

LED 돔 형태를 고려한 2차렌즈의 설계

(Optical design of secondary lens considering a shape of LED dome)

이민욱* · 오혜영 · 김 훈
(Min-Wook Lee* · Hye-Young Oh · Hoon Kim*)

(*강원대학교 전기전자공학부)

요 약

LED를 광원으로 사용하는 조명기구는 용도에 맞는 적합한 배광을 가져야 한다. LED 조명기구의 배광을 달성하는 LED 2차렌즈의 설계를 위해서는 LED의 기본 배광이 고려되어야 하며 일반적으로 기본배광은 LED 돔의 형태에 따라 달라진다. 일반적으로 사용되는 램버시안 배광을 갖는 LED를 기본으로 하여 돔 형태 및 기본배광이 다른 각각의 LED에 대한 2차렌즈를 설계하고 시뮬레이션을 통해 그 성능을 평가하였다.

1. 서 론

최근 일반조명의 광원으로써 적용되고 있는 LED는 실내조명 뿐만 아니라 높은 광량과 다양한 배광제어가 요구되는 옥외조명 분야로 그 범위가 확대되고 있는 추세이다. 옥외조명, 그 중에서도 도로조명과 같이 세밀한 배광제어를 필요로 하는 조명기구에서는 무엇보다도 배광의 달성이 조명기구 광학성능의 핵심이 된다.

LED의 경우 광원 자체로 사용되는 LED 패키지에 포함된 LED 돔을 통해 그 자체로 약간의 배광 성능을 갖게 되며, 이후에 2차렌즈의 설계를 통해 세밀한 배광제어가 가능하다. 이러한 LED 돔의 기본배광은 빔각에 따라 2차렌즈의 설계시 렌즈의 형태, 크기, 효율 등에 영향을 미치게 된다. 복잡한 3차원 배광이 요구되는 렌즈 설계의 경우 이러한 빔각과 돔의 형태 등이 고려되어야 한다.

이번 논문에서는 옥외조명의 세밀한 배광제어를 위한 2차렌즈의 3차원 설계의 우선적인 진행단계로써 일반적으로 사용되는 램버시안 배광을 갖는 LED를 기본으로 하여 LED Dome의 형태 및 기본 배광을 달리 하고 각각에 대한 2차원 배광을 갖는 렌즈를 설계하여 시뮬레이션을 통해 그 형상 및 성능을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 LED 기본 배광

광학계 설계 및 시뮬레이션에는 돔의 형태가 반구형이고 빔각 110°의 일반적인 램버시안(Lambertian) 배광을 갖는 LED와 돔의 형태가 타원형인 빔각 160°의 LED를 사용하였다.

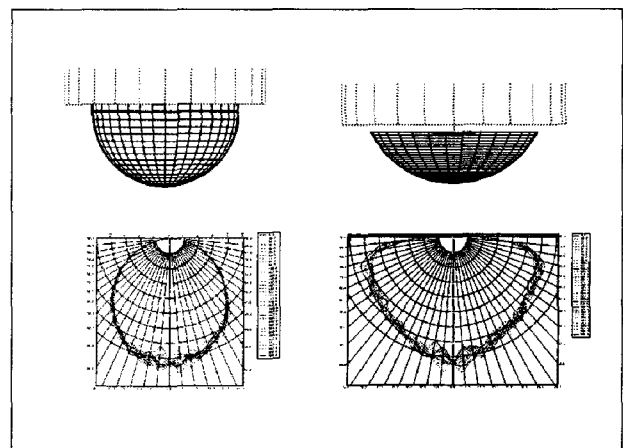


그림 1. LED 돔 형태 및 기본배광

배광 성능에 대한 시뮬레이션 소프트웨어는 Photopia를 사용하였다. 2종류의 LED 모두 배광 시뮬레이션시 99%의 효율을 나타내었다. 일반적으로는 반구형태의 돔이 LED 발광부로부터 진행되는 빛의 효율 감소를 최소화 시키는 형태이며, 좀 더 넓은 범위의 빔각을 갖도록 하는 타원형태의 LED 돔 역시 효율적인 측면과 Dome의 형태가 최대한 단순한 형상이 되도록 고려되어야 한다.

2.2 목표배광의 설정

그림 2에 렌즈 설계의 목표로 제시된 배광을 나타내었다.

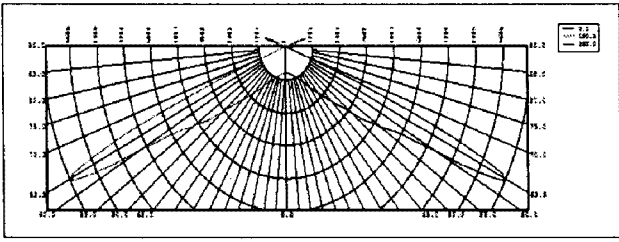


그림 2. 목표배광

목표배광은 조명기구가 설치되었다고 가정했을 때 설치높이의 4배가 되는 영역 전체가 균일하게 조명되는 경우를 목표로 한 이상적인 형태의 2차원 배광이다. 최대광도는 수직각 63.5°에 분포한다.

2.3 광학계의 설계

렌즈는 분할배광 설계법을 통해 설계되었다. 분할배광 설계법은 LED 돔으로부터 발산되는 RAY에 대하여 LED 칩을 광원으로 보지 않고 RAY가 최종적으로 발산되는 표면인 LED 돔을 광원으로 가정한다. 이러한 돔의 표면을 같은 각도(등간격)로 분할하여 각 구간에서 발생하는 RAY들의 최대 지향각, 즉 가장 큰 광도가 분포하는 각도를 고려하여 광학계의 세그먼트를 설계하는 방식이다. 각 세그먼트의 기울기는 광속재분배 과정을 통하여 제시된 목표배광을 만족할 수 있도록 설계된다.

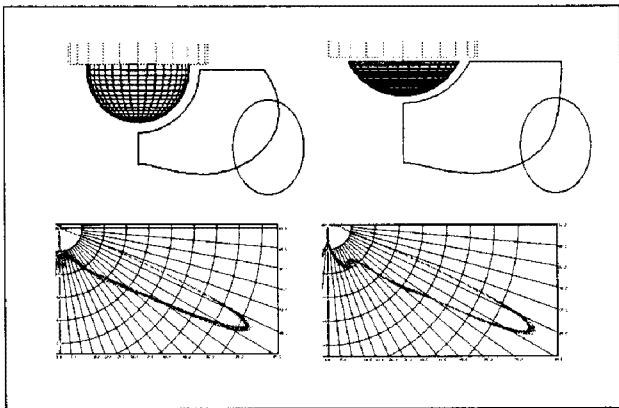


그림 3. 렌즈 단면과 배광(설계1)

그림 3은 각각의 LED에 대하여 분할배광 설계법을 이용하여 설계된 렌즈의 단면과 이를 축대칭으로 회전한 렌즈형상을 배광분포 시뮬레이션 한 첫 번째 광학계 설계의 결과이다(설계1). 대칭형태

의 배광으로 수직각 0°~90° 구간에 대해서만 나타내었다. 렌즈의 1차 입사면은 각각의 세그먼트를 통과하는 RAY의 입사각이 0°가 되도록 입사각에 수직으로 세그먼트의 기울기를 설정하였다. 이는 결과적으로 LED 돔의 형태와 같으므로 출사면에 대해서만 설계를 진행하였다. 효율은 각각 94%와 92.5%였으며 두 렌즈 모두 목표배광을 비교적 만족하였다. 뚜렷하게 구분되는 형상의 차이는 나타나지 않았으나 수직각 65° 이상의 구간에서 표시된 부분과 같이 세그먼트 기울기의 차이가 발생하였다. 이는 타원형 돔에서 높은 수직각 구간에 좀 더 많은 광도가 분포하는 두 LED의 기본배광의 차이에 의한 것으로 판단할 수 있다. 기본배광에 의한 차이를 좀 더 확실히 나타내기 위하여 1차 입사면에 대한 설계를 추가적으로 진행하였다(설계2).

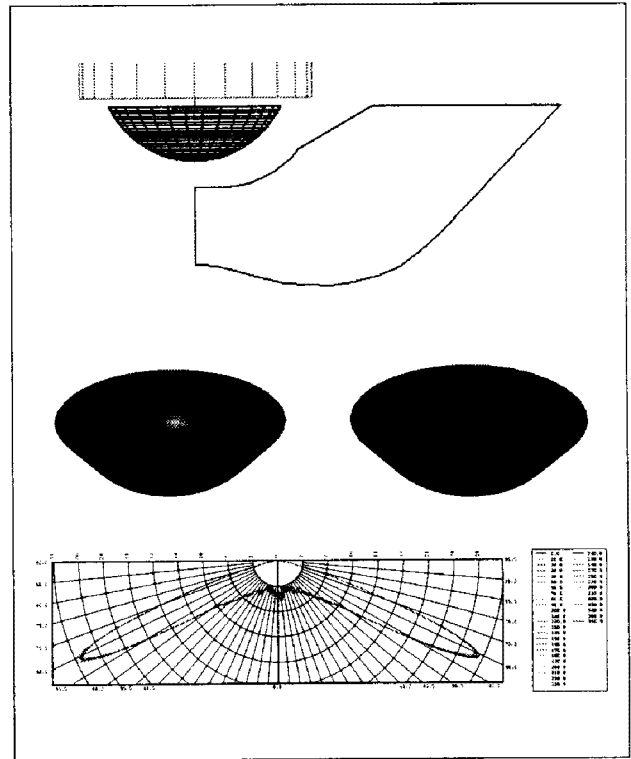


그림 4. 1차 입사면에 대한 재설계 결과(설계2)

그림 4는 타원형 돔 LED에 대한 재설계 결과이다. 0°~50° 구간에 대한 설계는 LED 기본 배광 자체의 광도값이 크게 차이가 나지 않았기 때문에 설계1의 결과를 그대로 사용하였고 65° 이상의 구간에 대해서만 1차 입사면 및 출사면에 대한 재설계를 진행하였다.

빔각이 큰 기본배광을 갖는 타원형 돔 LED의 경우 최대광도 또한 램버시안 배광 형태의 LED에

비해서 큰 수직각 영역에 나타난다. 기본배광 자체의 최대광도가 램버시안 배광에 비해 큰 수직각 영역에 분포하고 빔각이 크기 때문에 그림 3에서 나타난 세그먼트 기울기의 차이가 더욱 두드러지도록 구간의 세그먼트 기울기 설정이 가능하다. 1차 입사면의 재설계를 통해 수직각 65° 이상의 영역에서 출사면 세그먼트 기울기는 1차 입사면을 제어하지 않은 경우에 비해서 완만한 형태로 나타났다. 효율은 90.3%를 나타내었다.

램버시안 기본배광의 LED에 대한 재설계 결과는 나타내지 않았다. 목표배광의 경우 최대광도는 수직각 63.5°에 분포하며 최대광도의 영역이 낮은 수직각에 분포하는 LED의 경우 목표배광과 일치시키기 위해서는 세그먼트의 기울기 설정을 통해 변화시켜야 하는 지향각의 편차가 25° 이상 크게 나타난다. 세그먼트 기울기 설정을 통한 RAY의 제어는 기본적으로 굴절의 법칙이 적용되며 렌즈를 통과한 RAY는 굴절되어 목표 지향각을 향하게 된다. 이 과정에서 원래의 입사각에 비해 RAY의 목표 지향각이 너무 클 경우 세그먼트의 기울기 또한 커지게 되며, 경우에 따라서는 세그먼트에 대한 입사각이 임계각 이상이 되어 굴절체를 통과하지 못하고 전반사와 내부 재반사가 발생하는 등 효율의 손실이 발생하기도 한다. 램버시안 배광 LED의 설계과정에서 그림 4에 나타난 1차 입사면의 형태와 같이 세그먼트 기울기를 설정할 경우 1차 입사면을 통과한 RAY가 출사면을 통과하지 못하고 렌즈 내부면에서 전반사가 발생하였으며, 세그먼트의 기울기 또한 수직각 50° 이상의 구간에서 큰 폭으로 변화하여 전체적인 렌즈의 형상이 완만한 형태를 띄지 못했다. 최대 광도가 큰 수직각 영역에 분포하는 배광을 목표로 하는 렌즈설계 시에는 램버시안 배광 LED의 경우는 출사면의 세그먼트 설정만으로 RAY 진행을 제어하는 것이 효율, 렌즈 형상의 간소화 측면에서 좀 더 적합한 것으로 판단할 수 있다.

3. 결 론

목표배광을 구현하기 위하여 LED 돔의 형태에 변화를 주어 빔각이 다른 각각의 LED에 대한 2차원 배광의 렌즈를 설계하였다. 설계된 렌즈의 시뮬레이션 결과 LED의 기본배광에 따라서 동일 배광

구현을 위한 2차렌즈의 형상 및 효율 등에 차이가 있음을 알 수 있었다. 램버시안 배광을 갖는 LED의 경우 목표배광을 구현하기 위해서 출사면 세그먼트의 기울기 설정만으로 목표배광을 구현하였으며, 타원형 돔 LED의 경우 출사면 세그먼트 기울기 설정 이외에도 1차 입사면의 재설계를 통하여 목표배광을 구현하였다. 이 과정에서 형성된 렌즈는 렌즈 단면이 기존에 비하여 완만한 형태의 설계가 가능하였다.

옥외조명의 배광은 2차원 배광만으로는 달성되기 어렵고 수평각의 모든 방향이 고려된 3차원 배광이 요구된다. 설계의 최종 목표는 2차원 배광형태의 렌즈가 아닌 3차원 배광을 갖는 렌즈이며 이번 논문에서 제시된 몇 가지 형태의 렌즈 형상 및 시뮬레이션 결과를 토대로 이후에 3차원 설계를 진행하고 LED 돔, 기본배광, 2차렌즈의 입사면 및 출사면을 종합적으로 고려했을 때 어떠한 형태의 LED 돔 및 기본배광이 적합한지 여부를 판단해야 할 것이다.

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

참 고 문 헌

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