

## 수분침투로 열화된 실리콘 고무의 전기적 염해 특성

### The Electrical Salt-Fog Performance of Silicone Rubber Material Aged by Water Immersion

연복희 · 이상엽 · 황명근 · 김완태 · 허창수  
인하대학교 전기공학과

B. H. Youn · S. Y. Lee · M. K. Hwang · W. T. Kim · C. S. Huh  
Dept. of Electrical Engineering, IN-HA Univ.

#### Abstract

In this study, we investigated the electrical characteristics of silicone rubber that being used outdoor insulating material, which had been immersed in salt water.

After immersed the sample in salt water, we measured surface hydrophobicity, weight loss and microscopic surface appearance, and then compared with these of the original.

And we tested the electrical characteristics of the aged sample by the water under salt-fog. These electrical characteristics are described by the average of leakage current, peak pulse number, which are recorded by data acquisition system.

The experimental results show that the resistance against tracking and erosion is decreased significantly by water penetration.

#### 1. 서론

기존의 자기질 재료에 비해 경량이며, 전기적 절연성, 성형성이 우수한 옥외용 고분자 절연재료는 최근 복합화하여 전선류, GIS, 변압기, 차단기, 부싱, 피뢰기, 애자 등 전력기자재 등에 사용되고 있다. 특히 이들 재료의 표면은 발수성이 우수하여 여러 가지 오염물이 부착되어도 누설전류가 작고 내오손 전압도 뛰어나다. 그러나 고분자 절연재료는 옥외의 자연환경에 노출될 경우 태양광(UV), 수분, 먼지, 매연 등 여러 가지 인자에 의해 전기적, 열적, 기계적 스트레스가 복합적으로 가해짐으로서 경년 열화가 우려되기

때문에 열화특성과 재질의 성능개선을 위해 많은 연구가 행해지고 있다.<sup>[1]</sup> 특히 옥외용 고분자 절연재료의 표면오손으로 발생하는 tracking과 erosion 형태의 성능저하는 아직 해결하지 못하고 있으며, 여러 가지 첨가제나 충전제를 사용하여 재질 및 성능에 지속적인 개발이 이루어지고 있는 상태이다.

본 연구에서는 강우와 안개에 의한 수분이 옥외용 고분자 절연재료 표면에 미치는 열화특성을 평가하기 위해 발수성과 화학안정성이 우수한 실리콘 고무를 염수에 침적하고 100°C로 유지시켜 가속열화를 시킨 후, 일정 시간마다 접촉각, 중량변화, SEM 등을 이용

하여 특성변화를 측정했으며 열화된 시료의 tracking과 erosion에 대한 저항성을 파악하기 위해 salt-fog 중에 평균누설전류, 피크펄스의 수, 무게손실 등의 여러 가지 정량적 측정방법을 이용하여 열화인자에 의한 실리콘 고무의 절연 특성 영향을 살펴보았다.

## 2. 실험방법

### 2.1 시료

본 연구에 사용된 시료는 HTV 실리콘 고무에 일정량의 충전재와 가교제 등을 첨가하여 제조한 것을 사용하였다. 시료의 크기는  $40 \times 40 \times 2\text{mm}$  와  $127 \times 127 \times 2\text{mm}$  두가지를 준비하여 하나는 수분침투로 인한 접촉각과 중량변화 측정에 사용하였고, 큰 시료는 salt-fog test에 사용하였다.

수분침투에 의한 열화시험을 하기 위해 IEEE 1024의 규격에 따라  $100^\circ\text{C}$ 의 물에 0.1wt %의 NaCl을 첨가하여 시료를 완전히 침적하여 최대 300시간 까지 유지시켰으며, 열화되는 동안 수분의 증발을 막아 일정한 조건을 주었고, 일정시간 마다 시료를 꺼내어 특성시험을 했다.

### 2.2 Salt-fog 실험

Salt-fog 실험은 염수침적으로 열화된 시료의 내트래킹성과 내침식성을 평가하기 위해 사용하였다. [그림1]에 염수 분무 시험공간 및 데이터 취득시스템의 개요를 나타내었다.

이 실험장치는 ASTM D 2132<sup>[2]</sup>에 따라 제작한 것이며, 염수의 전도도를 가혹한 조건을 주기 위해  $2000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 로 정하였다. 본 실험에 사용된 조건은 전극간 거리가 25.4mm에 1.5 KV를 인가했으며, 전극은 탄소전극을 사용하여 염수로 인한 침식을 방지하였다. 또 노즐은 입경  $10 \mu\text{m}$ 이하의 가습용도의 압축공기 분무식으로 하여 최대한으로 자연상태의 안개를 구현할 수 있도록 하였으며 한 개의 시료에 낙하하는 물의 입자의 양을 시간당  $42 \mu\text{l}$ 로 조절하였다.

여기서 데이터 취득을 위해 시스템을 구성

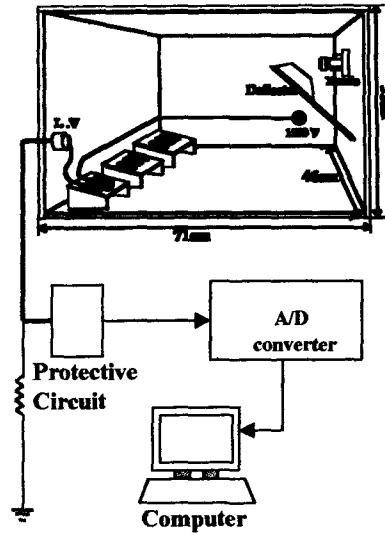


그림1. Salt fog chamber 및 데이터 취득시스템

하였는데 측정 장치는 제품명 PCL 818, 분해능 12bit, 변환속도가 100KHz의 성능을 가진 8 channel A/D converter를 사용하였으며, 일정한 주기를 가지고 표면에 흐르는 누설전류를 검출하여 그 평균치와 적분치를 계산하도록 프로그램하고, 30mA 이상의 전류치를 피크로 검출하여 카운트하도록 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 수분 침투에 의한 열화

[그림2]에 염수 침적시간에 따른 접촉각과 중량변화를 나타내었다. 접촉각은 표면의 젖음성을 나타내는 지표로 시료의 내오손성을 평가하는 매우 중요한 특성이고, 중량변화는 수분침투로 인한 재료의 손실에 해당하기 때문에 재료성능에 상당한 평가자료가 될 수 있다. 초기에 시료 표면은 발수성을 가지고 있어  $110^\circ$  정도의 높은 접촉각을 나타냈지만 침적시간이 길어짐에 따라 접촉각이 감소했고, 이와 함께 중량의 감소가 계속 증가해 갔다. 이런 경향은 200시간 까지 계속되었고, 이후 접촉각과 중량손이 변화가 거의 없었다. [그림3]은 침적시간에 따른 SEM 관찰사

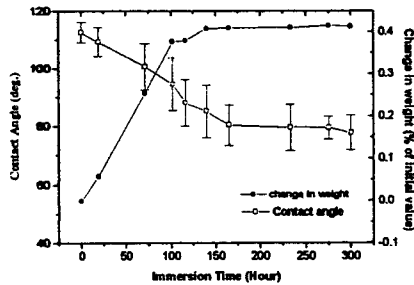


그림2. 침적시간에 따른 접촉각과 증량변화

진을 나타내었는데 초기에 비교적 균일하게 분포하였던 충전제의 입자들이 100시간, 200시간 지남에 따라 충전제의 분포가 더욱 증가한 것을 볼 수 있었고 그 후 300시간까지는 그 상태가 유지되었다. 위 사항으로 미루어 볼 때 수분침투로 인해 base polymer와 충전제 입자간의 결합력이 약해져 충전제가 표면으로 용출되고 이로 인한 거칠기의 증가로 접촉각의 감소현상으로 이어졌고, 증량손을 시료 제작과정의 여러 가지 첨가재나 오일성분이 빠져 나간 것으로 생각되어진다.

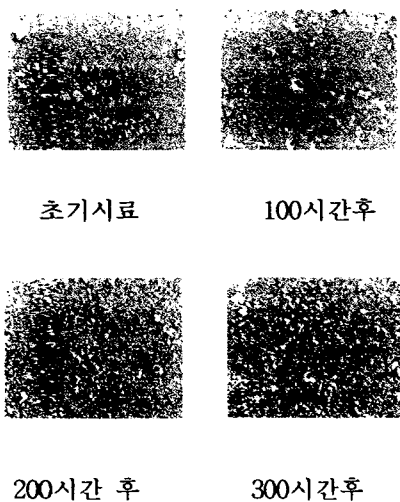


그림3. 침적시간에 따른 표면변화

### 3.2 초기 시료와 열화된 시료간의 염해특성 비교

염수침적으로 열화된 시료를 salt-fog중에서 내오손 특성 실험을 하여 수분침투로 인한

열화가 시료의 내트래킹성 및 내침식성에 어떠한 영향을 미치는지에 관해 관찰하였다. Salt-fog와 전압 스트레스를 동시에 인가한 초기에는 누설전류가 흐르지 않던 시료 표면에 건조대가 형성되어 미소한 방전을 관찰할 수 있었으며, 그 후 건조대 아크의 지속시간이 길어지고 더 큰 펄스의 방전이 일어나나 중에는 섬락으로 이어졌다. 보통 파괴형태는 침식형으로 위전극에서 아래전극으로 관통하는 통로가 형성되었으며, 또한 전극 주위에 상당한 트래킹 파괴 현상도 볼 수 있었다. 이런 건조대 아크의 진전과정 동안 평균누설전류, 증량손실, 피크펄스의 수, 무게손실 등의 여러 가지 정량적 측정방법을 사용하여 초기시료와 비교함으로써 열화인자에 의한 실리콘 고무의 절연특성 영향을 살펴보았다.

#### 3.2.1 평균누설전류

[그림4]에 시험시간에 따른 누설전류의 평균치의 변화를 초기 시료와 수분침투로 열화된 시료에서 측정된 값을 나타내었다. 초기에는 누설전류가 거의 흐르지 않다가 5시간 이후에는 1~2mA 정도의 약한 누설전류가 흘렀고, 섬락이 일어나기 전에는 10~15mA의 누설전류로 진전되었다. 또한 수분침투로 열화된 시료의 경우에는 처음부터 방전이 형성되어 초기시료에 비해 상당히 높은 누설전류 값을 나타내었으며 순시적인 누설전류의 변화폭도 컸다. 또한 절연파괴가 일어날 때까지 측정한 결과 파괴시점까지 걸리는 시간도 상당히 짧아진 것을 알 수 있었다. 이것은 수분침투로 열화된 시료표면이 초기시료에 비해 비교적 친수성을 띄고 있어 물 막의 형성이 용이해 발수성으로 인한 누설전류 억제 효과가 떨어졌기 때문에 상대적으로 높은 누설전류 값을 보였으며, 또한 충전제가 수분 침투로 인해 표면으로 빠져나갔기 때문에 tracking 및 erosion에 대한 저항성이 떨어져 최종적인 절연파괴시간도 상당히 단축되었다고 생각되어진다.

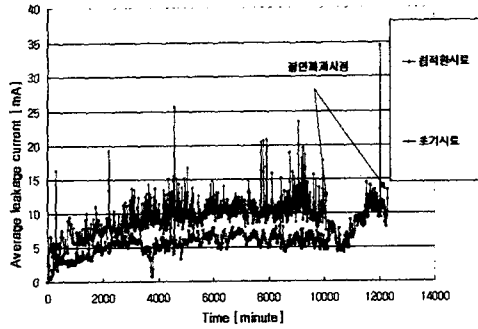


그림4. 초기시료와 열화된 시료의 평균누설전류 변화

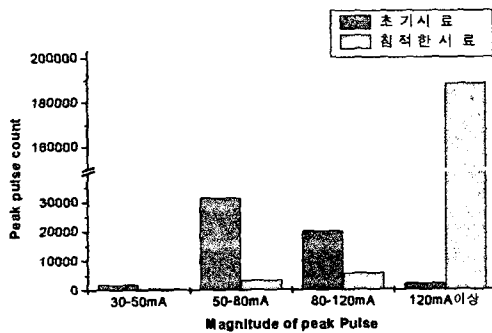


그림5. 초기시료와 열화된 시료간의 피크펄스의 비교

### 3.2.2 피크펄스의 수

시험시간에 따라 순시적인 누설전류 값 중 30mA 이상의 전류치를 피크펄스로 정해 일정크기 범위로 나누어 개수의 변화 추이를 [그림5]에 나타내었다. 이런 피크펄스는 재료가 노화될수록 증가하는 경향을 보이는데 실험결과 초기시료에 비해 수분침투로 열화된 시료가 큰 펄스의 분포가 상대적으로 많이 차지하고 있으며, 절대적인 펄스개수도 상당히 많이 검출되었다.

### 3.2.3 중량변화

초기시료와 수분침투로 열화된 시료를 Salt-fog중에 절연파괴가 일어난 후 중량의 변화를 [그림6]에 나타내었다. 초기시료에 비해 염수침투적으로 열화된 시료의 경우 중량의 손실이 더욱 심하게 나타났는데 이것은 수분 침투로 인해 표면이 약해져 큰 펄스형 아크

로 인해 떨어져 나간 성분이 증가한 것으로 생각된다

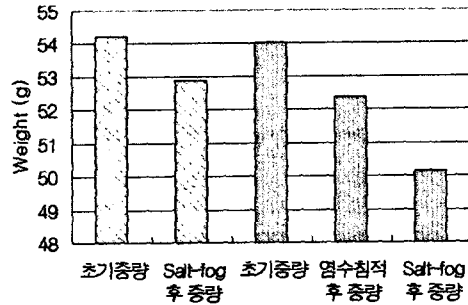


그림6. 초기시료와 열화된 시료간의 salt-fog testing 후 중량변화.

## 4. 결론

옥외용 고분자 절연재료로 많이 사용되는 실리콘 고무를 100℃의 염수 속에서 가속 열화처리한 후 수분의 침투에 의한 실리콘 고무 표면 상태 및 전기적 특성을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 실리콘 고무는 염수에 침적하는 동안 발수성과 중량의 손실이 나타났으며 또한 표면에 충전제 입자들이 용출되는 것을 확인할 수 있었다.

2) 염수로 처리된 시료를 salt-fog 중에서 전압을 인가해 누설전류, 피크펄스의 수, 섬락시간, 중량손을 측정된 결과 수분 침투에 의해 급격한 절연성의 저하를 나타내었다.

## 참고문헌

- [1] R. S. Gorur, E. A. Cherney and R. Hackam, "A Comparative of Polymer Insulating Materials under Salt-Fog Conditions" IEEE EI-21, No2, pp 175-182, April 1986
- [2] ASTM D 2132-89 "Standard Test Method for Dust-and fog tracking and Erosion Resistance of Electrical Insulating Materials"
- [3] R. S. Gorur, J. Chang and O.G. Amburgey, "Surface hydrophobicity of polymeric materials used for outdoor insulating Applications" IEEE