

조도 균제도 개선을 위한 LED 조명기구의 렌즈 설계

최세윤, 임성우, 여인선
전남대학교 전기공학과

LED Lens Design for the Improvement of Illuminance Uniformity

Se-Youn Choi, Sung-Moo Lim, In-Seon Yeo
Dept. of Electrical Engineering, Chonnam National University

Abstract - LED를 조명용으로 사용하기 적합하도록 Lambertian Type의 백색 LED에 1차 렌즈를 씌어서 일정거리의 작업 면에서 균일한 조도를 얻고자, 광학 설계프로그램인 LightTools를 이용하여 렌즈의 형태를 모델링하고 시뮬레이션을 통해 LED 광원의 배광분포 등의 광학적 특성을 비교분석함으로써 조도 균제도가 우수한 렌즈의 형태를 얻었다.

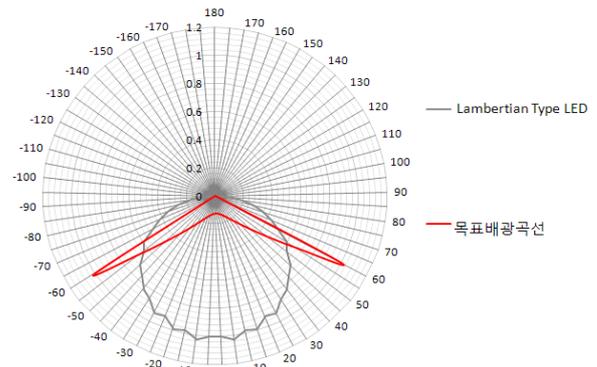
<그림2>에 이에 해당하는 배광곡선을 Lambertian 배광곡선과 비교하여 나타냈다.

1. 서 론

LED는 기존 광원에 비해 낮은 소비전력으로 에너지 절감, 장수 명으로 유지비용 절감, 소형광원으로 공간 절약 등의 특징으로 다양한 곳에 응용 되고 있다.

그러나 LED는 직진성이 강하여, 다른 조명광원에 비하여 좁은 배광분포를 갖는다. 이 특징은 조명용으로 LED를 사용할 경우 균제도가 좋지 못하는 단점을 갖게 된다. 조명 등의 다목적으로 LED광원을 이용하기 위해서는 제품 개발 전에 충분한 광학적 특성 분석을 통하여, 목적에 맞는 배광특성을 갖는 광원을 사용하여야 한다.

이 논문의 목적은 Lambertian 배광의 LED에 1차 렌즈를 부착하여 조명용으로 사용하기 적합한 배광특성을 갖도록 하는 것이다. 광학 설계 프로그램인 LightTools를 이용하여 LED 렌즈의 형태를 모델링하고 이로부터 최대한의 빛을 작업면에 균일하게 비추고자 한다. 이를 위해 균일조도 조건을 만족하는 목표 배광을 설정한 후 이를 만족하는 렌즈 모델링을 실시한다. 조도와 광도 값을 시뮬레이션한 후 조도 균제도 측면에서 적합한 렌즈를 선정한다.



<그림 2> 시험에 사용할 1W LED와 목표배광 곡선

2. 본 론

2.1 균일 조도 조건

LED는 Chip에 따라서 발광점과 발광 형태가 달라져 다양한 배광곡선을 갖지만, 이 논문에서는 Lambertian Type의 백색 LED에 1차 렌즈를 씌어서 일정 거리의 작업면에서 균일한 조도를 얻고자 하였다. 대상 작업 면은 LED로부터 1m 아래에서 광축으로부터 지향각 ±60°범위 내에 놓여 있다.

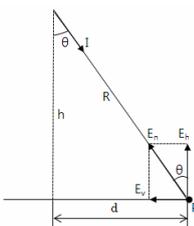
균일 조도 조건을 얻기 위해서 LED를 점광원으로 가정하고 작업면 크기에 해당하는 정사각형 모양의 리시버를 설정하였다. 이 때 리시버의 한 변의 크기는 $2 \cdot \tan 60^\circ = 3.46m$ 이다.

이때 <그림 1>에서 P 점의 조도는 거리의 역제곱법칙으로부터

$$E_h = \frac{I}{R^2} \cos\theta \quad (R = \frac{h}{\cos\theta}) \quad (1)$$

과 같고 이로부터 각 방향의 광도는 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

$$I \propto \frac{1}{\cos^3\theta} \quad (2)$$



h : 발광광원으로부터 높이
E_n : P점에서의 법선조도
d : 수평이격거리
I : 광도

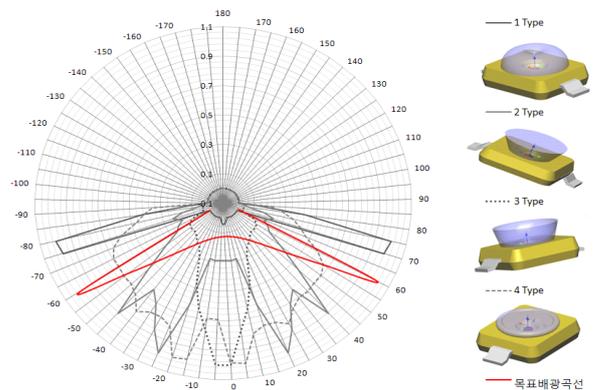
<그림 1> 작업면 조도

2.2 렌즈의 형태에 따른 배광특성분석

목표배광을 얻기 위한 LED 렌즈 설계는 광학설계 프로그램인 LightTools를 이용하였다. 먼저 실험용 LED 특성에 맞는 적절한 재질과 그 외 반사율과 파장 등의 광학적 특성을 LightTools에 적용시킨 후, 임계각과 굴절의 성질을 이용하여 렌즈의 특성을 변화시켰다.

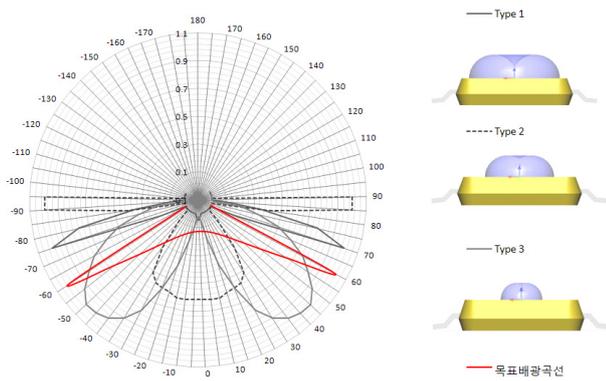
렌즈의 크기와 형상의 변화를 줄때에는 현실적으로 공정 가능할 수 있도록 크기를 고려한 후 결과 치를 재분석 하면서 목표배광에 근접하도록 설계하였다.

<그림 3>의 (가)를 보면 렌즈의 형태에 변화를 준 뒤, 광원의 중심을 통과하는 광도를 수직면의 각도에 따라 극좌표 형식으로 표현하였다.



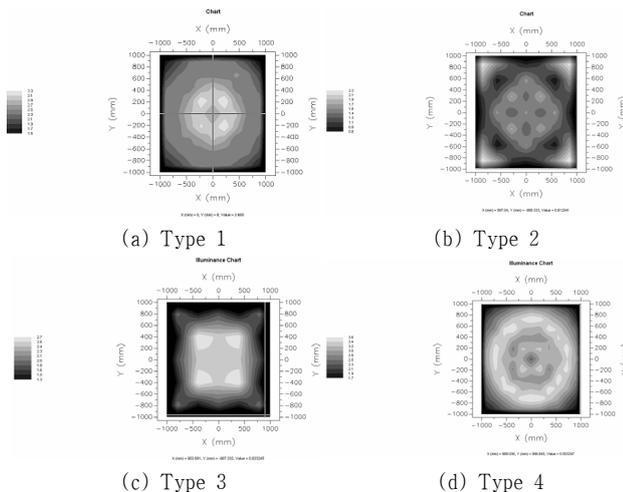
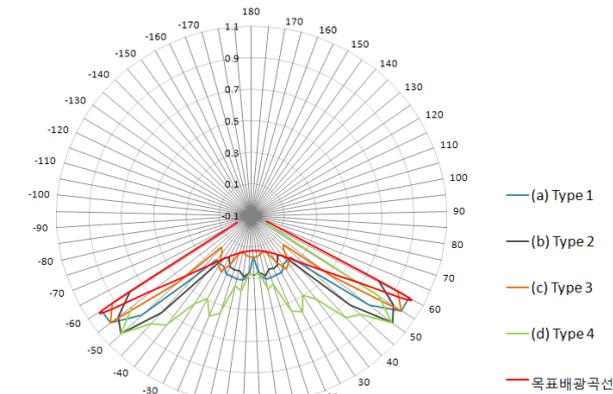
<그림 3> 렌즈 형태에 따른 배광곡선 변화

<그림 4>는 렌즈의 형태를 같게 하고 크기에 변화를 주었을 때의 배광곡선의 값을 나타낸다. 그 결과 렌즈 크기에 따라서 배광의 형태는 크게 변화되지 않았지만, 지향각의 차이변화가 생겼다는 것을 확인 하였다.



〈그림 4〉 렌즈 크기에 따른 배광곡선 변화

〈그림 5〉 목표배광곡선과 비슷한 광도를 갖는 렌즈의 1m 높이에 리시버를 설치한 후, 조도 균제도를 확인해 보기 위하여 래스터 그래프와 비교했다. (a) 배광곡선을 보면 목표배광곡선과 유사하지만 중심부보다 0.5m 부근에 빛이 몰리게 되면서 중심부와 균일한 조도 값을 갖지 못하고 빛의 얼룩이 생기는 특징이 있으며, 효율도 좋지 못하다. (b)는 (a)와 유사한 형태를 띠지만, 바깥쪽에 광도가 늘어남으로 모서리부분에 빛이 집중되는 것을 확인할 수 있다. (c) 일정한 범위 내에서 일정한 균제도를 갖는 것을 볼 수 있다. (d) 기준 배광곡선과 비슷한 비율로 효율을 늘린 경우이다. 효율은 상승하였지만, 중앙부분에 미세한 얼룩을 확인할 수 있다.



〈그림 4〉 렌즈 크기에 따른 배광곡선 변화

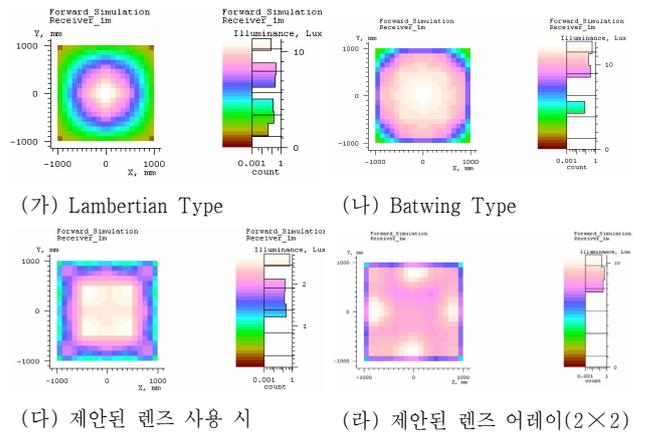
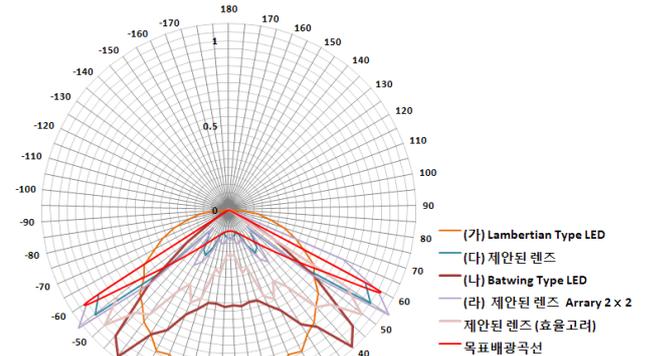
2.3 시뮬레이션 결과 및 분석

목표배광을 맞춰주기 위하여 렌즈설계 한 결과 목표치와 편차가 생겼지만, 어느 정도 일정한 균제도를 갖는 렌즈 형태를 선정할 수 있었다. 그에 따른 배광분포를 목표배광곡선 그리고 상용화 되어 있는 Batwing

Type LED의 배광곡선으로 〈그림 5〉에 비교하였으며, 선정된 렌즈는 균제도와 효율 측면에서 가장 적합한 렌즈의 배광곡선이다.

균제도와 효율 측면을 따로 구분한 이유는, 조도 균제도가 값을 일정하게 하고자 렌즈를 설계하면 상대적으로 렌즈의 효율이 감소하므로, 균제도는 조금 떨어지더라도 효율을 감소시키지 않는 형태의 렌즈도 고려할 필요가 있기 때문이다. 분포도 나타났다.

〈그림 5〉는 렌즈의 형태에 변화를 주기 전의 조도분포와 제안된 렌즈를 사용한 결과의 조도 값을 비교한 그림이다. (가) 시험에 사용한 Lambertian Type LED의 배광곡선을 나타냈다. 중앙은 밝지만 바깥으로 갈수록 조도가 낮아진다. (나) Batwing Type의 LED의 배광곡선을 나타내고 있으며, 면적에 대한 조도의 차이가 적음을 확인할 수 있다. (다) 최대조도를 나타내는 면적이 넓어졌으며, 균일하게 분포됨을 확인할 수 있다. (라) 4개의 LED를 1.2m 간격으로 2×2로 어레이 한 후 시뮬레이션 한 결과 값을 보여주고 있다. 1.2m 간격의 배열은 제안된 렌즈로 가장 균일한 균제도를 갖게 해주는 거리이다.



〈그림5〉 선정LED, Batwing Type LED, 목표배광곡선 비교

3. 결 론

Lambertian 배광의 LED에 1차 렌즈를 부착하여 작업면 전체에서 균일한 조도를 얻을 수 있는 렌즈 형태를 광학 설계 프로그램을 통해 얻었다. 렌즈의 형태 변화를 통해 얻은 배광이 목표 배광곡선과 완벽히 일치하지는 않았으나 비교적 일정한 균제도를 갖는 배광곡선을 얻을 수 있었다. 또한, 제안된 렌즈를 어레이하여 사용하는 경우의 LED 간격의 최적 값도 얻을 수 있었다.

하지만 렌즈의 형태나 곡률에 대하여 조금의 변화가 생기게 된다면 배광곡선의 변화가 크게 달라지므로 LED공정 단계에서 렌즈 형태 공정 시 정밀한 기술이 필요로 하다.

[참 고 문 헌]

[1] 한정아, “고출력 LED 모델링 및 광학적 특성 분석”, 한국광학회지 제 18권 제 2호, 2007년 4월.
 [2] 정승균, “LED 2차 광학 시스템의 설계법 개발”, 조명전기설비학회 논문지, 제 21권 제 6호, 2007년 7월.
 [3] Optical Research Associates, Light Tools User's Guide, May 2008.