

# LED조명기기의 필드 열화데이터에 대한 신뢰성 분석에 관한 연구

(A Study on Reliability Analysis for Reliability Testing & Field Degradation Data of LED Lighting)

양승용\* · 이진우\*\*

(Seong-Yong Yang · Chin-Woo Yi)

## Abstract

LED lightings typically do not fail catastrophically during use. However, over time the light output will gradually depreciate. Even if there are same LED lighting, they are so different at all. because of dissimilar the use and environment of each LED lighting. In this paper, we make a description of reliability analysis procedures for the degradation data using collected field data. Reliability analysis procedures are consisted of estimating degradation models and failure time, verification of distribution and parameters of the distribution, and reliability measures estimation. At some point in time, the light emitted from an LED lightings depreciates to a level where it is no longer considered adequate for a specific application.

Key Words : Degradation, Criteria of Judging Damage, Reliability Analysis

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

LED조명기기는 치명적인 고장보다는 광이 점진적으로 줄어드는 열화 특성을 가지고 있다. 이러한 특성에 따라 다양한 응용분야에 적용하고 있는 LED조명기기는 사용 및 환경조건에 따라 동일한 칩과 공정을 거친 LED조명기기가 하더라도 실제 필드에서 발생할

수 있는 열화 메커니즘은 다르게 나타난다.

LED조명기기 열화데이터의 신뢰성 분석 절차는 LED조명기기 성능 저하의 최저기준인 고장판정기준과 고장시간 추정 그리고 수명분포 선정 및 검정 그리고 분포의 모수추정 등으로 이루어진다[1].

성능의 열화 모델과 열화 데이터의 통계적 분석에 관해서는 Meeker(1998), Bain(1978), Nelson(1990) 등을 비롯한 많은 학자들에 의해 연구되어 왔다[1,2,3].

본 논문에서는 LED조명기기의 수명과 밀접한 연관성을 가진 고장원인으로 온도, 습도에 의해 열화가 발생한다. 실제 필드에 설치되어 있는 15[W] 컨버터 내장형 LED램프와 60[W] LED 등기구의 성능열화 데이터로부터 수명을 예측하는 신뢰성 분석을 실시하고 그 결과를 비교하여 향후, LED조명기기 개발

\* 주저자 : 한국조명연구원 고문  
\*\* 교신저자 : 호서대학교 전기공학과 교수  
Tel : 041-540-5655, Fax : 041-540-5658  
E-mail : light@hoseo.edu  
접수일자 : 2011년 10월 26일  
1차심사 : 2011년 10월 28일  
심사완료 : 2011년 12월 8일

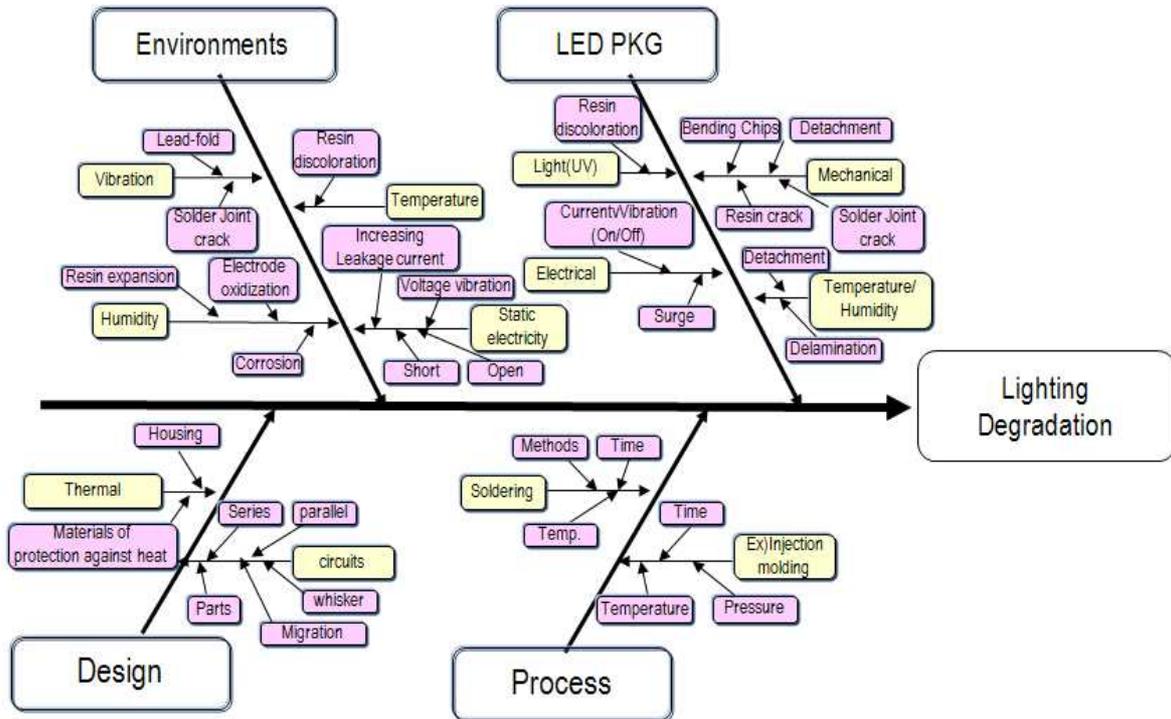


그림 1. LED조명기기의 열화요인과 고장모드  
 Fig. 1. Degradation of LED Luminaires & Lamps

에 필요한 현 수준 및 광 특성 변화의 기준을 제시하고자 한다.

## 2. 열화 메커니즘

### 2.1 LED조명기기의 열화 메커니즘

LED조명기기의 열화는 주로 칩, 와이어 및 수지의 경시적인 결함으로 나타나며 이러한 결함을 유발시키는 일반적인 요인과 그에 따라 발생하는 대표적인 고장모드는 그림 1과 같다. 그림 1은 광이 열화 되는 요인 등을 특성요인도(Cause and Effect Diagram)라는 분석기법을 이용하여 나타낸 것이다. 이러한 열화는 이들 요인의 복합적인 작용에 기인한 LED조명기기의 구성 요소인 수지, 형광체, 땀납, 전극 금속, 반도체 결정 등의 순서로 반응 촉진에 의해서 화학적, 물리적 변화나 기계적 고장이 발생한다[8].

신뢰성 분석에서는 소재의 열화가 일어나 수명에 영

향을 주는 경우는 수명을 직접 관측하는 대신 주기적으로 또는 지속적으로 성능을 관측하여 고장시간을 추정하는 열화 시험방법을 적용하는 것이 좋다. 고장시간은 LED조명기기의 성능이 사용기간이 지남에 따라 저하되는 경우에 미리 정해진 성능값 이하가 되는 시간으로 추정한다. 그리고 열화시험 중에서도 그 열화를 촉진시키는 가속열화시험(Accelerated Degradation Tests; ADT)을 주로 많이 실시하고 있다.

### 2.2 고장 정의 및 판정기준

LED조명기기의 고장판정기준은 국내·외 LED조명기기를 생산하고 있는 기업들과 「고휘도 발광다이오드, 신뢰성 평가 기준(RS C 0047)에서 제시하고 있는 고장 판정기준들을 참조하여 광속유지율이 초기값 대비 70[%] 이하인 경우 고장인 것으로 판정하고 있다[7]. (미국 에너지국(Department of Energy; DOE)의 Energy Star에서는 다운 라이팅인 경우 75[%]를

기준으로 하고 있다.)

표 1은 일반적으로 많이 적용하고 있는 기술표준원의 국내 신뢰성 규격 RS의 LED조명기기의 고장판정 기준들을 제시하고 있다.

**표 1. 고장판정기준**  
Table 1. Criteria of Judging Damage

항목	고장 판정 기준
전압	초기값 대비 1.1배 이상
	1,000 시간 동안 200[mV] 이상
광속	광속 유지율 초기값 대비 90[%] 이하
	광속 유지율 초기값 대비 80[%] 이하
	광속 유지율 초기값 대비 70[%] 이하
	광도 유지율 초기값 대비 50[%] 이하

일반조명에서 형광등인 경우 고효율기자재규정에서는 초기 광속을 기준으로 광속이 93[%]로감소하였을 때를 규정하고 있으며, 「액정화면 백라이트용 냉음극 형광램프」 신뢰성 평가 기준에서는 70[%], 그리고 「외부전극형광램프」 신뢰성 평가 기준에서는 80[%] 이하로 고장을 판정하도록 하고 있다.

### 3. 신뢰성 분석

#### 3.1 신뢰성 분석 방법

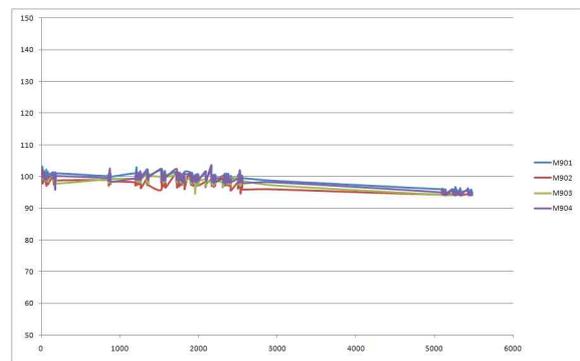
본 논문에서 신뢰성 분석 대상으로 하는 LED조명기는 일반조명용으로 주로 사용하고 있는 600×600 60[W] LED등기구와 15[W] 컨버터내장형 LED램프를 대상으로 하고 있으며, 60[W] LED등기구는 문화예술 회관에, 15[W] 컨버터내장형 LED램프는 엑스포 건물에 설치된 것이다. 또한 광 특성 열화데이터 측정은 광원의 30[cm] 아래에 조도계와 모니터링 장치를 설치하여 2010년 12월부터 3월에 걸쳐 데이터를 수집하였다.

LED조명기기 성능은 LED조명기기가 전기적, 열적으로 안정화되어 가는 동안에는 그 성능이 조금씩 상승하는 경향이 있으며, 이 시점을 지나면서부터는 열화가 진행되면서 시간이 지남에 따라 점점 광 특성이 감소하고 있음을 그림 2에서 보는 것과 같이 (a)는 필

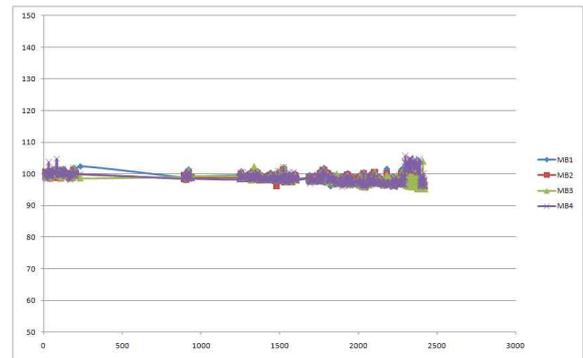
드에 설치되어 있는 4종의 15[W] 컨버터내장형 LED 램프의 열화데이터이고, (b)는 5종의 60[W] LED등기구의 성능 열화데이터를 보여주고 있다.

이러한 필드에 설치되어 동작되고 있는 LED조명기기의 고장시간에 따른 수명분포의 적합성 검정을 수행하고 각 모델별 평균수명과 신뢰성 척도를 비교하여 열화데이터에 대한 타당성을 검증하고자 한다.

#### 3.2 신뢰성 분석 절차



(a) 15(W) LED 컨버터내장형 LED램프



(b) 60(W) LED등기구

**그림 2. LED조명기기의 열화데이터**  
Fig. 2. Degradation Data of LED Lamp & Luminaries

LED조명기기 열화데이터를 이용하여 분석하는 절차는 그림 3과 같이 LED조명기기 열화 데이터의 총 6단계 신뢰성 분석 절차를 보여주고 있다. 단계 1은 성능 데이터 수집, 단계 2는 열화모델 선정, 단계 3은 고장시간 추정, 단계 4는 수명분포 선정 그리고 선정

된 분포의 적합도 검정, 단계 5는 분포의 모수 추정 및 적합도 검정이며, 마지막 최종 단계 6은 신뢰성 지표인 평균수명 등의 추정으로 구성되어 있다[6].

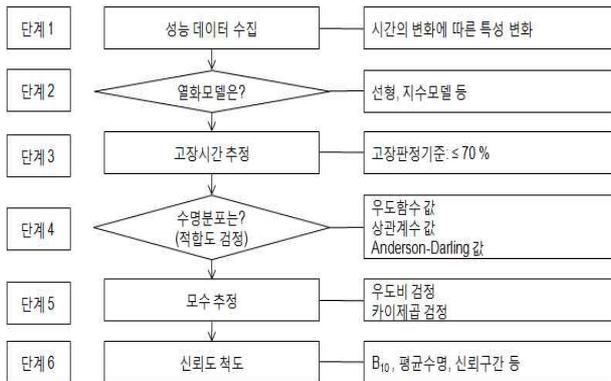


그림 3. 신뢰성분석 절차  
Fig. 3. Procedures of Reliability Analysis

3.2.1 열화모델

LED조명기기들의 열화모델은 지수모델을 적용하였다[6,7,13]. 지수모델을 적용하여 초기값 대비 70[%] 되는 시점으로 추정된 고장시간은 표 2와 같다.

표 2. 고장시간 추정  
Table 2. Failure Time Estimation

(a) 15(W) 컨버터내장형 LED램프 고장시간

시료 번호	고장시간
1	30,463.09
2	31,692.58
3	33,368.95
4	51,421.36

(b) 60(W) LED 등기구 고장시간

시료 번호	고장시간
1	25,561.92
2	25,912.33
3	30,975.96
4	30,976.31
5	46,156.67

3.2.2 수명분포

표 3은 수명분포로 대수정규분포가 적합하다는 적합성 검정 결과를 보여주고 있다. 적합한 수명분포는 가장 작은 AVGOF (Average goodness of fit) 값을 갖는 분포와 우도함수 증 가장 큰 값을 갖는 분포를 기준으로 결정하였다.

표 3. 적합성 검정  
Table 3. Test of Goodness of Fit

(a) 15(W) LED컨버터내장형램프의 적합성

분포	AVGOF (적합도)	우도함수	순위
지수	57.880	-46.046	4
정규	6.672	-41.962	2
대수정규	3.839	-41.466	1
와이블	8.444	-42.068	3

(b) 60(W) LED컨버터내장형램프의 적합성

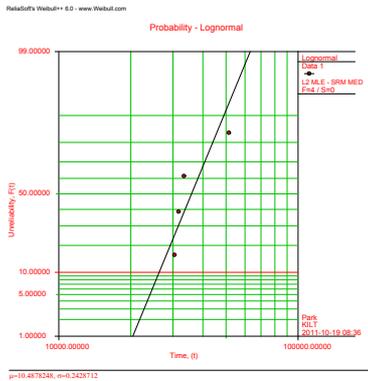
분포	AVGOF (적합도)	우도함수	순위
지수	74.484	-56.854	4
정규	8.257	-51.763	2
대수정규	2.024	-51.162	1
와이블	9.817	-51.947	3

3.2.3 수명분포의 동일성 검정

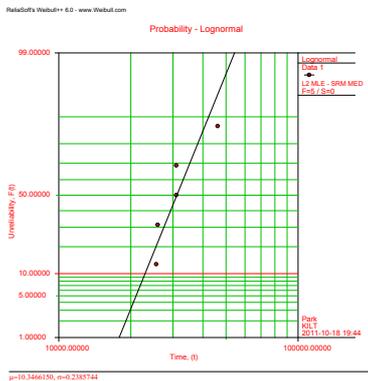
그림 4는 (a) 15[W] 컨버터내장형 LED램프, (b) 60[W] LED등기구의 열화데이터 분석을 통한 고장시간을 타점한 확률치를 보여주고 있다.

각 열화데이터에 대해 동일한 열화메커니즘을 갖는지 비교하기 위해, 대수정규분포의 척도모수에 대해 동일성 검정을 수행하였다. 그림 5는 모수검정을 통하여 각 LED조명기기들의 열화데이터의 수명분포 모수가 동일함을 알 수 있다.

그리고 표 4는 15[W] 컨버터내장형 LED램프와 60[W] LED등기구의 수명분포가 대수정규분포일 때의 모수값과 신뢰성 척도들을 보여주고 있다.



(a) 15(W) 컨버터내장형 LED램프의 확률지



(b) 60(W) LED등기구의 확률지

그림 4. 고장시간 확률지  
Fig. 4. Probability Paper of Lifetime Distributions

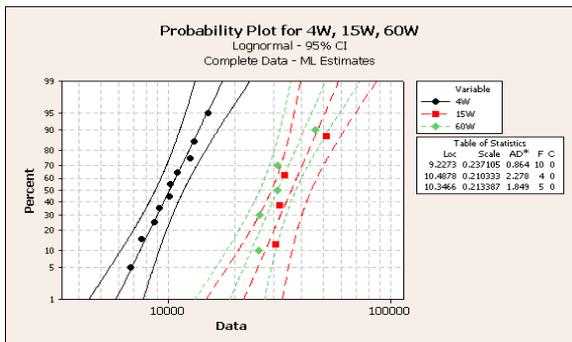


그림 5. 수명분포의 모수 동일성 검정  
Fig. 5. Test for Equal Scale Parameter of Lifetime Distribution

Test for Equal Scale Parameters

Chi-Square	DF	P
0.119339	2	0.942

표 4. 수명분포 모수추정  
Table 4. Estimates of Parameters

(a) 15(W) 컨버터내장형 LED램프의 모수추정

Distribution		대수정규
모수값	mean	10.488
	std	0.210
평균수명	상위	45,119.14
	Time	36,949.89
	하위	30,259.76

(b) 60(W) LED등기구의 모수추정

Distribution		대수정규
모수값	mean	10.347
	std	0.213
평균수명	상위	38,199.18
	Time	32,050.68
	하위	26,891.84

#### 4. 결 언

일반적으로 전자부품의 열화 메커니즘 요인으로 대표적인 것은 온도, 습도, 진동 등으로 열화가 일어나는 주요 요인으로는 고온, 온도 차, 온·습도, 그리고 진동 등의 복합적인 작용에 의해 열화가 일어나는 것이 대부분이다.

본 논문에서 분석한 15[W] 컨버터내장형 LED램프의 평균수명은 36,950 시간이고, 60[W] LED등기구의 수명은 32,050 시간으로 추정되었다. 5,000시간의 수명 차이는 사용·환경조건이 다르기 때문에 나타나는 결과이다.

따라서 신뢰성 시험 및 가속수명시험을 실시할 경우, 분석된 현 수준을 기준으로 수명시험 및 신뢰성보증시험설계를 실시할 수 있다.

추후 연구과제로는 열화데이터 분석을 통하여 필드상의 고장모드를 분석하고 가속(열화)시험 등의 고장 분석 내용과 고장모드와 동일한지 검증에 관한 연구가 필요하다.

## References

- [1] Meeker. W. Q and Escobar. L. A, "Statistical methods for Reliability Data", 1998.
- [2] Bain. L. J, "Statistical Analysis of Reliability and Life Testing Models", 1978.
- [3] Nelson. W, "Accelerated Testing Statistical models, Test Plans, and Data Analyses", 1990.
- [4] 日刊工業新聞社, "LED照明 信頼性 Handbook; L E D 照 明 推 進 協 議 會", 2008.
- [5] 김진선 · 조상묵 · 박창규, "LED Channel Module의 가속수명시험설계", 춘계학술대회, 한국조명전기설비학회, pp. 208-210, 2009.
- [6] 민경찬 · 윤양기 · 김명수, "항공유도로등화용 LED 광원의 가속수명시험", 신뢰성응용연구, Vol.11, No. 2, pp. 127-140, 2011.
- [7] 박창규, "LED 열화데이터의 신뢰성 분석", 신뢰성응용연구, Vol.9, pp. 59-69, 2009.
- [8] 박창규 · 조상묵 · 김진선, "조명용 LED모듈의 신뢰성평가", 춘계학술대회, 한국조명전기설비학회, pp. 21-23, 2009.
- [9] 박창규 · 조상묵 · 이민진 · 김진선 · 김정수 · 정희석 · 이영주, "Power LED 신뢰성 평가규격 비교 연구", 춘계학술대회, 한국조명전기설비학회, 2008.
- [10] 전자부품연구원, "LED 산업동향 및 주요 이슈", 2007.
- [11] 한국조명기술연구소, "LED 기술세미나", 2007.
- [12] 한국조명기술연구소, "LED 조명 신뢰성 기술 세미나", 2009.
- [13] Chang-Kyu Park, Sang-Muk Cho, Jin-Sheon Kim, "LED Reliability Analysis for Degradation data on LEDs", 2nd Lighting Symposium of China, Japan & Korea, Proceeding, pp. 117-120 2009.
- [14] RS C 0047, "고휘도 발광다이오드", 2004.
- [15] RS C 0153, "조명용 Power LED", 2009.

## ◇ 저자소개 ◇



### 양승용 (梁承龍)

1950년 9월 25일생. 1978년 2월 부산대학교 수학교육과 졸업. 1989년 8월 연세대학교 행정대학원 졸업(석사). 2005년 1월~2010년 2월 한국조명연구원 원장. 2009년 3월~현재 호서대학교 박사과정. 현재 한국조명연구원 고문. 본 학회 감사.



### 이진우 (李鎭雨)

1961년 2월 4일생. 1980년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업. 1984년 2월 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 2월 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1990년 3월~1994년 2월 (주)세명백트론 연구실장. 1994년 3월~현재 호서대학교 전기공학과 교수.