

## 옥외 애자용 재료의 표면 전기전도 특성

11-10-1

### Electrical Conduction Properties of Surface in Materials for Outdoor Insulator

박영국<sup>\*</sup>, 이운석<sup>\*</sup>, 정수현<sup>\*\*</sup>, 장동욱<sup>\*</sup>, 임기조<sup>\*</sup>

(Y. G. Park<sup>\*</sup>, W. S. Lee<sup>\*</sup>, S. H. Jeong<sup>\*\*</sup>, D. U. Jang<sup>\*</sup>, K. J. Lim<sup>\*</sup>)

#### Abstract

Electrical conduction property of insulator surface is most important factor to assess the insulation performances of outdoor insulating materials. In this paper, contamination performance of the materials to be used for outdoor insulator such as porcelain, EPDM, silicone rubber was discussed by measuring properties of average leakage current and scintillation discharge pulses under salt fog conditions. The fog was applied by nozzle in chamber and fogging fluids were deionized distilled water, 0.5wt% NaCl solution and 2wt% NaCl solution. The average leakage current showed linearly with applied voltage at dry and clean surface condition. The magnitude of leakage current was almost same at different kinds of samples. In case of deionized distilled water fog, the characteristics of leakage current and applied voltage were much different to those in case of dry and clean condition with 2wt% salt fog. In case of salt fog pollution condition, the leakage current was increased above critical voltage. The scintillation discharges were also activated at the level. The leakage current and scintillation discharges were increased with increasing pollution degree. The resistance to pollution properties of silicone rubber appeared excellent among them.

**Key Words(중요용어)** : Leakage current(누설전류), Outdoor insulator(옥외용 애자), Scintillation discharge(미소 발광 방전), Salt fog(염수)

#### 1. 서 론

옥외용 애자는 장기간의 운전에 의하여 불순물이 애자 표면에 부착하게 되고, 불순물에 의한 절연물 표면의 누설거리와 표면저항의 감소로 인하여<sup>1)</sup> 건전시 보다 큰 누설전류가 흐르게 되고, 누설전류에 의한 Joule 열이 발생하여 국부적인 건조대를 형성하고, 이에 따른 미소방전의 발생, 부식, 침식 등이 발생하여 트랙킹, 아크 등의 열화과정을 거쳐 결국 절연파괴에 이르게 된다.<sup>2,3)</sup>

이와 같이 누설전류는 옥외용 애자의 절연열화와 절연파괴의 근본적인 원인이 되므로 옥외용 애자의 설계시 애자재료 표면의 오손에 따른 전기전도성의 변화특성, 특히 누설전류의 변화에 대한 고려가 반드시 행해져야 한다.<sup>4,5)</sup> 국외에서는 특히 고분자 애자 재료의 내오손성이 20년 전부터 연구되어 왔으나<sup>5,6)</sup> 국내에서는 비교적 최근에 연구되기 시작하여 근본적인 연구가 부족한 실정이다.

본 논문에서는 오손에 의한 옥외용 애자재료의 표면 전기전도 특성을 검토하기 위하여 옥외용 애자재료에 가장 널리 사용되는 porcelain, silicone rubber, EPDM에 대한 건조시, 증류수 분무시, 0.5wt% NaCl 염수 분무시, 2wt% NaCl 염수 분무시의 평균 누설전류를 측정하고, 각 상태에서의 scintillation 방전펄스의 특성을 측정, 검토하였다.

\* : 충북대학교 전기공학과  
(청주시 흥덕구 개신동 산 48, Fax:0431-261-2424  
E-mail : kjlim@trut.chungbuk.ac.kr)

\*\* : 대원공과대학 전기과  
1998년 7월 23일 접수, 1998년 9월 30일 심사완료  
<'98 춘계학술회의에서 우수논문으로 추천됨>

## 2. 실험

시편은 상용하는 옥외용 애자의 표본을 사용하였으며, porcelain, silicone rubber, EPDM의 재료를 초음파 세척기로 세척하여 항온조에서 건조하였다. 시편의 표면에 그림 1과 같이 전극간 거리를 5cm로 하고 1×3 cm의 구리전극을 배치하였다.

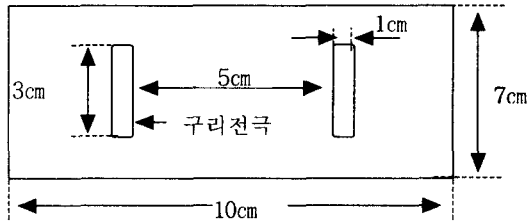


그림 1. 시편의 형상

Fig. 1. Shape of specimen

본 실험의 실험장치의 Block Diagram을 그림 2에 나타내었다.

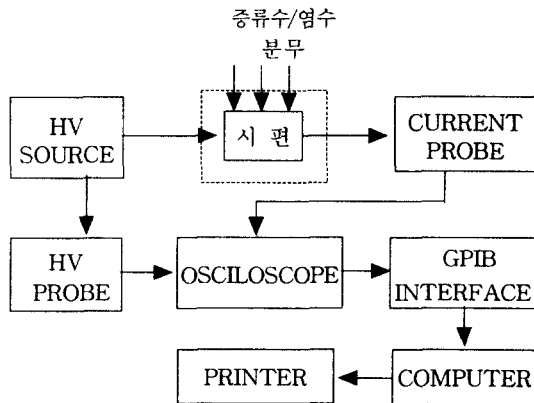


그림 2. 실험장치의 블록도

Fig. 2. Block diagram of experiment system

전압은 100V/sec의 속도로 2kV씩 상승시키며 측정을 행하였다. 염수 분무 챔버는 가로 400mm, 세로 550mm, 높이 400mm의 규격으로 제작하였고, 노즐은 입자크기가 10 $\mu$ m 이하로 되는 가습 용도의 분무기를 사용하여 안개상으로 분무하였고, 10×7 cm<sup>2</sup>의 시료에 낙하되는 물 입자의 양을 시간당 0.5ml/cm<sup>2</sup>가 되도록 조정하였다. 시편의 기울기는 15°로 하였으며, 측정전에 10분간 염수를 분무한 후에 미소전류계로 평

균 누설전류를 측정하고, current probe를 사용하여 scintillation 방전의 크기와 펄스를 측정하였으며, high voltage probe를 사용하여 방전의 발생위상각을 검토하여 전압과 오염의 정도에 따른 표면전도 특성을 관측하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

실험에 사용된 오염 물질의 전기전도도를 측정한 결과 표 1에서 보듯이 NaCl 수용액의 전기전도도가 중류수에 비하여 2~3 오더 정도 큰 것으로 나타났다.

표 1. 오염물질의 전기전도도

Table 1. Conductivity of contaminant

오염등급	종 류	전기전도도
	중류수	0.04mS/cm
Light	0.5wt% NaCl 수용액	3.0mS/cm
Medium	2wt% NaCl 수용액	12.7mS/cm

그림 3은 건조시 각각 재료의 평균 누설전류 특성을 나타낸 것이다. 건조시의 평균 누설전류는 인가 전압에 대하여 직선적으로 증가하는 오믹 특성을 나타낸 후, porcelain은 17kV, EPDM은 30.5kV, silicone rubber는 30kV에서 섬락이 발생하였다. 이러한 섬락 전압의 차이는 재료의 표면특성에 기인된 것으로 생각된다.

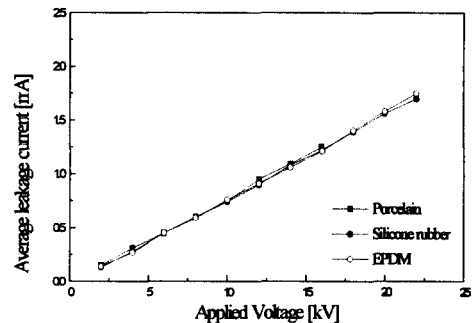


그림 3. 건조시 각 재료의 평균누설전류의 특성

Fig. 3. Property of average leakage current (dry condition)

그림 4는 중류수 분무시의 평균 누설전류 특성을

나타낸 것이다. 그림에서 평균 누설전류는 시편재질에 따라 큰 차이가 없으며 표면 건조시와 유사함을 알 수 있다. 그러나 섬락전압은 porcelain 16.5kV, EPDM 26kV, silicone rubber 27.5kV으로 건조시에 비하여 저하되는 것으로 나타났다.

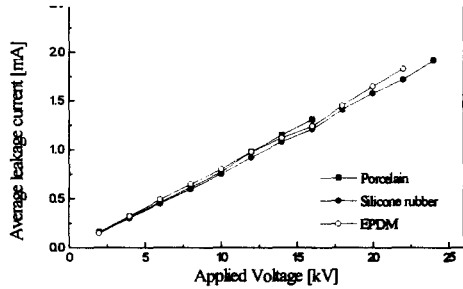


그림 4. 증류수 분무시 각 재료의 평균누설전류의 특성

Fig. 4. Property of average leakage current (distilled water fog)

그림 5는 light pollution 등급인 0.5wt% NaCl 수용액 분무시의 평균 누설전류의 특성을 도시한 것이다. porcelain의 평균 누설전류 특성은 선형적인 증가를 갖지만, EPDM과 silicone rubber에서는 평균 누설전류가 비선형적으로 증가하는 영역이 나타났다. 섬락전압은 증류수 분무시 보다 상당히 감소하여 porcelain 13kV, EPDM 16.5kV, silicone rubber 17 kV로 나타났으며, 이러한 저하는 재료표면의 특성과 오염물질의 전도도 증가에 기인된 것으로 생각된다.

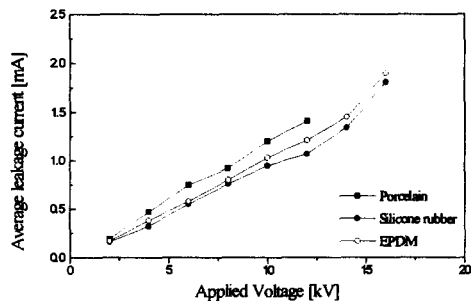


그림 5. 0.5 wt% NaCl 수용액 분무시 각 재료의 평균누설전류의 특성

Fig. 5. Property of average leakage current (0.5 wt% NaCl salt fog)

그림 6은 medium pollution 등급인 2wt% NaCl 수용액 분무시의 평균 누설전류의 특성을 나타낸 것이다. 각 재료간의 평균 누설전류의 차이가 크게 나타났으며, 이러한 경향은 각 재료의 접촉각 차이에 기인된 것으로 보인다. 즉, 도전성이 큰 수용액이 분무되었을 때 재료의 친수성이 클수록 표면 전도도가 크게 증가한 것에 의한 것으로 생각된다.

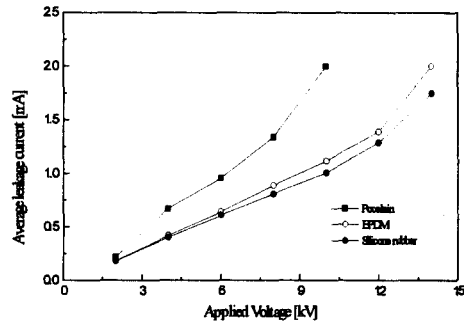


그림 6. 2 wt% NaCl 수용액 분무시 각 재료의 평균누설전류의 특성

Fig. 6. Property of average leakage current (2 wt% NaCl salt fog)

그림 7에 silicone rubber의 scintillation 방전의 일례를 나타내었다. 그림에서 정현파는 인가전압의 파형이고, 펄스 파형은 증류수 분무시 8kV인가 했을 때, scintillation 방전 전류 파형을 나타내는 것이다.

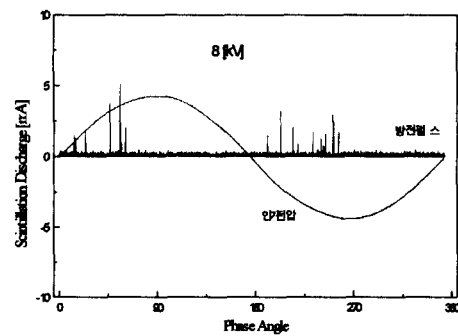


그림 7. silicone rubber의 증류수 분무시 scintillation 방전

Fig. 7. A pulse of scintillation discharge in silicone rubber (distilled water fog)

그림 8은 porcelain의 건조시 scintillation 방전펄스를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 최대 방전전류

펄스는 약 11[kV]에서 급증하는 영역을 보였으며, 발생빈도수는 전압에 비례하여 선형적으로 증가한 후에 포화되는 경향을 나타내었다.

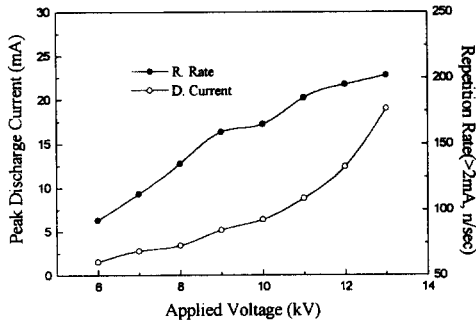


그림 8. porcelain의 건조시 전압에 따른 scintillation 방전 특성

Fig. 8. The scintillation characteristic in porcelain (dry condition)

그림 9는 porcelain에 0.5 wt% NaCl 수용액 분무한 후 30분 경과시의 scintillation 방전펄스의 특성을 조사한 것으로, 동일전압에서 건조시에 비하여 최대 방전전류펄스의 크기는 상당히 크게 나타났으며, 전압인가에 따른 증가율도 크게 나타났다. 펄스 발생빈도수는 미약한 증가를 나타내고, 인가전압에 대하여 거의 직선적으로 증가한다.

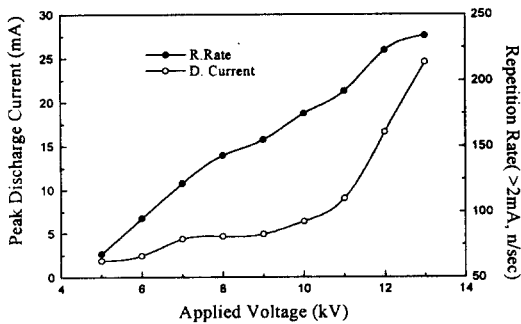


그림 9. porcelain의 0.5 wt% NaCl 분무후 30분 경과시 scintillation 방전 특성

Fig. 9. The scintillation characteristic in porcelain after 30 min. (0.5wt% NaCl salt fog)

그림에서 전압의 인가에 따라서 펄스 발생빈도수

보다는 최대 방전전류펄스의 크기가 급증하는 것을 알 수 있으며, 따라서 재료의 섬락은 scintillation 방전의 발생빈도수 보다는 최대 방전전류펄스의 크기에 더욱 의존한다는 것을 알 수 있다.

그림 10은 silicone rubber의 건조시 scintillation 방전펄스를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 최대 방전전류펄스는 동일 전압에서 porcelain에 비하여 상당히 작게 나타나는 반면, 발생빈도수는 크게 나타나며, 전압의 인가에 따라 최대 방전전류펄스의 크기보다는 방전 발생빈도수가 증가한다.

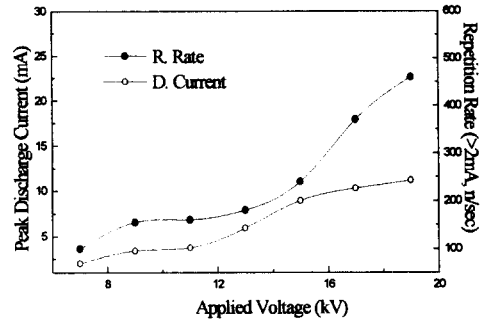


그림 10. silicone rubber의 건조시 scintillation 방전 특성

Fig. 10. The scintillation characteristic in silicone rubber (dry condition)

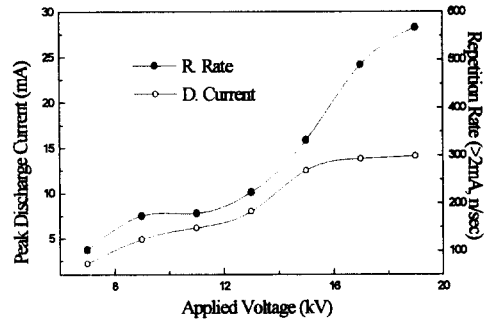


그림 11. silicone rubber의 0.5 wt% NaCl 분무후 30분 경과시 scintillation 방전 특성

Fig. 11. The scintillation characteristic in silicone rubber after 30 min. (0.5 wt% NaCl salt fog)

그림 11은 silicone rubber의 0.5 wt% NaCl 수용액 분무후 30분 경과시 scintillation 방전 특성을

나타낸 것으로 건조시와 마찬가지로 최대 방전전류펄스는 인가전압의 증가에 따라 급증하는 영역을 지나서 포화된다.

이와 같이 porcelain은 NaCl 수용액 분무 후 30분 경과시와 건조시에 비하여 최대 방전전류 펄스의 크기가 상당히 크게 나타난 반면, silicone rubber의 경우, 오손 후 30분 경과시와 건조시에 비하여 그다지 크게 나타나지 않고 있다. 이것은 silicone rubber가 오손에 대한 특성도 우수하지만, 발수성이 회복되는 속도가 porcelain에 비하여 더 양호하다는 것을 나타낸다.

#### 4. 결 론

옥의 애자용 절연재료의 오염에 대한 표면전기전도 특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 건조시 누설전류는 인가전압에 대하여 선형적인 특성을 보이며 재질에 따른 차이가 미소하였다. 그러나 섬락전압은 염수의 농도가 높아짐에 따라 porcelain, EPDM, silicone rubber의 순으로 높게 나타났다. 이것은 재료의 표면 물성의 차이에 기인되는 것으로 생각되나 구체적인 차이는 향후 추가연구를 검토 중이다.
- 2) 증류수 분무시의 경우도 건조시와 큰 차이를 보이지 않았으나 각 재료의 섬락전압은 약간 저하하였다. 표면의 증류수 영향보다는 재료의 표면특성에 크게 지배되는 것으로 보여진다.
- 3) 염수 분무시는 건조시나 증류수 분무시에 비하여 누설전류는 크게 증가되었으며 이러한 경향은 염수의 전도도가 클수록 크며, 재질에 따라서도 porcelain의 경우가 가장 크고 EPDM, silicone rubber의 순이었으며, 섬락전압도 건조시나 증류수 분무시에 비하여 크게 저하하였다. 이것은 오염물질의 전도도 차이 및 접촉각 등의 재료 표면 물성의 차이에 기인된 것으로 보여진다.
- 4) scintillation 방전은 인가전압의 크기와 오염의 농도에 따라 방전량이 커지고, 방전펄스의 발생 빈도수도 증가하는 경향을 나타내었으며, 방전펄스의 발생위상각도 넓어지는 경향을 나타내었다.
- 5) 염수의 농도에 따른 누설전류의 크기 변화와 scintillation 최대 방전전류펄스의 크기 변화는 silicone rubber에서 가장 적게 나타났으며, 내오손 특성이 가장 우수한 것으로 판명되었다.

6) 건조시와 0.5 wt% NaCl 수용액을 분무 후 30분 경과시에 scintillation 방전펄스를 측정할 결과 porcelain에 비하여 silicone rubber의 최대 방전전류 펄스나 발생빈도수가 상당히 작게 나타났으며, 따라서 silicone rubber가 오손 후 회복력이 양호한 것으로 나타났으며, 이것은 silicone rubber의 접촉각이 porcelain에 비하여 크기 때문으로 사료된다.

#### 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. 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. C. S. Hu, "Quantitative Method for Determining Surface Erosion of Silicone Rubber for Outdoor Insulator by the Measurement of Leakage Current Under Artificial Salt fog Condition", 1996' IEEE Inter. Symposium on Electrical Insulation, Canada, pp 287-290, 1996.
4. N. Naito, S. Kunieda, Y. Hasegawa and S. Ito, "DC Contamination Performance of Station Insulators", IEEE Trans. EI, Vol. 23, No. 6, pp 1015-1023, 1988.
5. R. Sundararajan and R. S. Gorur, "Dynamic Arc Modeling of Pollution Flashover of Insulators under dc Voltage", IEEE Trans. EI, Vol. 28, No. 2, pp 209-217, 1993.
6. A. de la O, R. S. Gorur and J. T. Burnham, "Electrical Performance of Non-ceramic Insulators in Artificial Contamination Tests", IEEE Trans. EI, Vol. 3, No. 6, pp 827-835, 1996.