

발화원(發火源)의 감정(I)

- 연소기구의 감정(上) -

김윤희 / 국립과학수사연구소 물리분석과장



화재조사는 크게 피해조사와 원인조사로 나눌 수 있는데 원인조사는 발화원인조사, 확산원인조사, 피해(발생)원인조사로 나누어 조사한다. 이중 발화원인조사는 그 목적이 형사상 책임소재를 분명히 하기 위하여 방화인지 실화인지를 규명하는데, 실화라면 과실 정도를 판정하는 기준이 된다.

발화원이란 발화원인이 되는 물질 또는 물체를 이르는 것으로 전선과 배선기구, 각종 전기·전자 제품, 연소기구, 기계류, 가연성가스 등 위험성 물질, 담배 불씨나 소각불씨와 같은 여러 가지 불씨 등을 말한다. 이러한 발화원 중에는 진화 후 잔해가 남는 것이 있고 소멸되는 것이 있다. 화재원인조사 자체가 진화 후 연소된 잔해를 가지고 귀납적인 방법으로 어디에서 발화하여 어떠한 경로를 통해 확산되었는가를 밝혀내는 것으로, 발화된 곳에서 남아있는 잔해를 검사하여 발화원을 판정하고 발화원에서 어떠한 원인으로 발화되었는가를 밝혀내는 것을 발화원의 감정이라 한다.

화재원인조사 특성상 발화부에서 발화원으로 작용할 수 있는 남아있는 잔해를 검사하여, 배제할 수 있는 것은 배제해 나가는 방법을 채택할 수밖에 없다. 따라서 발화원인 조사자는 각종 발화원의 기능과 원리 및 그 발화과정을 이해하고 있어야 하며, 특히 발화되었을 때 나타나는 특징들에 대하여 숙지할 필요가 있다.

발화원인조사는 먼저 목격자 및 소방관계자 등의 증언과 현장의 연소형태로부터 최초로 연소된 최소한의 공간인 최초연소부위를 판정하게 되는데, 그 공간은 경우에 따라 매우 넓을 때도 있고 매우 협소할 때도 있다. 원인 조사자는 증언만을 토대로 최초연소부위를 결정할 것이 아니라 연소형상이나 물적 증거로 이를 입증할 필요가 있다. 최초연소부위에서 발화부위를 결정하고 발화부위에 있는 각종 발화원을 검사하여 배제할 것은 배제하여 발화원이 되는 연소잔해를 물적 증거로 확보하는 것은 쉽지 않은 일이다. 따라서 큰 물체부터 연소 특징과 발화흔적을 검사하여 배제하거나 확정하고 이해관계를 고려하여, 가능성이 있는 모든 발화원을 검사하는 방법을 사용하여야 한다.

발화원은 잔해가 남아있는 경우도 있고 완전히 소멸되는 것도 있으므로 조사자는 먼저 형체가 남아있는 것을 조사하는데 발화원으로 남을 수 있는 것이 가능한 한 모두 배제된다면 잔해가 완전히 소멸되는 발화원으로 판정하게 되며, 이 경우 상황으로부터 반증하게 된다.

감정이란 물체 또는 물질을 대상으로 하는 것이므로 본고에서는 형체가 남는 각종 발화원에서의 발화특성과 잔해에서 나타나는 특징을 기술하고자 한다.

1. 연소기구와 화재

발화원인 조사시 우선 화재현장의 최초연소부위 또는 발화부위에 연소기구가 있는지를

검사하게 되는데 어느 현상이든 대부분 한 두개의 연소기구는 존재하기 마련이다. 연소기구는 그 종류가 대단히 많아서 일일이 나열하기 어렵지만 사용연료에 따라 고체연료를 사용하는 것, 액체연료를 사용하는 것, 기체연료를 사용하는 것이 있다.

연소기구에서의 발화는 없던 불씨가 발생하는 것이 아니라 제한된 공간에서 연소되어야 하는 화염이 외부로 확대되는 것이므로 출화라고 하는 것이 더욱 타당하다. 이들 연소기구의 공통된 원리는 제한된 공간에서 제한된 연료와 공기를 임의로 공급하여 가연물의 연소과정에서 생겨나는 발열 에너지를 이용하는 것이므로 고온부가 있기 마련이며, 주변이나 자체에는 가연물이 없는 경우가 많다. 따라서 출화되는 경우는 대부분 가연물의 근접 또는 접촉에 의한 것이며, 자체 이상에 의한 출화는 열평형이 붕괴되는 것을 말한다. 열평형이 붕괴된다는 것은 발열과 방열이 평형상태를 이루어 정상상태를 유지하여야 하나 연료공급 과다, 산소공급 부족, 방열 차단, 부적절한 연료사용 등에 의하여 과열되거나 저온부가 고온화되는 것을 말한다.

2. 연소기구화재 발생 메커니즘과 연소 패턴

가. 가연물 접촉과 출화

(1) 연소기구의 화염에 직접 가연물이 접촉되는 경우

연소기구의 화염에 직접 가연물이 접촉되는 경우 곧바로 주변의 가연물로 연소가 확대되어 징후를 발견하기도 전에 진화불능상태로 발전하게 되며, 급격한 확산연소형태^{*}로 대부분 발화부위의 특징이 소멸된다.

* 급격한 확산연소형태란 전기 에너지에 의한 발화나 작은 불씨(미소화종(微少火種) ; 담배불씨, 용접불씨, 모기향)에 의해 발화되었을 때 나타나는 특징과 비교되는 형태이다. 전기 에너지에 의한 발화 및 작은 불씨(미소화종)에 의해 이연성 가연물이 고온화되어 서서히 타기 시작하다가 불꽃이 발생하여 연소되는 과정을 거치는 경우, 발화 부위가 어느 정도 시간을 가지고 확대되어 나가므로 국부적으로 심한 연소형태를 나타낸다. 또한 같은 부분에서 이연성 가연물의 화화(花火)된 형태가 남기도 하며 주변에 비하여 움푹 패인, 또는 심한 연소형태, 심한 수열형태를 남긴다.

라이터, 촛불, 어린이 불장난과 같은 작은 불꽃에서는 좁고 밀폐된 공간이 아닌 경우 서서히 연소되는 과정 없이 화염이 곧바로 확대되므로 좁은 부분이 부분적으로 움푹 패인 형태나 심한 연소형태, 수열형태가 나타나지 않는다. 그러나 가정집과 같은 비교적 좁은 공간에서 작은 불꽃에 의해 연소가 확대되는 경우 서서히 연소되는 과정을 거친 것과 같은 형태를 나타내는데 이는 실내공기의 부족으로 확대가 지연되기 때문이다.

어느 정도 밀폐된 공간에서 발화하여 산소 부족으로 소화과정 중 급격한 공기유입에 의해 폭발적 연소를 일으키거나 누설된 가스로 인해 폭발적으로 연소하는 경우에는 순차적인 연소경로가 나타나지 않는데 이를 확산연소라 하며, 대부분의 공간 화재 현장에서 최초연소부위가 아닌 연소된 부분에서 나타나 있다.

(2) 주변 가연물의 복사열에 의한 발화

가연물이 연소기에 근접하여 착화되는 경우는 통풍이 용이한 곳에서는 지극히 근접한 거리에서만 가능하다. 붕괴가능성이 있는 경우 복사에 의한 착화 이전에 주변 가연물이 건조 붕괴되어 연소기로 직접 낙하할 때, 통풍이 불량하고 붕괴가능성이 없는 경우 방열 차단으로 자체가 과열될 때 출화된다. 또한 통풍이 양호한 경우 복사 에너지로 가열된 불연재 이면의 판자 등 가연물이 착화, 벽체 속에서 발화하기도 한다. 이러한 경우 서서히 연소되는 과정을 거치게 되므로 국부적인 연소형태를 나타낸다.

(3) 고온부에 가연물의 접촉

보일러와 같은 연소기는 화염이 노출되어 있지 않지만 고온부가 존재한다. 이 고온부에 가연물이 접촉되면 발화하게 되는데 고온부의 온도에 따라 발화과정은 상이하게 나타난다. 450℃ 이상이면 즉시 착화되어 화염에 접촉된 것과 같은 연소과정을 거치게 되고, 180℃ 이상에서는 가연물이 분해-탄화-착화-불꽃발생 등의 과정을 거치게 되어 국부적인 연소형태를 나타낸다.

(4) 연료의 누설

기체연료 연소기구, 액체연료 연소기구 등에서 연료가 누설되는 경우 화염에 가연물이 접촉된 것과 같은 발화과정을 즉시 일으키게 된다.

(가) 기체연료 연소기구

휴대용 부탄가스, 이동식 부탄가스 난로, 취사용 가스레인지, 파일롯트 점화방식의 가스보일러는 외부에 화염이 있는 상태에서 누설되는 경우 누설부위에서 착화 연소하게 된

다. 이것이 점점 확대되어 전체가 착화되고 나아가 연료관을 손상시켜 급격히 확산된다. 화염이 없는 상태에서 누설되면 폭발화재로도 발전하게 된다.

(나) 액체연료 연소기구

석유 스토브와 같이 불꽃이 있는 연소기에서 연료가 누설되거나 연료로 몸체가 오염되면, 발생된 유증이 착화되어 일순간에 연소기 자체가 착화된다. 기름보일러와 같이 불꽃이 밀폐되어 있는 공간, 즉 외부와 차단된 연소실에만 있는 경우에도 연소를 위한 산소 공급은 급기팬을 이용하여 연소실로 불어넣게 되어 있다. 따라서 발생된 유증이 급기팬을 통해 연소실로 유입되는 과정에서 역화현상이 일어나 누설된 연료에 착화하게 된다.

나. 자체 이상에 의한 출화

연소기의 이상이란 불완전 연소로 인하여 열평형이 붕괴되고 이로 인하여 정상 연소가 일어나지 않아 저온부가 고온화되는 현상을 말한다. 즉 불완전 연소로 그을음이 발생하고 그을음은 연돌을 막아 불완전 연소를 가중시키며, 연소실 부분에서만 일어나야 하는 연소가 상승하여 저온부가 고온화되는 현상을 말한다.

이를 다시 설명하면 보일러의 연료공급 과다 또는 공기공급 부족으로 불완전 연소가 일어날 경우 불꽃 길이가 길어져 연소실 상단 열교환기 부분에서 연소가 일어나게 되고 심하면 연통부분에서 연소가 일어나 연통부분이 과열되게 된다. 이러한 현상을 일반적으로 과열현상으로 표현하고 있으나 경유용 연소기에 휘발유를 연료로 사용하는 것과는 상이한 형태이므로 과열로 표현하는 것은 적절치 못하다. 정상 상태에서 저온부인 부분이 고온화되면 접촉된 전선을 손상시켜 합선을 유발하고, 연통부분이 고온화되면 쌓여있는 먼지에 착화 발화하기도 하며 심한 경우 연통 선단으로 불씨가 유출될 수도 있다.

(1) 이상원인

(가) 급기불량

급기가 불량하면 불완전 연소를 유발시키고 이는 그을음을 발생시킨다. 그을음은 연돌을 막거나 열평형을 무너뜨려 이상 발열로 이어지게 되고, 저온부가 고온부로 발전, 출화하게 된다. 급기상태가 불량한 경우는 급기팬의 비정상, 급기구의 막힘 등이 있으며, 급기가 정상상태인 경우라도 급기 중에 산소농도가 감소하게 되면 급기 불량상태가 된다. 즉 실내에 가동중인 석유난로가 있는 상태에서 다른 원인에 의하여 화재가 발생하여 실내공기 중의 산소가 결핍되면 연소기는 급기 불량상태가 되어 그을음을 발생시킨다.

(나) 배기불량

배기가 불량하면 급기 부족상태가 되어 불완전 연소로 이어지고 출화하게 되는데 일반적으로 배기구의 구조는 급기구의 구조보다 배기 능력이 커 어느 정도 막힘이 있더라도 문제가 되지 않으나 20% 이상이 막히게 되면 문제를 야기시킨다.

(다) 연료누설

연료 라인에서의 누설은 이음부나 고무호스 부분의 노후 또는 파손으로 인해 누설되는 경우로 간혹 주변의 전선과 접촉되어 있는 전선이 연료호스 부분과 접촉된 상태에서 자체 진동 등에 의하여 절연피복이 손상되어 합선이 일어나 연료호스가 파손 누설되는 경

우가 있다. 또한 기름보일러의 경우 연료계통의 에어를 제거하는 과정에서 누설된 기름이 문제가 되는 경우도 있으며, 급유 중 흘린 기름이 문제가 될 수도 있다.

(라) 연료 과다공급

연소기 부분에 과다한 연료가 공급되는 경우는 가스의 경우 고압(레귤레이터 이상, 거버너 이상 등), 액체연료의 경우 연료펌프에 고전압, 점화불량 등에 의하여 체류된 연료의 일시적 연소 등이 있다.

(마) 점화불량

공급되는 연료가 즉시 착화 연소되어야 하나 점화상태가 불량하여 연료 자체가 연소실에 체류하게 되면 재가동시 체류된 연료가 함께 연소되어 연료 과다공급과 같은 효과를 나타낸다. 가스의 경우 순간적인 폭발연소로 큰 화염이 생겨 주변의 가연물에 착화되기도 한다.

- 다음 호에 이어서 -

- 목차 -

1. 연소기구와 화재

2. 연소기구화재 발생 메커니즘과 연소 패턴
가. 가연물 접촉과 출화

- (1) 연소기구의 화염에 직접 가연물이 접촉되는 경우
- (2) 주변 가연물의 복사열에 의한 발화
- (3) 고온부에 가연물의 접촉
- (4) 연료의 누설

나. 자체 이상에 의한 출화

- (1) 이상원인
 - (가) 급기불량
 - (나) 배기불량
 - (다) 연료누설
 - (라) 연료과다공급
 - (마) 점화불량

3. 연소된 연소기구의 검사

가. 화재현장에서의 외관 관찰

- (1) 발열하던 히터는 붉은 색으로 착색된다.
- (2) 전선에서 단락흔을 확인한다.

- (3) 표면의 가연물 부착형태가 있는지를 확인한다.
- (4) 그을음이 심하면 의심할 필요가 있다.
- (5) 스위치 등을 확인한다.

나. 가스연소기구

- (1) 가스기구의 검사
 - (가) LPG 가스통, 부탄가스통
 - (나) 레귤레이터(압력조정기)
 - (다) 연료조정(차단) 밸브
 - (라) 점화장치 및 불꽃 감지장치
 - (마) 가스호스
- (2) 가스레인지
- (3) 가스보일러
- (4) 가스순간온수기
- (5) 휴대용 가스레인지
- (6) 캐비닛 부탄가스난로

다. 석유연소기구

- (1) 기름보일러
- (2) 석유난로
- (3) 팬히터

라. 화목난로의 검사

