



## 전기화재의 발화원인과 감정요령 2

글/김 만 건 [No. 9963]

**내** 부무 소방국이 매년 화재건수를 조사, 분석한 통계에 따르면 '97년 한해동안 발생한 화재중 전기화재는 약 34.2%의 점유율을 차지해 여전히 1위를 고수하고 있다. 이는 미국, 일본보다 높은 수치이며 노후 전기설비 등 개선대책 마련이 시급하고, 미확인 화재는 전기화재로 집계하는 문제 등을 내포하고 있다.

이번호에는 전기화재의 원인을 발화원인별로 분류하여 설명하고 감정방법과 조사요령을 연재하여 게재합니다.

### 목 차

#### 제1장 전기화재의 발화원인과 감정요령

##### 1.1 개요

##### 1.2 전기화재의 분류

##### 1.3 전기화재의 발화원

##### 1.4 발화원의 종류와 감정요령

#### 제2장 전기화재 조사요령

##### 2.1 전기화재 조사요령

##### 2.2 화재감정의 기법

##### 2.3 발화장소 및 발화부위 결정

##### 2.4 현장 발굴

##### 2.5 복원

##### 2.6 발화원의 입증

#### 1.4.2 백열등의 화재감정 요령

##### 가. 발화원인의 경향

- (1) 점등상태의 백열전구는 설치방향에 따라 차이는 있으나 200[W]용 전구를 상방향으로 설치하였을 때 상온에서의 최고온도는 약 240 [°C] 이상의 열을 발생하므로 가연물이 접촉할 때와 전구가 이동하여 접촉할 경우 축열에 의해 출화
- (2) 점등상태의 전구가 낙하 또는 전도, 타물전과 접촉·파손되어 발화한 경우
- (3) 사용목적이외의 용도에 사용한 경우(난방용 등으로 사용시 열축적에 의해 발화한 경우)
- (4) 점등상태의 전구에 가연물이 근접하여 방사열에 의해 과열되어 발화한 경우
- (5) 점등상태의 전구가 낙하하여 가연물에 착화 또는 파손하여 인화성 증기 등에 인화한 경우
- (6) 점등상태의 전구가 낙하되어 파열 또는 쇠붙이 부(部)에서 스파크를 발생하여 인화성 증기, 가스 등에 인화한 경우

##### 나. 감정요령

- (1) 백열등의 통전상태 입증
  - 필라멘트에 기인한 경우  
필라멘트(Filament)의 사용온도는 2,145~2,750[°C] 정도로 높기 때문에 녹는점이 높은 텅스텐(Tungsten : W<sub>74</sub>)을 사용한다. 텅스텐은 용융점이 3,410[°C]로서 높고, 증발이 적으며 가는선까지 자유로이 가공되므로 전구용 필라멘트로서 널리 사용되고 있다.

백열등의 유리가 점등 중 파손한 경우와 소



등 중 파손한 경우는 필라멘트에 각기 다른 현상이 나타난다. 이와 같은 현상에 의해 출화당시의 백열등이 점등하였는가 아닌가를 판정하고 통전상태를 입증할 수 있다.

백열등은 점등시 고온으로 필라멘트가 증발하는 것을 방지하기 위하여 진공으로 한 후 가스가 봉입되어 있다. 봉입한 가스는 아르곤과 질소의 혼합 가스이며 20[W] 이하의 백열등은 진공상태 그대로이다.

따라서 백열등의 유리가 점등 중에 파손하면 필라멘트는 공기 중의 산소 때문에 연소되어 기화하고 전부 또는 일부가 소실하기도 하고(특히 리드선과 접속개소에서 타기 쉽다) 리드선과의 접속개소에서 용단되며 기타 잔존물은 앵커에 용착하여 있다.

화재현장에서 수거한 백열등의 필라멘트에 이러한 현상이 생겨 있는 경우는 출화 당시 그 백열등은 점등하여 있었다고 보아도 된다. 필라멘트는 0.02~0.5[mm] 정도의 텅스텐을 단코일 또는 이중코일로 사용한 것이기 때문에 점등 중이 아니라도 유리가 파손하면 어떤 장애물에 의하여 필라멘트가 손실되는 경우도 있다.

필라멘트의 손실이 점등 중 산화에 의한 소실인가 또는 점등 중 물리적 외력에 의한 것인가의 판정은 곤란하지만 기계적인 절단인 경우는 앵커부분에서 절단되고 리드선과의 접속 부분은 남아있으며, 앵커에 용착하는 경우는 없다. 또 손실부분을 실체현미경 또는 확대경으로 보면 소실의 경우는 열을 받아서 녹은 흔적이 보이는데 반하여 기계적 절단의 경우는 그것이 보이지 않는 것이 특징이다.

## (2) 전구유리의 파손에 기인한 경우

백열등의 유리는 점등 중 고온이기 때문에 가연물이 접촉하여 있을 경우는 가연물 자체에 축적된 열과 서로 겹쳐진 유리전구의 표면은 더욱 고온으로 된다. 점등 중인 전구내부의 가스압은 상온에서 3/4기압, 점등시 1기압으로 유리표면 중 열을 많이 발생하는 부분은 장력이 약해져 문어의 빨판처럼 부풀어올라 그것에 구멍이 생겨 내부가스가 분출한다. 이때 필

라멘트가 용융되어 점화원이 된 경우에는 유리 표면에 가연물이 접촉해서 출화한 것으로 판정한다. 이상과 같이 백열등이 필라멘트의 연소상황에 의해 통전상태가 입증되고 유리구멍이 뚫린 파편을 잘 봄으로써 가연물의 접촉에 의한 출화가 입증된다. 한편 전구의 필라멘트는 정상상태이고 유리구 표면에서 흘러내리는 형상으로 구멍이 생겨 있을 때에는 외부 화염의 높은 열에 전구의 유리가 용해되어 생기는 현상으로, 이로부터 화재가 발생되어 화염의 진행방향은 용해된 쪽에서 용해되지 않는 곳으로 진행하였음을 알 수 있다.

## 1.4.3 네온관등설비의 화재감정 요령

### 가. 발화원인의 경향

네온관등설비의 출화위험은 네온변압기 2차측의 네온회로 및 부대설비에서 네온간판(옥상, 벽면 네온사인, 돌출, 차마위, 차마밑 네온사인) 등으로 방전한 경우와 네온변압기 1차측 저압회로의 단락 또는 연결코드와 애자의 절연연화에 의해 발생한다.

### 나. 감정요령

#### (1) 고전압누전에 의해 출화한 경우

누전화재라 부르는 것 중에는 특이한 경로에서 발생하는 것이 있는데 이러한 것이 많은 것은 조명용 네온사인을 사용할 때에 많이 일어나는 현상이다. 네온사인을 점등하는 때에는 2차전압이 7~15[kV] 정도의 변압기가 사용되고 있으며, 이 변압기는 보통 누설형이고 2차측이 단락되어도 20[mA] 이상의 전류는 흐르지 않게 되어 있다.

이 변압기의 양단에 결선한 도선의 절연이 불완전하고 목재 등에 근접하여 있으면 전류가 목재로 흐르는 수가 있다. 목재의 저항은 크기 때문에 수백 볼트 정도의 전압이면, 비록 접촉하여도 흐르는 전류는 미약하지만 전압이 10[kV] 정도의 고압이기 때문에 10[mA] 이상의 전류가 통전되면 목재 자신이 발열 발화하여 화재의 원인이 되는 수가 있다(이와 같은



화재는 우천시에 많이 발생되는 경향이 있음).

(2) 네온관등설비의 화재는 그 대부분이 고압 누설방전에 의한 것이지만 출화부위가 네온 문자판에서 일어난 것이면 그 출화원인은 아래와 같다.

- ① 네온관 지지애자의 탈락 또는 파손에 의해 네온관 리드선이 함석판 또는 간판목재에 접촉하여 방전
- ② 네온관의 파손에 의해 간판목재에 방전
- ③ 네온전선의 지지 혹은 탄 물건에서 손상을 받아 방전
- ④ 네온방전동용안정기의 절연열화에 의한 누전  
네온전등설비의 2차측 전압이 고압이기 때문에 수분·먼지, 이격거리의 단축 등에 의한 절연물의 절연내력이 떨어지면 절연물의 표면에 연면방전(沿面放電)이 일어나기 쉽다. 절연물의 표면에 연면방전이 일어나면 누설전류가 적어도(50[mA] 이하) 줄(Joule) 열에 의해 절연물에 탄화구가 생긴다. 이 탄화구는 도전성을 가지기 때문에 보통 누설방전이 촉진되어 탄화구의 범위가 심하게 되어 있는 것이 검출되는 것도 이 때문이다. 네온관등설비를 감정할 때는 피복에 탄화구가 생겨 있는가 없는가 또 목재 등의 구조재에 극부적으로 심하게 탄 것의 유무에 따라 누전방전의 사실을 규명하여야 한다.
- ⑤ 설비의 경년변화, 파손상황, 네온의 점멸상황(일부 누설방전에 의해 네온의 일부가 꺼지는 경우가 있음), 잡음 등의 유무, 비, 눈, 먼지의 부착상황, 공사상의 미비 등에 의해 누설방전이 일어날 가능성의 유무를 고찰하고 원인결정을 한다.
- ⑥ 네온 점멸기의 단자부에 드럼의 구리가루가 부착하여 절연물 표면에 누설전류가 흐르는 트래킹(Tracking)현상에 의한 화재 발생

#### 1.4.4 전열기구의 화재감정 요령

##### 가. 전기다리미(Electric Iron)

전기다리미는 운모판에 니크롬선을 감은 발열체를 바닥쇠와 중추쇠 사이에 끼워 열을 밑면에 전

하는 것으로 의류의 주름을 잡거나 펴는 용구

##### (1) 보통다리미

플러그를 꽂거나 빼는 방법을 이용한 플러그식과 핸들 부분에 스위치가 있어 온도를 조절하는 스위치식이 있다.

##### (2) 자동다리미

자동온도조절기(바이메탈식:Thermostat)를 내부에 부착하여 섭유명을 표시한 다이얼을 달아서 일정온도를 유지토록 한 것이다.

##### (3) 스틱다리미는 탱크식, 적하식(滴下式)이 있다

- ① 탱크식: 보통 다리미에 물탱크를 내부에 두어 증기를 발생시켜 핸들중의 연결관을 통하여 베이스의 아래 분출구로부터 분사케 하는 것
- ② 적하식: 자동 다리미에 탱크를 내부에 부착한 것으로 조작방법은 자동다리미와 거의 같다.

##### (4) 발화원인의 경향

- ① 통전상태로 방치한 경우
- ② 본래의 사용목적외의 용도로 사용하거나 통전상태 그대로 방치한 경우
- ③ 코드의 단자가 헐집거나 또는 이탈 및 피복의 열화 등에 의해 단락된 경우
- ④ 인화성 증기 또는 가연성 가스가 누설 체류한 장소에서 스위치를 끄거나 기구 접속부의 불량으로 스파크가 발생한 경우, 통전상태의 다리미에 가연물이 낙하하여 방치된 경우

##### (5) 전기다리미 바닥의 온도측정

전기다리미(250W)를 재단판 및 방석 위에 놓고 150분간 통전했을 때 다리미 밑의 온도상승은 표 1과 같다.

##### (6) 감정 요령

- ① 다리미 자체에 나타나는 특징  
자동온도조절기가 없는 다리미를 통전한 상태로 방치하면 베이스 및 금속 케이스에



<표 1> 전기다리미 온도

구분	시간	10분	20분	30분	50분	60분	90분	120분	150분
재단판	온도	160℃	240℃	315℃	365℃	370℃	410℃	420℃	425℃
방석		200℃	275℃	330℃	330℃	330℃	330℃	330℃	330℃

특이한 색체가 나타난다. 즉, 장시간 통전 가열한 경우는 자색(紫色)의 광택을 내며, 화재로 인해 열을 받아 변색하는 경우는 전체적으로 옅은 흑색으로 변하는 경우가 많기 때문에 베이스의 변색으로 통전상태의 방치인가 아닌가를 판정하는 것이 가능하다.

또, 온도(雲母)는 광택이 없어지고 투명도와 백색도가 떨어진다. 다만, 주의해야 할 것은 화재 전에 사용중 방치한 전기다리미 기구에는 상기와 같은 현상이 일어나기 때문에 발화전의 사용여부를 감정하는데 결정적인 실마리가 된다.

② 연소상황(燃燒狀況)의 특징

전기다리미를 판(板) 또는 방석 위에 통전상태 그대로 방치하면 그 부분이 강하게 타들어 간다. 이것은 판 및 방석의 표면이 서서히 탄화하여 거의 직선적인 아래 방향으로 타들어 가고 판 또는 방석을 타게 하는 시점의 발염성질이 강하기 때문이다. 따라서 발염하기까지는 장시간(250[W] 경우 약 2시간 정도)이 걸리기 때문에 다리미를 놓았던 부분이 강하게 타들어 간 상태로 사용방치 여부 등의 식별이 가능하다.

나. 전기 밥솥(Electric Rice Cooker)

전기밥솥은 그 구조에서 직접식과 간접식으로 구분된다. 어느 것이나 밀바닥에 놓여져 있어 솥에 물이 없어지고 온도가 상승해서 200[℃] 정도가 되면 온도조절기가 작동하여 자동적으로 스위치가 끊겨 밥이 된다.

현재 대부분 사용하는 직접식은 내부 냄비에 준비한 쌀을 직접 히터의 열로 밥을 짓는 것이며 상부에 열이 늦게 전해지기 때문에 상부의 밥이 하부의 밥보다 되어져서 이른바 2층밥이 된다.

이 방식은 내부밥솥뿐으로 수분이 없어지면 온도가 상승하여 바이메탈이 작동하여 스위치가 절

환되는 방식으로 이것은 보통밥솥에 전열선과 서머스택을 가지고 있다는 점이 다를 뿐이다.

간접식은 바깥솥과 내부냄비 사이에 물을 넣고 내부냄비에 쌀과 물을 넣어 밥을 짓는데 수증기가 내부냄비를 둘러싸고 있으므로 밥이 위아래가 고르게 지어진다(찜통으로도 사용 가능하며 전열선과 서머스택을 가지고 있음).

(1) 발화원인의 경향

- ① 사용후 스위치를 끄지 않고 방치하여 주위의 가연물 또는 밀면이 과열된 경우
- ② 자동스위치의 손잡이에 다른 물체가 닿아 장시간 통전, 기기자체가 과열된 경우
- ③ 서머스택의 고장 또는 조작기구의 고장으로 자동스위치가 작동하지 않아 과열된 경우

(2) 감정 요령

- ① 일반적으로 가정에서 사용하는 전기밥솥은 전부 서머스택이 장치되어 있으며, 통전상태로 방치하여도 일정온도에 이르면 자동스위치가 작동하지만, 발화하는 경우는 자동스위치가 고장이 났거나 장애물로 인해 자동스위치가 작동하지 않는 경우이다.
- ② 자동스위치가 작동하지 않아서 발화한 경우는 밥솥 밀바닥 부분에서 고온으로 되어 밀면의 가연물에 착화하게 되므로 이를 철저히 조사해야 하며, 밥솥의 외관을 조사할 때는 아래 다리 부분의 소실, 아래판의 변색(탄소 부착유무), 코드플러그 단자의 용해, 내부 밥솥 내용물(쌀이 있는 경우)의 탄화현상 등을 조사한다.
- ③ 스위치 기구는 강한 열때문에 탄화되어 부품이 떨어지기 쉬우므로 현장보존이 특히 중요하다.

다. 토스터(Toaster)



수동, 자동(바이메탈식, 시계식), 전자동식이 있으며, 용량은 600[W] 정도이다.

(1) 바이메탈식

손잡이를 내리면 접점이 닫혀 통전되고 팬이 달구어지면 히터의 바이메탈이 작동하여 스프링이 튀어 올라 동시에 접점이 열린다.

(2) 시계식

손잡이를 내리면 접점이 닫혀 통전되고 동시에 태엽이 감겨진 뒤 손잡이가 서서히 올라간다. 이 태엽의 풀림에 따라 접점이 열린다.

(3) 전자동식

팬에 올려놓은 무게에 의해 약간 아래로 내려가 보조접점을 닫게 하여 인장선(引張線)에 면저 전류가 흐른다. 인장선은 일종의 히터로 빨갛게 달구어져 이것이 늘어나면 팬은 내려가 주접점이 닫혀 히터가 가열된다. 팬이 어느 온도 이상으로 상승하면 바이메탈이 동작하여 보조접점이 열리고 인장선이 냉각되어 줄어들면 팬이 위로 올라간다.

(4) 발화원인의 경향

- ① 사용후 또는 스위치를 넣어 통전시킨 채 방치된 경우(단, 자동온도조절기 및 스위치가 없는 것)
- ② 본래의 사용목적 이외의 용도에 사용하여 통전상태인 채로 방치하거나 가연물에 접촉된 경우
- ③ 다른 기구와 서로 바뀌 코드를 콘센트에 꽂거나 잘못 스위치를 넣어 통전된 채로 방치한 경우
- ④ 가연물에 접촉시킨 채 통전상태로 방치한 경우
- ⑤ 기구내 스프링의 파손 또는 서머스렛의 접점이 용착하거나 기계적으로 접점상태인 채로 동작이 안되는 기구를 통전상태로 방치한 경우
- ⑥ 통전상태인 기구에 가연물이 접촉된 경우

(5) 감정 요령

토스터는 각 형식에 의해 발화위험이 다르고 감정요령도 달라진다.

- ① 전자동식 : 일정 온도에 도달하면(발화위험성이 없는 온도) 자동적으로 전로가 개방되기 때문에 일상적으로 사용하다 방치한 경우에도 발화 위험성이 없다.
- ② 자동식 : 코드캡을 콘센트 등에 꽂은 채 방치하고 손잡이에 어떤 물건이 닿아 스위치가 닫힌(ON) 상태로 되어 일정 온도에 도달하여도 전로가 개방되지 않는 경우와 자동적으로 전로가 열리기 이전에 발열체에 가연물이 접촉된 경우 등의 발화 위험성이 있다.
- ③ 수동식 : 통전상태의 입증은 스위치의 개(OFF)·폐(ON)를 손잡이를 돌려서 행하든가 또는 레버를 아래로 당기는 등 기계적으로 행하기 때문에 탄화된 위치에 의해 판정한다. 레버를 아래로 하여 전로가 닫히는 것은 물건이 떨어지는 등으로 자동식과 같은 이유에 의해 전로가 닫혀 통전상태로 되는 것으로 이 사실의 판단도 중요하다.

라. 전기담요

전기장판은 전열선을 이용하는 제품으로 사람의 몸에 직접 접촉하여 사용되기 때문에 장시간 사용하거나 제품에 이상이 있을 경우 과열로 인한 화상 등 인체에 손상을 입을 수 있다.

(1) 구조

평평한 합성수지로 가요성이 있고, 내부에 발열선(약 35[m])을 가진 몸체와 몸체의 전기적인 회로를 열거나 닫고 또는 온도를 조절, 변화시키기 위한 콘트롤러, 발열체 및 감열선으로 되어있다.

- (2) 크기에 따른 구분으로 1인용(650×1800mm)과 2인용(1200×1800mm 이상)

(3) 발화원인의 경향

- ① 전기장판을 접어서 사용할 때 발열선의 손상에 의한 스파크나 국부과열에 의한 발화
- ② 전기장판 위에 무거운 물체를 올려놓거나 장판 위에서 다림질을 하면 내부의 발열선



이 손상되어 발화한 경우

- ③ 사용할 때 본체와 온도조절기를 확실하게 결합하지 않으면 접촉불량에 의한 발열로 발화한 경우
- ④ 서머스태트의 고장으로 장시간 방치한 경우
- ⑤ 본래의 목적 이외의 용도에 사용하여 통전 상태로 방치하거나 전원을 끄지 않고 연속 사용할 경우

### (4) 감정요령

- ① 발열선의 양단선에 의한 스파크에 의해 불이 날 경우 단선부에 용융흔이 나타난다.
- ② 국부과열에 의한 화재  
전기장판 위에 솜으로 된 두꺼운 이부자리가 있게 되면 이부자리 아래에 있는 전기장판을 약 120[°C] 정도로 국부과열되어 발열선 자체 또는 발열선과 신호선간에 국부적으로 누설전류가 생겨 그 부분이 과열되어 불이 난다.

## 마. 전기로(電氣爐)

### (1) 전기로 방식

- ① 아크 가열식(Arc 加熱式)  
전극간 또는 전극과 피가열물과의 사이에 아크를 발생시켜 그 방사열(放射熱)을 이용하여 피가열물을 직접 가열하는 방식
- ② 저항가열식(抵抗加熱式)  
피가열물에 직접 통전하고 피가열물 자신의 저항에 의해 발생한 줄(Joule)열에 의해 가열하는 직접저항로와 발열체에 통전가열하고 그 발열체의 방사대류 또는 전도열에 의해 피가열물을 가열하는 간접저항로가 있음
- ③ 유도가열식(誘導加熱式)  
전자유도작용에 의해 피가열물 내에 과전류를 발생시켜 줄(Joule)열로써 가열하는 것으로 금속의 용해, 가열소입, 납땀 등에 사용

### (2) 발화원인의 경향

- ① 정격전류 이상의 과전류가 공급될 경우
- ② 사용중인 노(爐)주변에 인화성 증기나 가스 등이 체류(滯留)할 경우

- ③ 노에 균열발생 또는 발열체가 파손되어 열기누설로 주변의 가연물을 과열시킨 경우
- ④ 과열상태로 방치한 경우와 과열파손 및 폭발 등의 원인으로 된 경우
- ⑤ 설계구조의 결함에 의해 과열 파손 및 폭발하여 출화한 경우
- ⑥ 사용중인 전기로 위에 가연물이 낙하한 경우
- ⑦ 사용중인 전기로에 가연물이 접촉한 경우
- ⑧ 설치구조의 결함에 의해 장기간 밀부분의 상판(床板) 등을 과열시킨 경우
- ⑨ 용해물(融解物)에 급격한 이물질의 혼입 등에 의해 폭발한 경우

### (3) 감정 요령

전기로는 높은 열과 함께 대전류를 사용하기 때문에 노 자체의 균열, 파손에 의한 사고가 많다. 시드선 사용의 간접저항가열로를 보면 보호관내 발열체가 절연용 충전재를 파괴하여 보호관과 접촉한 경우 등이 있다.

내부 절연물에 구멍이 있는 상태이면 발열체의 팽창에 의해 구멍이 있는 약한 부분에 압력이 가해져 외부 절연관에 접촉한다. 발열체를 떼어내고 외관만으로도 용이하게 접촉한 상황을 볼 수 있다. 노의 주변환경조건을 분명하게 하는 것이 출화원인의 규명에 요점이 되므로 노 주위의 연소상황을 화재전과 같이 잘 복원하는 것이 과학적인 화재원인 규명을 위해 매우 중요하다.

▶ 다음호에 계속 됩니다



글/김 만 건

한국전기안전공사 부설  
전기안전시험연구원  
전기안전기술사