

트래킹 휠 시험에 의해 열화된 폴리머애자의 섬락특성 평가

The Evaluation of Flashover Characteristics of Polymer Insulators with Tracking Wheel Test

이병성, 한재홍, 윤태상, 한상옥
(Byung Sung Lee, Jae Hong Han, Tae Sang Yoon, Sang Ok Han)

Abstract

Polymeric composite insulators are used for outdoor insulation. However, our knowledge about their long-term performance in an outdoor environment is still very limited. The electrical stress caused the surface of these insulators to become degradation. In order to evaluate the tracking resistance of polymer insulators, we performed the tracking wheel test which is recommended by CEA LWIWG-01. And the flashover voltage tests were conducted for understanding electrical characteristics after tracking wheel test. Also, these insulators are studied by characterization methods such as contact angle measurement, SEM, etc.

1. 서론

옥외 환경에서 사용되는 폴리머애자는 재료 특성상 시간에 따라 열화가 진행되어 성능이 저하되는 것으로 알려져 있다.

이와 같이 환경에 폴리머애자의 적용시 트래킹과 침식이 일어나게 되면 관통과 섬락고장이 일어나기 쉽다. 트래킹과 침식은 모두 누설전류에 의해 발생하며, 좋은 성능을 보장하기 위해서는 누설전류가 작아야 한다. 보통 트래킹을 억제하기 위해 애자를 적절한 디자인하고 적당한 무기 충전제의 첨가하여 트래킹 및 침식 저항성을 향상시키고 있다. 만약 풍부한 무기 충전제가 없으면 EPDM이나 에폭시는 트래킹이 발생하게 된다.

트래킹 및 침식시험은 건조대 아킹과 결합된 강렬한 누설전류를 견디는 능력을 측정하는 것이다. 대표적으로 적용되고 있는 트래킹 및 침식시험에는 ANSI C29.11과 IEC 61109 규격에 기술되어 있는 1000시간 salt fog 시험과 CEA LWIWG-01 구매규격의 tracking wheel 시험, IEC 60587의 트래킹 및 침식시험 등이 있다.

본 연구에서는 트래킹에 대한 폴리머애자의 저항성을 평가하기 위해 CEA의 LWIWG-01에서 제시된 방법으로 트래킹 휠 시험법을 이용하

였다. 오손액의 전도도에 따른 내트래킹을 평가하기 위해 1차 시험에서는 규격에 제시된 방법과 동일한 염도 (salinity)를 사용하였으며, 2차 시험은 1차시험에 비해 다소 높은 염도로 시험하였다. 또한 애자의 표면 손상이 전기적 특성에 미치는 영향을 평가하기 위해 트래킹 휠 시험으로 열화를 시킨 시료에 대해 상용주파건조/주수섬락전압시험 및 뇌충격섬락전압시험을 실시하였다.

2. 시험

2.1 시료

시험대상 시료는 현재 국내 실선로에 적용되어 사용되고 있는 4종의 폴리머애자를 선택하였다. 이들 시료에 대한 세부사항이 표 1에 나와 있다.

각 제품별로 신품 폴리머애자를 1차 및 2차 시험에서 각각 2개씩 시험에 사용하였다.

표 1. 시료의 사양

시료명	재질	시료수	누설거리 (mm)
시료 A	EPDM	4	785
시료 B	EPDM	4	898
시료 C	EPDM	4	822
시료 D	SIR	4	834

* EPDM: Ethylene Propylene Diene Terpolymer
* SIR: Silicone Rubber

2.2 시험방법

실제품의 트래킹 및 침식 저항성을 평가하기 위해 국제적으로 많이 적용되는 CEA LWTWG-01의 트래킹 휠 시험을 실시하였다.

그림 1에서와 같이 드래킹 휠 시험에서는 설치된 4개의 애자가 1주기당 4단계의 위치를 통과하도록 구성되어 있다. 각각의 애자는 한 위치에서 40초간 머물고 다음 90도의 위치로 8초 동안 이동한다. 시료에 인가한 전계는 35 V/mm 이며, 30000주기를 시험하였다.

시험은 2차에 걸쳐 수행되었다. 염수의 전도도에 따른 시료의 침식 및 트래킹성을 고찰하기 위해 1차시험에서는 염수의 농도를 규격에서 제시한 대로 $1.4 \pm 0.06\text{g/l}$ 인 $2200 \mu\text{S/cm}$ 로 하였으며, 2차시험시는 가혹한 조건을 모의하기 위하여 전도도를 $4000 \mu\text{S/cm}$ 로 높여 시험을 하였다.

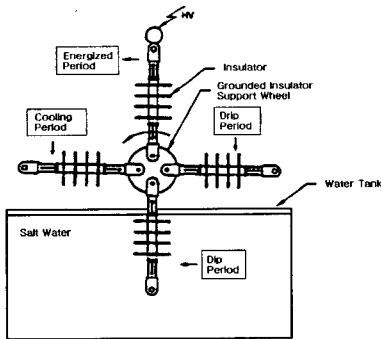


그림 12. 트래킹 휠 시험장치

3. 결과 및 고찰

3.1 육안 검사

1차 트래킹 휠 시험완료 후 육안검사에서 모든 시료는 트래킹이나 코어까지의 침식 및 관통은 없었다. 시료 A의 경우 표면의 chalking 현

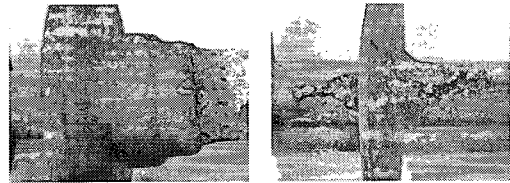
상을 보였으며, 시료 B, C의 경우는 심한 변색을 보였다.

한편 염수의 전도도를 높여서 실험한 2차시험 시료는 1차시험과는 다른 양상을 보였다. 시료 B는 그림 2의 (b)와 같이 변색 외에 별다른 특이점이 나타나지 않았지만, 시료 A는 (a)와 같이 갓의 mold line 침식, 시료 C는 (c)와 같이 금구부 근처의 침식과 트래킹이 나타났다. 실리콘 고무 재질인 시료 D의 경우는 (d)에서와 같이 코어 부근까지 심한 침식을 보였다.



(a) 갓 침식 (시료 A)

(b) 변색 (시료 B)



(c) 금구부 침식 (시료 C)

(d) 시스부 트래킹 및 침식 (시료 D)

그림 2. 트래킹 후 시료의 외관 ($4,000 \mu\text{S/cm}$)

3.2 표면 발수성 측정

각 시료별로 접촉각을 측정한 결과를 표 2에 표시하였다. 접촉각은 해당시료에 대해 10회 측정된 값의 평균값으로 표시하였다. 대체적으로 트래킹 휠 시험에 의해 접촉각이 감소되는 경향이 나타났으나, 실리콘 고무 재질인 시료 D는 접촉각의 변화가 거의 보이지 않았다. 이는 실리콘 고무 재질에 존재하는 Si-O 결합 때문인 것으로 판단된다.

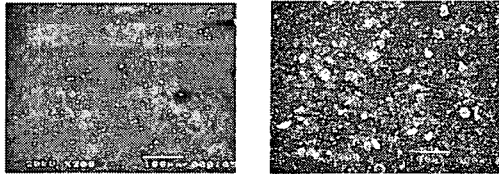
표 2. 트래킹 시험 후의 표면 발수성

시료명	표면 발수성 (°)		
	신품	1차 시험	2차 시험
시료 A	102.8	84.6	71.2
시료 B	111.5	78.8	90.8
시료 C	75.4	70.2	69.4
시료 D	112.6	106.5	110.5

3.3 표면 미세구조

트래킹 휠 시험후의 시료에서 갖의 일부를 절단한 다음 SEM으로 표면 미세구조를 분석하였다.

트래킹 휠 시험으로 인해 표면의 갈라짐이나 손상 흔적이 발견되지 않았다. 그림 3은 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 시험 (2차)한 시료의 표면미세구조를 대표적으로 나타낸 것이다.



(a) 시료 B (b) 시료 C
그림 3. 트래킹 휠 시험후의 표면미세구조

3.4 섬락전압시험

시료의 표면상태 및 아크거리, 누설거리에 따른 전기적 특성 변화를 관찰하기 위해 트래킹 휠 시험이 완료된 시료를 자연상태에서 24시간 정도 건조한 다음 섬락전압시험을 실시하였다.

본 섬락전압시험에서는 동일 시료에 대해 5회 측정하여 평균값을 취하였다. 전압의 인가는 예상 섬락전압치의 75%까지 적당히 상승시키고 그 후는 매초 섬락전압치의 약 2%의 상승률로 상승시켜 섬락시켰다.

가. 상용주파 건조섬락전압시험

한전구매시방서에서 요구하는 상용주파 건조섬락전압시험의 기준은 섬락전압 평균치가 기준값 (145 kV)의 95% 이상이어야 하는데, 모든 시료가 98% 이상의 양호한 값을 보였다.

그림 4와 그림 5는 건조섬락전압과 아크거리 및 누설거리의 상관성을 나타낸 것이다. 건조섬락전압은 아크거리에 비례하는 관계를 보였으며, 누설거리와는 다소 상관성이 적은 것을 알 수 있었다.

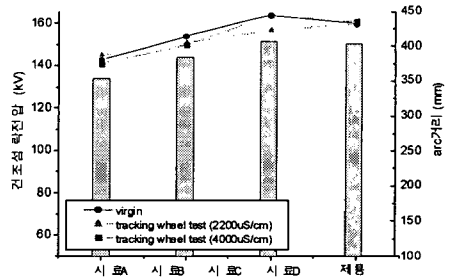


그림 4. 아크거리에 따른 건조섬락전압

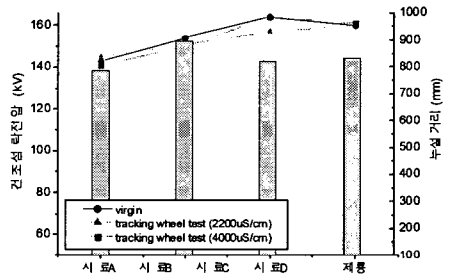


그림 5. 누설거리에 따른 건조섬락전압

나. 상용주파 주수섬락전압시험

주수섬락시험은 1차 트래킹 휠 시험 시료에 일정량의 주수를 하면서 5회이상 섬락시켜 섬락전압 평균치를 구하였다. 이때 주수량은 3 mm/min이며, 사용한 물의 저항은 $100 \Omega \cdot \text{m} \pm 15\%$ 이다. 시험기준은 섬락전압 평균치가 기준값인 130 kV의 90% 이상이어야 한다.

시험결과 시료 A를 제외한 모든 시료는 기준값 이상의 전압값을 나타내었다. 그림 6과 그림 7은 아크거리 및 누설거리에 따른 주수섬락전압을 표시한 것이다. 주수섬락전압 역시 건조섬락전압의 경우와 마찬가지로 누설거리에 비해 아크거리에 더 많은 영향을 받았다. 또한 시료 D의 경우에서 보여지는 것처럼 애자의 표면상태 및 형상에도 많은 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 따라서 누설거리는 표면 절연저항을 크게 하여 누설전류를 제한하는 효과는 있지만 섬락전압에는 그다지 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다.

4. 결론

트래킹 휠 시험을 통해 실제제품의 트래킹 및 침식 저항성을 평가하고 애자의 표면 손상 상태에 따른 섬락전압 특성을 비교한 결과는 다음과 같다.

1) CEA의 시험조건에 따라 $2200 \mu\text{S}/\text{cm}$ 의 전도도로 시험한 1차 시험에서는 육안검사와 전기적 특성 시험에서 양호한 결과를 나타내었다. 또한 상용주파 건조·주수섬락전압시험, 뇌충격 임펄스전압시험에서는 전기적 특성 변화가 크지 않았다.

2) $4000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 의 전도도로 시험한 2차 시험에서는 1차시험과는 달리 시료 B를 제외한 모든 시료에서 트래킹 또는 침식이 관찰되었다. 그러나 전기시험에서 특성변화는 크지 않았다.

3) 염수의 전도도에 따라 시료의 표면 손상은 상당한 차이를 보였으나 섬락전압값에서는 큰 차이를 보이지 않았다.

4) 건조섬락전압 및 뇌충격섬락전압은 시료의 표면 상태에 비해 아크거리에 밀접한 영향을 갖고 있으며, 주수섬락전압은 시료의 형상이나 표면상태에도 영향을 많이 받는다는 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] “배전용 폴리머애자의 신뢰성평가 및 운용기준 제정”, 중간보고서, 전력연구원, 2000.4
- [2] Canadian Electric Association Purchasing Specification LWIWG-01(91), “Dead-end/Suspension Composite Insulator for Overhead Distribution Lines”, 1991.
- [3] Ravi S. Gorur et al., Outdoor Insulators, Ravi S. Gorur Inc., 1999.
- [4] P. Blackmore and D. Birtwhistle, “Surface Discharge on Polymeric Insulator Shed Surface”, IEEE Trans. DEI, Vol. 4, No. 2, pp. 210-217, 1997.

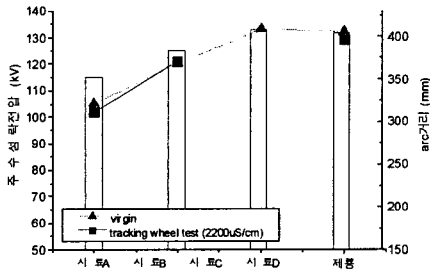


그림 6. 아크거리에 따른 주수섬락전압

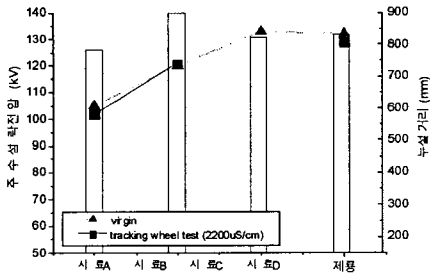


그림 7. 누설거리에 따른 주수섬락전압

다. 뇌충격 섬락전압시험

시료에 $1.2 \times 50 \mu\text{s}$ 의 충격전압을 인가하여 50% 섬락 전압치를 구하였다. 시험결과 모두 기준치 이상의 값을 나타내었으며 신제품과 비교하여 큰 차이를 발견할 수 없었다.

그림 8은 아크거리에 따른 뇌충격 섬락전압(정극성)을 나타낸 그래프이다. 대체로 누설거리보다는 아크거리에 비례하는 분포를 보였으며, 트래킹 휠 시험으로 표면에 손상을 입은 시료도 섬락전압에서는 거의 변화가 보이지 않았다. 부극성 역시 비슷한 양상을 보였다.

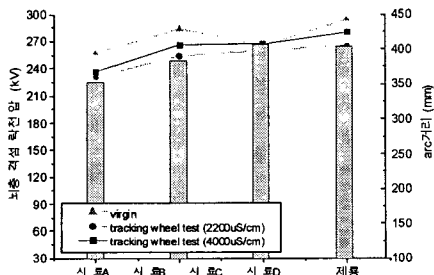


그림 8. 아크거리에 따른 뇌충격섬락전압