

비대칭 배광 구현을 위한 LED 광학계 설계

(LED Optical Design for Asymmetrical Light Distribution Realization)

이민욱* · 김 훈

(Min-Wook Lee* · Hoon Kim*)

(*강원대학교 전기전자공학부)

요 약

LED를 광원으로 사용하는 조명기구는 용도에 맞는 적합한 배광을 가져야 한다. 도로조명기구의 경우 기능적인 측면에서 보다 세밀한 배광제어를 필요로 하며, 비대칭 형태의 배광을 갖는다. 도로조명의 배광을 달성하는 렌즈와 비대칭 배광을 구현하기 위한 렌즈를 설계하고 반사판이 포함된 형태의 광학계 설계안을 제시하였다. 형상 및 사이즈 측면이 고려되었으며 설계된 렌즈 및 광학계는 광학성능 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 성능을 검증하였다.

1. 서 론

광학적인 측면에서 조명기구의 성능을 좌우하는 요소는 빛을 보내고자 하는 방향으로 적절한 양을 보내는 것이며, 조명기구 설계단계에서 고려되는 조명기구 배광의 제어를 통해 이를 구현한다. 일반적으로 반사판, 렌즈, 프리즘 등의 광학부품을 통해 배광의 제어가 가능하게 되며, LED를 광원으로 적용한 조명기구의 경우, 기존의 방전램프 등을 사용하는 조명기구와는 다른 특성, 즉 발산되는 빛이 지향성을 가지게 되는 특성으로 인해 조명기구에서 배광제어를 위해 일반적으로 적용되는 반사판 대신에 렌즈가 배광 달성의 핵심 부품이 된다.

도로조명기구의 경우 기능적인 측면에서의 중요성으로 인해 보다 세밀한 배광제어를 필요로 하며, 도로의 가장자리에 설치되어 도로방향으로 빛의 많은 양을 보내는 경우가 대부분으로 배광의 형태 또한 조명기구를 중심으로 대칭의 형태가 아닌 후사광의 제어가 가능한 비대칭 형태의 배광을 갖는다. 하지만, 현재까지 렌즈를 통한 비대칭 배광의 구현은 기술적으로 많은 어려움이 있기 때문에 국내에서 개발된 LED 가로등의 경우 대칭형태의 배광을 달성하는 렌즈를 적용하거나 설치단계에서 조명기구에 Tilt를 주는 방식으로 후사광을 제어하고 있다.

본 논문에서는 일반적인 도로조명 상황을 가정

하여 비대칭 형태의 배광을 달성하는 것을 목표로 설정하고 렌즈를 설계하여 이를 달성하는 방안에 관하여 연구하였다. 렌즈만을 통한 비대칭 배광의 달성에 어려움이 있기 때문에 후사광 제어를 위한 반사판을 포함하는 광학계를 이용하는 방안을 제시하였으며, 설계된 렌즈 및 광학계는 광학 시뮬레이션 프로그램에 의하여 광학 성능에 대한 평가를 수행하였다.

2. 본 론

2.1 설계 목표와 기본 조건의 설정

설계목표는 폭 8m의 일반적인 2차선 도로에 대한 조명 상황을 가정하였으며, 설치조건은 기구높이 10m, 기구간격 30m의 설치조건에서 전차로폭 8m로 설정하였다.

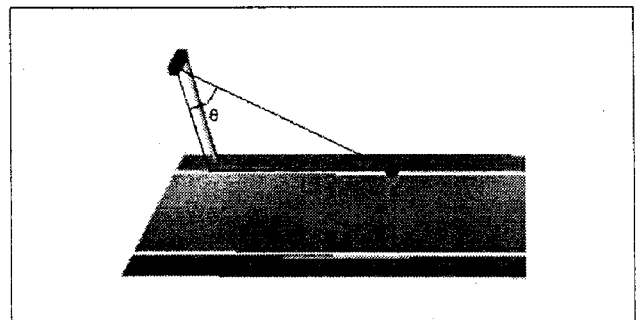


그림 1. 최대광도의 계산

으로 목표배광의 최대광도의 지향각이 각 θ 에 의해 결정된다. 도로 폭방향의 최대광도 지향각도 마찬가지로의 방법으로 설정할 수 있으며, 도로 길이방향과 폭방향의 θ 값은 각각 60° 와 38.5° 로 설정하였다. 정해진 θ 를 구간별로 나누어 균일한 조도가 공급되도록 구간별 광도값이 계산되었으며, 각 구간의 광도값은 조명되는 전 영역의 조도가 균일하도록 하는 이상적인 값이 된다.

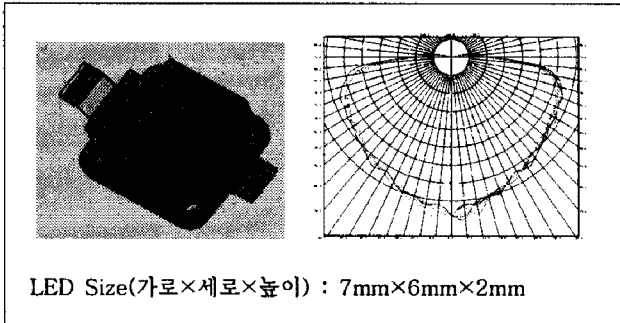


그림 2. LED 형상 및 기본 배광

그림 2는 설계 및 시뮬레이션에 사용된 LED의 형상 및 기본 배광을 나타낸 것으로 LED의 사이즈가 매우 작고, 기본 배광을 결정하는 LED 등의 형태가 타원형으로 배광은 일반적인 램버시안 형태의 배광이 아닌 좀 더 넓은 범위의 빔각을 갖는 형태이다.

2.2 렌즈 각 단면의 설계

렌즈는 조명기구 방향에 따른 2개의 단면을 구성하고 각 단면을 합성하여 입체를 구성하는 방식으로 설계하였다. 각각의 단면은 LED에서 발산하는 빛을 방향성을 갖는 RAY들의 집합으로 가정하고 RAY가 발산하는 영역을 각도에 따라 세분화시켜 각 구간의 굴절체 세그먼트 기울기가 결정되었다. 세그먼트의 기울기는 광도를 구역광속으로 변환하여 목표로 설정한 광도의 구역광속과 세그먼트를 통과한 구역광속을 일치시키는 세그먼트의 기울기를 최초로 계산하고, 구간 RAY 지향각의 오차를 감안하여 이를 변화시키며 최적의 기울기를 구하는 방식을 사용하였다. 렌즈 단면 설계과정에서 RAY의 진행경로를 크게 변화시키기 위하여 단면의 세그먼트 기울기를 너무 크게 설정하거나, 세그먼트의 기울기를 급격하게 변화시키는 경우 내부에서 전반사가 발생하여 효율이 감소하거나

단면의 크기가 커지게 되므로 초기의 설계단계에서 이를 감안하여 설계가 진행되어야 한다. 또한 각 단면을 설계하여 최종적으로 이를 합성하는 형태의 설계방식이 사용되는 경우 합성 후에 발생할 수 있는 세그먼트 기울기의 변화도 고려되어야 한다.

2.2.1 폭방향 단면의 설계

폭방향 단면은 앞서 언급했듯이 최대광도의 분포영역이 38.5° 에 분포하도록 목표를 설정하여 설계되었다.

LED로부터 발산하는 RAY는 굴절체 입사면을 통과하면서 굴절률의 차이에 의해 지향각의 변화가 발생하고 굴절체 출사면을 통과하면서 또 한번 지향각의 변화가 발생하게 된다. 따라서 단면의 설계시 RAY 입사부와 출사부에 대한 설계가 동시에 진행되어야 한다.

먼저 폭방향 단면의 입사부에 대한 설계를 진행하였다. RAY가 집중되어야 하는 영역은 38.5° 이하의 영역이지만 LED에서 발산하는 빛은 그 이상의 구간에도 많은 양이 존재함을 LED 기본배광에 대한 분석과정을 통해 확인하였다. 따라서 RAY의 지향각을 낮출 수 있도록 세그먼트의 기울기가 결정되어야 한다. 이 과정에서 각 구간의 세그먼트 기울기는 $0^\circ \sim 10^\circ$ 범위를 넘지 않았으며 단면의 합성을 고려하여 이를 0° 로 고정하였다. 그림 3은 입사부를 통과한 RAY의 진행경로를 확인하기 위한 설계과정과 분할배광을 나타낸 것이다.

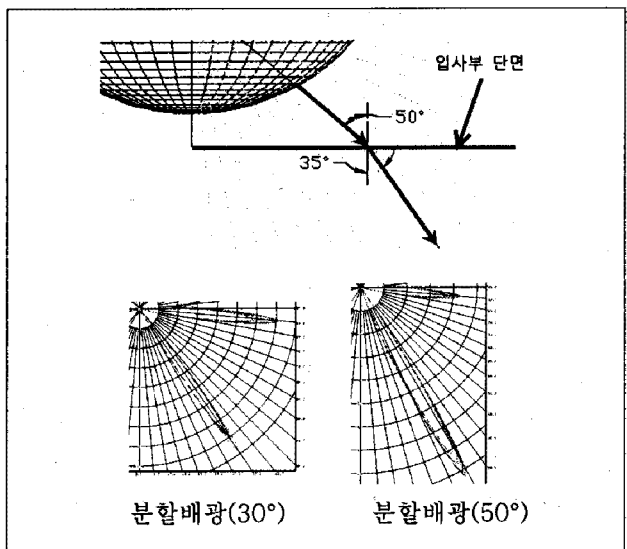


그림 3. 폭방향 입사부 설계와 분할배광
폭방향 입사부의 설계는 단순히 RAY의 지향각

을 목표값에 근접하게 변경시켜주기 위한 설계를 진행하고 출사부의 설계를 통하여 완전한 폭방향 배광을 구현하였다. 출사부는 렌즈의 최종적인 형상을 고려하여 세그먼트 기울기 변화가 크지 않은 경우 기울기를 동일하게 설정하였다.

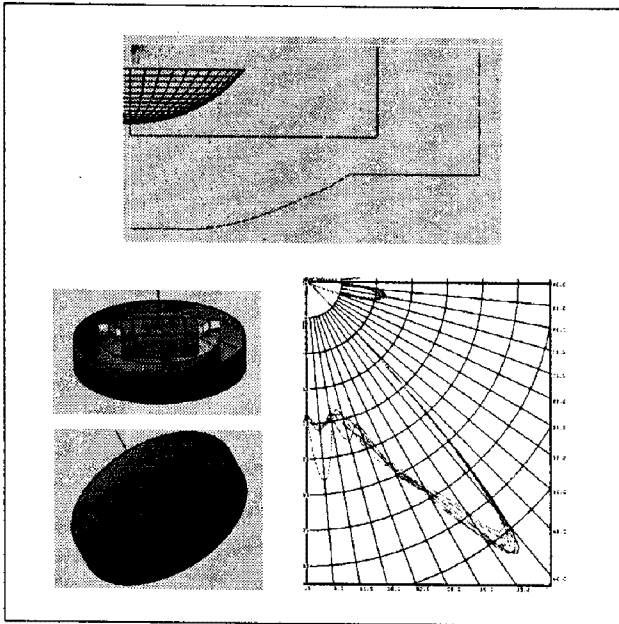


그림 4. 폭방향 단면과 배광

그림 4는 설계된 폭방향 단면과 이를 입체적으로 구현한 광학계 형상, 시뮬레이션을 통해 구현된 배광을 나타낸 것이다.

2.2.2 길이방향 단면의 설계

실제 제작이 되는 상황을 고려하여 광학계의 형상을 되도록 간소화하기 위해서 광학계의 출사면은 LED 중심축을 기준으로 회전대칭이 되는 형태로 구성하였다. 앞선 폭방향 단면의 설계과정에서의 출사면이 길이방향의 단면에서도 그대로 적용된다.

이미 정해져 있는 출사부를 통과한 RAY의 지향각이 목표치와 일치하도록 입사부의 설계를 통하여 길이방향의 배광을 제어하도록 설계가 이루어졌다.

앞서 제시한 목표치에서 길이방향 최대광도의 분포영역은 60°로 설정하였다. 그림 5는 설계된 길이방향의 입사부 단면과 광학계 형상을 통해 구현된 배광을 나타낸 것이다.

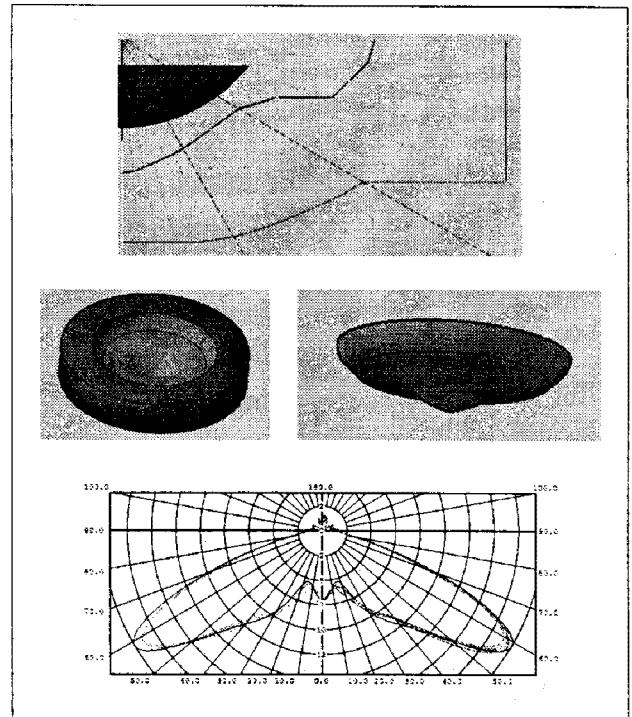


그림 5. 길이방향 단면과 배광

2.3 비대칭 배광의 구현

2.3.1 렌즈 후사면의 재설정

각 방향의 단면을 합성하여 대칭형 배광을 갖는 광학계를 구성하였다.

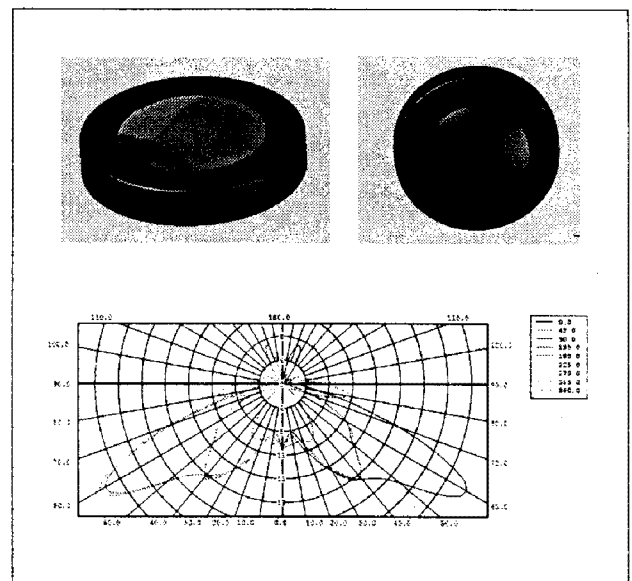


그림 6. 대칭형 배광 렌즈

설계된 렌즈는 출사면이 대칭인 형태이고 입사면의 형태는 면의 합성으로 구성하였다. 렌즈 폭방향 반대 방향의 배광이 대칭 형태가 되므로 빔폭이 작아 반사판을 적용하기 위해서는 반사판의 크

기가 커지게 되므로 이 방향으로 진행하는 RAY의 지향각이 커지도록 렌즈 후사면에 입사부를 길이방향의 단면과 동일하도록 설정하고, 렌즈 인접부에 반사판을 위치시켰다. 그림 7은 재설정된 렌즈 입사면과 전체 형상 그리고 반사판을 적용시킨 배광을 나타낸 것이다.

과 조명기구의 구조 등을 감안하여 반사판 형상에 대한 재검토가 필요하다. 또한 배광 달성의 측면에서도 좀 더 세밀한 배광제어에 대한 검토가 필요하다.

본 연구는 에너지·자원기술개발사업의 일환인 “지능형 Power LED 가로등기구 및 시스템 개발”의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

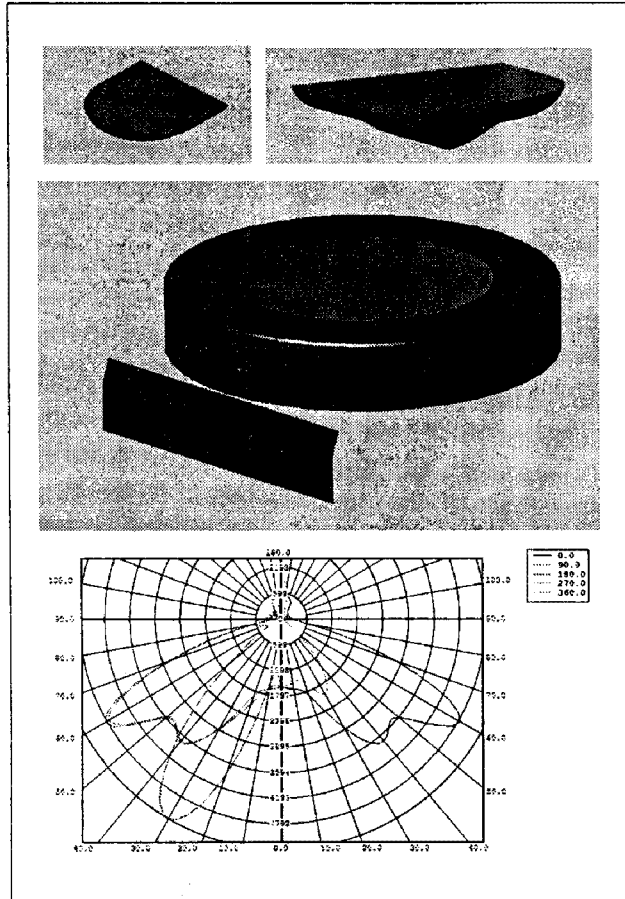


그림 7. 비대칭 배광형 광학계 구성

참 고 문 헌

- [1] R.H. Simons and A.R. Bean "Lighting Engineering applied calculations", MPG Books Ltd, Bodmin, Cornwall, 234~250
- [2] 정승균 외 4명, "가로등 배광을 가지는 LED 전용 선형렌즈의 개발", 2007년 추계 학술대회 논문집 p 85~88
- [3] 정승균, "LED 2차 광학시스템의 설계법 개발", 석사학위논문, 강원대학교 대학원 전기공학과

3. 결 론

일반적인 형태의 가로등 배광을 구현하기 위하여 목표배광을 설정하고 렌즈를 설계하였으며, 반사판이 결합된 형태의 광학계를 구성하였다. 렌즈의 설계단계에서 반사판 적용을 고려하여 입사면 및 출사면의 형상이 최대한 간소화된 형태가 되도록 설계가 진행되었다. 설계된 렌즈는 모두 효율이 90% 이상으로 굴절체에 의한 효율 감소는 크게 나타나지 않았다.

이번 연구는 렌즈를 적용하여 달성하기 어려운 비대칭 형태의 배광을 구현하기 위한 하나의 방안으로 제시되었으며, 실제 제작시에는 LED의 배열