

형광등용 안정기의 발화 및 용융흔 분석에 관한 연구
A Study on the Ignition and Molten Mark Analysis of Ballast for Fluorescent Lamp

최충석*, 박창수*, 김혁수*, 김향곤*, 정재희**

* 전기안전시험연구원(ESLRI), ** 서울산업대학교 안전공학과

ABSTRACT

In this paper, we reported an outbreak of fire hazard of ballast for fluorescent lamp. The surface structure and composition of ballast coil analyzed by using metallurgical microscope, scanning electron microscope(SEM) and energy dispersive x-ray spectroscopy(EDX). The surface of molten mark appeared columnar structure and void. EDX analysis indicated that the molten mark spectra were composed not only of the corresponding original spectra but also of several new lines.

Key word : Ballast for Fluorescent Lamp; Scanning Electron Microscope; Energy Dispersive X-ray Spectroscopy

1. 서 론

일상생활에서 많이 사용하는 조명설비도 국민소득이 높아 갈수록 밝고, 편하고, 안락한 조명 환경을 얻기 위해 조명설비에 대한 투자 증가로 조명에서 소비하는 전력이 총 소비전력의 20~35[%]로 증가하여 전기로 인한 화재사고도 점차 늘어나고 있다. '97년도 국내 전체화재중 전기화재 점유율이 34.2[%]를 점유하여 1위를 차지하였으며, 형광등에 의한 화재도 증가하는 추세로 화재에 의한 귀중한 인명과 막대한 재산상의 피해가 발생하고 있다.[1]

형광등용 안정기(KS C 5094)의 수명은 사용시간, 접점횟수 및 주위환경 등에 따라 짧은 차이가 있다. 즉, 절연열화 및 설비의 불량에 의해 재해가 발생하며 그 원인을 밝히는 것은 대단히 어렵다.[2]

일반적으로 전기화재의 해석은 화재 잔존물로 남은 전선 및 기기류 등의 용융흔의 형상, 금속조직, 보이드(Void) 및 조성변화 등의 차이를 통해서 알 수 있다.

전선은 열을 받으면 구조의 변화가 일어나고, 공기중의 산소와 반응하는 경우 산소의 함유율에 따라 생성되는 조직의 조성변화를 알 수 있다. 그리고 절연물이 수지인 경우 고열로 녹은 절연물이 금속으로 스며들어가며 이들의 조성분석을 통해서 연소물의 물성을 예측할 수 있다.[3-7]

따라서 본 연구에서는 형광등용 안정기의 전압에 따른 발화점을 밝히고, 안정기 코일을 금속현미경, 주사전자현미경(SEM) 및 에너지분산분석기(EDX) 등을 이용하여 분석하여 조직의 표면구조, 배열상태 및 조성상태를 밝히는데 있다.

2. 실험방법

형광등에 사용되는 안정기는 철심, 코일 및 절연재 등으로 구성되어 있다. 이것들이 설계불량 또는 열화로 인해서 재해를 유발시키게 되는데 그 원인을 밝히는 한 방법으로 내전압시험을 하였으며, 에너지원에 따른 코일의 용융부분의 물성을 분석하였다.

안정기의 발화특성은 내전압시험기(Automatic Oil Withstand Voltage Test Set, IP-5005S, AC 0-50kV)를 이용하여 인가전압에 따른 영향을 관찰하였다.

코일 표면의 구조분석을 위해 용융부분을 절단(Cutting machine, Minitom, Denmark)하여 연마기(Polisher Machine, Rotopol-2, Denmark)를 이용하여 연마하여 에칭한 후에 금속현미경(Metallurgical Microscope, Nikon, Japan)을 사용하여 금속내의 보이드 및 주상성장의 방향성을 보았다. 그리고 더욱 정확한 입자들의 구조 및 배열을 분석하기 위해 주사전자현미경(SEM, JEOL JSM-6400, Japan)을 이용하여 표면구조 및 조성의 표면배열상태를 분석하였다.

에너지분산X선분광분석기(Energy dispersive x-ray spectroscopy ; EDX, Oxford, England)를 이용하여 안정기 코일의 용융부분을 line scan했으며 이를 통해서 조성변화를 밝혔다.

3. 결과 및 고찰

형광등용 안정기의 단자간에 내전압시험기를 이용하여 전압을 인가하였을 때의 발화된 형태를 사진 1에 나타냈다. 사진 (a)는 전압을 3,500[V] 인가하였을 때 미세한 불꽃방전이 일어나고 있음을 보이고 있으며, 사진 (b)는 동일한 조건에서 약 2분 전압을 인가하였을 때의 사진이다.

전선에 불이 붙은 후 전원을 차단하여도 연소는 일정시간 계속 되었으며 주위에 인화물이 있을 경우 연속적인 화재로 이어질 수 있다. 즉, 전기화재 예방 및 안전을 고려해 볼 때 배선기구의 난연화는 대단히 중요하며 난연재료의 개발이 병행되어야 할 것이다.

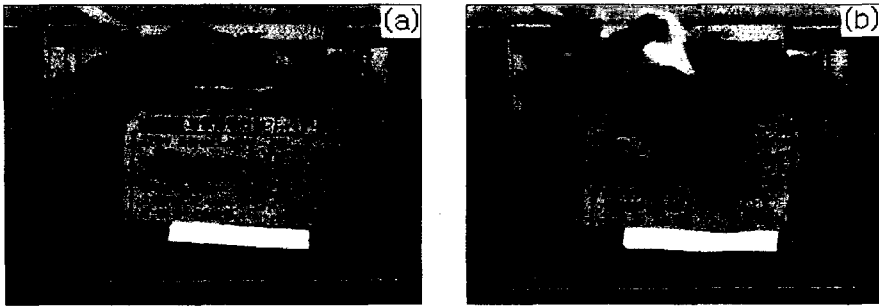


Photo. 1 Outbreak of fire with high voltage supply (a) 10 second, (b) 2 min.

안정기의 열화는 전기적인 요인, 환경적인 요인 및 기계적인 요인 등이 있다. 사진 2는 절연열화에 의해 안정기의 절연물이 소실되어 코일의 단락에 의해 생성된 용융흔을 나타낸 것이다. 이 사진에서 알 수 있듯이 용융된 부분은 구슬모양을 하고 있으나 이것이 열에 의한 것인지, 전기적인 요인에 의한 것인지는 육안으로 판별은 사실상 어려움이 있다. 따라서 용융부분을 금속현미경 및 주사전자현미경으로 확대하여 구조를 분석할 필요가 있다.

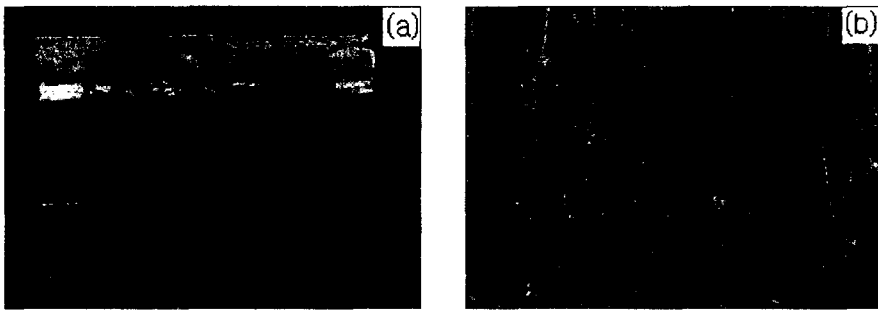


Photo. 2 Photography of ballast coil (a) original, (b) magnification ($\times 10$)

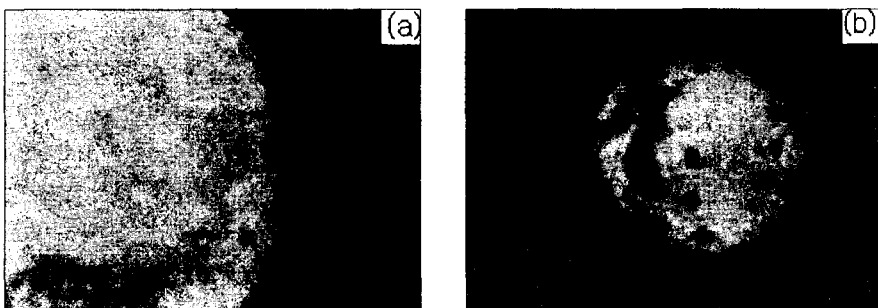


Photo. 3 Structure by metallurgical microscope (a) thermal treated wire, (b) columnar structure and by electric short (mag. $\times 400$)

사진 3은 용융된 안정기 코일의 금속현미경 사진이다. 사진 (a)는 외부화염에 의해 열을 받은 동(銅)의 금속현미경 사진으로 단지 동(Cu)의 입자가 커진 상태를 보이고 있다. 사진 (b)는 단락에 의해서 생성된 용융부분의 사진으로 Cu 고유의 구조는 물론이고 입자들 사이의 보이드(void) 및 주상조직(columnar structure)이 잘 발달되어 있음을 알 수 있다. 이것은 단락에 의한 조직의 특성으로 순간적인 전기에너지의 공급에 의한 용융이라 말할 수 있으며 이런 특징을 응용하여 발화원의 종류를 판단할 수 있다.

사진 4는 용융된 코일의 표면구조 및 조성배열을 밝히기 위해 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 나타낸 사진이다. 사진 (a)는 전선 고유의 입자배열을 보이고 있다. 그러나 사진 (b)는 단락에 의해서 짧은 시간에 용융되고 재결합됨으로서 경계면을 중심으로 심하게 변형되어 있음을 보여준다. 즉, 단락시에 격렬한 발열 반응이 일어났음을 의미한다.

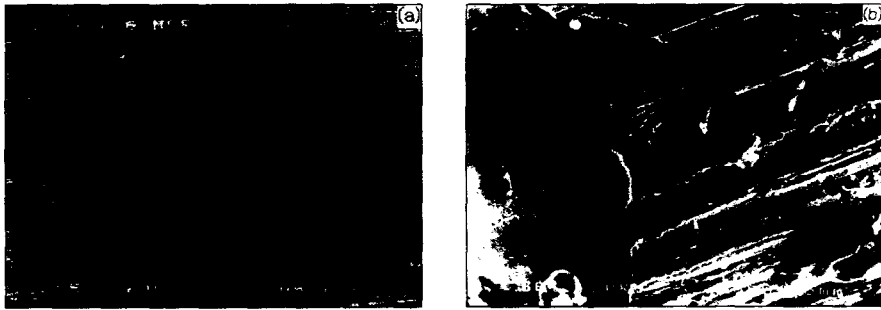


Photo. 4 Surface structure and composition by SEM (a) original wire, (b) wire by electric short

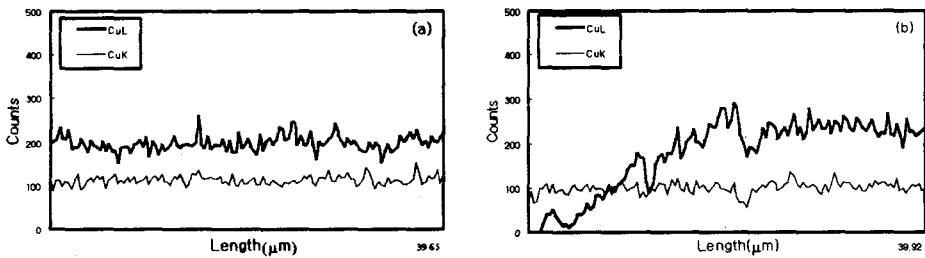


Fig. 1 Line scan spectra of molten mark by EDX (a) normal ballast coil, (b) ballast coil by electric short

그림 1은 에너지분산X선분석기(EDX)를 이용하여 용융부분의 스펙트라를 나타낸 것이다. 그림 (a)는 정상상태의 line scan 스펙트라로서 Cu의 주된 구성요소인 CuL, CuK 등이 고르게 분포하고 있다. 그림 (b)는 단락된 안정기 코일의 스펙트라로서 정상상태의 스펙트라와 다른 형태를 보이고 있다. 용융된 부분을 경

계로 스펙트라의 세기가 심하게 변형되어 있음을 알 수 있다. 이것은 SEM 분석에서도 확인되었듯이 짧은 시간에 용융과 재결합에 의해 에너지의 이동이 급격했음을 알 수 있다.

4. 결 론

일반 조명용으로 가장 널리 사용되고 있는 형광등 안정기의 화재위험성에 대해서 전압에 따른 영향을 살펴보고, 안정기 코일의 용융흔을 금속현미경, SEM 및 EDX 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 내전압시험기를 이용하여 안정기 양단에 전압을 인가하였을 때 약 3,500[V]에서 미세한 방전이 발생하여 2분 후에 출화로 이어졌다.
- (2) 안정기 코일의 금속현미경 분석을 행하여 열에 의한 조직의 변형 및 주상조직의 성장을 알 수 있었고, 성장형태 및 배열을 통해서 에너지원의 식별이 가능했다.
- (3) 단락된 코일의 경우 짧은 시간에 용융과 재결합이 일어나 Cu 본래의 구조뿐만 아니라 심하게 변형된 구조 및 배열로 되어 있었다.
- (4) 에너지분산X선분석기에 의한 용융부분을 line scan하여 정상부분과 용융부분의 조성변화를 확실히 인식할 수 있었고, 이를 통해서 에너지원의 식별이 가능하였다.

[참고문헌]

- 1) 한국전기안전공사, “전기재해통계분석”, 1998.
- 2) 한국산업규격(KS C 5094), 한국표준협회, 1994.
- 3) Bruce V. Ettling, “Electrical Wiring in Building Fires”, Fire Technology, Vol. 14, no. 4, pp. 317~325, 1978.
- 4) D. W. Levinson, “Copper Metallurgy as a Diagnostic Tool for Analysis of the Origin of Building Fires”, Fire Technology, Vol. 19, no. 1, pp. 211~222, 1983.
- 5) 양훈영, “금속재료학”, 문운당, 1996.
- 6) 성영권, “전기·전자재료”, 동명사, 1986.
- 7) NITE, “An Examination about Molten Mark of Copper Electric Wire Fused by Over Current”, Jpn. Asso. for Fire Sci. and Eng., 232, Vol. 48, no. 1, 1998.