

Salt fog 내에서 옥외용 고분자 절연물의 절연진단

문중섭* · 김정호* · 이재형* · 송우창* · 조한구** · 유영식*** · 박용관*

* : 성균관대학교 ** : 한국전기연구소 *** : 여주대학

The Diagnosis of Polymeric Insulation Materials for Outdoor in the Salt Fog

J. S. Moon · J. H. Kim · J. H. Lee · W. C. Song · H. G. Cho · Y. S. Yoo · Y. G. Park

* : Sungkyunkwan Univ. ** : KERI *** : Yeoo Univ.

Abstract - The ageing process was checked by leakage current monitoring in Salt Fog Method. In order to monitor leakage current, DAS with 12-bit, 8-channel A/D converter was prepared. The monitored components of leakage current were averages of the rms and peak, max peak, cumulative charge, and the cumulative number of peak pulses. The acquired data were stored to the disc periodically. And, surface conductivity was measured to investigate loss of hydrophobicity. The results suggest that surface conductivity and leakage current are well corresponding to initial loss of hydrophobicity.

1. 서 론

HV 옥외 절연물은 전통적으로 무기 절연물로 만들어졌는데, 주로 자기나 유리였다. 유기 재료 특히 합성 고분자를 옥외 HV 선로 절연물로 사용하게 된 것은 약 30년 전으로 거슬러 올라간다. 이러한 절연물들은 다양한 이름으로 칭해지는데, composite, nonceramic, synthetic, polymeric 등등이고, 처음 두 개의 이름이 가장 널리 사용된다. 몇 가지 인자들, 예를 들면 자기/유리와 비슷하거나 더 나은 성능, 경량, 파괴자에 대한 개선된 저항성, 쉬운 설치, 및 취급, 그리고 경쟁력 있는 가격 등의 결합으로 최근에는 복합 절연물이 널리 사용되게 되었다.

그러나, 서비스에서 주기적으로 몇 가지 문제가 발생하며, 이를 해결하기 위한 주된 관심영역은 장기간의 전기적 성능으로 절연물 weathershed 및 설계와 관계가 있다.

전체적인 전기적 성능을 표시하는 지표로는 섬락 (flashover)과 열화 (degradation)의 두가지가 있다 [1]. 이 중 섬락의 발생은 선로의 정전사고로 이어지기 때문에 가장 직접적인 지표가 될 수 있으며, 기후나 지역적인 위치 등에 의한 환경 요인들과 재료 자체의 결합에 의한 요인 등 여러 가지 복잡한 인자들에 의해 발생하게 된다. 이 중 몇 가지 인자들은 적절한 재료의 형상 및 누설거리 설계에 의해 해결할 수 있다. 이러한 여러 인자 중 대표적인 것은 재료의

장기적 열화로서, 최근에 보고된 고분자 절연물의 선로사고 원인 조사에 따르면, 전기적, 기계적 요인에 의한 사고가 35 %를 차지하고, 64 %는 장기적 열화에 의한 사고임을 나타내었다[2]. 열화의 직접적 원인은 오손 및 습윤에 의한 방전이 주된 요인이다.

열화진단 기술은 이러한 열화의 진전과정을 평가하여 언제 어떻게 절연물의 사고가 발생할 것인지를 결정함으로써 사고를 막기 위한 기술이다. 열화 진단 기술로는 표면 전도도, 발수성, ESDD, FOV, 누설전류 분석 등 여러 가지가 있으며, 이 중 누설전류 분석은 on-line 상태에서 실시간으로 수행할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구에서는 가속 열화 실험인 Salt Fog Test를 통해 열화에 따른 누설전류 성분을 측정하였다. 측정된 누설전류 성분은 실효전류, 피크전류의 평균값, 최대 피크전류, 축적전하량 및 누설전류 펄스의 횟수 등이다. 또한, 발수성 소실에 의한 초기 열화를 관찰하기 위해 표면전도도를 측정하였으며, 전압인가에 의한 영향을 검토하기 위해 전압을 인가한 경우와 인가하지 않은 경우를 비교하였다.

2. 실험

그림 1은 Salt fog chamber의 구조를 나타낸다. 노즐은 spraying system의 입경 10 μm 이하의 가습 용도의 압축 공기 분무식으로 최대한 자연 상태의 안개를 구현할 수 있도록 설치하였다. Salt fog chamber는 10 mm 두께의 아크릴로서 500 mm×500 mm×500 mm 규격으로 제작하였고, 부상은 각 시료 당 고압, 저압 측에 각각 1 개씩 설치하였다. 분무된 염수의 순환을 위하여 chamber 자체를 약 3° 정도 경사를 주었으며, 분사 노즐 전면에 편향판을 설치하여 fog 분사의 영향이 직접적으로 시료에 영향을 미치지 않도록 하였다. 유량은 시편에 부착되는 양이 15 ml/m²·min이 되도록 조절하였고, air compressor의 압력은 0.2 MPa로 맞추었다.

실험에 사용한 시편은 85 mm×50 mm×6 mm 크기로 잘라서 사용하였다. 시편은 ATH 함량 80 phr의 실리콘 고무를 180 °C에서 10 분간 경화하여 제

작하였다. 전극은 염수로 인한 산화를 방지하기 위해 스테인레스강을 사용하였다. 시편은 salt fog chamber 내에서 20°의 기울기를 갖도록 설치하였으며, 전극 간 거리는 30 mm로 하였다. 인가된 전압은 1.5 kV로 하여 전계 강도 0.5 kV/cm가 되도록 설정하였다. 염수의 용액 전도도는 1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로서 no significant pollution의 오손 수위로 설정하였으며, 실험은 건조대 아크에 의해 실리콘 고무 표면이 충분히 열화될 정도의 시간인 50 시간으로 설정하였다.

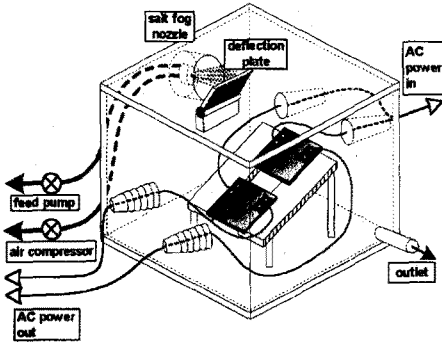


Fig. 1 Schematic diagram of salt fog chamber

또한, 100 Ω 의 shunt resistor를 직렬로 연결하고 양단의 전압강하를 통해 누설전류를 측정하였다. Data Acquisition System은 12 bit 8 channel A/D converter를 사용하여 제작하였으며, 25 kHz의 sampling rate로 2 채널을 사용하였다. 측정된 누설전류 성분은 실효전류 및 피크전류의 평균, 최대 피크전류, 축적전하량 및 누설전류 펄스의 횟수 등이다.

3. 결과 및 고찰

그림 2에 측정된 누설전류값을 나타내었다. 누설전류값은 커다란 증가를 나타내지 않고 있음을 알 수 있다.

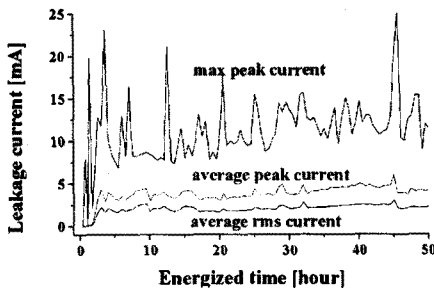


Fig. 2 Change of leakage current with time.

그림 3에는 전압이 인가되었을 때와 인가되지 않았을 때의 표면전도도 변화를 나타내었다. 전압이 인가

되지 않았을 때 표면전도도는 약 2 시간 이후부터 포화되는 경향을 관찰할 수 있는데, 이는 실리콘 고무 표면이 초기의 발수성을 소실하여 친수성으로 전이하는 시점이 된다. 한편, 전압을 인가한 경우, 표면전도도는 표면이 친수성으로 전이하는 시간 동안에 급격히 증가하게 됨을 알 수 있다. 또한, 전압을 인가하였을 때와 인가하지 않았을 때 표면전도도의 차이는 약 4 배 가량으로 전압 인가에 의해 표면전도도가 크게 영향을 받음을 알 수 있다. 이는 표면에서 발생하는 건조대 아크에 의해 표면이 거칠어지는 것이 주된 요인으로 알려져 있으며, 이 외에도 전계 스트레스에 의한 표면 물방울의 퍼짐 현상 및 물방울과 공기 및 절연물의 3 상 경계에서 전계의 증가에 의해 표면상태의 전이가 급격히 발생하기 때문으로 생각된다.

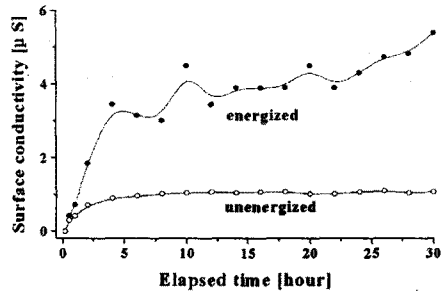


Fig. 3 Change of surface conductivity with time.

그림 3에서 나타나는 표면상태의 전이는 그림 4의 평균 누설전류(실효값)을 통해서도 확인할 수 있다. 그림에서와 같이 표면이 친수성으로 전이하는 시간에 누설전류의 값이 급격히 증가하고 건조대 아크가 발생함을 관찰할 수 있다. 또한, 건조대 아크는 누설전류의 값이 약 0.3 mA 이상이 흐를 때에 나타나는 것을 관찰할 수 있었는데, 이러한 전류는 초기 발수성이 유지되어 완전히 젖지 않게 되는 경우, 주로 실리콘 고무 자체의 유전율에 의한 용량성 누설전류 성분으로 볼 수 있고, 표면의 발수성이 저하되어 표면이 젖게 되면 점점 저항성 성분으로 변화하게 된다. 따라서, 누설전류의 크기는 초기 표면 발수성의 소실에 따른 변화를 잘 나타내고 있음을 알 수 있다.

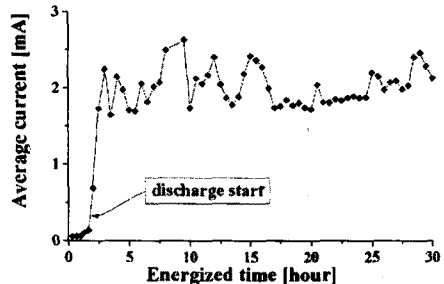


Fig. 4 Change of average current(rms) with time.

그림 5에 시간에 따른 축적전하량의 변화를 정극성 및 부극성으로 나누어 나타내었다. 축적전하량은 거의 선형적으로 증가하고 있으며, 정극성과 부극성이 거의 비슷한 크기임을 알 수 있다. 축적전하량의 선형적인 증가는 누설전류의 크기가 실험 시간에 따라 변하지 않고 일정하게 유지되는 실리콘 고무의 특성에 의해 나타나는 현상이다. 한편, Clean fog의 경우 부극성이 크고, salt fog의 경우 정극성이 크게 나타난다고 보고된 자료가 있으나 아직 그 정확한 이유는 설명이 되지 못하고 있다 [3]. 이러한 점, 부극성의 차이가 열화와 어떠한 연관을 가지는지에 대한 부분은 앞으로 연구가 더 진행되어야 할 것이다.

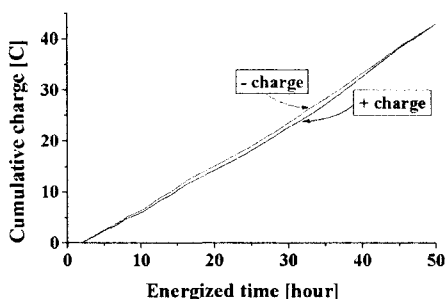


Fig. 5 Change of cumulative charge with time.

현장에 설치된 옥외용 절연물에 대한 조사 자료에서 아크의 크기에 따라 누설전류를 6 등급으로 나눈 것이 보고되어 있다. 자료에 의하면, 1~5 mA 전류는 육안관찰 가능한 보통 정도의 아크에 해당한다. 또한, 5~25 mA 전류는 쉽게 눈에 띄는 큰 아크이며, 그 이상의 전류는 절연물 갯 사이를 교락할 정도의 가혹한 아크에 해당한다 [4]. 이 자료에 의하면, 25 mA 이상의 전류 펄스의 계수는 절연물의 심각한 손상에 대한 경보 자료가 될 수 있음을 의미한다.

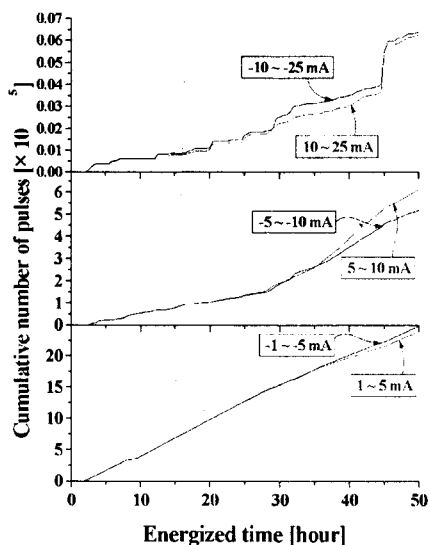


Fig. 6 Change of cumulative number of pulses.

누설전류 펄스의 계수와 열화와의 관련성을 조사하기 위해 그림 6에 축적된 누설전류 펄스값을 나타내었다. 표면의 열화가 진전됨에 따라 점점 큰 값의 펄스 성분이 나타남을 알 수 있다. 그러나, 25 mA 이상의 펄스 성분은 계수되지 않았다. 이를 통해 실리콘 고무 표면의 열화가 일정 정도 진전되어 있으나, 양 전극간이 섬락될 정도로 심각한 열화는 나타나지 않았음을 알 수 있다.

그림 7에 50 시간 후에 촬영한 건조대 아크 및 실험이 끝난 시료의 사진을 나타내었다. 사진에서의 전류는 약 5 mA의 펄스 성분에 해당하며 육안으로 쉽게 관찰된다. 또한 50 시간의 실험 후 트래킹 및 침식에 의한 표면의 변색을 관찰할 수 있다. 그림 5와 6에 의해서, 표면 열화와 누설전류 펄스는 밀접한 관련을 가지고 변화함을 알 수 있다.



Fig. 7 Appearance of specimen(right: 50h dry-band arc, left: after removed from the fog chamber).

4. 결 론

Salt fog 법에 의한 실리콘 고무의 열화 진단에 관한 실험 결과 누설전류 크기 및 표면전도도는 실리콘 고무의 발수성 소실과 밀접한 관련을 가지고 있고, 누설전류 펄스 계수와 열화 진전과 밀접한 관련을 가짐을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] R. S. Gorur, Proc. of 5th ICPADM, Vol. 1, pp. 35-38, 1997.
- [2] G. G. Karady, H. M. Schneider, F. A. Rizk, paper 33-103, Cigre, 1994.
- [3] Y. Mizuno et al., Conf. on EIDP, pp. 719-722, 1999.
- [4] A. E. Vlastos et al., Electra, No. 171, pp. 117-135, 1997.