

고휘도 LED에 대한 광학설계법에 관한 연구

(Research of Optical Design Method for High Brightness LED)

이창모* · 김기훈 · 정승균 · 한중성 · 김 훈

(Chang-Mo Lee · Gi-Hoon Kim · Seung-Gyun Jung · Jong-Sung Han · Hoon Kim)

Abstract

기존 광원은 그 배광이 광원을 중심으로 볼 때 사방으로 퍼져 나가며, 이를 이용해 적절한 형태로 바꾸는 것은 주로 반사판의 역할이다. 그러나 LED는 기본적으로 배광이 좁으며, 이를 적절하게 변경시키는 것은 반사판이 아니라 굴절과 확산이 된다.

또한 LED는 그 자체만으로 크기가 작아 점광원으로 볼 수 있지만, LED에서 발광하는 빛은 chip에서 epoxy dome으로 직접 굴절되어 나가는 refracted ray와 reflector cup에 의해 반사되어 다시 epoxy dome에서 굴절되어 나가는 reflected-refracted ray로 이루어지기 때문에 정확히 말하면, 빛은 한 점에서 발광한다고 간주 할 수는 없다.

따라서 본 논문에서는 LED에 대한 최적의 refractor 설계를 위해 점광원으로 간주 할 수 있는 최적의 근사 발광점을 선택하여 refractor를 설계하고자 한다.

1. 서 론

초기의 발광다이오드(light emitting diode, LED)는 휘도가 낮고 광색의 한계가 있었으나 현재 새로운 LED 원재료가 개발되고 생산기술이 진보함에 따라 백색을 포함한 가시광선 영역에서 모든 색깔의 고휘도 LED가 생산되고 있다. LED는 긴 수명, 낮은 소비전력, 높은 신뢰성 등 많은 장점을 갖고 있어서, 물체를 비추는 일반 조명 용도로는 아직 부족하지만 주로 신호용으로서 표지판의 소형전구 대체, 칼라 스캐너용, LCD 백라이트 용 등에서부터 옥외의 교통신호등, 차량의 각종 표시등, 항공유도등, 등명기, 대형 전광판에 이르기까지 광범위하게 응용되고 있다.[1]

그리고 현재 고휘도 LED는 30 lm/W정도로 아직까지는 일반조명용으로서 그 활용도가 낮지만, 해상용 등명기나 항공유도등과 같은 일반 백열전구를 대체하여 사용하는 것이 가능하게 되었다.

앞으로, LED의 기술수준이 높이 향상됨으로서 기존의 일반 소형 백열전구류를 대체하고 일반 조명용으로서 상용화하기 위해서는 광학설계가 함께 이루어지지 않으면 안 된다.

기존의 광원은 광원을 중심으로 사방으로 퍼져 나가는 배광을 갖고 있어 이를 제어하기 위한 역할은 보통 반사판이 담당한다. 그러나 LED는 기본적으로 배광이 좁기 때문에 이것을 제어하기 위해서는 반사가 아닌 굴절이 된다.

따라서 본 논문에서는 LED의 빛을 제어하기 위한 광학설계를 다룰 것이다.

2. 본 론

2.1 LED 내부구조

LED의 내부구조는 그림 1에서 보였다. 그림에서처럼 LED에서 최종적으로 굴절되어 나아가는 ray들은 LED chip에서 발산하여 직접 epoxy dome에 의해 굴절된 ray들인 refracted ray들과 chip에서 발산한 ray가 reflector cup으로부터 반사되어 다시 epoxy dome에 의해 굴절된 ray들인 reflected-refracted ray들로 구성된다.

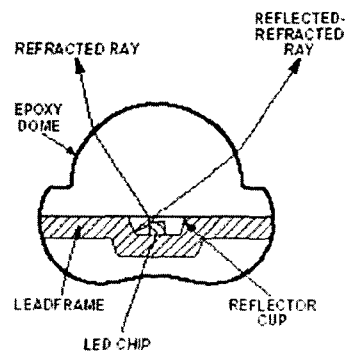


그림 1. Refracted ray 와 Reflected-Reflected ray

2.1 LED의 Focal length

그림 1에서와 같이 LED에서 최종적으로 나아가는 빛은 LED 내에서의 어떤 위치로부터 나아가는 것처럼 보인다. 또한 LED chip 자체가 물리적인 크기를 가지고 있고 점광원이 아니기 때문에 최종적으로 굴절되어 나아가는 빛들은 한 점에서 발산하지 않는다. 즉, 그림2에서와 같이 focal smear라는 초점 영역이 나타나게 된다. 이 focal smear는 refracted ray들과 reflected-refracted ray들을 함께 포함하고 있는 영역이다.

LED에 대한 광학 설계를 위해서는 이 LED를 점광원으로 간주하여 설계를 하는데, 점광원으로 간주하기 위한 최적의 focal smear point를 선택해야 한다.

이 point는 일반적으로 focal smear의 중심을 선택한다. 이 point의 위치 Z 값은 LED 배광의 view angle에 대해 LED epoxy dome의 구경에 맞추어 그림 3에서와 같이 구할 수 있다.

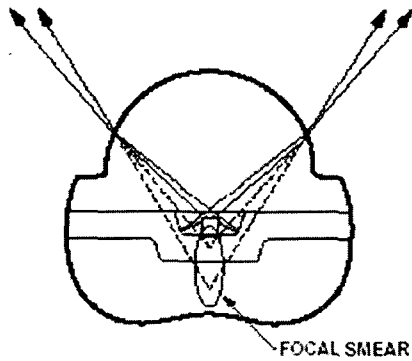


그림 2. Focal smear

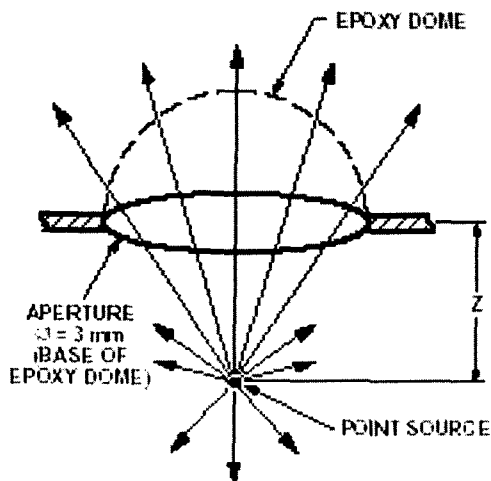


그림 3. 최적의 focal smear point 선정

LumiLEDs 회사에서 제공하고 있는 몇 가지 LED형태에 대한 최적의 Z 값들은 표1과 같다.

표 1. 점광원의 위치

POSITION OF POINT SOURCE FOR SUPERFLUX LEDs	
SUPERFLUX LED PART NUMBER	POSITION OF POINT SOURCE "Z" (mm)
HPWA-Mx00	1.03
HPWA-Dx00	1.13
HPWT-Mx00	0.99
HPWT-Dx00	1.17

2.2 Lens 설계법

Lens 설계는 기본적으로 렌즈 설계공식에 의해 설계가 된다.

이 식은 다음과 같다.[2]

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{T(n-1)}{R_1 R_2} \right] \quad (1)$$

f = focal length of the lens

n = index of refraction of the lens material

R_1 = radius of lens surface nearest the LED

R_2 = radius of other lens surfaces

T = thickness of the lens

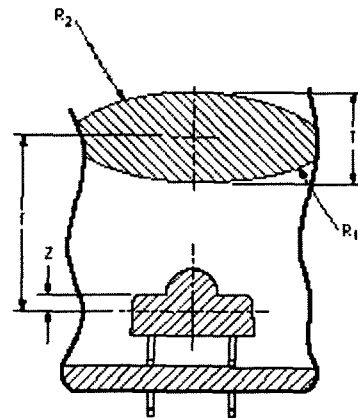


그림 4. 볼록렌즈(dual-convex lens)

여기에서 T 가 lens의 지름의 1/6보다 작다면, 식(2)로 다시 표현할 수 있다.

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right] \quad (2)$$

일반적으로 렌즈 설계는 식(2)를 사용하여 구하게 된다.

얇은 렌즈에 대한, 평면 볼록렌즈($R_1 = \infty$)들은 식(3)으로 간단히 설계 할 수 있다.

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left[\frac{1}{R_2} \right] \quad (3)$$

식(3)은 모든 ray들이 광축에 대하여 평행에 가까운 각을 가지고 발산하는 광원에 대한 것으로 가정하는 것이다. 그러나 LED에서 발산하는 대부분의 ray들은 광축으로부터 멀리 떨어진 각을 갖는다. 이러한 경우에 있어서 식(3)을 사용하여 렌즈를 설계하면 구면수차(spherical aberration)가 발생하여 광축과 평행한 ray들을 만들 수 없게 된다.

이러한 경우 보정계수 C 를 추가하게 되는데, 보통 LED에 대한 lens 설계의 보정계수 C 는 약 1.35값을 준다.[2]

따라서 식(4)로 다시 표현 할 수 있다.

$$\frac{1}{f} = C(n-1) \left[\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right] \quad (4)$$

이식을 이용하여 렌즈를 설계한 다음 렌즈의 가장자리 부분을 ray-tracing하여 확인한 후, 광축을 기준으로 가장자리에서 ray가 광축을 향해 진행해 나간다면, C 값이 작은 것이고, 광축을 벗어나게 진행해 나간다면, C 값이 너무 큰 것이다. 따라서 ray-tracing을 통해 이를 확인한 다음 적절한 C 값을 정하는 것이 필요하겠다.

2.3 Lens 설계

위 식을 이용하여 Lens를 설계하여 ASAP을 이용하여 결과를 확인해 보았다.

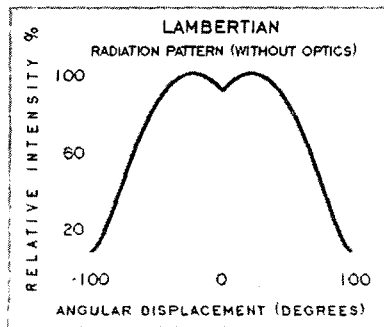


그림 5. Lambertian 배광

LED 모델은 Lumileds사에서 제공하는 view angle 140°의 lambertian 배광을 갖는다(그림 5). 따라서 Z 는 약 1mm 값을 구하였다(그림 6).

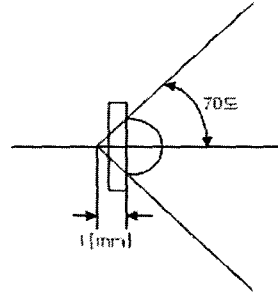


그림 6. LED point source(Lambertian배광)

따라서 초점거리 f 와 재질의 굴절률 그리고 ray-tracing을 통해 확인하여 보정계수 C 를 구하여 Lens를 설계하였다.

따라서 lens의 곡률 R 은 식(4)를 이용하여 하였다.

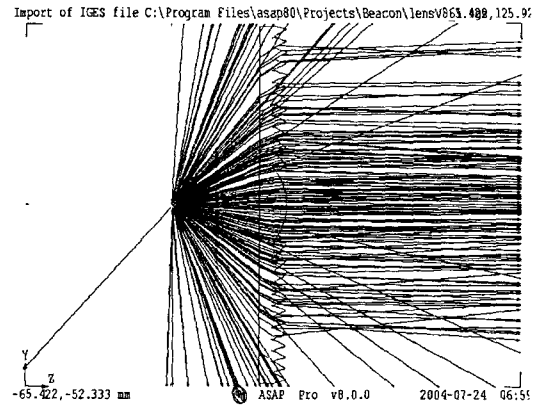


그림 7. 시뮬레이션 결과(ray-tracing)

위에서 구한 곡률을 갖는 lens와 위에서 구한 초점거리를 이용하여 fresnel lens를 설계하였다. 그림 7은 lens와 fresnel lens 설계에 대해 ASAP 프로그램을 사용하여 시뮬레이션한 결과를 보인 것이다.

3. 결론

기존의 사방으로 퍼지는 배광을 갖는 광원에 비해 방향성의 배광을 갖는 LED 광원에 대해서 빛을 제어하기 위해서는 무엇보다 굴절을 이용한 lens 설계가 필수적이라 할 수 있다.

따라서 LED에서 발산하는 최종 ray들이 어떠한 형태에 의해서 구성되는지를 확인하면서 점광원으로 간주할 수 있는 최적의 focal smear point를 구할 수 있었고 또한 위에서 언급한 식에 의해서 곡률값을 정한 후 lens 가장자리에서의 ray-tracing를 통해 적절한 보정계수를 구함으로써 광축과 평행하게 ray들을 제어할 수 있었다.

앞으로 LED 신호용으로서의 광학설계법 뿐만 아니라 일반 조명용으로서의 광학설계법에 대한 연구가 필요하겠다.

참 고 문 헌

- (1) 김 훈, "조명광원으로서의 LED", 한국조명·전기설비 학회, p3~p10, 2003,10.
- (2) "Secondary Optics Design Considerations for SuperFlux LEDs", Lumileds 회사의 기술 자료, <http://www.lumileds.com>