

# LED 광원을 적용한 조명계의 광-기계 특성에 관한 연구 Opto-Mechanical Analysis of Illumination System using LED Light Source

\*#이기석<sup>1,2</sup>, 여상욱<sup>1</sup>, 이승규<sup>1</sup>, 강신일<sup>2,3</sup>

\*#Giseok Lee(santa@lge.com)<sup>1,2</sup>, Sang-Ok Yeo<sup>1</sup>, Seung-Gyu Lee<sup>1</sup>, Shinill Kang<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> LG 전자 디스플레이연구소, <sup>2</sup>연세대학교 공학대학원 기계시스템, <sup>3</sup>연세대학교 기계공학부

Key words : Opto-mechanical Analysis, Thermal Deformation, Luminous Flux

## 1. 서론

과학 기술의 발전에 따라 빔 프로젝터와 같은 마이크로 디바이스는 소규모 집적화 되는 경향을 보이고 있다. 이에 따라 프로젝터 내부의 열 유속(heat flux)이 증가된 밀폐환경에서 주어진 광학성능을 만족시키는 파라미터인 설계, 가공 조립과 함께 정밀도를 요하는 광학부품의 열에 의한 변형이 프로젝터의 투사 성능을 저하시키는 요인이 되고 있다.

특히 본 시스템은 R, G, B 삼원광의 LED로부터 출사되는 빔을 합성하는 방법으로 영상을 구현하는 장치로서 각 LED에 배분된 duty 값이 시스템의 성능을 구현하는데 중요한 역할을 하게 된다. 또한 각각의 LED 발광부는 모두 다른 구성으로 이루어져 있으므로 온도 의존성이 제각기 다르다. 특히 본 시스템에서 R, G, B LED 중 Green LED의 duty는 R, B LED에 비하여 상당히 높은 발열량을 가지며, 따라서 본 연구에서는 G LED로 구성된 집광렌즈 구조체만을 실험 대상으로 하였다.

개발 초기의 본 시스템은 시스템 전원 인가 후 시간이 지남에 따라서 시스템 밝기가 저하되는 현상이 발생하였다. 디바이스 특성상 포화 시간 동안 시스템의 밝기 변화는 LED를 광원으로 하는 시스템에서 일반적인 현상이고 이것은 주로 LED의 특성에 기인한다고 알려져 있다. 하지만 본 시스템은 LED의 특성에 의해 예측된 광속 저하보다 더 많이 광속이 저하되는 현상이 발생하였다.

이에 본 연구에서는 동작 상태에서 광학 성능의 저하를 규명하기 위해서 LED 온도에 따른 광속 변화 실험을 수행하였고, 이를 통해 조명 성능 저하의 원인이 집광렌즈의 변형에 의함을 보였다. 또한 열 변형이 조명계의 성능에 미치는 영향을 규명하기 위해 실험적으로 구한 열적 경계 조건을 사용한 열-구조 해석을 수행하였다. 이를 토대로 광-기계 해석을 수행하였고, 광속 저하를 규명하였다. 또한 이를 바탕으로 구동중 열 변형을 고려한 조명계 설계를 제안하였다.

## 2. 시스템 개요

PMMA 재질인 집광렌즈의 열변형 온도인 H.D.T(95°C) 이하로 광부품을 냉각시 출력되는 화면 특성이 변하지 않는다고 알려져 있으나 광원으로부터 출사된 빔이 렌즈의 중심부만을 투과하는 렌즈의 경우 렌즈의 측면부와 중심부 간 열구배가 발생할 수 있고 렌즈의 중심부 온도는 렌즈의 재질 및 광원의 파장에 따른 광흡수율 차이로 인하여 렌즈의 표면 형상이 변할 수 있다.

이에 본 시스템은 Fig. 1에서와 같이 LED 광원부와 연결되어서 LED로부터 출사된 빔을 집광시켜주는 집광렌즈 구조체(Collimator lens assembly)에 있어서 Glass에 비해 상대적으로 HDT(heat deflection temperature)가 낮은 PMMA 렌즈는 광원의 빔으로부터의 복사 에너지(radiation energy)와 밀폐계의 온도변화에 의해 열 변형(thermal deformation)이 발생할 수 있다는 전제하에 LED 및 집광렌즈의 온도변화에 따른 광속 변화량을 확인하기 위해 다음의 실험을 수행하였다.

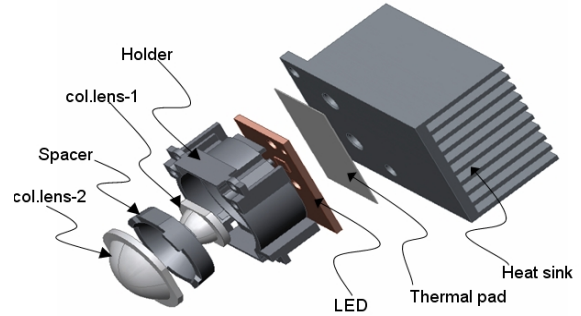


Fig. 1 Exploded view of collimator lens assembly

## 3. 광속 변화 실험 결과

첫째, LED의 온도가 상승할수록 집광렌즈-1의 온도도 상승하게 된다.

둘째, 온도에 따른 광속 변화량은 LED의 온도변화에 따른 광속저하뿐 아니라 집광렌즈의 변형에 의한 영향도 있음을 본 실험을 통하여 알 수 있었다. 특히 Fig. 2에서와 같이 집광렌즈의 온도가 상승할수록 시스템의 광속 감소율이 증가하였다.

본 실험의 결과를 기초로 열분포 분석 및 렌즈에 국부적으로 발생하는 미세 변형을 확인하고자 집광렌즈 구조체의 열-구조 해석을 수행하였다.

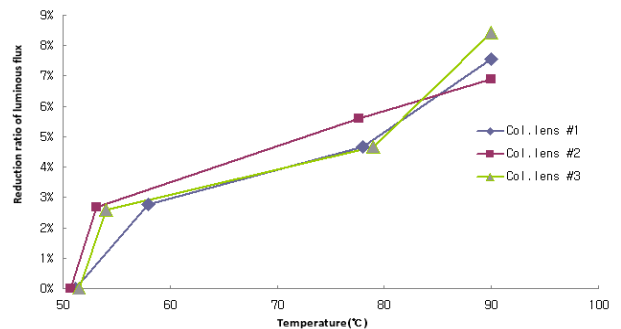


Fig. 2 Reduction ratio of luminous flux about temperature change of collimator lens

## 4. 열-구조 해석

### 4.1 해석상의 가정

LED의 발열은 기본적으로 인가전력으로부터 빛으로 나오는 에너지 외의 나머지가 모두 열에너지로 변환되어 발열이 된다고 가정하였다. LED 배면과 접촉하고 있는 방열판은 시스템의 실장실험의 데이터인 60°C에서 대류 열전달이 일어나는 것으로 경계조건(boundary condition)을 설정하였다. 광학 부품에서 열전달에 중요하게 작용하는 기체는 내면에서의 복사 열전달이다. 대류나 전도에 의한 열전달에 비하여 복사는 매우 작은 양이나 플라스틱 렌즈의 국부적인 부품의 거동을 확인하기 위하여 렌즈의 광 흡수율을 예측하여서 경계조건으로 적용하였다.

4.2 해석 결과

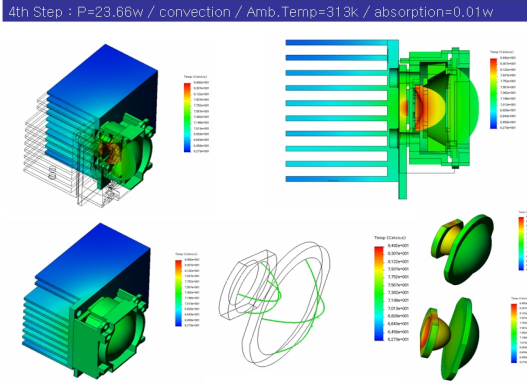


Fig. 3 Results of thermal-structural analysis of collimator lens assembly.(FEM code COSMOS™ was used)

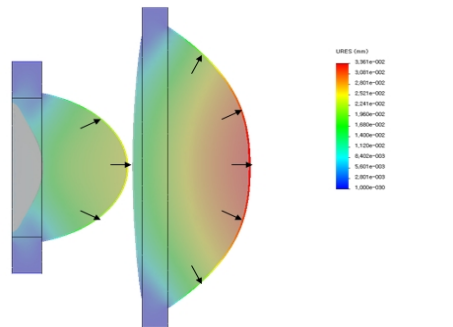


Fig. 4 Comparison between before deformation of lens surface and after of it.

해석 결과 Fig. 4의 그림과 같이 방열판, 홀더, 렌즈의 열분포가 63°C~85°C로 분포되었고 탄성한계를 초과하는 응력집중구간은 존재하지 않았다. 그리고 Fig. 5에서와 같이 열구배를 고려한 구조해석 결과 변형된 곡면의 변위는 온도 구배에 따라서 0.01~0.033mm 까지 렌즈의 곡면 변형이 발생하였다.

5. 광학 해석 결과

집광렌즈의 온도가 기준 상태인 25°C일 때 출력되는 광속은 668lm이었으며 60~75°C 구간에서의 출력 광속은 640.2lm으로 기준 상태 대비 4.2% 광속 저하가 발생하였고 85~100°C 구간에서의 출력 광속은 614.2lm으로 기준 상태 대비 8.1%의 광속 저하가 발생하였다. 또한 Fig. 6의 그래프에서와 같이 집광렌즈의 온도 대역별 광속 저하율의 결과가 실험과 해석이 유사한 경향을 보였다.

Table 1 Results of optical analysis(Light tool™ was used)

Temp. condition (°C)	Collimator lens-1	Collimator lens-2	Results	
	Thickness (mm)	Thickness (mm)	power (lm)	Reduction ratio (%)
25	5.07	7.00	668.00	-
60~75	5.10	7.03	640.20	4.2
85~100	5.10	7.04	614.20	8.1

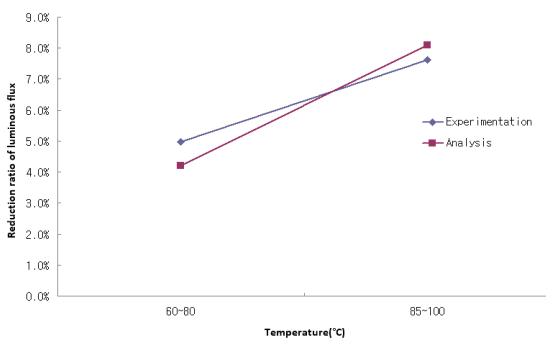


Fig. 5 Comparison between experimentation results and analysis results

6. 열변형을 고려한 조명계 설계 제한

고출력 광원으로부터 인접한 플라스틱 계열의 조명계 렌즈는 동작상태에서 상온보다 높은 온도조건에 놓이게 된다. 따라서 본 연구에서는 다음과 같이 마이크로 디스플레이 디바이스의 집광렌즈의 설계를 제한한다.

첫째 광학계 설계시 마이크로 디바이스의 열원을 정의하고 열원으로부터 발생하는 시스템의 온도분포를 예측한다. 특히 빔이 통과하는 광학 렌즈의 경우 재질에 따른 빛의 흡수율을 고려하여 동작상태의 온도 예측을 한다.

둘째 광학계 설계시 열-구조 해석을 통하여 얻은 렌즈의 온도조건 및 변형에 의한 인자를 설계변수(Kt)로 고려하여서 광학설계에 반영한다.

마지막으로 제작된 디바이스의 광속을 측정하여서 해석 결과와 실험결과를 비교하고 오차 발생시 설계변수(Kt)를 보정하여서 최적화된 광학 렌즈를 설계한다.

위와 같은 방법으로 본 연구의 대상인 집광렌즈에 설계변수(Kt)를 적용한 집광렌즈를 설계하였다. Kt로는 렌즈의 thickness를 고려하였다. 해석된 결과를 광학 해석으로 광속 변화를 분석한 결과 개선된 집광렌즈를 적용한 시스템의 출력 power가 714.9w로 기존 시스템 대비 7.0%의 광속이 개선되었다.

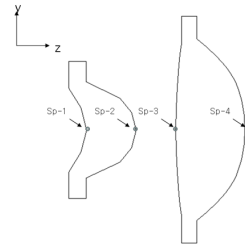


Table 2 Results of optical analysis (Light tool™ was used)

Temp. condition (°C)	Collimator lens-1			Collimator lens-2			Results	
	displacement (z,y)	Thick-ness (mm)	displacement (z,y)	Thick-ness (mm)	power (lm)	Increasing ratio (%)		
25	(0,0)	(0,0)	5.07	(0,0)	(0,0)	7.00	668.00	-
60~75	(0.02,0)	(-0.05,0)	5.07	(0,0)	(-0.01,0)	7.03	714.90	7.0

7. 결론

본 연구를 통하여 시스템의 광속에 영향을 주는 인자는 광원과 집광렌즈의 변형이고, PMMA 렌즈를 사용하는 시스템 설계시 반드시 렌즈의 열변형을 고려한 광학 설계와 냉각 시스템이 필요하다. 또한 광원부와 같은 고온 발열체에 인접하여 100°C이상의 환경조건일 경우에는 Glass 재질의 렌즈 채택이 타당하다.

열변형에 의한 성능변화가 발생할 수 있는 광학 렌즈 설계시 시스템의 구동에 따른 온도조건 및 변형에 의한 인자를 설계변수로 고려하여 설계하여야 실제 사용조건에서 최적의 시스템 성능을 발휘할 수 있다. 특히 광-기계 해석을 통한 열변형을 고려한 조명계 설계를 적용시 7%의 시스템 광속 증대가 기대된다

참고문헌

1. Byungwook Kim, Hokwan Kim, Jiseok Lim, and Shinill Kang, "Design and fabrication of micro Fresnel lens to condense light for LED illumination", 13th Microoptics Conference(MOC'07), 2007.
2. ] Paul R., Yoder Jr., "Opto-Mechanical Systems Design", pp.767-808, 2002.
3. ] Keith B. Doyle, Victor L. Genberg, Gregory J. Michels, "Integrated Optomechanical Analysis", pp.116-154, 2002.