

가로등 배광을 가지는 LED 전용 선형렌즈의 개발

(Optical design of LED line lens for street lighting)

정승균* · 이창모 · 석대일 · 이상진 · 김 훈

(Seung-Gyun Jung · Chang-Mo Lee · Dae-Il Seok · Sang-jin Lee · Hoon Kim)

(강원대학교 전기전자공학부)

Abstract

현재 LED 전용의 렌즈로서 개발되어있는 제품들은 대부분이 매우 좁은 빔각을 가지는 집광렌즈이지만 이를 사용하여 다양한 조명기구의 배광을 달성하기는 불가능하다. 본 논문에서는 가로등 형 배광을 가지는 대칭형, 비대칭형 배광을 가지는 선형 렌즈의 설계를 진행하고 그 성능을 시뮬레이션 하였다.

1. 서론

신광원으로 주목받고 있는 LED는 기존의 신호용 조명기구의 광원에서 현재는 경관 조명기구와 같은 일반 조명용 기구의 광원으로 점차 그 사용범위를 넓혀가고 있다.

LED가 일반 조명기구의 광원으로 사용될 수 있기 위해서는 조명기구 용도에 알맞은 발광효율을 가질 수 있어야 한다. 현재 상용화된 LED에서 최대의 발광효율은 약 50lm/W정도로 콤팩트 형광램프를 대체할 수준을 만족하고 있다. 발광효율의 측면에서 LED는 그 발전 속도가 매우 빠르며 얼마 전 실험실 환경에서 150lm/W의 LED가 개발되었다는 점을 감안하여 볼 때 몇 년 되지 않아 HID 램프 수준의 발광효율을 달성할 수 있을 것으로 보인다.

발광효율의 측면 외에도 어떠한 광원이 조명기구로서 사용되기 위해서는 해당 조명기구의 용도에 적합한 배광을 만족시킬 수 있어야 한다. 현재 LED용 조명기구의 경우 칩 보호 및 약간의 배광성능을 가질 수 있게 하는 EPOXY DOME을 그대로 활용하여 그대로 조명기구에 적용하거나 LED 전용의 집광렌즈를 설계하여 조명기구에 적용하는 것이 일반적으로 사용되고 있다. 하지만 이러한 경우 조명기구 용도에 적합한 배광을 달성하기는 매우 힘들며 조명기구의 구성에 있어 비효율적인 방법이 된다. 따라서 LED용 조명기구에 적용할 수 있는 다양한 종류의 광학부품들이 개발될 수 있어야 한다.

또한 LED는 조명기구의 적용에 있어 날개로서

사용되는 것이 아니라 균집체의 형태로서 사용된다. 따라서 개개의 LED에 대한 광학부품을 날개로 제작하여 사용한다면 제작비 및 조립 인건비 등 비용들이 증가할 수 있다.

본 논문에서는 LED 광원에 대해 가로등 형태의 배광을 가지면서 다수의 LED를 제어할 수 있는 라인 형태의 렌즈를 개발하고 그 성능과 특성을 시뮬레이션 하였다.

2. 본론

2.1 LED 배광의 분석

LED는 매우 작은 광원이지만, 그 발광 형태는 점광원과 매우 다르며 이를 무시할 경우 큰 오차를 발생시킬 수 있다[1]. 물론 2차 광학계가 LED에서 멀리 떨어져 있다면 점광원으로 가정하는 것이 가능하겠지만, 실제적인 광학계의 설계에서는 미세한 광도의 차이에 의해 목표배광과 실제배광의 차이가 크게 벌어지게 되므로 LED를 점광원으로 가정하는 것에는 무리가 있을 수 있다. 따라서 설계에 적용할 LED는 그의 각 표면을 광원으로 보고 등분할 하여 그 배광을 시뮬레이션 한 후 각 부분의 배광에 따라 설계를 적용하여야 한다.

그림. 1에는 렌즈에 적용할 LED인 루미레즈사의 MW1D에 대해 분할배광을 적용한 결과를 보이고 있다.

LED의 분할은 LED 칩을 중심으로 등간격 10°

로 설정하였다.

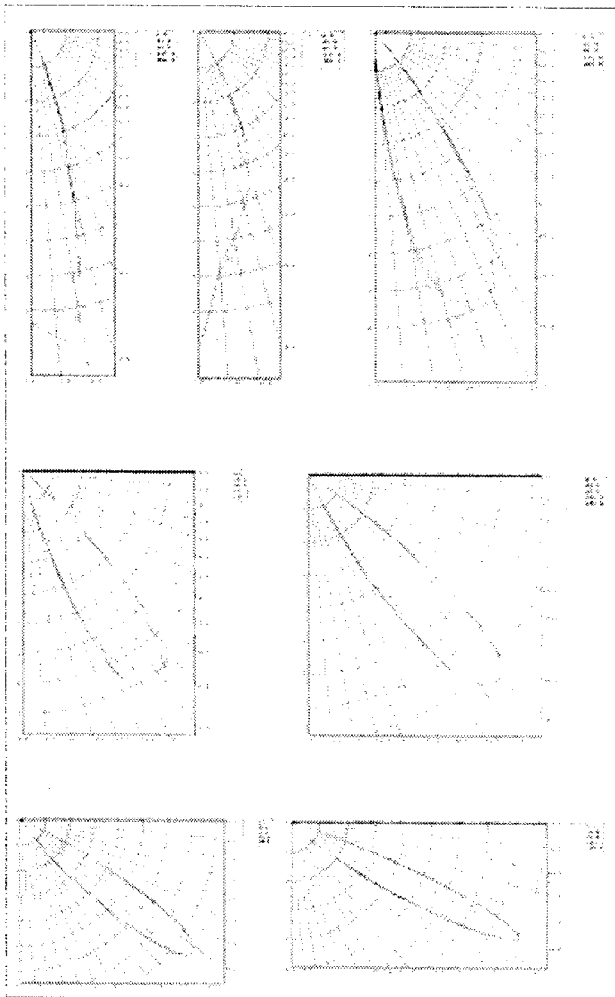


그림. 1 MW1D LED의 등간격 분할 결과

2.2 목표배광의 설정

어떠한 조명기구의 광학부품을 설계하기 위해서는 가장 먼저 목표배광을 설정하는 것이 필요하다.

목표배광은 일반적인 대칭형 배광 1종과 비대칭형 배광 1종을 선택하여 설정하였다. 여기서의 목표배광은 임의로 설정한 것이 아닌 조명기구의 취부 높이와 설치 위치를 고려하여 설정한 것으로 기준 높이는 6m, 설치 간격은 20m이다. 결과적으로 설정된 목표배광의 경우 60°부근으로 집중되어 벌어지는 형태를 가지게 되었으며 이러한 형태는 기존의 LED 자체만의 배광을 이용하거나 집광렌즈를 활용한 형태의 조명 기구에서는 찾아보기 힘든 형태의 것으로 그림 2에 목표배광의 형태를 보이고 있다.

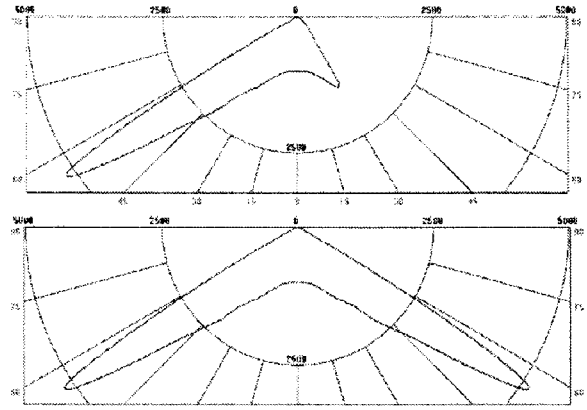


그림. 1 목표배광의 형태

2.3 설계의 과정

2.3.1 굴절부의 설계

광학계는 크게 두 가지 성질을 가지고 있으며 첫 번째 성질은 굴절의 성질이다. 빔이 어떠한 경계로 입사된 입사빔 i 와 빔을 보내고자 하는 목표 수직각을 알고 있을 때 출사면의 i 를 구할 수가 있다. 굴절부는 다음의 수식으로서 설계되어지고 그림 3에 수식 설명에 대한 그림이 제시되어 있다.

설계가 진행된 비대칭형 배광 렌즈의 굴절부와 대칭형 렌즈의 굴절의 형태는 그림 4에 보이고 있다.

한 가지 특이점은 대칭형 배광을 가지는 렌즈의 경우 양측면의 형상이 같기 때문에 한쪽 면만을 설계함으로써 설계가 완성이 되고 굴절의 특성만을 활용하게 되지만, 비대칭형 렌즈의 경우 LED의 축을 중심으로 렌즈의 형상이 서로

다른 형상을 가지게 되며 한쪽 면은 굴절을 다른 한쪽 면은 전반사의 성질을 이용하게 되는 차이점을 가진다.

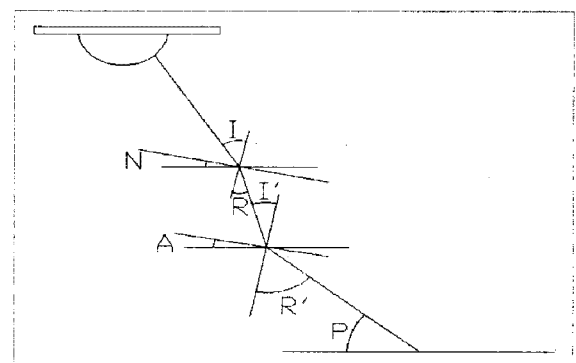
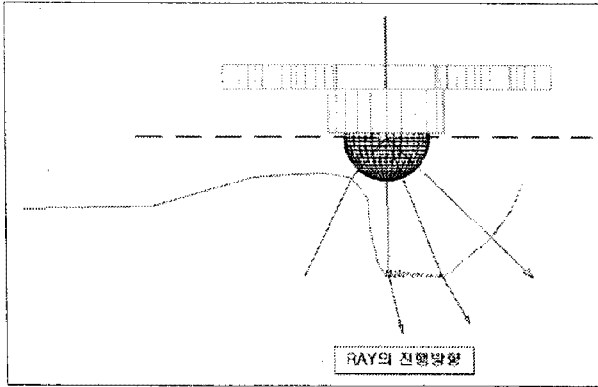


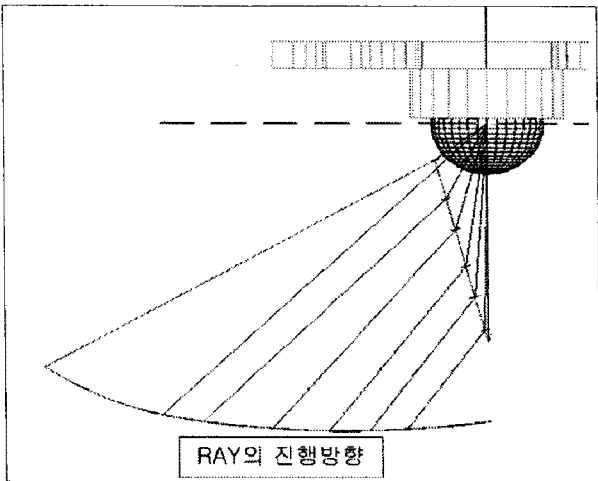
그림 3. 굴절부의 설계

$$i = \tan^{-1} \frac{\mu_2 \times \sin(\alpha - 180)}{\mu_1 - \mu_2 \times \cos(180 - \alpha)} \quad (1)$$

i : 출사면에 대한 입사각
 α : $180 - i +$ 보내고자하는 수직각
 μ_1 : 매질1의 굴절률
 μ_2 : 매질2의 굴절률



(a) 비대칭 배광 렌즈의 굴절면 형상



(b) 대칭형 배광 렌즈의 굴절면 형상

그림 4. 굴절부의 설계 형상

2.3.2 전반사부의 설계

입사각이 임계각을 넘을 경우 전반사가 일어나게 되며, 위의 식은 구하여진 i 가 임계각 이하일 경우에만 적용이 가능하다. 따라서 i 가 임계각 이상이 될 경우 전반사에 관련된 식을 적용하여야 하며, 임계각에 대한 식은 다음과 같다.

$$CA = \sin^{-1} \frac{\mu_2}{\mu_1} \quad (2)$$

CA = 출사면에 대한 임계각
 μ_1 = 매질 내부의 굴절률
 μ_2 = 매질 외부의 굴절률
 (일반적으로 공기의 굴절률)

전반사를 이용할 비대칭형 배광 렌즈 측면부의 경우 다음의 수식으로써 설계가 이루어지게 되고

그림 5에 설계가 적용된 형상을 나타내고 있다.

$$A = \frac{i+r}{2} \quad (3)$$

A : 수직선에 대한 세그먼트의 기울기
 i : LED에서 발산된 RAY가 수직면에 입사할 때의 입사각
 r : 목표로하는 수직각 + 90°
 [2]

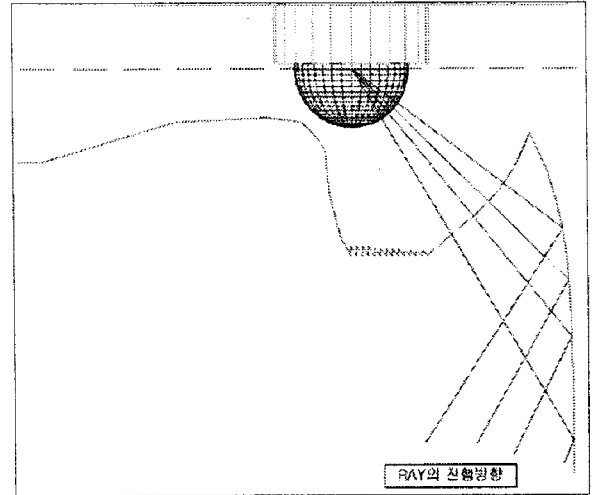


그림 5. 굴절부의 설계 형상

이상의 설계과정을 거쳐서 완성된 렌즈의 형상은 각각 다음과 같다.

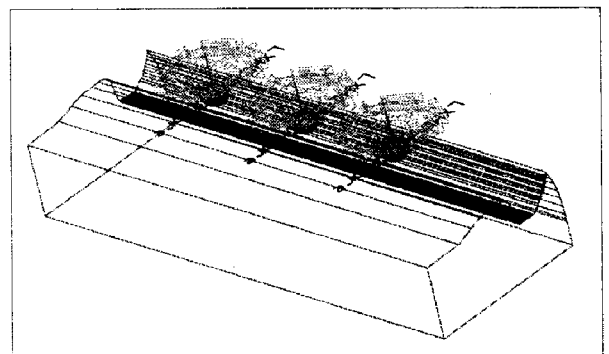
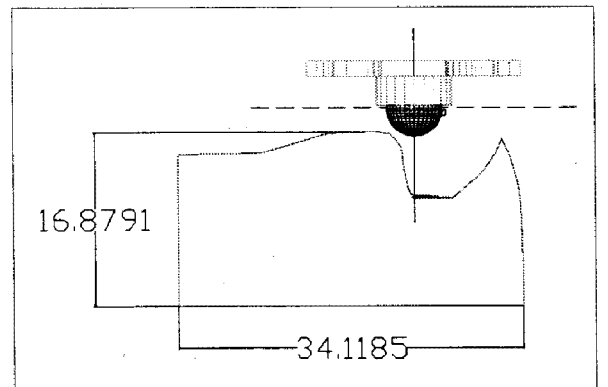


그림 6. 완성된 비대칭 배광 렌즈의 형상

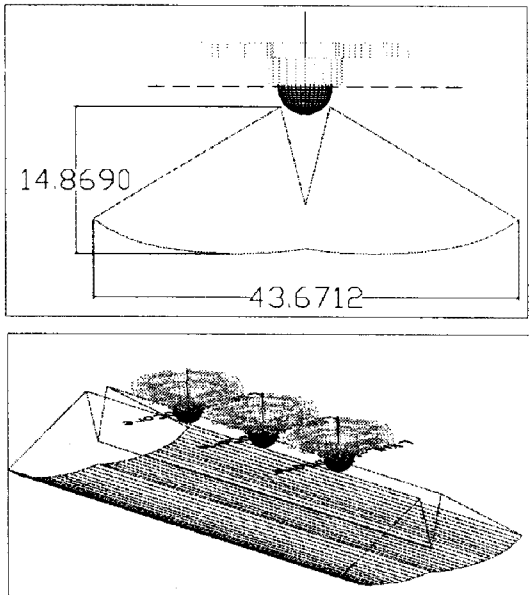


그림 7. 완성된 대형 배광 렌즈의 형상

2.3.3 설계가 완료된 렌즈의 시뮬레이션

설계가 완료된 렌즈에 LED를 각각 6개씩 적용하고 광학성능 시뮬레이션 프로그램인 PHOTOPA를 이용하여 배광의 형태와 효율평가 등의 성능 시뮬레이션을 시행하였다.

광학계 효율의 경우 비대칭형 배광 렌즈의 경우 88%, 대칭형 배광 렌즈의 경우 91%를 만족하여 빛의 손실이 크게 나타나지 않음을 알 수 있었으며 배광형태의 경우 아래의 그림에 나타낸 것과 같이 목표로 한 배광에 대하여 근접하게 나타났음을 알 수가 있다.

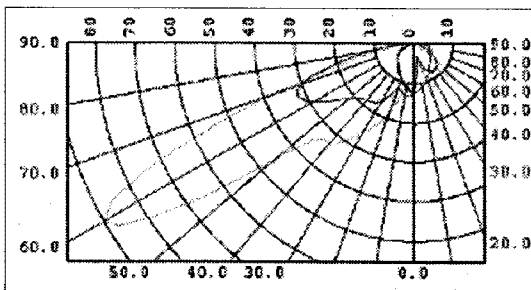


그림 8. 비대칭 배광 렌즈의 배광분포 형상

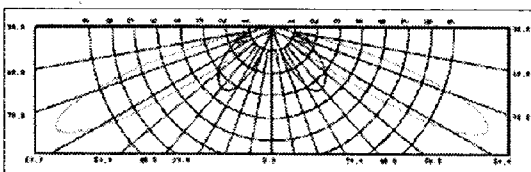


그림 9. 대칭 배광 렌즈의 배광분포 형상

3. 결론

이번 논문에서는 분할배광을 이용하여 가로등기구의 배광을 가지는 대칭형 배광과 비대칭형 배광의 선형 렌즈를 설계하고 그 성능을 시뮬레이션 하였다.

렌즈의 시뮬레이션 결과, 배광성능 및 렌즈의 효율은 만족할만한 것으로 나타났지만, 출사면의 각도에 의해 재반사가 발생하여 상향광이 생성되거나 원하지 않는 각도로 향하는 RAY들이 발생하는 단점이 발견되었으며, 실제 가로등기구에 적용시 수평각 별 배광의 다양화를 이루지 못하여 노면의 균제도가 떨어지는 결과가 발생함을 알 수 있었다.

추후에는 이러한 단점들을 보완하여 상향광을 감소시키고 다양한 각도의 배광을 달성하여 LED 가로등의 실제화를 이루는 것을 목표로 하여 차후 연구를 진행할 것이다.

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