

Salt fog 시험에서 silicone rubber에서 발생하는 방전 전류의 특성

The surface discharge performance of silicone rubber in the Salt fog test

강성화*, 박영국, 이광우, 김완수, 이용희, 임기조

Seong-Hwa Kang*, Young-Guk Park, Kwang-Woo Lee, Wan-Su Kim, Yong-Heuy Lee and Kee-Joe Lim

* Chungcheong College, Chungbuk National University

Abstract

In these days, the silicone insulators have been increasingly studied and applied for outdoor insulators because it has superior characteristics than porcelain and glass insulators, which have been used for outdoor insulators. First of all, The excellent performance of the silicone rubber in polluted and wet conditions is attributed to the ability of the material to maintain the hydrophobicity of the surface in the presence of severe contamination and wet conditions. This is because of the presence of low molecular weight mobile fluid in the silicone rubber which diffuses to the surface and to above the contamination layer.

But, the leakage current and some surface discharge occurs on surface of the composite polymeric insulation materials when the insulator is used for a long time with severe contaminative condition and it can lead the contamination flashover. So the leakage current and the discharge current are important to estimate the condition of the silicone rubber surface.

In this paper, the average leakage current, the relation of surface discharge current and phase angle were study to investigate electrical conduction of silicone rubber surface with the salt fog condition.

Key words(중요용어) : silicone rubber(실리콘 고무), average leakage current(평균 누설전류),
discharge current(방전전류), salt fog condition(염무조건)

1. 서 론

옥외 절연용 재료의 주종을 이루고 있는 자기는 내아크, 내트랙킹성, 내열성 및 기계적 특성이 우수하고 가격도 저렴하여 거의 모든 옥외용 절연물에 응용되고 있다. 그러나 자기 절연재료는 표면장력이 크기 때문에 절연물 표면에 수분이 존재하게 되면, 필름 형상으로 분포하게 되어 누설전류가 증가하고 부분방전이 발생하게 된다[1].

silicone rubber는 절연저항 및 절연파괴 강도가 우수하며 유전손실이 낮고 암축강도를 제외한 대부분의 기계적 강도가 우수할 뿐만 아니라 내후성이 우수하고 자기 회복특성을 가지며[2,3], 제조가 용이하여 대량생산이 가능하며, 내오염성이 우수하여 전체적인 운전비용을 줄일 수 있다는 장점으로 인하여 최근에 고압, 특고압 옥외절연재료로써 광범위하게 사용되고 있는 추세이다.

그러나 silicone rubber를 옥외용 절연재료로 사용할 때, 장기간의 운전에 의하여 불순물이 고분자 표면에 부착하게 되고, 이로 인하여 누설전류가 흐르게 되면, 표면에서 미소한 방전이 발생된다. 일단 방전이 발생되기 시작하면, silicone rubber 표면의 열화가 가속화되어 회복 불가능한 상태로 열화가 진행된다[4,5]. 따라서 silicone rubber에서 발생되는 방전 전류 펄스의 특성을 검토함으로써 silicone rubber의 열화특성을 분석할 수 있다.

본 연구에서는 salt fog 시험시 silicone rubber 표면

에서 발생되는 방전 전류 펄스를 측정하여, 열화진행 시간에 따른 방전전류 펄스의 발생위상각 - 방전전류 펄스, 크기 분포, 크기 - 발생빈도수 분포 등을 측정·검토하여 silicone rubber의 표면열화 과정을 검토하였다. 특히, 시간에 따른 방전 전류 펄스와 방전 전류 펄스가 발생하는 위상각의 변화를 분석하고, 또 위상각과 발생빈도수와의 관계를 분석하여 silicone rubber의 열화과정에 따른 특성을 분석하였다.

2. 실 험

2.1 시편의 제작

본 실험에서 사용한 시편의 형상을 그림 1에 나타내었다.

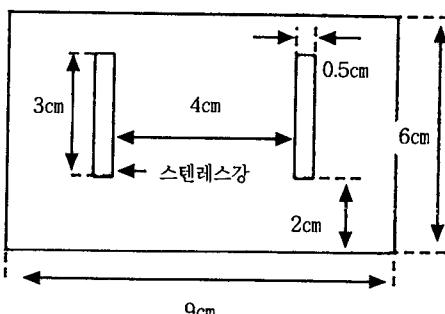


그림 1. 시편의 형상

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 수막형성이 빨리 되는 것을 방지하기 위하여 시편의 하단부에 여유가 있도록 전극의 배치를 하였다.

2.2 실험방법

실험에 사용한 salt fog chamber는 $1.1 \times 1.1 \times 1.0$ m'의 크기로 제작하였으며, 지붕에 15°의 각도를 주어 salt fog가 맷혀 시편으로 떨어지는 현상을 방지하였다. 시편에 인가되는 전류는 0.5 kV/cm로 일정하게 하였다. salt fog의 분무는 가습용도의 분무기를 사용하였고, 시편에 부착되는 양은 $9 \text{ mL/m}^2 \cdot \text{min}$ 으로 하였다. 오염의 정도에 따른 silicone rubber 표면의 열화진전 과정을 검토하기 위하여 염수의 농도는 2, 3, 4 wt%로 하였다.

실험에 사용된 실험장치의 블록도를 그림 2에 나타내었다.

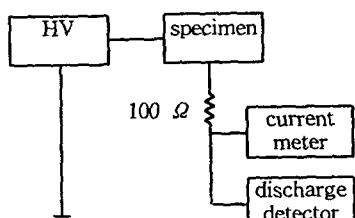


그림 2. 실험장치의 블록도

플래시오버시 발생되는 단락전류를 제한하기 위하여 시편과 직렬로 100 Ω의 저항을 접속하여 누설전류와 방전전류를 측정하였다.

salt fog 시험시에 silicone rubber 표면에서 발생하는 방전전류 펄스는 열화시간에 따라 상당하게 변화하기 때문에 본 실험에서는 3600cycle 동안의 방전전류 펄스를 측정하여 컴퓨터를 사용하여 통계적으로 처리하여 방전의 특성을 검토하였다. 열화의 진행에 따른 방전전류의 특성검토에 사용된 특성량들은 방전전류 펄스의 발생위상각 - 최대치 분포, 펄스평균 크기 - 발생빈도수 분포이다.

평균 누설전류의 측정은 keithley 195A를 사용하여 측정하였으며, 누설전류의 값은 방전시에 급증하기 때문에 GPIB로 인터페이스하여 20개의 값을 평균처리하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

그림 3은 열화시간에 따른 염수농도별 평균 누설전류값을 도시한 것이다. 본 실험조건에서는 시편의 하단부에 완전하게 수막이 형성되는 시간을 소수성을 상실한 상태로 보았다. 열화도중에 시편의 하단부에 부분적으로 수막이 형성되어 방전전류 펄스가 작아지고 누설전류값은 급증하지만, 끝이어 방전이 다시 발생한다.

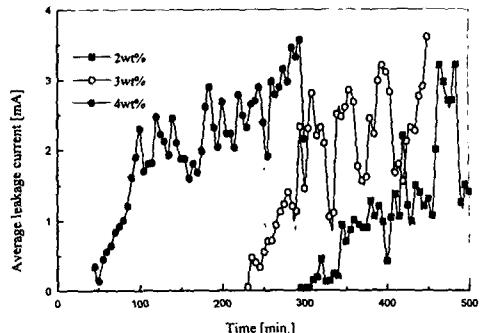


그림 3 염수 농도에 따른 평균 누설전류

누설전류가 급증하는 시간은 4 wt%에서 전압인가 45분, 3 wt%는 230분, 2 wt%일 때는 300분 경에 발생하였다.

염수의 농도에 따라 평균 누설전류의 증가경향은 염수 농도가 증가함에 따라 약간 급하게 나타나지만, 표면방전이 개시되면, 평균 누설전류의 값은 염수의 농도에 거의 무관한 것으로 나타났다. 또한 수막이 형성된 후의 누설전류도 약 11.7 mA로 거의 차이가 없었다.

따라서 본 실험조건 하에서는 염수의 농도는 표면방전의 개시에는 영향을 미치지만, 평균 누설전류의 값에는 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

그림 4, 5, 6은 2, 3, 4 wt% 염수분무시 발생한 방전전류의 크기별 발생빈도수를 나타낸 그림이다. 열화진행 동안 발생한 방전전류 펄스는 silicone rubber 표면의 발생되는 염수적과 방전활동에 의한 발열에 의한 전조활동이 평형을 이루면서 방전활동이 증가하였다가 감소하는 주기를 반복하면서 이루어진다.

따라서 그래프에 나타낸 값은 일정한 변화를 나타내기 위하여 특별한 시점에서의 값을 나타내었으며, 그래프의 시간은 표면방전이 개시된 후의 경과시간이다.

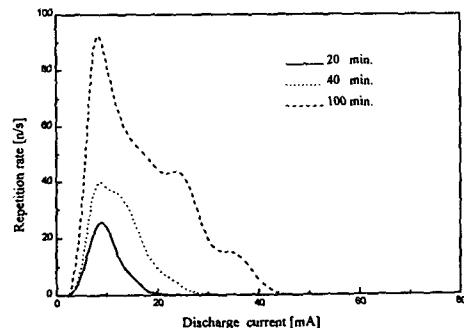


그림 4 2 wt% 염수분무시 방전 전류펄스 파형의 발생

silicone rubber 표면에 분무되는 염수농도에 따른 방전전류 펄스의 발생빈도수는 염수농도가 증가할수록 증가하는 추세를 갖지만, 증가하는 양상은 거의 유사하다. 그러나 방전전류의 크기는 염수의 농도가 증가함에 따라 더 빨리 증가하는 것으로 나타났다. 이것은

염수의 농도가 증가함에 따라 표면의 열화가 빨리 진행되어 방전활동이 촉진되기 때문으로 생각된다.

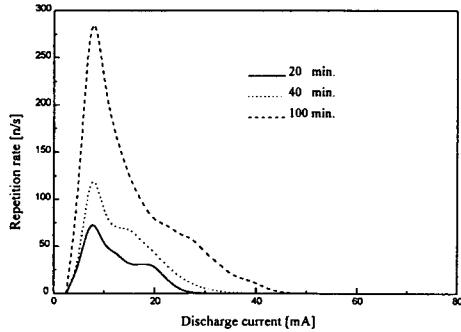


그림 5 3 wt% 염수분무시 방전 전류펄스 파형의 발생

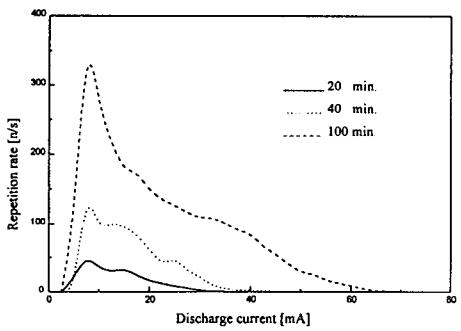
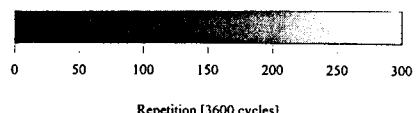
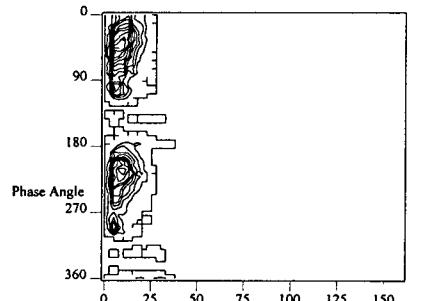


그림 6 4 wt% 염수분무시 방전 전류펄스 파형의 발생

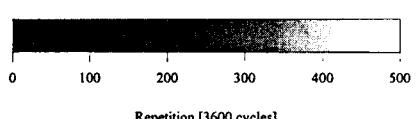
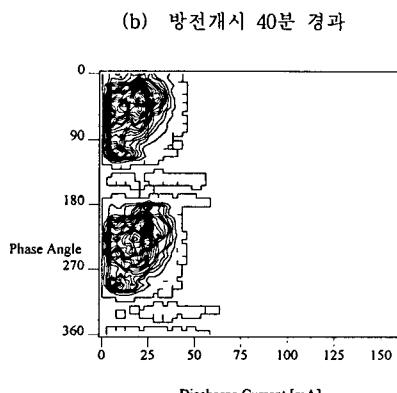
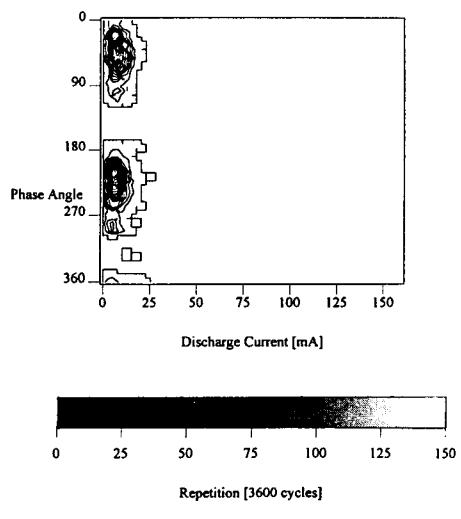


그림 7, 8, 9는 2, 3, 4 wt%의 염수분무시에 silicone rubber의 열화 과정에서 발생하는 방전전류의 위상각 (ψ) - 방전전류(i) - 발생빈도수(n)의 분포를 시간에 따라 변화하는 분포를 나타낸 것이다.



(a) 방전 개시 20분 경과

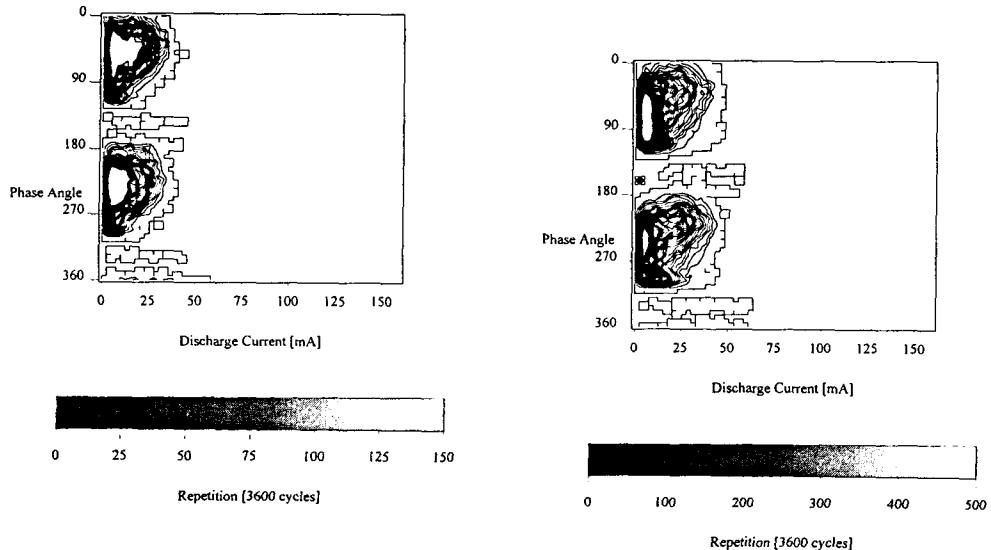
그림 7은 2 wt%의 염수 분무시에 방전개시 후의 시간에 대한 방전 전류의 크기, 방전 펄스가 생긴 위상과 발생빈도수를 나타낸다. 열화가 진행됨에 따라 방전전류의 크기는 증가하고, 발생빈도수도 증가함을 알 수 있다. 위상에 대해서는 방전 초기단계인 7(a)에서 양의 주기에서는 $0\sim90^\circ$, 음의 주기에서는 $180\sim270^\circ$ 에서 방전 펄스가 발생하였고, 그림 7(c)에서는 방전 펄스의 발생 구역이 양의 주기에서는 $0\sim120^\circ$, 음의 주기에서는 $180\sim305^\circ$ 로 확장된 위상을 갖는 것을 알 수 있다. 시간에 따른 발생빈도수의 증가는 그림에서의 contour로서 알 수 있듯이 방전개시 20분보다는 40분에서의 발생빈도수가 많은 것을 알 수 있으

그림 7 2 wt%에서의 방전개시 시간에 대한 분포



며, 40분보다는 100분에서의 발생빈도수가 더 넓은 영역에서 발생하며 증가하는 것을 볼 수 있다.

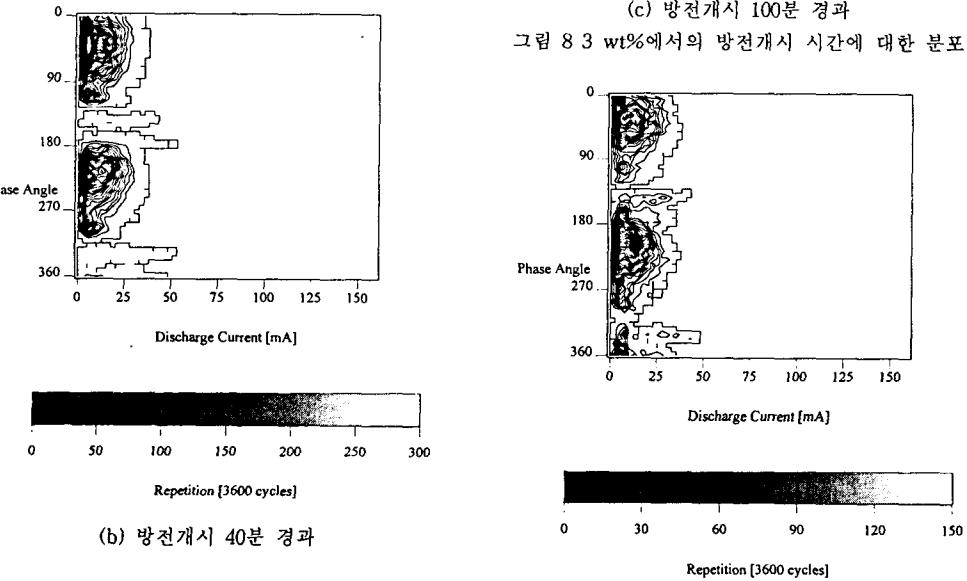
을 알 수 있다. 즉, 염수의 농도가 2 wt%일 때 보다 농도 3 wt%일 때의 열화 양상이 더욱 활발함을 알 수 있다.



(a) 방전개시 20분 경과

(c) 방전개시 100분 경과

그림 8 3 wt%에서의 방전개시 시간에 대한 분포



(a) 방전개시 20분 경과

그림 8은 3 wt%의 염수 분무시에 방전개시 후의 시간에 대한 방전 전류의 크기, 방전 펄스가 생긴 위치와 발생빈도수를 나타낸다. 그림 7(a)와 8(a), 7(b)와 8(b), 7(c)와 8(c)를 비교하여 볼 때 동일시간에서의 발생빈도수, 방전 전류 펄스 와 방전 펄스가 발생한 위치를 비교하여 보면 방전 전류는 상당히 증가한 모습을 알 수 있으며, 발생빈도수도 상당히 증가한 것을 볼 수 있다. 또한 방전 펄스가 발생한 위치도 상당히 넓어진 것을 볼 수 있으며 그림 7(c)와 그림 8(a)를 비교하여 보면 그림 8(a)에서의 발생 위치가 더 넓음

그림 9은 4 wt%의 염수 분무시에 방전개시 후의 시간에 대한 방전 전류의 크기, 방전 펄스가 생긴 위치와 발생빈도수를 나타낸다. 그림 9도 그림 7, 8 같은 양상으로 나타나지만 그림 7, 8을 그림 9와 비교하여 볼 때 동일시간에서의 발생빈도수, 방전 전류 펄스와 방전 펄스가 발생한 위치를 비교하여 보면 방전 전류는 상당히 증가한 모습을 알 수 있으며, 발생빈도수도

상당히 증가한 것을 볼 수 있다.

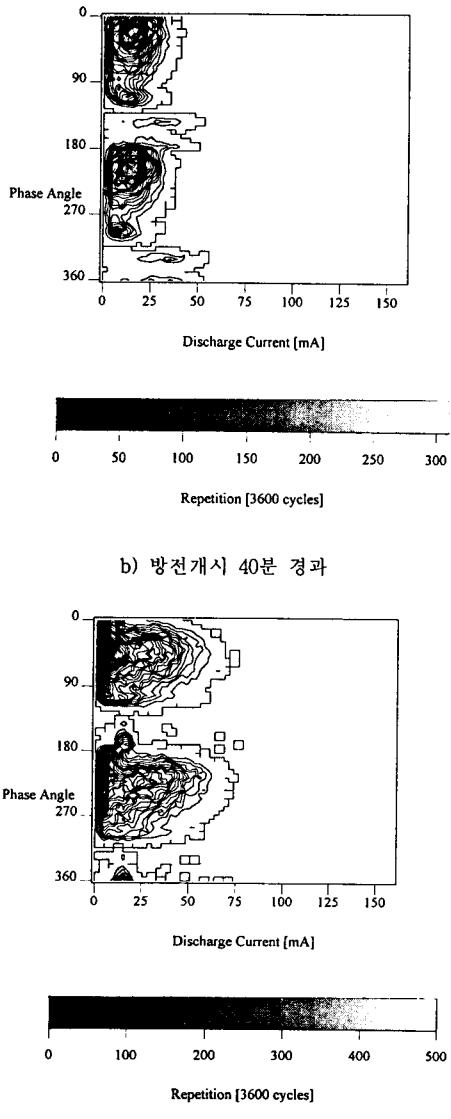


그림 9 4 wt% 에서의 방전개시 시간에 대한 분포

각각의 염수 농도에 대한 분석은, 방전개시가 시작된 시간은 농도가 높을수록 빠르게 진행되며 일단 방전 개시된 후에는 방전 위상각은 대체로 비슷한 위상에서 발생하였으며, 단지 농도에 따라 발생빈도수나 방전 전류 펄스의 크기가 다르게 나타날 뿐이었다. 그리고 방전 펄스가 발생한 위상도 시간에 따라서 상당히 넓은 영역으로 확장되는 것을 볼 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 silicone rubber의 표면 열화 특성을 검토하기 위하여 염수 분무 조건하에서 silicone

rubber 표면에서 발생하는 표면 방전 및 평균 누설 전류를 측정하였으며, 방전전류 펄스를 위상각(ϕ) - 펄스크기(i) - 발생빈도수(n)의 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 평균 누설전류는 방전전류 성분을 내포하고 있으며, 초기에 급증하는 시간과 경향은 염수의 농도에 따라 다르게 나타나지만, 표면 방전이 발생하여 전류가 급증한 후에는 염수의 농도에 큰 영향을 받지 않는다.
- 열화전전에 따라 표면방전 전류값은 대체로 증가하는 추세를 나타냈으나, 방전활동에 따라 방전 전류값의 변동이 상당히 심하게 나타났다.
- 열화가 진행되어 수막이 형성되기 시작하면, 평균 누설전류 값은 비교적 크고 안정된 값을 갖지만, 방전전류는 상당히 감소하여 수막이 완전히 형성되면, 방전전류 펄스는 발생하지 않는다.
- 평균누설전류와 방전전류의 증가경향은 항상 일치하지 않지만 부분적인 수막이 형성되지 않는 한 평균 누설전류값은 표면방전 전류와 동일한 경향을 갖는다.
- 방전전류 펄스가 발생하는 방전 위상각은 일정한 위상에서 발생하며 열화시간에 따라서 점차 넓어진다.

감사의 글

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

Reference

- [1] J. S. T., "Insulators for High Voltages", Peter Peregrinus Ltd, pp118-131, 1990
- [2] R. S. Gorur, E. A. Cherney and R. Hackam, "A Comparative Study of Polymer Insulating Materials under Salt-Fog Condition", IEEE Transaction, EI-21 N0.2, pp175-186, 1986.
- [3] R. S. Gorur, G. K. Karady, A. Jagota, M. Shah and A. M. Yates, "Aging in Silicone Rubber Used for Outdoor Insulation", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 7, No. 2, April, pp 525-538, 1997
- [4] J. R. Cedeno, S. A. Sebo, J. Sakich and T. Zhao, "Evaluation of Polymer Insulator Performance in Salt Fog Chamber" proceedings of the 5th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Material, Seoul, pp 786-789, 1997.
- [5] W. Tjokrodiporto, S. A. Sebo, J. D. Sakich and T. Zhao, "Simultaneous Electrical and Visual Measurements of Leakage Current along Polymer Insulators in Artificial Pollution Tests", proceedings of the 5th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Material, pp 786-789, 1997.