

염수에 의해 열화된 누전차단기 절연재료의 특성에 관한 연구

A Study on the Characteristics of ELB Insulating Material deteriorated by Salt water

김형래*, 김동욱*, 김혁수*, 최충석*, 김 훈**

(Hyung-Rae Kim*, Dong-Ook Kim*, Hyeog-Soo Kim*, Chung-Seog Choi*, Hoon Kim**)

Abstract

In this paper, we analyzed the characteristics of insulating material with ELB(earth leakage circuit breaker) through tracking experiment and the study was carried out three different types of samples. The tracking is breakdown phenomenon of material surface that is generated on the organic insulating material. The test method applied IEC publication 587. The result of the sample breakdown by tracking was carbonized and resistance of between the electrodes is approximately 300Ω. In the result of DSC analysis, the caloric peak was detected before 100℃ in product of tracking. It appeared weight loss of 10.87% at 537℃ on TGA. IR spectrum analysis showed carbon-hydrogen(C-H)bond on molecular structure that is the sample of tracking.

Key Words : ELB(earth leakage circuit breaker), breakdown, carbonized, molecular structure

1. 서 론

저압 전기설비의 보호기기로 과부하나 단락에 의한 전기재해를 예방하기 위해 누전차단기를 설치 사용하고 있다. 누전차단기의 외함은 열경화성 수지인 페놀수지를 주성분으로 한 고분자 절연재료가 사용되고 있으며, 페놀수지는 기계적, 화학적으로 안정하고 가격이 저렴하여 저압용 전기기기의 절연재료로 널리 사용되고 있다[1].

그러나 페놀수지는 내아크성, 내트래킹성이 약하다는 결점이 있어 표면에 방전이 발생하면 국부적으로 탄화하여 점차적으로 트래킹에 의한 절연과피가 발생한다. 즉 오손물질이 절연물의 표면에 축적되어 있는 상태에서 전압이 인가되면 국부적으로 전계가 집중되고 또한 누설전류에 의해 발생한 열에 의해 주위의 유기절연물이 미소발광방전(scintillation)이 일어나며 최종적으로는 유기절연물이 절연과피되어 단자간 또는 선간에 단락이 발생하여 주위의 가연물

에 착화되어 화재 및 설비사고로 이어진다고 볼 수 있다[2, 3].

절연재료의 표면에 영향을 주는 오염인자로는 수분, 이온성물질, 먼지, 자외선, 산성비 및 염해 등을 들 수 있다[4]. 또한, 고분자재료는 원재료의 특성뿐만 아니라 여러가지 첨가제와 충전제의 종류 및 혼합비에 따라 특성이 달라지기 때문에 원료의 특성만으로는 제품의 특성을 평가하는 것은 곤란하다.

따라서 본 연구에서는 고분자 재료의 열화에 영향을 주는 오염인자인 염수를 이용하여 누전차단기 절연재료의 트래킹의 특성을 실험하였으며, 표면구조 분석은 주사전자현미경(SEM, JSM-6400, Jeol, Japan), 열특성은 열분석기(DSC/TGA, SDT-2960, TA-Ins., USA)로 분석하였다. 또한, 분자구조 변화는 적외선 분광분석기(FT-IR, Spectrum GX, Perkin Elmer Ins., UK)를 이용하여 스펙트럼을 분석하였다.

2. 실험 방법

고분자 절연재료의 트래킹 시험법으로는 IEC-587, 112, Dust & Fog, 모세관법 및 Dip법 등 여러가지

* : 전기안전시험연구원

** : 강원대학교 전기공학과

방법이 있으며, 본 연구에서는 가혹한 환경조건에서 절연물의 트래킹성을 평가하는 방법인 오손액 경사 평면법(IEC-587)을 적용하였으며[5], 시료는 누전차단기의 외함으로 크기는 40×60mm로 제작하였으며, 또한, 저압에서 트래킹이 일어나도록 모든 조건을 변화하여 설정하였다. 인가전압은 단상 220V 60Hz이고 회로의 전류를 제한하기 위해 저항(500Ω, 200W)을 연결하였고 트래킹 현상을 가속시키기 위해 전극간에 1%의 NaCl 수용액인 오손액(염수)을 일정하게 흐르도록 정량펌프를 이용하여 분당 1.0mL로 상부전극에 주입하였으며 시료대는 45°로 설치하였고 전극간의 거리는 20mm이고 전극은 두께 0.5mm의 스테인레스 강판으로 제작하였다. 그림 1은 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다.

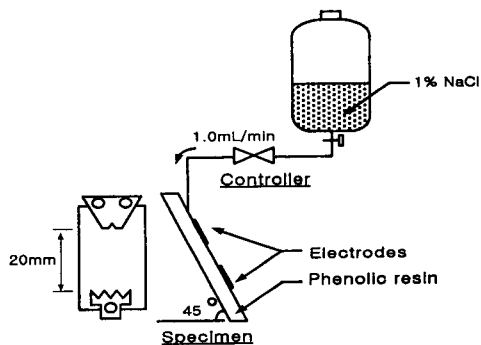


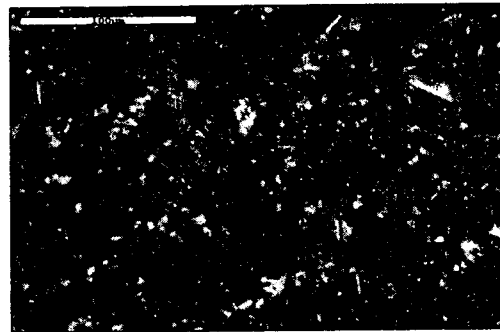
그림 1. 실험장치의 개략도
Fig. 1. Schematic of experimental set-up

3. 결과 및 고찰

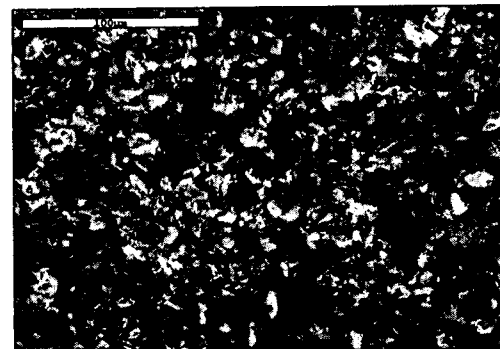
트래킹 진전과정은 상부전극에서 하부전극으로 오손액(염수)이 흐르게 되면 통전전류에 의해 건조대의 형성이 반복적으로 나타남을 알 수 있었으며 미소발광방전이 거듭되면서 하부전극에서 상부전극으로 도전성의 트랙이 최단길이 방향으로 형성되고 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 전극간에 표면침식 및 탄화도전로의 형성이 점차 확대되고 절연파괴에 의해 불꽃이 형성됨을 볼 수 있었다. 전원을 차단하고 탄화물의 저항을 측정한 결과 저항이 약 300Ω 이하를 나타내 도전성의 탄화물이 형성됨을 알 수 있다.

그림 2는 주사전자현미경으로 표면구조를 확대 분석한 사진이다. (a)는 정상시료로 입자조직이 표면에 고르게 분포되어 있는 것을 확인할 수 있으며 (b)는 외부화염에 의해 탄화된 시료의 표면구조로 열에 의해 불규칙한 입자형태를 취하고 있다. (c)는 트래킹에 의해 탄화된 시료로 다수의 구멍이 형성되고 망

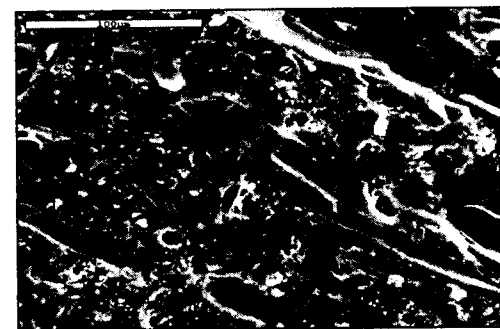
상의 입자형태를 나타내고 있으며 내부로의 침식이 나타났다. 이상과 같은 표면구조 분석으로 열화요인을 추정할 수 있다.



(a) 정상시료



(b) 외부화염



(c) 트래킹

그림 2. 주사전자현미경 사진
Fig. 2. SEM micrographs

그림 3은 각각의 시료에 대하여 상온에서 700℃까지 20℃/min으로 승온하여 시차주사열량계에 의해 시간에 따른 열량변화를 분석하였으며, 분위기가스로 질소를 사용하였으며 100mL/min으로 흘려주었다.

정상시료에서는 65.09°C와 383.20°C에서 열량변화가 일어났으며, 외부화염에 의해 탄화된 시료에서는 417.21°C에서 열량변화가 발생하였다. 트래킹에 의해 탄화된 시료와 비교하면 오손액으로 보이는 물질이 100°C이전에서 열량변화가 있음을 알 수 있다.

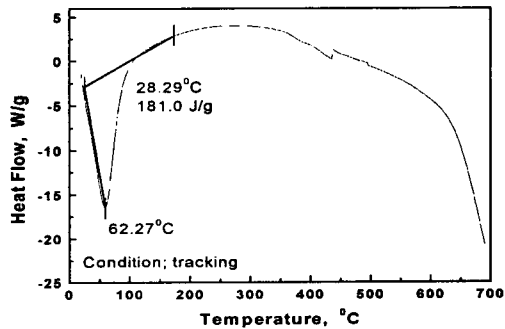


그림 3. 트래킹된 페놀수지의 DSC 곡선
Fig. 3. DSC curve of phenolic resin formed tracking

그림 4는 각각의 시료에 대하여 열중량 분석기를 이용하여 온도상승에 따른 열중량 변화를 비교한 것이다. 정상시료는 316.77°C에서 17.44%, 492.32°C에서 21.14%의 열중량 감소가 발생함을 확인할 수 있었으며, 외부화염에 의해 탄화된 시료는 417.21°C에서 447.82°C까지 96.48%의 급속한 열중량이 감소한 반면에 트래킹에 의해 탄화된 시료는 46.23°C에서 69.63°C까지 6.05%의 중량감소와 440.14°C에서 635.63°C까지 10.87%의 중량감소가 발생하는 것을 알 수 있다.

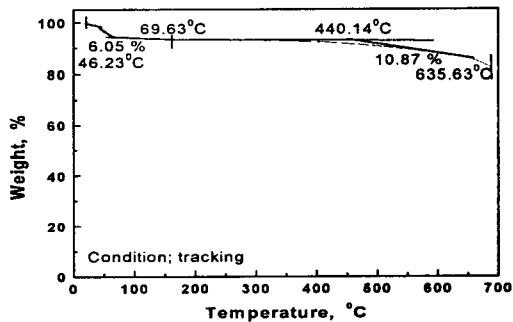
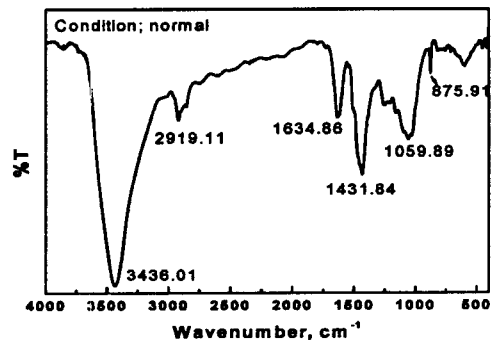


그림 4. 트래킹된 페놀수지의 TGA 곡선
Fig. 4. TGA curve of phenolic resin formed tracking

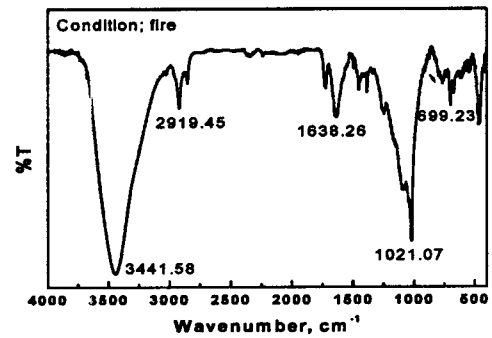
그림 5와 표 1은 적외선 분광분석기와 Spectrum

Searching Program(Ver 3.02, PE Ins.)를 이용하여 적외선 흡수스펙트럼과 화학적 분자구조를 나타낸 것으로 시료는 분말(power)형태로 하여 KBr과 1 : 100의 비율로 혼합하여 성형하여 측정하였다.

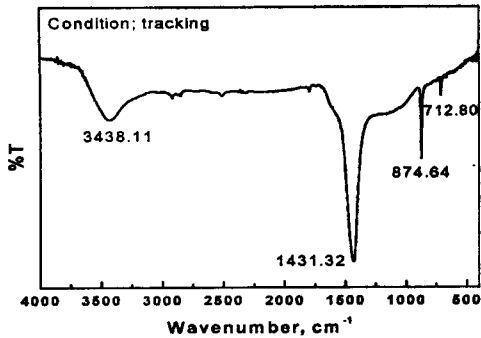
정상시료와 외부화염에 의해 탄화된 시료의 경우 3540~3200cm⁻¹, 1205~885cm⁻¹에서 수산기 또는 아미노화합물(Hydroxyl or Amino compound)이 형성되었으며, 또한 정상시료에서는 2990~2885cm⁻¹, 1485~1415cm⁻¹에서 알킬기(Alkyl group)의 C-H의 분자구조가 나타났고 외부화염에 의해 탄화된 시료는 3450~3300cm⁻¹, 3000~2850cm⁻¹, 1470~1365cm⁻¹, 1200~950cm⁻¹영역에서 알킬그룹의 알데히드(aldehyde)기의 화합물이 나타났으나, 트래킹에 의해 탄화된 시료에서는 2990~2885cm⁻¹, 1485~1415cm⁻¹영역에서 알킬기(Alkyl group)의 C-H의 결합만 나타남을 알 수 있다.



(a) 정상시료



(b) 외부화염



(c) 트래킹

그림 5. FT-IR 스펙트라

Fig. 5. The spectra of FT-IR

표 1. 시료의 분자구조

Table 1. Molecular structure of sample

Condition	Interpretation	Region, cm ⁻¹	Molecular structure
Normal	Hydroxyl or Amino compound	3540 - 3200	R-OH
		1205 - 0885	
External fire	Hydroxyl or Amino compound	2990 - 2885	C-H
		1485 - 1415	
	Alkyl group	3450 - 3300	-C-O-H H
		3000 - 2850	
Tracking	Alkyl group	1470 - 1365	C-H
		1200 - 0950	

4. 결론

본 연구에서는 트래킹에 의해 탄화된 생성물을 주사전자현미경(SEM), 열분석기(DSC/TGA), 적외선분광기(FT-IR) 등을 이용하여 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 누전차단기 절연물의 오손액(염수)에 의한 트래킹 진전과정을 해석할 수 있었으며, 트래킹에 의해 탄화된 시료의 극간 저항이 약 300Ω 이하로 도전성을 갖는 탄화물로 변화된 것을 확인하였다.
2. 트래킹에 의해 탄화된 시료의 SEM에 의한 표면 구조는 다수의 구멍이 형성되고 망상의 입자형태

및 내부로의 침식이 나타났다.

3. DSC에 의한 열량변화에서는 트래킹에 의해 탄화된 시료는 100℃ 이전에 오손물질로 추측되는 열량피크가 나타나는 것을 확인하였다.
4. 열중량변화는 외부화염에 의해 탄화된 시료는 417.21℃에서 447.82℃까지 96.48%의 급속한 열중량 감소가 일어났는데 비해 트래킹에 의해 탄화된 시료는 대부분 열로 손실되어 46.23℃에서 69.63℃까지 6.05%의 중량감소가 440.14℃에서 635.63℃까지 10.87%의 중량감소가 발생하는 것을 알 수 있었다.
5. 적외선분광기를 이용하여 흡수스펙트럼과 화학적 분자구조를 분석한 결과 트래킹에 의해 탄화된 시료에서는 2990~2885cm⁻¹, 1485~1415cm⁻¹영역에서 알킬기(Alkyl group)의 C-H의 결합만 나타나는 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] 崔忠錫 외 4, "저압용 누전차단기의 차단특성에 관한 연구", 한국전기·조명설비학회, '99춘계학술대회, 1998
- [2] G.Karady et al, "Flashover Mechanism of Silicone Rubber Insulators Used for Outdoor Insulation", IEEE Trans. Power Delivery. Vol. 10, No. 1, 1995
- [3] H. Seiichi, "The Influence of Acid Rain on the Tracking Detorioration of Organic Insulating Materials", Proc. 5th ICPADM, Korea, pp.754~757, 1997.
- [4] R. Gorur et al, "A Rapid Test Method for Evaluating the Tracking and Erosion Resistance of Polymeric Outdoor Insulating Materials", IEEE Annual Report-Conference pp.402-405, 1997.
- [5] IEC Publication 60587, Second Edition, "Test method for evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials use under severe ambient conditions", 1984.