

The Design of 6 inch Down-light by Optimization of the Optical and the Thermal Properties

김성현* · 정영기* · 서범식* · 양종경** · 박대희†
 (Sung-Hyun Kim · Young-Gi Joung · Bum-Sik Seo · Jong-Kyung Yang · Dae-Hee Park)

Abstract - The best methods for distribution controled of LED lighting fixtures is control to designed LED chip array, lens and reflector. However, lens design need distribution design to reflector for low-wattage LED lighting because of difficulty of production and reduction of light efficiency. In addition, it needs maximize of thermal performance to improve the efficiency and reliability of device. As a result, for the height of reflector 40[mm] and Inclination 25[°], we can see the best distribution properties, and, in the thermal properties, junction temperature MCPCB 62.9 [°C], FR4 PCB 89.6 [°C], FR4 PCB from Via-hole is 63.1 [°C]. it may improve for thermal properties for makes the Via-hole.

Key Words : LED, Optical, Distribution, Downlight, Thermal

1. 서론

현재까지 조명으로서의 LED는 그 특유의 지향성을 이용하여 신호를 목적으로 하거나, 광고를 목적의 조명으로 그 역할을 담당하여 왔다. 하지만, 소자의 개발이 이루어짐에 따라 일반적인 조명으로서의 활용에 대한 가능성이 크게 증가하는 추세를 보이고 있다[1]. 현재 LED는 높은 효율과 안전성, 친환경, 긴 수명, 다양한 색상 구현 등의 장점을 가지고 있으며, LCD 디스플레이, 차량용 전조등과정지등, 대형 전광판, 감성조명 및 경관조명, 다리조명, 분수조명 등 장식용 조명부터 실내조명까지 다양한 분야에 적용되며 차세대 광원으로서 부상하고 있다[2-4].

LED 조명 제품은 높은 광 출력을 얻기 위해 인가전류가 증가하고 다량의 LED가 사용되면서 발열이 높아지고 있다[5]. 이러한 열을 내부에서 지속적으로 지니게 되어 효율적인 광 방출을 저해하게 되고, 열적 스트레스가 발생된다. 이는 단기적으로는 광 효율의 저하와 직접적으로 관계되며, 장기적으로는 칩의 수명을 감소시키는 요인이 되어 LED 소자의 신뢰성을 저하시킨다[6,7]. 위와 같은 문제를 해결하기 위해 LED 칩에서 생성된 열을 반드시 주변으로 효과적으로 전달시켜야하며 이로 인해 접합온도를 감소시켜 효율 및 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

또한 고효율 LED 다운라이트에 있어 배광제어를 위한

방법으로는 LED 칩 배열 및 렌즈와 리플렉터 설계를 통해 빛을 제어 한다. 그러나 렌즈설계는 제작이 어렵고 높은 가격적 측면 때문에 렌즈 설계만으로는 LED 조명기구에 있어서는 목표배광을 얻기 힘들다. LED 다운라이트 설계에 있어서 목표 배광을 얻고자 리플렉터 설계 및 칩 배열이 필요 하다[8,9].

본 논문에서는 백열전구 및 콤팩트 형광 램프를 대체할 수 있는 LED 다운라이트를 설계하는데 있으며, 이를 위하여 LED의 조명 구성 요소들에 대한 광학 및 기구 구조에 관한 시뮬레이션을 통하여 리플렉터의 길이 변화에 따른 배광 및 조도 특성을 알아보았다. 또한 MCPCB (metal core printed circuit board) 및 FR4 (flame retardant composition 4) PCB 및 FR4 PCB에 Via-hole 형성에 따른 접합온도 특성을 시뮬레이션을 통해 열 해석 및 온도분포를 확인하였다.

2. 실험 및 시뮬레이션

2.1 목표배광을 위한 광학 설계

LED 다운라이트는 최적화된 배광을 찾기 위해 LED칩 간격을 조정하고 리플렉터의 길이 및 넓이를 조절 하였다. 본 논문에서는 그림 1과 같이 PCB와 리플렉터 내에서의 최대의 배광 특성과 광 출력을 나타낼 수 있는 1W급 고효율 LED (Cree社 XLamp XP-E Q4)를 사용하여 광 특성을 모델링하여 평가하였다. 또한 표 1은 사용된 칩의 광학 특성을 나타내고 이를 바탕으로 16W LED 다운라이트를 구성하여 리플렉터의 높이 및 구조변화에 따른 배광변화를 Light-tools를 이용하여 확인하였다[10].

* 준 회원 : 원광대 공대 정보통신학과 석사과정
 ** 정 회원 : 삼성 LED 연구 1팀 선임 연구원
 † 교신저자, 시니어회원 : 원광대 전기전자 및 정보공학부 교수
 E-mail : parkdh@wonkwang.ac.kr
 접수일자 : 2011년 3월 28일
 최종완료 : 2011년 5월 9일

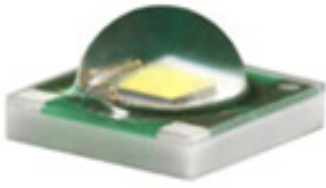


그림 1 LED 패키지
Fig. 1 LED Package

표 1 LED 패키지 스펙
Table 1 LED package spect

IF [mA]	Size [mm]	Color	CCT [K]		View angle [°]	Luminous Flux [lm]
			min	max		
350	3.45 × 3.45	Cool White	5,000	10,000	10,000	115

1W 고출력 LED Chip을 바탕으로 광학 프로그램을 이용하여 Reflecto를 설계하여 구조변화에 따른 배광 특성을 확인 하였다. 또한 목표배광을 얻기 위하여 시뮬레이션을 통해 모델링된 LED 다운라이트의 리플렉터는 반사율 90%로 설정하였으며 리플렉터의 높이 25~65 [mm] 및 기울기 10~30 [°]내에서 각각 높이 5 [mm], 기울기 5°씩 변화를 주어 배광 특성을 확인 하였다. 또한 램버시안 배광 분포를 위해 LED 패키지의 간격을 변화하면서 그에 따른 배광을 Ray-tracing을 이용하여 최적화 하였다.

2.2 PCB 구조 및 열 시뮬레이션

그림 3은 Metal PCB와 FR4 PCB, Via-hole이 형성된 FR4 PCB의 단면을 나타낸다. Metal PCB의 Al 열전도도는 150 [W-m. K]이며 FR4 PCB의 FR4 열전도도는 0.2 [W-m. K]로 열전도도의 차이로 인하여 High Power LED의 높은 열을 원활하게 방출시키기 위해서 Metal PCB를 사용하게 된다. 하지만 FR4 PCB에 Via-hole을 형성하면 LED PKG의 Heat slug에서 발생하는 열이 Via-hole을 타고 직접적으로 방열부까지 전달이 되는 장점이 있다.

시뮬레이션을 통한 열 분포는 CFDesign V10을 이용하여 해석하였으며, 외부 환경 조건은 그림 3과 같이 LED Chip Heat Power 1 [W]를 인가하여 그에 따른 특성을 확인 하였다. 외부 환경 조건은 압력은 0 [psi], 외부온도는 25 [°C]로 설정하여 강제대류가 아닌 자연대류에 의한 영향만 고려하였다. 또한 FR4 PCB에 Via-hole을 형성함으로써 MCPCB에 버금가는 특성을 얻고자 하였으며 표 2는 열 해석 시뮬레이션에 사용된 FR4 PCB와 MCPCB의 각층의 구조와 서로 다른 열전도도 및 두께를 나타낸다. 이때 FR4 PCB에 사용된 Via-hole 사이즈는 0.3 [mm]로 형성하였다.

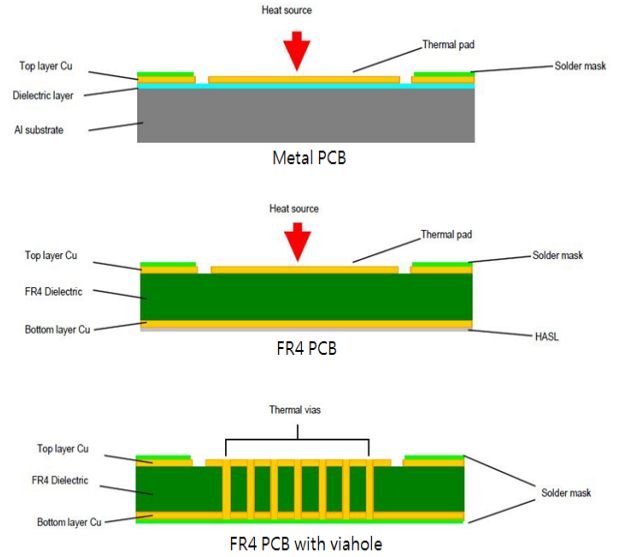


그림 2 PCB 종류와 구조
Fig. 2 Type and construction of PCB

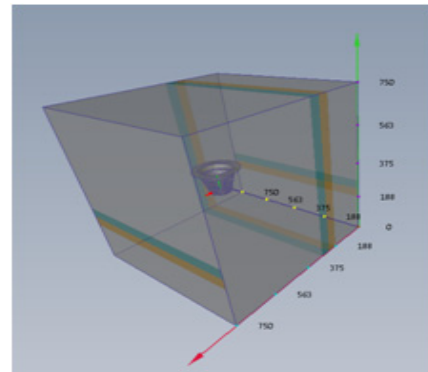


그림 3 공간 설정
Fig. 3 Room state set space

표 2 PCB 특성
Table 2 Characteristics of PCB

	Layer/ Material	Thickness (μm)	Thermal conductivity (W/mk)
FR4	SnAgCu solder	75	58
	Top layer copper	70	398
	FR-4	1500	0.2
	Bottom layer copper	70	398
	ENIG	35	58
MC PCB	SnAgCu solder	75	58
	Top layer copper	70	398
	PCB dielectric	100	2.2
	Al plate	1500	150

3. 결과 및 고찰

3.1 시뮬레이션을 통한 광학 특성

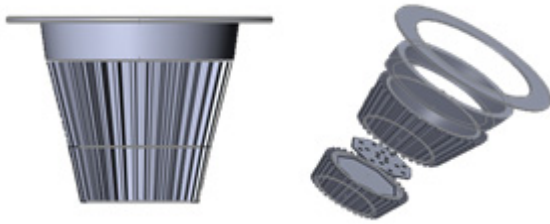


그림 4 다운라이트 리플렉터 설계
Fig. 4 Reflector Design of downlight

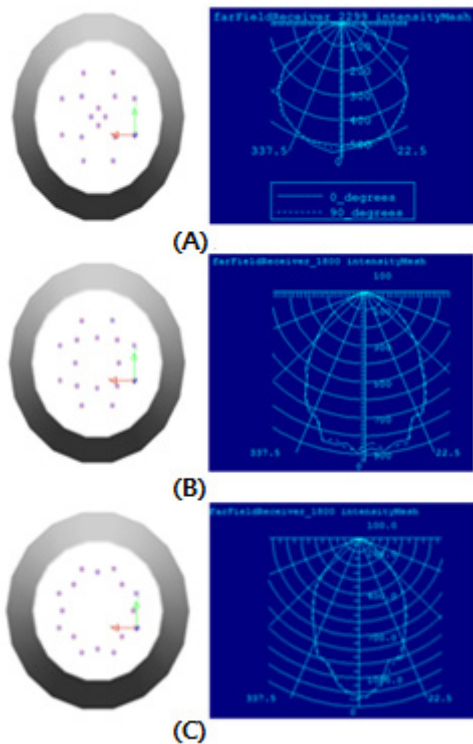
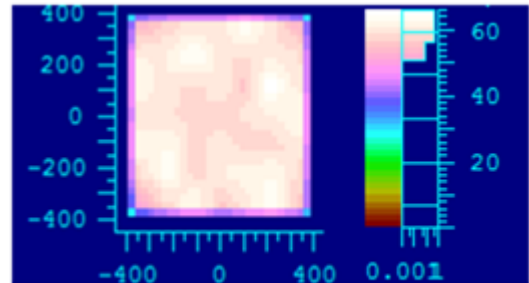


그림 5 칩 배열에 따른 배광 특성
Fig. 5 Reflector Design

모델링된 16W급 LED 다운라이트는 그림 4에서와 같으며 리플렉터의 특성은 상단부 크기는 직경 145 [mm], 하단부 크기는 100 [mm], PCB 위치는 리플렉터 높이의 중앙인 40 [mm]에 위치로 설정 하였으며 상단부와 하단부의 기울기기는 25 [°]일 때 가장 균일한 배광 특성을 보였다. LED의 경우 기존의 광원과 달리 점광원 형태로서 LED 패키지의 배광 특성을 바탕으로 어떻게 배열하느냐에 따라 광원 설계 시 많은 영향을 끼친다. 이를 바탕으로 광학 프로그램을 이용하여 LED 칩의 배열 변화를 주어 시뮬레이션 한 결과 그림 5에서와 같이 간격 및 위치에 따라 여러 형태의 배광 특성을 확인 하였다. 또한 보다 균일한 배광을 설계하기 위해서 최대 지향각을 약 60도, PCB 발광부분의 위치는 40 [mm]에 위치하였을 때 반사되는 빛을 모아 (a)와 같은 배광

을 얻을 수 있었으며 LED 칩을 좌우 대칭형태 및 균일한 간격을 유지 하였을 때 램버시안 형태의 균일한 배광 특성을 얻을 수 있었다. 또한 시뮬레이션 상에서의 (a)의 최대광속은 1,569 [lm]으로 약 2 [%]로써 리플렉터에 의해 손실이 생기는 것을 확인 할 수 있었다.



(A) 노면조도 특성

		X[mm]							Illuminance, Lux	
		-400	-280	140	0	140	280	400		
Y[mm]	400	30	33	33	31	31	31	30	36	
	280	33	32	31	34	33	30	31	35	
	140	30	36	34	33	33	31	35	34	
	0	32	31	33	32	34	31	33	33	
	-140	31	34	33	33	32	33	30	32	
-280	32	30	33	32	32	33	33	31		
-400	32	32	33	33	31	33	31	30		
		X[mm]								

(B) 수치화한 노면조도

그림 6 LED 다운라이트 조도 특성
Fig. 6 Characteristics Illumination LED downlight

그림 6은 시뮬레이션상에서 리시버의 면적을 4m × 4m, 광원으로부터 4 [m] 높이 설정을 주어 조도특성의 결과 값을 나타낸 것이다. (a)는 노면에서의 균일한 조도특성을 보이며, (b)는 이러한 특성 값을 수치화한 노면조도 값을 나타낸다. 이에 따른 Far field receiver 내에서의 노면조도 값은 최소 29.87 [lux]에서 최대 35.68 [lux]가 나왔으며 평균 노면조도 값은 32.15 [lux]임을 확인하였다.

3.2 열 시뮬레이션에 따른 접합온도 특성

그림 7은 PCB에 따른 열 전달 분포를 나타내고 있다. FR4 PCB의 열전도율이 낮아 열전달이 원활하게 이루어지지 않아 Heatsink로 열 전달이 원활하게 이루어지지 않은 것을 (b)를 통해 알 수 있으며, 이는 열이 패키지에 집중되어 Heatsink의 온도가 낮게 나온 것이다. 또한 Via-hole을 형성한 FR4 PCB의 열전도율은 낮지만 발생된 열이 Via-hole을 통해 Heatsink로 원활하게 전도되어 MCPCB와 유사한 열 전달 분포 특성을 나타나는 것을 (a),(c)를 통해 알 수 있다.

또한 시뮬레이션에서의 접합온도 특성은 MCPCB 62.9 [°C], FR4 PCB 89.6 [°C], Via-hole이 형성된 FR4 PCB 63.1 [°C]를 나타내었다. 이는 열 분포 특성에서와 같이 FR4

PCB에 Via-hole을 형성함으로써 MCPCB와 유사한 접합 온도 특성을 보여 주었으며 이는 PCB에 Via-hole을 형성하는 것이 열전달 능력을 향상시키는 것을 알 수 있었다.

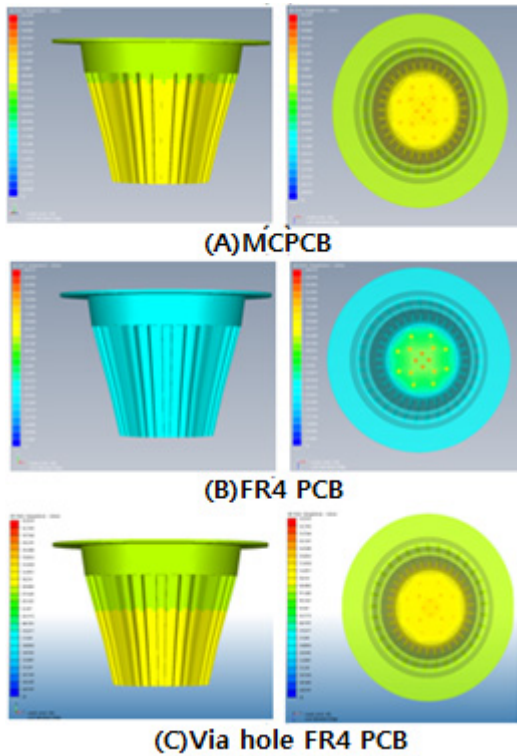


그림 7 CFD 시뮬레이션을 이용한 온도분포
Fig. 7 Distribution of temperature by CFD simulation

4. 결 론

본 논문에서는 조명 제작에 있어 등기구 효율 및 조도, 균일도 향상을 위한 광학적 설계나 신뢰성 향상을 위한 목적으로 리플렉터를 통해 배광을 조절하였다. LED 칩 간격과 대칭구조를 통해 배광을 조절하여 LED 다운라이트를 설계 및 분석 하였다. 시뮬레이션 결과 리플렉터의 높이 40 [mm], 기울기 25 [°], 칩의 간격을 대칭 형태로 배열 하였을 때 균일한 배광을 얻고 높은 광 효율을 얻을 수 있었다.

또한 방열설계에 있어서 LED 다운라이트의 접합온도와 열 분포에서는 FR4 PCB에 Via-hole을 형성하면 MCPCB와 비슷한 온도를 낼 수 있다. 또 시뮬레이션 결과를 분석하면 패키지 주위에서 열이 많이 발생하기 때문에 Heat-slug부분과 패키지 주위에 Via-hole을 형성하는 것이 열전달 능력을 향상시키는데 도움을 줄 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 호남 광역경제권 선도 산업 기술개발 사업에서 지원하는 “실감형 조명 연출을 위한 옴니버스 LED 조명 장치 개발”의 지원에 의해 작성 되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Seung-Gyun Jung, Dae-II Seok, Hwa-Young Shin, Chang-Mo Lee, Hoon Kim “The Development of Secondary Optics Design Method for LED”, Journal for the KIEE, Vol. 21, No. 6, pp 26-32, 2007
- [2] Jianzheng Hu, Lianqiao Yang and Moo-Whan Shin, “Electrical, optical and thermal degradation of high power GaN/InGaN light-emitting diodes”, J. Phys. d:Appl. Phys. 41, 2008.
- [3] 신무환, 김재필, “LED 패키징 기술 입문”, 북스힐, p. 283, 2009.
- [4] S. J. Lee and J. C. Lee, “Design and evaluation of LCD backlight unit by LED array modules”, Trans. Electr. Electron. Mater., Vol. 9, No. 3, p. 110, 2008.
- [5] Seung-Min Lee, Se-II Lee, Jong-Kyung Yang Jong-Chan Lee and Dae-Hee Park, “Optimization of Heatsink and Analysis of Thermal Property in 75W LED Module for Street Lighting”, Trans. KIEE, Vol. 59, No. 3, pp. 609-613, 2010
- [6] Jeong Park, Moow han Shin, chin C. Lee, “Measurement of temperature profiles on visible light-emitting diodes by use of a nematic liquid crystal and an infrared laser”, OPTICS LETTERS, vol.29, No.22, pp. 2656-2658, Nov. 15, 2004.
- [7] S. L. Chuang, “Degradation of II-VI blue-green semiconductor lasers”, IEEE J. Quant. Elec, Vol. 33, p. 970, 1997.
- [8] 김경은, 김영채, 어익수, “ 다운라이트 조명기구에서 LED개별 및 전체 반사판 설계”, 대한전기학회 하계학술대회, pp. 1497-1498, 2008
- [9] 김유신, 유민정, 최안섭, “ LED 프리즘 조명기구의 광학설계를 위한 조명광학설계 소프트웨어 비교 연구”, 조명전기설비학회지, pp.15-18, 2009
- [10] 여인선, 박준석, 김완호, “LightTools을 사용한 LED의 조명광학설계”, 조명전기설비학회지 Vol. 16, No.1, pp. 14-19, 2002

저 자 소 개



김 성 현 (金 成 賢)

1984년 11월 07일생. 2010년 3월 원광대학교 공대 전기전자 및 정보통신공학부 정보통신 졸업. 현재 동대 대학원 정보통신학과 석사과정.

Tel : 063-850-6349

Fax : 063-857-6890

E-mail : fierstart@hanmail.net



정 영 기 (鄭 永 基)

1984년 04월 20일생. 2010년 3월 원광대학교 공대 전기전자 및 정보통신공학부 정보통신 졸업. 현재 동대 대학원 정보통신학과 석사과정.

Tel : 063-850-6349

Fax : 063-857-6890

E-mail : slop1420@nate.com



서 범 식 (西 範 植)

1985년 06월 29일생. 2011년 3월 원광대학교 공대 전기전자 및 정보통신공학부 정보통신 졸업. 현재 동대 대학원 정보통신학과 석사과정.

Tel : 063-850-6349

Fax : 063-857-6890

E-mail : sebam@nate.com



양 종 경 (梁 種 暻)

1980년 1월 13일생. 2001년 8월 원광대학교 공대 전기·전자 공학부 제어계측 졸업. 2005년 현재 원광대학교 공대 전자재료 공학과 석사 졸업, 박사수료. 현재 삼성 LED 선임 연구원.

Tel : 063-850-6349

Fax : 063-857-6890

E-mail : duck2214@hanmail.net



박 대 희 (朴 大 熙)

1954년 11월 10일생. 1979년 한양대 전기공학과 졸업. 1983년 동대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 일본 오사카대학 대학원 졸업(공학박사). 1979~1991년 LG 전선 연구소 선임연구원. 1991년~현재 원광대학교 공과대학 전기·전자 및 정보공학부 교수.

Tel : 063-850-6349

Fax : 063-857-6890

E-mail : parkdh@wonkwang.ac.kr