

화재발생에 관한 메커니즘 Ⅲ

글 김진표 국립과학수사연구소 화재연구실

유형별 화재원인 조사방법 4

(지난호에 이어서)

정확한 화재현장 조사 및 화재원인 조사에 있어서는 화재로 이어지기까지의 발열 메커니즘에 대한 이해가 선행되어야 한다. 화재를 일으키는 발화원인의 기본적인 개념은 에너지이며, 자연현상에서 존재하는 에너지는 형태가 변하더라도 에너지의 양은 같아진다는 에너지 보존법칙에 의존한다.

예를 들어 댐에 저장된 물은 위치 에너지를 가지며, 물이 댐을 통해 떨어지는 과정에서 수차를 회전시키는 운동에너지로 변환되고, 이 운동에너지는 수차와 연결된 터빈발전기에 의해 전기에너지로 변환된다. 발전기에서 만들어진 전기에너지는 최종적으로 우리 일상생활에 필요한 전등의 불빛이나 전열기의 열에너지로 변환된다. 이러한 에너지 변환 과정에서 비정상적인 전달과정(전기회로에서의 단락이나 기계시스템에서의 마찰)에서 발생하는 에너지가 발화원인이 되

는 것으로 볼 수 있다. 또한 물질(가연물)의 관점에서 볼 때, 물질이 발화에 이르게 할 수 있는 에너지 크기를 나타내는 척도를 온도로 표시하며, 이 온도를 발화점이라고 한다. 이렇게 어떤 물질을 발화에 이르게 하는 에너지의 종류에는 나화(裸火), 전기적 발열이나 불꽃, 마찰열이나 충격에 의한 불꽃, 용접불티, 담뱃불 및 화학적 분해나 발효 등이 있다.

가. 나화(裸火)

① 촛불에 의한 화재

촛불은 파라핀, 밀랍 등의 고체연료에 삼입된 심지



(a) 촛불



(b) 라이터



(c) 가스레인지 불꽃

[그림 17] 나화의 종류

에 불을 붙인 것으로, 심지가 타면서 고체 연료가 모세관 현상으로 심지를 타고 올라가 지속적으로 불꽃을 내는데 최고 온도는 1,400℃에 이른다. 촛불은 정상적인 연소 과정에서 쓰러지거나 떨어지는 경우 및 가연물과의 근접 또는 접촉 등에 의해 화재가 발생된다. 일반적으로 양초 1개가 타는데 걸리는 시간은 직경 및 길이에 따라 달라지지만 목적에 따라 10시간 이상 태우는 것이 가능하므로 방화의 목적으로 이용되기도 한다.

양초에 의한 실화의 경우, 대체 조명으로 사용하다 방치하여 넘어지거나, 바닥까지 완전히 타면서 주변 가연물에 착화되는 경우가 많다. [그림 18]은 TV 위에 아로마 양초를 켜두고 외출한 사이 화재가 발생한 것으로 TV에서 발화된 화재와 유사한 연소형상을 나타낸다. 특히 연소 확대 과정에서 TV 전원코드 등에 단락흔 등의 특이점이 형성되는 경우, TV에 의한 전기화재로 오인될 수 있다. [그림 18]에 나타난 사례는 전기적 특이점은 식별되지 않는 상태로 TV 연소 잔해의 바닥면에 양초의 잔해(파라핀 성분이 검출됨)가 식별된다. 이러한 점을 고려할 경우, TV위의 양초가 연소되는 과정에서 TV 플라스틱 외함과 접촉되어 TV를 매개로 연소 확대된 것으로 볼 수 있다.



(a) TV의 연소 형태 (b) TV 바닥면에서 검출되는 양초 잔해

[그림 18] 양초에 의한 화재 사례

② 라이터에 의한 화재

라이터는 구조상 사람이 작동시켜야만 불꽃이 발생하는 구조로, 가연물에 악의적인 목적을 갖고 인위적

으로 화재를 일으키는 방화의 도구로 사용되는 것이 일반적이다. 특히, 위험물 보관 장소 등에서 공기 중에 유증이 형성되어 있는 공간에서 담배를 피우기 위해 라이터를 켜는 순간 폭발을 동반한 화재가 발생하는 사례가 많다.

③ 가스레인지에 의한 화재

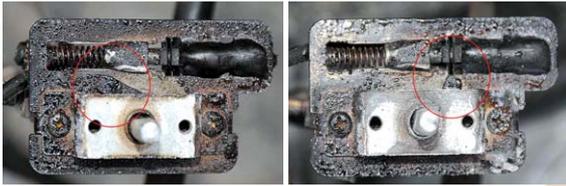
가스레인지와 같은 연소 기구의 불꽃은 주변의 가연물이 접촉되거나 조리기구가 지나치게 가열되는 경우, 화재가 발생할 수 있다. 조리기구가 가열되는 과정에 발생한 화재의 경우에는 조리기구 내부의 음식물이 탄화되는 흔적이 남는다. 따라서 가스레인지에 의한 화재현장의 조사에서는 가스레인지 주변에 가연물 존재 여부 및 조리기구 내부의 음식물 탄화 흔적 등을 필히 검사하여야 한다. 또한 가스레인지의 점·소화 스위치는 화재 인지 후, 조작 변형의 가능성이 있으므로 관계자에 대한 조사과정에서 이점에 유의해야 한다.



(a) 가스레인지의 연소 형태 (b) 좌측 버너 인접 부위에서 식별되는 섬유 잔해

[그림 19] 가스레인지를 이용한 방화 사례

[그림 19]에는 가스레인지에 의한 화재 사례를 나타낸 것으로 방화를 목적으로 가스레인지 위에 청바지를 올려놓은 상태에서 가스레인지를 작동시킨 사례로 가스레인지 버너 부위에 섬유 잔해가 식별되는 특이 흔적이 있다. 가스레인지의 동작 상태는 점·소화 스위치의 상태로 확인 가능하며, [그림 20]에 나타난 바와 같이 점·소화 스위치 갈고리 부분이 좌측으로 완전히 이동된 경우 점·소화 스위치는 점화(켜짐) 상태로 볼 수 있다.



(a) 점·소화 스위치 꺼짐 위치 (b) 점·소화 스위치 꺼짐 위치

[그림 20] 가스레인지 점·소화 스위치의 상태 확인 방법

나. 전기적 원인에 의한 발화

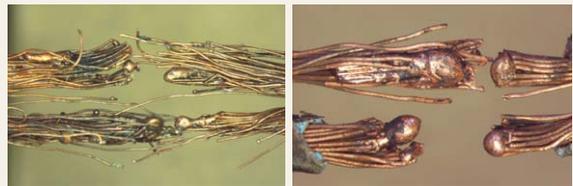
2009년 기준으로 볼 때 전기적 원인에 의해 발생하는 화재는 1만 여건으로 아직까지도 많은 비중을 차지하고 있다. 전기적 원인에 의해 화재로 이어지는 경우, 다른 원인에 의한 화재에 비해 상대적으로 발화가의 의심되는 흔적이 그대로 유지되는 특징을 갖는다.

① 전기합선(단락)

일반적으로 우리가 사용하는 전선은 전류가 흐르는 도체에 절연피복이 싸여져 있는 것이 대부분이다. 그러나 전선 등이 배선 과정에서 꺾임이나 눌림, 마찰 및 경년열화 등에 의해 절연피복이 손상되고, 최종적으로 절연파괴가 발생되는데 이를 전기합선 또는 단락이라고 한다. 절연파괴 과정에서는 고온의 전기적 발열 및 불꽃이 수반되며, 고온의 발열 및 불꽃에 의해 절연피복이나 주변 가연물을 착화시키는 과정에서 화재로 이어지게 된다. 전기합선이 발생되는 경우에는 [그림 21]에 나타난 바와 같이 절연파괴 부위의 도체가 용융되면서 망울 형태의 용융 흔적이 형성되는데 이를 단락흔이라고 한다.

일반적으로 절연파괴 과정에서 형성된 단락흔은 직접적인 화재의 원인으로 작용하며, 이를 1차 단락흔이라고 한다. 또한 단락흔은 연소 확대과정에서

외부 화염에 의해 절연피복이 소실되면서 형성 가능하며, 이때 형성된 단락흔을 2차 단락흔이라고 한다. 1차 단락흔 및 2차 단락흔은 외형상 유사한 형태로 형성되므로 단락흔의 형상만으로 구체적인 단락흔 형성 원인에 대한 판정은 불가능하다. 따라서 단락흔이 식별되는 경우에는 현장의 연소형상 및 배선구조 등을 고려하여 단락흔이 직접적인 발화원인인지를 판단하여야 한다.

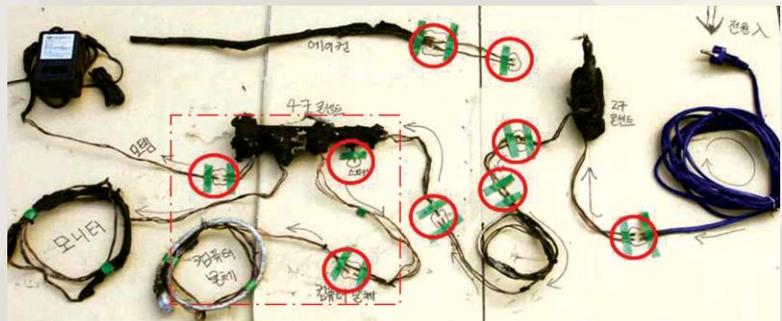


(a) 전기밥솥 전원코드에서의 단락흔

(b) 문서 세단기 전원코드에서의 단락흔

[그림 21] 단락흔의 예

[그림 22]에 나타난 바와 같이 확장형 콘센트(멀티탭)를 사용하는 경우, 동시다발적으로 여러 부분에서 단락흔이 형성될 수 있는데 배선구조를 고려하면 최종 부하 측에 해당되는 단락흔은 좌측 네모 박스 부분으로 4구 확장형 콘센트에 접속된 3개소의 단락흔이다. 나머지 부분은 3개소의 단락흔에 비해 상대적으로 전원 측에 해당하므로 연소 확대 과정에서 절연피복이 소실되면서 형성된 것으로 볼 수 있다.



[그림 22] 동시다발적으로 형성된 단락흔의 구분

② 누전/지락

누전은 정상적인 전류의 흐름 이외의 부분으로 전류가 누출되어 기타 금속 부분을 통해 대지로 새어나가는 것을 의미하며, 누전이 발생하는 부분을 누전점, 누전이 발생되어 대지로 흘러가는 도중 발열이 발생하는 부분을 발열점, 누전경로의 금속 부분과 대지와의 연결 통로가 되는 접지점으로 구성된다. 누전에 의해 발열이 발생되기 위해서는 최소 200~500mA 이상의 누설전류가 흘러야 하며, 실제 누전에 의한 화재가 발생하는 경우 누전점, 발열점 및 접지점을 구분하기는 쉽지 않다. 또한 누전차단기 설치 개소에서는 30mA의 상대적으로 낮은 범위에서 차단기가 동작되도록 설계되어 있기 때문에 정상적으로 누전차단기가 설치되는 경우, 누전으로 인한 화재 발생은 일어나기 어렵다.



(a) 팬터그래프 부분의 사진 (b) 지하철 차량 지봉의 용융 형태

[그림 23] 지락에 의한 화재 사례

누전의 단계를 초과하여 전원공급선이 직접적으로 금속 부분 또는 대지와 접촉되는 경우, 누전에 비해 상대적으로 큰 전류가 흐르게 되는데 이를 지락이라고 한다. 전봇대 등에 설치되는 고압선이 땅으로 떨어지는 경우, 큰 전류가 대지로 직접 방출되는데 이러한 현상으로 이해할 수 있다. [그림 23]에 나타난 예는 DC 1,500V를 사용하는 지하철 차량에서 발생한 지락으로 인한 화재사고의 예로서 전원공급선과 직접 접촉되는 팬터그래프(Pantagraph)와 접지 측에 해당하는 차량의 금속 외함이 직접 접촉되면서 지락을 일으키고, 이때 발생한 전기적 발열에 의해 금

속 외함의 차량 지봉이 용융된 것을 확인할 수 있다.

③ 반단선

일반적으로 가전기구의 경우에는 전원공급을 위한 전원코드에 가는 소선(0.18mm 또는 0.26mm)을 여러 가닥 꼬아서 만든 연선을 사용하는데, 이를 일반적으로 코드 또는 전원코드라고 한다. 이렇게 가는 소선으로 구성되는 코드는 반복적인 콘센트와의 꽂음과 분리, 또는 이동용 기기의 전원코드 인입단에서 반복적인 꺾임 및 장력의 영향으로 소선 중 일부가 단선될 수 있다. 이렇게 되면 단선 부위에서 단선된 소선 간의 접촉과 분리 및 접촉저항의 증가 등에 의해 국부적인 발열이 발생되고, 동 발열에 의해 단선부분이 증가한다. 이에 따라 동 부위에서의 발열량도 증가되어 최종적으로 전기합선으로 이어지며, 절연피복이나 주변 가연물을 착화시키면서 화재로 진전된다. 초기 소선의 일부가 단선된 부분을 중심으로 발열이 발생되므로 용융된 흔적의 망울이 여러 개의 형태로 형성되는 특징을 갖고 있다.

[그림 24]에 나타난 것은 전기난로 전원코드 중, 플러그 단자에 인접한 부분으로 반복적인 콘센트와의 접촉과 분리 과정에서 상대적으로 꺾임의 영향을 받기 쉬운 부분에서 반단선이 발생되었고, 이로 인해 화재가 발생된 사례를 나타낸 것이다.



(a) 화재현장의 연소현상 (b) 전원코드의 반단선 형상

[그림 24] 반단선에 의한 화재 사례

④ 불완전 접속

전기의 사용시기 위해서는 전력량계를 통해 분전반

으로 전원이 공급되고, 분전반 내부의 차단기를 거쳐 조명 및 콘센트 등에 연결된다. 우리가 사용하는 전기 기기는 콘센트 부분에 접속하여 전기를 공급받는 구조로 되어 있다. 이와 같이 전기 배선을 위해서는 전력량계 및 차단기의 접속부, 콘센트와 전원코드의 플러그 단자 사이의 접속 개소 등이 존재한다. 전선의 연결 부위 및 접속 개소에서 접속 불량이나 발생될 수 있으며, 이를 불완전 접속이라 하고, 접속 불량 발생되는 경우에는 동 부위에서 접촉저항의 증가 및 접속 부위가 헐거워짐에 따라 일시적으로 접속과 분리가 발생되어 국부적으로 전기적 발열이 발생된다.

반단선의 경우와 마찬가지로 초기 발열량은 크지 않으나, 지속적으로 발열량이 증가하고, 접속 불량 개소가 커지는 경우, 발열량은 화재로 이어지기에 충분할 정도로 커지게 된다. 불완전 접속이 발생하는 부위는 국부적인 발열에 의해 구리동선 등이 산화되어 아산화동 증식되고, 진동 및 지속적인 발열에 의해 아산화동 증식 부분이 침식되면서 금속 부분이 빠져 나가는 현상이 발생된다. [그림 25]는 차단기 접

속 부분에서 불완전 접속에 의해 화재가 발생된 예로서 불완전 접속 개소의 도체 부분이 빠져 나간 형상 및 국부적인 발열에 의해 용융된 형상이 식별된다.

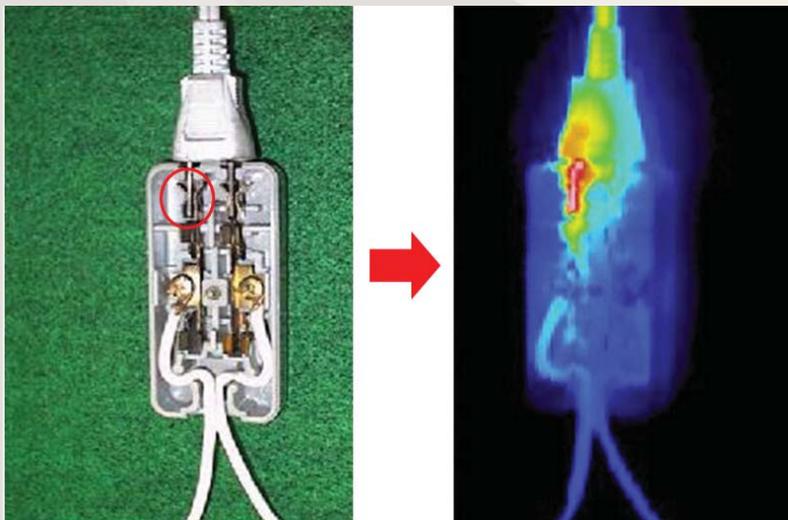


(a) 차단기 단자의 근접 촬영 모습 (b) 불완전 접속에 의해 손상된 접속부의 확대사진

[그림 25] 불완전 접속에 의한 화재 사례

[그림 26]은 콘센트 칼반이 단자와 전원코드 플러그 단자 사이에 인위적으로 불완전 접속이 발생되도록 하고, 전원을 공급하였을 때 국부적인 발열이 발생하는 현상을 재연한 것이다. 불완전 접속이 발생하는 부분이 다른 부위에 비해 상대적으로 높은 온도로 표시되는 것을 확인할 수 있다. ㉞

(다음호에 계속)



[그림 26] 불완전 접속 발생에 따른 발열량 분포