

## 고출력 LED 모델링 및 광학적 특성 분석

한정아 · 김종태<sup>†</sup>

부경대학교 화상정보공학부  
☎ 608-739, 부산시 남구 용당동 산 100

(2007년 4월 9일 받음, 2007년 4월 16일 수정본 받음)

새로운 광원으로 각종 조명장치에 응용이 되는 고출력 LED 광원의 물리적 구조로부터 시뮬레이션을 통하여 광학적 특성을 분석하였다. 설계한 LED 광원이 신뢰할 수 있는 결과를 얻기 위하여 die chip과 reflector cup의 구조적 특성을 변화시켰으며, 그 결과 Lambertian 형태의 배광 분포를 가지며, 반치 폭(Viewing angle)은 140°, Total Included Angle은 160°를 갖는 고출력 LED 광원을 설계하였다.

주제어 : LED, Lens, 조명설계

### I. 서 론

초기의 LED(Light Emitting Diode)는 광 출력이 낮고, 특정 색만 표현이 가능하여 가전제품이나 각종 기계장치의 표시 용 소자로 많이 사용되었다. 하지만 지속적인 고출력에 대한 연구 개발과 최근의 반도체 기술의 발달로 인해 LED의 소비 전력은 줄어들고 효율은 더욱 높아졌으며, 고휘도의 청색, 적색, 백색 등의 다양한 색 표현이 가능하게 되어 우리 생활 곳곳에서 사용되기 시작하였다.<sup>[1-3]</sup> 가장 흔하게 볼 수 있는 예로 휴대폰의 액정 표시 장치(LCD)와 키패드용 백라이트(Backlight)를 들 수 있으며, 그 밖에 교통 신호등, 대형 전광판, 항공 유도등, 자동차의 표시등, 각종 계기판 등과 같이 다양한 디스플레이로 사용되고 있다. 이외에도 LED는 최근 복원된 청계천과 부산의 광안대교처럼 야간의 볼거리를 밝히기 위한 방법인 경관 조명(Architecture lighting)에도 이용되고 있다. 그리고 LED의 발광 효율이 급속히 증가하면서 표시용 소자와 디스플레이 위주로 사용되던 LED를 일반 조명으로 사용하고자 하는 노력이 전 세계적으로 확산되고 있다. 이는 LED 광원이 기존의 조명기기보다 저 소비전력, 긴 수명, 뛰어난 견고성 및 낮은 전압 구동으로 인한 안정성과 소형화가 가능하다는 장점으로 인해 빛이 필요한 다양한 곳에 응용될 수 있을 것으로 전망되기 때문이다.<sup>[4]</sup> 특히 교토의 정서 협약과 함께 전 세계적으로 환경에 대한 관심이 증가하면서 LED는 에너지 절감효과와 환경보전이라는 측면에서 백열등, 형광등과 같은 기존의 조명기기를 대체할 차세대 조명광원으로써 주목받고 있으며 이미 미국, 일본, 유럽 등의 선진국에서는 국가적인 과제로서 차세대 조명용 LED 광원을 개발을 추진하고 있다.<sup>[5,6]</sup> 이와 같이 일반 조명 광원과 특수 조명 등의 다목적으로 이용되는 LED 광원을 개발하기

위해서는 제품 개발 전에 충분한 광학적 특성 분석을 통한 정확한 광학적 설계가 이루어져야 한다.

따라서 본 연구에서는 LED 광원의 광학적 특성을 정확히 구현함으로써 2차 광학계(Secondary Optics)설계시 광원에 의한 오차를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 다양한 용도의 조명용 광원으로 이용될 수 있는 고출력 LED 광원을 상용 조명 설계프로그램인 ORA사의 LightTools를 이용하여 모델링하고, 시뮬레이션을 통해 LED 광원의 배광분포 등의 광학적 특성을 분석하였다.

### II. 본 론

#### 2.1 이론적 배경

LED의 광 출력(Light output)은 측광학(Photometric measurement) 단위인 광속과 광도로 나타낼 수 있다. 광속(Luminous Flux,  $\Phi_v$ )은 광원으로부터 나오는 광의 총량을 의미하며 단위는 lumen[lm]이고, 광도(Luminous Intensity,  $I_v$ )는 단위 입체각 당 광속을 의미하며 단위는 candela[cd]이다. 단위 입체각이란, 반지름이 r인 구에서 표면의 면적이 A인 부분과 구의 중심이 이루는 입체각을 의미한다. 입체각  $w$ 는  $w = \frac{A}{r^2}$ 으로 나타내며, 단위는 steradian[sr]이다. 따라서 광속과 광도의 관계를 다음과 같이 표현할 수 있다.<sup>[7,8]</sup>

$$I_v = \frac{\Phi_v}{w}, \quad \Phi_v = I_v w$$

#### 2.2 고출력 LED 모델링

LED 모델링은 정확한 데이터에 근거하여 설계하여야 신뢰할 수 있는 결과를 얻을 수 있다. 각 제조 회사에서 제공하는 설계 데이터(Data sheet)에는 제품의 기구적 설계 데이터(Mechanical Design Data)가 포함되어 있어 이를 바탕으로

<sup>†</sup> E-mail: jtkim@pknu.ac.kr

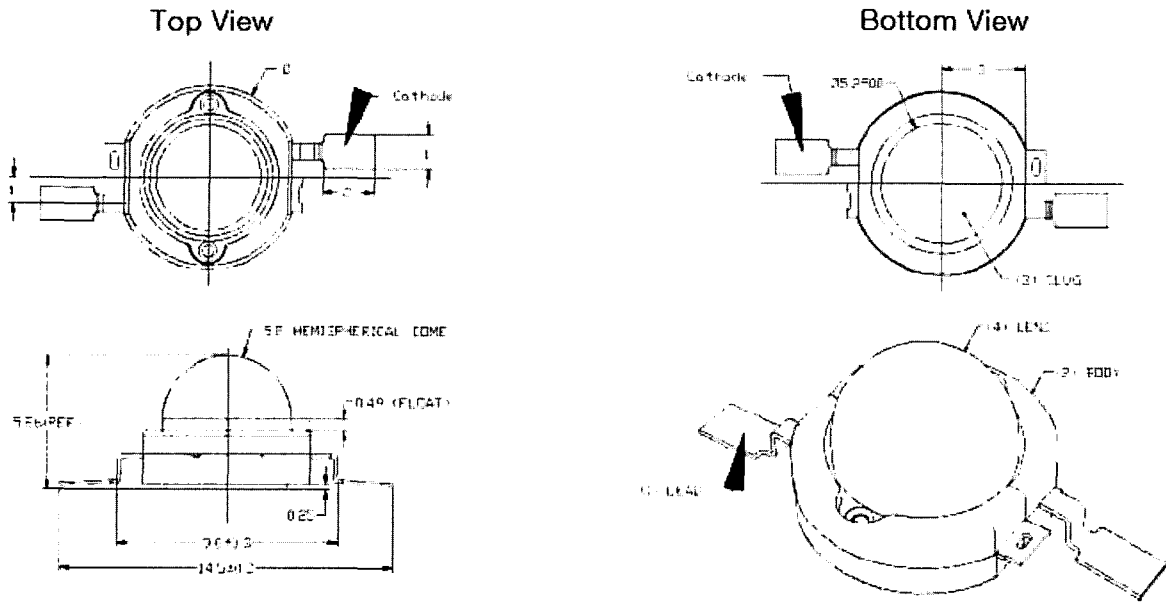


그림 1. Luxeon Emitter LED의 구조.

표 1. Luxeon Emitter LED의 광학적 특징(350 mA  $T_j = 25^\circ\text{C}$ )

| 제품명       | Color | Luminous Flux[lm] | Total Included Angle, $\theta_{0.9v}$ | Viewing Angle, $2\theta_{1/2}$ |
|-----------|-------|-------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| LXHL-PM01 | Green | 53                | 160                                   | 140                            |

하면 실제 제품의 구조와 크기에 유사한 LED를 설계할 수 있다. 그러나 이 설계 데이터에는 LED에 사용된 물질의 재질에 관한 정보는 제공하지 않기 때문에 입력한 물질의 재질의 종류와 반사율, 그리고 투과율과 같은 물질의 특성에 따라 설계 데이터에 명시된 특성과는 전혀 다른 성능을 가진 LED가 모델링 될 수 있다. 따라서 더욱 정확한 시뮬레이션 결과를 얻기 위해서는 실제 LED에 근접하게 외형을 설계한 뒤 가능한 die chip의 크기, 반사 컵 및 실리콘 렌즈 등의 각 특성에 맞는 적절한 재질을 선택해야 하며 그 외에 광속, 투과율과 반사율, 파장 등의 광학적 특성을 나타내는 데이터 입력이 필요하다.

본 논문에서 기본 모델이 된 LED는 Lumileds의 Luxeon emitter type이며 빛의 배광형태가 Lambertian인 Green LED를 선택하였다.<sup>[9]</sup> 그림 1과 그림 2, 표 1은 선택한 고휘력 LED의 스펙과 배광분포 및 Luxeon emitter LED의 광학적 특성을 나타내고 있다. 그림 3은 제조회사의 Data-sheet를 바탕으로 설계한 것으로, LED가 모델링 되어 가는 모습을 순서대로 나타내고 있다. LED 광원의 광학적 특성은 die chip의 크기, 반사 컵의 크기와 형태 위치 그리고 실리콘 컵 렌즈의 형태에 의해 기본적인 성능이 좌우된다고 볼 수 있다. 따라서 먼저 렌즈와 반사 컵, LED 칩을 제작사의 자료를 토대로 기본배치를 한다. 제조회사의 Data-sheet와 비교해서 더욱 정확한 모델링 결과를 얻기 위해 die, reflector cup, 렌즈의 반사율, 크기 각각의 위치관계 및 광학적 특성을 정의한 후,

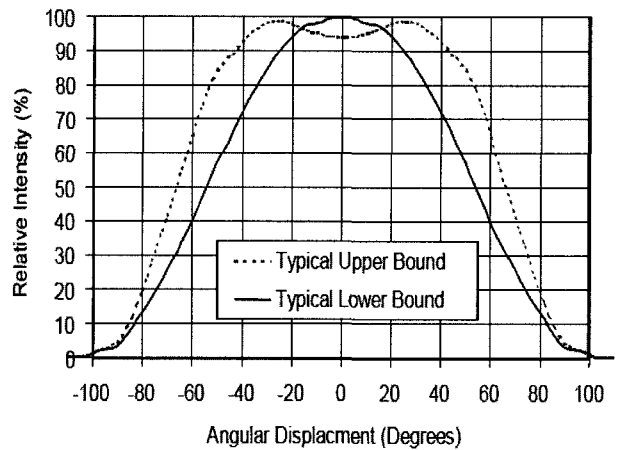


그림 2. Luxeon Emitter LED의 배광특성.

LED 칩과 반사 컵을 실제 모델과 근접한 위치에 배치한다. 그런 다음, 실제 모델과 외형적 형태가 같도록 컵 렌즈를 설계한다. 설계한 LED의 광속은 53[lm]으로 설정하였고, 중심 파장이 530 nm이고 선폭(FWHM)이 35 nm인 Green 파장을 선택하였다.<sup>[10-12]</sup> 이렇게 완성한 LED 광원에 Far Field Receiver를 두어 광선 추적한 결과를 살펴보고, 시뮬레이션 결과로 얻어진 광도와 배광분포 그래프, CIE 색 좌표 등을 통하여 설계한 LED의 광학적 특성을 분석해 보았다.

그림 4는 입력한 Green 파장의 스펙트럼을 파장에 따른 상

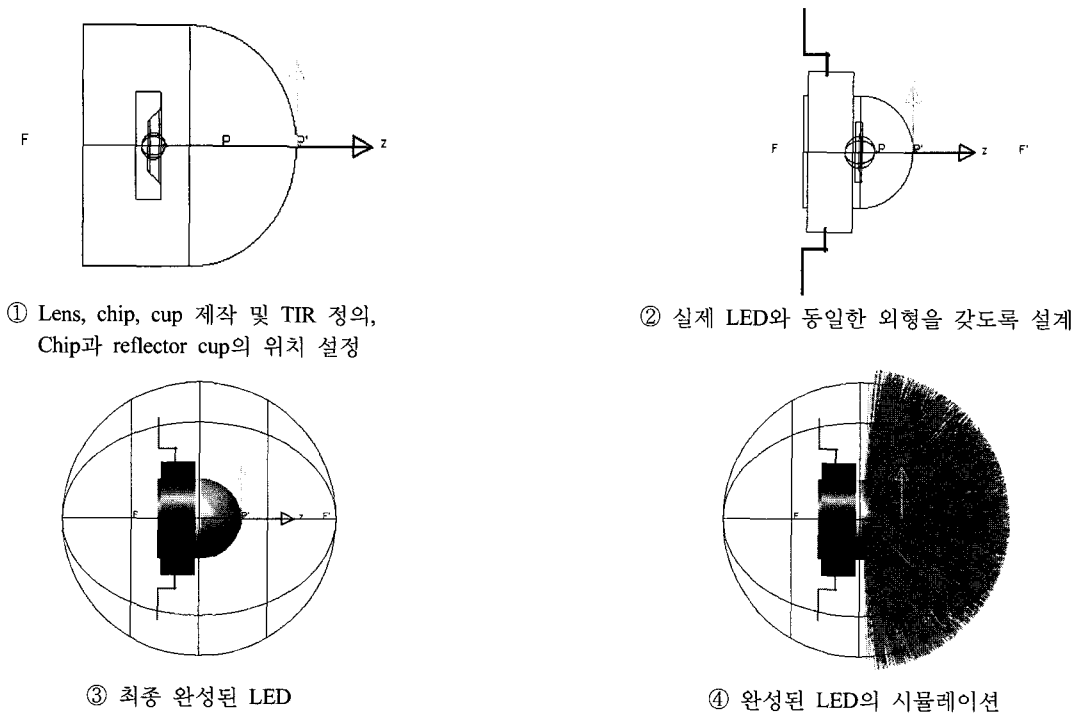


그림 3. LED 모델링 순서.

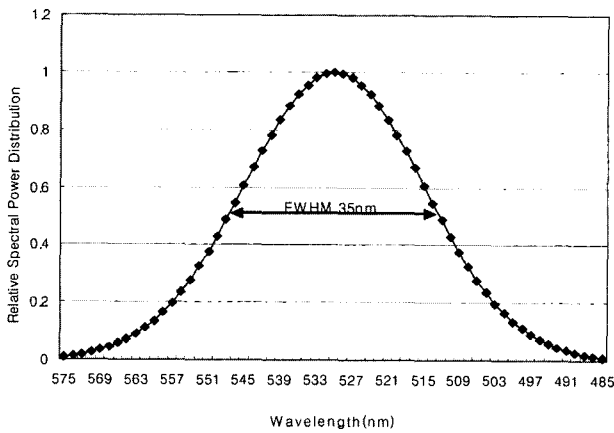


그림 4. Green Spectrum.

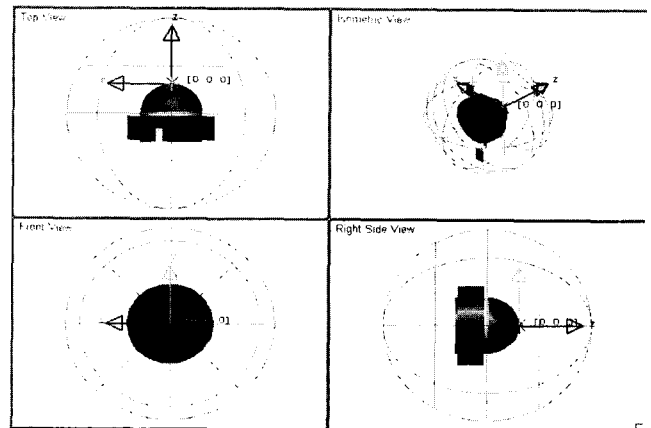


그림 5. 모델링 한 LED의 4면 투영도.

대적인 분광 세기 분포(Relative Spectral Power Distribution)로 나타낸 것이고, 그림 5는 광학설계프로그램을 이용하여 모델링 한 LED의 4면 투영도를 나타내고 있다.

### 2.3 시뮬레이션 결과

다음 그림들은 ORA사의 사용프로그램인 LightTools를 이용하여 설계한 LED의 시뮬레이션 결과를 각각 나타내고 있다. 그림 6은 설계한 LED의 배광 분포(Radiation Pattern)를 보여주고 있으며 배광 분포의 형태가 Lambertian임을 알 수 있다. 그림 7은 각도(Angle)에 따른 표준광도(Normalized Intensity)를 그래프로 표현한 것으로 LED Spec.(Lmileds, LXHL\_PM01)

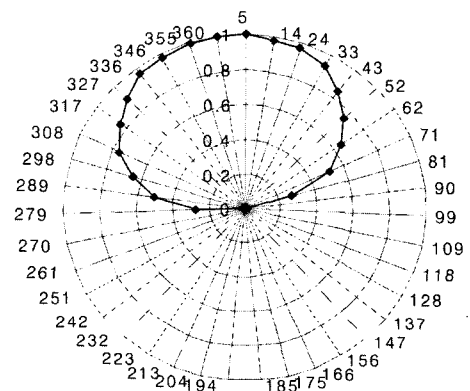


그림 6. 모델링 한 LED의 배광 분포.

과 모델링 한 LED(LT Model)의 배광 분포를 서로 비교하여 나타내고 있다. LED Spec과 모델링 한 LED의 오차범위가 3.51%인 점을 감안할 때, 모델링 한 LED와 LED Spec은 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

그림 8은 시뮬레이션을 통한 LED의 Viewing Angle을 나

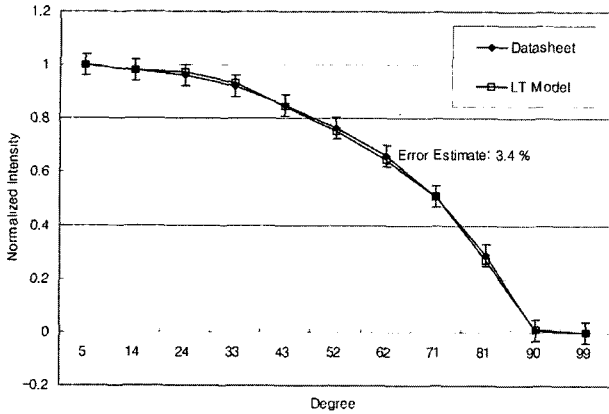


그림 7. LED Spec과 설계한 LED의 배광 분포.

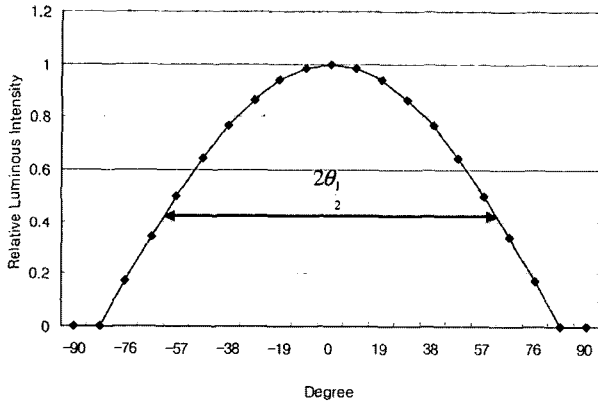


그림 8. LT Model에 대한 배광 분포.

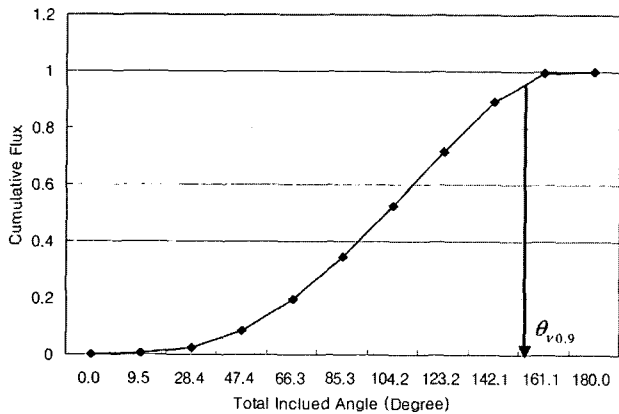


그림 9. LT Model의 Total Flux vs. Included angle.

타내고 있으며 이 값은 Data-sheet에 명시된 140°와 일치함을 알 수 있다. 또한 그림 9는 전체 광속에 대한 Total Included Angle을 보여주고 있는데 이 역시 160°에 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

그림 10은 CIE x, y 색 좌표를 나타내고 있으며, 초기에 설정한 530 nm 부분에 출력 좌표가 타점된 것을 알 수 있다. 타점된 CIE x, y 색도점을 바탕으로 하여 주파장(Dominant wavelength)을 구해 본 결과, LED 모델링 초기에 설정하였던 peak wavelength 530 nm와 거의 일치함을 알 수 있었다. 그림 11은 Far field receiver를 통해 광선을 추적한 결과를 3D Raster chart로 나타내었다. 최대 Luminous Intensity가 14.934 candela 이고, 중심에서 균일한 빛 분포를 확인할 수 있다.

이상의 시뮬레이션 결과를 표로 나타내어 보면 다음과 같다.

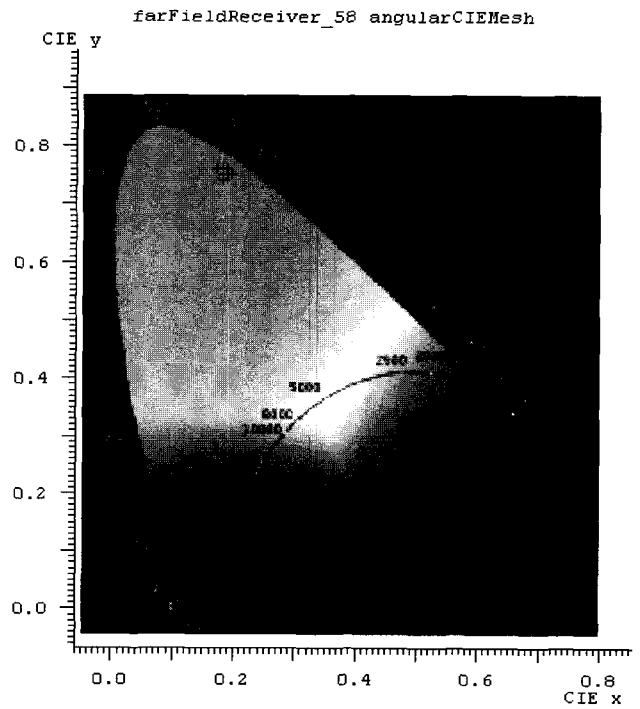


그림 10. 모델링 한 LED의 색좌표.

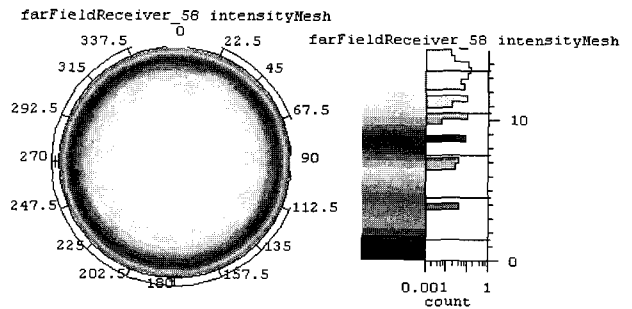


그림 11. 3D Raster Chart.

표 2. Optical Specification of LT Model

|                           |            | Symbol                | Min.     | Typ.             | Max.             |
|---------------------------|------------|-----------------------|----------|------------------|------------------|
| Luminous Flux[lm]         |            | $\Phi_v$              |          | 52.286           |                  |
| Luminous Intensity[cd]    |            | $I_v$                 | 0        | 4.161            | 14.934           |
| Total Included Angle[deg] |            | $\theta_{0.9v}$       |          | 160°             |                  |
| Viewing Angle[deg]        |            | $2\theta_{1/2}$       |          | 140°             |                  |
| Radiation Pattern         | Lambertian |                       |          |                  |                  |
| Color                     | Green      | x, y                  | x=0, y=0 | x=0.183, y=0.756 | x=0.229, y=0.753 |
| Spectral Half-Width[nm]   |            | $\Delta\lambda_{1/2}$ |          | 35               |                  |

### III. 결 론

본 논문에서는 Lumileds, LXHL\_PM01과 동일한 광학적 특성을 갖는 모델을 제조회사의 스펙(Data-sheet)에 기초하여 설계하였으며, 시뮬레이션을 통하여 설계한 LED의 광학적 특성을 분석해 보았다. 그 결과, 설계한 LED 광원은 제조회사의 Data-sheet의 LED spec과 배광 분포 오차 범위가 3.4% 이고 배광 분포 형태, 반치 폭(Viewing Angle), Total Included Angle, 그리고 색도 좌표등의 결과가 제조회사의 데이터와 거의 일치하고 있음을 알 수 있었다. 또한 시뮬레이션 분석 작업을 통하여 LED 광원을 설계할 때, Data-sheet에 기초한 정확한 데이터 입력과 적절한 재질 및 광학적 특성을 선택하여야 신뢰할 수 있는 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 신뢰할 수 있는 결과를 얻기 위해서는 LED 광원의 광학적 특성을 충분히 분석하는 것과 정확하게 LED를 모델링 하는 작업을 반복하여 그 오차를 줄여 나가도록 해야 한다. 이렇게 완성된 LED 광원을 이용하여 다양한 조명 광원으로의 응용이 가능할 것이다. 또한 렌즈 형태의 변화 및 2차 광학계(Secondary optics)를 이용하여 원하는 배광 분포를 갖도록 광학적 특성을 향상시킨 LED 광원으로의 응용이 가능하게 될 것이다.

### IV. 참고문헌

[1] 홍창희, 전북대학교 반도체 물성 연구소, “고휘도 LED의 연구 개발 동향”, 한국조명전기설비학회지: 조명전기설비, 1225-1135, 제18권 3호, pp. 3-10, 2004.  
 [2] ISENA National conference 2004 LED Paper, “The Emergence of LEDs-Luminance to Illumination”.

[3] Daniel A. Steigerwald, Jerome C. Bhat, Dave Collins, Robert M. Fletcher, Mari Ochiai Holcomb, and Michael J. Ludowise, *Member, IEEE, Paul S. Martin, and Serge L. Rudaz*, “Illumination With Solid State Lighting Technology,” IEEE journal on selected topics in quantum electronics, vol. 8, no. 2, MARCH/APRIL 2002.  
 [4] Gerard Harbers and Christoph Hoelen, “LP.2: High Performance LCD Backlighting using High Intensity Red, Green and Blue LED,” Society for Information Display (SID) International Symposium 2001: Digest of Technology Paper.  
 [5] 류기호, “고휘도 White LED의 기술개발동향과 특허동향”, 한국특허정보원, 2005. <http://library.etri.re.kr/library/servlet/NationTaskSrch?mode=62>.  
 [6] 기획리포트, “백색 LED” [기술 동향], 한국전자산업진흥회, 2002, [http://www.gokea.org/neweak/search\\_result.htm](http://www.gokea.org/neweak/search_result.htm)  
 [7] Ryer, Alex. 1998. *Light Measurement Handbook*. Newburyport, MA: International Light. Available at <http://www.intl-light.com/handbook/>  
 [8] Dr. Mark Rea and Dr. John Van Derlofske of Lighting Research Center; Dr. William Cassarly and Stuart David of Optical Research Center. 2000. *Illumination Fundamentals*. Available at <http://www.opticalres.com/lt/illuminationfund>.  
 [9] [www.lumileds.com](http://www.lumileds.com).  
 [10] LightTools Seminar Notes, “LED Modeling Pros and Cons of Various Approaches,” ORA, 2001.  
 [11] LightTools Seminar Notes, “Illumination Module Seminar,” ORA, 2000.  
 [12] Arthur Davis, Reflexite Display Optics, Technical Paper, “Microstructured Optics for LED Applications,” October, 2002.

## Modeling and Analysis of Optical Property For High Power LED

Jeong A Han and Jong Tae Kim<sup>†</sup>

*Division of Imaging Science & Technology, Pukyong National University,  
San 100, Yongdang-dong, Nam-gu, Busan 608-739, Korea*

<sup>†</sup>*E-mail: jtkim@pknu.ac.kr*

(Received April 9, 2007, Revised manuscript April 16, 2007)

A high power LED which is being used in many illumination applications as a new light source was simulated for its physical structure and then its optical properties were analyzed. To obtain accurate results from the designed LED model, properties of the die chip and reflector cup were varied. As a result, a high power LED model which has a radiation pattern of a Lambertian with its viewing angle of approximately  $140^\circ$  and total included angle of  $160^\circ$  was designed.

OCIS code : 080.3630, 220.2740, 120.4610.