

# 전기화재 유형에 따른 발생원인, 출화기구 및 조사기법에 관한 연구(하)

최 충 석

한국전기안전공사 부설 전기안전시험연구원 화재연구과장/공학박사

## 5. 누 전

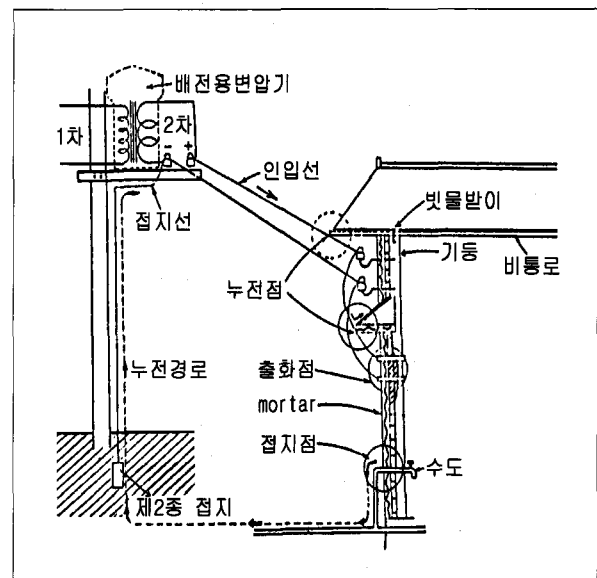
일반수용가의 전기는 배전용변압기(주상변압기)에 의해서 강압, 배전된다. 이 변압기 1차측의 고압전류 혼촉에 의해 2차측 선로에 침입한 경우의 위험을 방지하기 위해서 2차측의 중성선 또는 1선이 접지되어 있으며 비접지측과 대지간의 전위차가 변압기 2차측의 전압이 된다. 이 때문에 비접지측(지선으로부터 옥내배선, 콘센트를 지나서 부하까지)의 절연불량개소가 건조물의 접지된 금속조영재 등에 닿으면 그 조영재로부터 접지도체를 지나서 대지에 전류가 흘러 주상변압기의 접지선을 통해 변압기로 되돌아가는 누전회로를 형성한다. 이 누전경로 속에 전류가 집중되면서 저항이 비교적 큰 개소(예를 들면, 합석판과 합석판과의 맞닿는 부분)가 있으면 이 부분이 과열하여 출화에 이르는 것이다.

### 가. 누전의 3요소

누전화재에는 이와 같이 전선의 충전부에서 금속조영재 등으로 전류가 흘러들어오는 누전점, 과열개소인 출화점 및 접지물로 전기가 흘러들어 오는 접지점의 3요소가 있다. 원인조사에 있어서도 이것을 분명히 하는 것이 중

요한 요점이다. 또한, 누전개소는 반드시 출화건물에 있다고 한정하지는 않지만, 경우에 따라서는 인접건물 혹은 그것보다도 떨어진 곳에 있는 경우도 적지 않다.

그림 7은 누전화재가 발생할 수 있는 경로를 예로서 나타낸 것이다. 즉 누전화재는 누전점, 출화점, 접지점이 있어야 함을 잘 보여주고 있다.



〈그림 7〉 누전화재 경로 예

(1) 누전점

비접지측 전선로의 절연이 파괴되어 접지된 금속조영재 등과 접촉하는 것이 누전화재의 전제이다. 단, 전선이 직접 이것에 접촉한 경우로만 한정하지 않고, 전기기기의 금속케이스, 금속관, 안테나, 지선 등의 금속부재 또는 유기재의 흑연화 부분을 경유하여 누전하는 것도 포함한다. 또한, 누전차단기가 설치되어 있으면 누전화재는 우선 방지할 수 있지만, 누전점이 누전차단기보다 전원측에 있을 경우는 당연히 차단기는 작동하지 않으며 누전을 방지할 수 없다.

(2) 출화점

출화원인의 조사는 우선 출화개소를 한정하여 그 발화원을 분명히 해가는 순서로 수행한다. 누전화재에 있어서도 마찬가지로 출화개소의 상황으로부터 누전화재의 가능성 유무를 판단하여 가능성이 있으면 누전점 및 접지점으로 조사를 진전시켜 나간다. 이와 같이 일반적으로는 출화점을 먼저 판명한다. 출화하기 쉬운 부분은 누설전류가 비교적 집중하여 흐르는 개소로서 다음과 같은 지점들을 수 있다.

- ① 몰탈의 이음매
- ② 금속관과 몰탈의 접촉개소
- ③ 못으로 고정한 함석판의 맞닿는 부분

누전점은 한곳이라도 그 후 다수의 분기경로를 지나서 두 개 이상의 접지점에서 땅속으로 흘러들어 오는 것이 보통이다. 따라서, 출화점은 복수가 되는 경우가 있다. 또한, 누전점 및 접지점이 그대로 출화점이 되는 경우도 있다. 특히, 흑연화에 따라 유발된 경우, 못 또는 철판이 전선피복에 물리어 누전이 발생한 경우, 누전점에서 출화하는 경우가 많다.

(3) 접지점

가스관 및 수도관, 소화전의 배관 또는 건물의 구조철골 등 건물로부터 연속하여 땅속에 매설된 금속체가 접지

물로 되는 것이 일반적이긴 하지만, 인접건물 또는 떨어져 있는 건물로 접지되어 있는 경우도 있다. 보통은 이들 접지물과 그물망, 벽체함석, 전선관 등 건물조영재와의 접촉개소가 접지점이 되는데, 접지점은 벽체의 속에 있는 경우가 대부분이고 실제로 특징을 발견하기가 매우 곤란하다. 접지점이 판명되지 않은 경우는 출화점 근처 금속조영재의 접지저항을 측정하여 접지점을 밝힌다.

나. 출화기구

출화점을 흐르는 전류는 건물내 누전경로의 각 접촉개소의 접촉저항, 누설전류가 흐르는 각 재질의 고유저항, 그 위에 건물 및 접지선의 접지저항 값에 좌우된다. 접지저항은 지면의 건습에 의해서 값이 크게 달라진다. 누전전류가 집중되는 개소가 출화점이 되지만 이 부분의 줄열이 직접발화로 이어지는 경우와 근접 목재를 도전화하여 이것을 흐르는 전류에 의해서 발화하는 경우가 있다.

(1) 함석판과 함석판이 맞닿는 부분

함석판과 함석판이 맞닿는 부분은 보통 판의 끝 부분에 1.8m당 몇개의 못을 박았으므로 접촉면적이 크고 상당량의 대전류가 흐르지 않은 한 목재를 탄화시킬 정도로 과열되는 일은 없다. 그러나, 시간이 지나서 낡은 함석판은 못이나 나사 등이 풀어져 맞닿는 부분의 접촉이 불완전하게 되는 경우가 있는데 이때 누설전류가 흐르게 되면 전로에 한정된 접촉개소가 발열한다. 특히, 못 부분에 전류가 집중되기 쉽고 국부적으로 고온이 되기 쉽다. 다만, 외기에 의한 냉각효과도 크고 옆의 목재로 탄화가 진행하면 고온부와의 사이에 틈이 생기기 때문에 연소로까지는 발전하지 않는 경우가 많다. 그러나 점점 이착시의 불꽃에 의해서 목재가 흑연화되어 이것에 전류가 흘러 발화하는 현상을 종종 경험하기도 한다.

(2) 벽돌이 스위치에서 출화

내화건축물의 옥내배선에는 금속관 공사를 실시한 것

이 많고 벽붙이 스위치 등의 취급에는 강판제 아웃렛박스가 사용된다. 스위치 접점의 불량에 의한 개폐시의 불꽃 또는 결로 침입에 의한 트래킹에 의해서 스위치 내부의 절연재에 그래파이트화가 시작된다. 그래파이트화는 이극 방향으로 진행되는 경우와 스위치의 설치함 방향으로 진행되는 경우가 있다. 후자의 경우 그래파이트화가 스위치 설치함까지 도달하면 전선에서 그래파이트화 부분을 경유해 설치함→설치나사(비스)→아웃렛박스→금속관으로 누설전류가 형성된다. 금속관은 철관을 통해서 대지로 접지되어 있으므로 큰 누설전류가 흐르게 되고 스위치 내부의 그래파이트화 부분에서 발화로 이어진다.

### 다. 조사의 요점

앞의 설명에서와 같이 누전화재에 대한 조사의 요점은 보통의 전로에서 전류가 누설되어 건물 및 부대설비 또는 공작물에 유입된 “누전점”, 누설전류의 전로에 있어서 발열발화한 “출화점”, 누설전류가 대지로 흘러든 “접지점”을 규명하는데 있어서 누전의 사실과 이것에 기초한 출화의 인과관계를 밝혀 가는 것이다.

#### (1) 출화점

출화점은 철망과 철관 상호간의 이음매 또는 이것들과 철사 등의 다른 금속의 접촉부로 대표되므로 라스 벽체내부 및 이면 등에서 발생한다는 위치적인 특징을 갖고 있다. 또한, 연소 내부에는 그래파이트가 형성되어 있는 경우가 많이 있다. 그러나, 그래파이트의 검출은 출화점을 한정하기 위한 귀중한 근거의 하나이긴 하지만 모든 경우에 그러한 것은 아니다.

#### ※ 출화점을 확인하는 기타 근거

- ① 출화개소 근처에 금속부재의 접촉점 등 전류가 집중하는 개소가 있다.
- ② 많은 경우 출화개소 부근의 망의 이음매 및 철사, 철관의 접촉개소 등에 전기적인 용흔이 있다.

- ③ 금속부재의 발열에 의해서 출화한 경우, 반드시 출화점에 용흔이 발생하지는 않지만 출화점 이외의 개소에 전기적 용흔 및 출화에 도달하지 않은 목재 등의 그을린 부분 등이 남게 된다. 이것들이 확인되면 누전발생과 동시에 그 개소가 출화점을 입증하는 개소가 된다. 이상과 같이 출화점을 결정하기 위해서는 출화개소의 위치적 특징 및 연소상태, 그래파이트 발생상태, 누설전류의 경로 및 금속재의 접속상태 등을 종합해서 판단한다.

#### (2) 누전점

출화개소의 상태에서 누전화재가 있는 것을 판정하려면 다음의 어느 것에서 전류가 누설됐는가 누전점을 명확히 해야만 한다. 누전점은 전선의 비접지측과 접지된 금속조영재 또는 이것에 접촉한 금속체와의 접촉점이고 접촉시의 스파크로 용흔이 발생하기 쉽다. 단, 누설전류치가 적은 경우에는 용흔이 발생하지 않는다. 어떤 곳에서의 누전점의 검색은 이러한 접촉개소의 인식에 의한 것이지만 그 방법은 인입선, 옥내배선 및 전기기기로 나누어 검색하는 것이 좋다.

(가) 전주에서 분전반 또는 배전반까지의 지선으로부터 누전

가장 누전되기 쉬운 부분이 노출되어 있는 경우는 육안으로 용이하게 누전점이 있는지 어떤지 판단을 할 수 있지만, 누전개소가 벽체내부나 간단히 관측할 수 없는 장소에 설치되어 있는 경우에는 전선과 대지간의 절연저항을 측정하여 본다. 그리고 측정치가 낮으면(5kΩ 미만) 옥내배선 중 어느 개소에서 누전되고 있는 것으로 생각되므로 이 범위 전체에 걸쳐서 상세히 검색을 하여야 한다.

(나) 옥내배선 및 전기기기로부터 누전

옥내배선의 경우와 마찬가지로 각 배선회로마다 대지간의 절연저항을 측정하여 우선 누전된 회로를 한정하는 것으로부터 시작된다. 절연저항치가 낮은 회로로 판명되

면 다음에는 그 회로의 분전반에서 먼 기기부터 회로에서 밖으로 가면서 절연저항의 변화를 조사한다. 이 조사과정의 특정한 곳에서 절연저항이 갑자기 변화하면 누전개소는 그 때 끊어진 전기기기이다.

전기기기를 전부 빼더라도 절연저항이 오르지 않는 경우는 옥내배선에 누전점이 있는 것이다. 옥내배선의 경우는 적당한 개소에서 전선을 끊어서 절연저항의 변화를 조사한다. 절연저항이 이상한 전기기기 및 배선의 범위를 파악할 수 있으면 상세히 관찰하여 누전개소를 규명해가면 되지만, 벽체의 일부를 파괴할 필요가 있는 경우는 건물구조 및 배선의 위치를 도면 등에 의해서 파악한 뒤에 파괴범위를 최소한으로 한정한다.

누전점이 출화 후 금속부재에서 떨어진 경우 및 화재규모가 큰 경우에는 절연저항의 측정이 불가능하다. 이러한 경우는 건물의 구조, 배선상태 또는 전기기기의 사용상태 등으로부터 누전개소가 될 것 같은 개소를 각각 조사하는 것 외에는 유효한 방법이 없다.

### (3) 접지점

접지점에 대해서는 복수의 점 또는 면에서 처음부터 접지물에 접하고 있는 경우가 많으므로 누전점과 같이 전기적인 용흔을 형성하는 것은 드물다. 따라서, 접지물과 발열물건 또는 이것과 전기적으로 연결되는 금속부재와의 접촉개소를 육안으로 확인하여 테스터 및 접지저항계에 의해 도통 확인 및 접지저항을 측정한다.

## 6. 접촉불량 및 아산화동증식 발열현상

도체의 접속(촉)부의 접촉상태가 불량하면 전류가 흐를 때 발열하여 접촉부 근처 전선의 절연피복이 발화로 이어질 수 있다. 이 발열요인으로서의 접촉저항의 증가에 따라 줄(Joule)열에 의한 것과 특수산화물의 생성에 의한 발열(아산화동증식 발열현상)이 있다.

## 가. 출화기구

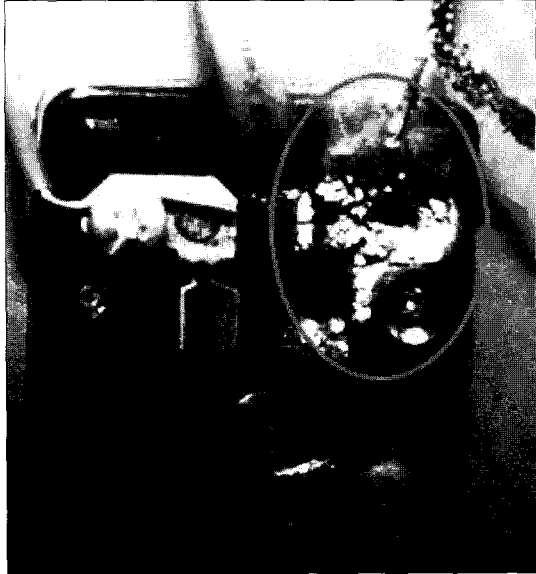
### (1) 접촉저항에 의한 발열

금속 및 도체상호의 접촉저항은 보통 약 0.1Ω 이하이지만 외전상의 접촉면적의 감소, 접촉압력의 저하 및 산화피막의 형성 등에 의해 접촉저항은 증가하게 된다. 접촉저항이 증가하면 그것에 비례하여 줄열도 커져 접촉부에 국부적인 발열을 가져온다. 발열하면 2차적인 산화피막이 형성되어 접촉부의 온도는 더욱 높아지고 접촉하고 있는 가연물을 발화시키는 데까지 이르게 된다. 이때, 경험적으로는 약 10A를 넘는 전류가 흐르고 있는 경우가 많다. 또한, 접촉불량은 진동에 의한 접속단자부 비스(나사)의 느슨함, 접촉면의 부식, 개폐기 칼 및 플러그가 중도 반단된 플러그, 칼의 변형 등에 의해 발생하며, 전류의 공급 및 중단 반복에 따른 열냉의 반복이 계속되면 칼받이의 탄성피로에 의해 칼을 잡아주는 칼받이의 복원력이 감소되어 접촉압력을 저하시켜 접촉상태는 점차로 악화된다.

그림 8은 접촉불량에 의해 단자부가 소손된 예를 나타낸 것이다. 원으로 표시한 부분이 접촉불량이 발생한 곳이다. 접촉불량에 의해 아산화동이 증식되면 망울 모양의 입자가 성장되는 것이 전형적인 특징인데 이 사진에서도 그러한 외형적인 특징을 인지할 수 있다. 물론 이들 입자를 실체현미경, 금속현미경, SEM, EDX 등으로 분석하면 더욱 확실하게 알 수 있다.

### (2) 아산화동증식 발열현상

접촉불량개소에 이차적으로 스파크가 발생하면 스파크의 고온에 직면한 도체(Copper)의 일부가 산화하여 아산화동이 생기는 경우가 있다. 이 때 아산화동이 성장되면서 발열현상이 생기는데, 이 현상을 아산화동증식(亞酸化銅增殖) 발열현상이라고 하며 이때 전선 등의 도체가 고온이 되어 전선피복 및 배선기구의 절연체(가연물)를 발화



〈그림 8〉 접촉불량에 의해 단자부가 소손된 예

시키게 된다. 이 현상의 발생기구는 아직 충분히 해명되어 있지 않지만 다음과 같은 추론이 있다. 반도체와 금속 또는 다른 이종의 금속을 접촉시키면 정류기가 되는 것으로 알려져 있지만, 아산화동(P형 반도체 정공이 캐리어(전류를 운반하는 것)인 것)과 동이 접촉한 경우는 아산화동에서 동으로 향하는 방향이 순방향인 정류기가 된다. “정류기는 순방향에는 전류를 흘리지만 역방향으로는 거의 흘리지 않는다”라고 하는 것은 역방향에 전압이 인가되었을 때 인가전압의 대부분을 정류기가 받는다는 뜻이 되고 아산화동의 경우는 동과의 계면(접촉면)부터 1~10 $\mu$ m의 깊이 부분으로 받는 것이 된다. 이 부분에 강한 역전압이 걸리면 캐리어가 가속되지만, 이때 전위구배가 급하기 때문에(단위길이 주변에 가해지는 전압이 큼) 전자는 급격히 가속되어 원래 전기전도에는 기여하지 않는 전자에 부딪쳐 이것을 이온화시켜 이것에 의해서 캐리어도 가속되어 연쇄적으로 이온화한다. 즉 전자사태현상(Electron Avalanche)을 일으켜 계면이 파괴되어 동을 용융시키고 아산화동을 발생시키는 것으로 추정되고 있다.

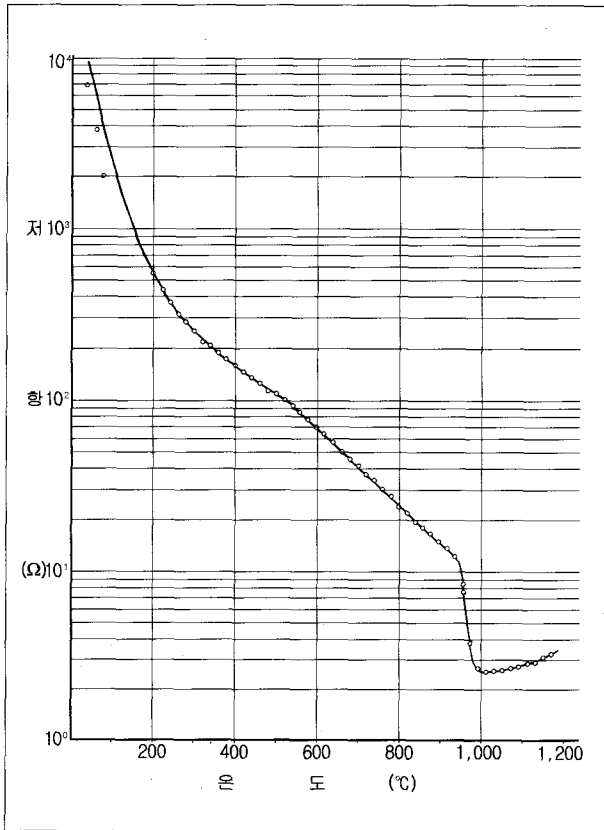
## 나. 조사의 요점

접촉불량 및 아산화동증식 발열현상에 의한 출화는 어느 쪽이든 도체부분을 흐르는 전류의 발열작용에 따르는 것이므로 부하전류가 흐르고 있는 것이 전제된다. 부하전류가 흐르고 있는 경우는 그 크기를 조사한다. 경험적으로는 전류가 적은 경우에 접촉저항에 의한 발열을 원인으로 출화한 경우는 대개 이 접촉부의 접촉불량 유무에 의해서 접촉나사의 느슨함 또는 접촉면의 맞물림 상태 및 부서짐 등으로부터 판단할 수 있는 경우가 있다.

아산화동증식 발열현상에는 아산화동 부분의 결손으로 도체의 잔존부분 뿐만 아니라 결손부분을 회수할 필요가 있다. 아산화동은 생성과정에서 표면에 산화동 피막이 생성되며 화재현장의 것은 더욱이 탄화물이 부착되어 있으므로 덩어리의 외관으로부터 이것을 식별하는 것은 곤란하다. 아산화동은 대단히 무르고 유리와 같이 쉽게 부서진다. 그리고 분쇄물의 표면은 은회색의 금속광택을 갖고 있고 이것을 현미경으로 30~80배 확대하여 관찰하면 루비(Ruby)와 닮은 글라스형의 결정이 보인다. 특히, 이 적색결정은 아산화동 특유의 것이므로 출화개소에 대응하는 도체접촉부에서 이것이 확인될 수 있으면 아산화동증식 발열현상에 의한 출화의 가능성이 아주 높아져 출화원인을 특정하는데 있어서 매우 유용한 물적증거가 된다. 현미경이 없는 경우는 회수한 점은 산화물 덩어리의 저항을 측정하여 영 또는 무한대가 아니면 건조기(Dryer) 등으로 가열하여 저항의 변화를 조사한다. 이때 온도상승에 따라 저항이 내려가면 그 속에 아산화동이 함유되어 있다고 인식해도 좋다.

출화개소인 접촉불량개소에 아산화동이 없으면, 기본적으로는 접촉저항에 의한 발열이 원인이 된다. 그러나 아산화동은 무르고 결손되기 쉬우므로 반드시 이것을 회수할 수 있다고는 말할 수 없다. 그러므로, 아산화동이 발견되지 않더라도 즉시 다른 원인조사로 이행하는 것은 아

니고 부하전류의 크기, 도체의 굵기 및 접촉면의 거친 상태 등으로부터 종합적으로 판단해야 한다. 그림 9는 아산화동의 저항-온도 특성곡선을 나타낸 것이다.



〈그림 9〉 아산화동의 저항-온도 특성곡선

## 7. 방 전

### 가. 출화기구

공기중에 있는 2개의 병행판 전극간에 직류전압을 가하면 극히 적은 전류가 흘러 방전한다. 기체는 보통 절연체이지만 전자(Electron) 및 이온(Ion)이 조금 존재하며 이것이 전계에 의해서 이동하여 전류가 흐른다. 전압이 낮

은 때에 흐르는 이 전류를 암류(Dark Current)라고 한다. 전극간의 전압을 올리면 전류도 차차 증가하지만 전압이 어떤 값 이상이 되면 전류가 일정해지는 영역이 있다. 그 위에 전압을 더 올리면 다시 전류가 흐르기 시작하며 더욱 전압을 올리면 전류가 비약적으로 증대하여 격렬한 소리와 동시에 방전한다. 이것을 불꽃방전이라고 하며 불꽃방전(Spark Discharge)의 발생에 필요한 전압을 불꽃전압 또는 파괴전압이라고 한다.

전극간의 전계가 현저히 불균일한 경우에는 전계가 큰 부분에 국부적인 방전이 생긴다. 이것을 코로나방전이라고 한다. 평판전극과 침전극 간에 가한 직류전압을 점점 올리면 침에 희미한 보라색의 광점이 나타나는데 이것을 글로우코로나(Glow Corona)라고 한다. 이것보다 전압을 더 올리면 길게 연장된 형태의 브러시코로나(Brush Corona)를 발생하며 더욱 전압을 올리면 반대측의 평판전극에 도달하는 스트리머코로나(Streamer Corona)가 발생한다. 3개의 코로나 중 스트리머코로나 및 브러시코로나는 전압 및 전극의 형상에 의해서는 가스 및 증기에 착화할 가능성이 있는데 스트리머코로나 쪽이 그 가능성은 크다. 또한, 침전극의 양극측이 착화 위험이 크다.

직류 대신에 50Hz 또는 60Hz 정도의 교류를 가한 경우에는 그 반주기마다 극성에 따르는 코로나를 발생하게 된다. 송전선 같은 평행 원통도체에 있어서도 기압 및 온도 등의 변화에 의해 방전조건이 조절되면 코로나를 발생하여 코로나손이 생긴다. 더욱 전압을 올리면 불꽃방전이 되어 계속해서 아크방전(Arc Discharge)이 된다. 공기속에서 불꽃방전이 발생할 때의 전압은 전극의 형상, 기압, 습도 등에 의해 변하지만 건조한 공기는 대략 전극간 1cm 주변 30kV 이상이다. 아크방전은 전류가 크고 음극부근에서 수천°C의 고온이 되어 가스 및 증기, 먼지 등 일부의 고체에도 착화할 수 있다. 아크방전은 아크등 및 전기용접 등에 이용되고 있다. 또한, 수 암페어 이상의 전류를 흘린 채로 전극을 떼는 경우(부하의 스위치를 넣은 채로

콘센트로부터 플러그를 빼는 경우 등이 해당)에도 아크를 발생한다. 네온관과 같이 고압배선으로 충전부가 노출되어 있는 경우는 그 부분으로부터 가까운 부근의 접지도 체로 이어지는 방전이 생기기 쉽다. 이때 전류가 흐르는 부분(습기찬 목재 등)은 탄화되어 도전화되기 쉽다.

#### 나. 조사의 요점

방전 불꽃에 의한 가연성 가스·증기·먼지의 착화는 방전 불꽃 발생의 가능성 및 각각의 착화물의 존재를 조사한다. 네온관 설비로서는 방전에 의해 전압이 강하하여 점등이 잘 되지 않기도 하고 광량이 저하하게 되는 것이 대부분이며 이 상태의 유무에 대해서 조사한다. 또한, 목재 등 유기절연체에 고압방전에 의한 전류가 흐른 경우는 그 용흔이 탄화하고 있기 때문에 그 상태를 조사한다.

### 8. 정전기 불꽃

#### 가. 정전기 대전과 방전

정전기 대전의 종별은 발생형태에 따라 접촉대전, 유동대전, 침강대전, 분출대전 및 파쇄대전으로 분류된다.

정전기 대전은 “전하가 발생하는 과정”과 “발생한 전하가 누설되는 과정”의 양자가 합쳐진 결과로 나타난다. 따라서, 물체가 대전하지 않은 것과 전하의 발생이 없는 것은 별도라는 것을 잘 이해할 필요가 있다. 방전을 그 형태에 의해 불꽃방전, 코로나방전 및 아크방전 등으로 분류하면 대전된 도체로부터의 방전은 코로나방전 또는 불꽃방전이 된다. 이것은 정전기대전으로 전하의 공급 속도가 대체로 작고 방전에 의해 급격히 잃게 되는 전하를 보충할 수 없으므로 방전이 단시간에 종료하기 때문이다.

#### 나. 조사의 요점

정전기 불꽃에 의한 화재는 가연성 가스·증기·먼지

등에 인화되어 발생하는 것으로 다른 전기화재와는 달리 화재 후에 스파크 흔 등의 물적증거가 남는 경우가 거의 없고, 연소상태에서도 특징은 나타나지 않는다. 따라서, 원인의 입증은 상황증거에 의해 판단한다.

정전기화재가 발생하기 위해서는 정전기의 대전, 연소범위농도에 달하는 가연성 기체·먼지의 체류 및 이들 가연성 물질의 최소발화에너지 이상의 에너지를 갖는 방전 불꽃의 발생 등 3요소가 갖추어지는 것이 필요하다. 즉,

- ① 정전기의 대전 및 방전에 대해서는 취급물건의 성형, 출화시의 작업내용, 작업자의 행동, 접지 등 대전 방지조치 상황, 경과시간, 기상상황 등으로부터 그 가능성의 유무를 판단한다. 경우에 따라서는 재현실험에 의해서 이것을 확인한다.
- ② 착화물의 상태에 대해서는 취급물건, 취급상태, 환경조건 등으로부터 폭발분위기를 형성하고 있는지 어떤지를 판단한다.
- ③ 가연성기체 및 먼지가 위험분위기를 형성하고 있는 장소에서는 정전기불꽃만이 아니고 릴레이 접점, 전동기의 브러시, 온도조절기, 스위치류의 개폐시 등에 발생하는 전기불꽃에 의해서도 쉽게 발화한다. 따라서 이것들의 화원 등에 대해서도 충분히 검토, 조사하고 그 위에서 판정하는 것이 필요하다.

### 9. 은이동

직류전압이 인가된 은(도금을 포함)의 이극 도체간에 절연물이 있을 때 그 절연물표면에 수분이 부착하면 은의 양이온이 절연물표면을 음극측으로 이동하여 그곳에 전류가 흘러 발열한다. 이 현상을 은이동(Silver Migration)이라고 한다. 전극을 포함한 전류경로는 고온이 되기 때문에 트래킹과 같이 전극이 용융되기도 하고 반도체가 파손되는 것으로 알려지고 있다.

감식요령에 대해서는 우선 직류전압과 은이온을 확인

하면 좋지만 전원에 대해서는 교류를 직류로 정류하고 있는 경우 외에 교류를 인가하고 있는 것의 반도체 히터와 같이 부하 그것의 정류작용을 이용하는 경우가 있다. 은이온의 검출에 대해서는 전극에는 없고 전극간의 전류 경로에 대해서 조사해야 한다는 점에 유의할 필요가 있다.

이 외의 현상을 발생 또는 촉진시키는 요인으로는 절연물의 흡습성, 고온·고습인 사용환경, 산화 또는 환원성 가스의 존재 등을 생각할 수 있다.

## 10. 맺음말

전기설비의 사고 유형은 이상과 같이 단락, 과부하, 반단선, 트래킹 및 흑연화 현상, 누전, 접촉불량, 아산화동 증식 발열현상, 방전, 정전기 불꽃 및 은이동 등이 있다. 그러므로 설비의 장애 또는 사고가 발생했을 때는 선입관을 갖고 성급한 결론에 도달하면 2차 재해로 파급될 수도 있다.

도전재료에 의한 전기화재에는 반드시 용융흔이 발생

하게 된다. 하지만 용융흔의 물리·화학적인 성질을 육안으로 판정하는데는 한계가 있으므로 실체현미경, 금속현미경, 주사전자 현미경, 에너지분산분석기, 2차이온질량 분석기 등을 이용하여 과학적인 해석이 요구된다.

절연재료는 대부분 플라스틱, 고무 등의 고분자재료로 구성되어 있다. 그러므로 시차열분석기, 분자량분석기, XRD 등을 이용하면 원인규명을 위한 해석이 가능할 것으로 판단된다. 즉 도전재료와 절연재료의 해석방법이 다를 뿐만 아니라 육안으로 원인을 판정한다는 것은 사실상 신뢰성이 대단히 떨어짐을 의미하는 것이다.

그리고 설비사고 현장의 정확한 보존은 원인규명에 필수 요소이다. 사고 잔존물을 있는 그 상태에서의 경우의 수를 역으로 유추해 가면 의외로 원인을 쉽게 판정할 수 있다.

이상과 같이 철저한 현장보존의 범위 내에서 도전재료, 절연재료, 설비의 배치상황, 회로도, 작동상태, 통전유무, 작업자의 진술 등을 종합적으로 파악하여 복원을 하면 과학적인 원인 규명이 가능할 것으로 필자는 확신한다. ◻

## 참고문헌

- (1) 허만엽, 황병표, "전기재해통계분석", 한국전기안전공사 전기안전시험연구원, 1997.
- (2) 최충석 외 5, 전기화재공학, 도서출판 동화기술, 2000.
- (3) 三橋 信雄, 横井 良秀, 長田 正義, 伊坂 勝生, "絶縁被覆電線の劣化履歴と火災危険について", 火災, vol. 31, no. 1, 1981.
- (4) 최충석 외 3, "저압용 HIV의 열열화에 따른 조성변화", 대한전기학회추계학술대회논문집, 1999.
- (5) H. Schumann, 金屬組織學, 학문사, 1993.
- (6) 최충석, 김향근, "상용전압을 이용한 단락 및 과부하 검용 실험장치", 특허출원번호: 10-1999-0064910, 1999.
- (7) 최충석 외 3, "비닐평형코드 소선의 단락용량 및 용융흔 분석", 화재·소방학회추계학술대회논문집, 1999.
- (8) Bruce V. Ettlign, "Electrical Wiring in Building Fires", Fire Technology, vol.14, no.4, pp.317~325, 1978.
- (9) D. W. Levinson, "Copper Metallurgy as a Diagnostic Tool for Analysis of the Origin of Building Fires", Fire Technology, vol.19, no.1, pp.211~222, 1983.
- (10) 최충석 외 3, "환풍기용 전동기 권선의 층간단락에 의한 화재위험성 분석", 화재·소방학회추계학술대회논문집, 2000.