

연동선의 아산화동증식속도와 전류와의 관계

최충석* · 김환곤* · 김형래* · 정현상** · 이경섭***
 *전기안전시험연구원 · **조선대학교 · ***동신대학교

The relation between Cu₂O growing velocity and current of copper wire

Chung-Seog Choi* · Hyang-Kon Kim* · Hyung-Rae Kim* · Hun-Sang Chung** · Kyung-Sup Lee***
 *KESCO ESLRI · **Chosun Univ. · ***Dongshin Univ.

Abstract - In this paper, we studied the Cu₂O growing with current at the contacts of copper wires and analyzed surface states and structures, crystalline structures, compositions and thermal characteristics of Cu₂O growing wires by using stereo microscope, SEM, metallurgical microscope, EDX and DSC.

We expect that the results of this experiment can be applied to the electrical fire investigation.

1. 서 론

전기는 일상생활에 있어 없어서는 안될 중요한 부분이 되었으며, 국가 경제발전의 근간이 되고 있다. 그러나 전기로 인한 피해는 해마다 증가하고 있으며, 1998년 전체화재 중 전기화재는 33.4%의 높은 점유율을 나타냈다.

전기화재의 원인을 살펴보면, 단락, 과부하, 누전, 접촉불량, 정전기 순이었으며[1][2]. 이 중 접촉불량에 의한 화재는 전선과 전선의 접속부나 전선과 전기기기 단자의 접속부에서 발생되는데, 동전선과 동전선의 결합인 경우, 두 전선의 접속부에서의 접촉불량에 의한 발열로 아산화동이 증식 성장한다. 이 아산화동은 1A의 전류에서도 쉽게 발생하며, 이 때의 발열로 화재로 이어진다.

전선의 접촉불량에 의한 전기적 적열현상에 대하여 일본의 경우 수년 전부터 꾸준히 연구가 진행되고 있으나 국내에서는 이에 대한 연구가 거의 없는 실정이다[3][4][5].

따라서 본 논문에서는 옥내배선으로 사용되는 연동선의 전류에 따른 아산화동의 증식과정, 전류에 의한 영향 및 아산화동 생성물의 표면구조, 결정조직, 조성변화 및 열량변화 등을 분석하여 아산화동의 증식특성을 밝히고, 전선의 접촉불량에 의한 전기화재의 원인규명에 활용하고자 한다.

2. 실험방법

전선을 장시간 사용하게 되면, 진동이나 이완 등에 의해 전선과 전선의 접속부에서 접촉불량이 발생하며 전기기구 및 전기설비에 재해를 유발시킨다[6].

연동선의 전류변화에 따른 아산화동증식 실험을 위하여 그림 1과 같은 실험장치를 제작하였다.

실험에는 옥내배선으로 주로 사용되는 1.6[mm]의 연동선을 사용하였으며, 절단기(Cutting machine, Minton, Struers, Denmark)를 이용하여 길이 50[mm]로 절단하고 피복을 제거하였다. 절단한 면을 고르게 연마하고 초음파세척기(Ultrasonic cleaning bath, SDB200R, Mujigae, Korea)로 세척한 후 실험장치에 고정시켰다.

실험전원으로 AC 220V를 사용하였으며, LR부하장치(L·R load equipment, LR-30AE, Dahwa.eng.,

Korea)를 이용하여 전류를 변화시켰다.

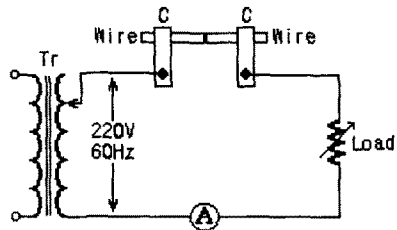


Fig. 1 Experimental circuits of Cu₂O growing at the contacts of copper wires

전선의 접촉면에서 접촉불량이 발생하도록 300회/min 진동하는 바이브레이터를 이용하여 주기적인 진동을 주었으며, 실험이 시작되어, 전선의 접속부에서 황색의 발광이 나타나면, 진동을 중지하고 통전상태로 유지하였다. 이 때, 접촉면에서 성장하는 아산화동의 길이는 마이크로미터(Micrometer, Mitutoyo, MDC-25M, Japan)를 이용하여 측정하였으며, 실험전압 및 전류는 후크온메타(Clamp on Hi tester, Hioki, Japan)와 누설전류계(Clamp on Leak Hi tester, Hioki, Japan)를 이용하여 측정하였다.

증식된 아산화동의 표면상태 및 구조는 실체현미경(Stereo Microscope, SV-11, Carlzeiss, Denmark)과 주사전자현미경(SEM, Scanning Electron Microscope, JSM-6400, Jeol, Japan)을 이용하여 분석하였으며, 절단면의 결정조직을 분석하기 위하여 금속현미경(Metallurgical microscope, Epiphot, Nikon, Japan)을 사용하였고, 조성변화를 분석하기 위해 에너지분산형X선분석기(EDX, Energy Dispersive X-ray Spectrometer, Ultracool, Oxford, England)를 이용하였다. 또, 시차주사열량계(DSC, Differential Scanning Calorimeter, SDT-2960, TA.ins., USA)을 이용하여 열특성을 분석하였다.

아산화동생성물의 단면 결정조직 변화를 분석하기 위하여 절단기를 이용하여 시료를 절단하였으며, 절단된 시료는 성형기(Mounting Press, Predopress, Strures, Denmark)를 이용하여 성형하였다. 성형한 시료는 연마기(Grinder/Polisher machine, Pedemat/Rotopol-2, Struers, Denmark)를 이용하여 시료표면을 경면(鏡面)으로 연마하였다. 연마가 끝난 시료는 초음파 세척기를 이용하여 세척하였고, 연마할 때 생기는 얇은 금속막을 제거하고 내부조직을 노출시키기 위하여 크롬머지(K₂Cr₂O₇+H₂SO₄+H₂O+HCl)로 표면을 에칭(etching)하고 조직을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 아산화동의 증식과정과 전류와의 관계

전선접속부에서의 아산화동증식과정을 살펴보면, 접촉면의 진동에 의해 청백의 불꽃이 발생하며, 진동이 계속 진행됨에 따라 황색의 불꽃이 나타났으며, 진동을 중지하여도 황색의 불꽃은 계속 성장하여 적열부를 형성하였다. 그림 2는 전선접속부에서의 아산화동 증식과정을 나타낸 것이다. (d)에서 전선 가운데 사선부분이 적열부(hot zone)이며 적열부 내에 있는 띠모양의 선이 적열로이다. 이 적열로는 1,000℃ 이상으로 발열하는 것으로 생각된다.

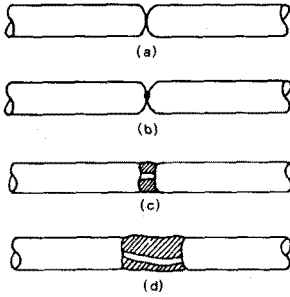


Fig. 2 Process of Cu_2O growing at the contacts of copper wires

시간에 따른 아산화동의 증식길이를 살펴보면, 1A의 전류에서는 초기 수mm 증식 후 정지하였으며, 2A의 전류에서는 1시간 후에 7.45mm가 성장하였고 2시간 후에는 13.25mm가 성장하였다. 그러나 실험전류 3, 4A에서는 초기 수mm 성장 후 성장 도중의 전선접속부에서의 비산현상에 의해 접촉면이 점점 가늘어져 단선되었다.

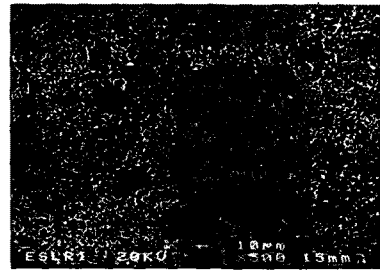
이상에서 1.6mm 연동선에 있어 아산화동의 증식성장에는 상한과 하한의 전류범위가 존재함을 알 수 있으며, 전류가 높아질수록 전선접속부에서의 비산현상과 깊이 관련 있음을 확인하였다.

3.2 표면의 상태 및 구조 분석

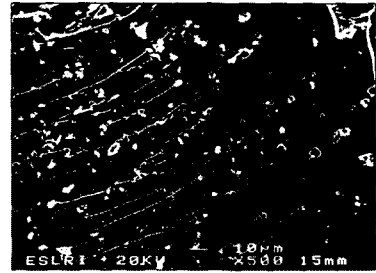
그림3의 (a)는 실체현미경으로 아산화동 생성물의 표면상태를 관찰한 것이고, (b), (c)는 주사전자현미경을 이용하여 아산화동의 표면과 단면구조를 확대 분석한 것이다. 아산화동의 외부표면은 검은 빛을 띠며, 전선고유의 연신구조가 나타나지 않고 부정형(不定形)의 입자형태를 나타냈다. 또, 내부단면은 아산화동의 전형적인 특징인 적색의 유리질 결정을 나타냈으며, 광택이 있으며 작은 홈들이 형성되어 있었다.



(a) surface states(mag. $\times 10$)



(b) surface structure(mag. $\times 500$)



(c) section structure(mag. $\times 500$)

Fig. 3 Surface states and structures of Cu_2O growing wire

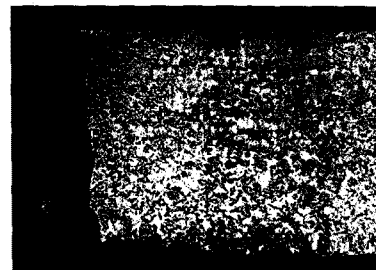
3.3 단면의 결정구조 분석

그림 4는 금속현미경을 이용하여 아산화동증식 전선의 금속조직을 분석한 것이다. (a)는 아산화동증식부분으로 다수의 크랙이 형성된 조직형태를 나타내고 있으며, (b)는 아산화동 부분 바로 옆의 전선으로 열에 의해 입자조직이 성장한 형태를 보이고 있다.

EDX을 이용하여 아산화동증식 전선의 조성변화를 분석한 결과, Cu : 87.94%, O : 12.06%의 조성비를 나타냈다.



(a) hot zone(mag. $\times 100$)

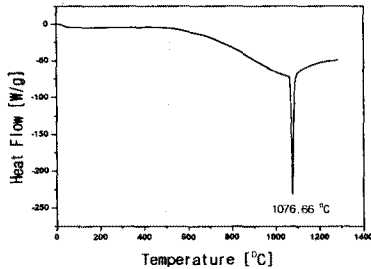


(b) wire by hot zone(mag. $\times 100$)

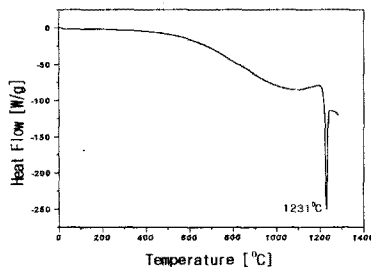
Fig. 4 Metallographs of Cu_2O growing wire

3.4 시차주사열량계에 의한 열특성 분석

그림 5는 시차주사열량계에 의해 정상전선과 아산화동증식전선의 열특성을 비교한 결과를 나타낸 것이다. 분석조건은 시료를 분쇄하여 상온에서 1,300℃까지 20℃/min으로 승온하였으며, N₂가스를 사용하여 100ml/min으로 흘려주었다. (a)의 정상전선에서는 동의 용융 온도 부근인 1,076.66℃에서 열량변화가 나타났으나, 아산화동증식 전선에서는 1,231℃에서 열량변화를 나타냈다.



(a) normal wire



(b) Cu₂O growing wire

Fig. 5 DSC curves of normal wire and Cu₂O growing wire

4. 결 론

위의 실험에서 연동선의 아산화동증식과정과 생성물의 표면상태 및 구조, 결정구조, 조성변화, 열특성 등을 분석한 결과 다음과 같았다.

- 1) 아산화동의 지속적인 성장을 위한 전류범위가 존재함을 확인하였으며, 본 실험에서는 2A의 전류에서 가장 활발한 증식성장을 보였다.
- 2) 실체현미경과 주사전자현미경에 의해 표면상태 및 구조를 분석한 결과, 아산화동의 외부표면은 흑색을 띠며, 부정형의 입자형태를 나타냈다. 또, 아산화동의 내부단면은 적색의 유리질 결정을 나타냈으며, 매끄럽고 작은 홀들이 형성되어 있었으며, 에너지분산형X선분석기에 의해 조성변화를 분석한 결과, Cu : 87.94%, O : 12.06%의 조성비를 나타냈다.
- 3) 금속현미경에 의해 결정구조를 분석한 결과, 아산화동부분은 다수의 크랙이 형성된 조직형태를 나타냈으며, 아산화동 증식부 바로 옆의 전선에서는 열에 의해서 입자조직이 성장한 형태를 보였다.
- 4) 시차주사열량계에 의해 정상전선과 아산화동증식전선의 열특성을 비교한 결과, 정상전선은 동의 용융 온도부근에서 열량변화가 나타났으나 아산화동증식전선은 1,231℃에서 열량변화가 나타났다.

이상과 같이 실험과 분석을 통하여 아산화동의 증식특성을 밝혔으며, 이 분석결과는 전선집속부의 접촉불량에 의한 화재의 원인규명에 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

(참 고 문 헌)

- [1] 韓國電氣安全公社, "電氣火災統計分析", pp.7~13, 1999
- [2] 최충석 외 5, "전기화재공학", 東和技術, pp.172~211, 2000
- [3] 川瀬太郎, "電線接續部と電氣火災", 日本火災學會誌, Vol.32, No.6, pp.43~45, 昭和57年
- [4] 科學警察研究所, "電氣的接續部における酸化物の生成と發光發熱現象", 科學警察研究所報告法科學編, Vol.49, No.1·2, pp.31~37, 1996
- [5] 科學警察研究所, "銅線の接續部における電氣的赤熱現象", 科學警察研究所報告法科學編, Vol.41, No.3, pp.30~37, 1988
- [6] 최충석 외 2, "열열화된 600V 2중비닐전선의 특성변화 분석", 대한전기학회논문지, Vol.49, No.1, pp.8~12, 2000