

‘흔적’ 분석에 첨단과학 총동원

글_이의평 광주 광산소방서장 · 공학박사 kr-fire-chief@hanmail.net

범 죄수사를 위해서는 과학적인 지식이 뒷받침되지 않으면 사건의 원인을 규명할 수 없는 경우도 많다. 이러한 이유로 최근에는 과학수사라는 용어를 많이 사용하고 있는데 화재사건도 마찬가지이다.

화재원인을 조사하기 위해서는 화재와 관련된 전문 지식과 경험이 필수적이다. 다른 사고나 사건과는 달리 화재현장은 화재로 타서 없어져 버리거나 변형·파손되어 원인을 조사하기란 쉽지 않다. 가끔씩 “이렇게 타버린 현장에서 화재 원인을 어떻게 알 수 있느냐”는 말을 듣는다. 다 타서 완전히 없어져 버렸다면 조사할 것이 없어 당연히 원인도 입증하지 못한다. 그러나 일반 시민의 입장에서 보면 증거물을 발견할 수 없는 것처럼 보일지라도 화재현장에는 타다 남은 물건 더미 속에 엄청난 증거물들이 숨어 있다. 이 숨어 있는 것들은 전문가에 의해 하나하나가 증거물로 발굴되기 마련이다.

소방서는 모든 화재현장에서 100% 원인조사를 실시하고 있지만, 화재현장이 범죄와 관련되었을 때나 의심할 때에는 소방서와는 별도의 범죄수사 목적으로 경찰서에서 현장조사를 하고, 때로는 국립과학수사연구소에서 현장감식을 한다. 물론 소방·경찰·국립과학수사연구소가 합동으로 현장조사를 하고 있는 경

우도 많다.

소방서에서는 ‘화재조사’, 경찰에서는 ‘화재감식’, 국립과학수사연구소에서는 ‘화재감정’이라는 표현을 사용하고 있는데, 약간의 용어 차이가 있으나 거의 비슷한 사항을 기관에 따라 달리 부르고 있다고 이해하면 좋을 것이다. 이러한 차원에서 화재조사 또는 화재감식이라는 용어를 혼용하여 사용하기로 한다.

젯더미 속에도 최초 발화 흔적 있다

화재가 발생하여 119신고를 하게 되면 화재현장에 진압소방대뿐만 아니라 화재감식을 위한 조사반이 동시에 출동한다.

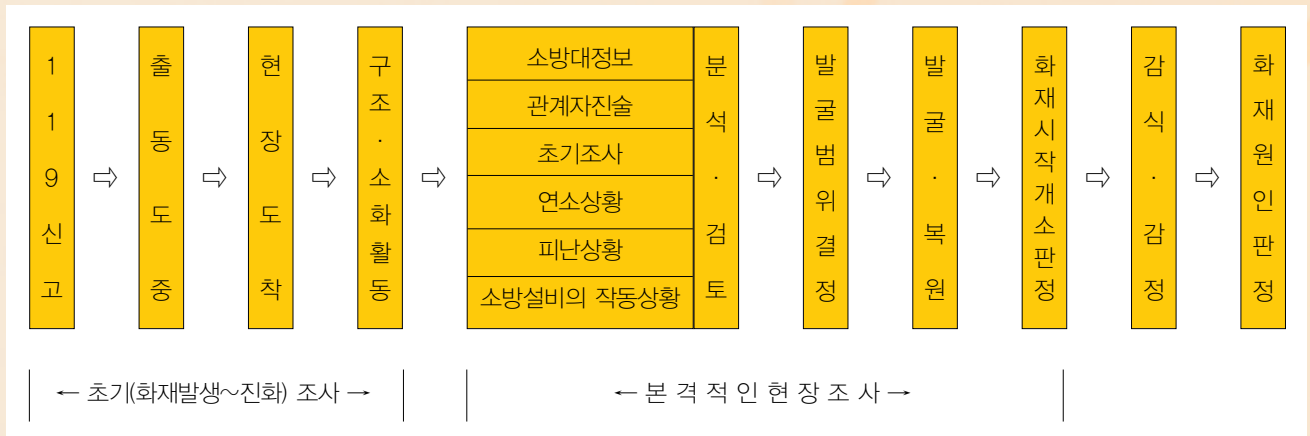
소방서의 화재조사반은 원인조사는 물론이고 화재로 인한 손해(인명·재산피해)까지 조사하며, 또한 왜 화재가 확대되었고, 왜 다치거나 죽었으며, 평상시 소방안전관리를 잘 하고 있었는지, 소방법규나 건축법규 등 안전관련 법규에 미비점은 없는지 등 소방행정에 반영할 수 있는 거의 모든 사항을 조사하고 있다. 이와 같이 화재조사반은 여러 가지 내용을 조사하고 있지만, 화재가 어디서 어떤 이유로 발생했는지가 조사의 핵심이 된다.

최초 화재가 시작되는 모습을 보았다면 화재가 어디서 발생하였는지 알 수 있으므로 원인을 알아내기는 그리 어렵지 않을 것이다. 하지만 대부분은 화재가 어느 정도 확대된 상태에서 냄새나 소리 또는 외부로 나오는 연기나 화염을 통해 화재를 발견하게 된다. 이러한 상태에서는 화재가 어디서 시작되었는지 알아내는 쉽지 않다. 그렇지만 화재에 대한 과학적인 지식을 갖고 있는 진압소방대와 조사반이 가장 먼저 현장에 도착하므로 초기상황을 목격하고 많은 정보를 접할 수 있게 되어 어떤 기관보다도 화재원인을 알아내는데 우위적인 위치에 서게 된다.

소방서의 화재원인 조사는 화재가 발생한 건물주나 업주 또는 시민을 처벌하기 위해서 하는 것이 아니라 이미 발생한 화재를



전소된 화재현장을 촬영한 항공사진(좌측)과 최초 화재가 시작된 지점에서 발굴된 배전반(우측)



화재원인조사 흐름도

통해 원인을 찾아내어 이와 비슷한 화재가 발생하지 않도록 하거나 화재가 발생하더라도 피해를 최소화하는데 필요한 자료나 정보를 확보하기 위함이다.

그렇지만 화재가 범죄와 관련되어 있을 때나 있을 가능성이 있을 때에는 경찰서에 통보하여 범죄와 관련된 수사를 하도록 하며 소방서에서 알아낸 정보나 사실 또는 물증을 경찰에 넘겨주어 수사를 원활하게 하도록 돕고 있다.

소방서에서는 화재규모에 관계없이 출동을 하지만, 경찰은 수사상 필요할 때 그리고 국립과학수사연구소는 경찰이나 사법기관의 요청이 있을 때에 한해 출동한다. 작은 화재를 통해 어떻게 화재로 진전되는지 정확히 규명해 내어 파악할 수 있으므로 화재 조사에서는 ‘조그만 화재야말로 화재조사의 보고(寶庫)’라는 말을 사용한다. 소방서 조사반은 크고 작은 화재조사를 통해 많은 노하우를 갖고 있다. 또한 일시에 소방본부는 물론 인접소방서 조사반까지 동원할 수 있는 체제를 갖추고 있다.

연소방향, 화재패턴 등으로 ‘최초발화’ 결정

소방서에서 화재원인을 판정하기까지의 과정은 위 도표와 같다. 화재가 발생하면 가까이서 또는 멀리서 이를 목격한 일반시민이 있고, 화재가 발생한 근처에 대해 잘 알고 있는 건물관계자(주인, 관리인, 세입자, 입주자 등), 처음 현장에 도착한 소방대 등 많은 사람들이 직간접으로 어디서 불이 시작되었는지에 대한 정보를 제공해 줄 수 있다.

본격적인 화재현장 감식은 일반적으로 불이 완전히 꺼진 상태



스프링 탄성으로 보아 연소방향은 우측 앞쪽 ⇒ 좌측 안쪽임

에서 이루어진다. 범죄와 관련된 경우에도 대부분 이때부터 경찰서나 국립과학수사연구소가 관여하고 있다. 화재감식에서 가장 중요한 사항은 ①어디서 화재가 시작되었는가 ②어떤 기기나 물건 또는 시설에서 시작하였는가 ③왜 화재가 발생했는가를 규명하는 것이다.

최초발화부위를 알아내는 것이야말로 화재감식에서 필수불가결한 일이지만, 생각만큼 쉽지 않다. 목격자의 진술, 맨 처음 도착한 소방대의 정보 등을 참고하지만 원칙적으로 불탄 현장을 조사하여 불이 시작된 지점을 결정한다. 어디서 불이 시작되었는지를 알려면 화재에 대한 전문적인 지식과 적절한 조사경험이 필수적이다. 불이 시작된 지점을 판단하는 근거자료로는 일반적으로 연소방향, 소손(燒損)정도의 강약, 변색상황(콘크리트, 철재 등),



화재패턴의 예(좌측-올라간 흔적, 우측-위쪽으로 넘어간 모습)



전기용융흔의 예

화재패턴 등을 들 수 있다.

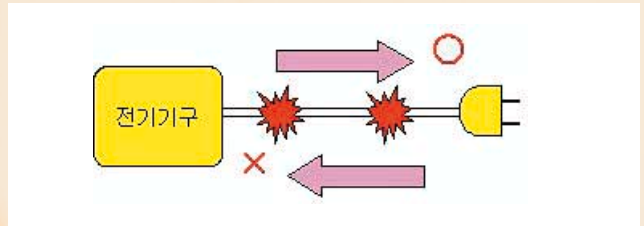
화재가 발생하면 대부분 소방대가 출동하므로 결국 일정 범위 만 태우고 진화된다. 타다 꺼진 부분이나 타다 만 부분, 즉 진화된 지점 안쪽에 화재가 시작된 곳이 있으므로 어디서 화재가 시작되었지는 판단하기 어려울 때는 진화된 지점의 여러 곳에서 안쪽을 향해 조사하라는 수칙이 있다. 진화된 지점을 기점으로 해서 연소방향, 소손정도의 강약, 변색·변형상황, 화재패턴 등을 조사해보면 의외로 쉽게 최초 시작된 곳을 알아내는 경우가 있다.

연소방향과 소손정도의 강약 및 변색·변형상황은 벽, 기둥, 출입문, 천장, 바닥 등에 나타나며, 이를 통해 불이 문을 통해 나온 것인지 들어간 것인지, 옆집에서 건너온 것인지, 아래에서 위로 올라온 것인지 또는 위에서 아래로 내려온 것인지 등을 알 수 있다. 화재는 바닥에서 시작되어 벽을 타고 올라가면 벽에 불이 올라간 흔적을 V자형으로 남기는데 이를 V패턴이라고 한다. 천장 또는 위에서 내려온 경우에는 벽면에 거의 수평으로 하강흔적을 남긴다. 이러한 흔적들을 화재패턴이라고 한다.

최초발화부위를 압축한 후 발화원과 원인을 찾는다. 예로 최초 발화부위가 거실의 TV 주위이고 TV를 중심으로 화재가 확대된 형상이며 전원코드가 받침대에 짓눌려 합선되었다면 발화원은 TV이며 원인은 전원코드의 합선이다.

화재조사는 불타버린 현장을 조사하는 것이므로 다른 사고나 사건과는 달리 원인을 규명하는 것이 쉽지 않긴 하지만 과학적인 지식이나 수단을 이용하면 규명할 수 있는 경우도 많다.

큰 화재가 발생하였다고 하여도 진술이나 정황만으로 법적인 책임을 물을 수 없으며 범죄와 화재와 직접적인 관련을 입증하지 않으면 안된다. 과학적인 전문지식과 분석기법은 단순히 화재원인을 규명하는데도 필요하지만, 범죄의 물증을 확보한다는 차원에서 필수 불가결하다.



화재의 진행방향과 전기용융흔의 생성순서

전기용융흔은 발화추정의 단서

화재 원인을 밝히는 과학적인 지식중에는 전기 용융흔과 파손된 유리의 감식이 있다. 전선에 생긴 망울모양의 전기용융흔은 진화 후 그대로 남아 있다. 화재에 쉽게 녹지 않는 재료들 또한 남아 있는 경우가 많은데, 화재현장에 녹지 않고 남아 있어 화재조사에 도움을 주는 것 중 대표적인 것이 천장이나 벽의 고정배선 또는 전기제품에 연결된 전원코드이다. 고정배선과 전원을 통틀어 전선이라고 하며, 전선은 구리 위에 절연피복을 한 것이므로 화재가 발생한 곳에 있더라도 온도가 구리의 녹는 점인 1,083℃를 넘지 않는 한 녹지 않으며, 일반적으로 화재실의 최고온도는 800~900℃정도이므로 녹지 않고 남아 있는 경우가 많다.

전기가 흐르고 있는 상태에서 합선되면 화재로 이어질 수 있고, 화재로 온도가 올라가면 전선의 피복이 녹거나 타서 합선된다. 이렇게 전선이 합선되면 합선되는 지점에는 망울모양의 용융흔이 생긴다. 전기가 통한 상태에서 생긴 용융흔을 전기용융흔이라고 하며, 화재의 원인이 된 것을 1차 용융흔, 화재 후 생긴 것을 2차 용융흔이라고 한다. 또한 전기가 통하지 않은 상태에서 전선이 녹아 생긴 것을 열흔(熱痕)이라고 한다.

1차 용융흔과 2차 용융흔은 육안만으로 식별하기 어렵지만, 전기용융흔은 합선된 지점의 온도가 합선스파크의 국부적인 열로 생긴 것이므로 합선된 지점에만 망울이 맺히나, 열흔은 일정공간



인위적인 충격(좌), 화재(중), 충격파(우)에 의한 유리파손 차이

의 온도가 높아져 생긴 것이므로 열흔은 망울이 생기지 않은 부분까지도 열의 공격을 받고 있으므로 전기용융흔과 열흔은 육안만으로도 식별할 수 있다.

전기기구 전원코드 2개소에 용융흔이 생성되었을 때 먼저 생성된 것은 전기기구에 가까운 것이다. 왜냐 하면 플러그에 가까운 것이 먼저 생성되었다면 그 이후로는 전기공급이 될 수 없으므로 전기용융흔도 생성될 수 없기 때문이다. 이와 같이 전원코드에 몇 개의 전기용융흔이 발굴될 때 화재는 전기기구에 가장 가까운 곳에 생긴 전기용융흔이 있는 근처 또는 전원 그 자체의 결함에 기인한 것이라고 할 수 있다.

전원코드는 일반적으로 벽매입콘센트에 직접 꽂아 사용하거나 테이블タップ에 꽂아 사용하는데 일반적으로 0.18mm의 가는 선이 30개, 50개가 들어 있는 것을 많이 사용한다. 그리고 벽이나 천장에는 직경 1.6mm 이상의 두꺼운 전선이 고정 설치되어 있다. 두꺼운 전선은 합선되면 합선전류가 크므로 곧바로 차단기가 내려가나 가는 선으로 만들어진 전원코드는 한번의 합선만으로는 일반적으로 차단기가 내려가지 않는다. 따라서 전원코드에는 여러 개의 전기용융흔이 발견되는 경우가 많다.

이러한 이유로 화재가 바닥에서 출발하였을 때에는 바닥의 전원코드에서도, 또한 벽이나 천장의 고정배선에서도 전기용융흔이 발견되지만, 화재가 천장에서 아래로 내려왔다면 천장 전선의 단 1개소에서만 전기용융흔이 발견될 것이다. 이러한 전기용융흔의 발생 원리를 이용하면 갑은 을의 집에서 불이 나 건너왔다 하고, 을은 갑의 집에서 불이 건너와 피해가 났다고 침묵하게 다루는 민감한 문제까지도 납득할 수 있게 해결해 줄 수 있다.

전기용융흔은 건물화재 뿐만 아니라 차량화재시에도 화재가

시작된 곳(위치)을 알려주는 결정적인 역할을 할 수 있다.

깨진 유리조각은 원인을 말해줘

화재현장을 조사해보면 깨진 많은 유리조각을 발견할 수 있다. 이 유리조각은 많은 경우 창틀에 일부가 남아 있고 대부분이 바닥에 떨어져 있다. 이 유리조각이 화재 전에, 그렇지 않으면 화재 후에 열이나 화염에 의해 깨진 것인가, 또는 화재 전 가스폭발로 생긴 것인가 그렇지 않으면 화재가 먼저 발생하고 후에 폭발해서 깨진 것일까? 하는 의문에 대한 해답을 줄 수 있다. 화재 전에 깨졌다면 이 화재는 누군가의 침입 등에 의한 방화일 가능성이 아주 높으며, 화재 전 가스폭발로 깨졌다면 화재원인을 찾을 것이 아니라 가스폭발의 원인을 찾아야 할 것이다.

인위적인 것은 충격이 가해진 점을 기점으로 방사형으로 깨지고 열이나 화염에 의한 것은 둥그런 모양으로 깨지며, 파단면에도 명백한 차이가 있다. 또한 가스 폭발 후 화재로 이어진 경우에는 폭발시의 충격파로 인해 유리는 긴 사각형모양으로 깨져 있고, 유리의 안쪽방향(화재실 방향) 면에 그을음 등이 묻어 있지 않다. 화재 후에 깨진 것에는 모두 화염과 연기로 인한 그을음이 묻어 있어 화재 전에 폭발한 것과 명백한 대조를 보인다.

전기시설이나 전자제품 등에서 화재가 발생했다고 하려면 전기가 흐르고 있었음을 입증하지 않으면 안된다. 이를 통전(通電) 입증이라고 한다. 마찬가지로 가스레인지가 발화원이 되려면 가스레인지가 켜져 있고 중간밸브가 열려 있음을 입증해야 한다. 이를 사용입증이라고 한다.

통전입증 방법은 차단기가 올라가 있거나 합선전류가 흘러 차단(작동)되어 있어야 하며 콘센트에 플러그가 꽂혀있고 중간스위



통전입증의 예(통전중이었던 것은 광택이 남아 있음)

치 등이 올라가 있어야 한다. 차단기, 콘센트, 플러그, 스위치 등이 타버렸을 경우에도 차단기 내부 부품의 위치상황, 콘센트의 칼날받이와 플러그의 칼날의 변색상황, 스위치의 양쪽 전선 사이의 저항측정 등을 하면 충분히 통전입증을 할 수 있다.

금속은 용융점 이상으로 온도가 올라가면 당연히 용융하고 다시 온도가 내려가면 냉각속도에 따라 응고된다. 상온에서 녹는 경우에는 주위 온도가 상온이므로 급속히 냉각(急冷)될 것이다. 물론 화재분위기에서 금속이 녹을 때에는 공간의 온도가 올라가 있으므로 상온(常溫)에서보다 천천히 냉각(徐冷)되면서 응고할 것이다. 따라서 금속조직을 급속현미경으로 관찰하면 급랭된 것인가 서랭된 것인가를 알 수 있다.

앞에서 언급한 전기용융흔의 금속조직도 이러한 냉각속도의 차이에 따라 금속조직이 달라진다. 상온에서 전선이 합선되면 화재로 이어지더라도 바로 실내공간의 온도가 올라가는 것이 아니라 일정시간이 지나 화재가 커져 비로소 온도가 올라가므로 1차 용융흔은 상온의 분위기에서 생성된다고 볼 수 있다. 따라서 1차 용융흔의 금속조직은 급랭된 금속조직을 띤다. 반면에 2차 용융흔은 화재분위기에서 전선이 합선되어 생긴 것이므로 상온과는 전혀 다른 금속조직을 띤다.

금속조직의 냉각속도 분석도 한 몫

따라서 전기용융흔의 금속조직을 관찰하면 1차용융흔인지 2차용융흔인지 알 수 있는 경우가 있다. 물론 금속조직을 관찰하여 해석하려면 금속조직학에 대한 전문적인 지식이 필요하다.

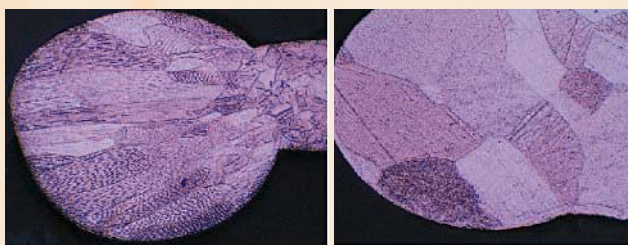
화학분석기기도 화재감식에 이용되고 있다. 대표적인 분석기

기로는 가스크로마토그래피와 질량분석기를 들 수 있다. 휘발유, 경유, 등유 등을 뿌리고 불을 지른 경우, 전소되더라도 현장에 남아 있는 잔재물을 수거하여 이들 화학분석기기로 분석하면 함유되어 있는 성분(현장에 뿌린 석유성분)을 분석할 수 있는 경우가 많다.

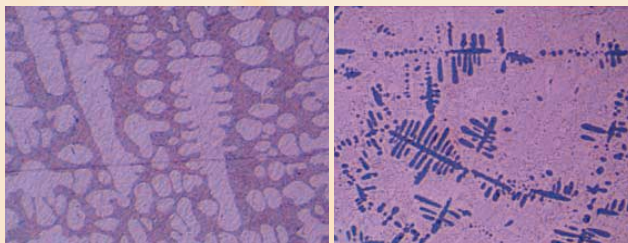
가스크로마토그래피로 분석된 피크를 각 물질(성분)의 고유피크와 비교해보면 함유성분이 무엇인지 알 수 있다. 가스크로마토그래피로 분석할 수 없는 것도 질량분석기를 이용하면 분석할 수 있는 경우가 있다.

우리 나라에서는 매년 화재로 인해 500명 이상이 사망한다. 원인은 주로 화염이나 연기에 휩싸여 사망하는 경우도 있는 등 여러 가지 이유가 있다. 화재의 규모가 커서 화염이나 연기로 인해 사망한 경우와 피난하기 어려운 건물내부구조로 인해 사망한 경우에는 사망자가 발생하기 쉬운 조건이므로 일반적으로 화염이나 연기로 사망했다고 보고 범죄와 관련이 없을 것으로 생각하고 있다. 그렇지만 화재규모도 작고, 피난이 용이한 내부구조임에도 불구하고 사망자가 발생한 경우에는 범죄와 관련이 있을 것으로 보고 사체에 대해 여러 가지 감식을 한다.

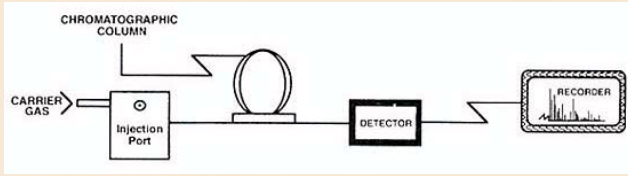
사망자가 화재시 살아있었는가, 화재 전에 이미 죽어 있었는가, 화재로 사망했다면 왜 사망했는가 등이 감식의 초점이 된다. 이러한 경우 검사와 부검이 실시된다. 검사는 사망발생 위치, 사



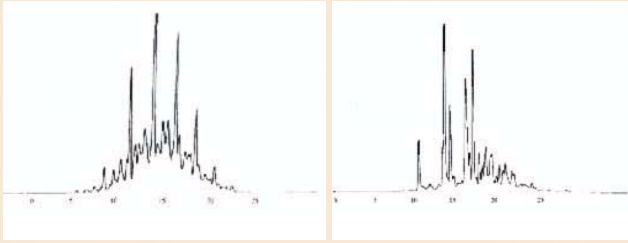
전기용융흔 금속조직의 예(좌-25℃, 우-1,000℃의 샘플)



전기용융흔 금속조직의 예(좌-Cu초정조직, 우-Cu₂O초정조직)



가스크로마토그래피로 성분을 분석하는 과정



가스크로마토그래피로 분석한 예(좌-경유, 우-휘발유)

망자의 자세, 모습, 외관을 조사하며, 부검시에는 기도나 폐 속에 그늘음이 있는가, 헤모글로빈 속 일산화탄소농도 등을 조사한다.

사체의 혈액 분석은 화재상황 재현

화재가 발생하면 반드시 일산화탄소와 유독가스가 대량으로 발생하고 이를 흡입하게 된다. 화재시 발생하는 일산화탄소를 흡입하면 일산화탄소는 산소를 운반하는 헤모글로빈(Hb)과 결합하여 일산화탄소헤모글로빈(CO-Hb)이 된다. 일산화탄소와 헤모글로빈의 친화력은 산소의 200~300배이므로 혈액 속의 헤모글로빈은 일산화탄소와 결합된 결과 산소헤모글로빈의 양(O_2 -Hb)이 감소하여 근육, 내장, 조직 등의 호흡곤란을 일으켜 사망에 이르게 한다. 일산화탄소를 몇 번 정도만 흡입하게 되면 충분히 사망에 이를 정도의 일산화탄소헤모글로빈의 혈중포화도(血中飽和度)에 달한다. 포화도는 화재의 상황, 희생자의 연령, 건강 상태 등에 따라 10% 이하인 경우도 있고 80%를 넘을 때도 있지만 건강한 중년 성인에서는 대부분 50~70%에 달하므로 이 포화도로 화재 전에 사망한 것인지 화재로 사망한 것인지 식별할 수 있다.

화재를 범죄에 악용하는 경우로는 주로 방화, 테러, 비관자살 등을 들 수 있으며 이들 모두 넓은 의미에서 방화라고 할 수 있다. 방화를 하는 이유는 경제적인 목적(보험금 수령), 원한, 불만 표출, 자살, 범죄은폐, 테러 등 여러 가지가 있으며, 요즘은 경제

적인 이득을 취할 목적으로 실화를 위장해 불을 질러 보험금을 수령하는 사례가 가끔씩 발생하고 있으며 앞으로 크게 증가할 가능성이 있다. 아직 우리 나라는 정부통계상 전체 화재발생건수 중 방화화재(의심포함)가 차지하는 비율이 10% 정도를 차지하고 있으나 선진국은 오래전부터 25% 이상을 차지하고 있다. 특히 일본의 경우에는 화재로 인한 사망자의 1/3 이상이 방화를 이용한 자살자이다.

2003년 2월 18일 대구지하철방화참사와 2001년 9월 11일 미국 세계무역센터빌딩테러에서 알 수 있듯이 화재를 이용한 방화나 테러는 아주 강력하면서 쉽게 할 수 있고 최대의 공포효과를 낼 수 있는 수단이다.

국내 화재사건의 10%는 방화

대부분의 사건이나 사고는 규모가 아무리 크더라도 확대되지 않고 그 자체로 그치는 경우가 많으나 화재는 시간이 흐름에 따라 급속히 성장하는 특성, 화염과 시커먼 연기로 인해 시각적으로 공포감을 주고, 화염과 연기가 있는 국부적인 곳으로만 피해가 한정되는 것이 아니라 건물전체에 걸쳐 피해를 주는 특성이 있으며, 대응에 극히 전문성이 요구되고 적절한 장비가 반드시 있어야 한다는 특성을 갖고 있다. 이러한 특성을 충분히 감안, 앞으로 방화나 테러 예방정책을 세우고 대응책을 강구해야 할 것이다.

따라서 화재예방과 대응에 전문성이 요구될 뿐만 아니라 화재 원인을 규명하는데도 전문성이 요구된다. 화재를 근본적으로 예방하려면 왜 화재가 발생하는지를 아는 것이 필수불가결하며, 이를 위해서는 발생한 모든 화재 한 건 한 건에 대해 철저한 원인규명이 되어야 할 것이다. 또한 화재가 범죄에 악용될 수 있으므로, 범죄예방 측면에서도 범죄와 연관이 있거나 의심이 갈 때에는 철저히 화재원인이 규명되어야 할 것이다.

현재까지는 대부분 선진국의 감식기법을 배워 활용하고 있으나, 앞으로는 우리 독자적인 분석기법을 개발하여 화재원인규명의 수준을 높이고 나아가 선진외국까지도 활용할 수 있도록 많은 분야의 과학자들이 관심을 가져야 할 것이다. ㉔



글쓴이는 제20회 기술고등고시 합격 후 1992년 소방공무원으로 특채되었으며, 소방관 중 소방기술사 1호, 화재감식전공 박사학위(일본 요코하마국립대학) 국내 1호이다. 일본국립대학 최단기 박사과정(3학기)을 이수하고 학위를 받았다.