

발화원(發火源)의 감정(V)

- 가전제품의 발화와 감정 (4) -

지난 호에 이어서

9. 선풍기

선풍기와 같은 모터는 교류가 흐르게 되면 발열하게 되어 있고 내부에 배선 및 배선기구가 있으며, 몸체가 가연성인 플라스틱 재질 등으로 되어 있어 발화위험이 높은 전기제품이다.

모터는 최고허용온도가 120℃인 B종 절연 에나멜선을 권선(코일)형태로 만든 것으로 선풍기와 같은 모터가 내장된 제품에서는 모터의 과열, 자체 배선 및 배선기구에서의 발화 위험성이 상존하게 된다.

가. 모터의 과열

모터 자체는 발열하게 되어 있어 자체 팬에 의하여 공냉식을 채용하고 있다. 따라서 모터가 과열되는 것은 에나멜선이 견디기 어려운 온도(약 120℃ 이상) 이상이 되어 권선 내부에서 선간 또는 층간 단락이 발생하는 것으로 Y종 절연(90℃ 이하)인 내부 배선이 손상 될 수 있는 것을 말한다. 또한 고전압인가, 단열, 방열량 감소로 과열 되며, 이렇게 과열될 경우 배선의 절연피복이 손상 되어 단락이 일어나고 이때 발생하는 불꽃에 의하여 먼



김 윤 회
국립과학수사연구소
물리분석과장

< 목 차 >

- | | |
|---------|--------------|
| 1. 머리말 | 8. 전자레인지 |
| 2. 전자제품 | 9. 선풍기 |
| 3. TV | 10. 팬히터 |
| 4. 냉장고 | 11. 냉온풍기 |
| 5. 에어컨 | 12. 가스레인지 |
| 6. 세탁기 | 13. 부르스터 |
| 7. 전기밥솥 | 14. 심야 전기보일러 |

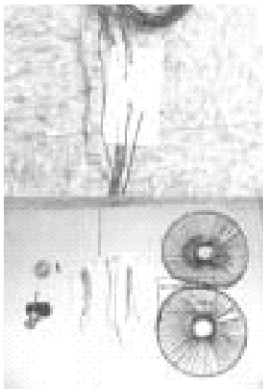
[사진 32]



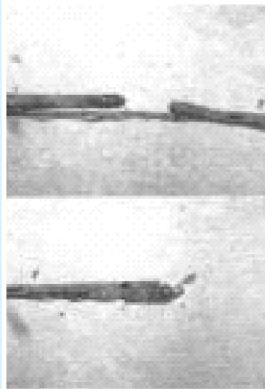
[사진 33]



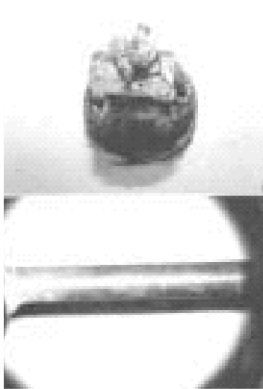
[사진 34]



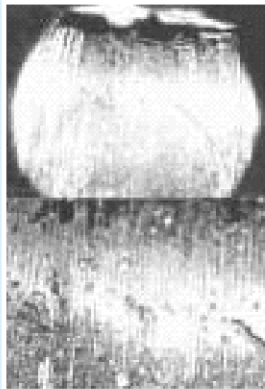
[사진 35]



[사진 36]



[사진 37]



[사진 32] 발화인접벽체형태 및 전원

[사진 34] 선풍기 잔해와 전원선

[사진 36] 권선 및 축수형태

[사진 33] 발화추정부위 잔해형태

[사진 35] 선풍기 내부배선 단락흔

[사진 37] 권선에 형성된 단락흔

지 등 가연물에 착화되어 화재로 발전하게 된다.

(1) 고전압인가

110V용에 220V를 연결하거나 220V용에 380V를 연결하면, 모터는 굉음을 내며 회전하다 멈추게 되고, 내부 권선이 과열되어 단락되며 주변에 이연성 가연물이 있는 경우 착화 발화된다. 대개의 경우 고전압인가 즉시 징후를 알 수 있어 화재로까지 진전 되지는 않지만 인화성이 있는 공장 등에서 전원을 잘못 투입하여 발화되는 예가 있다.

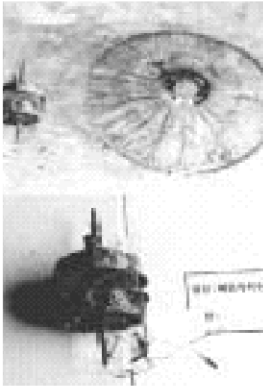
(2) 단열

모터에서의 발열은 자체 송풍에 의하여 방열 냉각 시키게 되어있으나, 겨울철 모터펌프의 동파 방지를 위해 보온재로 모터자체까지 덮어 놓거나 좁은 공간에 선풍기를 가동시켜 놓고 장시간 사용하면 방열이 되지 않아 과열된다. 선풍기를 매우 좁은 공간에서 장시간 가동하면 선풍기 주위의 온도가 상승하여 결국 단열시킨 것과 같은 효과가 일어나 모터가 과열된다.

(3) 방열량 감소

일반적으로 말하는 모터의 과열은 회전속도가 현저하게 느려져 방열이 제대로 되지 않으면 모터 자체가 과열되는 것이다. 회전속도가 느려지는 것은 축수 부분에서의 윤활성능이 떨어져 일어난다. 윤활성능이 떨어지는 것은 좁은 공간에서 장시간 가동하여 주위 온도가 이상고온이 되거나 회전날개에 흠집이나 파손 등이 있어 진동하게 되면 축수부분에 편중된 하중이 걸려 편마모가 일어나게 된다. 이때 발생하는 마찰열로 윤활성분이 휘발되어 결국 과부하가 걸리게 된다. 과부하가 걸리면 자연 방열량 감소로 모터

[사진 38]

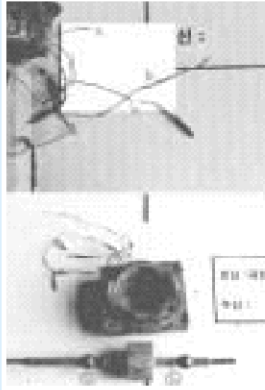


[사진 40]



[사진 38] 연소된 선풍기 잔해
[사진 40] 내부배선의 단락흔

[사진 39]



[사진 41]



[사진 39] 코드 상에 나타나있는 단락흔
[사진 41] 축수에 형성된 터닝컬러

는 과열된다. 또한 갑자기 날개가 외부 고정물체 등에 걸려 회전이 멈추게 되면 모터는 즉시 과열된다. 모터가 과열되어 발화되는 과정은 다음과 같다.

- 회전장애 → 회전정지 → 모터과열
- 날개손상 → 편중회전 → 진동수반 → 편마모 → 유효성능 감소 → 과부하 운전 → 방열량 감소 → 모터과열
- 고온상태운전 → 유효성능 감소 → 과부하 운전 → 방열량 감소 → 모터과열

모터과열은 내부코드의 절연을 손상시켜 단락이 발생하고 이로 인해 자체 먼지 등 가연물에 착화 발화하게 된다.

나. 배선 및 배선기구에서의 발화

선풍기는 내부에 모터가 내장되어 있고 움직이는 것이므로 연결부거나 접점에서의 불완전 접촉이나 내부배선의 절연이 손상되기 쉽기 때문에 전원공급을 위한 배선과 컨트롤이나 연결 등을 위한 배선기구에서의 발화위험은 일반배선보다 크다. 즉 모터과열 없이도 배선 및 배선기구에서 발화되는 경우도 많다.

(1) 배선에서의 발화위험

내부배선에서는 마찰에 의한 피복손상으로 단락이 발생·발화하는데, 특히 좌우 회전식인 경우 자주 발생하며, 전원코드에서는 압축손상, 반단선 등에 의한 발화위험이 있다. 대형선풍기의 경우 몸체에 전원코드가 눌러있게 되면 자체진동으로 쉽게 압축 손상을 입게되어 단락 발화되기도 한다.

(2) 배선기구

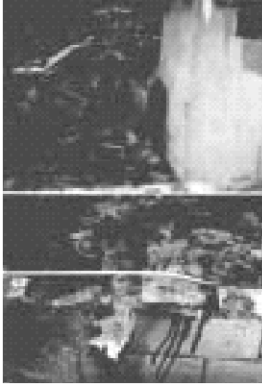
일반 전기제품과 마찬가지로 불완전 접촉, 트래킹, 그라파이트 등의 현상이 일어날 수 있으며, 특히 릴타입 전원코드의 경우 회전접점에서의 불완전접촉에 의한 발열위험이 있다.

다. 감정요점

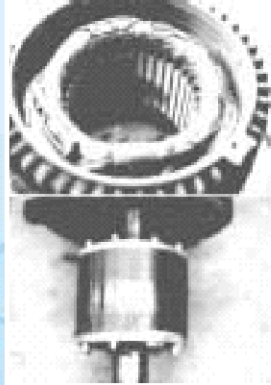
(1) 모터의 과열

과전압이 인가된 콘덴서 시동형 모터에는 2종의 권선이 있는데, 과열되면 대부분 주권선 부분만이 심한 연소형태를 남기며, 경우에 따라서는 시동권

[사진 42]



[사진 43]



[사진 44]



[사진 42] 환풍기가 설치된 부분형태
[사진 43] 환풍기모터의 분해형태
[사진 44] 전원인입부의 형태

선이 연소되지 않은 채로 남게 된다. 연소된 잔해에서 단락이 일어난 것은 주권선이며, 대부분의 경우 권선에는 여러 개의 단락이 식별된다. 이는 모터가 과열되어 전원선이 단락으로 차단되기 전에 순간 단락이 일어나면 전압변동이 일어나 모터 회전속도가 빨라지며, 더욱 더 과열되고 층간단락으로까지 발전한다.

모터의 과열원인이 과전압인 경우와 순간 회전이 멈춘 경우 축수부분에서의 마찰발열 흔적(터닝컬러)이 남지 않게 되나, 방열차단이나 고온상태 운전으

로 과열되는 경우에는 축수에서의 마찰흔적이 식별된다. 즉 과전압이 인가되었거나 회전부분에 외부 물체가 걸려 갑자기 멈추게 되면 즉시 과열되어 터닝컬러가 형성되지 않는다.

가동 중인 선풍기나 환풍기가 다른 원인으로 발화되어 전원이 차단되기 이전에 플라스틱 날개가 손상되며, 회전이 멈추게 되면 2차적으로 환풍기나 선풍기에서 발화되어 마치 2개소에서 발화된 것과 같은 연소 흔적을 남기게 된다.

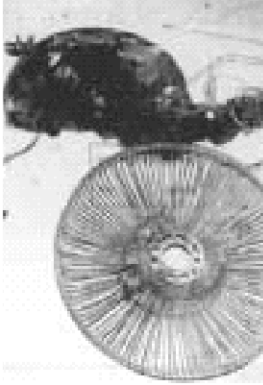
이때 잔해에서 발견되는 연소된 모터에는 과전압 또는 회전정지에 의해 나타나는 형태인 과열흔적, 즉 축수부분의 터닝컬러는 나타나지 않으나 권선단락이나 내부배선 및 전원코드에서의 단락흔이 나타나게 된다.

모터가 과열되면 모두 화재로 발전하는 것이 아니므로 모터가 고장상태, 즉 과열로 내부 권선 일부가 연소 단락된 상태로 방치한 것이 화재현장에서 잔해로 남을 수도 있다. 이 경우 현실적으로 명확한 판단은 용이하지 않으므로 현장조사 이전에 관계인으로부터 이러한 수납물에 대한 정보를 청취할 필요가 있다. 즉 현장감식 이전에 현장 발화부에 있던 전기제품의 내역과 운전상태, 수리이력 등에 대한 진술을 확보할 필요가 있다. 과열로 발화된 모터와 광려로 고장상태이었던 모터가 같은 위치에 있었다면 과열로 발화된 모터는 과열로 고장상태이었던 것보다 수열정도가 심하게 나타나며, 가연물이 완전 연소된 잔해라고 하더라도 수열정도가 구분된다.

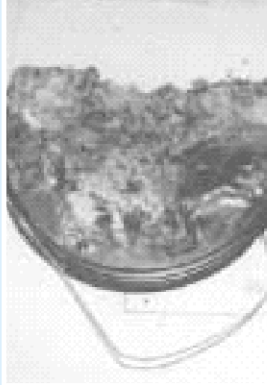
(2) 배선 및 배선기구에서의 발화

일반 배선이나 배선기구와 마찬가지로 모터의 과열 없이도 선풍기 자체 내부배선이나 전원선, 내부

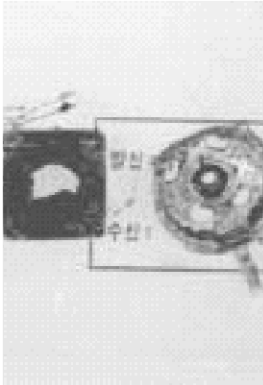
[사진 45]



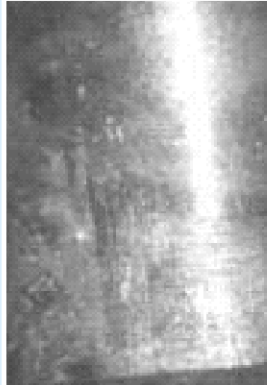
[사진 46]



[사진 47]



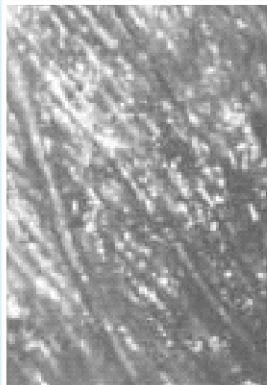
[사진 48]



[사진 49]



[사진 50]



[사진 45] 연소된 선풍기형태
[사진 47] 모터의 분해형태
[사진 49] 권선의 형태

[사진 46] 몸체의 근접사진
[사진 48] 축수부분의 타닝결과
[사진 50] 권선의 단락흔

배선기구에서 발화될 수도 있다. 이의 입증은 일반 전기배선이나 배선기구에서의 발화감정과 같이 절연파괴 원인을 조사함으로써 확인할 수 있다. 즉 내부배선에서의 단락이나 전원코드에서의 단락은 반드시 단락이전에 절연피복이 손상될 만한 요인이 존재하고 단락형태가 1차흔 형태를 보이게 되며, 단순히 화염으로 절연피복이 연소되며 형성된 단락흔과는 상이한 형태를 남기게 된다.

라. 감정사례

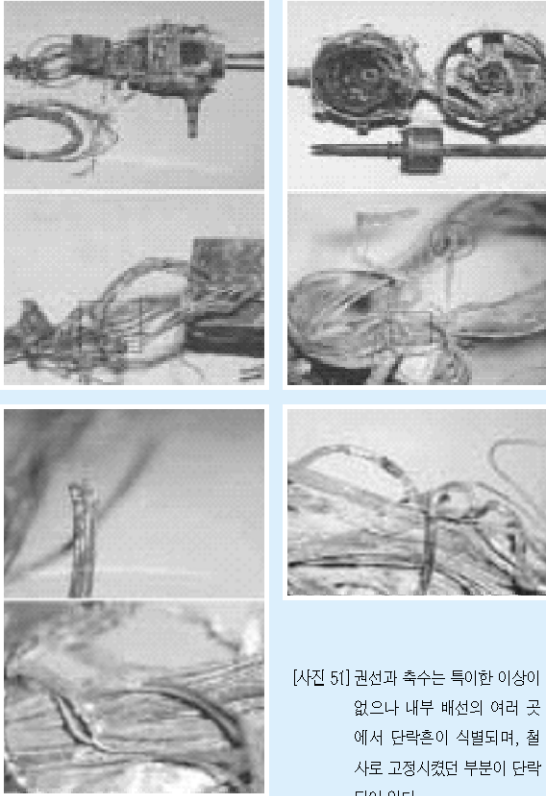
(1) 사례 1

1999. 7. 11. 14:20 경 정부중앙청사에서 발생한 화재는 감정결과 현장의 연소형상 및 단락흔이 식별되는 위치로 보아 사무실 내부 중간 우측부분에서 최초 출화된 것으로 판단된다. 또한 같은 장소에 소각된 선풍기 모터의 권선, 내부배선 및 전원코드에서 단락흔이 식별되고, 모터의 회전자 축 부분에서 회전자찰에 의한 변색부분이 식별되는 점으로 보아 책상 밑에 선풍기를 켜 놓고 의자를 밀어 넣어 좁은 공간이 형성되고 방열이 차단되어 모터 회전자 축 부분에서 기계적인 마찰에 의해 모터에 과부하가 걸리면서 과열, 내부 권선에서 단락이 발생되고 인접한 절연피복이나 선풍기 케이스 등 가연물에 착화 연소 확대된 것으로 판단하였다.

(2) 사례 2

1999. 6. 26. 4:20 경 서울 약국에서 발생한 화재는 권선에 단락흔은 형성되어 있지 않았다. 그러나 축수의 마찰흔적과 내부배선의 단락흔으로 보아 축수부분의 윤활성 부족으로 과부하가 일어나고, 이로 인해 모터가 과열되어 권선에서 단락이 일어나기 이

[사진 5]



[사진 5] 권선과 축수는 특이한 이상이 없으나 내부 배선의 여러 곳에서 단락흔이 식별되며, 철사로 고정시켰던 부분이 단락되어 있다.

전에 내부배선에서 단락이 일어나 발화되고, 권선의 전원은 차단된 것으로 볼 수 있다.

(3) 사례 3

1998. 2. 4. 12:30 경 양주군 남면 피혁공장 화재는 공장의 환풍기 모터의 인입선 부근에서 단락흔이 식별되는 것으로 보아, 이 모터가 설치된 기계실에서 최초 출화된 것으로 판단되었다. 또한 기계실의 분위기 및 유도전동기 인입선 지지용 고무 패킹이 도체화된 것으로 보아 이 부분에서 발열되어 피혁 분진, 인입선의 절연피복 등의 가연물에 착화 연소 확대된 것으로 추정하였다.

모터 몸체에서 기계적 마찰이 일어나면 몸체와 접촉되어 있는 전선의 절연피복이 손상되며 발화되기도 하며, 이 전과 같은 동력용 모터는 폴리에 벨트가 연결되어 송풍기나 펌프 등을 구동시킨다. 벨트가 느슨하거나 여러 개의 V벨트가 연결된 경우 한 개라도 절단되면 폴리부분에서 마찰열이 발생 및 발화하여 인접한 가연물에 착화되어 화재로 발전되기도 한다. 또한 연결된 펌프나 송풍기의 임펠러가 파손되면 내부에서 심한 마찰이 일어나 인화성물질에 착화되는데 모터자체에서는 이상이 나타나지 않는다.

(4) 사례 4

2001. 2. 2. 20:45 경 김포공항 국제청사전광판 내부에서 발생한 화재는 선풍기 모터 내부배선과 권선의 단락흔과 축수 부분의 터닝컬러가 식별되며, 스위치의 상태가 'on' 상태인 점으로 보아 지속적인 가동 등으로 축수 부분에서의 윤활작용이 불량하게 되어 모터자체가 과열 출화된 것으로 판단하였다.

(5) 사례 5

2002. 8. 27. 00:15 경 서울 슈퍼 화재는 선풍기 내부 배선 및 철사에서 식별되는 단락흔이 외부 화염에 의해 형성되기 어려운 부분으로, 철사와 내부 배선간의 절연 손상에 의해 단락 발화된 것으로 추정된다. 선풍기는 작동 중 진동이 발생하며 내부 배선간 혹은 내부 배선과 고정용 철사간에 마찰로 진동에 의한 손상을 받아 절연이 파괴되어 발화된 것으로 추정이 가능하다. ㉞

〈다음 호에 계속〉