

과전류에 의해 열화된 비닐코드의 특성 분석

김향곤, 최충석, 김동욱, 정현상*

전기안전연구원(한국전기안전공사 부설), 조선대학교*

The characteristics analyses of deteriorated PVC insulated flexible cords by over-current

Hyang-Kon Kim, Chung-Seog Choi, Dong-Ook Kim, and Hun-Sang Chung*
KESCO, Chosun University*

Abstract

In this paper, we experimented on the deterioration process of power supply cords and analyzed the heating temperature of each part of those cords. We also analyzed the surface states, metallurgical structures, surface structures and compositions of the wire melted by over-current.

In the results of the analyses, the covering began to be deteriorated from the inside. The heating temperature of extension cord was higher than that of plug body. The dendrite structures appeared at the melted wire. By the SEM and EDS analyses, the dendrite structure showed the growth of copper oxide.

We found out the characteristics of PVC insulated flexible cords by over-current from the above experiments and analyses. These results may be useful data in the analyses of deterioration causes of power supply cords.

Key Words : PVC insulated flexible cord, over-current, structure, EDS, copper oxide

1. 서 론

과학기술의 발달과 더불어 다양한 전기제품이 생산 보급되고 있으며 이로 인해 전기 사용량은 해마다 증가하고 있다. 전선은 굵기와 피복의 종류 등에 따라 허용전류가 정해져 있다. 그러나 하나의 전원선에 허용전류 이상으로 여러 개의 전기제품을 사용하게 되면 전선에서 열이 발생하게 된다. 우리나라 화재 통계에 따르면 매년 전기화재가 가장 높은 점유율을 나타내고 있으며 전기화재 중에서도 단락, 과부하에 의한 화재가 가장 많은 부분을 차지하고 있다[1],[2]. 전기화재를 발생설비별로 살펴보면 전기배선에서 가장 많은 화재가 일어난 것으로 집계되었다. 현재, 국내·외에서 전기배선에 대한 전기적, 열적, 기계적, 환경적 요인에 의한 발화 메커니즘에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있으며 연구결과를 바탕으로 전기화재 예방 및 원인 분석, 제품의 품질향상 등에 적극 활용하고 있다 [3]~[6].

본 연구에서는 전기제품의 전원선으로 많이 사용되는 일체형 비닐코드의 과전류에 의한 열화 특성을 밝히기 위하여 과전류에 의한 전선피복의 열화 진행과정 및 열화진행 단계별 특징, 통전전류의 크기에 따른 코드 각 부위의 온도상승, 과전류에 의해 용단된 전선도체의 외형, 금속조직, 표면구조, 성분분포 등을 분석하였다.

2. 실험 방법

그림 1은 과전류에 의한 비닐코드의 열화 실험 회로이다. 일체형 비닐코드(VCTFK, $0.75\text{mm}^2 \times 2\text{C}$)에 대전류공급장치(ODEN 1X, Programa, Sweden)를 이용하여 각각 5A, 10A, 15A, 20A의 전류를 30분(1800sec)동안 인가하였으며 각각의 전류에서 시간 경과에 따른 비닐코드 각 부위의 온도변화를 K-type의 열전대와 기록계(AR1100A, Yokogawa, Japan)를 이용하여 측정, 기록하였다. 온도 측정은 플러그 몸체부분에 T1~T3, 연장코드부분

에 T4, T5를 부착하여 각각 온도를 측정하였다.

열화과정은 디지털카메라를 이용하여 실시간 촬영하였으며, 실체현미경(SV-11, Carlzeiss, Germany)과 금속현미경(Epiphot, Nikon, Japan)를 이용하여 용단된 전선의 외형과 금속 단면조직을 분석하였다. 또한, SEM(JSM-6400, JEOL, Japan)과 EDS(ISIS, Oxford, England)를 이용하여 표면구조와 성분분포를 분석하였다.

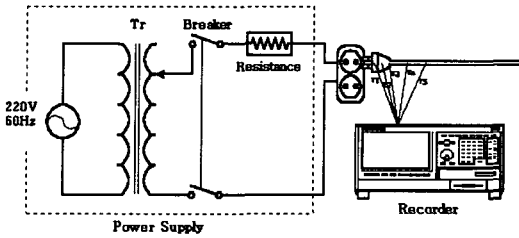


그림 1. 비닐코드의 과전류 열화실험 회로.

3. 결과 및 고찰

3.1 과전류에 의한 비닐코드의 열화과정

그림 2는 과전류에 의한 비닐코드의 열화 상상을 나타낸다. 과전류에 의한 비닐코드의 열화과정을 살펴보면, 허용전류 이상으로 비닐코드에 과전류가 흐르게 되면 전선도체의 발열로 도체와 접촉한 피복이 용융하고 전선내부로부터 탈염화반응으로 연기가 발생한다. 시간이 경과하면 전선피복 전체가 용융, 탄화하고 허용전류의 수배의 전류가 흐르게 되면 전선도체가 적열하고 결국에는 용단된다. 과전류에 의한 전선피복의 열화 특징은 과전류가 흐른 전선 전체에 나타나게 된다.

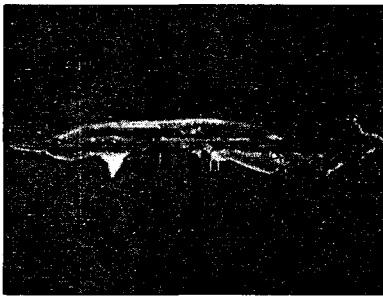
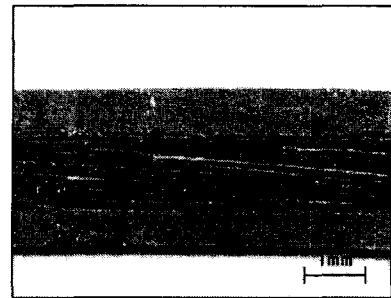


그림 2. 과전류에 의한 비닐코드의 열화.

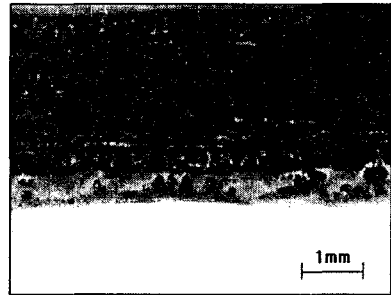
3.2 비닐코드의 열화진행 단계별 특징

그림 3은 비닐코드의 열화진행 단계별 특징을

실체현미경을 이용하여 분석한 것이다. 피복의 열화진행 단계를 살펴보면, 정상상태의 전선피복은 소선이 위치한 부분에 사선형태로 홈이 형성됨을 볼 수 있으며, 열화 1단계에서는 그림 3.(a)와 같이 전선도체의 줄열에 의해 도체와 닿는 피복에 작은 홈(구멍)이 형성된다. 열화 2단계에서는 전선피복이 부풀어오르고 일부 용융된 피복 절연물이 심선 내부로 침투하였다. 열화 3단계에서는 그림 3.(b)와 같이 전선 도체에서 발생한 열에 의해 도체와 닿은 절연물이 검게 탄화하였다. 열화 4단계에서 내부에서 발생한 열이 피복 외부까지 영향을 미쳐 전선피복이 전체적으로 용융, 탄화하는 과정을 거치게 된다.



(a) 열화 1단계



(b) 열화 3단계

그림 3. 비닐코드 전선피복의 열화단계별 특징.

3.3 비닐코드의 과전류에 의한 온도 변화

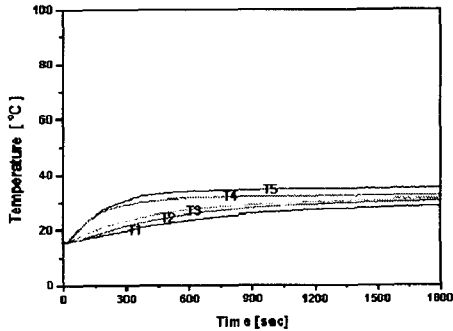
그림 4는 대전류공급장치를 이용하여 5A, 10A, 15A, 20A의 전류를 30분 동안 흘렸을 때 비닐코드 각 부위의 온도변화를 나타낸 것이다. 비닐코드를 묶지 않고 늘어뜨린 상태에서 실험하였으며 T1~T3는 플러그 몸체부분이며, T4는 플러그 몸체에서 15cm 위치, T5는 플러그 몸체에서 30cm 위치에서의 연장코드 온도를 나타낸다.

5A의 전류를 흘렸을 때 T1은 최고 18.2℃, T2는 18.03℃, T3은 18.55℃, T4는 20.49℃, T5는 20.14℃의 온도를 나타냈다.

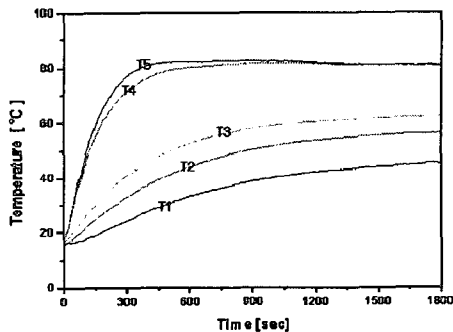
그림 4.(a)와 같이 10A의 전류를 흘렸을 때 T1은 최고 29.45℃, T2는 31.33℃, T3은 31.96℃, T4는 35.84℃, T5는 32.87℃까지 온도가 상승하였다.

15A의 전류를 흘렸을 때 T1은 최고 38.06℃, T2는 40.40℃, T3은 43.43℃, T4는 58.15℃, T5는 55.24℃까지 온도가 상승하였다. 부위별 온도차가 최고 20℃ 정도 차이가 남을 알 수 있었다.

그림 4.(b)와 같이 20A의 전류를 흘렸을 때 T1은 최고 46.34℃, T2는 57.87℃, T3은 63.63℃, T4는 82.86℃, T5는 81.95℃까지 온도가 상승하였으며, 비닐전선 피복의 최고 허용온도인 60℃을 초과하여 열이 발생함을 알 수 있으며, 장시간 지속되면 선간단락 등에 의한 화재 등 전기재해가 발생하게 된다.



(a) 10A전류



(b) 20A전류

3.4 용단된 비닐코드의 특성 분석

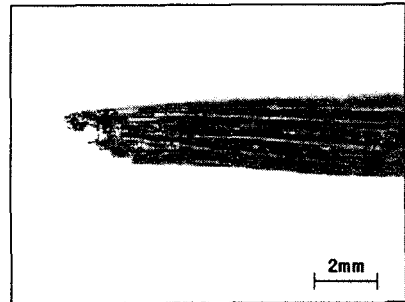
그림 5는 과전류에 의해 용단된 비닐코드의 외형, 금속 단면조직, 표면구조와 성분분포를 실체·금속현미경, SEM, EDS를 이용하여 분석한 것이다.

(a)는 외형으로 전선 끝부분에 용융흔이 형성되어 있다.

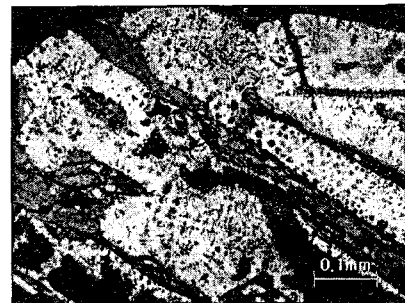
(b)는 전선 끝부분에 형성된 용융흔의 금속 단면조직으로 무수히 많은 수지상 조직들이 성장함을 알 수 있다,

(c)는 수지상으로 성장한 금속조직을 SEM으로 관찰한 것으로 구리(Cu)조직 내에 등근 형태의 조직이 형성함을 볼 수 있다.

(d)는 EDS로 (c)의 성분 분포를 Linescan(40.8 μm)한 것으로 등그렇게 성장한 부분에서 산소(O)가 다른 부분에 비해 다량 존재하였으며, 성장한 조직은 산화동(copper oxide)임을 알 수 있었다.



(a) 용단된 도체 외형

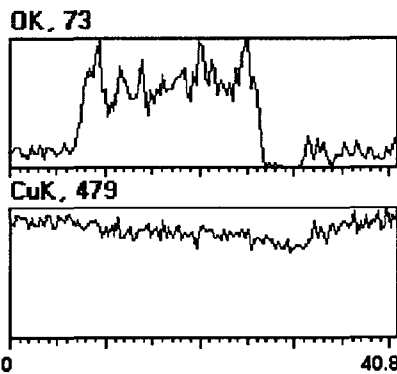


(b) 용단된 도체 금속 단면조직

그림 4. 전류에 따른 코드 각 부위별 온도 변화.



(c) 성장한 조직의 표면구조



(d) 성장한 조직의 성분 분포(O, Cu)

그림 5. 용단된 비닐코드의 특성 분석.

4. 결론

이상과 같이 과전류에 의한 비닐코드의 열화 특성을 실험, 분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

[1] 과전류에 의한 비닐코드의 열화과정을 분석한 결과, 전선도체의 발열에 의해 전선 내부에서 탈염화 반응에 의한 유독성의 연기가 발생하였으며, 피복이 부풀어 오르고 도체와 닿은 피복은 탄화되기 시작하여 시간이 경과함에 따라 점차 내부에서 외부로 열이 전달되어 전선피복 전체적으로 용융, 탄화현상이 일어났다.

[2] 비닐코드의 열화 진행단계를 분석한 결과, 1 단계에서는 피복 내부에 작은 구멍(홀)들이 형성되었으며, 2단계에서는 전선 도체와 닿은 부분의 피복이 용융되어 소선 사이로 침투하였으며, 3단계에서는 소선과 맞닿은 부분의 피복이 검게 탄화하였으며, 4단계에서는 피복 내·외부 모두 용융되고

검게 탄화하였다.

[3] 과전류에 의한 비닐코드 각 부위별 온도변화를 분석한 결과, 러그 몸체보다는 상대적으로 절연층이 얇은 연장코드에서 온도가 높게 측정되었으며 플러그 몸체보다는 연장코드 부분이 열에 취약함을 알 수 있다. 20A의 전류를 인가했을 때 연장코드에서는 최고 약 83℃까지 상승하여 지속적으로 열을 받게 되면 피복이 용융하여 선간단락이나 누전에 의한 전기재해의 발생 가능성이 있다.

[4] 과전류에 의해 용단된 비닐코드 도체의 외형과 금속 단면조직을 분석한 결과, 용단된 전선 끝부분에서 용융흔을 확인할 수 있었으며 이 용융흔에서는 과전류에 의해 용단될 때 나타나는 수지상 조직을 볼 수 있었다.

[5] 수지상 조직의 표면구조와 성분분포를 분석한 결과, 동(Cu)조직 내에 등근 형태의 조직이 성장하였으며, 성장한 조직에서는 산소가 다른 부분에 비해 다량 존재하는 것으로 보아 산화물이 성장함을 알 수 있었다.

이상과 같은 과전류에 의한 비닐코드의 열화특성에 대하여 실험하였으며, 분석결과는 전기화재 원인분석 및 예방에 많은 도움이 될 것을 기대한다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] 최충석 외 5, "전기화재공학", 동화기술, pp.73~115, 2001.8
- [2] 황병표 외 6, "전기재해 통계분석", 한국전기안전공사, pp.7~56, 2002.10
- [3] 최충석 외 5, "과부하에 의해 변형된 비닐절연 전선의 구조변화 분석", 한국전기전자재료학회 하계학술대회, pp.398~401, 2002.7
- [4] 최충석 외 5, "열화 온도에 따른 IV의 수출률 및 조직분석", 대한전기학회 하계학술대회, pp.1416~1418, 2002.7
- [5] 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
- [6] 製品評價技術センター北關東支所, "電線の熔融痕に関する一考察", 日本火災學會, Vol.48 No.1, pp.34~37, 1998