

**비닐평형코드(VFF)에서의 단락흔 외형 특성에 관한 비교연구**  
The study of external comparison for spark traces on the VFF

**김윤희**

Kim YounHoi

국립과학수사연구원

National Forensic Service

**요 약**

대부분의 전기화재는 전기제품의 전원코드나 확장형 콘센트 등 저압 배선에서 주로 발생한다. 최초발화에 기인한 단락흔(1차 단락흔)의 외형적 판단기준을 제시하고자 발화원인이 규명된 전기화재의 감정사례로부터 비닐평형코드에 형성된 단락흔의 형태학적 비교분석결과 단락흔 자체 형태만으로 1차단락으로 판정하기는 용이하지 않지만 1차 단락흔은 2차 단락흔과 달리 용융방울이 미세하게 형성되고, 흑색으로 착색되는 경향이 있으며, 특히 절연피복의 손상을 줄 수 있는 선행된 원인이 있는 곳에서 만 특징을 나타내는 것을 알 수 있었다.

## 1. 서론

전기화재는 발열과정에서 형성되는 단락흔(스파크흔)으로 입증하게 된다. 단락흔의 형성은 절연파괴나 두 전위차를 갖는 단자사이의 단속(斷續)에서 형성된다. 절연파괴는 여러 가지 원인으로 형성된다. 절연파괴는 내적요인과 외적 요인이 있다. 외적요인은 자체발열이외의 연소화염, 고온물체와의 접촉, 마찰손상, 압축손상, 충격 등 외적요인에 의하여 형성되는 것을 말하며, 내적요인으로는 자체 전기적 발열인 반단선, 과전류, 불완전접촉 발열, 트래킹, 흑연화 현상 등이 있다. 문제는 현장에서 발견되는 단락흔이 발화와 직접적인 관련이 있는가 아니면 2차적인 외적요인에 의하여 형성되었는가 하는 것이다. 이를 구분하기 위한 여러 방법들이 제안되었다. 최근 들어 PL법의 시행과 실화위장 방화가 늘어나고 있어 1차 단락인지 2차 단락인지의 판단이 요구되고 있다. 1차 단락이란 최초 발화와 직접 관련이 있는 단락을 말하며, 2차 단락이란 발화된 후 절연피복의 소실이나 진압과정에서 주수나 붕괴 등에 의한 손상으로 형성되는 것을 말한다. 통상 최초연소부위에는 수개 또는 수십 개의 단락흔이 형성되게 되며, 이로부터 발화부위를 입증하고 단락흔의 감정을 통해 전기화재임을 입증하게 된다. 단락흔의 감정은 외형관찰, 조직검사 등을 통해 이루어진다. 어떠한 방법으로도 단락흔만으로 최초 발화되었다고 단정할 수는 없다. 그러나 형성과정을 유추해 볼 때 몇 가지 형태학적 특성을 가질 수 있다는 것을 알 수 있다.

즉 배선에서의 1차 단락은 절연이 파괴될 수 있는 조건에서 서서히 파괴된 절연으로부터 시작된다. 정상상태에서의 전기배선 선로에서는 단락이 일어날 수 없고 만약 단락이 일어날 수 있는 회로라면 이는 무부하 합선으로 전원투입자체가 불가하기 때문에 직접 발화와 관련된 단락은 모두 절연이 서서히 파괴되며 형성된다. 이 과정을 추정해보면 초기 미소전류의 단락전류에 의한 발열로 도체가 뜨거워지고 이를 보호하고 있는 비닐절연물질이 용융 탄화 될 것이며, 용융 탄화된 물질은 소선사이와 금속표면에 용착될 것이므로 상대적으로 흑색으로 오염될 것이다.

또한 초기 단락은 미세단락으로부터 시작되며, 미세단락은 용융방울이 형성될 만큼 대전류가 흐르는 것이 아니며, 조직이 떨어져 나가는 형태를 나타낸다.

초기단락으로 발화 연소되는 경우라면 화재로 인한 연소과정에서 2차적으로 형성되는 환경과 비교할 때 적어도 단락흔 형성부위가 상대적으로 저온이고 공기 중 산소가

충분한 상태에서 일어나는 것이므로 가연물이 탄화되고 표면연소가 일어날 수 있고(국부적 연소소실상태, 회화형태), 주변의 철 구조물은 충분한 산소 하에서의 수열로 적색으로 산화되는 형태를 보인다. 이와 달리 외부 화염에 의한 절연파괴 환경은 고온, 산소결핍상태가 될 것이므로 가연물의 표면연소가 일어날 수 없는 상태가 되고, 산소결핍에 의한 철재구조물의 수열 산화형태는 흑색으로 서 초기 연소부위의 철재와는 달리 부식되게 될 것이다. 이를 근거로 단일회로에 형성된 수 개의 단락흔의 비교 검토하여 외형적 특성을 찾아 내고자 하였다. 단일회로에 형성된 수개의 단락흔 중 제일 먼저 형성된 것은 가장 부하측의 단락흔이 될 것이나 멀티콘센트와 같이 여러 개의 부하기기가 연결되는 경우 어느 단락흔이 1차 단락흔 인지는 외형적 특성과 절연피복 손상원인을 찾아 입증하여야 한다.

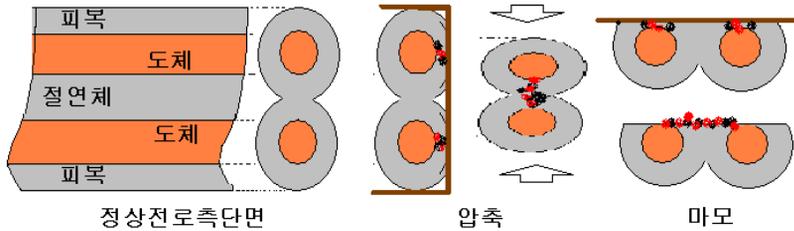


그림 1. 비닐평형코드에서의 절연파괴

## 2. 감정사례의 검토

### 2-1. 고온물체접촉 손상으로 단락 발화된 예

전기히터에서 발화 연소된 경우로 전기히터(그림2)에서 과열된 수열형태와 케이스에서 단락흔(그림3, 4)이 형성되어있으나 내부 배선(그림5, 6)은 석면코드로 배선되어있고 단락흔 등 특이점이 식별되지 않았다. 구조상 불연재로 되어 있는 히터내부에서 단락 등에 의하여 착화되고 외부로 연소가 확대될 수 없기 때문에 이는 과열로 뜨거워진 몸체에 전원코드가 접촉되어 고온물체의 접촉에 의한 절연피복 손상으로 단락되는 순간 코드부분에 착화 연소가 확대된 것으로 볼 수 있다. 전원코드에서 5개소의 단락흔이 나타나 있는데 이중 그림4와 그림7 및 그림8, 9는 한 개소의 단락흔으로 이들 만

이 1차 단락흔 이며, 그림10의 단락흔인 그림11, 12, 13은 2차 단락흔이 될 것인바 이들의 형태를 비교하면 2차적으로 형성된 단락흔은 소선의 형태가 원형을 유지하고 용융방울이 비교적 크게 맺히는 것을 알 수 있다.



그림 2



그림 3



그림 4



그림 5



그림 6



그림 7



그림 8



그림 9



그림 10



그림 11



그림 12



그림 13

## 2-2. 판단 불가한 단락흔

제시된 멀티콘센트(그림15,16)의 전원코드에는 그림17과 그림18~20에서 단락흔이 형성되어 있다. 부하측의 단락흔은 마치 쥐가 나무토막을 갈가 먹은 형태(그림19)를 이루고 있으며, 전원측은 용융방울이 작고 소선이 변형된 상태이며, 양 단락흔 간격은 4 cm 정도에 불과하다. 두 단락흔에서 먼저 형성된 것이 부하측인 것은 분명하지만 절연피복이 손상되었다고 판단할 아무런 근거가 없어 1차 단락흔 인지 여부의 판단은 불가하다.

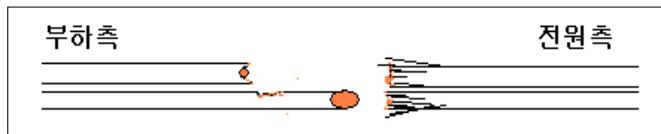


그림 14



그림 15

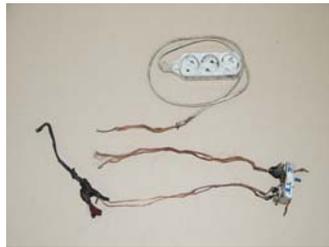


그림 16

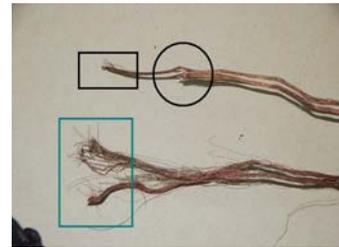


그림 17



그림 18



그림 19



그림 20

### 2-3. 전도열에 의한 코드손상 단락 착화 예

전기장판 전원코드(그림21)로 플러그와 콘센트간의 접속개소인 플러그(그림22)의 단자(그림25, 26)에서 접촉불량으로 발열되고 전도열에 의하여 플러그 코드 절연피복이 손상되며 단락(그림24)이 일어나 착화된 것으로 볼 수 있다. 단락흔의 형태가 두 도체가 평형상태로 접촉되어 단락이 진행된 형태를 보이며, 접촉불량에 의한 단락흔(그림 26)이 화재 등 2차적으로 형성될 수 없고 접촉불량 개소가 직접 연소되지 않은 것으로 보아 그림23이 1차 단락흔으로 볼 수 있는데 용융흔 부위에 피복의 탄화물이 삽입되어있는 것을 알 수 있다. 이는 반단선과 구분된다.



그림 21



그림 22

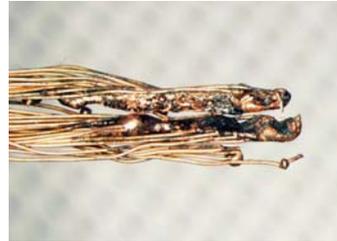


그림 23



그림 24



그림 25



그림 26

### 2-4. 압축손상으로 발화된 예(1)

확장형 멀티콘센트(그림27)에는 전원코드(그림28)에는 소선의 심한 변형형태(그림 29~ 32)와 단락흔 부위에서 피복의 탄화물이 삽입되어있는 것으로 보아 압축손상을 입은 1차 단락흔으로 볼 수 있는 형태이다.

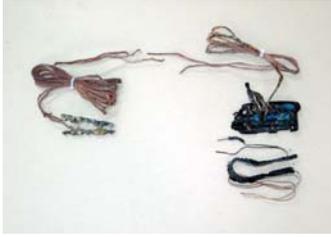


그림 27

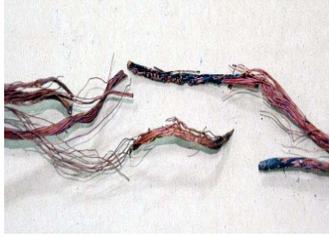


그림 28



그림 29



그림 30



그림 31



그림 32

## 2-5. 압축손상으로 발화된 예(2)

그림33은 제시된 멀티콘센트로 그림34와 그림35는 연소되지 않았지만 압축 손상된 부위의 전후면 형태이고 그림35는 X-Ray 사진으로 실제 발화원으로 작용한 1차 단락 혼은 부하측인 그림37과 38로 볼 수 있다.

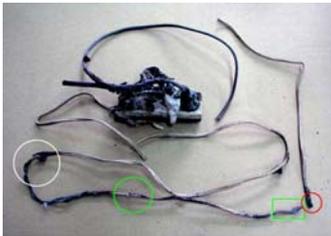


그림 33



그림 34



그림 35



그림 36

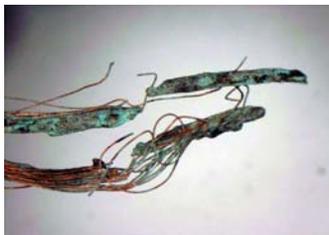


그림 37



그림 38

## 2-6. 마찰손상에 의한 피복손상 단락발화 예

그림39는 현장의 설치상태, 그림40은 현장의 고정구 형태, 그림41은 수거 정리한 형태이다. 그림42 및 그림43~35는 단락흔의 형태이다. 그림41에서 ㉠㉡간의 거리는 약 30 cm로 늘어진 전선의 전선고정구와의 사이에서 ㉠㉡처럼 단락이 형성되어 있으나 ㉡부분의 단락흔은 그림48과 같이 한쪽 표면으로 단락이 형성되어 있고 부식상태로 보아 ㉠㉡에 앞서 형성된 것으로 볼 수 있다. 따라서 최초 착화원으로 볼 수 있는 단락흔은 ㉡부분 단락으로 볼 수 있다.



그림 39

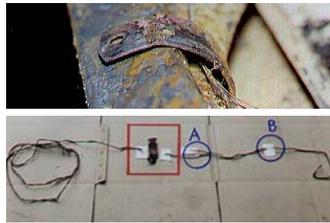


그림 40, 41

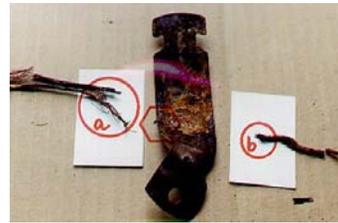


그림 42



그림 43



그림 44



그림 45



그림 46



그림 47

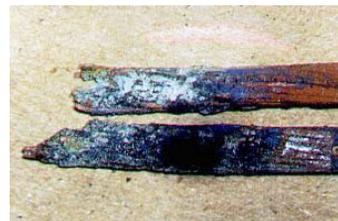


그림 48

## 2-7. 반단선에 의한 단락으로 발화된 예.

제시된 선풍기와 연결된 확장형코트 연소 잔해(그림49,50)에서 식별되는 단락흔은

무려 23개소인데, 이들 중 직접 발화와 관련된 단락흔은 결국 한 개 일 것이다. 특히 권선 수 개소에서 단락흔(그림77, 78)이 식별되는 것으로 보아 모터과열은 자명하지만 선풍기 축수부에서 과열을 증명할 수 있는 터닝칼라가 나타나 있지 않아 모터 과열 원인에 대한 구체적 논단할 수 없었다. 모터과열은 회전 장애를 받으면 발생할 수 있는 것으로, 가동 중인 선풍기의 날개가 연소되며 구속되는 경우에도 일어날 수 있다. 따라서 다른 각도에서 검토가 필요한 바 3구 멀티콘센트의 중앙에 삽입되어있던 하나만 수거된 플러그 단자의 연결코드 단락흔 ㉔(그림76)을 1차 반단선에 의한 단락으로 발화된 것으로 보아야 할 것이다.



그림 46



그림 47



그림 48



그림 49

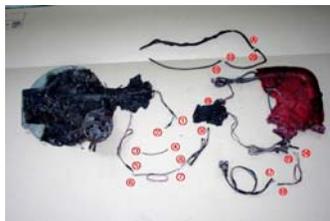


그림 50

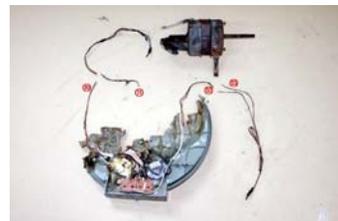


그림 51



그림 52



그림 53



그림 54



그림 55



그림 56



그림 57



그림 58



그림 59



그림 60



그림 61



그림 62



그림 63



그림 64



그림 65



그림 66



그림 67



그림 68



그림 69



그림 70



그림 71



그림 72



그림 73



그림 74



그림 75



그림 76



그림 77



그림 78

### 3. 결론

단일회로의 비닐평형코드에 형성된 수개의 단락흔 중에서 착화원으로 작용한 단락흔의 형태학적 구별은 용이하지 않지만 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 1차 단락흔은 2차 단락흔에 비하여

- ① 용융방울 형태가 작고 접촉소선을 따라 형성된다.
- ② 용융부위에 피복의 탄화물이 흡착된다.
- ③ 소선의 변형상태가 심하다.
- ④ 부식상태가 심하다.
- ⑤ 특히 조사시점이 화재 후 오래 지나거나 심한 연소로 2차적 변형이 오는 경우 판단이 어렵다.
- ⑥ 가능한 한 조기에 입장 현장의 배선상태를 재구성하여 절연피복 손상요인이 있을 때 결정하여야 한다는 것을 알 수 있었다.

### 참고문헌

- [1] 최충석외, “전기화재공학”, 216-225p, 2004, 동화기술
- [2] 김윤희외, “화재조사실무Ⅱ”, 118p~126, 2006, 성안당