

180W급 LED가로등 최적 배광각 설계

김경온*, 어익수*, 서의석* 송상빈**, 김기훈**, 박정욱**,
호남대학교*, 한국광기술원**

Optimize Optical Design of 180W class LED Street Lighting Modules

Kyoung-Onn Kim*, Ik-Soo Eo*, Eui-suk Suh*, Sang-Bin Song**, Gi-Hoon Kim**, Joung Wook Park**
Honam University*, KOPTI**

Abstract - LED 조명기구의 광학적, 기구적 설계의 최적화 방안이 여러 가지로 논의 되고 있는 가운데, 본 연구에서는 LED 조명기구 중에서도 점차 활용에 대한 시도가 증가하고 있는 LED 가로등의 적절한 배광을 달성하기 위한 광학 설계를 하였다. 그리고 Lens와 Reflector의 결합이 아닌 Reflector만을 이용한 배광 제어 설계 방법을 제시 하였다. LED 가로등 모듈의 설계는 Photopia를 사용하였고, 도로 적용 시물레이션은 Relux를 이용하여 설계결과에 대한 성능을 검증하였다.

1. 서 론

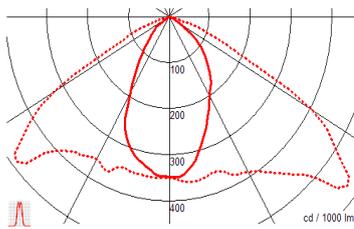
LED 조명 시장은 여러 가지 기술적인 문제들이 시장의 성장을 저해하고 있지만 발전 가능성이 높은 광원이기 때문에 현재는 문제점을 해결하기 위한 시도와 기존 광원 대체용 LED조명 제품들의 종류가 더욱 다양해지고 있다. 또한 실의 LED조명기구의 종류는 대체로 보안등, 투광기, 가로등, 경관 장식용 조명기구 등으로 나눌 수 있으며 특히 현재 출시되고 있는 가로등은 대부분 보안등 형태의 배광 수준에 머무르고 있다. 이는 LED조명기구의 광 손실과 도로에서 필요한 광량의 부족 때문인 것으로 판단된다. 결과적으로 배광 제어가 거의 이루어 지지 않는 경우로 이는 배광 제어 설계의 방법 및 기술들이 일반화 되어 있지 않았으며 문제 해결을 위한 기술적 난이도가 높기 때문이다.

본 연구에서는 LED 가로등의 최적화된 배광을 설계하여 목표 배광과 비교하였고, 간단한 구조를 위해 Reflector만을 이용하여 최적화 배광을 설계하였다. 그리고 배광제어에 대한 여러 가지 설계 방법론적 관점에서 Reflector를 사용한 배광 제어 설계 방법을 제시 하였다.

2. 본 론

2.1 목표 배광 설정

가로등의 배광 형태는 도로의 특성에 따라 다양하나, 본 연구에서는 200W급 기존광원을 사용한 가로등 배광을 목표 배광으로 선정하였다. <그림 1>은 목표 배광을 나타낸 그림이다.



<그림 1> 목표 배광

2.2 LED 제한

LED Package 선정 기준은 5,000~6,000 [K]의 범위에 들어가는 색온도와 높은 광속으로 가능한 낮은 소비전력을 유지하기 위하여 주안점을 두었다. 되도록 낮은 소비전력과 높은 광량을 위해 A사의 1W Lambertian type을 선정하였다. <표 1>은 선정 LED에 대한 측정 결과이며 시물레이션을 하기위한 광원Library 설정에도 그대로 반영하였다.

<표 1> LED 제한

소비전력 [W]	전류 [mA]	광속 [lm]	광도[cd]	CCT [K]
1	350	100	44	5492

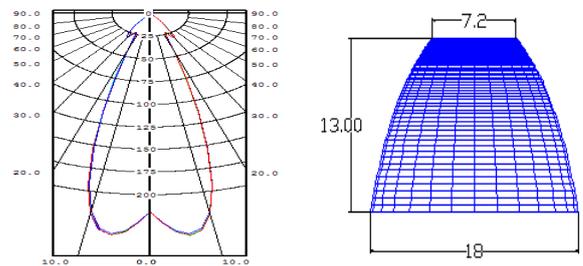
2.3 LED Module 구성 및 배광 제어 설계

2.3.1 LED Module 구성

광학 특성을 나타내는 LED 가로등의 모듈 구성은 LED Package와 Reflector로 이루어져 있고 180개의 개별 Reflector는 각각의 LED에 1개씩 결합되어진다. 또 Reflector 종류는 가로등 헤드에서 비교적 가까운 거리를 입사 할 수 있는 형태와 먼 거리를 입사하는 두 가지 종류로 구성되어 있다. 180개에 대한 LED를 각각 Diming하여 제어 하면 좋지만 오차나 기구 수정 등 문제가 복잡해지기 때문에 하나씩 개별적으로 제어 할 수 없다. 그래서 18개의 PCB를 각각 제어하여 배광 제어를 하도록 하였다. 또한 각각의 LED는 18개의 PCB에 나누어져 배열 되어있기 때문에 PCB 모듈 단위로 제어하여 설계를 진행하는 방식으로 설계의 복잡한 과정을 줄였다.

2.3.2 Reflector 설계와 배광 제어

Reflector는 2가지 형태로 Type A는 비교적 가까운 거리를 입사하고 Type B는 먼 거리를 입사하는 모듈에 적용된다. 또 재질은 알루미늄이고 반사율은 91%를 적용하였다. <그림 2>는 Type A의 설계와 LED Package를 결합 시켰을 때의 배광을 나타낸 그림이다. 가로등 헤드에서 가까운 거리(직하방향 피조면)를 입사하기 위해서 지향각을 30°이상 되도록 설계하였다.

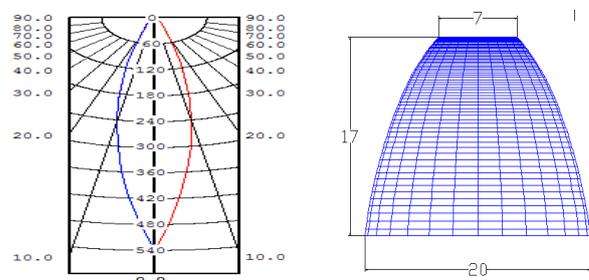


(a) 배광

(b) Reflector Size

<그림 2> Type A

<그림 3>은 Type B에 대한 설계와 배광을 나타낸 그림이다. 가로등 헤드에서 먼 거리를 입사하기 위해 직진성을 가진 투광기의 협각 형태로 배광을 설계하였고 지향각은 20°정도 되도록 하였다.



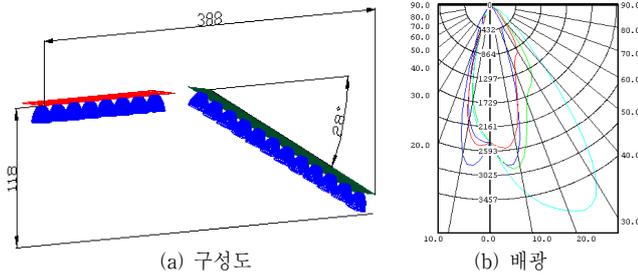
(a) 배광

(b) Reflector Size

<그림 3> Type B

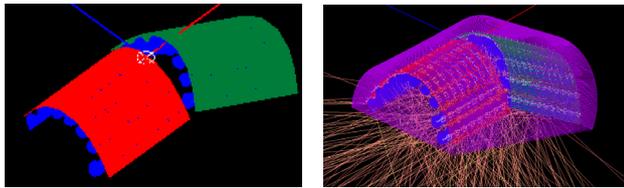
LED 가로등 모듈을 구성하기 위한 Type별 Reflector를 PCB에 배열하

여 결합하기에 앞서 먼저 1열에 대한 PCB 모듈을 설계하고 그 다음 열의 PCB도 Symmetric하게 모듈을 구성하였다. <그림 4>는 1열의 PCB에 대한 구성과 배광분포를 나타낸 그림이고, (a)의 28° Tilt되어 있는 부분은 더 넓은 피조면을 입사하기 위해서 설정한 부분이다.



<그림 4> 1열 모듈 구성 및 배광

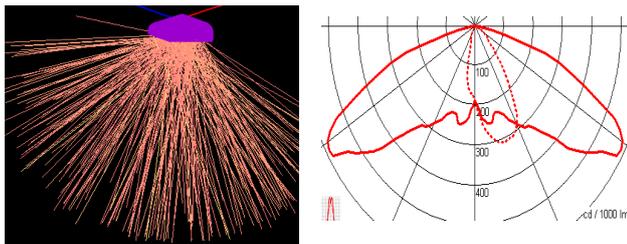
<그림 4>의 1열에 대한 모듈을 중심으로 양쪽에 각각 25°, 45°, 55°, 65°로 각도를 Tilt시킨 모듈을 추가하여 구성했고 특히 0°, 25°, 45°에 해당하는 모듈은 Type A Reflector를 적용, 55°, 65°에 해당하는 모듈은 Type B Reflector를 적용하여 모듈을 구성하도록 하였다. <그림 5>의 (a)는 LED와 Reflector, PCB가 결합되어 모듈 구성의 완성 형태이고 (b)는 모듈 특성상 외관 케이스가 미치는 영향도 고려해야 하기 때문에 방열판과 기타 부품의 크기를 감안하여 LED 가로등 모듈의 외관에 케이스를 적용하도록 한 것이다.



(a) 구성도 (b) 외함 적용

<그림 5> LED 가로등 모듈

모듈 구성을 마친 후 시뮬레이션을 실행한 결과는 <그림 6>이다. (a)는 외관 케이스까지 모두 적용된 상태에서의 Ray Trace 결과 이고 (b)는 설계된 LED 가로등의 배광분포이다. 목표 배광과 완벽히 일치하지 않지만 목표 배광보다 더 개선되고 가로등에 적합한 배광임을 알 수 있었다. 그리고 중심최대 광도는 3,300[cd]로 나타났다.



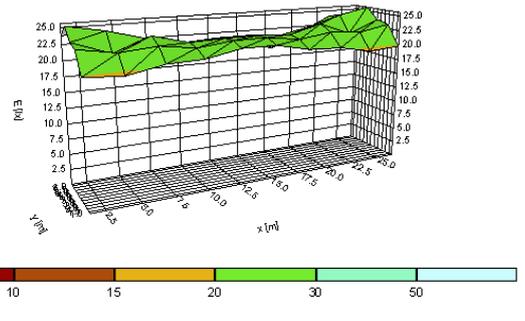
(a) Ray Trace (b) 배광

<그림 6> LED 가로등 모듈 Ray Trace 및 배광

2.4 LED 가로등 모듈 도로 적용 시뮬레이션 및 결과

설계가 완성된 LED 가로등 모듈의 성능을 테스트하기 위해 시뮬레이션 결과 생성된 IES File을 바탕으로 도로 적용 시뮬레이션을 수행하였다. 도로는 1차선을 3.5[m]로 하여 2차선을 기준으로 폭 : 7[m], 도로 조명의 등급 : M2, 노면 등급 : R4, 노면 휘도 계수 : 0.08, Photometric centre height : 11[m], Luminair spacing : 28[m], Over hang : 1.5[m], 광속유지율(또는 보수율) : 0.65, Tilt : 0°, 등기구 배열 방식은 한쪽 배열로 설정하였다.

<그림 7>은 도로 시뮬레이션 결과 중에서 조도 분포를 3D view로 나타낸 그림이다. 조도의 경우 노면의 조도가 큰 편차 없이 고르게 분포했음을 알 수 있었다.



<그림 7> 조도 분포 3D view

3. 결 론

- 기존 LED 가로등의 대부분은 PCB에 LED를 배열하거나 광학적 성능이 불확실한 Reflector나 lens를 사용하여 빛을 제대로 제어하지 못하였고 보안등처럼 Lambertian type 배광에서 벗어나지 못하는 수준이었다. 본 연구에서는 Reflector를 이용하여 구조를 간단하게 하고 기존 광원을 사용한 가로등 조명기구보다 더 성능이 좋은 배광을 설계 할 수 있음을 보여주었다.

1. 기존 메탈헬라이드 200W를 사용한 목표 배광과 1W LED Package에 Reflector를 사용한 LED 가로등 모듈의 배광을 비교하여 도로 시뮬레이션 결과 노면에 대한 휘도, 조도, TI, SR등의 결과를 확인 할 수 있었다. LED 가로등 모듈의 도로적용 결과 휘도는 Observer location을 2개로 하여 계산하였는데 그중하나인 "x=88[m], y=5.25[m], z=1.5[m]"에서의 평균휘도는 1.9[cd/m²], 최소휘도는 0.97[cd/m²], U₀는 0.53, U₁는 0.76로 나타났다. 그리고 평균조도는 22.2[lx], 최소조도는 19[lx], U_E는 0.9, U_{E1}는 0.7이었다. 그밖에도 TI : 6%, SR(surrounding brightness) : 0.66이 됨을 알 수 있었는데. 이 같은 결과는 KS 도로 조명 기준(KS A 3701)에서 M2(고속의 도로, 주요한 도시 교통로, 간선도로)에 해당하는 평균노면 휘도(1.5[cd/m²]), 종합 균제도(0.4), 차선축 균제도(0.7), Ti(최대허용치 10%), 평균 조도(19[lx])에서 모두 만족하는 결과를 나타내어 기존 광원 가로등을 대체 할 수 있는 성능을 보여주었다. 결과적으로 LED 가로등의 배광과 성능은 용도에 적합하게 설계되었다고 평가 할 수 있었다.

2. LED 가로등 배광을 제어하기 위해 각각의 LED에 오직 Reflector만 사용하는 방식을 택했지만 Reflector와 동일한 배광을 나타내는 LED Collimator Lens를 설계하여 적용한다면 동일한 배광 성능을 얻을 수 있다고 유추해 볼 수 있었다.

3. 본 연구에서 설계한 LED 가로등 모듈은 크게 2개 부분으로 구분할 수 있다. 노면에 수평인 부분과 28° Tilt되어있는 부분(녹색 PCB)이다. 시뮬레이션 결과 28° Tilt되어 있는 부분의 각도를 조절 하면 여러 가지 도로의 특성에 적합한 가로등 제작이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

4. 본 연구에서는 180W를 기준으로 2차선에 국한된 모듈을 설계하였으나, 시뮬레이션 결과 LED의 개수를 늘리거나 형태를 변형한다면 300~400[W]급의 가로등 모듈도 이와 같은 방식으로 배광 제어 설계가 가능하다.

5. LED 조명기구를 설계할 때는 배광뿐만 아니라 열적인 요소도 고려하여야 한다. 그러나 본 연구는 광학적인 특성만을 고려하여 설계 하였다. 이후에는 광학적 특성, 열적인 특성, 기계적 특성을 동시에 고려하여 LED 가로등 모듈을 설계 하여야 할 것이다.

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

[참 고 문 헌]

[1] R.H. SIMONS & A.R. BEAN, "LIGHTING ENGINEERING", 2001.
 [2] 이종국, 임성규, "Luminance Uniformity of Improvement for LED Source by Using the Design of Reflector Structure", 2004.
 [3] 도로 조명 기준 KS 규격(KS A 3701)