

# 반사판을 이용한 LED 보안등기구의 배광 제어

(A Control of Luminous Intensity Distribution for LED Safety Luminaires using the Reflector)

석대일\* · 김 훈

(Dae-Il Seok\* · Hoon Kim\*)

\*강원대학교

## 요 약

본 논문에서는 반사판을 이용하여 LED 보안등기구의 배광을 제어하였다. 먼저, 광학 설계를 용이하게 하기 위하여 집적화된 LED 모듈의 적정 배열을 도출한 후 반사판 설계를 하였으며, 광학 성능 예측 프로그램을 이용하여 결과물의 성능을 확인하였다.

## 1. 서 론

최근 LED의 발광 효율은 기존의 형광램프를 대체할 정도의 수준까지 이르렀다. 사회적으로 에너지 절약, 친환경 등 국가 정책에 힘입어 LED가 이슈가 되고 있다. 그에 따라 LED를 이용한 램프 및 조명기구들이 많이 개발되고 있으며, 실내뿐만 아니라 실외 조명에서도 LED 조명기구의 사용이 확산되고 있다.

그 중 야간의 사고와 안전에 직결되는 도로조명이나 주택가의 조명을 개선하고자 LED 조명기구를 개발, 도입하고 있다. 하지만, 도로조명기준이 매우 엄중하며, 차량 사고 위험성이 상시 내재되어 있기 때문에 신중한 고려가 요구된다. LED의 발광 효율이 보다 향상되어야 하며, 조명기구들은 충분한 광학적 성능과 경제적 이득을 지녀야 한다. 반면, 보행자의 안전을 목적으로 하는 기존의 보안등기구를 LED 조명기구로 대체하는 것은 가로등에 비해 완화된 기준과 추천치가 적용되고, 에너지 절감 측면에서 상당히 유리하리라 본다.

본 논문에서는 LED 보안등기구를 설계하였다. 반사판을 이용하여 배광 제어를 하였으며, 제어를 용이하게 하기 위한 집적화된 LED 모듈의 배열을 구하였다. 광학 성능 예측 프로그램을 이용하여 결과물의 성능을 평가하였고, KS C 7658에서 제시하는 보행자에 대한 조도 기준과 비교하였다.

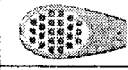



## 2. 본 론

### 2.1 배열된 LED의 시뮬레이션

일반 조명을 위해서라면, 용도에 적합한 밝기를 낼 수 있도록 높은 발광 효율을 요구하며, 조명기구의 배광이 중요한 사항으로 부각된다.[1] 높은 발광 효율을 달성하기 위해서 다수의 LED를 적용하고 있다. 표 1은

LED 보안등기구의 몇 가지 특징을 조사한 것이다.

표 1. LED 보안등기구의 특징

형상	특징
	- 기존 기구 안에 LED를 평면으로 배열 - 배광 제어, 방열 고려 안 함, 단가 절감
	- LED의 배열만을 이용한 배광 제어 - 방열을 고려한 기구 디자인
	- 군집된 LED 개개마다 렌즈 적용하여 배광 제어 - 렌즈로 인한 단가 상승
	- LED마다 적용되는 반사판 모듈을 이용 - 단가 절감의 이득 - 제어 가능한 LED 방사각의 제한

배광 제어를 위해서는 제대로 설계된 렌즈를 적용하는 것이 유리하지만, 제작이 어렵거나 단가 측면에서 비용이 상승할 우려가 있다. 본 논문에서는 설계와 제작의 용이, 비용 절감을 위해 반사판을 이용하여 배광을 제어하였다. 일반적으로 박막의 기구 디자인과 방열을 고려하여 다수의 LED를 평면상에 배열한다. 이 경우 반사판으로 배광 제어하는 것은 램버시안 배광을 갖는 LED의 방사각으로 인해 제약이 있다.

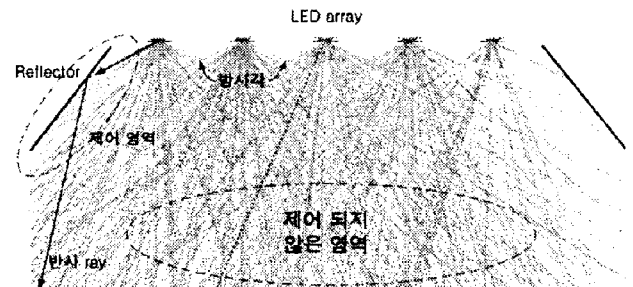


그림 1. 반사판 적용의 제약

제어를 위해서는 반사판의 높이가 증가해야 하며, LED 배열의 면적이 넓을수록 제어가 어려워지고, 상대적으로 반사판의 크기가 커지게 된다.

LED 조명에서 중요한 요소로 지적되는 부분은 기존 조명과 동일한 광학적 성능 또는 그 이상의 성능을 발

현시킴을 위한 기술이다. 이를 위해 중요하게 간주되는 것이 LED 조명시스템에서 방열에 대한 해결책을 찾는 것이다.[2] 본 논문에서는 반사판을 이용한 배광 제어의 가능성을 보는 것이 주목적이며, 방열에 관한 연구는 추후 보완해야 할 과제로 남겨두었다.

반사판을 이용한 제어가 가능하고 원하는 배광을 구현하기 위한 LED의 배열을 먼저 도출하였다.

그림 2는 LED 배열에 따른 균집된 LED의 배광을 시뮬레이션 한 것이다. 설계에 적용된 LED는 1.2W, 광효율 80lm/W인 해외 제품이다. 일반적인 램버시안 배광을 갖는다.

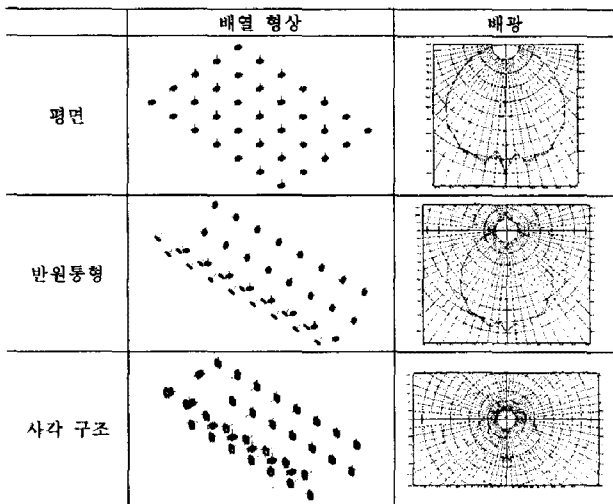


그림 2. LED 배열에 의한 배광의 변화

## 2.2 설치 조건 선정

설계된 조명기구가 적용되는 지역은 상가 밀집 지역, 공원 산책로와 같은 보행자의 소통이 빈번한 곳으로 가정하였다.

2009년에 공표된 KS C7658에서는 LED 보안등기구의 보행자에 대한 조도 기준을 제시하고 있다. 그리고 설치 높이에 따른 조도 계산 적용면적을 제시하고 있다.

표 2. 보행자에 대한 조도 기준(KS C7658)

야간 보행자 교통량	지역	조도(lx)
		평균 노면 조도
교통량이 많은 도로	주택 지역	5
	상업 지역	20
교통량이 적은 도로	주택 지역	3
	상업 지역	10

표 3. LED 보안등기구 설치 높이에 따른 적용면적(KS C7658)

설치 높이	가로 X 세로
4	8 X 4
5	12 X 6
6	16 X 8

조명기구의 설치 높이는 5m, 설치 간격은 12m, 도로 폭은 6m를 가정하였다.

도로조명기준 KS A3701의 보행자에 대한 도로조명 기준에는 수직면 조도가 포함되어 있지만, LED 보안등기구 기준에는 제외되었다. 본 논문에서는 KS A3701에서 권고하는 수직면 조도도 고려하였다.

## 2.3 반사판의 설계

### 2.3.1 LED 배열의 결정

먼저, 설치 조건에서 기준 수평면 조도를 달성하기 위한 LED의 광속과 수량을 결정하였다. 평균조도 계산식을 이용하였다.

$$F = \frac{E_{av} \times S \times W}{N \times CU \times MF} [lm] \quad (1)$$

F : 램프 광속[lm],  $E_{av}$  : 평균 조도[lx], N : 조명기구 개수  
S : 설치 간격 [m], W : 도로 폭[m], CU : 조명률, MF : 보수율

요구되는 전체 광속은 3200lm이며, 40개의 LED를 사용하였다. LED를 평면으로 배열할 경우, 직하부 조도가 높게 나오고 반사판으로 제어하는 데 어려움이 있다. 또한 조명기구 간격이 좁아져야 하는 단점이 있다.

본 논문에서는 LED를 그림 2의 사각 구조 형태로 배열하였다. 직하부에서 기준 조도를 만족하는 광도를 거리 역제곱 계산식을 이용하여 구하고, 필요한 LED 개수를 계산한 다음 하단에 배열하였다.

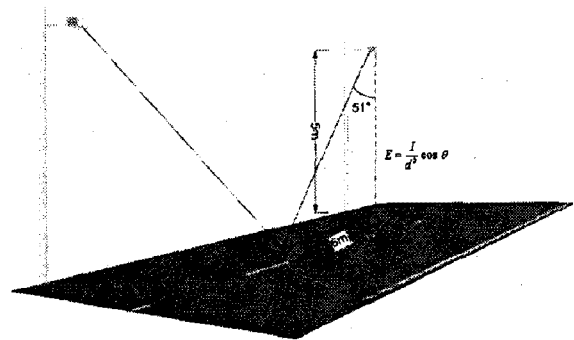


그림 3. 목표 광도의 계산

반사판 설계 시 반사판에서 반사된 빛을 원하는 방향으로 보내는 방법은 여러 가지가 있지만, 본 설계에서는 입사 방향의 반대 방향으로 빛을 보내는 설계 방식을 이용하였다. 그림 4의 (b)에 해당한다. 반사판이 작아질 수 있고, 일반적으로 사용되는 형상이다.[3]

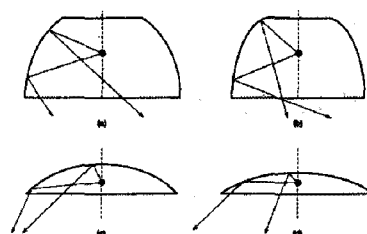


그림 4. 반사판의 형상

제어 가능한 방사 범위를 확장해 주기 위해 수직면에 LED를 배열하여 직접광이 측면으로 방사되도록 하였다.

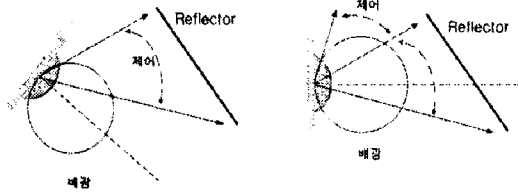


그림 5. 직접광의 제어 범위

### 2.3.2 설계

LED 자체는 크기가 작아서 렌즈나 반사판의 사이즈가 작아질 수 있지만 발광 효율을 높이기 위해 지금처럼 여러 개의 LED를 배열하는 경우 전체 사이즈는 커질 수가 있다. 소형의 사이즈를 구현하고 최적의 성능을 지니도록 설계가 이루어져야 한다.

본 설계에서는 RAY의 입사각에 대해 원하는 수직각으로 RAY를 반사시켜주기 위해 반사판 segment의 기울기를 결정하는 직접 설계법(그림 6)과 LED나 PCB로의 재흡수를 최소화하기 위한 Tangent spiral 기법(그림 7)을 응용하였다. 2차원에서 단면 설계를 하고, 조합하여 최종 반사판 형상을 얻었다.

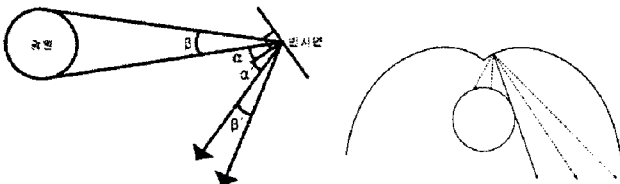
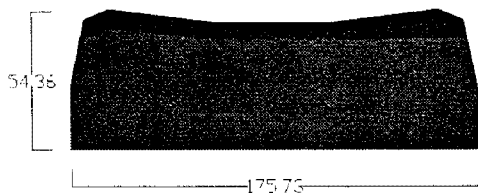
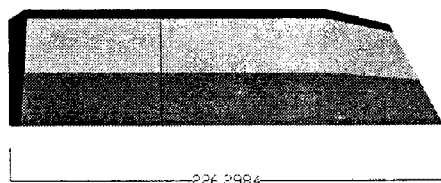


그림 6. 직접 설계법과 Tangent spiral 설계

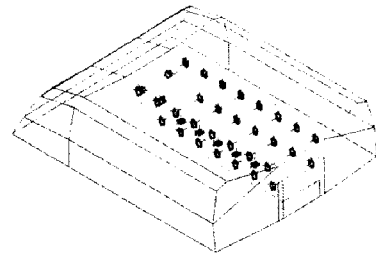
그림 7은 완성된 반사판의 형상을 보여준다. 결과물의 사이즈는 길이 22cm, 높이 5.4cm, 폭 17.5cm였다.



(a) 반사판 정면 형상



(b) 반사판 측면 형상



(c) 반사판 전체 형상

그림 7. 완성된 반사판 형상

그림 8은 배광예측프로그램인 Photopia를 이용하여 나온 배광 곡선이다.

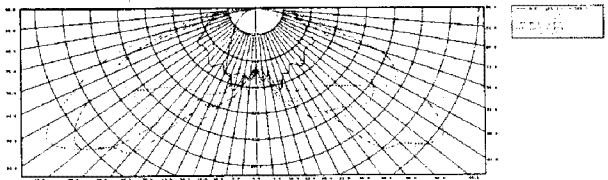


그림 8. 반사판의 배광 곡선

도로 길이 방향으로 최대 광도는 목표로 했던 50° 부근에서 나온다. 시뮬레이션에 적용한 반사판 재질의 반사율은 90%였으며, 반사판 효율은 89%였다.

### 2.4 조도 시뮬레이션

Photopia 시뮬레이션 결과로 얻어진 IES 파일을 이용하여 광학 성능예측 프로그램인 Lumen Micro에서 조도 분포를 시뮬레이션 하였다. 그림 9에서 조도 시뮬레이션 결과를 보여준다.

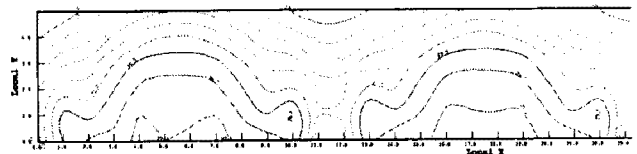


그림 9. Lumen Micro 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과, 평균 수평면 조도는 20.32lx였다. 그리고 수직면 조도는 평균 11lx가 나왔다. 설계 결과는 LED 보안등기구의 보행자에 대한 조도 기준(KS C7658)에서 보행자의 통행량이 많은 상업지역의 추천 조도 20lx를 만족하였다. 또한, 도로조명기준(KS A3701)의 보행자에 대한 4lx를 만족하였다.

### 3. 결론

본 논문에서는 LED 보안등기구의 배광을 제어하기 위한 반사판을 설계하였고, 광학 성능예측 프로그램을 이용하여 KS C7658에서 제시한 조도 추천치를 만족하

는 지 검증하였다.

배광 제어가 용이한 LED 배열의 구조를 구하고, 반사판 설계를 하였다. 단순한 형상의 반사판이기 때문에 제작이 용이하며, 설치 조건에 따라 조도 시뮬레이션을 한 결과 조도 추천치를 만족하였다.

렌즈를 적용하는 경우에 비해 제작비가 감소하는 이점이 있지만, 방열 문제에 대한 충분한 검토를 하지 않았기 때문에 방열 기술이 접목된다면 비용이 증가할 수도 있을 것이다.

방열과 관련하여 본 논문에서 도출된 LED 배열 구조가 적합한 지에 관한 것은 추후 연구되어야 할 과제이다. 또한, 평면으로 구성된 LED 모듈 위에 개별 반사판을 설계하여 배광 제어하는 것도 해 볼만 하다.

본 연구는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 결과입니다.

#### 참 고 문 헌

- (1) “비대칭 배광을 갖는 이면도로용 LED 가로등 렌즈 개발”, 이민욱 외 3명, 2008 한국조명전기설비학회 춘계학술대회 논문집, pp.117~119
- (2) “LED 조명설계를 위한 방열특성 비교”, 박정욱 외 4명, 2009 한국조명전기설비학회 춘계학술대회 논문집, pp.252~255
- (3) “Lighting Engineering applied calculations”, R.H. Simons and A.R. Bean, MPG Books, Cornwall, pp.227 .