

화재발생에 관한 메커니즘 II

글 김진표 국립과학수사연구소 화재연구실

화재현장 조사방법

03

(지난호에 이어서)

화재현장조사에 앞서 현장조사 단계에서 발생할 수 있는 2차 화재, 구조물 붕괴 및 유해가스 잔류 여부에 대한 조사 및 평가를 통하여 충분한 안정성을 확보

하여야 하며, 이러한 과정에서 현장훼손이나 왜곡 등이 발생되지 않도록 철저한 현장 보존이 선행되어야 한다.

현장조사 단계에서는 목격자 등의 관련인 조사 및 보험 가입 여부에 대한 조사를 통하여 인위적인 방화 가능성에 대한 수사를 병행하여야 한다. 다음으로 현장의 충분한 안정성이 확보되면 현장에서의 연소형상 및 단락흔 등의 전기적 특이점 식별 여부 등을 토대로 발화지점을 한정하고, 발화지점 내에서 발화원인으로 작용할 만한 발화원인을 판정한다. 발화지점 및 발화원인이 한정된 이후에는 동 발화원인으로 현장의 연소형상에 대한 재구성이 가능한지에 대한 검토를 통해 발화지점 및 발화원인을 확정한다.

불, 즉 화재는 공기 또는 산소 속에서 물질이 산화되

어 빛과 불꽃을 내는 현상을 지칭하며, 넓은 의미로는 불꽃이나 빛을 발하지 않아도 결과적으로 산화물을 생성하는 화학변화를 말하는 것으로 볼 수 있다. 불꽃이 지속적으로 유지되기 위해서는 산화에 의해 열이 발생하는 속도와 그것이 외부로 발산하는 속도가 같아 균형을 이루어야 한다. 이것은 각 물질별로 특정조건 및 특정 온도 이상에서 일어나며, 그 온도를 그 물질의 발화온도 또는 발화점이라고 한다. 또한 연소를 지속시키는 물질을 연료 또는 가연물이라고 하며, 여기에는 도시가스와 같은 기체, 석유와 같은 액체, 석탄과 같은 고체 등 여러 상태의 것이 있다.

가. 현장조사 전 수사단계

본격적인 현장 조사 단계 이전에 현장에 대한 사전 조사가 필요하다. 먼저 화재 발생시각, 목격 당시의 상황 및 기상관계 정보 등을 조사해야 할 필요가 있다. 또한 화재 발생 건물의 입대차 관계 및 건물 내부 설비 등의 정보를 확인하고, 수리 내역 등에 대한 확인 및 보험관계와 건물주의 부채 관계 등에 대한 조

사 또한 선행되어야 한다. 마지막으로 화재 발생 당시, 현장에 사람이 있었는지 여부 및 사용 중이었던지, 건물 시정상태는 어떠한었는지, 목격자는 있는지 등을 면밀히 조사해야 한다.

이는 현행법상, 경찰 및 소방 관계자에 의해 이루어져야 한다. 이와 더불어 [그림 7]에 나타난 바와 같이 화재진압과정에서 연소 확대 경로가 나타나는 초기 사진 촬영 모습에 의해 초기 발화지점을 한정할 수 있으므로 화재진압 관계자들에 대한 진술 청취도 필요하

다. 또한 [그림 8]과 같이 사설 경비업체에 의해 운용되는 방법시스템을 설치하고 있는 건물 및 공장 등이 많아지는 추세로, 건물 곳곳에 설치된 열 감지 센서의 동작시간을 조사하는 것도 발화지점 축소에 효과적인 자료로 활용된다.

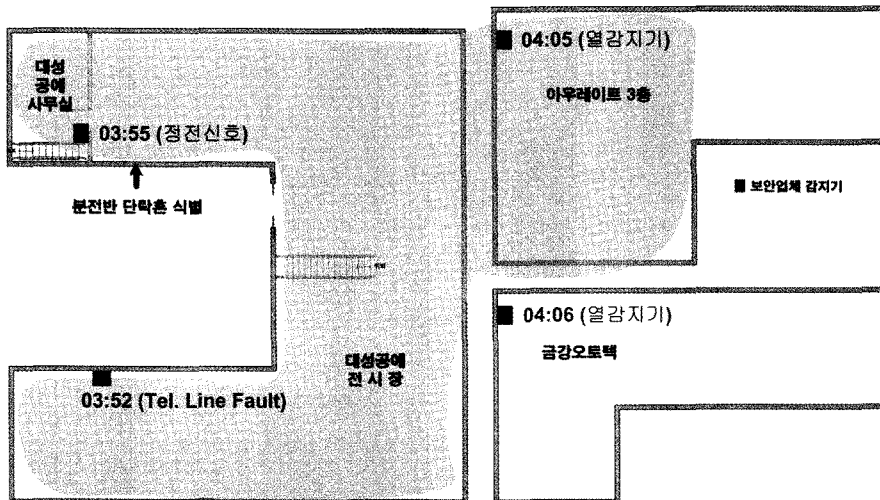
[그림 7]과 [그림 8]에 나타난 예는 샌드위치 패널로 구성된 공장화재에 대한 사전조사 자료로 화재현장은 샌드위치 패널의 특성상 구조물의 붕괴 및 심한 연소로 인하여 연소형상 및 구조물의 도괴 방향 등으



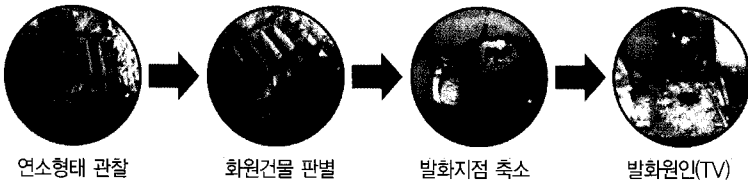
(a) 화재현장 초기 모습

(b) 연소 확대 모습

[그림 7] 소방 관계자에 의해 촬영된 초기 연소 확대 모습



[그림 8] 화재현장에 설치된 방법시스템의 이벤트 발생 시각



[그림 9] 화재현장조사의 개략적 흐름

로 발화지점을 한정하기 어려운 상황이었다. 그러나 초기 화재진압과정에서 촬영된 영상, 방법시스템의 이벤트 발생시각 및 분전반에서의 단락흔 식별 등을 종합적으로 검토하여 발화지점을 한정할 수 있었다. 이처럼 초기 수사자료 확보를 통해 보다 정확한 발화지점의 추정이 가능하다.

나. 화재현장 조사단계

현장조사 이전 단계에서 기본적인 정보 취득 및 현장 조사 과정에서의 안정성이 확보되는 경우, 충분한 보호 장구를 착용하고, 현장조사에 임한다. 현장조사에서 가장 먼저 해야 할 부분은 전체적인 연소 형태에 대한 관찰로 최대한 현장을 전체적으로 볼 수 있는 곳을 선정하여 상대적으로 연소가 심한 부분을 찾아 내어 이 부분을 중심으로 현장조사를 실시한다. 전체 연소형상 관찰을 통하여 연소 중심부를 한정하고, 동 부위에 대해 복원 및 발굴을 진행한다. 발굴 및 복원 이전에 현장의 가연물 조건 및 개구부 존재 여부를 파악하여 발화지점으로 한정하는데 무리가 없는지에 대한 검토가 필요하다.

발굴 및 복원을 통하여 최대한 화재 발생 당시와 일치하도록 현장을 재구성하고, 현장의 연소형상과 특이 흔적 식별 여부 등을 종합적으로 검토하여 최종 발화부위를 한정한다. 발화부가 한정되는 경우, 발화

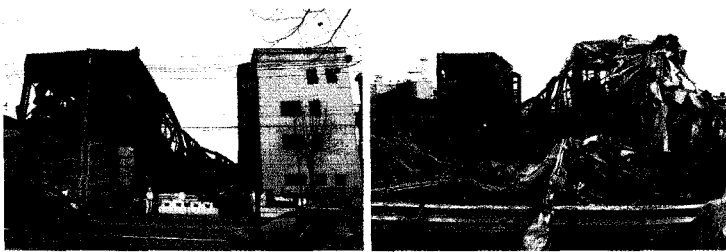
부위에 설치된 기기 및 전기 배선 등에 대한 검사를 통하여 발화 관련 특이 기구나 잔해를 확보한다. 확보된 발화 의심 기구에 대해서는 가능한 현장에서 확인하고, 정밀 검사가 필요한 경우, 유실의 위험이 없도록 정확하게 수거한다.

발화부 및 발화 의심 기구의 검사를 통해 동 부위를 발화부로 한정할 경우, 현장의 연소형상과 배치되는 부분이 있는지를 과학적으로 검토하여야 한다. 발화 의심 기구에 대해서는 발화원인으로 작용가능한지에 대한 증거가 이루어져야 하며, 형성원인에 대한 검토가 과학적 진실에 부합되어야 한다.

(1) 연소형상에 의한 발화지점 축소

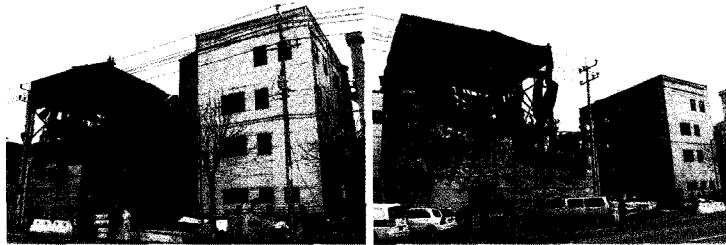
발화지점 축소를 위해서는 기본적으로 화재현장의 연소형상에 근거하여야 하며, 연소형상이 왜곡될 수 있는 조건을 충분히 고려해야 한다. 또한 발화지점을 축소한 이후에는 동 부위를 중심으로 연소 확대되는 과정을 가정하여 다른 부분의 연소 형태가 정상적인 연소형상을 나타내는지에 대한 검토가 필요하다. 상대적으로 심한 연소형상을 나타내는 것은 초기 발화되어 오랜 시간 화염의 영향을 받는 경우, 개구부의 존재로 인하여 공기 유입이 원활하게 이루어지는 경우 및 많은 가연물이 적치되어 있는 경우가 있으므로 이들 상황을 충분히 고려하여 발화지점을 한정해야 한다.

또한 정확한 연소형상을 관찰하기 위해서는 현장 전체가 한눈에 파악되는 곳에서 전체적으로 현장을 살펴봐야 하며, 전체 연소형상 관찰 과정에서 상대적으로 심한 연소 형태를 나타내는 발화건물 및 발화지



(a) 건물 전면의 연소형상

(b) 건물 후면의 연소형상



(c) 건물 전면-좌측의 연소형상

(d) 건물 전면-우측의 연소형상

[그림 10] 연소형상 관찰을 위한 사진촬영 예

점을 찾아내야 한다. 전체적인 연소형상 관찰이 어려운 경우에는 [그림 10]과 같이 최대한 전면, 후면 및 측면에서 화재현장의 연소 형태를 관찰하여야 한다.

(2) 기둥이나 벽체의 도괴에 의한 화염 진행 방향 추적
 화재현장에서 균등한 모형의 기둥이나 벽체지지 구조물 중, 먼저 연소하는 쪽으로 하중이 풀려 벽체, 장식물 등이 [그림 11]과 같이 초기 발화부를 향하여 도괴되는 경향을 나타내므로 이들을 도괴 이전으로 정렬하면 연소의 방향성을 알 수 있다.

그러나 단일 철골 기둥은 열을 많이 받는 부분이 팽



(a) 철골 구조물의 도괴 방향

(b) 구조물의 도괴 방향

[그림 11] 구조물의 도괴 방향에 따른 연소 방향 추적

창에 의해 늘어나 [그림 11]과 같이 화염의 반대방향으로 휘어지는 현상을 나타내며, 창문유리 및 출입문 등은 화염의 영향에 의한 공기팽창이나 불꽃에 의한 밀림 현상으로 바깥쪽으로 힘을 받아 화염 반대쪽으로 떨어질 수 있다.

(3) 목재의 탄화심도 및 균열흔 검사에 의한 발화지점 추적

탄화심도는 기둥, 보 등의 목재 표면에 균열된 형상의 탄화된 깊이로 오래 연소될 수 있는 발화부 쪽으로 깊어질 수 있으며, 상대적으로 심하게 연소된 부분에서 균열이 이루어지고 최종적으로 소락되거나 연소 유실되는 특징을 보인다. 따라서 목재 부분의 균열이나 심하게 탄화되는 부분 및 소락 연소 유실된 부분을 관찰하는 것으로 연소 중심부를 추정할 수 있다.



[그림 12] 목재 탄화 정도에 따른 연소 방향 추적

(4) 콘크리트 천장이나 벽체에서의

바리흔 검사에 의한 발화지점 추적

콘크리트로 구성된 천장이나 벽체 부분에서 장시간 수열을 받는 경우, 콘크리트 일부가 바리되고, 지속적인 수열로 인하여 콘크리트 부분이 떨어져 나가면서 내부 철근이 노출되는 현상이 나타난다.

이러한 콘크리트 박리 현상은 상대적으로 심한 연소 부분에서 나타나지만 발화부와 떨어진 개구부가 존재하는 경우, 동 개구부에 인접한 부분에서도 관찰될 수 있으므로 이러한 부분을 충분히 고려하여 판단해야 한다. [그림 13]은 심한 수열로 인해 콘크리트 박리가 일어난 모습으로, 박리흔이 식별되는 부분을 중심으로 천장 부분에서 백화 현상 및 구조물의 용융 유실 등이 식별되는 상태로 초기발화지점으로 추정할 수 있다.



[그림 13] 박리흔 검사를 통한 연소 중심부 추적

〈표 2〉 금속 표면 수열 온도에 따른 변색 특징

수열 온도(℃)	변색
230	황색
290	홍갈색
320	청색
480	연한 홍색
590	진한 홍색
760	아주 진한 홍색
870	분홍색
980	연한 황색
1,200	백색
1,320	아주 밝은 백색



[그림 14] 용융된 케이블의 모습

(5) 금속의 변색흔 및 용융흔적 검사를 통한 연소 진행 방향 추적

금속은 비가연물로 직접 연소되지는 않으나 일정 화염에 의해 변형 및 변색되는 특징을 갖는다. 알루미늄, 구리, 철 및 납 등은 건축구조물에서 각각 창유리, 창틀, 전선 및 연결 접속부 등으로 이용되고, 각 물질은 녹는 온도가 달라 물질의 용융 여부를 기준으로 물질 위치에서의 화염 온도를 추정할 수 있다.

또한 금속 표면의 수열 정도에 따라 변색되는 특징을 나타내며, 위치별 수열정도나 화염의 온도 추정 및 연소 확대 경로 판단의 자료로 활용될 수 있다. <표 2>는 금속 광택류의 수열 온도에 따른 변색 정도에 대한 자료이다.

(6) 전기적 발열에 의한 용흔 검사에 의한 발화지점 추적

전기적 발열에 의한 용흔은 전선간의 단락이나, 금속 구조물과 전선 간 접촉 및 금속 접점 간 용융 등에 의해 발생된다. 특히 철이나 철 합금 등은 용점이 1,500℃ 내외로 일반적인 화염의 온도보다 높은 특징을 가지고 있으므로 화염에 의해 녹지 않는 것이 일반적인 현상이다. 따라서 국부적인 용흔이 형성되는 경우에는 대부분 절연파괴 과정에서 전기적 발열 및 아크 불꽃에 의해 형성되는 것으로 보는 것이 타당하다.

전기적 합선 과정에서 형성되는 단락흔은 절연피복의 손상으로 절연파괴되는 과정에서 형성될 수 있으며, 이 과정에서는 전기적 발열 및 불꽃이 수반되고 동 발

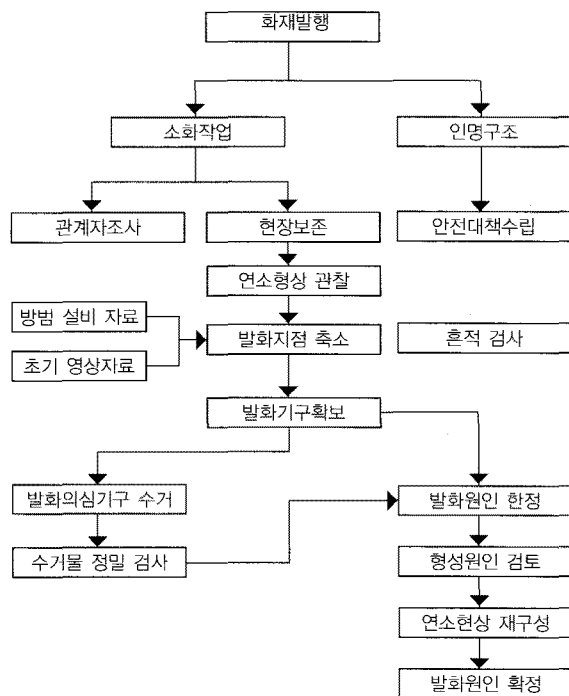


[그림 15] 화재현장조사 절차

열 및 불꽃은 절연피복이나 주변 가연물을 착화시키는 직접적인 발화원인으로 작용한다. 발화원인으로 작용 가능한 단락흔을 1차 단락흔이라고 한다. 또한 연소 확대 과정에서 외부 화염에 의해 절연피복이 소실되면서 단락이 발생될 수 있으며, 형태상으로 1차 단락흔과 유사한 형태를 가진다. 통상적으로 화염이나 열에 의해 절연피복이 소실되면서 형성되는 단락흔을 2차 단락흔이라고 한다. 이러한 단락흔 형성 과정을 고려할 경우, 단락흔 식별 여부는 발화지점 축소의 중요한 자료로 활용 가능하다.

현장의 연소형상, 구조물의 도괴, 금속의 열변색 및 용융 흔적 검사를 통해 연소진행 방향을 추정할 수 있으며, 연소진행 방향을 추적하면 최초 발화부위를 한정할 수 있다. 이러한 연소형상과 연소방향을 고려하여 발화지점을 추정할 수 있으며, 부가적으로 전기적 용흔(단락흔)이 동 부위에서 식별된다면 최초 화재가 발

생된 지점으로 볼 수 있다. 앞서 언급한 현장보존, 현장조사 이전 수사단계 및 화재현장 조사단계를 개략적으로 도식화하면 [그림 16]과 같이 나타낼 수 있다. [그림 16]은 표준화된 절차는 아니며, 현장의 상황에 따라 조사방법을 달리할 필요가 있다. 그러나 [그림 16]과 같은 화재현장 조사절차는 일반적인 화재현장에서 대단히 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 기대한다. ㉞



[그림 16] 화재현장조사 절차

(다음 호에 계속)