

# 가연성 액체에 의한 바닥재 소훼혼 연구

서울지방경찰청 이상준  
서울소방방재본부 황태연, 안성일  
삼성화재 박한석

## 초 록

연소의 특성으로 대부분의 화재현장에서 상단 부위에 존재하는 가연물은 대류현상 등에 의해 소실되어 연소 후 나타나는 흔적을 식별하기 곤란하며, 바닥 부분의 바닥재 등의 경우는 화재발생 이후 상승 연소하는 화염에 의해 소훼된 가연물 등이 소략하여 질식소화되므로 비교적 초기의 연소패턴을 유지하고 있는 점을 착안하여, 바닥에서 나타나는 흔적 등을 비교·검토하여 연소의 촉매제로 사용된 물질의 종류를 추론함으로써 초기에 진행되는 수사에 많은 도움을 줄 수 있다.

## I. 서론

### 가. 연구배경 및 목적

화재(방화)사건은 다른 재산범죄와는 달리 피해자가 발생하면 피의자가 재산상의 이득을 취하는 범죄의 경우, 범죄의 객체가 되는 재산의 물질 고유의 특성은 변하지 않으나, 화재는 이와 달리 공기(산소)와 결합하여 빛과 열을 수반하며 급격히 산화하여 재산의 존재가치가 지구상에서 소멸되어 엄격히 따지면 피의자가 존재

하지 않고 모두가 피해자이며, 특히 방화사건은 이러한 형상을 이용, 증거를 인멸하기 위하여 범죄에 이용하거나, 보험금을 타 내기 위한 목적에 이용되므로 보험금을 납부하는 선량한 국민 모두가 피해자인 셈이다.

이와 같은 방화사건에 주로 사용되는 연소촉매 역할 을 하는 인화성 액체가 연소된 후 현장의 상황으로 가연물은 산화되어 물질의 성질이 변하여 재가 되거나 혹은 연기로 변하여 사라지게 된다.

그러나 연소되는 과정에서도 저면부에 해당하는 바닥부위는 상단부위에 존재하는 가연물 등의 소략되어 질식소화 되거나 및 진화작업에 의해 대부분의 바닥부위는 초기에 생성되는 패턴 등이 남아 있게 된다.

이때 바닥 부위에 남아있는 흔적 등을 실험을 통하여 바닥재의 종류를 달리하여 연소촉매제(인화성액체)를 살포, 연소시킨 후에 나타나는 흔적 등을 비교·연구함으로써 연소에 사용된 연소촉매제의 종류를 추론하기 위함에 있다.

## II. 본론





### 1. 연구방법

#### 가. 연구재료

##### 1) 연소실험에 사용된 인화성액체 종류 및 특징

구분	화학식 (성분)	끓는점	인화점	자연발화점
가솔린(휘발유)	Mixture C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> ~C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	32~390℃	-43℃	257℃
경유(Diesel)	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub> 이상의 탄화수소계	200~350℃	52℃	260℃
시너(Thinner)	톨루엔 C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub> (65%)	111℃	4℃	480℃

##### 2) 연소실험에 사용된 바닥재의 종류

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

#### 나. 연구 방법

아래사진과 같이 개방된 공간에서 석고보드 위에 접착제를 이용 바닥에 부착 후 150ml의 인화성액체를 약 1m높이에서 흩뿌리는 방식으로 살포 후 불이 붙은 종이를 던져 착화시켜 자연소화 시킨 후 바닥에 나타나는 소회흔적을 비교·연구

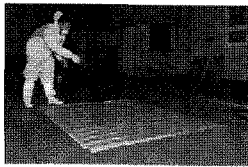


사진1-1 인화성액체 살포

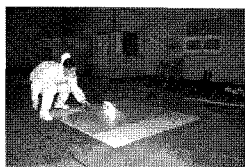


사진1-2 인화성액체에 착화

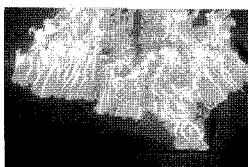


사진1-3 인화성액체의 연소

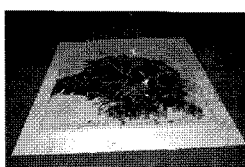
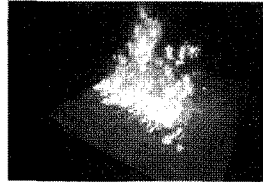


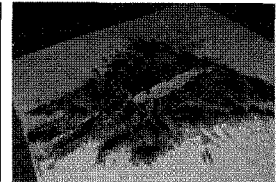
사진1-4 소화

#### 1) 두께 0.5mm의 비닐 장판

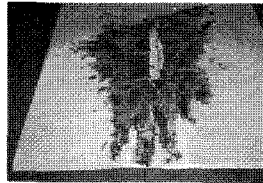
##### 가) 신나이용



착화 후 연소



소화단계



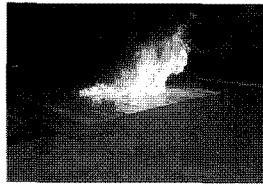
소화 후



소화 후 흔적 근접촬영

◎착화 후 기화된 유증에 순간적으로 연소 확산된 후 곧바로 소화단계에 접어들어 살포된 액체의 면적만큼 탄화 흔적을 남기고, 바닥인 석고보드의 틈새를 따라 바닥재가 찢어진 형상이 식별되고, 액체가 뿌려진 곳과 뿌려지지 않은 곳의 경계가 뚜렷이 나타나지 않는 특징이 관찰됨

##### 나) 휘발유 이용



착화 후 연소



소화단계



소화 후

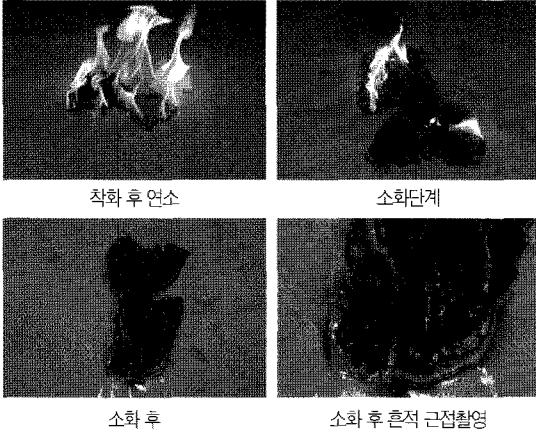


소화 후 흔적 근접촬영

◎착화 후 기화된 유증에 순간적으로 연소 확산된 후 곧바로 소화단계에 접어들어 살포된 액체의 면적에 비해 적은 흔적을 남기고, 바닥재의 표면에서 국부적인 탄화 흔적은 식별되지 않고 증발연소하면

서 복사열에 의해 일부 부분적으로 탄화된 흔적이 식별되며, 액체가 뿌려진 곳과 뿌려지지 않은 곳의 경계가 뚜렷이 나타나지 않는 특징이 관찰됨

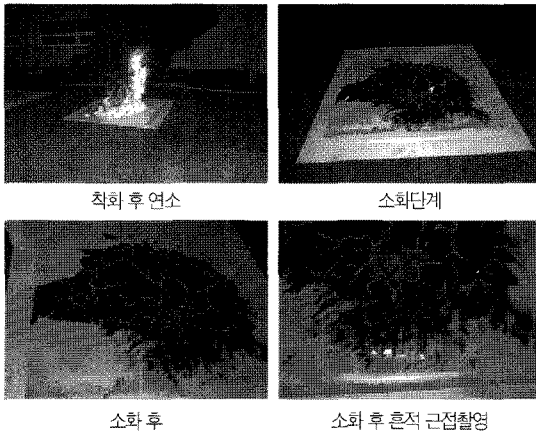
다) 경유 이용



◎바닥 면 전체에 경유를 살포 후 착화하였으나, 불씨로 사용한 지류 주위에 존재하는 액체가 서서히 기화되면서 지류에 흡수되어 연소하는 형태이고, 가열되지 않는 부위는 연소하지 않으며, 액체가 증발 연소하면서 바닥재인 비닐장판의 표면이 가연물의 경계면을 따라 용융된 형태임

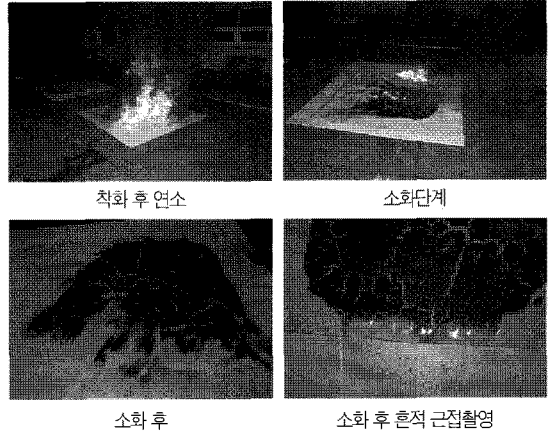
2) 두께 2mm Sheet Type 비닐장판

가) 신나 이용



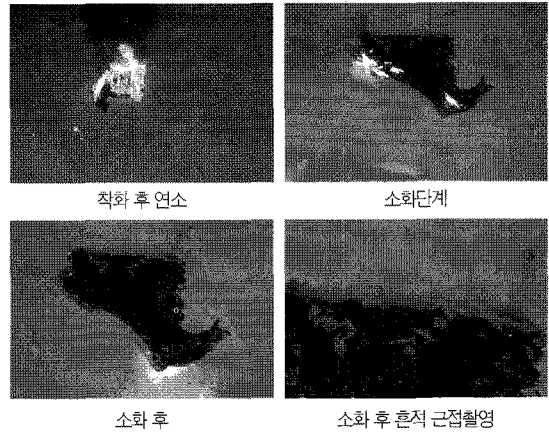
◎착화 후 기화된 유증에 순간적으로 연소 확산된 후 곧바로 소화단계에 접어들어 살포된 액체의 면적만큼 탄화 흔적을 남기고, 액체가 뿌려지면서 튀긴 곳에도 탄화된 형상이고, 경계면에서 튀김연소패턴(Splash Burn Pattern)이 부분적으로 나타남.

나) 휘발유 이용



◎착화 후 기화된 유증에 순간적으로 연소 확산된 후 곧바로 소화단계에 접어들어 살포된 액체에 비해 적은 탄화 흔적을 남기고, 액체가 뿌려지면서 튀긴 곳에도 탄화된 형상이고, 경계면에서 튀김연소패턴(Splash Burn Pattern)이 부분적으로 나타남.

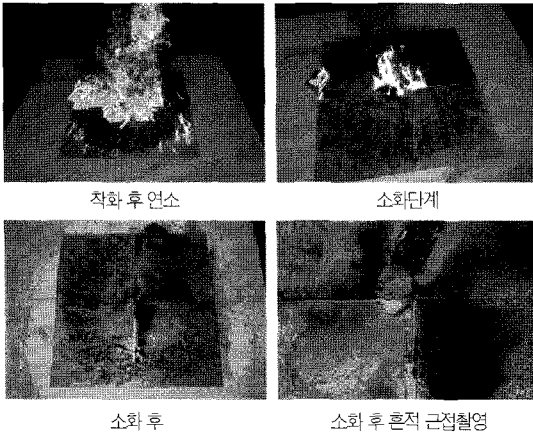
다) 경유 이용



◎ 바닥 면 전체에 경유를 살포 후 착화하였으나, 불씨로 사용한 지류 주위에 존재하는 액체가 서서히 기화되면서 지류에 흡수되어 연소하는 형태이고, 가열되지 않는 부위는 연소하지 않으며, 액체가 증발 연소하면서 바닥재인 장판의 표면이 가열되면서 오그라드는 형상을 남김.

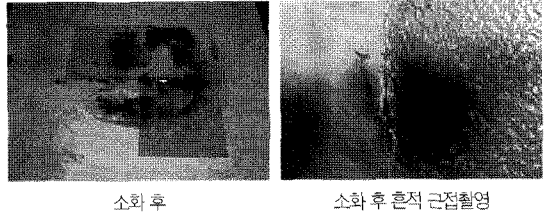
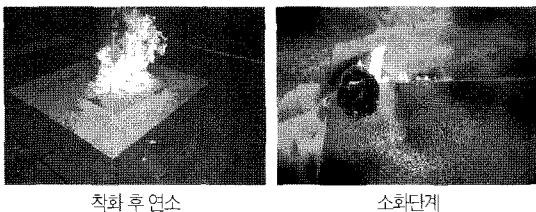
3) PVC타일(45×45cm)

가) 신나 이용



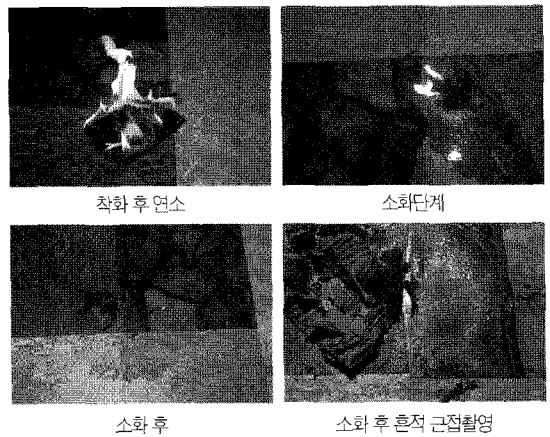
◎ 착화 후 기화된 유증에 순간적으로 연소 확산된 후 곧바로 소화단계에 접어들면서 바닥재의 바닥에 스며든 액체가 틈새로 기화되어 연소하는 형태이고, 살포된 액체의 면적만큼 테두리에 그을음이 부착된 상태이고, 이음새 부분이 연소하면서 생성된 것으로 보이는 상대적으로 깊은 탄화 흔적이 식별되며, 경계면 등에서 튀김연소패턴(Splash Burn Pattern)은 나타나지 않음

나) 휘발유 이용



◎ 착화 후 기화된 유증에 순간적으로 연소 확산된 후 곧바로 소화단계에 접어들면서 바닥재의 바닥에 스며든 액체가 틈새로 기화되어 연소하는 형태이고, 바닥에 살포된 액체에 비해 적은부위에 그을음이 부착된 형태를 띠고 있으며, 액체가 고여 있었다고 추정되는 부위에서 부분적으로 그을음이 부착된 상태이고, 이음새 부분이 연소하면서 생성된 것으로 보이는 상대적으로 깊은 탄화 흔적이 식별되며, 경계면 등에서 튀김연소패턴(Splash Burn Pattern)은 나타나지 않음

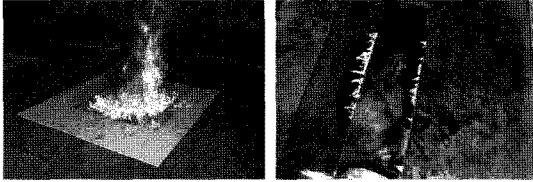
다) 경유 이용



◎ 바닥 면 전체에 경유를 살포 후 착화하였으나, 불씨로 사용한 지류 주위에 존재하는 액체가 서서히 기화되면서 지류에 흡수되어 연소하는 형태이고, 가열되지 않는 부위는 연소하지 않으며, 액체가 증발 연소하면서 발생하는 복사열에 의해 경계면 부분이 일부 오그라드는 형상을 남김

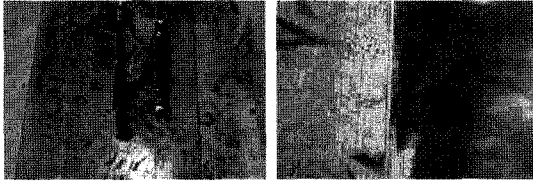
#### 4) 목재 마루

##### 가) 신나 이용



착화 후 연소

소화단계



소화 후

소화 후 흔적 근접촬영

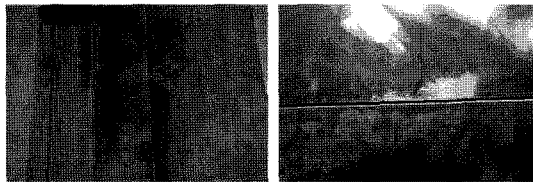
◎ 착화 후 기화된 유증에 순간적으로 연소 확산된 후 곧바로 소화단계에 접어들면서 바닥재의 바닥에 스며든 액체가 틈새로 기화되어 연소하는 형태이고, 살포된 액체의 면적만큼 테두리에 그을음이 부착된 상태이고, 이음새 부분이 연소하면서 생성된 것으로 보이는 상대적으로 깊은 탄화 흔적이 식별되며, 경계면 등에서 튀김연소패턴(Splash Burn Pattern)은 나타나지 않음

##### 나) 휘발유 이용



착화 후 연소

소화단계



소화 후

소화 후 흔적 근접촬영

◎ 착화 후 기화된 유증에 순간적으로 연소 확산된 후 곧바로 소화단계에 접어들면서 바닥재의 바닥

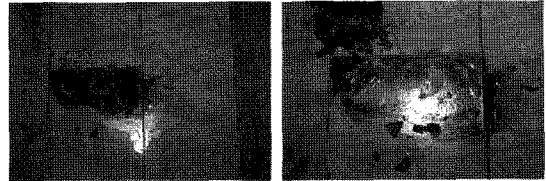
에 스며든 액체가 틈새로 기화되어 연소하는 형태이고, 바닥에 살포된 액체에 비해 적은부위에 그을음이 부착된 형태를 띠고 있으며, 액체가 고여 있었다고 추정되는 부위에서 부분적으로 그을음이 부착된 상태이고, 이음새 부분이 연소하면서 생성된 것으로 보이는 상대적으로 깊은 탄화 흔적이 식별되며, 경계면 등에서 튀김연소패턴(Splash Burn Pattern)은 나타나지 않음

##### 다) 경유 이용



착화 후 연소

소화단계



소화 후

소화 후 흔적 근접촬영

◎ 바닥 면 전체에 경유를 살포 후 착화하였으나, 불씨로 사용한 지류 주위에 존재하는 액체가 서서히 기화되면서 지류에 흡수되어 연소하는 형태이고, 가열되지 않는 부위는 연소하지 않으며, 액체가 증발 연소하면서 발생하는 복사열에 의해 경계면 부분이 일부 탄화된 형상을 남김.

### III. 고찰

#### 1. 액체의 성질

액체는 외부의 힘이 조금만 주어져도 원자들 사이의 결합이 끊어지게 되어 액체는 그 자체로 지탱될 수 없고 일정한 형태에 따라 그 모양이 달라진다. 액체의 상태변화를 살펴보면 액체는 끓는점에 도달할 때까지는

지속적으로 온도가 올라가고 끓는점에 도달한 이후 액체는 기체가 될 때 까지 끓는점의 온도를 유지하게 되며 두 가지 상태 액체와 기체상태가 공존하게 된다. 얼음을 예로 들면 0℃ 얼음은 액체가 될 때까지 0℃를 유지하고 액체가 모두 된 후 다시 온도가 상승하여 100℃ 끓는점에 도달한다. 지속적인 열이 가해지면 액체 모두가 기체가 될 때까지 100℃를 유지하고 기체가 된 이후 다시 온도가 상승한다. 다음 그림 1은 물의 상태변화를 나타낸 것이다. 가연성 액체도 이와 같은 원리가 적용된다.

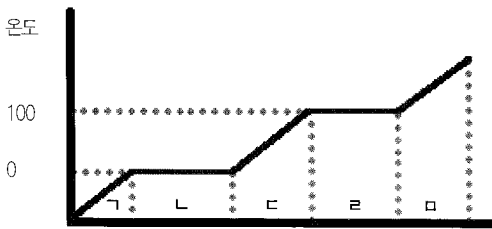


그림 1 물의 상태변화

가 : 얼음    나 : 얼음과 물(액체)    다 : 물(액체)  
 라 : 물(액체)과 증기    마 : 증기

## 2. 가연성 액체 화재의 특징

가연성액체가 방화와 실화화재의 점화와 확산에 이용되기 때문에 화재조사에 있어 상당히 중요한 부분을 차지한다. 일단 가연성 액체를 바닥에 뿌려질 때 연소되는 것은 그 액체의 증기가 실제로 연소된다는 것을 기억해야 한다. 만약 바닥이 스며들지 않는다면(리놀륨, 비닐, 콘크리트) 액체의 점성과 표면장력이 자체적으로 있는 웅덩이의 깊이를 결정할 것이다. 경유 점성액체는 상대적으로 가솔린과 같은 비점성 액체가 넓게 퍼지는 면적이 되지는 않을 것이다.(경유 : ~1mm, 가솔린 : 0.1~0.5mm) 따라서 바닥표면에 따라 웅덩이의 깊이가 달라지며 그에 따라 표면 탄화상태 역시 다양하다.

웅덩이에서 생성된 유증은 점화되기에 앞서 그림 2와 같이 확산에 의해 상승되고 수평대류에 의해 측면으로 확산된다.

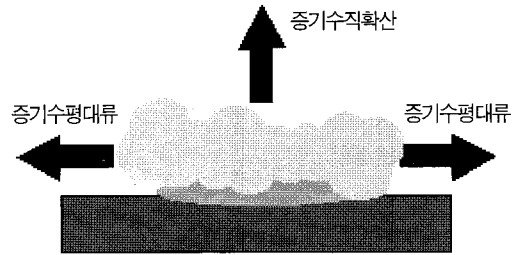


그림 2. 가연성액체의 수평·수직 확산

이 증기에 점화되자마자 불길은 증기가 대기로 확산된 모든 곳에서 발생된다. 웅덩이 중심 근처의 불길에서 복사열은 웅덩이에 있는 액체에 흡수되는 반면 불길 끝에서 복사열은 액체에 의해서 보호받지 않는 인접장판에 부분적으로 흡수된다. 이 복사열은 그림 3과 같이 웅덩이 외부 바닥에 피해를 유발하거나 점화시키기엔 충분할 수 있다. 반면 액체로 흡수된 열은 대류에 의해 영향을 미치고 고인액체 전체가 온도가 상승한다. 가연성액체는 그 하단의 표면을 실제 냉각시키지는 않지만, 분명하게도 그 액체의 끓는점 이상으로 올라가지 않기 때문에 바닥을 보호할 수 있다. 예를 들면 가솔린의 끓는점이 32℃이라면 고인액체 아래는 32℃를 초과하지 않고 고인액체 바닥은 가솔린이 증발할 때까지 피해를 입지 않으며, 증발이 쉽게 되면서 바닥에 상대적으로 피해가 적게 나타난다. 경유와 같이 무거운 석유화학제품은 연소될 때 액체의 끓는점이 340℃이라면 고인액체는 340℃에 도달되고 이 온도는 바닥에 있는 장판이나 나무를 점화시킬 수 있는 온도가 되어 탄화가 검게 나타난다. 이런 매커니즘을 일부 가연물이 달무리 형태의 연소패턴을 형성한다. 가연성액체들의 연소패턴이 너무 얇으면 독립적으로 있는 가연성 액체가 신속히 연소되어 없어지기 때문에 생성된다. 또한 가연물이 연소되면서 가연성액체가 가지고 있는 점성으로 인해 모든 부분이 동일하게 연소가 진행되지 않고 액체가 더욱 많이 있는 부분은 그올음이 짙어지는 패턴이 형성되면서 튀김연소패턴(Splash Burn Pattern)을 나타낸다.

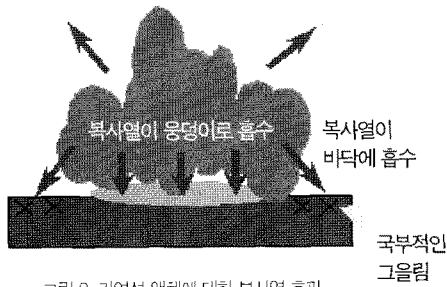


그림 3. 가연성 액체에 대한 복사열 효과

그림 4와 같이 만약 가연성액체가 존재하는 바닥에 갈라진 틈이 생성되어 있으면 가연성액체가 다른 부분보다 많이 존재하므로 장시간 연소가 진행되어 연결부분에서 국부적인 연소패턴이 형성된다. 만약 특별한 환기가 이들 틈새로 유입되면 심하지만 국부적인 피해를 유발할 수 있다.

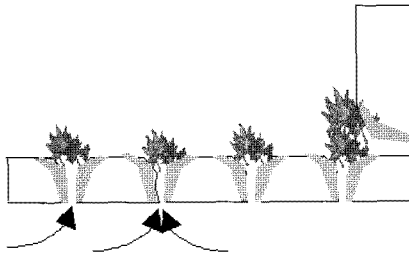


그림 4. 가연성 액체의 갈라진 틈새에서의 연소

#### IV. 결론

본 연구의 실험 결과 끓는점이 낮은 액체의 경우 기화되는 속도가 빨라 바닥의 탄화정도가 약하게 나타나며, 끓는점이 높을수록 기화되는 속도가 느려져서 바닥에 많은 열이 복사되어 탄화정도가 깊게 나타나는 현상을 알 수 있으며, 틈새의 특징을 가지는 타일 및 마루의 경우 바닥면은 탄화되지 않으나 아래로 스며든 액체가 기화하면서 틈새가 장시간 연소하면서 모서리 부분에서 깊은 탄화흔적을 나타내고, 특히 화재현장에서 끓는점이 상대적으로 높은 경우가 틈새가 있는 바

닥재에 살포되었을 경우 주변의 가연물이 연소하면서 발생하는 복사열에 의해 서서히 기화되면서 연소될 경우 바닥에서 상대적으로 깊은 탄화형상이 나타날 것으로 기대된다.

위와 같은 점을 토대로 화재현장에서 연소 후에 남아있는 바닥의 흔적과 바닥재의 재질에 따른 비교분석을 통하여 사용된 연소매개체의 종류 등에 대한 추론이 가능하다고 볼 수 있으나, 화재현장의 가연물 등이 연소하면서 발생하는 소략물의 재 연소 및 복사열에 의해 생성될 수 있는 추가 연소의 가능성이 충분히 고려하여 판단하여야 할 것이다.

#### 참고문헌

- John D. DeHaan, Kirk's Fire Investigation, 5th ed. New Jersey : Prinice hall, Inc. 2002.