

LED 경광등 글로브 렌즈 설계에 관한 연구

신경호\* · 임성무\* · 여인선\*\*

\*전남대학교 전기공학과, \*\*전남대학교 전기공학과·HECS-RRC·POTRI,

A Study of Lens Design for LED Warning Light

\*Kyung-Ho Shin · \*Sung-Moo Lim · \*\*In-Seon Yeo

\*Chonnam National University, \*\*Chonnam National University·HECS-RRC·POTRI

**Abstract** - As the characteristics of LED disposition, LED warning light must be designed differently from general incandescent lamp warning light whose light source is located in origin.

In this paper, the globe's lens of LED warning light was designed considering the LED intensity distribution and the arrangement of the LED. And prove the appropriateness of that design by simulation in LightTools which is optical design program.

1. 서 론

LED 경광등은 원점에 놓인 광원(점광원)으로부터 반사판에 의해 집광된 Ray들이 일정한 방향으로 진행하도록 하는 일반 경광등과는 구조적으로 다른 형태를 갖추고 있다. LED 경광등은 직진성이 강한 LED를 사용하기 때문에 반사판을 이용한 집광이 불필요하기 때문에 경광등의 글로브(외구) 렌즈를 이용하여 Ray를 직진시켜 시인성을 높이도록 설계되어야 한다.

일반적으로 렌즈의 설계는 기하광학의 렌즈설계 공식을 이용하여 이루어지지만 시중에 개발되어 있는 LED 경광등의 경우 글로브 렌즈에 대한 효과적인 설계가 이루어지지 않아 LED의 장점을 충분히 활용하지 못한 점이 없지 않다.

따라서 본 논문에서는 LED 경광등의 시인성을 보다 효과적으로 개선하기 위해 글로브 렌즈 설계에 대한 방법을 제시하고 이를 광학 설계 프로그램을 이용한 Ray Tracing 시뮬레이션을 통해서 그 타당성을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 광학부 설계법

2.1.1 LED 램프의 광초점

LED는 일정한 발산각을 갖는데 실제 칩의 위치가 광초점이 되지 않는다는 사실은 실제 LED에서 방사된 Ray의 초점은 그림 1에서 보는 바와 같이 칩의 위치보다 뒤쪽에 위치하게 된다. 따라서 초점의 위치를 LED의 칩이 아닌 실제 초점의 위치로 하여 계산하여 렌즈를 설계하여야 한다.

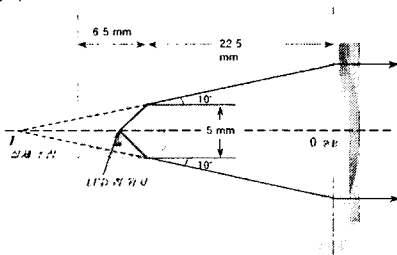


그림 1. LED의 광초점 계산

그림 1에서 LED 램프의 광초점의 위치, 즉 이상적인 점광원으로 봤을 때의 광원의 위치를 구하면 초점 f는 원점의 좌측으로 36.7[mm]에 놓이게 된다.

2.1.2 Lens

렌즈의 두께가 그 반경에 비하여 얇아서 두께가 주는 효과를 무시할 수 있고, 렌즈에 통과하는 광선의 입사각과 굴절각이 매우 작다는 가정 하에 초점거리와 곡률 반지름에 대한 렌즈 설계 공식은 다음(식(1))과 같이 유도할 수 있다.

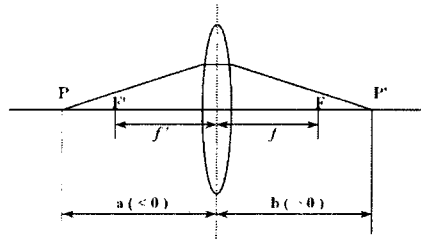


그림 2. 얇은 렌즈

$$\frac{1}{f} = -\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad (1)$$

2.1.3 경광등 기본 렌즈 설계

일반적으로 렌즈는 기하광학의 렌즈설계공식(식(1))에 의해서 구한다. 그러나 실제 광원에서 나온 Ray는 렌즈를 통과하면서 모두 negative 성분의 기운각을 갖는다. 이는 실제 렌즈 두께의 영향을 무시할 수 없기 때문이다.

따라서 본 논문에서는 그림 1에서 보는 바와 같이 LED에 대한 글로브 렌즈(프레넬)의 설계의 기본이 되는 LED와 렌즈의 단일 모델을 선정하고, 이를 기본으로 렌즈의 곡률반경을 변화시켜가며 시뮬레이션 한 결과 값을 분석하여, 설계된 렌즈의 오차를 줄이고자 했다.

경광등의 외구를 제작함에 있어 프레넬 렌즈 형태를 취하는 것이 제작이 좀더 용이하기 때문에 실험장치도 프레넬을 기본으로 하였다.

먼저 실험장치의 기준이 되는 렌즈의 곡률반경을 결정해야 한다. 위의 식(1)을 기본으로 렌즈의 곡률을 구하면 다음과 같다.

$$\frac{1}{f} = -\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$\frac{1}{36.7} = (1.49-1)\left(\frac{1}{\infty} + \frac{1}{r_2}\right)$$

$$\therefore r_2 = 17.98 \approx 18.00$$

( 단, n은 렌즈(아크릴)의 굴절률 )

## 2.2 광학부 설계

### 2.2.1 렌즈의 두께 및 곡률반경 선정

본 논문에서는 LED 경광등의 글로브 렌즈를 제작함에 앞서 보다 정확한 설계를 위해 광학설계 프로그램은 이용하여 시뮬레이션하고, 그 결과값으로 렌즈 곡률반경 계산의 타당성을 검증하였으며, 실제 제품제작에 적용하고자 했다.

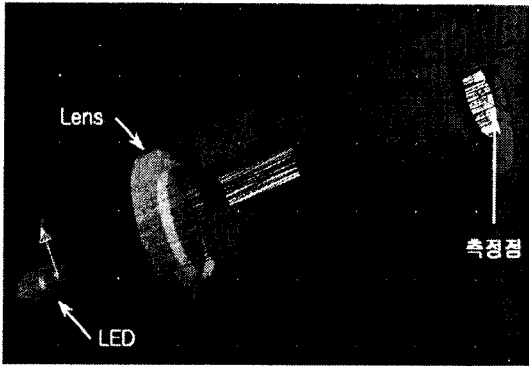


그림 3. LightTools 시뮬레이션 방법(1)

그림 3의 장치는 렌즈에 의해 평행광이 형성되는 정도를 알아보기 위해 구성된 것이다. LED에서 방사된 Ray는 렌즈를 통과하여 평행광이 되어 진행하며, 원통 내부를 지나 측정점까지 도달하게 된다. 원통 내부의 반경은 6.467mm이며, 이는 LED의 발산각을 20°(half Angle 10°)로 했을 때 그림 1에서 계산된 값이다. 원통의 내부는 반사율 100%의 mirror면이며, 원통의 전면은 흡수율 100%의 특성을 갖도록 설계되었다.

이와 같은 실험 장치를 구성하고 아래의 표 1과 같은 조건에서 시뮬레이션 하였다.

표 1. 시뮬레이션 조건

광 원 (LED)			렌즈		
Peak Wavelength [nm]	Half Angle [°]	Luminous Flux [lm]	굴절률 [n]	곡률반경 [r]	두께 [mm]
628	10	0.9	1.49	17.6 ~ 18.4	5 ~ 8

### 2.2.2 광학부 설계 평가

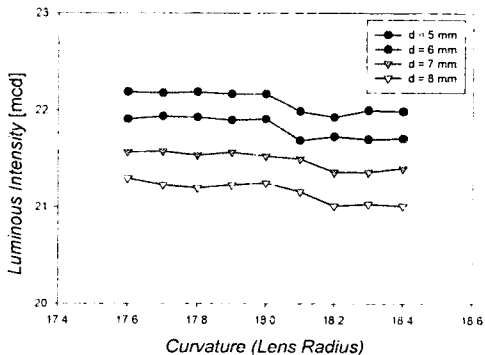


그림 4. LightTools 시뮬레이션 결과

그림 4는 표 1의 조건에서 실험한 결과값이다. 곡률반경은 최초 18.4[mm]에서 시작하여 0.1[mm] 단위로

줄여가며 실험한 결과, 그림 1에서 보는 바와 같이 렌즈의 두께가 5[mm]와 6[mm]일 때 18.0[mm]에서, 7[mm]와 8[mm]일 때 18.1[mm]에서 측정점에서 측정된 광도가 증가하고 이후는 일정한 값을 유지하는 것을 분 수 있다. 이는 렌즈의 두께가 5[mm], 6[mm]일 때 18.0[mm]에서, 렌즈의 두께가 7[mm], 8[mm]일 때 18.1[mm]에서 렌즈의 곡률반경을 선정해야 함을 의미한다. 본 논문에서는 실제 LED 경광등 제작을 목적으로 렌즈 설계가 이루어졌기 때문에 제작의 용의함을 감안해 두께 6[mm]일 때의 곡률반경 18.0[mm]의 데이터를 기준으로 다음의 실험을 수행하였다.

### 2.2.2 LED의 광축과 렌즈 중심축과의 관계

경광등을 설치하는 높이에 따라 빛의 진행 방향을 조절해 줄 필요에 의해 LED의 광축과 렌즈의 중심축과의 Shift에 의한 효과를 알아보기 위해 다음과 같은 실험을 했다.

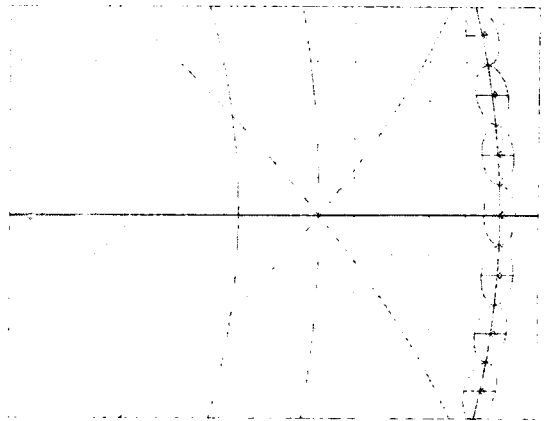


그림 5. LightTools 시뮬레이션 방법(2)

렌즈의 중심축을 기준으로 LED를 상하 1mm 씩 이동시켰을 때 Ray의 진행방향을 살펴보기 위해 그림 5와 같은 조건에서 시뮬레이션을 한 결과 그림 6에서 보는 바와 같이 광축에서 음(-)의 방향으로 5[mm] Shift 시킬 때 Ray가 5°만큼 위쪽으로 향하는 것을 알 수 있다. 반대로 양(+)의 방향으로 5[mm] Shift 시키면 역시 5°만큼 아래로 향하는 것을 알 수 있다. 실제 제작된 LED 경광등의 경우 결과를 이용하여 사용자의 임의에 의해 Ray의 진행방향을 결정할 수 있는 기능은

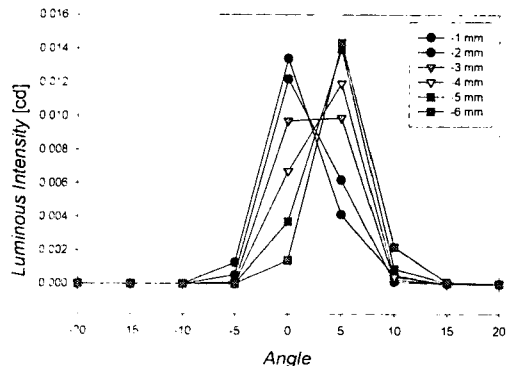


그림 6. LED와 렌즈의 Shift에 의한 Ray 방향 변화

### 2.2.3 LED 경광등 글로브 설계

앞서 수행한 시뮬레이션의 결과를 바탕으로 곡률

18.0[mm]를 갖는 경광등 글로브를 설계하였다. 글로브 설계 시 고려 사항은 LED 6개를 한조로 하는 LED Array의 배치와 이에 맞는 렌즈의 설계이다.

그림 7은 LED간 간격을 인접한 LED에 의해 집광되는 Ray의 범위인 13[mm] 간격으로 Array하고, 글로브 역시 각각의 LED의 광축과 글로브 상의 렌즈의 중심축이 일치하도록 설계한 것이다.

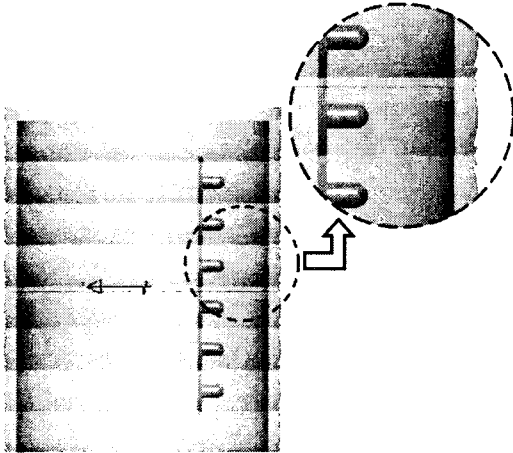


그림 7. LED 경광등 글로브 설계

이와 같이 설계된 글로브를 LightTools를 이용하여 Ray Tracing 한 결과, 대부분의 Ray가 평행광의 형태로 집광이 되어 진행함을 알 수 있었다.

#### 2.2.4 제안된 모델 평가.

경광등은 그 사용 목적 상 원거리에서도 식별이 가능해야 한다. 제안된 모델의 경우 1줄 구동 방식의 광도가 40[cd]로 글로브 렌즈를 켜지 않았을 때의 광도(20[cd])에 비해 2배정도 향상되었으며, 야간의 광학적 광달거리가 약 4해리(7.3km) 내외로 비교적 우수한 특성을 갖는다.(표 2)

표 2. 명목적 가시거리와 소요광도

광달거리 [海里]	1	2	3	4	5	6	7	...
소요광도[cd] (야간)	0.93	5.01	15.2	36.6	77.2	150	276	...

#### 2.4.5 LED 경광등 설계 및 구동방법 제안

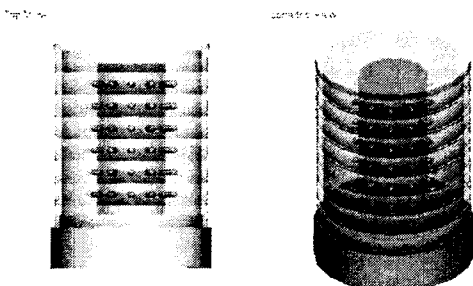


그림 8. LED 경광등 설계

위의 그림은 앞서 실험한 모델의 결과를 기초로 하여 LED Array 12줄을 기본으로 하여 설계한 LED 경광

등이다. LED 경광등은 반사판이 회전하는 일반 경광등과는 달리 LED의 점등에 의해 회전효과를 얻기 때문에 구동회로의 간단한 조작을 통해 1줄에서 최대 12줄을 동시에 점멸하여 다른 효과를 얻을 수 있는 장점이 있다. 아래 그림은 LED Array의 동시 점등 개수에 따른 광속발산도를 비교한 것이다.

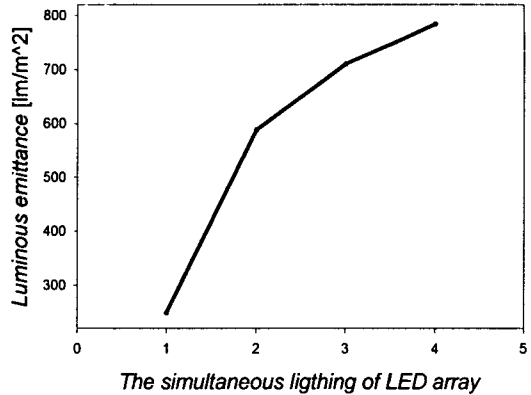


그림 9. LED array의 동시점등 개수와 광속발산도

### 3. 결 론

본 논문에서는 고휘도 LED를 이용한 경광등의 제작에 앞서 렌즈설계공식에 의해 렌즈를 설계하고, 이를 광학설계 프로그램을 이용하여 시뮬레이션하여 렌즈 설계의 타당성을 검토하였다. 또한 글로브 렌즈를 설계함에 있어 LED의 배광특성(발산각)을 렌즈설계의 반영하고 이를 통해 설계된 LED 경광등의 광도 및 배광 특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 고휘도 LED 경광등의 글로브 렌즈 설계를 위하여 시뮬레이션을 실시하였다.
2. 경광등 글로브 렌즈에 의해 LED의 광도가 향상됨을 확인하였다.
3. 야간에 약 7km 내외에서도 식별이 가능한 경광등을 설계하였다.
4. LED의 광축과 글로브 렌즈의 중심축의 Shift에 의해 배광이 바뀌는 것을 확인하였다.
5. LED array 구동방법에 따른 광속발산도의 차이를 구체적인 수치를 통해 확인하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 2004년도 대학산업기술지원단(UNITeF) 단기애로기술지원사업의 연구비에 의해 연구되었음.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Michael J. Kidger, "Fundamental Optical Design", SPIE PRESS, 2002
- [2] 이원진 외 11인, "기하광학", 수문사, 2000
- [3] 해양수산부, "항로표지기초이론"
- [4] Robert E. Fischer, "Optical System Design", McGraw Hill, 2002
- [5] Vaughn D. Nartin, "Optoelectronics vol.1", Prompt publications, 1997