

전선의 도체조직 분석에 의한 전기화재 감식

박오철, 김왕곤, 박남규*, 홍진웅**

서울산업대학교, * 국립과학수사연구소 ** 광운대학교

Electrical Fire Identification due to Conductor Structure Analysis of Electrical Wires

O-Cheol. Park, Wang-Kon Kim, Nam-Kyu Park*, Jin-Woong Hong**

Seoul National University of Technology, * Nat'l Institute of Scientific Investigation, **KwangWoon University.

Abstract

To investigate the electrical fire identification due to conductor structure analysis of an electrical wire, we are studied by temperature heating test, over current test, short test and electric molten marks. And metal structure analysis of wire by short, we are found out increase in crystal grain with heating temperature. Structure of specimen at over current 300[%] occurred hardly structure formation and boundary of grain.

Key Words : electrical wires, conductor structure analysis, over current test, short test, electric molten marks. electrical fire identification

1. 서론

건축물에 화재가 발생하였을 때, 화재발생의 정확한 원인이 규명되어야만 화재발생에 대한 책임 소재를 밝힐 수가 있다. 따라서 정확한 화재원인이 과학적으로 분석되면, 이러한 분석 자료는 추후 유사한 화재발생을 예방하는데 매우 중요하게 활용될 수 있으며, 또한 화재발생 확률을 최소화 할 수 있는 건물 내 전기배선의 설계에 응용할 수 있을 것이다.

현재까지 발생한 크고 작은 많은 화재건수 중 전기화재를 규명하는 감식기준이 모호하여 화재발생 요인이 명확하게 밝혀지지 않은 경우가 대부분이며, 특히 많은 경우가 단순한 전기누전에 의한 것으로 판정되고 있는 실정이다.

그러나 화재의 특성상 진화후의 현장은 소화 및 철거작업과 구조물의 붕괴 등으로 원형을 알 수 없을 정도로 형태가 완전히 변화하기 때문에 화재의 원인을 규명하기 어렵거나 전기화재의 원인규명은 고도의 전문지식과 풍부한 경험을 필요로 하고 있다. 전기누전에 의하여 화재가 최초로 시작된 경우와 외부에서 다른

원인에 의해 연소가 전선부분으로 진행되어 결과적으로 전선이 단락 된 경우에 있어서, 화재의 잔재물 가운데 일부인 전선부분의 형상을 일반적인 관찰만으로는 전기누전이 최초의 화재발생 원인 여부를 판단하기는 상당히 어렵다.

이에 본 연구는 전선의 단락이나 외부화염 등에 대한 전선조직변화 고찰에 의한 화재원인 감정방법을 정립하여 정확한 화재원인을 규명하는데 활용도 록 하고자 여러 가지에 대하여 실험한 결과를 보고한다.

2. 전기화재 통계

2002년도 행정자치부 통계에 의한 원인별 화재 발생 원인 중 전기로 인한 화재 발생건수는 총 11,202건이 발생하여 전체 화재건수 32,966건의 34.0[%]를 차지하고 있다. 전기화재로 발생한 손실은 커서 재산피해는 전체 1,435억원의 40.4[%]인 579.6억원으로 집계되었고, 전기화재 원인별 발생 현황을 살펴보면 단락, 누전, 과부하, 접촉 불량 등에 의해 발생하였다. 이러한 사고의 근본적 원인은

전기기계기구 및 배선기구 등의 절연재료 열화와 구조적 결함 등이 그 주요 원인이 되어 발생하였다고 볼 수 있다. 산업이 발전하면서 전기의 사용량이 증가하고 이로 인한 전기사용 방법이나 기기의 다양화로 제품사용자에 대한 올바른 지식과 안전의 생활화가 요구되며, 또한 예방대책으로는 주기적으로 전기설비에 대한 안전점검과 전기제품에 대한 절연재료의 중요성이 더욱 커지고 있는 실정이다.

3. 실험 및 시료

3.1 실험

1) 온도가열시험

HIV 1.6[mm] 및 2.0[mm] 전선을 10cm로 절단하고 최고 1400[°C] 전기로에 넣고 상온에서부터 1분에 200[°C]씩 온도를 상승하여 용융점(1,083[°C]) 이하인 1,000°C 까지 가열하여 온도변화에 따른 금속조직변화와 입자크기를 고찰하여 화재발생시 전선에 가해진 온도를 추정하기 위하여 온도가열 시험 한다

2) 과전류시험

대전류 공급 장치로 시료전선에 과전류를 200, 300, 400, 450, 500[%]로 단계별로 용단 시까지 과전류를 상승시키면서 인가하고 금속조직과 전기로에 의한 온도가열시 금속조직의 특이점을 규명한다.

3) 단락시험

전선을 사용전압(AC 220[V])으로 직접 단락시켜 채취한 1차용흔과 외부에서 화염을 가하여 피복이 소손되어 단락된 2차용흔을 채취하여 금속조직 변화상태를 분석한다.

4) 화재현장 전선 용흔

화재현장에서 증거품으로 수집한 전선 용흔의 금속조직을 고찰하여 시험에 의해 생성된 금속조직과 비교한다.

3.2 시료

사용 전선은 시판용 HIV 1.6[mm], 2.0[mm] 단선을 선택하고, 절단은 다이아몬드 절단기를 이용하여 전선의 측면(길이 방향) 및 축 방향을 절단하여 분석한다. 시료는 Acrylic, epoxy resin, 가열온도 190~200[°C]에서 성형하고, 시료 연마는 정밀연마 grinding과 polishing하며, grinding 작업은 입도

nu가 400, 800, 1200, 2400, 4000인 사포를 사용하였고, polishing 작업을 위하여 알루미늄 파우더 0.3[μm], 0.04[μm]를 사용하여 super finishing flocked cloths로 연마한다. 시료 부식은 NH₄OH와 3%의 H₂O₂를 2:1의 비율로 혼합한 부식액을 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 시료의 금속조직

1) 원시료와 가열시료

상온에서 원시료(생전선)의 단면(축방향) 및 측면(길이방향)의 조직을 관찰한 결과 제조과정에 생성될 수 있는 가공방향으로 신장된 Stringer 조직을 발견할 수 없었으며, 양방향 모두 동일한 내부 조직이 관찰되었다. 200[°C] 가열전선의 금속조직은 원시료의 조직과 유사한 조직형태를 나타낸다. 이는 200[°C]의 온도에서는 전선 내부 조직의 변화를 유발하기 어려운 온도이거나, 충분한 재결정이 관측되기에 짧은 시간인 것으로 추정된다.

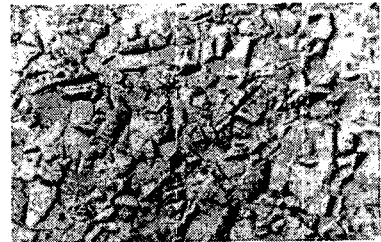


그림 1. 전선 HIV 2.0[mm]/1000/축방향
Fig. 1 HIV wire 2.0[mm]/1000/cross section

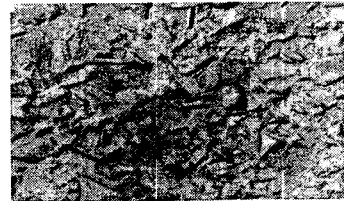


그림 2. 전선 HIV 2.0[mm]/1000/길이방향
Fig. 2 HIV wire 2.0[mm]/1000/side face

2) 400 [°C] 가열 시료

단면 조직은 가장자리 부분에서 쌍정조직 및 재결정조직이 식별되었으나, 안쪽부분은 시료의 조직과 거의 유사한 형상을 확인하였고, 전자현미경에

의해 조직내부와 외부의 입자크기를 관찰한 결과 외부 조직이 내부의 조직에 비해 크게 성장하여 외부가열시 전선 금속조직은 외부에서부터 조직이 확장됨을 알 수 있다.

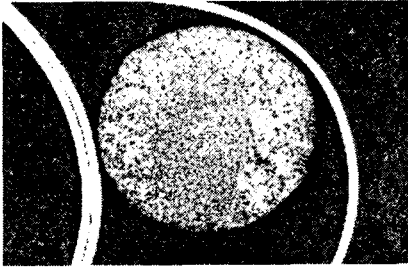


그림 3. 400[°C] 가열 HIV 2.0[mm]/20/축방향.
Fig. 3 HIV wire 2.0[mm]400[°C]/20/cross section.

3) 600 [°C], 800 [°C] 가열시료

600[°C] 가열전선의 단면조직은 전체적으로 입자 조직이 커졌으며, 결정입자간의 병합잠식 및 결정 성장상이 발생하기 시작함을 확인하였다. 그리고 800[°C] 가열전선의 단면조직은 600[°C]의 가열전선의 내부조직과 비슷한 경향을 보이거나 전체적으로 결정입자가 더 커진 것을 알 수 있다. 그리고 800[°C] 가열전선의 표면에서 일부 산화된 얇은 층을 관찰 할 수 있었다.

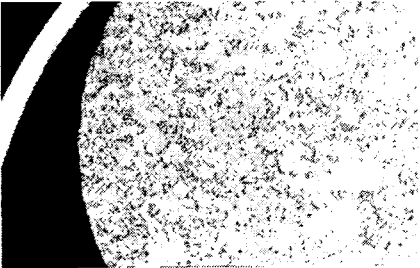


그림 4. 600[°C]가열 HIV 2.0[mm]/50/축방향.
Fig. 4. HIV wire 2.0[mm] 600[°C]/50/cross section.

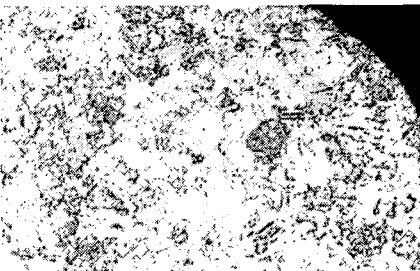


그림 5. 800[°C]가열 HIV 2.0[mm]/50/축방향
Fig. 5. HIV wire 2.0[mm] 800[°C]/50/cross section

4) 1,000 [°C] 가열시료

1,000[°C] 가열전선의 금속조직은 입계산화물이 조직내부 전체로 확산되었으며, 표면에 일부 산화된 두꺼운 층이 도포되어 있음을 관찰할 수 있었다.



그림 6. 1,000[°C]가열 HIV 2.0[mm]/50/축방향.
Fig. 6. HIV wire 2.0[mm] 1000[°C]/50/cross section..

4.2 과전류에 의한 금속조직

1) 과전류 200[%] (54[A])

과전류에 의한 시료의 금속 조직을 조사하기 위하여 정격전류의 200[%]를 흘리고 조직을 확인한 결과 특이사항을 발견할 수 없었으며, 조직 관찰결과 원시료와 유사하며 약 450초정도가 지나자 열저항에 기인하여 전선에 흐르는 전류가 52A로 감소되는 것을 확인하였다.

2) 과전류 300[%] (81[A])

같은 조건에서 과전류 300[%] 인가하고 시료 조직을 확인한 결과 조직생성 및 입자의 경계가 명확해지며 입계산화물은 발생하지 않았다. 전자현미경에 의해 조직내부와 외부를 관찰한 결과 외부조직보다 내부조직이 크게 생성되어 전기로에 의한 외부가열시 나타나는 입자조직 성장양상이 반대현상으로 나타나 과전류인지 외부가열인지를 규명하는 결정적인 판단기준이 됨을 확인하였다.

3) 과전류 400[%] (108[A])

과전류 300[%] 인가 시 보다 조직크기가 많이 확장되었으며 300[%]시에 나타났던 미세한 쌍정조직은 병합되어 잠식되었다. 전기로에 의한 800[°C] 온도로 가열했을 때와 조직크기가 비슷함을 확인하였다.

4) 과전류 500[%] (135[A])

500% 인가 후 46초 만에 용단되었으며 과전류에 의해 용단된 전선은 특유의 樹枝狀組織이 나타나 과전류용단을 구분하는데 결정적인 단서를 제공한다.

4.3 단락 금속조직

1) 단락전선의 용흔

사용전압(AC 220V)에서 실험에 의해 단락용단 시킨 것으로 용융된 전선의 외형은 대부분 앞이 둥글고 뾰족하며 광택이 나지만 순간 고열에 의해 생성되기 때문에 등그런 망울이 생성되지 않음을 알 수 있다.

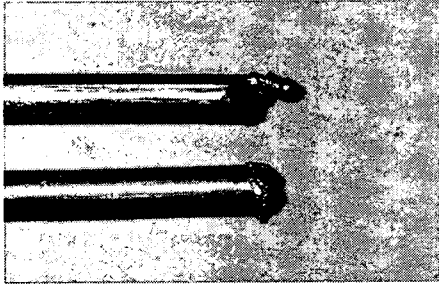


그림 7. 단락 1차흔 (AC 220[V]).

Fig. 7. Short primary molten marks (AC 220[V])

2) 단락 시 용단되지 않은 전선

단락시 대부분의 전선이 용단되지만 용단되지 않고 움푹 파인 형태로 나타나기도 하며 단락 시 접촉부분은 매끄럽고 광택이 나며 그 외 부분은 면이 거칠어 용흔 중에서도 직접 단락된 부분을 구별할 수 있다.

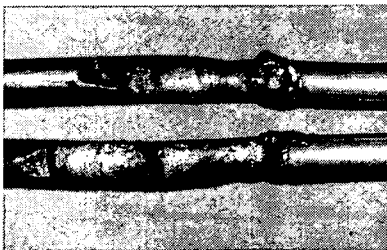


그림 8. 단락시 외형사진

Fig. 8. External photograph at short.

3) 단락전선의 금속조직

전선이 단락으로 용융되었을 때 과전류나 외부 화염에 의한 조직과 달라 용융부분에서 열영향부와 원시료 부분의 경계가 명확히 구별되는 특징과 산소 침투가 용이한 경계 부분을 중심으로 무수히 많은 소공 조직들이 발달한 것을 볼 수 있다.

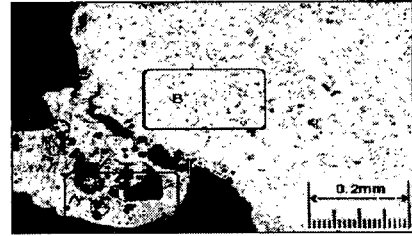


그림 9. 단락 1차 용흔 현미경 사진 50배.

Fig. 9. SEM of short primary molten marks.

5. 결론

전선의 도체 조직분석에 의한 화재감식을 현미경을 이용한 검토결과 실제현미경에 의한 외형적 특성 관찰에 의해 단락 흔과 외부화염에 의한 용흔의 구별이 대체적으로 가능하였으나, 시료의 외형이 심하게 변형되거나 2차적으로 재차 용융되는 경우에는 그 구분이 어려운 경우가 있다. 금속현미경과 전자현미경을 통한 내부 미세조직의 변화를 관찰한 결과 입자의 조대화 비율에 있어 차이가 발생했으며, 입자와 입자사이가 용융되는 과정에서 침투한 산소가 존재하는 것이 확인하였다.

이상의 연구결과 전선에 가해진 열원과 가열시간, 온도 등의 요인에 따라 전선 내부의 미세조직 및 조성변화를 관찰할 수 있었으며, 1차 단락 흔, 2차 단락 흔 및 용흔에 대한 명확한 판별을 위해서는 시료제작과정 및 실험조건의 다양한 변화에 의한 실험과 체계적인 분석방법 등으로 규명되어야 할 것으로 사료된다.

“실험에 많은 도움을 주신 국과수 남부분소 이공학과 박우식 과장님께 깊은 감사를 드립니다”

참고 문헌

1. N. Mitsuhashi, Discrimination between 1st and 2nd Arc Marks on Electric Wires by the micro-void Distribution, 日本 科學警察研究所報告法科學論文集, 48, 1, Feb. 1995
2. 열원에 따른 구리선의 미세조직 및 조성변화, 국립과학수사연구소, 법과학부, 자체연구보고서, 2000
3. 열 변화에 의한 구리선의 미세조직 및 상변화에 관한 연구, 국립과학수사연구소, 법과학부, 자체연구보고서, 2001
4. 화재통계연보, 행정자치부, 1997~2002 (6권)