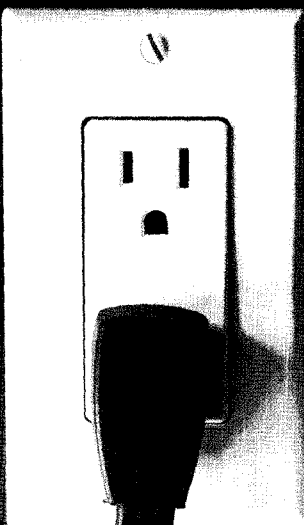


기고

• 화재현장 조사에서 식별되는 트래킹의 재해석

글
· 박영국
한국화재보험협회 부설
방재시험연구원
소화연소팀 대리



화재현장 조사에서 식별되는 트래킹의 재해석

트래킹이란 절연열화의 대표적인 일례이며, 전위 차가 있는 도체 간의 절연체 표면에 탄화도전료가 형성되어 절연이 파괴되는 현상이다. 일반적으로 ①전연체 표면이 도전성을 띠며 ②도체 간에 전기적인 용융흔이 발생하고 ③국부적인 연소형태 등의 흔적을 남긴다. 따라서 이와 같은 형태의 흔적이 식별된다면 트래킹이 발생했다는 것을 의미하므로 화재현장의 조사과정에서 트래킹의 발생여부를 판별하는 것은 그다지 어렵지 않다.

트래킹은 단락 등의 다른 전기적 현상에 비해 전기적인 발열 범위가 비교적 넓고 발열이 지속되는 특징이 있기 때문에 전기적인 발화원으로 작용할 가능성이 매우 크다는 것이 널리 알려져 있다. 또한 현재까지 트래킹은 장기적인 절연열화의 결과물로서 화재로 인해 2차적으로 단기간 내에 발생될 수 없다고 인식되어 왔기 때문에, 화

재현장 조사과정에서 트래킹이 식별되면 트래킹의 식별만으로도 화재원인을 트래킹에 의한 전기화재로 판정하고 있는 것이 실정이다.

그러나 트래킹은 화재현장에서 연소, 탄화물의 축적, 고열의 연소생성물, 소화 시의 주수 등으로 인하여 단기간 내에 발생할 개연성이 있으며, 이는 화재현장 조사사례의 분석 및 실험 등을 통해 입증된 바 있다. 다만 화재현장의 조사과정 또는 증거물의 검사과정에서 트래킹이 식별되는 점만으로도 화재원인을 트래킹으로 판정하는 오류가 아직도 관행적으로 행해지고 있기 때문에, 이를 조금이나마 감소시키기 위해 트래킹에 대하여 재해석을 행하고자 한다.

본 고에서는 화재현장 조사과정에서 식별되는 트래킹이 ①화재로 인한 2차생성물로서 단기간 내에도 발생할 수 있다는 점과 ②발화원인이 아닐 수도 있다는 점을 화재현장 조사사례 및 실험결과를 통해 입증하고, 화재현장의 조사과정 중 트래킹이 식별되는 점만으로는 발화원인을 판정할 수 없으며, 화재원인을 판정하기 위해서는 연소형태 및 기타 전기계통의 충분한 해석을 수행하여 트래킹에 의한 발화개연성을 판정해야 한다는 것을 강조하고자 한다.

2. 본문

가. 트래킹

트래킹은 영국해군에 의해 처음으로 관심을 갖고 검토하게 되었으며, 일본전기학회에서는 '고체 절연재료에서 나타나는 절연열화현상의 일례로서, 고체 절연물 표면에서 전계와 전해질 오손물의 복합작용에 의하여 서서히 탄화도전로가 형성되는 현상을 말한다.(1983)' 라고 정의하고 있다.

고체 절연재의 표면이 도전성을 띠게 되면 결국 절연이 파괴되어 아크가 발생하고 이로 인하여 가연성 고체 절연재 또는 주위의 가연물을 착화시켜 화재로 진행될 수도 있다.

일반적으로 트래킹의 진행 메커니즘은 ①전위 차가 있는 고체 절연재료 표면이 수분, 분진 등으로 오염 ②오염된 부분의 절연성능 저하로 인한 누설전류 발생 ③줄열에 의한 고체 절연재료 표면의 부분적인 건조대 형성 ④건조대 부분에 국부적으로 높은 전계의 형성 ⑤부분적인 절연파괴로 인한 미소발광방전(Scintillation Discharge) 발생 ⑥방전으로 인한 고체 절연재료의 분해 및 도전성 탄화물 생성, ⑦지속적인 방전 및 탄화물 생성과 축적, 탄화물로 인한 국부적인 고전계부분의 형성 및 이로 인한 방전 발생 등의 반복 및 촉진 ⑧탄화물 형성부분의 확장에 의하여 고체 절연재 표면에 탄화도전로 형성 ⑨절연파괴 등의 과정을 거치는 것이 일반적이다.

고체 절연재 표면에 트래킹이 발생하여 진전되고, 절연파괴에 이르면데 소요되는 시간은 전위 차 등의 전기적인 특성, 수분 및 분진 등 오염물질의 특성, 열적 조건 등에 따라 다르지만, 수 일에서 수 년 또는 그 이상이 소요된다는 것이 일반적인 견해이

트래킹은

절연열화의 대표적인 일례이며,
전위 차가 있는

도체 간의 절연체 표면에
탄화도전로가 형성되어
절연이 파괴되는 현상이다.

다. 이와 같이 트래킹은 장기적인 절연열화현상이기 때문에 화재로 인한 2차적인 생성물로 볼 수 없다는 것이 지배적인 견해였다. 그로 인해, 화재현장에서 트래킹이 식별되는 점만으로도 발화원인을 트래킹에 의한 전기화재로 오판하는 경우가 발생하고 있는 실정이다.

【참고사항】

일본전기학회에서는 '절연물 표면상에 전해질 오손물이 없어도 표면 부근의 기중방전의 결과로서, 탄화도전로를 형성하는 것이 있다. 이 건식 탄화도전로를 트래킹이라 한다.'고 정의하고 있다. 이와 같이 일본에서는 수분이나 먼지 등에 의해 발생하는 트래킹을 습식 트래킹(Wet-tracking), 수분이나 먼지 등이 없는 상태에서 방전에 의하여 발생하는 트래킹을 건식 트래킹(Dry-tracking)이라고 칭하는 경우도 있다. 건식 트래킹의 대표적인 예는 반복적인 스위칭에 의한 결과로서 발생하는 냉온수기 자동온도조절장치(Thermostat)에서의 트래킹이 있으며, 기타 많은 형태의 스위치 기구에서 발생하는 트래킹도 건식 트래킹이라고 할 수 있다.

또한 일본전기학회에서는 금원(金原, 가네하라)현상 및 그래파이트(Graphite)현상에 대해서는 '라스, 울랄' 벽의 누전화재에 있어서 라스가 적열하여 용단될 때 스파크가 발생하며, 이 스파크에 의하여 목재가 부분적으로 심하게 탄화된다. 통상의 화열을 받은 목재는 무정형 탄소가 되어 전류를 흘리지 않지만, 위와 같이 스파크에 의해 탄화된 부분은 흑연화되기 때문에 도전성을 갖게 되는데 이를 그래파이트(흑연화)현상이라 칭한다.'라고 정의를 하고 있다. 궁극적으로 탄화도전로를 생성하는 현상으로서의 트래킹과 그래파이트화는 유사하다고 보아, 트래킹과 그래파이트화를 동의어로서 '트래킹'이라고 통칭하고 있다.

국내에서는 전기기계기구 등에서 탄화도전로를 형성하는 현상은 트래킹이라 칭하고, 목재 등의 전기기계기구 이외에서 탄화도전로를 형성하는 현상은 그래파이트화라고 칭하기도 한다.

나. 화재현장 조사사례

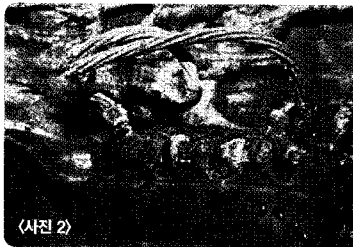
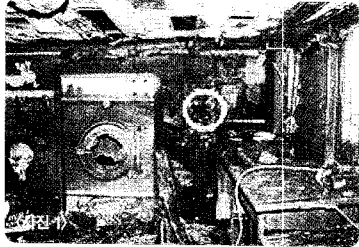
트래킹이 발화원으로 작용되었다는 것을 입증하기 위해서는 '트래킹이 식별되는 개체가 발화지점의 범위 내에 존재해야 한다.'라는 점에는 논의의 여지가 없을 것이다.

〈사진 1〉은 화재현장 조사과정 촬영한 사진으로서, 분전반이 설치된 부분과 주위의 연소형태를 나타낸 것이다. 〈사진 2〉는〈사진 1〉의 ○부분에 설치된 분전반 주차단기의 전원측 단자 부분을 확대한 사진으로 동 부분에 아크에 의하여 단자 일부분이 증발되거나 용융된 점 등의 전기적인 용융흔이 식별되는 점과, 전원측 단자 간의 절연재료가 도전성을 띠는 점, 동 부분에서 국부적인 연소형태가 식별되는 점 등으로 보아, 동 차단기의 전원측 단자에서 트래킹이 발생되었다는 점은 어렵지 않게 입증된다.

이 차단기에서 트래킹이 발생되었다는 점이 입증되었기 때문에, 화재원인을 동 트래킹으로 인한 단락 또는 전기적인 발열 및 용융 등으로 인한 전기화재라고 판정할 수 있을까? 만약 트래킹이 화재로 인하여 2차적으로 발생할 수 없다는 것이 입증되거나, 동 트래킹이 발생된 부분이 발화지점이라는 것이 입증된다면, 동 화재의 발화원

인이 트래킹에 기인하였다는 결론이 도출될 수도 있을 것이다.

그러나 동 트래킹이 식별된 화재현장의 연소형태로 보아 동 분전반의 설치부분을 발화지점으로 볼 수 없는 점과, 동 차단기의 부하측 배선에서 단락흔이 식별되는 점 등으로 보아 트래킹이 화재원인이라고 볼 수 없다.



〈사진 1〉 분전반이 설치된 부분과 주위의 연소형태 (○표시는 분전반 설치 위치)

〈사진 2〉 사진 1의 ○부분, 분전반 주 차단기 전원측 단자의 트래킹 형태 (국부적 연소형태, 탄화도전로, 전기적 용융흔)

〈사진 3〉과 〈사진 4〉는 화재현장 조사과정에서 촬영한 사진으로서, 배선용 차단기(50AF)의 연소형태를 나타낸 것이다. 이 차단기의 전원측 단자 간에서 발생한 아크에 의하여 단자 및 와셔, 볼트 일부분 등이 증발되거나 용융된 점 등의 전기적인 용융흔이 식별되는 점과, 전원측 단자 간의 절연재료가 도전성을 띠는 점, 동 부분에서 국부적인 연소형태가 식별되는 점 등으로 보아, 동 차단기에서 트래킹이 발생되었다는 것은 입증되었다.

그러나 이 사례도 차단기의 설치장소가 연소 중심부와 상당한 거리를 두고 있는 점 등으로 보아, 동 차단기에서의 트래킹은 발화원인으로 작용하지 않은 것으로 판정되었다.

〈사진 3〉 트래킹이 발생한 차단기(50AF의 배선용 차단기, 화재현장 수거) 상단부분의 연소형태

〈사진 4〉 사진 1의 □부분, 트래킹 형태(국부적 연소형태, 탄화도전로, 전기적 용융흔)



다. 연소실험

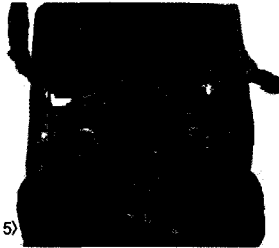
차단기의 전원측 단자에서 화재로 인한 2차적 생성물로서, 트래킹이 단기적으로 발생할 수 있다는 사실을 입증하기 위해 차단기 자체를 직접 연소시키는 연소실험을 행하였다. 실험용 차단기는 점포, 가옥, 사무실 등에서 주 차단기로 일반적으로 사용되고 있는 50AF 누전차단기를 선정하였다.

화재현장 조사사례에서 화재 발생 이후에 진행된 것으로 판정되는 차단기에서의 트래킹 사례가 모두 전원측 단자에서 발생한 점 등을 고려하여 연소실험은 차단기의

전원측 단자부분을 집중적으로 연소시켰으며, 차단기에서 트래킹이 발생할 때까지 연소를 진행시켰다.

〈사진 5~8〉은 차단기의 연소실험 결과로서 트래킹이 발생된 결과의 일례를 나타낸 것이다. 연소실험 과정에서 트래킹의 발생은 전원측 단자 사이의 차단기 체결볼트 부분의 절연재료가 탄화되어 가는 과정에서 발생하였다. 차단기 전원측 단자의 체결볼트 간에서 트래킹이 발생하여 섬광 및 소음과 함께 단자의 일부분 등을 용융시켰으며, 전원측 단자 사이의 절연재는 도전성을 띠었다.

〈사진 5〉 연소과정에서 트래킹이 발생된 차단기 전원측 단자부분의 형태

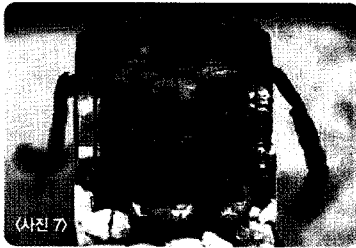


〈사진 5〉



〈사진 6〉

〈사진 6〉 사진 5의 □부분, 트래킹 형태(전기적 용융흔, 탄화도전료)



〈사진 7〉



〈사진 8〉

〈사진 7〉 연소과정에서 트래킹이 발생된 차단기 전원측 단자부분의 형태

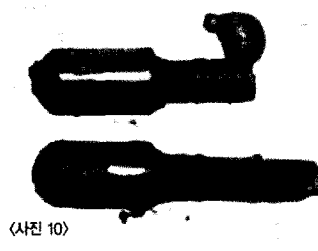
〈사진 8〉 사진 7의 □부분, 트래킹 형태(전기적 용융흔, 탄화도전료)

차단기와 유사한 형태로 콘센트의 칼받이 사이 또는 전원코드의 칼날 사이에서 화재로 인한 2차적 생성물로서, 트래킹이 단기적으로 발생할 수 있다는 사실을 입증하기 위해 콘센트에 전원코드를 접속한 상태에서 연소실험을 하였다. 실험에 사용된 콘센트는 열경화성 수지의 절연재료를 갖는 벽면형 콘센트를 사용하였다.

〈사진 9〉는 콘센트의 연소실험 과정에서 트래킹이 발생하는 상황을 나타낸 것이며, 〈사진 10〉은 동 실험과정에서 트래킹이 발생된 콘센트에 접속되었던 전원코드 칼날의 형태를 나타낸 것이다. 콘센트 칼받이 사이 및 콘센트에 접속된 전원코드 칼날 사이에서 트래킹이 발생하여 섬광 및 소음과 함께 칼날 및 칼받이의 일부분 등을 용융시켰으며, 콘센트 칼받이 사이의 절연재는 도전성을 띠었다.

[참고문헌]

1. R. A. Yereance, "Electrical fire analysis", pp.205-211, TOMAS BOOKS, USA(1995)
2. 최충석, 송길목, 김동우, "누전차단기 외함 전원측 단자사이의 트래킹에 의한 탄화특성 분석", 한국화재소방학회지, 제17권 제4호, pp.13-19(2003)
3. 송길목, 최충석, 노영수, 곽희로, "트래킹에 의해 열화된 페놀수지의 탄화 특성", 전기화학논문지 53C호, 1권, pp.1-7(2004)
4. 김진표, 김만건, "전기화재감식공학", pp. 77, 성안당(2006)



〈사진 9〉 콘센트의 연소과정에서 트래킹이 발생하는 상황

〈사진 10〉 사진 9의 콘센트에 접촉되었던 전원코드 칼날의 전기적인 용융흔

3. 맺음말

이상에서 살펴본 바와 같이 트래킹은 콘센트와 차단기에서 화재로 인한 2차적인 생성물로서 단기간 내에 발생될 수 있으며, 이의 경우에는 트래킹이 발화원인으로 작용했다고 볼 수 없을 것이다. 따라서 화재현장의 조사과정에서 트래킹이 식별된다는 이유만으로 발화원인을 트래킹에 의한 전기화재로 판정하는 것은 잘못된 것이며, 이는 방화, 중대과실 등 다른 원인에 의해 발생한 화재의 조사 및 수사를 어렵게 만드는 치명적인 오류를 범하는 행위이기도 하다.

화재현장 조사과정에서 트래킹이 식별된다면, 연소형태 및 전기계통을 면밀히 조사하고 해석하여 트래킹이 발화원인으로 작용하였는지, 트래킹이 화재로 인해 발생한 2차적 생성물인지를 검토한 후에 발화원인을 판정해야 할 것이다. 특히, 연소형태가 심하여 발화지점의 판정이 어려운 경우 트래킹의 해석을 신중하게 해야 하며, 콘센트나 차단기가 설치된 부분의 직하단에서 발화된 경우에는 연소로 인해 콘센트나 차단기에서 트래킹이 발생할 수 있으므로 특별한 주의가 요구된다. ㉞

5. 박영국, 이승훈, 이상준, 박종택, 송호림, "화재발생 이후 분전반 차단기에서의 트래킹현상 진행 가능성에 대한 사례연구", 한국화재조사학회지 Vol 9, No.1, pp.47-53(2006)

6. 박영국, 오대희, 이승훈, 김진표, 박종택, "화재발생 이후 분전반 차단기에서의 트래킹현상 진행 가능성", 한국화재조사학회지 Vol 10, No.1, pp.37-45(2007)

7. 동경 소방청 화재조사연구회, "화재조사기술교본 제3권", pp. 7-10, 재단법인 동경방재지도협회(1988)