

# LED(Light Emitting Diode)의 부하경감 설계

김병남<sup>†</sup>·김재중<sup>\*</sup>·강원창<sup>\*\*</sup>·손영갑<sup>\*\*\*</sup>·장석원<sup>\*\*\*</sup>·곽계달<sup>\*\*\*\*</sup>

## Derating design approach of LED for reliability improvement

Byung-Nam Kim, Jae-Jung Kim, Weon-Chang Kang,  
Young-Kap Son, Seog-Weon Chang, and Kae-Dal Kwack

**Key Words:** LED (발광다이오드), Corrosion(부식), Derating Design(부하경감설계),  
ALT(가속수명시험), B<sub>10</sub>(B10 수명), Sensitivity(민감도)

### Abstract

This paper shows a derating design approach for LED reliability improvement. The LED is widely used in display devices or circuits. The main failure of interest is defined as 100% reduction of the light output intensity of LED resulting from corrosion due to stresses, i.e. temperature and humidity. The lifetime is varied according to the stress levels under where the LED operates so that correlation of the lifetime to these stress levels over time is modeled through accelerated life testings. A derating design approach to accomplish a required reliability level of LED is proposed to determine adequate the stress levels. In the approach, B<sub>10</sub> life, Failure rate, Sensitivity Analysis of LED are used as a reliability metric.

### 기호설명

℃ : Temperature(섭씨온도)  
%RH : Relative Humidity(상대습도)  
A : Current(전류)  
V : Voltage(전압)  
 $\eta$  : Theta(와이블 척도모수)  
 $\beta$  : Beta(와이블 형상모수)  
 $h$  ; Failure rate(고장률)  
Fe : Iron(철)  
Cl : Chlorine(염소)

### 1. 서론

신뢰성은 여러 분야 학문의 결합을 통한 기술력 향상을 통하여 확보되는 기술로서 신뢰성 설계기술, 신뢰성 제조기술 및 신뢰성 평가기술을 요구한다. 특히 신뢰성 설계기술은 신뢰성 평가, 신뢰성 성장시험, 보전성 등을 실행하는데 있어 신뢰성 기준을 제시해 준다.<sup>(1)</sup> 부품의 수명을 연장시킨다는 것은 제품의 수명과 연관되고 이는 제품을 사용하는 고객의 만족을 충족시킬 뿐만 아니라 고장으로 인한 추가 비용을 고려해야 하는 기업측에서도 만족할 만한 사항일 것이다. 신뢰성 설계단계에서 부품의 수명을 연장시키기 위해서는 부품에 가해지는 스트레스 요소를 필드 고장분석과 부품의 신뢰성시험을 통하여 알 수가 있으며 이를 통하여 부품에 가해지는 스트레스를 고려한 신뢰성 설계가 가능해 질 수 있다.

부하경감설계(Derating Design)는 제품의 신뢰성을 향상시키기 위하여 부품의 스트레스 수준을

† 김병남, 한양대학교 대학원 전자컴퓨터통신공학부

E-mail : bnkim1014@naver.com

TEL : (02)2282-1686 FAX : (02)2220-0218

\* 대우일렉트로닉스 품질신뢰성연구소

\*\* 한양대학교 대학원 전자컴퓨터통신공학부

\*\*\* 한양대학교 신뢰성분석연구센터(RARC)

\*\*\*\* 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부

낮추거나, 부품의 강도를 높임으로써 부품의 수명을 연장시키는 기술이다.<sup>(1)</sup>

최근 급격히 발전하고 있는 디스플레이산업, 자동차 산업 및 전자산업에서 가장 널리 쓰이는 부품의 하나인 LED에 대하여 고장 모드/메커니즘의 분석, 가속수명시험의 설계 및 분석을 통하여 B<sub>10</sub>수명과 고장율을 추정하고 아울러 수명에 미치는 스트레스에 대한 민감도를 분석하여 LED의 부하경감설계를 하고자 한다.

## 2. LED의 고장분석

### 2.1 LED의 구조 및 특성

LED는 저전압에서 구동할 수 있는 발광소자로써 다른 발광체에 비하여 수명이 길며, 소비전력이 낮고, 응답속도가 빠르며, 내 충격성이 우수한 장점을 지니고 있다. 또한 소형·경량화가 가능하다는 장점이 있어 표시용도를 중심으로 전자부품으로서 응용이 확대되고 있다.

LED 구조는 Fig. 1에 나타내었듯이 Anode단자가 되는 Lead Frame 위에 화합물반도체(Ga-P, Ga-As-P 등)가 실장되고 Cathode단자와 연결된 Gold Wire에 연결된 후, Epoxy Molding 처리 된다.

### 2.2 LED의 고장 모드/메커니즘

LED의 고장모드는 Open & Short, 광도변화(Light Output Reduction) 및 Epoxy Breaking 등 여러 가지 형태가 있다.<sup>(2),(3)</sup> 고장모드 중 Open & Short와 Epoxy Breaking은 작은 스트레스나 ESD와 같은 외부 Surge에 의해 Wire, Pad 혹은 Packaging에 물리적, 전기적인 충격이 가해져 파괴로 이어지는 것이며, Light Output 변화는 주로 부식(Corrosion)에 의해 발생된다. 부식의 주요 발생원인은 온도, 습도이며 LED의 Lead와 Epoxy molding 계면을 따라 습기가 Chip으로 침투하여 Chip에서 전류가 통전됨에 따라 자기발열에 의해 높은 온도가 점진적으로 발생하게 된다. 그 결과 반도체부에 Short가 발생하여 고장이 된다. 이때 Light Output은 부식발생이 시작할 때 서서히 감소하여 광이 발생하지 않게 된다.

필드에서 사용 중에 고장이 발생한 LED를 수집하여 고장분석을 실시하였다. 그 결과 주로 두 가지의 고장메커니즘에 의해 고장이 발생한 것으

로 나타났으며 이를 Fig. 2에 나타내었다. 그림 (a)는 LED의 Wire에서 Fracture가 발생하여 Open된 경우이며, 그림 (b)는 Corrosion에 의해 100% Light Output Reduction된 시료이다. 두 가지 고장 메커니즘 중 Wire Fracture는 과전압, 과전류 또는 공정상에서 발생하는 결함이기 때문에 본 연구에서는 부식에 의한 Light Output Reduction에 대하여 고려하고자 한다. 상기 고장분석 결과를 토대로 LED의 고장모드와 고장메커니즘을 FTA로 Fig. 3에 나타내었다.

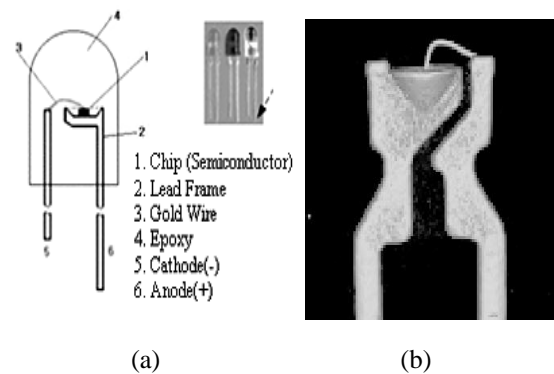


Fig. 1 LED Structure (a) Schematic diagram of composition, (b) X-ray Radiography

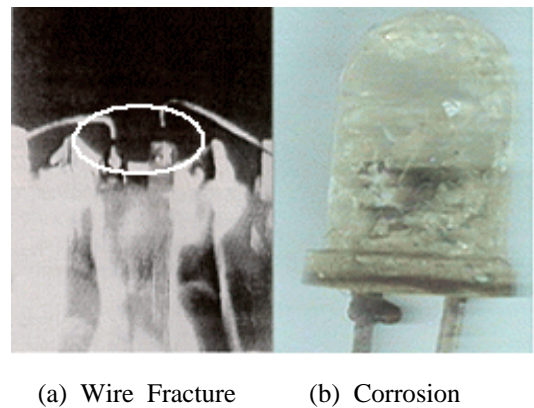


Fig. 2 LED Failure Mechanism

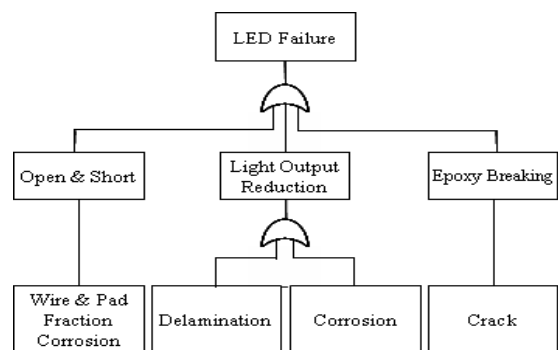


Fig. 3 LED FTA (Fault Tree Analysis)

### 3. 가속수명시험

LED의 고장분석 결과, LED의 주요 고장모드는 Light Output Reduction이며, 그 주 메커니즘은 반도체부(Chip 및 Lead wire)의 부식이다. LED의 부식고장에 대한 수명을 평가하기 위해 가속수명시험을 수행하였다.

#### 3.1 2단계 품질기능전개

LED의 수명을 평가하기 위한 시험방법을 선정하기 위해 2단계 품질기능전개(Two-Stage Quality Function Deployment, QFD)를 수행하여 Fig. 4에 나타내었다.<sup>(4)</sup> 그림 (a)에서는 고장모드/메커니즘과 스트레스의 관계를 분석하였고, 그림 (b)에서는 고장모드/메커니즘과 시험방법을 평가하였다. 2단계 QFD 분석 결과, 고온 및 고습상태에서 Bias를 인가하는 시험이 LED의 가속수명시험에 가장 적합하다고 결정하였다.

#### 3.2 가속수명시험 계획

가속수명시험에서 재료의 물성이 변하지 않고, 고장모드와 메커니즘이 사용조건과 동일하도록 최대 스트레스 수준을 결정하는 것이 중요하다.

그러므로 본 연구에서는 온도 및 습도의 스트레스 수준을 20mA Bias 상태에서 습도는 불포화습도인 85%RH에서 포화습도인 100%RH로 결정하였고, 온도는 85℃~125℃으로 결정하였다. 따라서 가속수명시험 조건은 Table 1과 같이 4개의 조건에서 시험을 시행하였다.

#### 3.3 시험 장치

가속시험에 사용하는 시료는 Table 2에 제시된 전기적 특성을 가지는 녹색광의 LED이다. 시험에 있어서 고장판단 기준은 Light Output이 100% 감소, 즉 불빛이 없을 경우로 정하였다. LED의 가속수명시험을 수행하기 위한 시험 장치를 Fig. 5에 나타냈다. 그림에서 시험 장치는 LED시료 고정, 부하인가 및 전원을 공급할 수 있는 시험 Jig, 전원을 공급할 수 있는 DC Power Supply 및 항온항습조로 구성되어 있으며 Light Output을 12시간마다 확인하였다.

#### 3.4 시험 결과

##### 3.4.1 수명분포의 적합성 검토 및 가속성 검증

Requirements / Stresses	Mechanisms		
	Wire & Pad Fracture	Corrosion	Delamination
100% Reduction of light output(Short)	○	◎	
Bias : 10mA ~ 40mA		◎	
Temp : -40℃ to 125℃	◎	△	○
Humidity : 85 ~ 100% RH		◎	△
Score	9	16	4

(a) Matrix1 - Mode/Mechanism

	Score	High Temp/100% Bias	Thermal Shock	Humidity/Thermal Cycling	ESD/EOS
		Wire & Pad Fracture	8		○
Delamination	4	○		△	
Corrosion	16	◎		○	
Score		92	24	60	40

(b) Matrix2 - Test Method

Fig. 4 2-Stage QFD Results

Table 1 Test matrix

Run	Factor	Test Condition		
		Temp. (℃)	Humidity (%RH)	No. of Sample
1	Bias 20mA	125	100	30
2		105	100	30
3		125	85	30
4		85	85	30

Table 2 Electrical specification & Criterion

Characteristic	Range	Criterion
Forward Voltage	$2.8V \leq V_F \leq 3.6V$ at $I_F=20mA$	100% Light Output Reduction
Luminous Intensity	9000mcd at $I_F=20mA$	
Reverse Current	$I_R \leq 50\mu A$ at $V_F=5V$	

LED의 고장 메커니즘은 고온 및 고습에 의한 부식이 LED의 Light Output을 점차 감소시키며, 결국에는 Short가 발생하여 Light Output이 완전히 소멸에 이르게 한다. 가속수명시험시 고장이 발

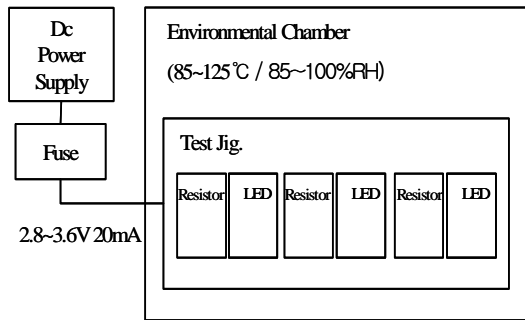


Fig. 5 Experimental apparatus for ALT

생한 LED의 고장분석을 실시한 결과, Fig. 6의 EDX 측정 결과에서 확인 할 수 있듯이 부식성분인 염소(Cl), 철(Fe), 산소(O) 성분이 검출되었다. 그러므로 부식 메카니즘에 의한 LED 부식 그리고 부식에 의한 Open이 고장의 직접적인 고장의 원인임을 알 수 있었다. 가속수명시험을 통하여 수집된 데이터에 적합한 수명분포를 가정하기 위하여 와이블, 지수, 대수정규분포의 우도함수(Likelihood Function) 값을 비교하였다. Table 3은 3개 수명분포의 우도함수값을 나타낸 것으로, 우도함수값이 가장 큰 와이블 분포가 가장 적합한 수명 분포로 나타났다. 가속수명시험에서 관측된 고장 시간을 시험조건별로 와이블 확률용지에 타점한 것으로 Fig. 7에 나타내었다.

그림에서 각 시험조건별 데이터들이 직선에 가깝게 배치되어 있고, 각 시험조건 수명분포 추정선이 서로 평행하게 나타난 것을 볼 수 있으며, 이로부터 와이블 분포가 적합하고 시험조건 사이에 가속성이 성립한다는 것을 알 수 있다.<sup>(5)</sup>

### 3.4.2 가속수명시험 모델

LED의 수명을 추정하기 위해 LED의 수명분포를 와이블로 가정하고, 와이블 척도모수( $\eta$ ), 온도(T), 습도(RH) 사이의 관계식을 아래의 식 (1)과 같은 온도-습도 모델로 가정하였다.

$$\eta(T, RH) = A e^{((\Phi/T) + (b/RH))} \quad (1)$$

### 3.4.3 와이블 형상모수와 수명-스트레스 관계식의 추정

와이블 분포와 식 (1)의 수명-스트레스 관계식을 가정하고, 소프트웨어 ALTA를 이용하여 가속수명시험 데이터를 분석한 결과는 다음과 같다.

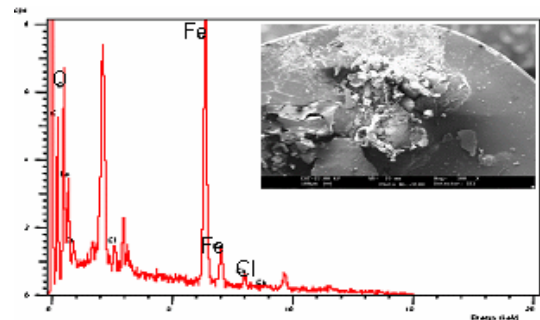


Fig. 6 Elements analysis result using EDX

Table 3 conformance result of life distribution

Distribution	Weibull	Exponential	Lognormal
Likelihood-Function	-526.9441	-708.5133	-539.6707

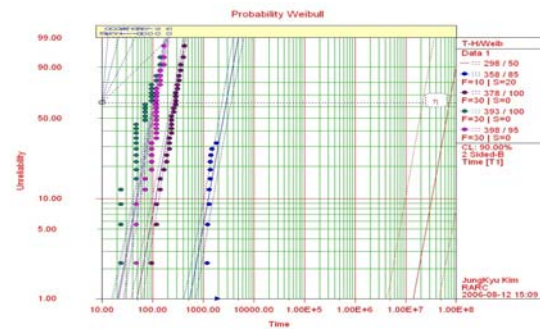


Fig. 7 Weibull probability paper plot

$$\beta = 2.8924, A=2.8970E-9, b=700.45, \Phi=6907.93$$

LED의 부식에 대한 와이블 분포의 형상모수값이 2.8924로 추정되었으며, 이는 LED의 부식이 우발고장이라기보다는 마모고장에 가까움을 알 수 있다.

부가적으로 LED 부식에 의한  $B_{10}$  수명식과 고장률함수  $h(t)$ 를 식 (2)와 식 (3)에 각각 나타내었다.

$$B_{10} = \eta[-\ln(1 - 0.1)]^{1/\beta} \quad (2)$$

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad (3)$$

### 3.5 시험결과의 해석

온도 및 습도에 대한 수명-스트레스관계와 가

속계수를 분석한 결과, LED 고장에 대한 고장 메커니즘은 온도 및 습도에 의한 부식이라는 것을 알 수 있었으며 아울러, 고습일 경우 온도가 상승할 때 부식발생 시간이 짧아진다는 것이다. 부가적으로 습도가 약 80%RH일 때 60°C~100°C의 온도구간에서는 가속계수가 지수적으로 증가함 알 수 있었다.

### 3.6 부하경감설계(Derating Design)

상기 식(2)를 이용하여 스트레스 인자인 상대습도 및 온도에 대하여 LED의  $B_{10}$ 수명의 관계를 Fig. 8 (a), (b)에 각각 나타내었다.

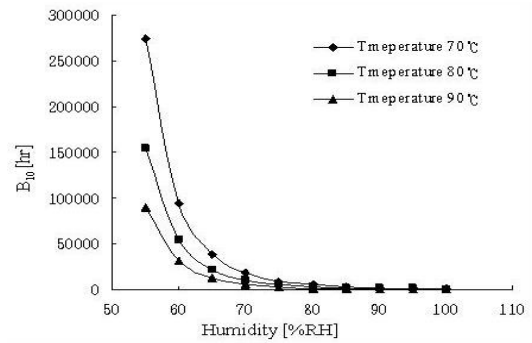
그림 (a)는 LED의 온도 범위 70~90°C에서 상대습도가 55~100%RH 변화할 때에 따른  $B_{10}$ 수명이 고, 그림 (b)는 LED의 습도 60 ~ 80%RH에서 온도가 70~120°C로 변화할 때의 수명이다. 그림에서 살펴보면 LED 주위온도 80°C에서 습도 65%RH에서 60%RH시 경감되면,  $B_{10}$  수명이 21840hr에서 53614hr로 약 2.5배 증가함을 알 수 있고, LED의 습도 60%RH에서 온도가 80°C에서 70°C로 경감되면 LED의  $B_{10}$  수명이 53614hr에서 94854hr로 약 1.8배의 수명이 증가함을 알 수 있다.

상기 식(3)을 이용하여 LED의 고장률과 온도 및 상대습도의 관계를 Fig. 9 (a), (b)에 나타내었다. 그림 (a)는 습도 변화의 영향에 대한 고장률 관계로서 습도가 80%RH에서 100%RH 구간에서 고장율이 급격하게 증가함을 알 수 있으며, 그림 (b)는 온도 변화에 따른 고장률의 관계로서 습도가 60%RH에서는 고장율 증가율이 완만하며, 상대습도가 증가할수록 고장률이 증가하는 경향을 보인다.

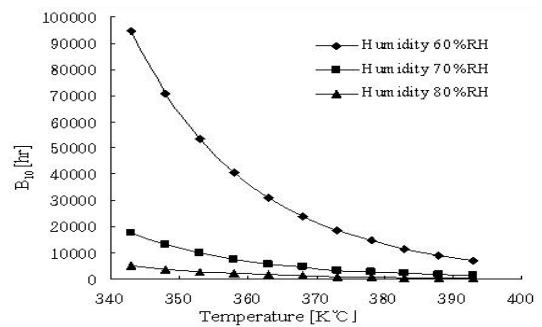
### 3.7 민감도(Sensitivity) 분석

LED의 수명에 영향을 미치는 스트레스인 온도와 상대습도에 대하여 민감도 분석을 실시하였다. 민감도 분석은 통계적인 관점에서 스트레스 인자를 분석하는 것으로서 각각의 스트레스와 수명과의 관계를 정확히 이해하고 있을 때 각 스트레스의 변화에 따른 수명의 특성을 분석하는 것이다.<sup>(6)</sup>

수명과 온도에 대한 민감도 분석식과 수명과 습도에 대한 민감도 분석식을 식(4)와 식(5)에 각각 나타내었다.

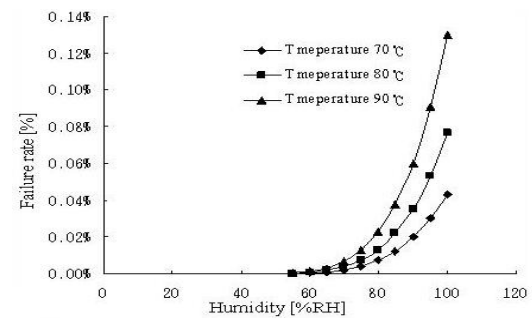


(a)  $B_{10}$  vs. Humidity

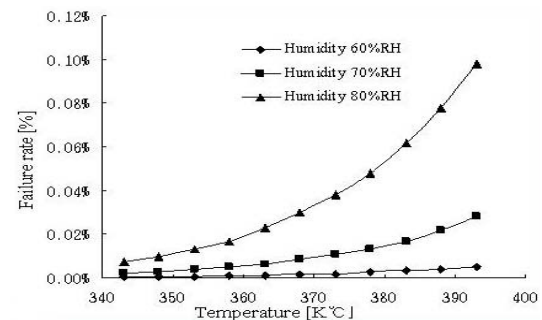


(b)  $B_{10}$  vs. Temperature

Fig. 8 Predicted  $B_{10}$  life

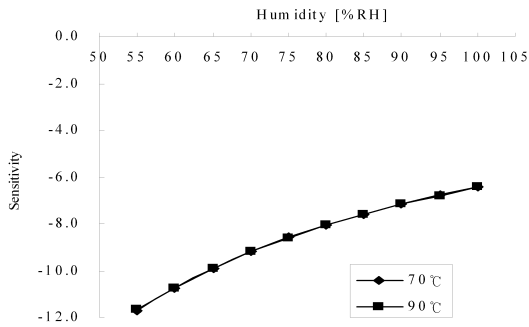


(a) Failure rate vs. Humidity

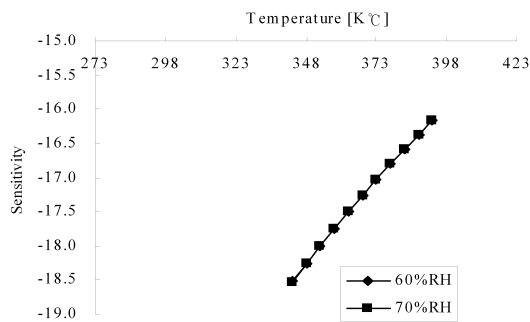


(b) Failure rate vs. Temperature

Fig. 9 Relationship between stresses and Failure rate



(a) Sensitivity over Humidity change



(b) Sensitivity over Temperature change

Fig. 10 Sensitivity two stresses

$$S_{B_{10}}^{Temperature} = \frac{dB_{10}}{dT} \cdot \frac{T}{B_{10}} \quad (4)$$

$$S_{B_{10}}^{Humidity} = \frac{dB_{10}}{dRH} \cdot \frac{RH}{B_{10}} \quad (5)$$

수명과 스트레스에 대한 민감도 분석식인 식 (4) 및 식 (5)에 대한 결과를 Fig. 10 (a), (b)에 나타내었다. 그림 (a)는 상대습도에 대한, 그림 (b) 온도에 대한 민감도 관계이다. 그림 (a)에서 습도가 55%RH에서 70%RH에 이르는 구간에서는 결과값이 큰 값으로 증가한 형태로서 저습에서 고습으로 이를 때 수명이 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있으며, 그림 (b)는 온도가 70°C~120°C에 이르는 구간에서는 결과값이 일정하게 증가하는 것을 알 수가 있다. 따라서 민감도 분석결과 LED의 수명은 온도의 변화에 대한 영향보다 습도의 변화에 대하여 더 민감하다고 할 수 있으며 LED의 신뢰성 설계시 온도보다는 습도를 조절하는 것이 보다 더 효율적일 것이다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 전자산업에 가장 널리 쓰이는 부품중의 하나인 LED의 신뢰성 향상을 위해 부하경감설계(Derating design)를 수행하였다.

LED의 주 고장메커니즘은 부식(Corrosion)이고 고장모드는 부식에 의한 Light Output Reduction 및 반도체부의 Short라는 것을 규명하였다.

가속수명시험에서는 스트레스를 온도 및 습도로 선정하여 와이블 형상모수와 수명-스트레스 관계식을 추정하였으며, 추정된 결과를 토대로 B<sub>10</sub> 수명식 및 고장률의 관계식과 추정하였다.

부가적으로 스트레스에 대한 민감도 분석 결과 습도 변화에 대한 수명의 특성변화가 크다는 것을 알 수 있었고, 이를 고려한 신뢰성 향상을 위한 부하경감 설계시 온도와 습도의 적절한 스트레스 수준을 결정할 수 있을 것이다.

## 후 기

본 연구는 과학기술부 특정연구개발과제 “전자 부품 신뢰성 설계기술 개발사업”(2004-04396)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) Michael Pecht, Richard Cogan, Mechanical Engineering Department University of Maryland College park, 1989, "Intelligent derating for reliability," *IEEE*, pp. 98~102.
- (2) CALCE, "Environmental Acceleration Factors of Nonhermetic Packaged AlGaAs LEDs,"
- (3) "Failure Analysis Mechanisms, Techniques & Photo Atlas," pp. 9~14.
- (4) 日本電氣株式會社, "發光ダイオード使用基準,"
- (5) ReliaSoft Corporation-Tucson, 2002, "Modeling and Analysis of Time-Dependent Stress Accelerated Life Data," *Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium*, pp. 343~348.
- (6) Ray Tsaih, Dept. of MIS, National Chengchi University, Taipei, 1999, "Sensitivity Analysis, Neural Networks, and the Finance," *IEEE*, pp. 3830~3835.