

전기콘센트 접촉불량 화재 재현실험

이흥수 / 화재조사센터 대리



1. 머리말

「2010년도 특수건물 화재조사분석」에 의하면 전체 특수건물 대상(27,269건) 중 1,432건의 화재가 발생하였으며, 그 중 전기적인 요인에 의한 화재는 377건으로서, 특수건물 전체화재의 26.3%를 차지하였다. 이러한 전기적인 요인은 절연열화(85건), 과부하/과전류(55건), 접촉불량(34건)의 순서이며, 이 세 가지 요인이 전체 전기화재 원인의 46%를 차지하였다. 국내·외적으로 이러한 원인들에 의한 화재를 예방하기 위하여 수많은 연구와 기술개발이 이루어지고 있으나 현재까지는 배선용차단기(MCCB)와 누전차단기(ELB) 등을 이용하여 절연열화, 과부하/과전류 및 누전 등에 의한 화재를 예방할 따름이며, 접촉불량에 의한 화재는 거의 예방이 불가능한 상태이다. 실제로 2002년 일본 소방통계에 의하면 전기로 인한 화재원인 중 '접촉불량'이 차지하는 비율이 전체 전기화재의 40%를 차지하는 것으로 나타났으며, 이는 전기화재원인 중 가장 높은 비율을 차지하는 수치였다. 전기설비에서 접촉불량이 발생할 수 있는 장소로는 콘센트, 단자 접속부, 전선 간 접속부, 커넥터, 스위치 등 다양한 장소에서 발생할 수 있으며, 접촉불량 개소 주위 부분에 가연물이 존재할 경우에는 과열로 인해 가연물이 착화되어 연소확대 될 수 있는 잠재위험이 있다. 이에 따라 접촉불량이 발생하는 대표적인 사례를 선정하고 접촉불량에 의한 화재를 재현하고, 이 과정에서 나타날 수 있는 위험성과 원인을 규명하여 발화예방 대책을 수립하고자 하였다.

2. 재현실험 대상

일상생활에서 항상 사용하고 있음에도 그 위험성에 대해서는 잘 알려지지 않은 콘센트(정격 250 V, 16 A)의 접촉불량으로 인한 화재를 재현실험 대상으로 하였다. 콘센트는 내부 갈반이 부

분에 전원코드 플러그의 칼날을 접속시켜 전로를 형성하는데, 이러한 콘센트의 잦은 사용과 그릇된 사용방법¹⁾ 등으로 인해 콘센트 내부에서 접촉불량이 발생되고, 그 결과 접속부에서 접촉저항이 증대하여 국부적으로 발열하게 되며, 지속적인 발열로 인해 주위 가연물로 착화되는 현상을 실험을 통하여 재현하고자 하였다.

3. 접촉불량의 화재위험성

일반적으로 전기화재의 원인은 줄열(Joule Heat)에 의한 발열로 볼 수 있다. 줄열²⁾이란 전선에 전류가 흘렀을 때 발생하는 열로서, 전선 안의 자유전자가 다른 전자와 충돌하면서 열이 발생하는 것인데, 접촉불량이 발생하였을 경우에는 점접부분에서의 저항이 국부적으로 증대하여 발열하게 되고, 그 결과 지속적으로 발생된 열이 가연물의 발화점 이상으로 과열될 경우 주위 가연물을 착화시킬 수 있게 된다.

가. 발화 메커니즘

전기회로에는 수많은 접속부가 존재하고 있으며, 그러한 전기접속의 목적은 도체와 도체 간에 전류가 흐를 수 있는 전로를 형성시켜주는 것으로, 도체의 접속에서는 자유전자가 접촉계면을 통하여 도체와 도체 사이를 얼마나 자유로이 이동할 수 있는지가 접속부분의 중요한 열쇠가 된다. [그림 1]과 같이 콘센트는 일반적으로 칼반이 부분에 플러그의 칼날을 접속시키며 전로가 형성되는데, 사용자의 잦은 사용과 그릇된 사용방법 등으로 칼반이의 탄성이 저하되면 [그림 2]와 같이 칼반이의 접속부에서는 소성변형이 일어나게 되어 느슨해진 상태에서 플러그의 칼날부분과의 접속이 불량하게 된다. 그 결과 접속부의 점접에서는 접촉저항이 증가하여 국부적으로 발열하게 되고, 지속적인 발열로 인해 주위 가연물로 착화되어 화재가 발생하게 된다.



[그림 1] 정상적인 콘센트의 내부

[그림 2] 접촉불량으로 변형된 콘센트의 내부

1) 콘센트로부터 전원코드 플러그의 분리 시 흔들거나 비틀을 반복하여 사용하는 방법
2) H는 발열량(cal), I는 전류(A), R은 저항(Ω), t는 시간(sec)을 나타낸다.

나. 화재 시나리오

전기 콘센트의 대부분은 벽체에 설치되어 있으며, 콘센트가 설치된 벽체 주위에는 벽지, 커튼 및 가구 등 다양한 가연물이 존재할 수 있다. 콘센트에 플러그를 삽입한 후 분리하는 과정에서 사용자는 플러그를 흔들거나 비틀어서 분리하게 되며 그러한 행위를 지속적으로 반복하게 된다. 그 결과 콘센트 삽입구 내부에 설치된 칼반이 접속부의 탄성저하에 따른 접촉불량이 발생하여 발열하게 되고 주위 가연물을 착화시키며 화재가 발생하게 된다. 화재가 발생한 후 초기 소화에 실패하게 되면 구획실 전체로 연소가 확대되는 것이 일반적인 상황이나, 내장재 또는 실내 장식물 등을 난연화 또는 방염처리를 하게 된다면 화재로 인한 피해 규모를 경감시킬 수 있으며, 그러한 상황을 실험을 통해 재현하고자 하였다.

4. 재현실험

가. 실험장치

콘센트의 화재 재현을 위하여 일반 주거시설의 실내환경과 유사한 조건을 형성하고자 하였다. 재현실험 세트장의 규모는 2,400mm×1,170mm×2,250mm로서 샌드위치패널 구조의 시험장을 설치하였으며, 세트장의 내부 마감은 콘크리트 바닥에 두께 10mm 석고보드 천장 및 벽체로 마감처리 하였다. 그때의 주위온도는 $24 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 이고, 상대습도는 $40 \pm 2\%$ 로 측정되었다. 실험용 콘센트로 사용된 것은 접지 노출형 2구 콘센트(16A, 250V, KS C 8305)이며, 접촉불량을 유도하기 위한 부하장치로는 전기스토브(정격전압 220V, 소비전력 3kW)를 설치하였다. 안전장치로는 누전차단기(30AF, 정격차단용량 220V 1.5kA, 정격감도전류 30mA, 정격부동작전류 15mA)를 설치하였다. [그림 3]은 실험장치를 보여주고 있으며, 재현실험을 위한 가연물의 종류는 <표>와 같다.



[그림 3] 실험장치(좌측부터 세트장, 접지노출2구 콘센트, 전기스토브)

〈표〉 가연물의 종류

가연물	비 고
종이벽지	가연성 제품, 콘센트 주위 벽면 전체 도배
커튼	방염처리 제품, 1,200 mm × 600 mm × 2개, 전기콘센트 상부로부터 수직거리 100 mm 이격

나. 실험방법

일반적인 주거시설의 실내와 유사한 상황을 재현하기 위하여 각 벽체는 가연성 종이벽지로 도배하였으며, 벽체 하부에는 콘센트를 설치하고 상부에는 커튼을 설치하였다. 커튼은 콘센트의 착화 후 연소확대방지 성능여부를 확인하기 위하여 방염 처리된 제품으로 설치하였다. 콘센트 삽입구에 대해 플러그의 체결과 분리를 수차례 반복하고, 플러그의 분리 시에는 흔들거나 비틀을 계속하여 콘센트 내부 갈반이 부분의 탄성(기계적 강도)이 저하되도록 하였다. 탄성이 저하된 콘센트의 갈반이 부분에 3kW(전류 13A) 용량의 전기스토브 플러그를 체결하고, 접속부에서의 발열로 인해 주위 가연물이 착화될 때까지 실험을 계속하였다. 콘센트 갈반이 부분의 접촉불량으로 인해 콘센트의 플라스틱 외함이 용융되고 착화된 후, 주위 가연물로 연소가 진행되는 상황에 대하여 확인하고, 방염처리된 커튼이 연소확대 방지에 미치는 영향을 파악하였다.

다. 실험결과

콘센트 갈반이 부분의 접촉불량으로 인한 화재 재현실험의 결과는 다음과 같다.

- 1) 콘센트 갈반이 접촉불량에 따른 연기발생 시점은 플러그 체결 후, 4분 7초로 육안 관측되었으며, 플러그 체결 후 5분 19초에 콘센트 외함의 용융이 시작되었다.
- 2) 콘센트 외함의 용융은 4분 24초간 지속되었으며, 플러그 체결 후 9분 43초만에 콘센트가 착화되었다.
- 3) 콘센트에서 발생한 화염은 직상부 종이벽지를 연소시키며 빠른 속도로 연소가 확대되기 시작하였으나, 방염처리된 커튼은 연소시키지 못하고 커튼을 제외한 종이벽지 부분만 연소시켰다.
- 4) 바닥부분에 대해서는 콘센트가 최초 착화된 후 1분 39초만에 콘센트 외함의 용융물이 바닥으로 떨어졌으나, 가연물이 없는 콘크리트 바닥으로 소략됨으로써 연소 확대에는 영향을 미치지 않았다.
- 5) 실험 종료 후 콘센트 직상부에는 화재패턴³⁾중에 하나인 V패턴이 생성되었으며, 커튼으로 보호되었던 부분은 연소되지 않아 Protected area의 흔적을 남겼다.

3) 화재패턴 : 그을음, 고온가스, 열기, 화염 등에 의해 탄화, 소실, 변색, 용융 등의 형태로 손상된 물질의 형상



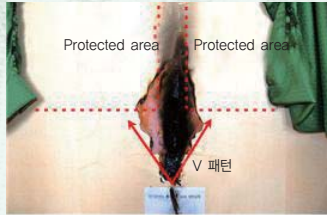
[그림 4] 콘센트 외함의 착화(플러그 체결 후 9분 43초 경과)



[그림 5] 종이벽지를 통한 연소확대 및 커튼으로 인한 연소확대 방지



[그림 6] 콘센트의 용융물(불뚱) 소리(콘센트 착화 후 1분 39초 경과)



[그림 7] V패턴과 Protected area 흔적

5. 실험 후 결론

접촉불량으로 인한 화재위험성을 실험을 통해 확인하고, 그로 인한 화재발생을 근본적으로 예방할 수 있는 대책을 마련하고자 이와 같은 실험을 실시하였다. 본 실험을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 가. 콘센트 칼받이 부분의 탄성이 저하된 상태에서 히터의 플러그가 접속되면 국부적으로 저항이 높아진 접속부에 큰 전류가 흐르게 되고, 동 부분에서는 과열로 인해 외부 점화원 없이 9분 43초만에 발화 될 수 있는 잠재위험이 있다.
- 나. 발화 후 화염은 종이벽지를 통하여 주위 다른 부분으로 확대되었으나, 커튼의 경우에는 방염성능으로 인해 초기 연소확대를 방지할 수 있었으며, 커튼 내부의 벽지 또한 연소확대되지 않는 것으로 나타났다.
- 다. 소화 후에는 콘센트 직상부에 화재패턴 중 하나인 V패턴이 생성되었으며, 커튼으로 인해 미연소된 부분에는 Protected area의 흔적을 남겼고, 이러한 현장자료는 화재원인조사 수행 시에 발화지점을 찾는 기초자료로 활용될 수 있다.
- 라. 콘센트 접촉불량에 의한 화재는 초기 감지가 어려우며, 콘센트의 외함이 용융되어 착화된 후에는 짧은 시간에 주위 가연물을 통해 연소확대 될 수 있는 위험성이 있으므로 올바른 사용방법을 통해 접촉불량 개소가 발생하지 않도록 하고, 콘센

트 주위에는 가연물의 제거 또는 불연화 등 화재발생 원인의 관점에서 예방대책과 피해경감 관점에서의 연소확대 방지대책이 필요하다.

6. 화재예방 및 피해경감대책

접촉불량으로 인한 전기화재의 원인 중 콘센트의 칼받이 부분에서 발생할 수 있는 접촉불량 화재를 재현하였으며, 결론으로부터 도출된 화재예방과 피해경감대책은 다음과 같다.

가. 화재예방대책

- (1) 콘센트 외함이 변형되었거나 발열흔적(색상의 변화)이 보이면 해당 콘센트를 교체할 것.
- (2) 사용 플러그의 칼날부분이 부식되었거나, 이물질 등이 고착되어 있는 경우에는 해당 플러그에 대하여 청소 또는 교체할 것.
- (3) 콘센트에 플러그를 접속하거나 분리시킬 경우 헐겁거나 느슨한 감이 있다면 해당 콘센트를 보수하거나 교체할 것.
- (4) 콘센트에서 플러그를 분리할 때 플러그에서 따뜻한 온감이 느껴진다면 해당 콘센트에 대하여 점검을 받거나 교체를 고려해 볼 것.
- (5) 콘센트로부터 플러그를 분리시키며 발생하는 칼받이 부분의 탄성 저하를 방지하기 위하여 스위치가 있는 콘센트를 설치하고 스위치를 이용하여 전원을 차단할 것.
- (6) 스위치가 없는 콘센트의 경우 장기간 자리를 비우게 될 때에는 콘센트에 접속된 모든 전기기구의 플러그는 콘센트로부터 분리시킬 것.
- (7) 콘센트에 플러그를 접속한 후 분리시킬 경우에는 심하게 흔들거나 비틀어 분리시키지 말고 접속강도 이상의 힘을 가하여 가능한 콘센트가 설치된 벽면과 수직으로 하여 그대로 분리시킬 것.

나. 피해경감대책

- (1) 콘센트가 설치된 벽체의 벽지 등의 내장재는 난연 또는 불연재료로 시공할 것.
- (2) 콘센트 주위의 커튼 등의 가연성 실내장식물은 방염처리된 제품으로 사용할 것.
- (3) 소방법령에서 정한 기준에 적합하도록 소방시설을 설치하고, 상시 사용이 가능하도록 유지관리 할 것. ☞