

## 전기화재(Ⅱ)

— 전기화재 원인의 감식 —

元 鍾 洙\*

화재는 여러가지 복합적인 원인에 의해서 발생하는 수가 많으며, 일단 화재를 진압하고 나면 모든 것이 잿더미화한 상태이므로 화재의 직접적인 원인을 가려내기란 극히 어려운 경우가 많다. 그러므로 화재원인을 감식하려면 화재발생 당시의 상황을 주의깊게 조사함과 동시에 과학적인 감식에 단서가 될 만한 자료는 진압 후의 현장에서 조기에 수거해 놓을 필요가 있다. 여기에서는 전기배선이나 금속부에 생기는 녹아있는 흔적(이하 용흔(溶痕)이라 함)을 통한 감식, 통전상태의 감식 등에 대해 알아보기로 한다.

### 1. 용흔의 감식

전기배선이나 금속부에 생긴 용흔의 감식은 전기화재의 원인을 입증하는 데 대단히 중요하다. 여기서는 녹은 흔적을 1차흔적, 2차흔적 및 기타 흔적으로 분류하여 각각에 대한 상위점과 감식에 대해 알아본다.

#### 1.1 1차 용흔

1차용흔이란 화재 이전에 생긴 용흔 또는 화

재의 원인이 된 용흔을 말한다.

전기배선 또는 코드 등이 어떤 물리적인 외력 때문에 피복이 파손되어, 심선끼리 또는 타금속체와 접촉해서 단락상태가 되면 스파크가 나고, 그 부분에 용흔을 남긴다. 이와같이 도체 접촉으로 과대전류가 흐르면, 접촉저항 때문에 급격한 발열현상이 그 부분에 일어나게 된다. 그 때문에 도체 금속이 녹게 되어, 일부는 비산하고 일부는 그 부분에 남아서 망울모양의 용흔을 형성한다. 이때 도체는 국부적으로 높은 열을 받기 때문에 화재시에 열로 녹은 경우와는 다른 양상을 보인다. 그 온도는 대략 2000~3000°C로 되기 때문에 녹은 개소의 조직이 치밀하고 광택을 띠는 것이 보통이다. 또한 연선(燃線)인 경우에도 국부적인 발열때문에 소선의 끝부분에만 용착(溶着)이 생기고 타부분에는 용착이 생기지 않는 것이 보통이다.

이러한 1차흔적이 생긴 후에 화재열 때문에 그 표면이 녹는 경우가 있으며, 2차흔적과 같은 상태를 나타내는 수가 있어 주의할 필요가 있다.

#### 1.2 2차흔적

2차흔적은 통전상태에 있었던 배선이나 화재시의 열로 피복이 소실되어, 이 때문에 심선이 접촉해서 단락을 일으킨 경우에 생기는 용흔이다. 2차흔적은 화재발생 후에 생기는 용흔이기 때

\* 부회장 · 서울대 전기공학과 교수

문에 화재의 온도에 의한 영향이 크다. 목조가옥에서 화재의 최고온도는 약 1300°C 정도이며, 구리의 용점 1083°C 보다도 높다. 따라서 구리가 연화(軟化)된 상태에서 단락하기 때문에 흔적에는 광택이 없고, 구리가 녹아서 형성한 망울이 아래쪽으로 처져있던가 또는 이에 가까운 형상을 보인다. 연선인 경우는 소선이 서로 녹아 붙는 관계로 용해(融解)범위가 넓게 형성되며, 조직이 거칠은 관계로 잘 조사해서 판단하여야 한다.

### 1. 3. 기타흔적

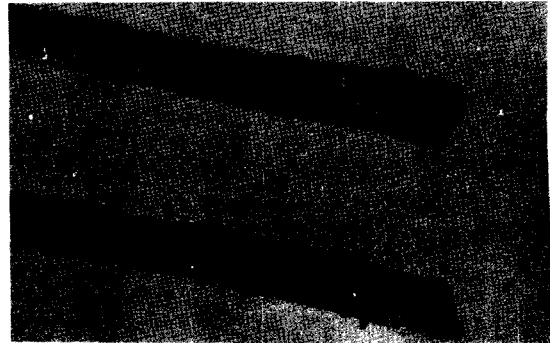
기타흔적이란 전압이 가하여져 있지 아니한 상태에서 화재열만에 의해서 전선이 용단할 때 생긴 흔적을 말한다.

1 차흔적 및 2 차흔적은 용단한 선단이 둥근 기미를 보이는데 반해서 기타의 용흔은 전체적으로 용해범위가 넓고 또한 가늘고 거칠은 절단면을 나타내며, 광택이 없다. 또한 구리가 녹아서 처져있던지, 연선의 경우이면 소선 일부가 녹아 없어져서 가늘게 되고, 조직도 거칠은 양상을 보인다. 따라서 1 차흔적, 2 차흔적 보다는 외관상으로도 판별이 용이하다.

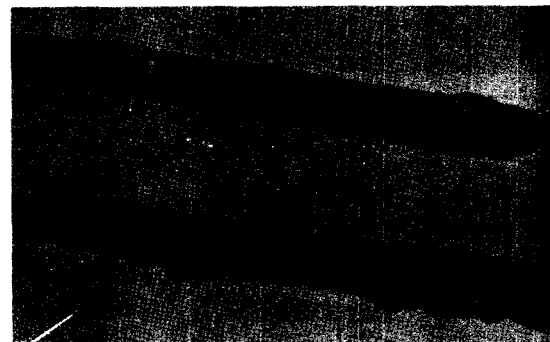
### 1. 1. 4 전선용흔의 외형 예

전기화재와 기타 원인에 의한 화재로 전선이 절단 또는 용단되는 경우 생기는 용흔의 일예를 제시하면 그림 1 과 같다. 이 그림은 100V 전압에서 2.0mm 전선이 전선간의 교차각 0°, 45°, 90°에서 단락하였을 때의 용흔의 외형을 보인 것이다. 그림 2 는 PVC 코오드(30/0.18)를 100V로 단락시킨 경우의 용융양상을 보인 것으로 주목할 점은 단락부가 한덩어리로 뭉쳐있는 점이다.

실험에 의하면 단락시 전선의 접촉상태에 따라 용흔의 모양에 차이가 있으며, 전선이 굵고 전압이 낮으면 용흔상태는 심하고, 망울이 깨끗하며, 교차각이 90°일 때 용흔은 크게 된다고 한다. 또 전선이 굵으면 그 용흔에 굴곡이 심하고 매우 불규칙적인 현상을 지니지만 전선이 가는 경우에는 반구 또는 침상이 된다.



(a)



(b)



(c)

그림 1.



그림 2.

## 2. 통전상태의 감식

전기기기를 발화원으로 인정하는 첫째 조건은 전기기기가 출화전부터 이미 통전상태에 있었다는 사실이다. 이를 조사하려면 먼저 전기기기의 배선도 또는 결선도를 입수하여 회로구성 상태를 파악하고 나서 통전상태에 있었는지의 조사를 부하측에서부터 전원측으로 향해 진행한다. 즉 기기의 전류통로에 접속되어 있는 스위치, 퓨즈, 릴레이 또는 접속기 등 일련의 개폐기구와 보안기구가 ON상태로 되어 있는가 또는 전류를 흘리는 방향으로 작동하고 있는가 하는 사실을 파악해서 판정한다.

### 2.1 배선코드

전기기기에 접속하는 배선코드는 전압인가 상태(전류가 흐르고 있는 상태)에서 타개되면 그때 스파크에 의해서 심선이 단락해서 2차흔적을 남기게 되는 것은 위에서 언급한 바와 같다. 그러므로 배선 또는 코오드에 전기적인 흔적(1차흔적 또는 2차흔적)이 있으면 그 개소까지 통전상태에 있었다는 것은 확실하며, 이 점으로부터 전기기기까지의 사이에 스위치가 없으면, 그 기기는 통전상태에 있었다고 말할 수 있다. 기기에서 전원까지의 배선 또는 코오드의 상태를 조사해 보는 것도 중요하며, 영킨 상태로 발굴된 상태일지라도 잘 펴서 용흔 및 변색상태를 조사해 본다. 이 경우, 용흔이 일부분이고, 변색상태가 부분적으로 달라져 있으면 그 배선이나 코오드는 화재 당시 상당히 길게 잡아 당겨진 상태에 있었다고 볼 수 있다. 다만 전기기기와 전원이 근접해 있고 긴 배선을 잘 정리해서 모아서 사용하고 있는 경우는 예외가 된다.

### 2.2 플러그와 콘센트

화재시에 플러그가 콘센트에 꽂혀 있었는지를 조사해 보는 것도 통전상태를 판단하는데 대단히 중요하다. 콘센트가 플러그에 꽂혀 있었던 경우는 플러그의 접촉편이 콘센트의 날받이와 접촉해 있기 때문에 심한 열로 용착되어 있지 않는 한 카본 등의 부착물이 생기기 어려우므로

접촉부의 도금은 원색을 지니고 있는 것이 보통이다. 그러므로 플러그 접촉편의 변색상태를 식별하려면 손으로 함부로 만지지 말고, 조심해서 물로 잘 씻으면 변색상태로부터 꽂혀 있었는지를 식별할 수가 있다. 또한 플러그가 꽂혀있는 상태에서 화재열을 받으면 콘센트의 날받이는 탄성을 잃게 되므로 원상태로 되돌아 오는 성질을 상실해서 날의 두께만큼 날받이가 벌어진 상태로 된다. 따라서 화재열을 받지 않은 것과 비교해 보면 콘센트에 플러그가 꽂혀 있었는지를 구별할 수 있다.

### 2.3 스위치류

#### 2.3.1 나이프스위치

나이프스위치 개폐여부의 판정은 투입편과 투입편 고정자와의 접촉부의 변색, 투입하였을 때의 투입편과 날받이와의 접촉부분에서의 변색, 날받이의 벌어진 상태 등으로부터 행한다.

투입편과 투입편 고정자와의 물려있는 부분은 타부분보다 깨끗한 상태를 나타내며, 깨끗한 부분과 변색된 부분의 경계선에 해당하는 접촉선이 직각 또는 직각에 가까운 경우에는 투입되어 있었던 것으로, 45° 정도의 각도로 되어 있는 경우에는 열려있었던 것으로 볼 수 있다. 그리고 스위치를 닫았을 때 나이프 투입편이 고정부분인 날받이와 서로 물리는 부분이 타부분보다 깨끗한 경우에는 투입되어 있었던 것으로 볼 수 있다.

#### 2.3.2 배선용 차단기(NFB)

배선용 차단기는 일정전류 이상의 과전류가 흐르면 자동적으로 작동하여, 전로가 차단된다. 따라서 배선용 차단기의 가동편의 위치에 따라 작동상태를 판단할 수 있으며, 회로에서 이상상태의 발생유무를 알 수 있다. 단 배선용 차단기는 수동에 의해서 회로를 열 수 있는 경우가 있으므로 화재가 발생하기 전의 작동상태를 들은 후 화재로 인한 작동인가를 구별할 필요가 있다. 그리고 배선용 차단기 중에는 구조상의 특성으로부터 회로에 과전류가 흘렀을 때 트립하여 가동편이 중립위치에서 머물러 있는 것도

있다. 이것은 트립한 경우에만 중립위치에 서게 되므로 수동에 의한 것이 아님을 알 수 있다.

배선용 차단기가 화재에 의해서 작동한 경우에는 부하측이 단락 또는 과부하가 일어난 것이기 때문에 회로를 살펴, 작동원인과 사고발생 개소를 규명할 필요가 있다.

### 2.3.3 텀블러스위치

텀블러스위치중에는 매입형과 노출형이 있으나 가동편과 고정자는 모두 가연성의 베크라이트이기 때문에 소실되기 쉬우며, 탄화물도 부서지기 쉬우므로 현장보존이 특히 요망된다.

가동편에는 ON-OFF 또는 ●의 표시가 되어 있으므로 소손되었다 하더라도 이 표시는 식별할 수 있는 경우가 많아 개폐여부의 구별이 쉽다. 눈으로 식별키 어려운 경우는 손을 대기전에 물로 씻어내고 식별한다. 그래도 식별이 어려운 경우에는 뚜껑을 열고 접촉편의 접촉상태로부터 판별한다.

## 3. 그라파이트에 의한 통전

목재는 전기의 불량도체이므로 전류를 흘리지 않지만 약 3000℃ 이상의 고온이 되어, 탄화하게 되면 전기를 통하게 하는 수가 있다. 이것은 통상적인 화염을 받으면 불량도체의 무정형탄소(목탄)가 되지만 전기적인 스파크에 의해 생긴 동소체(同素體)의 그라파이트(흑연)가 도체로 되기 때문이다. 실험에 의하면 목재가 탄화해서 그라파이트로 된 곳을 전류가 흘러 국부적인 스파크가 생길때는 목재를 차츰 파들어가는 것처럼 연소해 들어간다고 한다. 이와같이 목재, 플라스틱, 고무 등의 전기절연물이 스파크 때문에 그라파이트화 해서, 도체로 되어 전류가 흐르게 되는 현상을 가네하라-이와사기(金原-岩崎)현상이라 하며, 전기화재 감식에 있어 하나의 요소로 되는 수가 있다.

그 예로서는 베크라이트제 폴스위치라던지 베크라이트제의 전기기구에서 스위치를 열 때 발생하는 스파크가 베크라이트 부분에 닿아 탄화시키면 베크라이트의 탄화물이 도체화해서 스위

치를 열어도 전기가 흐르기 때문이다. 이러한 현상은 양극(兩極)으로 되는 금속부분의 용해상태가 주는 국부과열 때문에 출화한 경우와 흡사하지만 탄화부분에 회로시험기를 가지고 도통 시험을 해서 도통이 되면 그라파이트화한 것으로 판정한다.

그림 3은 베크라이트제 콘센트의 플러그 날받이 부분이 접촉불량으로 심한 열이 발생하여, 그 주위의 수지가 심하게 탄화된 상태를 보인 것이다. 이 경우 과열에 의한 탄화는 수지가 무정형탄소가 되어 비도전성을 가진다.

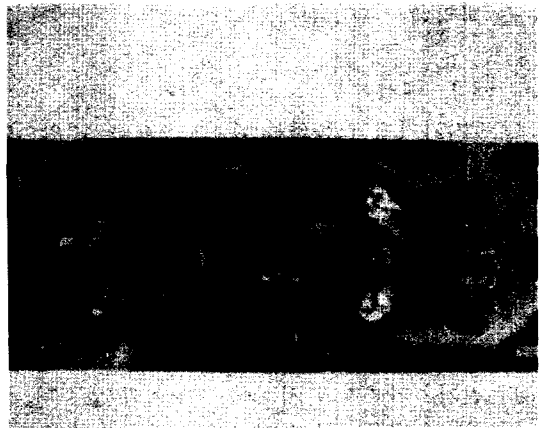


그림 3.

## 4. 도선피복의 변질 또는 변형

전선피복의 변질, 변형이 외부화염에 의한 것인지 아니면 과전류 및 단락 등의 전기적 원인에 의한 것인지를 판단할 수 있으면 전기화재 감식의 참고자료가 될 수 있다. 다음에 전선피복의 변질, 변형 양상 예를 들어본다.

### 4.1 외부화염에 의한 PVC 코오드의 변형 양상

그림 4는 외부화염에 의해 PVC 코오드의 변질된 양상을 보인 것이다. 이 경우 절연물은 외부로부터 탄화되어 그대로 전선에 부착된 채로 남는다.

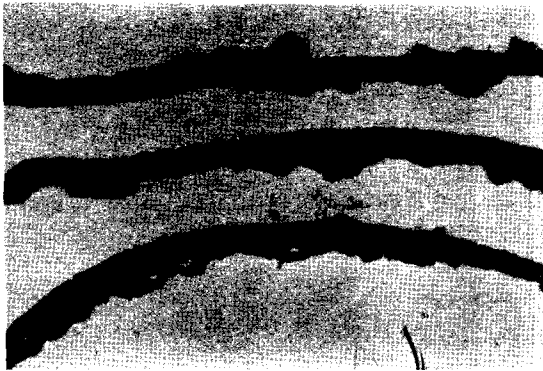
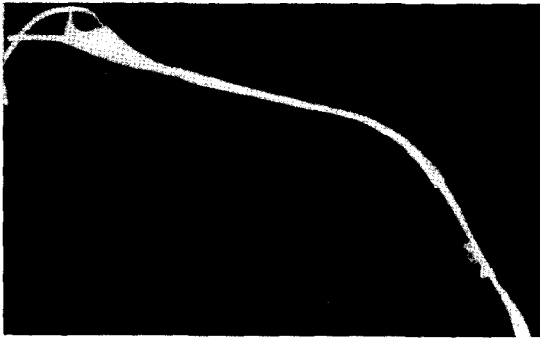
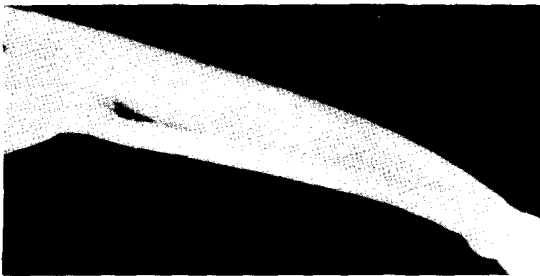


그림 4.

4.2 과전류에 의한 PVC 코오드의 변질양상  
 PVC 코오드에 과전류가 흐르면 전류의 크기, 시간 및 온도에 따라 PVC 코오드의 피복이 변형하는 양상을 관찰할 수 있다. PVC 코오드(30/0.18)에 허용전류의 과전류를 흘렸을 때 1분 30초(98℃)에서 연기가 나며, 2분(106℃)에서 피복이 부풀어 오르면서 연기가 심하게 발생하고, 2분45초(115℃)에서 변색되면서 피복이 녹았고, 4분(123℃)에서 전선사이가 벌어졌고, 5분(128℃)에서 그림 5 (b)와 같이 피복이 흘러내렸다는 실험보고가 있다.



(a)



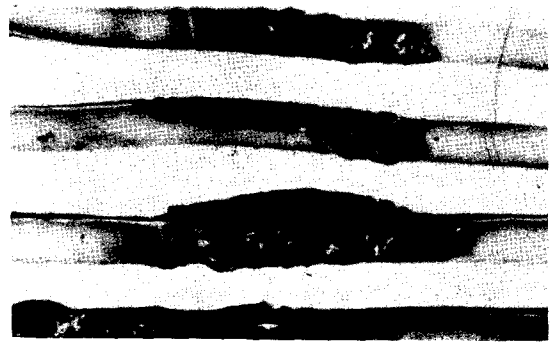
(b)

그림 5.

### 4.3 비닐전선의 변질양상

#### (1) 외부화염에 의한 변질

외부화염에 의한 2.0mm비닐 절연전선의 탄화현상 예를 보이면 그림 6과 같다.



(a)



(b)

그림 6.

약한 화염에 의해서는 절연피복이 그림 6 (a)와 같이 표면에 국부적인 탄화현상이 발생하며, 탄화가 내부로 침투한다. 이때 피복에서 파란 화염이 생기지만 연소되지는 않으며 강력한 화염을 받으면 그림 6 (b)와 같이 절연피복 전체가 흑화되어 전선에 부착되어 있으나 외부충격을 받으면 떨어진다는 실험보고가 있다.

#### (2) 과전류에 의한 변질

과전류에 의해서 생기는 전선피복의 변질양상은 처음에 기포가 생긴 후 전선에서 절연물이 분리된 부분이 많게 되며, 과전류의 크기에 따라 열화되는 시간은 짧아진다.

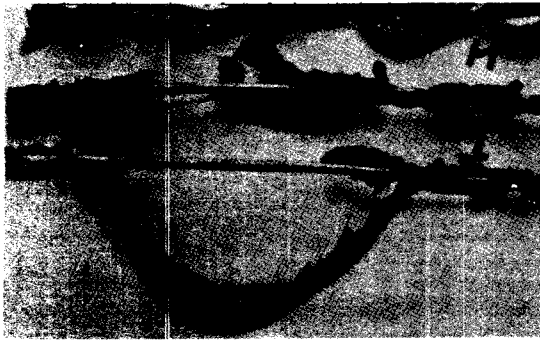


그림 7.

그림 7은 1.6mm 전선에 350%의 과전류를 흘렸을 때의 피복 변질양상을 보인 것이다. 이 경우 통전 40초(80°C)에서 연기가 나고 50초(86°C)에서 부풀고 1분40초(154°C)에서 그림에서 H, I로 표시한 전선과 같이 피복절연물이 완전탈락의 양상을 보였다는 보고가 있다.

이상으로부터 전기에 의한 용흔과 외부화염에 의한 용흔은 그 외형에 차이가 생기는 것을 알

수 있으나 이에 대한 전문적인 감식기술은 많은 실험을 통해 습득하여야 할 것으로 본다. 그러나 전기적인 원인과 외부화염이 겹치게 되는 경우에는 그 식별은 용이치 않으며, 금속현미경으로 구리의 조직을 조사한다면 효과적으로 감식할 수 있으리라 생각하는 바이다. 이에 대해서는 전문적인 서적에 미루기로 한다.

#### 참 고 문 헌

1. 우형주의 2인, 전기화재의 원인 및 감식에 관한 연구, 서울대학교 공과대학 전력연구실, 1967.
2. 우형주의 3인, 220V 승압에 따른 용도별 장소별 안전관리 지침 및 재해감식에 관한 실험적 연구, 한국전기안전공사, 1979.
3. 우형주의 2인, 화재감식에 관한 연구, 한국전기안전공사, 1980.
4. 한국전기안전공사, 전기화재 원인과 대책, 전기안전 Vol. 4. No. 11, 1986.