

실리콘 서브 마운틴 기반의 LED 패키지 재료평가 및 신뢰성 시험

(Reliability Testing and Materials Evaluation of Si Sub-Mount based LED Package)

김영필* · 고석철**

(Young-Pil Kim · Seok-Cheol Ko)

Abstract

The light emitting diodes(LED) package of new structure is proposed to promote the reliability and lifespan by maximize heat dissipation occurred on the chip. We designed and fabricated the LED packages mixing the advantages of chip on board(COB) based on conventional metal printed circuit board(PCB) and the merits of Si sub-mount using base as a substrate. The proposed LED package samples were selected for the superior efficiency of the material through the sealant properties, chip characteristics, and phosphor properties evaluations. Reliability test was conducted the thermal shock test and flux rate according to the usage time at room temperature, high-temperature operation, high-temperature operation, high-temperature storage, low-temperature storage, high-temperature and high-humidity storage. Reliability test result, the average flux rate was maintained at 97.04% for each items. Thus, the Si sub-mount based LED package is expected to be applicable to high power down-light type LED light sources.

Key Words : Chip On Board(COB), Si Sub-Mount, LED Package, Reliability Test

1. 서 론

LED 조명의 수요와 적용 분야가 다양화되면서 LED 패키지가 고출력화되고, 패키지의 광 출력 증가로 인하여 광 변환 효율이 높아지는 장점을 가지고 있

다[1-3]. 최근 LED 소자의 광 출력에 대한 많은 연구를 통하여 백열전구의 가시광 변환 효율을 이미 넘어섰으며, 가장 높은 가시광 에너지 변환 효율을 확보하여 향후 조명시장에서 폭 넓게 이용될 것으로 기대하고 있다. 하지만 LED 소자의 가장 큰 단점은 전체 인가되는 에너지에서 가시광을 제외한 나머지 75~82%의 에너지가 열로서 방출된다는 점이다. 따라서 LED 조명으로 발전하기 위해 가장 먼저 수행해야 할 과제는 이 열 방출에 대한 해결책일 것이다[4-6].

기존 LED 모듈의 복잡한 제조공정과 구조적으로 복잡한 thermal node에 의한 방열 특성을 개선하기 위하여 COB(Chip On Board) 형태의 패키지가 개발되

* Main author : Department of
Electrical · Electronic · Control Engineering
Graduate School of Kongju National University
** Corresponding author : Professor, in the Industry-
University Cooperation Foundation, Kongju
National University
Tel : 041-521-9142, Fax : 041-563-3689
E-mail : suntrac@kongju.ac.kr
Received : 2014. 12. 12
Accepted : 2015. 1. 27

고 있다[7-10]. 그러나 일반적으로 사용되는 COB 패키지용 금속 PCB(Printed Circuit Board)는 칩 실장 표면과 알루미늄 금속 PCB간에 열전도도가 낮은 절연층이 존재함으로써 LED 구동 시 칩에서 발생하는 열을 외부로 방출하는데 방해요인으로 작용하여 신뢰성 및 수명에 영향을 주게 된다. 기존 LED 조명은 패키지가 갖는 thermal node와 금속 PCB가 갖는 thermal node를 포함하여 7개의 많은 thermal node를 갖고 있어 LED 구동 시 칩에서 발생하는 열을 방출시키기 어려운 구조이다.

본 논문에서는 기존 COB 패키지와 다른 방식인 실리콘 서브 마운틴 기반의 LED 패키지를 제안하였다. 이는 칩에 실장되는 베이스를 실리콘 기판으로 사용함으로써 낮은 가격과 칩에서 발생하는 열 방출을 극대화하여 신뢰성과 수명을 향상시키고자 하였다. PCB 기반의 COB의 장점과 베이스를 기판으로 사용하는 실리콘 서브 마운틴 장점을 혼합한 구조의 LED 패키지를 설계·제작하였다. 향후 LED 광원에 적용하기 위해서 제안한 LED 패키지의 신뢰성 시험을 수행하였다. 실리콘 서브 마운틴 기반의 LED 패키지 시료를 제작하기에 앞서 칩, 형광체, 봉지재 등 재료평가를 통하여 효율이 우수한 재료를 선정하였다. 칩 제조사별 9종의 중간 크기 칩에 대한 상대 비교평가를 실시하였다. Silicate계와 LuAG계인 Green 형광체의 여기효율 비교와 Red 형광체인 Nitride계는 4개사의 여기 효율을 각각 평가하였다. 또한 와이어 본딩 후 봉지재를 주입하기 전과 6종의 봉지재를 주입한 후의 광속변화율을 비교하였다. 사용시간에 따른 상온, 고온동작, 고온 보존, 저온 보존, 고온고습 보존 광속변화율 및 열충격 시험 등 신뢰성 시험을 수행하였다.

2. 본 론

2.1 실리콘 서브 마운틴 기반 LED 패키지 제작

LED 패키지 설계는 기존의 금속 PCB 기반의 COB의 장점과 베이스 기판으로 실리콘 서브 마운

틴의 장점을 혼합하여 만든 것이 특징이다. 그림 1 (a)와 같이 현재 사용되고 있는 금속 PCB는 구조적으로 절연층이 존재하여 그 절연층 물질의 열전도 특성이 2~3W/mK로 매우 낮아 LED 구동 시 패키지에서 발생하는 열을 외부로 방출시키기 어려운 구조이다. 또한, 납땀에 의한 LED 패키지와 금속 PCB간의 접착면에서도 큰 열저항 구간을 가지게 된다. 따라서 그림 1 (b)와 같이 실리콘 서브 마운틴 기반의 LED 패키지를 제안하였다. 제안한 패키지 구조는 기존의 PLCC(Plastic Leaded Chip Carrier) 패키지 내에서 가지는 열저항 구간과 금속 PCB의 절연층이 가지는 열저항 구간을 제거함으로써 칩에서 발생하는 열을 2차 방열부로 신속하게 전달할 수 있는 장점이 있다.

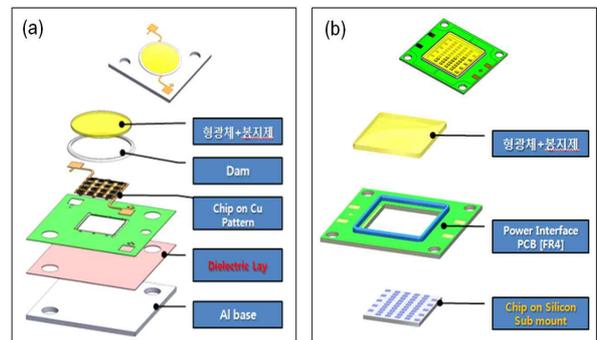


그림 1. LED 패키지 구조.
(a) 현행 패키지. (b) 제안한 패키지
Fig. 1. LED package structure. (a) Conventional package. (b) Proposed package

LED 패키지 제작공정은 그림 2에 나타난 것과 같이 크게 5개 공정으로 구분된다. 그림 2 (c)는 그림 2 (a)의 실리콘 서브 마운틴과 그림 2 (b)의 전원 인터페이스 보드를 부착하는 공정이다. 보드와 서브 마운틴간의 기밀성과 다이 본딩 시 이탈 방지, 열적 내구성을 확보하기 위해 실리콘 레진을 사용하여 디스펜싱을 진행하였다. 그림 2 (d)와 같이 다이 본딩은 실리콘 서브 마운틴에 칩을 실장하는 공정으로 칩을 올릴 표면에 본드를 마킹한 후 웨이퍼 링에 부착된 칩을 픽업하여 부착하는 공정이다. 또 그림 2 (d)의 와이어 본딩은 외부로부터 LED에 전원을 공급

하기 위해 전원 인터페이스 보드에 형성된 패턴과 서브 마운트에 본딩된 칩을 연결 또는 칩과 칩 간의 전극을 금 와이어로 본딩하는 공정이다. White LED의 구현 방식 중 가장 보편적인 방법으로는 Blue 파장의 칩에 Yellow 형광체가 혼합된 실리콘 봉지재를 사용하고 있으나, COB 패키지의 경우는 오목한 반사체를 갖춘 PLCC 패키지와는 달리 반사체가 없기 때문에 봉지재를 도포하기 위한 댄 공정이 그림 2 (d)와 같이 필요하다. 또한 실리콘의 가시광 영역에서의 광 흡수에 따른 낮은 반사율은 Al과 Ag의 금속 반사막을 제작하여 이를 해결하였다. 그림 2 (e)처럼 디스펜싱 공정은 형광체와 혼합된 실리콘 봉지재를 칩의 표면에 일정량을 정밀하게 도출하여 LED의 색온도나 광 특성을 결정한다. 그림 2 (f)는 LED 패키지의 바닥면의 표면을 보여주고 있다. 이렇게 제작된 실리콘 서브 마운트 기반의 LED 패키지는 효율이 우수한 재료를 선택하여 신뢰성 시험을 수행하였다. 시료의 재료평가를 위해 칩 특성 평가, 형광체 특성 평가, 봉지재 특성평가 등을 선행적으로 하였다.

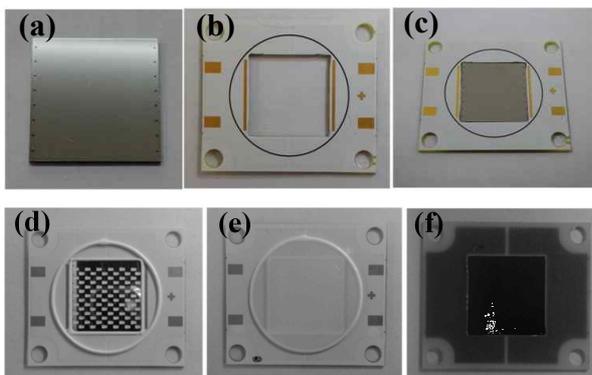


그림 2. 실리콘 마운트 기반의 LED 패키지 제작공정. (a) 실리콘 서브 마운트, (b) 전원 인터페이스 보드, (c) 서브 마운트 부착, (d) 다이 본딩, 와이어 본딩, 댄, (e) 디스펜싱, (f) 패키지 바닥면 표면

Fig. 2. The fabrication process of Si sub-mount based LED package. (a) Silicon sub-mount, (b) Power interface board, (c) Sub-mount Attach, (d) D/B, W/B, dam, (e) Encapsulation, (f) Bottom surface

2.2 재료평가

2.2.1 칩 평가

White LED를 구현하는 방법으로는 여러 방법이 있으나 본 연구에서는 CRI80 이상에서 고효율을 얻기 위한 일반적인 방법으로서 GaN 칩에 Blue 파장을 Green과 Red 형광체로써 여기시키는 방법을 채택하였다. LED 패키지의 광 효율에 있어 가장 큰 영향을 주는 것은 Blue 칩이므로 칩 제조사별 9종의 중간 크기 칩에 대한 상대 비교평가를 실시하였다. 칩 평가에 사용된 패키지는 일반적으로 사용되는 PLCC 패키지를 사용하였고, 봉지재는 패널계 실리콘에 형광체를 적용하여 칩에 대한 효율을 확인하였다. 표 1은 시험용 시료에 적용한 칩 평가 재료를 기술하였다.

표 1. 칩 평가 재료

Table 1. Chip evaluation material

Material	Maker	Size (mm)	P _o (mW)	W _d (nm)
칩	G사	26*46	430~460	450~452.5
		22*46	220~240	452.5~455
	I사	40*22	225~223	455~457.5
	F사	44*22	145.8~149.9	452.6~454.9
	L사	22*35	170~180	455~457.5
		24*45	180~190	455~457.5
E사	42*22	150~156	455~456.4	
패키지	F사	50*54 1.2t PLCC Heatsink Type		
봉지재	D사	OE-6631		
형광체	I사	GAL545/R6634		

시험용 시료는 칩에 대한 효율만을 고려하기 위하여 7종류 칩에 대한 광학적 특성이 가능한 유사한 특성을 갖도록 색온도는 5,000±300K, 연색성은 80±3의 특성을 갖도록 시료를 제작하였다.

제작된 시료의 특성 측정은 500mm 적분구와 Current Source Meter를 사용하였다. 그 결과는 그림 3 (a)와 같이 300mA의 통전전류에서 광속은 G사의 2246 칩이 우세하였다. 그림 3 (b)는 0.9W 소모전력에

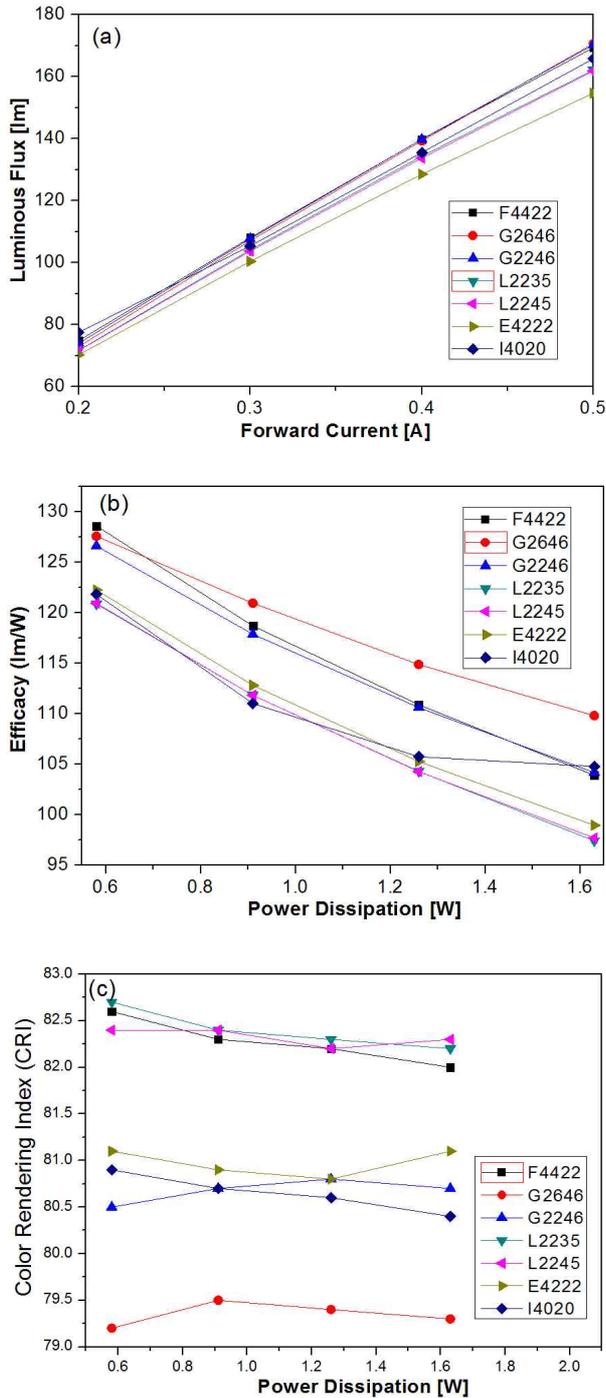


그림 3. 칩의 특성 비교. (a) 통전전류에 따른 광속, (b) 소모전력에 따른 효율 및 (c) 연색성
 Fig. 3. Comparison properties of the chip. (a) Luminous flux according to the forward current, (b) Efficacy and (c) CRI according to the power dissipation

서 G2646 칩의 효율이 F사 4422보다 2.25lm/W 우세함을 보여주고 있다. 그러나 그림 3 (c)에서 알 수 있듯이 F사 4422의 경우 연색성(CRI)이 G사 2246보다 2.8정도 차이 나는 것을 고려하면 F사의 4422가 가장 우수한 성능을 보유한 것으로 판단되었다.

2.2.2 형광체 평가

LED에 사용되는 형광체는 조성 물질에 따라 여러 형태로 분류되며, 대표적인 형광체로는 YAG계, Silicate계, Nitride계를 비롯하여 LuAG계로 구분되어진다. YAG 형광체의 경우 가장 보편적으로 사용되는 것이 Yellow 여기 형광체이며, Silicate계는 Yellow 또는 Green 파장의 형광체로써 최근에 장기 신뢰성 문제가 대두되어 사용이 줄어들고 있다.

최근에는 LED 조명의 성능 향상과 수요 증가에 의해 연색성이 향상된 LED 조명이 요구되고 있다. 이 분야는 Yellow 형광체만으로 구현이 어려운 고연색 LED와 Yellow 형광체만으로 구현이 어려운 Warm White LED이다. Natural White LED에는 Nitride계의 Red 형광체가 각광 받고 있다. 또한 Silicate계인 Green 형광체의 신뢰성 문제를 개선한 LuAG계 형광체 사용이 증가하고 있다. White LED의 성능 구현에 있어 고려해야 할 특성은 LED의 발광 효율과 연색성이며 최적의 여기 효율과 연색성 향상을 위해서는 형광체의 선택이 매우 중요하다고 본다.

1) Green 형광체

시험용 시료에 이용된 패키지는 일반적으로 널리 사용되는 PLCC 패키지를 사용하였고 봉지재는 실리콘 수지를 사용하였다. 칩은 20×40mm², 테스트 과정의 변수를 최소화하기 위해 형광체를 제외하고 동일한 재료를 사용하였으며 표 2에 사용재료를 표시하였다.

제조사별 형광체 특성 비교를 그림 4에 나타냈으며, 소모전력 0.179W에서 평균적으로 광 효율은 T사가 우수하고 연색성 측면에서는 I사의 형광체가 우수하나 색온도와 연색성 차이를 고려했을 경우 3사의 형광체 성능은 비슷한 것으로 판단되었다.

표 2. 제조사별 Green 형광체 시험용 재료
Table 2. Test materials of green phosphor by manufacturers

Material	Maker	Model	V _f	P _o	W _d
칩	F사	4422	3.09~3.15	145~150	452~455
형광체	I사	GAL535			
	T사	LC135P			
	N사	LAG387A10			
봉지재	D사	OE-6631			

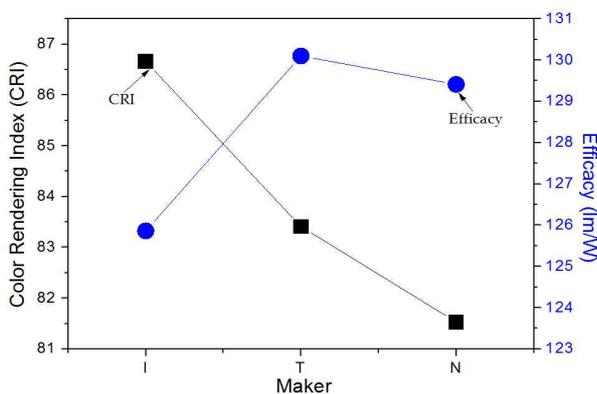


그림 4. 제조사별 Green 형광체 평균 연색성 및 효율 비교
Fig. 4. The average color rendering index and efficacy comparison of green phosphor by manufacturer

표 3. 형광체별 특성비교
Table 3. Comparison properties of phosphors

Phosphor	Material	Flux (lm)	CRI	Pd (W)	Effc. (lm/W)
G3161	Silicate	58.70	72.58	0.533	110.07
2762	Silicate	60.08	71.59	0.533	112.69
3261	Silicate	60.82	71.36	0.530	114.69
3560	Silicate	60.64	71.03	0.531	114.22
GAL530	Aluminate	59.07	72.52	0.538	109.70
GAL535	Aluminate	58.02	73.31	0.534	108.73
GAL540	Aluminate	59.25	72.15	0.532	111.32
GAL545	Aluminate	56.42	74.33	0.531	106.32

한편 Silicate계 형광체는 열특성에 취약한 것으로 알려져 있으며, 재료 시험은 Silicate계와 LuAG계 Green 형광체의 특성을 비교하였다. 시험에 사용된 형광체는 F사 Silicate계와 I사의 여기 파장이 서로

다른 4종의 Aluminate계 LuAG의 특성을 표 3과 같이 비교하였다. 시험용 시료의 재료로는 형광체를 제외하고 동일하게 적용하였으며 칩은 24×32mm²를 사용하였고, 봉지재는 실리콘을 0.5~1W급의 PLCC 패키지를 적용하였다. 측정 시 통진 전류는 180mA를 인가하여 특성을 확인하였다. 광속은 56~61lm, 효율은 106~114lm/W에 분포하며, 연색성은 71~74 수준으로 색온도와 연색성 고려 시 효율 측면에서는 유사한 수준으로 판단되었다.

2) Red 형광체 평가

Red 형광체는 Yellow 형광체만으로 구현이 어려운 Warm White LED에 필수적으로 사용되며 연색성을 향상시키는데 필수적이다. 일반적으로 Red 형광체는 Nitride계로써 제조사별 형광체를 구입하여 여기 효율과 연색성을 확인하였다. 시험용 시료의 특성은 연색성 75, 색온도 3000K을 기준으로 칩은 공히 24×24mm²를 사용하였으며, 형광체를 제외한 재료는 동일하게 적용하였다. 형광체 배합은 봉지재 중량에 대한 YAG계 Yellow 형광체 11%에 시험용 시료의 기준 특성에 해당하는 제조업체 형광체를 1.5~3%를 배합하여 시료를 제작하였으며, 표 4는 시험용 시료 제작에 사용한 재료와 형광체별 배합비를 나타내었다. D사 형광체의 경우 형광체의 첨가 비율은 높았으나, 상대적으로 연색지수가 우수한 것으로 나타났다.

표 4. 재료 및 형광체별 배합비
Table 4. Mixing ratio of phosphors and Materials

Material	Maker	Model	V _f	P _o	W _d
칩	L사	8060	3.0~3.1	110~117	447.5~450
형광체 (RED)	C사	R625 [함량=1.5%]			
	I사	R6634 [함량=2%]			
	NS사	6500G [함량=1.4%]			
	D사	D-X[함량=3%]			
형광체 (Yellow)	I사	4454 [함량=11%]			
봉지재	D사	OE-6631			
패키지	F사	5054 1.2t PLCC			

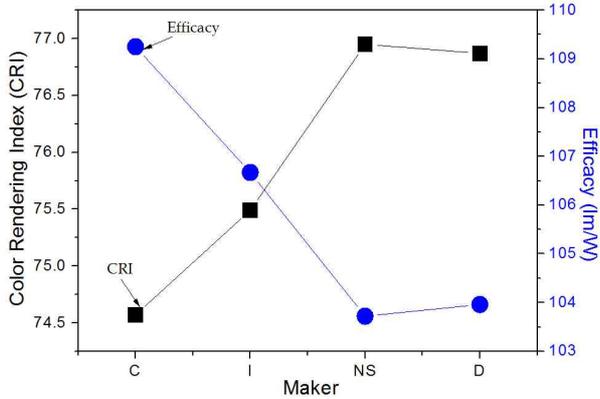


그림 5. 제조사별 Red 형광체 평균 연색성 및 효율 비교
 Fig. 5. The average color rendering index and efficacy comparison of red phosphor by manufacturer

시험용 시료의 측정은 패키지 당 180mA를 통전하여 측정하였으며 측정 결과, 그림 5와 같이 효율은 C사 형광체가 109lm/W로 우수하나 연색성 측면에서는 약 2 정도 낮게 분포하고 있고, D사와 NS사의 경우 연색성 높으나 상대적으로 효율이 3~5lm/W 낮게 분포함을 알 수 있다.

3) Yellow 형광체 평가

본 논문의 신뢰성 시험에서 채택이 되지 않았으나, Blue 파장을 갖는 칩에 Yellow 형광체를 도포하여 Blue 파장을 Yellow 형광체에 여기시킴으로써 White LED를 구현하는 방법이 보편적으로 사용되고 있다.

Yellow 형광체의 종류로는 YAG계 Silicate계가 대표적이며 본 논문에서는 YAG계와 Silicate계를 특성을 비교하였다. 시험방법으로는 형광체를 제외한 칩, 봉지재, 패키지는 동일한 재료를 사용하여 시험과정중의 변수를 최소화하였다. LED의 특성값은 색온도 5700K를 기준으로 제작하여 각각의 광속, 연색성, 광효율을 비교하였다. 시험에 사용된 형광체는 제조사가 다른 세 종류의 YAG계 형광체로써 I사의 4454와 N사의 432, C사의 4453을 사용하였다. 그림 6은 각 해당 시료에 통전 전류 0.15A~0.25A까지의 광속과 해당 소비전력에 대한 광 효율의 변화를 나타낸다. 광속과 효율은 I사의 4454가 가장 높게 분포되어 있고, N사의 432와 C사의 4453은 유사한 특성을 보이고 있다.

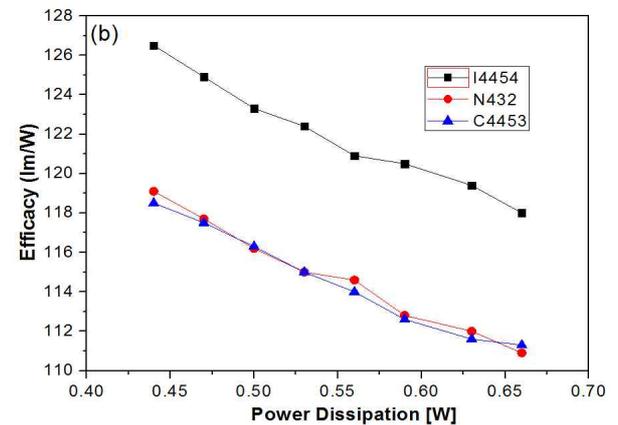
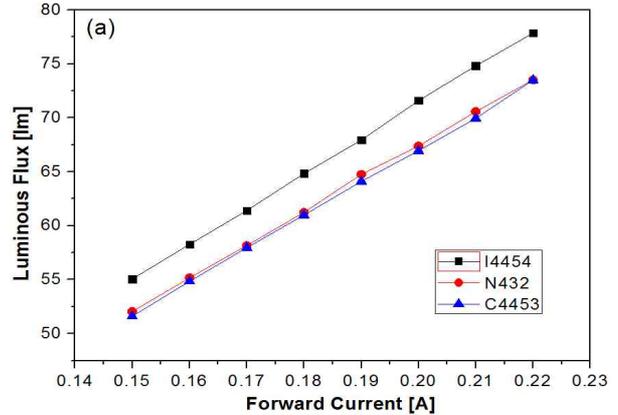


그림 6. Yellow 형광체 특성 비교. (a) 통전전류에 따른 광속. (b) 소비전력에 따른 효율
 Fig. 6. Comparison properties of the yellow phosphor. (a) Luminous flux according to the forward current. (b) Efficacy according to the power dissipation

그림 7은 제조사별 Yellow 형광체의 평균 연색성과 효율을 비교한 것이다. 연색성은 최대 2를 넘지 않는 범위에서 효율이 I사의 4454가 가장 우수함을 확인 할 수 있다.

2.2.3 봉지재 특성 평가

LED 패키지 구성에 있어 봉지재의 기능은 물리적 충격이나 외부 환경으로부터 패키지 내부의 칩과 본딩 와이어를 보호하는 기능과 광원인 칩에서 발생된 광자를 패키지 외부로 방출하기 위한 매개체 기능을 담당한다. LED 패키지용 봉지재가 갖추어야 할 기본적인 특성은 물리적으로는 LED 구동 시 발생하는 고

열에 견디어야 하고 외부의 고온, 고습 등의 환경으로부터 내용물을 보호할 수 있도록 계면 접착력이 확보되어야 한다. 또한 장기간 실외 환경에 방치하여 자외선에 노출 시 광학적 특성 열화가 적어야 한다.

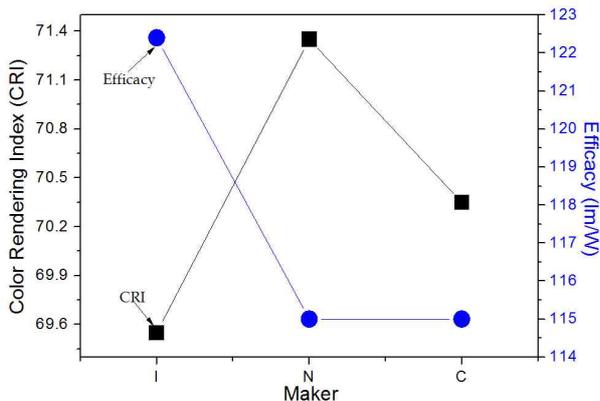


그림 7. 제조사별 Yellow 형광체 평균 연색성 및 효율 비교

Fig. 7. The average color rendering index and efficacy comparison of yellow phosphor by manufacturer

본 논문에서는 패키지의 신뢰성을 확보하고 광 추출 효율을 극대화하기 위해 실리콘을 봉지재로 적용하였다. LED의 광 효율에 영향을 미치는 봉지재의 대표적인 특성에는 굴절률과 투과율을 들 수가 있으며, 6종의 실리콘 봉지재에 대한 특성을 비교하였다. 시험용 봉지재는 굴절률이 1.41 정도의 낮은 그룹 3종류와 1.54~1.55의 굴절률을 갖는 그룹 3종으로 구분하였으며, 그 대표적인 봉지재 특성은 표 5에 표시하였다.

표 5. Silicone 봉지재별 특성 비교

Table 5. Comparison properties of silicone sealants

Silicone	RI	Transmissivity		Viscosity
		RI	Wavelength	
KER-2500	1.41	90%	400nm/2mm	4300
CS-D3437A	1.41	>95%	450nm/1mm	3400
OE-6370	1.41	100%	450nm/1mm	3200
OE-7651	1.55	95%	450nm/1mm	3500
OE-6631	1.54	98%	450nm/1mm	7150
ES-D8557A	1.54	98%	450nm/1mm	5500

시험용 시료는 봉지재별 각 5개를 제작하였고, 시험 방법으로는 동일한 PLCC 패키지에 동일한 종류의 칩을 실장하여 와이어 본딩 후 표 6과 같이 봉지재를 주입하기 전과 6종의 봉지재를 주입한 후의 측정값을 비교하였다.

표 6. 봉지재 주입 전·후 시료특성

Table 6. Properties of the sealant injection before and after

Silicone	Flux of the sealant injection before (lm)	Flux of the sealant injection after (lm)
KER-2500	2.824	19.761
CS-D3437A	2.875	20.004
OE-6370	2.984	21.491
OE-7651	2.898	21.591
OE-6631	2.931	21.958
ES-D8557A	2.925	21.768

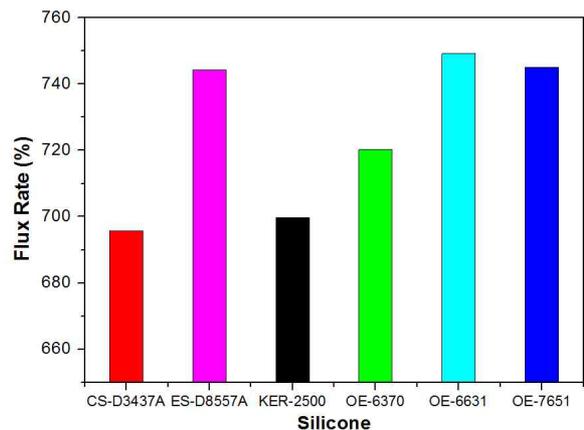


그림 8. 봉지재 주입 전·후 광속 변화

Fig. 8. Flux rate of the sealant injection before and after

그림 8에서 보이는 것과 같이 굴절률이 낮은 3종의 봉지재 광속 변화율은 굴절률이 높은 3종의 광속 변화율보다 낮게 분포하는 것을 확인할 수 있었다. 통상적으로 굴절률이 높을수록 광추출 효율이 높게 나타나며, 광속 변화율이 높은 것이 좋은 봉지재임을 보여주고 있다.

2.3 신뢰성 시험

신뢰성 분석에 사용된 LED 패키지 시료는 재료평가에서 우수하다고 판단된 F사의 4422 칩, I사의 GAL545(녹색 형광체)/R6634(적색 형광체) 형광체, D사의 OE-6631 봉지재를 각각 사용하였다. 또한 그림 1 (b) 및 그림 2와 같이 실리콘 서브 마운틴 기반의 LED 패키지를 시작품으로 제작하여 열저항을 측정하고 신뢰성 시험에 사용되었다. 열저항은 메타시스템사의 열저항 시스템을 사용하여 측정하였으며, 주변온도를 약 25℃에서 30W의 전력을 인가하여 측정된 값을 표 7에 나타내었다. 기존의 COB 패키지 대비 열적 특성의 우수함을 확인하기 위해 비교 진행하였고, 동일한 실리콘 서브 마운틴 패키지 구조에서 서브 마운틴 표면에 증착된 Ag과 Al 재료 간의 차이를 확인을 위해 비교 측정하여 성능을 확인하였다. 열저항은 증착된 Ag과 Al에서 각각 0.625, 0.743K/W이었다.

표 7. 실리콘 서브 마운틴 기반 LED 패키지의 열저항 특성

Table 7. Thermal resistance characteristics of the Si sub-mount based LED package

Parameter	Conven. COB	Ag deposition	Al deposition
K-Factor (mk/W)	16.3126	14.608	14.197
Junction Temp (℃)	76.9816	58.366	63.735
Ambient Temp (℃)	41.4951	40.994	43.115
열저항 (K/W)	1.352	0.625	0.743
Input Current (mA)	800	800	800
V _f (V)	34.5780	36.253	36.169
Pd (mW)	27766	29003	28935

제안한 실리콘 서브 마운틴 기반의 LED 패키지 성능에 대한 신뢰성 분석을 위하여 상온에서 초기부터 1,000시간까지 광속의 변화를 측정하였다. 그림 9와 같이 시험실 주위온도는 25℃를 유지토록 하였으며, 측정은 Instrument System사의 25인치 Integrating Sphere와 CAS140CT Spectrometer를 사용하였다.

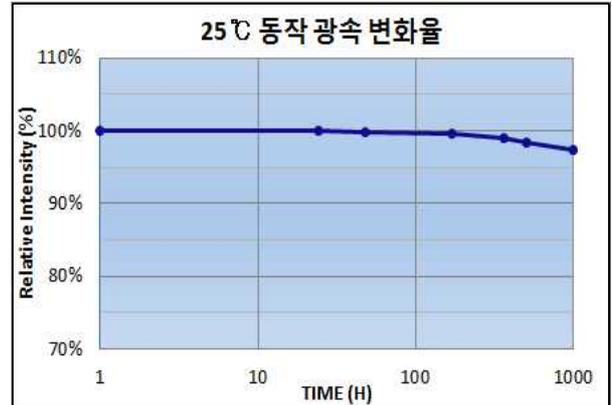


그림 9. 시간에 따른 상온 광속변화율
Fig. 9. Flux rate according to the time change at room temperature

고온동작 시험은 가혹한 환경 하에서 동작 시험을 함으로써 제품의 신뢰성 정도를 확인하는 것이다. 본 시험에서는 고온 80℃의 챔버에 시료를 넣고 전류 800mA를 인가하여 1,000시간까지 LED 패키지 광속의 변화 결과를 그림 10에 나타내었으며, 94.9%의 광속 유지율을 확인하였다.

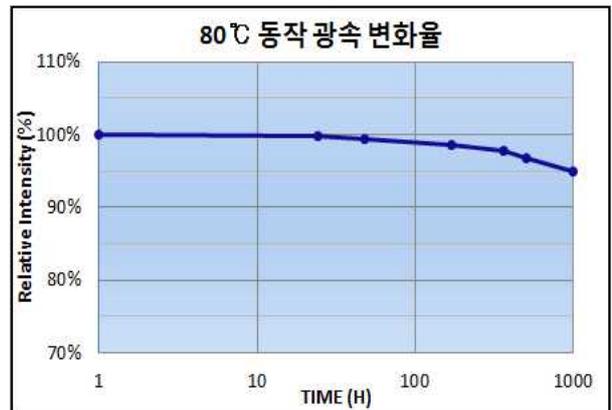


그림 10. 시간에 따른 고온동작 광속변화율
Fig. 10. Flux rate according to the time change at high temperature operation

고온보존 시험은 환경시험의 하나로 80℃ 고온의 열악한 환경에 시료를 방치하여 시간에 따른 광속의 변화를 확인하는 것이다. 그림 11과 같이 1,000시간 보존 후의 98.6%의 광속 유지율을 보이고 있음을 확인하였다.

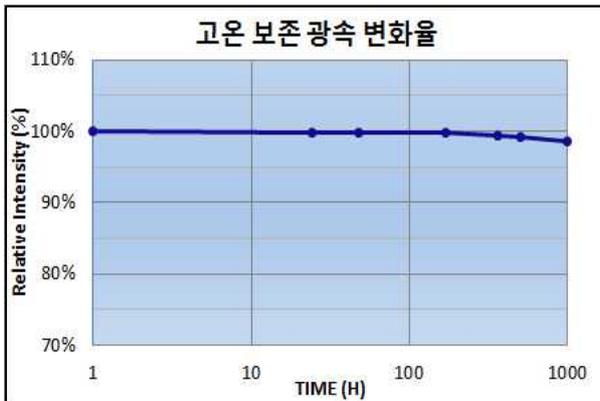


그림 11. 시간에 따른 고온 보존 광속변화율
Fig. 11. Flux rate according to the time change at high temperature storage

저온보존 시험은 -40℃ 저온의 열악한 환경에 인가 전류가 없이 시료를 방치하고 시간에 따른 광속의 변화를 확인하는 것이다. 그림 12와 같이 1,000시간 보존 후의 99.2%의 광속 유지율을 보여주고 있다.

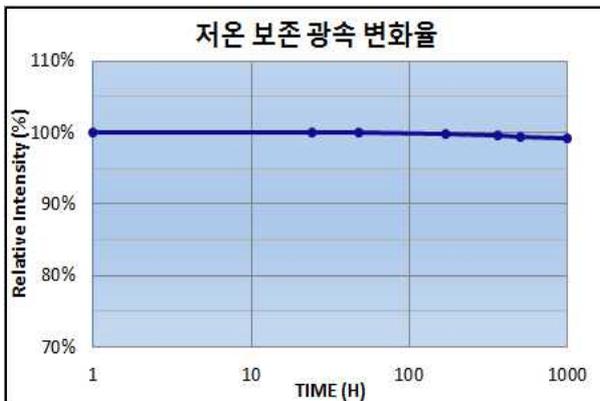


그림 12. 시간에 따른 저온 보존 광속변화율
Fig. 12. Flux rate according to the time change at low temperature storage

고온고습 보존 시험은 온도 85℃, 습도 85%인 챔버 내에 시료를 방치하여 시간에 따른 패키지의 특성 변화를 확인하는 것이다. 500시간까지의 결과를 그림 13과 같이 나타냈으며, 94%의 광속 유지율을 보이고 있다.

열충격 시험은 온도의 급변에 대하여 제품이 견디는 능력을 확인하기 위한 것으로 제품이 성능상으로 적절히 설계되어 있는지 또는 제작되어

있는지의 여부를 온도 변화의 스트레스에 의하여 조사하는 데 목적이 있다. 챔버 내에 -40℃에서 5분 유지한 후에 5초 후 이를 다시 100℃로 바꾸어 5분을 유지하는 것을 1주기로 하여 100주기를 운전하였다. 100주기를 운전한 후 최종 측정은 상온 25℃에서 2시간 이상 방치 후 각각의 시료에 대한 점등상태를 점검하였다. 그 결과 5개의 패키지 시료 모두 정상적으로 점등하는 것을 확인하였으며 그림 14와 같이 초기광속 대비 98.5%의 광속유지율을 보였다.

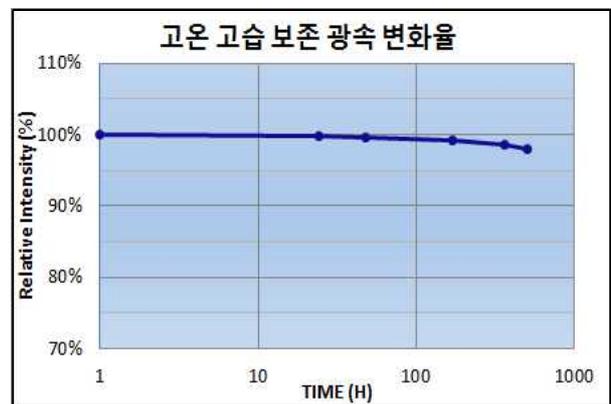


그림 13. 시간에 따른 고온고습 보존 광속변화율
Fig. 13. Flux rate according to the time change at high-temperature and high-humidity storage

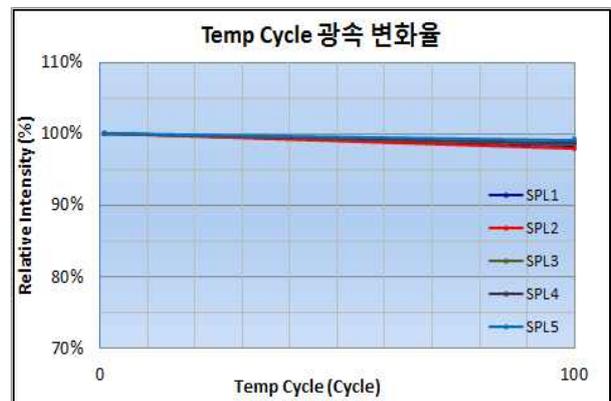


그림 14. Temp Cycle 전·후 광속 변화율
Fig. 14. Flux rate of the temperature cycle before and after

3. 결 론

본 논문에서는 기존의 PLCC 패키지 내에서 가지는 열저항 구간과 금속 PCB의 절연층이 가지는 열저항 구간을 제거함으로써 칩에서 발생하는 열을 2차 방열 부로 신속하게 전달할 수 있는 실리콘 서브 마운틴 기반의 LED 패키지를 제안하였으며, 패키지 설계·제작, 재료평가와 신뢰성 시험을 수행하였다. 제안한 LED 패키지는 칩에 실장되는 베이스를 실리콘 기판으로 사용함으로써 저가격과 칩에서 발생하는 열 방출을 극대화하였다.

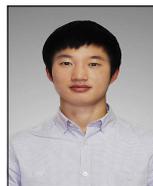
재료평가에서 우수하다고 판단된 F사의 4422 칩, I사의 GAL545(녹색 형광체)/R6634(적색 형광체), 형광체, D사의 OE-6631 봉지재를 각각 신뢰성 분석에 사용하였다. 또한 서브 마운틴 표면에 증착된 Ag과 Al의 열저항은 각각 0.625, 0.743K/W로서 기존 COB 패키지보다 특성이 우수하게 나타났다. 제안한 실리콘 서브 마운틴 기반의 LED 패키지 성능에 대한 신뢰성 분석을 위하여 상온에서 초기부터 1,000시간까지 광속의 변화를 측정하였으며, 고온 동작 시험에서는 94.9%의 광속유지율을 확인하였다. 고온보존 및 저온보존 시험에서는 1,000시간 보존 후의 98.6%, 99.2%의 광속 유지율을 각각 보였다. 고온고습 보존 시험에서는 500시간까지 94%의 광속 유지율을 보였고, 열충격 시험에서는 초기광속 대비 98.5%의 광속유지율을 보였다. 신뢰성 시험 결과를 바탕으로 본 논문에서 제안한 실리콘 서브 마운틴 기반의 LED 패키지는 원활한 열 방출 구조로써 칩과 패키지 재료의 열화를 최소화할 수 있어 고출력 다운 라이트 LED 광원에 적용이 가능할 것으로 사료된다.

References

[1] X.Y. Lu, T.C. Hua, M.J. Liu, Y.X. Cheng, "Thermal analysis of loop heat pipe used for high-power LED," *Thermochimica Acta* vol. 493, no. 1-2, pp. 25-29, Sep. 2009.
 [2] J.H. Choi, *Microelectron. Reliab.* "Thermal investigation of LED lighting module," vol. 52, no. 5, pp. 830-835, May 2012.
 [3] M.Y. Tsai, C.H. Chen, C.S. Kang, "Thermal measurements

and analyses of low-cost high-power LED packages and their modules," *Microelectron. Reliab.* vol. 52, no. 52, pp. 845-854, May 2012.
 [4] H.H. Kim, S.H. Choi, S.H. Shin, Y.K. Lee, S.M. Choi, S. Yi, "Thermal transient characteristics of die attach in high power LED PKG," *Microelectron. Reliab.* vol. 48, no. 3, pp. 445-454, March 2008.
 [5] H. Chen, Y. Lu, Y. Gao, H. Zhang, Z. Chen, "The performance of compact thermal models for LED package," *Thermochimica Acta* vol. 488, no. 1-2, pp. 33-38, May 2009.
 [6] M. Maaspuro, A. Tuominen, "Thermal analysis of LED spot lighting device operating in external natural or forced heat convection," *Microelectron. Reliab.* vol. 53, no. 3, pp. 428-434, March 2013.
 [7] Z. Chuluunbaatar, C. Wang, E.S. Kim, N.Y. Kim, "Thermal analysis of a nano-pore silicon-based substrate using a YAG phosphor supported COB packaged LED module," *Int. J. Therm. Sci.* vol. 86, pp. 307-313, Dec. 2014.
 [8] E. Juntunen, O. Tapaninen, A. Sitomaniemi, V. Heikkinen, "Effect of Phosphor Encapsulant on the Thermal Resistance of a High-Power COB LED Module," *IEEE Trans. Compon. Packag. Manuf. Technol.* vol. 3, no. 7, pp. 1148-1154, July 2013.
 [9] M. Ha, S. Graham, "Development of a thermal resistance model for chip-on-board packaging of high power LED arrays," *Microelectron. Reliab.* vol. 52, no. 52, pp. 836-844, May 2012.
 [10] J.-K. Sim, K. Ashoka, Y.-H. Ra, H.-C. Im, B.-J. Baek, C.-R. Lee, "Characteristic enhancement of white LED lamp using low temperature co-fired ceramic-chip on board package," *Current Appl. Phys.* vol. 12, no. 2, pp. 494-498, March 2012.

◇ 저자소개 ◇



김영필 (金榮必)

1989년 1월 31일생. 2014년 공주대학교 전기전자제어공학과 졸업. 2014년~현재 공주대학교 전기전자제어공학과 석사.



고석철 (高錫喆)

1970년 3월 20일생. 1996년 전북대학교 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전기공학과(석사). 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2003~2004년 한국기초과학지원연구원 전주센터 연구원. 2005~2008년 전남테크노파크 정책기획단 책임연구원, 2008~2012년 충남테크노파크 정책기획단 팀장. 2012년~현재 공주대학교 산학협력단 부교수.