

A-08

트래킹에 의해 열화된 누전차단기 외함의 특성분석

최충석, 송길목, 김형래, 김향곤, 김동욱, 김동우
한국전기안전공사 부설 전기안전연구원

An Analysis on the Characteristics of RCD Case Deteriorated by Tracking

C.S. Choi, K.M. Shong, H.R. Kim, H.K. Kim, D.O. Kim, D.W. Kim
Electrical Safety Research Institute attached to KESCO

1. 서론

전기설비의 대용량화 및 다양한 전기기계기구의 보급확대에 따라 전기안전에 대한 주의가 더욱 요구되어지고 있다. 산업의 발달과 더불어 경제적인 수준의 향상으로 고부가가치의 편리한 전기제품이 출시되면서 좀더 많은 여가를 즐길 수 있게 되었다. 하지만, 전기사고는 예고에 의한 사고보다 장시간 피로누적에 의한 사고로 이어지는 경우가 많으며, 막대한 인적, 물적 피해를 초래한다. 전기사고는 크게 옥외설비 사고와 옥내설비 사고로 분류되는데 옥내사고의 대부분은 설비사고에 의한 정전 등과 같은 옥외설비사고와는 달리 화재와 감전 등 2차, 3차의 영향을 초래한다.

행정자치부 2000년도 화재통계연보에 의하면, 국내 전기화재 점유율은 전체 화재의 33.9%를 차지하여 일일평균 32.3건이 발생한 것으로 집계되었다. 이러한 다수의 화재가 전기적 요인에 의해서 발생되고 있지만 정확한 발화원인을 추적하여 밝혀내기 위한 연구는 매우 미미한 실정이다. [1-6]

따라서, 본 연구는 누전이나 절연불량에 의한 화재로서 절연재료의 표면에 이물질이나 수분이 쌓여 누설전류가 발생한 후 줄열에 의한 절연파괴로 이어져 트래킹 열화에 의한 화재가 발생하는 과정을 모의하고 실제 화재현장에서 수거한 동일 제품의 특성을 비교·분석하여 화재의 원인을 규명하고자 한다.

2. 실험방법

누전차단기의 외함으로 주로 이용되는 페놀수지(phenolic resin)는 절연성능이 좋고 저렴하며 성형이 쉬워 저압용 재료로서 각광받고 있다. 페놀수지를 주원료로 하여 제조되는 방법으로는 크게 적층품과 성형품으로 나누어지고 적층품으로는 bakelite가 있으며, 성형품으로는 차단기류의 외함이나 콘센트, 플러그 등의 절연재료로 많이 쓰이고 있다.

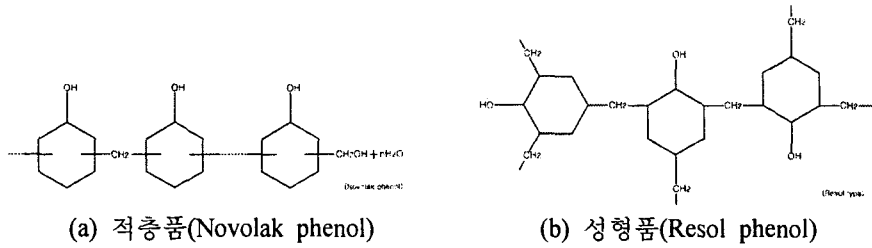


그림 1. 절연재료로 이용되는 페놀수지의 화학적 구조

위의 그림에서와 같이 적층품과 성형품은 크게 노볼락 페놀과 레졸형으로 구분되어 나타낼 수 있고, 공통적으로 이러한 화학구조의 기본은 벤젠고리(benzene ring)에 수산화기(-OH)가 결합한 형태를 가지고 있다.

그림 2의 (a)에서는 전압이 인가된 상태에서 표면방전(surface discharge)에 의한 트래킹을 발생시키기 위한 실험장치를 구성하였다.

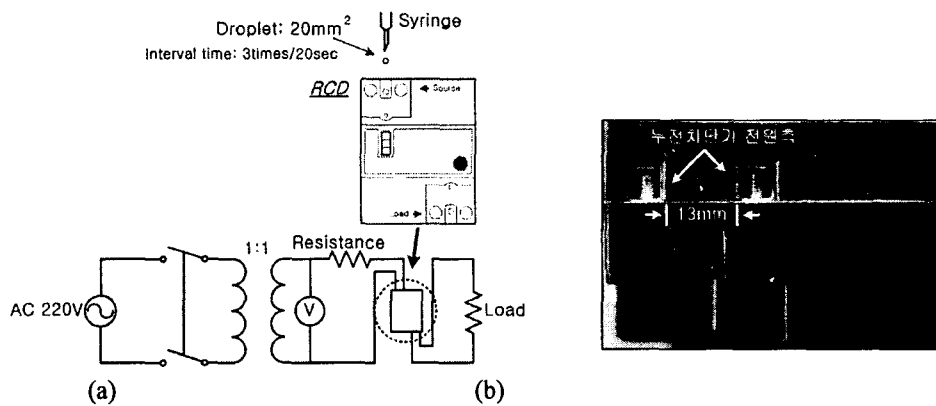


그림 2. 실험장치 결선도 및 누전차단기 외형

실험에 사용된 누전차단기는 단상 2선식, 정격전압 AC 220V에 정격전류는 30A인 것으로 정격감도전류는 30mA이며 0.03초 이내에 동작하도록 되어 있다.

누전차단기의 전원측 극간 거리는 약 13mm로 절연파괴에 이르기까지는 상당한 시간이요한다. 하지만, 전원측은 누전차단기의 보호범위를 벗어나는 곳으로서 이상발생시 차단이 되지 않아 화재로 이어질 수 있다.

실험은 IEC Publ. 112법을 응용하여 1%의 염수를 20sec 간격으로 세 방울씩 누전차단기의 전원측에 떨어뜨려 누전차단기가 트래킹에 의해 화재가 발생할 때까지 실험하였다.

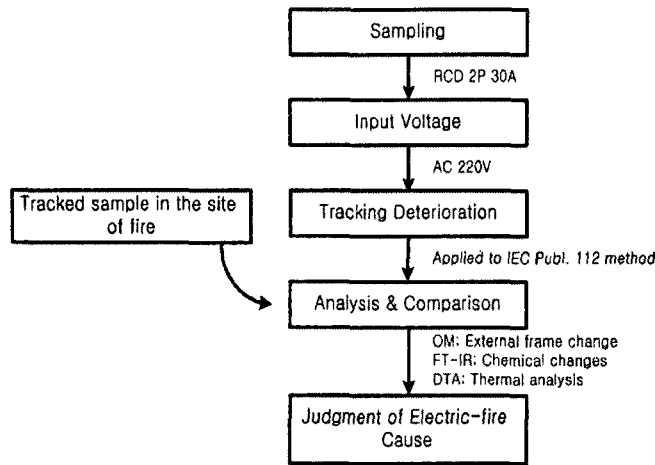


그림 3. 재현실험 및 분석과정

재현실험에 의해 열화된 누전차단기의 외함의 외형변화와 열적인 영향을 비교분석하기 위해 열분석기(DTA, SDT-2960, TA Ins., USA)를 이용하였다. 표면의 화학적 구조 변화를 분석하기 위해 적외선분광기(FT-IR, Spectrum GX, PerkinElmer Ins., USA)를 이용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

(1) 트래킹에 의한 화재진전

실험장치에 의해 회로를 구성하여 전원측에 1%의 염수를 떨어트리면서 화재가 발생할 때까지의 과정을 나타낸 것이 그림 4이다.

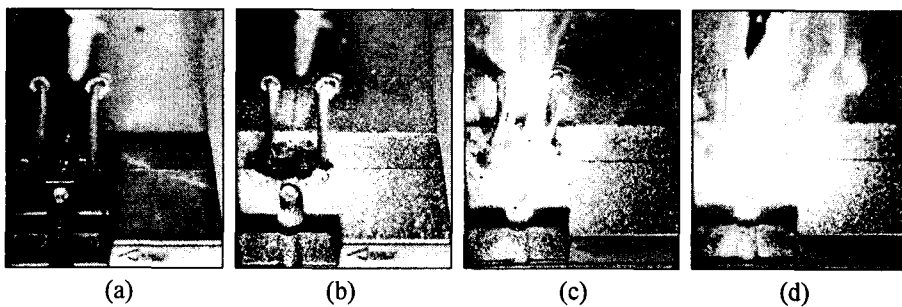


그림 4. 누전차단기의 전원측 화재진전과정

그림 4의 (a)는 염수를 떨어트리기 시작한 상태를 보여준다. (b)는 scintillation 및 dry band가 형성된 형태를 나타내고 극간 주변에는 건조대(dry band)가 형성될 때 염분이 흩어진 것을 알 수 있다. (c)는 초기 불꽃방전이 나타나고 차단기가 동작하였다. (d)는 차단기가 동작한 후 전원이 지속적으로 공급되며 화재로 이어지는 것을 확인할 수 있었다.

(2) 외형분석

재현실험을 통해 절연파괴된 누전차단기의 전원측과 화재현장에서 수거한 누전차단기의 전원측을 비교하였다.



(a) 재현된 물품



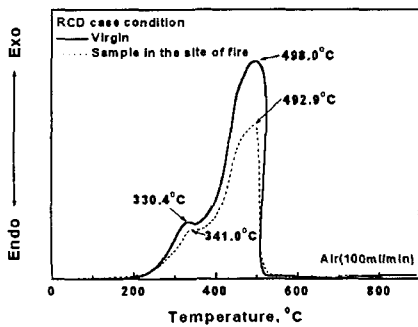
(b) 화재현장 수거물품

그림 5. 트래킹에 의해 열화된 누전차단기 비교

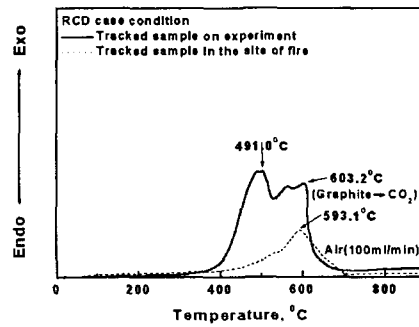
전원측 단자 및 절연재료(외함)부분에서 국부 과열에 의한 탄화흔적이 발견되었다. 그림 5의 (a)는 재현실험을 통해 절연파괴 시킨 것으로 극간에 약 25.7Ω의 절연저항이 측정되었다. (b)의 경우 국부 소손된 극간 저항을 측정한 결과 약 58.6Ω이 측정되어 탄화도 전로가 형성된 것을 확인할 수 있다.

(3) 열특성 분석

유기질 절연재료는 열적으로 쉽게 변형되거나 탄화되어 비교·분석할 때 중요한 요소가 된다. 절연재료가 누설전류에 의해 도전성으로 바뀌면 흑연화되어 약 600℃ ~ 700℃ 사이에서 이산화탄소로 연소된다. 이는 페놀수지의 탄화도전에 의해 결정구조가 바뀐 탄화물을 구분하는 중요한 요소가 된다.



(a)



(b)

그림 6. 시차열분석에 의한 전기적 열적 열화 구분

그림 6의 (a)는 정상시료와 외부화염에 의해 탄화된 누전차단기 외함을 열분석기로 분석한 것이다. 정상시료는 330.4℃와 498.0℃에서 발열에 의한 피크가 나타났고, 외부화염에 의해 탄화된 재료는 341.0℃와 492.9℃에서 각각 발열에 의한 피크가 나타났다. 열적인

영향을 받은 경우 발열피크의 크기가 다르지만 거의 유사한 곳에서 피크가 발생하는 것을 확인하였다. 재현실험에 의해 트래킹된 시료(그림 6(b)의 실선)는 491.0℃와 603.2℃에서 각각 발열에 의한 피크가 확인되었다. 또한, 화재현장에서 수거한 시료(그림 6(b)의 점선)는 593.1℃에서 발열피크가 확인되었다.

(4) FT-IR 분석

적외선 분광기를 이용하여 트래킹 열화된 재료표면의 화학적 변화를 분석하였다.

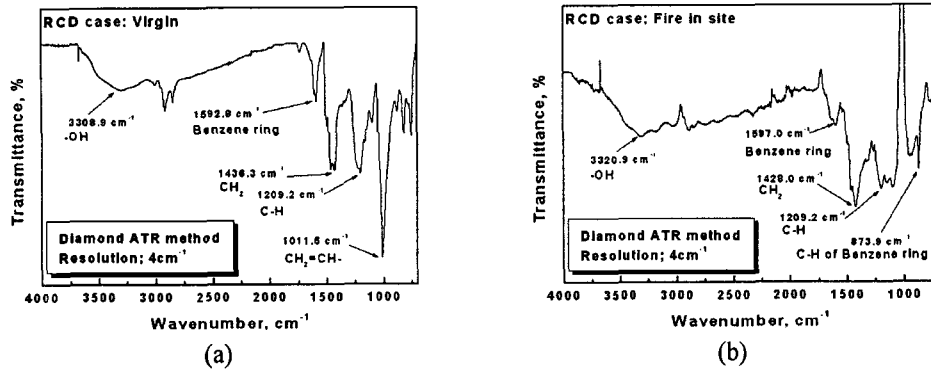


그림 7. 적외선 흡광스펙트럼에 의한 정상 및 열열화 시료의 비교

그림 7의 (a)는 정상시료로서 페놀수지의 결합형태를 확인할 수 있고 3309.9cm⁻¹, 1592.8cm⁻¹, 1436.8cm⁻¹, 1209.2cm⁻¹, 1011.5cm⁻¹에서 적외선 흡광피크가 확인되었다. (b)는 열열화에 의해 소손된 것으로 3320.9cm⁻¹, 1597.0cm⁻¹, 1428.0cm⁻¹, 1209.2cm⁻¹, 873.9cm⁻¹에서 흡광피크가 나타났다.

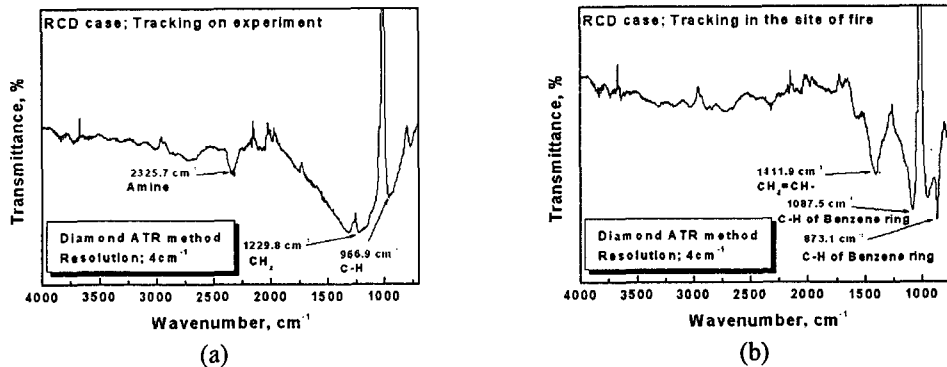


그림 8. 적외선 흡광스펙트럼에 의한 실험 및 화재현장에서 수거한 시료의 비교

그림 8의 (a)는 재현실험을 통해 얻은 것으로 1229.8cm⁻¹, 966.9cm⁻¹에서 적외선 흡광피크가 확인되었다. (b)는 화재현장에서 수거한 것으로 1411.9cm⁻¹, 1087.5cm⁻¹, 873.1cm⁻¹에서 흡광피크가 나타났다. 그림 7과 비교하였을 때 벤젠고리(benzene ring)의 결합구조로 추정되는 1590cm⁻¹근처에서의 흡광피크가 없는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

재현실험을 통해 전기화재 중 트래킹 열화에 의해 발생하는 원인을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 트래킹에 의한 화재진전은 분진이나 염수, 기타 오염요소에 의해 열화된 것으로 scintillation 및 dry band, 초기 불꽃방전에 의한 차단기 동작, 화재진전의 순으로 발생하였다.

2) 재현실험에 의한 누전차단기 전원입력부의 극간 절연저항은 약 25.7Ω이고 화재현장에서 수거한 차단기의 극간 절연저항은 58.6Ω이었다.

3) 열특성 분석결과, 정상시료는 330.4℃와 498.0℃에서 발열에 의한 피크가 나타났고, 외부화염에 의해 탄화된 재료는 341.0℃와 492.9℃에서 각각 발열피크가 나타났다. 재현실험에 의해 트래킹된 시료는 491.0℃와 603.2℃에서 발열피크가 나타났고 화재현장에서 수거한 시료는 593.1℃에서 발열피크가 나타났다.

4) FT-IR 분석결과, 트래킹에 의해 탄화된 외함은 정상시료에서 보이는 벤젠고리 (benzene ring)의 결합구조로 추정되는 1590cm⁻¹근처에서의 흡광피크가 없는 것을 알 수 있다.

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. IEC Publ. 112, "Recommended Method for Determining Comparative Tracking Index of Solid Insulating Materials under Moist Conditions", 2nd Ed., 1971
2. ASTM D 3638, "Standard Test Method for Comparative Tracking Index of Electrical Insulating Materials"
3. Chung-Seog Choi, Kil-Mok Shong, Hyung-Rae Kim, Dong-Woo Kim, "A Study on the Characteristics of Tracking Deterioration between Electrodes on Phenolic Resin used for Low Voltage", ICEE 2002 conference
4. Chung-Seog Choi, Kil-Mok Shong, Hyung-Rae Kim, Hyang-Kon Kim, Dong-Ook Kim, Dong-Woo Kim, "A Study on the Flame Pattern and Electrical Properties of Electric Outlet Fired at Standby Mode", KIFSE Trans. Vol. 16, No. 1, pp.39~44, 2002

5. S. Kumagai, N. Yoshimura, "Impact of Thermal Aging and Water Absorption on the Surface Electrical and Chemical Properties of Cycloaliphatic Epoxy Resin", IEEE Trans. DEI Vol. 7, No. 3, pp.424~431, 2000
6. J. Montesinos, R. S. Gorur, B. Mobasher, D. Kingsbury, "Brittle Fracture in Nonceramic Insulators: Electrical Aspects of Microscopic Flaws in Glass Reinforced Plastic(GRP) Rods", IEEE Trans. DEI Vol. 9, No. 2, pp.244~252, 2002