

발화원(發火源)의 감정(I)

- 연소기구의 감정(下) -

김윤희 / 국립과학수사연구소 물리분석과장

- 지난 호에 이어서 -

3. 연소된 연소기구의 검사

화재현장의 발화부위에서 발견되는 각종 연소기구를 검사하여 화재원인과 관련이 있는지 없는지를 확인하여야 한다. 연소기구는 대부분 자체 및 주변에 인화성이 강한 연료가 있기 때문에 심하게 연소되고 파손된다. 현장에서 연소기구를 검사할 때는 이를 감안하여 특별한 주의가 필요하다.

가. 화재현장에서의 외관 관찰

연소기구가 가동상태였는지 가동되지 않은 상태였는지는 여러 가지 방법으로 확인할 수 있으나 초기 또는 착화직후 변형되거나 변형시켰을 수도 있기 때문에 각별한 주위가 필요하다.

예를 들면, 가스레인지에 튀김용 프라이팬을 올려놓고 방치하여 과열된 상태로 발견되면 발견자는 즉시 점·소화 스위치 차단, 연료호스 밸브 차단 등의 조치를 취하게 되지만 이미 천장 부분에 착화된 불씨 또는 훈소하고 있는 불씨(좁은 공간인 경우 실내공기 부족으로 훈소가 이루어지고 있다가 연기를 제거하기 위하여 환기하는 과정에서 천장의 훈소하던 불씨가 급격히 확산됨)가 확산 화재로 발전, 연소하게 되면 조치를 취한 사람이 진술하더라도 객관적 입증이 용이하지 않다. 따라서 다음과 같은 특징을 조사하여 종합적으로 판단한다.

(1) 발열하던 히터는 붉은 색으로 착색된다.

연소기 가동 중 또는 전기히터가 작동 발열하고 있던 중에 자신으로부터 출화하거나 외부 화염에 의하여 2차적 연소를 일으키는 경우 비교적 적색으로 착색된다. 왜냐하면 대부분의 연소기는 낮은 곳에 위치하고 있어 일반 화재에서는 연소기의 온도가 1000℃ 까지 올라가지 않으나, 연소기가 발열하고 있는 도중 화재로 재차 가열되는 경우에는 1000℃ 이상으로 가열, 표면의 이산화철이 부식되기 쉬운 철로 환원되어 공기 중의 산소와 결합, 삼산화철로 부식되기 때문이다. 즉 비교적 적색으로 부식된 연소기의 철재 잔해는 가동 중이었음을 가정하고 조사한다.

(2) 전선에서 단락흔을 확인한다.

전선에서 나타나는 단락흔은 그 자신이 발화원인이 되기도 하지만 절연피복이 화재로 연소되어 형성된 것이 대부분이다. 따라서 단락흔이 가지는 의미는 전원이 연결된 상태

에서 연소되었다는, 즉 연소된 전선 중 단락흔이 형성되어 있는 전선보다 먼저 연소된, 초기 연소 부분이라는 데에 있다. 만약 전기가 연결된 연소기의 전원선, 특히 전원인 입구 부분에서 단락흔이 발생되어 있으면 대부분 연소기에서부터 출화된 것으로 볼 수 있다.

(3) 표면의 가연물 부착형태가 있는지를 확인한다.

고온 물체에 전선, 플라스틱, 합성섬유로 된 의류 등이 접촉되면 접촉부분에서 용융되고, 고온 물체에 늘어붙어 탄화되며 흔적을 남기는데 진화 후에도 형태가 남아있는 경우가 대부분이다.

이와는 달리 저온의 금속물체에 연소되고 있는 합성섬유나 플라스틱류가 낙하하면 접촉 즉시 플라스틱류는 굳어버리고 재차 연소되어도 표시가 남게 된다. 즉 금속 표면의 온도가 접촉되고 있는 가연물보다 높은 온도인 경우 접촉 부분에서부터 연소가 이루어지고 용융되거나 회화(灰化)되며, 연소되고 용융되는 경우 고온 부분에 녹은 가연물 액체가 늘어붙어 흑색으로 착색된다. 또한 혼방의류인 경우 직조형태까지 남게 된다. 순면이나 종이류와 같이 완전 연소되는 경우 접촉된 부분에 그을음이 중앙 부분에서부터 확산된 형태를 나타낸다. 연소하고 있는 순면이나 종이류가 낮은 온도의 금속 표면에 낙하하면 가장자리에서부터 안쪽으로 연소가 진행되므로 그을음의 형태가 중앙 부분에는 남지 않는다. 초기 연소 부분이 비교적 잘 보존이 되고 최초 조사자가 세심히 관찰하면 확인할 수 있다.

(4) 그을음이 심하면 일단은 의심할 필요가 있다.

연소기의 화재는 기본적으로 불완전 연소가 일어나며 발생하는 것으로 배기 계통에 그을음이 형성된다. 그을음의 정도는 출화 과정의 지속시간과 관계가 있다.

(5)스위치 등을 확인한다.

각종 연소기에는 점화, 소화, 온도조절 레버, 과열보호장치, 불꽃감지장치, 연료조정(차단) 밸브 등 여러 가지 부품이 연결되어 있다. 이들이 작동되는지를 확인하는 것은 기본이지만 검사 결과 연소기가 작동되지 않는 상태라고 하여 반드시 연소기에서 출화되지 않았다고 단정할 수는 없다. 이는 2차적으로 변형될 수 있기 때문이며 검사할 때는 검사 당시의 상태와 연소될 때의 상태 및 화재발생 시점의 상태를 구분하여 조사한다.

나. 가스 연소기구

가스 연소기구의 출화는 대부분 연료누설에 의한 폭발, 과압에 의한 이상 연소, 사용방치에 따른 과열이 주된 원인이다. 현장의 파손형상이 붕괴, 유리창의 충격파에 의한 파쇄 등 가스폭발에 의한 형상인 경우 조사의 주안점은 가스종류, 누설원인, 점화원의 확인으로 이루어지게 되는데 일반적인 가스화재 또는 가스폭발화재의 경우 가스누설원인이 가장 중요하나, 가스를 다량 취급하고 언제나 누설 위험이 있는 업소나 가스시설개소에서 화재인 경우에는 점화원이 가장 중요하게 취급되기도 한다.

(1) 가스기구의 검사

파손되거나 소훼(燒燬)된 가스기구를 검사하는 목적은 누설개소와 원인을 밝히는 것이다.

(가) LPG 가스용기, 부탄가스용기

가스용기에는 용량, 가스종류, 사용형태 등에 따라 각각 크기, 내압정도, 구조 등이 상이하나, 공통된 특징은 용기 내부에 액상과 기상이 공존한다는 점과, 내압은 기체의 증기압이 걸려 있으며 내부에는 연소하는데 필요한 산소가 없다는 점이다.

이들은 화재현장에서 파손되거나 연소 변형되는데 그 형태로 연소 전의 상태를 알 수 있다. 일반 화재현장에서 발견되는 LPG 저장용기가 중앙 부분이나 상단 어깨 부분이 부풀어오른 상태로 절개되어 있으면 액체가스가 들어있는 상태에서 넘어진 것이고, 양분되거나 용접부가 대부분 절개되고 펴져 있으면 이는 빈 용기였다는 것이다. 또한 연소되어 있으나 외형상 특이한 변형이 없으면 이는 용기에 가스가 있었던 것으로 안전밸브가 정상 작동한 것이다.

어느 것이나 검사할 때는 표면에 형성된 액면 위치에 나타나는 흔적이나 결로 흔적을 검사한다. 호스의 절단이나 연료호스의 소실로 인해 가스가 일시에 다량으로 누설되는 경우 용기 표면에서 결빙현상이 일어나기도 한다. 조사 시점에는 어느 것이나 밸브가 잠겨있을 것이므로 조사 당시의 잔량을 측정하여 둔다. 화재현장에 있던 휴대용 부탄가스 용기는 내압이 약 $7\text{kg}/\text{cm}^2$ 이므로 대부분의 이음부는 분리 파손되며, 휴대용 가스레인지에 부착되어 있던 것은 상단부에 흠집이 남게 된다. 또한 장착된 상태에서 누설되는 가스화염에 의하여 가열되면 국부적인 가열 흔적이 남게된다.

(나) 레귤레이터(압력조정기)

용기에 담겨져 있는 액체가스는 증기압이 걸려있어 사용하기에 적당한 압력으로 낮추어야 한다. 이때 거버너와 레귤레이터(압력조정기)가 사용되는데 이것이 이상이 있을 때에는 연료 파이프나 호스, 연소기 등에서 다량의 가스가 급격히 유출되어 가스폭발로 이어지게 된다. 따라서 가스폭발사고 조사시 연결된 레귤레이터의 검사는 필수다. 가스가 연소되지 않고 남아있는 경우 정상여부의 검사가 용이하나 연소되거나 화재로 변형되면 확인이 용이하지 않다. 이들 거버너의 손상원인은 밸브시트(고무질)의 파손, 다이어프램 받침 스프링의 부식손상, 밸브시트 고정핀 이탈 등이며, 완전 연소 용융된 경우에는 남아있는 스프링의 상태로 추정이 가능한 경우가 있다.

(다) 연료조정(차단) 밸브

각종 가스연소기구의 연료 라인에 연결된 밸브는 스프링의 길이, 밸브 손잡이 부분의 변색형태 등으로 발화 당시의 상태, 연소시의 상태, 검사시의 상태를 확인할 수 있다. 발화초기 발견자가 밸브를 잠그기도 하므로 밸브가 잠김 상태로 발견되었다고 하여 가스연소기구에서의 출화가능성을 완전히 배제할 수는 없다. 특히 캐비닛 부탄가스 난로의 경우 커플링 부분의 밸브는 내장스프링에 의하여 연소과정에서 소화위치로 자동 변형될 수가 있다.

(라) 점화장치 및 불꽃 감지장치

가스연소기구의 점화장치는 대부분 방전방식을 사용하는데, 점화된 피일렛 램프에 의한

점화방식의 보일러도 있다. 점화장치 검사는 방전봉의 위치가 불량하거나 그을음 등에 의하여 오염되면 방전되지 않게 되며, 불꽃 감지장치는 내장된 마그네트 부분이 외부열로 가열되면 용착되어 그 기능을 상실하게 된다.

(마) 가스호스

연료호스에서 누설이 먼저 일어난 후 이에 착화되면 누설 부위에서 착화연소된 흔적을 발견할 수 있으므로 연결부위의 그을음 상태를 확인하고, 고무호스인 경우 남아있는 철망 부분을 실체 현미경으로 관찰하여 임의 손상흔적이나 부식 손상상태를 확인한다. 고무호스 내부에서 박리가 일어나면 철망 부분이 부식되고 부식된 철망이 바늘과 같이 변형되어 내부 고무막을 손상시켜 누설되게 되는데 2차적인 연소로 철망만 남아 있는 경우 이러한 부위는 바늘형상으로 부식되어 있고 적색으로 산화되기도 한다.

(2) 가스레인지

가정에서 취사용으로 사용하는 가스레인지에서의 출화는 취사 중 방치하여 발생하는 경우가 가장 많으며, 주변에 누설되는 것을 모르고 점화시키면 폭발을 일으켜 화재로 발전하게 된다.

주방에서 가스레인지를 사용 중 방치하면 조리중인 음식물에서 유증이 발생하여 착화되고 화염이 후드부분까지 상승 화재로 발전하게 된다. 이 경우 과열된 가스레인지의 연소기는 다른 연소기보다 수열정도가 심하여 적색으로 변색되고, 이면에 가스호스와 레인지의 연결부분에서 금속부분의 가열로 열변형되어 누설이 있게 되며 여기에 착화되면 급격히 확산되게 된다. 간혹 후드의 환풍기 모터가 작동하고 있는 경우 모터 부분에서 출화된 경우와 같은 현상의 흔적을 남기게 된다.

심하게 연소된 경우 점·소화 손잡이 부분의 스프링 형태로 사용 중임을 확인하고 조리용 그릇의 변색정도를 확인한다. 스테인리스 스틸이나 주물로 제작된 솥과 같은 것에는 푸른빛의 환상 무늬가 남게 되며, 레인지 밑부분의 받침판에 국부적인 수열흔적이 남게 된다.

(3) 가스보일러

가스보일러에서 출화되는 경우는 가스공급 압력의 과다로 누설되는 경우 파일럿램프 점화방식에서는 허용 이상의 연료가스 유입으로 즉시 연소가 확대되어 심한 연소형태를 나타내며, 전자식 점화방식에서는 폭발로 이어진다. 연소된 잔해에서는 연결전원선에서의 단락흔이 나타나고, 누설부위에서 2차적 착화 연소로 불꽃 형태가 남으며, 열교환기 부분에 부식과 그을음이 쌓인다. 연결된 연통에서 출화된 경우에는 연통부분에서 국부적인 수열형태가 나타난다.

(4) 가스 순간온수기

가스 순간온수기는 별도의 배기설비 없이 설치하게 되어 있어 배기 부분으로의 유출 열기에 의해 천장 등 인접한 가연물에 착화 화재로 발전하게 된다. 연소된 연소기 자체에는 불꽃넘침 흔적과 열교환기 부분에 심한 수열형태를 나타나게 된다.

(5) 휴대용 가스레인지

연소된 휴대용 부탄 가스레인지는 사용 중 과열되면 대부분 안전장치가 작동되어 자동 소화되거나 용기의 불완전 결합으로 누설되는 가스에 착화, 지속적으로 연소가 일어나면 안전장치가 있어도 용기가 과열되며 화재로 발전한다.

대부분의 경우 안전장치가 작동한 후 요리중인 수열부의 잠열이 용기로 전달되어 용기 내압이 상승 과열하게 되는데 이때는 착화되지는 아니하며, 주로 과열현상만 나타나게 된다.

부탄가스 용기는 사용하는 도중에는 자체 가스의 증발열로 용기자체가 냉각되어 낮은 온도를 유지하나, 과도한 넓이의 조리기구를 사용하거나 통풍을 제한한 상태에서 사용하면 용기의 온도가 70℃ 정도 이상 상승한다. 따라서 내압이 높아져 안전장치가 작동 소화되거나 임의로 소화시켜 방치하게 되면 조리기구의 잠열이 용기부분으로 전달되어 용기의 온도가 높아져 과열되며 증기폭발 현상을 일으킨다. 이때 주변에 점화원인 있으면 화재로 발전하게 되는데 화재현장에서 발견되는 레인지가 용기 장착 부분을 중심으로 파손 변형되어 있으면 가스용기가 장착되었던 상태에서 연소되었거나 자신으로부터 발화된 것이다. 자신으로부터 발화된 경우 용기의 머리부분에서 장착 시 형성된 화염흔적과 레인지의 탈착 레버 및 스프링의 변형상태로 장착상태인지 가동상태인지 확인하고, 과열된 후 2차적인 점화로 화재로 발전하는 경우 일반 화재현장에서 가동되지 않은 상태에서 연소된 것과 같은 형상을 나타내므로 정황증거로부터 판단함이 옳을 것이다.

(6) 캐비닛 부탄가스난로

연료통과 연소기가 함께 부착되어 있어 자체에서 출화되는 경우 심하게 연소되며, 주로 사용 중 가연물의 접촉, 커플링 부분에서의 가스누출로 폭발 또는 사용 중 누설부위에 착화 화재로 발전한다.



대부분의 누설에 의한 폭발이나 화재는 커플링 부분의 불완전 결합, 내부 밸브시트 레버 받침쇠의 파손으로 일어나며, 받침쇠의 파손 시 파손된 부품이 가스용기 속으로 들어가게 되어 있다. 커플링 부분이 소실되면 금속부분만 남게 되며, 내장된 스프링에 의하여 열림 상태였던 것도 잠김 상태와 같은 형상을 나타내게 된다. 대부분의 경우 누설부위에 착화되어 연소흔적이 남아 있는데 화염에 의해 몸체나 용기 몸체에 국부적으로 수열된 형태가 남는다.

다. 석유연소기구

대표적인 액체연료 연소기구인 석유연소기구는 기름(경유)보일러, 석유스토브, 뿔히터, 석유난로가 있으며, 이들 연소기에서의 출화는 고온부에 가연물이 접촉되거나 연결된 전기회로 상에서의 전기적인 발열이 원인이다.

일반적으로 말하는 과열이란 표현은 연소기 자체가 불연재로 되어있어 설사 과열되어도 화재로 발전해서는 안되기 때문에 부적절하다. 과열이란 표현은 대부분 불완전 연소

로 연소위치가 상승하여 저온부가 고온화되고 여기에 접촉된 가연물이 연소하며 발화하는 것을 말한다. 전기회로 상에서의 전기적 발열에 의한 발화는 전선자체가 부적절하거나 피복 손상으로 합선이 일어나며 연료호스를 손상시켜 누설된 연료에 착화 화재로 발전하는 것이다. 기기 이상에 의한 경우는 급·배기팬의 성능저하 또는 고장, 점화불량, 연료누설이 원인이며, 각각의 경우 발화과정이나 연소 진행형태가 다르게 나타난다.

(1) 기름보일러

출화되는 경우는 연통 막힘, 급·배기팬 이상으로 불완전 연소가 일어나는데, 저온부인 연통의 고온화되어 접촉된 가연물에서 착화되는 경우 연료의 누설로 인한 착화 및 자체 전기장치에서 출화된다. 불완전 연소인 경우 연통 및 연소실, 열교환기 부분에 그을음이 다량 부착되어 있고 가연물과 접촉된 부분에 회화된 혼소흔이나 국부적인 수열형태가 남아 있으며, 또한 파손된 부분을 통해 화염흔적이 남아 있다.



연료의 누설인 경우 급격히 연소가 확대되어 그을음은 다소 적은 편이나 누설부위에서 화염 연소흔이 나타나며, 점화불량으로 연소실 내에 연료가 누적되었다가 일시에 연소되어 과열되면 연소실 내부에 연료의 누적흔적과 회화된 형태가 남게된다. 자체 전기 장치에서의 발화는 전선보다는 바닥부분의 가연물에 불씨가 튀어 착화하게 되므로 발화부분에서 역삼각형의 연소흔적을 남기게 된다.

휘발유 사용과 같은 연료 오염에 의한 출화는 급격히 발전하므로 특이한 형상이 나타나지 않는다. 이러한 경우에는 연결된 전기배선이나 주변의 전선에서의 단락흔, 착색이나 수열형태로 최소화된 발화부위가 보일러임을 입증하고 정황으로부터 입증한다.

(2) 석유난로

석유난로는 여러 가지 형태가 있으나 공통적인 특징은 이동식이라는 점이다. 연료용기가 자체에 부착되어 있거나 근접되어 있어 자체에서 출화하는 경우는 이상발연 현상이 일어난다. 이상발연 현상은 열평형이 붕괴되어 연료용기 부분으로 열이 전달되고, 연료용기에서 증기가 발생하거나 연료 공급압력이 증가하여 과열되며 발생하는 유증에 착화 몸체가 화염에 휩싸이게 되는 현상으로 이러한 현상은 자체 열평형이 붕괴되거나 단열 복사 등에 의하여 연료용기가 가열되는 경우에 나타난다. 열평형의 붕괴는 경사진 곳에서의 사용, 바람이 있는 곳에서의 사용, 연돌의 불완전 결합 등이 원인으로, 연소실 부분에 불규칙한 그을음이 형성되며, 단열 또는 복사열에 의한 경우 특이한 흔적 없이 순간적으로 착화 화염에 휩싸이게 된다.

(3) 팬히터

팬히터 자체에서 출화되는 경우는 연료 오염, 단열, 열평형 붕괴(그을음)에 의하여 일어난다. 연소잔해에서는 특이한 흔적을 발견하기 어려우며, 전원선이나 주변 전선에서의 단

락흔 확인으로 발화부를 최소화하고, 여타 원인의 배제로 입증하여야 한다. 특히 단열 또는 가연물 접촉에 의한 경우가 대부분으로 이의 입증은 흔적의 세심한 관찰과 단열 조건을 찾아 간접적인 증거가 필요하다.



라. 화목난로의 검사

화목난로는 과열 안전장치가 설치되어 있지 않고 연료공급을 임의로 제어할 수 없는 것이 특징이므로 화목난로에서 출화되는 경우는 대부분 과도한 화목의 공급으로 과열되어 인접한 가연물에 착화되거나 연통 선단으로 유출된 불씨가 가열물에 떨어져 일어난다. 이의 입증은 최소화된 발화부위가 화목난로임을 증명하고 비교되는 구조물과 비교 수열 변색정도로 판정한다.