

# Silicon rubber 애자의 salt-fog 표면열화 특성

## Surface Aging Properties of Silicon Rubber Insulator by salt-fog

이종찬\*, 이운용\*\*, 조한구\*\*, 박대희\*  
 (Jong-Chan Lee\*, Un-Yong Lee\*\*, Han-Goo Cho\*\*, Dae-Hee Park\*)

### Abstract

In this paper, the silicon rubber insulator for transmission line was experimented for 1,000 hours aging test in salt-fog condition. To evaluate and examine the aging properties of silicon rubber insulator for test, the leakage current of surface was measured. Also hydrophobicity and scanning electron microscopy were compared with initial and aged sample respectively. Above results, we can confirm that the surface properties of silicon rubber insulator easily aged by salt-fog condition.

**Key Words** : Silicon rubber insulator, salt-fog, hydrophobicity, leakage current, surface aging

### 1. 서론

자기애자의 절연물은 가격이 저렴하고 옥외에서 화학적 안정성이 뛰어나고, 내열성과 내아크성이 우수하여 실제 절연물의 주종을 이루어 왔다. 그러나 충격강도가 약하고 소결시 부피감소가 커서 재질의 두께 변화폭이 큰 절연물 제작에 어려움이 있다[1~2]. 특히 표면 에너지가 큰 자기체는 친수 특성을 가지고 있으므로 오손된 상태의 절연물 표면이 흡습되면 누설전류가 증가하고 부분방전이 일어나서 면방전으로 발전하기 쉽다[3]. 그러나 옥외용 절연구조재로서 고분자 애자는 자기애자에 비해 기계적 성질, 중량, 가공성 및 치수안정성이 우수하지만, 자연환경에서 염무와 자외선 등에 의한 오손이 문제로 제기되고 있다.

본 논문은 IEC 61109 Annex C[4]의 복합열화조건에서 송전용 실리콘 고무 애자를 1000시간 열화시험하고 표면 오손특성을 연구하였다. 복합열화시험 중 표면누설전류를 분석함으로써 열화를 관측하고 평가하였다. 또한 열화된 시료 표면의 소수성변화, SEM 분석을 통하여 표면열화특성을 확인하였다.

### 2. 실험

복합열화시험 장치도는 그림 1과 같으며, 시료는 총 6개를 설치할 수 있으며, 온, 습도가 조절이 가능하고, 챔버의 균일도를 위하여 주수 및 염수노즐이 전체공간에 적절하게 6개씩 분포되어 있다. 본 실험에 사용된 송전용 실리콘 고무 애자는 동경 31mm, 교대 갓 중 큰 갓의 직경은 126mm, 작은 갓은 직경은 47.5mm이며 갓의 수는 모두 5개로 구성되며, 시료의 누설거리(creepage distance)는 580mm, 공칭 시험전압은 20.8mm/kV로 실험하였다.

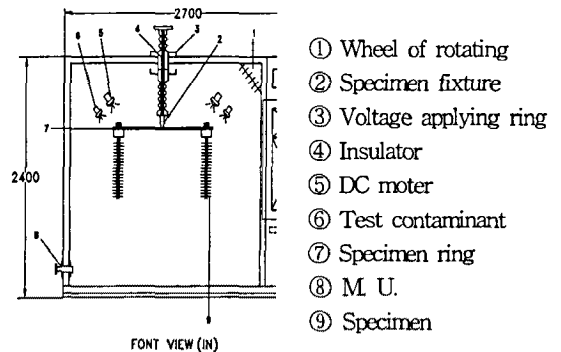


그림 1. 열화 시험장치  
 Figure 1. Aging test equipment

\* : 원광대학교 전기전자 및 정보공학부  
 \*\* : 한국전기연구원

고분자 절연물에 대한 열화시험은 단순한 염수 분무 시험보다는 주변환경의 사이클 특성과 열화와의 관계를 고려한 사이클 시험이 절연물의 열화를 모의하기에 더 적합하다. 따라서 실험 조건은 표 1의 IEC 61109 Annex C 복합열화시험으로 표 2의 사이클 조건으로 1000시간 수행하였다[4].

표 1. IEC 61109 Annex C 복합열화시험방법

규격	IEC 1109 Annex C	
약칭	복합열화시험법	
샘플	모델애자	
시험 방법	모의 태양광 인공강우 건조가열 50℃ 습윤가열 50℃ 98% rh 고습윤 95% rh 24h을 1사이클로 함	
	오손액 성분	NaCl 7 kg/m <sup>3</sup>
	오손액 도전율	1.15 S/m
	인가전압(전계)	50kV/mm(20.8 mm/kV)

표 2. 복합열화 실험 사이클

전 압										
인공강우										
습 도										
가 열										
염 무										

### 3. 결과 및 고찰

가속 열화 사이클이 진행되면서 시료 표면의 건조대에 전압이 집중되어 어느 정도의 시간이 경과되면 그 곳을 중심으로 미소 방전이 발생한다. 방전은 전극 주위의 건조대에서 매우 작은 점 형태로 발생하기 시작하여 점차 방전 전류가 증가한다. 시료 표면이 염무 분부에 의해 젖기 시작하면 미소 방전들은 점점 증가하여 전극 주위에서부터 띠를 형성하게 되고 결국 절연물 전체로 확산된다. 이때 큰 에너지를 갖는 아크와 발생하는 열이 시료 표면에서 열화를 일으키는 원인이 된다.

그림 2는 송전용 실리콘 고무 애자에 대하여 1000시간 동안 열화를 진행시키면서 측정된 누설 전류의 변화를 나타낸다. 이때 누설전류의 측정은 가속열화 주기 중 염수 분무와 강우 주기를 제외한 다른 주기의 사이클에서는 누설전류가 거의 발생하지 않으므로 누설 전류 측정이 가능한 염수

분무와 강우 주기의 각 1시간에 대해 샘플링하여 측정 하였다

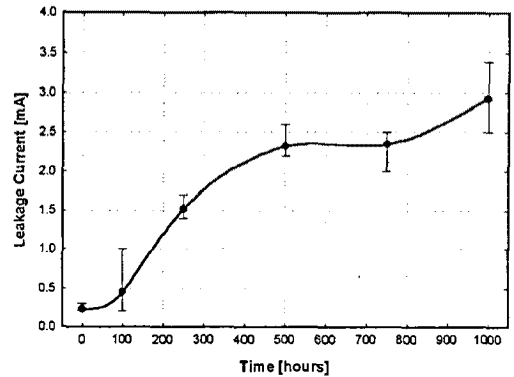


그림 2. 가속 열화 실험에 따른 누설 전류 특성

Figure 2. Leakage current properties by accelerated aging experiment

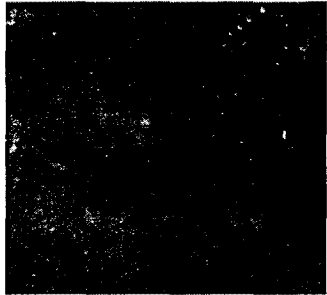
그림 2에서 알 수 있듯이 1000시간까지 가속 열화가 이루어진 시료의 누설전류는 수mA이하로 측정되었다. 이 정도의 누설전류는 연속적인 섬락을 발생시키지 않았고 다만 국부적인 미소 방전이 발생하는 범위에 해당되며, 실제로 염수와 주수 주기 시 미소한 방전만 관찰할 수 있었다.

일반적으로 교류 전압 스트레스로 인한 열화는 캐패시터 성분의 누설 전류가 주요원인이지만 습기와 오염원이 존재하는 환경의 경우는 점차 저항성 요소로 바뀌게 된다. 따라서 초기 0.5 mA이하의 누설전류는 펄스 형태의 방전 아크는 발생하지 않았다. 1~5mA 정도의 누설전류는 미세한 아크를 수반하므로 눈으로 식별이 가능하였다. 이때 아크 전류는 매우 짧고 작은 열에너지를 발생하면서 애자 표면 열화를 진행시킨다. 염무 가속 시험의 경우 누설전류의 값이 20mA 이상 지속되면 애자의 양 갯 사이에 섬락이 발생하는 것으로 알려져 있다. 그러나 본 실험에서는 누설 전류의 형태로 보아 주로 국부 방전에 의한 표면 열화가 누설 전류 특성에 지배적인 것으로 판단된다.

고분자 절연물의 발수성은 오손습윤시에 있어서 수막 형성과 누설전류 증가를 저지하는 효과로 트래킹과 침식현상에 중요한 역할을 한다. 그림 3은 발수성을 평가하는 방법들 중 STRI의 스프레이에 의한 육안분류법을 이용하여 초기와 1000시간 열화시료의 표면 발수성 상태를 나타낸다. 1000시간 열화시료의 경우 갯 바깥쪽 표면의 발수성이 상당히 저하된 것으로 보인다. 이는 갯과 갯 사이에서의 표면방전으로 인해 재료가 열화되어 발수성이 나빠진 것으로 사료된다.



(a)

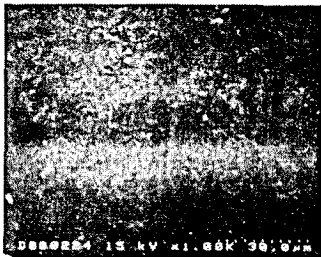


(b)

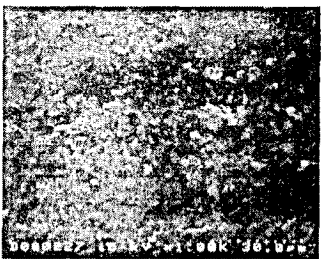
그림 3. 표면 발수성 상태 : (a) 초기시료, (b) 1000시간 열화된 시료

Figure 3. Hydrophobicity of surface

: (a) initial sample, (b) aged sample for 1000 hours



(a)



(b)

그림 4. SEM 사진 : (a) 초기시료, (b) 1000시간 열화된 시료

Figure 4. SEM image : (a) initial sample, (b) aged sample for 1000 hours

열화 시료의 표면 손상상태를 알아보기 위해 그림 4와 같이 초기 시료와 1000시간 열화된 시료의 SEM을 측정하였다. (b)의 경우, 열화로 인해 표면에 염분 및 부분 아크로 인해 무기물이 노출되어 표면이 거칠어졌다. 이와 같은 결과는 표면열화가 그림 2와 3에 나타난 발수성의 저하와 누설전류의 증가를 가져오게 된 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

본 논문은 IEC 61109 Annex C의 복합열화조건에서 송전용 실리콘 고무 애자를 1000시간 열화실험하고 표면 오손특성을 연구하였다.

1. 1000시간까지 가속 열화가 진행됨에 따라 누설전류가 증가함을 확인하였고, 5 mA 이하의 양호한 값이 측정되었다.
2. 열화의 진행은 표면방전으로 인하여 갓 바깥쪽이 갓 안 쪽보다 더 저하됨을 발수성 상태로 확인할 수 있었다.
3. SEM 사진을 통해 1000시간 열화된 시료는 복합열화로 인해 표면에 무기물이 노출되었음을 확인할 수 있었다.

#### 참고 문헌

- [1] R. S. Gorur, E. A. Cherney and R. Hackam, "A Comparative Study of Polymer Insulating Materials under Salt-Fog Condition", IEEE Transactions EI-21 No. 6, pp 175-186, 1986
- [2] A. de La O, R. S. Gorur and J. T. Burnham, "Electrical Performance of Non-ceramic Insulators in Artificial Contamination Tests", IEEE Transactions EI Vol, 3, No. 6, pp 827-835, 1996
- [3] S. M. Gubanski and E. E. Vlastons, "Wettability of Naturally Aged Silicone and EPDM Composite Insulators", IEEE Transactions Power Delivery, Vol. 6, No. 2, pp. 888-900, 1991
- [4] Jeffrey J. Kester et al., "Multi-stress Aging Tests of Polymer Housed Surge Arrester", IEEE Transactions Power Delivery Vol. 13, No. 2, April 1998.