

동전선의 열열화에 의한 특성변화 분석

최충석 · 김항곤 · 김혁수

한국전기안전공사 부설 전기안전시험연구원

1. 서론

옥내전선의 도체재료로 주로 동(Cu)이 사용되고 있으며, 절연재료로는 염소(Cl)를 주 성분으로 한 콤파운드가 사용되고 있다. 전선을 장시간 사용하게 되면 전기적, 열적, 기계적, 환경적 요인 등에 의해 열화가 진행되며, 도체 및 절연물의 열분해, 산화, 뒤틀림 등에 의한 특성저하로 전기설비 및 전기기기에 재해를 유발하게 된다.^{1,2)}

1998년도 화재통계를 살펴보면, 총화재 32,664건 중 전기화재는 10,897건으로 전체의 33.4%로 가장 높은 점유율을 나타냈다. 전기화재의 주요 원인으로서는 전선의 단락, 과부하, 접촉불량, 정전기 등이 있으며, 전선을 주체로 한 화재가 주를 이루고 있다. 일단 화재가 발생하여 연소확대가 이루어지면 전선, 배선기구, 전기기기 등 전기설비가 모두 손상되기 때문에 정확한 화재원인을 규명하는데 많은 어려움이 있다³⁻⁶⁾.

따라서 본 연구에서는 옥내용 전선의 열열화에 의한 특성변화에 대하여 실체현미경, 금속현미경, SEM, EDX, DSC 등을 이용하여 전선도체의 표면상태, 결정구조, 조성변화, 열분석 등 특성분석을 통하여 화재원인 규명에 활용하고자 한다.

2. 실험방법

동전선의 열열화 실험에 사용한 전선은 IV 1.6mm로 절단기를 이용하여 5cm의 길이로 절단하고 피복을 제거하였다. 절단한 시료는 전기로(SSH-1500, Shinsung Heating. Co, Korea)를 이용하여 100℃~1,100℃까지 100℃의 간격으로 그림 1과 같이 과정을 거쳐 전선을 열열화시켰다. 동일한 조건에서 실체현미경(Stereo microscope, SV-11, Carlzeiss, Denmark)을 이용하여 도체의 전체적인 열화정도를 확대 관찰하였으며, 절단면의 결정구조 분석은 금속현미경(Metallurgical microscope, Epiphot, Nikon, Japan)을 이용하였다. 또, 도체의 표면구조 및 조성변화 분석을 위하여 주사전자현미경(SEM, JSM- 6400, JEOL, Japan)과 에너지분산형X선분석기(EDX, Ultracool, Oxford, England)를 이용하였으며, 시차주사열량계(DSC, SDT-2960, TA-Ins., USA)를 이용하여 열화온도에 따른 전선의 열특성을 해석하였다.

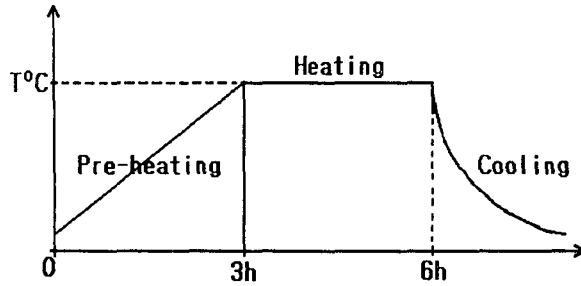


Fig. 1 Thermal treatment process of copper wires

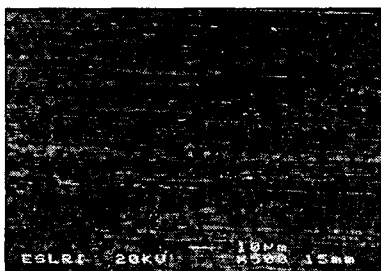
3. 결과 및 분석

3.1 열화전선의 표면상태 분석

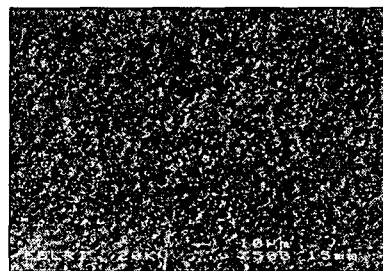
실체현미경을 이용하여 열화된 전선을 분석결과, 열화온도가 상승함에 따라 정상전선에서 볼 수 있는 연신조직이 없어지고, 400°C에서부터는 전선도체의 박리현상으로 외부도체가 벗겨졌으며, 열에 의한 도체의 탄화가 도체의 외부에서 내부로 확산됨을 볼 수 있었다. 또, 1000°C이상에서는 전선 도체가 전체적으로 열에 의한 탄화물로 변형됨을 알 수 있었다.

3.2 열화전선의 표면구조 및 조성변화 분석

그림 2는 SEM을 이용하여 열화된 전선의 표면구조를 확대 관찰한 것으로 열화온도가 상승함에 따라 전선본래의 조직은 없어지고 외부공기와 열에 의한 산화와 탄화작용에 의해 표면구조가 변형되었다. 이를 EDX에 의해 도체의 성분을 분석한 결과, 산소의 함유량이 점차 증가함을 알 수 있었으며, 1,100°C로 열처리된 전선은 Cu 88.23%, O 11.77%의 조성비로 구성됨을 알 수 있었다.



(a) 정상전선

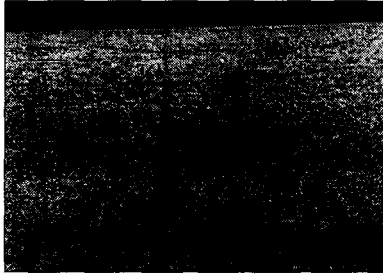


(b) 500°C

Fig. 2 SEM photographs of copper wires(Mag.×500)

3.3 열화전선의 결정구조 변화 분석

그림 3은 금속현미경을 이용하여 전선단면의 결정구조를 나타낸 것으로, 그림에서 알 수 있듯이 정상전선에서는 전선 본래의 연신구조가 나타났으나 열화온도가 높아짐에 따라 도체 외부에서 내부로 점차 산화가 진행되었으며 1,000°C 이상에서는 전체로 확대되었고, 크랙이 생성되었다. 또, 동의 입자도 성장하여 불규칙한 형태를 보였다.



(a) 정상전선

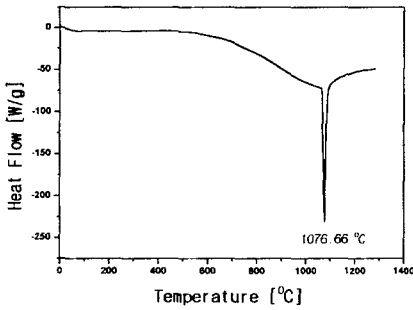


(b) 1,000°C

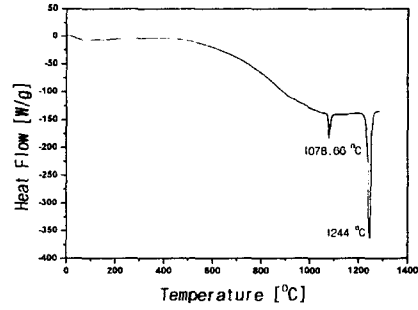
Fig. 3 Metallographs of copper wires(Mag.×100)

3.4 열화전선의 열특성 분석

시차주사열량계(DSC)를 이용하여 열화된 전선에 대하여 상온에서 1,300°C까지 20°C/min로 승온하여 열량변화를 분석하였다. 퍼지가스로 질소를 사용하였으며 100ml/min으로 흘려주었다. 그림 4에 열화온도에 따른 열량변화를 나타낸다.



(a) 정상전선



(b) 1,000°C

Fig. 4 Thermal characteristics of copper wires by DSC

(a)는 정상전선으로 동을 용융온도 부근에서 열량변화가 나타났으나 (b) 1,000°C로 열화된 전선에서는 산화동의 용융온도 부근인 1,244°C에서 큰 열량변화를 보이고 있다. 이것으로 동전선이 열화됨에 따라 점차 동(Cu)이 외부의 산소와 결합하여 산화동으로 변화됨을 알 수 있었다.

4. 결론

이상과 같이 동전선의 열열화 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 실체현미경과 SEM에 의해 표면상태 및 구조를 분석한 결과, 정상전선에서 300℃까지는 연신구조를 나타냈으나 열화온도가 상승함에 따라 400℃에서 900℃까지는 산화에 의한 전선도체 표면의 박리현상이 일어났으며, 외부에서 내부로 산화가 진행되었다. 1,000℃와 1,100℃로 열화된 전선은 전체가 산화물로 변함이 확인할 수 있었다.
2. 금속현미경에 의해 결정구조를 분석한 결과, 열화온도의 상승에 따라 전선본래의 연신구조가 점차 없어지고 결정입자가 커졌으며, 도체의 외부에서 내부로 산화가 진행됨을 나타내는 탄화물이 생성되었고, 1,000℃ 이상에서는 전체적으로 다수의 크랙을 가진 조직형태를 보였다.
3. EDX에 의해 조성변화를 분석한 결과, 열화온도가 점차 높아짐에 따라 조성비 변화 분석을 통해 전선도체 외부에서 내부로 산화가 진행됨을 알 수 있었다.
4. DSC에 의해 열량변화를 분석한 결과, 정상전선에서는 동의 용융온도인 1,083℃부근에서 열량변화가 나타났으나, 열화온도가 상승함에 따라 산화동의 용융온도에서 열량변화를 보였다.

이상과 같은 실험과 분석을 통하여 동전선의 열열화에 의한 특성변화를 분석하였으며, 이 결과를 바탕으로 동전선의 열열화에 의한 화재 원인규명에 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- 1) H.Schumann, 金屬組織學, 學文社, pp.477~480, 1993
- 2) 梁勳永, 新金屬材料學, 文運堂, pp.351~371, 1996
- 3) 최충석외 5, 전기화재공학, 東和技術, pp.172~211, 2000
- 4) 韓國電氣安全公社, 電氣火災統計分析, 성전기획, pp.7~13, 1999
- 5) 崔忠錫외 3, 熱劣化에 따른 600V IV의 組成變化에 關한 研究, 한국전기전자재료학회, '99춘계학술대회논문집, pp.53~56, 1999
- 6) 朴根植, “화재감식을 위한 옥내전선의 과열요인에 따른 금속조직변화에 관한 연구”, 碩士學位論文, 建國大學校, pp.13~27, 1994