

화재발생 이후 분전반 차단기에서의 트래킹현상 진행 가능성

Possibility of Arc Tracking at the Circuit Breaker After Starting Fire

중앙소방학교 소방과학연구실 박영국 · 오대희 · 서울지방경찰청 과학수사계 이승훈*

국립과학수사연구소 화재연구실 박종택 · 김진표**

Y. G. Park, D. H. Oh, S. H. Lee*, J. T. Park**, J. P. Kim**

요 약

트래킹은 대표적인 전기적인 발화원으로서 화재현장의 조사과정에서 차단기 등에서 트래킹이 식별되는 경우, 트래킹을 발화원인으로 추정할 상태에서 화재조사가 진행되고 있는 것이 실정이며, 이 때문에 방화 또는 실화 등에 의하여 화재가 발생했음에도 불구하고, 발화원인이 트래킹 즉, 전기화재로 오인되는 경우가 있다.

따라서 화재현장에서 식별되는 트래킹이 화재원인으로서 단정할 수 있는 전기적인 특이점인지의 여부를 검증하기 위하여 트래킹이 화재현장의 분위기에서 연소로 인하여 단기간 내에 발생할 개연성을 입증하기 위한 실험을 행하였다.

화재현장의 분위기를 모의하기 위하여 차단기 자체를 직접 연소시키는 연소실험과 화재분위기에서 차단기를 2차적으로 연소시키는 화재재현 실험을 행하였으며, 차단기의 제조사 및 연소상황에 따라 트래킹의 발생시기 및 위치 등에 차이가 있었으나, 모든 차단기의 전원측 부분에서 트래킹이 발생하였다.

실험결과, 차단기에서 연소만으로도 단기간 내에 트래킹이 발생할 수 있다는 사실이 입증되었으며, 화재현장의 화재원인 조사과정 중에 차단기에서 트래킹 형태가 식별되는 점만으로는 발화여부 또는 발화원인에 대하여 논단할 수 없다는 결론을 도출하였다.

Abstract

In this paper, the possibility of arc tracking, caused by combustion at the circuit breaker, was discussed.

The arc tracking, occurred at the source terminals of all the circuit breakers, when we burned electric leakage circuit breakers with 220V applied. We had a same results of the experiment to simulate fire scene, in the circumstance of fire, all of the circuit breakers had arc tracking caused by combustion.

Therefore we confirmed that the arc tracking at the source terminal of circuit breaker could be occurred by just combustion in the fire scene, and it

was impossible to decide the cause of fire for reason of discriminating arc tracking at the terminals of circuit breaker.

Key Words : arc tracking, circuit breaker, combustion, fire scene, investigation

1. 서론

트래킹 현상은 고체 절연재료 표면에서 발생하는 점진적인 절연열화 현상으로서, 배선기구, 전기기기 등에서 발생하는 전기화재의 대표적인 발화원으로 알려져 있으며, 트래킹으로 인한 전기적인 발열 및 용융 등에 의하여 열화된 절연재와 전선 피복이 착화되고 발화에 이를 수 있다는 것은 이미 많은 연구가 행해져있으며, 주지의 사실이다^{1~4)}.

그러나 화재현장 조사과정에서 분전반의 주차단기 전원측 부분에서 트래킹 형태가 식별됨에도 불구하고, 연소형태 또는 연소정도 등의 연소상황으로 보아, 트래킹 현상이 발생한 개소를 발화개소로 볼 수 없는 경우가 있으며, 주차단기의 부하측에서 단락흔 등의 전기적인 특이점이 식별되는 경우도 있다⁵⁾. 이와 같은 경우, 분전반의 차단기에서 발생한 트래킹이 장기간 점진적인 절연열화에 의하여 발생한 것이 아닐 수 있으며, 발화원인으로 작용하지 않았을 가능성이 있다는 것과 화재현장의 분위기에서 단기간 내에 트래킹이 발생될 수 있다는 것을 의미한다.

지금까지 트래킹 현상으로 인하여 발화에 이를 수 있다는 사실에 대해서는 많은 연구가 행해져왔으나, 화재분위기에서 단기간에 트래킹이 발생할 수 있다는 사실에 대해서는 공론화된 연구가 없는 실정이다. 이런 이유로 인하여 화재현

장 조사과정에서 트래킹 형태가 식별되면, 기타 발화원인에 대한 조사 및 감식에 충실하지 않은 상태에서 트래킹을 발화원인으로 판정하는 경우가 많은 실정이다.

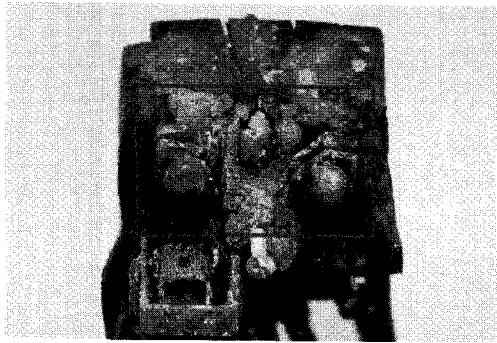
트래킹이 화재현장의 분위기에서 단기간에 발생할 수 있다는 가능성이 입증된다면, 화재현장의 조사과정에서 트래킹 형태가 식별된다고 하더라도 트래킹이 화재로 인한 열기 또는 연소 등에 의하여 발생하는 단락흔 등과 같은 전기적인 특이점의 하나로서 취급 될 수 있을 것이며, 기타 원인에 의하여 발생한 화재의 발화원인이 트래킹 즉, 전기화재로 오인되는 것을 방지할 수 있을 것이다.

따라서, 정확한 발화원인의 판정과 화재의 발생을 미연에 방지할 수 있는 화재예방 측면으로 볼 때, 트래킹 현상이 화재의 분위기에서 단기간에 발생할 수 있는가의 여부에 대한 연구의 필요성이 절실하다 하겠다.

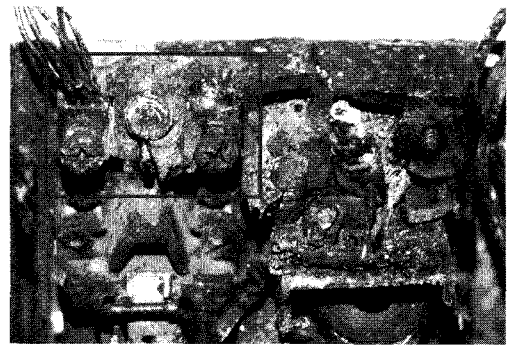
2. 본론

2.1 사례고찰

상용전압에서 고체 절연재료로 일정한 절연거리를 유지하고 있는 이극 도체 사이에서 아크가 발생하여 전기적인 용융이 발생하기 위해서는 트래킹에 의하여 발생하는 아크가 거의 유일하기 때문에 화재현장의 조사과정에서 트래킹 현상이 발생하였다는 사실은 이극 도체 사이에서 전기적인 용융흔이 식별되는 점과 그 용융흔의 형태만으로도 입증 가능하다.



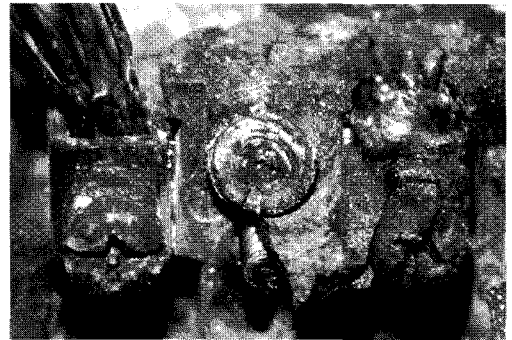
〈Figure 27〉 트래킹이 발생한 차단기(50AF, 화재현장 수거) 상단부분의 연소형태.



〈Figure 29〉 트래킹이 발생한 차단기(30AF, 화재현장 수거) 상단부분의 연소형태.



〈Figure 28〉 Figure 1의 □부분, 트래킹 형태 (전기적 용융흔, 탄화도전로).



〈Figure 30〉 Figure 3의 □부분, 트래킹 형태 (전기적 용융흔, 탄화도전로).

Figure 1과 Figure 2는 화재현장에서 수거한 50AF 배선용차단기의 사진으로, 발화개소로부터 이격되어 설치되었던 것이다. 이 차단기는 전원측 단자 간에서 발생한 아크에 의하여 단자의 와셔, 볼트의 일부분이 증발되거나 용융되었으며, 전원선이 용단된 점 등으로 보아, 트래킹이 발생한 것을 알 수 있다. 차단기 전원측 단자간의 절연재료는 일부분이 연소 등으로 인하여 소실되었으나, 남아있는 부분의 표면은 도전성을 띠고 있는 상태이다.

Figure 3과 Figure 4는 화재현장에서 발화개소로부터 거리가 있는 개소에 설치된 차단기의 사진이다. 이 차단기는 30AF의 누전차단기이며, 차단기 전원측 단자 일부분, 고정 볼트 상단, 전원선의 일부분 등이 증발되거나 용융되었으며, 차단기 전원측 단자간의 절연재료 표면은 도전성을 띠고 있다.

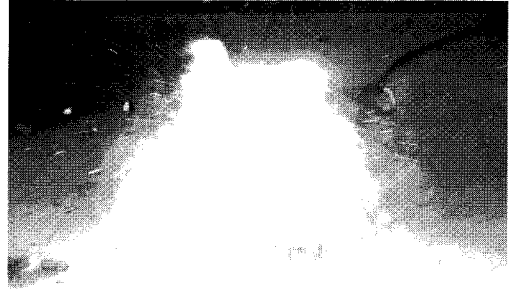
2.2. 연소실험

2.2.1. 실험방법

화재분위기에서 차단기의 전원측 단자에 단기적으로 트래킹이 발생할 수 있다는 사실을 입증하기 위하여 차단기 자체를 토치를 사용하여 직접 연소시키는 연소실험을 행하였으며, 실험에 사용된 차단기는 점포, 가옥, 사무실 등에서 주개폐기로 일반적으로 사용되고 있고 사용빈도가 비교적 높은 3개 제조사의 50AF 누전차단기를 선정하였다.

분전반의 차단기는 자체에서 발화되지 않는 경우, 일반적으로 천장의 상단부분으로부터 하강하는 고온의 연소생성물이나, 플래시 오버 또는 롤오버 단계에서의 화염의 진행 등에 의하여 상단부분으로부터 탄화 및 연소가 진행된다. 또한, 화재의 발생이후에 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.

화재현장에서 주차단기의 전원측 단자부분은 주차단기의 전원측 전선이 분리되지 않는 한, 단락이 발생되어도 소선의 일부뿐만 남아있으면, 전원이 차단되지 않는 것이 일반적인 현상이기 때문에, 화재현장의 분위기와 유사한 조건으로 설정하기 위하여 차단기는 'off' 상태를 유지하였으며, 연소실험 과정 중에 전원선의 단락으로 인하여 전원이 차단되지 않는 형태를 취하였다.



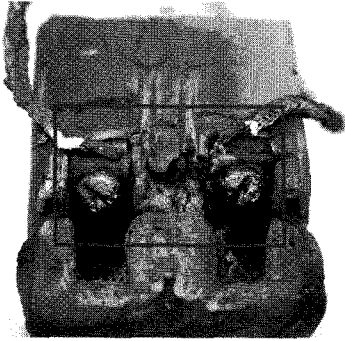
〈Figure 31〉 연소과정에 발생한 트래킹으로 차단기에서 섬광이 발생하는 상황



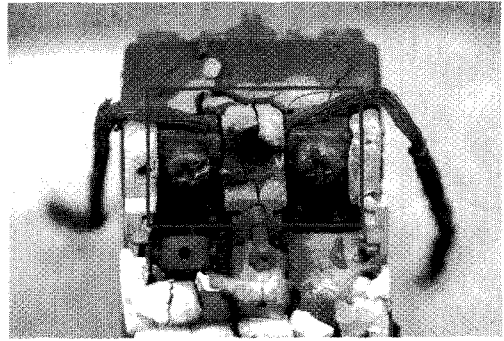
〈Figure 6〉 차단기 전원측 단자간 섬광이후에도 지속되는 스파크 현상.

2.2.2. 실험 결과

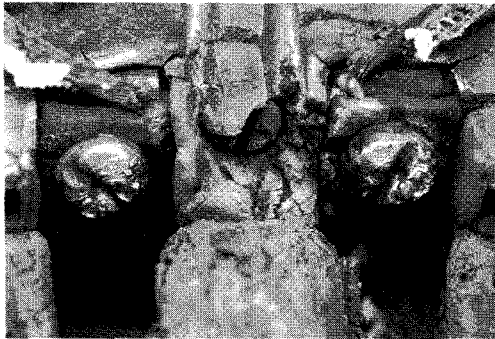
(1) A사 차단기의 연소에 따른 트래킹 발생
A사 누전차단기의 전원측 단자부분은 연소 시에 탄화되고 크랙이 발생하는 형태로 연소가 진행되었으며, 차단기 전원측 단자의 체결볼트 간에서 트래킹이 발생하여 섬광 및 소음과 함께 단자의 일부분 및 전원선 부분을 용융시켰다. 전원측 단자 사이의 절연재는 도전성을 띠었다.



〈Figure 7〉 연소과정에 의하여 트래킹이 발생한 차단기 상단부분의 형태.



〈Figure 9〉 연소과정에 의하여 트래킹이 발생한 차단기 상단부분의 형태.



〈Figure 8〉 Figure 7의 □부분, 트래킹 형태 (전기적 용융흔, 탄화도전로).



〈Figure 10〉 Figure 9의 □부분, 트래킹 형태 (전기적 용융흔, 탄화도전로).

(2) B사 차단기의 연소에 따른 트래킹 발생

B사 누전차단기의 전원측 단자부분은 연소 시에 백화연소와 크랙이 발생하는 형태로 연소가 진행되었다. 백화연소가 진행된 절연재료의 표면은 도전성을 띠지 않기 때문에 A사의 누전차단기에 비하여 트래킹의 발생이 늦어졌다. 트래킹의 발생은 전원측 단자 사이의 차단기 체결bolt 부분의 절연재료 내측이 탄화되고 크랙이 진행되어가는 과정에서 발생하였다. 차단기 전원측 단자의 체결bolt 간에서 트래킹이 발생하여 섬광 및 소음과 함께 단자의 일부분 등을 용융시켰으며, 전원측 단자 사이의 절연재는 도전성을 띠었다.

(3) C사 차단기의 연소에 따른 트래킹 발생

C사 누전차단기의 전원측 단자부분은 B사의 경우와 동일하게 연소 시에 백화연소와 크랙이 발생하는 형태로 연소가 진행되었다. 백화연소가 진행된 절연재료의 표면은 도전성을 띠지 않기 때문에 A사의 누전차단기에 비하여 트래킹의 발생이 늦어졌다. 트래킹의 발생은 전원측 단자 사이의 차단기 체결bolt 부분의 절연재료 내측이 탄화되고 크랙이 진행되어가는 과정에서 발생하였다. 차단기 전원측 단자의 체결 bolt간에서 트래킹이 발생하여 섬광 및 소음과 함께 단자의 일부분 등을 용융시켰다. 전원측 단자 사이의 절연재는 도전성을 띠었다.



〈Figure 11〉 연소과정에 의하여 트래킹이 발생한 차단기 상단부분의 형태.



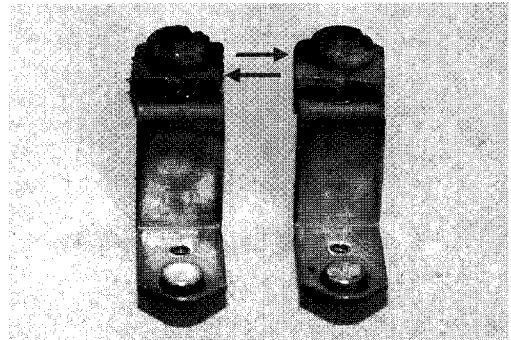
〈Figure 12〉 Figure 11의 □부분, 트래킹 형태 (전기적 용융흔, 탄화도전로).

차단기는 트래킹이 발생한 후에도 연소과정을 지속시켰기 때문에 연소과정에서 절연재료의 대부분이 소실되어 형체를 상실하였다.

2.3.2. 실험 결과

(1) A사 차단기의 트래킹 형태

A사 누전차단기는 화재재현 실험에 따른 연소 진행 과정에서 전원측 단자 간에서 트래킹이 발생하여 섬광 및 소음과 함께 단자의 일부분 등이 용융되었다.



〈Figure 13〉 연소과정에 의하여 트래킹이 발생한 차단기 전원측 단자부분.

2.3. 화재현장 재현실험

2.3.1. 실험방법

차단기를 화재실험동 벽면에 설치하고 하단에서 목재 등을 연소시켜 화염 또는 열기가 차단기의 전원측 단자에 근접되도록 하였으며, 3개 제조회사의 차단기 전체에서 트래킹이 발생할 때까지 실험을 지속하였다. 화재재현 실험과정에서 3개 제조사에서 제작된 차단기에 미치는 화염 및 열기의 진행방향 및 정도 등의 조건에 차이가 있었기 때문에 차단기에서 발생한 트래킹의 위치 및 형태 등이 다르게 나타났다. 또한,

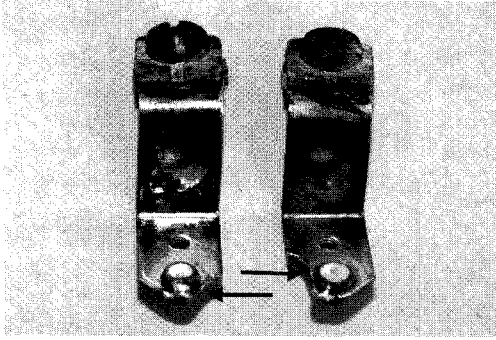


〈Figure 14〉 Figure 13의 ←, →부분, 차단기 단자의 트래킹 형태(전기적 용융흔)

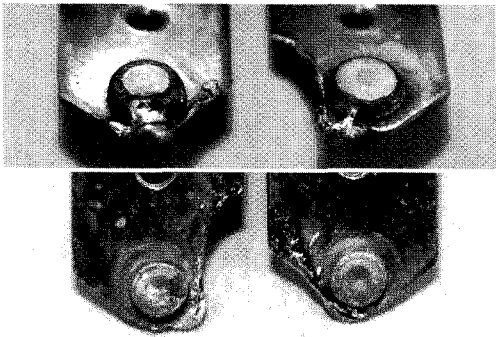
(2) B사 차단기의 트래킹 형태

B사 누전차단기는 화재재현 실험에 따른 연소

진행 과정에서 전원측의 접점 간에서 트래킹이 발생하여 접점 및 주위 부분 등이 용융되었다.



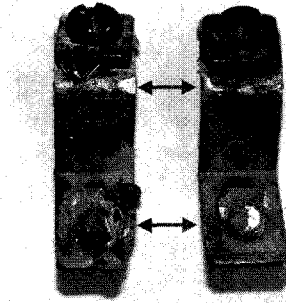
〈Figure 15〉 연소과정에 의하여 트래킹이 발생된 차단기 전원측 단자부분.



〈Figure 16〉 Figure 15의 ←, →부분, 차단기 단자의 트래킹 형태(전기적 용융흔)

(3) C사 차단기의 트래킹 형태

C사 누전차단기는 화재재현 실험에 따른 연소 진행 과정에서 전원측 단자부분의 트래킹이 선행되어 발생하고, 이후 전원측 접점 간에서 트래킹이 지속되었으며, 전원측 단자부분, 접점 및 주위부분 등이 용융되었다.



〈Figure 17〉 연소과정에 의하여 트래킹이 발생된 차단기 전원측 단자부분.

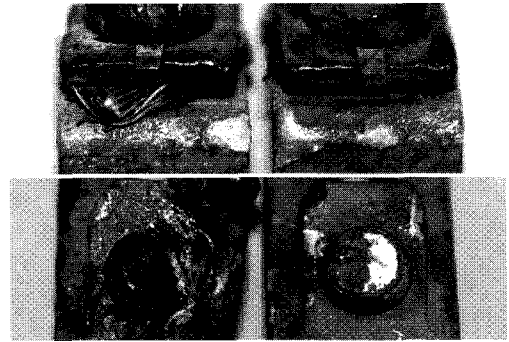


Figure 18. Figure 17의 ↔부분, 차단기 단자의 트래킹 형태(전기적 용융흔)

2.4. 고찰

연소실험 결과, 3개 제조회사의 차단기가 모두 연소가 진행됨에 따라, 전원측 단자 간에서 트래킹이 발생하여 전원측 단자부분의 볼트, 압착단자, 전원선의 일부분 등을 용융시켰으며, 전원측 단자 사이의 절연재료는 모두 탄화도전로(수십옴)를 형성하는 것으로 나타났다.

화재현장의 재현실험 결과, 3개 제조사의 차단기는 그 발생 상황은 다르지만, 모두 트래킹이 발생하였다. A사 차단기와 C사 차단기는 전원측 단자 간에서 최초 트래킹이 발생하였으며, C사

차단기는 전원측 점접부분에서 트래킹이 발생하였다.

연소실험과 화재현장 재현실험 결과를 통하여 화재현장에 설치된 차단기는 전원측 단자부분이 연소되는 과정에서 단기간 내에 전원측 단자부분 등에서 트래킹이 발생할 수 있다는 사실이 입증되었다.

또한, 화재현장 재현실험 결과에서 알 수 있듯이 화재현장에서 연소되어 발생하는 트래킹은 전원측 단자사이에 국한되는 것이 아니라, 연소형태 및 연소정도에 따라 점접 부분 등의 다양한 개소에서 트래킹이 발생할 수 있다는 결론이 도출되었으며, 이는 트래킹의 형태 및 발생개소만으로는 트래킹이 화재의 연소로 인하여 발생된 것인가 또는 트래킹이 최초 발화원인으로 작용하였는가를 판별할 수 없다는 것을 의미한다.

화재현장의 발화원인 조사과정에서 트래킹이 식별되었다면, 트래킹의 해석은 주위의 연소정도 및 연소형태, 전기적인 특이점의 발생상황 등을 정확하게 해석하여 트래킹이 최초 발화원인으로 작용했을 가능성을 추론하여야 할 것이다.

또한, 화재현장에서 차단기는 연소정도가 심해질수록 트래킹의 발생가능성이 높아진다고 할 수 있으므로, 전소되어 발화개소를 정확하게 판정할 수 없는 경우에 차단기에서 트래킹 현상이 식별될 때는 트래킹의 의미를 구체적으로 판정하는 것이 어려워질 수 있다.

3. 결론

화재현장의 조사과정에서 분전반의 주차단기 전원측 단자부분에서 최초 발화원인으로 작용했다고 볼 수 없는 트래킹이 식별되어, 이의 사례

를 연구하고, 차단기 전원측 단자에서 화재현장의 연소과정의 단기간 내에 트래킹 현상이 발생할 수 있는가를 입증하기 위하여 연소실험과 화재현장 재현실험을 행한 결과, 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

- (1) 분전반의 주차단기는 화재현장에서 전원측 단자부분이 연소되는 과정의 단기간 내에 전원측 단자부분에서 트래킹 현상이 발생할 수 있다.
- (2) 화재현장의 연소과정 및 연소형태 등에 따라 분전반 주차단기 전원측 부분에서 발생하는 트래킹은 그 위치 및 형태가 달라질 수 있다.
- (3) 화재현장 조사과정에서 분전반의 주차단기 전원측 단자부분에서 트래킹 형태가 식별된다는 점만으로는 동 트래킹이 최초 발화원인으로 작용했다고 판정할 수 없으며, 이의 판정을 위해서는 연소형태 및 전기계통을 종합적으로 검토하여 트래킹으로 인한 발화가능성을 검토하여야 한다.
- (4) 화재현장의 정밀조사를 행하지 않고, 분전반 차단기에서 식별되는 트래킹 형태만으로 분전반 차단기에서의 발화여부 또는 발화원인을 판정하는 것은 불가능한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. R. A. Yereance, "Electrical fire analysis", pp.205-211, TOMAS BOOKS, USA(1995).
2. 송길목, 최충석, 노영수, 곽희로, "트래킹에 의해 열화된 페놀수지의 탄화 특성", 전기학회 논문지 53C호, 1권, pp.1-7(2004).
3. 최충석, 송길목, 김동우, "누전차단기 외함 전원측 단자사이의 트래킹에 의한 탄화특성 분

석”, 한국화재소방학회지, 제17권 제4호, pp. 13-19(2003).

4. 김만우, “화재조사용어집”, pp.463, 신평문화사 (2004).
5. 박영국, 이승훈, 이상준, 박종택, 송호림, “화재발생 이후 분전반 차단기에서의 트래킹현상 진행 가능성에 대한 사례연구”, 한국화재조사학회지 Vol 9, No.1, pp.47-53(2006).