

발화원(發火源)의 감정(Ⅳ)

- 전기제품(코일)에서의 발화 -

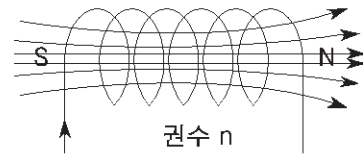
김윤희 | 국립과학수사연구소 물리분석과장



1. 기초지식

전기제품의 기본부품은 저항, 코일, 콘덴서, 반도체와 이들을 연결시켜주는 전로, 스위치로 되어있다. 저항은 전술한 바와 같이 흐르는 전류에 의해 발열 작용을 하는 것으로 발열량 $Q = I^2R$ 으로 주어지며, 가해지는 전압이 V 로 일정할 때, 저항값 R 에 의하여 전류 I 가 제한되어 $Q = VI$ 로 표현할 수 있다. 이 식은 전압이 일정한 경우 저항체에 흐르는 전류는 일정하며, 또한 발열량이 일정하다는 것을 의미하므로 전기 히터와 같은 순수 저항체가 과열되는 경우는 외부 영향이라는 것을 말하고 있다.

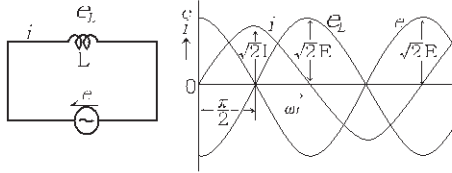
모든 회로상의 전로를 구성하는 물질은 고유저항 γ 을 가지



고 있고 저항 γ 은 $\rho \frac{l}{A}$ (ρ : 비저항, l : 길이, A : 단면적, α : 비례상수, T : 온도)로 주어지고, 모든 물질의 ρ 가 0이상이므로 $V=RI$ 만큼의 전압강하가 $Q = I^2R$ 에 해당하는 발열이 있다. 또 다른 기본 부품인 코일은 기본적으로 자기장을 만드는 것으로, 코일에

목 차

1. 기초지식
2. 변압기(트랜스)에서의 발화
3. 과열된 트랜스 잔해의 특징
4. 전기모터에서의 발화
 - 가. 과전압 인가
 - 나. 과부하 인가
 - 다. 부하 증대
5. 가동중인 선풍기나 환풍기가 화재로 재차 연소되는 경우
6. 발화되어 연소된 잔해와 고장 상태로 연소된 잔해
7. 맺음말



전류가 흐르게 되면 코일주변에 자기장이 형성되고 이 자기장에 의하여 중앙에 있는 철심은 자석이 된다. 코일에 흐르는 전류가 변하게 되면 자기장도 변화하게 되고, 코일주변의 자기장이 변하게 되면 코일에 전압이 유도된다. 이를 유도전압이라고 하며, 계산식은 다음과 같다.

$$e = n \frac{\Delta \phi}{\Delta t} = L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

n: 권수(감은 수) $\Delta \phi$: 자속변위

Δt : 시간변위

L(자기인덕탄스) = $n\phi/I$

(전류변화에 대한 유도전압사이의 비례상수로 코일의 감은 수 n에 비례하고 전류 I에 반비례)

즉 코일에 직류가 흐르게 되면 자체저항 r 에 의한 발열만 있게 되나 교류가 흐르게 되면 역방향의 유도전압에 의하여 전류흐름을 방해하게 되어 실질적인 R 값이 증가하게 된다. 즉 코일은 직류에 대하여 저항을 갖지 않으나(매우 적으나) 교류에 대하여 저항을 갖게(크게) 된다. 인덕탄스 N[H]인 코일에 교류전압 e 를 가하면 교류전압 e 에 의해 교류전류 i 가 흐르고, 교류전류 i 가 흐르면 자기인덕탄스 L에 의해 유도전압 e_L 이 유도된다. 자기유도전압 e_L 은 인가전압 e 와 절댓값이 같고 극성이 반대방향으로 회로에 포함된 전압은 평형상태가 된다. 즉 L에 가해진 전압은 크기가 같고 반대가 되는 전압이 유도되는 것과 같은 전류가 흐른다.

$$e_L = -e = -L \frac{\Delta i}{\Delta t}, i = \sqrt{2} I \sin \omega t$$

$$e_L = -L \frac{\Delta (\sqrt{2} I \sin \omega t)}{\Delta t} = -\sqrt{2} \omega L I \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$= -\sqrt{2} \omega E \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}), E = \omega L I [V]$$

$$e = \sqrt{2} E \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) [V]$$

$E = \omega L I [V]$ 에서 ωL 을 유도리액탄스라고 하며, X_L 로 표시하고 단위는 Ω 이 이용된다.

$X_L = \omega L = 2\pi f L [\Omega]$ 로 표시하면 전압 e 와 전류 i 의 관계는

$$e = \sqrt{2} E \sin \omega t [V], i = \sqrt{2} I \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) [A] \text{가 된다.}$$

정현파 교류에서 실효치는

$$\sqrt{\text{최대치} \times \sin^2 \omega t \text{의 평균}} = \text{최대치} \times \sqrt{\frac{1}{T} \times \frac{T}{2}}$$

$$= \frac{\text{최대치}}{\sqrt{2}} = 0.707 \times \text{최대치} \text{ 이므로}$$

$$i_{\max} = \sqrt{2} I \sin(\frac{\pi}{2}) = \sqrt{2} I \text{이며, 실효치는 } I \text{가 된다.}$$

따라서 발열량 $Q = I^2 R = X_L I^2 = 2\pi f L I^2$ 이 된다. 이는 코일에 전압을 인가하였을 때 직류는 $f \neq 0$ 이므로 $Q=0$ 이며, 교류($f \neq 0$)에서만 발열하게 된다. 코일에 직류전압을 인가하여 전자석을 만들어 이용하는 것과 교류전압을 인가하여 변압기나 회전기기를 만들어 여러 가지 형태로 이용된다.

형광등의 안정기, 각종 트랜스, 모터, 발전기가 이에 해당하는 것으로 종류가 수천 가지는 될 것이다. 교류가 인가되는 코일이 내장된 모든 전기전자부품은 발열이 있게 마련이며, 발생된 열은 각종 냉각방식을 이용 과열되는 것을 막게되어 있다.

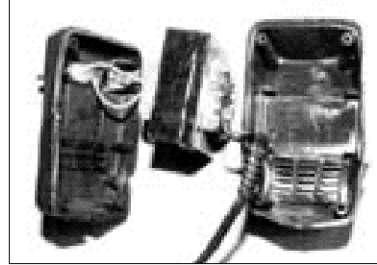
트랜스는 한 개 이상의 코일에 교류를 인가하여 다른 코일회로에 유도되는 전압을 임의로 변화시킬 수 있어 폭넓게 사용되고 있으며, 모터는 코일을 이용한 대표적인 전기제품으로 매우 폭넓게 사용되므로 이로 인해 발화된 예도 많다. 모터는 대부분 과열

로 인해 발화 즉 냉각불량으로 발화되는 경우가 대부분이므로 이에 대한 충분한 이해가 필요하다.

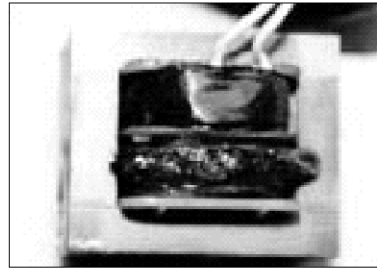
2. 변압기(트랜스)에서의 발화

트랜스는 한 개 또는 한 개 이상의 철심에 두 개 또는 2개 이상의 코일을 감아 놓은 것으로 2차 측에 연결된 부하기기 용량(R)에 의해 흐르는 전류값이 결정되며, 대응량인 경우 절연유에 의해 냉각하기도 하지만 일반적으로 자연방열로 냉각시키고 있어 이에서의 과열발화는 단열에 의한 과열, 과전압 인가, 과부하 인가에 의한 과전류로 출화된다.

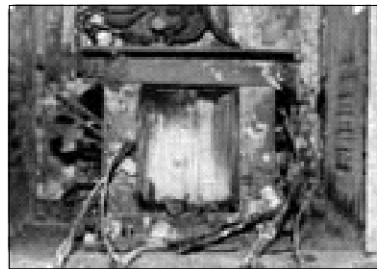
소형인 핸드폰 충전기, 전화기 전원용 어댑터(정류기), 라디오, 오디오, 노트북 컴퓨터 등의 전원용 어댑터와 같은 퓨즈 또는 과열보호회로가 내장되어 있지 않은 소형트랜스가 내장된 기구에서의 발화는 대부분 소파 틈새에 끼이거나 이불 등에 덮여 단열되어 과열되면 전원코드 절연피복이 손상되어 단락¹⁾이 일어나고 이에 가연성인 전선피복이나 단열재에 착화 화재로 발전한다. 과부하에 의한 경우 대부분 내부 권선이 단락되며 전원이 차단되어 화재로 발



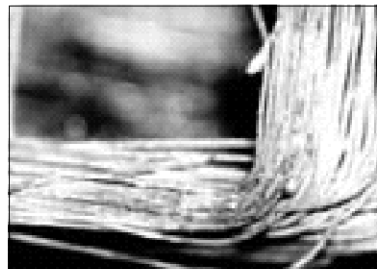
(사진 1)



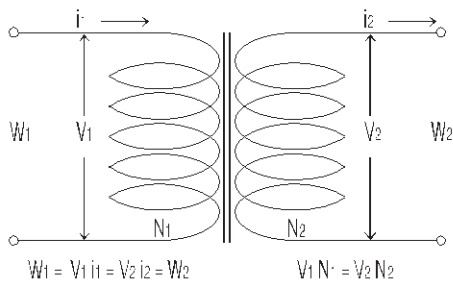
(사진 2)



(사진 3)



(사진 4)



(사진 1) 소형트랜스(어댑터)의 분해형태
(사진 2) 과열된 소형트랜스
(사진 3) 손상된 가정용트랜스
(사진 4) 권선에 나타나 있는 단락흔

1) 절연피복이 손상 단락되어 발화된 전선형태 : 외부에서의 영향으로 절연피복이 먼저 손상되고 절연이 파괴되어 단락이 일어나는 경우로, 피복손상 후 트래킹이 일어나 내부 도체가 국부적으로 과열되고, 과열된 부분이 흑색으로 오염되며, 공기와의 접촉으로 부식형태가 나타남.



결선부분 불완전 접촉으로 단락되어 발화된 형태

전되지 않는다. 따라서 이들의 사용할 때에는 어댑터가 가연물인 이불이나 소파 틈새 등에 끼이지 않게 주의하여야 한다.

공장이나 가정에서 사용하는 강압기 또는 승압기는 대부분 퓨즈와 과전류차단기가 내장되어 있어 과부하에 의한 발화위험은 낮으며, 몸체 내부와 외부에 노출단자가 있어 먼지가 많이 쌓여있는 상태에서 습기가 유입되면 단자간의 트래킹에 의하여 발화하는 예가 많다.

또한 단자연결 부분의 접촉저항 증가로 발열 발화하게 된다. 대용량인 주상변압기 등은 내부에 절연유가 들어있으며, 접지가 불량한 경우 낙뢰나 화재에 의한 부하 측의 합선 등에 의해 과부하가 인가되면 대부분은 내부에 내장된 퓨즈의 용단으로 전원이 차단되어 안전하나 1차측 권선에서 순간과전류에 의한 단락이 일어나 절연유가 가열 기화되며 폭발 화재로 발전하게 된다.

접지가 불량하게 되는 경우는 접지선의 부식, 접지단자의 부식 등에 원인으로 나타나고 있어 수시 접지상태를 확인하여야 한다.

3. 과열된 트랜스 잔해의 특징

트랜스의 과열로 출화된 경우 트랜스 잔해는 비교적 심한 수열형태를 보이게 된다. 수열형태의 비교는 발화된 2구용 형광등의 안정기에서 쉽게 차이를 알 수 있는데 상대적으로 과열된 경우 철심부분이 적색으로 부식된다. 따라서 주변의 동일재질과 비교하여 상대적으로 붉게 산화된 것이 과열된 것이다. 대부분의 경우 과열된 트랜스의 전원코드에서 단락흔이 형성되어 있다. 경우에 따라서 권선에서 층간 또는 선간 단락흔이 형성되어 있다.

소형 소용량의 트랜스는 코드자체가 매우 가늘어

임의 절단되기 쉽고 단락흔 또한 미세하게 나타나므로 세심한 주의가 필요하다. 권선에서 단락흔이 나타나 있지 않고, 권선이 연소되지 않은 상태이며 전원코드에서 단락흔이 형성되어 있는 경우 전원코드의 단락원인을 확인하여야 한다.

일부 권선만 심하게 연소된 경우 과부하가 인가된 경우인데 이는 출력 측 전선에서의 누전회로가 구성되는 경우에 나타난다. 최근에는 3상 전원이 많이 사용되고 있어 권선 중 일부만이 연소된 형태로 나타나는 경우가 많다. 이는 3상중 어느 한 선이 누전되거나 타상과 단락으로 과전류가 인가되기 때문이다.

4. 전기모터에서의 발화

주된 부품으로 이루어진 모터는 그 종류가 수백가지는 족히 될 것이다. 공통된 특징은 코일을 이용하여 전기에너지를 운동에너지로 바꾸는 장치로 되어있으며, 자체저항 또는 유도리액탄스에 의해 발열하게 되어있어 화재와 관련지어 볼 때 냉각시키지 않으면 안된다는 것이다.

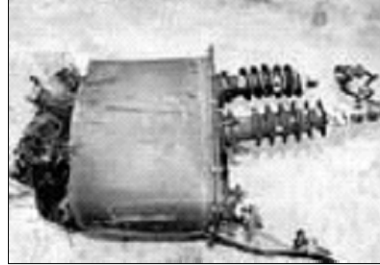
최근의 모터는 대부분 권선 내부에 온도퓨즈를 내장시켜 과열로 발화되는 위험이 현저히 줄어들었는데 온도퓨즈가 내장된 모터의 경우에도 온도퓨즈의 이상으로 발화된다. 모터에서의 과열원인은 과전압 인가, 과부하 인가, 과부하 증대, 콘덴서 열화이며, 이 경우 온도퓨즈 같은 안전장치가 없는 경우 발화 화재로 발전되며, 온도퓨즈와 관계없이 연결배선의 절연손상에 의한 단락이 원인이 되어 발화되는 예도 많다.

가. 과전압 인가

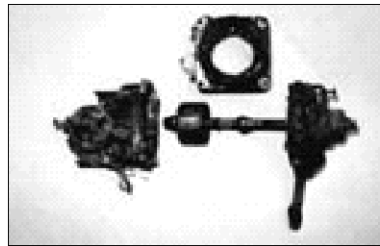
110V용 모터에 220V를 인가하는 경우와 같이 과열보호장치가 없는 모터나 정상적으로 작동하지 않

는 모터에 과전압이 인가되는 경우 단순 과전류에 의한 과열로 출화될 수도 있을 것이나, 대부분 외부 가연물에 착화되기 전에 내부 권선에서 먼저 절연체인 에나멜이 탄화되어 단락이 일어나거나 과전류로 용단되어 전원이 완전 차단 정지상태가 되기 때문에 쉽게 발화되지는 않는다.

간혹 110V용 모터에 220V를 연결시키는 경우 모터보다 전원코드가 먼저 열 손상을 입어 단락이 일어나며 발화하기도 한다. 단상 교류모터에서는 과압이 인가되는 경우 권선 연소형태가 균등한 형태를 보이나 3상과 같은 경우 정상전압을 인가하였어도 3상 중 한 선이 단선되면 남은 권선에 과전압이 인가된 것과 같이 권선 중 과전압이 인가된 권선만 연소되기도 한다. 과전압이 인가되는 경우는 급격히 과열되므로 발화화재로 발전되는 예는 드물다. 과전압 인가로 발화 연소된 모터잔해의 형태는 외부의 수열형태보다 내부의 수열형태가 강하게 나타나며, 권선이 균일한 연소형태를 나타내고 극히 일부 권선에서 미세한 단락형태가 나타난다. 전원코드에서는 피복소실에 의한 단락흔²⁾이 남게 된다. 또한 축수 부분의 발열흔, 단락된 코드에서의 발화특징은 나타나지 않게 된다. 입력 측에서의 과전압 인가인



(사진 5)



(사진 6)

(사진 5) 대용량 변압기의 발화 연소형태
(사진 6) 단자부분에서 발화 연소된 형태

2) 피복소실에 의한 단락흔 : 단순히 전압이 인가되어있는 전선의 절연피복이 소실되어 단락이 일어나는 경우로 정상상태의 코드가 연소되기 쉬운 위치에서 외부 피복이 먼저 연소되므로 연소잔해에서 나타나는 특징은 절연피복이 융착 연소된 형태 없이 깨끗한 상태를 보이며, 부식되지 않은 상태이고 내부 소선이 큰 변형 없이 원래의 형태를 가지고 있다. 이는 발화원인이 된 단락형태 즉 절연피복이 어떤 원인이던 먼저 손상되고 절연이 파괴되어 미세한 단락이 점차 확대 진행되어 단락되어 발화된 형태나 과전류가 흘러 내부 도체가 먼저 고온상태가 되어 외부 절연피복이 손상되며 단락된 형태와는 상이함.



절연피복 소실에 의한 단락흔

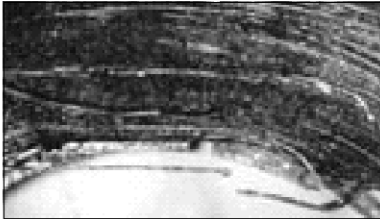
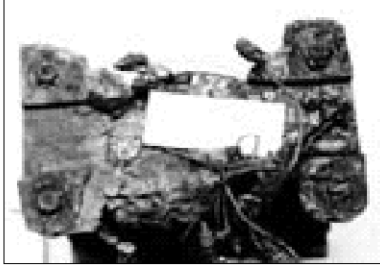
3) 과전류로 단락된 형태 : 전선에 과전류가 인가되면 도체가 먼저 과열 피복이 열 변형되어 절연이 파괴되어 단락되는 경우로 회로를 구성하는 전체 전선의 도체표면이 융착된 절연피복이 탄화되어 검게 착색되며, 단락된 부분은 양선의 접촉개소를 따라 연속적으로 나타남.



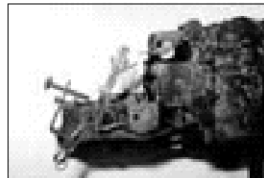
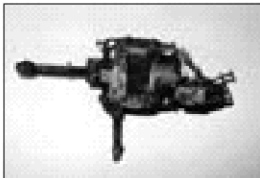
과전류로 양선의 접촉면을 따라 형성된 단락흔



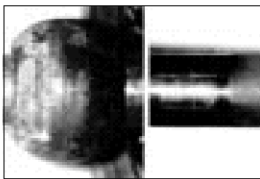
과전류로 형성된 단락흔



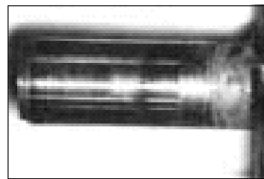
[사진 7]



[사진 8]



[사진 9]



[사진 10]

- [사진 7] 모터 권선의 단락흔
- [사진 8] 내부배선 손상으로 단락 발화된 형태
- [사진 9] 모터 축수의 편향된 마찰흔
- [사진 10] 모터 축수의 마찰흔

경우 전 회로에 과전류가 인가되므로 전원코드에서 과전류에 의한 열변형³⁾ 특징이나 단락형태가 나타나게 된다.

나. 과부하 인가

과부하란 모터의 출력보다 큰 작업기계가 연결되는 것을 말하는 것으로 급격한 발열로 내부 권선이 먼저 열 손상되어 단락이 일어나 정지되고 만다. 그러나 주변에 인화성 물질이 있는 경우 착화 화재로 발전될 수 있다. 처음부터 모터출력보다 큰 작업기계가 연결되는 경우에는 모터구동 직후부터 과열 내부 가연물이 연소되는 현상이 나타나게 되며, 내부 권선의 단락으로 구동이 정지되고 조기 발견되어 화재로 발전되지는 않게 된다.

작업 중 갑자기 작업기계에 이물질이 걸려 회전이 중지되는 경우에는 모터 외부에 착화되기 이전에 내부 권선에서의 단락으로 전원이 차단되어 발화되지 않지만 섬유먼지 등 주변에 착화되기 쉬운 물질이 있는 경우 단락불꽃에 의해 착화 화재로 발전된다. 과부하에 의한 발화의 경우 대부분 내부 권선과 전원선에서 절연피복 소실에 의한 단락흔이 발견된다. 그러나 축수 부분에서의 마찰흔은 남지 않게 된다. 작업기계에 이물질이 감기거나 임펠러(날개)가 파손되는 경우 회전 중 파손된 형태⁴⁾가 남게 될 것이다.

다. 부하 증대

실제의 모터에서의 발화는 정상전압 인가상태에서 회전부하의 증대로 일어난다. 회전부하의 증대란 모터자체의 축수부분 마찰력 증가, 모터출력이 구동

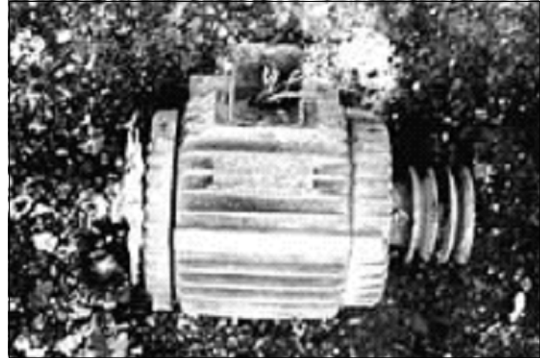
4) 회전중 파손된 형태 : 회전중 구조물이 파손되면 분리된 부분이나 변형된 임펠러가 케이싱 부분에 회전흔적 즉 원주상의 충격흔을 남기게 된다.

시키기에 충분한 작업기계가 연결되어 있으나 작업 기계의 마찰력 증가, 작업물질의 걸림 등에 의하여 정상적인 회전이 일어나지 않게 되는 것으로 과전압 인가나 과부하인가 같이 급속하게 발전하는 것이 아니라 서서히 부하가 늘어나게 되므로 충분히 몸체나 주변의 가연물이 가열된 후에 단락이 일어나 단락불꽃에 의하여 착화 발화되기 쉽다.

(1) 축수 마찰력의 증가

정상상태에서 축수 부분의 마찰계수가 증가하여 모터 회전속도가 줄어 결국 모터가 과열 출화되는 현상으로 대부분 모터에서의 과열발화가 이에 해당한다. 축수 부분의 마찰계수가 증가하는 경우는 장시간의 사용, 즉 노후에 의한 축수 마감재의 부식 손상 등에 의하여 내부 윤활제의 성능 약화로 마찰력이 증가하여 과열에 이르는 경우와 상용은도보다 높은 고온 하에서의 장시간 가동으로 윤활성분의 휘발 건조되어 마찰력이 증가하는 경우이다.

대용량의 모터인 경우 축수 부분에 윤활유를 외부에서 공급하도록 되어 있는데 윤활유 공급이 부족하면 마찰력이 증가하여 과부하가 걸리게 되며, 소용량의 경우 추가로 별도의 윤활유 공급이 필요 없게 윤활유 주입 후 실링으로 봉하거나 수지류로 마찰계수를 줄이도록 되어 있는데 이들의 손상은 마찰력을 증가시켜 과열되는 주원인이 된다. 축수마찰로 과열되는 경우 축수 부분에 터닝컬러가 나타나게 되는데 모터에서의 발화를 가장 확실하게 입증해주는 형태이다. 또한 내부 권선에서 심한 단락 형태가 나타나게 되며, 내부 코드에서도 피복소실에 의한 단락흔이 나타나게 된다. 또한 연소가 진행됨에 따라 전원코드에서도 피복소실에 의한 단락형태가 나타나게 된다.



(사진 11) 모터폴리에서의 마찰발열 발화형태

(2) 연결부하기계의 마찰계수 증가

모터에 연결된 작업기계에서 과부하가 걸려 회전속도가 느려져 과열되는 경우로 모터 자체에서 과열 발화되지만 원인은 연결부하기에 있는 것이다. 이 경우 모터에서는 자체 축수 부분에서 나타나는 터닝컬러는 나타나지 않으나 동력전달 장치부분인 벨트, 기어, 체인 부분에서 미끄럼이 먼저 발생하게 되며 마찰 발열흔이 나타난다. 또한 내부 권선, 내부배선, 전원선에서 피복소실에 의한 단락흔이 나타난다.

(3) 회전체 손상에 의한 과열

선풍기의 날개와 같은 회전체가 변형되거나 일부가 파손되면 회전축에 변동하중이 작용하게 되어 심한 진동을 일으키게 되며, 축수 부분에 편향된 마

찰이 일어나 마모와 함께 발열로 윤활성분이 변질 마찰력을 증가시켜 화재에 이르게 한다. 파손된 회전날개가 원인이 되어 발화된 모터의 축수에서는 한쪽으로 편향된 마찰흔이 남게된다. 이 경우 심한 진동이 전원코드나 내부배선의 접촉부분에서 마찰 손상을 일으켜 단락이 일어나며 발화되기도 한다. 따라서 발화되기 전 심한 소음이 발생하는 등 징후가 나타나게 된다. 환풍기와 같이 벽에 설치하고 전원코드가 몸체에 걸쳐 있거나 고정구로 고정시키는 경우 진동에 의한 전원코드 피복 손상으로 단락이 일어나 발화되는 예가 많다.

(4) 코드손상에 의한 단락 발화

회전식 선풍기나 회전식 벽걸이선풍기와 같이 움직임이 많은 모터에서 종종 피복이 손상되어 단락이 일어나며 발화되는 예가 많다. 내부코드에서 피복손상에 의한 단락으로 발화된 형태가 나타나게 되며, 권선은 연소되지 않거나 연소되었어도 한쪽만 연소되는 형태가 나타난다.

(5) 콘덴서 열화로 발화

시동콘덴서가 내장된 모터에서 콘덴서가 열화되면 콘덴서 자체에서 단락이 일어나며 발화되기도 한다. 이때의 모터 잔해에서는 권선의 단락흔이나 축수의 마찰흔은 나타나지 않으나 콘덴서 연결전선에서 단락흔이 남게 된다.

(6) 단열에 의한 과열 발화

겨울철 펌프에 연결된 모터를 동파방지를 위해 모포 등 가연물로 덮어놓아 과열 발화하게 되는데, 이때의 모터 잔해를 보면 과열된 모터에서는 내부코드와 전원코드에서 단락흔이 남게 되나 권선에서는 단락흔이 나타나지 않는다. 이는 권선의 절연피

복인 에나멜이 연소되기 전에 내부 코드가 먼저 열 손상으로 단락되기 때문이며, 축수에서도 마찰흔은 나타나지 않는다. 이 경우 모터 주변에 덮어놓았던 가연물 잔해로 입증한다.

5. 가동 중인 선풍기나 환풍기가 화재로 재차 연소되는 경우

선풍기나 환풍기가 가동 중에 화염으로 연소되면 날개가 먼저 손상되고 회전이 중지되며 과열되어 발화될 수 있다. 따라서 진화 후 화재현장에서 2개소의 발화형태가 나타나기도 한다. 이러한 경우 2차적으로 날개가 열 손상되어 발화될 수 있음을 감안하여 현장상황을 중심으로 종합적인 판단이 필요하다. 단순히 발화개소가 2개소라 하여 방화로 판정하거나 과열된 모터잔해가 있다고 하여 모터과열에 의한 발화로 판정해서는 안된다.

6. 발화되어 연소된 잔해와 고장상태로 연소된 잔해

간혹 화재현장에서는 고장으로 인해 사용되지 않는 모터가 연소된 후 수거되는 경우가 있다. 실제 모터가 과열되면 대부분 내부 권선이 연소되어 단락이 일어나 사용할 수 없는 고장상태가 되며 발화되어 화재에 이르는 경우는 극히 드물다. 화재현장에 방치되었던 고장난 모터가 연소된 후 수거되면 과열로 출화되었을 때 나타나는 권선, 내부코드, 전원선 등에서의 단락흔, 축수 부분의 마찰흔 등이 남아 있게 되어 간혹 혼동을 줄 수 있다.

과열로 발화되어 연소된 모터는 내부 권선이 균일하게 연소되어 있으며, 내부에서부터 외부로 연소

가 진행된 형태를 나타내고, 철제 부분이 심한 수열 후 산화된 형태인 적색으로 부식된다. 고장상태에서 연소된 모터는 자체 발열이 없는 상태에서 외부로부터 연소되기 때문에 편향된 연소형태를 나타내고 내부 권선은 연소되지 않거나 일부만이 연소되고 철제부분(철심 등)이 적색으로 부식되지 않는다. 따라서 자체과열이 아닌 내부 배선 등에서의 단락으로 발화된 것과 같은 연소형태를 나타내게 된다.

즉 내부 권선에서 단락흔이 나타나 있으며 권선이 균일하게 연소되어 있고 철심이 적색으로 부식되어 있으면 자체 과열로 발화되어 연소된 형태이다. 권선에서 단락흔은 형성되어 있으나 권선이 불균일하게 연소되어 있고 철심부분이 비교적 적색으로 부식되지 않은 것이라면 고장상태에서 연소되었을 수 있기 때문에 충분한 정황의 판단, 즉 설치위치, 사용상태, 운전내력 등의 조사가 함께 이루어져야 한다. 또한 내부배선에서의 단락으로 출화된 경우에는 내부 권선은 이상이 없으나 내부 배선 및 전원코드에서 단락흔이 형성되어 있어 실제 출화된 경우와 고장상태인 선풍기가 연소된 것과 쉽게 구별되지 않는다.

이의 구분은 내부 전선이나 전원코드의 단락부분을 정밀 관찰함으로써 판단할 수 있다. 즉 일반전선과 마찬가지로 모터내부 배선이나 전원코드에서 단락이 일어나며 발화된 경우와 2차적으로 절연피복 소실로 절연이 파괴되어 형성된 단락흔과의 차이로 구분할 수 있다. 전선에서 단락으로 발화되는 경우는 먼저 절연이 기계적이든 열적이든 서서히 파괴되어 도체가 공기중이나 습기에 노출된 상태에서 트래킹이 선행되고 서서히 단락이 확대되어 어느 순간에 착화되게 된다. 또한 그 잔해는 대부분 부식되고 흑색으로 오염되며, 내부 소선이 변형되고 단

락부분 인접부위에 절연손상을 줄만한 요인이 존재하게 된다. 그러나 2차적으로 화염에 의하여 단락이 발생된 경우는 단락부분의 부식 오염이 적고 내부 소선이 변형 없이 단락되며, 특히 사전 절연손상을 줄만한 요인이 전혀 발견되지 않고 쉽게 연소되는 상태나 위치에 단락흔이 형성되게 된다.

7. 맺음말

권선을 포함한 전기제품은 자체가 발열기능을 가지고 있고, 단열, 회전장해, 진동에 의한 절연손상이나 결선부분의 접촉저항 증가 등에 의해 발화될 위험이 높다.

따라서 이러한 전기제품을 사용할 때는 발화 위험성을 감안하여 가연성 먼지가 쌓이지 않게 관리하고 주변에 가연성 물질을 적재해서는 안되며, 수시 점검을 통해 이상유무를 확인하여야 한다. 또한 사용하지 않는 경우 전원을 완전 차단해야 한다. 제작자는 사용 중 발생할 수 있는 단열이나 축수 마찰 계수 증가에 의한 과열 등에 대비하여 온도퓨즈를 내장시키고 절연피복의 난연성을 높일 필요가 있다.

제품의 결함보다는 안전성 결여, 사용자 과실이 과열을 초래하고 나아가 화재로 발전하는 것인데, 최근 들어 현장에서 발견되는 연소된 트랜스나 모터와 같이 권선이 내장된 전기제품에서 발화된 것으로 볼 수 있는 흔적이 남아있는 잔해가 시비의 대상이 되기도 한다. 발화된 것이라 하더라도 일단은 관리자의 부주의에 의한 것이지만 발화된 것이 아니라고 하더라도 PL법의 시행으로 다름의 소지가 있으므로 감정하는 경우 발화여부와 함께 발화에 이르게 된 경위를 분명하게 밝혀 낼 필요가 있다. 🌐