

## 빛 공해 방지를 위한 유럽형 LED 가로등용 비구면 광학계에 관한 연구

이시우<sup>a\*</sup>, 이창수<sup>b</sup>, 현동훈<sup>b</sup>

## A Study on Aspheric Optics European LED Streetlights Type for the Prevention of Light Pollution

Shi-Woo Lee<sup>a\*</sup>, Chang-Soo Lee<sup>b</sup>, Dong-Hoon Hyun<sup>b</sup><sup>a</sup> Mechanics Standards Center, Korea Testing Laboratory, 723, Haean-ro, Sangnok-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do, 426-910, Republic of Korea<sup>b</sup> Nano-Optical Engineering, Korea Polytechnic University, Republic of Korea

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received	4	March	2013
Revised	19	April	2013
Accepted	27	May	2013

## Keywords:

LED  
Light uniformity  
COB  
Pendant  
LED lens  
Retrofit  
Europe  
Street light

## ABSTRACT

In this study, we researched a pendant-type aspherical optical system, which could be applied to street lighting and security lighting in Europe. The goal of this research was eco-friendly artificial lighting that could be used for the one-to-one replacement of ordinary lighting. LED lighting was miniaturized by using one COB LED Module and one aspherical optical system, which could control the luminosity of the LED. Through the aspherical optical system, the light distribution angle could be controlled in a range of 140° for the X-axis and 40° for the Y-axis. This means that this optical system is appropriate for catenary-type lighting, which is widely used in Europe on both narrow and broad roads. The performance was determined using a lighting simulation program. This lighting system simulation showed that road rates M4 and M5 could be satisfied, with the condition of a 13-m height and 50-m distance (U0 and TI). The simulation program estimated that light pollution, which disturbs sleep, could be eliminated in the European streetlight case. Determining methods for the light distribution control, performance, and optimal lighting setup conditions is very important to prevent light pollution. Moreover, the initial step of developing the lighting system design and post management will require an effort with much analysis.

## 1. 서론

LED(Light Emitting Diode)는 21세기의 새로운 광원으로, 기존의 광원 대비 고효율·장수명과 소형·박형화, 광 제어, 발광대역 조정 등의 혁신적 기능을 구현한다. 또한, 에너지절감 효과가 최대 90%에 달하고, 5만 시간 사용가능한 반영구적인 광원이다.

국내에서는 LED조명 설치지원금 확대를 통해 공공기관을 중심으로 한 선도적 시장창출을 꾀하고 있다. 민간건물에서도 LED조명 사용을 단계적으로 의무화하여 2020년까지 국가 전체 보급률 60%, 공공기관 보급률 100%를 목표로 하고 있다<sup>1,2)</sup>.

하지만, 현재 LED를 일반 조명용으로 활용하기 위해서는 점광원으로서 확산광을 만들기 어렵고, 광원이 작아서 대용량 광원을

\* Corresponding author. Tel.: +82-31-8041-1784

Fax: +82-31-8041-1786

E-mail address: swlee@ktl.re.kr (Shi-Woo Lee).

만들기 어렵다. 그리고, 집광성이 강해 특정각도에서 휘도가 높고, 정전류 구동회로를 필요로 하는 등의 문제점이 있다<sup>3)</sup>. 무엇보다도 중요한 것은 조명기구의 용도에 맞는 배광설계가 되어야 한다. 가로등의 경우 도로 사용자의 안전을 고려한 조명의 기능적인 측면이 중시되고, 이를 위해서 보다 세밀한 배광제어가 요구된다<sup>4)</sup>.

국내 조명관련 기준은 조도 및 균제도에 대해서만 제한이 있고, 보행자의 시야를 확보할 수 있는 눈부심 방지에 대한 규제는 없는 실정이다. 특히, 가로등 및 보안등의 경우 보행자뿐만 아니라 운전자의 시야 확보를 저하시킬 수 있기에 이러한 문제점은 검토되어야 한다. 빛 공해를 방지하기 위한 수단도 여러 가지이다. 조명의 종류에 따라서 조명제품 자체의 배광과 성능을 규제할 수도 있고, 조명설계 단계에서 설계나 계산을 통하여 규제할 수도 있으며, 설치되어 있는 조명장치에 대한 사후관리에 중점을 두어야 하는 경우도 있다. 최근 빛 공해를 환경문제로 인식하는 선진국들이 늘어남에 따라 국내에서도 전문가들의 빛 공해에 대한 인식이 높아지고, 빛 공해에 대한 구체적인 기준이 없어 실질적으로 적용할 방법이 없었던 과거와는 달리 서울시에서 금년부터 실행되는 빛 공해 방지법 등 법적으로 규제·관리를 하기 시작하였다<sup>5)</sup>.

미국, 일본, 유럽을 비롯한 선진 각국과 국제적인 조명단체 등에서는 빛 공해를 생태학적 위험성 및 에너지 낭비라는 사회적 문제로 제기되고 있는 새로운 관심 분야로 인식하고 있고, 빛 공해 방지를 위한 활발한 연구와 더불어 법규, 조례, 가이드라인, 기준 등의 규제방침을 제정하여 각 나라의 실정에 알맞게 다양한 형태로 운영하고 있다. 국제조명위원회(CIE-ULR), 북미조명학회(IESNA-BUG) - 국제암협회(IDA), 영국의 조명기술자협회(ILE), 일본 환경성 등의 국제적인 조명학회 및 관련단체에서 빛 공해 규제방법에 대해 제시하고 있다<sup>6)</sup>.

본 연구에서는 유럽에서 사용되고 있는 펜던트(Pendant) 형의 가로등 및 보안등에 적용할 수 있는 비구면 광학계에 대해 연구해 보았다. 현재 유럽에서는 펜던트 형의 가로등을 LED조명으로 대체한 개발품은 찾아볼 수 없다. 이는 LED의 직진성을 완벽하게 제어하지 못한 결과라고도 볼 수 있다. 본 연구에서 개발하고자 하는 유럽형 LED 가로등용 비구면 광학계는 조명제품 자체의 배광과 성능을 친환경적인 인공 빛을 구현하는 데에 목적이 있다. 이를 위해서는 기존의 전통조명과 1:1 대체가 가능하도록 설계를 하는 것이 중요하다. COB (Chip On Board) LED Module을 1개 사용하고, LED에서 발광하는 빛을 제어하기 위한 비구면 광학계를 1개 사용함으로써 LED조명의 소형화를 구현한다. 그리고 비구면 광학계를 통해 직진성이 강한 LED의 배광패턴을 140°의 넓은 배광각도로 제어하고, 광범위한 면적에서의 광 균제도를 만족시킨다. 또한, 타 전통조명에 손쉽게 적용이 가능하고, 다양한 조명분야에 활용이 가능하도록 설계한다.



(a) Surface-mount LED (b) COB LED module

Fig. 1 Surface-mount LED & COB LED module

## 2. 유럽형 LED 가로등용 비구면 광학계 설계

### 2.1 기존 LED조명의 문제점 및 LED 선정

종래의 LED조명은 Fig. 1(a)에서와 같은 LED 칩을 표면실장형 PCB에 수십 개~수백 개를 붙인 후 이용하였다. 하지만, 효율 및 방열 문제로 1 W미만인 0.1~0.3 W 칩을 다수 채택하거나, 고출력이라 해도 1~3 W급 칩을 사용하고 있으며, 이는 인접 LED 칩의 광원 간섭 등으로 효율이 낮고, 광 균제도를 제어하기 어려우며, 가격도 높게 책정될 수밖에 없다<sup>7)</sup>.

최근에 Fig. 1(b)에서와 같은 구조로 소형 LED 칩을 밀티로 배열하는 COB LED Module의 기술이 향상되면서 LED조명의 소형화가 가능해졌다. 발광면적이 점광원이 아닌 면광원에 근접해 있어 1개의 비구면 광학계를 사용하여 제어하는 데에 최적의 구조를 가지고 있다.

### 2.2 비구면 광학계 설계

본 연구의 비구면 광학계는 X축선상과 Y축선상의 양축 방향에 대해 서로 다른 두 가지 배광각도를 동시에 형성하도록 광을 조정한다. 어느 한 축만이 아닌 X축과 Y축의 양축 방향 각각에 광 균제도를 맞춰주면서 LED의 발산광에 따른 눈부심 현상을 극히 최소화할 수 있도록 하여 넓은 영역에 광 균제도를 유지한다. 필요에 따라 배광각도의 범위를 방향에 따라 조율이 가능함으로서 좁은 골목길과 넓은 대로 등 모두 사용가능한 효과적인 광학계로 이를 통해 주로 유럽지역에 많이 설치되어 있는 catenary 방식의 가로등에 적절하다<sup>8)</sup>.

아래 식 (1)은 내부면 비구면 설계식으로서 광축을 중심으로 회전 대칭성 고차 비구면 방정식이다. 여기서,  $cv$ 는 면의 곡률이고,  $cc$ 는 원추 계수,  $as_2, as_3, as_4, as_5 \dots$ 는 비구면 계수를 나타낸다. 내부면은 고드름 형태의 구조로 이루어져 있어 내부 전반사 및 굴절을 이용하여 중심광이 강한 LED의 발광분포를 고르게 확산시키도록 하였고, 식 (1)의  $1/cv = 1.84, cc = -1.2, as_2 = -5.171875e^{-4}, as_3 = 5.713867e^{-7}, as_4 = 3.290176e^{-9}, as_5 =$

-8.195639e<sup>-12</sup>로 설계하였다.

$$Z = \frac{cvr^2}{1 + \sqrt{1 - cv^2(1 + cc)r^2}} + as_2r^4 \quad (1)$$

$$+ as_3r^6 + as_4r^8 + as_5r^{10} + \dots$$

$$Z = \frac{cv[y^2 - g^2(x)] + 2g(x)}{1 + \sqrt{1 - cv(cv[y^2 - g^2(x)] + 2g(x))}} \quad (2)$$

$$+ as_2x^4 + as_3x^6 + as_4x^8 + as_5x^{10} + \dots$$

$$g(x) = \frac{cv_x x^2}{1 + \sqrt{1 - cv_x^2(cc_x + 1)x^2}} \quad (3)$$

$$+ asa4x^4 + asa6x^6 + asa8x^8 + asa10x^{10} + \dots$$

식 (2)는 외부면에 대한 비구면 방정식으로 외부면은 X축 방향으로 평행하게 회전하는 X-Toric 곡선을 가진다. 여기서,  $cv_x$ 는 X축 Toric면의 곡률이고,  $cc_x$ 는 X축의 원추 계수이다. X축 방향으로 넓은 배광각도를 갖기 위해서 외부면 중심부는 움푹패인 형상이고, 최대한 멀리 퍼지도록 곡선을 길게 형상화시켰다. 식 (2), (3)에서  $1/cv = 9.0$ ,  $cc = -15$ ,  $cc_x = 0$ ,  $cv_x = 3.5$ ,  $asa4 = asa6 = asa8 = asa10 = 0$ ,  $as_2 = -0.009500$ ,  $as_3 = 9.5000e^{-5}$ 으로 놓고 설계를 하였다. X축 설계가 완성된 후 X축을 기본축으로 한 형상을 기준으로 하여 Y축의 형상을 3D로 직접 변형하고, 변형한 디자인을 광학 시뮬레이션을 통해 원하는 배광곡선이 나올 때까지 형상을 변화하면서 솔루션에 접근하였다. 그 결과 Y축의 형상은 자유 곡선을 갖는 원만한 원형형상을 갖는다.

### 2.3 조명 시뮬레이션을 통한 분석

위에서 언급한 비구면 광학계 설계방법으로 초기설계를 완료한 후 조명 시뮬레이션 software인 LightTools을 사용하여 세부 수정을 진행한다. 비구면 광학계 설계 목표는 단일 LED조명의 경우 배광각도를 X축으로는 140°, Y축으로는 40°로 설정한다. 여기에서 배광각도는 광의 중앙부의 최대 파위의 50%가 되는 지점을 배광각도라 말한다. 이와 함께 초기설계 시 고려해야하는 부분으로 광 균제도를 빼놓을 수 없고, 본 연구에서는 설치높이 대비 조명간의 간격을 1:4가 만족할 수 있게 설계한다. 이는, 조명을 높이 13 m에서 조사했을 경우에 광 균제도가 30 m이고, 설치간격을 50 m로 하였을 때에 만족하는 수치이다. 종래의 LED조명 설치 예를 보면 등 간격에 맞는 배광각도를 구현하지 못하고, 부분적으로 암부를 발생시키는 것을 볼 수 있다. Table 1에는 조명 시뮬레이션 조건을 정리한 표이고, LED조명이 하나일 경우와 여러 개를 배열

Table 1 Simulation condition

Condition		Value
Singular light	receiver distance	13 m
	receiver size	60 m × 20 m
Array light	light distance	50 m
	receiver distance	13 m
	receiver size	200 m × 20 m

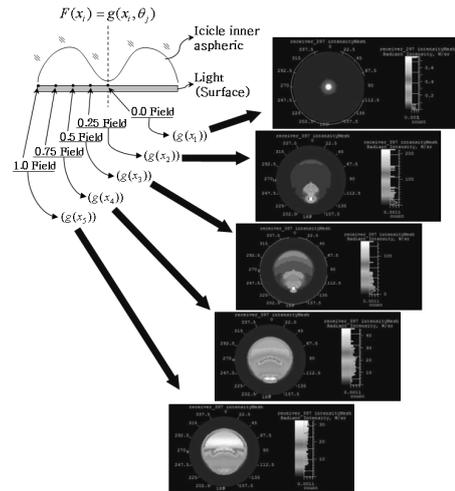
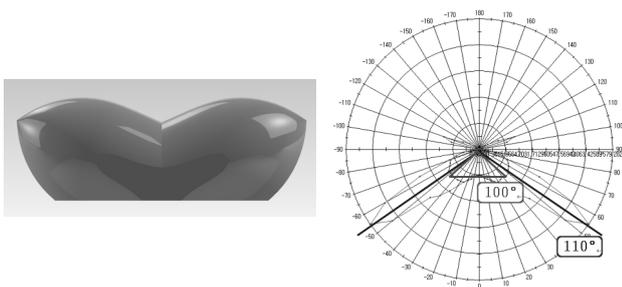


Fig. 2 Illuminance raster simulation chart

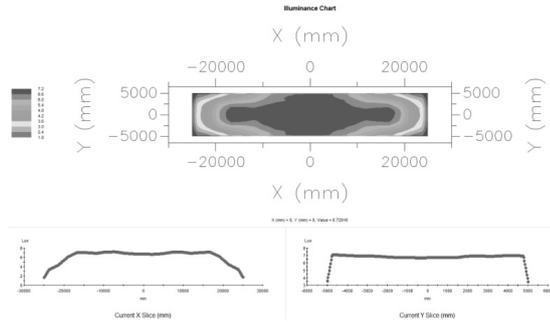
했을 경우로 나뉘며, 두 가지 경우 모두 만족해야한다.

상기에서 제시한 내부면의 비구면 설계치를 적용해서 시뮬레이션한 후 분석한 결과를 Fig. 2에 나타낸다. Fig. 2의 필드별 에너지 분포를 나타낸 조도 래스터 시뮬레이션 차트와 같이 필드별로 미세하게 광을 컨트롤하고, 각 필드의 데이터들이 중첩되면서 효과적인 광량 조절 및 광 균제도를 향상시킬 수 있다<sup>[9]</sup>.

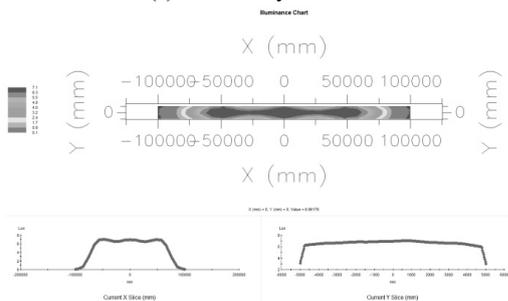
Fig. 3은 초기설계를 바탕으로 외부면의 Toric면의 형상을 구현하였다. 비구면 설계치는  $1/cv = 9.0$ ,  $cc = -15$ ,  $as_2 = -0.009500$ ,  $as_3 = 9.5000e^{-5}$ 이다. X축 방향으로 빛을 퍼뜨리기 위해서 비구면 설계치를 바탕으로 (a)와 같이 Lens의 형상을 길게 했지만 외부면의 하부는 LightTools 프로그램으로 구현이 불가능하여 3D 설계 프로그램을 이용해서 곡선을 추가하였다. Y축 방향으로 배광각도를 줄이기 위해서 움푹패는 형상을 구현하였다. 하지만, (b)에서 볼 수 있듯이 뒤로 나가는 빛의 제어가 불가능해서 광 효율이 저하되고, 중심광이 적어 원하는 결과를 만족시키지 못한다. X축 방향으로 광 균제도는 (c)와 같이 36 m로 만족하나 배열을 했을 경우 (d)에서처럼 암부가 발생하는 것을 알 수 있다. 첫 번째로 시도한 Lens의 외부면은 빛을 제어하는 데에 큰 어려움이 있는 형상으로 두께가 두껍기 때문에 투과율 또한 50%이내이고, 추후에 Lens 금형을 제작함에 있어서 큰 어려움이 예상된다.



(a) 1<sup>st</sup> lens (b) Intensity distribution



(c) Uniformity - 36 m

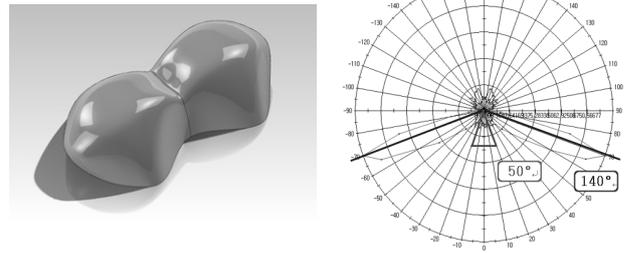


(d) 1 × 3 array

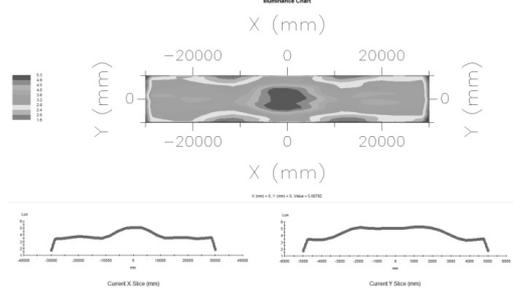
Fig. 3 1<sup>st</sup> simulation

Fig. 4는 여러 가지 형상으로 시도한 시뮬레이션 중 하나의 결과이다. 외부면은 비구면이 아닌 3D 설계 프로그램을 이용해서 자유 곡면으로 형상화하여 설계수치는 없으나 곡면을 구현함에 있어서 제한이 적기 때문에 원하는 배광패턴을 얻는 데에 효율적이다. (a)와 같이 자유곡면을 형상화했지만 곡면 간에 경계면이 뚜렷하여 빛의 흐름을 강제적으로 변화시켜 Lens내에서 난반사로 사라지는 광이 증가하는 구조이다. (b)는 배광패턴을 나타내고 있고, X축 방향으로 140°의 배광각도를 구현한다. 하지만, 뒤로 새는 빛이 많아 광 효율이 감소해 투과율이 60%이내로 예상된다. 그리고, (c)에서 볼 수 있듯이 광 균제도 또한 좋지 않아 빛이 넓게 퍼져긴 하지만 주위의 조도보다 중심 조도가 높은 것을 알 수 있다. 배열했을 경우에도 (d)와 같이 암부가 많이 발생하고, Y축 방향으로 빛이 많이 부족하다.

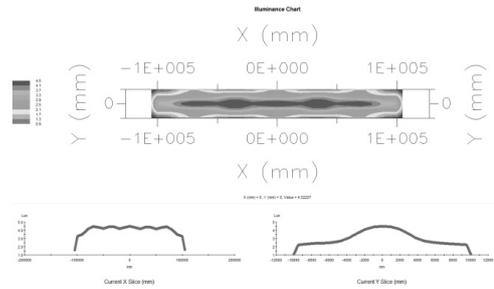
Fig. 5는 이번 연구에서 개발한 비구면 광학계의 조명 시뮬레이션 결과이다. 외부면은 (a)에서 볼 수 있듯이 이전에 시도한 Lens



(a) 2<sup>nd</sup> lens (b) Intensity distribution



(c) Uniformity - bad

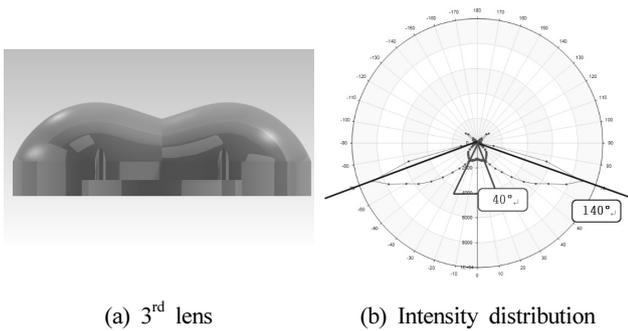


(d) 1 × 3 array

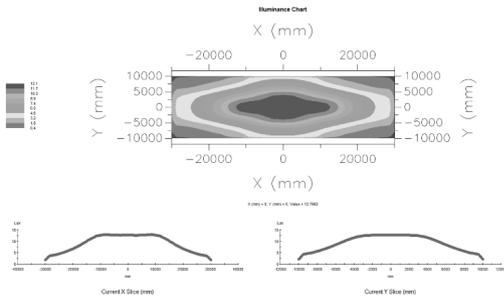
Fig. 4 2<sup>nd</sup> simulation

보다 곡면간의 경계면을 없애고, 비구면으로 구현할 수 있도록 하였다. 초기설계보다 비구면 차수를 늘려 4차 계수까지 활용하였고, 비구면 설계치는  $1/cv = 8.6$ ,  $cc = -25$ ,  $as_2 = -0.0006$ ,  $as_3 = 9.165e^{-6}$ ,  $as_4 = -6.158e^{-6}$ ,  $as_5 = 8.5941e^{-7}$ 이다. 불필요한 설계는 삭제하고, 두께를 줄여 Lens내에서 손실되는 광을 줄이려고 노력했다. Lens 가공 시 불필요한 공정을 줄이고, 표면정도 및 형상정도의 정밀도를 높여 투과율을 향상시킬 필요가 있다. (b)에서 볼 수 있듯이 X축 방향으로 140°, Y축 방향으로 40°를 만족하지만 뒤로 새는 광은 감소했지만 여전히 남아있다. 단일 LED조명의 경우 광 균제도는 25 m인 것을 (c)에서 알 수 있다.

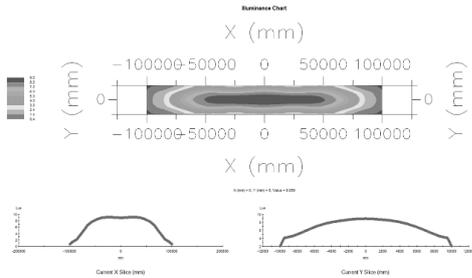
(d)의 결과에서는 50 m간격으로 LED조명을 설치한 경우에 기존 조명에서 생기던 암부가 사라지고, 빛이 고르게 분포됨을 확인하였다. 이 결과는 균제도의 설계 목표를 만족한다. 마지막으로, 추가적인 3D 설계를 통해서 금형제작 시 사출성을 고려해 외부면의 곡선을 직선으로 처리하였다.



(a) 3<sup>rd</sup> lens (b) Intensity distribution



(c) Uniformity - 25 m



(d) 1 × 3 array

Fig. 5 3<sup>rd</sup> simulation

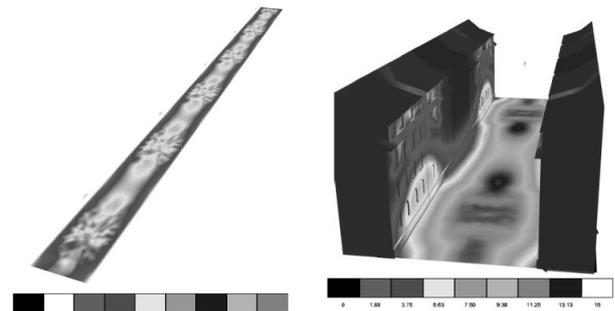
## 2.4 조명 시스템 시뮬레이션

유럽의 도심에서는 Fig. 6과 같이 건물과 건물 사이에 와이어를 이용해 조명을 설치해 놓은 펜던트형 보안등과 도로 중앙에 설치되어 있는 펜던트형 가로등을 흔히 볼 수 있다. 이러한 펜던트형 조명은 기존의 pole을 이용하지 않기 때문에 시각적 측면에서 도시 공간과 조화를 이루고 있다.

조명 시스템 시뮬레이션 프로그램인 DIALux를 이용해서 두 가지 환경에서 성능을 만족하는지에 대해 분석하였다. Fig. 7(a)는 설치높이 13 m, 설치간격 50 m, 조명의 위치는 중앙선에 설치하는 조건으로 시뮬레이션한 결과이다. 우리나라 도로의 국도 왕복 2차선의 차도 폭을 적용하였고, 총 차로 폭은 14.4 m, 중앙분리대는 1 m이다. 종합조도균제도(U0)는 0.8이고, TI값은 10%이지만 차선축 조도균제도(UI)는 0.6이다. 이 결과는 도로등급 M4, M5는 만족하지만 그 외의 등급에 적용했을 시 안정적인 수치는 아니다. 추후에는 도로등 설치 규격에 맞게 성능 및 배광을 개선할 필요가 있다. (b)는 상점가에 설치되어 있는 가로등을 대체할 수 있는 지에



Fig. 6 Pendant type traditional lighting



(a) Roadway simulation (b) Streetlights simulation

Fig. 7 Light system simulation

대한 시뮬레이션 결과로 조건은 설치높이 7 m, 설치간격은 28 m, 건물 간의 거리를 6 m로 설정하였다. 실제로 설치되어 있는 조명 조건과는 다르지만 결과에서 볼 수 있듯이 1층 상점에 들어가는 빛의 조도는 약 5 Lx이고, 2층 가정집의 경우는 보름달 정도의 밝기인 1~2 Lx인 것을 알 수 있다. 유럽과는 달리 우리나라의 상점가를 보면 가로등에서 나오는 빛이나 간판에서 나오는 빛들이 2층 및 3층의 주택가에도 비추고 있는 것을 볼 수가 있고, 이러한 사례들이 빛 공해의 심각성을 말해주고 있다. 이러한 측면에서 보았을 때에 상기의 시뮬레이션에는 큰 의미가 있고, 빛 공해를 고려한 조명설계가 얼마나 중요한지 알 수가 있다.

## 3. 시제품 제작

### 3.1 LED 선정

시제품 제작에 선정된 LED Module은 CITIZEN사의 CLL050-1825A1-50KL1A1이다 (Fig. 8). 소비전력 80 W에서 120 lm/W의 광 효율을 가지고, 색온도 및 연색성이 다양하다. 전 세계적으로 유일하게 200 W까지 구현이 가능하다. 하지만, 작은 원안에 450 개의 Small Chip이 wire bonding으로 array되어 있어, 방열에 취약하고, 작업 시 어려움이 있는 것이 단점이다.

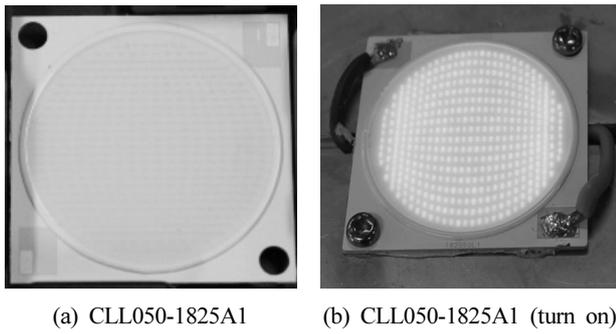


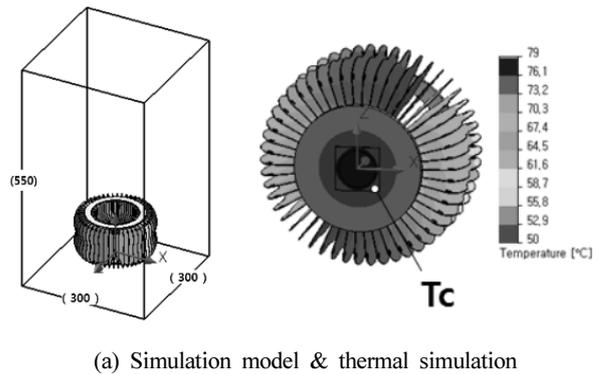
Fig. 8 CLL050-1825A1

### 3.2 Heat sink 개발

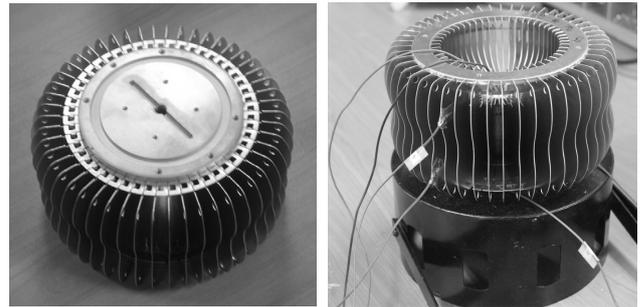
COB LED Module 및 비구면 광학계에 맞춤형으로 Heat sink 를 설계 및 제작하였다. 열 유동해석은 상용 소프트웨어인 Mentor Graphics 사의 FloEFD를 이용하였다. Fig. 9와 같이 Heat sink의 주 구성품은 베이스부와 핀으로 나뉜다. Heat sink와 Lens를 체결 하는 데에 M4 볼트를 이용하고, 베이스의 두께는 체결력을 향상시키기 위해서 나사산이 6번 걸릴 수 있도록 5 mm로 설계한다. 이는 일본의 경우 지진이 빈번하기 때문에 위와 같은 성능을 요구하기도 하기에 적용하였다. Fig. 9(a)는 열 유동해석 조건을 그림으로 나타 낸 것이다. LED에서 나오는 열은 베이스와 핀과의 접촉면을 통해 서 전도되고, 실질적으로 핀에서 방열이 이루어진다. 핀의 수량에 따라 대류에 의한 방열 성능이 변화하고, Table 2는 핀 수량별 열 유동해석을 통해서 얻은 결과이다. 핀의 수량이 50개일 경우에 LED의 Tc온도가 70~72°C로 가장 좋았고, 40개일 경우에 77~80°C, 60개일 경우에 72~74°C이었다. 핀이 적을수록 방열효과는 감소하고, 50개 이상의 경우에는 Tc온도는 비슷하지만 대류에 의 한 방열 효율이 낮아짐을 알 수 있다. Fig. 9(b)는 열 유동해석을 바탕으로 제작한 Mock-up Heat sink로서 무게·체적대비 방열 효율이 높아 초경량화·소형화가 가능하다. Table 3은 열 유동해 석을 통해 3.3 W/mK인 방열그리스를 이용할 경우 LED에 115 W를 인가하면 LED의 Tc 온도는 70°C인 것을 알 수 있다. 실험값 과 비교한 결과 이 데이터는 97% 이상의 신뢰도를 갖는다. 전통조 명과 1:1 대체하기 위한 최적의 방열 구조이고, 또한, 기구설계를 통해서 방수규격인 IP67까지 구현한다.

### 3.3 Mock-up Lens 제작

비구면 Lens 가공에는 Lens의 표면가공과 Lens 금형의 코어 등 을 가공하는데 쓰이는 DTM (diamond turning machine) 장비를 이용하였다. DTM장비는 중심축을 기준으로 회전하면서 가공이 진행되기 때문에 회전대칭 형태를 가지는 내부면 만을 가공하고, 외부면의 경우 3차원 가공기를 이용해서 가공을 진행한 후 직접 연마를 하였다.



(a) Simulation model & thermal simulation



(b) Mock-up heat sink & test

Fig. 9 Heat sink

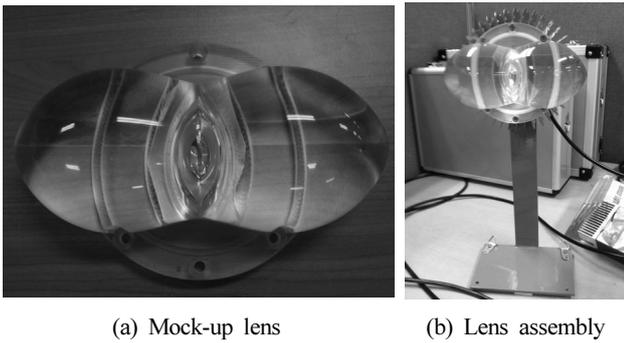
Table 2 Thermal simulation results

Quantity of fin	temperature of Tc (°C)	temperature of fin (°C)
40	77~80	68~66
50	70~72	62~60
60	72~74	62~60

Table 3 Thermal simulation results (thermal grease)

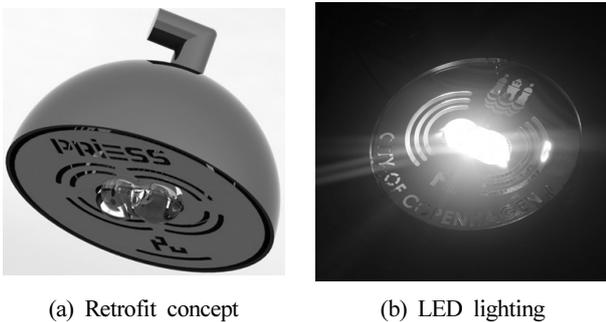
Input power	Thermal conductivity of TIM		
	0.8 W/mK	1.7 W/mK	3.3 W/mK
100	67	66	64
105	69	68	66
110	71	70	68
115	73	72	70
120	75	74	72
125	77	76	74

Fig. 10은 DTM장비를 이용해서 제작한 비구면 광학계이다. (a) 는 표면가공이 끝난 Mock-up Lens 상태이고, Heat sink와의 체결 을 위해 체결부를 따로 설계한 모습이다. (b)는 LED Module과 Lens, Heat sink를 조립한 모습이다. 100 W급의 LED조명 기구 로 종래의 LED조명과 비교했을 때 크기 및 무게의 측면에서 높은 경쟁력을 가지고 있다.



(a) Mock-up lens (b) Lens assembly

Fig. 10 Mock-up lens & lens assembly



(a) Retrofit concept (b) LED lighting

Fig. 11 Retrofit of roadway lighting (denmark, copenhagen)

### 3.4 유럽형 전통조명 대체 시제품 제작

덴마크의 수도인 코펜하겐에 실제로 설치되어 있는 펜던트형 전통조명을 대상으로 제작한다. 조명문화가 발달되어 있는 유럽에서는 도시경관과 인공조명의 조화를 중요시하기 때문에 기존에 설치되어 있는 조명을 LED조명으로 교체하기를 꺼려한다. 이러한 부분을 고려할 때 전통조명의 광원과 개발한 LED조명의 1:1 대체가 중요하게 여겨진다. 시제품 제작 후 코펜하겐에 설치를 통해서 유럽 시장에 진입 가능성을 확인할 필요가 있다.

Fig. 11는 기존의 기구물을 이용해서 교체가 가능하도록 하는 Retrofit 개념을 선보이고 있다. 기존의 광원을 제거한 후 개발한 LED조명만을 교체해서 비용을 절감하고 외관상 전통조명과 같은 효과를 보인다. (a)는 앞서 설명한 Retrofit 개념의 concept이고, (b)는 실제로 Mount JIG를 제작하여 시제품을 완성시킨 모습이다. 실제로 10 m높이에 펜던트형으로 설치한 모습을 보면 X축 방향으로 빛이 넓게 퍼지는 것을 알 수 있다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 결과

본 연구에서 제작한 Mock-up Lens의 배광특성을 측정하기 위해서 한국광기술원에 의뢰를 하여 Goniophotometer를 이용해서

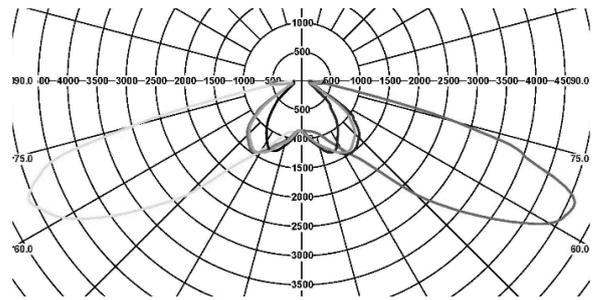


Fig. 12 Intensity distribution

측정하였다. Goniophotometer로 측정한 배광곡선은 Fig. 12과 같고, 배광각도는 X축 140°~145°, Y축 40°~45°으로 조명 시뮬레이션 데이터와 동일한 것을 알 수 있다. 소비전력 110 W를 인가했을 때 LED Module의 총광속은 11,000 lm으로 측정되었고, LED Module과 비구면 광학계를 체결한 후 측정한 결과 총광속은 8,150 lm으로 비구면 광학계의 투과율은 약 74%로 확인되었다.

Mock-up으로 제작한 Heat sink와 LED Module을 체결하고, Thermal Recorder기 MV100을 이용해서 방열 Test를 하였다. 소비전력은 114 W를 인가하고, 광원이 아래를 향하도록 한 후 채널 1을 LED Tc, 채널 2를 Heat sink 베이스, 채널 3을 Heat sink 핀 상부, 채널 4를 Heat sink 핀 하부에 부착하고 측정하였다. 측정을 시작하고 약 30분 후 LED Tc온도가 68°C에서 열평형을 이루었다. 방열해석 데이터와 비슷하고, 열에 의한 광 손실을 최소화하기 위해서는 80 W가 적당하고, 이때에 LED Tc온도는 60°C이하가 될 것으로 예상된다. 그리고 최대허용 Tc온도를 80°C로 규정했을 때에 140 W까지 사용이 가능한 것을 실험을 통해 확인이 되었다.

### 4.2 고찰

본 연구에서 개발한 비구면 광학계의 투과율은 측정 결과 약 74%로 확인되었다. 시제품의 경우 외부면을 수작업으로 연마를 해서 빛의 손실이 컸음을 감안하면 금형으로 제작 후 Lens를 사출할 경우에 광 효율이 향상될 수 있다. 종래의 실외조명의 경우 광원의 보호를 위해 강화유리를 절대적으로 사용하고 있고, 이 강화유리에 의한 광손실은 10%이상이다. 강화유리를 사용하지 않는 비구면 광학계는 그 자체로 견고하고 방수기능도 갖기 때문에 강화유리로 인한 광손실을 감안하면 74%라는 수치는 나쁘지 않은 결과이다. 하지만, 이와 같은 수치는 LED교체사업이 진행되면서 에너지 절감을 위해 고효율 조명제품이 각광을 받는 현시점에서는 치명적인 단점이 될 수 있고, 타 LED조명 제품과의 경쟁에서 약점이 될 수 있는 것은 사실임에 틀림이 없다. 비구면 광학계의 두께를 얇게 하고, Lens내에서의 광 추적을 통해 불필요하게 손실되는 광을 개선할 수 있는 설계보완이 필요하다.

빛 공해 방지를 위해 조명제품 자체의 배광과 성능을 고려하고, 조명설계 단계에서 설계나 계산을 통하여 해결하려고 노력하였다. 야간에 수면을 취하고 있는 건물 2층의 사람들에게 가로등의 빛이 조사되지 않도록 조명 시스템 시뮬레이션을 시도해보았다. 이러한 시도를 통해서 필요한 장소에 필요한 만큼의 빛을 밝히고, 사람들에게 불쾌감을 줄일 수 있는 조명설치환경에 대해서 알아보았다.

## 5. 결론

본 유럽형 LED 가로등용 비구면 광학계는 조명 시뮬레이션 결과 X축 방향으로 140°, Y축 방향으로 40°의 배광각도를 가지고 있었고, Mock-up Lens 제작 후 측정된 결과 조명 시뮬레이션 결과와 같음을 확인하였다. 그리고, 비구면 광학계의 투과율은 약 74%이다. 이 결과를 통해 불필요하게 손실되고 있는 빛의 경로를 추적해서 설계 변경을 통해 투과율을 향상시키고, Lens의 두께를 줄임으로서 투과율 향상 및 원가를 절감하여야 한다.

설치높이 13 m, 설치간격 50 m의 조건으로 개발한 LED조명을 설치할 경우 광 균제도가 우수함을 확인하였다. 하지만, 국도 및 고속도로에 적용할 시에는 눈부심 현상 및 차선축 조도균제도를 향상시키기 위한 개선이 필요하다. 1개의 LED Module과 1개의 비구면 광학계 사용으로 소형의 LED조명을 개발하였고, 현재 코펜하겐 시의 도움을 얻어 실증 Test 중이며, 적용 가능성을 확인하고 있다.

본 연구에서 개발한 LED조명을 바탕으로 유럽의 상점가에 설치되어 있는 가로등 설치조건으로 조명 시스템 시뮬레이션을 진행한 결과, 수면을 방해하는 빛을 제거하여 빛 공해를 방지할 수 있었다. 빛 공해 방지를 위해서는 조명 초기 개발 단계부터 조명 시스템 설계 및 사후관리까지 철저한 검토를 통한 노력이 필요하다.

## References

- [1] Chae, S. G., 2012, Optical Design of a Secondary Lens for LED Flat-panel Lighting to Improve Luminous Intensity Distribution Performance, Doctorate Thesis, Chonnam National University, Republic of Korea.
- [2] Yang, S. Y., 2011, A Study on the Suggestion of LED Lighting Industrial Development, Doctorate Thesis, Hoseo University, Republic of Korea.
- [3] Jin, S. H., 2008, Manufacture of a High-power LED Illuminator for Road Lighting, Master Thesis, Hoseo University, Republic of Korea.
- [4] Kim, J. Y., 2013, A Study on Properties of Aspheric Optical System for LED Street Lamps of Roadway Lighting Class M4, Master Thesis, Korea Poly-Technic University, Republic of Korea.
- [5] Kim, H. J., 2010, Survey of a Lighting Expert on The Awareness and Issues of Light Pollution, KIIEE 24:5 31-36.
- [6] Han, J. S., 2010, Analysis of International Standards for Light Pollution Regulations, KIIEE 24:5 3-12.
- [7] Jung, B. J., 2012, A Study on the Lens Structure Development used in LED Security Light with the High-efficiency Diffuse Light Distribution Characteristics Doctorate Thesis, Wonkwang University, Republic of Korea.
- [8] Hyun, D. H., Noh, M. J., 2011, Asymmetric icicle type diffuser for diffusing light of LED, KR Patent : 10-2011-0000153.
- [9] Yoo, K. S., 2010, LED Secondary Lens of Light Adjusting Shaped Icicle-type for Indoor Lighting, Master Thesis, Korea Poly-Technic University, Republic of Korea.