

황성분에 의한 철도차량 LED 색상 변화 고찰

A Case Study for Color Shifting of LED Lightings in Rolling Stocks by Sulfur

홍충현*, 구자경*, 유진규**

Chunghyeon Hong*, Jakyeung Khoo*, Jinkyu Yu**

Abstract Nowadays LED Lightings are used in rolling stock area with advantages of energy saving and eco-friendly except the traditional lightings such as fluorescent lamp. However, the understandings about the characteristics of LED lightings in particular environmental factors are not enough to secure the reliability because of only several years effective period. The color shifting of the LED lightings, which are applied to EMUs of Hyderabad, India, will be shown in this paper as a case study. And the corrosion on the LED lead frame was studied and the sulfide is proved that it caused the corrosion of silver plated on the lead frame. This paper describes how the silver sulfide shifts the color of LED lightings and presents the preventive design methodology.

Keywords : LED Lightings, Sulfur, Lead Frame, LED Package

초 록 최근 철도차량 제작 분야에서 에너지 절약과 친환경이라는 키워드를 필두로 LED조명이 기존의 조명을 대체하고 있다. 하지만 필드에 적용된 기간이 짧기 때문에 장기간 신뢰성에 대한 데이터가 매우 부족하며, 환경적 요인에 의한 LED조광특성에 대한 이해가 부족한 현실이다. 본 논문에서는 인도 하이데라바드 전동차에 적용된 LED조명장치의 색상변이 현상에 대한 설명과 더불어 그 원인이 LED패키지 내부로 유입된 황(Sulfur)성분이 리드프레임을 부식시켜 LED의 색상변이가 발생할 수 있음을 확인하였다. 아울러 철도차량 운영환경에서 황(Sulfur)의 발생 유형을 파악하고 유사 문제를 예방하기 위한 LED조명장치 설계 방법론에 대하여 고찰하고자 한다.

주요어 : LED 조명, 황(Sulfur), 리드프레임, LED패키지

1. 서 론

최근 친환경, 에너지 절약을 기치로 LED 조명장치가 철도차량에 활발하게 적용되고 있다. 본 연구에서 철도차량에 적용된 LED 조명의 리드프레임이 황에 의하여 부식되고 그에 따른 현상을 색상 변이 현상을 고찰하고자 한다. 아울러 철도차량의 LED조명장치에 영향을 주는 황화물질의 근원에 대하여 제작에 사용되는 물질 및 환경적인 요인을 인도 하이데라바드 전동차의 사례로 연구하였다. 이로서 황화물질을 발생시키는 자재를 확인하고 환경적 요인을 분석하여 황에 의한 LED 리드프레임의 부식을 방지하는 설계 방법론에 대한 연구를 실시하였다.

* 현대로템(주) 철차연구4팀

** 현대로템(주) 철차연구3팀

2. 본 론

2.1 LED 조명 색상변이 사례

2.1.1 LED 실내 조명 색상변이

최근 LED가 전동차의 설계 및 제작 분야에서 광범위하게 활용되고 있으며, 그 적용 범위는 차량 내 객실 조명에서 전조등, 후미등까지 확대되고 있다. 특히 객실내 조명의 경우 적용 수량이 많아 LED를 적용할 경우, 조명에 기인하는 에너지 소모를 기존 조명대비 절반가량 줄일 수 있다. 이런 LED 조명의 장점이 부각되어 LED 조명에서 발생할 가능성이 있는 조명의 문제를 간과하는 측면이 있다. 아래는 인도 하이데라바드 전동차에서 발생한 LED 객실 조명의 색상변이 사진이다.



Fig. 1 인도 하이데라바드 전동차 객실 조명 변색 사례

2.1.2 LED 조명의 색상변이 판단 조건

LED 조명의 색상은 LED의 색온도에 따라 결정되며, 이를 측정하여 색상의 변이 여부를 판단할 수 있다. 인도 하이데라바드 전동차의 경우 객실 조명의 색온도는 5400K에서 6600K 범위의 LED가 적용되었으며, 색온도가 7000K이상으로 변하는 LED가 간헐적으로 발견되었다. 육안으로 관측할 경우 색상의 차이보다는 주변 정상 LED에 비해 약간의 광도가 떨어지는 것을 확인하였다.

2.2 LED 색상변이의 원인

2.2.1 색상변이 LED 외관

색상변이가 발생한 LED PCB를 외관 검사를 실시하여 LED PCB의 제작상의 불량인 LED 패키지의 손상이 있는지 확인하였다. 아래 Fig. 2에서 확인할 수 있듯이, 정상 LED 패키지에 비해 색상변이가 발생한 LED의 색상이 어두운 색상을 띠었다. LED 패키지의 불량 혹은 손상 여부는 적색 잉크를 투입하여 잉크가 스며드는지 여부를 통해 확인 하였다. 잉크가 스며 들지 않았기 때문에 LED 패키지의 손상은 아님을 확인 할 수 있다.



Fig. 2 LED PCB 시료

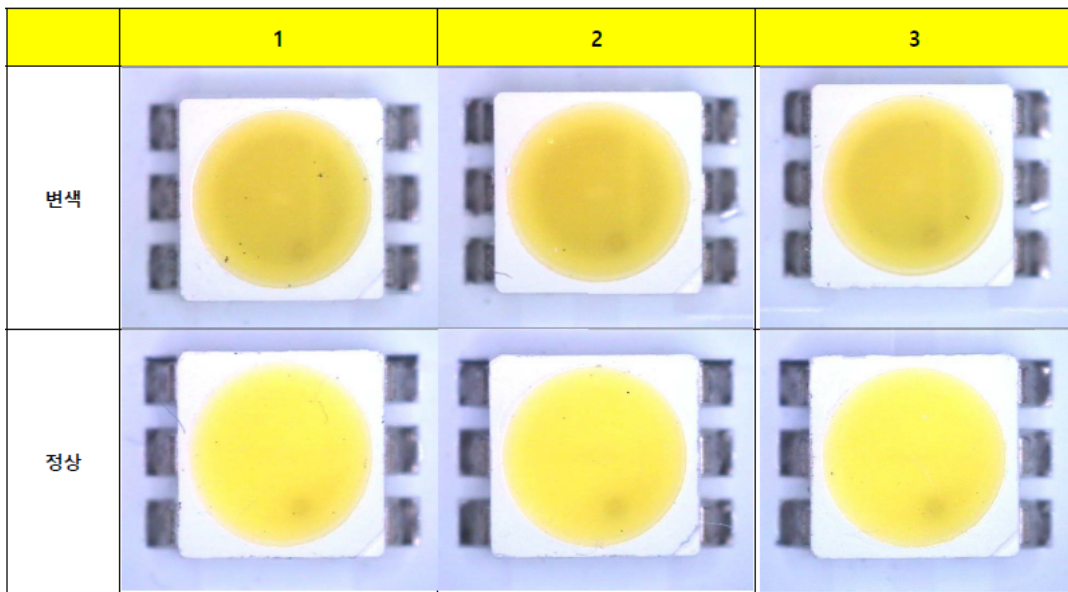


Fig. 3 시료로 사용된 LED 패키지 확대한 모습

2.2.2 EDX 분석

외부 화학 물질, 기기 주변의 온도 등의 요인이 복합적으로 작용하여 의해 LED 색상변이가 발생할 수 있다. 어떤 물질에 의해 LED의 색상이 변했는지 확인하기 위해 EDX라는 성분 분석 기기를 사용하여 LED 패키지 내부의 화학 물질을 검토 하였다. LED 패키지 내부의 Lead Frame 의 은(Ag)도금 부위와 Silicone 계면부의 성분분석을 하였으며, 측정위치는 아래와 같다.

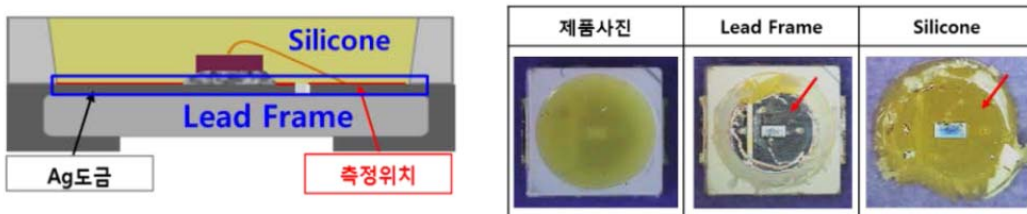


Fig. 4 EDX 성분분석 측정 위치

2.2.3 EDX 분석 결과

EDX 성분분석 결과 색상변이가 발생한 LED 패키지 Silicone에서 미량의 황(Sulfur) 성분이 검출되었다. 정상 LED 패키지의 경우 황성분이 검출되지 않았다.

Table 1. EDX 성분 분석 결과

정상 LED 1		특이성분 검출 안됨
정상 LED 2		특이성분 검출 안됨
정상 LED 3		특이성분 검출 안됨
변색 LED 1		황(S) 0.36% 검출
변색 LED 2		황(S) 0.87% 검출
변색 LED 3		황(S) 0.20% 검출

2.2.4 황(Sulfur)에 의한 LED 색상변이

EDX 분석 결과를 토대로 LED 패키지 내부에 황성분이 침투할 경우, Lead Frame의 은도금이 황화은이 되어 변색을 유발하는 것으로 판단할 수 있다. 황성분외에 작동온도에 따라 변색의 유무를 확인한 결과 단지 온도가 올라가는 것으로 색상변이를 일으키지 않았다. 다만 온도 변화가 클 경우, LED 패키지 내부의 Silicone 몰딩 부분이 팽창과 수축을 하면서 황성분의 침투를 가속화할 가능성은 있다.

2.2.5 철도차량의 황(Sulfur) 성분

앞서 황성분이 LED 패키지에 침투하여 색상이 변이가 발생하는 것을 알아보았다. 인도 하이데라바드 전동차는 고온 건조한 환경과 먼지가 많은 지역 특성을 반영한 설계를 적용하였으며, 객실등은 IP53조건을 만족하도록 설계 되었다. IP53조건을 만족하기 위해 각종 고무 패키징을 적용하였으며 특히 먼지 유입을 방지하기 위해 사용된 CR Sponge는 황성분을 미량 포함하고 있다. 고온에서 CR Sponge는 객실등에 황 가스를 발생시키고, 이 황가스가 LED 패키지 내로 침투하여 LED 색상변이를 일으키는 것을 챔버 시험을 통해 확인 하였다.

구분		시료 조건	변색 상태	EDX 결과(황 검출량)
시료1	CR + NBR	하이데라바드 현지 고품	변색 확인 (육안) 	LED : 4.68~5.92%
시료2	CR + NBR	장기 보관품 Aging test(100°C 11H)	변색 확인 (육안) 	LED : 0.34~0.44%
시료3	CR + CR	장기 보관품 Aging test(100°C 11H)	변색 확인 (육안) 	LED : 0.27%
시료4	CR + NBR	장기 보관품	변색 없음 (육안) 	LED : - % Tape(내부 패드) : 2.05% Tape(외부 패드) : 1.02~5.60 %

Fig. 5 패키징 종류에 따른 LED 변색 재현

위 시험 결과에서 CR Sponge 및 NBR 패키징은 황성분을 포함하고 있으며, 고온에서 LED 패키지의 색상 변이를 가속화 시키는 것을 확인 할 수 있다. 이런 황성분을 포함하는 패키징을 LED 조명장치에 사용할 때는 사용환경에 따라 색상변이를 가속화 할 수 있다는 점을 시사한다. CR Sponge나 NBR 등의 고무제품을 제작할 때, 신축성/연성 등의 특성을 부여하기 위해 미량의 황을 투여하기 때문에 제품에 황성분을 포함하고 있다. 이런 황성분은 고온에서 공기 중으로 확산되어 LED 패키지에 침투하고, LED 패키지의 Lead Frame을 부식시켜 색상변이를 발생시킨다.

3. 결론

본 사례 연구에서는 고무제품에 포함된 황성분이 LED 색상변이를 일으킬 수 있는 요인임을 확인하였다. 이런 색상 변이를 방지하기 위해 아래와 같은 개선방안을 적용할 수 있다.

- (1) 무황 재질의 Silicone 패키징
- (2) LED PCB 상면 불소 코팅
- (3) 금도금 LED Lead Frame 적용

LED PCB 상면에 불소 코팅을 적용하기 위해서는 28~30 마이크론 이상으로 도포해야 효과가 있으며, PCB 제작공정에 불소 코팅 비용 증가가 발생한다. 아울러 LED 패키지 제조사에서도 불소코팅으로 인해 온도 문제에 따른 수명감소와 LED 자체에 다른 문제가 발생할 우려가 있어 권고하는 개선 방안은 아니다.

금도금 LED Lead Frame 적용을 위해서는 LED 패키지 제조사에서 제조공정을 바꿔야하며 이에 따른 재반설비 투자비용이 발생하고, LED 패키지의 단가 상승요인으로 작용할 수 있어 현실적이지 않은 개선 방안이다. 다만, 학계에서는 LED Lead Frame의 부식을 방지할 수 있는 여러 연구가 진행되고 있는 만큼 근 시일에 개선된 LED 패키지가 시장에 출시될 것으로 기대한다.

인도 하이데라바드 전동차의 객실등의 LED 색상변이를 방지하기 위해, 가장 현실적이고 수정이 용이한 무황 재질의 Silicone 패키징을 적용하였으며, 제품 수정 후 지속적인 모니터링을 통해 색상변이의 발생 추이를 지켜보고 있다. 무황 Silicone 패키징을 적용한 후, 색상 변이의 추가 발생은 발견되지 않고 있다.

후 기

유사한 설계를 가진 국내 전동차에서는 발생하지 않은 사례로서, 황성분에 의한 LED색상변이는 철도차량이 운영되는 환경적인 요인도 작용함을 추측할 수 있다. 추후 다양한 환경에서 운영되고 있는 LED조명의 운영특성을 지속적으로 분석하여, LED 조명장치의 신뢰성을 높일 수 있는 수 있는 설계 방법론이 연구되어야 할 것이다.