

2 전기화재의 종류 및 원인 분석

최 충 석

한국전기안전공사부설 전기안전시험연구원 화재연구팀장 / 공학박사

1. 머리말

전기는 일상 생활에서 가장 많이 이용되는 편리한 에너지원으로 다양한 전기제품이 사용되고 있다. 그런 만큼 이용에 따른 사고도 많아 '98년 우리 나라에서 발생한 전체화재 32,664건 중 전기화재는 10,897건으로 전체화재의 33.4%를 점유하고 있으며 전기화재 발생빈도는 조사건수 10,535건 중 전기배선 6,743건(64%), 가전기기 1,398건(13.3%), 배선기구 818건(7.7%), 조명기구 766건(7.3%) 순으로 많았다. 전기로 인한 화재는 발화장소에 있어서 발화원이 되는 자료가 소실 또는 파괴되어 화재원인을 정확히 규명하기가 어렵다. 그 원인은 주로 전열기, 조명기구 등의 과열에 의해 주변 가연물에 착화하는 경우와 배선의 과열로 전선피복에 착화하는 경우 그리고 전동기, 변압기 등 전기기계 과열에 의한 것과 단락, 누전, 정전기, 절연 열화 등이 있다. 이와 같은 재해는 전기기구의 구조적 결함과 전기설비 시공의 부적합, 취급부주의 및 안전수칙 미준수 등이 요인이 된다.

일반 가정에서 사용되고 있는 전기기구는 전압 강하, 이상 전압, 정전에 의한 전원측의 영향을 받아 소손되는 경우와 고조파의 영향을 받거나 전자 장애로 인한 피해가

발생하고 있다. 또한, 주변 환경에 의해 부식이나 먼지의 침착(沈着)이 일어나 전기화재에 이르게 되는 경우가 있다. 이런 전기화재는 일반화재와 달리 복잡한 에너지 전달 체계를 갖고 있어서 원인 규명이 대단히 어렵다.

따라서 본고에서는 전기 설비에서 발생하는 단락, 과부하, 반단선, 트래킹 및 후연화 현상, 누전, 접촉 불량 및 아산화동 증식 발열, 방전, 정전기 불꽃, 은 이동 등의 원인 분석을 통하여 전기설비 관리의 효율성을 기하고자 한다.

2. 단락

전선의 절연피복이 손상되어 동선 상호가 직접 접촉한 경우, 못 등의 금속을 매개로 동선 상호가 이어진 경우 등을 말한다. 저항이 대단히 적기 때문에 대전류가 흘러 접촉부분에 큰 소리와 동시에 전기불꽃이 발생하여 용융흔이 생기고 동시에 전선의 접촉개소가 용단된다.

가. 단락 출화의 특징

단락불꽃은 국부적, 순간적 에너지로서는 크지만 지속 시간이 짧기 때문에 주위의 가연물의 온도를 그 발화온도

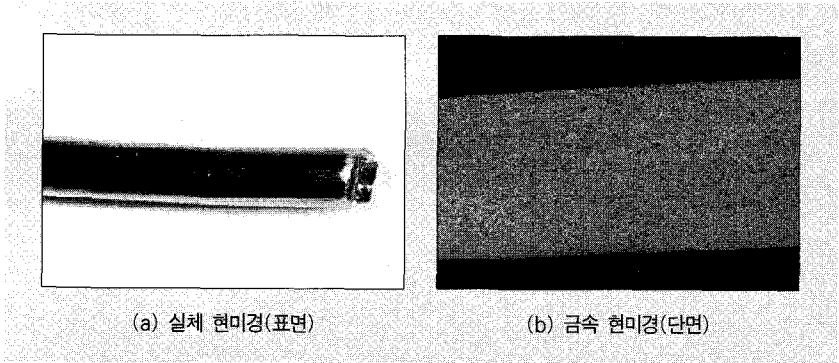
까지 높이는 경우는 적으므로 단락이 생기더라도 그것이 발화로 이어질 확률은 오히려 낮다고 할 수 있다. 그러나, 가연성 기체 및 열용량이 적은 먼지 등에는 충분히 착화할 수 있고 연속적으로 단락불꽃이 일어나는 경우와 충분히 축열된 경우 온도가 상승해 있기 때문에 탄화(흑연화)가 진행되고 있는 피복류에는 착화할 위험이 있다. 단락불꽃에 의한 출화의 경우 가연성 기체의 인화폭발 및 퇴적한 먼지에 착화하여 급속히 불꽃이 넓어지는 경우는 예외로 하고 통상의 착화물에는 화염의 상승이 느리고 담배 등의 미소 화원에 의한 출화와 유사한 출화 형태를 나타낸다. 즉 단락개소를 중심으로 출화개소 부근이 국부적으로 깊게 타 들어가고(V-pattern), 무염 연소에 의한 출화의 형태를 나타내는 것이 많다.

나. 원인 분석

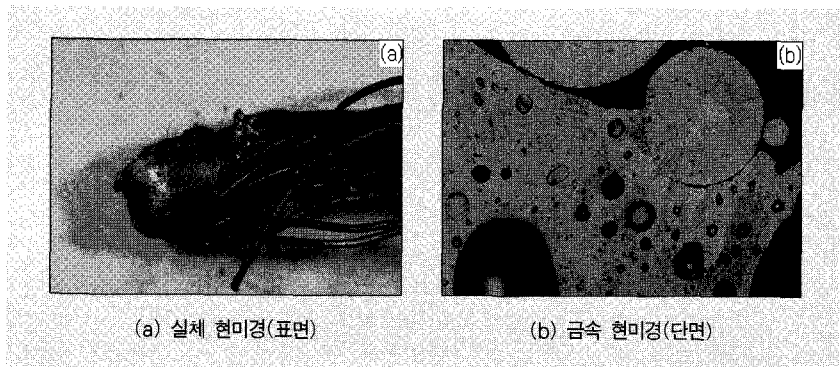
전선의 단락에 의한 화재는 화염의 정도 및 용혼의 발생정도 등에 일단 특징이 있지만, 어느 것이든 단독으로 결정적인 물증이 되는 것이 아니다. 따라서, 단락에 의한 출화인지 아닌지를 결정할 때는

전선의 배선경로, 취급상태, 착화물의 연소성, 출화개소의 화염 정도, 용혼의 형태 및 다른 화원의 가능성 등

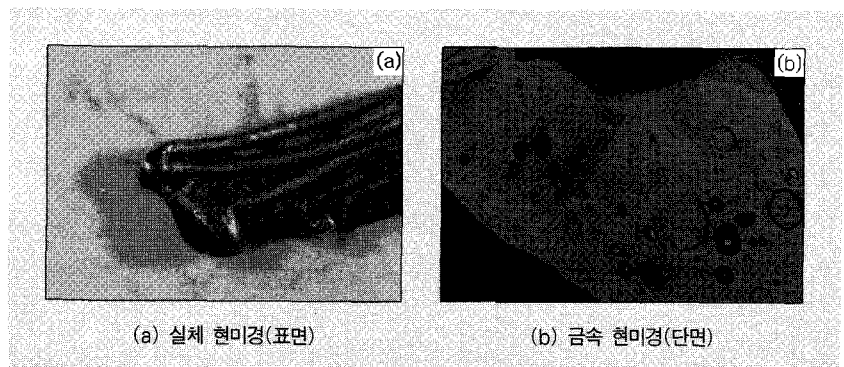
을 종합하여 판단해야 하며 이때 주요 특징은 그림 1, 2, 3과 같다.



〈그림 1〉 정상 전선의 분석



〈그림 2〉 합선(단락)된 전선의 분석



〈그림 3〉 화염에 의해 절연이 손상된 후 합선된 전선의 분석

3. 과부하

가. 전선의 과부하

전선이 과부하 상태가 되는 주된 원인은 사용부하의 총합이 전선의 허용전류를 넘는 경우이다. 또한, 다음과 같은 경우는 허용전류 이하라도 실질적으로는 과부하 상태가 되는 것이다.

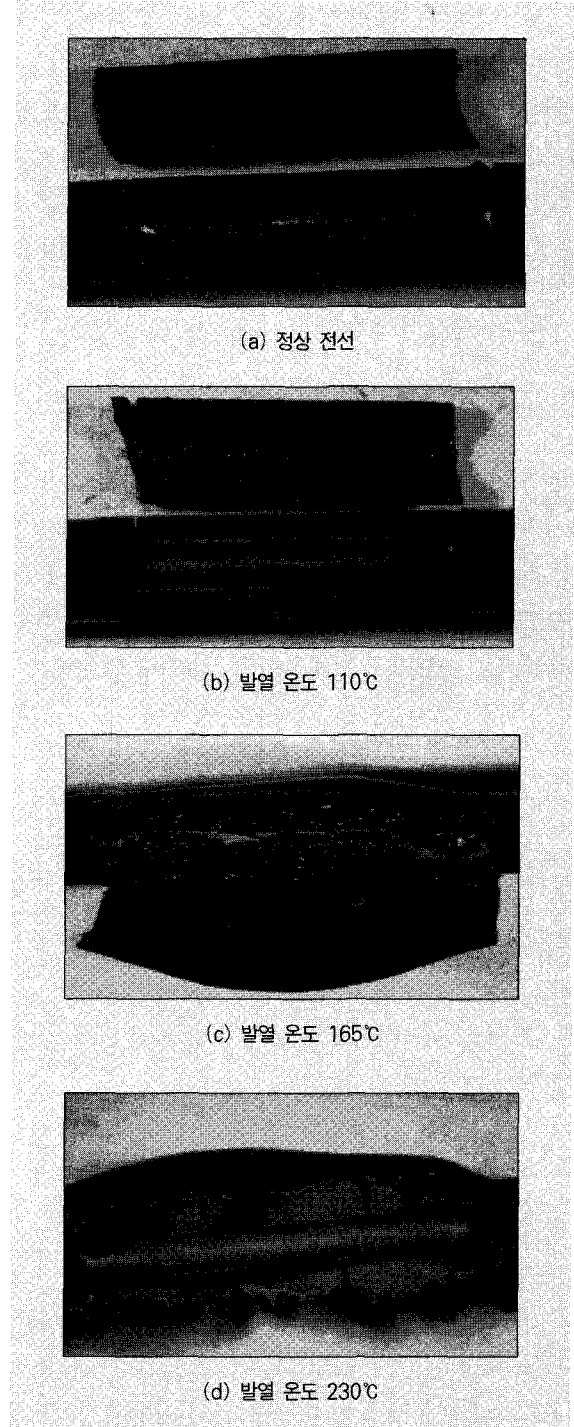
- ① 이부자리, 장농 아래 및 단열재 사이를 전선이 통과 있는 경우
- ② 전류감소계수를 무시한 금속관 배선 및 경질 비닐관 배선의 경우
- ③ 코드(Cord)릴에 코드를 감은 상태로 코드의 허용 전류에 가까운 전류를 흘린 경우
- ④ 꼬아 만든 전선의 소선 일부가 단선되어 있는 경우 등

나. 과부하에 의해 손상된 전선

600V 비닐절연전선(IV)에 허용 전류의 3배의 전류가 흘렀을 때 전선의 발열 온도에 따른 손상 정도를 그림 4에 나타냈다. 정상 전선의 내부는 일정한 조직의 특성을 보이거나 과열되어 내부 발열이 있으면 절연물의 안쪽부터 보이드(void)가 발생하여 변형된다. 기간의 경과에 따라 축열이 가속되면 착화되고 주위에 가연물이 있는 경우 화재는 확산된다.

다. 원인 분석

전선의 과부하에 의한 단락은 열에 의한 절연파괴에 의해서 발생한다. 그 때문에 기계적 손상이 없는 전선에는 금속관 및 염화비닐의 내부, 이부자리, 장농 밑, 릴에 감은 코드층의 중앙부근 등 비교적 방열 조건이 나쁜 개소에서 국부적으로 발생하기 쉽다. 다만, 방열조건에 차이가 없는 경우는 전선피복 전체가 동일한 열손상을 받아 전체적으로 절연피복이 용융하기도 하고 내부에 열손상



〈그림 4〉 과부하에 의한 전선의 손상 비교

의 흔적이 남기도 한다. 이들은 원인 판정에 중요한 요소가 된다. 전동기 및 전자밸브의 과부하 출화의 경우는 권선이 전체적으로 소손하여 권선부분에 층간 단락흔이 보이는 것이 보통이다. 그 경우 베어링이 탄 흔적, 구동부의 구속, 기동 장치(콘덴서)의 단락 또는 단선, 그밖의 기계적 또는 시간적 과부하의 상태 등을 종합하여 조사할 필요가 있다.

4. 반단선

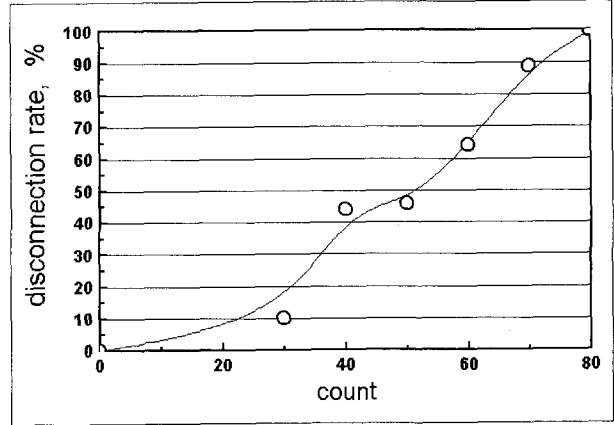
반단선이란 전선이 절연피복 내에서 단선되어 그 부분에서 단선과 이어짐을 되풀이하는 상태, 또는 완전히 단선되지 않을 정도로 심선(또는 소선)의 일부가 남아 있는 상태를 말한다. 기구가 붙은 코드는 기구 사용시 반복적인 구부림으로 심선이 끊어져 반단선 상태가 되기 쉽다.

가. 소선의 단선율

일정한 조건하에서 비닐평형코드(VFF, 0.75mm² (30/0.18))에 반복적으로 기계적인 피로를 주었을 때 내부의 도체(소선)가 어느 정도 손상되는지를 재현한 결과 그림 5와 같은 결과를 얻었다. 결과에서도 알 수 있듯이 40회 이상의 피로를 주면 단선율이 높아짐을 알 수 있다. 그리고 반복적인 피로가 80회에 도달하면 거의 모든 소선이 단선됨을 알 수 있다.

나. 원인 분석

반단선 코드는 부하를 사용하고 있을 때는 물론, 절연피복 내부의 흑연화가 진행되어 선간에서 전류가 누설되면 무부하 상태라도 출화할 수 있다. 따라서, 우선 부하의 상태를 조사하는 것이 중요하다. 즉 부하전류가 흐르고 있지 않았는데도 코드의 단선개소에서 출화한 화염 정도가 보이면 충분히 반단선을 의심해 볼 수 있는 것이다. 또



〈그림 5〉 기계적 피로에 따른 소선의 단선율

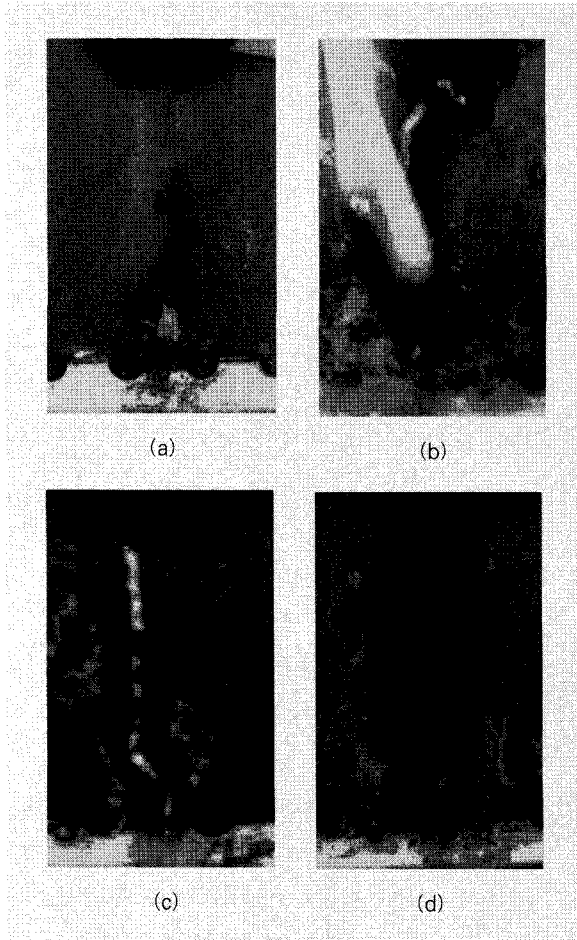
한, 상황증거로 부하에 반복동전, 피복의 국부적인 발열이 있는 반단선에 따라 일반적인 여러 가지 현상에 대해서 발화지점을 목격자에게 확인하는 것도 필요하다. 반단선에 의한 화재도 이후에 단선개소를 보면 단락이 일어난 것이 많지만, 일반적으로 다음과 같은 점에서 일반적인 단락단선과 다르다.

단락단선에는 단선개소의 각 선단에 큰 용융흔이 발생하며 각각의 심선이 용착하여 한 덩어리가 되어버린 것이 많다. 반단선 코드에는 단선측(이전부터 단선되어 있는 측) 선의 부하측 선단에 반드시 단락흔이 생긴다고는 할 수 없다. 또한, 단선측 심선의 일부에는 각각의 앞에 이착시에 생긴 적은 용융이 발생된다(심선의 일부가 단선되어 있지 않고 붙어 있는 경우는 심선의 앞에 적은 용융흔이 나오지 않는다). 더구나 기계적인 단선의 흔적이 남아 있는 심선이 단선측 및 비단선측에 보이는 것이 보통이다.

5. 트래킹 및 흑연화 현상

가. 트래킹된 수지의 특성

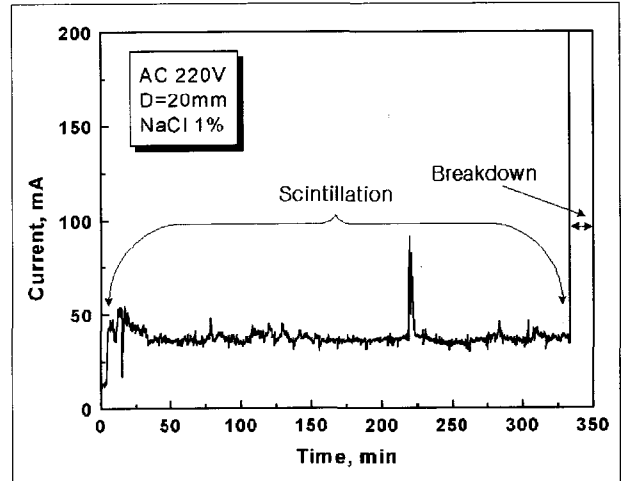
그림 6은 페놀 수지의 트래킹 진행 과정을 실체 사진으로 나타낸 것이다. 전극간 거리는 20mm이며, 인가 전압



〈그림 6〉 트래킹의 진행에 따른 화염의 확산 정도

은 220V이다. 그림 (a)는 전극 사이에 오손액(염수)이 1.0ml/min 흐른 후 약 180분이 경과된 사진으로 하부 전극에서 트래킹이 시작된 것을 알 수 있다. 이와 같은 Standby Mode를 유지하고 있으면 그림 (b), (c)를 거쳐 그림 (d)에 도달하게 된다. 트래킹 탄화가 종결된 그림 (d)의 전극 사이의 저항을 측정한 결과 약 300Ω이었다.

그림 7은 그림 6과 같은 조건에서 트래킹이 진행될 때 전류의 변화를 나타낸 것이다. 트래킹이 진행되는 동안



〈그림 7〉 트래킹에 따른 누설전류의 변화

지속적인 미소 방전이 있음을 알 수 있고, 간헐적인 불규칙 스파크가 형성되었다. 미소 방전이 지속되는 동안 약 40mA의 누설전류가 흘렀으며, 약 330분만에 절연 파괴 (Breakdown)가 이루어졌다.

나. 원인 분석

흑연이 발생하고 있는지 어떤지는 수집한 탄화물의 저항을 테스터 등에 의해 측정하여 조사한다. 이 때의 목표는 대략 100Ω 이하(테스터 봉의 간격은 약 10mm)이다. 그러나, 흑연은 소실되기 쉽고 화재 열에 의해서도 생성될 수 있기 때문에 탄화물의 저항 측정만으로 트래킹이 생긴 것인지 어떤지를 단정하는 것은 금물이다.

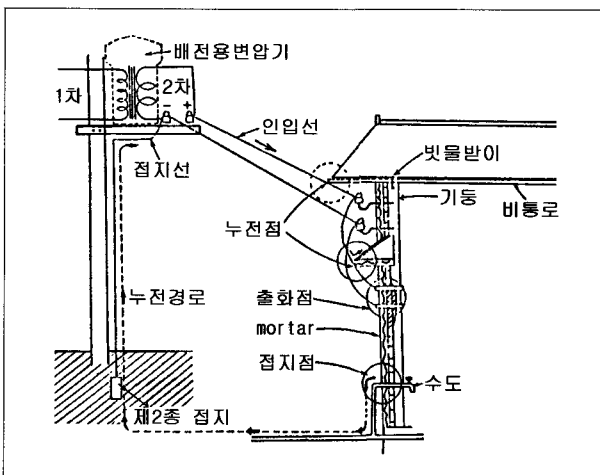
트래킹에 의해 생긴 흑연은 전로의 가까운 기기의 내부, 배전선로 및 누전경로에서 발견된다. 또한, 트래킹에 의해 출화한 경우는 흑연부분에 전류가 흐를 때 발생하는 고열에 의해 도체에는 용흔이 생겨 흑연부분은 깊게 불타 들어가는 것이 보통이다. 다만, 화재 규모가 커지면 주위의 열도 강하게 되기 때문에 깊은 연소 흔적을 판별할 수 없는 경우도 있다.

6. 누전

그림 8은 누전화재의 경로를 나타낸 것이다. 일반 수용가의 전기는 배전용변압기(주상변압기)에 의해서 강압, 배전된다. 이 변압기는 1차측의 고압전류 혼축에 의해 2차 측 선로에 침입한 경우의 위험을 방지하기 위해서 2차 측의 중성선 또는 1선이 접지되어 있으며 비접지 측과 대지간의 전위차가 변압기 2차측의 전압이 된다. 이 때문에 비접지측(지선으로부터 옥내배선, 콘센트를 지나서 부하까지)의 절연 불량개소가 건조물의 접지된 금속 조영재 등에 닿으면 그 조영재로부터 접지 도체를 지나서 대지에 전류가 흘러 주상변압기의 접지선을 통해 변압기로 되돌아가는 누전 회로를 형성한다.

가. 누전의 3요소

누전 화재에는 전선의 충전부에서 금속 조영재 등으로 전류가 흘러들어 오는 누전점, 과열개소인 출화점 및 접지물로 전기가 흘러들어 오는 접지점의 3요소가 있다. 원인 분석에 있어서도 이것을 분명히 하는 것이 중요한 요점이다. 또한, 누전 개소는 반드시 출화 건물에 있다고는



(그림 8) 누전 화재의 발생 경로

한정하지 않으며, 경우에 따라서는 인접건물 혹은 그것보다도 떨어진 곳에 있는 것도 적지 않다.

나. 원인 분석

(1) 출화점

출화점은 철망과 철판 상호간의 이음매 또는 이것들과 철사 등의 다른 금속의 접촉부로 대표되므로 라스 벽체내부 및 이면 등에서 발생하는 위치상의 특징을 갖고 있다. 또한, 연소 내부에는 그라파이트가 형성되어 있는 것이 많이 있다. 그라파이트의 검출은 출화점을 한정하기 위해 귀중한 근거의 하나이긴 하지만 모든 것은 아니다.

- ① 출화개소 근처에 금속부재의 접촉점 등 전류가 집중하는 개소가 있다.
- ② 많은 경우 출화개소 부근 망의 이음매 및 철사, 철판의 접촉개소 등에 전기적인 용흔이 있다.
- ③ 금속부재의 발열에 의해서 출화한 경우는 반드시 출화점에 용흔이 발생하는 것은 아니지만 출화점 이외의 개소에 전기적 용흔 및 출화에 도달하지 않은 목재 등의 그을린 부분 등이 남게 된다. 즉 출화점을 결정하기 위해서는 출화개소의 위치상의 특징 및 연소상태, 그라파이트 발생상태, 누설전류의 경로 및 금속재의 접속상태 등을 종합해서 판단한다.

(2) 누전점

출화 개소의 상태에서 누전화재가 있는 것을 판정하려면 다음의 어느 것에서 전류가 누설됐는가 누전점을 명확히 해야만 한다. 누전점은 전선의 비접지측과 접지된 금속조영재 또는 이것에 접속한 금속체와의 접촉점이고 접촉시의 스파크로 용흔이 발생하기 쉽다. 다만, 누설 전류치가 적은 경우에는 용융흔이 발생하지 않는다. 어떤 곳에서 누전점의 검색은 이러한 접촉개소의 인식에 의한 것이지만 그 방법은 인입선, 옥내배선 및 전기기기로 나누

어 검색하는 것이 좋다.

- ① 전주에서 분전반 또는 배전반까지의 지선으로부터 누전
- ② 옥내배선 및 전기기기로부터 누전 등

(3) 접지점

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

7. 접촉 불량 및 아산화동 증식 발열

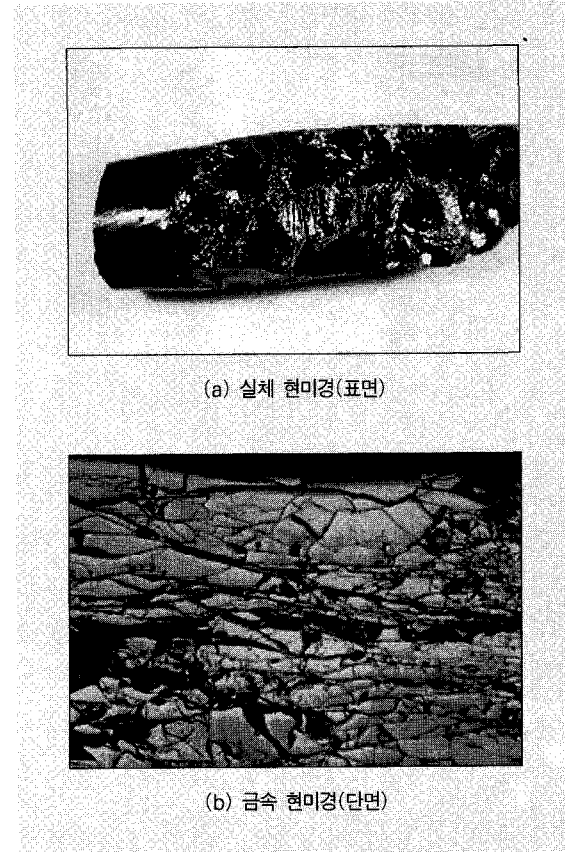
도체의 접속(촉)부의 접촉상태가 불량이면 전류가 흐를 때 발열하여 접촉부 근처 전선의 절연피복이 발화하는 것이 있다. 이 발열요인으로서의 접촉저항의 증가에 따라 줄 열에 의한 것과 특수 산화물의 생성에 의한 발열(아산화동 증식 발열현상)이 있다.

가. 접촉 불량에 의한 발열

금속 및 도체 상호의 접촉 저항은 보통 약 0.1Ω 이하이지만 외견상의 접촉 면적의 감소, 접촉 압력의 저하 및 산화피막의 형성 등에 의해 증가하게 된다. 접촉저항이 증가하면 그것에 비례하여 줄 열도 커지므로 접속부의 국부적인 발열을 가져온다. 발열하면 2차적인 산화 피막이 형성되어 접속부의 온도는 더욱 높아지고 접촉하고 있는 가연물을 발화시키게 된다.

나. 아산화동 증식 발열

접촉 불량 개소에서 스파크가 발생하면 스파크의 고온



〈그림 9〉 아산화동의 표면 및 단면 구조 사진

에 노출된 도체의 일부가 산화되어 아산화동이 생기는 경우가 있다. 이 현상을 아산화동 증식 발열현상이라고 하며 전선 등의 도체가 고온이 되어 전선 피복 및 배선기구의 절연체(가연물)를 발화시킨다.

그림 9는 옥내용으로 사용되는 연동선에서 생성된 아산화동의 표면 상태를 실체 현미경 및 금속 현미경으로 나타낸 것이다. 아산화동의 외부표면은 검은 빛을 띠며, 전선고유의 구조가 나타나지 않고 부정형(不定形)의 입자 형태를 나타냈다. 또한, 내부 단면은 아산화동의 전형적인 특색인 적색의 유리질 결정을 나타내고 광택이 있으며 작은 구멍(void)들이 형성되어 있다.

다. 원인 분석

접촉 불량 및 아산화동 증식 발열현상에 의한 출화는 어느 쪽이든 도체부분을 흐르는 전류의 발열작용에 따르는 것이므로 부하전류가 흐르고 있는 것이 전제되어야 한다. 즉 부하전류가 흐르지 않았다면 어느 쪽도 출화원인에서 배제하는 것이 가능하다. 부하전류가 흐르고 있는 경우는 그 크기를 조사한다. 전류가 적은 경우에 접촉저항에 의한 발열이 원인이 되어 출화한 경우는 대개 이 접촉부의 접촉불량 유무에 의해서 접촉나사의 느슨함 또는 접촉면의 맞물림 상태 및 부서짐 등으로부터 판단할 수 있는 경우가 있다. 아산화동 증식 발열현상에는 아산화동 부분의 결손으로 인한 도체의 잔존 부분뿐만 아니라 결손 부분을 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 띠며 이것을 현미경으로 30~80배 확대하여 관찰하면 루비(ruby)와 닮은 글라스형의 결정이 보인다. 특히, 이 적색 결정은 아산화동 특유의 것이므로 출화개소에 대응하는 도체접촉부에서 이것이 확인되면 아산화동증식 발열현상에 의한 출화의 가능성이 매우 높아져 출화원인을 판정하는데 매우 유용한 물적증거가 된다. 현미경이 없는 경우는 회수한 검은 산화물 덩어리의 저항을 측정하여 영(zero) 또는 무한대가 아니면 건조기(dryer) 등으로 가열하여 저항의 변화를 조사한다. 이때 온도상승에 따라 저항이 내려가면 그 속에 아산화동이 함유되어 있다고 인식해도 좋다.

출화개소인 접촉 불량개소에 아산화동이 없으면, 기본적으로는 접촉저항에 의한 발열이 원인이 된다. 그러나 아산화동은 무르고 결손되기 쉬우므로 이것을 회수할 수 없을 때도 있다. 그러므로, 아산화동이 발견되지 않더라도

즉시 다른 원인조사로 이행하는 것은 아니고 부하전류의 크기, 도체의 굵기 및 접촉면의 거친 상태 등으로부터 종합적으로 판단해야 한다.

8. 방전

가. 방전 현상

공기 중에 있는 2개의 평행판 전극간에 직류전압을 가하면 극히 적은 전류가 흘러 방전한다. 기체는 보통 절연체이지만 전자(electron) 및 이온(ion)이 약간 존재하며 이것이 전계에 의해 이동하여 전류가 흐른다. 전극간의 전압을 올리면 전류도 점점 증가하지만 전압이 어떤 값 이상이 되면 전류가 일정해지는 영역이 있다. 그 위에 전압을 더 인가하면 다시 전류가 흐르기 시작하며 더욱 높은 전압을 인가하면 전류가 비약적으로 증대하여 격렬한 소리와 함께 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 생기는데 이것을 코로나 방전이라고 한다. 평판 전극과 침 전극 간에 가한 직류전압을 점점 올리면 침에 희미한 보라색의 광점이 나타나는데 이것을 글로 코로나(Glow Corona)라고 한다. 이것보다 전압을 올리면 길게 연장된 형태의 브러시 코로나(Brush Corona)를 발생하며 더욱 전압을 올리면 반대측의 평판 전극에 이온이 도달하는 스트리머 코로나(Streamer Corona)가 발생한다. 3개의 코로나 중 스트리머 코로나 및 브러시 코로나는 전압 및 전극의 형상에 의해서는 가스 및 증기에 착화할 가능성이 있는데 스트리머 코로나 쪽이 그 가능성은 더 크다. 또한, 침전극의 양극측이 착화위험이 크다.

직류 대신에 60Hz 교류를 가한 경우에는 그 반주기마

다 극성에 따르는 코로나를 발생하는 것이 된다. 송전선 같은 평행 원통도체에 있어서도 기압 및 온도 등의 변화에 의해 방전조건이 조절되면 코로나를 발생하여 코로나 손이 생긴다. 전압을 올리면 불꽃 방전은 아크 방전(Arc Discharge)으로 이어진다. 아크 방전은 전류가 크고 음극부근에서 수 천도의 고온이 되어 가스 및 증기, 먼지 등 일부의 고체에도 착화할 수 있다. 아크방전은 아크등 및 전기용접 등에 이용되고 있다. 또한, 수 암페어 이상의 전류가 흐른 상태에서 전극을 떼는 경우(부하의 스위치를 넣은 채로 콘센트로부터 플러그를 빼는 경우 등이 해당)에도 아크를 발생한다. 네온관과 같이 고압 배선으로 충전부가 노출되어 있는 경우는 그 부분으로부터 가까운 부근의 접지 도체로 이어지는 방전이 생기기 쉽다. 이때 전류가 흐르는 부분(습기찬 목재 등)은 탄화되어 도전로가 되기 쉽다.

나. 원인 분석

방전 불꽃에 의한 가연성 가스·증기·먼지의 착화는 방전 불꽃 발생의 가능성 및 착화물의 존재를 조사한다. 네온관 설비로서는 방전에 의해 전압 강하되어 점등이 잘 되지 않기도 하고 광량이 저하하고 있는 것이 대부분이며 이 상태의 유무에 대해서 조사한다. 또한, 목재 등 유기질 연체에 고압방전에 의한 전류가 흐른 경우는 그 용혼이 탄화되어 있기 때문에 그 상태를 조사한다.

9. 정전기 불꽃

가. 정전기 대전과 방전

정전기 대전의 종별은 발생형태에 따라 접촉 대전, 침강 대전, 분출 대전, 파쇄 대전 및 유동 대전으로 분류된다. 정전기 대전은 전하가 발생되는 과정과 발생한 전하가 누설되는 과정의 양자가 합쳐진 결과로 나타난다. 따

라서 물체가 대전하지 않은 것과 전하의 발생이 없는 것은 별도라는 것을 잘 이해할 필요가 있다. 방전을 그 형태에 따라 불꽃 방전, 코로나 방전 및 아크 방전 등으로 분류되는데 대전된 도체로부터의 방전은 코로나 방전 또는 불꽃 방전이 된다. 이것은 정전기대전으로 전하의 공급속도가 대체로 낮고 방전에 의해 급격히 잃게 되는 전하를 보충할 수 없기 때문에 방전이 단시간에 종료된다.

일반적인 가연성 가스, 증기의 최소 착화 에너지는 표

〈표 1〉 폭발한계 및 최소착화에너지

| 분진의 종류 | 폭발한계 (g/m ³) | 최소착화에너지 (mJ) |
|-------------|--------------------------|--------------|
| 마 그 네 숨 | 20 | 80 |
| 알 루 미 늬 | 35 | 20 |
| 철 | 120 | 100 |
| 소 맥 분 | 60 | 160 |
| 석 탄 | 35 | 40 |
| 유 황 | 35 | 15 |
| 펠 프 | 60 | 80 |
| 에 폭 시 | 20 | 15 |
| 폴 리 에 틸 렌 | 20 | 10 |
| 폴 리 프 로 필 렌 | 20 | 30 |
| 폴 리 스틸 렌 | 20 | 40 |
| 베 레 후 탈 렌 | 50 | 20 |
| 콜 크 | 35 | 45 |
| 목 분 | 40 | 30 |

〈표 2〉 가스 및 증기별 최소착화에너지

| 가스 및 증기 | 최소착화에너지 (mJ) | 혼합기체 농도 (vol. %) |
|-----------|--------------|------------------|
| 이 황 화 탄 소 | 0.009 | 28~30 |
| 수 소 | 0.019 | 28~30 |
| 아 세 틸 렌 | 0.019 | |
| 이 황 화 수 소 | 0.064 | |
| 에 틸 렌 | 0.096 | |
| 벤 젠 | 0.20 | 4.7 |
| 시 크 로 핵 산 | 0.22 | 3.8 |
| 부 탄 | 0.25 | 4.7 |
| 프 로 판 | 0.26 | 5~5.5 |
| 메 탄 | 0.28 | 8.5 |
| 암 모 니 아 | 0.77 | |
| 아 세 톤 | 0.15 | |

1 및 2에 나타낸 바와 같고, 최소 착화 에너지가 낮은 물질이 정전기에 의한 화재 위험성이 크다.

나. 원인 분석

정전기 불꽃에 의한 화재는 가연성 가스·증기·먼지 등에 인화되어 발생한다. 또한, 다른 전기화재와 다르게 화재 후에 스파크 흔 등의 물적 증거가 남는 것은 거의 없고, 연소상태에서도 특징은 나타나지 않는다. 따라서, 원인은 상황 증거에 의해 판단한다. 정전기 화재가 발생하기 위해서는 정전기의 대전, 연소범위 농도에 해당하는 가연성 기체·먼지의 체류 및 이들 가연성 물질의 최소 발화에너지 이상의 에너지를 갖는 방전불꽃의 발생 등 3요소가 갖추어져야 한다.

- ① 정전기의 대전 및 방전에 대해서는 취급 물건의 성형, 출화시의 작업 내용, 작업자의 행동, 접지 등 대전 방지 조치의 상황, 경과시간, 기상상황 등으로부터 그 가능성의 유무를 판단한다. 경우에 따라서는 재현 실험에 의해서 이것을 확인한다.
- ② 착화물의 상태에 대해서는 취급물건, 취급상태, 환경조건 등으로부터 폭발분위기를 형성하고 있는지 어떤지를 판단한다.
- ③ 가연성 기체 및 먼지가 위험 분위기를 형성하고 있는 장소에서는 정전기 불꽃만이 아니고 릴레이 접점, 전동기의 브러시, 온도조절기, 스위치류의 개폐시 등에 발생하는 전기불꽃에 의해서도 쉽게 발화한다. 따라서, 이것들의 화원 등에 대해서도 충분히 고려하여 조사하고 그 위에서 판정하는 것이 필요하다.

10. 은 이동

직류 전압이 인가된 은(도금을 포함)의 이극 도체간에 절연물이 있을 때 그 절연물 표면에 수분이 부착하면 은

의 양이온이 절연물 표면을 음극측으로 이동하여 그곳에 전류가 흘러 발열한다. 이 현상을 은 이동(Silver Migration)이라고 한다. 전극을 포함한 전류경로는 고온이 되기 때문에 트래킹과 같이 전극이 용융되기도 하고 반도체가 파손되는 경우도 있다고 알려져 있다.

원인 분석은 먼저 직류전압과 은 이온을 확인하면 좋지만 전원에 대해서는 교류를 직류로 정류하고 있는 경우 외에 교류를 인가하고 있는 반도체 히터와 같이 부하의 정류작용을 이용하는 경우가 있다. 은 이온의 검출에 대해서는 전극에는 없고 전극간의 전류 경로에 대해서 조사하지 않으면 안되므로 유의할 필요가 있다. 이 외의 현상을 발생 또는 촉진시키는 요인으로서 절연물의 흡습성, 고온·다습의 사용환경, 산화 또는 환원성 가스의 존재 등을 생각할 수 있다.

11. 맺음말

전기설비에서 발생하는 전기화재의 종류는 단락, 과부하, 반단선, 트래킹 및 흑연화 현상, 누전, 접촉 불량 및 아산화동 증식 발열, 방전, 정전기 불꽃, 은 이동 등으로 분류할 수 있다.

동일한 전기 에너지를 사용하더라도 발생원인이 다르다는 것은 해석의 방법도 다를 수 있음을 의미한다. 전기 에너지의 크기가 화재발생의 중요한 인자인 것은 분명하지만 에너지가 적다고 해서 화재가 발생하지 않는 것도 아니다. 즉 착화 대상 물질이 무엇이나에 따라 필요한 최소 착화 에너지가 다르기 때문에 안전한계 범위는 유동적이라고 말할 수 있다.

그러므로 전기설비에서 발생하는 화재를 예방하기 위해서는 각각의 기기특징에 맞는 보호범위를 설정해야 하며 정기적인 관리 및 운용이 선행될 때 사고의 발생을 억제하고 방지할 수 있을 것으로 판단된다.