

열충격 시험을 통한 LED Package의 박리재현 및 특성에 관한 연구

장인혁*·임홍우**†

조선대학교* · 한국기계전기전자시험연구원**

A Research on the reappearance of delamination and the characteristic of LED package by thermal shock test

In-Hyeok Jang*·Houng-Woo Lim**†

Chosun University*·Korea Testing Certification**

Abstract

This paper, we classified LED failure mechanisms that occur due to the delamination and analyzed each of the mechanism that gives the LED PKGs the effect. Usually, the LED is composed of several materials which are LED chips, gold wire, phosphor, epoxy resin, adhesive, reflector and lead frame. These different materials are usually delaminated in trouble conditions which are huge temperature difference, hot and humid or mechanical shocked. When the components are delaminated, a luminance will be lost and moisture be absorbed easily, a thermal resistance be increased attendantly. In this paper, we experimented to investigate failure mechanism of the thermal resistance and failure mechanism of the decrease of luminance that occur due to the delamination. A thermal shock test was performed to reproduce this phenomena by subjecting samples to a cold-hot cycling process between -30°C (15min) and 110°C (15min). The samples were inspected at 200, 600 and 1,000 cycles. We measured feature of LED using the spatial analyzer, optical microscope, thermal resistance, photometer, scanning electron microscope (SEM). As a result, the progression of the crack and the thermal resistance and decrease in luminance are proportional to number of thermal shock.

Keywords : LED, Failure mechanisms, Thermal resistance, Luminance ,Delamination

† 교신저자 : dyamond@krc.re.kr

논문접수일 : 2013년 08월 23일 논문수정일 : 2013년 09월 12일 게재확정일 : 2013년 09월 13일

1. 서론

LED는 기술발전에 따라 그 응용분야를 휴대폰 등의 소형 디스플레이에서 최근 모니터, 디지털TV BLU 등의 중대형 디스플레이로 넓혀가고 있으며 현재 최대 조명시장인 일반 조명 시장까지 그 응용분야를 확대하고 있다. 또한 응용분야 확대에 따라 LED는 미술관, 창고, 광고판 등에 적용되고 있으며, 모든 전방산업에 응용되는 부품으로 2010년 324억불에서 2015년 1,000억불의 시장규모를 형성하여 연평균 24.5%의 성장이 예상되고 있다(R.D. Dupuis(2008)). 또한 해외 각국에서는 LED를 인테리어는 물론 실외 소재로 사용하는 사례가 등장하면서 LED 조명을 채택하여 메시지를 전달하거나 새로운 분위기를 조성하는 등 다양한 사례들이 증가하고 있으며, 향후 사무실, 일반가정의 조명에도 일반화되고 있고 나아가 지능형 교통시스템은 ITS에도 적용될 것으로 예상된다(주은철 2011).

하지만 LED는 온도차가 큰 환경이나, 온도와 습도가 높은 환경, 또는 진동이나 충격이 가해지는 환경에 노출되었을 경우 열화나 마모 등의 고장이 발생한다. <그림 1>은 LED PKG의 시점에 따른 고장률을 나타낸 것으로 초기(잠재)고장, 우발고장, 장기적 열화로 구분된다. LED의 대표적인 고장은 초기시점에 발생하는 적층된 이종물질간의 비교적 약한 상호 간섭력과 사용 환경 조건 등에 의해 발생하는 크랙과 박리현상이 있다(Yang et al(2008), Liu et al(2009), Meneghini et al(2010)). LED에 크랙이나 박리가 발생할 경우 광속의 감쇠가 우선적으로 진행되고, 수분의 침투가 용이하게 되며, 열전달 경로의 추가로 인한 열 저항의 증가 현상이 발생하게 되어 전체적인 수명이 낮아지게 된다. 따라서 본 논문에서는 LED의 초기고장률을 줄이기 위해 생산시 열처리 과정에서 발생할 수 있는 박리로 인한 고장 메커니즘을 규명하기 위하여 -30℃(15min), 110℃(15min)간 200/600/1000 Cycles 열충격 실험을 하였고, 각각의 광속, 육안, 저항각, 열저항을 측정하여, 각각의 메커니즘이 LED PKG에 미치는 영향에 대해 분석하였다.



<그림 1> LED 패키지 고장률

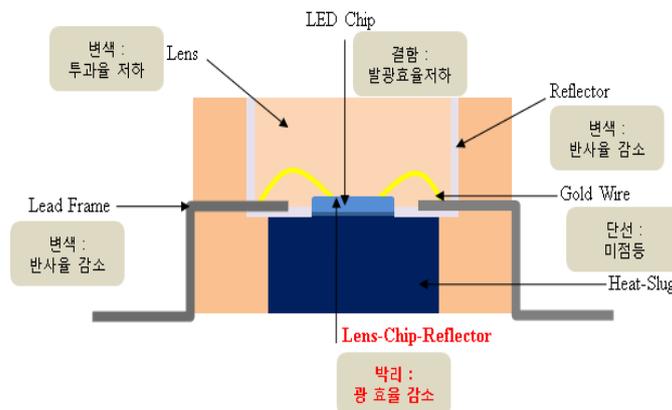
2. LED PKG의 박리 메커니즘

2.1 박리(Delamination) 원인

박리현상은 적층된 이종물질간의 비교적 약한 상호 간섭력에 의해 발생하는 가장 대표적인 고장 모드이고, 제품의 제조공정 과정중의 수축현상 및 수지재질의 오사, 운송 과정중의 지속적인 저주파 진동, 그리고 기타 사용 환경의 모든 조건 등에서 빈번하게 발생된다.

2.2 LED에서의 박리 현상

조명 및 백라이트용으로 사용되는 백색 LED는 <그림 2>와 같이 일반적으로 반도체 칩·리드프레임·하우징부·형광체·봉지재 등으로 구성되어 있다. 이들 구성 품들은 각기 고유의 재료 물성 값을 갖고 있고 이러한 이종물질간의 정합은 앞서 살펴본 바와 같이 외부 환경적인 영향에 의해 박리를 야기시키며, 이는 광속의 감쇠와 수분의 침투용이, 열전달 경로의 추가로 인한 열 저항의 증가 등의 현상을 발생시킨다.

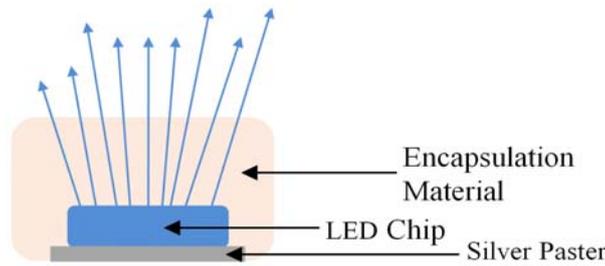


<그림 2> 일반적인 백색발광다이오드의 단면도

2.3 박리에 의한 LED의 영향

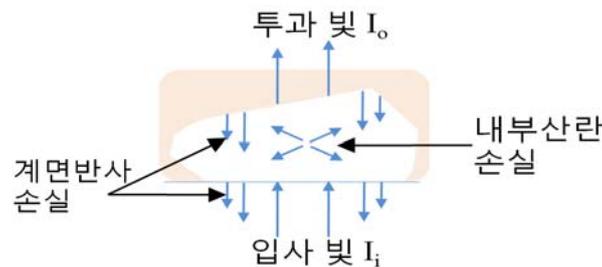
LED에서 발광된 빛은 다양한 특성을 가지지만 그중 대표적인 것으로는 침투, 흡수, 반사 및 산란이 있다. 식 (1)은 빛의 대표적인 특성을 이용한 에너지 보존 법칙을 나타내고 있다.

$$\text{Penetration} + \text{Absorption} + \text{Reflection} + \text{Scattering} = 1 \quad (1)$$



<그림 3> 다이오드의 빛 발광 도면

일반적으로 조명광원으로 사용되는 백색 LED는 <그림 3>에서 보여주는 바와 같이 청색 LED(InGaN)에서 발광된 광원이 YAG 계열 등의 형광체를 거치며 백색광을 만들어 낸다. 만약 제조 공정과정 및 사용 환경 등의 다양한 환경 인자에 의해 LED를 구성하고 있는 내부 물질들 간의 박리가 발생된다면 <그림 4>와 같이 공기층에 의한 내부 손실이 발생되어 초기 광원의 외부 추출 효율[투과된 빛(I_o)/입사된 빛(I_i)]이 박리에 의해 형성된 공기층에 의한 계면반사, 내부 산란 등의 이유로 1보다 작아져 광속이 점차 저하된다.



<그림 4> LED 내부 박리에 의한 광속 저하 원리

그리고 LED의 열 저항(R_{th})이 점차 증가한다는 것이다. LED는 접합온도(T_j)가 낮은 환경일 수록 오랜 시간동안 광 출력을 유지 할 수 있는데, 이는 접합온도가 낮을수록 수명이 더 길다는 것을 의미 한다. LED의 T_j 는 직접적으로 측정이 어렵기 때문에 식 (2)와 같은 방법으로 간접적으로 확인이 가능하다.

$$T_j = (P_D \times R_{th}) + T_a \quad (P_D : \text{구동파워}, R_{th} : \text{열저항}, T_a : \text{주변온도}) \quad (2)$$

식 (2)와 같이 LED의 T_j 는 열저항에 정비례하여 증가하게 되므로, LED의 고 수명을 위해서 열적 설계가 중요함을 알 수 있다. 또한 초기에 열적 설계가 우수할 지라도, 여러 환경 요인에 의해 열저항이 점점 증가해감으로써 전체적인 수명이 낮아지게 되기도 한다. 박리와 같은 고장 모드도 LED의 열전달 경로를 차단하여 열저항을 증가 시켜 초기 대비 T_j 의 증가를 유발하고 결국 수명 열화를 가속화 시키는 인자로 작용하게 되므로, 정확한 원인과 분석이 필요하다.

3. 박리 재현 시험 및 특성 측정

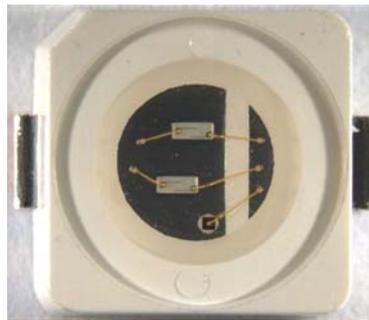
3.1 대상 모델 선정

박리 재현을 위해 <표 1>과 같은 모델을 대상으로 시험을 진행하였다.

<표 1> 박리 재현 대상 모델

모델	IF(mA)	Size(mm)	Zener Diode
SPMBLT5204N0BAW0S0	40	5.2 * 6.0 * t 1.3	O

그림 5는 박리가 발생하지 않은 초기시료의 현미경 사진이다.



<그림 5> 리드 프레임형 LED 패키지

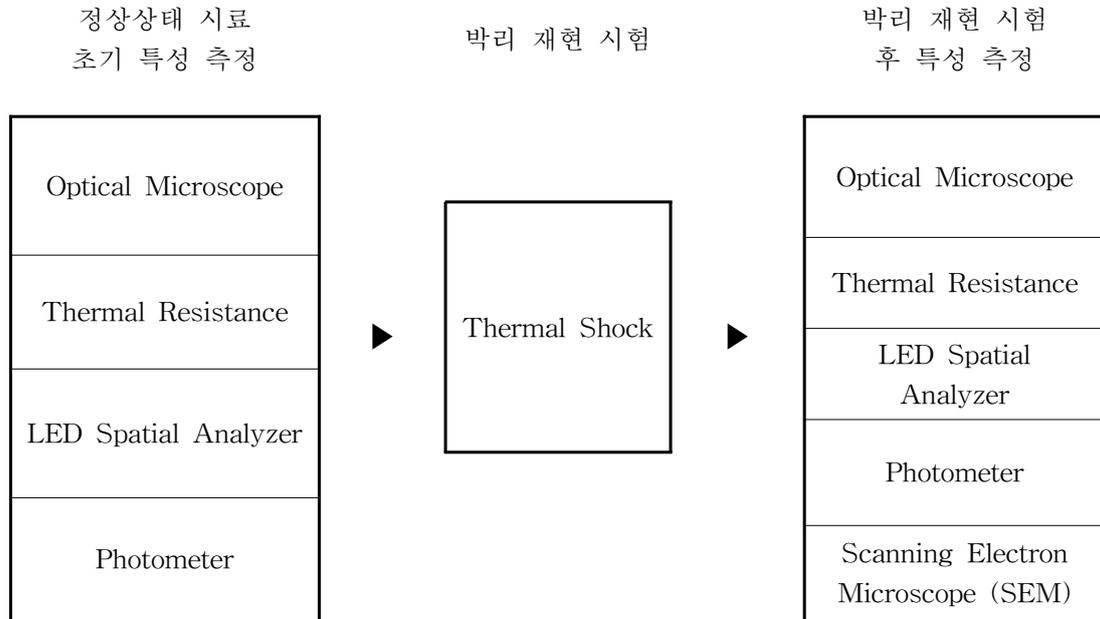
3.2 박리 재현 시험 설계 및 특성 측정

LED의 박리는 주로 온도가 급변하는 환경에서 빈번하게 이루어지므로 박리 재현을 위해서 열충격 조건에 방치하여 박리를 재현하였다. 박리 재현 시험은 <표 2>와 같은 방법으로 각 조건별 시료수 5개로 하였다.

<표 2> 박리 재현 시험 설계

재현 인자	조건	시료수
Thermal Shock	-30℃(15min) ↔ 110℃(15min), 200 cycle	5
	-30℃(15min) ↔ 110℃(15min), 600 cycle	5
	-30℃(15min) ↔ 110℃(15min), 1000 cycle	5

박리 재현시험 전과 후에 각각 현미경을 통한 육안 검사, 열저항, 광도, 배광특성을 측정하여 비교하는 시험을 진행하였다. <그림 6>은 시험 진행 모식도 이다. 또한 박리 재현 시험 후에는 SEM에 의한 영상을 통해 박리 정도를 보다 정확히 확인하였다.



<그림 6> 박리 재현 시험 및 특성 측정 모식도

4. 시험 결과

4.1 LED 크랙의 진행정도

<표 3>은 각 Cycle별 5개의 시료를 대상으로 크랙발생을 관찰한 결과로써, 200Cycle 이후 5개 모든 시료의 와이어 부분에서 크랙이 발생하였다. 또한 <그림 7>은 200Cycle와 1000Cycle의 크랙의 진행정도를 관찰한 것으로 200Cycle의 크랙이 80.27um, 1000Cycle의 크랙이 127.81um로 약 1.5배 가량 증가하였음을 확인 할 수 있었다.

<표 3> Cycle별 크랙발생

	200Cycle	600Cycle	1000Cycle
박리진행 샘플수	5/5	5/5	5/5



(a) (b)

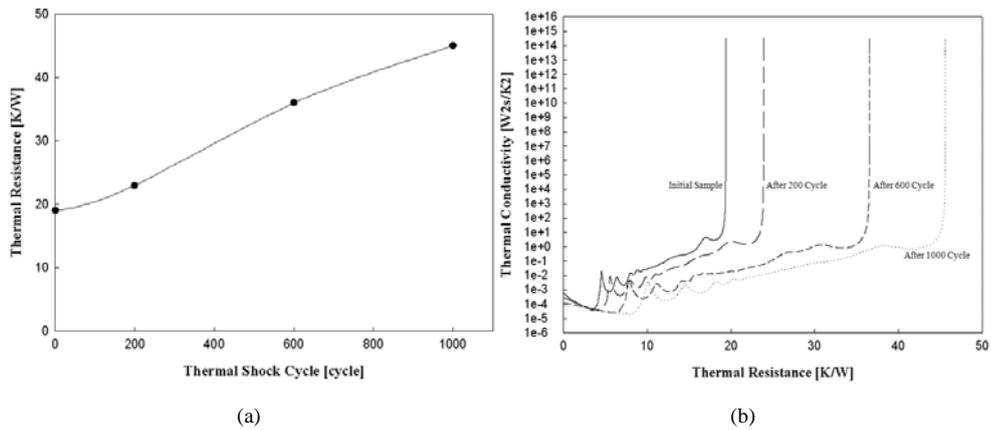
<그림 7> LED Wire 크랙 : (a) 200Cycle 크랙진행정도, (b) 1000Cycle 크랙진행정도

4.2 열저항 특성

<표 4>는 각각의 Cycle별 열저항값을 나타낸 것으로 <그림 8>과 같이 Cycle수에 정비례하였고, 초기 시료 열저항값 19[K/W]에 비해 1000Cycle의 열저항값은 45[K/W]로 약 2.5배가량 증가하였음을 알 수 있었다.

<표 4> 각 Cycle별 측정된 열저항

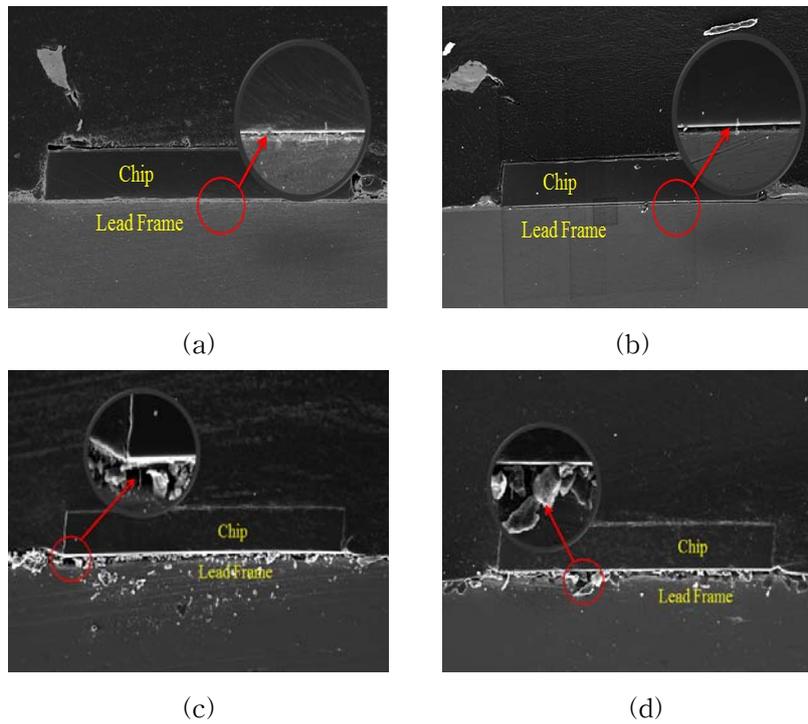
Initial	200Cycle	600Cycle	1000Cycle
19[K/W]	23[K/W]	36[K/W]	45[K/W]



(a) (b)

<그림 8> 각 Cycle별 열저항 변화 : (a) 열저항 변화곡선, (b) 측정된 열저항 그래프

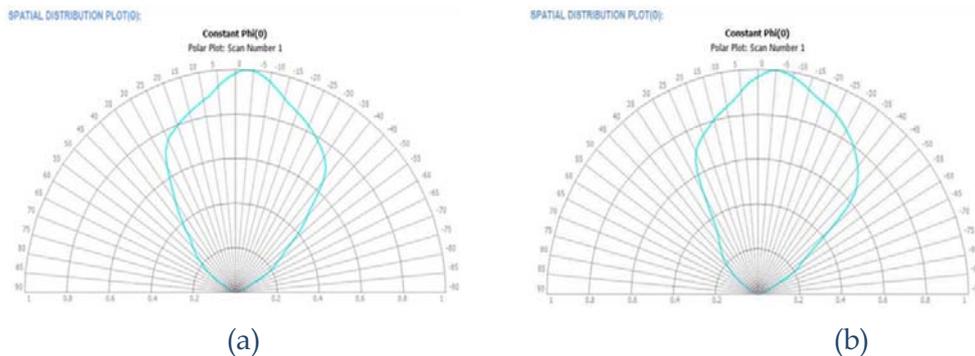
<그림 9>는 LED PKG의 Chip과 Lead Frame의 접합부분을 나타낸 것으로, 초기 접합부분은 0.999[um]정도로 아주 미세한 갭이 존재하였고, 200Cycle 2.498[um], 600 Cycle 12.978[um], 1000Cycle 36.506[um]로 Cycle과 정비례하여 갭이 증가함을 확인하였다(장인혁 외(2013)).



<그림 9> Chip과 Lead Frame 사이 접합부분 : (a) 초기시료, (b) 200Cycle (c) 600Cycle (d) 1000Cycle

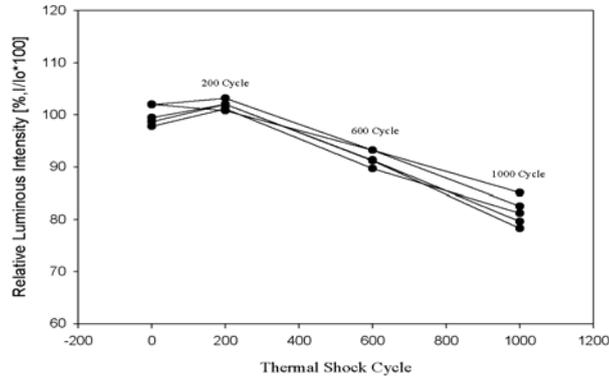
4.3 광 특성 변화

<그림 10>은 열충격 시험을 통해 발생된 크랙에 의해 LED 발광시 빛의 굴절 및 흡수 등으로 배광특성에 미치는 영향을 관측하기 위한 것으로, LED 초기배광특성과 1000Cycle의 배광특성을 비교하여 나타낸 것이다. 측정결과 초기대비 1000Cycle의 배광 특성은 미세한 변화만이 관측되었음을 알 수 있었다.



<그림 10> 배광 특성 변화 : (a) 초기 시료 배광특성, (b) 1000Cycle 시료 배광특성

광도의 경우, 측정결과 <그림 11>과 같이 Cycle에 비례하여 광도가 감소하였음을 확인하였고, 초기대비 1000Cycle의 경우 약 15%이상 감소하였음을 알 수 있었다.



<그림 11> 광도 특성변화

5. 결 론

본 논문에서는 LED에서 발생하는 박리로 인한 고장 메커니즘을 분류하였고, 각각의 메커니즘이 LED PKG에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 일반적으로 LED의 구성은 GaN 계열의 반도체 칩과, 에폭시 레진, 반사판, 전극의 리드 등의 다양한 이종물질로 이루어져 있다. 이러한 이종물질들은 온도차가 큰 환경이나, 온도와 습도가 높은 환경, 또는 진동이나 충격이 가해지는 환경에 노출되었을 경우 크랙이나 박리의 현상이 발생되어 진다. LED 제품에 크랙이나 박리가 발생되었을 경우, 광속의 감쇠가 우선적으로 진행되고, 수분의 침투가 용이하게 되며, 열전달 경로의 추가로 인한 열 저항의 증가 현상이 발생되게 된다. 따라서 본 논문에서는 LED의 열 저항 측면의 고장 메커니즘과 내부 박리에 의한 광속 저하 측면의 메커니즘을 규명하기 위하여 -30°C (15min), 110°C (15min)간 200/600/1000 Cycle 열 충격 실험을 하였고, 각각의 광속, 육안, 저항각, 열 저항을 측정하였다. 그 결과 크랙의 진행 정도는 200Cycle 이후 모든 시료에 발생하였고, 초기에 발생한 200Cycle 크랙이 $80.27\mu\text{m}$ 으로 1000Cycle의 크랙 $127.81\mu\text{m}$ 에 비해 약 1.5배 가량 증가하였음을 확인 하였고, LED PKG의 구성요소인 Chip과 Lead Frame의 접합부분의 갭이 초기 $0.999[\mu\text{m}]$ 에서 200Cycle $2.498[\mu\text{m}]$, 600 Cycle $12.978[\mu\text{m}]$, 1000Cycle $36.506[\mu\text{m}]$ 로 증가하였고, 이와 마찬가지로 열 저항이 초기 $19[\text{K/W}]$ 에서 200Cycle $23[\text{K/W}]$, 600 Cycle $36[\text{K/W}]$, 1000Cycle $45[\text{K/W}]$ 로, 초기 대비 1000Cycle의 열 저항이 약 2.5배가량 증가하였음을 확인하였다. 마지막으로 광 특성 결과 초기대비 1000Cycle의 광도가 약 85%로 감소하였지만, 배광 특성은 미세한 변화만이 관측되었음을 확인하였다. 따라서 본 논문에서는 LED의 초기고장률을 줄이기 위해 생산 시 열처리 과정에서 발생할 수 있는 박리로 인한 고장 메커니즘을 분류하였고, 각각의 메커니즘이 LED PKG에 미치는 영향에 대해 분석하였다.

참고문헌

- [1] 장인혁, 한지훈, 고민지, 이영주, 임홍우 (2013), 열충격시험을 통한 LED 박리 평가법에 관한 연구, 신뢰성응용연구, 제 6권, 제2호, pp. 121-124.
- [2] 주은철(2011), LED/OLED 최신 산업동향 및 혁신기술 동향분석, BIR.
- [3] J. Liu, W. S. Tam, H. Wong, V. Filip. (2009), Temperature-dependent light-emitting characteristics of InGaN/GaN diodes. *Microelectronics Reliability* pp. 38-41.
- [4] L. Yang, J. Hu, L. Kim, M. H. Shin. (2008), Thermal Analysis of GaN-Based Light Emitting Diodes With Different Chip Sizes. *IEEE Transaction on device and materials reliability*, Vol. 8, No.
- [5] M. Meneghini, Tazzoli, G. Mura, G. Meneghesso, E. Zanoni. (2010), A Review on the Physical Mechanisms That Limit the Reliability of GaN-Based LEDs. *IEEE Transaction on electron device*, Vol. 57, No. 1.
- [6] R. D. Dupuis and M. R. Krames(2008), "History, development, and applications of high-brightness visible light-emitting diodes", *J. Lightw. Technol.*, vol. 26, no. 9, pp. 1154-1171.