

직립아크에 따른 도체의 산화물 증식 및 전압파형 분석

최종석, 김향곤, 송길목, 김동욱, 김동우, 김영석  
한국전기안전공사 부설 전기안전연구원

The Analysis of Voltage Waveform and Oxidation Growth of Conductor Due to Direct Arc

Chung-Seog Choi, Hyang-Kon Kim, Kil-Mok Shong, Dong-Ook Kim, Dong-Woo Kim, Young-Seok Kim  
Electrical Safety Research Institute, subsidiary of Korea Electrical Safety Corporation

**Abstract** - In the electrical equipments, there are lots of phenomena such as loosening of connectin parts, So, heat generation and oxidation growth is considered to have a possibility to cause fire. In this paper, we were carried out to study the oxidation growth and voltage waveform of connecting parts. In case of copper and copper connection, the growing of Cu2O elongated more than the other copper alloys. According to oxidation growth, the voltage waveform is distorted. And the contact voltage and the power dissipation increased rapidly.

1. 서 론

전선 등의 도체를 스크루 나사에 의해 접속하는 방법은 모든 산업에 이용되는 전기기기 및 일반 가정에 사용되는 가전제품까지 넓은 범위에 사용되고 있다. 이들 전기기기 및 가전제품 등의 출화원인을 조사해 보면 접촉 불량에 의한 과열로 생각되는 사례가 많으며, 화재에 대한 전기적 출화원인 중의 하나로 전기적 접촉부에 대한 금속의 산화에 기인하는 아산화동 증식발열현상이 있다. 또한, 전기적 접속수의 대부분을 차지하는 것은 구리와 구리의 접속이고, 이 경우에는 특수한 발광발열에 대한 화재의 위험성이 매우 높다[1-4].

일반적으로 접촉 불량에 의한 화재는 개폐기, 소켓, 콘센트, 전열기구 등의 전선과의 접촉축소가 느슨해져, 그 부분의 접촉저항이 증가하고 출열 발생으로 축열 되어 출화하는 것으로 높은 부하전류 및 낮은 부하전류에서도 화재출화의 가능성이 매우 높다. 도체 접속부에서 접촉 불량이 되면 접촉저항이 증가하여 접속부가 과열 되고 접속부의 표면에 산화물의 막이 형성되어 간다. 또한 구리 이외의 금속의 접속부에 대해서도 유사한 현상이 일어나는 것을 알 수 있지만, 전기적 특성 등에 대해서는 구체적으로 보고되어 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 전기설비의 접속부의 재료로 해서 구리 및 구리 합금을 사용해서 산화물 증식과정 및 상용전원을 인가한 상태에서 접속부에서 발생하는 발광발열 현상의 전기적 특성등을 실험적으로 조사했다.

2. 실험장치 및 방법

본 실험의 재료는 구리, 청동, 황동을 사용하였으며, 표 1에 각 재료의 특성을 나타낸다. 또한 비교를 위하여 구리-구리, 구리-청동, 구리-황동, 황동-황동 등의 총 4가지에 대해 실험을 수행하였다. 실제 배선용 기구에서 전선 접속부의 접촉 불량에 의한 산화물 증식실험은 접촉 상태의 설정 및 발열현상을 관측하기 어렵기 때문에 접촉면의 진동을 유발하여 접촉 불량을 실험하였다. 그림 1은 실험장치의 기본 구성도를 나타낸다. 실험에 사용한 구리, 황동, 청동은 각각 60[mm]로 절단 하여 사용하였

Table 1. The properties of copper and copper alloys

시 료	길 이 [mm]	두 께 [mm]	도전율[%]
구리	60	2.0	100
황동	60	2.0	30
청동	60	4.0	15

다. 절단한 2본의 시료는 양측에 설치된 척(Chuck)에 고정하였으며, 왼쪽은 고정하고 오른쪽은 상하, 좌우 그리고 전진과 후진을 할 수 있는 x-레일로 설치하여 접촉 불량이 일어나기 쉽도록 조절하였다. 실험은 220V의 상용전원을 인가하고 진동기(vibrator)로 전선 접촉면에 미소진동을 주어 불꽃이 반복적으로 발생하도록 하였다. 이때 미소 진동의 인가는 제어부(control)에서 조절하였으며, 2000[rpm]으로 인가하였다. 이때 부하로 사용한 것은 전동부하로서 부하의 크기에 따라 전류의 크기를 조절 가능하였으며, 각 전류의 크기는 변류기를 통해 오실로스코프로 연결하여 측정하였다. 또한 접촉 불량에 따른 접촉면 양단의 전압은 전압 리드선을 통해 오실로스코프로 측정하였다. 산화물의 증식과정은 디지털 카메라를 이용하였으며, 산화물의 시간에 따른 증식길이는 마이크로미터(Miyutoyo, Japan)를 이용하여 측정하였다. 또한 모든 실험은 온도 13.4℃, 습도 28%의 분위기에서 실험하였다.

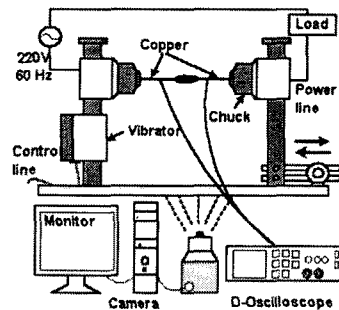


Fig. 1. The experimental schematic of oxidation growth.

3. 실험결과 및 검토

교류전압 220V에서 각 재료에 대한 산화물 성장 길이, 산화물 증식 시 양단의 전압을 측정하였다. 부하는 100[W]의 전동부하 4개를 사용하였으며, 그때 흐르는 전류를 1.6[A]로 일정하게 유지하였다. 접촉 불량을 유도하기 위해 사용한 진동은 각 시료마다 10분 정도 진동을 인가한 후, 제어부의 전원을 제거하였다.

그림 2에 구리와 구리를 접촉했을 때 시간에 따른 산

화물 증식 과정을 나타낸다. 구리와 구리를 접촉한 상태에서 진동을 발생시키면, 접촉면에서는 청백색을 불꽃이 먼저 발생하고 일정 시간이 지나면 황색의 불꽃이 발생한다. 그림 2(a)와 같이 10분 정도 경과되면, 접촉면 근처의 전선은 용융되고 점점 증식하게 된다. 그림 2(b)와 같이 90분이 경과하면, 적열부가 확대되고 이 적열로(hotzone)에서 증식이 확대되며 대부분 과열에 의해 표면은 검은색으로 변형되는 것을 알 수 있다.

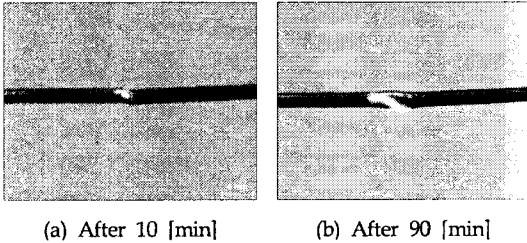


Fig. 2. The oxidation growth of copper-copper contacts type.

그림 3에 황동과 구리를 접촉했을 때의 산화물 증식을 나타낸다. 그림 3(a)과 같이 10분 정도 경과되면, 접촉면 근처의 구리는 용융되어 검게 변하고 증식이 시작되지만, 황동은 도전율이 구리보다 낮기 때문에 용융은 더디게 진행되었다. 그림 3(b)과 같이 90분 정도 경과되면 구리는 대부분 과열에 의해 표면은 검은색으로 변형되고 황동도 검게 용융되며 적열로가 확실하게 형성되지만, 산화물의 증식길이는 구리-구리 접촉 보다 짧은 것을 알 수 있다.

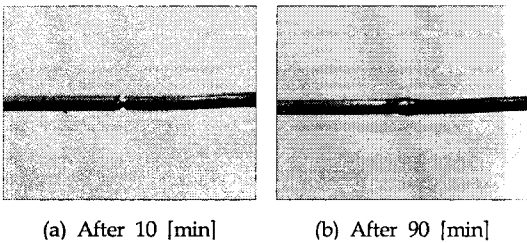


Fig. 3. The oxidation growth of brass-copper contacts type.

그림 4에 청동과 구리를 접촉했을 때의 산화물 증식을 나타낸다. 그림 4(a)와 같이 10분 정도 경과되면, 접촉면 근처의 청동과 구리는 용융되어 검게 변하고 증식이 시작되었다. 하지만, 청동과 구리의 접촉에 의한 산화물 증식은 그림 4(b)에 나타난 것과 같이 40분 정도 경과되면 산화물은 증식은 더 이상 일어나지 않고 멈추었으며, 청동과 구리는 검게 변형되었다. 이것은 청동의 직경이 상대적으로 구리 및 황동의 시료보다 굵고, 도전을 저하에 따른 영향으로 판단된다.

그림 5에 황동과 황동을 접촉했을 때의 산화물 증식을

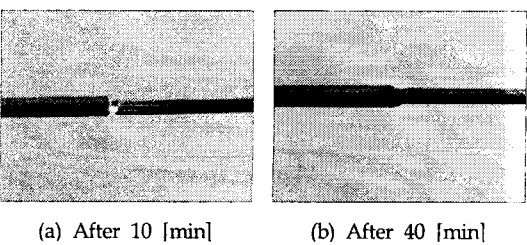


Fig. 4. The oxidation growth of bronze-copper contacts type.

나타낸다. 그림 5(a)와 같이 10분 정도 경과되면, 접촉면 근처의 황동은 다른 시료와는 다르게 용융되는 현상은 적게 이루어지고 적열로의 형성면적도 작게 일어났다. 또한 그림 5(b)에 나타난 것과 같이 90분 정도가 경과되어도 산화물의 증식길이는 다른 시료보다 작게 증식되었다. 이상에서 구리와 구리의 산화물 증식이 가장 활발하였으며, 황동과 황동의 산화물 증식이 가장 더디게 일어났다. 또한 구리와 접촉하는 청동과 황동은 구리의 영향에 의해 산화물의 증식현상이 비교적 쉽게 일어났다.

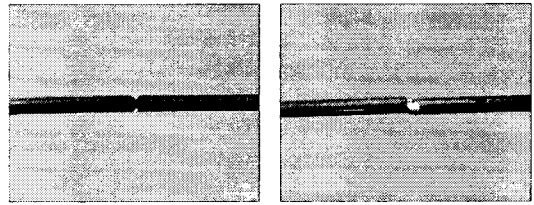


Fig. 5. The oxidation growth of brass-brass contacts type.

그림 6은 시간에 따른 각 재료의 산화물 증식길이를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 각 시료는 시간이 증가함에 따라 증식길이가 증가하는 것을 알 수 있다. 구리와 구리에서 접촉 불량에 따른 산화물 증식길이가 가장 잘 성장하였으며, 황동과 황동에서 접촉 불량에 의한 산화물 증식이 가장 더디게 나타났다.

구리-구리에서는 약 20분이 지난 후, 약 2[mm]가 성장하였으며, 90분이 경과한 후에는 약 7.1[mm] 정도가 성장하였다. 구리-황동에서는 약 20분이 지난 후, 0.9[mm] 정도가 성장하였지만, 시간이 지날수록 증식길이는 점점 증가하여 90분 후에는 4.3[mm]로 증식되었다. 청동-구리에서는 약 20분이 지난 후, 약 1.4[mm]가 성장하였으며, 40분이 경과된 후에는 2.7[mm] 정도 성장하였지만, 더 이상의 산화물의 증식은 일어나지 않았다. 또한 황동-구리와 거의 비슷한 증식길이를 나타냈다. 황동-황동에서는 20분 경과 후, 0.8[mm]가 성장하였으며, 90분이 경과한 후에는 1.2[mm] 정도가 성장하여 성장 폭이 다른 시료보다 작게 나타났다.

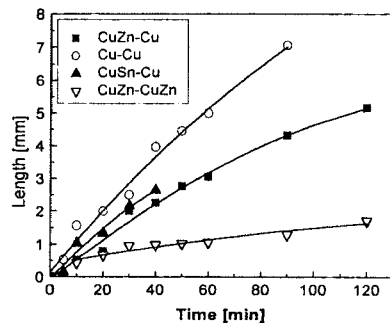


Fig. 6. The oxidation growth length of contacting parts according to time.

전선 접속부의 산화물 증식에 의한 전압파형을 오실로스코프를 통해 측정하였다. 그림 7은 구리-구리접촉에서 시간에 따른 전압파형을 나타낸다. 그림 7(a)과 같이 산화물 증식에 있어서 정(+), 부(-)에서 전압 상승 시에 피크(peak)값이 나타났으며, 산화물 증식의 경우에 발생하는 인가전압의 극성에 따라 정류특성을 가지는 전압파형이 발생하였다. 또한 그림 7(b)과 같이 시간에 따른 산화물이 성장 시 전압값도 16.8[V]로 상승함을 알 수 있다.

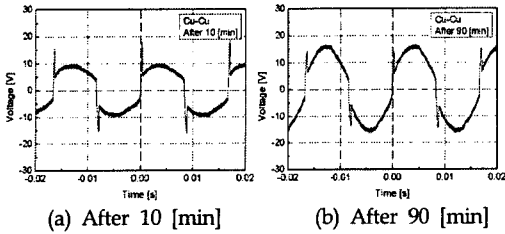


Fig. 7. The voltage waveform of copper-copper contacts type.

이는 산화물 증식에 따른 접촉저항 값이 높아진 것으로 판단된다.

그림 8은 구리-구리 접촉에서 전력소비 파형을 나타낸다. 부하에 흐르는 전류는 1.6 [A]이며, 산화물이 성장에 따른 접촉저항 값의 상승으로 전력소비도 약 19[W]에서 31[W]로 증가하는 것을 알 수 있다.

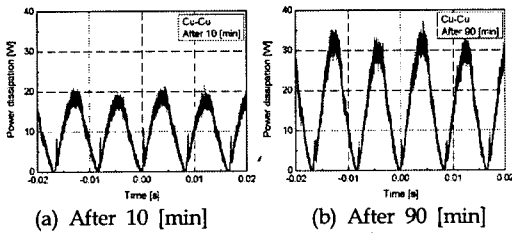


Fig. 8. The power dissipation of copper-copper contacts type.

그림 9는 황동-구리접촉에서 시간에 따른 전압파형을 나타낸다. 그림 7과 같이 산화물 증식에 있어서 정(+), 부(-)에서 전압 상승 시에 피크(peak)값이 나타났으며, 구리합금과 구리의 접촉에 따른 정(+)의 피크값과 부(-)의 피크값이 약간 차이가 나타난 것을 알 수 있다. 산화물 증식에 따른 전압값의 변화는 8.4[V]에서 11[V]로 증가하였지만, 구리-구리 접촉의 경우보다는 낮게 나타났으며, 전력소비도 낮게 나타났다.

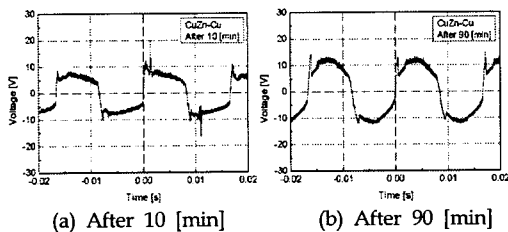


Fig. 9. The voltage waveform of brass-copper contacts type.

그림 10은 청동-구리접촉에서 시간에 따른 전압파형을 나타낸다. 청동-구리 접촉에서는 앞의 두 경우와 다르게 정(+)에서 전압 상승 시에 피크(peak)값만이 나타났으며, 40분이 경과된 후에는 산화물 성장이 더 이상 일어나지 않았다. 이는 시료로 사용한 청동의 직경이 상대적으로 구리 및 황동의 시료보다 굵고 도전율이 낮기 때문인 것으로 판단된다.

그림 11은 황동-황동접촉에서 시간에 따른 전압파형을 나타낸다. 황동-황동 접촉에서는 정(+)과 부(-)의 피크값은 같았으며, 피크(peak)값의 크기는 크지 않았다. 또한 산화물 증식에 따른 전압값의 변화는 8.2[V]에서 10[V]로 증가하였지만, 다른 조합보다 전압값이 나타났으며, 이는 전력소비도 낮게 나타났다. 위의 구리 및 구리합금간의 접촉에서는 산화물 증식발열의 경우에 발생하는 정류특

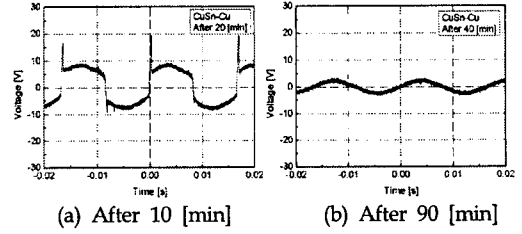


Fig. 10. The voltage waveform of bronze-copper contacts type.

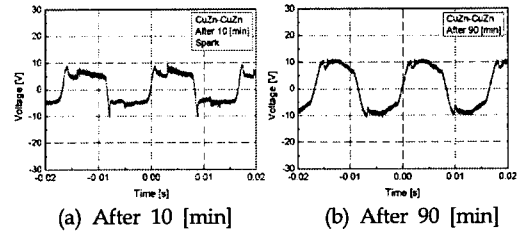


Fig. 11. The voltage waveform of brass-brass contacts type.

성을 가지는 전압파형이 발생하였으며, 접촉하는 재질에 따라 전압파형도 각각 다르게 나타났다. 이들의 결과는 전기 설비 접속부의 접촉 불량에 의한 전기화재 사고 예방에 기본 자료로 활용 될 것이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 전기설비 접속부에 많이 이용되고 있는 구리 및 구리 합금에서 아크에 의한 산화물 증식 및 전압파형을 분석하였다. 접촉한 재료는 진동에 의해 아크가 발생되고 황색불꽃과 함께 산화물이 증식된다. 또한 시간이 지날수록 전선의 용융은 점점 심해지고 적열부가 확대된다. 접촉한 재료 중 구리-구리의 경우가 산화물 증식이 가장 용이하게 일어났으며, 증식길이가 가장 길었다. 구리 및 구리합금간의 접촉에서는 산화물 증식발열의 경우에 발생하는 정류특성을 가지는 전압파형이 발생하였으며, 접촉하는 재질에 따라 전압파형도 각각 다르게 나타났다. 또한 산화물 증식에 따라 소비되는 전력도 증가하는 것을 알 수 있었다. 이들의 결과는 전기 설비 접속부의 접촉 불량에 의한 전기화재 사고 예방에 기본 자료로 활용 될 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 木下勝博 et al, "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科學編, Vol.49, No.1,1996.
- [2] Jarle Sletbak et al, "Glowing Contact Areas in Loose Copper Wire Connections", IEEE Trans. on Component, Hybrid and Manufacture Technology, Vol. 15, No. 3, 1992.
- [3] 伊佐昭征, 亞酸化銅による發熱現象について, 火災學會紙, Vo 1 74, No. 24, pp.237-242, 昭和49年.
- [4] H. Shingu, "Heat Generation on Screwed Electric Contact s (II)", 愛知工業大學研究報告, 20号 B, 昭和60年.