

과부하에 의해 변형된 비닐절연전선의 구조변화 분석

Analysis on the Structure Variation of IV Transformed by the Overload

최충석, 김형래, 송길목, 김향곤, 김동욱, 김동우

(Chung-Seog Choi, Hyung-Rae Kim, Kil-Mok Song, Hyang-Kon Kim, Dong-Ook Kim, Dong-Woo Kim)

Abstract

When the current flows over the allowable current due to the overload, it causes electric disaster such as an electrical fire and an electric shock by short current or leakage of electricity because the covering is deteriorated according to the heating action. In this paper, for the wire(IV 1.6mm) used as interior wiring, we analyzed a variation of the surroundings temperature, the form and the structure of a covering, and the crystal structure of a conductor. In the result of this experiment, the surroundings temperature at the allowable current of 300% rose to about 47°C, and it rose up to the maximum allowable temperature of the wire at 400%. Consequently, it was broken within one minute at 500%. In the analysis of a metallograph, the conductor broken by the over current showed the dendrite. These analyses result will be applied to judging the electrical fire.

Key Words : IV, electrical fire, dendrite, allowable current

1. 서론

전기는 일상생활에서만뿐만 아니라 산업현장에서 없어서는 안될 중요한 에너지원으로 사회가 발전할수록 인간의 생활은 보다 편리함을 추구하기 위해 많은 전기 장치를 사용하며 이로 인해 전선의 과부하에 따른 화재 위험성이 점점 높아지고 있다[1].

그러나 최근 전기설비의 안전에 대한 관심과 투자가 둔해지고 있으며, 이로 인해 전기재해도 매년 증가하고 있다. 화재통계에 의하면 2000년 화재건수는 34,844건이며 이중 전기화재가 차지하는 비중은 33.9%로 11,203건을 나타냈다. 전기화재가 차지하는 점유율은 점차 낮아지고 있으나 발생건수, 인명 및 재산피해는 점점 대형화되어 가는 추세이다[2].

전기화재의 발화원인을 살펴보면, 합선, 과부하, 누전, 접촉부과열, 스파크, 열적경과에 의한 과열, 절연열화 및 정전기 등에 의한 것을 들 수 있다[3].

과부하에 의하여 전선에 허용전류 이상으로 전류가 흐르게 되면 전선도체의 발열작용에 의하여 피복이 열화되고 선간단락, 지락에 의한 화재, 감전사고 등 이차적인 전기재해를 유발하게 된다[4-5].

본 연구에서는 옥내배선으로 주로 사용되는 IV의 전류에 의한 전선주위의 온도변화, 전선피복의 외형과 화학적 구조변화, 전선도체의 결정구조 등을 분석하였으며, 이 분석결과는 현장의 전기화재 감정시 유용한 자료가 될 것으로 판단된다.

2. 실험 방법

과전류에 의한 전선피복의 열화특성을 규명하기 위하여 그림 1의 실험회로와 같이 대전류공급장치(ODEN 1X, Programma, Sweden)를 이용하여 전선에 허용전류 이상으로 과전류를 인가하였으며, 과전류에 따른 실험전선 주위의 온도변화는 기록계(AR1100A, Yokogawa, Japan)에 열전대(K-type)를 이용하여 3곳에 설치하여 측정하였다. 또한, 과전류에 의한 전선피복의 열화과정을 4단계로 구분하여 실체현미경(SV-11, Carlzeiss, Germany)과 SEM(JSM-6400, Jeol, Japan)을 이용하여 표면상태와 구조를 분석하였으며, FT-IR(Spectrum GX, PerkinElmer, USA)를 이용하여 화학적 구조변화를 분석하였다.

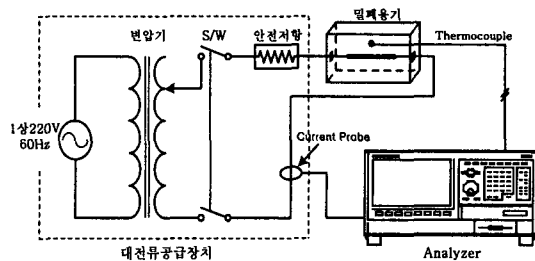


그림 1. 전선의 과전류 실험회로
Fig. 1 Experimental circuit for the over current of the wire

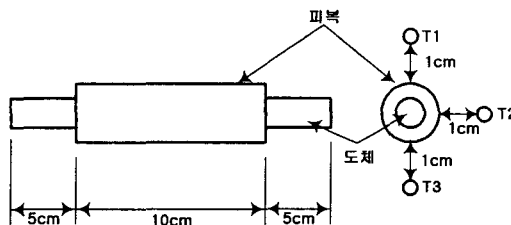


그림 2. 온도측정을 위한 열전대의 위치
Fig. 2 Positions of the thermocouple for the temperature measurement

3. 결과 및 고찰

① 과전류에 따른 전선 주위의 온도변화 분석

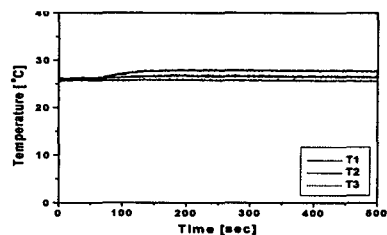
그림 3은 IV 1.6mm에 대하여 전선 허용전류의 100%, 200%, 300%, 400%, 500%에 해당하는 각각의 전류를 500sec 동안 인가하여 전선주위의 온도변화를 분석하였다.

(a)는 100% 전류(27A)를 흘렸을 때의 전선주위의 온도변화로 T1은 최고 28.02℃, T2는 26.94℃, T3은 26.08℃까지 상승했다. 온도는 T1 > T2 > T3 순서로 높았으며, 3점간의 최고온도차는 1.94℃를 보였다.

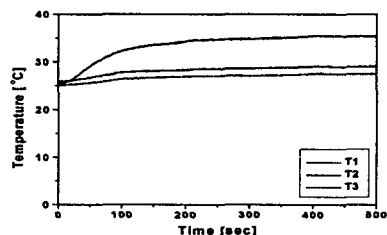
(b)는 200% 전류(54A)를 흘렸을 때의 전선 주위의 온도변화로 T1은 최고 35.50℃, T2는 29.22℃, T3은 27.73℃까지 상승했으며, 3점간의 최고온도차는 7.77℃를 보였으며 일정시간 후 주위온도가 일정하게 유지됨을 볼 수 있었다.

(c)는 300% 전류(81A)를 흘렸을 때의 전선 주위의 온도변화로 T1은 최고 46.68℃, T2는 34.07℃, T3은 30.87℃까지 상승했으며, 3점간의 최고온도차는 15.81℃를 보였다. 전선피복에서는 흰 연기가 발생하였으며 피복의 외형적 변화는 나타나지 않았다.

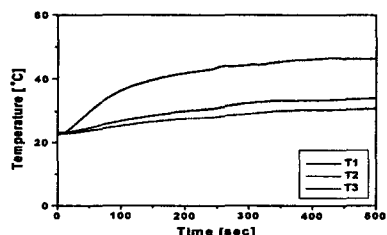
(d)는 400% 전류(108A)를 흘렸을 때의 전선 주위



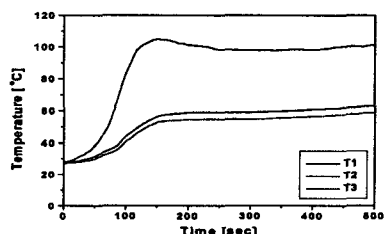
(a) 100% 전류(27A)



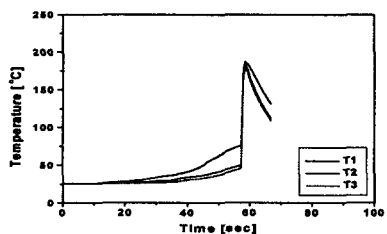
(b) 200% 전류(54A)



(c) 300% 전류(81A)



(d) 400% 전류(108A)



(e) 500% 전류(135A)

그림 3. 과전류에 따른 전선의 주위온도 변화
Fig. 3 Surroundings temperature variation of the wire according to the over current

의 온도변화로 T1은 최고 105.4℃, T2는 62.95℃, T3은 59.12℃까지 상승했다. 3점간의 최고온도차는 46.28℃를 보였으며, 밀폐용기 안에는 발생한 연기로 가득 찼으며 전선도체가 붉게 발열하였다.

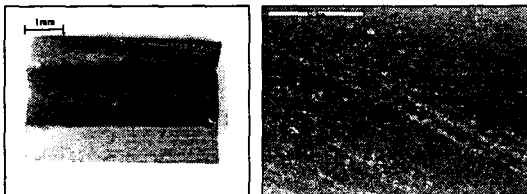
(e)는 500% 전류(135A)을 흘렸을 때의 전선 주위의 온도변화로 전선도체가 붉게 발열하였으며 전류인가 후 54초 정도 경과하였을 때 전선도체가 용단되었으며, 용단될 때 발생한 급격한 열로 주위온도가 순간적으로 상승하여 T1은 최고 187.4℃, T2는 184.8℃, T3은 180.0℃까지 상승했다. 3점간의 최고온도차는 7.4℃를 보였으며 밀폐 용기 안에는 발생한 연기로 가득 찼다.

이상의 결과로 볼 때, 200%의 과전류까지는 주위온도가 시간이 지남에 따라 점차 완만해지는 경향을 나타낸 반면에 300%의 과전류부터는 주위온도가 상승하여 전선의 최고허용온도 이상으로 올라감을 확인할 수 있었으며, 과전류가 커짐에 따라 주위의 온도차가 급격히 커졌으며 피복의 유무가 열의 축적과 발산에 많은 영향을 기침을 알 수 있었다.

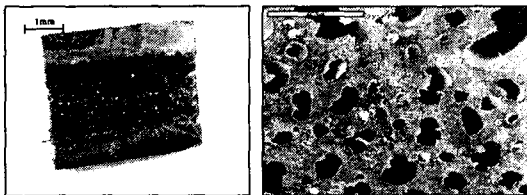
그림 4은 정상전선의 피복과 500%(135A)의 과전류를 인가했을 때 전선피복의 열화진행과정을 실제 현미경과 SEM을 이용하여 분석하였다.

(a)와 (b)는 정상상태의 전선피복으로 표면이 고르고 매끈한 상태를 보인다.

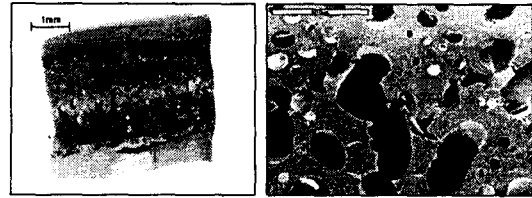
(c)와 (d)는 전선피복에서 미세하게 연기가 발생하는 열화 1단계(약 110℃)로 피복 외부에는 아무런 변화가 없었으며, 전선도체와 접촉하는 피복 내부에 작은 홀(hole)들이 형성됨을 볼 수 있었다. 이는 전선피복의 주재료인 염소의 탈염화 작용에 의한 것으로 내부에서부터 열화가 진행됨을 알 수 있다.



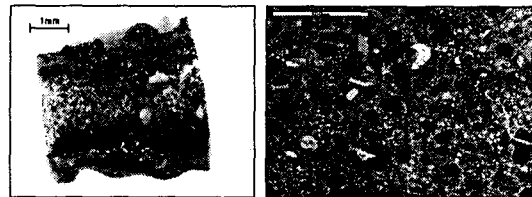
(a) 정상전선 외형 (b) 정상전선 표면구조



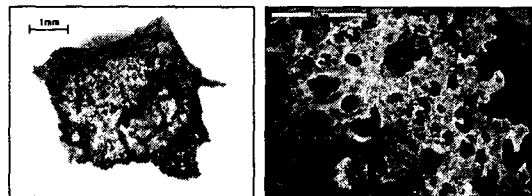
(c) 열화 1단계 외형 (d) 열화 1단계 표면구조



(e) 열화 2단계 외형 (f) 열화 2단계 표면구조



(g) 열화 3단계 외형 (h) 열화 3단계 표면구조



(i) 열화 4단계 외형 (j) 열화 4단계 표면구조

그림 4. IV 1.6mm의 과전류에 의한 열화 과정

Fig. 4 Process of the deterioration steps of IV 1.6mm by the over current

(e)와 (f)는 전선피복이 부풀어오르고 연기가 발생하는 열화 2단계(약 165℃)로 전선피복이 부풀어올랐으며, 피복이 2개의 층(layer)으로 분리되었다. 전선도체와 접촉하는 피복은 그물모양을 나타내며 이는 피복의 탈염화 작용과 탄화현상이 동시에 이루어졌기 때문으로 판단된다.

(g)와 (h)는 전선피복이 심한 연기를 발생하면서 용융되는 열화 3단계(약 210℃)로 전선피복이 급격하게 용융, 탄화되었다.

(i)와 (j)는 피복이 용융하여 이탈하는 열화 4단계(약 230℃)로 전선피복이 전선도체에서 이탈하기 시작했다. 전선도체와 닿은 피복은 연녹색으로 변색되었다.

표 1은 IV 1.6mm의 과전류에 의한 전선 내부 열화상태 단계별로 나타내었다.

그림 5는 500%의 전류를 흘렸을 때 용단된 IV 1.6mm 전선의 표면상태와 단면의 결정구조를 분석한 것이다. (a)는 실제현미경에 의한 외형사진으로 전선도체의 끝 부분에 용흔이 형성됨을 볼 수 있다.

(b)는 금속현미경을 이용하여 단면의 결정구조를 분석한 것으로 전선 본래의 연신구조가 없어지고 과전류에 의해서 용단된 전선에서 볼 수 있는 변형된 수지상의 결정구조가 변형되어 나타났다.

표 1. 비닐절연전선(IV 1.6mm)의 과전류에 의한 상태
Table 1. State of IV 1.6mm according to the over current

구분	전선피복의 변화형태
정상 전선	전선피복 내·외부 모두 매끄러운 상태
열화 1단계	전선피복 내부에서 연기발생, 작은 구멍이 생성(탈염화작용)
열화 2단계	전선피복이 부풀어오르며, 두 개의 층으로 분리, 내부는 그물 모양의 구조
열화 3단계	전선피복이 용융되고, 다량의 연기가 발생, 상부 그물모양이며, 탄화가 심화됨
열화 4단계	전선피복이 도체로부터 이탈, 내부 절연물 변색

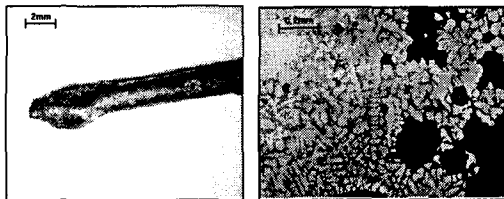


그림 5. 과전류 용단 전선의 표면상태와 결정구조
Fig. 5 Surface state and crystal structure of the broken wire according to the over current

4. 결론

이상과 같이 IV의 전류에 따른 전선주위의 온도 변화와 열화진행 단계별 특성, 그리고 SEM을 이용한 구조변화 등을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

① 과전류에 따른 전선주위의 온도변화를 분석한 결과, 300% 전류에서는 최고 46.68℃까지 상승하여 계속 상승곡선을 유지하였으며 전선피복에서 흰 연기가 발생하였고, 400% 전류에서는 최고 105.4℃까지 온도가 상승하였으며 피복이 열에 의한 용융으로 도체에서 이탈하여 열의 발산을 촉진시켰다. 500% 전류에서는 전선도체가 붉게 발열하였고 피복이 심

하게 용융하였으며 전류인가 후 1분 이내에 도체가 용단되었다.

② IV의 열화진행 단계에 따른 특성변화를 분석한 결과, 정상전선은 표면이 고르고 매끈한 형태를 보였으며 온도가 상승할수록 전선도체와 접촉한 내부피복에 작은 홀(hole)들이 형성됨을 볼 수 있었으며 피복이 용융하여 도체로부터 이탈, 전선도체와 닿은 부분의 피복은 연녹색으로 변색되었다.

③ 500% 전류에서 용단된 전선도체의 표면상태와 결정구조를 분석한 결과, 도체 끝부분에 용융흔이 형성되었으며 전선 본래의 연신구조가 없어지고 과전류에 의해 용단될 때 나타나는 수지상 조직이 변형되어 나타났다.

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] 三橋信雄, 絶縁破壊電線の劣化履歴と火災危険について, 日本火災學會誌, Vol.31, No.1, pp.11~19, 1981
- [2] 한국전기안전공사 "A Statistical Analysis on the Electrical Accident" 10th edition pp. 8~55 2001. 10
- [3] LIU Guicai et al. "ELECTRICAL FAILURE AND AVIATION SAFETY" Proceedings of Asia Pacific Symposium on Safety, Vol 1, pp. 279~282, 2001. 11
- [4] C. S. Choi et al. "A Study on the Growing Properties of the Cu₂O according to the Change of Load", Journal of the Korean Institute for Industrial Safety, pp.47~50, Vol 16, No 5, 2001, 12
- [5] 上山 勝, 有機絶縁物の絶縁破壊(トラッキング)による炭化生成物の結晶性について, 科學警察研究所報告, Vol.28, No.2, pp.44~47, 1975