

# 화재발생에 관한 메커니즘Ⅳ

글 김진표 국립과학수사연구소 화재연구실

## 유형별 화재원인 조사방법

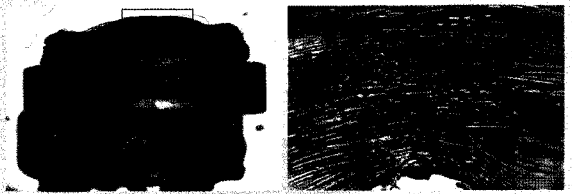
(지난호에 이어서)

### ⑤ 과부하/과전류

전기모터는 고정자 권선에 전류를 흘려줌으로써 전류의 흐름을 자기장으로 변환시키고, 고정자 사이에 설치된 회전자를 회전시키게 된다. 이렇게 회전자가 회전하면 선풍기 및 환풍기 등과 같이 회전날개를 적용하여 이용한다. 전기모터는 회전자를 구동하기 위하여 구동초기에는 회전자의 관성을 증가하는 회전력을 발생하기 위하여 정상적인 회전동작 과정에 필요한 전류보다 큰 전류를 공급하여야 한다. 그러나 회전자가 정상적으로 회전하지 못하는 구속운전조건이 되거나, 고정자 권선이 오염이나 흡습 및 경년 열화가 발생되는 경우, 정상조건에 비해 큰 과전류가 흐르게 되고, 이러한 과전류에 의해 고정자 권선을 중심으로 화재가 발생하게 된다.

[그림 27]에 나타낸 것은 가스레인지 상단에 설치되는 후드 모터로서 상기에서 언급한 조건에 의해 과전류가 발생되면서 화재가 일어난 사례이다. 고정자 권선에 과전류가 발생되는 경우, 넓은 범위에서 단락형

성이 식별되는데 이를 층간 단락이라고 한다. 특히, 이러한 층간 단락은 금속 외함에 설치되는 모터의 구조를 고려할 경우, 외부 화염에 의해 형성되기 어려운 구조이므로 전기모터의 고정자 권선에서 층간 단락이 식별된다면 층간단락 부분이 직접적인 발화원인이 되는 경우가 대부분이다.



(a) 가스레인지 후드 모터의 고정자 부분

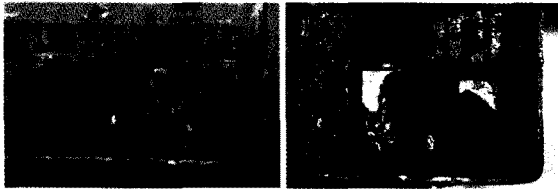
(b) 고정자 권선에서 식별되는 층간 단락흔

[그림 27] 전기모터에서 발생된 과전류에 의한 화재 사례

### ⑥ 트래킹

차단기, 콘센트 및 스위치 등은 전원단자 사이에 열경화성 플라스틱 재질의 유기절연물을 이용하여 단자사이의 분리 및 절연 처리한다. 정상적인 조건에서 전원 단자는 완전히 분리되어 있는 상태이나, 유기절

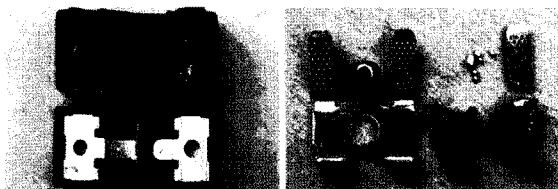
연물의 경년 열화에 따른 절연성능 저하, 장기간 사용에 의한 열적 스트레스 및 주변 환경에 따른 오염이나 흡습 등의 영향으로 탄화된다. 이러한 과정에서 최종적으로 절연물의 성질을 잃어버리고, 유기절연물 사이에 도전로가 형성되는데 이를 트래킹(Tracking) 현상이라고 한다. 트래킹 현상이 발생하는 경우, 유기절연물은 전원단자를 이어주는 매개체 역할을 하며, 전원단자 사이에서 절연파괴를 유발하게 된다. 앞서 설명한 바와 같이 절연파괴 과정에서 수반되는 전기적 발열 및 불꽃은 주변 가연물을 착화시키는 발화원인으로 작용하게 된다. [그림 28]은 차단기 단자 사이에서 트래킹 현상에 의해 절연 파괴된 예를 나타낸 것으로 절연파괴 과정에서 화재가 발생된 것으로 보이는 사례이다.



(a) 절연파괴가 발생한 차단기 부분 (b) 절연파괴 부분의 확대 사진  
[그림 28] 트래킹에 의한 차단기 단자 사이에서의 절연파괴 사례

### ⑦ 스위치 접점부 발열

일반적으로 스위치는 전원공급을 차단 또는 접속시켜 주는 부분으로 접속 및 차단 동작과정에서 발열 및 불꽃이 발생된다. 이 과정이 반복될 경우, 스위치



(a) 스위치 부분의 사진 (b) 스위치 고정점점의 용융 유실된 형태

[그림 29] 스위치 접점부 발열에 의한 화재 사례

의 플라스틱 외함, 주변의 먼지 및 가연물 등에 착화되면서 화재를 일으킬 수 있다. [그림 29]에는 스위치 접점부에서 발생된 발열에 의해 화재로 이어진 사례로서 화재 발생 스위치 및 비교품의 대조검사 결과, 화재가 발생된 스위치의 접점이 일부 용융 유실된 현상을 볼 수 있다.

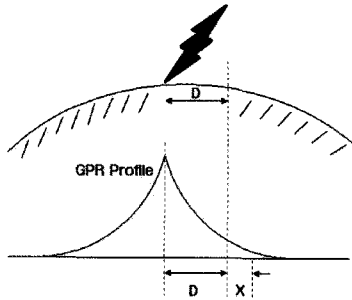
### ⑧ 과전압

과전압은 정상적인 사용전압에 비해 일시적으로 큰 전압이 침입하는 것을 의미하며, 자연현상에서 발생하는 낙뢰, 배전계통의 스위치 작동에 의해 발생하는 개폐 과전압 및 오결선 등에 의해 발생된다. 자연현상에 의한 낙뢰 및 배전계통의 지락 사고 등에 의해 과전압이 발생하는 경우, [그림 30]에 나타낸 것과 같이 과전압에 의한 과전류가 대지를 통해 방출되는 과정에서 대지의 접지저항에 의존하여 대지전위가 상승하고, 정상적인 전원 공급 선로보다 접지전위가 상대적으로 높아짐에 따라 절연이 약한 부위를 통해 절연파괴가 발생되고, 화재사고로 이어지게 된다. 대지전위의 상승은 낙뢰 또는 지락이 발생된 개소에서 접지저항 및 거리에 의존하여 형성되며, 다음 수식과 같이 대지전위 상승이 발생된다.

$$GPR = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{D} - \frac{1}{D+X} \right) \quad [V]$$

여기서, GPR(ground potential rise)은 대지전위 상승전압,  $\rho$ 는 대지저항률,  $I$ 는 지락 또는 뇌격전류,  $D$ 는 지락 또는 뇌격지점과의 거리,  $X$ 는 지락 또는 뇌격지점과의 거리와의 이격거리이다.

과전압에 의해 화재가 발생하는 경우에는 동시다발적으로 여러 개소에서 절연파괴가 발생하는 특징을 나타내며, 절연피복이나 차단기 외함 등이 연소되지 않은 경우에도 내부도체 사이 및 차단기 단자 등이



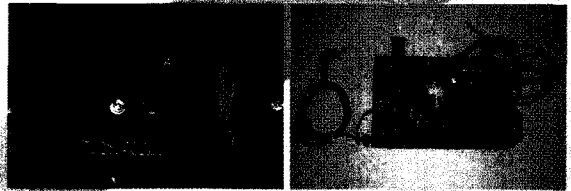
[그림 30] 대지전위 상승의 개략도

절연파괴되면서 용융 형상이 발생되기도 한다. [그림 31]은 과전압에 의해 화재가 발생한 건물의 개략도를 나타낸 것으로 화재 발생 지점 및 인접 지역에서 동시다발적인 전기적 피해가 발생되었다.

<ul style="list-style-type: none"> <li>- 이용하지 않는 사무실</li> <li>- 피해 없음</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 사무실</li> <li>- 분전반 단화, 차단기 교체</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 사무실</li> <li>- 분전반 교체</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 사무실</li> <li>- 분전반 교체</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 식당</li> <li>- 쇼케이스 냉장고 단화</li> <li>- 분전반 교체</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 식당 → 화재 발생</li> <li>- 분전반 내 절연파괴</li> <li>- TV 내부개편 천공</li> </ul>

[그림 31] 과전압에 의한 화재 발생 건물의 개략도

특히 화재가 발생한 식당 부분에서는 [그림 32]와 같이 분전반 내 주 차단기의 전원측에 해당하는 단자 접속부를 중심으로 절연파괴된 형상이 식별되며, 화재 발생 장소에서 사용되는 가전제품 중, TV의 경우에는 내부기판이 절연파괴 과정에서 천공된 형태를 나타내었다. 이와 같이 낙뢰가 발생하는 경우 전원계통을 따라 동시다발적으로 피해가 발생하는 양상을 나타내며, 절연파괴가 발생하는 개소 중 상대적으로 절연이 약하거나 취약되기 쉬운 가연물이 존재하는 경우 화재사고로 이어지는 특성을 나타낸다.

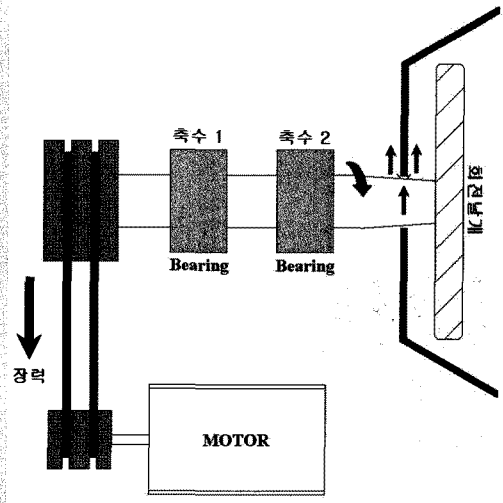


(a) 분전반 주 차단기 단자부에서의 절연파괴 (b) TV 내부기판 천공 형상

[그림 32] 과전압에 의한 화재사고 사례

### 다. 기계적 원인에 의한 발화

두 개 이상의 물체가 상호 충격되거나 마찰되면서 발생하는 열에너지는 마찰 및 충격되는 물질에 따라 1,000℃ 이상 발생될 수 있으며, 이는 일반적인 가연물의 발화에너지를 능가하는 수준이다. 기계적 구조에서 베어링 설치 부분에서의 윤활 부족에 의해 마찰열이 발생하는 경우 고온의 발열이 발생하고, 주변 가연물을 착화시키면서 화재가 발생할 수 있다. 특히 마찰열 발생 부분에서 가연성 가스가 발생되거나 가연물이 충분히 존재하는 경우, 보다 용이하게 화재가 발생될 수 있다. [그림 33]은 전기집진기의 배풍기 설



[그림 33] 전기집진 설비 배풍기 부분의 개략도

치 부분을 개략적으로 나타낸 것으로 회전날개 축과 배풍기 외함사이에서 지속적인 마찰이 발생되고, 배풍기 내부에는 집진 설비에서 발생된 슬러지 및 분진이 배출되는 부분으로 축과 외함사이에서 발생된 마찰열이 슬러지 및 분진에 착화되면서 집진설비 전체가 화재로 연소 붕괴되었다.

또한 [그림 34]는 축과 외함 사이에서 발생된 마찰 흔적을 나타낸 것으로 모터와 벨트로 연결된 배풍기 회전날개의 축이 장력에 의해 외함에 접촉되고, 고속으로 회전하는 동안 마찰이 발생되면서 화재가 발생된 것으로 볼 수 있다.

### 라. 자연발화

자연발화는 어떤 물질이 공기 중에 노출되어 외부의 불씨나 이상 가열 등에 의한 고온에 접촉되지 않

고, 물질 고유의 성질에 따라 스스로 발열 반응을 일으키고, 이러한 반응열이 장기간 축적되어 발화에 이르는 현상으로 대상물질은 유형에 따라 다양하다. 그 대상 물질에 따른 유형은 다음과 같다.

- ① 산화반응 : 유지류, 석탄, 기름 찌꺼기, 고무류 등
- ② 분해반응 : 니트로셀룰로즈, 셀룰로이드 등
- ③ 흡착 : 활성탄, 목탄, 탄소 분말 등
- ④ 발효 : 마른 풀, 벚짖 등
- ⑤ 종합반응 : 초산비닐, 스티렌, 액화시안화수소, 비닐아세틸렌
- ⑥ 기타 : 태양열 집중

(비닐하우스 지붕에 고인 물 또는 투명 물병 등에 의해 볼록렌즈 기능으로 집광발열)㉞



(a) 배풍기 회전날개 축 부분

(b) 회전날개 축 부분의 마찰 흔적



(c) 회전날개 축과 마찰된 외함 부분

(d) 회전날개 축과 맞닿은 외함의 마찰 흔적

[그림 34] 전기집진 설비의 배풍기 회전날개 축과 외함의 마찰 흔적