

## 저압용 절연재료의 염수분무 및 분진에 따른 특성비교

송길목, 김영석, 김선구  
한국전기안전공사 부설 전기안전연구원

### The characteristics comparison of LV insulated materials based on the salt vaporization and the particulates

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

**Abstract** - In this paper, it is described the characteristics comparison of LV insulated materials contaminated by the salt vaporization and the particulates. The contact angle of normal PVC is measured 75° but its of PVC contaminated by the salt vaporization for 500 hours is measured 63°. The contact angle of normal bakelite is measured 66° but its of bakelite contaminated by the salt vaporization for 500 hours is measured 44°. And the contact angle of normal acrylic resin is measured 65° but its of acrylic resin contaminated by the salt vaporization for 500 hours is measured 60°. In the surface of insulated materials contaminated by the particulate, the contact angle is decreased. The surface of bakelite is not good as an insulator.

준한 분진시험을 실시하고 접촉각을 측정하였다. 각각의 시료는 발수성 및 친수성에 대해 평가하였다. 그림 1은 실험방법에 대한 개략도를 나타낸 것이다.

#### 1. 서 론

국내의 경제성장이 가속화 되면서 대다수의 국민은 전기안전에 대한 고품질의 서비스를 요구하고 있다. 전력소비의 안전한 이용과 시장의 건전성을 위해 앞으로 이에 대한 욕구가 증가할 것으로 판단된다. 전기안전에 대한 서비스의 증진을 바라는 전반적인 분위기에도 불구하고 국내 전기화재의 경우 전체화재의 약 30% 범위를 유지하고 있으며, 연간 약 500억 정도의 손실을 초래하고 있다. 전기화재의 원인으로서는 단락사고가 주를 이루고 있으며, 과부하, 누전, 트래킹 등이 뒤를 이어 많은 점유율을 보이고 있다. 환경적 원인으로서는 사계가 뚜렷하여 온도나 습도의 변화가 심하고, 황사피해가 심한 환경을 가지고 있으며, 삼면이 바다로 둘러 싸여 염해에 대한 영향을 가지고 있다. 최근에는 도시화 공업화가 촉진되면서 집약적이고 산업화된 지역이 개발되어 공해에 대한 영향이 심각한 수준에 이르고 있다. 절연재료의 표면에 부유분진이 자중에 의해 가라앉으면서 온도 및 습도의 영향에 의해 누설전류가 흐르고 표면이 탄화된다. 분진의 종류에 따라 사고의 과정은 빠르거나 오랫동안 지속되었다가 발생되어진다. 절연재료의 표면특성은 전기안전을 위해 매우 중요한 사항이며 국제기준에 의해 평가방법을 정하고 있다. 본 연구는 저전압 절연재료로 이용되는 폴리염화비닐, 페놀수지, 아크릴 수지의 표면 열화를 통해 전기안전 평가를 실시하였다. 표면 열화는 IEC60068-2-11에 준한 염수분무를 단계별로 실시하였으며, 표면열화 상태는 접촉각을 측정하여 비교하였다. 실험조건은 대기조건으로 압력이 1013mbar 및 온도 20℃에서 수행하였다.



〈그림 1〉 표면열화실험 및 분석 흐름도

IEC 61241-10에서 보면[1], 분진은 일정시간 공기 중에 떠 있다가 자중에 의해 가라앉은 섬유 또는 먼지 등을 포함하는 아주 작은 고체입자로 정의하고 있다. 일반적으로 분진은 먼지(dust), 증기(fume), 연무(mist) 등을 포함한 총칭을 말한다. 전기설비에 위해한 영향을 미칠 수 있는 도전성 분진은 산업안전기준에서 전기저항율이 103 Ω·m 이하인 분진으로 정의하고 있다. 그러나 현장에서 발생하는 전기사고의 경우 수분과 결합하여 누설전류가 흐르는 과정에서 사고로 진전된다.

따라서 본 논문은 국내 저전압 전기설비에 많이 이용되는 폴리염화비닐계 절연재료와 베이클라이트, 아크릴 수지 등을 염수분무와 분진을 통해 접촉각 측정을 실시하였다. 향후 지속적인 연구를 통해 환경적 원인에 의해 열화되는 과정을 분석하고 개선하기 위한 기초연구자료로 활용할 예정이다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 실험방법

실험에 이용된 시료의 크기는 직경 70mm에 두께 3mm로서 폴리염화비닐계의 PVC 패널과 페놀수지계의 베이클라이트(bakelite), 아크릴 수지를 이용하였다. 염수분무는 IEC 60068-2-11에 준한 방법으로 500시간까지 처리한 후, 100시간마다 총 6단계로 나누어 열화된 시료의 접촉각을 측정하였다[2],[3]. 염수분무에 의해 열화된 시료는 BS EN 60529에

염수분무는 미세 습한 안개를 균일하게 발생하는 구조로 되어 있으며, 농도는 5±1% NaCl 수용액으로 수온이 35℃ 이상을 유지하였다. 시편은 표면상태가 청결하도록 하였으며, 후처리로서 세척 후 1시간 이상 건조된 후 접촉각을 측정하였다. 본 실험은 액체방울이 고체에 붙을 때의 부착각을 이용한 것이다. 절연재료 표면에 액체방울을 떨어뜨려 측정하는 방법 중 정착성 적합방법(sessile drop method)을 이용하였다. 고체표면에 액체방울을 떨어뜨리면 표면에너지 및 계면장력의 균형에 의해 액체방울은 특정한 곡면을 나타낸다. 이때 액체의 표면 접선과 액체-고체 간에 계면이 이루는 각을 접촉각이라 한다. 접촉각( $\theta$ )의 젖음 정도에 있어서  $\theta = 0^\circ$ 일 때는 액체는 고체표면에 완전히 퍼지고  $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 일 때는 젖으며  $90^\circ < \theta < 180^\circ$ 일 때는 젖지 않는다. 그리고  $\theta = 180^\circ$ 일 때는 완전히 젖지 않는다. 저전압 절연재료의 경우는  $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 의 젖음(wetting)의 상태를 가지고 평가하였다[4].

##### 2.2 실험결과 및 분석

###### 2.2.1 저압용 절연재료의 표면발수 특성

그림 2는 폴리염화비닐의 염수분무에 따른 접촉각을 측정한 것이다. 그림에서 염수처리하지 않은 경우 약 75°의 접촉각이 측정되었으며, 500시간 염수처리한 시료는 약 63°였다. 염수처리한 시료의 젖음특성은 친수성에 가깝게 변화하였다. 각각의 염수처리하는 과정에서 분진처리를 하였을 경우에서 염수처리하지 않고 분진처리한 시료는 약 63°가 측정되고, 염수분무를 500시간 하고 분진처리한 시료는 약 60°인 것으로 나타났다. 따라서 대부분의 측정치가 염수처리에 관계하지 않았다.

두 곡선의 상관관계에서 초기에는 접촉각의 차이가 약 12°정도였으나 500시간 염수처리한 경우 약 3°의 차이가 나타났다. 따라서 염수 및 분진처리한 시료가 염수처리한 시료보다 친수성에 가까우며, 분진에 의한 젖음 정도가 지배적이었다.

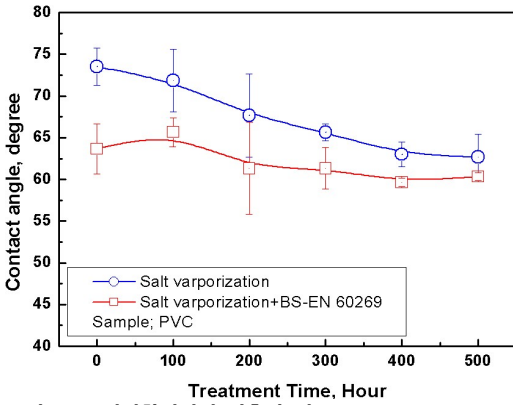


그림 2. 폴리염화비닐의 접촉각 비교

그림 3은 베이클라이트를 이용하여 염수처리 정도에 따른 접촉각 측정을 통해 표면발수성을 비교한 것이다.

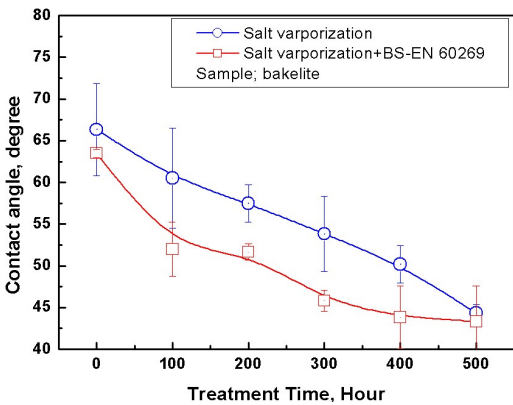


그림 3. 베이클라이트의 접촉각 비교

염수처리하지 않은 시료는 약 66°인 것으로 나타났으나 500시간 염수처리한 경우의 시료는 접촉각이 약 44°인 것으로 나타났다. 따라서 염수에 의한 표면 영향이 지배적인 것으로 판단된다. 각각의 단계에서 염수처리한 베이클라이트를 분진처리하여 접촉각은 약 63.5°에서 약 43°로 접촉각이 작아지는 경향을 보였다.

그림 4는 아크릴수지를 이용하여 염수처리 정도에 따른 접촉각 측정을 나타낸 그래프이다. 염수처리하지 않은 시료는 약 65°이며, 500시간 염수처리한 시료는 약 60°였다. 따라서 염수에 의한 표면 영향이 거의 없는 것으로 조사되었다. 각각의 단계에서 염수처리한 아크릴수지를 분진처리하여 접촉각은 약 55.5°에서 약 60°로 접촉각의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 염수와 분진에 의한 영향을 받지 않는 재료로서의 특성을 나타냈다.

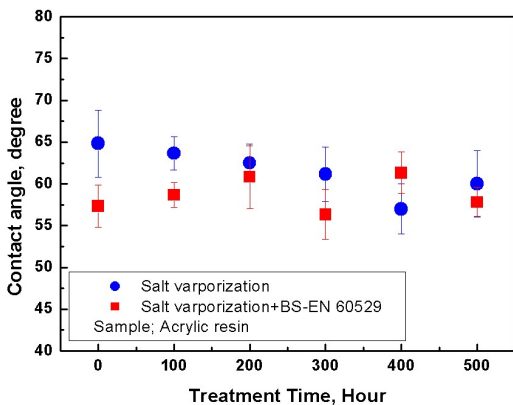


그림 4. 아크릴수지의 접촉각 비교

### 2.2.2 시료표면에 대한 접촉각 측정비교

그림 5는 폴리염화비닐, 베이클라이트와 아크릴수지의 접촉각을 비교한 것으로 베이클라이트의 접촉각 측정에 의한 기술기가 폴리염화비닐

이나 아크릴 수지에 비해 더 큰 것으로 보아 염수에 의한 영향이 비교적 큰 것을 알 수 있다. 따라서 염수에 의한 표면안정성은 폴리염화비닐이 우수하며, 안정지속성은 아크릴수지가 큰 것으로 나타났다.

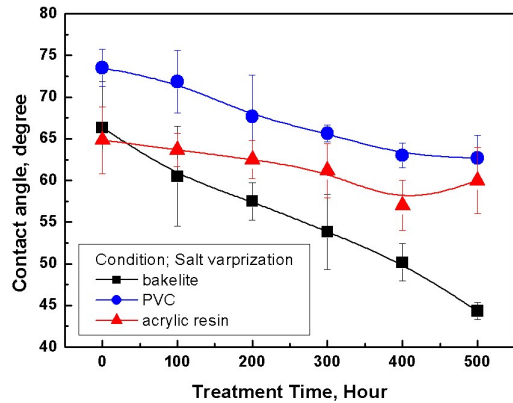


그림 5. PVC, 베이클라이트, 아크릴수지의 접촉각 비교곡선

그림 6은 분진처리한 폴리염화비닐, 베이클라이트와 아크릴수지의 각각의 단계에서 접촉각을 비교한 것이다. 분진처리에 의한 경우에서도 기술기가 폴리염화비닐보다 베이클라이트가 큰 것으로 나타났다. 따라서 접촉각에 의한 측정으로 상대적인 재료의 표면개질 평가가 가능한 것을 알 수 있다.

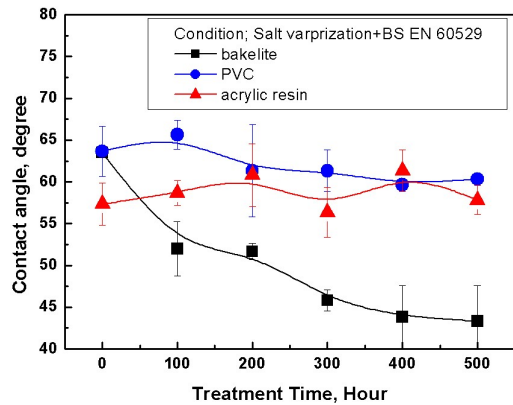


그림 6. 분진처리한 PVC, 베이클라이트와 아크릴수지의 접촉각 비교

### 3. 결 론

저전압 절연재료의 환경적 원인에 의해 표면이 열화되어 화재 또는 감전으로 이어지는 전기장애를 감소하기위해 실시되는 본 연구는 기초 자료의 확보를 위해 실시된 것으로서 염수분무와 분진 등에 의한 절연재료 표면의 변화를 비교 평가한 것이다. 아크릴 수지에서 측정된 접촉각 특성이 폴리염화비닐 또는 베이클라이트보다 우수하였다. 염수 또는 분진 이외에도 자외선, 화학적 요인, 습기 등 다양한 원인이 전기설비의 열화를 촉진시킨다. 실험의 결과를 통해 열화원인에 따른 재료의 특성변화를 통해 절연재료의 표면에 대한 전기적 안정성과 지속성을 평가하는 중요한 자료가 되었다. 저전압 절연재료로 많이 이용되는 아크릴수지와 더불어 평가를 실시하고 열화된 시료의 트래킹 실험과 재료분석 등을 실시하여 열화단계를 정량화하고 비교 평가하는 중요한 자료가 될 것이다.

### [참 고 문 헌]

[1] IEC 61241-10, "Classification of areas where combustible dusts are or may be present - electrical apparatus for use in the presence of combustible dust", 2006  
 [2] KS C 0223, "환경시험방법(전기·전자) 염수분무시험방법\_2005", 기술표준원, 2005  
 [3] 한국전기연구원, "초고압 LSP 개발 및 절연물의 복합열화진단 기술연구", 과기부보고서, pp.55~58, 1999  
 [4] 송길목, 한운기, 김영석, 정진수, 정종욱, 김선구, "PVC와 페놀수지의 표면열화에 따른 접촉각 측정과 위험성 평가", KIIEE annual spring conference 2007, pp.458~462, 2007