



## 전기화재의 발화원인과 감정요령 ③

글/김 만 건 [No. 9963]

**내**무부 소방국이 매년 화재건수를 조사, 분석한 통계에 따르면 '97년 한해동안 발생한 화재 중 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

### 바. 전기히터(Electric Heater)

각종 액체류의 가열용이외에 금속분이나 합성수지 등을 용해, 가열하는 것으로 가정용에서 산업용까지 여러 종류가 있으며, 보통 많이 사용하는 용량은 0.5~10[kW] 정도이다.

구조는 투입(침수)전열기(Immersion Heater), 시즈가열기(Sheath Heater), 동결방지 Cable Heater, Band Heater 등으로 금속파이프 중앙 스파이럴에 성형된 발열체를 열전도가 좋은 고절연 분말로 충전되어 있다.

#### (1) 발화원인의 경향

- ① 비정상적인 기구에 잘못하여 통전시키거나 스위치를 잘못 켜고 방치한 경우
- ② 장시간 통전상태로 방치한 경우 또는 사용 후 스위치를 뽑는 것을 잊고 방치한 경우
- ③ 통전상태인 기구에 가연물을 접촉시킨 경우
- ④ 피용해물이 끊어 넘쳐 기구의 노출 부분을 과열시켜서 피용해물의 발화온도 이상으로 상승되는 경우
- ⑤ 본래의 사용목적 이외의 용도로 사용해서 과열 또는 가연물을 접촉시킨 경우
- ⑥ 사용중인 용기 내부에 내용물이 없는 상태에서 사용한 경우
- ⑦ 시즈선이나 전선 접촉부가 고장 또는 파손된 것을 그대로 사용했기 때문에 단락, 지락 또는 과열된 경우

#### (2) 감정 요령

- ① 투입 전열기에서의 발화위험은 사용방법의



부적합에 따른 원인이 되는 경우가 대부분이며, 기구 자체에서의 발화위험은 거의 없다.

- ② 소손상황으로부터 사용상황을 알고 통전상태를 입증함으로써 발화원인을 판정한다.
- ③ 투입전열기는 수동스위치가 없고 캡타이어 케이블 등으로 직접 전원에 접속될 뿐만 아니라 코드가 사용전원과 장소에서 멀리 떨어진 경우가 대부분이므로 코드 캡의 풀러 그는 원형 그대로 남아 있는 경우가 많아 그 형태 등을 보고 감정한다.

### 사. 교류 아크 용접기

교류아크용접기는 가동코일형과 가동철심형이 있으며, 가동철심형 교류아크용접기가 많이 사용되고 있다. 이 용접기의 전류조정은 변압기의 철심 M1, M2 외에 제3의 철심 M3를 설치하고 M3를 움직여서 누설자속의 크기를 변화시켜 전류의 크기를 조정한다. 교류아크용접기는 공장이나 건설현장 등에서 광범위하게 사용하고 있으며, 이에 의한 재해사고도 많이 발생하고 있다.

재해사고로는 스파터(Spatter)에 의한 화상 및 화재발생, 용접기자체 과열에 의한 화재, 감전사고(용접기, 1·2차측배선, 개폐기), 전자파장해, 소음에 의한 청력장해, 유해가스과 분진 등이 있다.

교류아크용접기는 용접기 본체, 자동전격방지방치, 용접용 케이블(1·2차측 배선), 용접봉 홀더, 접지클램프, 전원개폐기 등으로 구성된다.

#### (1) 발화원인의 경향

- ① 용접장소 주변에 폭발물, 인화물, 가연성 물질이 있으면 용접작업시 발생하는 높은 아크열 또는 스파터에 의해 폭발·인화·발화하는 경우
- ② 용접케이블에 과부하, 누전, 고조파의 실효값 증대로 인한 과전류가 흐름에 따라 발열되어 발화
- ③ 귀선용 케이블을 직접 철근 등에 접속하여 사용하면 접촉저항 증가로 과열되어 주위의 가연물에 착화
- ④ 귀선용 케이블 대응으로 철근 등에 접속하여 사용할 때 저항이 적은 곳으로 전류가

집중하여 흐르므로 금속재료의 용량이 적은 경우 과열되어 주변 가연물에 착화

- ⑤ 용접기 2차 케이블 커넥터 파손으로 누설 전류가 흘러 발열한 경우
- ⑥ 용접기자체, 케이블 등의 절연불량에 의한 발열
- ⑦ 용접기 접속단자와 케이블 등의 접속·접촉불량에 의한 과열
- ⑧ 덕트공사, 수리·보수공사를 하기 위한 용접작업중 천장·벽·바닥 등의 보온재 또는 방음재 등에 스파터가 떨어져 착화
- ⑨ 용접중에 녹은 금속이 용접봉과 피용접물과의 사이에서 단락(Short)하여 거기에 큰 전류가 흘러 그 금속을 비산시켜 발화

#### (2) 감정 요령

용접작업에 의한 출화부위는 작업현장 주변으로, 출화전에 작업의 유무를 확인하는 것과 용접 불티의 채취작업을 행한다.

불티입자를 채취하기 위해서는

- ① 금속입자는 쉽게 형상이 파괴되고, 녹슬기 때문에 빨리 채취하여야 하며, 채취할 때 남은 찌꺼기의 여과는 자석을 이용하고, 채취 위치와 용접불티의 채취거리 측정 및 현장 사진촬영 등을 한 후, 용접불티의 입자를 선별한다.
- ② 불티입자는 구상으로 작기 때문에 구르기 쉽고 작은 틈에도 들어가기 때문에 생각지 못하는 곳에서 채취되는 경우가 있다.
- ③ 용접불티 자체가 고온이고, 또 착화물이 숨먼지, 섬유부스러기, 톱밥 등 쉽게 불이 붙을 수 있는 가연성 착화물로 쌓여있는 경우는 용접불티가 혼소화원이 되어 착화물에 숨어 있으므로 작업후 수시간에서 10여시간이 경과하여 출화하는 사례도 있다.
- ④ 용접작업중 천장·벽·바닥 등의 보온재, 방음재 등에 스파터가 떨어져 착화되는 경우 브이 패턴(V Pattern)이 뚜렷하게 나타나는 특징이 있다.
- ⑤ 전열기의 화재 예방대책
  - 전열기의 발열부에 근접하여 가연물을 두



### 지 말것

- 가연물과는 소정의 거리를 확보하는 외에 가연물의 낙하, 접촉의 우려가 없는 장소에서 사용한다.
- 전열장치와의 접속개소 부근의 전선과열 상황, 절연피복의 손상정도 등에 주의하며, 내열성이 필요한 장소에는 내열·내화성의 전선(FR-3, FR-8, MI Cable) 등을 사용한다.
- 전열설비의 내부 온도가 이상 상승할 경우 자동적으로 전원을 차단하는 보호장치를 설치한다(대형의 것은 경보장치를 하여 경보를 울리고 전원 차단).
- 원칙적으로 불연성의 바닥위 또는 받침대 위에서 사용한다.
- 고장 또는 파손된 것은 사용하지 않고, 본래의 사용목적 이외에는 사용하지 않는다.

## 1.4.5 배선 및 배선기구(Wiring Apparatus)

### 가. 통전입증

전기기기를 발화원이라고 인정하는 제1조건은 이들 기기가 출화전부터 통전상태로 있었다는 사실을 증명하는 것이다.

이와 같은 감정방법은 먼저 전기기기의 배선도를 입수하여 통전상태 유무를 검토하는 것으로, 순서는 부하측에서 전원측으로 향하며, 귀납적으로 조사한다. 전선로에 접속되어 있는 배선기구, 즉 스위치류, 퓨즈, 릴레이, 배선용차단기 등 일련의 개폐기구와 차단기구에 전류가 흐르는 방향으로 작동하고 있는가의 사실을 보고 판정하게 된다.

### 나. 코드 및 전선

#### (1) 발화원의 경향

- ① 코드 및 전선의 지지를 못 또는 스테이플(Staple)로 지지하는 부분 또는 직각으로 심하게 굽은 부분 등의 피복이 손상된 경우
- ② 전선의 인입 또는 인출부에서 냉장고 등의 진동에 의해 전선피복이 마찰 또는 손상되어 일어나는 화재

#### (2) 감정요령

- ① 전기기기에 접속되어 있는 코드 또는 배선은 전압이 인가된 상태에서 불에 타게되는 경우에는 심선이 단락되고, 그때 발생된 스파크에 의해 심선에 용흔을 남기게 된다.
- ② 코드 또는 배선에 전기적 용흔이 있다면 그 개소까지는 분명히 통전상태였으며 거기서부터 전기기기까지의 사이에 개폐기 등이 없다면 그 기기는 통전상태에 있었다는 것을 알 수 있다.
- ③ 직각으로 심하게 굽은 부분에서의 코드나 전선 인입 또는 인출을 위한 인입인출부에 구리성분이 검출되거나 남아 있으면 그 인입부의 가까운 부분에서 접촉에 의한 아크 및 발열이 화재로 진전된 것으로 판정한다.
- ④ 기기에서 전원측까지의 코드 또는 배선의 상태를 조사해 본 결과 불에 타서 엉켜있는(덩어리로 된) 상태로 발굴되었을 경우에도 전선을 잘 풀어서 용흔이나 변색상태를 식별한다.
- ⑤ 용흔이 일부에 있고 변색상태가 부분적으로 다를 경우에는 그 코드나 배선은 화재 당시 길게 장력을 받은 상태였다고 볼 수 있다. 단, 전기기기와 전원이 근접하여 있거나 간선을 길게 임시배선으로 사용하고 있었던 경우는 예외이다.
- ⑥ 배선 또는 코드류의 단락은 비교적 화점에 가까운 개소에서 발생하기 쉽기 때문에 이것에 의해 출화점을 아는 단서를 얻을 수 있다.

### 다. 케이블

인입선, 간선 및 분기선과 이동전선 등 전력공급설비의 주축을 이루고 있는 케이블을 부설할때는 허용전류, 전압강하, 기계적강도와 장치 증설·변경에 대한 여유를 충분히 고려하여 시설한다.

케이블의 구조는 도체, 절연체 및 외장 등으로 구성되어 있고, 절연체는 가교폴리에틸렌, 폴리에틸렌, 염화비닐 등이 주로 사용되며, 외장에는 비닐, 폴리에틸렌, 클로로프로펜 등이 사용되고 있다.

#### (1) 케이블에 사용하는 절연재료의 연소특성



케이블의 연소특성은 케이블의 구조, 구성재료, 두께에 따라 다르며, 특히 케이블의 외장에 사용한 재질이 가장 큰 요소로 작용한다(가교폴리에틸렌의 발화점은 약 340~350°C, 염화비닐(PVC)은 약 390~450°C 정도이다).

(2) 케이블의 배선상태와 연소성

케이블의 연소성은 배선상태 및 설치장소에 따라 크게 변화하여, 지중에 직접 매설하거나, 지중관로 내부에서는 연소할 우려가 거의 없지만, 화재발생시 축열효과가 좋은 장소인 동도[洞道=암거(暗渠) : 전력구(電力溝)] 밀폐덕트 내부, 전기실 내부와 연돌효과가 발생하는 건물의 수직덕트, 케이블 샤프트 내부 등에 시설된 그룹케이블은 특히 케이블 화재의 위험이 많은 장소이다.

(3) 발화원인의 경향

① 케이블 자체발화

- 외력을 받아 지락, 단락한 경우 대전류 아크에 의한 발열 발화
- 시공불량 등에 의한 도체 접속부 온도 상승에 의한 발열
- 절연체의 열화 등으로 절연파괴에 의해 발화한 경우
- 과전류 통전으로 온도 상승에 의해 발화한 경우
- 여러회선 포설에 따른 허용전류 감소로 온도가 상승하여 발화(증설)
- 고조파에 의한 전류 실효값의 증대로 과열되어 발화한 경우
- 쥐와 같은 동물이 케이블을 갉아서 누전·단락으로 인한 발열
- 이동용 케이블에 중량물을 떨어 뜨리거나, 밟고 지나감으로써 피복의 파손으로 합선되어 발화

② 외부화원에 의해 착화되는 경우

- 용접작업중 용접불티에 의한 발화
- 건축물, 유류, 일반화재의 화재열에 의한 발화
- 케이블에 접속된 기기류의 과열 또는 파괴 등 사고에 의한 발화

- 포설된 케이블 위에 쌓여 있는 먼지 등에 비화(飛火)에 의해 발화
- 방화

(4) 감정요령

- ① 케이블 심선에 선간단락 또는 1선지락 등에 의해 화재가 발생한 경우에는 용융흔적이 나타나므로 이를 확인하여 판명한다.
- ② 부실시공 등으로 케이블을 지나치게 구부리면 트리잉(Treeing)열화를 촉진시켜 절연이 파괴될 때 발생하는 아크 또는 스파크에 의해 발화한 경우에는 용융흔이 생기므로 이를 식별하여 감정한다.

라. 배선용차단기

배선용차단기는 가동편의 위치에 따라 작동상황을 알 수 있고 회로의 이상 발생에 의한 차단유무를 판단할 수 있다(관계자로부터 화재발생전 배선용차단기의 조작관계를 청취함). 배선용차단기는 구조상 기계적 특성이 과전류가 흐른 경우 차단(Trip)되고, 동작편이 중립에서 중지하기 때문에 수동으로 한 것인지 자동차단된 것인지를 쉽게 입증할 수 있다.

(1) 감정요령

- ① 배선용차단기의 동작편이 중립에 있을 때에는, 동작하기 전까지의 배선용차단기 2차측은 통전상태에 있었음을 입증함으로써 부하측에서 과부하 또는 단락이 발생한 것으로 판단하고, 동작원인과 사고발생 상황을 전선의 용융흔에 의해 귀납적으로 규명한다.
- ② 누전차단기의 케이스 덮개가 모두 소실되고 몸체 밀부분과 금속부분만 남았을 때의 투입 및 개방상태를 식별하는 방법은 동작편(금속)이 수직상태일 때는 투입(On)상태이고, 동작편이 수평일 때는 개방(Off)상태를 나타내므로 이를 확인하여 판정한다.

마. 텀블러 스위치(Tumbler Switch) (옥내용 소형 스위치류)

(1) 구조



손잡이를 상반되는 두방향으로 조작함으로써 접촉자를 개폐하는 스위치로 교류 250[V] 이하 전동에서 주로 육내 및 육외의 전동에 부착하여 전동을 점멸하는데 사용된다.

### (2) 발화원인의 경향

텀블러 스위치는 매입형과 노출형이 있고 가동편과 고정자가 가연성 페놀수지(베이클라이트)에 의해 쌓여있기 때문에 소실되기 쉽고 탄화물에 손을 대면 깨어지기 쉬우므로 특히 현장보존이 매우 중요하다.

### (3) 감정요령

- ① 가동편은 On, Off 또는 점멸의 표시가 있어 불에 타서 소실되지 않고 탄화된 상태로 있으면 가동편의 표시를 눈으로 확인, 개폐의 사실을 판별할 수 있는 경우도 있다.
- ② 손을 대기 전에 물로 분무하여 탄화물 등의 부착물을 씻은 후에 가동편의 단힌측 또는 점멸의 표시를 눈으로 확인할 수 있다면 그 스위치의 투입여부를 식별할 수 있다.
- ③ 케이스가 소실되어 판정할 수 없는 경우는 접촉편의 접촉상태에서 식별하여 판정한다.

### 바. 콘센트(Concentrator)와 플러그(Plug)

#### (1) 발화원인의 경향

- ① 화재 당시 플러그가 콘센트에 꽂힌 상태의 여부를 조사하는 것도 통전상태를 아는 요점이며,
- ② 콘센트, 플러그, 스위치, 접속기, 배선용차단기 등의 외함에 사용하는 유기질 절연재료(페놀수지, 요소수지, 플라스틱 등)는 일반 화재시의 화염에 의해 검은색으로 변하지만, 매우 높은 온도(약 1,200°C 이상)에서 즉, 전기 스파크에 의해 연소할 때는 절연재료가 불에 타버린 뒤에는 흰색의 재로 남는다.

#### (2) 감정요령

- ① 꽂혀져 있었던 경우는 플러그의 접촉편이 콘센트의 내부 칼반이에 접촉하여 있기 때문에 탄소 등의 부착물이 붙기 어렵고 타는

것이 특히 심하지 않는 한 접촉부의 도금도 원색을 가지고 있다.

- ② 플러그 접촉편에 손을 대지 않도록 주의하고 물로 잘 닦고 자세하게 살펴보면 접촉편의 변색상태에서 꽃힘의 유무를 판정할 수 있다.
- ③ 플러그가 들어간 채로 콘센트의 칼반이도 그대로 소둔(燒鈍: 풀림)하고 가역성이 상실되기 때문에 칼반이는 벌어져 있다.
- ④ 콘센트의 칼반이가 타지 않은 것과 플러그가 꽃혀있지 않은 상태에서 불에 연소된 것과 비교해 보고 칼반이가 벌어져 있으면 출화 당시 플러그가 꽃혀 있었던 것으로 본다.
- ⑤ 꽃힌 상태로 탔을 때, 콘센트의 베이스에 베이클라이트 또는 경질염화비닐 등이 탄화 부착하여 있는 경우에는 이 탄화물을 육안으로 판정하는 것은 곤란하다.
- ⑥ 현장에서 감정할 수 없는 증거물을 채취하였을 때에는 전문 분석장비(전자현미경, 금속현미경 등)를 이용하여 물질의 정성·정량 분석으로 판정한다.
- ⑦ 콘센트 극간에 이물질이 흘러들면 전극간이 젖은상태로 누설전류가 흘러 줄(Joule)열과 이물질 등이 증발할 때 발생하는 스파크 등에 의해 전극간의 플라스틱에 트래킹현상이 생겨 발화한다.
- ⑧ 콘센트나 플러그 등의 절연물이 불에 타서 흰색의 재가 된 상태이고, 주변의 가연성물질의 재는 흑색으로 변화되어 있다면 이것은 콘센트나 플러그 내부에서 전기적 원인에 의해 일어난 화인으로 판명한다.
- ⑨ 외부의 절연재료가 불에 타서 흰색으로 심하게 손상되었다면 화인은 그 절연재료의 내부에 있지 않고 외부 화염에 의해 손상을 받는 것으로 식별한다.

● 다음호에 계속 됩니다