

## 배전급 폴리머 현수애자의 신뢰성 평가기술

박효열, 강동필, 김익수, 신영준  
한국전기연구원

### Technology of Reliability Evaluation for Suspension Composite Insulator in the Overhead Distribution Lines

Park Hoy Yul, Kang Dong Pil, Kim Ik Soo, Shin Young Jun  
Korea Electrotechnology Research Institute

**Abstract** - 폴리머 애자는 여러 가지의 외부환경에 의하여 시간의 경과에 따라서 재료의 열화가 진행된다. 폴리머 애자를 평가하는 방법으로 기계적 특성, 전기적 특성, 환경적 특성 등의 평가방법이 있으나 각각의 특성평가에 있어서 국제, 국가 및 단체에 따라서 서로 다르다. 신뢰성 평가기준도 서로 달라 국내 실정에 맞는 폴리머 애자의 신뢰성 향상에 어려움이 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 폴리머 애자의 신뢰성 평가기준을 표준화할 필요성이 있다.

본 원고에서는 특고압 가공배전선로에 사용하는 폴리머 현수애자의 신뢰성 평가기준에 대하여 설명하였다. 장기신뢰성 평가를 위하여 다양한 외부환경을 모의하여 복합적인 스트레스를 가할 수 있는 복합가속열화설비에 대하여 설명하고 복합가속열화시험법을 결정하였다.

#### 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 나누어 진다. 폴리머 애자의 잠재적 고장형태와 그 영향을 분석해 보면 고장발생의 요인으로 자외선 및 오존, 수분침투, 고온과 저온 및 온도변화, 기계적 스트레스, 전기적 스트레스, 강우, 오손 등의 환경적 스트레스가 있다. 자외선 흡수 및 오존은 폴리머 구조의 기계적, 화학적 열화를 초래하여 유전특성 및 weathering 특성에 영향을 미친다. 수분침투 및 온도변화는 폴리머 애자가 구성되어 있는 코아/갓, 코아/금구 등의 계면에 작용하여 기계적, 전기적 성질을 저하시킬 수 있다. 그 외에도 기계적 스트레스에는 애자가 운전중에 항상 받게되는 인장하중과 비틀림하중이 있다. 애자가 운전중에 항상 받는 상용주파전압뿐만 아니라 뇌격 등에 의한 이상전압에 의한 전기적 스트레스에 의하여 고장이 유발될 수 있다. 환경적 스트레스는 애자가 운전중에 항상 받게 되는 전기적 스트레스인 상용주파전압과 기계적 스트레스인 인장하중 상태하에서 애자표면이 오손, 강우, 온도변화, 자외선 등의 영향을 받는 것이다.

폴리머 애자의 신뢰성 평가를 위하여 구축한 복합가속열화설비의 내부 용적은 24.6 m<sup>3</sup>이다. 가속열화인자로서는 온도 및 습도, 자외선, 인공강우, 염무, 인장하중, 전압 등의 스트레스이다. 8 개의 폴리머 애자를 수직배치하여 각각 10 톤의 인장하중을 가할 수 있도록 하였다. 실험 중 시간의 경과에 따른 각각의 애자의 누설전류의 변화를 측정할 수 있는 누설전류측정시스템을 설치하였다.

폴리머 애자는 기존의 자기계 애자에 비하여 경량이면서 오손특성이 우수하여 사용량이 증가하고 있다. 그러나 옥외에서 운전되는 폴리머 애자는 태양광뿐만 아니라 코로나 및 아크에 노출되고 또한 수분이 침투되어 신뢰

성을 저하시킬 우려가 있다. 따라서 옥외환경에 사용되는 폴리머 애자의 장기 내구성 평가 및 경년열화평가를 위하여 신뢰성 평가기준이 마련되었다. 신뢰성 평가를 통하여 폴리머 애자의 성능, 수명, 안전신뢰성을 평가하고 그 결과를 바탕으로 폴리머 애자의 신뢰성을 향상시키고자 한다.

#### 2. 본 론

옥외에서 사용되는 폴리머 애자는 다양한 환경적 요인에 의하여 복합적으로 열화된다. 본 규격에서는 대체적으로 단독의 스트레스가 가해지는 시험을 성능평가시험으로 규정하고, 장기신뢰성을 평가하기 위하여 복합적인 스트레스가 가해지는 시험을 신뢰성 평가시험으로 규정하였다.

##### 2.1 성능평가시험

###### 2.1.1 외관검사

###### 2.1.2 구조검사

###### 2.1.3 인장내하중시험

###### 2.1.4 기계적 하중-시간(Load-Time) 시험

###### 2.1.5 비틀림 내하중시험

###### 2.1.6 인장파괴하중시험

###### 2.1.7 전파장해전압시험

###### 2.1.8 상용주파전조섬락전압시험

###### 2.1.9 상용주파주수섬락전압시험

###### 2.1.10 뇌충격섬락전압시험(정, 부)

###### 2.1.11 X-선 투과시험

###### 2.1.12 접착력 시험

###### 2.1.13 수분침투시험

###### 2.1.14 염색염착시험

###### 2.1.15 수분확산시험(Water diffusion test)

###### 2.1.16 내 아크(Arc)시험

###### 2.1.17 난연성 시험

2.1.18 내후성 시험

(겨울철)

2.1.19 도금시험

2.1.20 경년변화시험

2.2 신뢰성 평가시험

옥외에서 사용되는 폴리머 애자는 다양한 환경적 요인에 의하여 복합적으로 열화된다. 장기신뢰성을 평가하기 위해서 스트레스가 복합적으로 작용하는 복합가속열화시험과 내트래킹시험으로 구성되어 있다.

2.2.1 복합가속열화시험

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. 겨울에는 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 적용, 연구한 한국전력공사의 시험법을 참조하여 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.

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

- 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										

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

1) 인자별 스트레스 레벨

- a) 온도
  - 여름주기 : 50±2 ℃
  - 겨울주기 : 5±2 ℃
- b) 습도
  - 여름주기 : 95 %RH 이상
  - 겨울주기 : 50 %RH 이상
- c) 주수
  - 전도도 : 50 μS/cm 이하
  - 주수량 : 2~3 mm/min
- d) Salt Fog
  - 전도도 : 4,000 μS/cm ±5 %
  - salt fog의 양 : (0.4±0.1) liter/m<sup>3</sup>h
- e) 자외선
  - UV램프 : UV - B 램프(파장 : 280~315 nm)
  - 10W/m<sup>2</sup>
- f) 인장하중
  - 규정인장하중의 33% 인가 : 24.1 kN ±5 %
- g) 전압
  - 대지간 최고전압 : 14.9 kV±10 %

2) 시험평가방법

- a) 평가방법
  - 시험 중에 섬락으로 인한 전원의 트립이 없을 것
  - 트래킹이 발생되지 않을 것
  - 침식에 의해 코아가 드러나지 않을 것
  - 날개에서 관통이 발생되지 않을 것
- b) 전기적 검증시험
  - 모든 시험시료에 대하여 다음의 조건을 만족하여야 함
  - 상용주파권조섬락전압시험 : 정격권조섬락전압치의 95 % 이상
  - 상용주파주수섬락전압시험 : 정격주수섬락전압치의 80 % 이상
  - 뇌충격섬락전압시험 : 정격뇌충격섬락전압치의 92 % 이상

2.2.2 내트래킹시험

4개의 시료에 대하여 시험하며 시험방법과 시험항목은 CEA LWIWG의 5.6(Tracking and erosion test)에 의하며 시험방법은 각각의 애자에 연속적으로 전압을 인가하는 method 1 및 수직으로 위치되는 1개의 애자에만 전압을 인가하는 method 2로 구분되어 있다.

- 육안평가
  - 트래킹이 없을 것
  - 코아에 침식이 없을 것
  - 몸체에 관통파괴가 없을 것
- 급준파전압시험 : 애자 각각에 10 회의 정, 부극성의 임펄스(1,000 kV/μs)를 가하여 외부섬락을 발생시킨 : 관통파괴가 발생되지 않아야 함
- 권조섬락전압시험 : 시험 후의 평균섬락전압치가 시험 전의 평균섬락전압치의 90 % 이상이어야 함
- 평균섬락전압치의 80 %를 30 분 동안 인가 : 관통파괴가 발생되지 않아야 함

시험 직후 shank의 온도가 대기의 온도보다  
20 ℃ 이상 높지 않아야 함

[참 고 문 헌]

### 3. 결 론

본 신뢰성 평가기준은 폴리머 현수애자의 신뢰성 향상을 위하여 제정되었다. 각국의 규격을 분석하고 그 동안의 연구 결과를 바탕으로 국내의 환경에 맞는 신뢰성 평가기준을 제정하였다.

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

폴리머 현수애자의 장기 신뢰성 평가방법은 매우 다양하다. 본 신뢰성 평가기준에 의한 신뢰성평가 결과를 이용하여 폴리머 애자의 신뢰성을 평가할 수 있는 가장 적절한 평가방법을 구상하여야 할 것으로 생각된다. 이와 함께 신뢰성 평가가 폴리머 애자의 장기 신뢰성을 향상시키는 데 기여할 수 있도록 신뢰성 평가기법을 향상시켜 나가야 할 것으로 생각된다

- [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] KS D 3503 일반구조용 압연강재
- [6] KS D 4303 흑심 가단 주철품
- [7] KS D 8309 용융 알루미늄 도금
- [8] ES 111-511~516 스프리트핀
- [9] ES 131-600~601 배전선로용 폴리머 현수애자
- [10] ANSI C 29.1 Test methods of electrical power insulators
- [11] ANSI C 29.2 Wet process porcelain and toughened glass-suspension type
- [12] ANSI C 29.11 Composite suspension insulators for overhead transmission line
- [13] ASTM D 2565 Standard practice for xenon-arc exposure of plastics intended for outdoor applications
- [14] ASTM G 26 Standard practice for operating light-exposure apparatus (xenon-arc type) with and without water for exposure of nonmetallic materials
- [15] ASTM G 53 Standard practice for operating light-and water-exposure apparatus (fluorescent UV condensation type) for exposure of nonmetallic materials
- [16] CEA LWIWG-01 Dead-end/suspension on composite insulator for overhead distribution line
- [17] IEC 61109 Composite insulators for a.c overhead line with a nominal voltage greater than 1000V - definition, test methods and acceptance criteria
- [18] IEC 60707 Flammability of solid non-metallic materials when exposed to flame sources