

1. 머리말

접촉 불량이란 전로(도체) 접속부분의 접속이나, 접점 부분의 접촉이 불완전한 경우 등에 의하여 접속(접촉)부분의 접촉저항이 국소적으로 증가하는 현상을 말한다. 접촉저항이 증가하면, 국소적으로 저항이 높은 부분에서 저항발열($H=0.24 \times R \times I^2 \times t[\text{cal}]$)에 의해 열 현상이 발생하여 전로 자체의 절연물이나 주위 가연물이 착화되어 발화·화재에 이를 수 있다. 본 고에서는 접촉 불량으로 인하여 발생한 화재사례 중에서 접속이 불완전하여 발생한 화재에 대한 조사사례를 소개하고자 한다. 정확한 화재 원인조사를 통하여 화재의 발생원인이 규명된다면, 화재를 예방할 수 있는 유효한 방법을 찾을 수 있을 것이다.

2. 발생원인

접촉 불량은 모든 접속부분과 접점부분에서 발생할 수 있으며, 전기배선, 배선기구, 전기기계·기구에는 대부분의 경우 접속개소나 접점을 갖기 때문에 접촉 불량에 의한 화재위험성은 거의 모든 전기계통에서 항상 존재한다고 할 수 있다. 실제로 일본 통계(일본화재학회지, Vol. 52 No. 6 2002. 12, pp21-27, 동경소방청 예방부조사과)의 예를 보면, 전기설비 화재의 출화원인 중에서 접촉불량에 의한 화재의 발생비율이 40%로서, 단락(17.16%), 트래킹(8.99%), 지락(8.78%) 등에 비하여 월등히 높은 비중을 차지하고 있다. 일본과 우리나라의 화재통계를 직접 비교한다는 것은 무의미하지만, 접촉 불량에 의한 화재가 많다는 것은 사실일 것이다. 따라서 화재조사 과정에서 모든 접속개소와 접점부분을 조사하는 것

은 당연하다고 할 수 있다.

접속개소의 접촉 불량 발생원인은 ①전선 간 비틀림 또는 접속부분의 풀림 ②커넥터의 결합 또는 접속 불량 ③콘센트와 전원코드 플러그의 접속력 저하 ④차단기 등의 충전부 연결 볼트, 너트, 와셔, 슬리브, 압착단자의 풀림 ⑤접속기구의 미사용, 부적절한 시공 ⑥PCB의 부품 및 소자부분의 납땜 불량 등을 들 수 있다. 접점의 접촉 불량 발생원인은 ①접점재료의 증발, 마모 등에 의한 접점의 소모 ②접점 표면에 먼지 등의 이물질 부착 ③빈번한 미세 개폐동작(chattering) ④전자접촉기의 접촉 불량 등을 들 수 있다.

3. 조사 사례

접촉 불량에 의한 흔적은 전기적인 발열흔과 용융흔으로 나타난다. 접촉 불량에 의한 화재조사 과정에서는 전기적인 용융흔을 식별해내는 것이 필수적인 요소가 된다. 접촉 불량에 의하여 발생하는 전기적인 용융흔은 발견되는 개소가 접속개소 아니면 접점부분이기 때문에 단락, 지락, 트래킹 등에 의한 전기적인 용융흔과는 쉽게 구분할 수 있다.

콘센트와 전원코드 플러그의 접속부분, 차단기의 단자와 전선의 접속부분 등은 트래킹에 의해서도 용융될 수 있지만, 한 쌍의 접속부분에서 한 쪽 접속부분에서만 전기적인 발열흔 및 용융흔이 식별되는 경우는 접촉 불량에 의한 용융흔이며, 양쪽 접속부분 모두에서 전기적인 용융흔이 식별되는 경우는 트래킹에 의한 용융흔이라고 판별할 수 있다.

트래킹은 절연파괴현상으로서, 양쪽 접속부분 모두에 용융흔이 발생할 수밖에 없지만, 접촉 불량은 저항발열현상이기 때문에 양쪽 접속부분 모두에서 용융흔이 발생되기 어렵기 때문이다. 또한 접촉 불량은 발열흔적이 현저한 반면, 트래킹은 발열흔적이 없거나 있더라도 접촉 불량과는 비교할 수 없을 정도로 약한 발열흔을 남기게 되므로, 전기적인 발열흔과 용융흔이 트래킹에 의한 것인지 또는 접촉 불량에 의한 것인지를 구분하는 것은 어렵지 않다.

가. 조사 순서

접촉 불량에 의한 화재의 조사는 ①발화지점의 판정 ②발화지점의 범위 내에서 접속(접촉)이 불량한 개소의 식별 ③접속(접촉)이 불량한 개소에서 전기적인 발열흔 및 용융흔의 식별 ④접속(접촉) 불량의 발생원인 규명 ⑤최초 착화물 및 연소가 확대된 경로의 확인 ⑥기타 발화원인의 배제 등의 과정을 거쳐 행하는 것이 바람직하다.

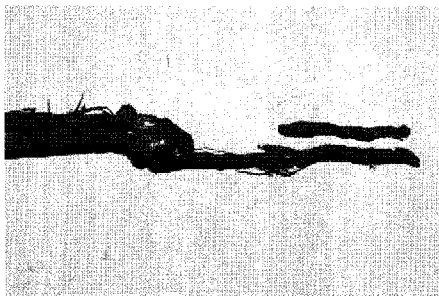
나. 전선의 접속

전선 상호간의 접속은 전기저항이 증가되지 않고, 충분한 기계적 강도

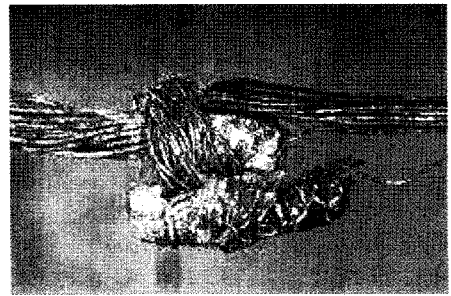
를 유지하기 위하여 슬리브, 압착단자 등의 접속기구를 사용해야 한다. 접속기구를 사용하지 않고, 비틀림 접속으로 접속하면 접속개소의 접촉 저항이 증가할 뿐만 아니라 기계적 강도도 떨어진다.

일반적으로 비틀림 접속을 한다고 하여 접촉저항이 크게 증가하는 것은 아니며, 화재가 발생할 정도의 열이 발생하기 어렵다. 그러나 비틀림 접속은 접속에 의한 기계적 강도가 저하되기 때문에 충격 등의 외력이나 장기간에 걸친 사용환경 등에 의하여 접속개소가 풀릴 가능성이 높아진다. 접속이 풀리면 접속부분의 접촉저항이 증가하며, 이로 인한 저항발열로 인해 화재에 이를 수 있다. <사진 1>과 <사진 2>는 접속된 전선의 연소상황 및 접속상황을 나타낸 것이며, <사진 2>에서 전선의 접속이 불완전한 상태임을 알 수 있다.

화재원인은 전선의 접속이 불량한 상태를 보이는 사실, 접속개소에서 전기적인 발열현 및 용융현이 식별되는 사실, 세탁기와 시즈히터가 접속된 2구 콘센트의 전원선으로서 비교적 큰 전류가 흐르는 사실 등을 종합할 때, 접촉 불량에 의한 발화로 판정할 수 있다.

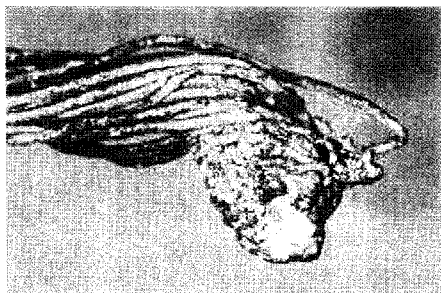


<사진 1> 접속된 전선의 연소상황



<사진 2> 전선의 접속상황

<사진 3>과 <사진 4>는 접속부분을 확대한 것이다. 사진에서 전선의 소선이 가늘어지는 등 전기적인 발열현이 보이며, 전선의 일부부분에서는 전기적인 용융현이 식별되는 상태이다. 또한 <사진 4>에서 적갈색 부분은 지속적인 전기적 발열로 인하여 생성되는 아산화동의 형태로 볼 수 있는 부분이다.



<사진 3> 전선 접속부의 확대사진

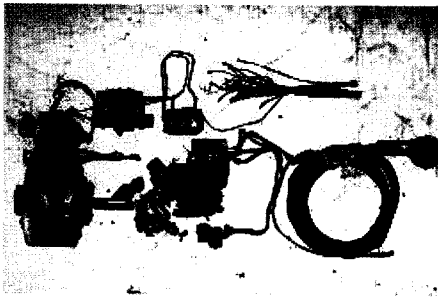


<사진 4> 접속부의 전기적 발열 및 용융현

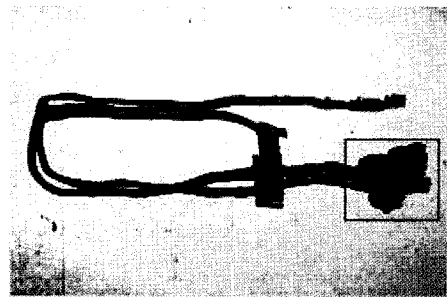
다. 커넥터

커넥터는 전선의 접속에 사용되는 기구로서, 대부분의 전기기기에 사용되고 있기 때문에 화재의 발생빈도도 높다고 할 수 있으며, 정밀조사가 필요한 부분이다. 접촉 불량에 화재발생은 저항발열현상에 기인하기 때문에 전류가 클수록 화재발생의 위험도가 높으므로 전류가 큰 부분의 커넥터는 더 세심한 주의가 필요하다.

〈사진 5〉는 에어컨 실내기의 전기부품을 분리한 사진이다. 이 에어컨은 실내기의 PCB에 실외기로 전원을 공급하는 전원선이 접속되어 있는 상태이다. 〈사진 6〉에 에어컨 실외기의 전원선 및 커넥터의 상황을 나타내었다. 사진의 □표지 부분이 커넥터이다.



〈사진 5〉 에어컨 실내기 부품의 연소상황



〈사진 6〉 실외기 전원선 및 커넥터의 상황

〈사진 7〉과 〈사진 8〉에 커넥터 한 쌍의 연소상황과 커넥터에서 보이는 전기적인 발열흔 및 용융흔의 형상을 나타내었다. 한 쌍으로 존재하는 커넥터 2점 중 한 점에서만 발열흔 및 용융흔이 형성된 사실과 이 발열흔 및 용융흔의 형상은 전기적인 특이점 중에서도 자체의 발열, 즉 접촉 불량에 의한 발열 이외에는 형성될 수 없는 사실을 종합해볼 때, 화재의 원인은 접촉 불량에 의한 전기적인 발열 및 용융으로 판정할 수 있다.

이 실내기는 화재발생 직전에 A/S를 받은 사실이 있으며, 외력이 작용하는 경우 커넥터의 접속이 불량해질 수 있는 사실 등으로 보아 접촉 불량 원인은 외력에 의한 불완전한 접속일 가능성이 있다.



〈사진 7〉 커넥터 한 쌍의 연소상황

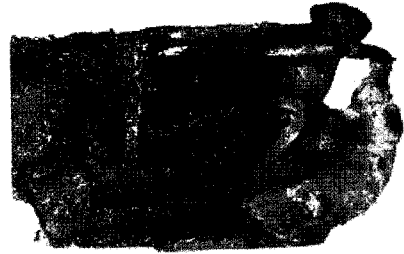


〈사진 8〉 커넥터 발열흔 및 용융흔의 형상

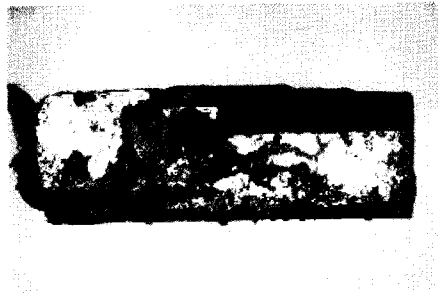
〈사진 9〉~〈사진 12〉는 커넥터 한 쌍의 각 부분을 비교한 사진이다. 〈사진 9〉와 〈사진 11〉은 한 쌍의 커넥터 중에서 형태를 유지하고 있는 부분이고, 〈사진 10〉과 〈사진 12〉는 증발되고 용융된 부분을 나타낸 사진이다.



〈사진 9〉 커넥터 전면의 연소상황



〈사진 10〉 커넥터 전면, 발열흔 및 용융흔의 형상



〈사진 11〉 커넥터 측면의 연소상황



〈사진 12〉 커넥터 측면, 발열흔 및 용융흔의 형상

라. 콘센트와 전원코드 플러그

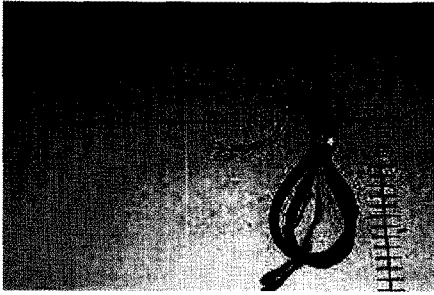
콘센트와 전원코드 플러그는 구리와 아연의 합금인 황동으로 제작되며, 플러그가 콘센트에 접속될 때, 접촉압력은 콘센트 칼받이를 구성하고 있는 황동의 탄성에 의존하게 된다. 콘센트의 칼받이는 콘센트와 플러그의 반복적인 접속과 분리, 장기간의 사용 등으로 인하여 탄성이 약해질 수 있으며, 탄성력의 저하는 접속력의 감소로 이어진다. 따라서 장기간 사용된 콘센트와 전원코드 플러그 사이의 접촉저항은 증가할 수밖에 없으며, 국소적인 저항의 증가로 인한 전기적인 발열로 인하여 콘센트 및 플러그의 절연재가 착화되어 발화·화재에 이를 수 있다.

〈사진 13〉과 〈사진 14〉는 벽면 매입형 2구 콘센트와 여기에 접속된 접지형 전원코드의 연소상황을 나타낸 것이다.

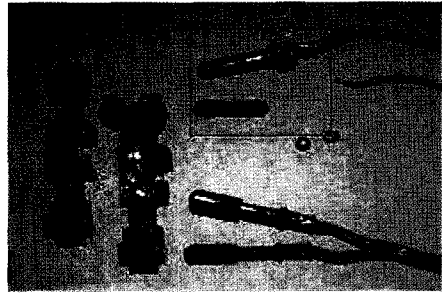
〈사진 14〉의 □표지 부분을 보면, 전원코드 플러그의 칼날 한 쌍 중에서 1점은 발열로 인하여 가늘어지고 일부분이 용융되는 등의 심한 발열형태가 보이는 반면, 나머지 1점은 특이점이 전혀 보이지 않는 상태이다. 또한 발열흔이 보이는 전원코드의 플러그 칼날이 접속된 콘센트의 칼받이에서도 일부분이 증발되고 용융된 형태를 보인다.

전원코드의 칼날 중에서 1점과 이 칼날이 접속된 콘센트의 칼받이 부분

에서만 전기적인 발열흔 및 용융흔이 보이는 점은, 이 특이점이 화재로 인한 열기 등에 의하여 생성되었다고 볼 수 없는 사실과 트래킹이나 단락 등의 기타 전기적인 요인도 배제되는 사실을 종합해 검토해보면, 전원코드의 칼날과 접속된 콘센트의 칼받이 사이의 접촉 불량으로 인하여 접촉저항이 증가했고, 이로 인한 전기적인 발열 및 용융에 의하여 화재가 발생한 것으로 판정할 수 있다.



〈사진 13〉 콘센트와 전원코드의 연소상황

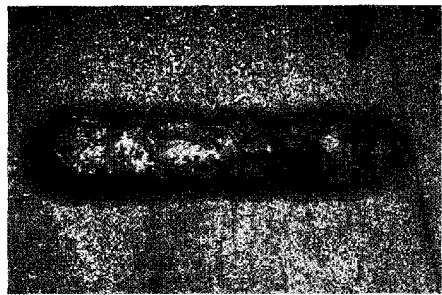


〈사진 14〉 콘센트와 전원코드의 연소상황

〈사진 15〉와 〈사진 16〉은 콘센트 칼받이와 전원코드 플러그 칼날의 접촉 불량에 의한 저항발열 현상으로 형성된 전기적인 발열흔 및 용융흔의 형상을 나타낸 것이다.



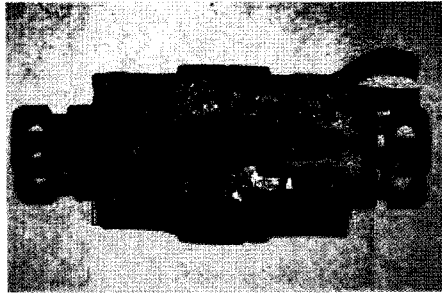
〈사진 15〉 콘센트 칼받이의 상황



〈사진 16〉 전원코드 플러그의 칼날의 상황

〈사진 17〉은 2구 벽면 매입형 콘센트의 연소상황을 나타낸 것이다. 사진의 □부분은 〈사진 18〉과 〈사진 19〉에 보인 바와 같이 국소적으로 심한 연소형태를 보인다. 또한 〈사진 18〉의 콘센트 칼받이를 보면, 칼받이가 벌려진 상태에서 연소되어 탄성을 상실한 상태임을 알 수 있다. 이는 화재발생 당시 콘센트에 전원코드 플러그가 접속되어 있었다는 것을 의미한다.

〈사진 18〉과 〈사진 19〉에서 보인 바와 같이 벽면에 매입된 콘센트의 열경화성 수지가 백화연소되고 일부가 소실될 정도의 연소정도를 갖는 사실과, 국소적인 연소형태를 보이는 사실은 동 연소부분에서 독립적으로 연소가 진행되지 않으면 나타날 수 없는 연소흔적이다. 따라서 이와



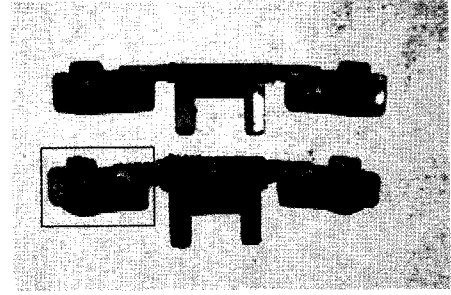
〈사진 17〉 벽면 매입형 콘센트의 연소상황



〈사진 18〉 〈사진 17〉 □부분의 연소상황



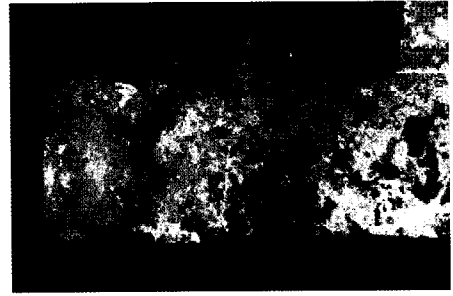
〈사진 19〉 〈사진 17〉 □부분 측면의 상황



〈사진 20〉 콘센트 칼받이의 분해사진

같은 연소형태를 보이는 개체가 있다면, 정밀한 조사가 필요하다.

〈사진 20〉에 콘센트의 분해사진을 첨부하였다. 사진에서 윗부분의 칼받이에 비하여 아랫부분의 칼받이는 심한 수열형태를 보이고 있다. 또한 □부분에서 〈사진 21〉과 〈사진 22〉에 보인 바와 같이 칼받이의 일부 부분이 증발되고 기늘어진 형태와 발열흔 및 용융흔이 식별되는 상태이다.



〈사진 21〉 〈사진 20〉 □부분의 확대사진

이상에서 본 바와 같이, 전원코드의 칼날이 보이지 않더라도 콘센트의 칼받이가 떨어져 있는 상태에서 연소된 사실로 화재 시에 전원코드가 콘센트에 접속되어 있었다는 것을 입증할 수 있으며, 콘센트의 칼받이와 플러그의 칼날 상호간에서 전기적인 발열흔 및 용융흔이 보이는 사실과 동 부분에서 국소적인 연소형태가 보이는 사실 등을 종합하여 접촉 불량으로 인하여 화재가 발생했다는 사실을 입증할 수 있다.

마. 차단기 단자와 전원선

분전반의 주 차단기는 사용하는 부하기기 등에 흐르는 모든 전류를 합한 만큼의 전류가 흐르기 때문에 기타 부분에 비하여 접촉 불량에 의한 발화가능성이 높은 부분이다. 따라서 화재조사 과정에서 접촉이 불량한 개소가 있는지, 전기적인 발열흔 또는 용융흔이 있는지 등에 대한 정밀조사가 필요하다.

〈사진 22〉에 분전반의 50AF 누전차단기의 전원측 단자와 주위의 연소 상황을 나타내었다. 사진을 보면 차단기 전원측 단자에 접속된 전선은 7가닥의 소선 중에서 3가닥이 절단된 상태에서 접속된 것을 알 수 있다. 7가닥의 소선을 갖는 전선을 사용했다라도 4가닥만으로 접속이 행해졌다면 차단기에 접속된 전선의 규격은 7가닥이 아닌 4가닥의 전선을 접속한 것과 같으며, 이는 허용전류가 상당히 저하되기 때문에 과부하 상태의 위험성도 함께 갖고 있다. 또한 차단기 전원측 단자부분은 일부분이 백화되고, 크랙이 생성되는 등의 전소상태를 보이고 있으며, 분전반의 기타 다른 차단기 등에 비하여 국소적으로 심한 연소정도를 보이고 있다.

〈사진 23〉은 차단기의 전원측 단자를 분해한 사진이다. 사진의 좌측 단자와 우측단자를 비교해보면, 육안으로도 우측의 단자부분에 비하여 좌측의 단자부분이 덜 조여졌다는 것을 알 수 있다.



〈사진 22〉 차단기 단자 및 주위의 연소상황



〈사진 23〉 차단기 단자의 분해사진

〈사진 24〉와 〈사진 25〉는 차단기 단자부분과 전선의 접속상황을 나타낸 것이다. 〈사진 24〉에는 전선의 소선 4가닥이 보이는 상태이나 〈사진 25〉의 전선은 증발되고 용융되어 소선의 형태를 상실한 상태이다.

〈사진 26〉은 차단기의 단자부분을 분해한 사진이다. 차단기 단자 내측의 전선은 전선의 형태를 상실한 상태이고, 아산화동현상이 보이는 상태에서, 전기적인 발열이 있었음을 나타내고 있다.

이상에서 접촉 불량에 의한 화재사례를 소개한 바와 같이, 접촉 불량에 의한 화재위험성은 모든 전기배선, 배선기구, 전기기계·기구 등에 존재한다. 화재 조사자의 입장에서 보면 전술한 바와 같이 모든 접속개소와 접점 부분을 빠짐없이 조사해야 되는 것은 정확한 화재원인조사를 위하



〈사진 24〉 차단기 단자와 전선의 접속상황



〈사진 25〉 차단기 단자와 전선의 접속상황



〈사진 26〉 차단기 단자부분의 분해사진



〈사진 27〉 사진 26 □부분의 확대사진

여 필수적일 수밖에 없다.

방화관리자의 입장에서 보면, 전기기계·기구를 분해하면서 내측에 존재하는 접속개소와 접점을 점검하는 것이 현실적으로 불가능하지만, 배선 및 배선기구의 점검은 상시 육안으로도 충분히 점검할 수 있다. 아니, 점검해야만 한다. 접촉 불량뿐만 아니라 트래킹 현상이나 과부하 등으로 인하여 발생하는 화재의 전조현상도 육안으로 검사가 충분히 가능하기 때문이다.

4. 맺음 말

접촉 불량은 사람의 시공불량, 부주의에 기인하는 경우가 많으며, 접촉 불량이 발생하였다고 하더라도 접속개소와 접점의 이상유무만 충실히 점검하면 화재가 발생하기 전에 이를 제거하여 화재를 미연에 방지할 수 있을 것이다. 또한 접촉 불량 화재는 전기화재 중에서 많은 비중을 차지하고 있기 때문에 접촉 불량 화재만 억제해도 화재의 발생이 많이 감소할 것으로 보이며, 많은 인명 및 재산을 보호할 수 있다. 화재예방은 사람이 할 수 있는 아주 중요한 일 중에 하나이다. ☺