

발화원(發火源)의 감정(V)

- 가전제품의 발화와 감정 (6) -



김 윤 회
국립과학수사연구소
물리분석과장

지난 호에 이어서

14. 심야전기보일러

심야전기보일러는 최근 보급이 확대되고 있는 상태인데 전력소모가 큰 만큼 배전설비에서의 전기적인 발화위험이 크며, 또한 증기폭발현상을 일으키기도 한다. 모든 보일러가 마찬가지로 열공급원으로 물을 가열, 보관하고 필요시 난방이나 온수를 사용하도록 되어있다. 이에는 급수안전장치, 과열보호장치, 과압방지장치 등이 설치되어 있고 순환모터와 온도컨트롤장치가 설치되어 있다. 심야전기보일러의 사고 유형은 대부분 전기설비에서의 전기적 발열에 의한 발화와 자체 증기폭발이다. 전기설비에서의 발화는 일반적인 전기화재인 불완전 접촉, 트래킹, 그래파이트, 배전선 손상에 의한 단락출화 등 모든 요인이 발생할 수 있다. 사용전원은 심야전원과 상용전원을 모두 사용하며, 심야전원은 상용전원에 의해 작동되는 전자개폐기를 통해 히터에만 공급토록 되어있다.

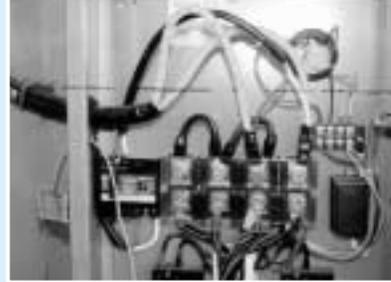
< 목 차 >

- | | |
|----------|---------------------|
| 1. 머리말 | 9. 선풍기 |
| 2. 전자제품 | 10. 팬히터 |
| 3. TV | 11. 냉온풍기 |
| 4. 냉장고 | 12. 가스레인지 |
| 5. 에어컨 | 13. 부르스터 |
| 6. 세탁기 | 14. 심야전기보일러 |
| 7. 전기밥솥 | 15. 전기제품과 발화 |
| 8. 전자레인지 | |

[사진 140]



[사진 141]



[사진 142]



[사진 140] 심아전기 보일러의 배전반형태
 [사진 141] 배전반 배선형태
 [사진 142] 배전판 형태

가. 발화예시 1

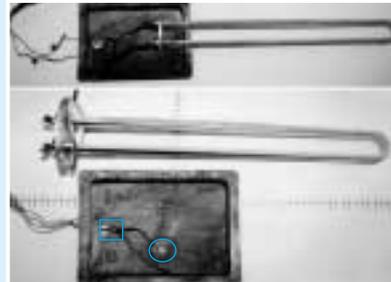
히터에 공급되는 전력용량이 매우 커서 터미널 단자부분의 연결부가 조금만 불량해도 이에서 발생하는 열로 연결전선의 절연피복이 손상되어 금속인 몸체와 접촉 단락이 발생하며 발화하게 된다. 일반적으로

보일러 몸체는 연소되지 않는 금속으로 되어있으며, 분전반이나 전기배선의 절연피복이 연소확대의 원인으로 작용하게 되지만 화재로 발전하는 경우는 대부분 인접한 곳에 적재된 가연물 때문에 일어난다.

[사진 143]

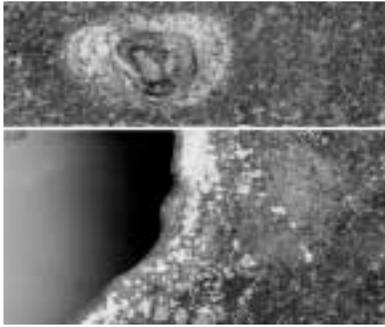


[사진 144]



[사진 143] 히터전원연결부 발화형태
 [사진 144] 히터의 분해형태

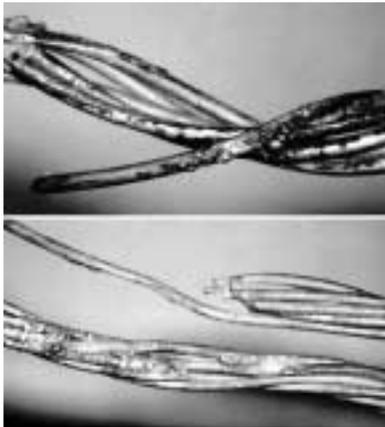
[사진 145]



[사진 146]



[사진 147]



[사진 148]



[사진 149]



[사진 150]



[사진 145] 몸체의 단락흔
(사진 144의 ○, □)
[사진 146] 전원연결부 발열흔
[사진 147] 전원선의 단락흔
[사진 148] 농가에 설치된 심야전기보일러
[사진 149] 발화 연소된 보일러
[사진 150] 분전반의 연소형태

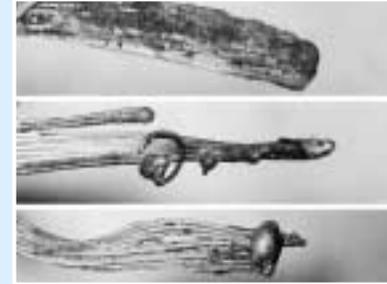
동 건물은 보일러 몸체가 가연성인 페인트로 도장되어 있으며, 샌드위치패널로 된 가건물 내에 보일러를 설치하고 벽체에 근접되어 있어 이에 인화 화재

로 발전하였다. 따라서 이를 감안하여 전기적 발열로 인한 단락발생시 화재로 발전할 여지가 없도록 하여야 한다.

[사진 151]



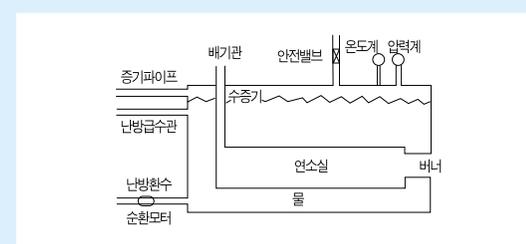
[사진 152]



[사진 151] 연결부분의 불완전접촉 발열흔
[사진 152] 주변 전선에 형성된 단락흔

나. 발화예시 2

동 건물은 농가에 설치된 심야보일러의 분전반 전원측 케이블이 연결된 좌측 터미널러그 부분에서 케이블과의 불완전접촉에 의한 발열로 절연피복이 손상되고 단락이 발생, 불똥이 건조를 위해 보일러실 바닥에 떨어진 왕겨에 인화되면서 화재로 발전된 예이다. 이 또한 보일러 자체에서의 전기적 발열을 간과한 탓에 발생한 것으로 볼 수 있다.

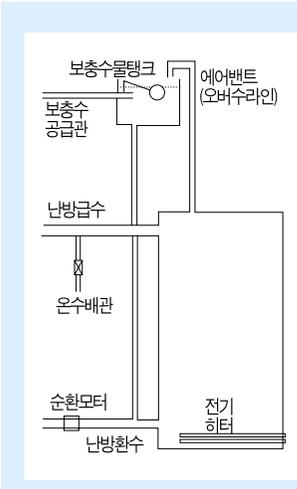


[그림 1] 보일러의 구조도

위 예에서 보는 바와 같이 모든 전기제품은 자체 내에 내장된 전선이나 배선에서 전기적 발열로 인해 발화될 가능성이 있으며, 특히 용량이 큰 심야전기 보일러와 같은 제품은 설치시 반드시 별도의 불연재로 된 실내공간에 설치하고 만약 전기적 발열로 인해 발화되어도 연소가 확대되지 않게 주의할 필요가 있다.

다. 폭발사고 예시

전기보일러는 대형 기름보일러와 같이 내장된 물이 증기폭발을 일으키는 경우가 있다. 일반 대형보일러에서의 증기폭발은 고온고압의 내부 물이 순간적으로 증기화되는 현상이다. 이는 밀폐공간 내 고온고압의 물이 저압으로 바뀌어 일어나는 현상으로, 몸체의 어느 부분이



[그림 2] 전기보일러의 구조도

취약하게 되어 안전밸브의 설정압력 이하에서 파열되거나 안전밸브가 정상작동하지 않아 고압이 걸려 용기가 파열되는 경우에 일어난다.

증기폭발이 일어난 경우 검사 시에는 안전밸브의 정상작동 여부를 확인하고 파열기점을 찾아 용기가 파손된 원인을 찾아 판정하게 된다. 만약 용기파손형태

가 안전밸브의 설정압력 이상에서 파열된 경우라면 안전밸브가 작동하지 않은 것이며, 안전밸브가 작동하지 않는 경우는 안전밸브로 가는 파이프에 설치된 차단밸브를 차단했거나 배관이 막힌 경우이다. 파열기점이 부식손상 등에 의해 취약해져 안전밸브의 설정압력 이하에서 파손되면 내부 압력이 급격히 감소되어 내부의 물이 순간적으로 증기화되어 폭발이 일어난다.

심야전기보일러가 폭발되기 위한 조건은 내부에

공극이 존재하여야 하고 또한 고압이 걸리기 위해 밀폐되어야 한다. 내부에 공극이 존재하지 않고 밀폐된 경우 증기폭발 이전, 즉 비점이 100℃ 이하의 저온상태에서 온도상승에 의한 물의 팽창으로 용기가 파열되어 누수가 일어나게 되므로 증기폭발현상이 일어나지 않는다. 밀폐되지 않으면 고압이 발생되지 않으므로 급수파이프나 에어벤트관에 연결된 밸브가 잠기거나 겨울철 결빙으로 막힘상태가 되어

야 하며, 또한 몸체의 일부가 얼어있어 하단부의 전기히터에 의한 가열로 고온상태가 되어도 온도센서가 이를 감지하지 못한 상태가 되어야 한다.

이러한 조건이 형성되는 경우는 겨울철 보일러 내부 물이 부족한 채 전체가 얼어 있는 상태에서 전원을 투입하면 급격하게 가열되는 히터부분을 중심으로 녹기 시작하여 과열보호장치의 센서부분이 이를 감지하기 이전에 내부에 고온고압상태가 되어 있다가 상단부 얼음이 완전히 녹아 외부로 갑자기 압력이 빠져나가는 순간 내부의 물이 증기폭발을 일으키는 경우이다. 이를 막기 위해서는 겨울철 보일러 배관이 결빙되지 않도록 유의하여야 하며, 히터 주변을 중심으로 급속한 과열이 일어나지 않게 온도센서의 위치를 히터 가까이 설치하여야 한다.

심야전기보일러는 대용량의 전기를 사용하는 것이므로 항상 전기적인 발화위험이 있기 때문에 보일러 주변뿐만 아니라 보일러실의 천장이나 벽체 또한 연소되지 않는 불연재로 시공하여야 하며, 특히 부착된 배전반내외의 전기배선은 난연성 절연피복으로 된 전선을 사용하여야 할 것이다. 또한 결빙되는 경우 증기폭발위험이 있으므로 각별히 주의를 요한다.

15. 전기제품과 발화

전기제품에서의 발화는 기본적으로 4가지 유형 즉 히터부분에서의 발열이 원인인 것, 코일에서의 발열이 원인인 것, 내외 배선에서의 단락발화, 내부배선기구에서의 발화이다. 이들에게서의 발화위험을 최소화하기 위해 내장퓨즈나 과열보호장치, 누전차단기, 과전류차단기 등이 개발·사용되고 있으나 근본적으로 발화를 억제할 수는 없는 것이 사실이다. 이는 발화과정에서 불완전 접촉 등에 의한 발열, 트래킹, 그래파이

트에 의하여 절연이 파괴되고 서서히 발생하는 발열로 국부적으로 고온이 형성되어 가연물에 착화되는 것이며, 통상 알려져 있는 누전이나 합선이 아니다. 또한 과전류에 의한 발화 역시 일반적으로 알려져 있는 허용전류 이상의 과전류가 흘러 발생하는 것이 아니라 전선에 표기된 허용전류보다 훨씬 적은 전류에 의해서 보온이나 고온상태에서 사용하는 등 방열차단으로 고온상태가 되어 절연이 파괴되고 서서히 트래킹현상이 일어나 발생하는 것이기 때문에 전기에서의 발화원인을 절연파괴원인에서 찾아야 한다.

절연파괴 원인은 진동이나 마찰, 압축손상 등의 기계적 손상과 불완전 접촉 발열, 반단선에 의한 국부적 과열, 고온물체와의 접촉 등에 의한 열적파괴가 원인이 되어 발생한다. 배선기구에서 나타나는 단자간 트래킹이나 접점에서의 불완전 접촉 발열, 그래파이트 등이 원인이 되어 일어나는 것이므로 이러한 요인이 발생되지 않도록 하여야 하며, 전기화재로 판단하기 위해서는 보다 구체적인 절연파괴원인을 찾아 이를 입증하여야 할 것이다.

누전이나 과전류 차단기가 설치되어있다고 하여 전기화재가 발생할 수 없다거나 10A용 메인차단기가 설치되어 있는 전기설비에서 여러 개의 전기제품을 한 개의 멀티콘센트에 연결하여 사용하면 과부하에 의한 발화위험이 높다고 하는 식의 잘못된 이해를 버리고, 접점이 많아 불완전접촉에 의한 발열위험이 높다는 사실과 전기제품의 스위치를 켜 상태에서 콘센트에 플러그를 꼽거나 빼면 스파크가 발생하고 이로 인해 아산화동이 형성, 접촉저항을 증가시켜 결국 불완전 접촉을 유발한다는 올바른 이해가 필요하다. 또한 전기가 원인이 아니라 이를 취급하는 인간의 무지로 발생한다는 점을 명심하여야 할 것이다. Ⓜ

[사진 153] 폭발현장의 모습
 [사진 154] 현장 보일러 설치부위
 [사진 155] 폭발로 멀리 날아간 보일러 몸체
 [사진 156] 증기폭발로 파손된 보일러몸체
 [사진 157] 심하게 파손된 보일러 몸체
 [사진 158] 보일러히터 형태