

국제표준과 통계적 분석을 통한 LED Package 수명 비교 연구

박세일^{1,2}, 김건소², 김충혁^{1,a}

¹ 광운대학교 대학원 플라즈마바이오디스플레이학과

² 식품의약품안전평가원 첨단의료기기과

A Comparison Study Between International Standard and Statistical Analysis on LED Package Life

Se Il Park^{1,2}, Gun So Kim², and Chung Hyeok Kim^{1,a}

¹ Department of Plasmabiodisplay, Kwangwoon University, Seoul 01897, Korea

² Department of High Tech Medical devices, National Institute of Food and Drug Safety, Cheongju 28159, Korea

(Received October 26, 2017; Revised November 22, 2017; Accepted November 30, 2017)

Abstract: In an attempt to estimate the life projection of LED packages, IESNA published a paper regarding an LED package measurement test method in 2008, and a life projection technical document in 2011, to be used for LED life estimation. IESNA's publications regarding LED package measurement methods were functional, but they were not internationally standardized before 2017. In order to develop a standardized method, the International Standard chose to use the LM-80 as a measurement method for LED life projection in their publication in 2017. Many projection methods have been discussed by the IEC Technical Committee 34 working group, including the method using an exponential function, which reflects lumen degradation characteristics well. This study is designed to explore alternative LED package life estimation methods using an exponential function with statistical analysis, other than the one suggested by the International Standard.

Keywords: LED, LED package, Package measurement, Lumen maintenance

1. 서론

1.1 연구의 배경

LED는 전류를 인가했을 때 빛을 내는 반도체 소자인 다이오드(light emitting diode)로서 일반적으로 solid state lighting (SSL)이라고도 불리며, 알려진 장점으로는 기존 전통조명 광원 대비 광 효율, 소비전력뿐만 아니

라 긴 수명이다.

전통조명 대비 LED는 반도체 조명으로서, 긴 수명을 가지고 있다. 하지만 실제적으로 얼마나 긴 수명을 가지고 있는지는 수치적으로 정확하게 정의하기 쉽지 않다.

기존의 백열전구, 형광램프와 같은 광원을 이용한 전통조명은 LED 광원을 이용한 조명으로 대부분 바뀌면서 수많은 LED 관련 표준들이 제정되었지만, LED의 장점인 수명에 대해서는 확실한 표준을 정하여 수명을 예측 또는 계산을 할 수가 없었다.

최근, 발간된 국제표준을 적용하기 전에는 미국 IESNA (Illuminating Engineering Society of North America) 에서 제정한 LED package의 측정 방법인 IESNA LM-80-08 [1]과 측정 방법을 통해 도출된 결과를 수명 예측 기법을

a. Corresponding author; hyeokkim@kw.ac.kr

소개한 기술문서인 IESNA TM-21-11 [2]을 통해 통상적으로 LED package의 수명을 예측하여 왔다.

상기 시험 방법에서는 최소 6,000시간 동안 LED package를 에이징하여 초기 광속 대비 일정 시간 이후의 광속 변화율(광속 유지율)을 측정하였지만, 국내에서 광속 유지율을 확인하기 위한 시간은 2,000시간이다. 국내 측정시간은 기존 형광램프와 같은 전통조명의 수명 측정시간을 기준으로 만들어졌으며, LED 수명을 정확하게 측정하는 측면에서는 적합하지 않다고 본다.

이에 본 연구에서는 여러 가지 형태와 입력전류 특성이 다른 LED package에 대한 광속 유지율을 분석해 보고, 이 분석 결과를 토대로 현재 알려진 LED 광속 유지율 계산식 결과와 비교하였다. 또한 비교 결과를 토대로 기존 측정법의 오류를 검토하여 새로운 LED package 수명 계산식 모델을 제시함으로써 그 필요성에 대해서 고찰하고자 한다.

1.2 국내외 LED 조명 제품 수명시간 적용

국내에서의 대표적인 조명 인증 종류로는 전기용품안전관리법에 의한 안전인증(KC), 에너지고효율기자재인증(KE) 및 산업표준(KS) 등이 있다.

에너지고효율기자재인증에서는 LM-80-08에 의해 시험된 데이터 또는 시험기관에서 6,000시간 동안 시험된 데이터가 있다면 그 시험 결과에 따라 LED 조명제품의 광속 유지율이 면제되는 내용의 규격을 제정하였다. 이는 국제표준은 아니지만, 국제적으로 많이 인용되고 있는 LM-80-08 규격을 일부 적용하여 공통되는 시험의 면제를 통하여 국내 LED package 제조업체의 국내 산업 진출을 용이하게 하였다.

하지만 국내 고효율기자재인증이나 산업표준의 LED 조명 제품 광속 유지율은 2,000시간 에이징 이후 일정 기준(90%) 이상이 되면 인증을 받을 수 있도록 규정하고 있다.

유럽 기준의 경우 Commission Regulation No.1194/2012에서 규정하고 있으며, 방향성(directional)을 가진 LED 램프의 경우, 램프의 광속 유지율은 6,000시간에서 정격 평균 수명의 80% 이상이어야 한다 [5].

미국의 에너지스타 램프기준의 경우, 광속 유지율 검증을 위한 시간은 6,000시간이며, 10개의 샘플로 검증을 하게 된다. 에너지스타의 기준을 통과하기 위해서는 전 방향램프(directional lamp)의 경우 최소 15,000시간의 수명을 제조자가 선언을 해야 하며, 이 시간을 표시하기 위해서는 최소 광속 유지율 86.7%를 만족해야 한다. 또

한, 25,000시간의 수명을 선언하기 위해서는 최소 광속 유지율 91.8%를 만족해야 한다.

추가적으로 최대 30,000시간부터 최대 50,000시간을 선언하기 위해서는 시험하는 최소시간은 50,000시간의 경우 12,500시간을 실제로 시험을 해야 한다.

LED package 관련 광속 유지율 표준은 2015년 3월 5일 독일의 오스람 조명회사에서 새로운 프로젝트(NP)로 제안되어 'LED Packages - Long Term Luminous Flux Maintenance Projection'이라는 표준명으로 국제표준이 진행 중이며, 2017년 6월에 출판되었다 [6].

최근 출판된 이 표준은 2014년에 처음 논의되었으며 국제전기위원회, 기술위원회(TC 34) 전문가들 사이에서 어떠한 모델을 이용하여 LED package의 수명을 예측해야 하는지에 대해서 의견이 분분하였으나, 초기에 알려져 있던 IESNA TM-21-11을 사용하는 것으로 결정되었다.

1.3 IES LM-80-08과 TM-21-11

IESNA TM-21 기술문서에서 수명을 예측할 때 고려하는 온도는 기본적으로 55°C, 85°C와 업체에서 지정하는 제3의 온도에서 시험한 데이터를 기반으로 수명을 예측하게 된다. 시험 온도의 T_s 는 각각의 측정하고자 하는 온도에서 2°C 이내이어야 하며, 챔버 내 온도는 5°C 이내이어야 한다.

계산식에 의해서 6,000시간을 시험했을 경우 36,000시간보다 많은 시간이 나오게 된다면 그 LED package의 수명은 36,000시간의 수명을 가지게 되며, 실제 시험한 시간이 6,000시간 이상일 경우 그 LED package의 수명시간은 시험한 시간에 6을 곱한 시간이 된다. 예를 들어 실제로 시험한 시간이 7,000시간일 경우 수명은 42,000시간이 되는 것이다.

에너지스타 홈페이지에서는 엑셀파일 형태로 IESNA LM-80-08 데이터를 근거로 LED 조명의 수명을 계산할 수 있는 수명 계산기(Energy Star TM-21 Calculator)를 제공하며, 시험한 온도별 매 측정 간(보통 1,000시간) 측정된 광속 유지율 값을 입력하게 되면 그 LED package의 예측수명, 최소자승법에 의하여 도출된 계수, 최소자승법에 의하여 도출되는 감소계수 등이 계산된다.

2. 실험 방법

LED package의 광학 및 전기적 특성을 측정할 때 총 에이징을 하는 시간은 최소 6,000시간부터 많게는 10,000

시간 이상이며, IES LM-80-08 규격에서 권장하는 온도별 샘플이 최소한 20개이기 때문에 세 가지 온도를 측정한다면 최소 측정기간 도래 시마다 60개의 샘플이 된다. 각 샘플을 1,000시간 측정 간격으로 광속 값을 측정할 때 발생하는 측정오차는 광속 유지율 결과에 오류를 발생시킨다.

이에 본 연구에서는 기존에 연구되었던 LED package 측정의 재현성 및 정확도를 확인하였고, 이 측정 방법을 이용하여 LED package를 측정하였다 [3].

상기 LED 측정 시스템 및 IES LM-85-14 [4]의 측정 방법 중 싱글펄스 모드 측정법을 사용하였을 때 저와트(0.2 W급), 중와트(3 W급), 고와트(8 W급) LED의 반복 측정값의 재현성과 정확성이 뛰어난 것을 확인할 수 있었다.

LED package 측정값에 대한 신뢰도 확인을 바탕으로 본 연구에서는 LED package를 IES LM-80-08에서 제시한 세 가지 측정 온도에 LED package를 종류별로 장착하여 6,000시간 동안의 LED package의 광속 변화율을 측정하였고, 이 결과를 토대로 현재 수명 예측 시 주로 사용되고 있는 IESNA TM-21-11의 LED package 수명 예측 방법과 회귀분석을 이용해 통계적으로 계산한 LED package의 수명 계산 방법을 비교해 보고자 한다.

본 연구에서 사용된 장비의 개략도는 그림 1과 같으며, 이 시스템은 크게 LED package를 삽입하여 일정한 온도를 유지시켜 주는 항온 오븐, LED package의 표면 온도(T_s : Case Temperature)를 일정하게 유지하기 위한 냉각 시스템과 LED package에 전원을 공급해 주는 전원부로 구성되어 있다.

그림 1의 광속 유지율 시험을 위한 시스템의 핵심은 냉각 순환 지그이다. 이 냉각 순환 지그는 LED package의 표면온도(T_s)를 IES LM-80-08 규격에서 요구하는 온도로 일정하게 유지하게 하기 위하여 지그 안에 냉각수가 순환할 수 있도록 고안되었다.

또한, LED package의 시험 온도를 일정하게 유지하기 위하여 냉각 순환 지그에 냉각수가 지속적으로 공급

되도록 냉각기 및 쿨링 모터가 설치되어 있다. 냉각기와 쿨링용 모터는 LED package의 T_s 를 모니터링하면서 T_s 가 일정하게 유지되는 온도가 되도록 세팅을 한다.

상기의 정해진 온도에서의 LED package의 에이징을 목표로 한 시간 6,000시간까지 진행하였으며, 1,000시간마다 각 온도별 에이징된 LED package의 광속 및 전기적 특성을 측정하였다.

매 1,000시간 에이징 이후 LED package는 상온 25°C에서 24시간 동안 전원을 인가하지 않은 상태에서 안정화하였으며, 측정 후 오븐챔버에 장착하기 전에도 마찬가지로, 전원을 인가하지 않은 상태에서 24시간 동안 안정화하였다. 처음 에이징하기 전 초기 측정과 6,000시간까지 세 가지 온도별 25개씩의 샘플을 7번 측정하게 되어 하나의 LED package 모델당 525번의 광속을 측정하였으며, 총 12개의 LED package 데이터를 획득하였다.

3. 결과 및 고찰

IESNA LM-80-08 규격은 LED 조명제품이 아닌 LED package, 어레이(array), 모듈(module)에 대한 광속 유지율을 평가하기 위해 적용해야 하는 주변 환경 조건 및 온도조건 내용들을 주로 다루면서 LED package의 광속 및 색온도의 변화 등을 측정하는 방법을 제시하고 있다.

IESNA LM-80-08에서 제시하는 세 가지 온도는 55°C, 85°C와 업체에서 지정하는 온도이며, 이 온도는 실제 LED package가 조명이나 모듈에 장착되었을 때 측정되는 온도로 가정하여 실제 제품의 작동상태에서 LED package의 온도를 측정하여 수명을 계산할 수 있는 것이다.

본 연구에서는 표 1과 같이 12개의 LED package 각각의 온도별 IESNA-TM-21에서 권고한 샘플 수 20보다 많은 25개를 선정하였으며, 시험으로 나온 결과를 토대로 TM-21에서의 계산된 수명 값[$L_{70}(6k)$]과 회귀분석을 통한 수명산출에 대한 분석을 해보고자 한다.

표 2는 12개의 LED package 샘플에 대하여 인가된 전류, LM-80-08에서 제시한 세 가지 측정온도, 6,000시간에서의 광속 유지율 및 IESNA TM-21의 수명 계산식에 의하여 계산된 온도별 수명이다.

IESNA TM-21의 계산식을 이용하여 위 12개의 데이터에 따른 LED package의 수명을 계산해 봤을 때 대부분 감소하는 추세를 보여주지만, 특정 LED package는 수명이 많게는 수십만 시간이 나오기도 하며 높은 온도에서 에이징된 LED package의 수명이 낮은 온도에서 에이

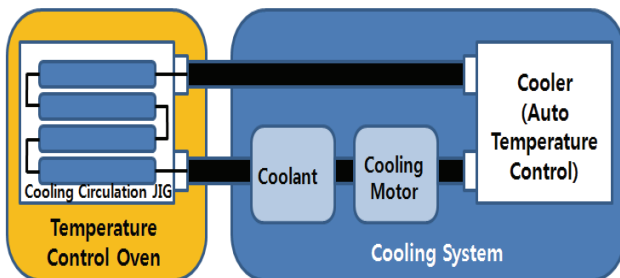


Fig. 1. System diagram for testing LED packages.

Table 1. LED package specification.

No	Rated current (A)	Rated voltage (V)	Luminous flux (lm)	Watt (W)
1	0.060	3.2	21.3	0.19
2	0.060	3.2	23.5	0.19
3	0.120	3.2	48.9	0.38
4	0.120	3.0	43.5	0.36
5	0.060	3.0	29.3	0.18
6	0.060	3.0	25.3	0.18
7	0.060	3.0	25.8	0.18
8	0.060	3.0	25.8	0.18
9	0.045	65.0	153.0	2.92
10	0.025	65.0	132.2	1.62
11	0.035	3.4	164.1	0.12
12	0.120	3.0	45.0	0.36

징된 LED package보다 수명이 긴 경우도 관찰되었다.

이는 IES TM-21의 계산식을 적용했을 때 LED package 제조사의 조립 방법, 형광체, LED 칩의 납땜 방법 등 LED package 형태에 따른 고유 특성에 의한 차이로 볼 수 있으며, LED package를 측정하는 데 있어 6,000시간으로는 장시간의 LED 수명을 예측이 정확하지 않다는 것을 의미하기도 한다. 이에 대한 대책으로 국제표준에서는 Border function의 방법을 적용하였으며, 이는 IESNA TM-21-11의 계산 값이 발산하는 경향을 보일 경우 적용하게 된다.

본 연구에서는 회귀분석 방법을 이용하여 12종의 LED package 측정값에 따른 온도별 추세선을 그려 보고 IES TM-21의 수명 계산식과 비교하기 위하여 추세선에 따라 계산된 모델을 다음과 같이 유추해 보았으며, 다음과 같이 각 온도별 수식을 유도해 낼 수 있다.

각 온도별로 측정된 광속 유지율을 회귀분석을 이용하여 도출한 수식은 다음과 같다.

$$55^{\circ}\text{C} : y = 101.42e^{-4E-06x} \quad (1)$$

$$85^{\circ}\text{C} : y = 101.39e^{-6E-06x} \quad (2)$$

$$100^{\circ}\text{C} : y = 100.44e^{-5E-06x} \quad (3)$$

Table 2. Calculated L70 (6k) for each LED package.

No	Rated current (A)	Case temp. (°C)	Lumen maintenance (%)	Calculated L70 (6 k)
1	0.06	55	98.1	189,000 h
	0.06	85	99.7	584,000 h
	0.06	100	101.8	82,000 h
2	0.06	55	99.2	547,000 h
	0.06	85	98.7	208,000 h
	0.06	100	99.2	547,000 h
3	0.12	55	96.2	60,000 h
	0.12	85	96.4	69,000 h
	0.12	100	95.4	47,000 h
4	0.12	55	93.5	21,000 h
	0.12	85	94.9	24,000 h
	0.12	100	94.8	23,000 h
5	0.06	55	104.1	333,000 h
	0.06	85	100.3	686,000 h
	0.06	25	104.1	211,000 h
6	0.06	55	96.0	36,000 h
	0.06	85	94.4	27,000 h
	0.06	25	94.8	36,000 h
7	0.06	55	105.2	36,000 h
	0.06	85	96.8	51,000 h
	0.06	25	102.3	259,000 h
8	0.06	55	100.4	56,000 h
	0.06	85	97.7	33,000 h
	0.06	25	101.7	282,000 h
9	0.045	55	93.1	41,000 h
	0.045	85	93.6	39,000 h
	0.045	105	93.0	41,000 h
10	0.025	55	95.6	202,000 h
	0.025	85	94.8	238,000 h
	0.025	105	94.0	94,000 h
11	0.35	55	94.6	78,000 h
	0.35	85	94.4	71,000 h
	0.35	100	93.9	63,000 h
12	0.12	55	98.0	91,000 h
	0.12	85	97.3	81,000 h
	0.12	105	96.5	57,000 h

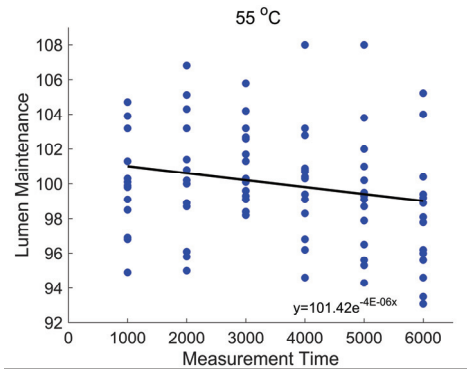


Fig. 2. Regression analysis model at 55°C.

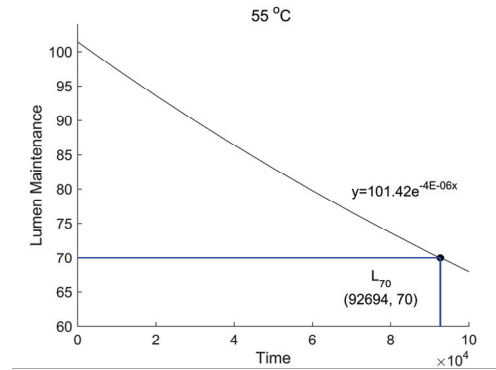


Fig. 5. Span to L60 for 55°C tested sample.

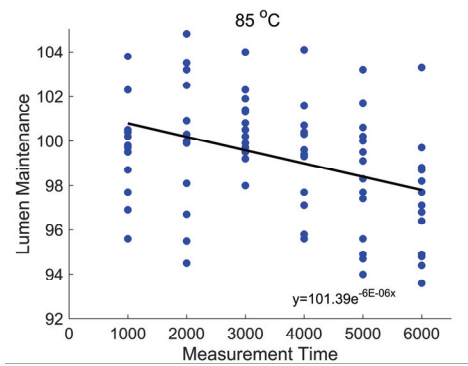


Fig. 3. Regression analysis model at 85°C.

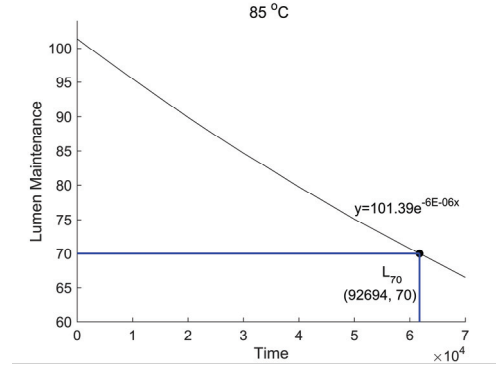


Fig. 6. Span to L60 for 85°C tested sample.

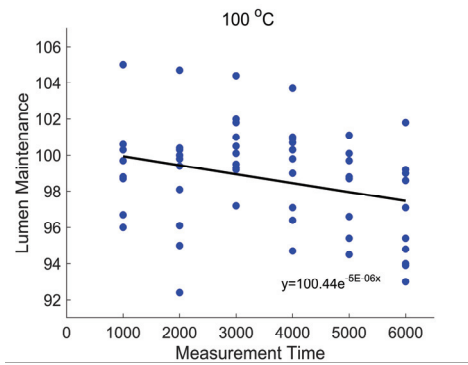


Fig. 4. Regression analysis model at 100°C.

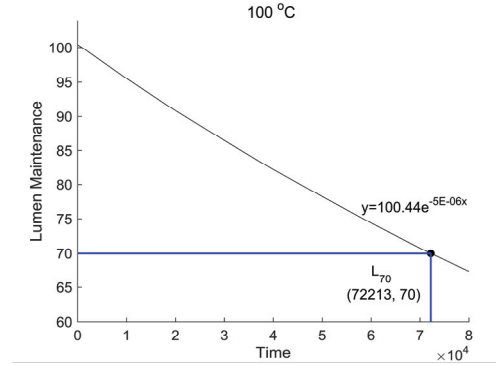


Fig. 7. Span to L60 for 100°C tested sample.

상기 그림 2, 3, 4는 각 온도별 광속 유지율의 분포에 따라 그려진 산점도이며, 측정시간별 광속 유지율로 추세선 지수함수 모델을 선정하였고, 이를 L_{70} 이하까지 연장해 보면 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

그림 5, 6, 7에서 볼 수 있듯이 회귀분석에 의한

모델은 모두 감소하는 추세로 IES TM-21에서 계산된 수명이 일부 발산하는 추세와는 다른 점을 확인할 수 있으며, 실제로 LED package의 광속이 서서히 감소하는 광속 저하 특성이 더 잘 반영되었다고 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 12개의 LED package 제품에 대하여 각 온도별로 수식을 유도해 보았으며, 이 수식을 적용한다면 각 온도별로 제조사에서 선언하는 광속 유지율에 대한 수명을 계산할 수 있을 것이다.

실제로 LED package 실험 결과를 IES TM-21 계산식을 이용하여 수명을 계산하였을 때 수십만 수명시간이 나타나거나 온도가 높아질수록 광속 유지율이 높아지고 점등시간이 증가할수록 광속이 높아지는 추세를 보이기도 하는 등 사실상 제품에 표기할 수 없는 수치가 계산되는 경우도 확인해 볼 수 있었다.

이는 본 실험뿐만 아니라, 국제표준 제정 시 참고되었던 결과물 중 일부 모델에서도 발견되는 현상이다.

이는 제품을 구동하기 위한 파워서플라이에 삽입되는 전해캐패시터의 일반적인 수명이 5만 시간임을 감안하면 수십만 시간의 수명이 제품에서는 의미 없는 수치라고 볼 수도 있다.

IES TM-21에 의해 계산된 수명과 회귀분석에 의한 통계적 분석에 의한 수명을 비교해 볼 때, 데이터 값에 의해 발산이나 수명이 지나치게 높게 나오는 IESNA TM-21의 계산법보다는 본 연구를 통해 도출된 수식 또는 국제표준에서 제안된 border function에 의한 수명

계산이 더 신뢰성 있다고 판단되어진다.

향후 추가 연구에서는 측정 온도의 구분 없이 지수 감소 모델의 회귀분석을 이용하여 통계적으로 수식을 유도해 보고 온도별로 유도해 본 수식과 추가 비교를 해 볼 예정이다. 또한, 국제표준 제정 시 고려되었던 LED package의 광속 유지율 값과도 비교하여 그 유효성을 확인해 보고자 한다.

REFERENCES

- [1] *Approved Method: Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources*, **IES LM-80-08** (2008).
- [2] *Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources*, **IES TM-21-11** (2014).
- [3] S. L. Park and C. H. Kim, *J. Korean Inst. Illum. Electr. Install. Eng.*, **30**, 13 (2016). [DOI: <https://doi.org/10.5207/JIEIE.2016.30.11.013>]
- [4] *Approved Method: Electrical & Photometric Measurements of High-Powered LEDs*, **IES LM-85-14** (2014).
- [5] *Ecodesign Requirements for Non-directional Household Lamps*, **EC 1194/2012** (2012).
- [6] *LED Packages - Long-Term Luminous Flux Maintenance Projection*, **IEC 63013** (2017).