

# 전기 절연물의 오염에 따른 누설전류 특성 및 사고위험성 연구

(The Accident Hazard and Properties of the Leakage Current on the Electrical Insulation by Pollution)

김영석\* · 송길목 · 정진수 · 정종욱 · 김선구

(Young-Seok Kim · Kil-Mok Shong · Jin-Su Jung · Jong-Wook Jung · Sun-Gu Kim)

한국전기안전공사 부설 전기안전연구원

(Electrical Safety Research Institute, Subsidiary of Korea Electrical Safety Corporation)

## Abstract

It is necessary to study the prevention and the management of electrical facilities because the electrical fault took place at the dust occurrence area due to environmental pollution. In particular, the dust accumulates easily on insulation material which is exposed an external long time. The leakage current brings out electrical fault after all. Also, it is need to variation of material and shape to repress a leakage current on electrical material. In this paper, we measured a leakage current on electrical material of facilities by dust, and in experiments the prevention to electrical fault was studied.

## 1. 서론

산업사회의 발달은 생활수준 향상 및 전기설비의 대형화, 정보화 등을 이루어졌지만, 재래시장, 제재소, 섬유공장 단지 등의 분진 및 오염발생지역에서의 전기설비사고는 줄어들지 않고 있다[1-3]. 2005년도 한국전기안전공사 통계자료에 의하면, 분진 등의 부착이나 침적으로 발생되었을 것이라 추정되는 누전화재 및 트래킹 화재는 총 507건으로 전체 전기화재(8,560건)중 5.9%를 점유하고 있다. 또한 부하설비에 대한 설비사고가 전체사고(5,076건)중 3,905건을 차지하였으며, 저압설비에서 대부분이 76.6%가 발생하였다[4].

전기설비 사고의 원인이 되는 분진오염은 섬유, 금속, 목재 등에 의해 발생하고 정전기, 누설전류, 스위칭 아크등의 미소한 전기에너지에 의해 사고로 이어지거나 폭발의 위험성이 있다. 특히, 저압의 전기설비, 예를 들면 누전 및 배선용 차단기의 1차측 노출충전부는 항상 분진 축적에 따른 사고 위험성과 보호 장치가 구축되어 있지 않아 정전 및 대형 화재사고로 이어지게 된다[5]. 전기 설비 노출충전부에서의 사고는 전기절연물 표면이 분진의 종류, 오염이 심한 환경에 습도가 있게 되면, 젖은 전도피막이 형성되어 누설전류가 흐르고 아크가 발생하여 건조대를 형성하게 된다. 결국, 누설전류에 의한 아크 발생으로 트래킹과 같은 전기 사고로 이어지기 때문에 대비한 사고예방 연구가

필요하다.

따라서 본 연구에서는 분진 환경조건을 모의하기 위해 저전압 절연재료로 많이 사용되고 있는 아크릴 수지, PVC, 베이클라이트에 인위적인 열화 즉, 염수분무 시험을 통한 재료의 표면변화를 시켰으며, 오염된 절연재료에 대한 표면 누설전류 측정과 사고 위험성에 대해 연구하였다.

## 2. 시료제작 및 실험방법

### 2.1) 시료제작

그림 1에 본 실험에 사용된 PVC, 베이클라이트, 아크릴의 3종류를 나타낸다. 3종류 모두 두께 3mm, 직경 70mmφ로 동일하게 제작하였다.

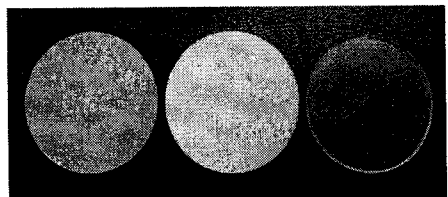


그림 1. 실험에 사용된 PVC, 베이클라이트, 아크릴  
Fig. 1. The PVC, Bakelite, Acrylic for experiment.

그림 2는 IEC 60068-2-11에 의한 염수분무 시험 장치를 나타낸다[6]. 염수분무 장치의 시험조는 내부의 난기류를 최소화 할 수 있고, 물방울이 시료에 떨어지지 않는 구조로서, 내 부식성의 특성을

가지고 있으며, 온도는  $35\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 유지하였다.

시험조 내의 분무장치는 미세하고 습한 안개를 균일하게 발생하는 구조로서 염용액이 반응하지 않는 재료로 되어있다. 염수분무는  $5\pm 1\%$  NaCl liquid(pH6.5~7.2)를 사용하였으며, 수온  $35^{\circ}\text{C}$  이상, 수평채취면적  $80\text{cm}^2$ , 16시간 이상 동작되도록 되어 있다. 재료의 가속열화는 총 5단계로 나누어 수행하였으며, 100시간, 200시간, 300시간, 400시간, 500시간으로 시간적 변화를 주어 가속열화를 시켰다.

그림 3은 염수분무 및 분진에 의해 열화된 시료를 나타낸다. 염수분무에 의한 시료는 청결한 표면 상태에서 염수 등의 불순물이 부착 된 상태를 확인한 후, 세척하여 1시간 이상 2시간미만으로 그대로 방치하였으며, 동일 시료에 분진을 일정량으로 분사하여 분진에 의한 시료를 만들었다.

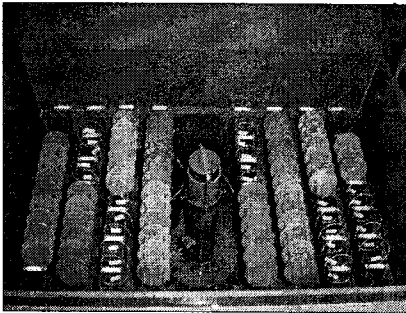


그림 2. 가속열화를 위한 염수분무 장치

Fig. 2. The Instrument of salt water atomizing for acceleration deterioration.



그림 3. 염수 및 분진에 의해 열화된 시료

Fig. 3. The deteriorated sample after salt water and dust.

## 2.2) 표면 누설전류 측정 실험장치 및 방법

분진에 의한 오염상태에서의 절연물의 표면 누설전류를 측정하기 위한 개략도를 그림 4에 나타낸다. 절연물의 표면 누설전류를 측정하기 위해 인위적인 가속열화를 모의하였다. 그림 1의 시료를 이용하였으며, 본 실험에서는 베이클라이트를 사용하였다. 베이클라이트 절연물에  $10\text{mm}\phi$ 의 전극을 설치하였으며, 두 전극 사이의 거리를  $50\text{mm}$ 로 유지하였다. 가속열화를 모의하기 위해 Chamber 내에는 다른 이물질의 영향이 없도록 하였으

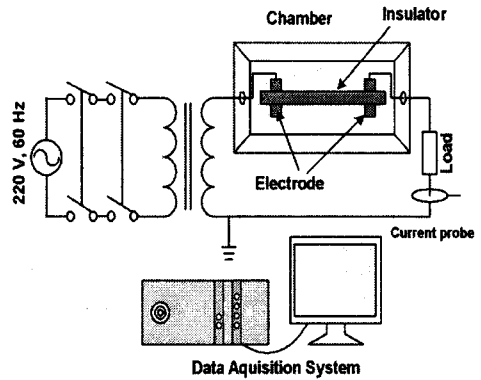


그림 4. 표면 누설전류 측정 실험장치

Fig. 4. The experiment setup for surface leakage current.

며, 5%의 NaCl 수용액  $1\text{ml}$ 를 두 전극 사이에 투입하였다. 실험은  $220\text{V}$ ,  $60\text{Hz}$ 의 상용전원을 절연물 표면에 일정하게 인가하고 수용액에 따른 누설전류를 측정하였다. 이때 누설전류의 측정은  $\text{CT}(100\text{mV}/1\text{A})$ 를 통해 정밀전력 분석기(Data Acquisition System)에서 측정하였다. 실험 중 5회를 수행하였으며, 수용액이 존재한 상태에서 건조되는 과정의 누설전류를 측정하였다. 또한 표면 누설전류의 비교를 위해 분진이 많은 경우와 분진이 없는 경우로 나누어 실험하였으며, 분진량은  $0.2\text{g}$ 으로 하였다. 분진 및 NaCl 수용액에 의한 절연물의 변화는 디지털 카메라로 촬영하여 확인하였다.

## 3. 실험결과 및 토의

### 3.1) 가속열화에 의한 시료의 변화

가속열화에 의한 시료의 변화를 살펴보기 위해 재료의 표면 변화에 따른 접촉각을 측정하였으며, 그 결과 시료마다 차이가 나타났다. 가속열화에 의한 재료의 열화 정도는 정밀비교분석이 필요하며, 여기서는 접촉각의 변화만을 언급하면 베이클라이트에서 가장 낮은 접촉각을 나타내었다. 접촉각이 작은 것은 염분 등의 오염에 의해 재료의 침수성이 증가한 것으로 누설전류 등에 의한 사고 위험성이 높다는 것을 알 수 있다. 접촉각에 대한 정밀 분석은 차후에 보고할 예정이며, 베이클라이트의 열화 정도가 심하므로 오염 정도에 따른 표면 누설전류의 측정도 베이클라이트를 대상으로 실험하였다.

### 3.2) 표면 누설전류 특성

가속열화에 의한 시료의 변화를 살펴보기 위해 재료 표면의 누설전류를 측정하였다. 그림 5는 분진이 없는 경우의 베이클라이트 표면 누설전류 파형을 나타낸다. 그림 5 (a)는 정상상태인 베이클라이트 표면에 NaCl 수용액  $1\text{ml}$ 를 떨어뜨린 후, 수용액이 건조될 때까지의 누설전류를 측정하는 것으로 누설전류가 가장 많이 흘렀을

때의 값( $I_{rms}$ )은 190mA였다. 그림 5 (b)는 (a)의 시료가 건조되어 누설전류가 0mA일 때 다시 NaCl 수용액 1ml를 떨어뜨린 후의 누설전류 파형을 나타낸다. 그림 (a)와 비교해 볼 때 전극양단의 전압값은 줄어들고 누설전

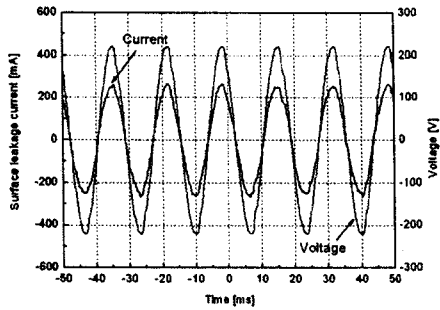
류값이 증가하는 것을 알 수 있으며, 누설전류값( $I_{rms}$ )은 280mA였다. 그림 (c)는 건조된 후, 세 번째로 NaCl 수용액을 떨어뜨렸을 때의 누설전류값을 380mA가 흘렀으며, 그림 (d)는 네 번째로 수용액을 떨어뜨렸을 때의 누설전류 값은 378mA였다.

따라서 누설전류는 NaCl 수용액에 따른 염분농도의 축적에 의해 값이 증가하는 것으로 판단되며, 누설전류에 의해 베이클라이트 표면의 탄화되는 것을 확인 할 수 있었다.

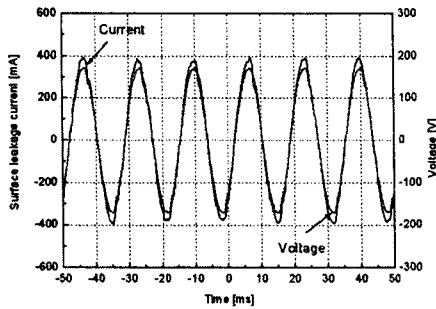
그림 6은 분진이 있는 경우의 베이클라이트 표면 누설전류 파형을 나타낸다.

그림 6 (a)는 분진 2g이 존재하는 상태에서 베이클라이트 표면에 NaCl 수용액 1ml를 떨어뜨린 후, 수용액이 건조될 때까지의 누설전류를 측정 한 것이다. 누설전류가 가장 많이 흘렀을 때의 값( $I_{rms}$ )은 194mA였으며, 그림 5(a)와 큰 차이는 나타나지 않았다. 그림 6 (b)는 그림 6(a)의 시료가 건조되어 누설전류가 0mA일 때 다시 NaCl 수용액 1ml를 떨어뜨린 후의 누설전류 파형을 나타낸 것으로 누설전류값( $I_{rms}$ )은 266mA였으며, 그림 5(b)와 비교해서 약간 작은 값이 측정되었다. 또한 그림 6(c)와 (d)에서도 누설전류값( $I_{rms}$ )은 각각 289mA와 324mA였으며, 그림 5와 비교해서 누설전류의 값은 크지 않았다.

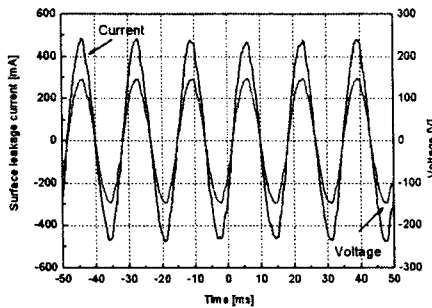
따라서 전기설비 노출부가 수분이 있는 상태와 건조 상태가 반복적으로 이루어지게 되면 노출부 양단의 염분 농도는 증가하게 되고 전기사고로 일어날 가능성이



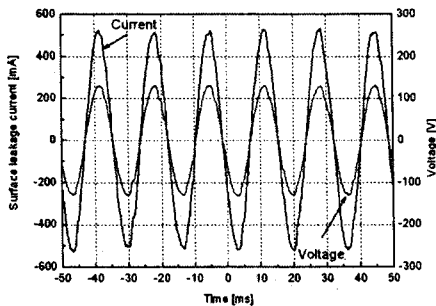
(a) 1st



(b) 2nd



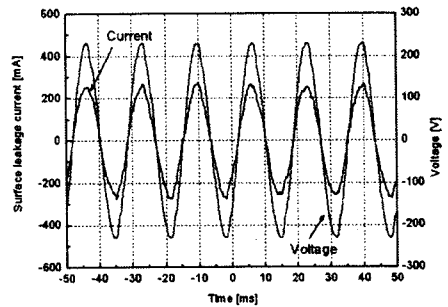
(c) 3rd



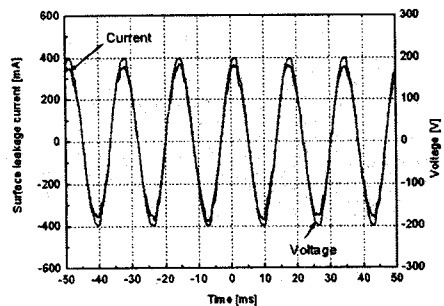
(d) 4rd

그림 5. 분진이 없는 경우, 베이클라이트 표면 누설전류

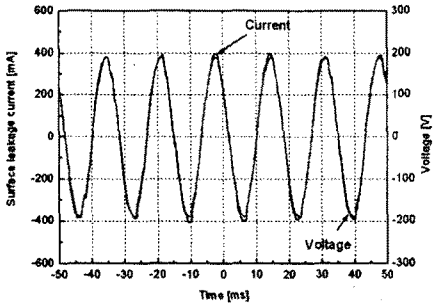
Fig. 5. The surface leakage current of bakelite without dust.



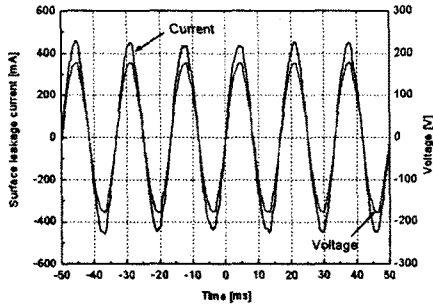
(a) 1st



(b) 2nd



(c) 3rd

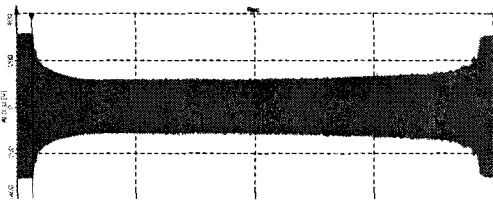


(d) 4rd

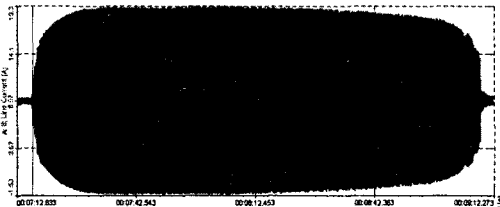
그림 6. 분진이 없는 경우, 베이클라이트 표면 누설전류  
Fig. 6. The surface leakage current of bakelite with dust.

높은 것을 알 수 있다.

그림 7과 8은 4번째 수용액을 떨어뜨렸을 때의 양단 전압과 누설전류파형을 나타낸다. 그림 7의 분진이 없는 경우에는 누설전류가 약 10분간 흐르고 난 뒤 건조대를 형성하였으며, 누설전류값이 약 10분동안 일정한 값으로 흐르고 난 뒤, 급격하게 감소하는 경향을 나타내었다.

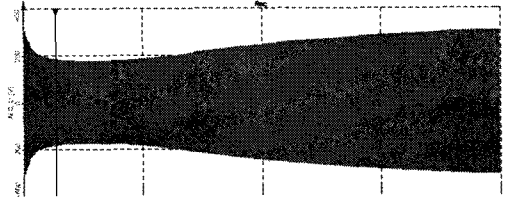


(a) Voltage waveform

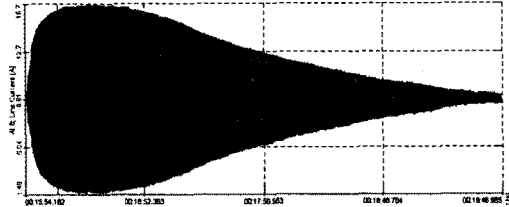


(b) Current waveform

그림 7. 분진이 없는 경우, 베이클라이트 표면 누설전류  
Fig. 7. The surface leakage current of bakelite without dust.



(a) Voltage waveform



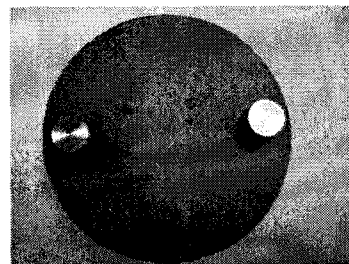
(b) Current waveform

그림 8. 분진이 있는 경우, 베이클라이트 표면 누설전류  
Fig. 8. The surface leakage current of bakelite with dust.

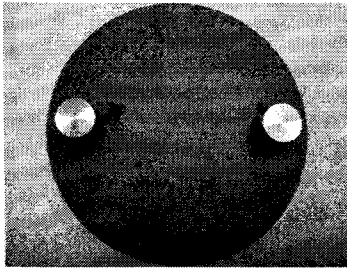
그림 8의 분진이 있는 경우에는 누설전류가 약 20분간 지속적으로 흐르고 난 뒤 건조대를 형성하였으며, 누설전류는 초기에 크게 흐르고 난 뒤 비례적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 분진이 없는 NaCl 수용액만이 존재할 때에는 누설전류값이 크므로 빠르게 건조대를 형성하며, 분진이 있는 경우는 분진이 NaCl 수용액을 흡수하여 누설전류가 상대적으로 작기 때문에 건조대를 형성할 때까지 시간이 많이 소요되는 것을 알 수 있다. 따라서 두 가지 경우 전기사고의 위험성이 높은 것을 알 수 있다.

그림 9는 4단계의 과정이 끝난 후, 건조된 베이클라이트 표면을 나타낸다.

그림 9(a)의 분진이 없는 경우에서의 베이클라이트 표면은 전극사이의 가운데 부분에서 크랙과 탄화의 흔적이 발견되었으며, 이는 NaCl 수용액이 가운데 부분에서 먼저 건조되면서 아크방전에 의해 탄화와 크랙이 발생한 것으로 판단된다. 그림 9(b)의 분진이 있는 경우에는 전극 주변으로 탄화흔적이 발견되었으며, 이는 상대적으로 분진이 적은 즉, 수용액이 많은 부분이 먼저 건조되면서 전극 주변에 아크방전에 의한 탄화흔적이 집



(a) Photograph of bakelite with dust



(b) Photograph of bakelite with dust

그림 9. 실험 후의 베이클라이트 표면

Fig. 9. The bakelite surface after experiment.

중된 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 분진 환경조건을 모의하기 위해 저전압 절연재료로 많이 사용되고 있는 아크릴 수지, PVC, 베이클라이트에 인위적인 열화 즉, 염수 분무 시험을 통한 재료의 표면변화를 시켰으며, 오염된 절연재료에 대한 표면 누설전류 측정과 사고 위험성에 대해 연구하였다.

가속열화에 의한 시료의 표면 변화에 따른 접촉각을 측정한 결과, 베이클라이트에서 가장 낮은 접촉각을 나타내었으며, 이는 염분 등의 오염에 의해 재료의 침수성이 증가한 것으로 누설전류 등에 의한 사고 위험성이 높다는 것을 알 수 있었다.

분진이 없는 경우의 베이클라이트 표면 누설전류는 떨어뜨린 수용액에 염분농도에 의해서 증가하는 경향을 나타내었으며, 누설전류에 의해 베이클라이트 표면의 탄화되는 것을 확인 할 수 있었다. 분진이 존재하는 경우에는 분진이 없는 경우와 비교해 볼 때 상대적으로 누설전류값은 크게 증가하지 않았지만, 누설전류가 지속적으로 흐르는 경로를 형성해주었다.

따라서 전기설비 노출부가 수분이 있는 상태와 건조 상태가 반복적으로 이루어지게 되면 노출부 양단의 염분 농도는 증가하게 되고 전기사고로 일어날 가능성이 높은 것을 알 수 있었다.

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

[1] S.Kumagai and N. Yoshimura, "Impact of Thermal Aging and Water Absorption on the Surface Electrical and

Chemical Properties of Cycloaliphatic Epoxy Resin", IEEE Trans. DEI Vol. 7, No. 3, pp.424-431, 2000.

- [2] 박재준, 최인혁, 이동일, " 여러 환경조건에 대한 고분자 애자의누설전류 특성 변화", Journal of the Korea Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 19, No. 2, pp.169-175, 2006.
- [3] 김찬영, 송일근, 김주용, 한재홍, 김동명, 이병성, "비용해성 산업용 분진이 배전용 자기제 현수애자의 전기적 특성에 미치는 영향", Trans. KIEE. Vol. 50C, No. 4, pp. 182-189, 2001.
- [4] 한국전기안전공사, "2005년도 통계자료", pp., 2005.
- [5] 송길목 외 2, "누전차단기 외함 전원측 단자사이의 트래킹에 의한 탄화특성 분석", 한국화재소방학회 논문지, Vol. 17, No. 4, pp.13-19, 2003.
- [6] KS C IEC 60068-2-68, "환경시험-제2부:시험-시험 L:분진 및 모래", 기술표준원, 2003 제정.