulators under Environmental and Electrical Stresses", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 5, No. 2, pp. 1074-1077, 1990.
- [4] R. Gorur, E. Cherney and R. Hackam, "Polymeric Cable Terminations Under Accelerated Aging in a Fog Chamber", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 2, pp. 842-849, 1989.
- [5] ASTM G 53 Standard Practice for Operating Light-and Water-Exposure Apparatus (Fluorescent UV Condensation Type) for Exposure of Nonmetallic Materials
- [6] CEA LWIWG-01 Dead-end/Suspension on Composite Insulator for Overhead Distribution Line
- [7] IEC 61109 Composite Insulators for a.c. Overhead Line with a Nominal Voltage Greater than 1000V - Definition, Test Methods and Acceptance Criteria