

# 목재의 저온발화 사례

글 이승훈 서울지방경찰청 과학수사계 화재폭발조사팀



## 1. 머리말

목재의 저온발화는 여러 가지 화재사고의 원인 중 많이 알려지지 않은 편에 속한다. 실제 이 원인에 의해 화재가 발생한 경우에도 저온발화 현상에 대하여 이해하지 못하는 화재조사관들은 화인미상의 결론을 짓는 경우가 많으며, 저온발화의 가능성에 대하여는 거론조차하지 않는 경우가 많다. 많이 알려지지 않은 이유 중, 저온발화에 의해 화재가 발생하였을 때 이를 입증하기가 매우 까다로운 것이 가장 큰 이유일 것이다. 많은 저온발화에 의한 화재사건에서 그 원인을 명확히 밝히기는 어렵겠지만 금번 호에서는 목재의 저온 발화에 대한 메커니즘에 대하여 살펴보고, 사례를 통해 조금 더 폭 넓은 가능성을 두고 현장을 조사할 수 있는 기회가 되었으면 한다.

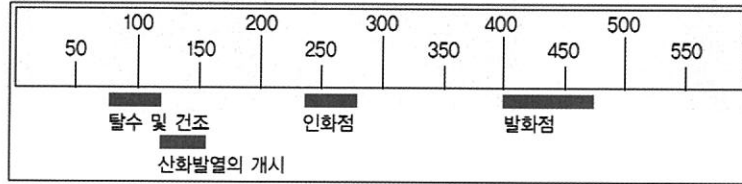
## 2. 저온발화

저온발화 현상이란 상온에서는 발생하지 않으며, 일반적인 가연물에 발화원으로 작용이 불가능할 정도의 낮은 에너지의 열원으로부터 일정시간 노출되었을 때 스스로 발열반응을 시작하여 발화점까지 온도를 높여 발화하는 현상을 말한다. 일반적인 가연물이 충분한 외부의 열원에 의해 연소하는 것과 상온에서 스스로 온도를 높이는 자연발화의 중간정도 현상으로 이해하면 될 것이다. 저온발화현상의 가연물은 상온에서 스스로 발열반응을 개시하지는 못하며 예열에 의해 충분한 에너지를 얻었을 때 반응을 개시할 수 있다. 따라서 활성화 단계 이전의 온도, 일반적으로 상온에서는 이 원인에 의해 화재가 발생하지 않으나, 자기 발열이 가능한 온도에서 장시간 노출되었을 때 화재가 발생할 수 있다.

## 3. 목재의 저온발화

목재가 연소되는 과정은 가열되어 건조가 되고, 표면부터 탄화되어 다공질로 변한다. 일반적으로 목재는

재질에 따라서 다르지만 약 400℃ 정도로 가열하지 않으면 자연적으로 발화하지 않는다. 그러나 축열조건이 좋은 곳에서는 약 50℃ 정도의 저온에서도 축적이 어려울 정도의 속도로 산화하며, 산화에 의한 반응열이 발생한다. 만약 열의 방출을 완벽하게 차단하고도 산소를 충분히 공급할 수 있는 조건이라고 한다면 약 10℃의 실내에서도 발화할 수 있을 것이나 열을 방출을 완전하게 막는 것은 이론적으로 불가능하다.



[그림 1] 목재의 온도별 변화

목재가 가열되면 건조가 되고, 표면부터 탄화되어 다공질로 변한다. 원래의 목재편에는 공기가 내부까지 침투되는 것이 불가능하지만 탄화된 목재는 다공질 목탄으로 변하기 때문에 내부까지 산소의 공급이 쉬워지고, 또한 목탄이 되는 것은 열전도 성능이 떨어져 열의 방출을 막는 기능도 한다.

목탄은 산화발열반응을 시작하는데, 산소와 접촉하는 목재 표면의 탄화된 부위도 산화발열반응을 하지만 외부로 열을 빼앗기기 때문에 온도가 상승하지 못한다. 그러나 목탄화가 깊어질 경우 내부에서도 산화현상이 진행되며 탄화로 인해 만들어진 다공질 목탄의 내부는 축열될 수 있는 환경이 이루어지므로 산화발열반응에 의한 온도상승이 가능하다. 이로 인해 상승된 온도는 목탄의 열분해 속도를 더욱 가속화 시키며 결국 내부로부터 혼소를 시작하게 된다.

이상의 저온발화 메커니즘과 같이 목재를 낮은 온도에서 심부까지 탄화되기 위해서는 상당한 시간이 소요된다. 접촉온도나 환경에 따라서 다르겠으나 일반적으로 수개월에서 수년에 걸쳐 발생할 수도 있는 것으로 알려져 있는데 사람이 거주하는 장소라면 화재가 발생하기 수일 전에 목재의 탄화되는 취향을 감지할 수 있을 것이다.

## 4. 저온발화 사례

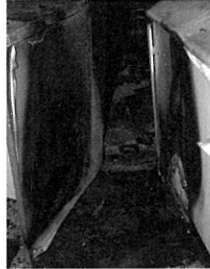
### 가. 사례 1

첫 번째 사례는 심야전력을 이용한 축열식 온풍히터와 책상의 한쪽 면이 접하고 있는 상태로 장시간 방치되면서 파티클 보드 재질로 만들어진 책상의 측면이 탄화되면서 화재가 발생하였던 사례이다. 또한 책상의 내측에는 책이 담긴 종이박스가 쌓여져 있어 더욱 축열조건이 양호한 상태였다. 실험(박영민, 문용수, 2006)에 의하면 심야전력을 이용한 축열식 온풍히터의 표면을 1회용 기저귀가 담긴 종이박스 등으로 축열하였을 때 최고온도 171℃로 목재의 발화점에는 훨씬 못미치는 온도였으나, 이곳에서 화재가 발생하였다. 현장을 조사하였을 때 책상의 측면에서 장시간 혼소과정을 거친 후 출화하였던 흔적이 식별되고, 그 외 발

화원으로 작용하였다고 볼만한 시설 및 기구, 조건이 발견되지 않으므로 이 사건은 지온 발화현상에 의해 화재가 발생한 것으로 판단할 수 있었다.



[그림 2]



[그림 3]



[그림 4]



[그림 5]

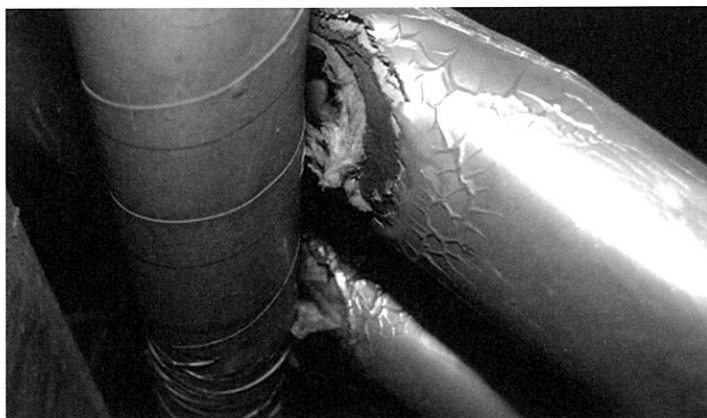
[그림 2] 책상과 히터의 접촉상태, 접촉되었던 상태였으나 소화과정에서 변형된 모습

[그림 3] 책상의 연소형태와 히터의 열변형 흔적을 비교해 보면 당시 밀접한 거리에서 연소되었다는 것을 증명할 수 있음.

[그림 4] 히터 표면의 변색흔적 등 / [그림 5] 책상 측면의 연소형태

## 나. 사례 2

대형병원의 지하에 위치한 보일러실 상단부에서 화재가 발생하였던 사례로 상단부에는 고압스팀보일러의 온수배관이 설치되어 있으며, 일반적으로 발화원으로 작용하였다고 볼만한 시설 및 기구, 조건이 없는 상태에서 화재가 발생하였다. 실제 현장은 온수배관의 단열재 등이 연소하면서 대부분이 연소된 상태로 현장 조사에 어려움을 겪을 수밖에 없었다. 현장에서는 남아있는 연소형태나 특이점들을 발견할 수 없었지만 보일러실 입구에서 다음 사진과 같은 온수배관의 탄화흔적을 발견할 수 있었다.



[그림 6] 온수배관이 교차 접촉되는 2개소의 단열재가 각 부분적으로 탄화되어 있다.

파이프 내에는 고압보일러에서 가열된 약 150℃의 물이 흐르고 있었다. 탄화된 부위는 고온의 배관이 서로 교차하면서 접촉되었으므로 다른 접촉되지 않은 부위에 비하여 축열조건이 양호하며, 발생하는 열을 상호 공유하게 되므로 온도가 더욱 높았을 것으로 판단할 수 있다. 그러나 단열재가 탄화되기 전 이 파이프의

열원은 내부를 통과하는 150℃ 가량의 물이었으며, 외부 대기에 의한 냉각에 의해 실제로는 더욱 낮은 온도를 유지하고 있었을 것이므로, 이 온도로는 일반적인 가연물의 발화점에 이르는 것이 불가능하다. 그럼에도 불구하고, 파이프의 단열재가 탄화된 것은 단열재의 여러 층중에 셀룰로오스 물질의 테이프로 감싸인 상태였으며, 이 셀룰로오스 물질이 산화발열 현상에 의해 탄화된 것이다. 만일 단열재 표면에 충분한 반응물질과 가연물이 존재하였다면 이곳에서도 충분히 화재가 발생할 수 있었을 것이다.

#### 다. 사례 3

서울 강남에 위치한 아파트 지하 대형 멀티스포츠센터의 여자 목욕탕 건식 사우나실에서 화재가 발생하였다. 당시 사우나실 내부에는 아무도 없었지만, 목욕탕에는 사람들이 샤워를 하고 있는 상태였으므로 인적요소에 의한 방화는 배제될 수 있다.

사우나는 12년 전부터 운영되고 있었는데 건식 사우나 내에는 매일 06:00부터 22:00까지 약 80℃의 온도로 운영하고 있는 상태였다. 현장을 조사했을 때 본건 화재가 발생하였던 여자 건식 사우나실은 내부가 대부분 연소된 상태로 현장을 조사하기가 매우 어려운 상태였다. 다만 현장에서 발굴할 때 발견된 소화기 가루의 위치를 통해 초기 소화활동이 이루어졌던 장소를 알 수 있었다. 이 장소는 사우나실의 잠냄새를 없애기 위해 스테인리스 재질의 상자에 솓을 담아 보관하고 있었던 장소이다.



[그림 7] 사우나실의 입구 - (좌) 습식사우나, (우) 건식 사우나  
화재는 건식사우나에서 시작되었음.



[그림 8] 사우나실 내부 - (좌) 히터, (우) 솓통이 있던 장소

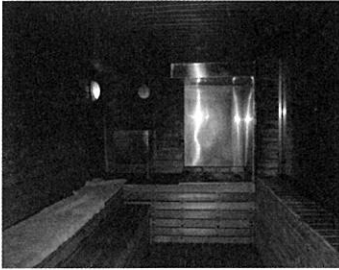


[그림 9] 사우나실의 열원인 시즈히터 위에 돌이 올려져 있는 상태임.

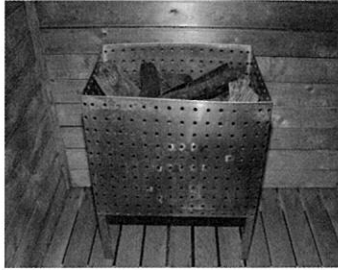


[그림 10] 솓통이 위치한 장소에서 소화기 분말이 발견됨.

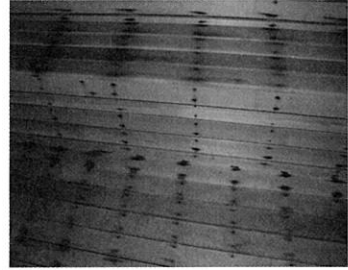
소화분말의 위치를 통해 초기진압장소 즉 발화부일 가능성이 높다는 것은 알 수 있었지만 점화원과 관련 하여서는 특이할 만한 흔적을 발견할 수 없었다. 이곳에서 저온발화에 의해 화재가 발생하였다는 것은 남탕 사우나를 확인하면서 알 수 있었다.



[그림 11] 남탕 사우나의 모습 : 숯이 담긴 스테인리스 용기에서 부분적인 수열변색 흔적이 관찰된다.



[그림 12] 히터방향으로 수열변색흔적이 관찰된다.



[그림 13] 사우나 의자의 못이 박힌 부분에서 보이는 탄화흔적들이 관찰된다.

남탕에 설치된 스테인리스 숯통은 벽면 목재 마감재에 밀착되어 위치하고 있으며, 히터 방향에서 부분적인 수열변색흔적이 관찰되었고, 사우나실 목재의 못이 박힌 부분에서 대부분 깊은 탄화흔적을 발견할 수 있었다.

이 현장에서는 남탕 건식사우나를 관찰하였을 때 장기간에 걸친 가열로 인해 못이 박힌 부분에서 숯에 가까운 상태로 탄화된 흔적이 식별되는 점, 숯이 담긴 스테인리스 상자에서 부분적인 수열변색흔적이 식별되는 점을 근거로 숯의 산화발열 현상에 의해 표면연소가 진행되고, 그 열이 스테인리스 용기와 접하고 있던 벽면의 마감재에 전달되어 화재가 발생한 것으로 결론을 지었다. 숯은 이미 탄화된 물질이므로 목재에 비하여 연소를 개시할 수 있는 가능성이 더욱 높은 물질이다. 또한 숯은 표면연소를 진행하는 동안에도 연기나 취향이 발생하지 않기 때문에 벽면 마감재에 착화되기 전까지는 계속해서 발견되지 않을 가능성이 높다. 실제로 남탕에서 발견된 스테인리스 용기는 이미 오래전에도 같은 이유로 내부에서 연소가 일어났음을 증명해 줄 수 있을 것으로 사료된다.

## 5. 맺음말

이상 소개하였던 사례 외에도 저온발화에 의한 화재는 종종 있었다. 그러나 이를 입증하기 위한 근거를 현장으로부터 찾아내는 데에는 많은 어려움이 따른다. 현장에서 이러한 원인 때문에 연소가 일어나기 시작하는 초기에는 그 원인을 쉽게 밝힐 수 있을 것이나 이 현상에 의한 화재가 현장감식을 요구할 정도로 규모가 커지면 초기에 원인이 되었던 열원과 셀룰로오스 물질의 접촉상태를 명확히 할 수 있는 방법은 없다. 위에 소개하였던 사례 2, 3과 같은 경우에는 다행히도 주변에 동일한 조건에서 아직 화재까지 미치지 않았던 흔적들을 찾을 수 있었기 때문에 조금 더 명확히 설명할 수 있었다. 저온발화에 의한 발화현상은 증거를 남기지 않는 것이 일반적이기 때문에 이를 증명하기 위해서는 현장 발화부에서 저온발화의 가능성을 입증하는 것 보다 관계자들의 진술 등을 통해 가능성이 있다는 것을 확인하고, 그 외에 다른 발화 가능한 시설 및 기구, 조건이 발견되지 않는다는 점을 입증하는 것으로 해결할 수 있다. ☺