

## 과전류에 의한 동 전선의 용단 아크 특성 및 금속조직 분석

김영석, 송길목, 김동욱, 이기연, 최충석  
한국전기안전공사 부설 전기안전연구원

### The Analysis of Metallurgical Structure and Arc Properties of Copper Wire Due to Over-current

Young-Seok Kim, Kil-Mok Shong, Dong-Ook Kim, Ki-Yeon Lee and Chung-Seog Choi  
Electrical Safety Research Institute attached to Korea Electrical Safety Corporation

**Abstract :** In this paper, we analyzed a metallurgical structure and arc properties of copper wire when the over-current flows on electric wire. From the results, The fusing current was related to the fusing time(current rising rate per second). In case of the shorter the fusing time, the fusing current was high, and the fusing time of ac type was larger than that of dc type. The copper wire was bent by the increase of current and heated, the beads were scattered around wire with a flash. We could observed the dendrite structure in molten wire at ac and dc current type. According as the current rising rate per second is short, the dendrite structure is distributed in surface of wire.

**Key Words :** Over-current, Arc, Metallurgical structure, Fusing current, Fusing time

#### 1. 서 론

생활수준의 향상으로 가전기기 등의 사용이 늘어나고 전력설비는 대형화 되고 있으나, 전기화재 사고는 줄어들지 않고 있다. 지난 10년간의 통계자료를 살펴보면, 전기화재의 대부분은 단락 사고이며, 그 다음으로 과부하에 의한 사고가 점유하고 있어 화재예방대책 및 원인 조사가 절실히 필요하다. 이들 화재의 원인조사는 연소방향, 주변 환경 등 여러 가지 상황을 종합적으로 판단해서 수행되어지고 있으며, 그 중에서 배선기구 등의 전기적 응용흔적은 화재 원인조사 판정에 있어 매우 중요한 방법 중에 하나이다.

과부하에 의한 전기사고는 회로 상에 전압이 인가된 상태에서 과부하 등에 의해 과전류가 흐르고 줄열에 의해 용융되며 용단 전류에 이르게 되면 가장 취약한 부분에서 아크(arc)가 발생하여 용단되는 형태를 나타낸다. 이런 배선기구 및 전기기기 등은 교류 및 직류 환경 내에서 사용되어지며, 과부하 및 과전류 환경에 노출되기 쉬우며, 전기 사고로 진전 될 가능성이 매우 높다[1].

따라서 본 연구에서는 과부하에 의해 과전류가 전선에 흘렀을 경우의 화재발생을 모의하였으며, 교류 및 직류 환경에서 비교하였다. 또한 과전류에 의한 전선의 용단 현상을 고속카메라 이미지 시스템을 이용하여 촬영하였으며, 금속현미경을 이용하여 과전류에 의해 변형된 금속단면 조직을 분석하였다.

#### 2. 실험장치 및 방법

본 실험에 사용한 전선은 절연피복이 없는 동 전선(copper wire)을 사용하였으며, 전선 두께는 1.6[mm]로 하였고 길이는 150[mm]로 일정하게 하였다. 그림 1은 본 실험에 사용한 과전류 실험 장치를 나타낸다. 시료를 전선에 접속하고 교류/직류 경용의 대전류 공급장치(IDX, Japan)을 이용하여 전류를 공급하였다. 전류는 1.0[A/sec],

2.5[A/sec], 5.0[A/sec], 7.5[A/sec], 10.0[A/sec], 20.0[A/sec], 150[A/sec]의 상승 속도로 전선이 용단될 때까지 공급하였다. 이때 용단될 때의 전선의 아크 특성은 초고속카메라(HSIS, HG-100K, Redlake, USA)이미지 시스템을 이용하여 관측하였다. 또한 전선의 단면조직은 성형과 연마작업을 수행하고 난 뒤, 금속현미경(Ephopot, Nikon, Japan)을 이용하여 금속 단면 조직을 분석하였다. 모든 실험은 온도 20[°C], 습도 50[%]의 분위기 내에서 수행하였다.

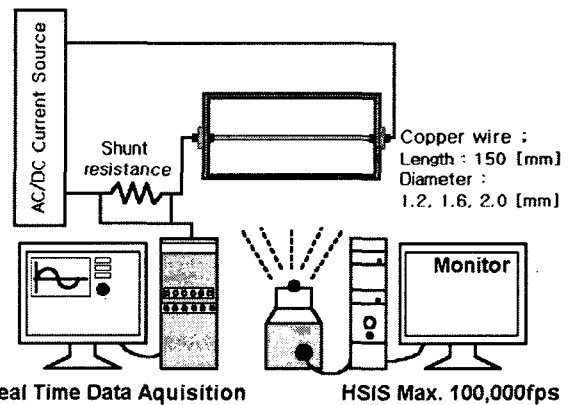


그림 1. 과전류 실험장치의 구성.

#### 3. 실험결과 및 검토

그림 2는 동 전선에 교류 및 직류를 각각 흘렀을 때의 용단시간과 용단전류를 나타낸다. 실험은 각 시료마다 10회 이상 실시하였으며, 실험결과와 평균값을 취하였다. 그림에서 교류 및 직류 모두 초당 전류 상승속도가 빠른 경우, 용단 시간은 짧아지며, 초당 전류 상승속도가 느린 경우에는 용단 시간이 길어지는 것을 알 수 있다. 또한 교류 피크값일 때가 용단전류가 크게 나타났으나, 실험값은 직류값과 거의 비슷한 값을 나타내었다. 교류인 경우, 초당 150[A]의 전류를 공급하였을 때 용단전류는 약 708[A]였으며, 용단시간은 4.71[sec]였다. 직류의 경우는 초

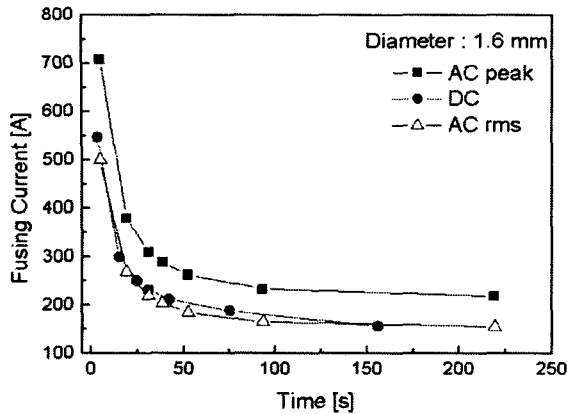


그림 2. 교류 및 직류의 용단전류 및 용단시간 특성.

당 150[A]의 전류를 흘렸을 때 용단전류는 약 547[A]였으며, 용단시간은 3.6[sec]였다. 용단전류가 낮은 경우 교류가 직류보다 용단시간이 길게 나타났으며, 이는 교류는 파형이 교번하기 때문에 일정한 전류가 흐르는 직류보다 시간이 길게 나타나는 것으로 판단된다.

그림 3과 4는 교류 및 직류에서 1[A/sec]의 전류 상승 속도에 따른 아크 용단특성을 초고속 카메라 이미지 시스템을 이용하여 촬영한 것을 나타낸다. 그림 3 (a)는 전류 인가 후 약 200[sec]가 경과한 것으로 전선 중앙부에 적열현상이 일어나고, 그림 3 (b)와 같이 208[sec]후에는 아크에 의해 비산되는 용융망울이 용단된 전선을 중심으로 방사 형태로 넓게 퍼져 나가는 것을 확인 할 수 있다. 그림 4 (a)는 직류를 인가한 후 약 145[sec]가 경과한 후 적열된 후 그림 4(b)와 같이 비산되는 용융망울은 한쪽방향(-방향)으로 퍼지는 것을 알 수 있다. 따라서 아크 비산은 전원에 따른 방향성을 가지는 것으로 판단된다.

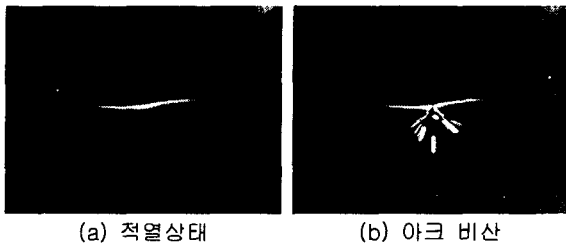


그림 3. 교류 상태에서 과전류에 의한 아크 용단 특성.

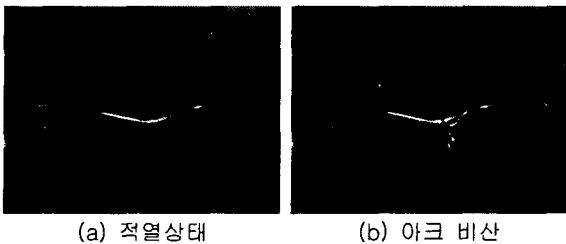
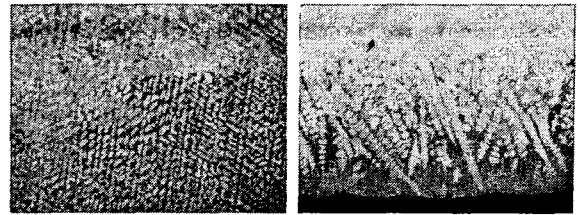


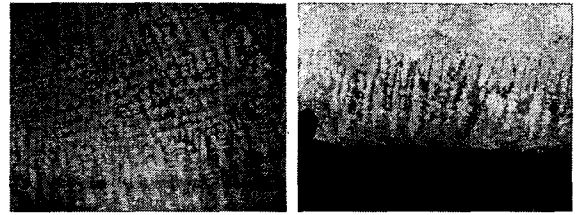
그림 4. 직류 상태에서 과전류에 의한 아크 용단 특성.

그림 5와 6은 교류 및 직류에서 과전류에 의한 동 전선의 단면 조직을 나타낸다. 교류 및 직류 모두 과전류 시 나타나는 수지상(dendrite) 결정조직이 성장하고 있는 것을



(a) 1.0 [A/sec] (b) 150 [A/sec]

그림 5. 교류상태에서 과전류에 의한 동전선의 단면 조직.



(a) 1.0 [A/sec] (b) 150 [A/sec]

그림 6. 직류상태에서 과전류에 의한 동전선의 단면 조직.

확인할 수 있다. 또한 전류상승 속도가 낮은 경우, 수지상 조직은 전선 단면 전체에 퍼져있는 것을 알 수 있고 단시간에 용단된 전선의 경우에는 수지상 조직이 전선 표면에 집중되어 있는 것을 알 수 있다. 따라서 과전류에 의해 표면에서부터 열이 발산되어 점차 내부로 조직이 성장하는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 동 전선에 과전류를 흘렸을 때의 아크 특성 및 금속 단면 조직을 분석하였다. 교류 및 직류 모두 전류 상승이 빠른 경우, 용단 시간은 짧아지며, 전류 상승이 느린 경우에는 용단 시간이 길었다. 또한, 교류가 직류보다 용단시간이 길게 나타났다. 이는 교번하는 파형에 의한 차이에 의한 것으로 판단된다. 아크에 의한 비산 특성은 교류의 경우, 용융망울이 용단된 전선을 중심으로 양쪽방향으로 넓게 퍼져 나가는 것을 확인 할 수 있으며, 직류의 경우는 비산되는 용융망울이 한쪽방향(-방향)으로 퍼지는 것을 알 수 있었다. 금속 단면 조직에서는 과전류 시 나타나는 수지상 결정조직이 성장하였으며, 전류상승 속도가 낮은 경우, 수지상 조직은 전선 단면 전체에 퍼져 있으나, 비교적 짧은 시간에 용단된 전선의 경우에는 수지상 조직이 전선 표면에 집중되는 것을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

- [1] Chung-Seog Choi et al, "The Analysis of Dendrite Structure of Electric Wire Melted by Fusing Current", 2003 Japan-Korea Joint Symposium on ED & HVE, pp.145-148. 2003