

수처리에 의한 페놀수지의 표면특성에 관한 연구

최종석, 송길목, 김형래, 김동우, 김향곤, 김동욱
한국전기안전공사부설 전기안전시험연구원

A Study on the Surface Characteristics of Phenolic Resin by Water Treatment

Chung-Seog Choi, Kil-Mok Shong, Hyung-Rae Kim, Dong-Woo Kim, Hyang-Kon Kim, Dong-Ook Kim
Electrical Safety Laboratory Research Institute(ESLRI attached to KESCO)

Abstract - In this paper, we studied the characteristics of surface structure of phenolic resin by water treatment. Phenolic resin which is used as indoor insulators is easily deteriorated by humidity. Water treated sample for 200 hours is subjected to the penetration of water and cracked partially. Water treated sample for 400 hours is found more cracks than that for 200 hours. The initial leakage current of virgin sample is 0.11A, that of water treated sample for 200 hours is 0.07A, and that of water treated sample for 400 hours is 0.05A. FT-IR analysis indicates that absorption peak of carbonyl group appears in virgin sample, but the absorption peak does not appear in water treated sample for 200 hours.

열적 특성을 강화하기 위해 충전제(filler)를 넣어 제조된 다[3-4]. 일반적으로 저압용 외함 절연재료의 주원료로 많이 이용되는 페놀(phenol)은 벤젠(benzene)과 프로필렌(propylene)의 알킬화 반응에 의해 제조된 쿠멘(cumene)을 원료로 제조되며 페닐기(phenyl group)는 벤젠고리(benzene ring)와 수산화기(OH)로 되어 있다. 일반적으로 벤젠은 비등점이 80.1℃이고 용해점(melting point)은 5.5℃이다. 그리고 페놀(phenol)은 비등점은 181.7℃이고 용해점은 43℃이다. 이러한 특성을 가진 페놀수지는 열적인 안정성이 강하지만 발수성(hydrophobicity)이 약하여 수분에 노출되면 쉽게 균열(crack)이나 부서짐(brittle) 현상이 발생하게 된다[5-7]. 이로 인해, 화학적으로는 벤젠고리와 수산화기의 기본구조를 가진 페놀수지가 불안정한 상태가 된다.

저압용 외함재료인 페놀수지의 수처리에 따른 표면특성을 분석하기 위해 페놀수지판 가로와 세로를 각각 30mm, 40mm, 두께 3mm의 크기로 제작하고 복합열화실험조(Multi Deterioration Test Chamber, HI70701, Hanil)를 이용하여 온도와 습도를 일정하게 유지하여 수처리하였다.

1. 서 론

전기설비의 대형화 및 다양화에 따라 사용자의 전기안전에 대한 중요성이 높아지고 있다. 대용량인 경우 설비 진단, 계측 등을 통한 전력품질향상과 안전에 대한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 하지만, 전기사용에 있어 저압용 기기의 경우 단순 사용자의 부주의나 제품결함상의 전기사고 외에 주변환경요인에 의해 열화가 되어 화재가 발생하게 된다. 습도가 급격히 증가하거나, 장마가 있는 여름철, 절연재료에 수분이 침투하여 표면특성을 변화시킬 경우 분진이나 염분 등에 의해 저압 트래킹에 의한 절연파괴로 이어질 수 있다. 현재 국내에서의 절연재료에 대한 연구는 옥외용 고압절연재료에 국한되어 있고 실제 저압용 절연재료의 표면특성에 대한 연구는 많지 않은 실정이다. 하지만 전기화재의 경우 옥내설비에서 화재가 주를 이루고 있어 이에 대한 절연재료의 특성 연구가 필요한 실정이다[1-2].

따라서, 본 연구에서는 수분영향에 의한 절연재료의 표면특성 및 트래킹 성질을 규명하기 위하여 저압용 절연재료 중 차단기, 콘센트 등의 절연재료로 많이 사용되고 있는 페놀수지를 이용하여 수처리(water treatment)에 의한 열화특성과 표면구조변화를 분석하였다. 외형변화는 광학현미경(Optical microscope, Ehipot, Nikon, JPN)을 이용하여 표면을 확대하여 분석하고, 적외선분광기(FT-IR, Spectrum GX, PerkinElmer, UK)를 이용하여 절연재료표면의 화학적 구조를 분석하였다.

2. 실험방법 및 장치

2.1 실험방법

절연재료는 급격한 열이나 주변환경요인에 의해 표면의 화학적 구조가 변한다. 콘센트 및 차단기의 외함재료는 페놀수지 성분이 주를 이루고 있으며, 기계적 강도나

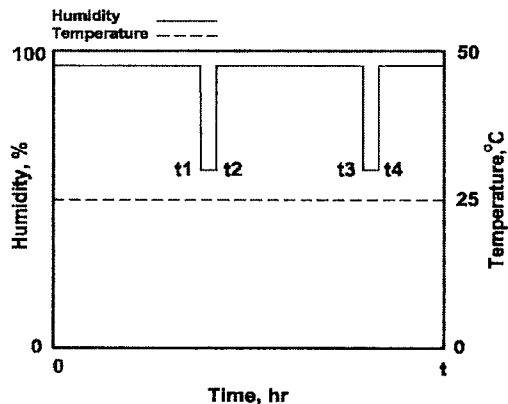


그림 1. 수처리 시간에 따른 온·습도 패턴

그림 1에서와 같이 실험에 사용된 시료는 세척(washing) 후 충분히 건조(drying)시켜 복합열화실험조에 넣어 95%이상의 습도와 25℃의 온도를 유지하여 각각의 패턴마다 200시간(0~t1), 400시간(0~t3) 동안 수처리하여 분석하였다. 수처리한 후 트래킹 시험법에 의해 실험하였다. 수처리에 의한 표면의 변형은 광학현미경에 의해 확대관찰하고 화학적 표면구조 변화는 적외선분광기(FT-IR)를 이용하여 분석하였다.

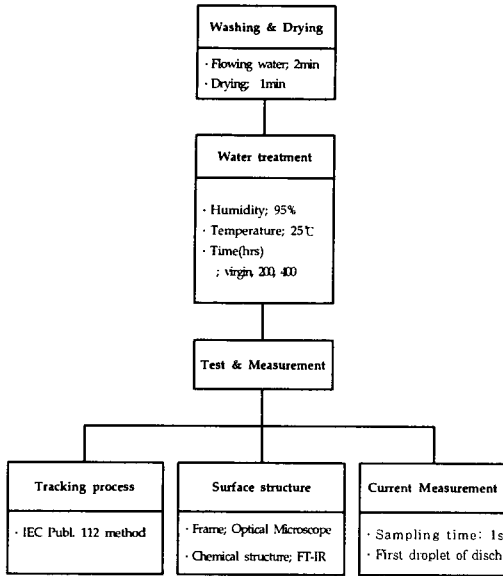


그림 2. 수처리에 의한 페놀수지의 실험과정

2.2 실험장치

트래킹 시험법으로는 IEC Publ. 112법을 응용하여 실험하였고 물방울(droplet)의 체적은 20mm^3 로 30초에 한 방울씩 일정하게 적하(滴下: drop)하였다[1][3]. 또한, 적하높이는 40mm로 일정하게 하였고 전극은 저압용에 대부분 이용되는 구리(copper)전극을 사용하였다. 재료에 접촉된 전극의 거리는 4mm의 간격을 두어 실험하였다.

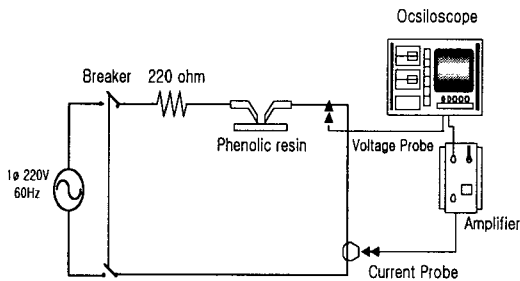


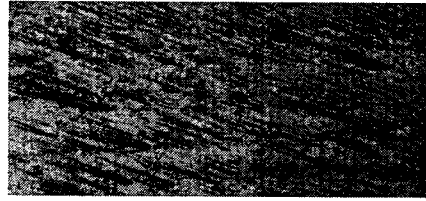
그림 3. 트래킹 실험장치

그림 3은 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 트래킹 실험장치는 단락이 되는 것을 방지하기 위해 220Ω의 저항을 직렬로 연결하고 전압은 220V 교류를 인가하였다. 이때 트래킹 시간과 전류를 측정하였다.

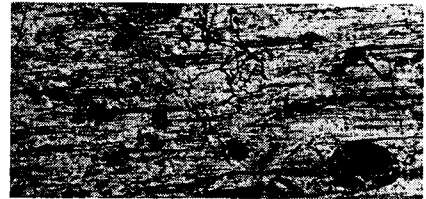
3. 실험결과 및 분석

3.1 수처리에 의한 외형변화 및 트래킹 전류

페놀수지(phenolic resin)의 수처리(water treatment) 조건에 의한 특성을 분석하기 위해 광학현미경을 이용하여 표면의 외형변화를 보면 습도에 의한 영향을 확인할 수 있었다.



(a) virgin



(b) 200hrs



(c) 400hrs

그림 4. 페놀수지의 수처리에 따른 외형변화

그림 4 (a)에서와 같이 정상적인 페놀수지의 경우 외함재료가 성형된 형태를 유지하고 있지만, (b)의 경우 200시간동안 수처리된 시료는 수분영향에 의해 크고 작은 형태의 원형으로 수분이 침투한 것을 확인할 수 있다. 또한, 일부조각이 균열이 발생하고 있는 것을 볼 수 있다. 400시간 동안 수처리된 시료(c)는 (b)보다 수분의 침투깊이가 깊고 넓게 균열이 진전되어 열화가 진행되고 있는 것을 확인할 수 있다.

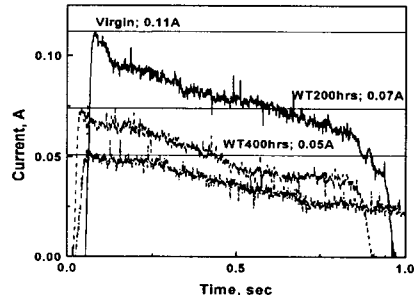


그림 5. 수처리에 따른 트래킹 전류

정상시료와 수처리된 시료를 트래킹시켰을때, 수처리에 의한 시료(200hrs, 400hrs)는 트래킹 열화가 발생하기까지 정상시료보다 낮은 피크의 전류가 흐르는 것을 확인할 수 있었다. 수처리 시간에 따른 트래킹 전류의 크기를 비교하면, 정상시료인 경우 초기 전류가 0.11A 흐르지만 200시간 수처리(WT200hrs)한 경우 0.07A의 누설전류가 흐르면 탄화도전로가 형성되면서 트래킹에 의한 열화가 진전된다. 또한, 400시간 수처리된 시료(WT400hrs)의 경우 0.05A의 누설전류만으로 트래킹이 발생하였다.

3.2 트래킹 진전과정

정상상태의 페놀수지의 염수에 의한 트래킹 진전과정을 보면 다음과 같다.

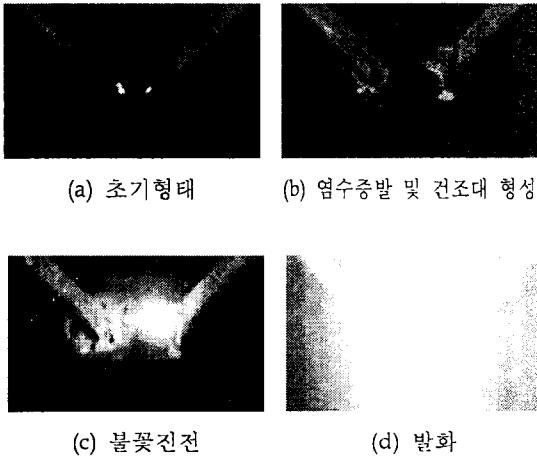


그림 6. 페놀수지의 적하시험법에 의한 트래킹진전

트래킹 진전은 적하된 물방울이 양 전극사이에서 접촉되면 증열에 의해 건조대가 형성되고 미소불꽃방전(scintillation)이 발생하게 된다. 불꽃이 진전되면서 침식과 도전로가 형성되고 축열된 증열에 의해 양극 사이에서 절연이 파괴되어 발화되는 것을 확인할 수 있었다.

3.3 화학적 구조분석

DATR-FTIR(Diamond Attenuated Total Reflectance - Fourier Transform Infrared)에 의한 절연재료 표면의 화학 구조는 분석결과 표 1에서와 같은 bend에서 흡광피크가 나타났다.

표 1. 정상상태 페놀수지의 적외선 흡광피크

Bend	흡광피크 (cm ⁻¹)	Vibration
C=O	1744	stretching
N-H	1592	scissoring
-CH ₂ (ester)	1437	scissoring

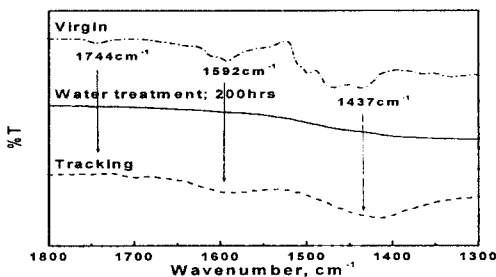


그림 7. 페놀수지 표면의 화학적 구조 변화비교

그림 7에서 정상시료의 경우 1744cm⁻¹에서 적외선 흡광피크가 나타나지만 200시간 동안 수처리한 것과 트래킹에 의해 열화된 시료표면에서는 나타나지 않았다. 하지만, 1592cm⁻¹과 1437cm⁻¹의 흡광피크는 수처리한 것에서는 나타나지 않지만 트래킹에 열화된 시료에서는 약하게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

4. 결 론

저압기기용 외함 절연재료로 사용되는 페놀수지의 수처리에 의한 트래킹 영향을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 페놀수지의 최초 성형된 형태에서 200시간동안 수처리된 시료는 크고 작은 형태의 원형으로 수분이 침투하고, 일부조직이 균열이 발생하였고, 400시간동안 수처리된 시료는 균열이 넓고 깊게 나타났다.

(2) 트래킹 진전은 양 전극사이에서 염수가 적하되면 증열에 의해 건조대가 형성되면서 증발과 미소불꽃방전이 발생하고, 불꽃이 진전되는 동안 침식과 도전로가 형성되어 양극 사이에서 발화되었다.

(3) 정상시료는 초기 전류의 피크가 0.11A가 흐르고 200시간 수처리한 경우 0.07A, 400시간 수처리된 시료의 경우 0.05A의 누설전류만으로 각각 트래킹이 발생하였다.

(4) 적외선 흡광피크에 의해 나타난 C=O, N-H, -CH₂ bend 비교로 페놀수지의 정상시료, 수처리한 것과 트래킹에 의해 열화된 시료의 구분이 가능하였다.

위의 실험으로 수분영향에 의해 절연재료의 표면특성이 변하여 낮은 누설 전류에서도 트래킹에 의한 절연파괴가 발생하는 것을 알 수 있었다. 따라서 습기가 많은 장소에서는 절연재료의 표면열화에 대한 주의가 요망된다.

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금에 의해 수행되었습니다.

(참 고 문 헌)

- [1] IEC Publ. 112, "Recommended Method for Determining Comparative Tracking Index of Solid Insulating Materials under Moist Conditions", 2nd edition, 1971
- [2] H. Zhang and R. Hackam, "Electrical Surface Resistance, Hydrophobicity and Diffusion Phenomena in PVC", IEEE Trans. DEI, Vol. 6 No. 1, pp.73~83, Feb. 1999
- [3] ASTM D3638, Standard Test Method for Comparative Tracking Index of Electrical Insulating Materials
- [4] Yosimura et. al, "Research in Japan on the Tracking Phenomenon of Electrical Insulating Materials", IEEE EIM feature article, pp.08~19, 1997
- [5] B. X. Du, Discharge Energy and dc Tracking Resistance of Organic Insulating Materials, IEEE Trans on DEI, Vol. 8 No 6, pp.897~901, Dec. 2001
- [6] 한동희 외 5, "Hydrophobicity and tracking resistance of SIR for outdoor insulators", KIEE Conf., pp.1560-1562, 2000.7
- [7] 장태인 외 3, "The Distribution of Salt Contamination with the Influence of Geographical Condition", KIEE Conf., pp.1782-1784, 2000.7