

화인은 반드시 밝혀진다.
단지 묻혀있을 뿐이다.



화재원인을 규명하는 화재패턴

글 _ 김만건(No. 0071162) 기술사 | 한국전기안전공사 경기동부지사장

건축물에서 발생한 화재현장의 경우 대부분 상부에 있던 가연물은 대류·복사 등의 화염에 의해 소실되어 그 흔적을 식별하기 어려우나, 바닥재의 경우에는 화재발생 이후 상승 연소하는 화염에 의해 가연물이 불에 타서 떨어져 질식소화 되는 경우가 많기 때문에 식별이 보다 용이하다.

이와 같은 경우에는 비교적 초기의 연소패턴을 유지하고 있는 경우가 많으므로 바닥에서 나타나는 흔적(Floor Patterns) 등을 비교·검토하여 연소의 촉매제로 사용된 물질의 종류를 추론(推論)함으로써 초기에 진행되는 화재원인조사에 많은 도움을 줄 수 있다.

화재의 원인이 명확하게 밝혀지지 않을 경우 전기합선이나 누전 또는 다른 원인으로 추정된 후 통계에 산입되면 전기화재 등의 통계가 정확하지 않아 예방시책에 커다란 차질을 초래하게 된다.

따라서 화재원인 조사시 화재현장에 나타난 일반화재패턴과 전기화재패턴뿐만 아니라 방화 등에 의한 유류화재 패턴 및 그 밖의 여러 종류의 화재패턴을 익혀 현장조사에 활용할 경우 짧은 시간에 화인을 정확하게 밝힌 후 예방대책을 신속하게 수립할 수 있으며 또한 방화나 동종 및 유사화재를 방지하는데 큰 도움이 될 수 있다.

근래 국보1호 승례문을 비롯하여 크고 작은 건물과 차량 등에 방화로 인한 피해가 증가하고 있는 추세이다. 방화자들은 대부분 효과적인 착화나 연소(燃燒), 빠른 화염의 확산 등을 위하여 시너(thinner), 휘발유, 석유, 등유 등의 가연성 유류를 살포하여 방화하므로 유류나 시너 등이 사용되었다고 추정해 볼 수 있는 대표적인 방화화재패턴은 물론 화재현장에서 나타나는 다양한 연소패턴을 살펴보고자 한다.

방화에 의한 대표적인 패턴에는 퍼붓기 패턴(Pour Pattern: 포어 패턴), 튀김연소 패턴(Splash Pattern: 스플래시 패턴), 고스트마크(Ghost Mark), 틈새연소패턴(Gap Combustion Pattern), 고리모양 패턴(Doughnut Pattern: 도넛 패턴), 트레일러 패턴(Trailer Pattern) 등이 있으므로 이들 패턴을 익혀 현장에서 화재원인 규명에 적용하고자 한다. 또한 방화현장에서 주로 연소의 촉매제로 사용하는 시너, 가솔린, 경유 등 인화성 액체가 연소된 후 바닥재에 남기는 흔적(Floor Patterns)인, 액체연료의 엇지름 패턴에 대해서는 재현실험을 통하여 고찰하고, 상기 이외의 일반화재패턴에 대해서도 기술하여 화인 규명과 화재예방에 활용하여 화재가 근원적으로 감소되기를 기대 한다.

I. 화재패턴의 종류

1. 방화 등에 의한 화재패턴

1) 퍼붓기 패턴(Pour Pattern)

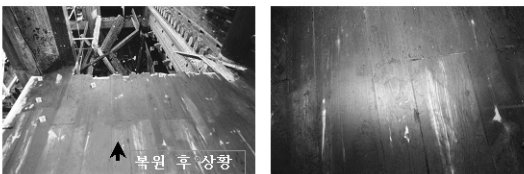
인화성 액체가연물이 바닥에 쏟아졌을 때 액체가연물이 쏟아진 부분과 쏟아지지 않은 부분의 탄화경계 흔적을 말하며, 이러한 형태는 화재가 진행되면서 액체가연물이 있는 곳은 다른 곳보다 연소가 강하기 때문에 탄화정도의 강, 약에 의해서 구분된다. 이를 퍼붓기 패턴 또는 포어 패턴이라고 한다. 이 패턴은 액체가 자연스럽게 낮은 곳으로 흐른 부드러운 곡선 형태를 나타내기도 하고, 쏟아진 모양 그대로 불규칙한 형태를 나타내기도 하지만 연소된 부분과 연소되지 않은 부분에서 뚜렷한 경계선을 나타낸다.



【사진 1.1】 퍼붓기 패턴(Pour Pattern; 비닐장판의 포어 패턴) 승례문(崇禮門) 방화현장에 나타난 퍼붓기 패턴(Pour Pattern)



【사진 1.2】 승례문(崇禮門) 방화현장 복원 전 상황



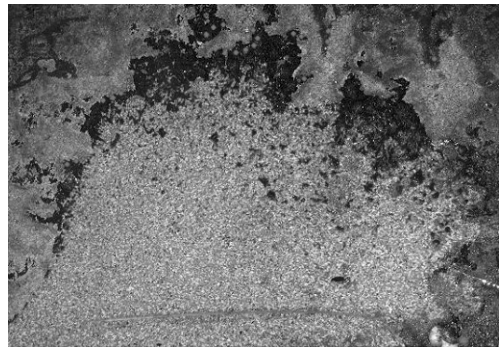
【사진 1.3, 1.4】 승례문 방화현장 복원 후 현장에 나타난 퍼붓기 패턴현상
우측 사진은 좌측사진을 근접 촬영한 사진

- 승례문(崇禮門) 방화현장에서는 시너를 연소 촉매제로 사용한 것으로 복원한 후 목재마루바닥에 나타난 퍼붓기 패턴(Pour Pattern) 현상(사진 1.3, 1.4)
- 사진 1.3의 노란 번호표시는 방화자가 용이하게 착화시키기 위해 시너(thinner)를 넣어 왔던 플라스틱용기로 식별된 잔존물로 불에 탄 후 용융되어 바닥에 일부 남아있던 위치
- 사진 1.3, 1.4에서 연소된 부분과 연소되지 않은 부분에서 뚜렷한 경계선이 나타난다.

2. 튀김연소 패턴(Splash Pattern)

액체가연물이 연소되면서 발생하는 열에 의해 스스로 가열되어 액면(液面)에서 끓으며 주변으로 튄 액체가 퍼붓기 패턴의 미연소 부분에서 국부적으로 점처럼 연소된 흔적을 말하며, 이를 스플래시 패턴이라고도 한다.

이 패턴은 주변으로 튀어 나간 가연성액체 방울에 의해 생성되므로 약한 풍향에도 영향을 받는다. 따라서 바람이 부는 방향으로는 잘 생기지 않으며 반대 방향으로 비교적 멀리까지 생긴다.



【사진 2】 튀김연소 패턴(Splash Pattern 사진출처 : 한국화재조사학회)

유류의 연소에 의한 화재패턴은 일반적 액체의 특징인 낮은 곳으로 흐르며 고인다는 점과 바닥재의 특성에 따라서 광범위하게 퍼지거나 흡수될 수 있다는 특징이 있다. 또한 증발하면서 잠열에 의한 냉각효과가 있으며, 끓게 되면 주변으로 방울이 튄 수 있다는 점과 또 어떤 액체가연물은 고분자물질을 침식시키거나 변형시키는 등 용매로서의 성질을 가지기도 한다는 특성을 이해한다면 정확한 화인조사에 많은 도움을 줄 수 있을 것이다.

3. 고스트마크(Ghost Mark)

콘크리트, 시멘트 바닥에 비닐타일 등이 접착제로 부착되어 있을 때 그 위로 석유류의 액체가연물이 쏟아져 화재가 발생하면 열과 솔벤트 성분은 타일의 가장자리 부분에서부터 타일을 박리시키고, 이때 액체가연물은 타일 사이로 스며들며 부분적으로 접착제를 용해한다.

화재가 발생한 방이나 실(室)에 화염에 의한 열기가 가득하게 되면 액체가연물과 접착제의 화합물은 타일의 틈새에서 더욱 격렬하게 연소하게 되고, 결과적으로 타일 아래의 바닥에는 타일 등 바닥재의 틈새모양으로 변색이 되고 종종 박리되기도 한다.

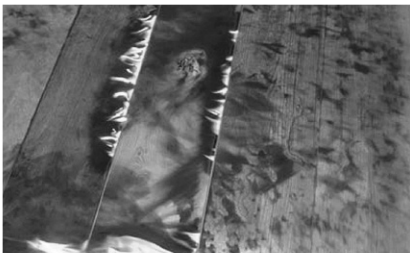
이때 바닥에서 보이는 흔적을 고스트마크라고 한다. 이 패턴은 다른 패턴과 달리 플래시오버 직전과 같은 강력한 화재열기 속에서 발생한 특징이 있다.



【사진 3】 고스트 마크(Ghost Mark; 사진출처: Kirk's Fire Investigation)

4. 틈새연소패턴(Gap Combustion Pattern)

목재마루나 타일 등의 틈새, 문지방이나 벽과 바닥의 틈새 및 모서리에 가연성액체가 흘러들면 틈새를 따라서 흘러가거나 더 많은 액체가 고이게 된다. 이 액체가 연소하면 다른 부위에 비하여 더 강하게, 더 오래 연소하게 되므로 진화 후에는 탄화 정도에 따라서 쉽게 구별을 할 수가 있다.



【사진 4.1】 목재 마감재의 틈새를 따라 흐른 액체가연물의 연소



【사진 4.2】 목재 마감재의 틈새를 따라 흐른 액체가연물의 연소흔적

고스트 마크와 외형이 유사하나 단순히 가연성액체의 연소라는 점, 콘크리트나 시멘트 바닥이 아니라 가연성 마감재 표면에서 보이는 패턴으로 화재초기에 나타나며 플래시오버와 같은 강한 화염 속에서는 쉽게 사라질 수 있다는 점이 다르다.

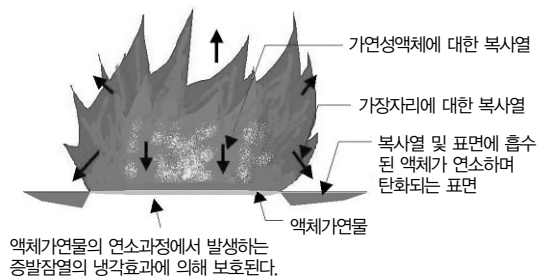
특히 이 같은 패턴은 방화현장에서 많이 볼 수 있다.

5. 고리모양 패턴(Doughnut Pattern)

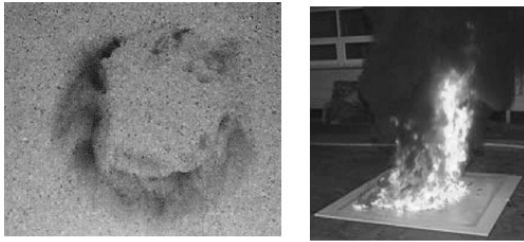
거친 고리모양으로 연소된 부분이 덜 연소된 부분을 둘러싸고 있는 “둥근 문고리(도넛) 모양” 형태는 가연성액체가 웅덩이처럼 고여 있을 경우 발생한다.

고리처럼 보이는 주변부나 얇은 곳에서는 화염이 바닥이나 바닥재를 탄화시키는 반면에 비교적 깊은 중심부는 액체가 증발하면서 증발잠열에 의해 웅덩이가 중심부를 냉각시키는 현상 때문에 이 같은 패턴이 생성된다. 위험물 웅덩이에서 발화가 시작되어 액체위험물이 연소되면서 실제 위험물 하부표면을 냉각시켜 둥근 문고리(도넛) 모양의 패턴을 만들어 내는데, 이를 고리모양 패턴 또는 도넛 패턴(Doughnut-Shaped Patterns)이라 한다.

도넛과 같은 둥그란 형태를 가지고 있지 않더라도 대부분의 패턴은 유류가 쏟아진 곳의 가장자리 부분이 내측에 비하여 강한 연소흔적을 보이는 것이 일반적이며, 이 패턴은 위험물의 퍼붓기(pours)에 의해 생성된다.



【사진 5.1】 고리모양(도넛) 패턴의 발생원리



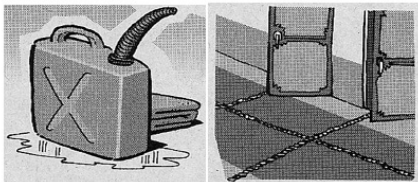
【사진 5.2】 고리모양(도넛) 패턴(Doughnut Pattern)

이와 같은 패턴이 발견되면 발화성 액체가 존재한다는 보조 증거로서 더 자세한 조사가 행해져야 한다.

6. 트레일러 패턴(Trailer Pattern: 지나간 자국 형태)

불을 지르기 위하여 건물 등 방화대상물 내의 곳곳에 휘발유나 시너 등을 뿌려놓거나 용기에 담아 설치해 놓은 방화용 가연물이 연소할 때 생성하는 화재패턴을 말하며 지나간 자국 형태패턴이라고도 한다.

화재현장에서 의도적으로 한 장소에서 다른 장소로 연소를 확대시키기 위해 뿌려진 가연물의 흔적으로 반드시 액체가연물만의 흔적을 말하는 것은 아니다. 트레일러에 사용하는 연료는 연소의 촉매제로 많이 사용하는 시너나 휘발유 및 석유 등



【사진 6】 시너나 휘발유에 적신 도화선과 휘발유에 적신 천



【사진 6.1, 6.2】 두루마리화장지에 시너를 뿌려서 방화한 트레일러 패턴



【사진 6.3】 신문지를 이용한 방화 【사진 6.4】 시너살포 후 소파에 방화패턴

의 액체와 방과 거실 등을 연결한 도화선, 두루마리 화장지, 신문종이, 휘발유 등에 적신 천, 짚단 및 나무 등의 고체가연물 또는 이들의 조합이다.

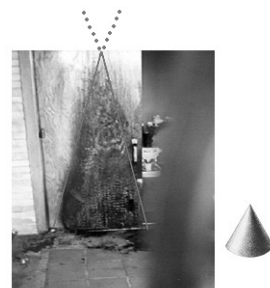
시너나 휘발유 등의 액체가연물을 이용한 트레일러패턴은 인화성 액체 화재패턴(flammable liquid burn patterns) 중의 하나로 퍼붓기(포어)패턴이라고도 하며, 이 패턴은 종종 위험물을 바닥표면에 뿌려 위험물 웅덩이를 형성하고 그 웅덩이에 고의로 방화한 경우도 있다.

트레일러(trailer) 방화화재(放火火災)의 경우에 한 지역에서 다른 지역으로 연료가 고의로 살포되거나 늘어진 때에는 화재현장에 나타난 경계선 흔적이 늘어진 형태를 볼 수 있다. 이들 자국 형태는 접촉된 바닥을 따라서 발견되거나 구조물 내부의 한 층에서 다른 층으로 옮겨가는 계단을 따라 발견된다. 일반적으로 트레일러 패턴은 연소구역들 사이에서 발견되는 좁은 패턴이며, 대개 수평면에서 나타난다.

7. 역 콘 패턴(Inverted Cone Patterns)

연소물체 위에서 일어나는 고온가스의 플룸(plume: 화염기둥)의 모양은 열원을 향하는 원뿔을 가진 원추형처럼 묘사(描寫)된다. 장애물이 없을 때에는 플룸의 외측 가장자리와 수직선 사이의 각도는 약 10~15°이며, 열원 근처에서 측면은 발화지역의 경계선을 나타내는 원뿔을 형성하면서 갈라진다.

한 장소에서 단일 가연물에 의한 연소라고 가정하면 아래 그림과 같이 화염부 상단(hot gas zone)은 콘 형태의 화염 및 고온 가스를 포함한 연기기둥이 상승하여 확대한다고 볼 수 있으며, 화염부(flame zone)는 바닥에서부터 작은 원뿔(역 콘)형상으로 화염이 확장되는 형태로 존재하므로 화염부의 작은 역콘(원뿔)과 그 상단의 콘 형태를 결합하면 하단이 좁은 모래시계 형태로 표현하는 것이 가장 적절하다 하겠다.



【사진 7】 역 “콘(V)” 패턴 (Inverted Cone Patterns)

“V” 패턴은 화재플룸의 고온 가스층에 의해 형성되지만 실제로 화염피해(flame damage)는 역 “V(콘)” 패턴 즉, 원뿔 패턴을 만들어 낸다.

“역 콘(V)” 패턴에서는 위험물이 바닥 여러 곳에 뿌려진 환경에서 화염지대(flame zone)에 손상 형태를 나타낸다. 이는 바닥 면에서 발산하는 수직 벽 위의 온도와 열의 경계선으로 나타나는 “역 콘” 형태는 상부보다는 밑바닥이 넓은 삼각형 형태로 이는 고온 인화성 또는 가연성 액체나 천연가스 등의 휘발성 연료와 관련 있는 것이 일반적이다.

8. 낮은 연소패턴(Low Burn Patterns)

낮은(低部) 연소패턴은 촉진제(accelerant)의 사용이나 존재를 나타내는 증거로 추정된다. 낮은 연소패턴이 촉진제로 생성될 수는 있으나, 그밖에 다른 요인을 배제하고 오직 촉진제 자체만으로 낮은 연소패턴이 촉진제에 의한 화재라는 증거는 아니다. 플래시오버 이후(Post flashover) 상황에서 낮은 연소패턴이 형성되기도 한다.



【사진 8】 방에 유류를 살포한 후 방화한 낮은 연소패턴

화재 형태의 가장 낮은 부분은 열원에 근접한 것이 일반적인 특징이다. 통상적으로 화염은 발생지점에서 위쪽 및 바깥쪽으로 타가는 경향이 있다. 고온가스로 만들어진 플룸(plumes: 화염기둥)과 공기로 운반되는 연소생성물은 팽창하여 주위공기보다 밀도(농도)가 낮아 부력이 생기고, 체적과 부력의 성장이 가열된 생성물을 위로 들어 올려서 확산시키는 원인이 된다. 조사자는 낮은 연소 지역을 확인해야 하고 발생지점에 근접 가능성을 세밀히 살펴야 한다.

9. 불규칙 패턴(Irregular Patterns)

위험물 웅덩이 형성(pooling of ignitable liquids)에 의해 바닥표면에 불규칙적인 패턴이 나타난다. 바닥이나 바닥재에 나타나는 불규칙적인 굴곡이나 “웅덩이(Pool) 모양”의 형태는 대

부분 발화성 액체로부터 생기지만 항상 그와 같은 결론이 도출되지는 않는다.

불규칙 연소패턴(burn patterns)은 인화성액체의 웅덩이 외에 아래와 같은 원인에 의해서도 형성된다. 바닥 표면에 유동하는 고온의 가스, 연소 가연물(contents)의 배열, 플라스틱 물질 용융(melting)과 가스유동(flowing) 그리고 그에 따른 표면 연소(burning onto the surface) 및 연소 중 표면에 떨어지는 발염 부스리기 등이 불규칙 연소패턴의 생성요인이 된다.

이 패턴은 날카로운 가장자리에서부터 부드러운 구배에 이르기까지 불규칙적인 손상지역과 손상되지 않은 지역 사이의 경계선은 열 노출의 강도와 물질의 특성에 따라 다르게 나타나는 데 바닥 재료로 쓰인 밤나무 등의 조밀한 재료는 일반적으로 열경화성 플라스틱 카펫보다 더 뚜렷한 경계선을 나타내는 경우도 있다. 이와 같은 형태는 플래시오버 이후 조건, 긴 소화시간 또는 건물붕괴의 상황에서 나타나는 것이 일반적이다.

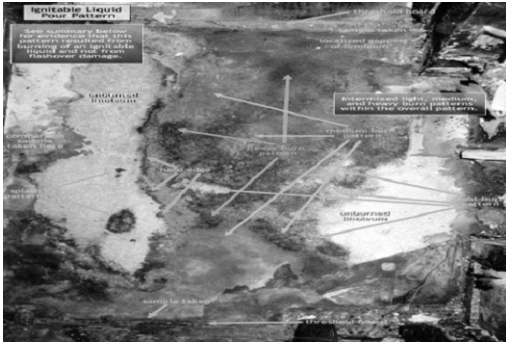
이런 형태는 고온 가스, 화염과 혼소의 잔재, 용융된 플라스틱 또는 발화성 액체의 영향으로 인해 생긴다. 발화성 액체의 존재가 의심스러울 경우에는 가연성가스 탐지기, 잔유물에 대한 화학적 분석 또는 액체 용기의 사용 같은 보조 증거를 찾아야 한다.

또한 많은 플라스틱 물질이 열분해 되거나 연소할 때 탄화수소 연기를 방출한다는 점에 주목해야 한다. 이런 연기는 석유제품과 유사한 냄새가 있고 발화성 액체 촉진제가 사용되지 않았을 때 가연성가스 탐지기로 감지될 수 있다.

“정확하고 세밀한” 기록을 작성하기 위해서는 정밀조사와 보다 자세한 화학적 분석을 위한 잔존물의 수집을 촉진시키고, 탄화수소를 포함한 열분해 물질과 촉진제를 사용하지 않는 화재 잔존물은 가스 크로마토그래피 분석으로 감지할 수 있다는 점에 주목해야한다.

실험실에서 카펫 잔해를 분석할 경우에는 비교 견본 조각과 잔해를 연소시켜서 가스 크로마토그래피 분석을 실시하는 것이 대조분석에 도움이 된다.

연소 및 연소되지 않는 비교 견본 분석을 연구 또는 연구되지 않는 화재 잔해 견본(샘플) 분석 결과와 비교해보면 잔해 견본의 탄화수소 잔여물이 열분해 산물인지 촉진제 잔여물인지 여부를 확인 할 수 있다. 하지만, 보조 증거의 사용이 여전히 권장되더라도 불구하고 전반적인 화재 손상이 제한되어 있고, 작거나 고립된 불규칙적인 형태가 발견되었을 때에는 발화성 액체의 존재 가능성이 더 높다고 볼 수 있다.



【사진 9】 불규칙 패턴

용융 플라스틱뿐만 아니라 바닥재나 바닥에 스며들어 웅덩이(Pool)를 형성한 발화성 액체는 가장자리보다 중심부에서 더욱 깊게 연소된 불규칙적인 형태를 만들 수 있다. 이런 형태는 플래시오버 후의 국한된 가열이나 떨어진 화재 잔류물에 의해만 들어질 수도 있다.

2. 시너 등 촉매제에 의한 옆지름 패턴(Floor Patterns) 재현실험

가. 바닥위에 나타난 액체연료의 옆지름 패턴

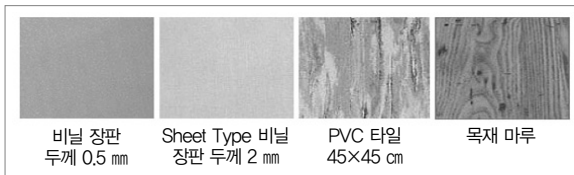
방화현장 등에서 연소의 촉매제로 많이 사용하는 시너(thinner), 가솔린, 경유 등의 인화성 액체가 연소된 후 불에 타서 모양이 바뀌고, 색깔이 변하는 등 훼손된 바닥재가 남기는 소회흔을 화재조사자나 수사관계자 등이 쉽게 식별하기 위한 연소패턴을 재현실험을 통해 살펴본다.

화재현장에 나타난 연소패턴은 화재발생 당시의 많은 변수들의 영향을 받는데 그 중 환기와 플래시오버가 화재패턴에 가장 큰 영향을 주는 주요한 인자라 할 수 있다.

1) 연소재현실험에 사용된 인화성액체 종류 및 특징

구분	화학성분	끓는 점	인화점	자연발화점
가솔린(휘발유)	Mixture	32~390 °C	-43 °C	257 °C
경유(Diesel)	-	200~350 °C	52 °C	260 °C
시너(Thinner)	톨루엔(65 %)	111 °C	4 °C	480 °C

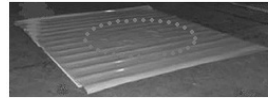
2) 연소재현실험에 사용된 바닥재의 종류



비닐 장판 두께 0.5 mm Sheet Type 비닐 장판 두께 2 mm PVC 타일 45×45 cm 목재 마루

3) 재현실험 방법

사진과 같이 개방된 공간에서 석고보드 위에 접착제를 이용하여 바닥에 부착한 후 150ml의 인화성액체를 약 1m 높이에서 흠뿌리는 방식으로 살포한 후 불이 붙은 종이를 던져 착화시켜 자연연소시킨 후 바닥에 나타나는 소회흔적을 비교·연구함.



【사진 1-1】 인화성액체 살포



【사진 1-2】 인화성액체에 착화



【사진 1-3】 인화성액체의 연소 사진



【사진 1-4】 소화 사진

나. 재현실험

1) 두께 0.5 mm의 비닐 장판

가) 시너 이용



착화 후 연소



소화단계



소화 후 연소패턴

① 착화 후 기화된 유증기에 순간적으로 연소 확산된 후 곧바로 소화단계에 접어들어 살포된 액체의 면적만큼 탄화 흔적을 남기고 바닥인 석고보드의 틈새를 따라 바닥재가 찢어진 형상이 나타나고 액체가 뿌려진 곳과 뿌려지지 않은 곳의 경계가 뚜렷이 나타나지 않는 특징이 있다.

계속 ▶▶