

초고압 옥외용 실리콘 고무의 발수성 및 트래킹 특성

한동희, 강동필, 박효열, 이광희*, 이기창*, 민경운**
한국전기연구소, 동양실리콘*, 경북대학교**

Hydrophobicity and tracking resistance of SIR for outdoor insulators

D.H.Han, D.P.Kang, H.Y.Park, K.H.Lee*, K.C.Lee*, K.E.Min**
KERI, Dong Yang Silicone Co. Ltd.*, Kyungpook National Univ.**

Abstract - The paper reports on a study of the influence of the silicone oils on the tracking and erosion resistance and hydrophobicity of SIR. Two silicone oils(A, B) having different chemical structure were selected in consideration of good hydrophobicity and processability. Tracking and erosion resistance of SIR was investigated by the rotating wheel dip test (RWDT). In this test, tracking and erosion areas due to glow and partial arc discharges cause an increase in the leakage current with an increase in time. Leakage current of SIR was decreased with increasing ratio of oil A/B. SIR was exposed to corona discharges in air and the specimens were analyzed with contact angle. It was observed that the contact angle of SIR was increased gradually in time. The recovery of hydrophobicity was increased with increasing ratio of oil A/B.

Keywords : SIR, hydrophobicity, contact angle, leakage current, RWDT

1. 서 론

발수성 및 발수성 회복특성, 화학적 안정성, 우수한 전기절연성 등의 장점을 가진 실리콘은 초고압 옥외용 절연물의 외피재료로서 부싱, 애자, 퍼뢰기 등에 널리 적용되고 있으며 그 우수성을 인증 받고 있다. 한편 많 은 장점을 가진 고분자 물질은 전기 절연체로 사용됨으로써 트래킹에 노출될 수 있으며, 트래킹은 탄소원자를 가지고 있는 유기 물질만의 독특한 현상으로 고분자 표면에서 일어나며 이는 표면의 오염으로 인하여 생겨난 방전 때문이다. 오염의 정도와 표면 젖음 때문에 생긴 방전의 형태와 표면전류크기, 표면장력은 여러 종류이며 염분, 먼지, 습기, 대기, 화학물질과 같은 것들이 오염 원으로 존재한다. 일단 트래킹이 발생하면 표면전기 절연성분은 떨어지고 회복이 불가능하기 때문에 고분자 물질의 신뢰도와 거동을 증진시키기 위한 트래킹 현상에 전 세계적으로 연구되고 있다. 그러나 실리콘 고무는 그 주사슬이 Si-O 결합으로 이루어져 있어 트래킹 방전에 의한 분해가 일어난다고 해도 절연 무기분말인 SiO_2 가 남기 때문에 절연특성 저하가 일어나지 않는 편이며 표면에너지가 낮기 때문에 장시간 사용하여 크게 오손되어도 절연이 잘 유지되는 특성이 있다. 실리콘 고무의 발수성 연구는 장시간 필드 열화 및 단시간 강제 열화 조건 하에서 광범위하게 연구되어 왔다. 주로 전기적 방전에 의해 약간의 재질 변화와 발수성 저하가 관찰되었

지만 다른 고분자와는 달리 실리콘 고무 표면의 발수성은 장시간 열화 및 오손된 상태에서도 잘 유지되었다. 이와 같은 현상은 분자량이 작은 실리콘 오일이 재질 내부로부터 표면으로 이동하여(migration) 표면의 모든 오염 물질을 덮음(encapsulation)으로서 장시간 발수성을 유지할 수 있도록 해준대 기인하는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 발수성 회복특성이 기대되는 두 가지 실리콘 오일을 적당히 혼합하여 실리콘 고무 컴파운드에 일정비로 첨가한 후 접촉각 및 표면저항률로서의 발수성 회복특성과 RWDT의 트래킹 및 누설전류현상의 변화를 고찰하였다.

2. 실험

2.1 시편

본 실험에서는 다섯 가지의 서로 다른 조성을 평가하였으며 그것의 일반적인 조성을 대하여 표 1에 나타내었다. 표 1에 나타난 것처럼 실리콘 고무는 트래킹과 에로전 특성을 강화시키기 위하여 50%wt 이상의 수산화 알루미늄을 첨가하였으며 발수성 회복특성과 가공성을 향상시키기 위하여 저분자량의 실리콘 오일(A, B)을 첨가하였다. 또한 이들 실리콘 고무에는 강화 충진제로서 시란처리된 품 실리카를 다량 첨가하였다. 이들 고무는 를 밀을 사용하여 혼합하였으며 170°C에서 10분간 프레스를 이용하여 경화하였다. 코로나 표면처리를 위한 시편의 크기는 100×100×2 mm이며 RWDT를 위한 시편의 크기는 IEC 1302에 따랐다.

표 1. 본 실험에 사용된 실리콘 고무의 조성

Sample	Silicone Oil	Description
SR1	A/B = 0/100	
SR2	A/B = 25/75	HTV SR
SR3	A/B = 50/50	Peroxide cured
SR4	A/B = 75/25	>50%wt ATH
SR5	A/B = 100/0	

2.2 접촉각 측정

전진접촉각은 고체재료의 표면자유에너지에 대한 정보를 제공해주며 후진접촉각은 고체표면의 마이크로한 표면거칠기의 척도로서 이용할 수 있다. 전진접촉각과 후진접촉각의 차이 즉, 이들의 히스테리시스는 젖는 과정에서의 표면에서 분자그룹의 배향 과정뿐만 아니라 표면구조, 흡착 등에 대한 정보를 제공해준다.

본 실험에 사용된 접촉각 측정기에 대한 도식도를 그

표 1에 나타내었다. 접촉각 측정기는 아주 정밀한 전자저울, 이동판, 액체를 담을 수 있는 용기로 구성되어 있다. 실리콘 시편의 접촉각은 다음의 식에 의해서 계산되어진다.

$$\cos \theta = F/(L \cdot \sigma)$$

여기서 θ 는 접촉각(contact angle), σ 는 액체의 표면장력(surface tension)이며, L 은 시편의 젖음 길이(wetted length)이다.

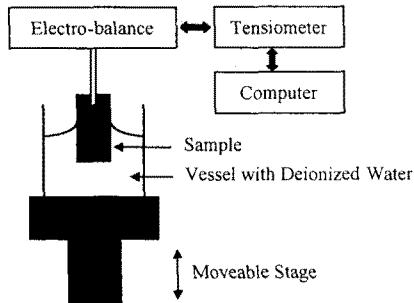


그림 1. 접촉각 측정기 구성도

2.3 트래킹 실험

고분자 재료의 트래킹 및 에로전 특성을 평가하는 방법으로서 IEC 1302의 rotating wheel dip test (RWDT)를 이용하였다. 실험조건은 표 2에 나타내었다.

표 2. RWDT의 실험 조건

Items	Conditions
Specimen	Rod, $\varphi = 25$ mm
Distance between electrode	140 mm
Voltage	10 kV (r.m.s.)
Resistivity of contaminant	750 $\Omega \cdot \text{cm}$ at 25°C
Setting angle of specimen	15°

3. 결과 및 고찰

접촉각 측정 분석은 시간에 따른 실리콘 고무의 발수성 변화를 모니터링 할 수 있다. 접촉각이 크다는 것은 실리콘 고무 표면이 보다 hydrophobic하다는 것이다.

접촉각은 코로나로 실리콘 고무를 표면 처리한 후 바로 측정하였으며 그 결과를 그림 2에 나타내었다. 코로나로 표면처리하기 전의 실리콘 고무 표면은 뛰어난 발수성을 보였으나 코로나로 표면 처리된 후 발수성은 상당히 떨어졌다. 이 후 시간이 경과함에 따라 모든 시편의 접촉각이 증가하는 경향을 보이고 있으며 이는 발수성이 회복되고 있다는 결과이다. 접촉각의 회복속도는 첨가된 실리콘 오일의 비에 따라 다르며 실리콘 오일 A의 성분이 증가할수록 발수성 회복속도가 빠름을 알 수 있다.

그림 3은 실리콘 고무를 코로나로 표면 처리한 후의 방치시간에 따른 표면저항률의 회복을 나타낸 것이다. 코로나로 표면 처리된 실리콘 고무는 절연저항이 10^{11} 으

로 떨어졌다가 시간이 경과함에 따라 초기의 값으로 회복하는 특성을 전시편에 있어서 보이고 있으며 실리콘 오일 A의 함량이 증가할수록 절연저항률의 회복이 빠름을 알 수 있다. 이는 접촉각 회복특성과 같은 결과를 보임을 알 수 있다.

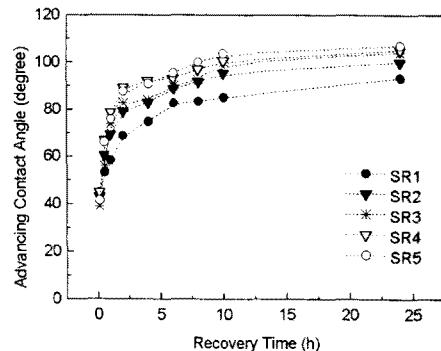


그림 2. 코로나 표면처리후 실리콘 고무의 방치시간에 따른 접촉각의 회복

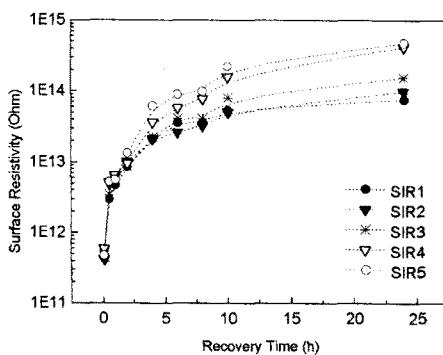


그림 3. 코로나 표면처리 후 실리콘 고무의 방치시간에 따른 표면저항률의 회복

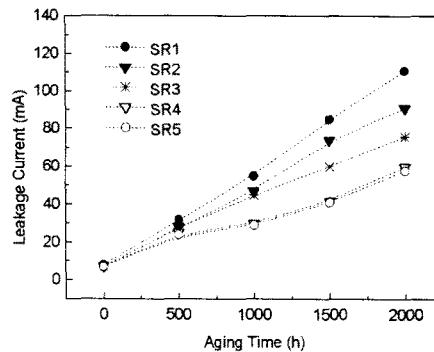


그림 4. RWDT 실험시간에 따른 실리콘 고무의 누설전류 변화

그림 4는 실리콘 고무의 RWDT 실험시간에 따른 누설전류 변화를 나타낸 것이다. 열화 시간이 증가함에 따라 미소방전과 더불어 누설전류가 증가하는 경향을 보이

고 있다. 이를 실리콘 고무는 실리콘 오일 A의 성분이 증가할수록 누설전류 증가속도가 느림을 알 수 있으며 앞의 결과와 잘 일치된다고 볼 수 있다. 그럼 4는 RWDT 2000시간 실험을 한 후의 실리콘 고무 표면의 물리적인 변화를 보여주는 것이다. 그림에서 보는 것처럼 SR1에서 SR5로 갈수록 표면 열화가 적게 일어났음을 알 수 있다.

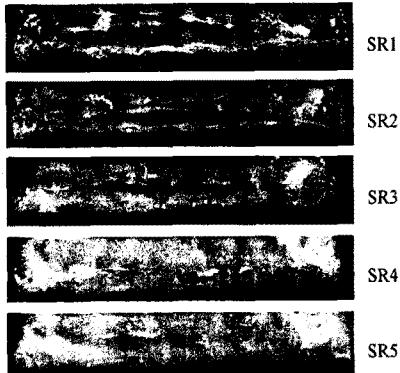


그림 5. RWDT 2000시간 실험후 실리콘 고무 표면의 물리적 변화

4. 결 론

본 실험에서 얻어진 결과는 옥외용 절연재료로서의 실리콘 고무의 밀수성 회복특성에 대한 기초자료로 이용할 수 있을 것이다. 실리콘 고무의 밀수성 회복은 저분자량의 실리콘 오일이 내부(bulk)로부터 표면으로 이동하는 (migration)것에 기인한 것으로서 이를 실리콘 오일의 종류에 따라서 그 회복속도가 다름을 알 수 있으며 이것이 장기적인 트래킹 열화에도 상당한 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 사용한 실리콘 오일 A, B중 A의 성분이 증가할수록 접촉각 및 절연저항의 회복속도가 빠르고 표면누설전류량의 증가분이 감소하는 경향을 보임을 알 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] A. E. Vlastos and S. M. Gubanski, Surface Structural Changes of Naturally Aged Silicone and EPDM Composite Insulators , IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 6, pp. 888-900, 1991.
- [2] S. M. Gubanski and A. E. Vlastos, Wettability of Naturally Aged Silicone and EPDM Composite Insulators , IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 5, No. 4, pp. 2030-2038, 1990.
- [3] R. E. Carberry and H. M. Schneider, Evaluation of RTV Coating for Station Insulators Subjected to Coastal Contamination , IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No. 1, pp. 577-585, 1989.
- [4] R. S. Gorur, J. W. Chang and O. G. Amburgey, Surface Hydrophobicity of Polymers Used for Outdoor Insulation , IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 5, pp. 1923-1933, 1990.
- [5] J. W. Chang and R. S. Gorur, Surface Recovery of Silicone Rubber Used for HV Outdoor Insulation , IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 1, No. 6, pp. 1039-1046, 1994.
- [6] S. H. Kim, E. A. Cherney and R. Hackam, Suppression Mechanism of Leakage Current on RTV Coated Porcelain and Silicone Rubber Insulators , IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 6, pp. 1549-1555, 1991.
- [7] S. H. Kim, E. A. Cherney and R. Hackam, The Loss and Recovery of Hydrophobicity of RTV Silicone Rubber Insulator Coating , IEEE PES 90 WM 024-0 PWRD, 1990.
- [8] S. H. Kim, E. A. Cherney and R. Hackam, Effects of Filler Level in RTV Silicone Rubber Coatings Used in HV Insulators , IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. 27, No. 6, pp. 1055-1072, 1992.
- [9] J. G. Wankowicz, S. M. Gubanski and W. D. Lampe, Loss and Recovery of Hydrophobicity on RTV Coating Surface , IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 1, No. 4, pp. 604-614, 1994.
- [10] IEC 1302, Electrical Insulating Materials Method to Evaluate the Resistance to Tracking and Erosion Rotating Wheel Dip Test , 1995.