

# 발화원의 감정(V)

- 전기배선 및 배선기구 -

## 1. 전기배선화재

화재원인 중 가장 많은 비중을 차지하고 있는 것이 전기화재이며, 일반적으로 알려져 있는 사항으로는 전기배선에서의 합선이나 누전에 의한 화재로 알려져 있다. 그러나 이것은 잘못된 것이다. 사실은 전기배선에서의 화재는 거의 발견되지 않고 있으며, 발견되더라도 나타나는 현상은 합선이나 누전흔적으로 나타나지만 발생현상은 합선이나 누전이 아니고 트래킹으로 보아야 하며, 발화원인은 절연피복이 손실된 원인에서 찾아야 한다.

### 가. 전선

전선은 내부가 도체로 되어 있고 외부에 절연피복으로 포장되어 있는 것으로 2심, 3심 또는 여러 선이 합쳐져 있는 케이블이 있으며, 이들은 모두 전류가 흐르는 통로이고, 다른 회선과 접촉되거나 손상방지를 위해 절연피복으로 싸여있다. 용도가 전류를 안전하게 흐르게 하는 것이므로 이를 위하여 규격화하고 손상방지를 위하여 사용처에 따라 절연피복의 전기적, 화학



김 윤 회  
국립과학수사연구소  
물리분석과장

적, 물리적 성질이 다르게 마련이다. 즉 고온 하에서는 난연성 절연피복이나 불연성 절연피복을 사용하여야 할 것이며, 해수와 같이 염분이 많은 지역은 내 화학성 피복이 사용되어야 한다.

내부에 들어가는 도체 또한 용도에 따라 다르지만 공통적 특징은 자체 비저항이 적은 작업성이 좋은 저렴한 재질을 쓰게 되어 있으며, 가장 효과적인 것이 동선이다. 이들 도체는 저항이 '0'이 아니므로 전류가 흐르면 주울열을 발생시키며, 발생하는 열에 의하여 절연피복 재질이 손상되어서는 안된다. 따라서 각각 적정한 한계를 규정하고 있는데 이를 허용전류라 한다.

### 나. 허용전류

전선에 전류를 흘려보내면 자체 저항에 의하여 온도가 올라가 연화되거나 더욱더 올라가 용융되거나 탄화되면 안되므로, 결국 전선의 허용전류는 절연피복의 열적 성질을 기준으로 하여 정하게 된다. 일반적으로 허용전류는 절연피복이 손상되지 않는 온도를 기준으로 설정하는데, 비닐절연피복인 경우 비닐피복은 90℃에서 연화되기 시작하며 120℃에서 용융되므로, 만약 이를 이용한 전선 비닐절연피복인 경우 어떠한 경우라도 90℃ 이상이 되면 사용할 수 없게 된다.

온도란 발열량과 방열량이 평형상태가 되는 상태이므로 이를 적정하게 사용하기 위해 실온에서 통전시켜 절연피복의 표면온도가 60℃가 될 때의 통전전류를 허용전류로 하는 것이 일반적이다. 이는 여름철 외기가 약 30℃가 되기 때문이다.

방열량은 구조 형상 및 통풍관계 등 환경의 지배를 받게 되므로 단선일 때와 복선일 때, 또는 케이블일 때에 따라 다르게 되며, 배선방식에 따라 다르게 마련이다. 즉 비닐관 속에 배선하는 경우, 금속파이프 속에 배선하는 경우, 배관이 외부노출이나 목재벽 속이나, 콘크리트벽 속이나에 따라 다르게 될 것이다. 이들을 각각 규정하기는 불가하므로 일반적으로 <표 1>로 제시하고 있다.

<표 1>에서 보는 바와 같이 허용전류는 상황에 따라 달라지며, 방열조건에 따라서도 크게 달라진다. 화재원인과 관련하여 전선의 허용전류가 종종 문제가 되는 경우가 있으나 이는 설비상의 문제이며 허용전류 자체가 발화원인 규명에 적용되는 것은 아니다.

<표 1> 금속관 내 600V 고무전선 및 600V 비닐전선의 허용전류

도체 사이즈 [mm]	허용전류[A]			
	동일관내 전선 수			
	3선 이하	4선	5~6선	7~10선
0.8	9	8	7	6
1.0	11	10	9	8
1.2	13	12	10	9
1.6	19	17	15	13
2.0	24	22	19	17
2.6	33	30	27	23
3.2	43	39	35	30
4.0	57	51	45	40
5.0	75	67	60	52

### 다. 과전류

일반적으로 허용전류보다 많은 전류가 흐르는 것을 과전류라 칭하나 정확한 의미는 설치상태에서 절연피복이 손상될 수 있는 전류가 흐르는 것을 말한다. 즉 표시상(규격상) 허용전류가 20[A]라 하더라도 설치위치의 온도가 상당히 높은 조건이라면 이보다 훨씬 낮은 전류값에서도 과전류 현상, 즉 절연피복이 자체 발열에 의해 손상될 수 있는 것이므로 과전류에 의한 절연피복 손상을 논할 때는 통전량과 방열조건(또는 축열조건)을 고려하여야 한다. 간혹 부하용량에 비하여 규격상 충분한 허용전류를 갖는 전선을 사용하였다 하더라도(일반적으로 4~5배 이상의 허용전류를 갖는 전선이 사용됨) 일부 또는 국부적으로 과열되는 현상이 일어날 수 있다.

예로 난방배관과 접촉된 또는 인접한 설비에서 단순히 난방배관의 온도만으로는 절연피복이 손상되지 않지만 통전에 의한 발열로 절연피복이 손상되면 이 또한 과전류에 의한 현상으로 보아야 할 것이며, 전기장판 코드가 장판 밑에 깔리게 되면 자체 발열, 즉 컨트롤러로 설정한 온도가 절연피복 손상온도 이하가 되더라도

도 전원코드에 흐르는 전류에 의한 자체 발열로 절연 피복이 손상되었다면 이 또한 과전류 현상으로 보아야 할 것이다. 왜냐하면 전선에서의 발화과정은 절연손상(파괴) → 트래킹 → 국부적 발열 또는 단락 → 착화의 과정을 거치게 되어 결국 발화원인은 절연손상원인을 규명하여야 하는데 이의 소스가 전류이므로 과전류 현상으로 보아야 할 것이다.

## 라. 반단선

전선의 내부 도체는 연선(소선 수 가닥이 모여 하나의 도체를 구성)으로 되어있는 것이 대부분이다. 이들은 작업성이 용이하고 연성이 양호하지만 사용 중 반복되는 굽힘 등에 의하여 내부 소선 일부가 단선되는 경우가 생긴다. 일부가 단선되어 남아있는 소선이 결국 단면적 감소를 가져와 국부적 발열을 한다. 결국 이는 단면적 감소에 의한 국부적 발열현상으로 과전류와 같이 자체 발열에 의하여 절연피복을 손상시키므로 과전류와 같은 작용을 하게 된다.

[그림 1]



[그림 1] 반단선된 코드소선의 변형 형태

[그림 2]



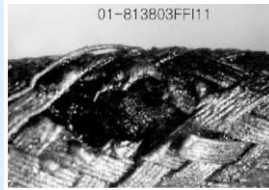
[그림 2] 반단선에 의해 발화된 것으로 추정되는 단락흔 형태

[그림 3]



[그림 3] 보일러 연료호스 위에 접촉된 전선의 진동마찰로 절연 피복이 손상된 형태

[그림 4]



[그림 4] 연료호스로 형성된 단락흔

## 2. 절연피복의 손상

전기화재 중 전기배선에서의 화재는 결국 절연피복의 손상으로부터 시작된다. 절연피복이 손상되는 원인은 기계적 손상, 열적 손상, 화학적 손상이 있다.

### 가. 절연피복의 기계적 손상

절연피복의 기계적 손상이란 마찰, 압축, 설취류 등 동물에 의한 손상이 있다.

#### (1) 마찰손상

배선이 접촉된 부분에서 마찰이 일어나 피복이 깎여 나가는 경우로 늘어진 부분이 콘크리트구조물과 접촉되어있는 상태에서 바람에 의하여 접촉 부분에서 피복이 마찰되어 벗겨지는 형태이다.

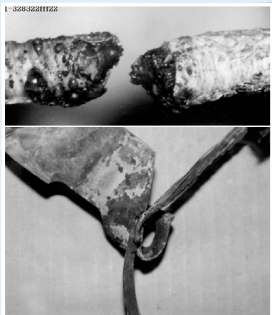
내부 도체가 대부분 동으로 되어있어 마찰로 벗겨진 부분이 녹색으로 부식이 되며, 인접한 선과 접촉되면 부식된 부분에서 단락흔이 형성되고 금속에 의하여 마찰이 일어나면 누전화재로 발전한다.

마찰이 주로 일어나는 부분은 진동이 있는 건물에서의 고정구 부분이나 차량배선, 전동기, 전원선 등이 진동체와 접촉되어 있으면 서서히 진행된 마찰손상으로 피복이 손상되고 결국 단락 직전에 트래킹이 선행되어 발열, 발화되거나 이로 인한 절연의 완전 파괴시 발생되는 단락불꽃에 의해 착화된다. 단순히 순간적인 절연 파괴, 즉 활선상태에서 공구에 의하여 찍힌다거나 절단되는 경우 순간적인 단락은 전선폭발현상을 일으켜 단선되며, 주변에 이연성 가연물이 없는 경우 착화되지 않는다.

### (2) 설취류 등에 의한 절연손상

주방에 배선된 전선에 음식물 찌꺼기가 말라붙어 있는 경우 쥐가 갈아 먹거나 축사에 배선된 전선표면에 사료분진이 늘어 붙어 있으면 이를 먹고 기생하는 곤충에 의하여 전선이 손상되기도 한다. 남아있는 전선 피복에 이빨자국이 남거나 벌레가 먹는 경우에는 작은 구멍이 형성되는데, 이 부분은 장시간 공기와 노출되어 부식형태를 나타내고, 완전 소실된 경우에도 동선에서 구멍 형태의 미세한 부식흔이 관찰되기도 한다.

[그림 5]



[그림 5] 자동차 내부배선의 마찰손상으로 절연 파괴되며 형성된 단락흔

### (3) 압축손상

전선을 ‘ㄷ’ 자형 못으로 벽에 고정시킬 때 너무 세

게 박아 전선이 압축되게 되면 전기를 사용하거나 여름철 고온일 때, 못에 눌린 부분이 내부 동선과 근접되어 트래킹이 일어나고 이것이 발전하여 단락 발화하게 된다. 가건물에 배선용 비닐파이프를 사용하여 모서리 외측 부분에 배선하는 경우, 겨울철 온도강하에 의한 수축으로 꺾임 부분에서 압축응력을 받게 되어 파이프가 손상되고 나아가 내부 전선까지 손상을 일으키게 된다. 또한 바닥에 배선된 전선을 고정시키기 위하여 책상 다리 부분으로 눌러 놓는다거나 사용 중 눌러지게 되면 압축 손상을 가져오게 되며, 가정에서 사용되는 가전제품의 전원선이 제품 몸체에 의하여 눌러지는 경우에도 쉽게 압축손상을 가져와 발화하게 된다.

텔레비전, 전기밥솥 등 어느 정도 무게가 나가는 제품의 전원코드가 제품 자체에 눌러지게 되면 제품에서 발생하는 열과 압축된 부분에서의 축열에 의하여 쉽게 손상된다. 전동구 작업 중 전원선이 작업물체에 의하여 눌러진 것을 모르고 작업하다가 눌러진 부분에서 단락이 발생, 감전사고가 일어나기도 하고 나아가 화재로 발전하기도 한다.

[그림 6]



[그림 6] 설치 불량으로 인장력에 의하여 압축 손상되며 형성된 단락흔

[그림 7]



[그림 7] 조립식 케이스에 끼어 압축 손상된 형태

## 나. 열적손상

절연피복은 대부분 가연성이므로 열을 받으면 녹아 합선을 유발하거나 탄화·흑연화되어 합선이 일어난다. 물론 화재로 인한 화염으로도 단락이 발생한다. 화염에 직접 노출되는 경우가 아닌 일반적인 열에 의한 손상은 과전류 손상, 고온물체와의 접촉에 의한 손상, 불완전 접촉에 의한 발열로 손상을 입는 경우이다.

### (1) 과전류 손상

전선에 전류가 흐르면 자연히 발열되고 이로 인해 자체 온도가 상승하는데, 이때 상승하는 온도가 절연피복을 손상시킬 수 있는 온도가 되면 합선이 일어난다. 발화원인 조사와 관련하여 발생하는 과전류에 의한 손상은 대부분 전선의 표시상 또는 규격상 허용전류보다 많은 과전류에 의해 발생하는 것이 아니라 대부분 허용전류보다 매우 작은 전류에서 방열차단 또는 축열상태, 고온에서의 사용으로 발생된다. 반단선 같은 경우는 국부적으로 과전류에 의한 발열현상으로 보아야 할 것이다.

### (2) 고온물체와의 접촉 손상

전선과 고온물체가 접촉되는 경우 일어나는 현상으로, 배선할 때에는 주변환경을 고려하여 난연성 또는 불연성 절연피복의 전선을 사용해야 하지만 종종 일반 전선을 고온조건이 형성될 수 있는 장소에 배선하여 일어난다.

[그림 8]



[그림 8] 고온의 호스에 접촉 단락된 형태

자동차에 사용되는 전선은 난연성 전선을 사용하여야 하는데 일반인들이 임의로 일반전선을 사용하는 경우가 있다. 이러한 경우 여름철 차량내부 온도가 높아 지거나, 심지어 엔진실 내부에 일반전선을 이용 배선하여 발화된 예가 있다.

주변에 고온물체가 있는 줄 모르고 배선하여 발화된 예로 가정집에서 난방배관이 지나가는 것을 모르고 그 위에 코드를 배선하여 발화하거나, 가정용정수기 내부 배선에서 발화되는 예가 있다. 냉온수기에는 발열체인 히터와 컴프레서 모터가 내장되어 있어 이와 직접전선이 접촉되어 발화하기도 하며, 사우나탕의 고온파이프와 전선이 접촉되는 경우, 용접작업 중 고온상태인 금속과 용접기의 전원선이 접촉되거나 고온의 마찰열이 발생하는 그라인더와 같은 전동구의 전원선이 고온인 작업물체에 접촉되어 손상을 입기도 한다.

가정에서도 전원코드는 난연성인 커피포트를 일반 전원리드선(멀티콘센트)에 연결 사용 중 리드선이 커피포트 몸체에 접촉된 것을 모르고 방치하여 절연피복이 손상되기도 한다. 고온물체와 직접 접촉되어 일순간에 절연이 파괴되면 순간적으로 단락이 발생하여 착화하는데, 이는 단순 합선형태이나 단순 일시적인 합선현상보다는 착화 발화하는 예가 많다. 이는 절연피복이 이미 고온이 된 상태에서 단락이 일어나므로 착화가 용이하기 때문으로 생각된다.

형광등에서의 발화는 글로우 스타터의 용착, 내장된 전류보상콘덴서의 단락, 형광램프의 노후 등으로 인해 점등되지 않아 안정기가 과열되고 이로 인해 철재케이스가 뜨거워지면 이에 접촉된 내부배선의 절연피복이 손상되고 단락이 발생한다. 이때 발생하는 단락불꽃에 의하여 내부 먼지나 자체 절연피복에 착화 화재로 발전하는 것이 일반적이다.



### (3) 불완전 접촉 발열에 의한 손상

전기배선은 연결부가 있게 마련이며, 연결부에서는 접촉저항이 존재하여 배선보다 발열이 높은 상태가 되기 쉽다. 필자의 경험상 실제 전기화재의 대부분은 연결 부분에서의 불완전 접촉 발열에 기인하고 있다. 연결 부분에서의 불완전 접촉은 발열을 수반하고 이때 발생된 열은 도체를 따라 전도되어 절연피복을 손상시키고 단락을 유발하며, 단락시 발생하는 불꽃에 의하여 착화 발화된 것으로 본다.

[그림 9]



[그림 9] 고정구 부식 등에 의한 절연 파괴로 형성된 단락흔

### (4) 화학적 손상

전선피복이 화학물질과 접촉되어 손상되는 경우는 흔하지 않지만 화학공장에서 발생할 소지가 있다. 일반가정에서 발생하는 경우는 흔하지 않지만 화장실, 축사 등에 배선된 전선을 철제고정구로 고정시켜 못이나 나يل이 심하게 부식되고 습기를 머금은 부식된 철이 비닐피복과 장시간 접촉되어있으면 절연피복이 경화되고 절연성능이 떨어져 합선이 발생한다.

## 3. 전선의 감정

전선 자체만으로 전선에서의 전기적 발열을 입증하는 것은 용이하지 않다. 왜냐하면 전선의 절연피복이 손상되고 단락이 일어났다하여 무조건 화재로 발전하는 것이 아니며, 2차적으로 연소되면 수 개소에서 단락

이 발생되기 때문이다. 또한 단락은 용흔으로 나타나며, 용흔 자체가 전기적 발열인지 화염에 의하여 용융된 것인지의 구분 또한 이견이 많다.

화재란 2차적으로 심한 수열을 받기 마련이므로 전기적 발열로 발생된 용흔, 즉 단락흔이 재차 화염에 노출된다. 단락흔이 어느 정도 수열을 적게 받아 단락시의 원형을 유지하고 있다 하더라도 이의 분석적이나 금속조직학적 해석은 위험이 있다. 더욱이 발화에 직접 관여한 단락인지, 아니면 2차적으로 화염에 의하여 절연피복이 손상되며 발생된 단락인지의 판단은 전선 자체만의 감정으로 판단하는 것은 무리가 있다. 왜냐하면 회로상의 어느 한 부분에서 단락이 일어나 합선되면 합선된 부분을 통한 전 회로에는 과전류가 흐르게 되고 이로 인해 동 회로상의 저항이 큰 지점에서 재차 과전류에 의한 단락이 일어나 발화될 수가 있다. 또한 실제 전선이 합선되면 전원측으로 수 개의 단락이 발생하며 착화되어 가는 것을 볼 수 있고 각각의 단락흔은 결국 독립적으로 발화점이 되기 때문이다. 이 경우 발화점이 수 cm에서 수십 m가 되기도 한다. 따라서 전선 자체에서의 발화점 여부 감정은 현장 상황을 고려한 종합적 판단이 요구된다.

### 가. 전기적 용흔과 화염에 의한 용융형태

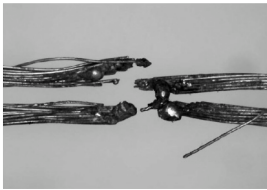
#### (1) 단락흔

전기스파크는 전기에너지가 고밀도의 열에너지를 발생하는 것이다. 고밀도의 에너지는 국부적으로 고온을 형성하며, 이로 인해 국부적인 부분의 금속을 용융시키는 것이다. 순간적으로 고밀도의 열에너지가 형성되고 국부적으로 고온을 형성시키는 경우가 전기단락과 알루미늄, 폭약 등과 같은 고발열체의 연소반응이며, 이로 형성된 형태는 국부적으로 용융되고 인접한 금속조직을 변형시키지 못하기 때문에 외관상 용융되

었다 굳은 부분과 용융되지 않은 부분의 경계가 뚜렷하게 구분되는 특징이 있다.

그러나 경계가 분명하게 나타나는 예외인 경우가 있는데, 전기용접이나 산소용접흔적, 알루미늄 연소흔적, 폭약에 의한 용융흔적 등이다. 이들 용융흔적은 전기단락에 의한 용융흔적보다 크기가 상대적으로 크게 나타나며, 용융부분에서 이질금속이 검출된다. 즉 알루미늄 연소흔적은 용융된 표면에 희게 알루미늄이 응착되어 있고 화폭약인 경우 미세한 용융흔이나 대부분 충돌형태를 남기고 잔사가 검출된다. 전기화재와 관련하여 문제가 되는 전기단락흔은 크기가 매우 적거나 크다 하더라도 도체 사이즈 이상의 크기가 되지는 않는다.

[그림 10]



[그림 10] 전기단락으로 형성된 용흔

[그림 11]



[그림 11] 화염에 의한 용융형태

## (2) 화염에 의한 용융형태

구리가 용융되기 위해서는 1,085℃ 이상이 되어야 하며, 고온 속에 구리가 놓여져 용융되기 위해서는 연결된 금속 전체가 고온 가까이까지 상승해야 한다. 전기단락과 같이 고밀도 에너지에 의한 국부적 고온 형태를 만들 수 없기 때문에 용융부분과 용융되지 않은 부

분의 경계가 불분명하게 된다. 또한 중력의 영향으로 고온상태에서의 형상, 즉 상하나 수평이냐에 따라 형상이 달라지는데 대부분 용융되면 하방으로 늘어지고 끝부분이 고드름 끝과 같이 용융방울이 뭉치게 된다.

## (3) 과전류 용융절단 형태

단심 전선에 전류를 계속 증가시켜 가면 허용전류 범위에서는 특이한 변형이 일어나지 않지만, 2배 이상의 전류를 통전시키면 절연피복이 연화되고 3배 정도가 되면 열분해가 일어나 연기가 발생한다. 4배 정도 흐르면 절연피복에 착화되며, 결국 전선은 적열상태가 된다. 계속 증가시키면 선홍색의 복사를 내다가 중앙부분이 용융되고 단락현상이 일어나 전류가 더 이상 흐르지 않고 즉시 냉각되는데, 이때 용융되어 절단된 부분은 구상의 용융형태를 만들게 되고 끝 부분에 환상 돌기가 만들어진다.

## (4) 전선 폭발 중심의 전선 용융형태

일정 길이의 전선에 순간적으로 대전류가 흐르는 전선폭발현상이 일어나면 전선은 수 도막으로 나누어지면서 도막의 전 표면이 균일하게 용융된 형태를 만든다. 이러한 용융형태는 큰 분전반 부분이나 계량기 인접부분 전선에서 수 도막으로 비산 낙하된 형태로 관찰되는데, 이를 전기적 발열에 의한 변형형태로 보는 것은 주변에 연소열을 낼 수 있는 가연물이 없으며 부분적 단락이나 화염과는 형상이 크게 다르게 나타나기 때문이다.

## 나. 발화원인이 된 1차 단락흔과 2차 단락흔의 구분

전기 단락흔이 직접 발화원인이 된 단락흔인지 2차적으로 형성된 것인지의 판단방법에는 다소 이견이 있다. 단순히 단락흔 자체만으로 발화에 직접 관여한 것인지 아닌지의 판단은 중요한 문제가 아니다. 왜냐하

면 실제 현장에서 분명한 발화지점에서 여타 원인이 배제되고 전선에서의 전기적 발열로 발화된 것이 분명하지만, 실제 복원시켜보면 1차적으로 직접 발화에 관여한 것으로 추정되는 단락 부분은 아크방전이나 전선 폭발현상으로 수 cm까지 없어지고 결국 2차적으로 형성된 단락흔만 남는 예가 흔하게 발견되기 때문이다.

만약 아크방전이나 전선폭발현상으로 발전하지 않고 남아있는 경우, 발화와 직접 관련된 단락흔의 외형적 특성은 발화과정에서 설명한 바와 같이 장시간에 걸쳐 절연이 파괴되고 트래킹이 선행되므로 흑색으로 착색되고 부식흔적이 남으며, 사전 절연피복이 손상될 때 형성된 내부 동선의 변형형태가 남아있다.

가장 중요한 것은 단락흔이 발생된 전선의 위치가 어느 곳이나 하는 것이다. 단일회로라면 단연 가장 부하측 전원에서 가정 먼 위치에 있어야 하며, 설치 상태가 절연피복이 손상될 수 있는 요인, 즉 연결부위, 고정부위, 마찰이나 압축 손상 조건이 있는 개소가 있는 부위인가, 아니면 타 개소에서의 발화로 연소되는 화염에 의하여 전선이 쉽게 연소될 수 없는 개소, 즉 소염구간 인지가 매우 중요하다. 따라서 전선의 외형적 형태가 발화된 특징을 가지고 있다 하더라도 전선 설치 부위가 화염이나 외열에 쉽게 노출될 수 있는 부분이라면 이에서의 발화를 단정하기 전에 재고해야 한다. 설사 외형적 특성이 절연피복의 소실에 의한 형태라 하더라도 그 위치가 화염이 접근하기 어려운 소염구간이고 화염이 접근하기 쉬운 공간을 통해 배선되었다면 이에서의 전기적 발열에 의한 화재로 판정하여야 할 것이다.

#### 4. 배선에서의 전기적 발열원인

일반적으로 전기화재원인을 대별할 때 전기합선, 누전, 반단선 등으로 구분하고 있는데, 합선이니 누전이니 단락이니 하는 것은 나타난 현상을 말하는 것이다. 실제 이들이 형성되는 이유는 결국 절연파괴이므로 전기화재의 구분을 절연파괴원인으로 나타내어야 한다. 즉 절연피복의 대표적인 원인인 마찰손상, 압축손상, 설취류 등에 의한 손상, 과전류, 단열, 고온물체 접촉, 연결부 불완전 접촉 발열, 반단선 등으로 나타내어야 할 것이다. 따라서 필자는 경험상 합선이나 누전이란 표현은 부적절하다고 본다. ☹

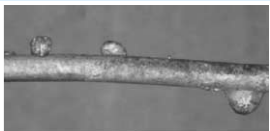
〈다음호 계속〉

[그림 12]



[그림 12] 늘어진 전선의 화염용융 형태

[그림 13]



[그림 13] 화염 속에 방치되어 내부 기포가 돌출된 형태

[그림 14]



[그림 14] 단심전선에 과전류가 인가되어 용단된 형태

[그림 15]



[그림 15] 전선폭발개소에 있던 동선의 변형형태