

800kV SF₆ 가스절연 개폐장치용 (GIS) 복합절연애자 (Composite Hollow Insulator)의 표면오손시 내전압특성

이창용, 윤지훈*, 최병화*, 윤치영*, 고경석*, 반석걸**, 허종철***
 현대중공업(주) 기계전기연구소, *신제품개발실, **한국전력공사, ***전기연구원

Flashover Voltage of 800kV Class Composite Hollow Insulator for SF₆ Gas Insulated Switchgear (GIS)

C. R. Lee, J. H. Yoon*, B. H. Choi*, C. Y. Yoon*, K. S. Ko*, S. G. Ban**, and J. C. Huh***
 HEMRI, TDC*, HHI, KEPCO**, and KERI***

Abstract - A developed 800kV class composite hollow insulator for SF₆ Gas Insulated Switchgear (GIS) was tested as to insulation with their surfaces contaminated. The wet power frequency withstand voltage of the silicone rubber housing was about 135kV at an equivalent salt deposite density of 5kg/m², to sufficiently satisfy the required performance. According to IEC 60507, the salt fog withstand voltage was measured at 565kV, and the highest measured leakage current was below 0.2mA. Therefore, it was clarified that the composite hollow insulator has sufficient insulation performance even when it is contaminated on the surface.

1. 서 론

북미지역을 중심으로 한 해외에서 기존의 자기 및 유리애자를 대체하여 고분자 절연재료를 절연물로 사용하여 배전용 및 가공 송전용의 본선용 애자, 상간 스페이서 (line spacer), 피뢰기, 복합절연애자 (composite hollow insulator 또는 polymer bushing), 변전소용 애관, post insulator 등에 사용되고 있다. 고분자 절연재료의 장점은 경량성, 우수한 오손내전압특성, 경제성 등이 거론되고 있으며, 북미지역을 중심으로 한 해외에서 기존의 자기 및 유리애자를 대체하여 사용량이 점차 증가하고 있고, 최근 국내에서도 배전용 애자로서의 적용이 광범위하게 실시되고 있다. 사용되는 옥외용 고분자 절연재료로는 실리콘 고무와, 내후성이 증가된 Ethylene-propylene-diene monomer (EPDM)나 Ethylenevinylacetate copolymer (EVA)가 있다. 이들 재료 중, 소수성의 화학구조, 낮은 밀도와 전기전도도, 파괴인성의 온도의존성이 크지 않다는 등의 장점으로 인해 실리콘 고무가 전세계적으로 가장 많이 사용되고 있다 [1-4].

본 연구에서 개발하고자 하는 복합절연애자의 구조는 기계적 강도를 부여하기 위한 섬유강화 고분자재료 (FRP)의 속이 빈 core와, core를 보호하고 절연거리를 확보하기 위한 RTV 또는 HTV 실리콘 고무의 shed로 구성되어 있다. 그리고, 내부 도체들간의 절연매질로는 SF₆ 가스를 사용하고 있다. 복합절연애자의 specified ESDD (equivalent salt deposite density)는 0.01 mg/cm²이며, 개발시 내오손특성 등의 전기절연물성의 측정과 함께 0.3G하에서의 기계적인 진동테스트도 동시에 실시하고 있다. 일본의 적용사례는 동경전력, 동북전력, 중부전력, Toshiba사, Hitachi사, Mitsubishi사에서 66 ~ 500kV SF₆ 가스 차단기용 부싱의 하우징으로 사용된 것이 보고된 바 있다 [1].

당사에서는 한국전력공사에서 추진중인 송전 전압 격상사업의 일환으로 개발을 완료한 800kV급 GIS에, 절연성능, 내오손 성능 및 기계적 성능 등에서 자기재료보

다 우수하다고 알려져 있는 실리콘 고무를 shed에 적용한 복합절연애자의 개발을 추진하여 완료하였으며, 이를 보고하고자 한다.

2. 개발된 Composite Hollow Insulator

당사에서 독일의 Trench사와 공동으로 개발한 800kV GIS용 복합절연애자의 제원을 표 1에, 그리고 전체적인 외관을 그림 1에 나타내었다. 개발된 복합절연애자의 shed 재질로는 실리콘계열의 고분자를 적용하였다.

표 1. 800kV용 복합절연애자의 제원

| Item | Bushing specification |
|-------------------|-----------------------|
| Whole length | 9765mm |
| Arcing distance | 8040mm |
| Creepage distance | 24100mm |
| Average diameter | 936mm |
| Number of shed | 67 |
| Material | Silicone rubber |

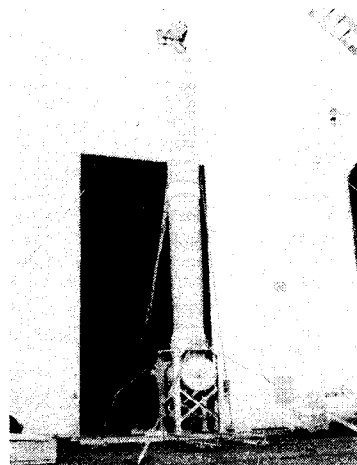


그림 1. 당사의 800kV GIS용 복합절연애자의 외관.

3. 표면오손시 내전압특성

3.1 시험방법

본 연구에서 사용한 복합절연애자의 shed 재료는 서

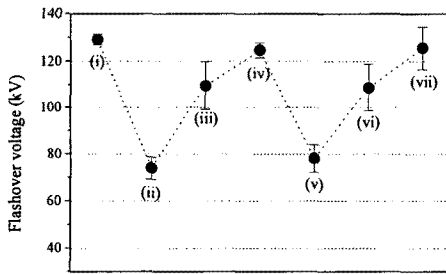
슬한 바와 같이 실리콘 고무 계열의 고분자를 사용하였다. 시험에 있어서는 재질의 종류에 따른 영향을 살펴보기 위해 두 종류의 실리콘 고무 (SIR-A와 SIR-B)로 제조된 복합절연애자를 각각 4개씩 사용하여 섬락전압 (flashover voltage)을 측정하였다. 이들 중 하나는 주수되는 염무에 대해 가로로, 다른 세 개는 세로로 설치하여, 시험을 실시하였다. SIR-A와 SIR-B로 제조된 복합절연애자는 별도의 test chamber (9.25m³)에 고정되었으며, 3.6 l/m³h (SIR-A)과 3.5 l/m³h (SIR-B)의 분사속도로 염무를 분사시켰다. 탈이온 증류수와 NaCl로 제조된 염무의 염도(salinity)는 5 ± 0.25kg/m³이었다.

본 연구에서 IEC 61462-1998에 기초하여 시험에 사용한 인가전압은 17kV로, 250mA를 인가할 경우 17kV에서의 전압강하, ΔU=1.42%이었다. 내전압 측정시 전압강하를 고려하여 측정된 섬락전압을 보정하였으며, protection level은 고압측에서 1A_{rms}로 설정하였다. 본 연구에서 섬락전압 측정시, 1분 간격으로 5개의 섬락전압을 측정하여 평균값을 취하였다.

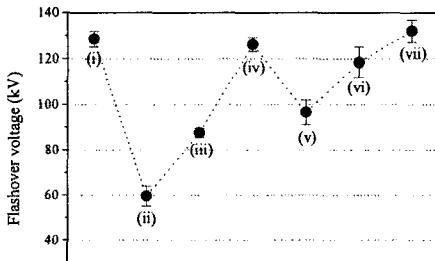
3.2 내전압특성 측정결과

3.2.1 시험중의 내전압특성

SIR-A와 SIR-B의 복합절연애자에 대해, 오손과정중의 각 단계에서 측정된 표면오손시 내전압특성의 변화를 그림 2에 나타내었다. 그림 3(a)와 (b)의 (i)에 나타낸 바와 같이, 시험을 실시하기 전의 SIR-A와 SIR-B로 제조된 복합절연애자의 평균 섬락전압은 각각 129.2kV와 128.4kV로 재료간의 차이는 보이지 않았다.



(a)



(b)

그림 2. 트래킹 및 침식시험중의 표면오손시 내전압특성: (a) SIR-A, (b) SIR-B.

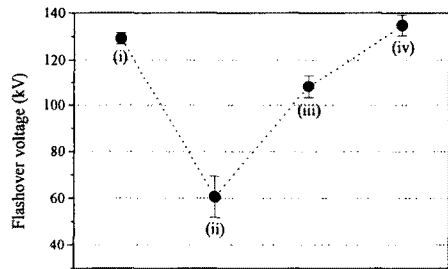
그림 2(a)의 (ii)과정은 트래킹 및 침식시험을 337.1 시간동안 실시한 직후이며, 섬락전압은 74kV로 원래의 섬락전압에 비해 약 57%정도 감소하는 결과를 얻었다. 이후, (iii)과정에서 염무를 분사하지 않고 24시간동안 건조상태로 보관한다면 섬락전압은 109.6kV로 증가하

고, (iv)과정과 같이 시험 48시간후 tap water로 세정하고 6일을 건조시키면 다시 124.7kV로 원래의 섬락전압에 거의 동일하게 회복된다. 다음으로 다시 452.7시간동안 오손시키고 섬락전압을 측정하면 그림 2(a)의 (v)와 같이 감소하지만 건조상태를 지속시키면 그림 2(a)의 (vi)과 (vii)과 같이 증가하는 결과를 얻었다. 그림 2(b)에 나타낸 SIR-B의 경우도 오손 직후에는 섬락전압이 감소하나 시간의 경과에 따라서 증가하는 특성을 나타내었다.

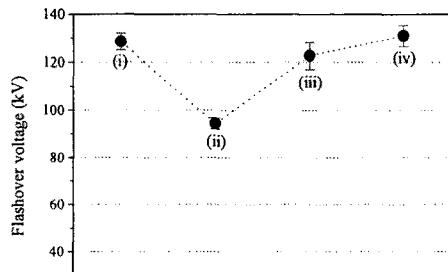
본 연구에서 얻어진 표면오손시 내전압 특성의 변화는 shed 재료로 사용된 실리콘 고무의 발수성 회복특성에 기인하는 것으로 여겨진다. 실리콘 고무의 발수성 회복현상의 요인으로는 극성기의 재배열 (overturn), 저분자량 성분의 표면에서의 확산 (migration), 휘발성분의 소실, 극성기의 재배용, 표면요철의 변화 등이 제안되었다. 그 중에서 실리콘 고무에 존재하며 확산할 수 있는 운동성을 가진 저분자량의 실리콘성분이 시간경과에 따라서 실리콘고무 표면에 확산 및 분산되어, 최종적으로 막을 형성하는 메커니즘이 여러 연구자에 의해 실험적으로 증명된 바가 있다 [2, 3].

3.2.2 500시간 오손후의 내전압특성

500시간동안 염무로 오손시키고 내전압 특성을 조사한 결과를 그림 3의 (a)와 (b)에 나타내었다. SIR-A와 SIR-B 모두 (ii)에서는 시험종료후, 미세정 상태의 섬락전압을, (iii)에서는 24시간 건조후의 섬락전압을, 그리고 (iv)에서는 27일후에 세정을 실시하고 2주간 건조시킨 후의 섬락전압을 나타내었다. 측정된 섬락전압에 대한 재질의 차이는 보이지 않았으며, 건조후에는 모두 원래의 섬락전압으로 회복되는 결과를 얻었다.



(a)



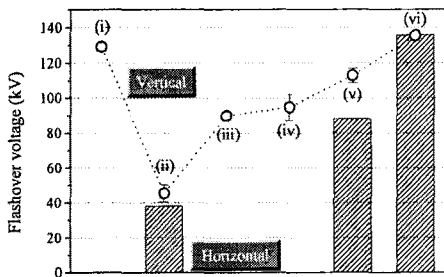
(b)

그림 3. 500시간 표면오손후의 내전압 특성: (a) SIR-A, (b) SIR-B.

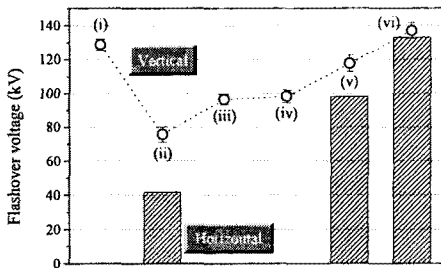
3.2.3 1000시간 오손후의 내전압특성

SIR-A와 SIR-B로 제조된 복합절연애자를, 분무되는 염무의 방향에 대해 수직 또는 수평으로 1000시간 동안 오손시킨 후, 내전압 특성을 조사한 결과를 그림 4의 (a)와 (b)에 나타내었다. SIR-A와 SIR-B 모두

(ii)에서는 시험 종료후, 세정하지 않은 상태의 섬락 전압을, (iii), (iv), (v)에서는 세정하지 않은 상태에서 각각 8, 24, 96시간 건조후의 섬락전압을, 그리고 (vi)에는 tap water로 세정한 후 2주간 건조시킨 시료의 섬락전압을 나타내었다. 두가지 시료 모두에서 500시간 오손과정과 동일하게 원래의 시료의 섬락전압으로 회복되는 현상을 보인다. 오손후 섬락전압이 감소하는 정도는 SIR-A로 제조된 복합절연애자가 SIR-B의 경우보다 크지만, 오손후에는 거의 동일한 크기로 회복하는 것으로 나타났다. 그리고, 수평으로 놓인 시료의 섬락전압의 감소가 수직인 시료의 섬락전압의 감소보다는 크지만, 건조과정을 통하여 놓임 방향과는 관계없이 모두 원래값으로 회복되는 경향을 나타내었다.



(a)



(b)

그림 4. 1000시간 오손시킨 시료의 내전압 특성:
(a) SIR-A, (b) SIR-b.

4. 염무법에 의한 누설전류 측정

국제적인 표준 시험법으로 IEC 60507에 규정되어 있는 염무법 (salt fog test)은 복합절연애자의 표면을 오손시키고 내전압을 측정하는 방법이다. 이 방법은 오손 진행중의 절연특성을 평가하기 위해, 애자에 전압을 인가한 상태에서 압축공기에 의해 염수를 시료에 직접 분무하고, 소정의 시간동안 견딜 수 있는 가를 판정하는 방법이다. 그러나, 이와 같은 종래의 시험방법은 원래 개발된 것으로, 고분자 재료로 제조된 복합절연애자의 오손 내전압특성을 평가하는 방법에서 유기애자의 평가에 염무법을 적용하는 경우에는 분무량을 규정의 반으로 줄이면, 현장에 있어서 각종 애자의 내전압특성의 순위와 잘 일치한다고 보고된 바가 있다. 그리고, 해외 연구기관이나 국제회의에서는 종래의 자기나 유리애자에 적용하는 방법을 그대로 또는 일부를 변경해서 적용하는 clean fog method, solid layer method, equivalent clean fog method 등이 제안되고 있지

만, 아직 국제적으로 확립된 방법은 없다 [1, 5]. 이 때문에 발수성이 발현하는 경우의 오손내전압의 평가에는 염무법은 적절하지 않다고 보고되어져 있지만, 적절한 대안의 부재로 인하여, 본 연구에서는 개발된 복합절연애자의 fog withstand voltage를 측정하기 위해 염무법을 적용하였다.

본 연구에서는 50Hz 565kV_{rms} (800kV/√2)의 전압을 시료에 가한 상태에서 80kg/m²의 염도를 가진 염무 (20℃에서 전도도: 10.1S/m)를 시료에 가하여 1시간 동안 유지시키며, 섬락 및 침식의 유무와 누설전류를 측정하였다. 복합절연애자의 표면에 흐르는 누설전류의 측정은 1kΩ의 shunt 저항을 이용하였으며, 1kHz의 sampling rate로 컴퓨터에 데이터를 저장하였다.

염무법을 이용하여 측정된 누설전류를 그림 5에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 염무하에서 550kV_{rms}를 1시간동안 인가한 상태에서 누설전류는 0.14mA_{rms}를 초과하지 않으며, 그림 5에는 나타내지 않았으나 반복하여 측정하여도 동일한 결과를 얻었다.

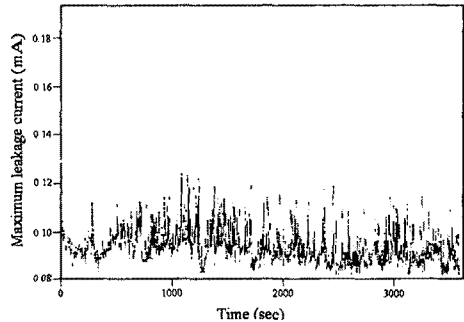


그림 5. 염무법을 이용하여 측정된 복합절연애자의 누설전류 측정결과

5. 결 론

800kV GIS용 복합절연애자에 대해서 트랙킹과 erosion 테스트를 실시한 결과, 두 종류의 실리콘 고무 복합절연애자에서 shed puncture나 트랙킹은 발생하지 않았다. 두 종류의 실리콘 고무로 만들어진 복합절연애자는 염무시험의 초기에는 섬락전압이 감소하나 시간이 경과하면 원래의 섬락전압으로 회복되는 특성을 보이며, 이는 실리콘 고무 내에 존재하는 저분자량 성분이 표면에 확산하는 현상에 의한 것으로 여겨진다. 결론적으로, IEC61462에서 정한 1000시간동안의 트랙킹 및 침식 시험도 통과하여, 본 연구에서 사용한 복합절연애자는 당사 800kV GIS에 적합한 것을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] K. Izumi, et al., IEEE Trans. on Dielectr. Electr. Insul., Vol. DEI-6, pp. 595-604, 1999.
- [2] C. R. Lee, Trans. IEEJ, Vol. 120-A, No. 11, pp. 1025-1031, 2000.
- [3] J. Kim, et al., IEEE Trans. on Dielectr. Electr. Insul., Vol. DEI-6, pp. 703-717, 1999.
- [4] S. M. Gubanski and A. E. Vlastos, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 5, No. 4, pp. 2030-2038, 1990.
- [5] 가공송전용 유기애자의 현상과 급후의 전망, 일본 전기협동연구, 제56권, 1호, 2000.
- [6] IEC 61462, IEC, 1998.
- [7] IEC 507, IEC, 1991.