

LED 열화데이터의 신뢰성 분석

박창규*

한국조명기술연구소 신뢰성평가센터*
Email : pcgyu@kilt.re.kr

Reliability Analysis of Degradation Data for LEDs

Park, Chang-kyu

Reliability Assessments Center, Korea Institute of Lighting Technology

Abstract

LEDs have rapidly replaced old light devices such as incandescent or fluorescent lamps, and have been widely applied in general lighting, signals, automobile, signs and others. Since LEDs are for both indoor and outdoor use, temperature and humidity inevitably affect its reliability. We explain the result of the degradation life test on LEDs, and guide to reliability analysis procedure. Analysis on reliability measures are performed by Weibull++6 program, and a common shape parameter of Weibull distribution on the LED is suggested. Also, we make a description of reliability analysis procedures for the degradation data using collected test data from degradation tests. Reliability analysis procedures are consisted of estimating degradation models and failure time, verifying of distribution and parameters of the distribution, and estimating of reliability measures. Finally, this paper suggests reliability analysis method for light characteristics on LEDs.

Keyword : LED, Degradation data, Exponential model, Weibull distribution, Reliability analysis procedures

1. 서론

LED는 반영구적인 수명, 저소비전력, 안정성 그리고 환경친화적인 장점을 지니고 있으며, 이러한 장점을 가지는 LED의 응용분야로 모바일기기 분야에서는 백라이트, 키패드, 플래시 등으로 활용되고 있으며, 자동차 분야에서는 방향지시등, 내외장 램프, 브레이크 등에 적용하고 있다. 전자제품 및 가전 분야에서는 LCD TV, 노트북, 모니터 등의 백라이트, 대형 스크린 또는 간판에 사용되고 있으며, 조명분야에서는 건축, 환경, 간접 조명 등 특수 분야에 사용되고 있으나 점차 일반조명용으로 확대될 전망이다[5].

일반적으로 기계, 전기, 전자부품 등의 신뢰성 평가는 주로 고장시간의 관측에 의해 이루어지나, 소재 또는 특성이 여러 재료에 의해 복합적으로 나타나는 경우에는 그 특성상 소재의 고유 물성이나 성능이 특정 수준으로 저하되는 시점을 고장으로 판정하는 경우가 대부분이다. 이러한 특성을 지닌 소재의 경우, 정확한 고장시간보다는 시간의 경과에 따른 성능이나 물성의 변화를 관측하기가 훨씬 용이하며 내구수명 평가나 보증방법도 물성이나 성능의 관측치를 바탕으로 설계하는 것이 효과적이다.

성능의 열화모델과 열화데이터의 분석에 관해서는 Meeker(1998), Bain(1978), Nelson(1990) 등을 비롯한 많은 학자들에 의해 연구되어 왔다[5,8,9].

본 연구에서는 LED의 수명에 영향을 미치는 온도 및 습도를 주요 스트레스로 실시하는 열화시험을 통해 성능 변화를 측정하고, 성능 열화데이터로부터 수명을 예측할 수 있는 수리적 모델을 도출하여 LED의 내구연한을 추정할 수 있는 분석 절차 및 방법을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 신뢰성 분석 대상

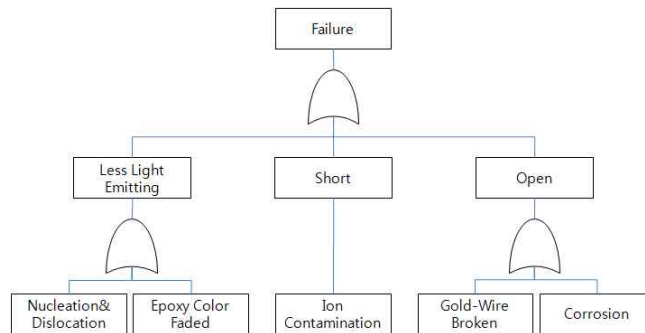
본 연구에서 신뢰성 분석 대상인 LED는 일반조명용으로 주로 적용하고 있는 SMD (surface mount devices) 타입인 1W LED 패키지이다. <그림 1>에서는 LED의 SMD 형태의 기본 구조와 대상품의 예를 보여주고 있다.



<그림 1> LED의 구조 및 LED 패키지와 LED 조명기기

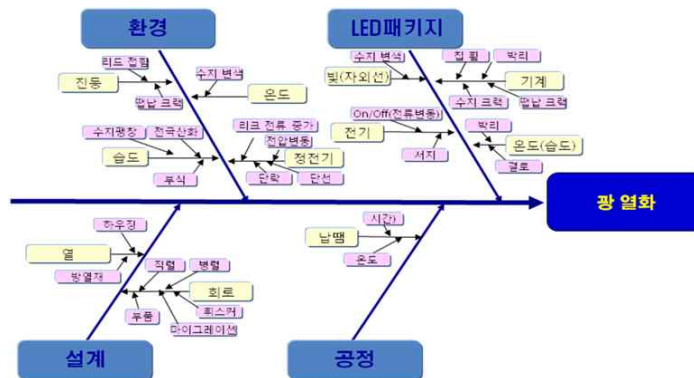
2.2 열화 메커니즘

LED의 열화는 주로 수지, 와이어 및 칩의 결함으로 나타나며 이러한 결함을 유발시키는 일반적인 요인과 그에 따라 발생하는 대표적인 고장모드는 <그림 2>와 같다[4].



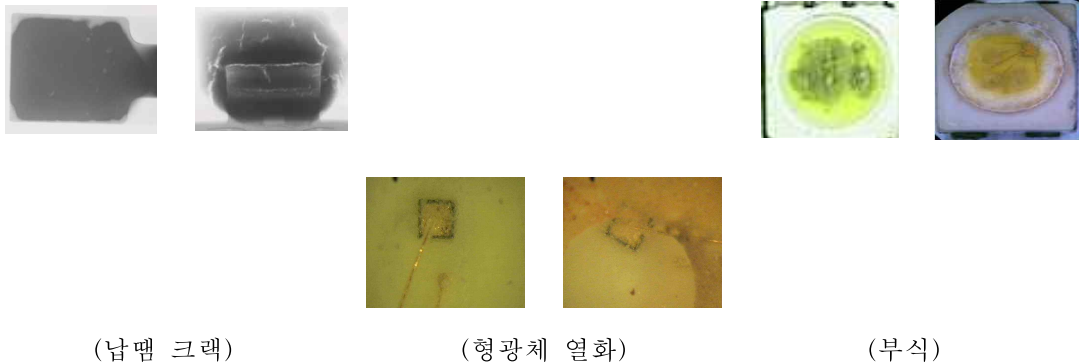
<그림 2> LED의 고장모드

<그림 3>은 조명기기 LED모듈에서 광이 열화 되는 요인 등을 특성요인도(Cause and Effect Diagram)를 이용하여 나타낸 것이다. 이러한 열화는 이들 요인의 복합적인 작용에 기인한 LED의 구성 요소인 수지, 형광체, 뿔납, 전극 금속 그리고 반도체 결정 등의 순서로 반응 촉진에 의해서 화학적, 물리적 변화나 기계적 고장에 의해 발생한다[1,2,3].



<그림 3> 조명기기 LED모듈의 열화요인 및 고장모드

<그림 4>는 열화 요인에 의해 발생한 고장분석 예를 보여주고 있다. 리드 플래임 및 전극 등의 납땀 크랙 및 부식 등에 의해 단락이나 단선이 발생하여 LED가 미점등되고, 수지의 변색, 형광체 및 칩의 열화에 의해 광 특성이 떨어지게 된다.



<그림 4> 조명기기 LED모듈의 고장분석 예

따라서 LED의 경우, 수명을 직접 관측하는 대신 주기적으로 또는 지속적으로 성능을 관측하여 고장시간을 추정하는 열화 시험방법을 적용하는 것이 좋다. 이 경우 고장시간은 LED의 성능이 사용기간이 지남에 따라 저하되는 경우 미리 정해진 성능값 이하가 되는 시간으로 추정한다. 그리고 성능감소를 촉진하기 위해 사용조건보다 높은 스트레스수준에서 수행하는 가속열화시험을 많이 적용하고 있다.

2.3 고장판정기준

LED의 고장은 주로 온도, 습도 및 입력 전류(또는 전압)에 의해 발생하기 때문에 LED 제조기업들은 온도, 습도, 개폐(on/off) 및 과전류(과전압)를 고려한 가속복합시험을 실시하고 있다. 하지만 LED의 칩 열화 시험에서는 입력전류에 의한 영향은 LED 고장에 많은 영향을 미치지 않는 것으로 연구되고 있다[12].

본 연구에서 적용하고 있는 고장판정기준은 국내·외 LED를 생산하고 있는 기업들과 「조명기기 Power LED」 신뢰성 평가 기준(RS C 0153)에서 제시하고 있는 고장 판정기준들을 참조하여 광속유지율이 초기값 대비 70% 이하인 경우를 고장으로 정의 하였다.

<표 1>은 일반적으로 많이 적용하고 있는 LED의 고장판정기준을 제시하고 있다.

<표 1> LED의 고장판정기준

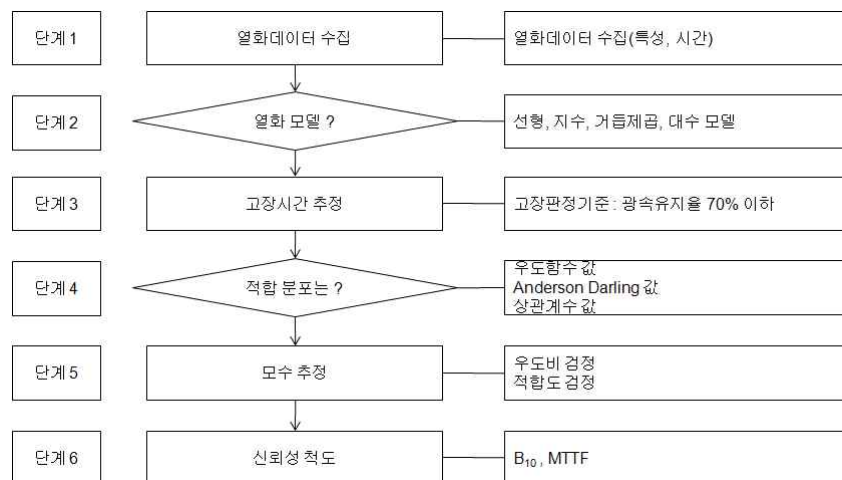
항목	고장 판정 기준
전압	초기값 대비 1.1배 이상
광속	광속 유지율(초기값 대비 70% 이하)

일반조명에서 형광등인 경우 고효율기자재규정에서는 광속 유지율 93%, 「액정화면 백라

이트용 냉음극 형광램프」 신뢰성 평가 기준에서는 70%, 그리고 「외부전극형광램프」 신뢰성 평가 기준에서는 80%, 미국 에너지국(Department of Energy; DOE)의 Energy Star에서는 다운 라이팅인 경우 75% 이하로 고장을 판정하도록 하고 있다.

2.4 열화데이터 분석 절차

LED 열화시험은 시료 수 160개로 온도 60℃, 습도 95%에서 1,000시간 동안 시험을 수행하였으며, 개폐나 과전류에 영향은 고려하지 않았다. 측정 시간간격은 최대한 성능의 특성을 많이 얻기 위해 시험 시작 후 초기 부분에 측정간격을 짧게 하여 측정하였다. 만약 시험 조건이 서로 다른 경우에는 시험 조건별로 상호비교를 하기 위해 가능하다면 측정시간을 동일하게 가져가는 것이 좋을 것이다. 열화데이터의 분석은 Weibull++ Ver.6 소프트웨어를 사용하였다.



<그림 5> 열화데이터 분석 절차

<그림 5>는 본 연구에서 제시하고 있는 열화데이터 분석 절차로 총 6단계의 절차를 보여주고 있다. 단계 1은 성능 데이터 수집, 단계 2는 열화모델 선정, 단계 3은 고장시간 추정, 단계 4는 수명분포 선정 그리고 선정된 분포의 적합도 검정, 단계 5는 분포의 모수 추정 및 적합도 검정이며, 마지막 최종 단계 6은 신뢰성 지표인 B10, MTTF 등의 추정으로 구성되어 있다.

2.4.1 단계 1

열화데이터 분석 절차 중 단계 1에서는 시험기간 동안 측정간격별로 측정한 성능 데이터를 수집한다. <표 2>에서는 고장판정기준으로 정한 광속유지율 70% 이하를 고장으로 판정

하기 위해 성능 데이터를 초기 광속 대비 변화율로 수치 변환한 예를 보여주고 있다. <표 2>에 제시되어 있는 성능 데이터의 예는 각 샘플별로 최대 광속값을 기준으로 하여 측정시간대별 광속값을 최대값 대비 상대적인 값으로 변환하여 정리하였다.

<표 2> 초기광속대비 변화율과 측정시간 예

측정시간	광속변화율		측정시간	광속변화율	
	#31	#2		#2	#31
0	-	1	240	0.979	0.985
20	-	0.987	360	0.962	0.993
40	-	0.980	500	0.943	0.993
60	-	0.978	750	0.928	0.990
147	1	0.979	1,000	0.901	0.987
190	0.992	0.982			

2.4.2 단계 2

단계 2에서는 성능 데이터의 적합한 열화모델을 선정하는 단계이다. 일반적으로 대표적인 열화 모델로는 선형, 지수, 거듭제곱, 대수 모델로 4가지의 모델이 많이 적용되고 있다. 전자부품의 경우, 성능의 열화 과정은 다음의 지수모델을 따르는 것으로 알려져 있다.

$$y = b * \exp(a * x) \quad (\text{식 1})$$

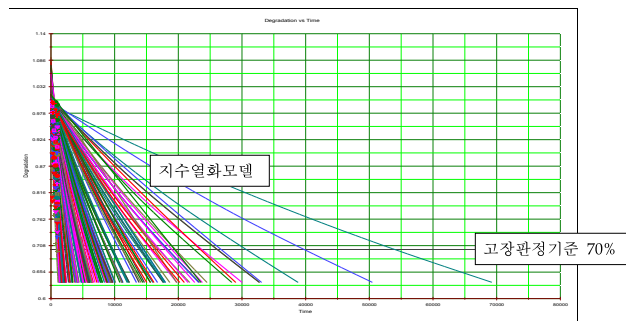
여기서 y =열화량, x =경과시간, a , b 는 모델의 모수와 상수이다.

<그림 4>는 지수 열화모델과 고장판정기준으로 광속유지율이 70% 이하인 경우 고장으로 판정한 그래프를 나타낸 것이다. 다른 열화 모델에 비해 지수 열화모델이 가장 적합한 것은 추정된 열화모델의 표준편차 가장 작기 때문이다.

이와 같이, 각 시료마다 얻어진 지수 모델의 모수값에 대한 중심값으로 모델의 모수를 추정하면 다음과 같은 지수 열화모델을 얻을 수 있다.

$$y = 1.01 * \exp[-7.30E-5 * x] \quad (\text{식 2})$$

그리고 추정된 지수 열화모델의 표준편차는 0.0667이다.



<그림 4> 지수 열화모델과 고장판정기준

2.4.3 단계 3

단계 3에서는 앞에서 언급한 바와 같이 열화 시험데이터를 사용하여 열화모델로 지수모델을 적용하고 광속유지율 70%를 기준으로 했을 경우의 고장시간을 추정하였는데, 그 추정된 고장시간의 예를 다음 <표 3>에 주어져 있다.

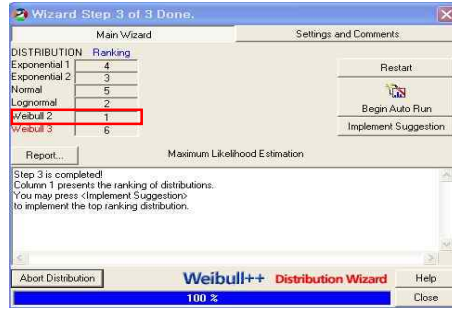
<표 3> 시료 번호와 추정된 고장시간 예

시료 번호	고장시간	시료 번호	고장시간
134	854.76	151	1212.89
146	1045.22	150	1221.42
154	1056.08	145	1244.79
129	1085.72	131	1251.05
158	1090.19	121	1252.38
148	1198.94	141	1263.71

2.4.4 단계 4

단계 3에서 추정된 고장시간의 수명분포 선정은 단계 4에서 실시한다. 적합한 수명분포란 고장시간의 수명분포들 중에서 고장시간 데이터들의 확률을 가장 잘 표현하고 있는 분포를 말한다. 이 때 추정방법으로는 최우추정방법을 주로 적용한다. 만약 고장시간의 데이터가 적은 경우는 최소제곱추정방법을 적용하는 것이 좋다고 알려져 있지만, 고장시간 데이터가 어느 정도 많을 경우 최우추정방법이 최소제곱추정방법에 비해 더 좋은 추정량을 얻는다. 그리고 최우추정방법에 따른 수명분포의 적합성에 대한 판정은 본 연구에서는 우도함수의 값으로 판단하였다. 이 때 우도함수의 값이 제일 큰 값을 갖는 분포를 가장 적합한 수명분포를 선정하였다.

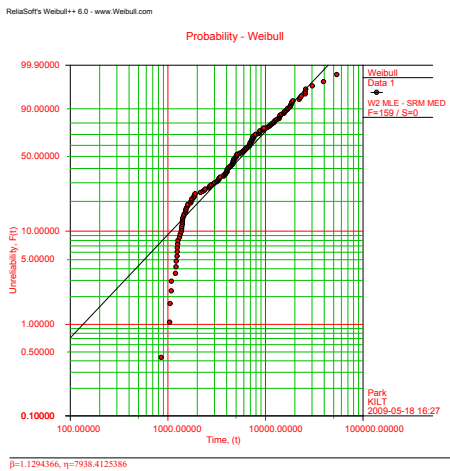
<그림 5>는 신뢰성 분석 소프트웨어에서 제공하고 있는 분포 선정 순위 결과를 보여주고 있다. 이 경우 가장 적합한 수명 분포는 Weibull 분포이다.



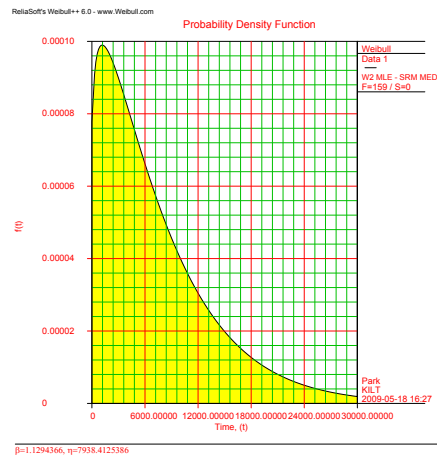
<그림 5> 분포 선정 순위

2.4.5 단계 5

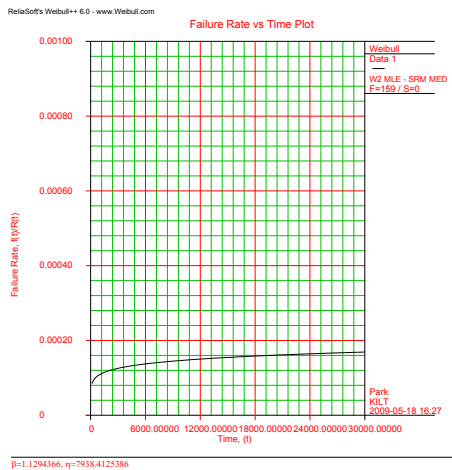
단계 5에서는 고장시간의 수명 분포로 선정한 Weibull 분포의 모수를 추정한다. Weibull 분포의 모수 중 가장 중요한 모수는 형상모수이다. 형상모수 값의 크기에 따라 수명기간에서 고장률의 특성을 평가할 수 있다. 형상모수 값이 1보다 작은 경우는 사용 초기에 고장이 발생하는 기간으로 고장률은 시간이 지남에 따라 점점 작아지며, 형상모수 값이 1인 경우는 사용수명기간에서 고장률은 항상 일정하다. 그리고 형상모수 값이 1보다 큰 경우는 마모 고장기간으로 고장률이 점점 증가하는 경향을 보여준다. 본 연구에서는 형상모수 값이 1.13으로 고장률은 사용수명기간으로 어떤 시점을 지남에 따라 고장률이 일정함을 알 수 있다. <그림 6>은 Weibull 분포의 확률지 그래프, 확률밀도 함수, 고장률 함수 및 신뢰도 함수를 보여 주고 있다.



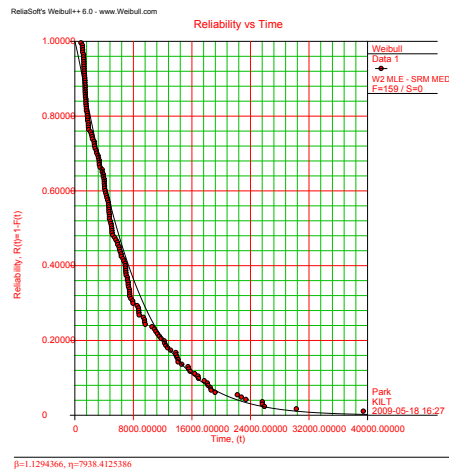
(1) 확률지 그래프



(2) 고장밀도 함수



(3) 고장률 함수



(4) 신뢰도 함수

<그림 6> Weibull 분포

또한 단계 5에서 수행하여야 하는 절차 중 중요한 부분은 모수에 대한 검정이다. Weibull 분포에서 형상 및 척도모수에 대한 통계적 검정 목적은 서로 다른 시험 조건에서 얻어진 데이터의 열화 메커니즘이 동일한지 아니면 다른 메커니즘을 갖는지에 대한 평가 기준이 되기 때문이다.

2.4.6 단계 6

마지막으로 최종 단계인 6에서는 단계 5까지 실시한 LED의 수명분포와 모수를 이용하여 신뢰성 지표 중 설계 목표의 척도로 많이 사용하고 있는 B10 또는 평균수명(MTTF)을 추정한다.

열화데이터 분석 결과 B10은 1,082.5시간, MTTF는 7,595.8시간으로 추정 되었다. 이 정보는 LED 개발 단계에서 신뢰성 또는 수명 목표를 정하는데 사용할 수 있다.

다음 <표 4>는 신뢰수준 0.95에서의 신뢰성 척도와 수명분포의 모수값을 정리한 것이다.

<표 4> 모수 및 신뢰성 척도

모수 및 신뢰성 지표	Weibull 분포	
	모수	형상 모수
척도 모수		7,938.4
평균수명	신뢰 상한	8,597.7
	MTTF	7,595.8
	신뢰 하한	6,710.7
B ₁₀	신뢰 상한	1,402.6
	Time	1,082.5
	신뢰 하한	835.4

3. 결 론

LED는 사용·환경조건 및 일반조명이나 자동차 전조등과 같이 다양한 응용분야에 사용할 수 있기 때문에 신뢰성 시험을 실시할 경우 시험 조건이나 방법 등을 달리 적용하여야 한다. 이러한 이유는 사용조건 및 장소에 따라 열화 메커니즘이 달라질 수 있기 때문에 사용현장에서 주어지는 고장의 원인분석과 같이 타당한 고장원인 추정과 시험조건 및 방법을 결정하여야 한다.

기업들이 신뢰성 분석 절차를 적용할 경우, 신뢰성 분석 절차는 기업 실정에 맞도록 필요에 따라 수정하여 사용할 수 있다. 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. 이 때 열화를 빠르게 발생시키기 위한 시험방법으로 가속열화시험을 많이 적용하고 있다. 이러한 가속열화 신뢰성 분석 절차는 본 연구에서 제시하고 있는 신뢰성 분석 절차 및 방법에서 각 스트레스 수준별 수명분포 선정과 분포의 모수검정을 통한 가속성 검정을 추가하여 적용할 수 있다.

따라서 본 연구를 통해 신뢰성 평가에 필요한 신뢰성 정보 DB 구축과 객관적인 비교 평가기준을 마련할 수 있으며, 신광원 개발 시 사전정보를 마련하는 기틀을 제공하는데 있다.

참고문헌

- [1] L E D照明推進協議會(2008), “LED照明 信賴性 Handbook” , 日刊工業新聞社.
- [2] L E D照明推進協議會(2006), “LED照明 Handbook” .
- [3] 박창규, 김진선, 김정수, 정희석, 이영주(2008), “LED 열화 데이터의 신뢰성 분석” , 추계학술대회, 한국신뢰성학회.
- [4] 이정훈, 최재원, 장미순, 장석원, 신승중, 광계달(2007), "전광판용 LED의 RGB 색상별 수명예측 비교", 부문춘계학술대회 신뢰성 부문, 대한기계학회.
- [5] Bain, L.J.(1978), “Statistical Analysis of Reliability and Life-Testing Models : Theory and Methods, Statistics.” , Textbooks and Monographs, Vol.24, Marcel Dekker.
- [6] Park, C.K., et. al.(2008), "The Study based on Comparison with Reliability Assessment Standards for Power LEDs.", KIIEE Annual Spring Conference, pp. 216~219.
- [7] JIS C 8152(2007), "Measuring methods of white light emitting diode for general lighting".
- [8] Meeker, W.Q.(1998), and Escobar, L.A., “Statistical Method for Reliability Data.” , Wiley.
- [9] Nelson, W.(1990), “Accelerated Testing : Statistical Models, Test Plans, and Data Analyses.” , John Wiley & Sons.
- [10] RS C 0047(2004), "High Luminance Light Emitting Diodes.", Korea Agency for Technology and Standards.
- [11] RS C 0153(2009), "Power LED for Lighting Fixtures.", Korea Agency for Technology and Standards.
- [12] Shinya Ishzaki, Hideyoshi Kimura, Masaru Sugimoto(2007), "Lifetime Estimation of High Power White LEDs.", J. Light & Vis. Env. Vol.31, No.1.