

비대칭 배광을 갖는 이면도로용 LED 가로등 렌즈 개발 (Development of LED lens with asymmetric light distribution for street lighting)

이민욱* · 이창모 · 이상진 · 김 훈
(Min-Wook Lee* · Chang-Mo Lee · Sang-Jin Lee · Hoon Kim)

(*강원대학교 전기전자공학부)

요 약

LED 조명기구가 복잡성을 가지는 도로조명의 배광을 달성하기 위해서는 조명용도에 맞도록 설계된 LED 2차렌즈가 필요하다. 도로폭 7m의 이면도로용 LED 조명기구에 적용되는 2차 렌즈를 설계하고 그 성능과 특성을 시뮬레이션 하였다.

1. 서 론

최근 효율적인 측면에서 지속적인 개선이 이루어지고 있는 LED는 초기의 신호·광고 조명용 광원에서 이제는 일반조명용으로서의 적용이 확산되고 있는 추세이다.

일반 조명기구 중에서도 특히 도로조명기구의 광원으로써 LED를 적용하기 위해서는 조명기구 용도에 맞는 빛기를 낼 수 있도록 LED의 발광효율이 뒷받침 되어야 하며 조명의 기능적인 측면이 중시되는 만큼 조명기구의 배광 또한 중요 고려사항이 된다. LED 조명기구에서는 기존 광원을 사용한 조명기구의 반사판과 같은 기능을 하는 LED 2차 렌즈가 배광달성의 핵심부품이 된다.

도로조명의 배광은 복잡한 형태를 가지므로 일반적인 배광을 위해 설계된 집광렌즈의 배열로는 이를 달성하기 어려우며 조명목적, 용도, 요소 등을 고려한 LED 2차 렌즈의 설계가 필요하다. 본 논문에서는 폭 7m의 이면도로에 적용되는 LED 가로등기구의 배광달성을 위한 렌즈를 개발하고 시뮬레이션을 통해 그 성능과 특성을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 목표배광의 설정

설계된 광학부품이 적용될 조명기구의 대상이 되는 도로는 폭 7m의 이면도로이다. 조명기구의 광학부품을 설계하기 위해서는 조명기구가 적용되는 장소와 조명기구 설치환경을 고려하여 목표배광을 우선적으로 결정하여야 한다. 목표배광을 정

하기 위한 기준 높이는 7m, 설치간격은 28m이며 Overhang과 Tilt는 각각 0m, 0°로 설정하였다.

그림 1은 설치조건을 고려하여 설정된 목표배광을 나타낸 것이다. 배광은 도로길이방향으로 63.5°, 도로폭 방향으로 45°가 최대의 광도값을 갖도록 하는 형태이며, 도로와 인도의 구분이 없는 이면도로임을 감안하여 후사광을 최대한 억제한 비대칭 형태의 배광이다.

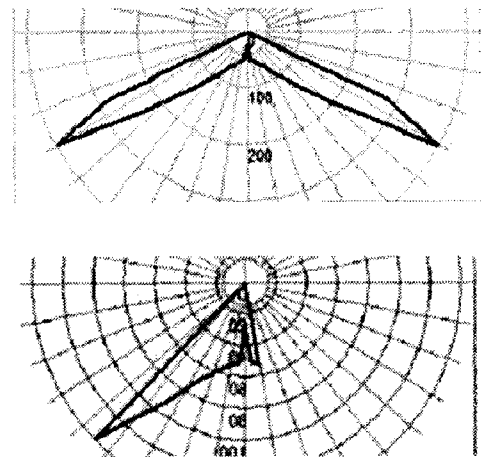


그림 1. 목표배광

2.2 렌즈 각 단면의 설계

렌즈 단면의 설계는 굴절체의 굴절과 전반사 성질을 이용한다. 비대칭형 배광의 경우 렌즈의 한쪽은 굴절의 성질을 이용하여 원하는 방향으로 빔의 진행방향을 바꾸어 주고, 다른 한쪽은 전반사를 통해 빛을 최대한 반대방향으로 반사시켜주어야 한다.

어떤 빔이 매질 1에서 매질 2로 입사될 때, 매질의 경계면에서의 입사각 θ_i 와 경계면을 통과한 후 보내고자 하는 빔의 각 θ_r 이 주어진다면 스넬의 법칙을 변형한 다음의 식을 통해 경계면의 기울기 ϕ 를 결정할 수 있다.

$$\phi = \tan^{-1} \frac{n_1 \sin \theta_i - n_2 \sin \theta_r}{n_1 \cos \theta_i - n_2 \cos \theta_r} \quad (1)$$

n_1 : 매질 1의 굴절률, n_2 : 매질 2의 굴절률

입사각 θ_i 가 임계각보다 큰 경우에는 빔이 경계면을 통과하지 못하고 반사된다. 임계각은 다음의 식을 통해 결정된다.

$$CA = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

렌즈에 적용될 LED는 Lumileds사의 MW1D를 사용하였다. MW1D는 램버시안 형태의 배광을 가지며 시뮬레이션 프로그램 Photopia를 통해 배광을 5°간격으로 분할하여 각 구간의 광도값을 구하였다. 이렇게 구해진 광도값을 목표배광에서 제시된 광도값과 일치하도록 렌즈 각 구간의 단면을 설계하였다.

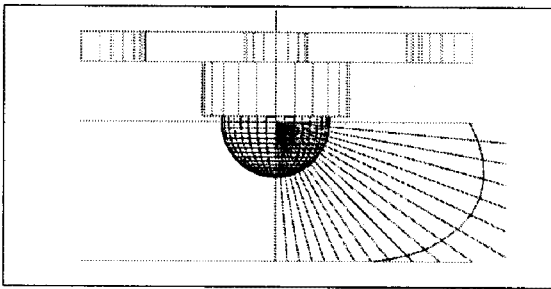


그림 2. 구간별 단면 설계

2.3 렌즈 형상 및 배광

위의 설계과정을 통해 완성된 3가지 단면(도로 길이방향, 도로 폭방향, 전반사부)을 합성하여 완성된 렌즈의 형상을 그림 3에 나타내었다.

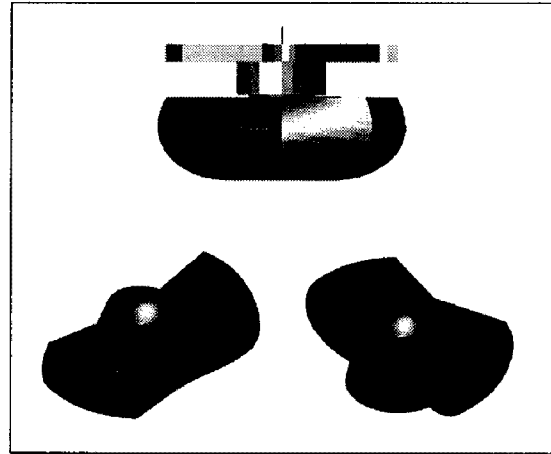


그림 3. 완성된 렌즈 형상

설계가 완료된 렌즈를 적용하여 광학성능 시뮬레이션 프로그램인 Photopia를 이용하여 배광의 형태와 효율 평가에 관한 시뮬레이션을 수행하였다. 렌즈의 재질은 굴절률 1.491을 갖는 아크릴을 적용하였다.

LED와 렌즈를 포함한 광학계의 효율은 91%로 빛의 손실은 크지 않게 나타났으며 목표배광에 근접한 비대칭 형태의 배광을 달성하였으나 도로 길이방향 배광의 20°~30° 구간에서 전반사된 빔이 굴절에 의한 빔과 합쳐져서 목표로 하는 광도보다 높은 광도값을 나타내었다.

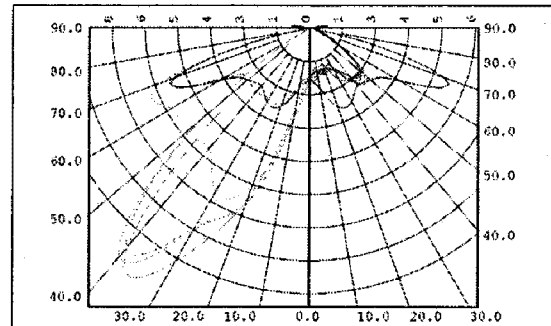


그림 4. 렌즈의 배광분포

2.4 조도분포 시뮬레이션

설계된 렌즈가 적용된 조명기구에 대한 조도분포 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 프로그램은 Lumen Micro를 사용하였으며 2.1절에서 언급한 설치조건을 만족하도록 하였다. 보수율은 유지·보수가 어려운 점을 감안하여 0.55로 설정하였다. LED 효율은 현재의 개발 상황을 감안하여 65 lm/W로 하였고 100W의 조명기구를 대상으로 하였으나 시뮬레이션시 LED의 개수에 제한이 있는 소프트웨어적인 한계로 인하여 8개의 LED를 2×4로 배열하고 광속을 6500lm으로 상향 조정하여 시뮬레이션을 수행하였다.

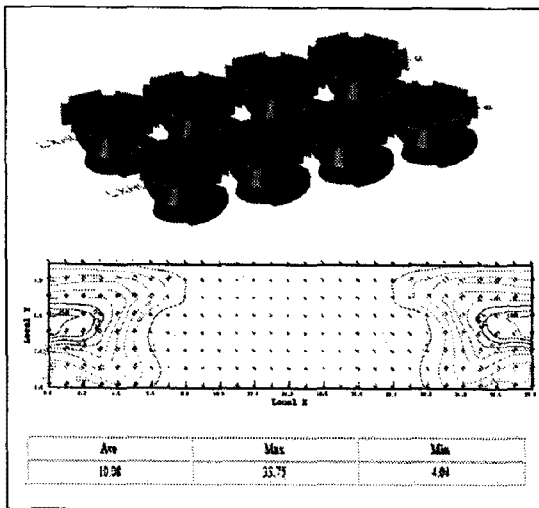


그림 5. 배열된 렌즈와 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과, 평균조도는 10.08 lx로 KS 도조명기준(KS A 3701)의 상업지역 이면도로 기준조도 10lx를 만족하였다.

3. 결론

이번 논문에서는 조명용도, 요소를 고려하여 목표배광을 설정하고 이를 달성할 수 있도록 하는 이면도로용 LED 2차 렌즈를 설계하고 성능을 시뮬레이션 하였다.

시뮬레이션 결과, 목표배광에 근접한 비대칭 형태의 배광을 달성하였고 효율도 비교적 높게 나타났다. 또한 조도분포 시뮬레이션 상에서도 도로조명기준을 만족하는 결과를 얻을 수 있었다.

설계단계에서 전반사된 빔이 굴절된 빔과 합쳐져서 렌즈 직하부 20°~30° 구간의 광도값이 목표로 설정한 배광에 비해 높게 나타났으며 추후에

전반사된 빔도 정확하게 제어할 수 있는 설계방식의 개발을 통해 보다 더 정확한 배광을 달성하는 2차렌즈의 개발이 이루어 질 수 있도록 해야 할 것이다.

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

참고문헌

- (1) R.H. Simons and A.R. Bean "Lighting Engineering applied calculations", MFG Books Ltd, Bodmin, Cornwall, 234~250
- (2) “가로등 배광을 가지는 LED 전용 선형렌즈의 개발”, 정승균 외 4명, 2007년 추계 학술대회 논문집 p 85~88