

## 형광등용 안정기의 화재원인 판정에 관한 연구 A Study on the Judgment of Fire Cause of Ballast for Fluorescent Lamp

최충석<sup>†</sup> · 백동현\*

Chung Seog Choi<sup>†</sup> · Dong Hyun Baek\*

한국전기안전공사부설 전기안전시험연구원  
\*경원전문대학 소방안전관리과

### 요 약

본 연구에서는 옥내 조명으로 널리 사용되고 있는 형광등용 안정기의 화재위험성을 분석하였다. 안정기 권선을 실제현미경으로 분석한 결과 용융흔을 다수 발견할 수 있었으나, 육안으로 원인 판정은 불가하였다. 700°C 이상에서 열열화(熱劣化)된 안정기 권선은 연신구조(elongation structure)가 없어지고 구리입자의 확대된 형태만 보였다. 단락 권선의 금속현미경 분석에서 경계면을 중심으로 주상조직 및 보이드 성장의 규칙성이 확인된 것으로 보아 전기적인 단락이 층간에 일어났음이 증명되었다. SEM을 이용한 미세구조 분석에서 용융된 부분이 확인되었다. EDX를 이용한 스펙트라 분석에서 Cu의 구성요소인 CuL 및 CuK lines뿐만 아니라 OK line이 고르게 관측되고 있다. 이것은 재결합 과정에서 산소가 반응에 참여했음을 의미한다.

### ABSTRACT

In this paper, we analyzed the fire hazard of the ballast for fluorescent lamp used as the indoor lighting. In the result of being analyzed the ballast wire by stereo microscope, many melting points were discovered, it was impossible to judge a cause with the naked eye. In the thermal-deteriorated ballast wire, elongation structure disappeared at above 700°C, and it only showed the enlarged appearance of the copper particle. On the metallurgical microscope of short wire, as it was confirmed the regulation of the columnar structure and the void growth at the center of boundary-face, we found that electrical short-circuit generated. Also, it was confirmed the melted part on the analysis using SEM(scanning electron microscope). Not only CuL and CuK line that is composition factor of copper but also OK line was observed uniformly on the spectra analysis using EDX(energy dispersive x-ray spectroscopy). It means that oxygen took part in reaction at the recombination process.

**Keywords** : Fire Hazard, Ballast, Elongation Structure, Melting Mark, Columnar Structure

### 1. 서 론

일상생활에서 많이 사용되는 조명설비는 국민소득이 높아 갈수록 밝고, 편하고, 안락한 조명 환경을 얻기 위한 요구가 커지고 있다. 조명설비에 대한 투자가 증가는 조명에서 소비하는 전력(총 소비전력의 20~35%)에서도 알 수 있으나 그에 따른 화재사고도 점차 늘어나고 있다. 1998년도 국내 전체화재 중 전기화재가

33.4%를 점유하여 1위를 차지하였으며, 형광등에 의한 화재도 증가하는 추세이며 화재에 의한 귀중한 인명과 막대한 재산상의 피해가 발생하고 있다.<sup>1)</sup>

형광등용 안정기(KS C 5094)의 수명은 사용시간, 점멸횟수 및 주위환경 등에 따라 많은 차이가 있다. 즉 절연열화 및 설비의 불량에 의해 재해가 발생하며 그 원인을 밝히는 것은 대단히 어렵다.<sup>2)</sup>

전기화재를 유발하는 발생경과는 설계 및 구조불량, 취급불량, 공사불량, 경년열화 및 기타로 분류된다. 또한, 출화형태는 단락, 과부하, 반단선, 트래킹 및 후연

<sup>†</sup>E-mail: ccseog@chollian.net

화현상, 누전, 접촉불량 및 아산화동증식 발열현상, 방전, 정전기 불꽃, 은이동 등이 있다.<sup>3)</sup> 일반 전기기기의 권선이 단락에 의해 설비사고로 이어지면 도체의 용융흔(melting mark)이 발생하는데 이를 해석함으로써 그 원인 판정이 가능하다. 그리고 절연물이 수지인 경우 고열로 녹은 절연물이 금속으로 스며들어가며 이들의 조성분석을 통해서 연소물의 특성을 예측할 수 있다.<sup>4,6)</sup>

따라서 본 연구에서는 형광등용 안정기에 고전압을 인가할 경우 착화시간을 밝히고, 안정기 권선을 실체현미경, 금속현미경, 주사전자현미경(SEM) 및 에너지분산분석기(EDX) 등을 이용하여 표면상태, 표면 및 단면구조, line spectra 등을 분석하여 화재원인 판정의 객관성을 확보하고자 한다.

### 2. 실험방법

형광등에 사용되는 안정기는 철심, 코일 및 절연재 등으로 구성되며, 설계불량 또는 열화로 인해서 재해를 유발시키게 된다. 특히, 절연이 약화되어 안정기에 충전단락이 발생하면 과전류가 흘러 화재로 이어질 가능성이 크다. 따라서 인가전압에 따른 안정기의 발화특성 실험을 위해 내전압시험기(Automatic Oil Withstand Voltage Test Set, IP-5005S, AC 0-50kV)를 이용했다.

그리고 안정기 권선의 구조분석을 위해 용융 부분을 다이아몬드 톱으로 절단(Cutting machine, Minitom, Denmark)하였다. 절단된 부분은 연마기(Polisher Machine, Rotopol-2, Denmark)를 이용하여 연마하여 크로머지로 에칭(etching)하였다. 에칭이 끝난 시료는

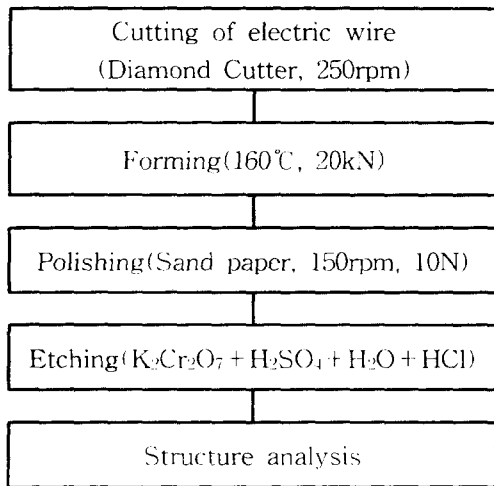
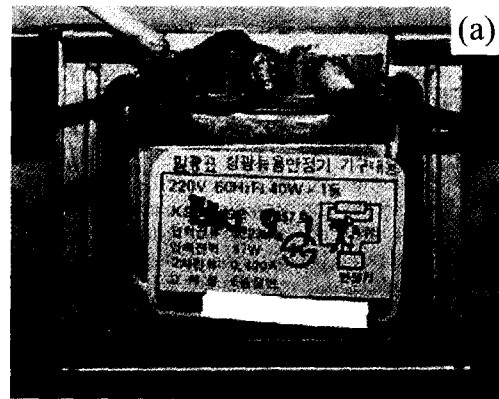


Fig. 1. 전선의 단면구조 분석 과정.

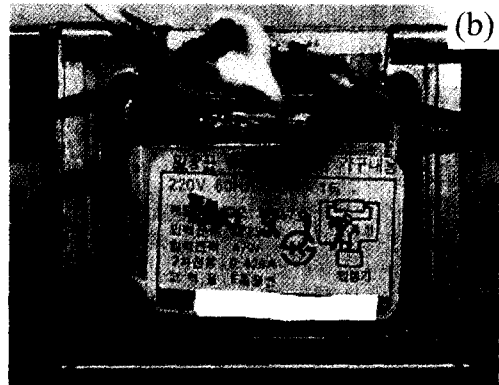
금속현미경(Metallurgical Microscope, Nikon, Japan)을 사용하여 금속내의 보이드(void) 및 주상조직성장(columnar structure glowing)의 방향성을 분석하였으며 과정은 Fig. 1과 같다. 또한, 더욱 정확한 입자들의 구조분석을 위해 주사전자현미경(SEM, JEOL JSM-6400, Japan)을 이용하였으며, 에너지분산분석기(EDX; Energy dispersive x-ray spectroscopy, Oxford, England)를 이용하여 안정기 코일의 용융부분을 line scan했으며 이를 통해서 재결합에 따른 특성변화를 해석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

형광등용 안정기의 단자간에 내전압시험기를 이용하여 전압을 인가하였을 때의 발화된 형태를 Fig. 2에 나타냈다. Fig. 2(a)는 안정기 입력단자에 3,500[V]을 인가하고 10초 경과되었을 때의 사진으로 미세한 불꽃방전이 일어나고 있음을 관측할 수 있었다. Fig. 2(b)는



(a) 10초 경과



(b) 2분 경과

Fig. 2. 고전압을 인가했을 때 발화의 진전형태.

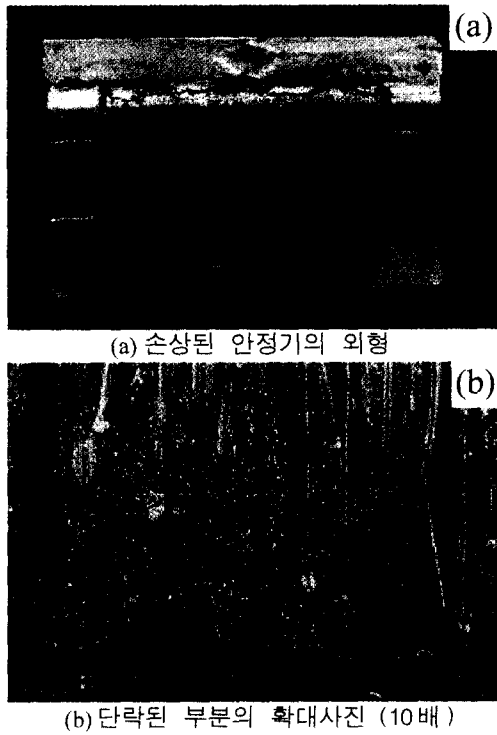


Fig. 3. 안정기 권선의 실제현미경 사진.

동일한 조건에서 2분 경과한 사진으로 전선의 절연물에 착화되어 불꽃이 왕성한 성장을 하고 있음을 알 수 있다. 이런 상태에서 전원을 차단하여도 연소는 일정 시간 계속된 것으로 보아 주위에 인화성 물질이 있을 경우 연속적인 화재로 이어질 수 있다. 즉 전기화재 예방 및 안전을 고려해 볼 때 배선기구의 난연화는 대단히 중요하며 난연재료 사용의 필요성을 인식하였다.

안정기의 열화는 전기적, 환경적, 열적 및 기계적 요인 등이 있다. Fig. 3은 절연열화로 안정기의 절연물이 손상되어 코일의 단락에 의해 생성된 용융흔(meltingmark)을 나타낸 것이다. Fig. 3(a)는 안정기 외함을 제거한 상태의 실제사진이다. 절연물이 전체에 걸쳐 손상되었음을 알 수 있다. Fig. 3(b)는 Fig. 3(a)의 표면을 실제현미경을 이용해서 확대 촬영한 것으로 여러 곳에서 용융된 흔적을 발견할 수 있다. 이것이 열에 의한 것인지, 전기적인 요인에 의한 것인지 육안으로 판별은 사실상 어려움이 있다. 따라서 용융부분을 금속현미경 및 주사전자현미경 등으로 구조 분석할 필요가 있다.

Fig. 4는 열열화(熱劣化)에 따른 안정기 권선의 단면 구조 변화를 나타낸 것으로 배율은 200배이다.<sup>7)</sup> Fig.

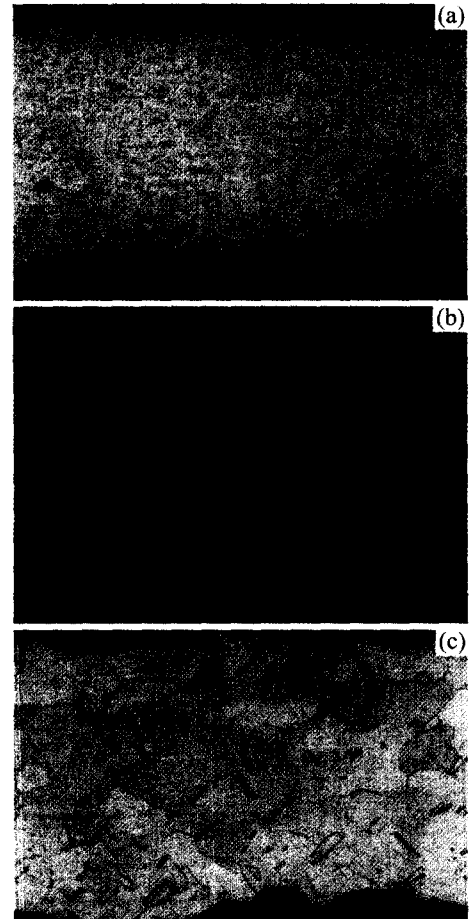


Fig. 4. 열열화된 안정기 권선의 금속현미경 사진 (a) 300°C, (b) 700°C, (c) 900°C.

4(a)는 300°C에서 열열화된 사진으로 입자 배열의 변화가 거의 없음을 알 수 있다. Fig. 4(b)와 (c)는 700°C 및 900°C에서 열열화된 전선의 단면구조 사진으로 연신(elongation)된 기본구조는 없어지고 구리입자의 확대된 형태만 보이고 있다. 즉 입자의 형상을 분석함으로써 전선이 어느 정도의 열원에 노출되었는지를 판단할 수 있다.

Fig. 5는 단락에 의해 생성된 용융부분의 금속현미경 사진으로 입자(particle)들 사이의 보이드(void) 및 주상구조(columnar structure)가 잘 성장되어 있음을 알 수 있다. 이것은 단락에 의한 구조 특징으로 순간적인 전기에너지의 공급에 의한 용융이라 말할 수 있으며 이런 특징을 응용하여 발화원의 종류를 판단할 수 있다.

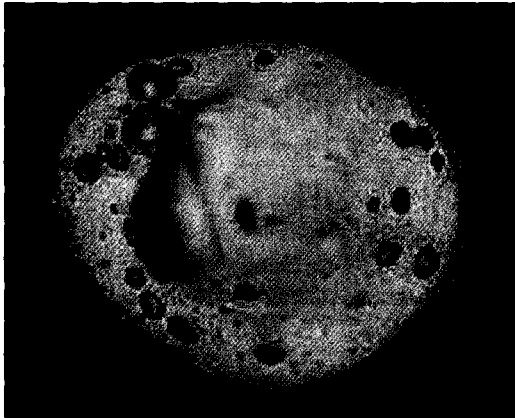
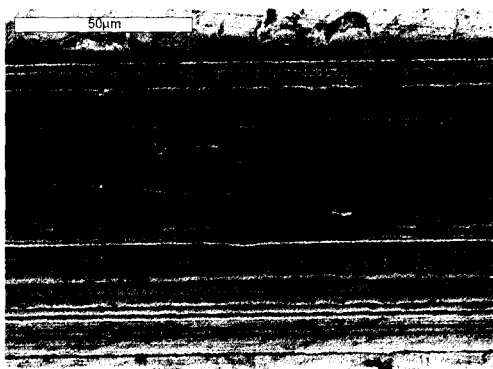
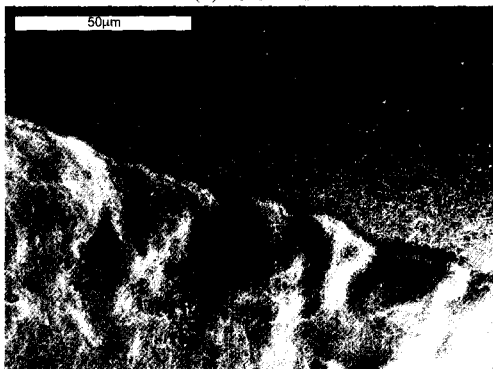


Fig. 5. 단락된 안정기 권선의 금속현미경 사진(400배).



(a) 정상 권선

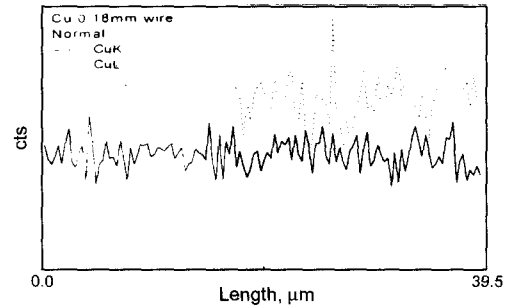


(b) 단락 전선

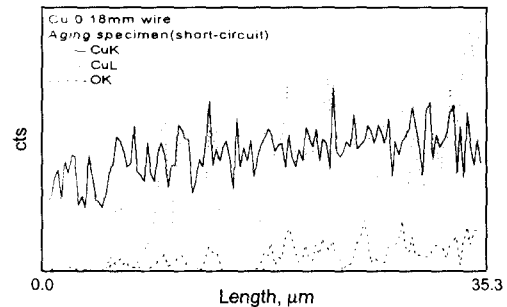
Fig. 6. 안정기 권선의 주사전자현미경 사진.

Fig. 6은 용융된 권선의 미세구조를 밝히기 위해 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 나타낸 사진이다. Fig. 6(a)는 정상전선으로 구리 고유의 입자배열을 보이고 있다. 그러나 Fig. 6(b)는 단락에 의해서 짧은 시간에

한국화학·소방학회, 제14권 제3호, 2000년



(a) 정상 권선



(b) 단락 권선

Fig. 7. EDX에 의한 권선의 line spectra.

용융되고 재결합됨으로서 경계면을 중심으로 심하게 변형되어 있음을 보여준다. 즉 단락에 따른 격렬한 발열산화반응(exothermic oxidation reaction)이 일어났음을 의미한다.

Fig. 7은 에너지분산분석기(EDX)를 이용하여 용융부분의 스펙트라를 나타낸 것이다. Fig. 7(a)는 정상상태의 line scan 스펙트라로서 Cu의 주된 구성요소인 CuL, CuK 등이 고르게 분포하고 있다. Fig. 7(b)는 단락된 안정기 권선의 스펙트라로서 정상상태의 스펙트라와 다르게 OK line이 고르게 관측되고 있다. 이것은 SEM 분석에서도 확인되었듯이 재결합 과정에서 산소가 반응에 참여했음을 의미한다.

#### 4. 결 론

육내 조명으로 널리 사용되고 있는 형광등용 안정기의 화재위험성 분석을 위해 안정기 양단에 고전압을 인가했으며, 그 때 생성된 안정기 권선의 용융현을 실체현미경, 금속현미경, SEM 및 EDX 분석에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 내전압시험기를 이용하여 안정기 입력단자에 3,500 V를 인가하였을 때 미세한 방전이 발생하여 2분 후에 출화로 이어졌다.

2. 손상된 표면의 실체현미경 분석에서 용융흔을 다수 발견할 수 있었으나, 열에 의한 것인지, 전기적인 요인에 의한 것인지 육안으로 판별은 사실상 어려움이 있었다.

3. 열열화(熱劣化)된 안정기 권선의 단면구조 분석 결과 700°C 이상에서 열화된 경우 전선의 연신구조(elongation structure)가 없어지고 구리입자의 확대된 형태만 보였다.

4. 단락 권선의 금속현미경 분석에서 경계면을 중심으로 주상조직 및 보이드 성장의 규칙성이 확인된 것으로 보아 전기적인 단락이 층간에 일어났음이 증명되었다.

5. SEM을 이용한 미세구조 분석에서도 경계면을 중심으로 짧은 시간에 용융되고 재결합되었음이 확인되었다. 이것은 순간단락에 따른 격렬한 발열산화반응(exothermic oxidation reaction)이 일어났음을 의미한다.

6. EDX를 이용한 용융부분의 스펙트라 분석에서 Cu의 주된 구성요소인 CuL, CuK lines뿐만 아니라 OK line이 고르게 관측되고 있다. 이것은 재결합 과정에서

산소가 반응에 참여했음을 의미한다.

## 참고문헌

1. 허만엽, 황병표, 韓國電氣安全公社, 電氣火災 統計分析, pp. 51-56(1999)
2. 한국산업규격(KS C 5094), 한국표준협회(1994)
3. 최충석 외 5, 전기화재공학, 東和技術, pp. 98-105, 165-212(1999)
4. 최충석 외 2, "열열화된 600 V 2중 비닐절연전선의 특성변화 분석", 대한전기학회논문지, Vol. 49, No.1, pp. 8-12(2000)
5. Bruce V. Ettlting, "Electrical Wiring in Building Fires", Fire Technology, Vol. 14, No. 4, pp. 317-325(1978)
6. 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)
7. 최충석 외 3, "熱劣化에 따른 600 V IV의 組成變化에 관한 研究", 한국전기전자재료학회춘계학술지, pp. 53-56(1999)