

## 복합 애자류의 수분침투시험평가기술에 대한 고찰

김근용  
한국전기연구원

### Study on tests on interfaces and connection of end fitting of composite insulators

Geun-yong Kim  
Korea Electrotechnology Research Institute

**Abstract** - 송전선이나 전기기기의 나선(裸線)부분을 절연하고 동시에 기계적으로 유지 또는 지지하기 위한 절연체와 이것과 일체로 조립된 금속류로 구성된 절연지지물인 애자는 전기적으로 충분한 절연내력을 가지게 하기 위하여 다수의 주름을 만들어 표면에 따른 거리를 크게 한다. 이는 표면이 습하였을 때, 염분이나 먼지 등이 부착하였을 때 절연내력이 저하되는 것을 방지하는 데 효과가 있다. 그리고 재질별(세라믹, 유리, 합성수지 등), 모양별(원판형, 원주형, 중공, 갓형 등), 용도별(전차선로용, 발전소 또는 변전소용, 통신 선로용 등) 및 사용방법(현수용, 내장용, 인류용, 고정용 등)에 따라 다양하게 분류된다.

본 논문에서는 복합 애자류(composite insulators)의 여러 가지 성능평가 시험방법 중에서 복합 애자의 여러 계면과 연결 금구의 접속부(interfaces and connections of end fittings)에 대한 이상 유무를 확인하는 시험인 수분침투시험평가기술에 대해 고찰하였다.

#### 1. 서 론

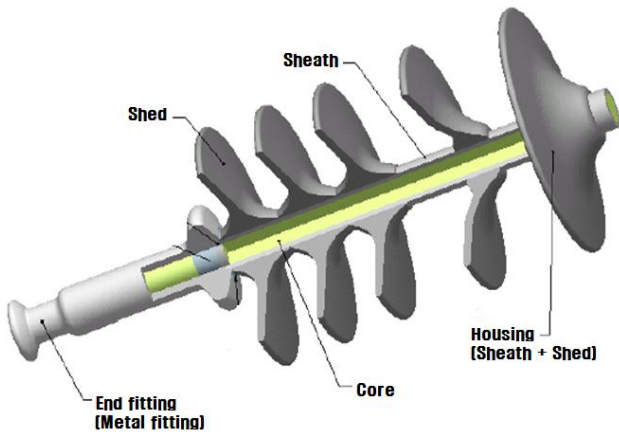
본 논문에서 다루질 공칭전압 1 000 V를 초과하는 가공선로 위나 옥내 및 옥외 전기기기에 사용되는 폴리머 애자(polymeric insulators) 관련 용어에 대해 정의하고자 한다.

◎ 폴리머 애자(polymeric insulator)

: 적어도 하나의 유기물을 기반으로 한 재료로 이루어진 절연 물체를 가진 애자, 폴리머 애자는 비세라믹 애자(non-ceramic insulators)로도 알려져 있다.

◎ 복합 애자(composite insulator)

: 적어도 2개의 절연부, 즉 코어와 금속 금구가 장착된 하우징으로 이루어진 애자



<그림 1> 복합 애자의 구성

◎ 수지 애자(resin insulator)

: 오직 하나의 유기물을 기반으로 한 하우징 재료로 이루어진 절연 물체를 가진 애자, 예를 들면, 에폭시 애자

◎ 연결 금구(end fitting)

: 지지 구조물, 도체, 기기의 한 부분 또는 다른 애자에 연결하기 위한 애자의 일부분 또는 일체형 부품으로 연결 금구의 재질이 금속인 경우에는 금속 금구(metal fitting)라는 용어가 일반적으로 사용된다.

◎ 계면(interfaces)

: 서로 다른 재질 사이의 경계면  
대부분의 복합 애자에는 다양한 계면이 존재한다. 예를 들면,  
- 하우징(housing)과 고정 장치(fixing device) 사이

- 세트(shed) 사이 또는 세트와 시스(sheath) 사이
- 코어(core)와 하우징 사이

◎ 접속 개소(connection zone)

: 기계적인 하중이 절연 몸체와 연결 금구 사이에 전달되는 개소

#### 2. 본 론

##### 2.1 유럽 표준규격에 따른 수분침투시험평가기술

1) 상용주과건조섬락전압시험

시험 대상품 또는 별도의 시험품(이하, 기준 시험품)에 대하여 IEC 60060-1 표준에 따라 상용주과건조섬락전압시험을 실시한 후 표준대기 조건에서의 전압값(이하, 기준 전압값)으로 보정한다.

2) 예비 스트레시시험(Product specific pre-stressing)

관련 제품 표준에 따라 예비 스트레시시험(예를 들면, 경년변화시험)이 실시되어야 한다.

3) 침수시험(Water immersion pre-stressing)

0.1 %의 NaCl이 함유된 끓는 물에 시험 대상품을 넣고 42 h 동안 방치한다.

4) 확인시험 (침수시험 후 48 h 이내에 확인시험을 완료해야 한다.)

① 육안검사 : 외관상 균열 등이 없어야 한다.

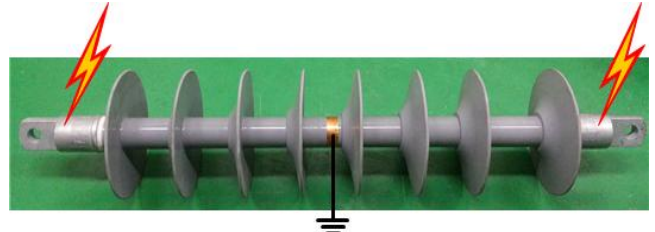
② 급준파임펄스전압시험

- 연결 금구사이의 거리가 500 mm 이하인 경우에는 시험전압을 애자 원래의 금속 금구사이에 인가한다.



<그림 2> 섬락거리가 500 mm 이하인 시험품

- 500 mm를 초과하는 경우에는 날카로운 전극(대략 폭이 20 mm, 두께가 1 mm 미만인 구리 클립)을 대략 동일한 시험구간이 형성되도록 전체 구간을 균등하게 분할하여 부착한 후 여기에 시험전압을 각각 인가한다. 이때 전극사이의 거리는 500 mm 이하가 되도록 한다.



<그림 3> 섬락거리가 500 mm를 초과하는 시험품

- 시험전압은 정·부극성 각각 25회 인가되어야 하고, 임펄스전압 인가 시에는 전극 사이에서 외부 섬락(external flashover)이 발생해야 하며, 이때 준도(steeptness)는 1 000 kV/μs 이상이 되어야 한다.

- 시험 후 애자의 어떠한 부분에서도 관통과파(puncture)가 일어나서는 안된다.

- ③ 상용주파전압시험 및 온도확인시험
  - 상용주파건조섬락전압시험 전 시험 대상품의 몸체 온도(이하, 기준 온도)를 측정한다.
  - 시험 대상품에 대해 IEC 60060-1 표준에 따라 상용주파건조섬락전압시험을 실시한다.
  - 이때의 시험 결과값은 1)항에서 결정된 기준 전압값의 90 % 이상이 되어야 한다.
  - 계속해서, 시험 대상품 및 기준 시험품(적용 가능한 경우)에 기준 전압값의 80 %의 상용주파전압을 30 min 동안 인가한다.
  - 시험 후 애자의 어떠한 부분에서도 관통과피(puncture)가 일어나서는 안된다.
  - 상용주파전압시험 직후 시험 대상품 및 기준 시험품(적용 가능한 경우)의 세트 사이의 하우징 온도를 3군데 측정한다.
  - 시험 대상품의 세트 사이 하우징의 최대 온도상승은 기준 시험품의 온도와 비교했을 때 10 K 미만이어야 한다.
  - 기준 시험품을 사용하지 않은 경우, 시험 대상품의 최대 온도상승은 상용주파전압시험 전 측정된 기준 온도와 비교했을 때 20 K 미만이어야 한다.

## 2.2 미국 표준규격에 따른 수분침투시험평가기술

- 1) 상용주파건조섬락전압시험
 

3개의 시험품에 대해 IEEE 4 표준에 따라 상용주파건조섬락전압시험을 실시한 후 표준 대기조건에서의 전압값으로 보정한다.
- 2) 급하중 해제시험(Sudden Load Release Test)
 

ANSI C29.11:2012 표준의 7.1.3항에 따라 시험한다.
- 3) 열적 기계적 시험(Thermal Mechanical Test)
 

ANSI C29.11:2012 표준의 7.1.4항에 따라 시험한다.
- 4) 침수시험(Water Penetration Test)
 

끓는 수돗물(tap water)에 시험품을 넣고 42 h 동안 방치한다.
- 5) 확인시험 (침수시험 후 48 h 이내에 확인시험을 완료해야 한다.)
  - ① 육안검사 : 외관상 균열 등이 없어야 한다.
  - ② 급준파임펄스전압시험
    - 시험품의 세트 사이 하우징에 날카로운 전극(대략 폭이 20 mm, 두께가 1 mm 미만인 구리 클립)을 대략 동일한 시험 구간이 형성되도록 부착한다. 시험품의 절연 길이(insulating length)가 500 mm 이하인 경우에는 이러한 전극이 필요 없으며 시험전압을 연결 급구 사이에 인가한다.
    - 시험전압은 정·부극성 각각 25회 인가되어야 하고, 임펄스전압 인가 시 시험 구간에서 외부 섬락이 발생해야 하며, 이때 준도(front steepness)는 1 000 kV/μs 이상이 되어야 한다.
    - 시험 후 애자의 어떠한 부분에서도 관통과피(puncture)가 일어나서는 안된다.
    - 시험 완료 후에는 부착했던 전극을 제거한다.
- ③ 상용주파전압시험 및 온도확인시험
  - IEEE 4 표준에 따라 상용주파건조섬락전압시험을 한 번 더 실시한다.
  - 이때의 시험 결과값은 1)항에서 결정된 값의 90 % 이상이 되어야 한다.
  - 계속해서, 1)항에서 결정된 값의 80 %의 상용주파전압을 30 min 동안 인가한다.
  - 시험 후 애자의 어떠한 부분에서도 관통과피(puncture)가 일어나서는 안된다.
  - 상용주파전압시험 직후 측정된 애자 몸체의 온도 상승은 주위 온도에 비해 20 K 이하이어야 한다.

## 2.3 캐나다 표준규격에 따른 수분침투시험평가기술

- 1) 상용주파건조섬락전압시험 및 온도측정
  - ① 상용주파건조섬락전압시험 : 3개의 시험 대상품이 아닌 별도의 시험품에 대해 IEEE 4 표준에 따라 상용주파건조섬락 전압시험을 실시한 후 표준 대기조건에서의 전압값으로 보정한다.
  - ② 온도측정 : Shore A 경도계로 각 시험 대상품의 세트 2개에 대한 경도를 측정한다. 침수시험 후 측정된 값은 침수시험 전의 값보다 20 % 이상 변하지 않아야 한다.
- 2) 침수시험
 

0.1 %의 NaCl이 함유된 물에 시험 대상품을 넣고 100 h 동안 끓임 시험을 실시한다.
- 3) 확인시험 (침수시험 후 48 h 이내에 확인시험을 완료해야 한다.)
  - ① 육안검사 : 외관상 균열 등이 없어야 한다.
  - ② 온도측정 : Shore A 경도계로 각 시험 대상품의 세트 2개에 대한 경도를 측정한다. 침수시험 후 측정된 값은 침수시험 전의 값보다 20 % 이상 변하지 않아야 한다.
  - ③ 급준파임펄스전압시험
    - 시험전압은 정·부극성 각각 10회 인가되어야 하고, 임펄스전압 인가 시 외부 섬락이 발생해야 하며, 이때 준도는 1 000 kV/μs 이상이 되어야 한다.

- 시험 후 애자의 어떠한 부분에서도 관통과피(puncture)가 일어나서는 안된다.
- ④ 상용주파전압시험 및 온도확인시험
  - IEEE 4 표준에 따라 시험 대상품에 대해 상용주파건조섬락전압시험을 실시한다.
  - 이때의 시험 결과값은 1)항에서 결정된 별도 시험품에 대한 결과값의 90 % 이상이 되어야 한다.
  - 계속해서, 시험 대상품에 1)항에서 결정된 값의 80 %의 상용주파전압을 30 min 동안 인가한다.
  - 시험 후 애자의 어떠한 부분에서도 관통과피(puncture)가 일어나서는 안된다.
  - 상용주파전압시험 직후 측정된 애자(시험 대상품) 몸체의 온도 상승은 주위 온도에 비해 20 K 이하이어야 한다.

## 2.4 시험품 선정

- 1) 유럽 표준규격에 의거 시험 대상품 외에 별도의 기준 시험품을 사용하는 이유는 확인 시험 시 시험 대상품의 상용주파건조섬락전압 시험결과값과 측정 온도값을 기준 시험품의 값과 비교하기 위함이다. 따라서 기준 시험품에 대해서는 예비 스트레스시험, 침수시험, 급준파임펄스전압시험을 실시하지 않는다.
- 2) 미국 표준규격을 적용하여 시험하는 경우에는 별도의 시험품이 필요 없다.
- 3) 캐나다 표준규격을 적용하는 경우에는 반드시 별도의 시험품으로 상용주파건조섬락전압시험(사전시험)을 실시하고 이 결과값과 확인 시험 시 시험 대상품의 상용주파건조섬락전압시험결과값을 비교하도록 한다. 그리고 별도의 시험품에 대해서는 침수시험, 온도측정, 급준파임펄스전압시험을 실시하지 않는다.

## 3. 결 론

<표 1> 표준규격별 수분침투시험평가기술 비교

적용 표준	시험절차		
	사전시험	침수시험	확인시험
유럽	상용주파건조섬락전압시험 (시험 대상품 또는 기준 시험품)	0.1 %의 NaCl 함유된 끓는 물 42 h 방치	① 육안검사 ② 급준파임펄스전압시험 : 25회 ③ 상용주파전압시험 - 섬락전압시험 : 기준 전압값의 90 % 이상 - 내전압시험 : 80 % 전압, 30분 ④ 온도확인시험 - 기준 온도(시험 대상품)와 비교 시 : 20 K 미만일 것 - 기준 시험품과 비교 시 : 10 K 미만일 것
미국	상용주파건조섬락전압시험	끓는 수돗물 (tap water) 42 h 방치	① 육안검사 ② 급준파임펄스전압시험 : 25회 ③ 상용주파전압시험 - 섬락전압시험 : 사전시험 결과값의 90 % 이상 - 내전압시험 : 80 % 전압, 30분 ④ 온도확인시험 - 주위 온도에 비해 20 K 이하
캐나다	상용주파건조섬락전압시험 (별도 시험품) 온도측정 (시험 대상품)	0.1 %의 NaCl 함유된 물에서 100 h 끓임시험 실시	① 육안검사 ② 온도측정 : 변화율 20 % 미만 ③ 급준파임펄스전압시험 : 10회 ④ 상용주파전압시험 - 섬락전압시험 : 별도시험품 결과값의 90 % 이상 - 내전압시험 : 80 % 전압, 30분 ⑤ 온도확인시험 - 주위 온도에 비해 20 K 이하

## [참 고 문 헌]

- [1] IEC(International Electrotechnical Commission), "62217, Polymeric HV insulators for indoor and outdoor use - General definitions, test methods and acceptance criteria", Second edition, 2012-09
- [2] ANSI(American National Standard), "C29.11, Composite Insulators-Test Methods", 2012
- [3] CEA(Canadian Electricity Association), "LWIWG-01, Dead-end/Suspension Composite Insulator for Overhead Distribution Lines", 1996