

## 발수성 회복에 따른 실리콘 고무의 누설전류 특성

### The Properties of Leakage Current of Silicone Rubber with the Recovery of Hydrophobicity

서광석\*, 김정호\*, 문중섭\*, 박용관\*, 양계준\*\*, 유영식\*\*\*  
(K.S. Seo, J.H. Kim, J.S. Moon, Y.K. Park, K.J. Yang)

\*School of Electrical and Computer Eng. S.K.K.Univ.,

\*\*Dept. of Electronic Eng. Chung-ju National Univ.,

\*\*\*Electrical Eng, Yeooju. Univ.

#### Abstract

The polymer insulators which are installed on outdoor have a great advantage than porcelain and glass, due to suppression of leakage current, light weight, low cost, etc. It needs variable evaluation methods for application of these insulators on service. The analysis of measuring leakage current is useful for ageing diagnosis because of monitoring in real-time. In this paper, we look over the recovery of hydrophobicity of silicone rubber in mini salt-fog chamber with leakage current monitoring. also, we understand the relation of between hydrophobicity and leakage current and discuss on method of leakage current monitoring.

**keyword** : surface recovery, hydrophobicity, leakage current, salt-fog

#### 1. 서 론

발수성 회복 특성을 가지는 실리콘 고무는 옥외 절연용으로 사용되었을 때 주요한 특징으로 알려져 있다. 실리콘의 낮은 표면 에너지는 매우 좋은 발수성에 기여하며, 이 때문에 오손이 존재하는 젖음 조건하에서 누설전류를 낮게 하는 결과를 가져온다. 발수 표면에 물이 떨어지면 물이 동글동글 맺히게 되고, 이 물은 표면에 완전히 젖지 않는다. 이것은 누설전류를 저하하고, 섬락전압을 야기하는 건조대 형성 확률도 감소시킨다. Si-O backbone으로 이루어지는 유기물은 실제적으로 실리콘 고무의 발수성에 기여하는 요소로 알려져 있다.[1]

실리콘 고무의 발수 회복 특성은 Si-O 쇄의 유연

성으로 인한 것이다. 실리콘 고무는 높은 오손과 젖음 조건으로 인하여 표면 아크의 영향을 받게 되고, 이것은 표면 발수성을 파괴하며, 누설전류를 증가시킨다. 그러나, 표면은 10-12시간 정도 아크의 영향을 받지 않으면 발수성이 회복된다. 이러한 표면 발수성의 회복은 벌크로부터 표면으로의 저분자 중량쇄(Low Molecular Weight, LMW)의 확산으로 인한 것이다.

본 논문에서는 발수성 회복 특성을 가지는 실리콘 고무를 가지고, fog 환경하에서 누설전류의 특징을 검토하였다. 발수성 회복을 증명하기 위하여 FT-IR과 스프레이에 의한 육안 분류법을 이용하였다. fog 환경하에서 표면 발수성능과 누설전류의 관계를 밝히고, 누설전류가 표면 열화와 어떠한 관계가 있는지 알아본다. 마지막으로 누설전류 모니터링

에 관한 방법을 고찰한다.

## 2. 실험방법

포그 상태를 연출하기 위하여 제작한 미니챔버와 실험조건을 표 1과 그림 1에 나타내었다. 시편을 장착할 수 있는 홀더는 2개이다. 이 홀더는 수평으로 15° 기울어져 있다. 상부전극은 고인 물이 흘러내리는 것을 방지하기 위하여 끝 부분을 위로 꺾었고, 챔버 상단에 맺힌 물이 시편에 떨어지지 않도록 지붕에 기울기를 주었다. 누설전류의 데이터를 취득하기 위하여 12bit 8channel 100Mhz ADC를 사용하였다. ADC앞단에는 이상전압으로부터 보호하기 위하여 SBC(Signal Block Circuit)을 달아주었다.

시험편	50×120×6mm
인가전압	2.5kV
전극간격	30mm
전극	스테인레스 강재
오손액	NaCl, 4000 μ S/cm
챔버규격	400×400×400mm

표 1. The experimental conditions

100Mhz 오실로스코프는 누설전류를 실시간으로 관찰하기 위한 것이다. C 언어로 짜여진 프로그램으로 컴퓨터에서 데이터를 취득한다. 여기서 얻어지는 누설전류 파라미터는 평균누설전류, 축적전류, 최대피크전류, 평균피크전류등이다. 전압인가 스트

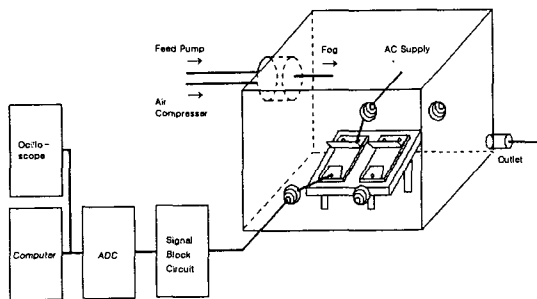


그림 1. The schematic diagram of salt fog chamber

레스는 약 0.8kV/cm이다. 오손액은 DI water에 순도가 90%인 소금물을 타서 만들었다. 전도도미터로 오손액의 전도도를 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

실리콘 고무의 발수성 회복을 관찰하기 위하여 ATR(Attenuated Total Reflection)이 장치된 FTIR(Fourier Transform Infra Red Spectroscopy)을 이용하였다. FTIR은 실리콘 고무와 같이 고분자 물질의 분자나 원자간의 결합 구조를 조사하기에 유용한 측정방법이다. 또한, ATR법은 표면을 조사하는데 매우 편리한 방법이다. FTIR을 측정하기 위하여, 표본을 5×5×0.5mm로 잘라내어 아세톤 5%을 섞은 증류수에 약 2분 정도 담구 뒤 초음파세척기에 오손물을 씻어내었다. 그 다음, 증류수로 한 번 씻어주고, 질소가스로 수분을 제거하였다. 오손물이 부착된 상태에서 발수성의 성능을 관찰하기 위해서 또 하나의 표본은 이 과정을 처리하지 않았다. 그림 2는 Virgin 상태의 IR 스펙트럼을 보여준다. 가로축은 파수( $\text{cm}^{-1}$ )이며, 세로축은 투과도이다. 투과와 흡수는 반비례의 관계에 있으며, 특정한 파수에서 투과도가 적다는 것은 그 파수에 나타나는 결합 성분이 많다는 것을 의미한다.

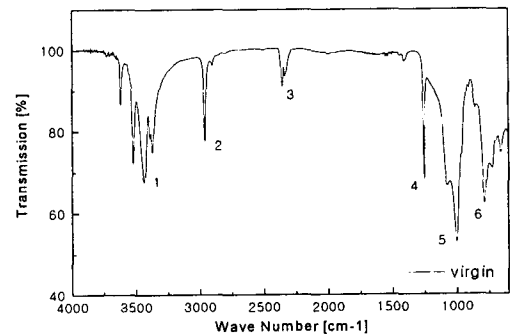


그림 2. IR spectrum of virgin specimen

표 2는 그림 2에 표시되어 있는 실리콘 고무의 특정피크에 대한 IR 스펙트럼의 파수를 나타낸다. 1번 밴드의 넓은 범위의  $3700\text{-}3200\text{cm}^{-1}$  흡수스펙트럼은 ATH의 내에 있는 OH로 인한 것이다.  $2964\text{cm}^{-1}$ 의 2번 밴드,  $1270\text{-}1255\text{cm}^{-1}$ 의 4번 밴드

1100-1000 $\text{cm}^{-1}$ 의 5번 밴드는 각각  $\text{CH}_3$  내의  $\text{CH}$ ,  $\text{Si-CH}_3$ ,  $\text{Si-O-Si}$ 를 나타낸다. 6번 밴드와 그 주위의 피크들은 메틸기를 가진  $\text{Si}$ 와 관련된 것들이다.[2] 4, 5, 6번 밴드는 발수기로 실리콘 고무의 발수성에 기여하는 주된 성분이다.

	Wave number ( $\text{cm}^{-1}$ )	bond
1	3700-3200	OH
2	2962-2960	CH in $\text{CH}_3$
3	2360	$\text{CO}_2$
4	1270-1255	$\text{Si-CH}_3$
5	1100-1000	$\text{Si-O-Si}$
6	700	$\text{Si}(\text{CH}_3)_3$

표 2. Characteristic IR transmission bands for virgin specimen

그림 3은 30시간 동안 salt fog에 노출시킨 후 얻은 시편의 IR 스펙트럼을 보여준다. 이 표본은 5% 아세트톤 처리를 하였다. 이 과정은 표본의 오손물을 제거하여 준다. 그림에서 알 수 있듯이, 아세트톤과 관계되는 피크는 나타나지 않았다.

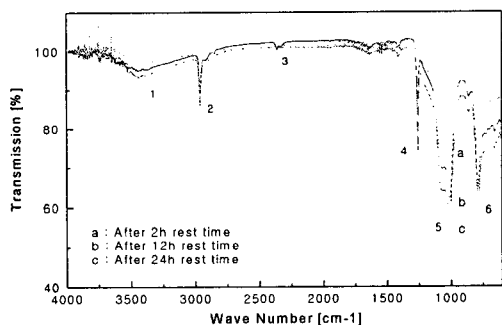


그림 4. IR spectrum of specimen energized 30h salt-fog test. The specimen was deal with 5% acetate solution.

곡선 a의 흡수 스펙트럼은 virgin 시편과 비교하여 매우 감소됨을 알 수 있다. 이것은 매우 적은 양의 저분자 증량 실리콘 오일(LMW PDMS)이 표면에 존재하고 있음을 암시한다. 곡선 b와 곡선 c는 시간 경과에 따라 피크가 증가하는 것을 나타내어 준다. 이것은 저분자 증량 실리콘 오일이 표면으로

확산되어 간다는 것을 의미한다.

그림 5는 salt fog에서 표면에 어떠한 화학적 처리를 하지 않는 표본의 IR 스펙트럼을 나타낸다. 표면에 오손물이 있음에도 불구하고, 피크의 변화가 있는 것으로 보아, 회복시간에 따라 오손물이 있는 표면 사이로도 저분자 성분들이 확산되고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 그림 5에서 처럼 virgin에 저분자 성분인 4, 5, 6의 피크들이 상대적으로 작는데, 이는 저분자 오일성분이 표면으로 확산될 때, 오손물에 의해서 방해를 받고 있는 것으로 판단된다.

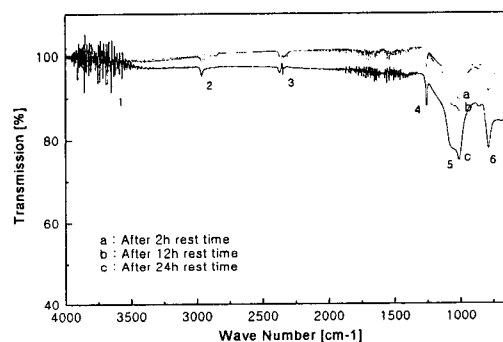


그림 5. IR spectrum of specimen energized 30h salt-fog test. The specimen was not deal with any solution.

그림 6은 분무기를 이용하여 시편에 물방울을 떨어뜨려준 모습이다. a는 virgin 상태의 시료로 표면 전체로 물방울이 모아지는 형태를 하고 있다. b는 30시간동안 salt-fog 시험을 마친 샘플이며, c는 30시간의 시험을 한 후, 24시간의 회복시간을 준 뒤, 다시 30시간동안 시험을 한 샘플이다. 이 둘의 가운데 부분은 전극사이의 부분으로 물방울이 퍼져있는 모양을 하고 있다. d는 30시간의 시험 뒤에 24시간의 회복시간을 준 시편이다. virgin에 비해 물방울이 많이 퍼져 있지만, b와 c 보다 발수성이 우수함을 나타내고 있다. FTIR과 표면 발수성의 육안관찰[3]로 실리콘 고무는 휴지시간을 가지면 발수성이 회복되는 것을 알 수 있으며, 이는 IR 스펙트럼 결과와도 잘 일치 한다.

그림 7은 24시간의 회복시간을 준 시편의 누설전

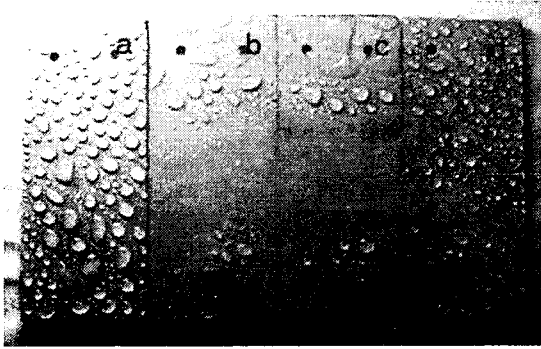


그림 6. Photograph of water repellency on the surface.

- a. virgin sample
- b. specimen energized 30h in salt-fog chamber.
- c. specimen after 2cycle.
- d. 24h rest time after salt-fog test

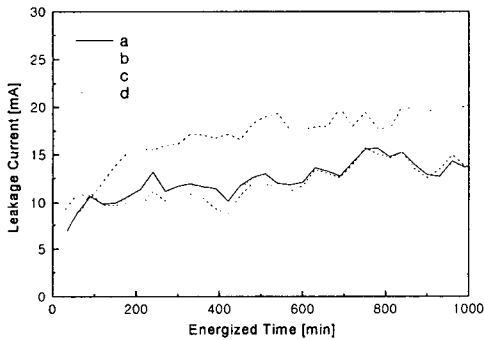


그림 7. Average leakage current and peak current after 24h recovery from the energized salt fog test.

- a. Average leakage current energized for 30h first cycle
- b. Average peak current energized for 30h first cycle
- c. Average leakage current energized for 30h second cycle after 24h recovery time
- d. Average peak current energized for 30h second cycle after 24h recovery time

류 특성을 나타낸다. 처음 2시간 동안은 모든 누설 전류 성분의 크기는 비스하고 낮음을 알 수 있다. 이는 24시간의 회복시간동안 시편이 발수성을 되찾

아서 누설전류를 억제하는 능력을 가지기 때문이다. 그러나, 회복시간을 가지더라도, 전압인가 후 시간이 경과함에 따라 급격히 증가하는데, 이는 표면이 발수성을 회복하더라도, 스트레스에 영향을 받으면 표면이 친수성이 될 확률이 커지며, 이것은 갑작스런 water film의 형성 빈도가 높아짐을 의미한다. 이는 회복시간 이전의 스트레스에 의하여 열화된 표면때문이며, 확산된 저분자 중량 오일 성분이 아크열에 의하여 쉽게 제거되기 때문으로 생각된다. 따라서 피크 전류는 표면 열화와 관련하는 지표가 될 수 있다.

### 결 론

salt fog 내에서 실리콘 고무를 표면 발수성과 관련하여 열화시험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 실리콘 고무는 전기 스트레스의 영향에서 벗어나 일정 시간이 지나면 발수성을 회복한다. 발수성의 회복은 누설전류를 억제하는 능력을 주었다.
2. 피크전류의 표면 열화와 관계되는 성분이다. 이는 실시간으로 누설전류를 모니터링할 때, 재료가 얼마만큼 열화되었는 가라는 정보를 제공할 수 있다.

### 참고문헌

[1]Stephanie Simmons, Minesh Shah, Jeffry Mackevich, and R. J. Chang "Polymer Outdoor Insulating Materials Part III-Silicone Elastomer Considerations" DEIS September/October 1997-Vol 13, No. 5

[2]S. H. Kim, E. A. Cherney, R. Hackam, "Suppression Mechanism of Leakage Current on RTV Coated Porcelain and Silicone Rubber Insulators", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 6, No. 4, October 1991.

[3]조한구, 한세원, 이운용 "폴리머 절연물 장기성능 평가를 위한 복합열화 시험기술" 199년 대한전기학회 하계학술대회 논문집 1999. 7. 19-21