

조명용 4W 컨버터 외장형 LED램프의 가속열화시험평가

박창규* · 오근태**

한국조명연구원* · 수원대학교**

The Study based on Accelerated Degradation Test of General Lighting 4W LED Lamp using External Converter

Chang-kyu Park* · Geun-tae Oh**

Korea Institute of Lighting Technology* · University of Suwon**

Abstract

LEDs have been used extensively in the mobile device, automobile, and general lighting because they are semi-permanent, long life, less power consumption, reliable and environmentally friendly. In this paper, the accelerated degradation test(ADT) for a general lighting 4W LED Lamp using external converter is considered. The conditions of ADT are high temperature and high humidity. We show that its life time is log-normally distributed with same parameters under both a normal condition and an accelerated condition, and also derive an accelerated factor.

Keywords : LED, External Converter, Accelerated Degradation Testing, Life Time Distribution

1. 서론

반영구적인 수명, 저소비전력, 안정성, 그리고 환경 친화적인 장점을 지니고 있는 LED는 모바일기기, 자동차, 전자제품 및 간판광고와 일반조명분야에서 광범위하게 사용되고 있다[6]. 이러한 LED의 패키지나 단품을 적용한 제품들이 다양하게 개발되어 판매되고 있지만, 기존 조명제품에 비해 성능이나 신뢰성이 어느 정도인지 비교 분석된 연구내용이 많지 않은 실정이다. 특히 LED 조명모듈제품의 신뢰성평가기준은 제정되어 있지 않으며, 일반조명에서의 신뢰성평가기준과 LED 패키지 신뢰성평가기준을 준용하여 적용되고 있다. LED 패키지 및 단품에 대한 신뢰성평가기준을 살펴보면, 표시·신호용에 주로 적용되고 있는 LED에 대해서 2004년 「고휘도 발광다이오드」(RS C 0047)[9]와 2009년 「조명용 Power LED」(RS C 0153)[10] 신뢰성평가기준이 제정되었다.

2009년 조명용 LED모듈의 안전, 성능기준으로 KS C 7651 「컨버터 내장형 LED 램프의 안전 및 성능 요구사항」, KS C 7652 「컨버터 외장형 LED 램프의 안전 및 성능 요구사항」, KS C 7653 「매입형 및 고정형 LED 등기구의 안전 및 성능 요구사항」, KS C 7655 「LED 모듈 전원 공급용 컨버터의 안전 및 성능 요구사항」, KS C 7656 「이동형 LED 등기구의 안전 및 성능 요구사항」, KS C 7657 「LED 센서 등기구의 안전 및 성능 요구사항」, KS C 7658 「LED 가로등 및 보안등기구의 안전 및 성능 요구사항」, KS C 7659 「문자 간판용 LED 모듈의 안전 및 성능 요구사항」의 KS규격이 제정 및 개정되었다.

하지만 이 기준들은 성능 만족여부 등에 대한 기준이며, 조명용 LED모듈의 열화나 고장 등 내구성 시험에 적용할 수 있는 기준이 아니다. 따라서 조명용 LED모듈의 특성이나 고장메커니즘에 적합하고, 특히 필드에서 일어나는 고장모드를 재현할 수 있는 시험방법이 개발될 필요가 있다.

조명용 LED 모듈 중 옥외용과 채널모듈에 대해 온·습도사이클 시험과 과전압 및 On/Off 등 복합시험방법을 적용한 가속열화시험에 대한 연구결과가 있지만, 본 논문에서는 활용도가 높은 4W 컨버터 외장형 LED램프에 대해 고온·고습시험방법을 적용한 가속수명시험을 실시하였다. 정상조건과 가속조건에서 얻어진 열화데이터의 분석을 통하여 조명용 4W 컨버터 외장형 LED램프의 수명분포와 가속계수(AF; Accelerated Factor)를 추정하였다.

2. 조명용 컨버터 외장형 LED램프의 구조

2.1 조명용 컨버터 외장형 LED램프 예시

본 연구의 가속열화시험 설계에 적용할 수 있는 조명용 컨버터 외장형 LED램프의 종류들은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 조명용 컨버터 외장형 LED램프 예시

2.2 조명용 컨버터 외장형 LED램프 구조

LED용 컨버터가 램프 외부에 위치하는 조명용 컨버터 외장형 LED램프는 주로 정전압방식의 구동장치를 사용하고 있다. <그림 2>에서는 조명용 컨버터 외장형 LED램프의 구조를 보여주고 있다. LED 패키지 3개가 직렬로 연결되어 있고, 이를 두 개의 병렬 구조로 된 LED 모듈(a)과 LED 모듈의 열을 히트싱크로 전도시켜 주는 열패드 및 방열판(b)이 있으며, 전도된 열을 외부로 방사시키는 히트싱크(c), 그리고 LED 모듈에 전원을 공급하는 구동장치(d)로 구성되어 있다.



(a) LED 모듈



(b) 열패드/방열판



(c) 히트싱크



(d) 전원구동장치

<그림 2> 조명용 컨버터 외장형 LED램프 구조

3. 조명용 컨버터 외장형 LED램프 신뢰성 시험

3.1 정상 수명시험 설계

1) 고장 정의

조명용 컨버터 외장형 LED램프에서의 고장모드는 주로 LED 패키지에서는 칩, 와이어 및 수지의 정시적인 결함으로 나타나며[1,2,11,12], 컨버터에서는 트랜스의 코일단선과 전해 커패시터의 온·습도에 의한 파괴와 스위칭 소자(FET)의 단선과 ESD 및 서지에 의한 절연파괴가 주요 고장모드(결함)이다. 이러한 고장모드는 주로 온도, 습도 및 입력 전압(또는 전류)에 의해 발생하게 된다. 국내·외 LED모듈의 규격들에서 제시하는 고장 판정기준들은 <표 1>에 주어져 있다[5].

<표 1> 조명용 LED모듈의 고장 판정기준

항목	고장 판정 기준
광속	광속 유지율 초기값 대비 70% 이하

2) 스트레스 요인

조명용 컨버터 외장형 LED램프의 2단계 QFD(Quality Function Deployment)방법을 적용하여 가속스트레스를 <표 2>와 같이 선정하였다.

<표 2>에 주어져 있는 1단계에서는 컨버터 외장형 LED램프의 고장모드에 영향을 주는 스트레스인 온도, 습도 요인을 선정하였고, 2단계에서는 컨버터 외장형 LED램프의 광 출력 열화에 영향을 주는 시험항목과의 연관성을 분석하여 열화시험 목적에 적합한 시험항목을 선정하였다. 이러한 시험항목을 중심으로 예비시험을 실시하였다. 그 결과 <그림 3>과 같은 열화특성이 나타났으며, 예비시험 항목 중 고온고습 시험이 가장 지수적 형태로 감소하는 열화특성을 보이고 있다. 고온시험에서 초기의 감소는 저항, 브리지 다이오드, 그리고 전해 커패시터의 습도에 의한 영향으로 급격히 감소하는 경향을 보이고 있으며, 온습도사이클 시험은 1,000시간 이후 열화 특성의 변화가 일정한 경향을 나타내고 있다. 따라서, 컨버터 외장형 LED램프의 광출력 열화에 상대적으로 크게 영향을 주는 온·습도 시험을 가속열화 시험 방법으로 결정하였다.

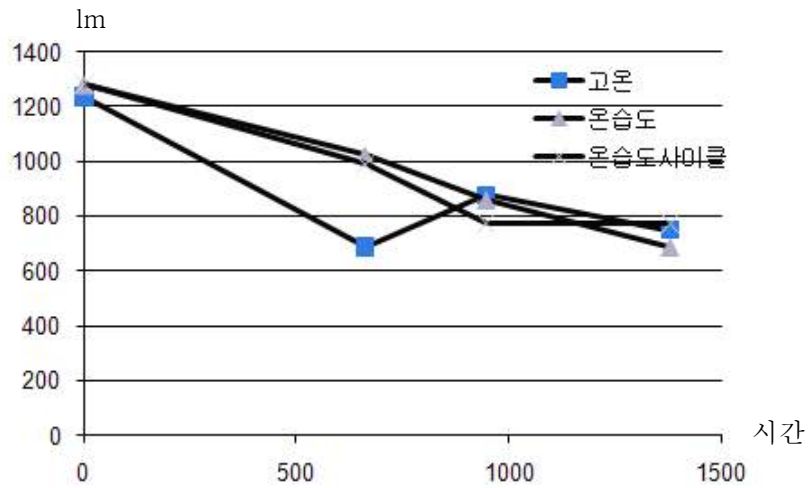
<표 2> 스트레스 요인

- 1단계 : 고장원인과 고장모드

스트레스 \ 고장모드	패키지열화	광출력열화	색온도변화
온도	◎	◎	◎
습도	◎	○	◎
전원입력조건	○	◎	◎

- 2단계 : 고장모드와 시험항목

고장모드 \ 시험방법	고온동작시험	온습도사이클시험	열충격시험	고온고습시험
패키지열화	◎	◎	○	◎
광출력열화	◎	◎	○	◎
색온도변화	◎	◎	○	◎



<그림 3> 조명용 컨버터 외장형 LED램프 예비시험 결과

3.2 열화시험 설계

조명용 4W 용량의 컨버터 외장형 LED램프를 대상으로 적용한 정상조건에서의 수명시험과 가속조건에서의 열화시험 설계는 다음 <표 3>과 같다.

<표 3> 정상조건 및 가속조건에서의 열화시험 설계

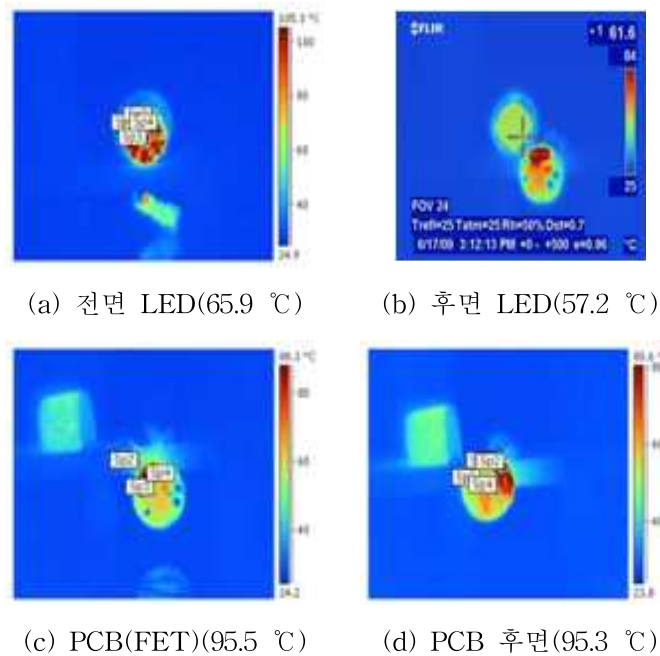
시험조건 \ 시험항목	정상조건	가속조건
		고온 · 고습시험
온도	25±5 °C	60 °C
습도	≤ 65 %	90 %
시험시간	2 000	1 000
시료수	10	5

3.3 열화시험 결과분석

정상조건 및 가속조건에서의 열화시험 결과와 분석은 다음과 같다.

1) 열 특성

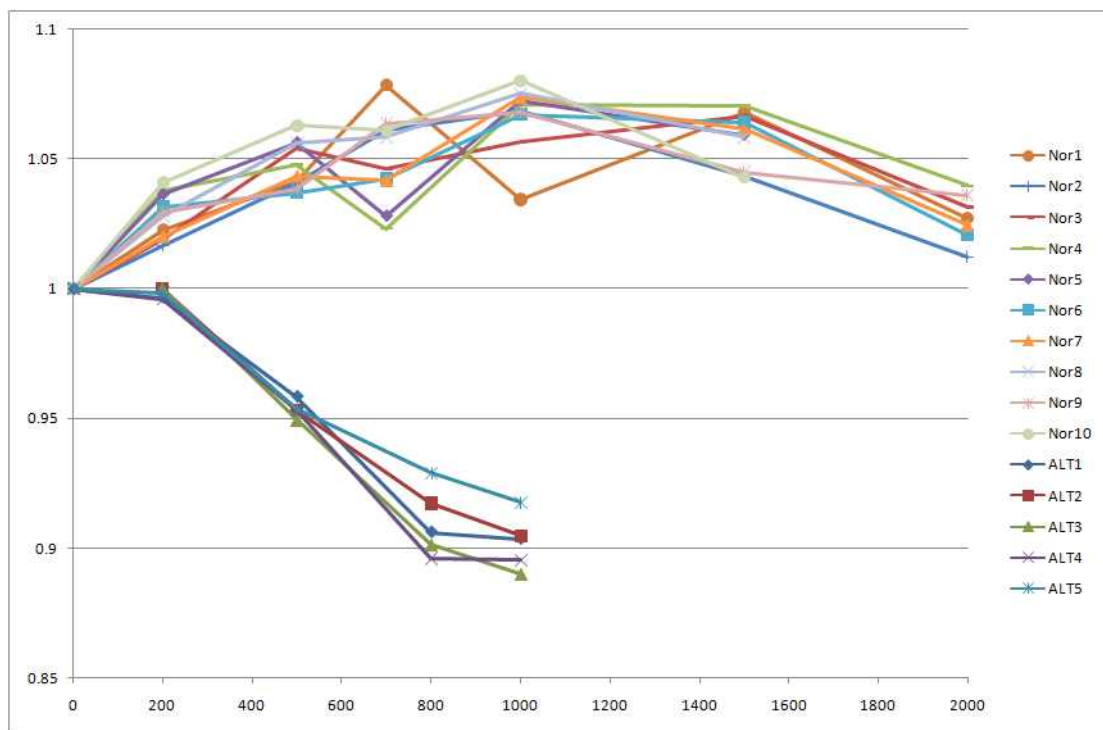
다음 <그림 4>에 정상조건에서의 열 특성을 측정된 결과가 있다. 이때 램프의 케이스 온도는 방열판 부위에서 43.7 °C이고, 컨버터가 있는 부위에서의 온도는 83.7°C로 측정되었다.



<그림 4> 조명용 컨버터 외장형 LED램프 부품별 동작온도

2) 열화데이터

열화데이터에서 예측되는 고장시간은 광 특성이 초기값 대비 70%가 되는 시점이다. 전자부품의 열화특성은 대개 지수적으로 변화한다고 알려져 있으며, 특히 미국 고효율 인증 기준인 에너지스타에서 LED 램프 수명에 대한 기준을 초기 광 특성값과 6,000시간 후의 광 특성값과 비교하여 정하고 있다. 이때 LED 램프의 광 특성 열화모델은 지수함수를 적용하고 있다.[2,3,11] <그림 5>는 초기 광 측정값을 기준으로 하였을 경우 정상조건과 가속조건에서의 광 출력 변화를 보여준다. 또, <그림 6>은 지수열화모델과 고장판정기준을 적용하여 고장시간을 추정하는 방법을 보여주고 있다.



<그림 5> 정상조건과 가속조건에서의 열화데이터

3) 수명분포

열화데이터를 이용하여 열화모델로 지수모델을 적용하고 광속유지율 70%를 기준으로 했을 경우 추정된 고장시간은 다음 <표 4>와 같다.

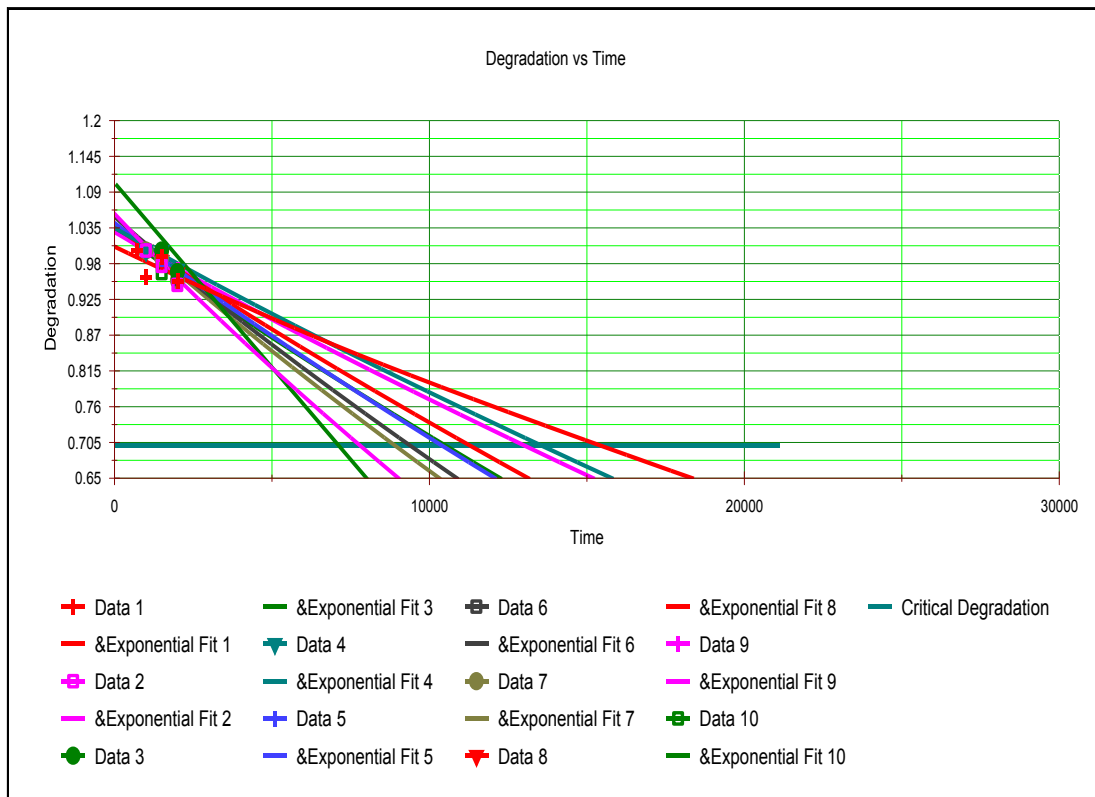
<표 4> 고장시간

(a) 정상조건에서의 고장시간

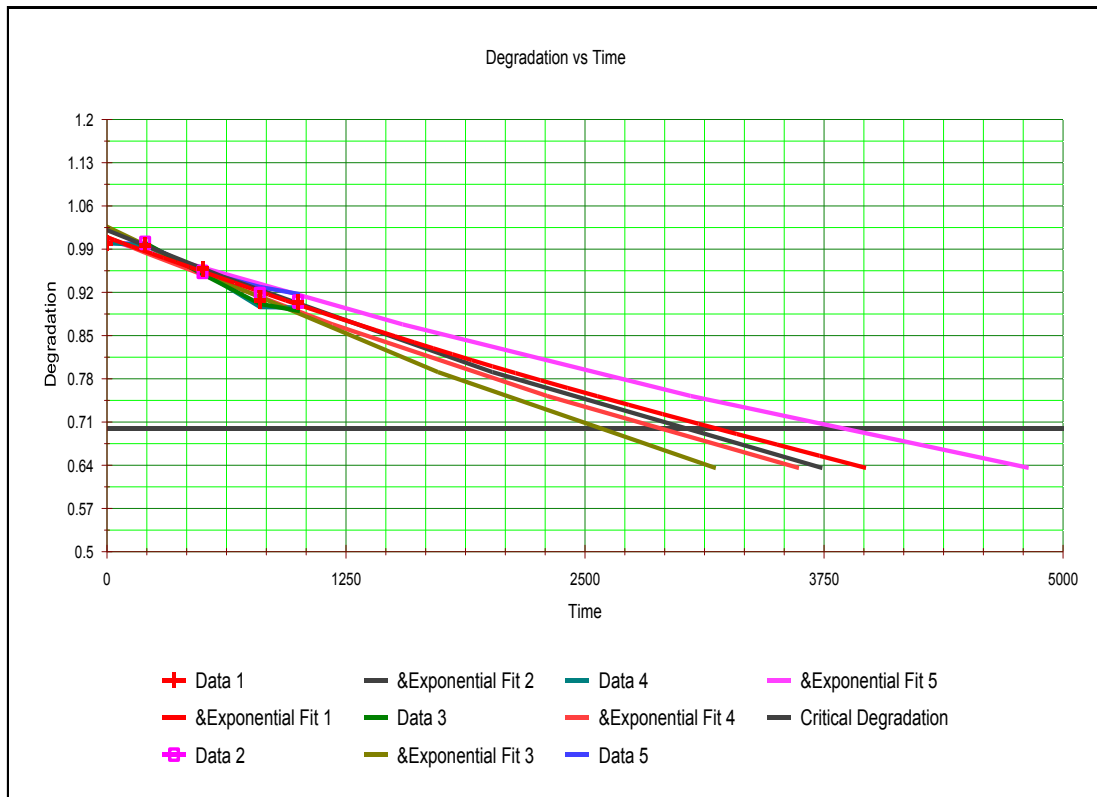
시료 번호	고장시간
1	3 142.18
2	2 979.85
3	2 542.27
4	2 864.61
5	3 809.53
7	8,676.11
8	10,986.10
9	12,663.75
10	10,227.88

(b) 가속조건에서의 고장시간

시료 번호	고장시간
1	3 142.18
2	2 979.85
3	2 542.27
4	2 864.61
5	3 809.53
-	-
-	-
-	-
-	-



(a) 정상조건



(b) 가속조건

<그림 6> 열화모델

<표 5>에 주어진 것처럼 고장시간의 수명분포는 대수정규분포가 가장 적합한 것으로 검정되었다. 적합한 수명분포는 가장 작은 AVGOF 값을 갖는 분포와 우도함수 중 가장 큰 값을 갖는 분포를 기준으로 결정하였다. 그리고, <표 6>은 정상조건과 가속조건에서의 수명분포가 대수정규분포일 때의 모수값과 신뢰성 척도들을 보여주고 있다.

<표 5> 분포 적합성 검정

(a) 정상조건에서의 적합성

분포	AVGOF (적합도)	우도함수	순위
지수	95.244	-102.553	4
정규	1.03E-04	-92.353	2
대수정규	5.82E-08	-92.097	1
와이블	7.09E-03	-92.475	3

(b) 가속조건에서의 적합성

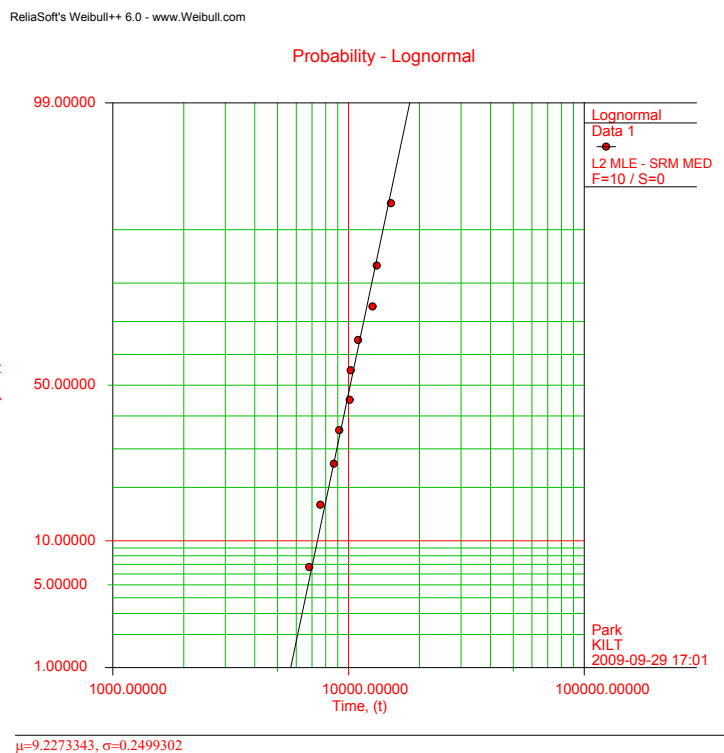
분포	AVGOF (적합도)	우도함수	순위
지수	77.398	-45.143	4
정규	6.59E-04	-37.351	2
대수정규	2.69E-07	-37.148	1
와이블	6.15E-02	-37.658	3

<표 6> 모수값과 신뢰성 척도

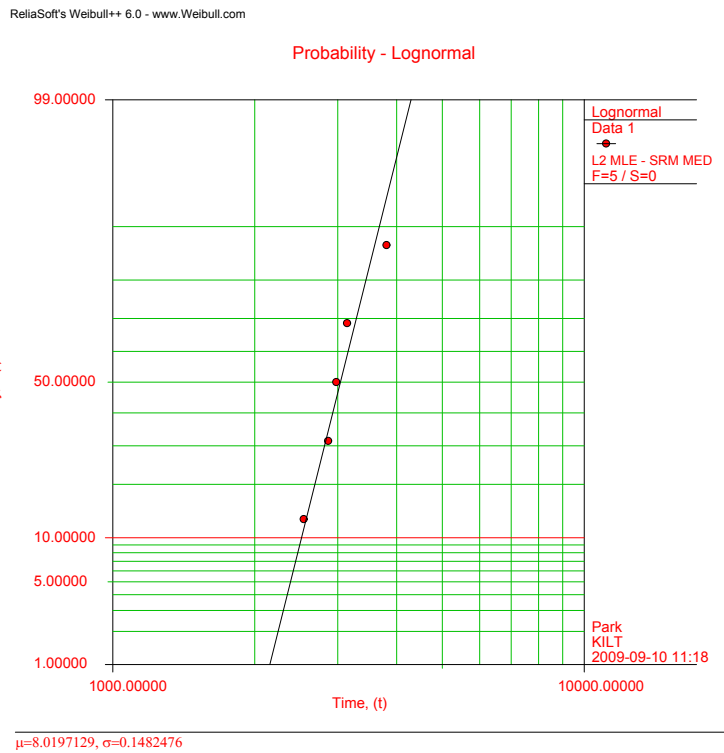
(a) 정상조건에서의 고장시간			(b) 가속조건에서의 고장시간		
Distribution		대수정규	Distribution		대수정규
모수값	mean	9.23	모수값	mean	8.019
	std	0.25		std	0.148
B ₁₀	상위	8,860.16	B ₁₀	상위	2,952.73
	Time	7,383.74		Time	2,514.24
	하위	6,153.35		하위	2,140.87
평균수명 (MTTF)	상위	11,950.97	평균수명 (MTTF)	상위	3,428.07
	Time	10,494.08		Time	3,073.90
	하위	9,214.80		하위	2,756.32

4) 가속성 검증

<그림 7>은 정상조건과 가속조건에서의 시험 데이터 분석을 통한 고장시간을 타점한 확률지를 보여주고 있다.



(a) 정상시험데이터의 확률지

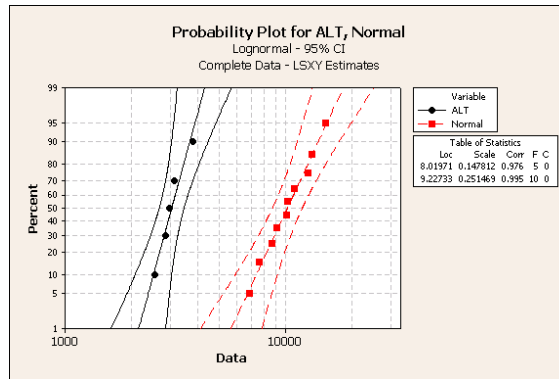


(b) 가속시험데이터의 확률지

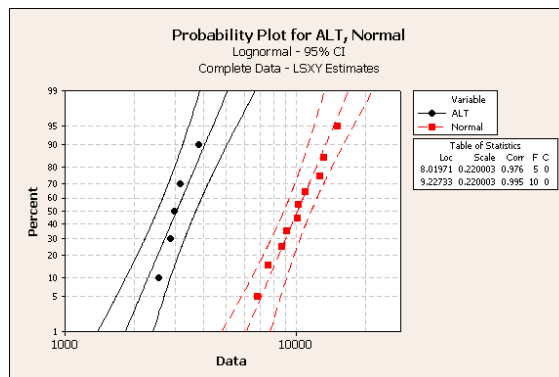
<그림 7> 정상조건과 가속조건에서의 고장시간 확률지

대상품의 정상조건과 가속조건에서 얻어진 열화데이터에 대해 동일한 열화메커니즘을 갖는지 비교하기 위해, 대수정규분포의 척도모수에 대해 동일성 검정을 수행하였다. <그림 8>은 정상조건과 가속조건에서의 모수검정을 통하여 두 조건에서 얻어진 열화데이터의 수명분포 모수가 동일함을 알 수 있다. <그림 9>는 정상조건과 가속조건에서 동일한 모수를 갖는 대수정규분포임을 보여준다. 또한 정상조건과 가속조건에서 추정된 수명으로 두 조건의 가속계수를 얻을 수 있다. 가속계수는 정상조건에서의 평균수명/가속조건에서의 평균수명의 비율로 $10,494/3,073 = 3.41$ 이다.

Test for Equal Scale Parameters		
Chi-Square	DF	P
1.40194	1	0.236



<그림 8> 정상조건과 가속조건에서의 수명분포 모수 동일성 검정



<그림 9> 정상조건과 가속조건에서 동일한 모수를 갖는 대수정규분포

4. 결 론

본 논문에서는 조명용 컨버터 외장형 LED램프의 광 특성 열화에 영향을 주는 가속요인이 온도와 습도임을 확인하였다. 즉, 온·습도에 의해 광 특성 열화가 발생하며, 열화메커니즘에 의한 고장시간은 대수정규분포를 따르고, 평균수명에 따른 정상조건과 가속조건과의 가속계수가 3.41임을 알 수 있었다. 그러나, 조명용 컨버터 외장형 LED램프는 응용분야에 따라 사용·환경조건이 다르기 때문에 시험항목, 조건 및 방법 등이 다르게 적용되어야 한다. 따라서, 신뢰성 시험 및 가속열화시험을 실행할 경우, 개발단계에서부터 평가되는 조명용 컨버터 외장형 LED램프의 전기적 특성인 전압·전류와의 상관관계, 열특성인 온도변화에 따른 전압과의 상관관계, 그리고, 열저항값에 따른 접합온도로 시험 온도의 수준을 결정하는 것이

필요하다.

일반적으로 전자부품의 열화 메커니즘 요인으로 대표적인 것은 온도, 습도, 진동 등이기 때문에 고온, 온도 차, 온·습도, 그리고 진동 등의 복합적인 작용에 의해 열화가 일어나는 것이 대부분이다. 이때 열화를 빠르게 발생시키기 위한 시험방법으로 가속열화시험을 많이 적용하고 있다.

추후 연구과제로는 열화데이터 분석을 통하여 필드상의 고장모드와 동일한지 그리고 가속수명시험을 통해 주어지는 고장품의 고장분석을 통해 필드의 고장모드와 동일한지 검증에 관한 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] 진선, 조상묵, 박창규(2009), LED Channel Module의 가속수명시험설계, 춘계학술대회, 한국조명전기설비학회.
- [2] 민경찬, 윤양기, 김명수(2011), 항공유도로등화용 LED 광원의 가속수명시험, 신뢰성응용연구, 11권, 1호, 127-140.
- [3] 박창규(2009), LED 열화데이터의 신뢰성 분석, 신뢰성응용연구, 9권, 1호, 59-69.
- [4] 박창규, 조상묵, 김진선(2009), 조명용 LED모듈의 신뢰성평가, 춘계학술대회, 한국조명전기설비학회.
- [5] 박창규, 조상묵, 이민진, 김진선, 김정수, 정희석, 이영주(2008), Power LED 신뢰성 평가 규격 비교 연구, 춘계학술대회, 한국조명전기설비학회.
- [6] 전자부품연구원(2007), LED 산업동향 및 주요 이슈.
- [7] 한국조명기술연구소(2007), LED 기술세미나.
- [8] 한국조명기술연구소(2009), LED 조명 신뢰성기술세미나.
- [9] RS C 0047(2004), 고휘도 발광다이오드.
- [10] RS C 0153(2009), 조명용 Power LED.
- [11] Chang-Kyu Park, Sang-Muk Cho, Jin-Sheon Kim(2009), LED Reliability Analysis for Degradation data on LEDs, *2nd Lighting Symposium of China, Japan & Korea, Proceeding*, 117-120.
- [12] L E D 조명추진協議會(2008), LED 조명 信賴性 Handbook, 日刊工業新聞社.