

신소재를 적용한 배전용 폴리머 현수예자의 평가 기술

소진중, 김인성  
한국전기연구원

Dead-end/Suspension Composite Insulator for Overhead Distribution Lines

Jin Joong Soh, In Sung Kim  
KERI

**Abstract** - Recently polymer composite materials has been replacing the porcelain in suspension insulators as a insulating material. The polymer composite materials are introduced into Korea from the abroad, so there is, actually, no formal standard of assessment. Both the porcelain insulator specifications and composite material test specifications are being used at the same time.

The aim of this project is to establish a systematic standard suitable to current situations considering the trends of its production within Korea. This would protect the inner-markets against the market-opening and would promote the industrial development within a country.

1. 적용범위

이 규격은 25 kV 전압까지 사용되는 급수가 부착된 코어, 하우징 및 웨드가 있는 배전 선로용 폴리머 인류/현수예자(이하 애자라 한다)에 대하여 적용한다.

2. 시험항목

시험항목에는 구조 및 외관검사, 재료시험, 전기적시험, 기계적시험 및 도금시험으로 크게 분류한다. 여기에서는 재료에 관련된 시험인 수분침투, 축진내후성, 염료침투, 수분확산, 파워아크, 트래킹 및 침식, 인장하중, 장시간 내하중, 비틀림 내하중, 열적·기계적, 내연성, 접착력, 도금시험에 대하여 논하고자 한다.

3. 시험방법

3.1 수분침투시험

수분침투시험은 경도기(쇼어 A)로 애자의 웨드 두 곳을 측정 한 다음 애자를 탈이온수에 0.1wt% NaCl이 녹아있는 소금물에 넣고 100시간 동안 끓인 후, 물속에서 50℃까지 식힌 다음 외관검사, 경도시험, 급준파충격전압시험, 상용주파전조전압시험, 상용주파내전압시험을 한다. 외관검사는 크랙, 용해 및 부서진 흔적이 없어야 하며, 경도는 시험전과 비교하여 20% 이내이어야 한다. 급준파 충격전압시험의 급준파전압은 거의 일정한 준도를 가지고 상승되는 전압으로 준도는 충격파 최대치의 전면 10%~90% 사이를 잇는 직선의 기울기이며, 각 애자의 파두부에서 섬락이 일어나도록 충격전압을 인가하며, 최소 1000 kV/μs의 기울기를 가지는 급준파를 애자의 양극성(+)과 음극성(-)에 충격전압을 각각 10 회씩 인가한다. 매 충격을 가할 때마다 외부 섬락이 일어나야 하며, 애자에 관통파괴가 일어나지 않아야 한다. 상용주파전압 시험은 KS C 3801의 7.6에 따른다. 시험했던 애자와 동일한 새로운 애자를 사용하여 상용주파

섬락전압을 결정한다. 상용주파 건조섬락전압은 정해진 특성값으로 KS C 3801의 7.1에 따른다. 각 애자에 대하여 상용주파 섬락전압은 위의 방법으로 한번 더 결정하여 각 애자에 대한 평균 섬락전압은 결정된 값의 최소 90%가 되어야 한다. 각 애자는 결정된 평균 섬락전압의 80%에 해당하는 전압을 가한 후 30 분 동안 유지하며 관통파괴가 일어나지 않아야 한다.

3.2 축진내후성시험

내후성 시험용으로 웨드와 하우징 재료를 사용하며, 가능하면 표시(제조자명, 애자기호 등)가 포함되도록 한다. ASTM G 26, ASTM G 53, ASTM D 2565 중 한 가지 방법을 사용하여 각 시편을 1000시간 동안 시험한다. 표시는 자외선에 직접 노출되도록 한다. 시험 후 시편에 크랙이나 기포 등의 결함이 있어서는 안 되며, 웨드나 하우징의 표시는 읽을 수 있어야 한다.

3.3 염료침투시험

염료침투 시험용으로 하우징을 제거하지 않은 애자에서 시편의 길이는 10±0.5mm가 되도록 각 애자에서 10 개씩 자른다. 절단면을 180번의 사포로 부드럽게 문질러 청결하고 평평하게 한다. 투명용기의 하부에 지름 1~2 mm 정도의 유리구슬이나 쇠 구슬을 고르게 펼쳐 놓은 다음 시편을 올려놓는다. 메틸알콜 100 g당 혹은 1 g으로 만든 흑신용액을 볼의 상단 2~3 mm 정도가 되도록 놓은 후 모세관현상에 의하여 염료가 시편의 상단까지 도달하는 시간은 15분 이내 이어야 한다.

3.4 수분확산시험

수분확산 시험용으로 하우징을 제거하지 않은 애자에서 시편의 길이는 30±0.5mm가 되도록 각 애자에서 6 개씩 염료침투 시험 시편과 같이 자른다. 시편 표면을 이소프로필 알콜과 거름종이로 닦이기 직전에 닦아낸다. 시편을 탈이온수에 0.1wt% NaCl이 녹아있는 소금물에 넣고 100±0.5 시간 동안 끓인다. 끓인 후에 시편을 소금물에서 꺼내 물에 15분 이상 담가 둔다. 시편을 소금물에서 꺼낸 후 3시간 이내에 다음 시험을 행한다. 시험직전에 시편을 물에서 꺼내어 표면의 물기를 닦아낸

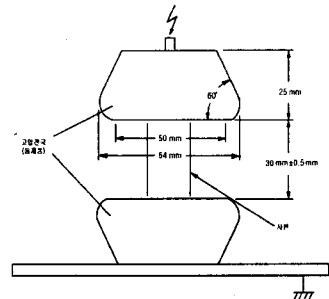


그림 1 수분확산 시험용 전극

다. 시편을 전극 사이에 놓고 전압을 약 1 kV/sec 정도의 상승 속도로 12 kV까지 증가시켜 1분간 유지한 후 전압을 내린다. 이때 관통파괴나 표면선팅이 발생되면 안되며, 전체 시험중 전류가 1mA를 넘지 말아야 한다.

### 3.5 파워아크시험

- a) 애자에 인장력을 14 kN 이상으로 유지시킨다.
- b) 지름이 0.127 mm인 동선을 사용하여 애자에 아크를 발생시킨다. 아크는 15~30 사이클에 걸쳐 발생하여야 하며, 전류크기는 최소 150 kA·cycle이어야 한다.

3.5.1 외관검사 각 애자의 하우징과 금구를 육안으로 검사하여 코어가 노출되지 않고, 기계적 분리가 없고, 하중중에 크랙이 없어야 한다.

### 3.5.2 흡습시험

- a) 메틸알콜 100 g당 흡신 1g으로 만든 흡신 용액에 애자를 15분 이상 담근다.
- b) 용액에서 꺼내어 물기를 닦은 후 건조한다.
- c) 양쪽 금구에서 약 50 mm 지점을 코어축에서 90도 방향으로 자른다.
- d) 애자의 금구를 코어축과 나란하게 절단하여 2 조각을 낸 후 하우징을 벗긴 후, 코어 및 계면부위에 염료의 흔적이 없어야 한다.

### 3.6 트래킹 및 침식시험

트래킹 및 침식시험용으로 4 개의 애자와 상용주파전압시험용으로 동일한 애자 1 개를 더 준비한다. 시험변압기는 저항부하에 250 mA(실효치)의 전류가 흐르는 상태에서의 최대전압강하는 5%이내 이어야 한다. 연속적으로 시료에 전압이 인가 및 수직 위치에 있을 경우에만 시료에 전압이 인가되는 방법 중 하나를 선택하여 4 개의 애자에 대하여 시험한다.

- a) 트래킹 휠 시험을 마친 후 탈 이온수로 즉시 세척하고 각 열화한 애자와 여분의 열화하지 않은 애자에 대하여 수분침투시험시와 같이 외관검사, 급속파충격전압시험, 상용주파전조전압시험, 상용주파내전압시험을 48 시간 이내에 마쳐야 한다.

#### 3.6.1 트래킹 휠 시험방법 1

그림 2와 같이 애자를 연속적으로 회전시키면서 상용주파수 전압을 인가한다. 전체값이 135 kΩ(각각 225 W)인 두 개의 직렬 전류제한 저항기를 각 애자에 장치한다. 각 애자들은 회전 중 바닥에서 용액(탈이온수에 NaCl이 녹아있는 용액) 분무를 통과한다. 애자가 완전히 젖도록 분무노즐의 위치와 물의 유속을 조절한다. 애자와 분무노즐간의 거리가 125 mm보다 작으면 안 된다. 애자의 위치를 조절하여 염수가 웨드 표면에 쌓이지 않도록 한다. 4일간 시험을 한 후에는 24 시간의 휴식기를 둔다. 24 시간의 휴식기 동안에는 분무노출만 잠깐 켜고는 시험절차가 변하지 않도록 그대로 유지한다.

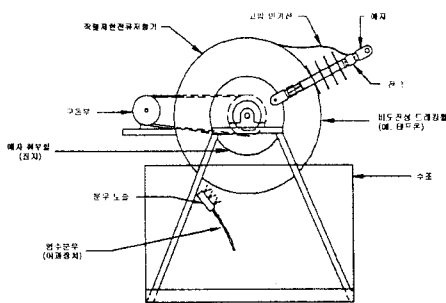


그림 3 트래킹 휠 시험방법 1

a) 시험조건	최소 전기 스트레스	35 V x 누설거리(mm)
	소금물 농도	0.22±0.01 g/l
	분무 후 최소한의 지속시간	1,000 h
	회전속도	60±10 r/h

#### 3.6.1 트래킹 휠 시험방법 2

그림 3와 같이 애자는 한 사이클 중에 90° 씩 네 번을 이동하게 된다. 각 애자는 침수기, 탈수기, 가압기, 및 냉각기의 각 위치에서 약 40 초 동안 멈춘다. (방전이 일찍 끝나면 40 초 보다 더 작을 수도 있다.) 한 위치에서 다음 위치로 회전하는데는 약 8 초가 걸린다. 처음인 침수기에는 애자를 소금물(중류수에 NaCl이 녹아있는 용액)에 담근다. 두 번째인 탈수기에는 과잉의 소금물이 애자에서 떨어져 애자 표면에 가벼운 젖음을 형성하도록 하고, 이로 인하여 세 번째 가압기에서는 건조대에서 미소방전이 발생하도록 한다. 여기서 애자는 상용주파수 전압에 노출된다. 마지막인 냉각기에서는 건조대의 미소방전으로 인하여 가열된 애자 표면을 식힌다. 시험 시 매 4일마다 24 시간의 휴식기를 주며, 24 시간 휴식기 중에는 용액탱크가 비어 있도록 한다.

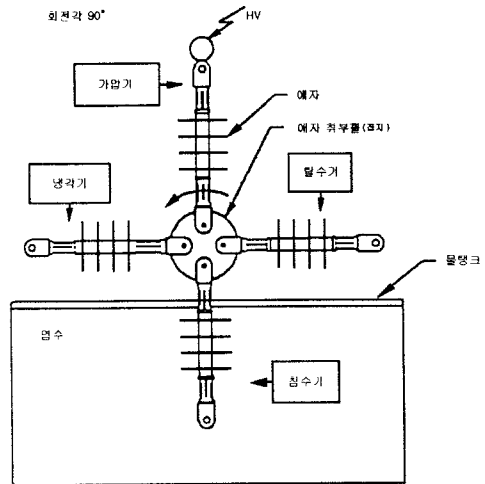


그림 3 트래킹 휠 시험방법 2

a) 시험조건	최소 전기 스트레스	35 V x 누설거리(mm)
	소금물의 농도	1.4±0.06 g/l
	탱크가 가득찬 상태의 최소시험기간	30,000 사이클

### 3.7 인장하중시험

애자에 인장하중을 영에서부터 규정인장하중의 75% 까지 급격하게 가한 후 30~90 초의 시간동안 규정인장하중까지 서서히 증가시킨다. 90 초 이전에 규정인장하중에 도달하면 90 초까지의 남은 시간동안 유지시킨다. 그 다음에 애자가 파괴될 때까지 하중을 증가시키고 파괴하중을 기록한다.

### 3.8 장시간 내하중시험

인장하중을 영에서부터 규정인장하중의 70%까지 증가시킨 후 이 값에서 인장하중시험과 같은 방법으로 96 시간 동안 인장하중을 유지시킨다. 이때 시험중 파괴, 코어의 완전한 빠짐, 금구의 파괴가 일어나지 않아야 한다.

### 3.9 비틀림 내하중 시험

내하중 시험을 하기 위하여 비틀림 내하중 값으로 KS C 3801의 8.1.3에 따라 애자를 견고하게 고정시키며, 곡내하중이 가해지지 않도록 설계된 치구를 통하여 비틀림하중을 50 N·m까지 부드럽게 가한 후 제거한다. 시험중 파괴, 코어의 완전한 빠짐, 금구의 파괴가 일어나지 않아야 한다.

a) 비틀림 시험 후 염료침투 시험을 한다. 인발된 코어 제품 설계의 경우 시편 채취는 끝단 접속부 바깥쪽의 양 끝에서 1 개를 자르고 애자의 가운데 부분에서 1 개를 잘라 채취한다. 다른 코어 설계의 경우 비틀림 하중이 최대가 되는 부위에서 2 개의 시편을 채취하고, 애자의 가운데 부분에서 1 개를 채취하여 흡습시험 시 염료가 침투하지 않아야 한다.

### 3.10 열적·기계적 시험

a) 상온에서 규정인장하중의 5% 인장력을 1분 동안 각 애자에 가한다.

b) 이 때 금구를 포함한 전체길이를 측정한다. 이 길이가 기준길이이며 측정 정확도는 최소 0.5 mm 이어야 한다.

c) 각 애자에 96 시간 동안 규정인장하중의 50% 이상 하중을 인가한 채로 -35 °C ± 5 K에서 +60 °C ± 5 K 까지의 열적변화를 주며, 각 온도의 시간당 주기는 최소한 8 시간으로 한다. 열적시험 주기는 그림 4와 같다.

d) 열적시험 주기를 마친 후, 각 애자가 대기온도와 같게 되면 기준길이를 측정할 때와 마찬가지로 길이를 측정하여 2mm 이상 증가하지 않아야 한다.

e) 시험 후 염료침투시험은 비틀림내하중시험과 같은 방법으로 시험한다.

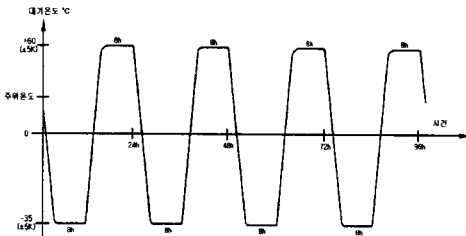


그림 4 열적·기계적 시험 사이클

### 3.11 내연성 시험

내연성 시험은 KS M 3015의 6.24.2 B법에 따른다. 시편의 개수는 5 개를 1조로 하고 연소시간과 글로징 시간을 측정한다. 5개의 1조 중 1 개가 적합하지 않을 때, 또는 1 개조 5 개의 연소시간의 합계가 V-0급 적합하지 않을 경우 다른 1 개조를 사용하여 재시험을 하고 V-0급의 요구 값에 모두 적합해야 한다.

### 3.12 접착력 시험

애자의 몸체에서 웨드를 쉬스 두께와 일치되게 남긴 상태로 제거하고, 면도칼 등을 사용하여 코어 속까지 파이도록 코어 축 방향 및 6.4 mm 폭으로 평행하게 자르고 바이스 그림 등으로 쉬스를 코어로부터 벗겨 낼 때 쉬스와 코어의 접착면이 분리되지 않아야 한다.

### 3.13 도금 시험

도금시험은 5개의 애자에 대하여 용융아연도금과 용융알루미늄증착 한가지를 택한다.

a) 용융 아연도금시험

아연도금시험은 KS D 0201의 3(부착량 시험방법) 및 4(황산구리 시험방법)에 따르며, 도금 부착량은 500 g/m<sup>2</sup> 이상, 균일성 시험(황산구리 시험방법)의 중지점에 달하는 회수가 6회 이하로 되어서는 안 되며, 5 개의 시

료 중 2 개 이상이 기준 미달이면 불합격으로 판정한다.

b) 용융 알루미늄의 도금

알루미늄 도금시험은 KS D 0229의 6(도금두께 시험방법), 7(부착량 시험방법), 8(유공도 시험방법), 9(밀착성시험방법)에 따르며, 부착량은 120 g/m<sup>2</sup> 이상, 도금의 두께 70 μm 이상, 유공도 및 밀착성시험은 기준에 적합하여야 하며, 5 개중 2 개 이상이 기준 미달이면 불합격으로 판정한다.

표 1 현수애자 특성값

항 목	특성값		
	A호애자	B호애자	
상용주파근조섬락 전압 (kV)	145	130	
상용주파주수섬락 전압 (kV)	130	110	
뇌충격섬락전압(kV) (1.2 x 50 μs)	정	250	190
	부	275	230
전파장해 전압	상용주파대지간 (kV)	25	20
	최대전파장해전압(μV) (1000 kHz)	10	10
규정인장하중(SML) (kg)	7,000	7,000	
인장내하중(RTL) (kg)	3,500	3,500	
비틀림내하중 (N·m)	50	50	
최소 누설거리 (mm)	760	580	
최소 건조섬락거리 (mm)	320	250	
길이(L) (mm)	525 ± 25	430 ± 20	

### [참고 문헌]

- [1]. "Composite Insulators for a.c overhead lines with a nominal voltage greater than 1000V- Definitions, test methods and acceptance criteria", IEC 61109, 1995
- [2]. "American national standard for electrical power insulators test methods", ANSI C 29.1 1988
- [3]. "Composite suspension insulators for overhead transmission line", ANSI C 29.11, 1989
- [4]. "Dead-end /suspension on composite insulator for overhead distribution lines", CEA LWIWG-01, 1996
- [5]. 한전구매시방서, "배전선로용 폴리머 현수애자