

Damaged Pattern Analysis of Incandescent Lamp by External Flame

金 珣 坤* · 金 桐 郁** · 李 璣 燕** · 崔 忠 錫*** · 崔 孝 祥†

(Hyang-Kon Kim · Dong-Ook Kim · Ki-Yeon Lee · Chung-Seog Choi · Hyo-Sang Choi)

Abstract - In this paper, we experimented and analyzed about evaporation and breaking process of filament by external flames and adsorption pattern in lamp bulb of evaporated filament particle according to the set-up directions of incandescent lamps. In the results of experiments, we could know that filament evaporation behavior of incandescent lamp that is established by down direction happened most vigorously and is difference in adsorption pattern of filament particle that is vaporized according to set-up directions. Also, glass bulbs were melted and filaments were evaporated by external flames, and finally molten marks were discriminated. We expect that become important data that this study finding reveals burnout cause of incandescent lamp in scene of a fire.

Key Words : Damaged Process, EDX, External Flame, Incandescent Lamp, Set-Up Directions, SEM

1. 서 론

최근 국제 유가의 지속적인 상승에 따라 경기 침체가 장기화되고 있으며 이와 더불어 에너지를 절감하기 위한 다양한 방안들이 강구되고 있다. 이러한 방안으로 신재생에너지에 대한 국제적인 관심이 커지고 있으며 각국에서 이에 대한 기술 개발과 지원이 늘어나고 있다.

우리의 일상생활에 있어 없어서는 안 될 전기설비가 조명이다. 빛은 인류 문명의 발전에 있어 생산 활동의 증대와 일의 능률을 향상시키는 커다란 변화를 가져오게 하였다. 일반적인 조명기구로 대표적인 것이 백열전구와 형광등일 것이다. 백열전구는 발명된 후 수명 연장을 위하여 전구의 유리구 내를 진공으로 하고, 필라멘트도 2중 코일형으로 사용하고 있다[1]. 외국의 경우 백열전구와 관련하여 소비전력에 따른 유리구의 표면온도 변화와 백열전구의 일반적인 구조 및 백열전구의 감성요령에 대하여 간략하게 발표하였다[2-4]. 국내의 경우 백열전구의 수명 등 필라멘트의 단성 특성에 대한 연구와 백열전구의 설계에 관한 연구, 백열전구가 가연물과 접촉시의 화재위험성[5-7], 화재원인 분석기법[8, 9]에 대한 내용이 발표되었다. 백열전구 등 조명기구에서 발생하는 화재원인의 규명과 예방을 위하여 설치방향에 따른 특징 구별이나 다른 분석장치를 이용한 분석기법의 개발 등의 연구가 요구된다. 본 논문에서는 일반조명으로 널리 사

용되고 있는 백열전구의 설치 위치에 따른 외부 화염에 의한 소손 패턴에 대하여 연구하였으며 설치 조건(위치)에 따른 유리구의 용융, 백열전구 필라멘트의 산화와 단선과정, 산화된 필라멘트 입자의 유리구 내 흡착 패턴에 대하여 실험, 분석하였다. 이와 같은 연구 결과는 화재 현장 및 화재 현장에서 수거된 백열전구의 소손 원인을 밝혀내는데 중요한 과학적 자료가 될 것으로 기대된다.

2. 이론적 배경

백열전구가 1874년 에디슨에 의해 발명된 이래로 현재까지 형광등 다음으로 주광원으로 많이 사용되고 있다. 백열전구는 그림 1과 같이 필라멘트, 앵커, 도입선, 스텝, 배기관, 베이스, 가스, 유리구 등으로 구성되어 있다. 필라멘트는 텅스텐 재질의 2중 코일형이 주로 사용된다. 백열전구용 유리구는 연질의 소다석회 유리나 경질의 붕규산 유리가 사용된다. 베이스는 유리구에 부착하는 부분으로 황동이나 알루미늄이 사용된다. 필라멘트 지지물인 앵커는 보통 몰리브덴선이나 텅스텐선이 사용된다. 백열전구의 도입선은 내부도입선, 외부도입선 및 봉착부도입선으로 나누어지며, 내부도입선으로 니켈이, 외부 도입선으로 구리(동선)가 사용된다. 봉착부 도입선은 봉착(封着)시키는 유리구 열팽창계수를 같게 하기 위해 철과 니켈의 합금에 동을 피복한 듀멧선(dumet wire)이 사용되며 구리를 피복하는 것은 유리와의 밀착성을 증가시키기 위해서이다. 유리구의 내부는 고온의 필라멘트의 산화를 막기 위하여 진공으로 하며 유리구 내에 남아 있는 소량의 공기에 의한 산화를 막기 위하여 게터를 사용한다. 게터는 전구 제조시 필라멘트 등에 미리 발라 놓으며 처음 점등할 때 남아 있는 공기 중의 산소와 화학하여 산소에 의한 해를 막을 수 있다[1].

† 교신저자, 終身會員 : 朝鮮大學校 電氣工學科 教授 · 工博

E-mail : hyosang@chosun.ac.kr

* 正 會 員 : 電氣安全研究院 災害豫防그룹 責任研究員

** 正 會 員 : 電氣安全研究院 災害豫防그룹 研究員

*** 正 會 員 : 全州大學校 消防安全工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2008年 8月 8日

最終完了 : 2008年 11月 6日

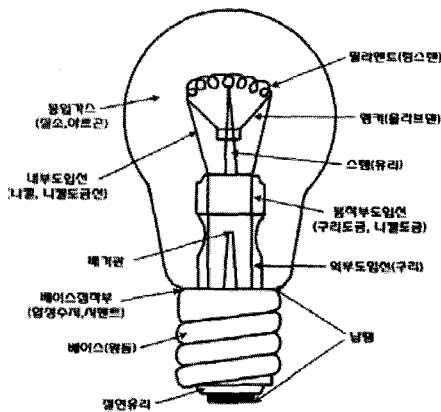
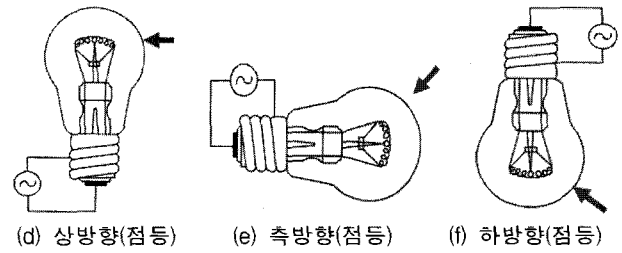
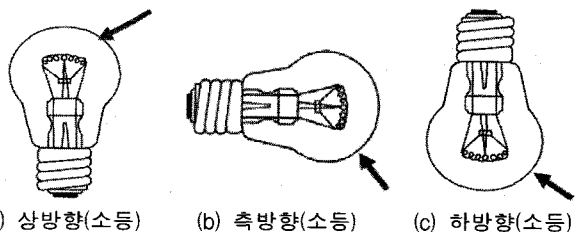


그림 1 백열전구의 구조
Fig. 1 The structure of incandescent lamp

3. 실험방법

그림 2는 백열전구의 외부 화염에 의한 소손 패턴을 실험하기 위한 실험 방법을 나타낸 것이다. 실험에 사용된 전구는 일반적으로 흔히 사용되는 220[V] 100[W]의 투명 백열전구로 현장에 설치되는 조건을 고려하여 상방향, 측방향, 하방향 등으로 설정하였다. 실험 전원으로는 전원공급기(Daelim electric, Korea)를 이용하여 단상 220[V] 60[Hz]의 전원을 공급하였다. 실험은 전구에 전기를 공급한때(점등상태)와 공급하지 않은 때(소등상태)로 나누어 실시하였다. 실험에 사용한 외부 화염은 휴대용 부탄가스를 이용한 토치(gas torch)를 이용하였으며 백열전구의 표면으로부터 약 15cm 위치에서 수평으로 화염을 인가하였으며 백열전구 표면에 인가되는 토치의 온도는 적외선 열화상 측정에서 약 300℃로 측정되었다. 실험 방법은 외부 화염(열)에 의해 백열전구의 유리구가 용융되어 홀이 생성되었을 때 바로 외부 화염을 제거하고 그 후 각각의 설치 조건에서 백열전구 유리구의 용융 패턴과 필라멘트의 산화과정을 각각 비교, 분석하였다. 또한 점등된 상태로 상방향, 측방향, 하방향으로 설치된 상태에서 외부 화염이 인가되어 백열전구의 유리구가 용융되어 홀(hole)이 형성되어 필라멘트가 산화되기 시작하여 필라멘트가 단선되어 소등될 때까지의 시간을 각각 비교하였다. 백열전구의 소손 패턴은 디지털 캠코더(Handycam, Sony, Japan)와 고속카메라(HG-100K, Redlake, USA)를 이용하여 관측하였으며, 실체현미경(SV-11, Carlzeiss, Germany)을 이용하여 소손된 백열전구의 외형을 분석하였다. 또한 SEM(JSM-6400, JEOL, Japan)과 EDX(Inca X-sight, Oxford, USA)를 이용하여 표면구조와 조성 변화를 분석하였다.

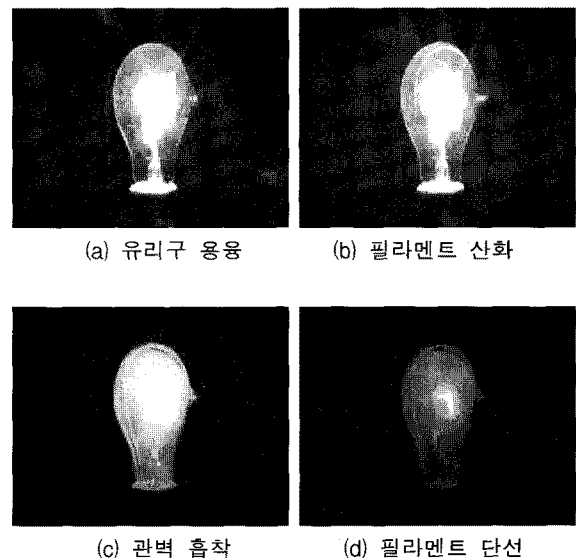


(d) 상방향(점등) (e) 측방향(점등) (f) 하방향(점등)
그림 2 외부 화염에 의한 백열전구 소손 패턴 실험 방법
Fig. 2 Experimental methods of damaged patterns of incandescent lamp by external flame

4. 결과 및 고찰

4.1 백열전구 필라멘트의 산화 거동 분석

그림 3 ~ 그림 5는 점등시 외부 화염에 의한 필라멘트의 산화 거동을 나타낸 것이다. 그림 3은 상방향으로 설치되어 점등중 외부 화염에 의한 필라멘트의 소손 과정을 나타낸 것으로 외부 화염에 의해 유리구가 용융되면서 구멍(hole)이 발생하였으며 필라멘트의 산화가 천천히 진행되었다. 산화된 필라멘트 입자는 전구가 설치된 상방향으로 상승한 후 유리구의 형태를 따라 하방향으로 하강하면서 유리구 내부의 관벽에 입자가 흡착되었다. 필라멘트가 산화되기 시작한 후 약 70~90[sec] 후에 필라멘트가 단선되었다.



(a) 유리구 용융 (b) 필라멘트 산화
(c) 관벽 흡착 (d) 필라멘트 단선
그림 3 외부 화염에 의한 필라멘트의 소손 과정(점등중, 상방향)
Fig. 3 Damaged process of incandescent lamp filaments by external flame(lighting, upper direction)

그림 4는 측방향으로 설치되어 점등 중 외부 화염에 의한 필라멘트의 소손 과정을 나타낸 것으로 유리구가 외부 화염에 의해 용융되면서 구멍(hole)이 생성되었으며 필라멘트의 산화가 급속하게 진행되었다. 유리구 내에 산화된 필라멘트 입자가 백열전구의 설치 방향과 수직으로 타원형을 그리면서 산화된 필라멘트 입자가 이동하였으며 유리구 내 관벽에 흡착되었다. 필라멘트가 산화되기 시작하여 약 40~80[sec] 후에 필라멘트가 단선되었다.

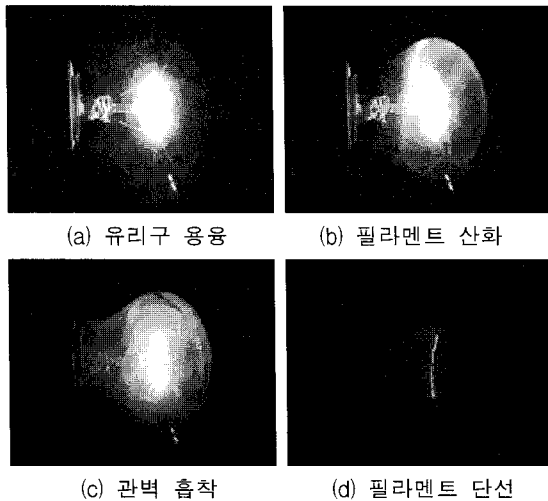


그림 4 외부 화염에 의한 필라멘트의 소손 과정(점등중, 측방향)
 Fig. 4 Damaged process of incandescent lamp filaments by external flame(lighting, side direction)

그림 5는 하방향으로 설치되어 점등 중 외부 화염에 의한 필라멘트의 소손 과정을 나타낸 것으로 외부 화염에 의해 유리구가 용융되면서 구멍(hole)이 생성되었으며 상방향이나 측방향으로 설치된 경우보다 더 급속하게 필라멘트의 산화가 진행되었으며 산화된 필라멘트 입자가 유리구 내 관벽에 흡착되었다. 유리구가 용융되어 필라멘트가 산화되기 시작하여 약 30~40[sec] 후에 필라멘트가 단선되었다.

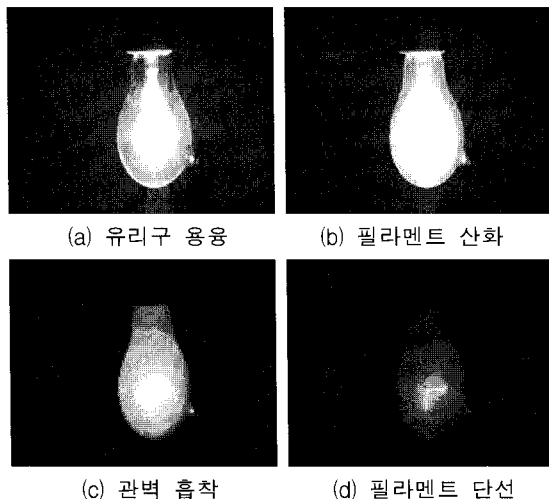


그림 5 외부 화염에 의한 필라멘트의 소손 과정(점등중, 하방향)
 Fig. 5 Damaged process of incandescent lamp filaments by external flame(lighting, down direction)

4.2 백열전구 유리구의 변화 분석

그림 6은 소등시의 외부 화염에 의한 백열전구 유리구의 소손 패턴을 비교한 것이다.

그림 6(a)은 소등시 상방향으로 설치된 백열전구의 외부 화염에 의한 소손 패턴으로 유리구가 외부 화염에 의해 용융되면서 외부로 부풀어 올랐으며 구멍(hole)이 형성되고 내부의 가스가 밖으로 누출되었다. 유리구 소손 이외에는 다른 소손 현상은 관측되지 않았다. 그림 6(b)은 소등시 측방

향으로 설치된 백열전구의 외부 화염에 의한 소손 패턴으로 외부 화염에 의해 유리구가 용융되면서 구멍(hole)이 형성되었으며 전원이 그 외 유리구 내부의 이상은 발견되지 않았다. 그림 6(c)은 소등시 하방향으로 설치된 백열전구의 외부 화염에 의한 소손 패턴으로 외부 화염에 의해 유리구가 용융되면서 구멍(hole)이 형성되었으며 그 외 유리구 내부의 이상은 발견되지 않았다.

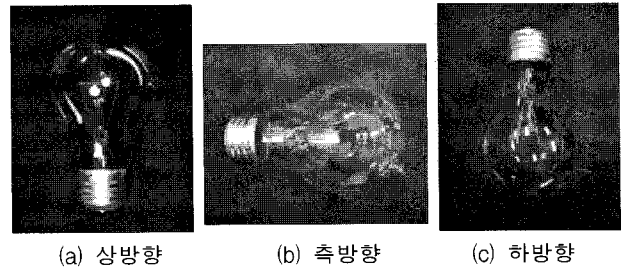
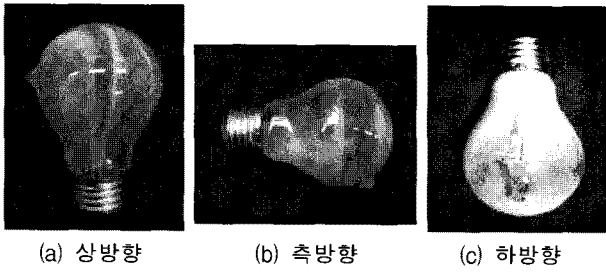


그림 6 백열전구의 소손 패턴 비교(소등시)
 Fig. 6 Comparison of damaged patterns of incandescent lamps(lights-out)

그림 7은 점등시의 외부 화염에 의한 백열전구 유리구의 소손 패턴을 비교한 것이다.

그림 7(a)은 상방향으로 설치되어 점등된 백열전구의 외부 화염에 의한 소손 패턴으로 외부 화염에 의해 유리구가 용융되었으며 유리구에 홀(구멍)이 생기면서 내부의 가스가 외부로 유출되고 필라멘트가 산화되었다. 점등되고 있던 필라멘트가 산화되면서 유리구 내 관벽에 필라멘트 입자가 전구와 수직방향인 세로 형태로 불규칙한 띠를 형성하면서 흡착되었으며 유리구 내 도입선, 스템, 배기관 등에서 약간의 유백색 물질이 확인되었다. 그림 7(b)은 측방향으로 설치되어 점등된 백열전구의 외부 화염에 의한 소손 패턴으로 외부 화염에 의해 유리구가 용융되었으며 유리구에 홀(구멍)이 생기면서 내부의 가스가 외부로 유출되고 필라멘트가 산화되었다. 백열전구와 수직으로 산화된 필라멘트 입자가 불규칙한 띠를 형성하면서 흡착되었으며 유백색 물질은 유리구의 설치 위치에서 하부 보다 상부에 짙게 흡착됨을 확인할 수 있었으며 유백색 물질은 유리구 내부 도입선, 앵커, 스템, 배기관 등에서 확인할 수 있었다. 그림 7(c)은 하방향으로 설치되어 점등된 백열전구의 외부 화염에 의한 소손 패턴으로 외부 화염에 의해 유리구가 용융되었으며 유리구에 홀(구멍)이 생기면서 내부의 가스가 외부로 유출되고 필라멘트가 산화되었다. 베이스쪽의 유리구 내부 관벽에 산화된 필라멘트 입자가 짙고 고르게 흡착되었으며 아래 부분은 내부가 보일 정도로 투명함을 볼 수 있었다. 유백색 물질은 유리구 내부 필라멘트, 도입선, 앵커, 스템, 배기관 등에서 확인할 수 있었다.

이상의 실험조건에서 소등시 외부 화염을 인가한 경우에는 유리구가 용융되는 특징이외에는 다른 변화가 나타나지 않았으나 점등 중에는 유리구가 용융되면서 외부의 공기가 유리구 내부로 유입되면서 필라멘트의 산화(증발)가 일어남을 알 수 있었으며 증발된 필라멘트 입자는 유리구 내부 관벽에 전구의 설치 방향에 따라 독특한 입자 부착 패턴을 보임을 알 수 있었다.



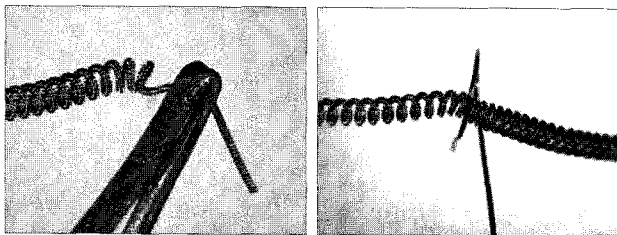
(a) 상방향 (b) 측방향 (c) 하방향
그림 7 백열전구의 손상 패턴 비교(점등시)

Fig. 7 Comparison of damaged patterns of incandescent lamps (lighting)

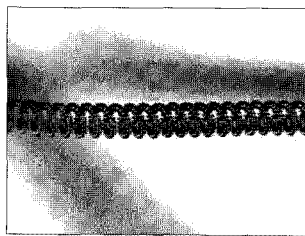
4.3 백열전구 내부 구성요소의 변화 분석

백열전구의 화재원인을 규명하는 방법은 유리구의 파손 패턴과 필라멘트의 단선 및 용융 여부, 앵커의 용융 여부, 베이스의 손상 여부 등에 대하여 실체현미경 등을 통한 외형 분석을 수행한다. 더욱 과학적인 분석을 위하여 이러한 변형, 소손된 증거물에 대한 SEM과 EDX 등을 이용한 추가적인 분석이 이루어지며 정상상태와 소손되었을 때의 특징 변화를 통하여 화재원인을 규명한다.

그림 8과 그림 9는 실체현미경과 SEM, EDX를 이용하여 정상상태의 백열전구의 도입선과 앵커, 필라멘트의 외형, 표면구조, 조성을 분석한 것이다. 그림 8은 실체현미경에 의한 백열전구의 외형 분석으로 그림 8(a)은 정상상태의 도입선으로 끝 부분에 필라멘트를 고정하고 있다. 또한 표면에서 붉은 빛을 볼 수 있다. 그림 8(b)은 필라멘트를 지지하는 앵커로 고리형태로 필라멘트를 지지하고 있다. 그림 8(c)은 필라멘트의 외형을 나타낸 것으로 전구의 수명을 늘리기 위하여 2중 코일형을 사용하고 있다.



(a) 도입선(x10) (b) 앵커(x8)



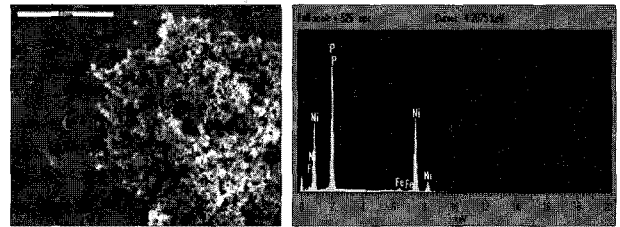
(c) 필라멘트(x10)

그림 8 정상 상태의 백열전구

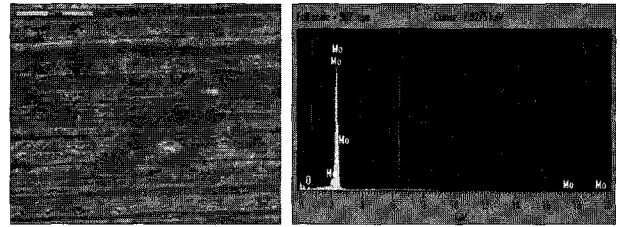
Fig. 8 Incandescent lamps in normal conditions

그림 9는 정상상태의 백열전구의 도입선, 앵커, 필라멘트의 표면구조와 조성분포를 SEM과 EDX를 이용하여 분석한 것이다. 그림 9(a)는 그림 8(a)의 도입선의 측면부를 확대한 표면구조로 평평한 바탕에 미세한 입자가 일부에 싸여 있는

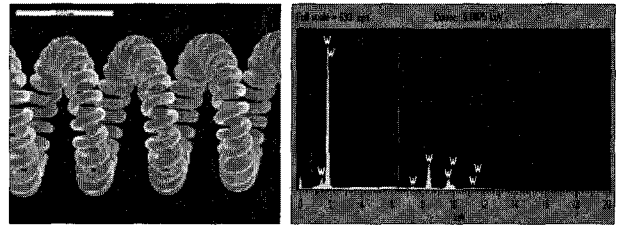
형태를 보이며, 조성분석에서 니켈(Ni ; 98.2%)과 철(Fe ; 1.80%)로 구성되어 있음 알 수 있다. 또한, 붉은 색의 미세 입자는 인(P)으로 확인되었다. 그림 9(b)는 앵커의 표면구조로 가로방향의 연신 구조를 볼 수 있으며, 조성분석에서 몰리브덴(Mo ; 89.91%), 산소(O ; 9.90%) 및 약간의 철(Fe ; 0.19%)이 검출됨을 볼 수 있었다. 그림 9(c)는 필라멘트의 표면구조를 나타낸 것으로 필라멘트는 2중 코일 형태의 구조로 되어 있으며, 조성분석에서 텅스텐(W ; 99.00%)이 주 재료로 되어 있으며 약간의 산소(O ; 1.00%)가 분포함을 알 수 있었다.



(a) 도입선의 표면구조 및 조성



(b) 앵커의 표면구조 및 조성



(c) 필라멘트의 표면구조 및 조성

그림 9 정상 상태에서 백열전구의 표면구조 및 조성 분석

Fig. 9 Analysis of surface structure and composition of incandescent lamps in normal conditions

그림 10과 그림 11은 점등 중 외부 화염에 의해 소손된 백열전구의 도입선과 앵커, 필라멘트의 외형, 표면구조, 조성을 분석한 것이다.

그림 10은 상방향으로 설치되어 점등 중 외부 화염에 의한 소손된 백열전구의 실체현미경에 의한 외형 분석으로 그림 10(a)은 도입선으로 끝 부분에 유백색 물질이 부착하였으며 표면은 밝은 빛을 띠었다. 또한, 접속된 필라멘트는 약간 검게 변색됨을 볼 수 있었다. 그림 10(b)은 앵커를 나타낸 것으로 앵커와 접촉부분의 필라멘트가 검게 변색되었으며, 용융된 흔적 및 유백색 물질은 발견되지 않았다. 그림 10(c)은 필라멘트를 나타낸 것으로 산화되면서 끝 부분에 용융흔이 생성되었으며 전체적으로 약간 밝은 색으로 변함을 볼 수 있었다.

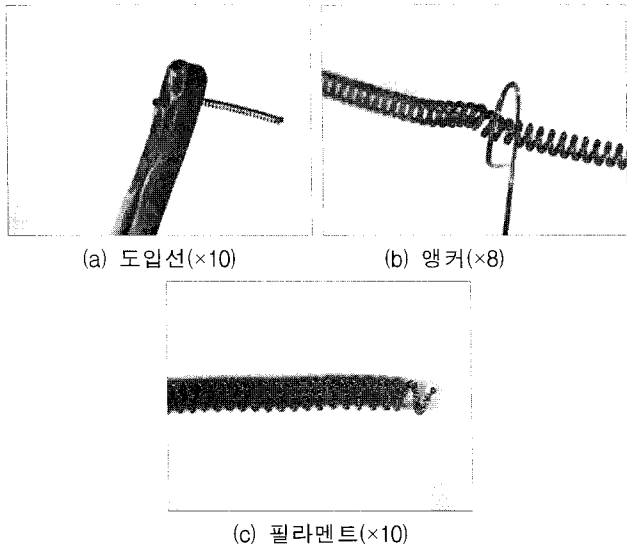
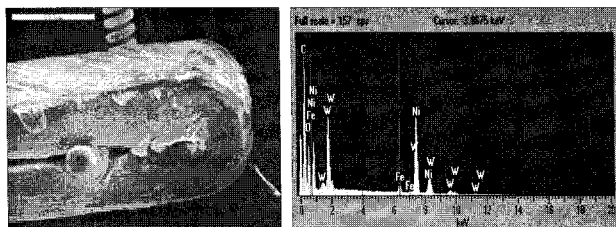
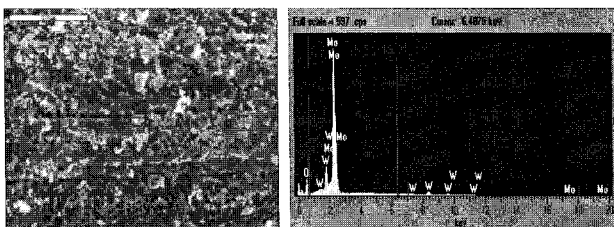


그림 10 점등상태에서 외부 화염에 의해 소손된 백열전구(상방향)
 Fig. 10 Damaged incandescent lamp by external flame in lighting conditions(upper direction)

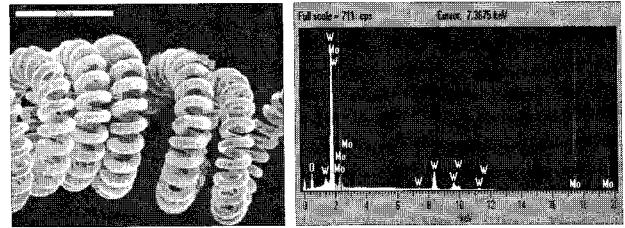
그림 11은 백열전구를 상방향으로 설치한 상태에서 외부에서 화염을 가했을 때 소손된 백열전구의 도입선, 앵커, 필라멘트의 표면구조와 조성분포를 분석한 것이다. 그림 11(a)은 그림 10(a)의 도입선 끝부분을 확대 분석한 표면구조로 필라멘트가 용융된 것을 볼 수 있으며 조성 분석결과, 산화된 텅스텐(W) 입자가 도입선 표면에 부착하였으며 공기 중의 산소가 검출됨을 확인할 수 있었다. 그림 11(b)은 앵커의 표면구조로 열에 의해 표면구조가 변형되었으며 조성 분석결과, 몰리브덴(Mo) 성분의 표면에 산소와 산화된 텅스텐(W) 입자가 부분적으로 흡착함을 알 수 있었다. 그림 11(c)은 용단된 필라멘트의 표면구조로 표면에 약간의 이물질이 부착함을 알 수 있으며, 조성 분석에서 부착된 이물질은 산소(O)와 텅스텐(W)으로 확인되었다. 또한, 유리구 내측 표면의 유백색 물질에 대한 성분분석 결과, 외부 화염에 의해 유리구가 용융되면서 산화된 필라멘트(W) 입자가 표면에 흡착한 것으로 확인되었다.



(a) 도입선의 표면구조 및 조성



(b) 앵커의 표면구조 및 조성



(c) 필라멘트의 표면구조 및 조성

그림 11 점등 중 외부 화염에 의해 소손된 백열전구의 표면구조 및 조성 분석(상방향)

Fig. 11 Analysis of surface structure and composition of damaged incandescent lamps by external flame in lighting conditions(upper direction)

그림 12는 소등상태에서 외부 화염이 지속적으로 인가되었을 때의 백열전구를 나타낸 것이다. 그림 12(a)와 (b)는 도입선과 앵커부분으로 필라멘트는 수축되었으며, 필라멘트의 외부는 연두색을 띠었으며 그림 12(c)와 같이 필라멘트는 쉽게 부서졌다. 또한, 외부 열에 의해 소손된 백열전구에서는 점등 중 외부 열에 의해 소손된 백열전구에서 나타나는 필라멘트의 용융 망울은 생성되지 않았다.

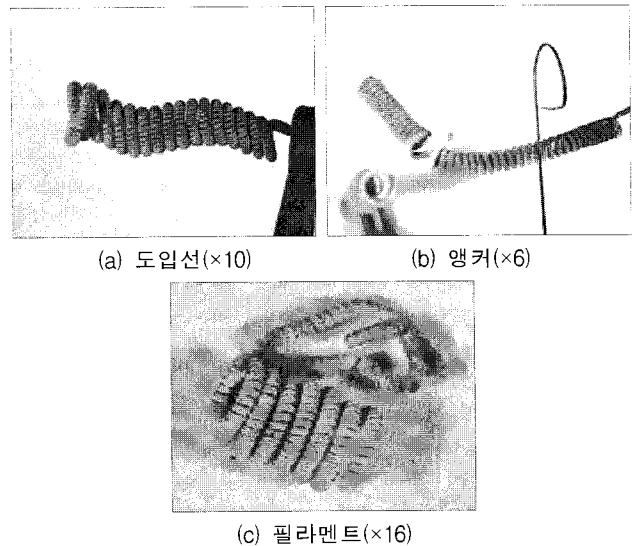


그림 12 지속적인 외부 화염에 의해 소손된 백열전구
 Fig. 12 Damaged by incandescent lamps by continuous external flame

5. 결 론

이상과 같이 백열전구에 외부 화염을 인가하여 유리구가 용융된 후 외부 화염을 제거한 후의 백열전구의 소손 패턴에 대하여 실험, 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

백열전구 필라멘트의 산화 거동을 실험, 분석한 결과, 외부 화염에 의해 유리구가 용융되면서 필라멘트의 산화(중발)가 시작되었으며 백열전구를 하방향으로 설치하였을 때 가장 빠르게 산화가 진행되어 30~40[sec]에 필라멘트가 단선되었으며 그 다음에 측방향, 상방향 순으로 필라멘트가 단선되었다. 필라멘트의 산화 거동은 유리구 내에서의 필라멘

트의 기체 유동의 활성화 차이 때문으로 판단된다.

외부 화염에 의한 소손 패턴을 분석한 결과, 소등상태에서 외부 화염이 인가된 경우 외부 화염에 의해 유리구가 용융되면서 구멍(hole)이 생성되었으며 유리구 내부의 가스가 외부로 누출되었다. 유리구의 소손 이외에 다른 이상은 발생하지 않았다. 점등 중 외부화염이 인가된 경우 백열전구의 설치방향과 수직으로 산화된 필라멘트가 관벽에 부착하였으며 상방향과 측방향의 경우 불규칙한 형태를 나타냈으며 하방향의 경우 배이스를 중심으로 균일하게 유백색 물질이 관벽 및 유리구 내 부품에 흡착됨을 볼 수 있었다.

실체현미경에 의한 외형 분석결과, 점등 중 외부 화염에 의해 소손된 백열전구의 도입선에는 유백색의 물질이 부착하였으며 약간 밝은 빛을 띠었다. 또한 2중 코일형 필라멘트는 용융되었으며 약간 노란색을 나타냈으며 앵커와 접촉된 필라멘트가 검게 변색되었다. 소등 중 외부화염을 지속적으로 인가한 경우에는 필라멘트가 산화하였으며 연두색의 빛을 띠며 쉽게 부서짐을 알 수 있었다.

SEM과 EDX에 의한 백열전구의 표면구조 및 조성 분석 결과, 도입선은 니켈(Ni)과 철(Fe)로 되어 있으며 표면에 인(P)이 부착되어 있음을 알 수 있었다. 앵커는 몰리브덴(Mo)로 되어 있으며 필라멘트는 텅스텐(W)을 사용하고 있다. 점등 중 외부 화염이 인가된 경우, 외부 화염에 의해 유리구가 용융되고 필라멘트가 산화되면서 텅스텐(W)이 도입선과 필라멘트 표면에 부착함을 확인할 수 있었으며 도입선, 앵커, 필라멘트에서 약간의 산소(O)도 존재함을 확인할 수 있었다.

이상과 같은 백열전구의 설치 조건에 따른 소손 특징을 통하여 백열전구의 소손원인을 규명하는데 도움을 줄 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 지철근, 전기응용, 문운당, pp.17-28, 1996.
- [2] John D.Dehaan, Kirk's Fire Investigation, BRADY, pp.153-155. 2002.
- [3] 東京消防廳豫防部調査課, 火災調査技術教本 第3卷, pp.159-167. 1987.
- [4] 東京消防廳, 新火災調査教本-第3卷 電氣火災編, 東京防災指導協會, pp.187-194, 2007.
- [5] 이재국 외 3, "텅스텐 백열전구의 필라멘트 단선에 의한 가속수명시험", 대한기계학회 논문집 A권, 제29권 제7호, pp.921-929. 2005.
- [6] 지철근, 강기호, "열손실을 고려한 백열전구의 설계", 한국조명전기설비학회 논문지, Vol.1, No.1, pp.67-74. 1987.
- [7] 송길목 외 3, "220V/100W 백열전구의 온도특성에 따른 화재분석에 관한 연구", 한국화재소방학회 논문지, Vol. 20, No.1, pp.43-49, 2006.
- [8] 김만진 외 1, 전기화재감식공학, 성안당, pp.251-255, 2006.
- [9] 최충석 외 5, 전기화재공학, 동화기술, 376-379, 2004.

저 자 소 개



김 향 곤 (金 珣 坤)

1970년 12월 14일생. 1996년 조선대학교 전기공학과 졸업. 2000년 동 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 2008년 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 1996년~현재 전기안전연구원 재해예방그룹 그룹장

Tel : 031-580-3031

Fax : 031-580-3030

E-mail : kon0704@kesco.or.kr



김 동 옥 (金 桐 郁)

1971년 1월 6일생. 1998년 2월 인천대학교 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년~현재 전기안전연구원 재해예방그룹 연구원.

Tel : 031-580-3035

E-mail : dokim@kesco.or.kr



이 기 연 (李 璣 燕)

1975년 5월 12일생. 2002년 2월 시립인천대 전기공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년~현재 전기안전연구원 재해예방그룹 연구원.

Tel : 031-580-3039

E-mail : lkycj@kesco.or.kr



최 충 석 (崔 忠 錫)

1961년 9월 19일생. 1991년 2월 인하대학교 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1994~95년 구마모토대학 객원연구원. 1997년~2008년 전기안전연구원 수석연구원. 2008년~현재 전주대학교 소방안전공학과 교수.

Tel : 063-220-3119

E-mail : enetek@naver.com



최 효 상 (崔 孝 祥)

1966년 2월 21일생. 1989년 전북대학교 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2003년~현재 전라북도연구원 선임연구원. 현재 조선대학교 전기공학과 교수.

Tel : 062-230-7025

Fax : 062-230-7020

E-mail : hyosang@chosun.ac.kr