

옥외용 실리콘 고무의 침식요인에 관한 연구

The erosion factor of silicone rubber for outdoor use

서광석*, 김정호*, 이호열*, 박용관*, 양계준**
(K.S. Seo, J.H. Kim, H.Y. Lee, Y.K. Park, K.J. Yang)

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

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

Abstract

It is analyzed the eroding process of the polymeric insulator for outdoor use with the inclined plane method. Materials used are the different type of silicone rubber, they have the content of filler and component each other. As the content of filler added to improve the tracking and erosion resistance, It has the difference of electrical performance and erosion rate. the dry-band arc is also the parameter of accelerating erosion, and appear in the form of leakage current, and the activities of leakage current has a close relationship with the surface hydrophobicity. In this paper, the erosion growth is observed by measuring the time from the voltage application to the whole breakdown, and the erosion depth. In addition, It is measured the hydrophobicity and leakage current to be a cause of erosion by the erosion steps, studied SEM, EDX for observing the transformation of surface structure by erasing

1. 서 론

고분자절연물(polymeric insulator)은 기존의 자기나 유리로 된 절연물보다 가볍고, 좋은 파괴저항(vandalism resistance)을 가지고 있어, 그 적용이 가속화되어가고 있다. 특히, 실리콘 고무는 다른 고분자절연물보다 낮은 표면에너지를 유지할 수 있어 발수성(hydrophobicity)이 좋고, 이 때문에 연속적인 수막(water film) 형성을 막아주어, 섬락(flashover) 및 전력 시스템의 사고를 유발하는 누설전류의 거동을 억제하는데 효과적이다.^[1] 그러나, 이러한 발수성은 상대적으로 건조대활동을 야기하기 때문에, 건조대 아크로 인한 재료의 트래킹(tracking)이나, 침식(erosion)은 피할 수 없다.^[2] 트래킹에 의해 도전성 탄화물이 형성된 표면은 매우 거칠고, 젖음성(wettibility)이 좋아서 표면 위의 수막을 두껍게 한다. 이 도전막을 통해 흐르는 누설전류가 증대되면, 생성되는 건조대 아크도 강해져서, 침식전전은 가속된다.

본 논문에서는 실리콘 고무 침식의 진전 과정에 미치는 영향을 관찰하기 위하여, 시간에 따른 침식 속도를 방전양상이 변화하는 시점을 기준으로 3개의 단계로 나누어 측정하였고, 각 단계별로 누설전류 파형의 변화를 측정하였다. 또한 조성 및 충전재의 함량이 다른 두 종류의 시료를 비교하여 내침식성에 미치는 충전재의 영향을 관찰하였으며, 표면 구조 및 발수성의 변화를 관찰하기 위해 SEM, EDX 및 접촉각을 측정하였다.

2. 실험방법

경사평면법을 이용하여 실리콘 고무의 침식특성을 조사하였다. 그림 1에 IEC 587에 따른 경사평면법의 장치와 회로도를 나타내었다. 60 mA 이상의 누설전류가 2초간 발생할 경우에는 차단기가 동작하여 고압단의 전원을 차단한다. 샘플은 상부전극과 하부전극을 부착하여 45° 경사지게 고정하고, AC 4.0 kV 전압을 일정하게 가하여, 차단기의 동작에

의해 실험이 도중에 멈추더라도 시료의 뒷부분이 완전히 침식될 때까지 지속하였다. 또한, 그림의 오실로스코프를 통해 shunt resistor 양단의 전압강하에 의한 누설전류의 파형을 관찰하였다.

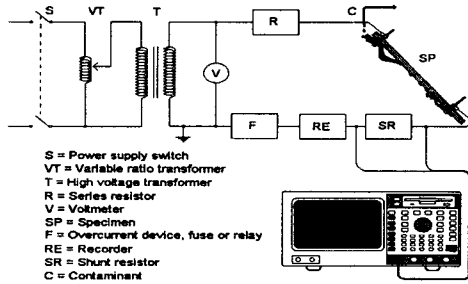


그림 1. 경사평면법(IEC 587)의 장치와 회로도

시료는 50mm×120mm×6mm의 크기로 잘라서 사용하였으며, 이 시료는 조성 및 충전재 함유량이 다른 두회사 제품의 sample A와 sample B이다. 시료는 실험시작 24 시간 전에 증류수로 세척한 후 건조하여 사용하였다. 오손액은 0.1% NH₄Cl과 0.02% 이소옥틸펜옥시폴리에탄올(iso-octylphenoxypolyethoxyethanol, non-ionic surfactant)을 증류수와 혼합하여 20℃에서 2500μS/cm의 전도도를 갖게 하였다. 이 때, 흘려준 오손액의 양은 0.6mℓ/min이다.

실험시간은 방전이 하부전극의 국부적인 영역에 고정되기까지의 시간 : t_s, 하부전극의 건조대의 활성화로 방전이 연속적으로 일어나기까지 시간 : t_c, 마지막으로, 시료의 뒷부분까지 드러나 완전히 재료 파괴될 때까지 시간 : t_f의 3부분으로 나누어 진행하였다.

3. 결과 및 고찰

본 논문에 사용된 미열화 시료와 열화된 시료의 EDX(Energy Dispersive X-Ray) 결과를 표 1에 나타내었다. EDX는 미지의 시료나 시편의 원소조성을 파악하는 데 유용한 도구이다. X선은 계수기에 의해 1분동안 카운트되는데, 카운트율은 표면의 상대밀도에 의존한다. EDX로 화합물의 결합상태나 정확한 성분은 알 수가 없지만, 표에서 보여지듯이

type	element	미열화 시료	열화된 시료
		atomic	%atomic %
sample A	Si	15.4	6.0
	Al	14.4	7.9
	O	70.2	56.2
	C		8.9
sample B	Si	20.0	6.4
	Al	12.2	5.3
	O	67.8	62.2
	C		7.8

표 1. EDX로 분석한 sample A와 sample B의 virgin과 열화된 시료의 조성비(%) 원소 및 원자의 상대성분비에 대한 정보를 알 수

있다. 표에서 나타난 Si, Al, O 및 C 이외에도 미량의 N과 Cl이 검출되었는데, 이것은 오손액의 잔여 성분으로 생각된다. 조성비를 파악하여 sample A와 Sample B를 비교하여 보면, 충전재의 성분으로 나타나는 Al의 비에서 Sample A가 14.4%, sample B가 12.2%에 비하여 Si 원소비가 각각 15.4%, 20.0%로 sample A가 상대적으로 더 많은 Al을 함유하고 있다. 따라서, sample A가 더 많은 충전재를 함유하고 있음을 알 수 있다. 열화된 시료의 경우, sample A와 sample B 모두 Si에 대한 Al의 상대적 비율이 미열화 시료보다 증가한 것을 알 수 있다. 이는 방전에 의한 표면 온도의 상승으로 인하여 Si은 열과 연소하여 공기 중으로 분해되거나, 표면에 생성되는 찌꺼기로 남게 되지만, Al은 열에 분해되지 않고 표면에 그대로 남아 있기 때문으로 생각된다.

그림 2에 sample A와 sample B의 시간에 따른 침식깊이를 나타내었다. 그림에 나타난 세 개의 point는 각각 t_s, t_c 및 t_f의 시간을 나타낸다. 방전이 안정되는 t_s까지는 하부전극에 침식 seed가 형성되는 단계로 sample A와 sample B는 모두 소요시간 및 침식 깊이가 거의 비슷하다. 한편, t_c까지의 단계는 침식이 서서히 가속되는 단계로 침식이 길이, 두께 및 깊이 방향으로 서서히 확장되는데, sample B의 경우 빠른 시간에 침식이 진전되고 있음을 보여주고 있다. 이는 재료의 충전재 밀도가 낮아 열에 충분히 견디지 못함으로써, 아크 방전에 의한 열에 의해 재료의 분해가 가속되기 때문으로 생각된다. 충전재의 밀도가 낮은 경우, 흡습성이 강한 충전재 이외의 부분에서 건조대를 형성시켜 아크발생이 용이

하므로 침식은 가속된다^[3]. 마지막으로, 급격한 침식의 단계인 t_f 에서는 sample A, B 둘 다 66.7% 이상의 침식깊이를 나타내어 침식이 가속됨을 알 수 있다.

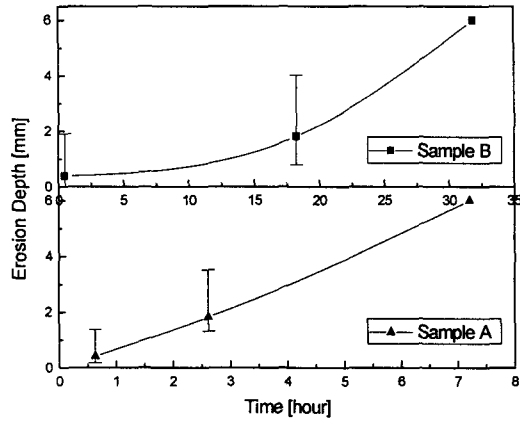


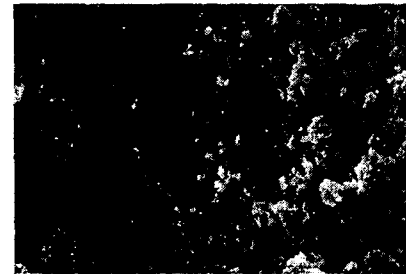
그림 2. 실리콘 고무의 시간에 따른 침식깊이 그래프

그림 3은 SEM(Scanning Electron Microscope) 사진으로, sample A를 각 시간별로 나누어 확대한 것이다. 그림 3의 (a)는 virgin 일 때의 표면으로 $\times 10K$ 임에도 불구하고, 굉장히 매끄러운 모습이다. 그러나, (c), (d)는 건조대아크의 영향을 받은 표면으로 매우 거칠고, 갈라짐이 보인다. 그림에서 동글동글한 입자들은 충전재로 열에 의하여 실리콘분자가 없어져 드러난 것으로 생각된다.^[4] 표면이 거칠어지면, 방전에 의해 표면으로 전달되는 에너지가 높아 침식은 가속되게 된다.

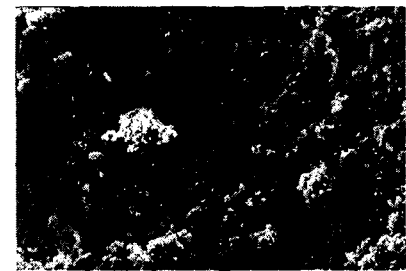
그림 4에 오실로스코프로 측정된 전형적인 방전 파형의 변화를 5 초 범위로 나타내었다. 그림으로부터, 실험 시간이 경과함에 따라 방전소멸 시간이 점점 감소하여, 단위 시간당의 방전 횟수가 증가함을 알 수 있다. 방전이 하부전극 근처에 고정될 때의 누설전류 파형은 그림 4의 (a)와 같이 나타나고, 방전이 발생하는 국부적 영역에서 침식점의 형성이 관찰되었다. 이 때의 방전은 주황색의 미소발광 방전(scintillation, minute arc) 형태를 띠게 되며, 시간에 따라 방전 길이가 상부전극 쪽으로 점점 증가하였다. 결과적으로, 표면의 열화가 증가함에 따라 방전소멸 시간은 점점 감소하게 되고, 마침내 방전이 연속적으로 발생하게 됨을 알 수 있었다.



(a) virgin $\times 10K$



(b) t_s 의 erosion $\times 1K$

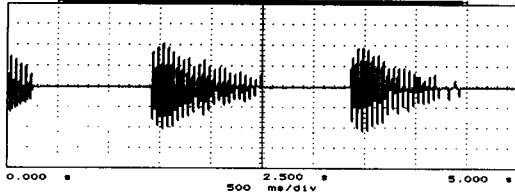


(c) t_f 의 erosion $\times 1K$

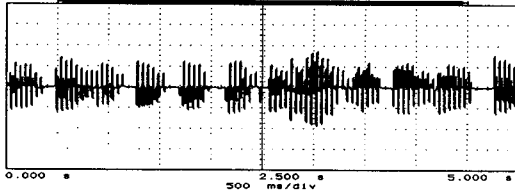
그림 3. 미열화 및 열화된 실리콘 고무의 SEM사진

그림 5는 상부에서 하부전극까지 5mm 간격으로 액로를 따라 측정된 접촉각을 도시한 것이다. 방전이 안정되었을 때, 접촉각은 미열화 시료보다 상당히 낮아진 것을 알 수 있는데, 이것은 건조대 아크로 인해 표면이 거칠어져, 친수성으로 변화된 것을 나타낸다. 열화가 진전되어감에 따라 하부전극 근처에서 접촉각이 상승된 영역이 점점 상부전극 쪽으로 확장됨을 관찰할 수 있었는데, 이는 재료가 침식된 부분과 일치함을 알 수 있었다. 재료가 침식됨에 따라, 흰 색의 가루들이 액로 주변의 표면에 노출되는 것을 관찰할 수 있었는데, 이들 역시 표면의 젖

음성을 저하시켜서, 액로의 도관 역할을 함을 알 수 있었다.



(a) 방전이 하부전극의 국부적영역에 안정되었을 때



(b) 방전이 연속적으로 일어나기 전

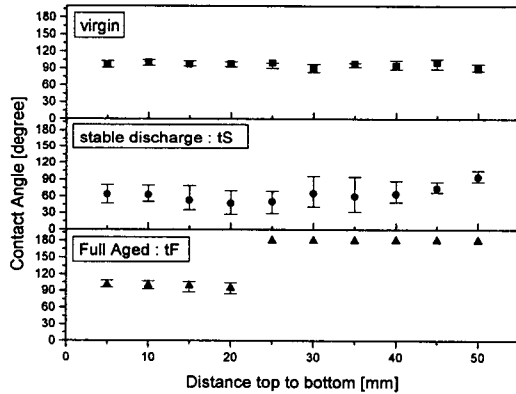


그림 5. 상부에서 하부전극까지의 접촉각

그림 4. 건조대아크가 일어났을 때 누설전류파형

4. 결론

고분자절연물로서 옥외에서 사용되는 실리콘고무의 침식에 영향을 미치는 요인을 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다:

- (1). EDX로 분석한 결과, 방전에 의해 열화된 시료의 경우, sample A와 sample B 모두 Si에 대한 Al의 상대적 비율이 미열화 시료보다 증가한 것을 알 수 있었다.
- (2). 충전재의 함량이 상대적으로 적은 sample B의 경우 빠른 시간에 침식이 진전되고 있음을 보여주고 있는데, 이는 재료의 충전재 밀도가 낮아 열에 충분히 견디지 못함으로써, 아크 방전에 의한 열에 의해 재료의 분해가 가속되기 때문으로 생각된다.
- (3). 누설전류의 파형을 측정된 결과 표면의 침식이 진전됨에 따라 방전소멸 시간은 점점 감소하게 되고, 마침내 방전이 연속적으로 발생하게 됨을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1]Report on "NON-CERAMIC INSULATOR TECHNOLOGY FOR OVERHEAD LINES" A STATE-OF-THE-ART REVIEW Prepared by EACH ENGINEERING INC. 1995
- [2]R.S.Gorur, T.Obeck "Surface Dielectric Behavior of Polymeric Insulation under HV Outdoor Conditions" IEEE Transactions on Electrical Insulation Vol. 26 No. 5. October 1991
- [3]R.S.Gorur, E.A.Cherney, R.Hackam "PERFORMANCE OF POLYMERIC INSULATION MATERIALS IN SALT-FOG" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-2, No. 2, April 1987
- [4]Antonios E Vlastos and Elbadri Sherif "EXPERIENCE FROM INSULATORS WITH RTV SILICON RUBBER SHEDS AND SHED COATINGS" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, No. 4, November 1990