

MR16용 LED 램프 조명설계

박준형¹, 문병권¹, 유인호^{1*}
¹전북대학교 IT응용시스템공학과

Design of Optical System for LED Lamp using MR16

Jun-Hyun Kim¹, Byung-Kwon Moon¹ and In-Ho Ryu^{1*}

¹Dept. of IT Applied System Engineering, Chonbuk National University

요약 본 논문은 다면체 반사판(Multifaceted Reflector :MR16)을 사용하여 할로겐 광원을 LED광원으로 대체함으로써 기존 MR16의 장점을 수용하고 더불어 단점을 커버할 수 있는 MR16에 대해 연구하였다. 본 연구에서는 4매의 비구면 렌즈를 1 Sheet로 한 광학계를 적용한 LED용 MR16을 개발하였다. 광학 소프트웨어를 통해 비구면 광학계를 설계하였고, 조명 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 설계 데이터의 조명성능을 예측하였다. 또한 방열 해석 프로그램을 통해 Heatsink의 열 성능을 예측하였다. 최종적으로 시뮬레이션 분석 데이터를 토대로 광학 시제품을 제작하고, 직접 성능을 측정하여 설계데이터와 비교 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다. MR16의 배광각도는 50°~60°내외로 시뮬레이션 분석 결과와 시제품의 측정결과가 유사하였으며, 온도측정 결과는 1분 30초경부터 열 평형을 이루었고 이의 시뮬레이션 결과와 시제품 모두 최대 60℃까지 열이 오르는 것을 확인하였다. 마지막으로 MR16의 배광곡선 역시 제작된 시제품의 성능측정 결과가 유사함을 보여주었다.

Abstract This paper studies MR16 that can strengthen the strength and make up for the weakness of MR16 by replacing halogen light source using multifaceted Reflector(MR16) with LED light source. To achieve this, developed MR16 for LED applying optical system that four aspheric lens is one sheet. Optical system is designed by optics software and lighting performance of the designed data is predicted lighting simulation program. Also, heatsink's heat radiation analysis program to predict the thermal performance. Finally, optical prototype system based on simulation analysis data is manufactured and the results comparing performance of the developed system and the designed data are follows: Radiation angle was around 50°~60° in results of simulation analysis and the test of the prototype system. Also, temperature measurement result indicates that the thermal equilibrium is realized after one minute and thirty seconds and heat is generated up 60℃in all of simulation analysis and the test of the prototype system. Finally, simulation analysis result on light disturbance curve of MR16 is similar to that of performance of the prototype system.

Key Words : Multifaceted Reflector(MR16), LED, Lenz Design, Aspheric, Heatsink

1. 서론

온실효과 가스 배출량을 줄이기 위한 에너지절약 정책의 영향으로 발광효율이 나쁜 전구를 폐지하는 움직임이 전 세계에 급속하게 확대되고 있다. 이에 따라 소비전력이 적고 장수명이며 친환경적인 조명용 광원으로 LED가 주목받아 왔으며 최근에는 일반조명 및 자동차, 할로겐전

구 등의 조명시장에 적용되면서 LED 조명의 가격저감과 제품개량이 급속하게 진행되고 있다[1].

LED 광원은 기존의 조명기기보다 저소비전력, 일반조명에 비해 10~50배 정도의 긴 수명, 빠른 응답 속도, 뛰어난 견고성 및 낮은 전압 구동으로 인한 안정성과 소형화가 가능하다는 장점으로 인해 빛이 필요한 다양한 곳에 응용될 수 있다[2].

*Corresponding Author : In-Ho Ryu

Tel: +82-63-270-4775 email: toto00@jbnu.ac.kr

접수일 12년 09월 13일

수정일 12년 10월 08일

게재확정일 12년 10월 11일

그러나 LED에서 나오는 광은 직진성이 강하여 LED 조명으로 발전하였을 경우 대부분이 글레어 현상을 초래하기 때문에 빛 공해를 일으키는 원인이 되고 있다.

이러한 LED 조명의 배광을 제어하기 위해 통상적으로 렌즈 및 반사갓 등의 조명기구물이 이용되며, 이 중 반사갓의 경우에는 LED 칩에서 발생하는 빛 에너지를 반사시켜 설계자가 원하는 배광패턴을 얻게 한다.

하지만 이 과정에서 LED 칩의 고질적인 문제인 황색 띠(Yellow ring)가 발생함에 따라 광효율이 떨어지는 결과를 낳게 된다. 이를 해결하기 위해서는 조명용 렌즈와 반사갓에 대한 광학적인 연구가 지속되어야 한다.

본 논문에서는 다면체 반사판(Multifaceted Reflector:MR16)을 사용한 할로겐 광원을 LED광원으로 대체함으로써 기존 MR16의 장점을 수용하고 더불어 단점을 커버할 수 있는 MR16에 대해 연구하였다. 4매의 비구면 렌즈를 1 Sheet로 한 광학계를 적용한 LED MR16을 개발하였으며 광학 소프트웨어를 통해 비구면 광학계를 설계하였고, 조명 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 설계 데이터의 조명성능을 예측하였다. 또한 방열 해석 프로그램을 통해 Heatsink의 열 성능을 예측하였다. 최종적으로 시뮬레이션 분석 데이터를 토대로 광학 시제품을 제작하고, 직접 성능을 측정하여 설계데이터와 비교 분석하였다.

2. 본론

일반적으로 광축을 중심으로 회전 대칭성 고차 비구면은 다음 방정식^{3,4,5)}으로 표현된다.

$$z = \frac{cx^2}{1 + \sqrt{1 - c^2(1+k)x^2}} + Ax^4 + Bx^6 + Cx^8 + Dx^{10} \dots (1)$$

여기서, c 는 면의 곡률이고, K 는 코닉상수라고 부르는 상수이며, Table 1과 같이 분류된다.

[표 1] 코닉상수에 따른 구의 형상
[Table 1] Shape according to conic constant

K	Shape
K=0	Sphere
K=-1	Parabola
K<-1	Hyperbola
K>0, -1<K<0	Ellipse

$A, B, C, D \dots$ 등은 비구면 계수이며, 원추곡면에서 벗어난 정도를 의미한다. 식 1은 크게 나누어 보면 코닉상수(Conic Constant)를 포함한 식 2-2와 비구면 계수(Aspheric Coefficient)를 포함한 식 3으로 구성되어 있다.

$$\frac{x^2}{R(1 + \sqrt{1 - (1+K)x^2/R^2})} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n a_i x^i \quad (3)$$

코닉상수를 포함한 식의 기본은 구면 방정식으로부터 시작을 한다. 코닉상수의 센터를 중심으로 하는 기본적인 식은 다음과 같다.

$$\frac{X^2}{a^2} + \frac{Y^2}{a^2 - c^2} = 1 \quad (4)$$

여기서 $e = c/a$ 라고 하면, $e = 0$ 이면 구면(Sphere), $0 < e < 1$ 이면 타원(Ellipse), $e = 1$ 이면 포물면(Parabola), $e > 1$ 이면 쌍곡선(Hyperbola)으로 나타낼 수 있다.

일반적인 광학에서 사용하는 식은 만곡점이 좌표에서 기준이 된다. 식 4는 식 5와 같이 변형된다.

$$\frac{(X-a)^2}{a^2} + \frac{Y^2}{a^2 - c^2} = 1 \quad (5)$$

식 5의 수식으로부터 광학설계에서 쓰는 회전대칭 비구면 설계식을 유도할 수 있다. 식 5를 전개해보면,

$$X^2 - \frac{c^2}{a^2} X^2 - 2aX + \frac{2c^2}{a} X + Y^2 = 0 \quad (6)$$

X 의 차수별로 정리하면,

$$X^2 \left(\frac{a^2 - c^2}{a^2} \right) - 2X \left(\frac{a^2 - c^2}{a} \right) + Y^2 = 0 \quad (7)$$

식 7에 식 $c = ae$ 를 대입하면,

$$X^2(1 - e^2) - 2Xa(1 - e^2) + Y^2 = 0 \quad (8)$$

근의 공식을 사용하여 X 값을 구하면,

$$X = \frac{a\sqrt{1 - e^2} - \sqrt{a(1 - e^2) - Y^2}}{\sqrt{1 - e^2}} \quad (9)$$

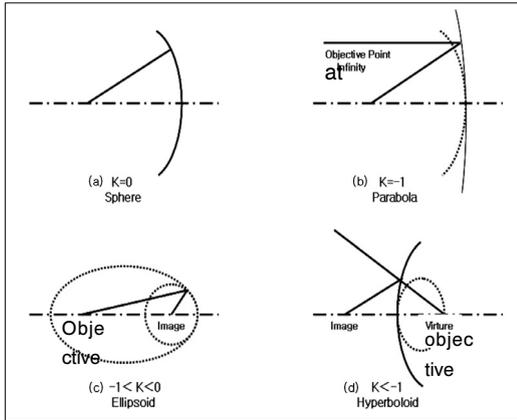
$$= \frac{Y^2}{a(1 - e^2) + \sqrt{\{a(1 - e^2)\}^2 - Y^2(1 - e^2)}}$$

여기서, $a(1 - e^2)$ 은 곡률반경 R 이고, 코닉상수 K 는 $-e^2$ 이다. 이것을 식 9에 대입하면,

$$X = \frac{Y^2}{R + \sqrt{R^2 - Y^2(1+K)}} \quad (10)$$

이와 같이 비구면 계수를 제외한 식이 완성된다.

$K = -e^2$ 로 $K = 0$ 이면 구면, $-1 < K < 0$ 이면 타원, $K = -1$ 이면 포물면, $K < -1$ 이면 쌍곡선으로 나타낼 수 있다. 그림 1은 코닉구간에 따른 형상과 광원과 광축 사이에 광선도의 상관관계를 나타낸다.



[그림 1] 코닉구간에 따른 광선도의 상관관계
 [Fig. 1] Shape according to conic section

3. 실험방법

3.1 비구면 렌즈 측정

비구면 렌즈를 측정하는 방법에는 접촉식 측정방법과 비접촉식 측정방법이 이용되며, 형상에 따라 구면, 비구면, 세그가 약한 비구면 등을 측정하기 위한 방법들이 사용되고 있다.

렌즈의 표면을 3차원으로 측정 평가할 수 있는 AFP(Atomic Force Probe)장비를 컴퓨터와 연결하여 3차원 측정상태를 바로 확인할 수 있으며 mm단위의 정밀도를 유지하며 해석된다.

이 측정 장비는 원자 간격을 유지하면서 표면을 해석하는 AFP를 기본 내장하고 있어 비구면을 측정하기에 유리하며, 수직 프로브 형태로 형상의 간섭을 최소화하는 것이 큰 특징이다. 또한, 경사가 심한 측정물에 신뢰성이 60°를 보장하고 있어 세그값이 깊은 비구면을 측정하는데 유리하다.

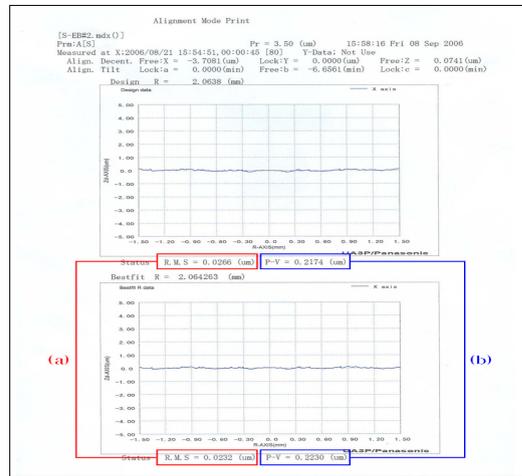
본 연구에서는 형상 측정을 위하여 고정도의 3차원 측정기를 사용하였다. 3차원 렌즈측정기는 일본 파나소닉사의 UA3P(Ultrahigh Accurate 3-D Profilometer)이다. UA3P는 AFP를 기본으로 내장하고 있어 비구면 측정에 유리하며, 수직의 프로브로 인해 측정시 렌즈 형상의 간섭을 최소화 시킬 수 있는 것이 특징이다. 또한 특수한 스타일러스(Stylus)를 추가할 경우 더욱 미세한 형상을 측정할 수 있다.

3.2 표면조도와 형상정밀도

3차원 측정기(UA3P)를 사용하여 비구면 렌즈를 측정

하면 그림 1과 같이 표면조도와 형상정밀도의 값을 얻을 수 있다.

형상정밀도는 형상에 관련한 오차로 곡률반경과 비구면 데이터, 렌즈의 두께로 광학요소의 형상을 정의할 때 이러한 값들의 설계 값과 실제 제작된 값들의 차이를 말한다. 표면조도는 R.M.S(Root Mean Square)로 표시하며 측정값은 그림 1의 (a)와 같이 나타난다. 형상정밀도는 P-V(Peak-to-Valley)로 표시하며 측정값은 그림 1의 (b) 같이 나타난다[6].



[그림 2] 비구면 렌즈의 형상 정밀도
 [Fig. 2] Form accuracy of aspherical lens

3.3 3D 설계 소프트웨어[7]

SolidWorks는 광범위한 기계 CAD, 설계 검증, 제품 데이터 관리, 설계 커뮤니케이션, CAD 생산성 도구를 경제적이고 간편한 단일 패키지로 통합되어 더욱 편리한 프로그램이며, 설계의 정확도를 높이면서 개발 시간을 단축하고 질을 높여준다. SolidWorks는 해석, 제품 데이터 관리(PDM), 설계 공유 및 공동작업, CAD 생산성, 전문 분야 설계, 3D 온라인 카탈로그와 같은 다양한 도구와 함께 제공하고, 시뮬레이션에서는 실제 환경과 동일한 조건을 설계에 쉽게 적용할 수 있다.

3.4 조명 시뮬레이션 소프트웨어[8-12]

미국의 ORA(Optical Research Associates)의 LightTools는 사용자가 원하는 애플리케이션(Application)의 시스템을 LightTools 내에서 직접 만들어 금형 및 Photo Type의 제품을 만들기 전에 미리 실제제품의 특성 등을 파악할 수 있는 조명광학 전용 설계 시뮬레이터(Simulator)이다. LightTools는 3D CAD(Solidworks, Pro-e, Catia, UG 등)

와 사용법이 비슷하여 사용법이 매우 쉽고 사용자가 C++ 나 Visual Basic을 이용하여 직접 독립된 매크로(Macro)를 작성하여 LightTools와 연동하여 사용할 수 있다. 또한 Solidworks에서 설계한 파일을 LightTools에 바로 연동하여 사용이 가능하므로 복잡한 외형의 데이터도 시뮬레이션이 가능하다.

4. 실험결과

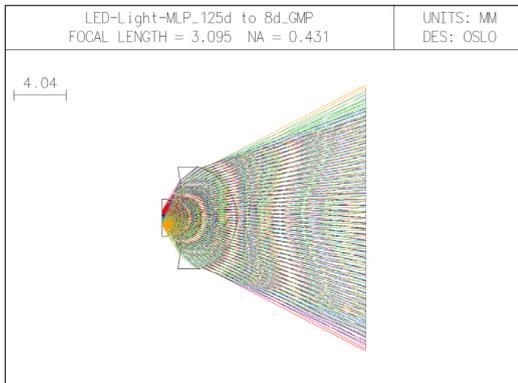
4.1 광학계 설계 및 시뮬레이션

4.1.1 비구면 2차 렌즈 설계

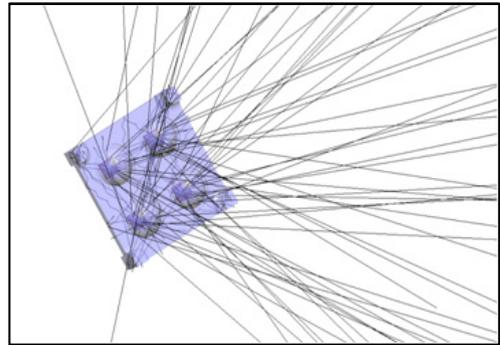
MR16에 맞는 비구면 렌즈를 설계하기 OSLO 광학설계 프로그램을 이용하였다. 본 광학계는 엘이디(LED)에서 발생하는 광을 확산시키기 위한 광 조정렌즈로, 렌즈의 형상은 회전대칭형 구조이고, 넓은 화각의 일정 범위에 광손실없이 동일 밝기로 빛 방사한다. 또한 렌즈의 외부면은 연속 비구면을 사용하여 사용거리에 상관없이 광분포 변화 없으며, Unit의 광분포 패턴이 중첩한 다중형태에서도 변화가 없다. 렌즈의 재질은 PMMA로 적용하였고, LED Source부분은 Cool White 데이터를 적용하였다. 그림 3은 렌즈 설계 데이터이다.

4.1.2 비구면 2차 렌즈 조명 시뮬레이션

그림 3과 같이 설계한 데이터를 사용하여 비구면 2차 렌즈의 조명 시뮬레이션을 실행하였다. 설계 렌즈는 MR16의 크기에 맞추어 4개의 렌즈를 1 Sheet로 재설계하였다. 조명 시뮬레이션은 전문 프로그램인 LightTools를 사용하였으며, 그림 4는 LightTools를 사용하여 조명의 광선을 추적한 그림이다.

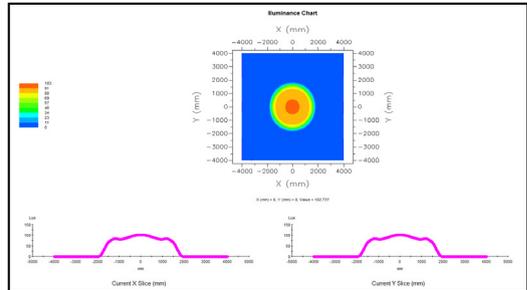


[그림 3] 광학 디자인
[Fig. 3] Optics design(OSLO)

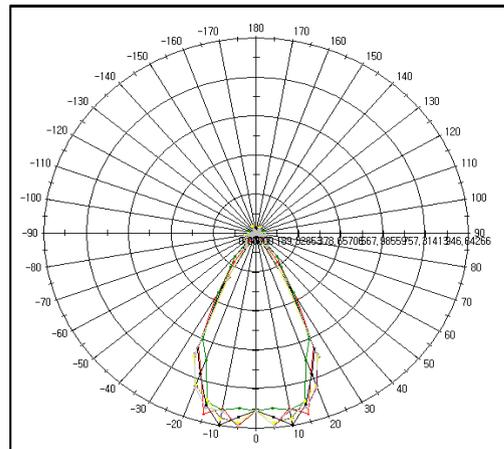


[그림 4] 조명 시뮬레이션
[Fig. 4] Lighting simulation

그림 5는 8m×8m 크기의 일정 조사면에 비친 조도분포도로, 방사되는 광선 경로를 직교좌표 형태로 나타내었다. 그림과 같이 4m×4m의 면적에 면적당 동일한 에너지가 분포되면서 평균 100Lux이상으로 광 균일도를 이루는 것을 확인하였다. 그림 6은 광확산이 조정된 배광곡선을 나타낸 방사패턴 그래프로서 시뮬레이션 결과 방사각 55°~60°을 확인하였다.

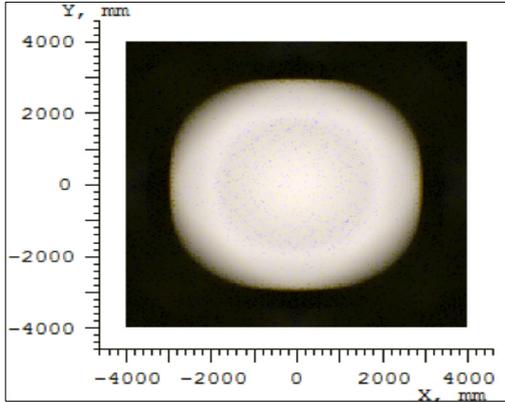


[그림 5] 조도 차트
[Fig. 5] Illuminance chart



[그림 6] 배광 곡선
[Fig. 6] Light distribution graph

그림 7은 2차 렌즈에서 발생하는 광 분포의 RGB 코드를 나타낸 것으로 실제 조사면의 광원의 형태를 예측할 수 있다.



[그림 7] RGB 차트
[Fig. 7] RGB chart

4.2 광학 시제품 제작

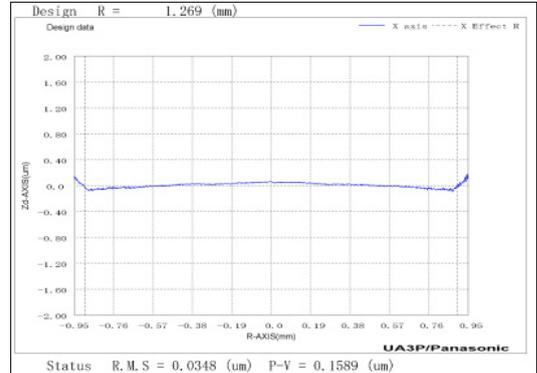
그림 8은 실제로 제작한 LED MR16 비구면 렌즈이다. 렌즈는 Mock-up 금형을 사용하여 사출 제작하였다. 개발 광학계의 성능을 측정하기 전에 광학계의 형상정도와 표면정밀도를 앞에서 기술한 3차원측정기를 사용하여 측정하였다. 형상정도와 표면정밀도가 정밀하면 정밀할수록 시뮬레이션 성능과의 오차가 줄어들기 때문에 본 측정은 선행이 되어야 한다. 측정은 렌즈의 비구면 부분인 바깥쪽 면을 측정하였다.



[그림 8] LED MR16의 비구면 렌즈
[Fig. 8] LED MR16 aspherical lens

그림 9는 형상정도와 표면정밀도 측정결과로 그림과 같이 형상정도 0.1589 μm 와 표면정밀도 0.0348 μm 의 측정

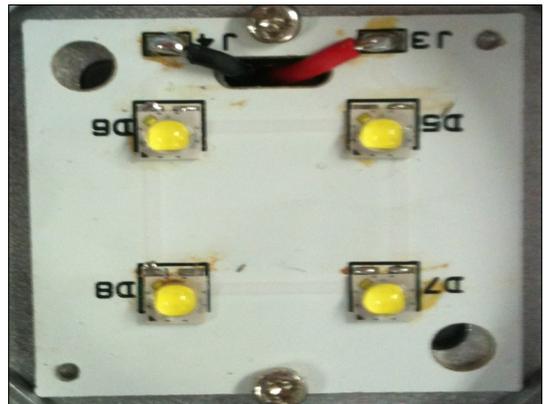
결과를 얻었다. 이는 광학계 성능 허용치 범위인 형상정도 0.3 μm 과 표면정밀도 0.05 μm 안에 들어오는 것을 확인할 수 있었다.



[그림 9] LED MR16의 비구면 렌즈의 측정 결과
[Fig. 9] Measurement of LED MR16 aspherical lens

4.3 LED 선정

앞선 광학 설계 및 시뮬레이션에 맞추어 LED Module을 선택하였다. 본 실험에서는 Nichia NCSW119T를 PCB 위에 광학시뮬레이션 데이터와 같이 2x2 배열로 올려 그림 10과 같은 실험용 Sample LED Module을 제작하였다.



[그림 10] 제작된 시험용 LED module
[Fig. 10] Test sample LED module(NCSW119T)

4.4 Heatsink 제작

LED를 조명으로 사용시 가장 큰 단점은 발열이다. MR16의 광원을 LED로 대체하기 위해서는 이 발열 문제를 해결해야 한다. 따라서 기존 MR16의 크기와 동일하면서 LED의 발열을 해결할 수 있는 Heatsink의 제작이 필요하다.

그림 11은 본 실험을 위해 특별히 제작한 Heatsink의 도면이다. Heatsink 설계시 Twist Type으로 설계하여 방열 효율을 최대한 증가시켰다.



[그림 11] 제작된 Heatsink
[Fig. 11] Making a heatsink

4.5 LED MR16 성능 실험

제작한 비구면 광학계와 LED Module 그리고 히트싱크를 결합하여 그림 12의 성능 테스트용 LED MR16 시제품을 제작하였다.

제작한 성능 테스트용 LED MR16 시제품에 전원을 넣은 후 그림 13과 같이 천장에 광원을 비춰 보았다. 그림과 같이 고루 빛이 퍼지는 것을 확인할 수 있었다.

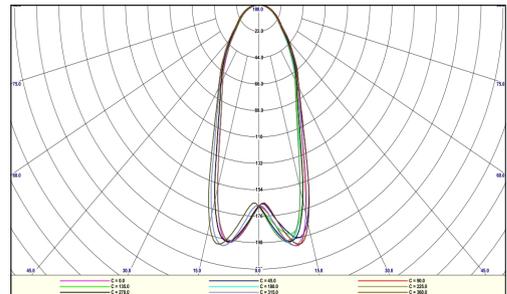


[그림 12] MR16 원형
[Fig. 12] Prototype of LED MR16



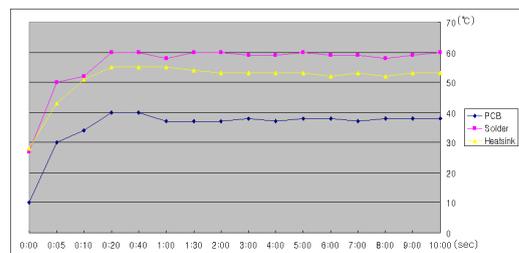
[그림 13] LED MR16 동작 시험
[Fig. 13] Turn on LED MR16

LED MR16 조명 시제품의 배광그래프는 Goniophotometer를 사용하여 측정하였다. 측정결과 그림 14와 같은 배광그래프를 확인하였으며, 그림의 배광그래프는 그림 6의 시뮬레이션 배광그래프와 유사한 형태로 인 것을 확인하였다. 또한 배광각도도 55°~60°로 시뮬레이션 데이터와 동일한 것을 확인하였다.



[그림 14] LED MR16 배광 측정 그래프
[Fig. 14] Light distribution graph of LED MR16

제작한 성능 테스트용 LED MR16의 온도를 측정하였다. 온도 측정은 총 3군대로 PCB와 Solder(LED Module 바로 위), 그리고 Heatsink의 온도를 측정하였다. 아래의 그림 15와 같이 1분 30초경부터 열평형을 이루는 것을 알 수 있고, 최대 60℃까지 열이 오르는 것을 확인하였다.



[그림 15] LED MR16의 열 측정 그래프
[Fig. 15] Thermal measurement graph of LED MR16

5. 결론

본 연구에서는 4매의 비구면 렌즈를 1 Sheet로 한 광학계를 적용한 LED MR16을 개발하였다. 광학 소프트웨어를 통해 비구면 광학계를 설계하였고, 조명 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 설계 데이터의 조명성능을 예측하였다. 또한 방열 해석 프로그램을 통해 Heatsink의 열 성능을 예측하였다. 최종적으로 시뮬레이션 분석 데이터를 토대로 광학 시제품을 제작하고, 직접 성능을 측정하여 설계데이터와 비교 분석하였다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 4매의 비구면 렌즈를 1 Sheet로 한 광학계와 그에 맞는 LED Module을 선정하여 실용적인 LED MR16을 제작하였다.
- (2) 본 LED MR16의 배광곡선은 시뮬레이션 분석 결과와 시제품 제작 측정 결과가 유사한 모양을 띠는 것을 확인하였다. 또한 배광각도 역시 약 50°~60°내외로 시뮬레이션 분석 결과와 시제품 제작 측정 결과가 동일한 것을 확인하였다.
- (3) LED MR16의 온도 측정결과 1분 30초경부터 열평형을 이루는 것을 확인하였고, 시뮬레이션 분석 결과와 시제품 제작 측정 결과 모두 최대 60℃까지 열이 오르는 것을 확인하였다.

References

- [1] Tusty. J., Smith. S. and Zamudia. C., Operation Planning Based on Cutting Process Model, Annals of the CIRP, 39, pp. 517-521.1990
- [2] Gerard Harbers and Christoph Hoelen, "LP.2: High Performance LCD backlighting using High Intensity Red, Green and Blue LED," Society for Information Display (SID) International Symposium, 2001.
- [3] V. Ronchi, The Nature of Light : An Historical Survey, 1970.
- [4] Warren J. Smith, Modern Optical Engineering, 3rd Ed, Mc Graw Hill, 2001.
- [5] M. H. Shamos, Great Experiments in Physics. 1987.
- [6] D. J. Kim, "An Research on Ultra Precise Polishing Manufacturing Technology of Glass for Micromini and Super Wide-Angle Aspherics Glasses Lens," Graduate School of Industrial Technology & Management Korea Polytechnic University, pp. 35-39, 2010.
- [7] K. S. Yoo, Dahl, op. cit., II, pp. 56.

- [8] K. S. Yoo, Dahl, op. cit., II, pp. 57.
- [9] H. S. Jin, "Design of Internet Traffic Monitoring System Using TCP/IP", *Journal of The Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication*, pp. 99-104, VOL.10, No.4, Aug., 2010.
- [10] E. C. Kim, S. I. Seo, J. Y. Kim, "Performance of Tactics Mobile Communication System Based on UWB with Double Binary Turbo Code in Multi-User Interference Environments", *Journal of The Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication*, VOL.10, No.1, pp. 39-50, Feb., 2010.
- [11] J. P. Cho, S. I. Cho, K. M. Kang, H. J. Hong, "Analysis on Characteristics for Sharing Co-channel between Communication Systems", *Journal of The Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication*, VOL.11, No.4, pp. 251-256, Aug., 2011.
- [12] Y. H. Choi, Y. H. Kim, J. Y. Kim, J. H. Lee, J. S. Cha, "Comparison of Spectrum Sensing Algorithms for Cognitive Radio Systems", *Journal of The Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication*, VOL.11, No.4, pp. 195-201, Aug. 2011.

박 준 현(Jun-Hyun Park)

[정회원]



- 2005년 2월 : 광주대학교 컴퓨터 전자통신공학부(공학사)
- 2006년 1월 ~ 2007년 2월 : (주) 나노팩 기술팀 과장
- 2007년 4월 ~ 2009년 7월 : (주) 코셋 기술팀 과장
- 2009년 8월 ~ 현재 : (주)노아텍 대표이사

<관심분야>

제어공학, LED, 광통신, 경영

문 병 권(Byung Kwon Moon)

[정회원]



- 2002년 2월 : 호남대학교 전자공학과(학사)
- 2002년 7월 ~ 2007년 3월 : (주) 나노팩 광통신부품연구소(연구원)
- 2008년 5월 ~ 2011년 10월 : (주)쿠보텍 기술연구소(연구원)
- 2012년 8월 ~ 현재 : (주)탑플러스 재직

<관심분야>

제어공학, LED 조명, 정보통신, 정보가전

유 인 호(In-Ho Ryu)

[정회원]



- 1984년 2월 : 원광대학교 전기공학
학과 졸업
- 1986년 2월 : 건국대학원 전기공
학과 졸업(석사)
- 1999년 2월 : 원광대학원 전기공
학과 졸업(박사)
- 1993년 3월 ~ 현재 : 전북대학
교 IT응용시스템공학과 교수

<관심분야>

자동제어, 회로설계, 공장자동화 제어