

# 과전류 크기에 따른 수지상 조직의 패턴 해석에 관한 연구

최충석 · 김향곤 · 김동우

한국전기안전공사 전기안전연구원

## 1. 서 론

산업기술의 발달에 따라 전기에너지의 응용은 산업현장, 빌딩, 주택 등 때와 장소의 제한 없이 점점 늘어가고 있다. 이러한 전기의 사용은 감전사고, 전기화재, 설비사고 등의 형태로 나타나고 있으며 피해범위 확산되고 있다.

2003년도 전기재해 통계자료에 의하면, 총 화재 31,372건 중 전기화재는 8,985건으로 28.6%의 점유율을 차지하였으며, 전기화재의 피해규모도 대형화되어가는 추세이다. 전기화재를 원인별로 구분하면, 단락에 의한 화재가 전체 전기화재의 65.5%(6,994건)로 가장 큰 비율을 차지하고 있으며, 다음으로 과부하에 의한 화재가 8.9%(952건)를 점유하였다<sup>1)</sup>. 전기재해는 크게 설비사고에 의한 정전, 시스템 오류 등이 있으며, 감전이나 화재로 전이되어 2차적인 사고로 이어지기도 한다. 직접화된 전기설비의 시설 및 사용의 증가에 따라 과부하(electric overload)에 의한 전기화재는 매년 증가하는 추세를 보이고 있다. 전선은 각각의 굵기에 따라 정해진 허용전류를 엄격하게 정해놓고 설비에 적용한다. 그런데 최근 정보통신기기 및 지능화된 전기설비의 급속한 보급으로 기존 전기설비의 설계 용량을 초과하여 전기를 사용함에 따라 전기재해의 가능성이 높아지고 있다<sup>2)</sup>.

따라서 본 연구에서는 과부하에 의해 용단된 전선의 표면 및 단면의 특성을 실체 및 금속현미경으로 제시하고자 한다. 또한, 과전류의 크기가 수지상 조직의 성장에 어떻게 지배하는지 해석함으로써 유사사고의 과학적인 원인분석 및 감정, 홍보 및 교육용 자료로 활용하고자 한다.

## 2. 실험방법

옥내용 전기설비에 사용되는 전선의 대표적인 재질인 구리(copper)는 비정질체이며 연성이 우수하여 가공성이 뛰어나다. 상온에서 용융온도는 1,084℃ 정도이며 일반화재에서 발생하는 최성기의 온도 약 1,300℃보다 낮아서 화재현장에서 용융된 전선을 자주 볼 수 있다. 즉 일반화염에 의해 전선이 용융되었는지 전기적인 요인에 의해 용융되었는지를 육안으로 판정하는 것은 비과학적일 뿐만 아니라 선의의 피해자가 발생할 가능성이 상대적으로 높다.

따라서 전선의 용융이 전류의 크기와 시간에 어떤 함수관계를 보이는지 과전류를 인

가하여 과학적인 근거를 제시하고자 한다. 실험에 적용된 나전선(bare wire)은 1.6mm 연동선이며 10cm의 길이로 절단하였다. 각 전선은 대전류공급장치(ODEN 1X, Denmark)로 일정한 전류를 공급하였으며, 실험실 온도와 습도는 각각  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $60\pm 3\%$ 를 유지하였다. 용단전류는 프리스의 실험식에 근거하여 용단전류의 1배, 1.5배, 2배 등의 값을 공급하는 방식으로 하였다<sup>3,4)</sup>. 1.6mm의 전선은 각각  $161\pm 5\text{A}$ ,  $240\pm 5\text{A}$ ,  $320\pm 5\text{A}$ 의 전류로 용단시켰으며, 그림 1은 용단전류를 공급하기 위한 전류공급기와 실험용기(chamber)를 나타낸 개략도이다.

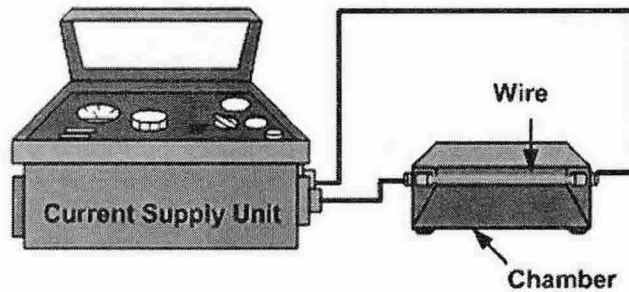
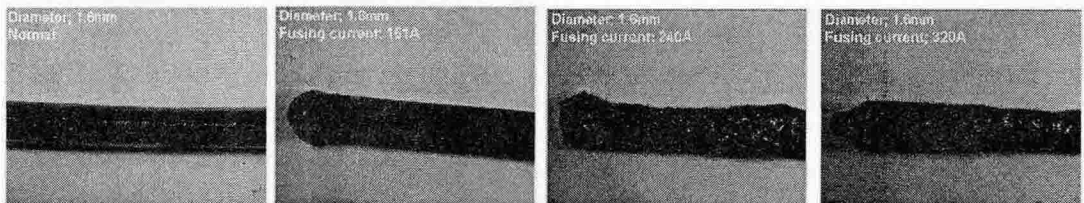


그림 1. 전선에 과전류 인가를 위한 장치의 개략도

### 3. 실험결과 및 고찰

용단전류에 따른 전선의 외형변화를 실체현미경을 이용하여 촬영한 후 패턴을 나타낸 것이 그림 2와 같다. 전선의 굵기는 1.6mm이며 현재 옥내용 전기설비에 사용되는 것이다. (a)는 정상상태의 전선으로 표면은 균일한 형태를 보이며 암갈색을 보이는 것으로 보아 표면에 산화막이 형성되었음을 알 수 있다. (b)는 프리스의 식에 근거하여 용단전류의 1배인 161A를 공급하여 용단된 것으로 끝단은 둥근형태의 용단면을 나타내며 몸통은 균일한 형태를 유지하고 있다. 표면은 정상상태와 크게 변하여 흑갈색으로 심하게 변색되었는데 이는 격렬한 산화반응이 있을 때 나타나는 현상이다. (c)는 용단전류의 1.5배인 240A를 공급하여 용단된 것으로 끝단 및 몸통이 매우 불규칙하게 찌그러진 형태를 보였으며, 표면의 색은 더욱 어두운 흑갈색을 나타내고 있다.



(a) 정상전선      (b) 용단전류 1배      (c) 용단전류 1.5배      (d) 용단전류 2배

그림 2. 프리스의 식에 근거하여 용단된 전선의 실체현미경 사진 패턴

(d)는 용단전류의 2배인 320A를 공급한 것으로 1.5배의 전류에서 용단된 전선과 비교하여 끝단이 둥근형을 보이고 몸통의 거칠기가 적어지고 균일도가 높은 것을 알 수 있다. 표면은 짙은 흑갈색을 나타냈는데 이것은 짧은 시간에 고열에 의해 용융될 때 나타나는 특징이다<sup>6)</sup>.

그림 3은 공급전류에 따른 전선의 용단시간을 나타낸 것이다. 전선은 동일한 용도의 1.2mm, 1.6mm, 2.0mm 등을 적용하였으며 실험조건은 그림 1과 같은 상태에서 실시하여 실험의 객관성을 유지하였다. 1.2mm의 전선은 용단전류가 약 105A이었을 때 평균 9.14sec의 용단시간을 보였으며, 1.5배의 전류인 157A인 경우 4.70sec가 소요되었다. 용단전류의 2배인 210A인 경우에는 2.10sec의 시간에 용단되었다. 1.6mm의 전선에서 용단전류가 161A인 경우 용단시간은 평균 18.94sec가 소요되었으며, 240A의 용단전류에서 6.23sec의 용단시간이 소요되었다. 용단전류의 2배인 320A이었을 때는 3.41sec의 용단시간이 소요되었다. 2.0mm의 전선에서 용단전류가 226A인 경우 용단시간은 21.75sec, 339A에서는 6.80sec, 452A에서는 4.31sec의 용단시간이 소요되었다.

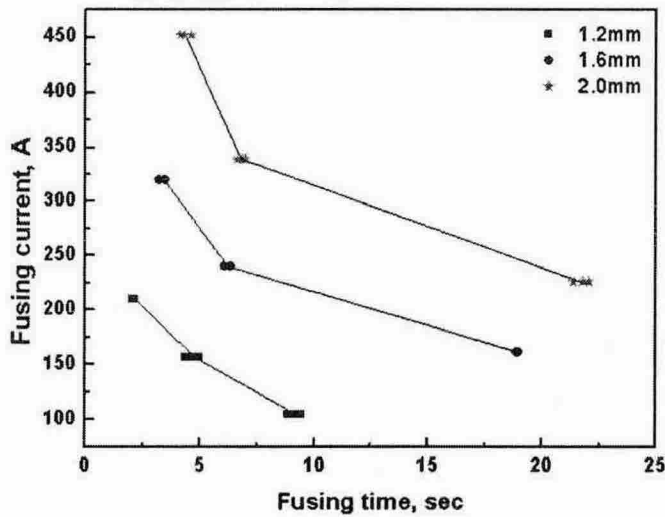


그림 3. 전선의 굵기에 따른 용단시간 및 용단전류 관계

그림 4는 용단된 전선의 금속현미경 사진을 나타낸 것으로 전선의 굵기는 1.6mm 연동선이다. (a)는 프리스의 식에 근거하여 161A를 공급했을 때 용단된 것으로 수지상 조직(dendrite structure)이 전선 중심부로부터 약 61.1°와 41.7° 등의 일정각도로 성장하고 있음을 확인하였다. (b)는 용단전류의 1.5배를 공급했을 때의 금속단면으로 수지상 조직의 성장각도가 40° 이내에서 성장하였다. (c)는 용단전류의 2.0배를 공급했을 때의 사진으로 수지상 성장각도가 ±5°의 범위에서 성장하고 있음을 확인하였다. 이는 용단전류에 의한 줄열로 전선내부에 고열이 발생하여 중심축으로부터 표면으로 수지상 조직이 성장하고 있음을 보여주고 있다<sup>67)</sup>.



- 2) 1.6mm의 전선에 용단전류 161A인 경우 용단시간은 평균 18.94sec가 소요되었으며, 240A의 용단전류에서 6.23sec의 용단시간이 소요되었다. 용단전류의 2배인 320A이었을 때는 3.41sec의 용단시간이 소요되었다.
- 3) 금속현미경을 이용한 단면분석에서 161A를 공급했을 때 용단된 것으로 수지상 조직(dendrite structure)이 전선 중심부로부터 약 61.1° 와 41.7° 등의 일정각도로 성장하고 있음을 확인하였다. 용단전류의 1.5배를 공급했을 때의 금속단면으로 수지상 조직의 성장각도가 40° 정도였다. 용단전류의 2.0배를 공급했을 때는 수지상 성장각도가  $\pm 5^\circ$ 의 범위에서 성장하고 있음을 확인하였다.
- 4) 용단전류가 급격히 증가하면 단락에 의해 생성되는 주상 조직의 패턴을 보이고 있음을 알 수 있다. 즉 사고현장에서 수거한 전선의 단면 특성 분석을 통해서 용단시킨 에너지원이 외부화염인지 과부하 또는 단락에 의한 것인지 판정 근거가 확립됨으로써 분쟁의 해결은 물론 유사사고 예방지도 및 교육자료 등으로의 활용이 가능하게 되었다.

## 감사의 글

본 연구는 산업자원부(MOCIE) 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 1) 한국전기안전공사, "전기재해 통계분석", pp. 7~10, 2004.
- 2) 최충석 외 5, "전기화재공학", 동화기술, pp. 193~265, 2004.
- 3) W. H. Preece, "On the Heating Effects of Electric Currents", Proceeding of Royal Society, vol. 36, pp. 464~471, 1884.
- 4) Sheera Knechi, Bill Gonzalez, Kimberley Sieber, "Fusing Current of Short Aluminum Bond Wire", 1996 InterSociety Conference on TP, pp. 329~333, 1996.
- 5) C. S. Choi et al, "The Analysis of Dendrite Structure of Electric Wire Melted by Fusing Current", 2003J-K Joint Symposium on ED&HVE, pp. 145~148, 2003.
- 6) 최충석, 김향곤, 김동욱, "과전류에 의해 용단된 소선의 특성해석에 관한 연구", 산업안전학회지, 제19권 제1호, pp. 60~65, 2004.
- 7) C. S. Choi et al, "Analysis of Dispersive Characteristics and Structures of Copper Wire Melted by Overcurrent", IEEJ, pp. 51-1~5, 2005.
- 8) C. S. Choi et al, "The Scattering Patterns Analysis of Particles by Varying Short-Circuit Angles between Electric Wires", Fire Science and Technology, The Sixth Asia-Oceania Symposium, pp. 717-722, Korea, 2004.