

외부 오염 환경하에서 고분자 절연재료의 표면 누설전류 측정 및 열화 패턴 분석

김영석, 송길목, 김선구
한국전기안전공사 전기안전연구원

Deterioration Pattern Analysis and Surface Leakage Current of Electrical Insulation in External Pollution

Young-Seok Kim, Kil-Mok Shong, Sun-Gu Kim
Electrical Safety Research Institute, Korea Electrical Safety Corporation

Abstract - In this paper, the polymer insulators which had been used for electrical insulation were investigated surface leakage current and deterioration pattern. 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. 서 론

과학화, 정보화, 산업화는 인간의 삶의 향상뿐만 아니라, 전기설비의 대형화와 첨단화를 가져왔다. 또한 저전압 전기설비의 절연재료인 고분자 재료는 기술의 발달로 인해 내열성과 내후특성을 향상시켜 전기설비분야에 폭넓게 응용되고 있다. 하지만, 전기설비 분야의 기술적 향상에 발맞춰, 전기설비의 사고가 감소하고 있지 못한 것이 현실이다. 특히, 분진, 염분지역에서의 전기사고는 줄어들지 않고 있다[1-3]. 2006년도 한국전기안전공사 통계 자료에 의하면[4], 분진 등의 부착이나 침적으로 발생되었을 것이라 추정되는 누전화재 및 트래킹 화재는 총 480건이 발생하여 재산적 피해가 막대하였다.

분진오염은 섬유, 금속, 목재, 미세먼지 등을 들 수 있으며, 이들은 정전기, 누설전류, 스위칭 아크등의 미소한 전기에너지에 의해 사고로 이어지거나 폭발의 가능성이 높은 편이다. 특히, 저압의 전기설비, 예를 들어 차단기류는 1차측이 외부에 노출되어 항상 분진, 염분 등의 축적에 따른 전기 트래킹 사고로 이어질 수 있고, 별도의 보호 장치가 구비되어 있지 않아, 정전, 화재사고로 이어지게 된다[4]. 외부 노출충진부에 분진이 축적되게 되면, 오염이 심한 환경에서 습도, 염분 등에 의해 전도피막이 형성되고 표면 누설전류에 의한 아크 발생으로 트래킹과 같은 전기사고로 이어지기 때문에 사고예방에 관한 연구가 필요하다 하겠다.

따라서 본 연구에서는 외부 오염 환경을 모의하여 저전압 절연재료로 많이 사용되고 있는 베이클라이트에 인위적인 열화 즉, 염수분무 시험을 통한 누설전류를 측정하고 고분자 재료의 열화 패턴 및 사고 위험성에 관해 연구하였다..

2. 실험장치 및 방법

외부 오염환경에서의 고분자 절연재료의 표면 누설전류를 측정하기 위한 개략도를 그림 1에 나타낸다. 고분자 절연재료의 표면 누설전류를 측정하기 위해 인위적으로 가속열화를 모의하였다. 그림 1의 고분자 절연재료(베이클라이트)에 10mmφ의 전극을 설치하였으며, 두 전극 사이의 거리를 50mm로 유지하였다. 가속열화를 모의하기 위해 Chamber 내에는 다른 이물질의 영향이 없도록 하였으며, 5%의 NaCl 수용액 1ml를 두 전극 사이에 투입하였다. 실험은 220V, 60Hz의 상용전원을 고분자 절연재료 표면에 일정하게 인가하고 수용액에 따른 누설전류를 측정하였다. 이때 누설전류의 측정은 CT(100mV/1A)를 통해 정밀전력 분석기(Data Aquisition System)에서 측정하였다. 실험 총 5회를 수행하였으며, 수용액이 존재한 상태에서 건조되는 과정의 누설전류를 측정하였다. 또한 표면 누설전류의 비교를 위해 분진이 많은 경우와 분진이 없는 경우로 나누어 실험하였으며, 분진량은 0.2g으로 하였다. 분진 및 NaCl 수용액에 의한 고분자 절연재료의

변화는 디지털 카메라로 촬영하여 확인하였다.

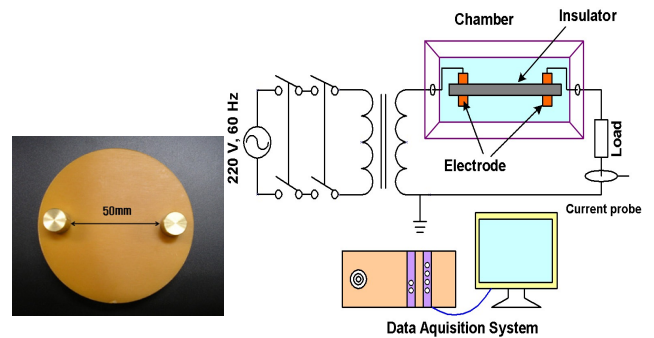
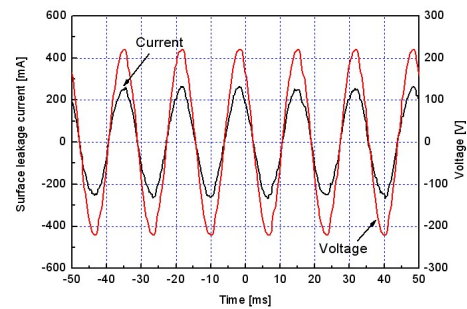


그림 1. 표면 누설전류 측정 실험장치

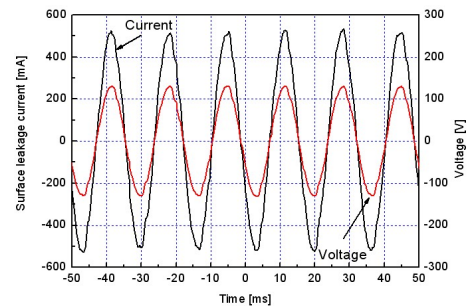
Fig. 1. The experiment setup for surface leakage current.

3. 실험결과 및 고찰

가속열화에 의한 고분자 절연재료의 누설전류를 측정하였다. 그림 2는 분진이 없는 경우의 베이클라이트 표면 누설전류 파형을 나타낸다. 그림 2(a)는 정상상태인 베이클라이트 표면에 NaCl 수용액 1ml를 떨어뜨린 후, 수용액이 건조될 때까지의 누설전류를 측정하여 나타낸 것으로 누설전류가 가장 많이 흘렀을 때의 값(I_{rms})은 190mA였다. 그림 (b)는 NaCl 수용액을 네 번째로 떨어뜨렸을



(a) 1st



(d) 4rd

그림 2. 분진이 없는 경우, 베이클라이트 표면 누설전류

Fig. 2. The surface leakage current of bakelite without dust.

때의 누설전류 값을 나타내며, 378mA가 흘렀다. 그림 (a)와 비교해 볼 때 전극양단의 전압값은 크게 줄어들고 누설전류값이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 NaCl 수용액을 2, 3회 떨어뜨린 단계마다 따른 염분농도가 축적되고 누설전류가 증가하는 것으로 판단되며, 누설전류에 의해 베이클라이트 표면의 탄화되는 것을 확인 할 수 있었다.

그림 3은 분진이 있는 경우의 베이클라이트 표면 누설전류 파형을 나타낸다. 그림 3(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(Irms)은 194mA였으며, 그림 2(a)와 큰 차이는 나타나지 않았다. 그림 3(b)는 그림 2(b)와 동일하게 네 번째 NaCl 수용액을 전극사이에 떨어뜨렸을때의 누설전류 값으로 324mA가 흘렀으며, 그림 2(b)와 비교해서 누설전류의 값이 약간 감소한 것으로 측정되었다. .

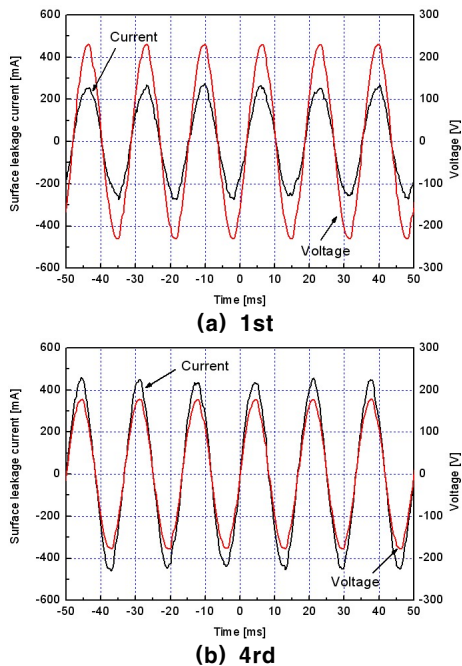


그림 3. 분진이 있는 경우, 베이클라이트 표면 누설전류
Fig. 3. The surface leakage current of bakelite with dust.

그림 4과 5는 4번째 수용액을 떨어뜨렸을 때의 누설전류파형을 시간대별로 나타낸 것이다. 그림 4의 분진이 없는 경우에는 누설전류의 최대값으로 일정하게 약 2분간 흐르고 난 뒤 건조대를 형성함과 동시에 누설전류값이 급격하게 감소하는 경향을 나타내었다.

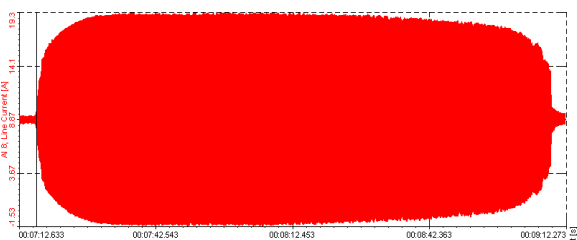


그림 4. 분진이 없는 경우, 베이클라이트 표면 누설전류
Fig. 4. The surface leakage current of bakelite without dust.

그림 5의 분진이 있는 경우에는 누설전류가 약 4분간 지속적으로 흐르고 난 뒤 건조대를 형성하였으며, 누설전류는 초기에 최대값으로 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 전기설비 노출부가 수분이 있는 상태와 건조상태가

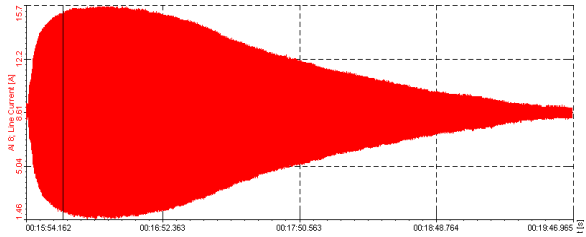


그림 5. 분진이 있는 경우, 베이클라이트 표면 누설전류
Fig. 5. The surface leakage current of bakelite with dust.

반복적으로 이루어지게 되면 노출부 양단의 염분 농도는 증가하게 되고 전기사고로 일어날 가능성이 높은 것을 알 수 있다.

그림 6은 4단계의 과정이 끝난 후, 건조된 베이클라이트 표면을 나타낸다. 그림 6(a)의 분진이 없는 경우에서의 베이클라이트 표면은 전극사이에 가운데 부분에서 크랙과 탄화의 흔적이 발견되었으며, 이는 NaCl 수용액이 가운데 부분에서 먼저 건조되면서 아크방전에 의해 탄화와 크랙이 발생한 것으로 판단된다. 그림 6(b)의 분진이 있는 경우에는 전극주변으로 탄화흔적이 발견되었으며, 이는 상대적으로 분진이 적은 즉, 수용액이 많은 부분이 먼저 건조되면서 전극주변에 아크방전에 의한 탄화흔적이 집중된 것으로 판단된다.

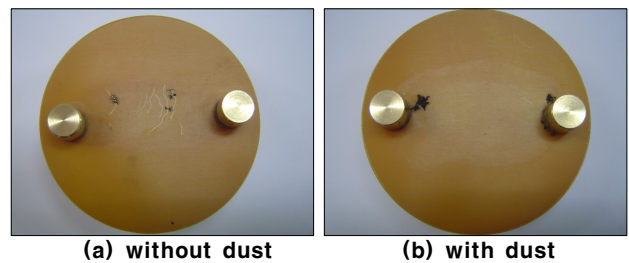


그림 6. 실험 후의 베이클라이트 표면
Fig. 6. The bakelite surface after experiment.

3. 결 론

본 연구에서는 외부 오염 환경에서의 고분자 절연재료의 인위적인 열화에 의한 표면 누설전류 및 재료의 열화패턴에 대해 연구하였다. 인위적인 가속열화에 의한 고분자 절연재료의 표면은 염수 등의 오염물에 의해 영향이 큰 것으로 판단되었다.

분진이 없는 경우의 베이클라이트 표면 누설전류는 떨어뜨린 NaCl 수용액의 염분농도에 의해서 증가하는 경향을 나타내었으며, 누설전류에 의해 베이클라이트 표면의 탄화되는 것을 확인할 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 건조상태가 반복적으로 이루어지게 되면 노출부 양단의 염분 농도는 증가하게 되고 전기사고로 일어날 가능성이 높은 것을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

[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 에자의 누설전류 특성 변화", Journal of the Korea Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 19, No. 2, pp.169-175, 2006.
 [3] 한국전기안전공사, "2005년도 통계자료", pp.4-17, 2006.
 [4] 송길목 외 2, "누전차단기 외함 전원측 단자사이의 트래킹에 의한 탄화특성 분석", 한국화재소방학회 논문지, Vol. 17, No. 4, pp.13-19, 2003.