

조명기기 LED모듈의 신뢰성 평가

- 가속시험설계를 중심으로 -

(The Study based on Reliability Assessments of LED Modules for Lighting)

- Design of ALTs(Accelerated Life Tests) -

박창규* · 조상묵 · 김진선

(Chang-Kyu Park* · Sang-Muk Cho · Jin-Sheon Kim)

한국조명기술연구소

Abstract

The paper is to evaluate for reliability of LED Modules for Lighting by ALTs(Accelerated Life Tests). The recently, some of KS were established by law of LED Modules for Lighting(KS C 7651, KS C 7652 and KS C 7653), but reliability assessment methods of LED Modules for Lighting were not established. Therefore, the paper aided companies to test methods for accelerated life testing by themselves.

1. 서론

반영구적인 수명, 저소비전력, 안정성 그리고 환경 친화적인 장점을 지니고 있는 LED의 응용분야는 모바일 기기, 자동차, 전자제품 및 간판광고와 일반조명분야에서 광범위하게 사용되고 있다[1]. 현재 조명기기 LED의 응용분야를 대상으로 조명기기 LED모듈에 적합한 가속 시험에 대한 연구는 조명기기 LED모듈의 개발 속도에 비해 빠르게 진행되고 있지 못한 실정이다. 기존 LED 패키지 및 단품으로의 신뢰성 평가 기준으로는 표시·신호용에 주로 적용되고 있는 LED에 대해서 2004년 「고휘도 발광다이오드」(RS C 0047)[8]와 2009년 「조명기기 Power LED」(RS C 0153)[9] 신뢰성평가기준이 제정되었다. 조명기기 LED모듈의 안전, 성능기준으로 백열전구 및 할로젠 램프 대체용과 보안등에 대한 기술 기준이 제정되었으며, 가장 최근에는 백열전구 및 할로젠 램프 대체용과 매입형 등기구의 KS 기준이 제정·고시되었다. 하지만 이 기준들은 초특성이나 성능 만족 여부에 대한 기준이며, 내구성 시험에 있어서도 조명기기 LED모듈에 열화나 고장에 대한 시험방법을 적용하고 있지 못하다. 따라서 조명기기 LED모듈의 특성이나 고장메커니즘에 적합한 시험방법을 적용하여야 하며 특히 필드에서 일어나는 고장모드를 재현할 수 있는 시험설계가 되어야 한다. 본 연구에서는 조명기기 LED모듈에 대한 신뢰성평가 중에서 가속시험 설계 시 고장메커니즘을 재현할 수 있는 시험조건 및 방법에 관한 연구이다.

2. 본론

2.1. 조명기기 LED모듈

본 연구의 가속시험 설계에 적용 할 수 있는 조명기기 LED모듈의 종류는 그림 1과 같다.

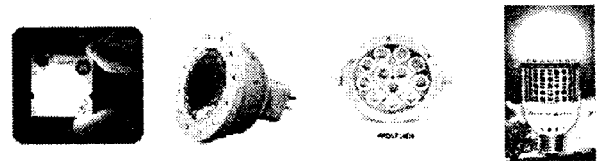


그림 1. 조명기기 LED모듈
Fig. 1. LED Modules for Lighting

2.2. 가속시험설계

2.2.1. 고장 정의

조명기기 LED모듈에서의 고장모드는 주로 칩, 와이어 및 수지의 경시적인 결함으로 나타나며 이러한 결함을 유발시키는 일반적인 요인과 그에 따라 발생하는 대표적인 고장모드(결함)는 그림 2와 같다. 그림 2는 광이 열화 되는 요인 등을 특성요인도(Cause and Effect Diagram)라는 분석기법을 이용하여 나타낸 것이다. 이러한 열화는 이들 요인의 복합적인 작용에 기인한 LED의 구성 요소인 수지, 형광체, 땀납, 전극 금속, 반도체 결정 등의 순서로 반응 촉진에 의해서 화학적, 물리적 변화나 기계적 고장이 발생한다[1,2].

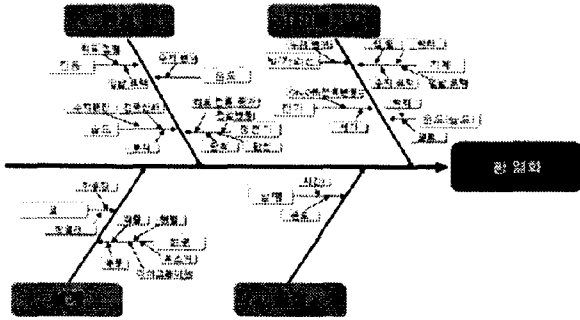


그림 2 조명기기 LED모듈의 열화요인과 고장모드
Fig. 2. Failure Modes of LED Modules for Lighting

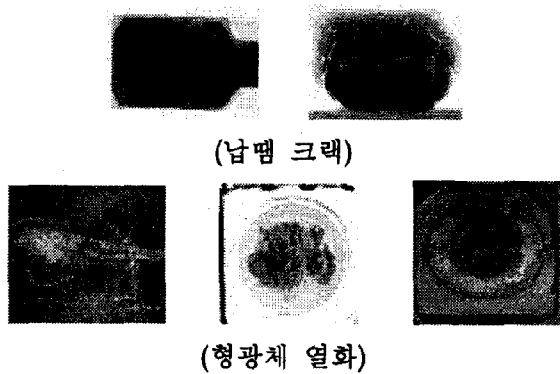


그림 3 조명기기 LED모듈의 고장모드 예
Fig. 3. Crack and Phosphor degradation of LED Modules for Lighting

그림 3은 열화 요인에 의해 발생한 고장모드의 예를 보여주고 있다. 크랙이나 리드 플레임 및 전극 등의 부식 등에 의해 단락이나 단선이 발생하여 LED가 미점등되고, 수지 및 형광체의 열화에 의해 광 특성이 떨어지게 된다.

이러한 고장모드는 주로 온도, 습도 및 입력 전압(또는 전류)에 의해 발생하게 된다. 하지만 최근 Power LED 시험에서 입력전류에 의한 영향은 LED 고장에 별로 미치지 않는 것으로 연구되고 있다[10].

국내·외 조명기기 LED모듈의 규격들에서 제시하는 고장 판정기준들은 표 1에 주어져 있다.

표 1. 조명기기 LED모듈의 고장 판정기준
Table 1. Criteria for failure Judgement of LED Modules for Lighting

항목	고장 판정 기준
광속	광속 유지율 초기값 대비 70% 이하

일반조명에서 형광등인 경우 고효율기자재규정에서는 광속 93%로 규정하고 있으며, 「액정화면 백라이트용 냉음극 형광램프」 신뢰성 평가 기준에서는 70%, 그리고 「외부전극형광램프」 신뢰성 평가 기준에서는 80% 이하로 고장을 판정하도록 하고 있다[6].

2.2.2. 스트레스 요인 선정

조명기기 LED모듈의 2단계 QFD(Quality Function Deployment)방법을 적용하여 가속스트레스를 표 2와 같이 선정하였다.

표 2. 스트레스 요인
Table 2. Factors of Stresses

- The First Stage : 고장원인과 고장모드

스트레스	고장모드	패키지 열화	광출력 열화	색온도 변화
온도	○	◎	◎	◎
습도	○	○	○	◎
전원입력조건	○	○	◎	◎

- The Second Stage : 고장모드와 시험항목

시험방법	고온 방지 시험	고온 동작 시험	온도 사이클 시험	온습도 사이클 시험	열충격 시험	고온 고습 시험
패키지 열화	◎	◎	○	◎	○	◎
광출력 열화	○	◎	○	◎	○	◎
색온도 변화	○	◎	○	◎	○	◎

2.2.3. 예비시험

표 2의 시험 항목으로 사용·환경조건을 고려한 예비시험 조건을 표 3에 나타내었다. 이 조건들은 LED 패키지와 사용·환경조건을 고려하여 정하였다.

표 3. 예비시험 항목 및 시험조건
Table 3. Test Conditions & Items for Preliminaries Tests

시험항목	시험조건	시험시간
열충격시험	-40℃~100℃	100회
고온시험	100℃	1000시간
온습도사이클시험	25℃~80℃~30℃,90%	100회
온습도시험	60℃, 90%	1000시간
정상동작시험	25℃	6000시간

표 3의 시험 조건은 소비자가 사용 중에 발생할 수 있는 고장 조건으로 백열전구나 할로젠 대체용인 경우 사용 환경이 실내·외임을 감안한다면 온도 조건의 범위는 설치환경에 따라 조정이 가능하다.

시험 항목별 시험 시간은 국내·외 Power LED 제조기업과 국내 LED 신뢰성평가기준에 제시되어 있는 시험시간을 참조하여 적용하였다[6].

신뢰성 시험에서 필요한 샘플 수는 국내 신뢰성 평가 기준에서 생산 공정의 불량률을 2.5%로 검사와고자하는 수준에 따라 또는 생산하는 생산량에 따라 샘플 수를 다르게 적용할 수 있도록 기준을 제시하고 있다.

예비시험을 실시한 결과 그림 4와 같이 조명기기 LED모듈의 광열화에 영향을 주는 스트레스는 온도와 습도인 것으로 나타났다. 온도와 습도의 시험방법으로는 온습도시험이나 온습도 사이클 시험이며, 이는 사용

조건을 고려하여 정하는 것이 좋다. 본 연구에서는 온 습도 사이클 시험방법으로 가속시험설계를 진행하였다.

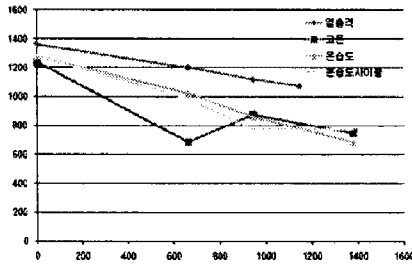


그림 4. 예비시험 분석
Fig. 4. Analysis of Preliminaries Tests

2.2.4. 과전압(과전류)시험

LED 패키지의 경우 광열화에 영향을 주는 요인으로 온도와 습도 그리고 전류가 영향을 많이 주는 것으로 연구되고 있다[10]. 조명기기 모듈에서는 LED패키지에 회로를 구성하고 있는 전자부품(드라이버, 저항 등)에 의해 직접적인 과전류를 흘릴 수 없기 때문에, 과전압을 인가하는 것으로 진행하였다. 가속시험에서 과전압을 인가하는 경우 제품이나 부품의 물리적, 화학적 특성이 변하지 않는 범위 내에서 스트레스 조건을 적용하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 최고 전력을 나타내는 전압 이하로 정하였다. 시험결과 조명기기 LED모듈의 전력에 따라 과전압 조건이 달라짐을 확인할 수 있었다. LED패키지 0.2W를 사용하는 조명기기 LED모듈의 경우 정격전압에서 30%, 3W를 사용하는 조명기기 LED모듈의 경우 정격전압에서 10%가 높은 전압을 인가하는 것이 적정함으로 나타났다.

또한, 일반조명기기 램프의 시험방법에 적용되고 있는 On/Off 시험방법도 적용하였다. 이때, On 시간과 Off 시간의 조명기기 LED모듈에서 LED의 온도가 안정화되는 시간을 고려하여 결정하였다. 0.2W LED패키지인 저전력인 경우 30분으로 온도상승시간이 짧은 반면, 3W LED패키지인 고전력인 경우는 1시간 30분으로 온도상승 시간이 상대적으로 길게 나타났다.

그림 5는 예비시험과 과전압 및 On/Off 시험 결과로 주어진 가속시험 프로파일을 정리한 것이다.

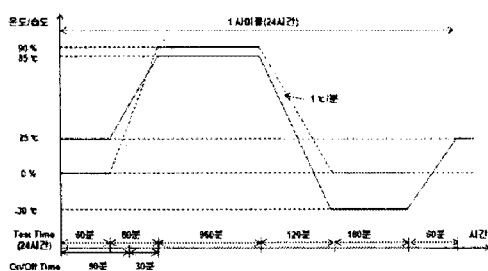


그림 5. 가속시험 시험 프로파일
Fig. 5. The ALTs profile of LED Modules for Lighting

3. 결론

조명기기 LED모듈의 가속시험 설계를 할 경우 예비시험을 통한 스트레스 선정 및 조건 결정과 과전압 및 On/Off 시험방법에 대한 내용을 살펴보았다. 추후 연구 과제로는 본 연구로부터 도출된 가속시험 프로파일을 적용하여 얻어지는 열화데이터 분석과 시험 프로파일의 검증이다. 열화데이터 분석을 통하여 필드상의 고장모드와 동일한지 그리고 가속시험을 통해 주어지는 고장품의 고장분석을 통해 필드의 고장모드와 동일한지 검증에 관한 연구가 필요하다.

더욱이 조명기기 LED모듈의 경우 응용분야에 따라 사용·환경조건이 다르기 때문에 시험항목, 조건 및 방법 등이 다르게 적용되어야 한다. 따라서 신뢰성 시험 및 가속시험을 실행할 경우, 개발단계에서부터 평가되는 조명기기 LED모듈의 전기적 특성인 전압 전류와의 상관관계, 열특성인 온도변화에 따른 전압과의 상관관계 그리고 열정향값에 따른 접합온도로 시험 온도의 수준을 결정하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구에서 제시하고 있는 가속시험 프로파일로부터 조명기기 LED모듈에 대한 신뢰성 보증이나 수명보증 시험을 설계할 경우 가속수명을 통해 얻어진 가속계수를 이용하여 짧은 시간에 보증할 수 있는 보증 시험설계를 할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 日刊工業新聞社, "LED照明 信頼性 Handbook; LED照明推進協議會", 2008
- [2] LED照明推進協議會, "LED照明 Handbook", 2006
- [3] 이정훈, 최재원, 장미순, 장석원, 신승중, 과제달, "전광판용 LED의 RGB 색상별 수명예측 비교", 부문준계학술대회 신뢰성 부문, 대한기계학회, 2007.
- [4] 전자부품연구원, "LED 산업동향 및 주요 이슈", 2007.
- [5] 한국조명기술연구소, "LED 기술세미나", 2007.
- [6] 박창규·조상묵·이민진·김진선·김정수·정희석·이영주, "Power LED 신뢰성 평가규격 비교 연구", 준계학술대회, 한국조명전기설비학회, 2008.
- [7] 박창규, 김진선, 김정수, 정희석, 이영주, "LED 열화 데이터의 신뢰성 분석", 추계학술대회, 한국신뢰성학회, 2008.
- [8] RS C 0047, "고휘도 발광다이오드", 2004.
- [9] RS C 0153, "조명기기 Power LED", 2009.
- [10] Shinya Ishzaki, Hideyoshi Kimura, Masaru Sugimoto, "Lifetime Estimation of High Power White LEDs.", J. Light & Vis. Env. Vol.31, No.1, 2007.