

# LED Floodlight용 비대칭 배광 렌즈 설계

(Optical Design of LED Floodlight Lens for asymmetrical distribution)

오혜영<sup>\*</sup> · 한종성 · 조속현 · 김 훈

(Hye-Young Oh · Jong-Song Han · Suk-Hyun Cho · Hoon Kim)

(강원대학교 전기전자공학부)

## 요 약

본 논문에서는 야간 경관 조명기구에 대하여 유지보수 및 광해를 유발할 수 있는 요인을 파악하고 이를 해결하기 위해 저전력 소모, 장수명의 장점을 가지고 있는 LED를 적용한 비대칭 배광을 가지는 LED Floodlight용 렌즈를 설계하였으며 그 성능 평가 및 설계된 렌즈를 적용한 조명기구를 예측하였다.

## 1. 서 론

최근 현대인들의 활동시간대가 야간으로 연장되고 있는 실정에서 조명은 중요한 역할을 하고 있다.

과거 조명은 어두운 주변 환경을 밝혀주는 단순한 역할이었으나, 오늘날에는 시민들의 안전성 뿐 아니라 건축물이나 교량, 조형물 등을 조명하여 각 특성에 맞는 시각적인 강조, 주변 환경의 아름다움을 제공하는 역할로서 야간 경관조명이 늘어나고 있는 추세이다.

경관 조명에서는 반사판이나 렌즈를 이용하여 원하는 방향으로 빛을 모으는 Floodlight(이하 투광기)를 대부분 사용하고 있으며, 투광기의 광원으로 HID램프, 할로젠램프, CDM 램프 등이 많이 사용되고 있었으나 유지보수의 용이성을 지닌 조명용 LED 개발이 활발히 진행됨에 따라 LED를 이용한 투광기가 크게 증가하고 있다.

그러나 경관조명에 대한 관심이 늘어나면서 시민들의 안전과 유지보수, 광해에 대한 부분이 고려되지 않은 무차별한 설치로 인해 그 신뢰성이 문제되고 있다.

그림1과 같이, 대부분의 경관조명용 투광기는 대상물의 조사방향에 따라 본체의 각도를 조절하여 기울어지게 설치되고 있다.

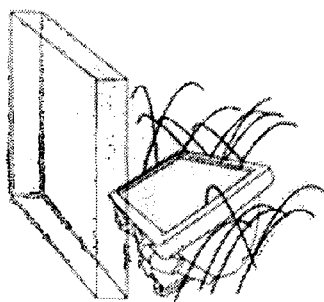


그림 1 경관조명용 투광기가 설치된 형태

이처럼 설치된 투광기는 빛이 발광되는 부분(이하 발광부)에 먼지열화, 조류의 배설물로 인한 오염 등에 노출되기 쉬우며 청공으로 향하는 빛으로 인해 광해를 유발할 수 있다. 즉 유지보수 및 광해에 대해서 취약점을 드러내고 있다.

경관조명은 설치보다 유지보수가 더 중요하다.

따라서 본 논문에서는 광해를 차단하고 유지보수가 용이한 투광기의 개발을 위하여 에너지 절감 효과 뿐 아니라 장수명의 장점을 지닌 LED를 사용한 투광기의 비대칭 배광을 갖는 렌즈를 설계하고 그 성능 예측 평가 및 설계된 렌즈를 적용한 조명기구의 Rendering 결과를 보였다.

## 2. 본 론

### 2.1 목표 배광 설정

설계에 앞서 목표 배광을 결정한다. 그림2와 같이 목표물과 조명기구 사이의 거리  $x$ 와 조명기구의 설치 높이를 고려한 목표물에 조사되는 길이  $y$ 를 선정하여 지향각  $\theta$ 를 구하였다. 본 설계에서는  $x=1m$ ,  $y=1.5m$ 에 대한 지향각  $\theta = 55^\circ$ 를 갖는 비대칭 배광을 목표배광으로 설정하였다.

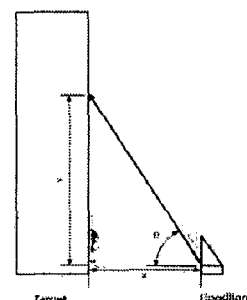
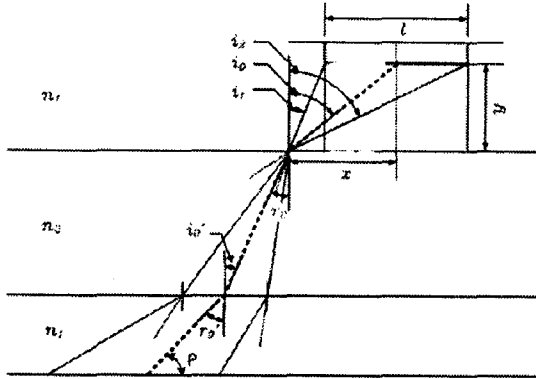


그림 2 목표배광 설정

## 2.2 렌즈의 설계 과정

LED는 크기가 매우 작은 광원이지만 실제로 발광면이 부피를 가지고 있기 때문에 점광원으로 가정하여 광학 설계가 진행되는 경우에는 오차가 발생할 수 있다.

따라서 본 설계 과정에서는 이러한 오차를 줄이기 위해서 발광면의 크기와 렌즈 입사면 사이의 거리에 따른 입사각 범위를 구하고 요구하는 목표 지향각 P를 구현할 수 있는 렌즈의 기울기를 결정하였다.



$i_0, i_1, i_2$  : 1차 굴절면에 대한 입사각  
 $r_0$  : 1차 굴절면에 대한 출사각  
 $i_0', i_1'$  : 2차 굴절면에 대한 입사각  
 $r_0'$  : 2차 굴절면에 대한 출사각  
 $l$  : 발광면의 길이  
 $x$  : 중점으로부터의 입사 거리  
 $y$  : 발광면과 렌즈 입사면 사이의 거리  
 $n$  : 매질의 굴절률

그림3 렌즈의 ray tracing

1차 굴절면으로 입사되는 각도는 광원과 렌즈 입사면 사이의 거리와 발광면으로부터의 출사각에 따라 달라지며 광원과 렌즈 입사면 사이의 거리 y와 발광면 중심으로부터의 출사각  $\theta$ 에 따라 발광면의 크기 l에 대한 1차 굴절면으로 입사되는 각도  $i_1, i_2$ 를 유도하는 식은 다음과 같다.

$\theta < 90^\circ$  일 경우 ;

$$i_1 = \tan^{-1} \left( \frac{2y \times \tan \theta}{2y - [l \times \tan \theta]} \right) \quad (1)$$

$$i_2 = \tan^{-1} \left( \frac{2y \times \tan \theta}{2y + [l \times \tan \theta]} \right) \quad (2)$$

$\theta > 90^\circ$  일 경우 ;

$$i_1 = \tan^{-1} \left( \frac{2y \times \tan(180 - \theta)}{2y - [l \times \tan(180 - \theta)]} \right) \quad (3)$$

$$i_2 = \tan^{-1} \left( \frac{2y \times \tan(180 - \theta)}{2y + [l \times \tan(180 - \theta)]} \right) \quad (4)$$

광원을 중심으로 수직각  $5^\circ$  간격으로 구간을 분할하고 LED 발광면의 크기에 대한 각 수직각 구간별 입사각  $i_1$ 과  $i_2$ 를 구한다. 단,  $90^\circ \leq \theta \leq 100^\circ$ 에 대해서는 예외적이다.

설계된 비대칭 배광을 가지는 렌즈는 각 수직각 구간별 입사각  $i_1$ 과  $i_2$ 에 따라 굴절부, 전반사부, 하부 프리즘으로 구분하여 다음 그림4와 같이 진행되었다.

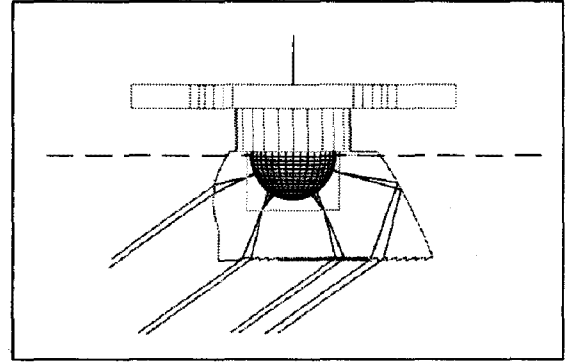


그림4 설계된 렌즈의 설계 형상

### ①굴절부

굴절부는 굴절의 법칙( $n_1 \sin i = n_2 \sin r$ )을 기초로 하여 식(5)로부터 각 분할한 수직각에 대한 세그먼트 기울기를 구한다.

$$A = \tan^{-1} \left[ \frac{n \sin \left\{ \sin^{-1} \left( \frac{\sin i}{n} \right) + \sin(90^\circ - P) \right\}}{n \cos \left\{ \sin^{-1} \left( \frac{\sin i}{n} \right) - \cos(90^\circ - P) \right\}} \right] \quad (5)$$

I: 입사각  
 P: 최종 목표 지향각  
 A: 수직각에 대한 세그먼트 기울기

### ②전반사부

전반사는 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 빛이 입사할 때, 굴절각이  $90^\circ$ 가 되는 임계각 이상이면 경계면에서 모두 반사하게 되는 현상이다.

즉 전반사부는 임계각 이상을 갖도록 세그먼트 기울기를 구하고 목표 지향각을 구현하기 위하여 다음의 식(6)으로부터 각 분할한 수직각에 대한 세그먼트 기울기를 구한다. [1]

$$A_1 = \frac{r + (90 + P_1)}{2} \quad (6)$$

r: 1차 굴절면에 대한 출사각  
 $P_1$ : 하부 프리즘에 입사할 때의 목표 지향각  
 $A_1$ : 수직각에 대한 세그먼트 기울기

### ③하부 프리즘

하부 프리즘은 측면 굴절부를 제외한 전반사부로부터 입사되는 Ray와 LED에서 방사되어 렌즈 하부로 입사되는 Ray에 대하여 최종 목표 지향각을 구현하도록 식(5)로부터 각 세그먼트 기울기를 구한다.

## 2.3 렌즈의 설계 결과

### 2.3.1 렌즈의 형상 및 배광 특성

위의 설계 과정을 통해 완성된 렌즈의 단면도와 형상은 그림5, 그림6과 같다.

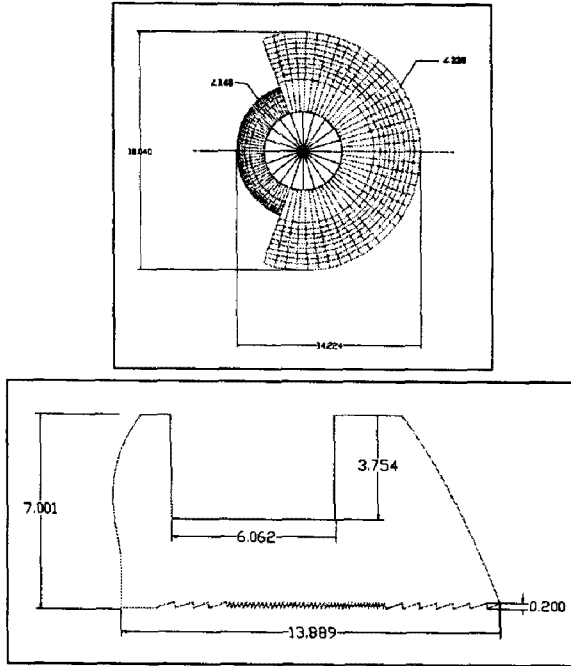


그림5 설계된 렌즈의 단면도

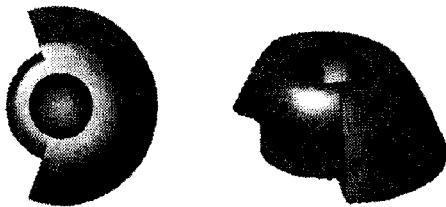


그림6 설계된 렌즈의 형상

설계된 렌즈는 Photopia1.5를 이용하여 성능을 추정하였으며 결과적으로 수직각 55°에서 최대광도를 가지는 비대칭 형태의 배광이 얻어 졌다. 렌즈의 재질은 폴리카보네이트로 설정하였으며 렌즈의 효율은 87.9%로 계산되었다.

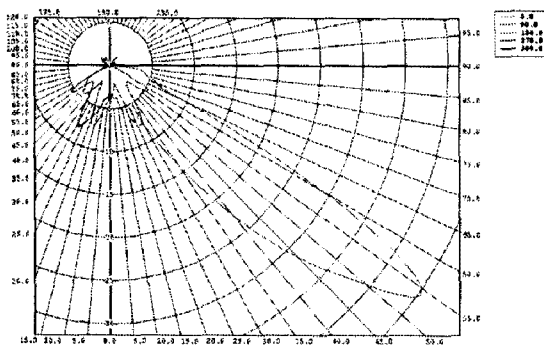


그림7 설계된 렌즈의 배광 형태

### 2.3.2 설계된 렌즈에 대한 설치 예측 결과

설계된 렌즈를 부착한 조명기구에는 LED 1W 18개를 사용한 LED Floodlight(18W)이다. (그림8)

건축물, 조형물 등에 대한 경관조명용 조명기구로서 부피가 너무 크게 되면 주간경관에 해가 될 수 있으므로 크기는 최소화하였으며 3D Max를 통한 조명기구 형상의 Rendering 결과를 나타내고 있다.(그림9)

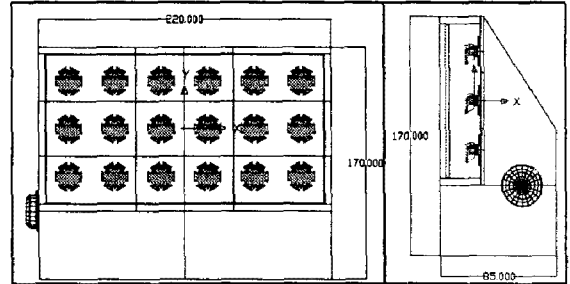


그림8 설계된 렌즈에 대한 조명기구 단면도

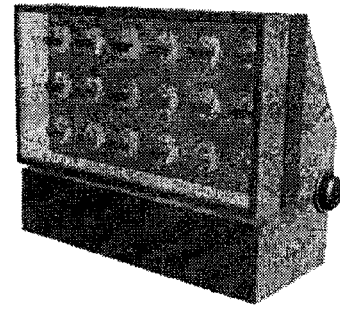


그림9 설계된 렌즈에 대한 조명기구 형상 Rendering 결과

## 3. 결론

현재 대부분의 건축물과 교량, 조형물 등을 조명하는 경관 조명용 투광기는 대상물의 조사방향에 따라 본체가 기울어져 설치되고 있다. 이러한 경우에는 발광부의 오염요소에 그대로 노출되며 광해를 유발할 수 있다.

본 논문에서는 위와 같은 문제점을 해결하여 유지보수에 용이한 경관 조명용 LED 투광기의 개발을 위하여 비대칭 배광을 갖는 렌즈를 설계하고 그 성능을 예측하였다.

결과적으로 수직각 55°에서 최대 광도를 갖는 비대칭 형태의 배광을 구현하였으며 설계된 렌즈로부터 조명기구의 발광부가 수직으로 설치되어 발광부의 오염을 최소화하는 투광기를 보였으나, 전반사부로부터 하부 프리즘에 입사되는 모든 Ray에 대하여 지향각으로 정확히 진행하도록 제어하기에는 어렵다는 문제가 있어 다소 원하지 않은 각도로 진행되는 Ray가 발생하였다.

향후 이와 같은 단점을 보완하여 보다 실용적인 LED Lens 및 조명기구의 개발이 이루어질 것으로 사료된다.

### 참고문헌

- (1) R.H. Simons and A.R. Bean "Lighting Engineering Applied calculations"; pp.234~250, 2001