

LED 2차 광학 시스템의 설계법 개발

(The Development of Secondary Optics Design Method for LED)

정승균* · 조덕수 · 김 훈
(Seung-Gyun Chung · Duk-Soo Cho · Hoon Kim)
(강원대학교 IT 특성화학부 대학 전기전자전공)

Abstract

소자가 발광하는 형태를 가지며 매우 작은 크기의 광원인 LED는 특유의 형태 때문에 자체의 발광특성을 점광원으로 가정하여 부가적인 광학제품들이 설계되어 왔다. 하지만, 실제적인 설계에서는 이러한 점광원으로의 가정에서 오차를 불러일으킬 수 있으며, 세밀한 제어를 요구하는 조명시스템의 제어에서는 작은 오차라 해도 큰 에러를 발생 시킬 수 있다. 따라서 본 논문에서는 점광원이 아닌 실제적인 부피를 지니는 광원으로서의 LED를 분석하여 그에 대한 2차적인 광학 시스템의 설계법을 제시하고자 한다.

1. 서 론

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. 이러한 LED가 일반적인 조명으로서 활용되기 위해서는 다양한 조명용용분야에 대해 만족시킬 수 있는 배광을 제공할 수 있어야 하는데, LED 소자의 개발업체의 입장에서는 수없이 많은 다양한 배광을 만족하는 LED를 때에 따라 업체나 소비자에게 공급하는 것이 사실상 불가능하다. 따라서 소자의 제작업체는 칩의 보호와 보편적 형태의 배광을 지니는 광원으로서 제공하기 위해 EPOXY DOME이 설치된 LED를 제작하여 조명업체에게 공급하고 조명업체에서는 이러한 LED에 대한 2차적인 광학제품(렌즈, 프리즘 등)을 설계하여 목표배광에 부합되는 제품을 생산하는 형태를 가지게 될 것이다.

일반적인 경우 LED에 대한 광학설계는 점

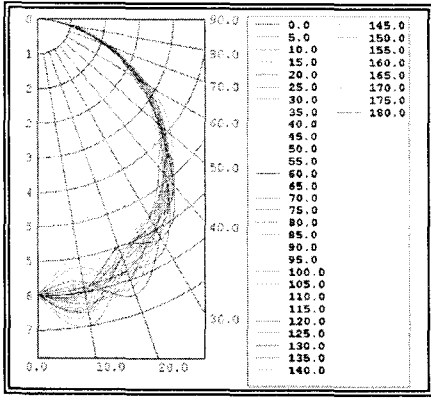
광원을 기초로 하여 진행되어 왔으나, LED의 실제 발광형태가 점광원의 형태가 아니므로 여기에 대한 에러가 발생하여 왔다. 이러한 오차를 제거하기 위해서는 LED를 세밀 분석하여 광원형태에 따른 특성을 파악하여 설계를 진행하여야 하고, 본

논문에서는 부피를 지니는 광원으로서의 LED의 특성을 분석, 파악하여 이차 광학 시스템의 설계법을 제시하고자 한다.

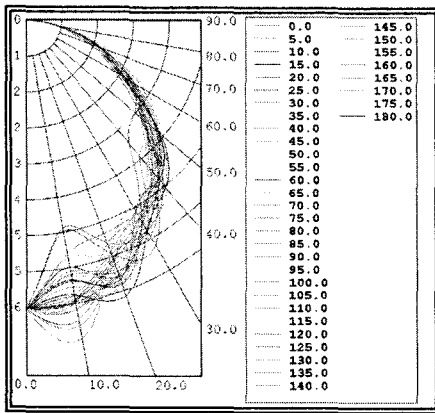
2. 본 론

2.1 LED의 분석

LED는 매우 작은 광원이지만, 소자의 발광특성에 의해서 그 발광 형태는 점광원과는 매우 다르며 이를 무시할 경우 큰 오차를 발생시킬 수 있다[1]. 물론 2차 광학계에 대한 LED의 거리가 멀어지게 되면 점광원으로 가정하는 것이 가능하겠지만, 실제적인 광학계의 설계에서는 초점 조절이 자유로울 수 있어야 하여야 하고, 미세한 광도의 차이에 의해 목표배광과의 차이가 벌어지게 되므로 LED를 점광원으로 가정하는 것에는 무리가 있을 수 있다. 그림. 1에는 구각 형태의 굴절체를 적용한 램버시안 배광의 LED(LXHL-MW1D)를 보이고 있으며 구각형태의 굴절체 중심이 LED의 중심에 위치해 있으므로 LED를 점광원으로 볼 수 있기 위해서는 LED 자체의 배광이 그대로 유지가 되어야 하지만, LED는 점광원이 아니기 때문에 배광의 일그러짐이 나타나는 것을 볼 수가 있다.



(a)



(b)

그림 1. 구각 형태의 굴절체를 적용하기 전의 LED(a)의 배광형태와 굴절체 적용 후의 LED(b)의 배광 형태 차이

2.2 배광의 분류

광학설계에서 각 세그먼트를 담당하게 될 LED 전체 배광에 대한 부분배광의 분할은 그림. 2와 같이 칩의 중심을 기준으로 하여 수직각에 대해 등간격으로 나누어 준다.

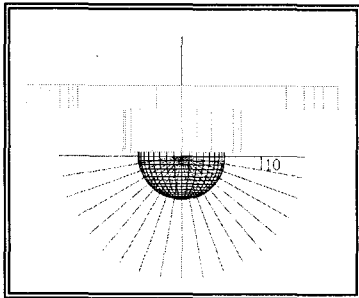


그림. 2 LED의 등간격 분할에서

예시 설계에 사용한 분할 배광은 등간격 10° 로 설정하였으며, 더욱 세밀한 배광의 제어가 요구될 때에는 더욱 작은 간격으로 나누어 측정하는 것이 필요하다. 그림. 3에 LED 각 부분의 배광을 분해하여 시뮬레이션 한 것을 나타내었으며, 순서대로

$0^\circ \sim 10^\circ$, $10^\circ \sim 20^\circ$, $20^\circ \sim 30^\circ$, $30^\circ \sim 40^\circ$, $40^\circ \sim 50^\circ$, $50^\circ \sim 60^\circ$, $60^\circ \sim 70^\circ$ 구간의 배광을 보이고 있다.

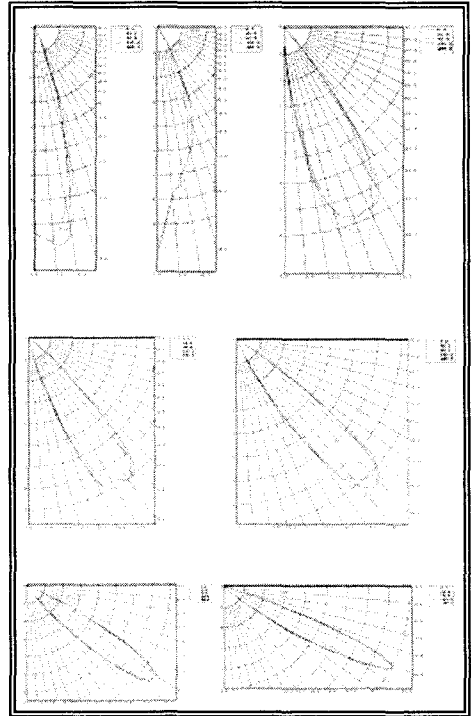


그림 3. LED의 세밀 배광 시뮬레이션 결과

이러한 세밀 배광 시뮬레이션을 통해서 램버시안 형태의 배광을 지니는 LED의 경우에 LED의 정점 즉, 칩의 중앙부분인 $0^\circ \sim 10^\circ$ 구간에서 약간 벗어난 $10^\circ \sim 20^\circ$ 구간에서 최고의 광도가 나타나는 것을 볼 수 있으며, 약 40° 구간을 넘어서면서부터는 구간 중간 각도로의 지향성이 생기는 것을 알 수 있었다. 결국, 시뮬레이션을 통하여 LED 칩의 형태와 발광특성에 의해서 칩에서 발생한 RAY는 1차 굴절체인 EPOXY DOME을 통하여 굴절이 된 후 발산되고, 굴절된 RAY는 균일하기는 하지만 점광원으로 가정하기는 힘들다는 것을 알 수 있었다.

2.3 세부설계

이차적인 광학계를 설계하기 위해서는 LED에서 나온 RAY가 입사하는 광학계의 내부면과 내부면에 입사하면서 굴절된 RAY가 뺀어나가 최종적으로 외부로 향하게 되는 외부면의 2가지의 면을 설계해야 한다. 여기에서 일반적으로 1차 입사면은 임의로 형태를 결정하게 되는데, 설계에 편리하기 위해서는 입사면이 대체로 균일한 형태 즉, 평면이나 일정한 곡률을 지닌 곡선으로 결정하는 것이 용이하다. 하지만, LED의 세부 배광을 살펴보면 일정한 형태의 발산이 아닌 각 구간마다 상당히 특색이 있는 배광형태를 가지고 있기 때문에 설계하고자 하는 광학계의 효율을 극대화하기 위해서는 각 구간에 대해서 광학계 내부면의 설계를 실행하여 LED로부터 발산하는 빔이 내부면에 수직으로 입사하게 해주는 것이 가장 좋은 방법이 될 수 있다.

이번 설계법을 뒷받침하기 위해 실행한 예시 설계에서는 광학계를 LED에 밀착시킨 형태로 설계를 하기 위하여 LED의 EPOXY DOME과 형태가 같은 반구 형태로써 광학계 내부면을 결정하였다.

일단 내부면이 결정되면 계산을 통하여 외부면을 설계해 나가야 하며, 그림. 4에 나타난 세그먼트의 기울기에 대해 분석한 수식인 식 (3)을 통하여 실행되어진다.

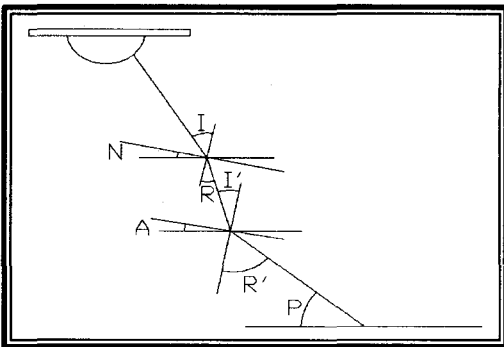


그림. 4 세그먼트 기울기의 설정

$$(90 - N + r) + A + 90 - i' = 180$$

$$A - N + r = i'$$

(r-N)을 B라 하면

$$i' = A + B \quad (1)$$

$$r' = P + A + 90$$

P-90을 C라 하면

$$r' = A + C \quad (2)$$

굴절체의 이차면에 대한 공식이므로 식 (1)과 (2)를 스넬의 법칙에 적용시키면

$$\sin i' = \mu \sin r'$$

$$\sin(A + B) = \mu \sin(A + C)$$

식을 정리하면

$$A = \tan^{-1} \frac{\mu \sin C - \sin B}{\cos B - \mu \cos C}$$

$$A = \tan^{-1} \frac{\mu \sin(P - 90) - \sin(r - N)}{\cos(r - N) - \mu \cos(P - 90)} \quad (3)$$

- N= 수평면에 대한 세그먼트 내부면의 기울기
 - i=LED RAY로부터 내부면으로의 입사각
 - r=내부면에 의한 굴절각
 - i'=세그먼트 외부면으로의 입사각
 - r'=세그먼트 외부면으로의 굴절각
 - A=세그먼트 외부면의 기울기
 - P=RAY를 보내고자 하는 각도
- [2]

식 (3)에 의해 세그먼트의 기울기를 정하기 위해서는 어떠한 각도의 RAY를 중심 광으로서 보며 설계해야 하는가를 먼저 고려해야 한다. 일반적인 경우 세밀 분석한 배광에서 최고 광도를 갖는 각도의 RAY를 선택하여 설계를 하면 되지만, 최고 광도의 RAY를 설정하기에 불리한 경우, 입체각에 따른 광도로서 광속을 구하여 최고 광속을 가지는 RAY에 대한 설계를 시행해 나가면 된다.

2.4 예시 설계 및 성능 시뮬레이션

설계법에 대한 예시로서 0°로의 집광을 목표로 하는 2차 광학계와 수직각 50°에서 최대광도를 갖는 분산 광학계를 설계하여 점광원에 대해서 설계한 결과물들과 그 성능을 비교하였다.

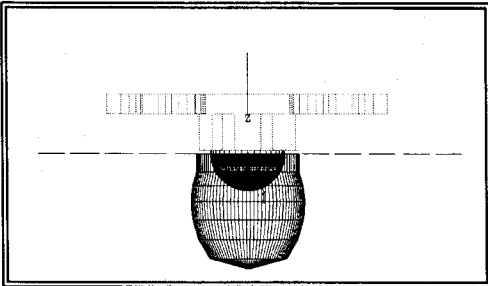
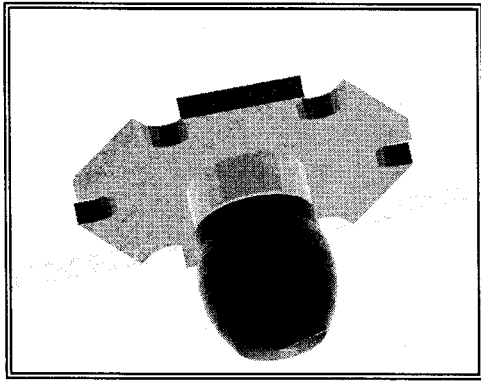


그림 5. 점광원에 대한 집광렌즈의 형상

설계기준은 초점거리 0.3mm에 렌즈 높이는 약 7mm 정도로 설정하였으며, 설계에 기준이 되는 배광만을 차이로 두고 설계를 실행 하였다. 결과로서 나타난 집광렌즈

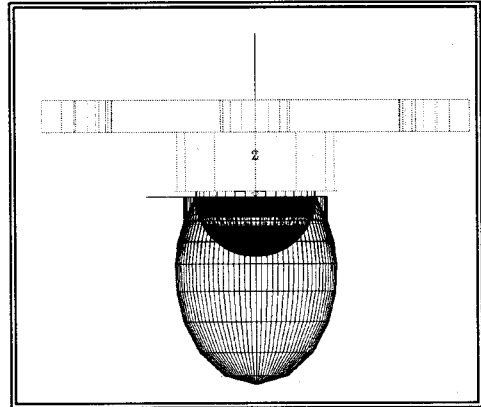
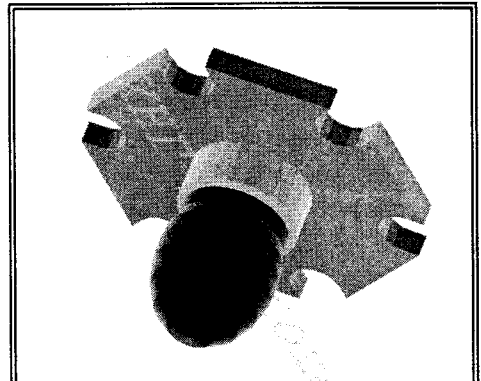


그림. 7 세밀 분석한 배광에 대해 설계한 집광렌즈의 형상

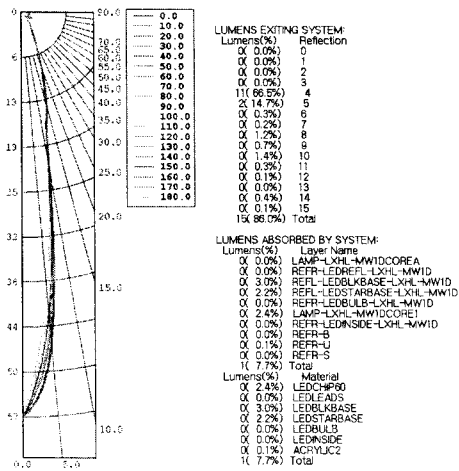


그림. 6 점광원 집광렌즈의 배광과 성능

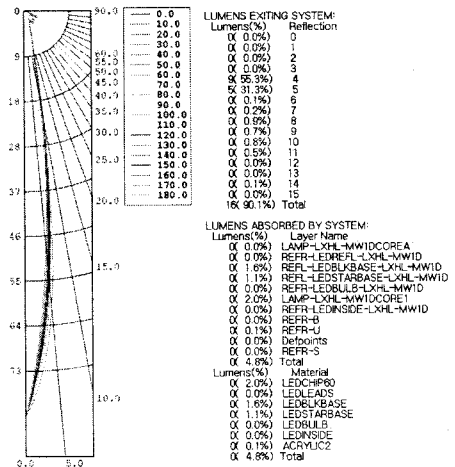
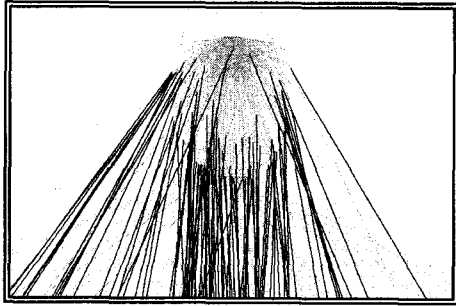


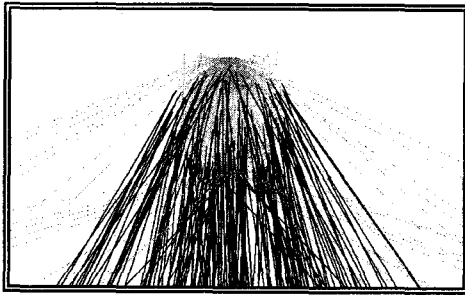
그림. 8 세부 분석 배광에 대해 설계한 렌즈의 배광과 성능

의 경우 배광을 세밀 분석하여 설계한 것과 점광원으로 가정 한 후의 것을 비교해 보면 집광의 목표로 두었던 0°로 향하는 배광에 대해서는 그리

크게 오차가 나지 않는 것 과 같이 보였지만, 그림. 9에서 확인 한 발산 RAY의 역 TRACING 결과 지향성에서 상당한 차이를 보이는 것을 알 수 있었으며, 그 효율에서도 상당한 차이를 보이고 있었다.



(a)



(b)

그림. 9 발산 RAY들의 역 TRACING 결과(a: 세부배광에 대한 결과물, b: 점광원에 대한 결과물)

집광렌즈에 대한 설계 외에도 분산렌즈에 관한 설계 예시 또한 시행해 보았으며 그 결과는 다음과 같이 나타났다.

분산 광학계의 설계 시에도 집광 광학계의 설계 때와 마찬가지로 다른 조건들은 모두 일치 시켰으며 배광의 분류만을 다른 기준으로 설계하였다. 예시 분산 광학계의 초점거리는 칩 중심으로부터 2.7mm이고, 렌즈의 최소두께는 1mm로 설정하였다.

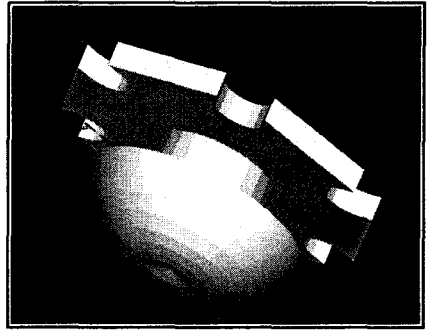
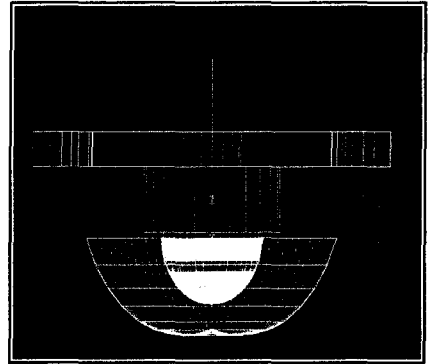
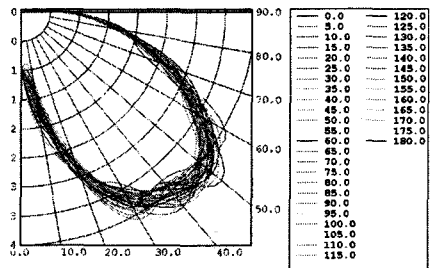


그림. 10 점광원에 대하여 설계한 최대 광도 50° 분산렌즈의 형상



Lumens(%)	Reflection
0(0.0%)	0
0(0.0%)	1
0(0.0%)	2
0(0.0%)	3
15(89.6%)	4
0(0.0%)	5
0(0.4%)	6
0(0.1%)	7
0(1.6%)	8
0(0.0%)	9
0(1.2%)	10
0(0.0%)	11
0(0.0%)	12
0(0.0%)	13
0(0.0%)	14
0(0.0%)	15
18(92.0%)	Total

LUMENS ABSORBED BY SYSTEM:

Lumens(%)	Layer Name
0(0.0%)	0
0(0.0%)	LAMP-LXHL-MWIDCOREA
0(0.0%)	REFR-LEDREFL-LXHL-MWID
0(2.8%)	REFL-LEDBLKBASE-LXHL-MWID
0(1.2%)	REFL-LEDSTARBASE-LXHL-MWID
0(0.0%)	REFR-LEDBULB-LXHL-MWID
0(2.0%)	LAMP-LXHL-MWIDCORE1
0(0.0%)	REFR-LEDINSIDE-LXHL-MWID
0(0.0%)	REFR-B
0(0.0%)	REFR-U
0(0.0%)	REFR-S
1(6.1%)	Total
0(0.0%)	LEDCHIP60
0(0.0%)	LEDLEADS
0(2.8%)	LEDBULBASE
0(1.2%)	LEDSTARBASE
0(0.0%)	LEDBULB
0(0.0%)	LEDINSIDE
0(0.0%)	ACRYLIC2
1(6.1%)	Total

그림. 11 점광원에 대하여 설계한 최대 광도 50° 분산렌즈의 배광과 성능

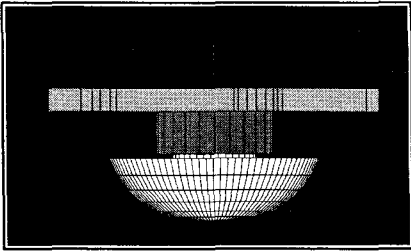
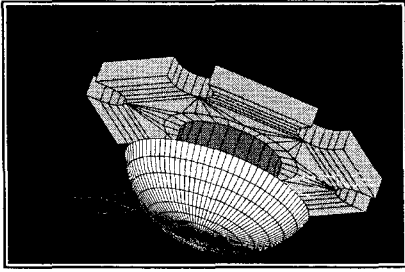
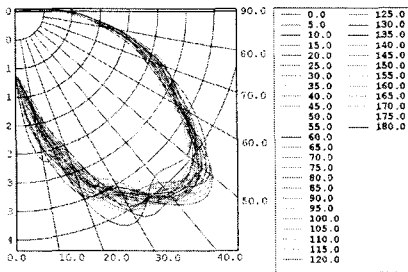


그림. 12 세밀 분석한 배광에 대하여 설계한 렌즈의 형상



LUMENS EXITING SYSTEM:	
Lumens(%)	Reflection
0 (0.0%)	0
0 (0.0%)	1
0 (0.0%)	2
0 (0.0%)	3
18 (90.6%)	4
0 (0.1%)	5
0 (0.3%)	6
0 (0.2%)	7
0 (1.5%)	8
0 (0.0%)	9
0 (1.3%)	10
0 (0.0%)	11
0 (0.0%)	12
0 (0.0%)	13
0 (0.0%)	14
0 (0.0%)	15
18 (94.3%)	Total

LUMENS ABSORBED BY SYSTEM:	
Lumens(%)	Layer Name
0 (0.0%)	0
0 (0.0%)	LAMP-LXHL-MWIDCOREA
0 (0.0%)	REFR-LEDREFL-LXHL-MWID
0 (2.8%)	REFL-LEDBKBASE-LXHL-MWID
0 (1.2%)	REFL-LEDSTARBASE-LXHL-MWID
0 (0.0%)	REFR-LEDBULB-LXHL-MWID
0 (2.0%)	LAMP-LXHL-MWIDCORE1
0 (0.0%)	REFR-LEDINSIDE-LXHL-MWID
0 (0.0%)	REFR-B
0 (0.0%)	REFR-L
0 (0.0%)	REFR-S
11 (61%)	Total

Lumens(%)	Material
0 (2.0%)	LEDCHIP60
0 (0.0%)	LEDLEADS
0 (2.8%)	LEDBKBASE
0 (1.2%)	LEDSTARBASE
0 (0.0%)	LEDBULB
0 (0.0%)	LEDINSIDE
0 (0.3%)	ACRYLICK2
11 (6.1%)	Total

그림. 13 세밀 분석한 배광에 대하여 설계한 렌즈의 배광과 성능

각각에 대한 비교 결과, 분산광학계에서는 집광 광학계에서 나타난 것 보다 더 큰 차이가 나타나

며, 특히 목표로 했던 배광의 달성 여부에서 배광을 세분화 하여 설계한 시스템 같은 경우 상당히 샤프한 배광곡선을 그리고 있으나, 점광원을 기준으로 한 시스템은 최대광도가 35°~55°의 넓은 범위에 걸쳐서 완만한 형태의 곡선을 그리며 나타나는 것을 볼 수가 있었다. 이러한 배광의 차이는 점광원으로 가정하여 설계한 경우 점광원의 발산 RAY와 방향이 다른 실제 LED의 RAY들이 굴절각에 대해 약간씩의 오차를 가지며 발산되어지고, 이러한 작은 오차들이 누적되면서 배광상의 큰 차이로 나타나는 것이며, 이러한 결과에 의해 분산 광학계에서는 조그만 차이로 인하여 큰 에러가 발생됨을 알 수가 있다.

3. 결론

이번 논문에서는 LED를 실제부피를 갖는 광원으로 간주하여 그에 대한 이차적인 광학 시스템의 설계법에 대한 연구를 진행하였다. 그 결과 집광목적의 시스템의 경우 배광의 지향성이나 효율에서 상당한 오차가 발생하나 빔각의 분포에서는 그리 큰 차이가 나질 않는 결과를 얻어내었다. 집광 시스템은 모든 빔이 집중되는 형상을 가지므로 에러가 발생하여도 그 정도가 미미하게 느껴지지만, 분산을 목적으로 가지는 시스템의 설계 시에는 이러한 오차가 매우 크게 작용하게 되므로 앞으로 LED의 활용 폭이 넓어져 신호용의 조명 즉, 보이는 조명이 아닌 비추는 조명인 도로, 인테리어 등의 여러 응용분야에 LED가 적용 될 경우, 점광원의 가정을 통한 광학 시스템의 설계는 잘못된 광도의 분배로 인하여 결과에서 예상치 못한 큰 에러를 발생 시킬 수 있음을 알 수 있었다. 이에 따라 본 논문에서 제시한 세분화한 배광에 따른 시스템 설계를 통하여 이러한 오차를 줄이고 세밀한 제어를 할 수 있을 것으로 보여진다.

참고문헌

- [1] "Secondary Optics Design Considerations for SuperFlux LEDs", Lumileds사의 기술 자료, <http://lumileds.com>
- [2] R.H. Simons and A.R. Bean "Lighting Engineering Applied calculations", MPG Books Ltd, Bodmin, Cornwall, pp.234~250, 2001