

Salt fog 시험에서 인가전계에 따른 silicone rubber의 방전전류의 특성

강 성화*, 박 영국**, 이 운홍**, 이 광우**, 장 동욱**, 김 완수**, 이 용희**, 임 기조**
 *충청 대학, ** 충북 대학교.

Properties of Discharge Current on Silicone Rubber as Electrical Field in Salt Fog

S.H. Kang*, Y.G. Park**, W.Y. Lee**, K.W. Lee**, D.U. Jang**, W.S. Kim**, Y.H. Lee**, K.J. Lim**
 * Chungcheong College, ** Chungbuk National Univ.

Abstract - Recently, high voltage outdoor ploymer insulators have been widely used commercially owing to their excellent electrical and mechanical properties, superior contamination flashover pperformance, light weight, easy installation or handing, no maintenance during serviec, competitive price and so on. compared to porcelaain and glass insulators. For instance, silicone rubber(SR) for polymeric insulators specially has much superior insulating and anti-pollution performance due to its specific hydrophobicity even in severe contaminated environments

We have investigated surface discharge current characteristics of silicone rubbers(SR) for HV outdoor composite insulation specimen under accelerated aging codition using a computer measuring system.

The relations of average leakage current and surface discharge current repetition rates and discharge current amplitude, the distribution of discharge current amplitude were studied to investigate electrical conduction of silicone rubber surface with the salt fog condition.

1. 서 론

옥외 절연용 재료의 주종을 이루고 있는 자기는 내아 크, 내트랙킹성, 내열성 및 기계적 특성이 우수하고 가격도 저렴하여 거의 모든 옥외용 절연물에 응용되고 있다. 그러나 자기 절연재료는 표면장력이 크기 때문에 친수성을 가지고 있으므로 절연물 표면에 수분이 존재하게 되면, 필름 형상으로 분포하게 되어 누설전류가 증가하고 부분방전이 발생하게 된다[1]. 오염이 되면, 누설전류는 증가하고 플래시오버(flashover)에 이르고, 전력 시스템은 정전된다. 이러한 절연체의 플래시오버의 발생을 줄이고, 전기적 특성을 개선하기 위하여 silicone rubber가 널리 사용되고 있다[2, 3].

silicone rubber는 낮은 표면 에너지 즉, 발수성 때문에 표면에 수막이 형성하는 것을 막는다. 이러한 특성은 누설전류와 플래시오버의 발생을 억제하며, 오염막이 표면에 쌓이더라도 표면의 발수성을 유지한다. 이러한 특성은 silicon rubber의 제작으로부터 rubber 표면의 오염된 침전물도 저분자량 silicone oi(LMW)의 확산에 기인한다. 그러므로 표면으로의 확산은 절연 특성의 중요한 요소이다.

그러나 silicone rubber를 옥외용 절연재료로 사용할 때, 장기간의 운전에 의하여 불순물이 고분자 표면에 부착하게 되고, 저분자량 silicone oi의 확산에 의한 발수성을 잃어버리므로, 이로인하여 누설전류가 흐르게 되면, 표면에서 미소한 방전이 발생된다[2-4]. 일단 방전이 발생되기 시작하면, silicone rubber 표면의 열화

가 가속화되어 회복불가능한 상태로 열화가 진행된다[4,5]. 따라서, silicone rubber의 열화는 방전전류에 크게 의존하므로, silicone rubber에서 발생하는 방전전류의 특성을 검토하는 것은 열화의 특성분석이나 열화진단에 상당히 중요하다.

본 연구에서는 salt fog 시험시 silicone rubber 표면에서 발생하는 방전 전류 펄스를 측정하여, 열화지속 시간에 따른 방전전류 펄스의 방전전류 펄스, 크기 분포, 크기 - 발생빈도수 분포 등을 측정·검토하여 silicone rubber의 표면열화 과정을 검토하였다. 특히, 시간에 따른 작은(25mA 이하) 방전 전류 펄스와 큰 방전 전류 펄스(70mA 이상)의 방전 전류 펄스의 발생빈도수를 분석 하였고, 발생빈도수와 크기분포를 시간에 대하여 분석하였으며, 열화후의 실리콘 표면의 변화를 분석하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

본 실험에서 사용한 시편의 형상을 그림 1에 나타내었다.

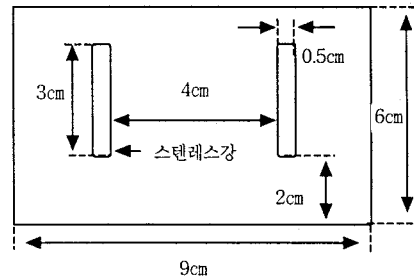


그림 1. 시편의 형상

시편으로 사용한 silicone rubber의 ATH 함량은 130 phr이며, 전극은 염수로 인한 산화를 방지하기 위하여 스텐레스강을 사용하였다. 시편은 salt fog chamber 내에서 15° 기울기를 갖도록 설치하였으며, 실험시에 시편의 하단에 수막이 형성되는 것을 방지하기 위하여 시편의 하단부에 여유가 있도록 전극의 배치를 하였다.

실험에 사용한 salt fog chamber는 1.1×1.1×1.0 m³의 크기로 제작하였으며, 지붕에 15°의 각도를 주어 salt fog가 맺혀 시편으로 떨어지는 현상을 방지하였다.

salt fog의 분무는 가습용의 분무기를 사용하였고, 시편에 부착되는 양은 9 ml/m²·min으로 하였다.

salt fog의 농도는 3wt%로 일정하게 유지하였고, 인가전계의 변화에 대한 silicone rubber 표면의 열화진행과정을 검토하기 위하여 인가전계를 2, 2.5, 3 kV로 하였다.

실험에 사용된 실험장치의 블록도를 그림 2에 나타내었다.

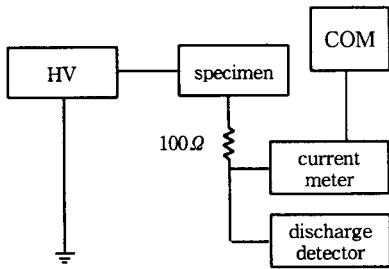


그림 2. 실험장치의 블록도

플래시오버시 발생하는 단락전류를 제한하기 위하여 시판과 직렬로 100 Ω의 저항을 접속하여 누설전류와 방전전류를 측정하였다. salt fog 시험시에 silicone rubber 표면에서 발생하는 방전전류 펄스는 열화시간에 따라 상당히 변화하기 때문에 본 실험에서는 3600 cycles 동안의 방전 전류펄스를 측정후 컴퓨터를 사용하여 통계적으로 처리하여 방전의 특성을 검토하였다.

평균 누설전류의 측정은 Keithley 195A를 사용하여 측정하였고, 방전시에 급증하는 누설전류 값은 GPIB로 인터페이스하여 10분간격으로 측정하였다. 또한, 누설전류는 방전이 발생하는 상황에 따라 값이 크게 변화하므로 통계적인 처리를 위하여 sampling 간격을 1초로 하여 20개의 데이터를 취득하여 평균처리하였다.

2.2 실험결과 및 고찰

평균 누설전류는 표면방전전류 뿐만아니라, 표면의 절연특성 저하에 기인하는 표면 누설전류도 포함하므로 silicone rubber의 표면 절연특성을 검토하는 중요한 인자이다. 그림 3은 3 wt%의 염수분무시에 발생하는 평균 누설전류를 인가전압에 따라 도시한 것이다.

그림에서 2 kV의 전압인가시에는 전압인가후 2시간 30분 후에 방전이 개시되었으며, 2.5 kV에서는 약 1시간 40분 후에, 그리고 3 kV일 때는 약 1시간 후에 방전이 개시되었다. 인가전계가 증가함에 따라 평균 누설전류가 증가하고 있으며, 열화초기에 누설전류가 크기 때문에 방전 개시에 소요되는 시간이 감소하는 것으로 생각된다.

열화가 지속되면, 평균 누설전류는 포화하는 경향이 있으며, 포화에 도달하는 시간도 인가전압이 높을수록 빠르게 나타난다. 2 kV에서는 전압인가후 약 8시간, 2.5 kV에서는 약 6시간, 3 kV일 때는 약 4시간 30분 정도 소요된다.

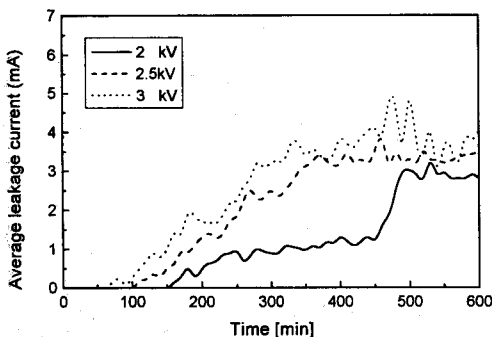


그림 3 시간에 대한 평균 누설전류의 변화

방전전류 펄스의 크기는 방전상태에 따라서 심하게 변

화하는 값이므로 3600 cycles 동안 발생된 방전을 통계적으로 처리한 것이며, 상당한 오실레이션이 있지만, 열화시간이 경과함에 따라서 증가하는 경향을 나타낸다. 그림 4와 그림 5는 인가전압에 따른 방전전류 펄스의 발생빈도수를 나타낸 것이다. 시간은 방전 개시시간을 기준으로 하였다.

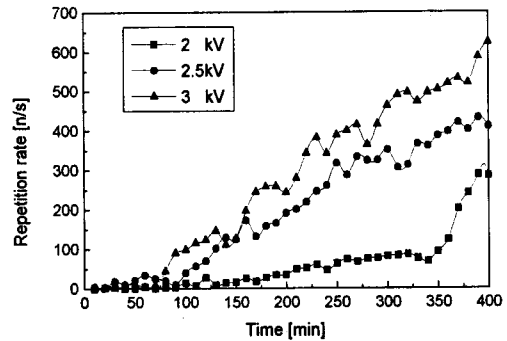


그림 4 20 mA~25 mA의 시간에 대한 발생빈도수

그림 4는 전류 펄스의 크기가 20 mA에서 25 mA사이의 전류 펄스의 발생빈도수를 시간의 변화에 대하여 나타내었다. 방전전류 펄스중에서 크기가 비교적 작은 펄스들의 열화시간에 따른 증가경향은 열화시간에 대하여 비교적 선형적으로 증가하는 경향을 나타내며, 발생빈도수는 인가전압이 클수록 더 많이 나타난다. 이것은 방전전압이 클수록 silicone rubber의 표면에서 방전이 발생하는 부위가 증가하기 때문으로 생각된다.

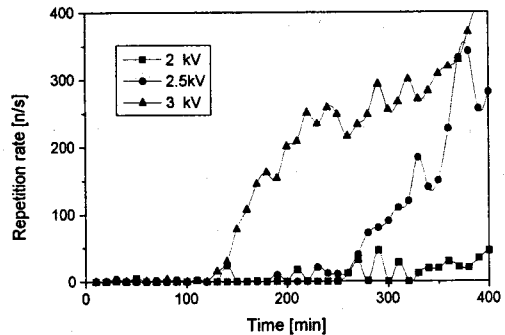


그림 5 70 mA~80 mA의 시간에 대한 발생빈도수

그림 5는 전류 펄스의 크기가 70 mA에서 80 mA사이의 전류 펄스의 발생빈도수를 시간의 변화에 대하여 나타내었다. 방전전류 펄스중에서 크기가 비교적 큰 펄스들은 방전초기에는 초당 발생빈도수가 많지 않지만, 열화가 진행됨에 따라서 급증하는 경향을 나타내며 인가전압의 크기에 상당히 의존하는 것으로 나타났다. 특히, 인가전압이 3 kV일 때는 방전개시후 약 2시간 20분 경이 되면 발생빈도수가 급증하는 영역을 갖는다. 인가전압이 2.5 kV일 때는 방전개시후 약 4시간 30분 경에 급증하는 것으로 나타났다. 2 kV의 전압이 인가되는 경우에는 급증하는 영역이 보이지 않으나 약 4시간 40분 경부터 크기가 70 mA이상인 방전전류 펄스가 발생하여 약 5시간 30분 이상에서는 연속적으로 나타난다.

그림 3, 4, 5에서 평균 누설전류의 변화와 방전전류 펄스의 발생빈도수의 급증시간은 정확하게 일치하지 않는다. 이것은 그림 4와 5는 특정 크기의 발생빈도수이므로 평균 누설전류와는 정확히 일치하지 않고, 또 방전전류 펄스의 측정이 3600cycles동안 즉, 1분 동안 발생한 방전전류 펄스를 측정된 량이고, 평균 누설전류는 1

초단위로 20초간 측정하여 평균한 누설전류의 값이기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 2 kV전압을 인가시에는 평균 누설전류의 급증점과 70 mA의 방전전류 펄스가 연속적으로 나타나기 시작한 열화시간이 일치하고 있으며, 2.5 kV, 3 kV전압을 인가시에도 70 mA이상의 방전전류 펄스의 발생경향과 평균 누설전류가 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.

그러나 방전전류의 크기가 70 mA 이하인 펄스는 인가 전압에 대하여 거의 변화가 없으며, 열화에 따른 증가경향도 인가전압에 대한 영향은 나타나지 않는다. 따라서 평균 누설전류에는 70 mA이상인 방전전류 펄스가 영향을 준다고 할 수 있다.

그림 6, 7, 8은 열화초기의 방전전류 펄스의 특성을 검토하기 위하여 인가전압에 따른 방전전류 펄스의 경향을 열화시간에 대한 $i-n$ 분포를 나타내었으며, 시간은 방전개시 이후의 시간이다.

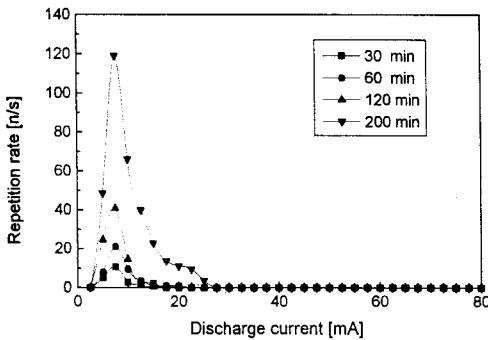


그림 6 2kV 3wt%일 때 시간에 대한 q-n 분포

그림 6은 2kV의 전압 인가시 방전전류 펄스의 경향을 나타낸 것이다. 그림에서 열화가 진행됨에 따라 20 mA 이상의 방전 전류펄스는 크게 증가하지 않는 것으로 나타났다.

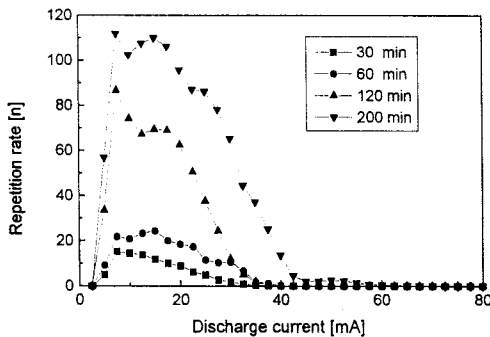


그림 7 2.5 kV 3wt%일 때 시간에 대한 q-n 분포

그림 7은 인가전압이 2.5 kV일 때의 $i-n$ 분포로써, 방전이 개시 후 60분경이 경과한 후에 20 mA 전후의 방전전류 펄스가 상당히 증가한 것으로 나타났다. 따라서 방전개시 초기에 그림 3의 평균 누설전류에 이들의 영향이 반영된 것으로 생각된다. 그러나 방전개시 후 120 분과 방전개시 후 200분에서의 차이가 크게 나타나지 않으므로 열화가 진행됨에 따라서 방전전류 펄스가 증가하는 것으로 나타났다.

그림 8은 3 kV의 전압이 인가되었을 때의 $i-n$ 분포를 나타낸 것이다. 인가전압이 2.5 kV일 때와 비교할 때 방전전류 펄스의 크기가 증가한 것 이외에는 거의 유사한 경향을 나타냈으며, 방전개시후 120분의 방전전류 펄스는 30 mA이상의 방전전류 펄스의 발생빈도수가 상

당히 증가하는 것으로 나타났다.

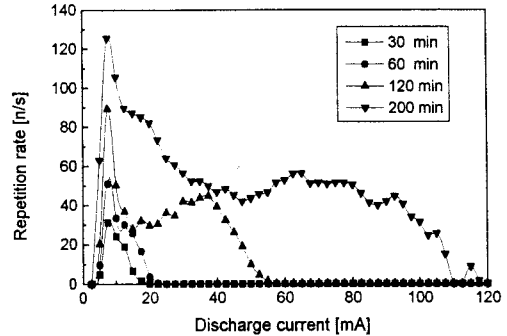


그림 8 3kV 3wt%일 때 시간에 대한 q-n 분포

3. 결론

본 연구에서는 silicone rubber의 표면 열화 특성을 검토하기 위하여 표면 방전 및 평균 누설 전류를 측정 한 결과 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 1) 평균 누설전류의 크기는 인가전압이 증가할수록 증가하며, 누설전류가 포화하는데 소요되는 시간도 인가전압이 클수록 적게 소요된다.
- 2) 평균 누설전류의 크기에는 70 mA이상의 방전전류 펄스의 영향이 큰 것으로 나타났다.
- 3) 방전개시 초기의 방전전류 펄스의 크기분포는 인가전압에 따라 달라지며, 인가전압이 2.5 kV와 3 kV는 방전 전류 펄스의 크기차이는 있지만, 분포형상은 거의 유사한 것으로 나타났다.
- 4) 인가전압이 2 kV일 때와 2.5 kV, 3 kV일때의 초기 방전전류 펄스의 경향이 다르게 나타났으며, 이것은 초기열화과정에서 인가전압의 영향이 방전패턴에 영향을 미치기 때문으로 생각되며, 방전패턴이 변화하는 전계를 보다 정확하게 검토하는 연구가 필요할 것으로 생각된다.
- 5) silicone rubber 표면의 방전특성은 시편마다 경향의 차이가 상당히 크므로 보다 정량적인 평가를 위해서는 인가전압 및 salt fog의 농도에 따른 연구가 더 행해져야 하겠다.

감사의 글

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소 주관으로 수행되었으며 감사드립니다.(과제번호 : 97-중-06)

Reference

- [1] J. S. T, "Insulators for High Voltages", Peter Peregrinus Ltd, pp118-131, 1990.
- [2] Hui Deng, Reuben Hackam, "Electrical Performance of RTV Silicone Rubber Coating of Different Thicknesses on Porcelain", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol 12, April, pp857-866, 1997
- [3]H. Deng, R. Hackam, E.A. Cherney, "Role of The Particles of Alumina Trihydrate filler on The Life of RTV Silicone Rubber Coating", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol 10, April, pp1012-1024, 1997
- [4] R. S. Gorur, E. A. Cherney and R. Hackam, "A Comparative Study of Polymer Insulating Materials under Salt-Fog Condition", IEEE Trans., EI-21 N0.2, pp175-186, 1986.
- [5] R. S. Gorur, G. G. Karady, A. Jagota, M. Shah and A. M. Yates, "Aging in Silicone Rubber Used for Outdoor Insulation", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7, No. 2, April, pp 525-538, 1997.