

옥외용 실리콘 고무 절연재료의 전기적 특성

°김정호* · 박용관* 김인성** · 조한구** 김희곤***
 * : 성균관대학교 ** : 한국전기연구소 *** : 한전 기술연구원

The Electrical Properties Dependent on the Filler in Silicone Composite Material for Power Distribution

J.H. Kim* · Y.G. Park* I.S. Kim** · H.G. Cho** H.G. Kim***
 * : Sung Kyun Kwan Univ. ** : KERI *** : KEPCO

Abstract

In this study, we investigated the electrical characteristics such as tracking resistance, dielectric constant, insulating resistance, and arc resistance, of silicone rubber for outdoor use, and, focused on the tracking resistance.

In the Inclined Plane Test, two kind of the contamination solutions were used, and their phenomena were observed. The average leakage current and the tracking breakdown time decreased, and erosion rate increased, using anionic surfactant added contaminant solution.

The dielectric constant and dissipation factor were increased with increasing temperature.

1. 서 론

실리콘 고무는 절연성, 가공성 및 내열성이 우수할 뿐 아니라, 발수성(water repellency, hydrophobicity)이 좋아 옥외용 절연재료로서 광범위하게 이용될 수 있다. 그러나, 대부분의 고분자 절연물과 마찬가지로 옥외의 가혹한 자연환경에 노출되면, 환경오염, 수분흡수, 전기적, 열적, 기계적 스트레스 등에 의한 열화로 인해, 절연성은 급격히 저하되고, 과전하에서 표면에 트래킹(tracking)을 발생시킨다.1) 그러므로, 이러한 열화요인들에 의한 특성의 측정은 옥외용 절연재료의 적절한 응용에 중요한 요소로 작용한다.

본 연구에서는 실리콘 고무의 절연저항, 유전특성, 내아크성, 내트래킹성과 같은 전기적 제특성 및 실리콘표면상태 조사를 위해 접촉각 등을 측정하였다. 특히, 실리콘 고무는 옥외에서 절연물로 사용할 때 빛과 열에 대하여 취약하기 때문에 아크(arc)방전과 트래킹 및 침식이 수반되므로, 내트래킹성 측정에 중점을 두었으며, 실험방법은 IEC 587 경사평면법2)을 채택하여, 인가전압 및 오손액 조성물

달리하여 실험하였다.

2. 실험

2.1 시편 제조

Base polymer는 미국의 다우코닝사 실리콘이며 무기물은 표면처리된 Alumina Trihydrate(Al(OH)₃, ATHD)로써, 입도는 0.3-1μm, 무기 filler의 첨가량은 120 parts이며 첨가제에 따른 조성은 표.1과 같다. 시료의 사양은 절연강도, 절연저항, 유전특성은 ASTM에 따르고 내트래킹 실험은 IEC 587 실험 방법에 준하였다.

Table 1. Chemical compositions of the starting materials (단위 : parts)

Base gum	100
Treated ATH	120
LS-5(경화제)	0.6
Pigment	1

2.2 전기적 특성 실험

절연저항은 DC 1000V 의 직류전압을 인가하여 일정한 시간(60 sec) 이 경과한 뒤 제 2 성분(I_aαtⁿ)에 기인된 누설전류를 측정하였다.

비유전율 및 유전정점은 schering bridge를 사용하여, 전극과 시료의 구성은 그림.1 과 같다.

내아크 실험은 고전압 소전류 내아크 실험방법3)을 채택하였으며, 전극은 φ=2.4 mm 의 텅스텐으로 거리는 6.35 mm를 유지한다. 아크는 7 단계로 진행되며, 방전시 급격히 전류가 증가하거나 시료의 표면이 탄화되었을 때, 아크에 의한 절연파괴로 판단하였으며, 실험 조건은 표.2 와 같다.

내트래킹은 IEC Publ. 587 방법으로 실험하였으며, 누설전류의 변화와 절연과피되어 섬락되는 시간을 찾았다. 실험시간은 9시간까지 설정하였으며, 전계강도에 따른 내트래킹성의 변화를 조사하기 위해 인가전압을 3.5 ~5.5

Table 2. Sequence of 1-min current steps.

Step	Current(mA)	Time Cycle(sec)	Total(sec)
I	10	1/4 on and 1,3/4 off	60
II	10	1/4 on and 3/4 off	120
III	10	1/4 on and 1/4 off	180
IV	10	Continuous	240
V	20	Continuous	300
VI	30	Continuous	360
VII	40	Continuous	420

kV 까지 0.5 kV 간격으로 나누는 한편, 비이온계 계면활성제는 Iso-octylphenoxypolyethoxyethanol(TRITON X-100)을,음이온계 계면활성제로는 Alkyl-naphthalene sulfonate(EKARU BX)를 각각 첨가한 오손액을 사용하여 실험하였다. 오손액의 조성은 표.3에 나타내었다.

Table.3 Composition of Contaminant Solutions

Contaminant Solution	A	B
Electrolyte(0.1%)	NH ₄ Cl	NH ₄ Cl
Surfactant (0.02%)	Nonionic (TRITON X-100)	
	Anionic	(EKARU BX)
Resistivity (Ω·cm)	390 ± 10	390 ± 10

또한, 트래킹 파괴 후의 실리콘 표면의 특성 조사를 위하여, 액적법으로 접촉각을 측정함으로써, 표면의 발수성 변화를 고찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 경사평면 내트래킹 특성

실리콘 고무를 욕액에서 사용할 때, 가장 중요한 특성 중 하나가 내트래킹성이다. 트래킹은 보통 다음의 네 단계로 나눌 수 있다. 첫 번째로, 상부전극의 전압 인가에 의해 오손액의 흐름을 따라 발생한 전류는 부분적 전도체를 형성하고, 방전이 일어난다. 이 방전은 하부전극으로 이동하여 연속적으로 방전되고, 시편의 온도가 상승한다. 따라서, 하부전극에서 불꽃으로 인해 폭이 좁은 고온 영역이 발생하고, 시료의 분해가 시작된다. 그리고, 네 번째로 이 불꽃 영역이 상부전극쪽으로 서서히 확장되면서, 침식 및 트래킹 파괴에 이르게 된다.⁴⁾

그림.2, 그림.3에 인가전압별 트래킹 파괴 시간 및 트래킹 시간에 따른 누설전류값의 변화를 나타내었는데, 인가전압이 증가할수록 누설전류값은 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나, 오손액 조성의 경우, 오손액 B보다 오손액 A에서 더 큰 누설전류값을 나타내어도 불구하고, 전반적으로 오손액 A에서 트래킹 다운 시간이 길게 나타났는데, 이는 방전형태를 살펴 보았을 때, 오손액 A는 방전불꽃이 시료전체에 고무 퍼져서 넓게 나타나 시료 표면의 온도 분포가 분산되는 반면, 오손액 B의 경우는 하부전극에 국부적으로 강한 불꽃이 형성되므로 방전열이 집중되어 직선상으로 곧은 트랙이 나타나기 때문으로 생각된다. 또한, 인가전압에 따른 침식률을 그림.4에 나타내었다. 침식률은

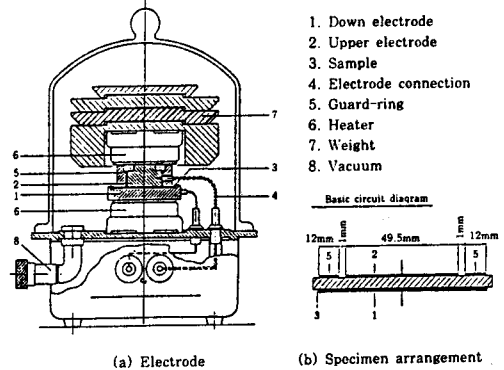


Fig.1 Electrode and specimen for dielectric characteristics.

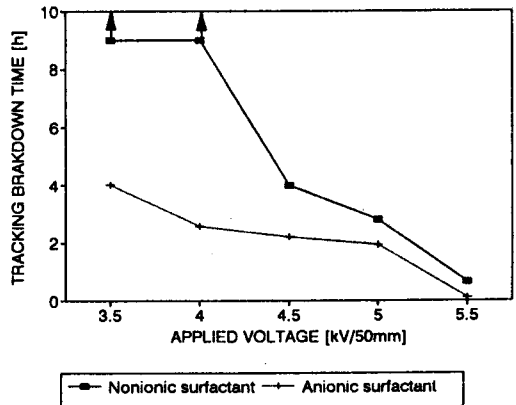


Fig.2 Relationship between Tracking breakdown time and applied voltage.

국부적 아크 밀도와 그 지속시간에 따라 다르게 나타나는 데, 아크에너지는 표면전도도 및 인가전압에 의한 전류에 의존한다. 또, 아크 지속시간은 시료표면의 수분증발속도에 관계되는데, 수분이 빨리 증발할수록 아크 지속시간은 짧아진다.⁵⁾ 본 실험에서도 인가전압이 증가할수록 침식속도가 커지고, 오손액 A보다는 오손액 B에서 침식속도가 커짐을 알 수 있다.

그림.5은 트래킹 파괴 실험을 거친 시료의 시간에 따른 접촉각의 변화를 나타내었는데, 방전영역이 넓은 시료는 접촉각이 빠른 속도로 낮아지는 것을 알 수 있다.

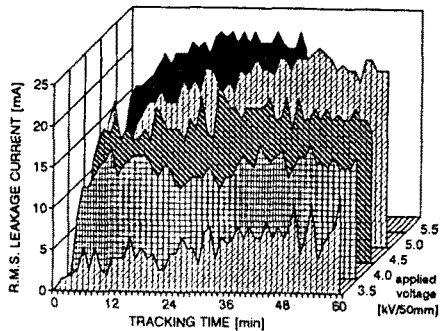
3.2 그 외의 전기적 제특성

표.4에 표면저항, 체적저항 및 내아크특성을 나타내었다.

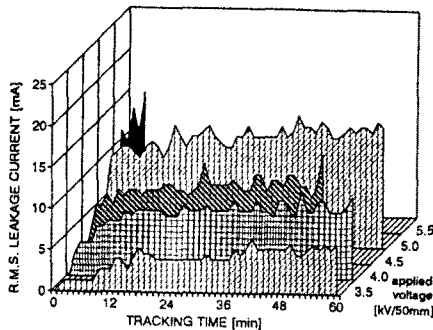
Table.4 Volume Resistivity, Surface Resistivity, and Arc Resistance of Silicone Rubber

Volume Resistivity(Ω·cm)	Surface Resistivity Ω	Arc Resistance(sec)
3.206 × 10 ¹⁵	9.917 × 10 ¹⁴	242

그리고, 온도에 대한 유전율 및 유전정점을 그림.6에 나타내었다. 비유전율 및 유전정점은 온도에 따라 점점 증가하는 경향을 나타내었다.



(a) Nonionic Surfactant



(b) Anionic Surfactant

Fig.3 Relationship between Leakage current and tracking time.

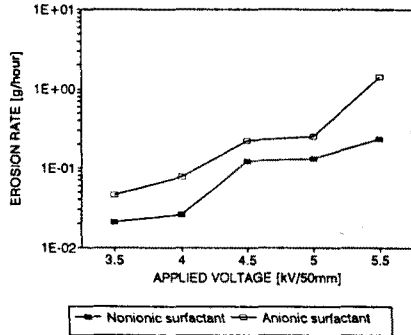


Fig.4 Relationship between erosion rate and applied voltage.

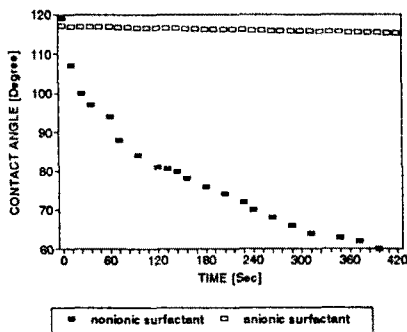


Fig.5 Relationship between time and contact angle.

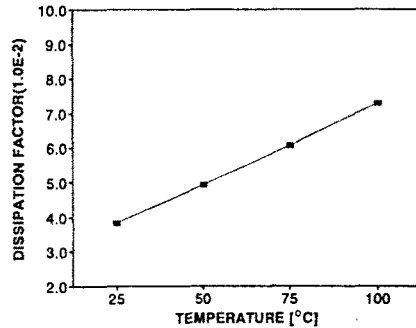
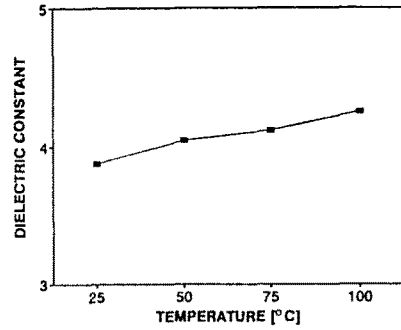


Fig.6 Dielectric constant and Dissipation factor depending on temperature.

4. 결 론

실리콘 고무의 전기적 특성 및 오손액의 조성에 따른 내 트래킹성의 측정 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. IEC 587 실험에서, 비이온 계면활성제를 첨가한 오손액의 경우, 방전은 폭이 넓은 형태를 띠게 되고, 누설전류의 누설전류값은 음이온 계면활성제를 첨가한 경우보다 컸으며, 트래킹 파괴 시간은 더 길었다.
2. 실리콘 고무의 침식물은 음이온 계면활성제를 첨가한 경우 및 전압이 증가할수록 증가하였다.
3. 방전영역이 넓은 시편의 경우에, 접촉각의 시간에 따른 감소의 속도가 아주 빠르게 나타났다.
4. 비유전율 및 유전정점은 온도가 증가함에 따라 증가함을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. IEEE Trans. Electr. Insul., Vol. EI-13 No. 3 p.184-193 (1978)
2. Guide for the Selection of Insulation in Respect of Polluted condition, IEC report 815
3. "電氣電子材料 hand book", 朝倉書店, pp.174-175 (1987)
4. Fourth International Symposium on high voltage engineering Vol. 45. 08, p.1-4 (1983)
5. G.A. Mullen "Wet Tracking and Erosion Evaluation of Non-Ceramic Insulation for Outdoor Use", Vol. CH780-4, p.238-241 (1982)