

발화원(發火源)의 감정(Ⅲ)

- 전기제품(히터)에서의 발화(下) -

김윤희 | 국립과학수사연구소 물리분석과장

(지난 호에 이어서)

다. 중온용 히터

중온용 히터는 커피포트, 전기다리미, 전기 프라이팬과 같이 정상상태에서 고온부가 임의의 설정온도 이상으로 온도가 상승하지 않게 온도조절장치가 내장되어 있는 것으로, 설정온도가 가연물이 장시간 접촉되어 있으면 착화될 수 있는 히터로 고온부는 불연재로, 저온부는 가연물로 되어 있으며 내부에 온도를 조절할 수 있는 장치가 내장되어 있다. 이들에서의 출화는 가연물이 직접 접촉되어 장시간 방치하거나 온도조절장치의 이상으로 과열되는 경우, 배선상의 이상(반단선, 트래킹, 불완전접촉, 흑연화 현상)으로 발화된다.

중온용 히터에서 발화된 경우 그 잔해에서 나타나는 특징은 외관상 고온용 히터에서와 같이 고온으로 인한 적색으로의 부식형태, 가연물의 융착형태, 전원코드 단락형태로 나타나며, 온도조절장치의 고장이 원인이거나 가연물의 장기간 접촉에 의한 것이므로 이들에 의한 경우 나타나는 특징을 관찰하여 결정한다. 온도조절장치의 고장에 의한 경우는 단자부분에서 융착 또는 접촉상태에서 연소된 흔적이 남게되며, 수리를 잘못하였거나 오결선 상태에서도 발생하게 되므로 발화된 원인이 자체이상에 의한 것인지, 사용



목 차

1. 머리말
2. 전기전자제품의 기본부품
 - 가. 저항(발열)체
 - 나. 코일
 - 다. 콘덴서
 - 라.반도체
3. 저항체(전열기)에서의 발화
 - 가. 고온용 히터
 - 나. 조명등에서의 발화
 - 다. 중온용 히터
 - 라. 저온용 히터
4. 맺음말

상의 잘못으로 가연물이 접촉되어 발화된 것인지, 수리불량에 의한 것인지, 설치불량인지를 분명히 할 필요가 있다.

(1) 전기밥솥



(그림 20) 전기밥솥 히터의 과열 형태

전기밥솥은 찌즈히터(열판)과 보온용히터, 온도조절장치로 구성되어 있으며, 찌즈히터의 과열은 내장

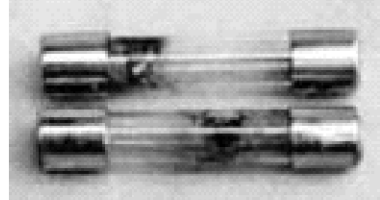
된 온도퓨즈이상으로 찌즈히터가 과열되거나 내부 및 외부(전원코드) 배선상에서의 절연손상, 접촉불량에 의한 국부적 발열로 발화하게 되며 이때 나타나는 특징은 다음과 같다.

(가) 발화부위의 연소형태가 무염착화 연소형태¹⁾와 비슷한 형태를 나타낸다.

(나) 전원코드에서 단락흔이 식별된다.

전원코드에서 단락흔이 형성되어 있다는 것은 전원코드가 연소될 당시 전원이 살아있다는 것을 의미하므로 비록 플러그가 전원콘센트에서 이탈되어 있다 하더라도 전원이 연결되어있는 상태에서 연소된 것을 의미하며, 전원플러그가 콘센트에서 이탈된 것은 진화나 연소로 이탈된 것을 의미한다. 또한 대부분의 수용가 전원공급이 분전반의 차단기를 통해 공급되므로 같은 차단기에 연결된 전선 중 가장 먼저 연소된 것, 또는 최초 연소부분임을 입증하는 것이 된다.

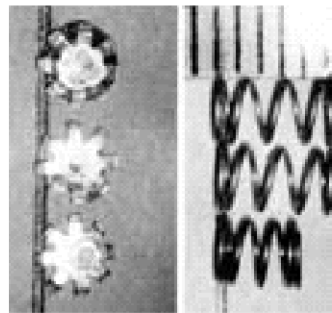
(다) 열판이 내장된 히터선을 따라 용융된다.



(그림 21)



(그림 22)



(그림 23)

(그림 21) 퓨즈의 과전류용단형태

(그림 22) 온도퓨즈 내부구조

(그림 23) 온도퓨즈 내부 스프링의 비교

내장된 온도퓨즈가 이상인 경우에 나타나는 것으로 발화원인은 내장된 온도퓨즈 이상이다. 온도퓨즈의 이상은 부품불량이 원인이며, 간혹 수리불량(정상품으로 교체되지 않은 경우)에 의해 발생할 수도 있다.

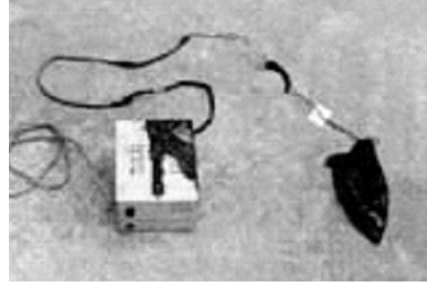
(라) 전원퓨즈가 과전류 용단상태이며, 내부배선에서 단락흔이 식별된다.

모든 전기제품 자체에서 발화된 경우 공통적으로 형성되는 현상으로, 전기밥솥에서는 열판이 과열되어 내부배선의 절연피복이 소실되어 합선이 일어나

1) 무염착화 연소형태 : 담배불씨, 모기향, 소각불씨, 용접불씨 등 화염이 없는 불씨에 의해 발화되는 것으로, 수 분 또는 수 십분 훈소가 지속되고 훈소가 확대된 후 발열, 연소가 확대되므로 발화부위의 연소잔해는 회화되고 국부적 연소형태를 나타낸다. 주변에서는 상대적으로 밝은 V 패턴이 분명하게 나타나며, 목재의 탄화물에서 국부적으로 회화되고, 미세한 균열이 발견된다.

형성되며, 합선으로 과전류가 인가되어 전원퓨즈가 과전류 용단된다.

(마) 콘트롤 부분에서 불완전접촉, 콘덴서 열화, 반도체 부품 단락으로 출화되기도 하며, 전원코드의 압축손상, 반단선, 릴코드 접점에서의 불완전 접촉 등에 의해 발화되기도 한다. 이러한 현상은 전기배선기구에서의 발화기구와 같은 것이다.



(그림 24)

(2) 전기다리미

전기다리미는 자체가 대부분 불연재로 되어 있으며, 또한 온도조절장치가 내장되어 있다. 따라서 전원을 연결한 상태에서 장시간 방치하여도 발화되지 않는다. 전기다리미에서 발화되는 경우는 모두 가연물이 접촉된 상태에서 장시간 방치하는 경우이며, 이때 발화부의 연소형태는 무연착화 연소형태가 된다.

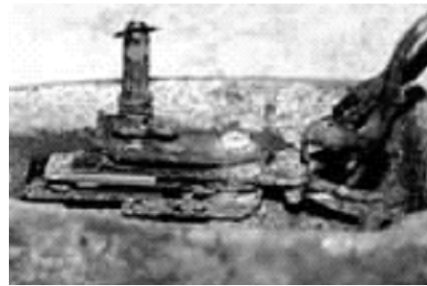


(그림 25)

다리미에서 가연물이 접촉되어 발화된 경우 나타나는 특징은 다리미 자체가 금속이므로 붉은색으로 부식되며, 고온상태인 열판에 가연물이 접촉 연소된 상태가 된다. 이는 고온물체에 가연물이 접촉되는 경우 합성수지류는 용융부착되어 탄화되고 진화 후에도 그 잔해나 형태는 남게되며, 천연섬유가 부착되는 경우 완전 회화되고 열판부분이 비교적 흰색을 나타내게 된다. 발열중이 아닌 냉각된 다리미에 연소중인 가연물이 낙하되어 연소된 경우에는 접촉된 부분에 연소되지 않은 가연물이 부착되어 있거나 완전 연소되었다 하더라도 접촉흔적이나 접촉 가연물의 잔해가 남아있지 않게 된다. 다리미 자체는 모두 불연재로 되어 있기 때문에 직접적인 증거, 즉 전원코드 단락, 내부 단자부분 등에서의 불완전 접촉 발열에 의한 용융흔이 식별되지 않아 연소된 자체만으로 출화 여부 판정은 무리가 있으므로 현장상황을 고려 종합적 판단이 요구된다.



(그림 26)

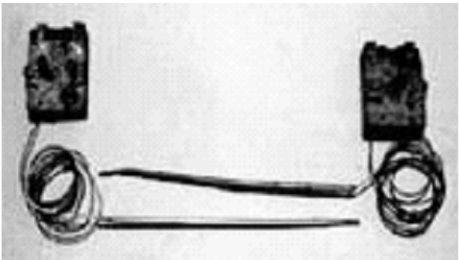


(그림 27)

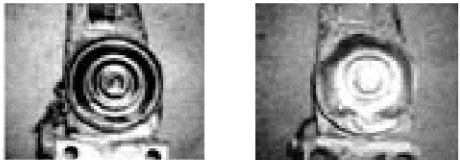
- (그림 24) 발화부에서 발견된 다리미
- (그림 25) 다리미 전원코드의 단락흔
- (그림 26) 발열중인 다리미에 가연물이 접촉되어 발화된 형태
- (그림 27) 다리미에 장착된 바이메탈 방식의 온도조절기



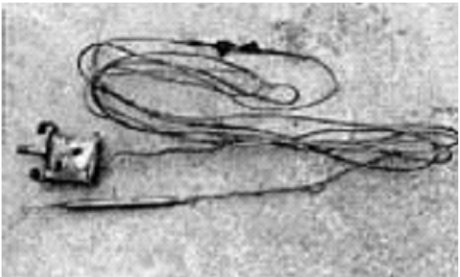
(그림 28)



(그림 29)



(그림 30)



(그림 31)

- (그림 28) 회전식 접촉단지의 발열현
- (그림 29) 전기튀김기에 장착되었던 온도조절기
- (그림 30) 온도조절기의 정상상태(왼쪽), 팽창된 상태(오른쪽)
- (그림 31) 온도조절기의 형태와 파손된 부르돈관

(3) 항온수조류

항온수조는 커피포트, 전기온수기 등을 말하며, 이들은 모두 물 또는 기타 액체를 가열하는 것으로 100℃정도의 온도 조절장치가 내장되어 있으나 외피, 전원코드 등은 모두 가연성으로 되어 있다. 따라서 온도조절기 고장이나 공용기 가열(물이 없이 가열되는 경우)시 발화하게 된다. 이러한 히터에서 발화되는 경우는 모두가 온도조절기 고장으로 가열이 지속되고, 내부의 물이 완전히 말라버린 후에도 지속적으로 가열이 되어 발화하는 것이다. 이 경우 나타나는 특징으로는 물이 증발하며 수조 바닥 벽 부분에 수위에 의한 환상무늬가 나타나며, 내부배선 단락, 퓨즈 과전류 용단, 전원코드 단락 등 외관상 특징이 관찰된다. 또한 이러한 수조의 온도조절장치는 정상상태인데 센서 부분이 부적절하게 장착되어 과열되는 경우, 즉 온도센서는 수온에 의해 작동하게 되어있으나 물이 부족한 상태인 경우에는 센서가 물 밖으로 노출, 과열 출화되기도 한다.

온도조절기는 2종이 사용되고 있으며, 각각의 특징은 다음과 같다.

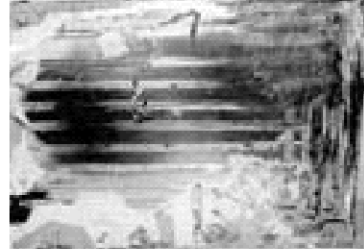
(가) 바이메탈방식의 온도조절기

금속의 온도팽창계수 차이를 이용한 것으로 이의 고장은 대부분 접점의 융착으로 일어난다. 따라서 연소된 잔해의 온도조절장치 접점부분을 현미경으로 관찰하여 판단한다.

(나) 유체팽창방식의 온도조절기

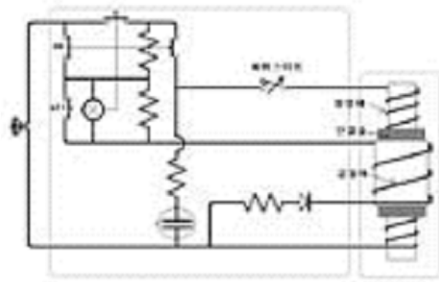
밀폐된 지시부(부르돈관), 감온부, 도관으로 구성되어 있으며, 이의 고장은 미세한 구멍이 생겨 내압이 빠져나가는 경우이므로 쉽게 판단할 수 있다. 즉 정상적인 경우에는 연소로 인한 과팽창으로 과열된다. 그러나 미세한 구멍이 생겨 내압이 빠져나간 경우, 빠져 나갈 수 있는 경우에는 연소되어도 외관상 원형을 유지하고 있다. 따라서 수조가 과열되어 출

화된 경우 온도조절기의 지시부인 부르돈관이나 감온부가 원형을 유지하고 있으면 온도조절기의 이상으로 발화된 것이고, 온도조절기가 내압에 의하여 파열된 형상이면 온도조절기는 이상이 없는 것이며, 반면 설치상의 문제로 과열된 것으로 보아야 한다.



라. 저온용 히터

전기방석, 전기패널, 전기모포, 등과방지용 히터와 같이 극히 낮은 온도로 사용되는 히터를 말한다. 저온용 히터의 특징은 대부분 가연물로 구성되어 있고 특히 발열체와 가연물이 접촉되어 있으며, 전원코드 또한 가연성인 비닐절연을 사용하고 있다. 이들의 구성은 온도조절기와 히터선으로 구성되어 있으므로 단순하며 히터와 감온선이 하나의 선으로 이루어져 있다. 이들 저온용 히터에서의 발화는 온도조절기의 고장이 원인이며, 간혹 국부적 과열로 발화되기도 한다. 국부적 과열이란 과도한 접힘에 의해 발열체 내의 히터가 반단선되어 일어나는 것이다. 외관상 나타나는 특징은 전원코드에서의 단락, 온도조절기 내부에 장착된 퓨즈의 과전류 용단, 히터의 잔해에서의 2개 이상 과전류 용단 형태, 타다 남은 부분에서 히터선 부분의 탄화흔 형태로 나타난다. 또한 난방용으로 사용되는 전기방석, 전기장판이나 모포는 전원코드가 발열체에 직접 닿힌 상태로 사용하여 전원코드 절연피복이 손상 합선으로 발화하기도 한다.



(그림 32) 과열된 전기온돌패널
(그림 33) 전기모포 회로도
(그림 34) 변사자 등에 나타나 있는 전기방석 열선흔적

(1) 전기온돌패널

최근 전기온돌을 사용하는 경향이 증가하고 있다. 전기온돌은 기본구조가 보온재 내부에 히터가 들어가 있고 온도조절기가 연결되어 있으며, 온도조절기는 유체팽창식을 사용하고 있다. 온도조절기가 고장이거나 온도조절기의 설치위치 불량으로 과열 발화

하며, 특히 큰 전류가 흐르기 때문에 연결전선 및 배선기구에서의 불완전 접촉 등에 의하여 발화되는 경우가 많다. 온도조절기의 이상이나 설치위치 불량으로 과열되는 경우 히터선을 따라 연소된 형태가 나타난다. 온도조절기는 이상이 없으나 설치위치가 잘못된 경우는 온돌패널이 넓은 공간에 설치되고 감온부가 설치된 부분이 온돌패널 전체의 온도를 대표할 수 있는 곳에 설치되지 않거나 설치되어도 열이 잘 빼앗길 수 있는 위치, 즉 금속창틀과 접촉된 부분이나 외부 유입공기가 직접 접촉될 수 있는 부분, 수도파이프와 같은 매설물과 근접된 부분에 위

지하게 되는 경우 온도조절기가 감지하는 것은 패널 내부온도보다 낮게 감지되어 패널 내부가 과열 발화되기도 한다. 이때의 온도조절기는 내압에 의한 과열형태를 나타내게 된다.

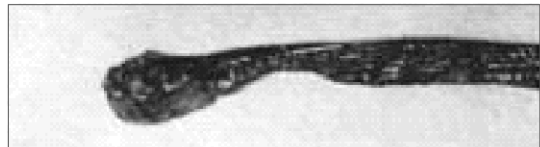
(2) 전기장판, 모포, 담요

전기장판, 모포나 담요 같은 저온용 히터는 대부분 감온체에 의하여 온도를 제어하게 되며, 온도 제어부에는 발열저항에 의한 과열안전장치 또는 바이메탈방식, 온도퓨즈 등에 의한 과열안전장치가 내장되어 있다. 과열되는 경우는 온도 컨트롤러가 이상인 경우이며, 간혹 발열체의 반단선 등에 의한 국부적 과열로 착화하게 된다. 잔해에서 나타나는 특징은 전원코드에서의 단락흔, 내장 퓨즈의 용단, 발열체 및 감열체의 용단형태로 나타난다. 전기방석과 같이 소형인 경우 직접 열선을 이용하는 경우도 있다. 이들 잔해에서 나타나는 특징은 열선이 수 도막으로 용단된다. 이는 공기와 차단된 가연물 속에서 아크방전 현상이 일어나기 때문이다. 즉 한 부분이 단선되면 회로가 차단되어 발열이 중지되어야 하나 지속적인 발열이 일어나 히터선이 여러 도막으로 용단된다.

(3) 동파방지용 히터

난방이나 급수배관의 동파방지를 위해 히터를 단열재 내부에 설치하게 된다. 동파방지용 히터는 그 자체가 과열되어 발화하지는 않지만 히터선과 전원코드의 결선 불량으로 발화하게 된다. 대부분의 히터선 연결방식이 내부 소선을 꼬아 연결하고, 테이프로 절연하는 경우 결선부분에서 결루현상으로 습기가 차고, 공기와의 접촉으로 부식되며, 열선과 전원코드의 팽창계수 차이로 접촉불량이 일어나게 되어 결국 국부적인 발열로 발화하게 된다. 이러한 저

온용 히터인 동파방지용 히터의 결선부분에서 발화되는 경우 나타나는 현상은 전원코드를 따라 연속적인 단락형태가 나타나게 되며, 전원측으로부터 가장 먼 최단 부하측 결선부분에서 발열에 의한 결선부분의 잔해를 찾을 수 있다. 발화된 결선부분의 형태는 일부 소선이 용융되며, 일부분이 패여 나간 형태를 나타낸다.



(그림 35) 결선부분에서의 불완전 접촉발열로 형성된 형태
(그림 36) 히터와 전원코드의 결선

4. 맺음말

모든 전기제품이 마찬가지로 히터류도 발열체(저항체)와 배선기구로 이루어져 있기 때문에 발열체에서 직접 발화하는 것 이외에 배선기구에서의 절연과피, 불완전접촉 발열로 발화하기도 하므로 배선기구에서의 발화 검사를 함께 실시하여야 한다. 특히 고의성이 있거나 실화위장 방화가 있을 수 있고 PL법의 시행과 관련하여 보다 구체적인 원인의 규명이 요구되고 있다. 전기히터가 과열되어 발화하였다면 과열은 결과적으로 나타나는 현상이지만 발화원인 자체가 될 수는 없다. 과열된 원인을 찾아 구체적으로 기술되어야 민·형사상 문제를 분명히 할 수 있고 기술적 예방책도 나올 수 있을 것이다. '화재 원인이 전기히터 과열이다'라는 표현은 잘못된 표현으로 가연물 접촉, 관리불량, 결선 접촉불량 등으로 표기되기를 기대한다. ☹