

# Salt Water Boiling에 의한 Silicone Rubber의 표면열화특성

한상일\*, 유승덕\*, 이병성\*\*, 윤진열\*\*, 박강식\*, 한상옥\*  
충남대학교\*, 전력연구원\*\*, 충남전문대\*

## A Surface Aging Characteristics of Silicone Rubber by Boiling in Salt Water

S. I. Han\*, S. D. Yu\*, B. S. Lee\*\*, J. Y. Yoon\*\*, K. S. Park\*, S. O. Han\*  
Chungnam Nat'l Univ.\*, KEPRI\*\*, Chungnam Junior Coll.\*

**Abstract** - This paper dealt with the surface aging characteristics of silicone rubber used as the surface material of outdoor polymer insulators under accelerated aging condition. There are many aging factors in natural environment. In this paper, the silicone rubber were accelerated to evaluate their performance against salt fog, that is, they were dipped in pure water and salt water under boiling condition. Then, contact angle and SEM(Scanning Electron Microscope) were used to estimate surface hydrophobicity, and dielectric loss( $\tan \delta$ ) and surface leakage current were measured to observe the electrical characteristics.

중 고습도 염분 오손에 의한 표면의 열화특성을 평가하기 위해서 Silicone Rubber를 순수한 증류수와 Salt Water에 담고 Boiling 처리를 하여 가속 열화시킴으로서 Salt Water의 침투에 의한 Silicone Rubber 표면에서의 영향을 분석하였다.

### 1. 서 론

### 2. 실 험

최근 옥외용 애자에 있어 기존의 포세린 애자보다 고분자 애자가 여러 가지 우수한 특성 즉, 내트래킹성, 내오손성, 내충격성, 발수성 및 절연내력이 우수하고 소형, 경량으로 제작이 가능하고 기계적 강도 및 가공성이 좋은 특성 때문에 이에 대한 연구개발 및 응용이 급증하고 있는 추세이다. 고분자 애자의 절연재료로서는 Silicone Rubber, EPDM, 에폭시 등이 사용되고 있는데 이 중 Silicone Rubber는 다른 재료보다 내열성과 내후성이 우수하여 고분자 애자의 Shed의 재질로 가장 많이 사용되고 있다. 그리고 옥외용 고분자 애자는 자연 환경에 항상 노출되는 특성 때문에 충분한 내후성이 있어야 하는 문제점이 있다. 자연환경의 열화요인으로는 UV(자외선), 수분, 오염물질(염분, 매연, 먼지) 등이 있고 이와 함께 전기적, 열적, 기계적 스트레스가 가해짐으로서 고분자 애자는 점차 열화되어 절연성능을 잃게 되고 과전하에서는 표면에 침식 및 트래킹이 진전되어 절연과피사고로 이어지게 되기 때문에 절연열화의 메카니즘에 대한 규명 과 특성연구가 필요하다.

본 실험에서 사용된 시료는 독일 Wacker사의 HTV(고온경화형) Silicone Rubber을 150℃에서 20분간 프레스하여 1mm의 두께로 제작한 후 가로, 세로의 크기를 40mm×40mm로 절단하였다. 이 절단된 시료들은 IEEE 1024의 규정중 수분침투시험에 따라 NaCl이 0.1wt% 함유한 Salt Water에 100시간 담근 후 Boiling 처리를 하였고 이와 비교 평가를 위해 순수한 증류수와 더 가혹한 열화조건을 주기 위해서 NaCl이 0.3wt%, 0.5wt%를 함유한 Salt Water에 시료를 담근 후 500시간 정도까지 Boiling 처리를 하였다.

이렇게 열화시킨 시료는 그 표면열화특성을 분석하기 위해서 전자저울을 이용해 중량손을 측정하였고 표면의 발수성 정도를 알아보기 위해서 접촉각을 측정하였는데 이것은 표면의 내오손성을 나타내는데 중요한 지표이다. 이때 접촉각은 표면에 3 $\mu$ l의 액체(증류수) 방울을 떨어뜨린 후 평균값으로 나타났다.

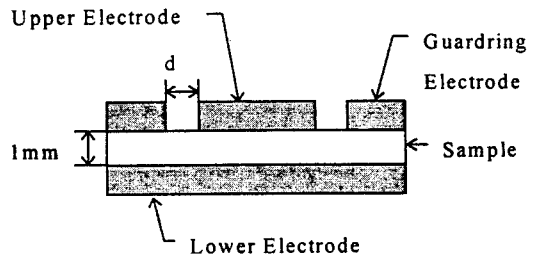


Fig. 1 Arrangement of Electrode and Sample

따라서 본 논문에서는 위의 여러 가지 열화요인

그리고 시료의 전기적 특성중 유전특성을 보기 위해 유전체손( $\tan \delta$ )을 측정하였고 표면의 절연저항을 알아보기 위해서 표면누설전류를 측정하였다. 여기서 그림 1에서와 같이 Upper Electrode와 Guardring Electrode 사이의 간격,  $d$ 는 유전체손은 7mm, 누설전류는 1.5mm로 하여 측정하였다. 또한 SEM(Scanning Electron Microscope)을 사용하여 표면의 상태를 관찰하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 중량손 특성

그림 2는 실리콘 고무를 Salt Water로 Boiling 처리를 하였을 경우 시간에 따른 중량손의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 나타난 것처럼 모든 시료는 처리조건에 관계없이 시간에 따라 중량손이 증가하며 NaCl의 함량 증가에 따라 큰 폭의 변화없이 약간의 차이를 보이면서 중량의 손실이 서서히 증가함을 나타냈다. 이는 실리콘 고무의 표면이 수분의 침투에 의해 시간에 따라 서서히 침식되는 것으로 생각되며 이와 같은 추정은 표면에 대한 침식 현상이 SEM 사진에서 보다 확실하게 확인이 되고 있다.

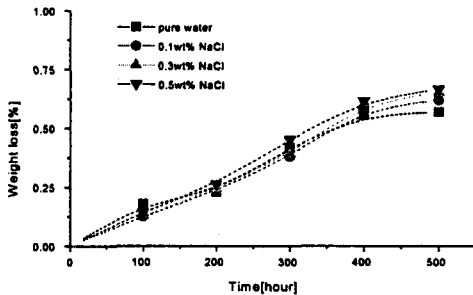


Fig. 2 Weight loss as a function of boiling time in pure water with various NaCl content.

#### 3.2 접촉각 특성

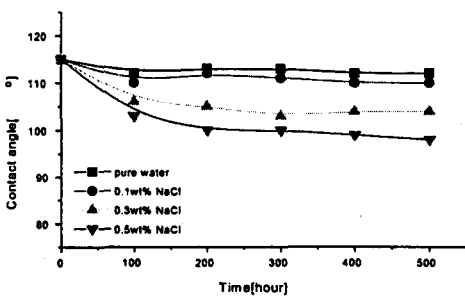


Fig. 3 Contact angle as a function of boiling time in pure water with various NaCl content.

그림 3은 Boiling 처리 시간에 따른 실리콘 표면의 접촉각을 측정된 것이다. 그림에서 표면의 접촉각은 초기에 115 °인데 100시간 정도까지 접촉각이 감소를 보이다가 그 이후에는 거의 변화없이 일정함을 나타내고 있다. 그리고 NaCl의 함량을 증가하면 할수록 초기의 접촉각 저하가 크다는 것을 보여주고 있다. 이것은 표면에 수분의 침투에 의해 표면이 거칠어져 발수성의 저하를 보이다가 어느 한계에 이르러서는 발수성의 변화는 거의 일어나지 않는 것으로 보여지며 또한, NaCl의 함량의 증가에 따라 표면의 오손 정도가 심하여 초기의 발수성 저하는 더 큰 것으로 보여진다.

#### 3.3 유전체손 특성

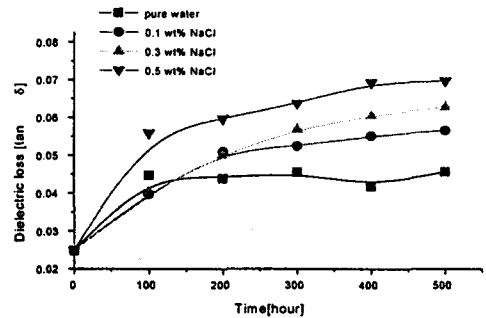
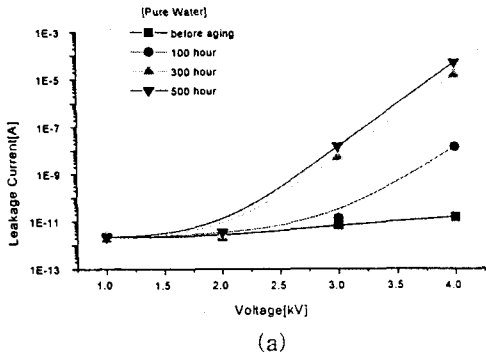


Fig. 4 Dielectric loss( $\tan \delta$ ) as a function of boiling time in pure water with various NaCl content.

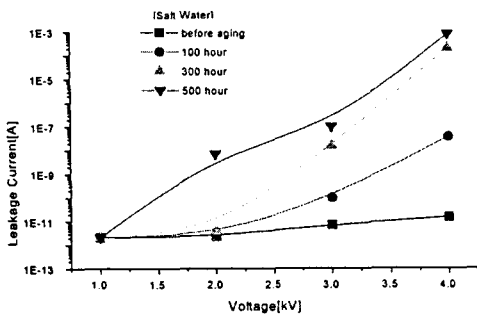
시료 표면의 유전체손은 상용주파수(60Hz)에서 측정된 것인데 그림 4에서 보여주듯이 시료를 Boiling 처리한 시간에 따라 100시간까지는 급격히 증가하다가 그 이후에는 서서히 증가하는 것을 보여준다. 그리고 NaCl의 함량이 증가하면 할 수로 유전체손( $\tan \delta$ )이 큰 차이를 보이며 증가하는데 이는 초기 100시간까지는 증류수에 포함된 미량의 NaCl이 시료표면 내부에 수분과 함께 침투되어 이것에 의한 분극현상으로 체적누설전류성분이 증가하여 유전체의 손실이 커지는 것으로 사료된다.

#### 3.4 표면누설전류 특성

그림 5는 인가 전압에 따른 표면누설전류의 변화를 나타낸 것이다. 그림 4(a)는 증류수, 그림 4(b)는 NaCl이 5wt% 함유한 Salt Water에서 처리한 시료에 대해 측정된 것이다. 그림에서 보여주듯이 전압을 1kV, 2kV까지 인가하였을 때 극히 미소한 전류(수  $10^{-12}$ A ~ 수  $10^{-9}$ A)가 흐르다가 4kV의 전압을 인가하였을 때는 누설전류가 상당히 증가하여 수 mA에 이르는 것을 보여준다. 그리고 Boiling 처리시간과 순수한 증류수에 넣은 NaCl의 함량을 증가하면 할수록 누설전류도 같이 증가하는데 500시간 열화시킨후 2kV의 전압을 인가하였을 때 NaCl



(a)



(b)

Fig. 5 Leakage current as a function of voltage in pure water with boiling time

이 0.5wt% 함유한 Salt Water에 담겼던 시료가 증류수에 담겼던 시료보다 큰 폭으로 누설전류가 커짐을 볼 수가 있다. 이는 Boiling 처리시간에 따라 표면에 오염물질(NaCl)이 침적하여 표면저항이 작아져 표면누설전류가 증가한 것으로 사료된다.

### 3.5 SEM 관찰

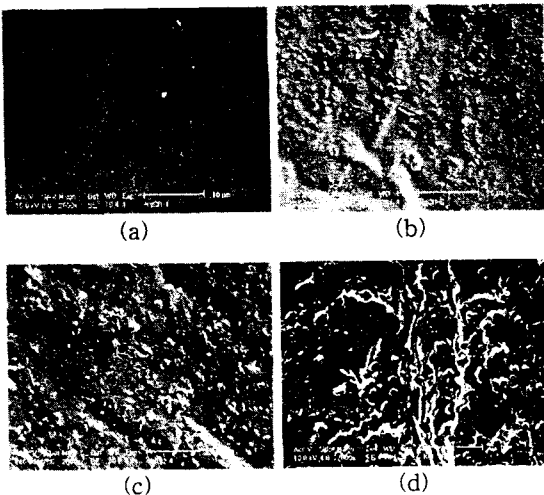


Fig. 5 SEM photographs showing physical changes to silicone rubber surface with boiling time

그림 5는 SEM을 이용하여 실리콘 고무의 표면을 관찰한 결과이다. 그림 (a)는 Boiling 처리전의 시료의 표면이고 (b), (c), (d)는 0.1, 0.3, 0.5wt%의 NaCl을 함유한 증류수에 500시간 열화를 시킨 시료의 표면의 상태를 보여주고 있다. 처음 시료를 Boiling 처리를 하기 전에는 거의 매끈한 표면상태를 보였으나 처리시간의 증가에 따라 표면이 수분과 열에 의한 침식으로 손상을 입어 매우 거칠어지고 충전제가 표면에 노출된 현상이 나타났다. 그리고 500시간 정도까지 처리 시간을 증가했을 때는 표면에 홀(hole)이라든가 크랙(crack)현상까지 나타는 것이 관찰되었다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 Salt Water에서 Boiling 처리에 의한 Silicone Rubber 표면에서의 열화특성 실험을 하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 실리콘 고무는 표면에서 수분의 침투에 의해 시간에 따라 서서히 침식되어 중량손이 증가하는 것으로 나타났다.
2. 표면에서 접촉각의 변화는 표면의 열화에 의한 발수성의 저하로 급격히 감소하다가 100시간 이후에는 발수성의 변화는 거의 일어나지 않았다.
3. 유전체손은 처리시간에 따라 큰 증가를 보이다가 100시간 이후에는 매우 완만하게 증가했으며 NaCl의 함량이 클수록 유전체손이 더 크게 나타났다.
4. NaCl의 함량을 증가하면 할수록 낮은 전압에서 큰 표면누설전류가 흘렀는데 이는 표면에 오염물질(NaCl)이 침적하여 표면저항이 작아진 것으로 보여진다.
5. Salt water에서 가속 열화를 시켰을 때 표면에서는 수분과 열에 의한 침식으로 표면에 충전제가 많이 노출되고 거칠기 심해짐을 알 수 있었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] R. S. Gorur, J. W. Chang, O. G. Amburgey, "Surface Hydrophobicity of Polymers Used for Outdoor Insulator", IEEE Trans. on power Delivery, Vol. 5, No. 4, pp. 1923-1929, 1990.
- [2] R. S. Gorur, G. G. Karady, A. Jagota, A. M. Yates, "Aging in Silicone Rubber Used for Outdoor Insulation", IEEE Trans. on power Delivery, Vol. 7, No. 2, pp. 525-532, 1992.
- [3] J. W. Chang, R. S. Gorur, "Surface Recovery of Silicone rubber Used for HV Outdoor Insulation", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. 1, No. 6, pp. 1039-1046, 1994.