

LED조명제품의 수명시험 연구

서정남, 여인선
 전남대학교 전기공학과

Investigation on the Life Test of LED Lighting Module

Jung-nam Suh, In-seon Yeo
 Dept. of EE, Chonnam National University

Abstract - This paper investigates life test of LED lighting module using accelerated life test method. Poorly designed LED lighting systems can experience a short life. By knowing the relationship between life and heat, LED system manufacturers can design and build long-lasting systems. In this study, various white LED from several other manufacturer were subjected to life tests at LED lated temperatures for prediction to life of LED lighting systems. Results show that the different LED products have various optical characteristic and different life values.

1. 서 론

LED조명제품은 고효율을 보장하며 친환경성, 안전성, 장수명 등 많은 장점을 가진 신 조명으로 부각되고 있어 LED를 이용한 다양한 조명제품이 출시되고 있다. 그러나 기존의 형광램프, HID램프 등과 발광원이나 구조가 상이하기 때문에 종래의 일반 조명기구 성능평가방법과 수명특성 측정방법을 적용하기에는 한계가 있다. LED광원 조명제품 수명은 최소 2만 시간 이상으로 형광등이나 백열등보다 장수명이어서 경제적인 장점이 있지만 실제 LED조명제품이 주변 환경과 사용조건에 따라 2만 시간 이상 지속되는지에 대한 검증과 광학적 효율의 저하가 얼마정도 나타나는지에 대한 평가가 어려운 게 현실이다.

본 논문에서는 수명평가방법을 단축하기 위한 시험방법중의 하나인 초가속수명시험을 통해 LED조명제품의 수명평가와 시간경과에 따른 광학적 특성 변화를 연구한다.

2. 본 론

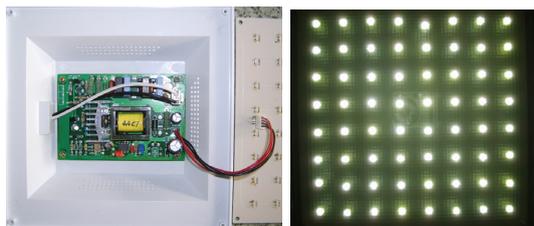
2.1 LED조명제품 대상 선정 및 시험방법

LED를 이용한 다양한 조명제품이 개발되고 있으나 본 논문에서는 일반 실내조명을 대체하기 위해 개발 중인 LED조명제품에 대한 수명평가를 실시한다. LED를 이용한 다양한 제품들도 본 실험과 같은 LED특성을 고려한 수명평가이므로 비슷한 결과를 예측할 수 있다. 수명평가 연구에 적용할 LED조명제품은 Dip type 64개 LED 배열로 구성된 11W급 구동회로 제품이며 회로설계는 그림 1과 같이 구성하였다.



<그림 1> LED조명 제품 구성

LED조명제품 수명에 영향을 줄 수 있는 주요 요소는 LED 선정과 구동 회로에서 LED보상회로, 방열구조, 정전압 입력설계, 열저항 설계 등이 LED조명제품 수명에 영향을 미친다. LED조명시험 대상품 내부와 LED를 배열한 외관은 그림 2와 같다.



<그림 2> 시험대상품 내부 및 외관

본 연구에서는 첫 번째 실험으로 LED조명 수명평가의 중요한 요소인 LED특성에 따른 수명과 광출력 변화를 알아보기 위해 동일한 LED 조명제품에 여러 제조사의 LED를 사용하여 초가속수명시험을 실시한다. 실험 실시 전과 후의 LED특성값 변화를 알아보기 위해 LED 각각의 광학적 및 전기적 특성을 다음과 같이 파악한다.

2.2 LED조명제품 특성 분석

LED조명제품 LED선정 시 기준점은 정격전류로 3φ dip type 국내 제품 2종과 외국 제품 1종을 선정하였다. 수명시험 실시전의 LED에 대한 광학적 및 전기적 특성 실측값은 표 1과 같다.

<표 1> LED에 따른 광학적 특성분석

Product	Power Dissipation	Forward Current	Reverse Voltage	operating Temperature	Include Angle
A사	110 mW	30 mA	4	-30 ~ +85 °C	160
B사	110 mW	30 mA	4	-20 ~ +80 °C	150
C사	120 mW	30 mA	4	-20 ~ +80 °C	150

LED특성은 LED조명제품 수명에 영향을 줄 수 있는 중요한 요소 중에 하나이므로 여러 LED제조사 제품을 이용하여 LED조명제품을 제작한 후 전원 정류장치 제품의 전기적 및 광학적 특성을 표 2와 같이 분석하였다. LED 측정방법은 아직 표준화 및 시험방법 규정이 정해져 있지 않으므로 현재 국제적으로 사용되는 NIST(미국기술표준협회)에서 추천한 광속측량 방법으로 측정하였다.

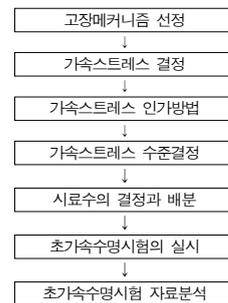
<표 2> LED조명제품에 따른 광학적 특성분석

Product	Flux	Luminous efficacy	Temp. (CCT)	Intensity	Chromaticity Coordinate
A사	264.5 lm	24.47 lm/W	434 K	9.309	x=0.365, y=0.412
B사	260.8 lm	24.15 lm/W	423 K	9.124	x=0.355, y=0.404
C사	243.9 lm	22.58 lm/W	402 K	8.232	x=0.341, y=0.398

위와 같이 LED조명 수명평가를 위해 초기 LED조명램프의 전기적 및 광학적 특성 값을 측정후 수명시험을 실시한다. 수명시험 종료 후 광학적 특성 값의 변화량을 통해 LED조명제품의 수명을 예측하고 수명에 영향을 줄 수 있는 부분에 대한 중요 요소를 확인한다.

2.3 수명시험

LED조명제품의 수명을 예측하기 위하여 초가속수명시험(Accelerated Life Test)을 그림 3과 같은 절차를 통해 실시한다.



<그림 3> 초가속수명시험의 실시절차

2.3.1 고장메커니즘 선정

LED광원을 사용한 조명제품 수명에 영향을 줄 수 있는 첫 번째 고장메커니즘은 LED chip의 p-n접합부분의 열적요소이다. 접합온도에 따라 chip의 전기적 및 광학적 특성이 민감하게 작용하므로 chip구조와 package구조 설계에 영향을 받는다. 초가속수명시험을 하기위한 가속계수로 온도변화를 선택하므로 초가속수명시험에 적용할 온도의 한계 값에 따라 LED 광학적 수명에 절대적인 영향을 줄 수 있다. 이와 같이 LED를 적용한 조명제품 동작 시 주위온도와 LED소자의 자체 열발생은 광출력 저하를 가져오기 때문에 온도특성을 주요 고장메커니즘으로 한다.

두 번째는 LED 조명에서 Inverter의 정전류 및 정전압 공급 여부이다. 온도가 1도 상승 시 약 2mV를 감소하여야 정전류 운전이 가능하다.

며, 전 전압원인 SMPS로 구동 시 전류가 크게 증가하여 LED의 허용 전류 범위를 벗어나 수명에 영향을 주게 된다. 이러한 특성으로 LED 조명기구는 설치장소와 주위환경에 따라 조명성능이 크게 변화하고 심할 경우 소손될 수 있으므로 조명기구 설계 시 적절한 전류제어장치와 방열처리장치를 잘 설계하여야 한다. 이에 따라 정전류 공급여부를 지속하느냐가 중요하므로 전압특성도 주요 고장메커니즘이다.

2.3.2 가속스트레스 결정

선정된 고장메커니즘을 참조하여 가속수명시험에 적용 할 가속스트레스를 결정한다. 고장물리 이론이나 기존의 가속수명시험의 연구결과를 바탕으로 LED 조명에 적용 할 가속스트레스는 온도와 전압이 가능하며 이는 단일 가속스트레스 적용도 가능하며 신뢰성을 높이기 위해 혼합 가속스트레스도 가능하다. 기본 가속 모델 식은 식 1과 같다.

$$L_{lamp} = f(T, V), \quad L_{lamp}: \text{램프수명}, \quad T: \text{사용온도}, \quad V: \text{사용전압} \quad (1)$$

2.3.3 가속스트레스 인가방법

시료에 스트레스를 가하는 방법은 여러 가지가 있으나, 일반적으로 일정스트레스(constant stress)인가방식과 계단스트레스(step stress)인가방식이 가장 많이 사용 된다. 본 실험은 신뢰성이 높고 시험적용과 유지가 쉬운 일정스트레스 인가방식을 사용하여 실험한다.

2.3.4 가속스트레스 수준결정

온도 가속 스트레스에서 가속성이 성립하는 물리적 특성의 가장 높은 수준(SH)은 LED chip에서 제시된 정격사용 최고온도(A사 +85 ℃, B사 및 C사 +80 ℃)를 적용하고 낮은 스트레스 수준(SL)은 LED규격제한인 정격사용 최저온도(A사 -30 ℃, B사 및 C사 -20 ℃)를 적용한다. 전압 가속 스트레스 수준은 상용전압의 허용오차기준과 기존에 제시된 시험방법 등을 적용한 정격전압의 ± 10 %로 가장 높은 수준(SH)은 242 V를 적용하고 낮은 스트레스 수준(SL)은 198 V를 적용한다.

본 논문에서는 시간관계 상 온도가속 스트레스만을 적용하여 실험하고 향후 전압 가속스트레스도 적용하여 실험한다.

2.3.5 시료수의 결정과 배분

가속수명시험에 필요한 총 시료수를 결정하고, 각 스트레스 수준에 시험 아이템을 배분한다. 본 논문에서는 단일 제조자가 제작한 LED조명제품에 여러 백색 LED chip을 가지고 단일 가속인자로 수명 시험을 하기 위해 각 제작사(A, B, C)의 LED로 LED조명제품 3개씩 제작하여 실험한다.

향 후 가속인자의 다양한 조합에 따라 실험하여야 하므로 충분한 LED조명제품 제작을 해야 한다.

2.3.6 초기가속수명시험 실시

시험에 사용된 장비로는 온도변화를 주기위하여 Thermotron사의 항온항습기와 Lapsphere의 구형광속계를 사용하였으며 습도조건은 환경이 건조할수록 전자제품은 정전기에 취약함을 고려하여 시험 시 사용습도는 일반적 사용습도인 55 % RH 적용하여 그림 4와 같이 실험을 한다.



〈그림 4〉 초기가속수명시험

2.4 시험결과 및 분석

초가속수명시험은 가속조건에서의 수명에 가속계수를 곱하면 사용조건에서의 수명을 구할 수 있고 수식 2와 같이 나타낸다.

$$T_{\mu} = T_{\alpha} \cdot A_F \quad (2)$$

T_{μ} : 사용조건에서의 수명, T_{α} : 가속조건에서의 수명, A_F : 가속계수

온도 스트레스를 적용하여 가속계수를 구하는데 일반적으로 사용되는 Arrhenius관계식은 수식 3과 같다.

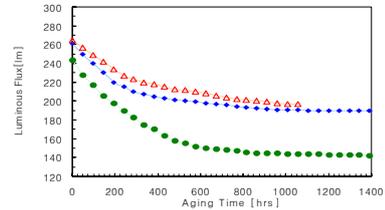
$$A_F = \frac{L_{use}}{L_{Accelerated}} = \frac{C \cdot e^{\frac{B}{V_v}}}{C \cdot e^{\frac{B}{V_a}}} = \frac{e^{\frac{B}{V_v}}}{e^{\frac{B}{V_a}}} = e^{B(\frac{1}{V_v} - \frac{1}{V_a})} \quad (3)$$

본 논문에는 적용된 여러 LED사 조명제품이 제시된 정격 수명 보장시간 조건은 10만 시간(11년 이상)이고 LED조명제품의 정상온도 사용조건은 25℃로 가정하면 Arrhenius관계식을 적용하여 모델별 가속계수를 구한다. 사용조건에서의 수명(T_{μ})과 가속조건에서의 수명(T_{α})에 적용한 온도를 절대온도로 나타내기 위해 273을 더하며 활성화 에너지는 일반적 전자부품에서 사용하는 $E_a = 0.7 eV$ 를 적용한다. Arrhenius관계식을 이용하여 A사 LED(정격사용 최고온도 85 ℃)를 적용한 조명제품의 가속계수는 97(≈ 96.76)이며 B사(한계 사용 온도 조건 80 ℃) 및 C사(한계사용 온도 조건 80 ℃)의 가속계수는 71

(≈ 70.15)이다.

이 결과는 A사 LED를 적용한 LED조명제품에 한계사용 온도 조건 85 ℃ 적용 시, 정상조건인 25℃보다 고장이 97배 가속한다는 것을 나타내며 이는 25℃에서 100,000시간(11년 이상) 동안 시험하는 것과 85 ℃에서 100,000/97 = 1030.9시간으로 약 43일 동안 시험하는 것과 동일한 효과를 볼 수 있다는 것을 나타낸다. 위와 동일한 방법으로 B사 및 C사(한계사용 온도 조건 80 ℃)의 가속계수 71을 적용한 가속 수명기간은 100,000/71 = 1408.5시간으로서 약 59일 동안 초가속수명시험을 실시한다.

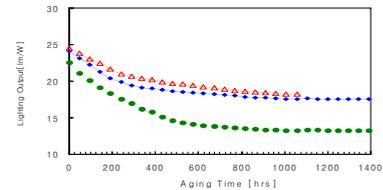
LED조명제품의 수명평가를 위해 LED제품에 따라 LED제품에 따라 초기가속수명시험을 실시한 후 LED조명제품의 변화된 광속변화량을 그림 5와 같이 나타낸다.



〈그림 5〉 초기가속수명시험에 따른 광속 변화

그림과 같이 LED조명제품의 수명평가를 위해 광학적 특성을 분석하면 시간이 경과됨에 따라 광속량이 급감하다가 점차 감속량이 적어지는 것을 알 수 있었으며 LED모델별 큰 차이는 없으나 초기 광속이 많이 방출되는 제품이 더 오래가는 것을 알 수 있었다. 광속량에 따른 수명평가를 위해 각 제품의 시험 전 광속은 각각 264.5 lm, 260.8 lm, 243.9 lm이었으나 초기가속수명시험 후 광속은 196.6 lm, 189.5 lm, 142.5 lm으로 초기 광속 대비 74.3 %, 72.6 %, 58.4 %의 광속 효율의 감소됨을 알 수 있었다. 현재 초기 광속 대비 70 %이하일 경우 LED조명제품의 수명이 다한 것으로 판단했을 때 A사와 B사의 LED는 대략 10년을 보장할 수 있다고 판단 할 수 있지만 C사 LED를 사용한 LED조명제품은 10년의 성능을 보장하지 못한다는 결과가 나왔다.

그 이유 중의 하나는 A사 및 B사 LED를 사용한 실험에서는 실험 종료 후 LED가 소등된 경우가 없었으나 C사(저급) LED를 사용한 실험에서는 2개의 LED가 소등된 상태를 보였으므로 제품자체의 신뢰성에 문제가 있음을 나타낸다. 이와 같이 LED조명제품 제작 시 LED선정은 수명과 직접적인 영향을 줄 수 있다는 것을 알 수 있었다.



〈그림 6〉 초기가속수명시험에 따른 효율 변화

LED조명제품의 성능을 나타내는 광효율 변화는 그림 6과 같이 나타냈다. 광속변화량과 마찬가지로 각 LED특성에 따라 효율 특성도 시간의 경과에 따라 감소함을 알 수 있었다.

3. 결 론

LED조명제품의 수명특성을 연구하기 위하여 온도 가속계수를 사용하여 가속수명을 실시한 결과 LED조명제품의 장수명 효과를 증명할 수 있었다. 이는 광속의 초기치 대비 70%이하일 경우 LED조명제품의 수명이 다 된 것으로 판단 할 경우 7~8만 시간은 외부환경의 급격한 변화가 없을 경우 LED조명 수명이 보장된다는 것을 알 수 있었다.

수명시험의 신뢰성을 높이기 위하여 향후 가속인자를 여러 모델별로 적용하고 구동장치에서 LED 광학적 수명에 영향을 주는 주요요소로 LED만이 아닌 LED보상회로, 방열구조, 정전압 입력설계, 열저항 설계에 대해서도 LED제품수명에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구가 필요하

[참고 문헌]

- [1] Patrick N. Grillo, Michael R. Krames, "Sixty Thousand Hour Light Output Reliability of AlGaN Light Emitting Diodes," IEEE Trans. on Device and Materials Reliability, Vol. 6, No. 4, Dec 2006.
- [2] Nadarajah Narendrn, Yimin Gu, "Life of LED-Based White Light Sources," IEEE/OSA Journal of Display Technology, Vol. 1, No. 1, September 2005.
- [3] 신뢰성 공학 이론 및 실습[II], 한국신뢰성기술서비스, 2007.