P-44

열화원인에 의한 누전차단기 절연재료의 소손특성에 관한 연구

오새별 · *옥경재 · 지승욱 · 김시국 · 이춘하
호서대학교 · *대림대학교

A Study on the Damage by Burning Characteristics of Insulating Materials of ELCB by Degradation Causes

Sae Byeol Oh · Gyeong Jae Ok · Seung Wook Jee · Si Kuk Kim · Chun Ha Lee
Hoseo University · *Daelim University

요 약

열화원인에 의한 누전차단기 절연재료의 소손특성을 확인하기 위해서 전기적인 트래킹 열화에 의한 누전차단기 절연재료의 소손특성과 외부 복사열에 의한 누전차단기 절연재료의 소손특성을 비교·분석하였다.

1. 서 론

일반 가정에는 과부하나 누설전류 차단을 목적으로 누전차단기(ELCB : Earth leakage circuit breaker)나 배선용 차단기(NFB : No fuse breaker, MCCB : Molded case circuit breaker)등을 설치한다.[1),2)] 그러나 최근 전기사고 및 화재예방을 목적으로 사용하는 차단기가 설치된 분전반 내에서 전기적인 원인 및 외부화염에 의한 화재가 빈번히 발생하고 있어 정확한 화재원인을 규명을 위한 다양한 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 열화원인에 의한 누전차단기 절연재료의 소손 특성을 분석하고자 일반적으로 가정 내에 가장 많이 사용되고 있는 누전차단기 절연재료를 시료로 선정하고, 최근 전기화재 원인 중 중요한 원인으로 대두되고 있는 전기적인 트래킹 열화에 의해 소손된 절연재료와 외부 복사열에 의해 소손된 절연재료의 소손특성을 비교·분석하였다.

2. 실험시료

일반 가정 내에서 가장 많이 사용되고 있는 누전차단기 절연재료를 시료로 선정하였으며, 규격은 단상 2선식, 정격감도전류 30 mA, 정격전류는 20 A, 최소동작시간 0.03 sec, 전원측 단자간 거리가 약 13 mm인 누전차단기를 사용하였다.

3. 실험방법[3)]

3.1 트래킹과 복사열에 의한 소손 특성 분석

전기적인 트래킹 열화에 의해 절연재료를 소손시키기 위해 KS C IEC 60112의 기준에 준한 실험장치 및 실험방법을 이용하였고, 측정부위는 두 전극 사이의 절연재료 표면에 발생된 탄화도전로의 중앙부분을 중심으로 진행하였다. 그리고 외부 복사열에 의해 절연재료를 소손시키기 위해 Mass loss calorimeter를 사용하여 누전차단기 절연재료 표면 전체에 균등하게 55 kW/m^2의 복사열 노출시켰다.

그 후 트래킹 열화와 복사열에 의해 소손된 누전차단기 절연재료의 특성을 분석하고자 소손된 표면을 주사전자현미경(SEM) 및 적외선흡수분광법(FT-IR)을 이용하여 표면미세구조 및 화학적 표면구조를 비교·분석하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 SEM을 이용한 표면미세구조 분석

Figure 1은 SEM을 이용하여 누전차단기 절연재료의 표면을 30배, 3,000배 비율로 확대 촬영한 것으로 (a)는 정상상태의 표면미세구조를 나타낸 것이다. (b)는 트래킹 열화에 의해 소손된 누전차단기 절연재료의 표면미세구조를 나타낸 것이다. 탄화도전로가 형성된 부분은 용융되면서 홈이 파인 듯 형태가 나타났으며, 표면이 매끄럽고 얇은 판상의 조직이 겹쳐져 있는 듯 현상이 관찰되었는데 이는 열가소성수지의 일반적인 열변형 특성으로, 방전불꽃에 의해 절연재료보다 낮은 온도에서 열분해 되는 첨가제 등의 열분해가스로 인해 기포가 발생된 후 절연재료가 용융되어 유동성의 액체 상태로 되면서 발생된 기포가 터지기 때문인 것으로 생각된다. (c)는 복사열에 의해 소손된 누전차단기 절연재료의 표면미세구조를 나타낸 것이다. 절연재료 표면에 분해되지 않은 충전제가 서로 엉겨 붙어 절연재료 표면에 부분적으로 돌출되어 나타났으며, 돌출되어 나온 불순물의 표면에 모래알 같은 알갱이가 붙어 있는 형상이 관찰되었다.

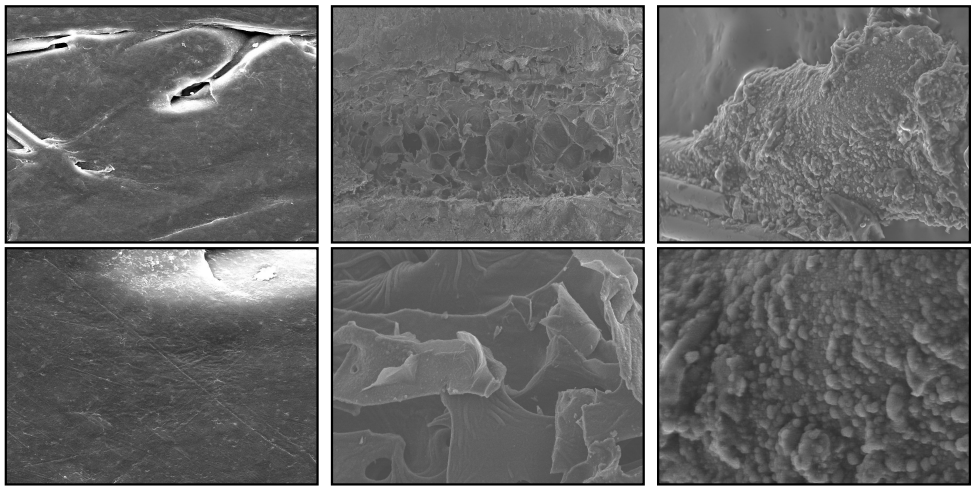

Figure 1. SEM image of damaged insulating material.

4.2 FT-IR을 이용한 화학적 표면구조 분석

Figure 2는 FT-IR을 이용하여 누전차단기 절연재료의 화학적 표면구조 분석 결과를 나타낸 것이다. (a)는 정상상태의 화학적 표면구조를 나타낸 것으로 열가소성수지인 Pure PBT(Polybutylene terephthalate)와 유사한 1717 cm^{-1} Aromatic C=C stretching band, 1502 cm^{-1} Aromatic ring, 1466 cm^{-1} CH_2 Stretching band, 1408 cm^{-1} Aromatic ring stretching (ring-in-plane def), 1014 cm^{-1} Aliphatic ether C-O stretching, 730 cm^{-1} Aromatic C-H stretching band가 발생하였다. 이는 누전차단기 절연재료로 일반적으로 사용되고 있는 페놀수지 이외에 절연재료의 성능향상과 가공의 목적을 위해 열가소성 수지인 Pure PBT 성분이 첨가 된 것으로 생각된다. (b)는 트래킹 열화에 의해 소손된 누전차단기 절연재료의 화학적 표면구조를 나타낸 것이다. 정상상태의 경우 20곳에서 흡광피크가 발생한 반면 트래킹 열화에 의해 소손된 경우 2924 cm^{-1} CH_2 Asymmetric stretching band, 1466 cm^{-1} CH_2 Stretching band, 1033 cm^{-1} Aliphatic ether C-O stretching에서 스펙트럼이 나타났으며, 실험결과 트래킹에 의해 소손된 경우 Aromatic C-H band와 Aromatic C=C stretching band 등의 스펙트럼이 나타나지 않았으며, 이는 방전으로 인해 주로 방향족 유기물들이 연소되었기 때문인 것으로 생각된다. (c)는 복사열(55 kW/m^2)에 5분간 노출시킨 누전차단기 절연재료의 화학적 표면구조를 나타낸 것으로 흡광피크가 나타나지 않았다. 이는 노출된 복사열의 온도가 누전차단기 절연재료의 열분해 온도보다 높아 절연재료의 유기물들이 모두 연소되었기 때문인 것으로 생각된다.

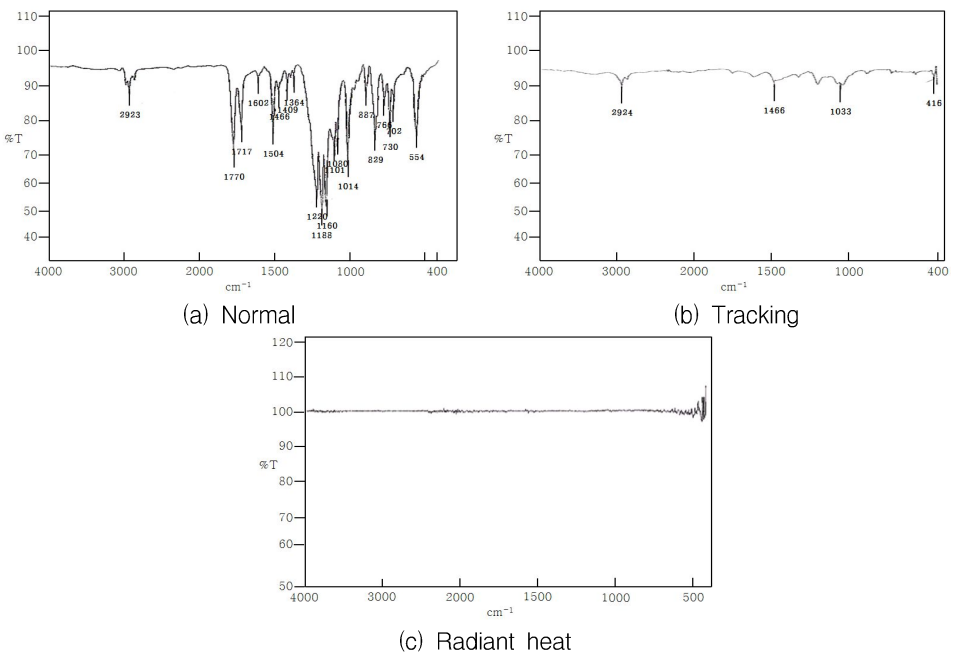

Figure 2. FT-IR spectrum of damaged insulating materials.

5. 결 론

본 연구에서는 열화원인에 의한 누전차단기 절연재료의 소손 특성을 분석해본 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1) SEM을 이용한 표면미세구조 분석결과

트래킹 열화에 의해 소손된 누전차단기 절연재료는 탄화도전로가 형성된 부분이 용융되면서 홈이 파인 듯 형태가 나타났으며, 표면이 매끄럽고 얇은 판상의 조직이 겹쳐져 있는 듯 현상이 관찰되었다. 복사열에 의해 소손된 누전차단기 절연재료는 절연재료 표면에 분해되지 않은 충전제가 서로 엉겨 붙어 절연재료 표면에 부분적으로 돌출되어 나타났으며, 돌출되어 나온 불순물의 표면에 모래알 같은 알갱이가 붙어 있는 형상이 관찰되었다.

2) FT-IR을 이용한 화학적 표면구조 분석결과

정상상태의 경우 20곳에서 흡광 피크가 발생한 반면 트래킹 열화에 의해 소손된 경우 4곳의 흡광피크가 발생하였다. 반면 복사열(55 kW/m^2)에 5분간 노출시킨 누전차단기 절연재료의 화학적 표면구조는 흡광피크가 나타나지 않았다. 즉, 트래킹에 의해 소손된 절연재료의 경우 방전으로 인해 주로 방향족 유기물이 연소되는 현상이 나타났으며, 복사열에 의해 소손된 절연재료의 경우 고온의 복사열로 인해 유기물이 모두 연소되어 스펙트럼이 나타나지 않는 것을 확인할 수 있었다.

이상과 같은 결과 전기적인 트래킹 열화에 의해 소손된 절연재료와 외부 복사열에 의해 소손된 절연재료의 소손특성에 서로 상이한 특징이 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, 향후 다양한 조건과 분석방법을 이용한 연구가 지속적으로 이루어진다며, 다양한 변수에 의해서 발생되는 화재에서 발화원인 규명의 신뢰도를 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 최충석, 송길목, 김동우, “누전차단기 외함 전원측 단자사이의 트래킹에 의한 탄화특성 분석”, 한국화재소방학회, Vol.17, No.4 pp. 13-19,(2003).
2. 박남규, “트래킹에 의해 변화되는 유기절연물의 표면 및 전기적 특징” 성균관대학교 대학원 박사학위 논문, pp. 1-5, (2007).
3. 옥경재, 이춘하, 김시국, 지승욱. “누전차단기 절연재료의 소손 특성에 관한 연구”, 한국화재소방학회, Vol.23, No.2 pp. 1-139 (2009)