

접촉 불량에 의해 생성된 동 산화물의 전기적 특성

최충석 · 김향곤 · 김동욱 · 성낙진*

전기안전시험연구원(한국전기안전공사 부설)

* 시립인천전문대학 전기과

1. 서 론

전기화재의 출화 형태는 i) 전기 배선 및 전기 기기에 의한 출화, ii) 누전에 의한 출화, iii) 정전기 불꽃에 의한 출화 등이 있다. i)과 ii)는 전기의 통전 또는 standby mode에서 출화된 화재를 말하며, iii)은 축적된 전하의 이동에 의해 발생한 화재를 말한다. 그리고 출화 원인은 단락, 과부하, 반단선, 트래킹과 흑연화 현상, 누전, 접촉 불량 및 아산화동 증식 발열 현상, 방전, 정전기 불꽃, 은 이동 등이 있다.¹⁾

전선 접속부의 접촉 불량은 접속 단자의 느슨함, 접촉면의 맞물린 상태, 거칠어짐 등에 의해서 발생한다. 전기적으로 접속 불량인 전선에 전류가 흐르면 접속부의 저항 증가에 따라 열이 발생하게 된다. 이때 미소 진동, 적정한 전류, 축열 등이 있을 경우 발열은 확산되어 간다. 이런 원인에 대해 일부 연구자들이 외형의 관찰, 저항-온도 변화 등을 예로 들어 동 의 아산화동 증식이라고 해석하고 있다. 그러나 전선과 전선, 전선과 기기를 연결할 때 생성되는 아산화동의 표면 및 단면 구조, 열량 변화 등에 대해서 연구가 이루어지지 못하고 있다.²⁻⁴⁾

따라서 본 연구에서는 전선 접속부의 접촉 불량에 의해서 생성되는 구리 산화물의 전압강하, 저항 변화, 표면 상태, 열량 변화 등을 해석하여 전기 설비의 진단 및 사고 원인 판정에 활용하고자 한다.

2. 실험

실험에 적용된 전선은 600V 비닐절연전선(IV)이며, 전선의 굵기는 1.6[mm]이다. 전선은 절단기(Miniton, Struers, Denmark)를 이용하여 50[mm] 길이로 절단하고 피복을 제거하였다. 연마기로 절단된 면을 고르게 연마하여 세척한 후 사용하였다. 전선이 설치되었을 때 안전성과 재현성을 확보하기 위해 그림 1과 같은 장치를 사용하였다.

전선의 절단면은 장치의 C에 고정시켰으며, 접촉면에서 구리 산화물이 성장할 수 있도록 300회/분 진동하는 vibrator를 이용하여 현장 설비와 유사하도록 하였다.

전원은 AC 220[V], 60[Hz]를 사용하였으며, 부하 전류는 LR 부하 장치(LR-30AE, Dahwa Eng., Korea)를 이용하여 가변시켰다. 전압과 전류 측정은 디지털 오실로스코프(Tektronix TDS 3052)를 사용하였다. 전선 접촉면에서 황색의 발광이 나타나면 진동을 멈추고 통전 상태로 유지하였다.

성장된 산화물의 증식 길이는 마이크로미터(Micrometer, Miyutoyo, Japan)를 이용하여 측정하였다. 표면 상태 분석은 실체 현미경(Stereo microscope, SV-11, Carlzeiss, Germany)을 이용했으며, DSC(Differential Scanning Calorimetry, SDT 2960, TA.Ins, USA)를 이용하여 온도에 따른 열량 변화를 해석하였다.

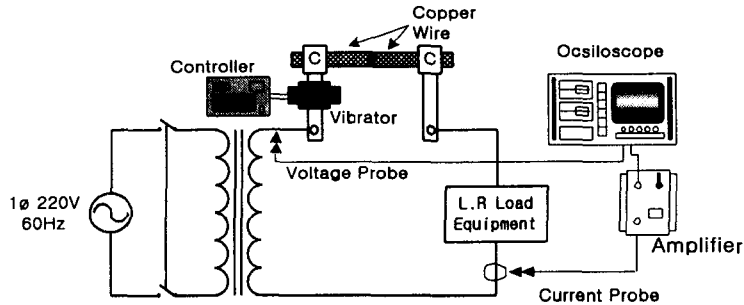


그림 1. 전선의 접촉 불량 상태에서 구리 산화물 생성을 위한 장치

3. 결과 및 고찰

그림 2는 전선 접속부의 접촉 불량에 의해 생성된 전선의 실체 사진을 나타낸 것이다. 1.6[mm] 전선에 2[A]의 전류가 흐를 때 생성된 것으로 적열부가 형성되었음을 알 수 있다. 적열부는 Hot Zone, Melting Part, Growing Path로 구성되어 있다. 즉 전선의 연결부에 접촉 불량이 발생하면 접촉면에 청백색의 불꽃이 발생하는 방전이 이어진다. 이때 기계적인 진동이 계속되면 청백색의 불꽃 사이로 황색의 불꽃이 나타난다. 황색의 불꽃은 점점 커지고 시간이 경과하면 접촉면에 진동이 없어도 불꽃은 계속 유지된다.

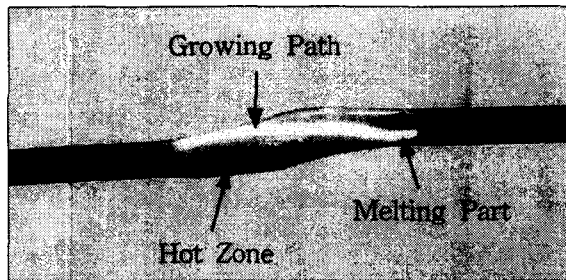


그림 2. 전선 접속부에 생성된 구리 산화물의 실체 사진(2A, 1.6mm)

그림 3은 적열부에 발생된 전압 강하를 측정하기 위한 회로도이다. 전선의 접속부에 적열부가 13.0[mm] 성장되었을 때 전압 강하를 측정한 결과 V_1 은 5.2[V], V_2 는

5.3[V], V_3 는 10.5[V], V_4 는 209.5[V]로 나타났으며 저항은 5.3[Ω]이었다. 또한, 20.53[mm] 성장되었을 때 V_1 는 7.2[V], V_2 는 7.3[V], V_3 는 14.5[V], V_4 는 205.5[V]이었으며, 저항은 7.3[Ω] 이었다. 즉 적열부의 증가에 따라 저항의 증가를 확인할 수 있었다.

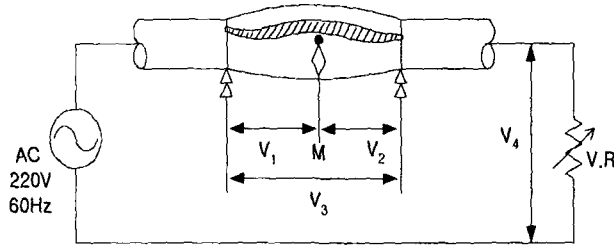


그림 3. 적열부에 발생된 전선의 전압 강하 측정

그림 4는 전선의 접촉 불량에 의해 생성되는 구리 산화물의 증식 속도와 지속성에 대해서 나타낸 실체 현미경 사진이며, 전선의 굵기는 1.6[mm]이다. 그림 (a)는 2[A]의 전류가 흘렀을 때이며 1시간 후에 7.4[mm], 2시간 후에는 13.2[mm]가 성장되었다. 그림 (b)는 3[A]의 전류가 흘렀을 때로 약 2.4[mm] 증식되었을 때 비산 현상에 의해 전선의 접촉부가 점점 가늘어져 단선되어 증식이 멈추고 단선되었다. 그림 (c)는 4[A]의 전류가 통전되었을 때를 나타낸 것으로 2.5[mm] 정도 증식되었을 때, 전선과 전선 접촉부에서 비산 현상이 발생하며 단선되었다. 즉 전선의 접촉 불량에 있을 경우 연속적인 적열부의 성장은 부하전류와 밀접한 관계가 있음이 증명되었다.



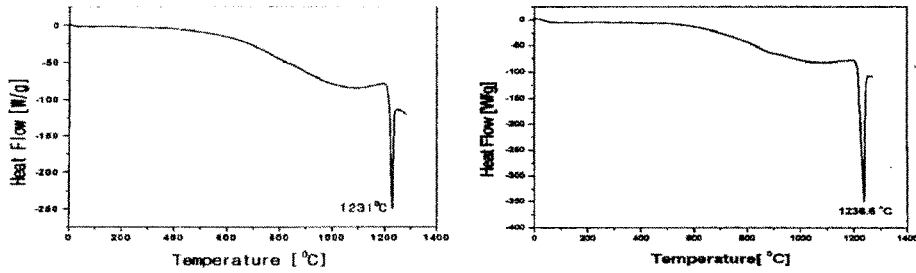
(a) 2[A]

(b) 3[A]

(c) 4[A]

그림 4. 접촉 불량에 의해 생성된 적열부의 실체 현미경 사진

그림 5는 접촉 불량에 의해 생성된 구리 산화물의 DSC 곡선이다. 그림 (a)는 실험장치를 이용해 성장된 전선으로 1,231[°C]에서 급격한 열량 변화를 보이고 있다. 그림 (b)는 화재 현장에서 수거한 전선으로 1,236.6[°C]에서 급격한 열량 변화를 보이고 있다. 실험장치를 이용해 성장된 구리 산화물과 화재 현장에서 수거한 전선의 열량 변화 오차는 약 5[°C]이다. 열량 변화를 볼 때 화재 현장에서 수거한 전선도 구리 산화물임을 알 수 있다. 전선 재료로 사용되는 구리의 용융 온도는 1,083[°C]인데, 아산화동의 용융 온도는 1,230[°C]이다. 즉 용융 온도만을 고려해 볼 때 아산화동과 유사한 물리적 특징을 보이고 있다.



(a) 재현된 산화물 전선 (b) 화재 현장에서 수거한 전선
 그림 5. 접촉 불량에 의해 생성된 구리 산화물의 DSC 곡선

4. 결론

전선 접속부의 접촉 불량에 의해서 생성된 구리 산화물의 특성을 해석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 전선의 접촉 불량으로 생성된 적열부는 Melting part, Glowing path, Hot zone로 구성되어 있음을 알 수 있었고, 1.6[mm] 전선의 경우 부하 전류 2[A]에서 적열로가 형성되었다.
- 2) 전선의 접속부에 적열부가 13.0[mm] 성장되었을 때 전압 강하를 측정된 결과 V_1 은 5.2[V], V_2 는 5.3[V], V_3 는 10.5[V], V_4 는 209.5[V]로 나타났으며, 저항은 5.3[Ω]이었다. 또한, 20.53[mm] 성장되었을 때 V_1 는 7.2[V], V_2 는 7.3[V], V_3 는 14.5[V], V_4 는 205.5[V]이었으며, 저항은 7.3[Ω]이었다.
- 3) 전선 접속부에 접촉 불량이 있는 경우 1.6[mm] 전선에 2[A]의 전류가 흘렀을 때 2시간 동안 13.2[mm]의 적열로가 성장되었으며, 부하 전류와 밀접한 관계가 있음이 알 수 있었다.
- 4) DSC에 의한 열량 변화를 분석한 결과 실험 장치에 의해 생성된 전선은 1,231[$^{\circ}\text{C}$], 화재 현장에서 수거한 전선은 1,236.6[$^{\circ}\text{C}$]에서 급격한 열량 변화를 보인 것으로 보아 화재 현장에서 수거한 전선은 아산화동으로 판단된다.

참고문헌

- 1) 최충석 외 5, 전기화재공학, 동화기술, pp.73~106, 2000.
- 2) 中野 弘伸, “電氣配線からの發火原因に関する考察”, 日本火災學會誌, Vol.46, No.2, pp.1~5, 1996.
- 3) K. Akamatsu et al, “Preparation and Characterization of Copper(I) Oxide Nanoparticles Dispersed in a Polymer Matrix”, J. Mater. Chem., Vol.8, No.8, pp.1865~1868, 1998.
- 4) A. Jolk et al, “Differential Transmission Spectroscopy(DTS) in Cu_2O in the Presence of Cold Excitations”, Physical Status Solid(b), Vol.222, No.1, pp.295~299, 2000.