

Salt fog 내에서 옥외용 고분자 절연물의 내오손 성능 변화

The Change of Contamination Performance of Polymeric Insulators for Outdoor Use

김정호*, 문중섭*, 박용관*, 김동명**, 원호상**

*:성균관대학교, **:한국전력공사

J.H. Kim*, J.S. Moon*, Y.K. Park*, D.M. Kim**, H.S. Won**

*:Sungkyunkwan Univ. **:KEPCO

Abstract

In this study, weight loss, ESDD, surface conductivity and leakage current were measured at the different saline solutions by salt fog method. The magnitude of leakage current was higher at higher conductivity of 2 S/m saline water, but weight loss, ESDD and surface conductivity which are indices of degradation were lower. This is considered that the current includes mainly ohmic component, which doesn't contribute to surface degradation. In addition, it is shown that FFT could be useful in measuring initial transition from hydrophobic to hydrophilic surface.

1. 서 론

HV 옥외 절연물은 전통적으로 무기 절연물로 만들어졌는데, 주로 자기나 유리였다. 그러나, 최근에는 자기/유리와 비슷하거나 더 나은 성능, 경량, 파괴자에 대한 개선된 저항성, 쉬운 설치, 및 취급, 그리고 경쟁력 있는 가격 등과 같은 몇 가지 인자들의 결합으로 복합 절연물이 널리 사용되고 있다.

그러나, 서비스에서 주기적으로 몇 가지 문제가 발생하며, 이는 주로 기후 및 환경에 의한 열화 및 오손 성능 저하 등으로 대기오염과 수분이 결합된 형태의 고전압 절연물의 섬락은 송배전 선로의 주 문제가 되어왔다. 오손물질이 절연물 표면에 축적되면 수분을 흡수하여 서비스 전압하에서 심각한 누설전류가 발생하게 된다. 이러한 전류는 절연물 표면을 불균일하게 가열시켜 건조대를 형성하여 하나 이상의 부분 아크에 의해 교락되게 된다. 일반적으로, 안정상태 (dc나 ac)의 섬락전압은 서지 섬락전압보다 낮고, 절연물 표면이 오손되거나 젖게 되면 더 낮아진다[1]. 따라서, 전력 전압과 오손에서의 절연물 성능, 즉 오손 성능은 전력전송에서의 절연물 선택의 기본조건이다.

파워 네트워크의 안정성을 위해서는 절연물의 오염을 감시할 필요가 있고, 그 방법으로 ESDD, 표면

저항, 및 누설전류 등이 사용되고 있다. 절연물의 contamination severity는 ESDD의 형태로 표현된다. 표면저항은 절연물의 서비스 성능 예측 지수로 사용될 수 있으며, 이 방법은 IEEE Working group에 의해 개척되고 있다. 또한, 오염물질이 절연물 표면에 축적되면 이것이 수분을 흡수하여 전류를 발생시킨다. 따라서, 누설전류의 측정은 얼마나 많은 오염물질이 절연물 표면에 부착되었는지를 알 수 있는 직접적인 지표가 되는 것이다.

본 연구에서는 실내의 가속 모의 실험인 salt fog 법에 의해 옥외용 고분자 절연물의 오손 성능을 평가하기 위해 ESDD, 표면저항 및 누설전류 등을 측정하였다.

2. 실험

실험에 사용한 시편은 50mm×120mm×6mm 크기로 잘라서 사용하였다.

시편은 ATH 함량 100 pph의 silicone rubber를 180 °C에서 10 분간 경화하여 제작하였다. 전극은 염수로 인한 산화를 방지하기 위해 스테인레스강을 사용하였다. 시편은 salt fog chamber 내에서 20°의 기울기를 갖도록 설치하였으며, 전극 간 거리는 30 mm로 하였다.

실험에 사용한 salt fog chamber는 0.5×0.5×0.5 m³의 크기로 제작하였으며, 지붕에 15°의 각도를

주어 물방울이 맺혀 시편으로 떨어지는 현상을 방지하였다. salt fog의 분무는 air atomizing nozzle를 사용하였으며, 안개 입자가 시료에 직접 닿지 않도록 편향판을 설치하였다. 유량은 시편에 부착되는 양이 5 ml/m²·min이 되도록 조절하였으며, air compressor의 압력은 0.2 MPa로 맞추었다.

salt fog의 전도도는 2 S/m와 0.4 S/m의 두 가지를 사용하여 오손의 가속도에 따른 표면저항, ESDD, 중량손실 및 누설전류의 변화를 관찰하였다. 인가된 전계는 2.5 kV로 다소 가속하게 설정하였으며, 실험시간은 30 시간으로 하였다.

실험에 사용된 실험장치의 블록도를 그림 1에 나타내었다.

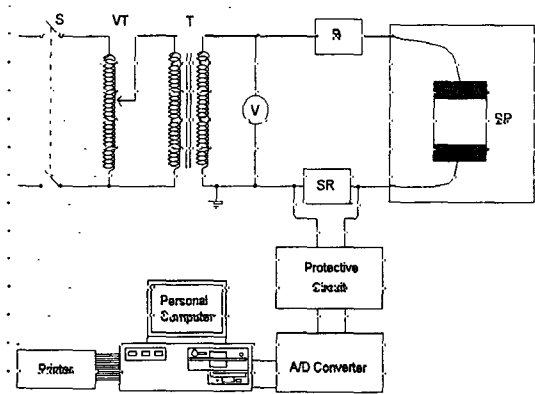


그림 1. 실험장치의 블록도.

고압단에는 섬락시 발생하는 단락전류를 제한하기 위해 20 kΩ의 직렬저항을 삽입하였고, 100Ω의 shunt resistor를 직렬로 연결하여 양단의 전압강하를 통해 누설전류를 측정하였다.

Data Acquisition System은 12 bit 8 channel A/D converter를 사용하여 제작하였으며, 12.5 kHz의 sampling rate로 실시간 측정하였으며, 2채널을 사용하였다. 측정된 누설전류 성분은 실효전류 및 피크전류를 30분 간격으로 평균하였으며 최대 피크전류, 축적전하량 및 누설전류 펄스의 횟수 등과, 누설전류의 파형을 측정하였다. 파형은 2 시간 30 분 간격으로 10 초 동안 측정하였고, 측정된 파형은 방전에 의해 발생하는 제 3 고조파 성분을 분석하기 위해 FFT 처리하였다. 누설전류 펄스의 횟수는 1-5, 5-10, 10-20, 20-50, 50-100, >100 mA의 6 단계로 나누어 측정하였다. 그림 2에 Data Acquisition을 위한 알고리즘을 나타내었다.

표 1에 30 시간 동안 실험한 중량손실, ESDD, 및 표면전도도 결과를 나타내었다. 사용된 염수는 very light pollution인 0.4 S/m와 average pollution인 2

S/m의 두 종류를 사용하였고, ESDD 및 표면전도도는 IEC 60507 [2]에 의거하여 측정하였다.

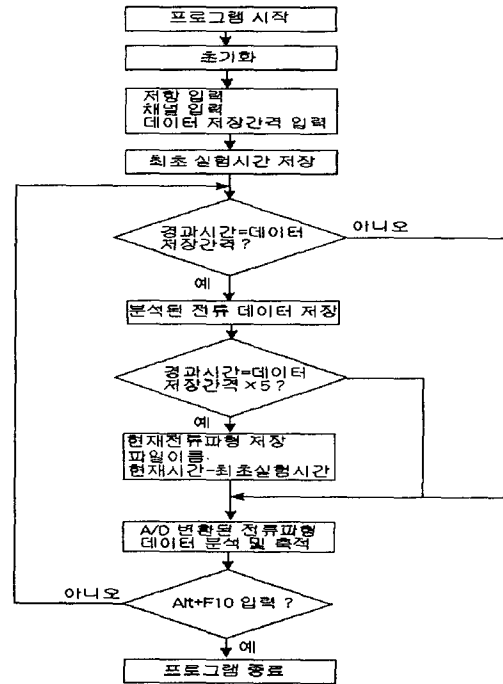


그림 2. 누설전류 데이터 획득을 위한 알고리즘.

3. 결과 및 고찰

	0.4 S/m	2 S/m
중량손실 [g]	0.08	0.05
ESDD [mg/cm ²]	0.03	0.02
표면전도도 [μS/cm]	0.45	0.3

표 1. 30 시간 salt fog 인가 후의 중량손실, ESDD, 및 표면전도도. (인가전압 : 2.5 kV, 미열화 시료의 표면 전도도 : 0.016 [μS/cm])

표에서 알 수 있듯이, 오손 수위가 더 가속한 2 S/m에서 실리콘 고무의 열화가 더 낮게 나타남을 알 수 있다. 한편, 그림 3에 나타난 시간에 따른 누설전류 크기의 결과로부터 누설전류는 2 S/m에서 더 크게 나타남을 알 수 있는데, 이는 대부분 높은 오손액 전도도에 기인한 저항성 성분에 의한 것으로 생각되고, 이 성분은 시료의 열화에 크게 영향을 미치지 못함을 알 수 있다.

그림 4에 측정된 누설전류의 파형과 이에 대한 FFT 분석 그래프를 나타내었다. FFT 분석은 60 Hz 기본파에 대한 3고조파, 5고조파 및 7고조파의 분석을 위한 것으로, 누설전류 파형이 찌그러짐 없이 sine 파 형태를 나타내는 경우, 3고조파는 거의

나타나지 않고, 파형의 찌그러짐이 심한 경우, 고조파 성분이 증가함을 알 수 있다. 실리콘 고무는 발수성이 좋아, salt fog chamber 내에 놓이는 경우, 초기에는 표면이 완전히 젖지 않게 된다. 따라서, 표면 누설전류는 완전한 저항성 성분이 되지 않고, 찌그러진 형태로 나타난다. 그러나, 방전이 개시되고, 누설전류에 의한 열화가 누적되면, 표면은 친수성을 띠게 되어, 수분이 film의 형태로 퍼지게 되며, 이 때의 누설전류 성분은 염수의 전도도에 의한 저항성 성분이 증가한 형태로 나타난다. 자료에 의하면, 초기 표면의 친수성으로의 전이를 확인하는 수단으로서 FFT에 의한 고조파 분석이 유효한 것으로 보고되어 있다[3].

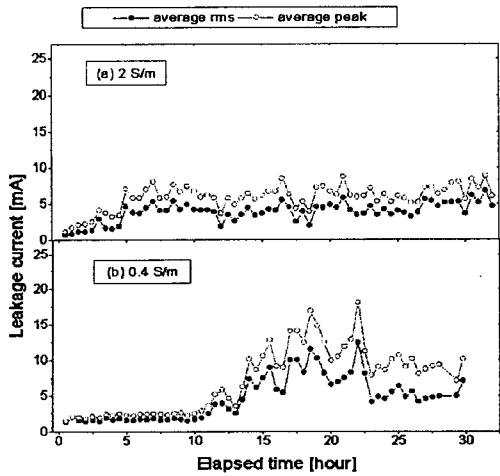
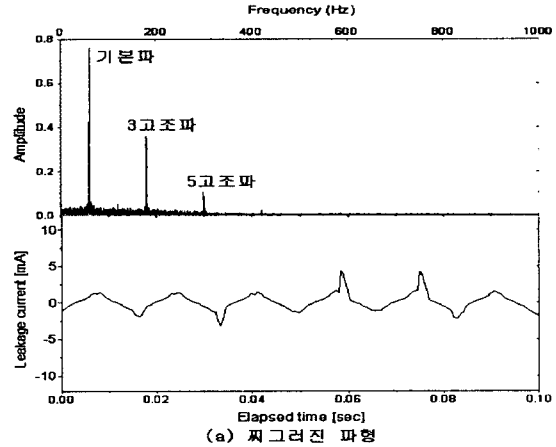


그림 3. 시간에 따른 누설전류의 평균 실효치 및 피크치.

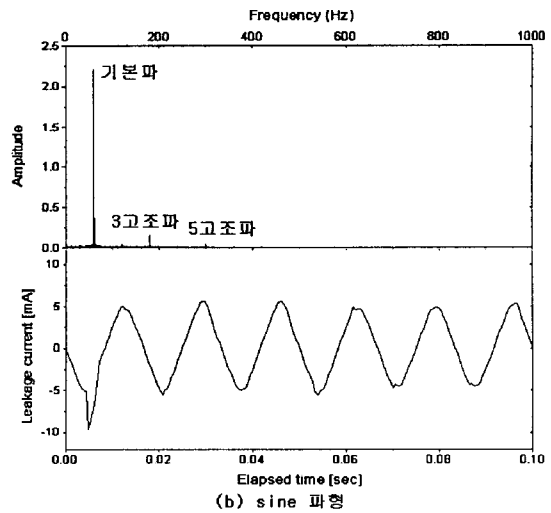
그림 5에 기본파에 대한 3고조파비의 시간에 따른 변화를 나타내었는데, 시간이 경과함에 따라 3고조파의 비율이 점점 감소하고 약 10~20 시간이 경과한 후에는 다시 증가하는 경향을 보이고 있으며, 이러한 경향은 두 전도도의 염수에 대해 비슷하게 나타났다. 따라서, 표면은 약 10~20 시간이 경과하면, 완전한 친수성을 띠게 되는 것으로 생각된다.

그림 6에는 두 전도도의 염수에 대한 축적전하량을 나타내었다. 축적전하량은 누설전류의 크기를 시간에 대해 적분한 값으로서 표면 누설에 의한 재료의 열화를 정량적으로 나타낼 수 있는 인자로 볼 수 있다. 그림에서 두 전도도에서 축적전하량은 비슷한 크기를 나타내고 있다. 한편, 표 1에서 중량손실은 0.4 S/m의 경우에 더 크게 나타났는데, 이러한 오차의 원인은 2 S/m의 염수에서는 전도도가 높은 수막을 형성하므로, 누설전류가 염수의 전도도에 기

인한 저항성 성분이 많고, 이 저항성 성분은 표면의 분해에 큰 영향을 주지 못하기 때문으로 생각된다.



(a) 찌그러진 파형



(b) sine 파형

그림 4. 누설전류 파형과 FFT 성분 분석.

그림 7에 두 염수의 전도도에 대한 피크 전류 횟수의 누적된 값을 나타내었다. 1-10 mA와 10-20 mA 피크의 경우, 시간의 경과에 따라 꾸준히 증가하며, 두 전도도에 대해 비슷한 값을 나타내고 있다. 이러한 전류 성분은 육안으로도 쉽게 확인되는 전류 성분으로 온건한 아크의 성분으로 볼 수 있다 [electra]. 따라서, 이 성분은 급격한 재료의 열화를 나타내지는 않지만, 누적되면 표면 발수성의 저하로 인한 재료의 손상을 야기할 수 있는 성분이라 할 수 있다. 한편, 50 mA 이상의 피크에 대해서는 2 S/m의 경우 10 시간 가량부터 급증하고 있으며, 0.4 S/m와의 차이도 크게 나타남을 알 수 있다. 이러한 성분은 표면의 열화가 진행되어 친수성을 띠기 시

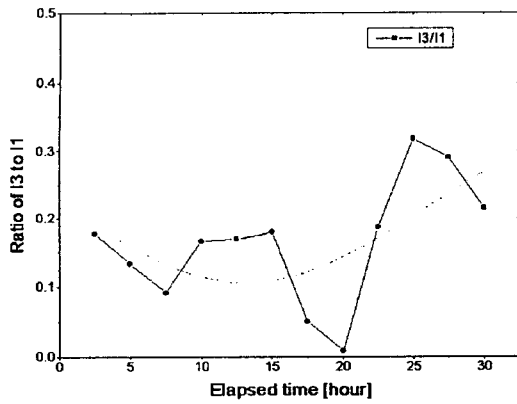


그림 5. 시간에 따른 I3/I1 비의 변화.

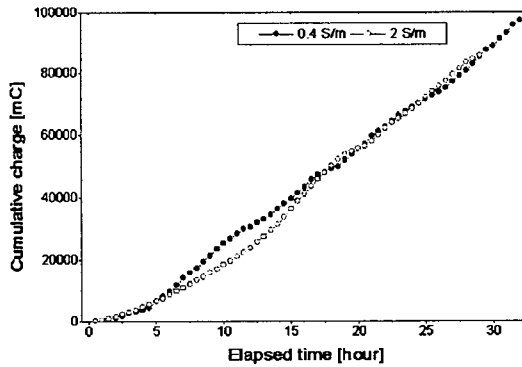


그림 6. 두 종류 염수 조건에서의 축적전하량 변화.

이 표면의 분해에 큰 영향을 주지 못하기 때문으로 생각된다.

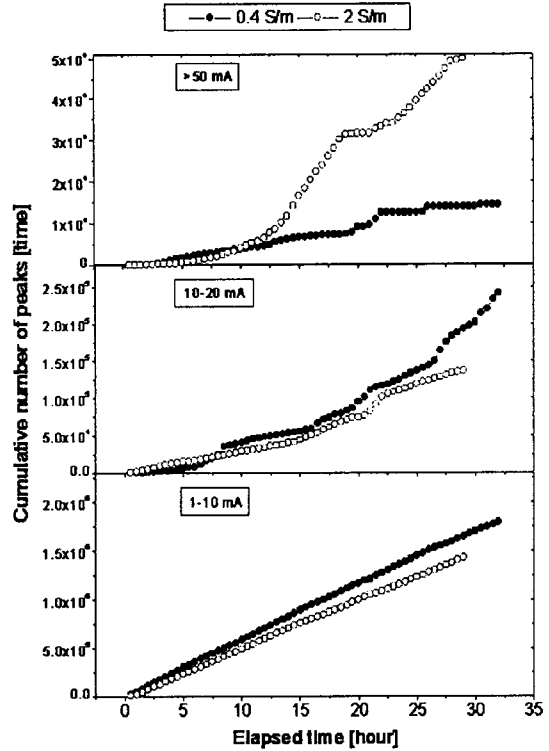


그림 7. 두 종류 염수 조건에서의 피크 횟수 누적치

작하는 시점으로 염수의 전도도가 높기 때문에 크기가 큰 피크가 보다 빨리 나타나는 것으로 생각된다.

4. 결론

이상의 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- [1]. 중량손실, ESDD 및 표면전도도 값은 오손 수위가 높은 2 S/m에서 더 낮았다.
- [2]. 평균 누설전류의 크기는 2 S/m에서 크게 나타났다.
- [3]. 재료 표면이 초기의 발수성에서 친수성으로 전이하는 단계는 FFT에 의한 고조파 분석이 유효한 수단이 될 것으로 생각된다.
- [4]. 축적전하량은 두 전도도의 염수에서 비슷하게 나타났으나 중량손실의 결과와 오차를 나타내는데, 이는 높은 전도도의 염수에 의한 저항성 전류 성분

참 고 문 헌

- [1]. R. S. Gorur, "Status assessment of composite insulator for outdoor HV applications", Proc. of 5th ICPADM, Vol. 1, pp. 35-38, 1997.
- [2]. IEC 60507, "Artificial pollution test on high-voltage insulators to be used on a.c. systems", Second edition, April, 1991.
- [3]. R. S. Gorur et al., "A laboratory test for tracking and erosion resistance of HV outdoor insulation", IEEE Trans. on Dielectric and Electrical Insulation, Vol. 4, No. 6, pp. 767-774, 1997.