

누설전류 측정을 통한 옥외용 실리콘 절연재의 회복특성

허창수* · 연복희* · 이상엽* · 이종한**
인하대학교 전기공학과* · 대닝실리콘(주)**

Investigation of Recovery Characteristic in Silicone Rubber Used for Outdoor Insulation by Measuring Leakage Current

Huh Chang-Su* · Youn Bok-Hee* · Lee Sang-Youb* · Lee Jong-Han**
Dept of Electrical Engineering INHA Univ** · Dawning silicone Co.**

Abstract - Silicone rubber have presently been using in large number for a variety of outdoor HV applications. Silicone rubber have the properties of low surface energy and are able to retain its hydrophobicity or water repellency, thereby suppress the leakage current in the present of moisture and contamination. In this paper, we investigated the recovery characteristics of silicone rubber by measuring the leakage current under salt-fog.

1. 서 론

최근 고압설비의 옥외 절연체는 기존에 사용되어 왔던 자기 및 유리에서 고분자 재료로 대체되어 가고 있는 실정이다. 이렇게 고분자로 옥외 절연체를 사용하게 되면 경량이고, 고강도, 고인장력의 절연체를 제조할 수 있어 관련된 주변설비의 소형화, 보관, 설치인력, 보수 등의 면에서 절감이 가능하다.

이런 고분자 재료 중 실리콘 고무는 내광성, 내열성, 산화안정성, 내후성이 우수하고 특히 표면에너지가 낮아 발수성이 뛰어나므로 습기나 오염물질이 존재하는 환경에서도 누설전류를 제한하는 특성을 가지고 있다. 이로써 재료 표면을 손상시켜 결국에는 절연파괴를 일으키는 건조대 아크의 발생확률이 줄어들게 된다. 그리하여 가공선로용 애자, 케이블 접속제, 피뢰기, 부싱 등의 옥외용 절연체로서 응용이 크게 확대되고 있다. 또한 실리콘 고무는 열화 인자가 소멸되면 다른 고분자나 세라믹 절연체에 비하여 원래의 절연특성과 발수성을 다시 찾는 동적 회복 능력을 가지고 있다. 이러한 회복현상은 절연체 내부로부터 분자량이 작은 실리콘 유제 성분의 확산에 기인하는 것으로 알려져 있다.

하지만 이런 회복특성은 재료의 경시열화와 함께 저하하게 되며 옥외 절연체 측면에서 보면 이런 현상이 실제 사용 수명을 결정하는 요인으로 작용할 수도 있다.

본 연구에서는 실리콘 고무의 회복특성을 조사하기 위해 인공염무 조건에서 누설전류와 시료 표면의 발수성 정도를 측정하였다. 인공염무 실험에서는 습한 조건과 전압을 주기적으로 인가해 실리콘 고무 특유의 회복현상이 일어날 수 있게 유도하였으며, 열화과정 중 누설전류 측정을 위해 데이터 취득 시스템을 구성하여 경시적으로 변화하는 누설전류를 관찰하였다. 또한 회복현상에 따른 시료 내의 저분자량 성분을 핵산 속에서 침적하여 측정하므로써 표면 발수성의 변화와 함께 고찰하였다.

2. 본 론

본 연구에 사용된 시료는 HTV 실리콘 고무로, 이 재료는 옥외 절연체로서의 특성향상을 위해 여러 가지 첨가제가 포함된 것이다. 시료는 2mm 두께로 준비하였고 전극간 거리 25.4mm에 1.5kV를 인가하여 인공염무 실험을 하였다. 전극은 상부전극과 하부전극으로 구성되어 있는데 각각 탄소와 스테인레스로 제작하였으며, 염

수분무를 위해 압축공기를 이용하여 분무식 노즐을 사용하였다. 또한 분사된 염수가 시료표면에 직접 닿지 않도록 진향판을 설치하였으며, 챔버 자체를 약 5° 기울여 분사된 물이 순환하도록 하였다. 챔버의 자세한 그림과 데이터 취득 시스템은 앞서 발표된 논문에서 나타내었다. [1]

본 실험에서 사용된 접촉각 측정값은 5 μ l의 증류수를 일정한 높이에서 떨어뜨려 정적 접촉각 측정장치를 사용하여 접촉각을 사용하였다. 또한 저분자량 측정은 핵산에 일정시간 침적 후 중량변화를 측정하여 핵산 안으로 확산되어 간 저분자량 성분을 측정하였다. [1], [2]

2.1 염수 전도도에 따른 누설전류의 변화

일반적으로 전도성 물질에 오염되어 있는 시료 표면에 흐르는 누설전류 평균치의 변화는 시료 표면 위의 건조대 아크에 관련되어 있다. 일단 시료 표면에 건조대 아크가 형성되면 간헐적 아크가 발생하고 빈도가 많아지게 된다.

우선 분사되는 염수의 전도도를 500 μ S/cm, 2,000 μ S/cm, 10,000 μ S/cm로 조절하여 8시간 동안 전압을 인가한 후, 16시간 건조되는 회복시간을 두어 염수 전도도에 따른 회복특성을 관찰하였다. 각각 측정결과를 그림 1, 그림 2, 그림 3에 나타내었다.

500 μ S/cm와 2,000 μ S/cm의 경우 전압과 염수가 반복적으로 인가되면서 누설전류가 증가하는 것을 볼 수 있었다. 하지만 2,000 μ S/cm의 염수를 사용하였을 경우, 싸이클 당 누설전류의 차이를 보다 확실하게 볼 수 있었다. 그리고 10,000 μ S/cm의 염수를 분사한 경우, 누설전류가 짧은 시간에 심하게 변화했으며, 싸이클이 반복되면서 누설전류의 증가나 시간에 따른 누설전류의 변화를 확인하기 힘들었다. 이것은 시료 표면의 발수성이나 내오손성 때문에 나타나기 보다는 표면으로 떨어진 전도성의 염수를 따라 전류가 흐르는 것으로 판단된다.

이로써 실리콘 고무의 회복특성을 좀 더 자세히 관측하기 위해서, 본 연구에 사용된 salt-fog chamber 하에서는 2,000 μ S/cm의 염수를 사용하는 것이 바람직함을 알 수 있었다.

2.2 회복시간에 따른 누설전류의 변화

앞에서 사용된 8시간 전압인가와 16시간 회복시간의 1싸이클에서, 회복시간을 16시간 이외에 48시간과 96시간을 두어 건조시간에 따른 누설전류의 증감을 비교하였다. 그림 4와 그림 5에는 각각 회복시간을 48시간과 96시간 둔 경우의 누설전류를 나타내었다. 또한 그림 6에는 그림 2에서 얻은 누설전류의 평균치와 다른 회복시간을 가진 경우와의 값을 비교하였다.

그림 4와 그림 5에서 보는 바와 같이 회복시간이 길어질수록 누설전류 값이 감소하는 것을 볼 수 있었다. 16시간의 회복시간을 둔 경우를 기준으로 하였을 때, 마지막 싸이클에서의 평균 누설전류의 값을 비교해 보면 48시간의 경우는 60%, 96시간의 경우는 50%이하로 감소했다.

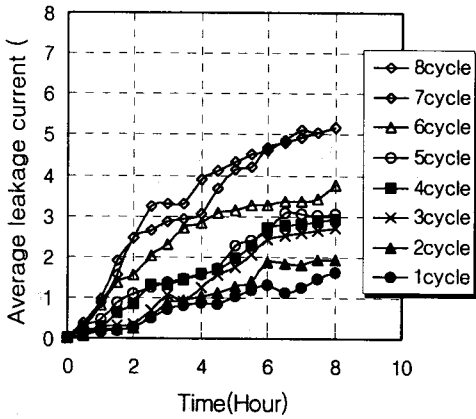


그림 1. 500 $\mu\text{S/cm}$ 염수 분무시 평균 누설전류 변화량

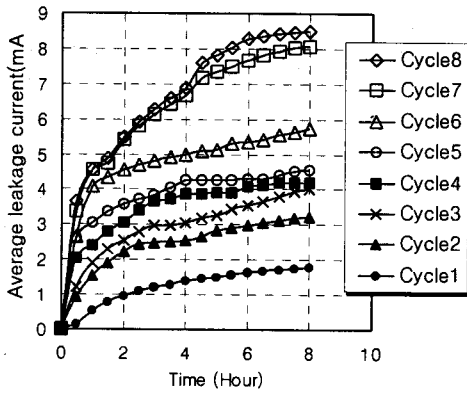


그림 2. 2000 $\mu\text{S/cm}$ 염수 분무시 평균 누설전류 변화량

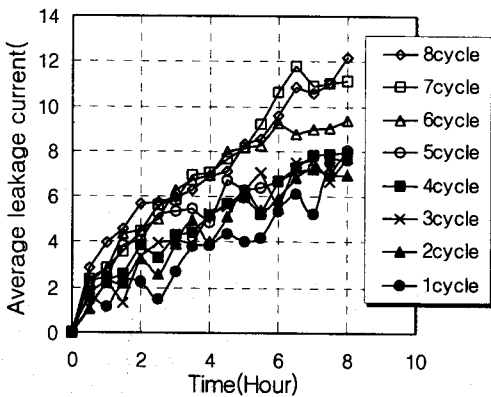


그림 3. 10000 $\mu\text{S/cm}$ 염수 분무시 평균 누설전류 변화량

그림 6에서 보는 바와 같이 전체적인 싸이클마다 누설전류 값이 감소하는 것을 볼 수 있었으며, 표면의 건조대 아크나 미소발광의 발생빈도에 있어서도 확연히 줄어든 것을 관측할 수 있었다.

보통 실리콘 고무의 회복현상은 벌크에서 분자량이 작은 실리콘 유제 성분이 표면으로 확산되어 오손물을 포괄하거나 발수성을 유지하는 것으로 알려져 있는데, 위

의 결과로 볼 때, 실리콘 고무의 회복현상은 열화인자가 없는 건조시간이 길어질수록 잘 일어나며, 이로 인해 누설전류의 제한과 아크의 발생빈도를 줄여 표면의 열화현상이 적은 것으로 생각된다. [2], [3]

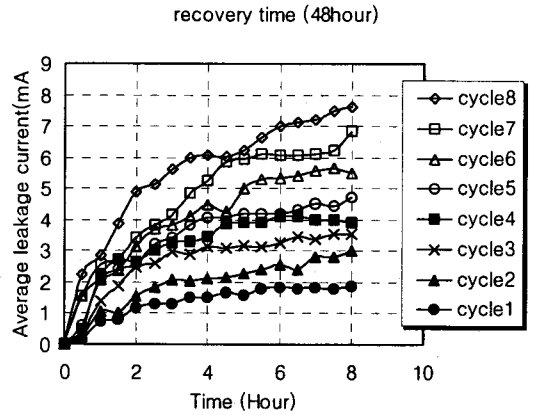


그림 4. 48시간 회복시간의 경우 평균 누설전류 변화량

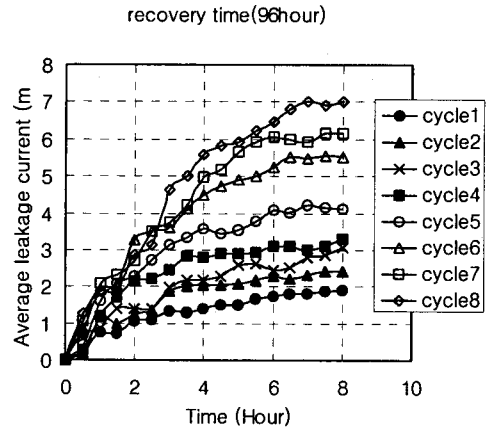


그림 5. 96시간 회복시간의 경우 평균 누설전류 변화량

2.3 회복시간에 따른 발수성의 회복

위와 같이 salt-fog chamber 내에서 주기적으로 열화된 시료의 접촉각을 측정하여 표면의 발수성을 관찰하였다. 측정 결과를 그림 7에 나타내었는데, 각 회복시간을 달리한 싸이클이 반복되면서 회복시간 마지막 1시간 전에 측정한 값이다.

그림에서 보는 바와 같이 16시간의 회복시간을 둔 경우, 시료 초기 접촉각 120° 에서 싸이클이 반복되면서 103° , 91° , 87° 로 감소한 반면, 48시간 회복시간을 두면 초기 접촉각에서 112° , 104° , 99° 로 떨어졌다. 회복시간이 가장 긴 96시간의 경우는 115° , 110° , 105° 로 떨어졌다.

그림 8에는 한예로 회복시간 48시간의 경우, 회복 후의 접촉각의 변화를 사진으로 나타낸 것이다.

위에서 보는 바와 같이 회복시간이 길어지면서 접촉각이 떨어짐 정도가 천천히 일어나 회복되고 있는 것을 알 수 있었다. 누설전류 측정과 비교해 보면 표면의 발수성 회복 정도가 시간이 길어지면서 크게 나타나 평균 누설전류의 감소로 이어져, 발수성의 정도가 표면 누설전류의 거동에 상당한 영향을 미치는 것을 확인하였다.

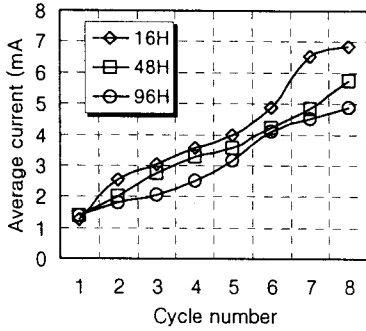


그림 6. 회복시간에 따른 전체 평균 누설전류 변화량

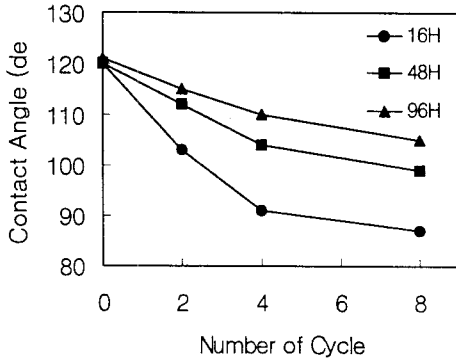


그림 7. 회복시간에 따른 접촉각의 변화

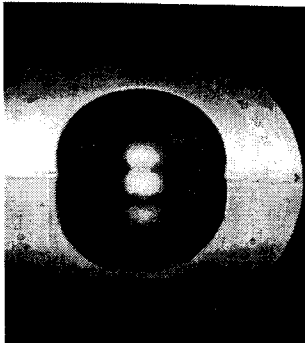


그림 8. 접촉각 사진의 예(회복시간 48시간의 경우)

2.4 회복시간에 따른 저분자량의 확산

그림9에는 회복시간 중 주기적으로 시료를 얻어 계산에 일정시간 침적시켜 표면으로 확산된 저분자량 실리콘 유제 성분의 양을 측정된 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 회복시간이 길어지면서 핵산으로 빠져 나온 중량성분이 증가하였으며, 이 저분자량 성분이 표면의 발수성을 회복시키고 또한 누설전류를 제한하는 효과를 나타낸 것으로 생각된다.

3. 결 론

실리콘 고무의 회복특성을 조사하기 위해 인공염무 조건에서 회복시간을 달리하여 누설전류와 시료표면의 발수성, 표면으로 확산된 저분자량 성분의 양을 측정할 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

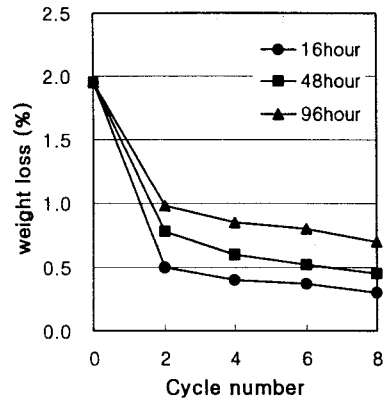


그림 9. 회복시간에 따른 저분자량 성분 확산 변화량

1. 실리콘 고무는 회복시간이 길어지면서 누설전류 값이 감소하는 것을 볼 수 있었으며, 표면의 건조대 아크나 미소발광의 발생빈도에 있어서도 확연히 줄어든 것을 관찰할 수 있었다.
2. 회복시간에 따라 표면의 접촉각 측정을 통하여 발수성의 회복 특성을 살펴본 결과 회복시간이 길어지면서 접촉각의 감소 정도가 천천히 일어났다.
3. 회복시간에 따른 누설전류와 접촉각의 회복특성은 시간이 길어짐에 따라 표면으로 확산되어 나가는 실리콘 고무 내 저분자량이 증가하기 때문이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 허창수, 연복희, 조한구, "HTV 실리콘 고무에서 열화인자에 따른 저분자량 성분과 표면 발수성의 변화", 전기전자재료학회논문지, 12권 1호, pp. 1-10, 1999
- [2] R.S. Gorur, "surface hydrophobicity of polymers used for outdoor insulation", IEEE trans. PD, Vol.5, NO.4, 1990
- [3] J.W. Chang, "surface recovery of silicone rubber used for HV outdoor insulation", IEEE trans. EI, Vol. 1, No. 6, Dec. 1994