

## Standby Mode에서 소손된 페놀 수지의 특성 해석

최충석, 김형래, 송길목, 백동현\*

전기안전시험연구원(한국전기안전공사 부설), \*경원전문대학 소방안전관리과

### The Properties Analysis of Phenol Resin Damaged by Standby Mode

C. S. Choi, H. R. Kim, K. M. Song, and D. H. Baek\*

Electrical Safety Laboratory Research Ins.(ESLRI attached to KESCO), \*Kyungwon College,  
Department of Fire Safety Management

#### 1. 서론

절연물의 표면에 전압이 인가되면 누설 전류가 흐르게 되며 열이 발생한다. 발생한 열은 줄 열이며, 절연 재료의 표면을 국부적으로 건조시켜 건조대(dry band)를 형성시킨다. 이 때 미소발광 방전(scintillation discharge)이 발생하고 줄 열에 의해 탄화물이 생성된다. 전계가 집중되어 탄화 생성물이 점점 많아지면 결국 단락되어 절연 파괴로 이어지는데 이것을 트래킹 현상이라 한다. 트래킹 현상을 일으키는 요소는 수분, 염분, 먼지, 도전성 분말, 산성비 등이 있다. 또한, 트래킹 현상은 인가 전압의 크기, 전극의 형상, 절연 재료의 표면 상태, 누설 전류의 크기, 방전의 상태 등에 따라 차이가 있다.<sup>1)</sup>

트래킹에 의한 절연 재료의 소손은 무기 절연 재료보다 유기 절연 재료에서 발생하는 것이 대부분이다. 유기 절연 재료는 탄소 분자로 구성되어 있어서 열에 약하며 내구성 등이 나쁘다. 또한, 표면 오염에 대한 열화의 가능성이 있는데 대표적인 것이 트래킹에 의한 절연 파괴가 있다.

최근에 전기 설비의 절연 재료로 유기 물질이 많이 사용되고 있으며 트래킹에 의한 설비 사고도 보고되고 있다. L. Centurion 등은 수분에 따른 고체 유전체의 트래킹 형성에 대해 연구하였으며, N. Yoshimura 등은 유기 물질의 트래킹 방전에서 생성되는 발광(emission)에 대해서 발표하였다.<sup>2,3)</sup> 그러나 이들 연구는 고압 또는 특별 고압을 적용한 연구이고, 저압용 전기 설비 기계 기구에 사용된 유기 절연 재료의 사고 위험성에 대한 연구는 미약한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 저압용 절연 재료로 사용되고 있는 페놀 수지의 트래킹 특성을 실체 현미경, EDX, TGA 등으로 해석하여 전기 설비 사고의 원인 해석에 적용하고자 한다.

## 2. 실험 방법

절연 재료의 트래킹 시험은 오염 상태에서 하는 습식 시험법과 가상의 모형을 제작하여 시험하는 건식 시험법 등이 있으며, IEC-587, ASTM D 2303 등에 언급되어 있다.<sup>4,5)</sup>

실험 장치는 IEC-587을 근거로 그림 1과 같이 구성하였으며, 전극은 두께 0.5[mm]의 스테인레스 강판(stainless steel)으로 제작하여 사용하였다. 공급 전압은 교류 220[V]이며, 전압 조정기(Daelim electricity, Korea)를 이용하여 조절하였다. 실험에 사용한 오손액은 열화를 가속시키기 위해 1[%] 염화나트륨(NaCl) 수용액을 사용하였다. 시료를 부착할 지지대는 45° 기울기로 설치하였으며, 오손액이 일정하게 공급되도록 정량 펌프를 사용하였다. 유량은 1.0[ml/min]로 상부 전극에 주입하여 자연 낙하되도록 하였으며, 전극 사이의 거리는 20[mm]이다.

트래킹 진전에 따른 전류 변화는 오실로스코프를 이용하여 기록하였으며, 생성된 탄화물의 표면 상태는 실체 현미경을 이용해 분석했다. 그리고 조성 변화는 에너지분산형 X선분석기(EDX, Ultracool, Oxford, England)를 이용했으며, 열중량 변화는 열중량 분석기(TGA, SDT-2960, TA-Ins., USA)를 적용하였다.

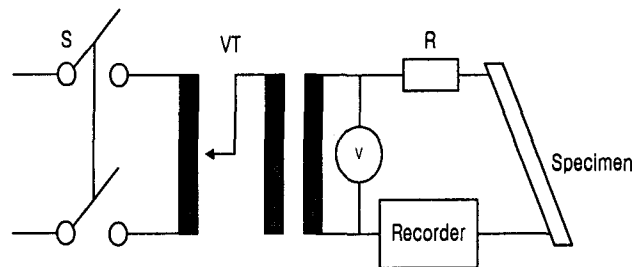


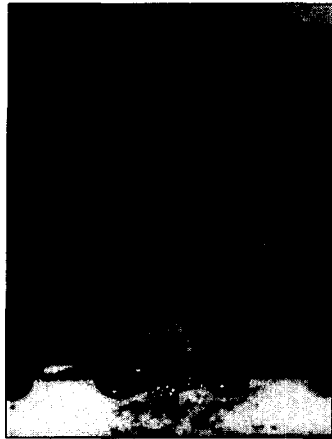
그림 1. 실험용 활용된 트래킹 장치의 개략도(S: 전원 스위치, V: 전압계, VT: 전압조정기, R: 안정저항)

## 3. 실험결과 및 고찰

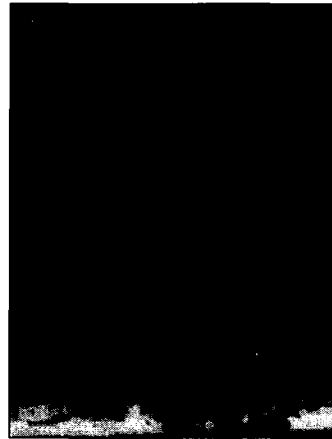
그림 2는 극간 거리(D) 20[mm], 시료의 설치 각도를 45°로 하고 상부 전극에 NaCl 1% 용액을 1.0[ml/min] 흘려 트래킹의 진행 상태를 나타낸 실체 사진이다.

그림 (a)는 180분이 경과한 후의 실체 현미경 사진으로 하부 전극에서 상부 전극으로 트래킹이 진행되고 있음을 나타내고 있다. 트래킹의 진행은 오염 물질의 부착, 전류의 누설, 발열 및 미소 발광 방전(scintillation) 등의 반복에 의해 이루어짐을 알 수 있었다. 그림 (b)는 트래킹이 종결되어 탄화된 실체 현미경 사진으로 극간 저항이 약 200[Ω]으로 도전성 탄화물로 되었다. 일반 화염에 의해 탄화물로 바뀌는 경우 저항이 수십 MΩ인 것과 큰 차이를 보이고 있으며, 트래킹이 극간의 최단 거리로 진행됨을 알 수 있다.

그림 3은 페놀 수지의 조성 변화를 EDX로 분석한 것이다. 그림 (a)는 정상 시료를 line scanning한 것으로 C 64.99[%], O 35.01[%]이다. 그림 (b)는 일반 화염에 의해 탄화된 것으로 C 85.5[%], O 14.1[%], Cl 0.4[%]를 나타내고 있다. 그림 (c)는 AC 220[V], D=

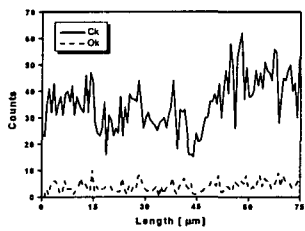


(a) 180분 경과

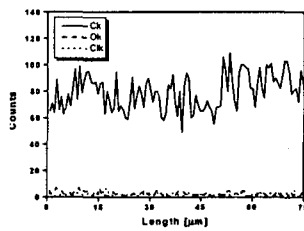


(b) 350분 경과

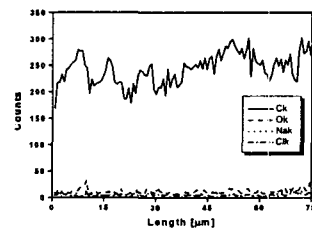
그림 2. 트래킹에 의해 탄화된 페놀 수지의 실체 현미경 사진



(a) 정상 시료



(b) 일반 화염

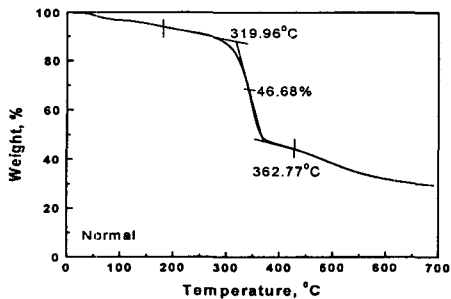


(c) 220V, NaCl 1%

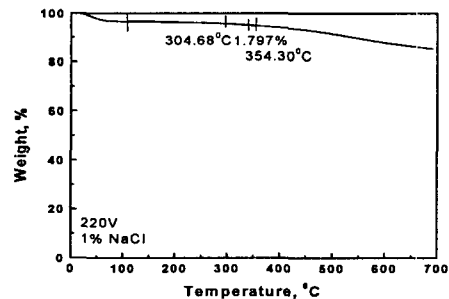
그림 3. 저압용 페놀 수지의 EDX 분석

20[mm], NaCl 1[%] 용액을 1.0[ml/min] 흘려 standby mode에서 탄화된 페놀 수지의 조성 변화를 나타낸 것이다. C 86.66[%], O 11.94[%], Na 0.55[%], Cl 0.84[%]를 나타냈다.

그림 4는 TGA를 이용하여 페놀 수지의 온도 변화에 따른 열중량 변화를 나타낸 것이다. 분석 조건은 상온에서 700[°C]까지 10[°C/min] 승온하였으며, 분위기 가스는 질소 (N<sub>2</sub>)를 100[ml/min] 흘려주었다. 그림 (a)는 정상 시료의 TGA 곡선으로 319.96[°C]에 급



(a) 정상 시료



(b) 220V, NaCl 1%

그림 4. 저압용 페놀 수지의 DTA 곡선

격한 감소가 시작되어 362.77[°C]에는 46.68[%]의 열중량 감소가 발생하였다. 그림 (b)는 220V, NaCl 1[%] 수용액에 의해서 트래킹된 것으로 354.30[°C]에 1.797[%]의 열중량 감소를 보였다.

#### 4. 결론

트래킹에 의해 소손된 저압용 페놀수지의 절연 특성을 해석함으로써 절연 파괴에 의한 전기 설비의 사고 원인 분석 및 진단에 활용될 수 있을 것으로 기대되며, 이들의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 트래킹의 진행 과정은 전압이 인가된 후 전극간에 오손액이 흐르게 되면 누설전류에 의한 줄 열의 발생, 건조대의 형성이 반복적으로 이루어짐과 동시에 미소발광방전이 발생하여 탄화 도전로가 형성된 것을 알 수 있었다.

(2) 트래킹 진전에 따른 전류 변화와 절연파괴 시간을 분석한 결과, 220[V]에서는 NaCl의 농도가 높을수록 절연 파괴에 도달하는 시간이 짧았으며, 380[V]에서는 NaCl의 농도에 별다른 영향을 받지 않았다.

(3) EDX 분석에서 일반 화염에 의해 탄화된 페놀 수지는 C 85.5[%], O 14.1[%], Cl 0.4[%]이었으며, AC 220[V], D = 20[mm], NaCl 1[%] 탄화된 페놀 수지는 C 86.66[%], O 11.94[%], Na 0.55[%], Cl 0.84[%]로 나타났다.

(4) 열중량 분석 결과 정상 시료는 319.96[°C]에 중량 감소가 시작되어 362.77[°C]에는 46.68[%]가 발생하였고, AC 220[V], NaCl 1[%] 수용액에 의해서 트래킹된 것은 354.30[°C]에 1.797[%]의 열중량 감소를 보였다.

#### 참고문헌

1. G. Karady, et al, "Flashover Mechanism of Silicone Rubber Insulators Used for Outdoor Insulation", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 10, No. 4, (1995)
2. L. Centurioni, G. Coletti, A. Operto, "A Contribution to the study of the tracking phenomenon in solid dielectric materials under moist condition", IEEE Trans. Elect. Insul., pp. 147~152, (1977)
3. N. Yoshimura, M. Nishida, F. Noto, "Light emission from tracking discharges on organic insulation", IEEE. Trans. Elect. Insul., EI-19, (1984)
4. IEC Publication 60587, Second Edition, "Test method for evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials use under severe ambient conditions", (1984)
5. ASTM D 2303-90, "Standard Test Methods for Liquid-Contaminant, Inclined-Plane Tracking and Erosion of Insulating Materials".