

LED 발산빔의 대면적 Uniformity 향상을 위한 비구면 광부품 개발 Aspheric Optics for Improvement of large area Uniformity of LED Beam

*#강상도¹, 백승준¹, 박순섭², 이동길²

*#S. D. Kang(ksdles@hanmail.net)¹, S. J. Baek¹, S. S. Park², D. K. Lee²

¹ (주)에이지광학, ²한국생산기술연구원

Key words : LED Beam, Aspheric Lens, Uniformity, LED unit

1. 서론

현재의 LED광원은 일반조명 및 적외선대역, UV대역 등으로 응용되어 그 활용도가 증가되고 있다. 특히 UV영역에서는 UV-A(UltraViolet A)의 315~380 nm 영역대를 사용하여 Curing 시스템, 의료기기, 대면적 디스플레이 검사 장치에 사용이 증가되고 있고, 적외선영역에서는 830 nm 대역의 광 투광기를 사용하는 보안용 적외선 카메라의 광원으로 사용이 되고 있다. 이러한 UV대역과 적외선 영역에서 광원으로 사용되는 경우 주로 LED 광원을 대면적으로 균일하게 발산시켜 주어야 하며, 광학계를 통한 LED 빔의 Uniformity가 매우 중요하게 된다. 따라서 본 논문에서는 UV 대역인 365 nm의 광원을 가지는 LED광원을 대면적으로 투사할 수 있는 LED 유닛을 설계하였다.

LED 유닛을 설계는 광학설계 프로그램인 LightTools를 이용하여 설계된 렌즈를 시뮬레이션을 통해 배광분포, 최대광속, 총광속 등의 광학적 특성분석을 통해 렌즈에 의한 광 손실 차로 기인되는 Uniformity 저하를 최소화 할 수 있는 모델을 제시하였다. 본 연구에서 제시된 광학소자는 광학글라스 재질의 대구경 비구면글라스 렌즈로 글라스 몰딩에 의하여 제조할 수 있다.

광학 글라스의 대구경 비구면 렌즈 성형은 금형코어의 가공 및 높은 성형압력, 탈가스로 제작이 쉽지 않지만 제시된 LED 유닛용 비구면광부품의 적용을 위하여 제작특성을 실험적으로 고찰하였다.

2. LED 유닛 설계

본 논문에서 대면적반산광학계에 적용된 LED는 SEOUL OPTODEVICE CO., LTD.(社)의 UV LED인P8D136 Emitter를 사용하였다. Fig 1과 2는 선정된 1.8W급 고효율 UV LED의 사양과 배광분포 및 스펙트럼 분포, 광학특성을 나타낸다.

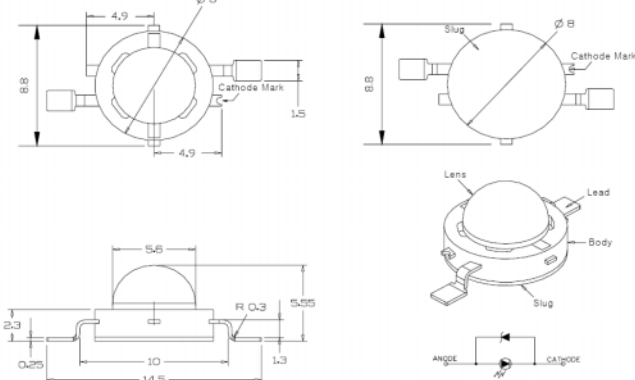


Fig. 1 Outline dimension of UV-LED

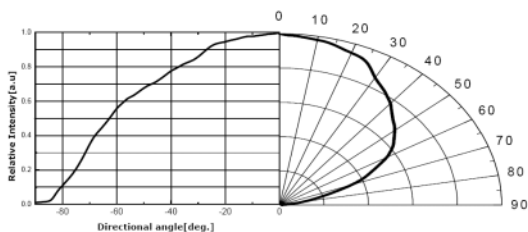


Fig. 2 Off Axis Angle vs. Relative Output Power ($I_{rel} = f(\theta)$, $T_a = 25^\circ\text{C}$)

Table 1 Electro-optical characteristics data (at $I_F = 350\text{mA}$, $T_a = 25^\circ\text{C}$)

Item	Symbol	Value	Unit
Wavelength	λ_p	365	nm
View Angle	$2\theta_{1/2}$	120	Deg.
Optical Power Output	P_o	40	mW

본연구의 LED unit은 빔을 콜리메이션하는 구조이기 때문에 광학계의 y축을 렌즈면으로 하고, θ_{max} 는 UV빔의 Off Axis Angle의 최대각으로 정의하고, 레이저 칩과 렌즈와의 거리는 D일 때 $y_0 = D \tan \theta_{max}$ 이고 D는 28.0 mm이다. LED chip에서 생성된 빔은 렌즈를 통하여 최종적으로 광학계의 z축과 평행하게 나아가야 하며, 광학설계 프로그램 CodeV를 이용하여 비구면 렌즈의 설계를 수행하고, P8D136 Emitter의 모델링과 전체광학계의 Uniformity 분석은 LightTools를 이용하였다. Fig. 3은 Modeling된 LED unit은 Uniformity향상을 위하여 3×3 격자배열 구조를 가지며, LED beam의 Off Axis Angle은 52.5 deg 영역을 최대로 하여 적용되었을 때, 81cm²의 면적을 UV 빔으로 투사할 수 있다.

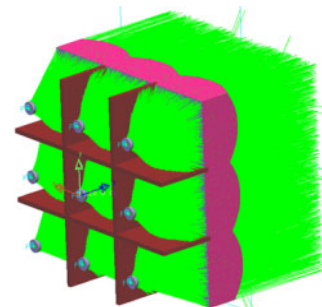


Fig. 3 Modeling of large area for LED unit

Modeling된 LED unit의 Uniformity(U%) 분석은 프로그램 상에서 배치된 81cm²의 면적 Receiver에 수광된 Beam intensity를 최고점인 I_{max} 와 최저점인 I_{min} 을 다음과 같은 수식으로 계산하여 산출하였다.

$$U(\%) = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

Fig. 4는 LightTools상에서 배치된 81cm²의 면적 Receiver의 Raster chart이며, U=9.5%/81cm²로 분석되었다.

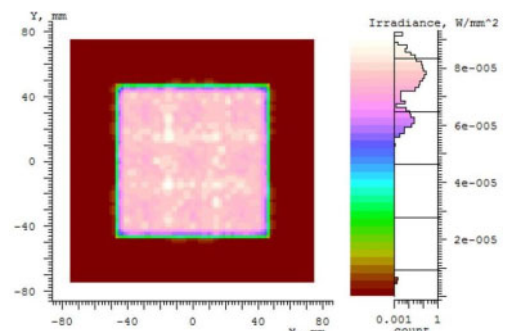


Fig. 4 Uniformity analysis of large area for LED unit

3. 비구면 광부품 제작

3.1 대구경 비구면 금형코어의 초정밀 가공

초정밀 가공 실험은 도시바社의 초정밀 가공기계인 ULG-100C(H3)를 이용하여 Co 함량이 0.5%이하인 Binderless WC재질의 금형코어를 연삭 휠의 회전속도가 40,000 rpm까지 회전하는 수직축 스피들들을 사용하여 비구면 형상의 코어를 가공 하였다.

본 실험에 사용된 연삭 휠은 다이아몬드 입자 #2,500, 레진본드 결합재에 집중도 150의 연삭 휠을 사용하였다. 최적의 가공 조건을 도출을 위해 공구의 회전수는 26,000~38,000 rpm, 워크 스피들의 회전수 130~220rpm, 이송속도 1~5 mm/min, 절입 깊이 0.5~2 μm로 반복 가공 실험을 수행하였다. 그 결과 공구의 회전수는 30,000 rpm, 워크 스피들의 회전수 180 rpm, 이송속도 4.0 mm/min, 절입 깊이 1.0 μm 최적의 가공 조건을 얻을 수 있었다.

Fig 5는 산출된 최적 가공 조건을 이용하여 가공한 직경 45.0 mm코어의 실제 사진이다. 가공된 코어는 접촉식 비구면 측정기인 Form talysurf PGI840을 이용하여 형상 정밀도를 측정하였다. 측정 결과 Fig 6과 같이 비구면 코어의 유효직경이 30.0 mm일 때 P-V 0.2010 μm의 형상을 얻었다.

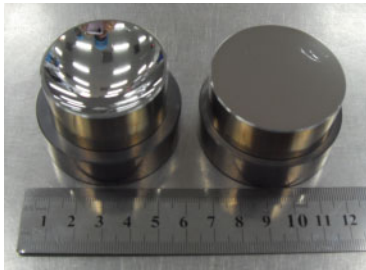


Fig. 5 Photography of aspheric mold core

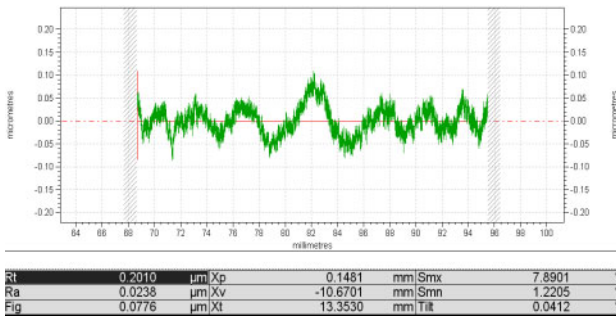


Fig. 6 Form accuracy of aspheric mold core

3.2 대구경 비구면 렌즈 성형

대구경 비구면 글라스 렌즈의 성형에 사용된 소재는 SCHOTT(社)의 BK7을 사용하였다. 일반적으로 비구면 렌즈의 고온고압 성형은 저융점 글라스를 사용하지만, 본연구의 LED unit용 대구경 비구면 글라스 렌즈는 렌즈의 중심두께가 23.0 mm이기 때문에 저융점 글라스의 공급을 받을 수 없었다.

BK7과 같은 산화물계 글라스는 고온성형과정 중 불소가스의 발생으로 금형의 수명이 짧아지며, 열팽창계수가 높아 성형 중 깨지기 쉬운 단점이 있다. BK7의 대구경 비구면 글라스 렌즈 성형에도 저융점 글라스의 성형특성인 항복점(At)의 온도보다 높은 온도 그리고 연화점(Sp) 근처에서 변형은 크고 성형이 되었다. 하지만 냉각에 의해 Shrinkage현상으로 렌즈 Curvature가 0.32 % 정도 수축되어 성형품의 형상 정밀도는 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 실제성형은 640 °C의 금형의 온도에서 150 °C로 냉각시키는 시간이 약 14.5분 정도가 소요되었다. Table 2는 대구경 비구면 글라스 렌즈의 최적화된 성형조건을 나타낸다.

Table 2 Large Lens Molding Condition data

Z1	77.50	Z2	79.15	Z	78.70
V1	500	V2	10	V3	500
P1(성형압력 kgf)	300	P3	20	PT1	80
P2(성형압력 kgf)	150				
T1(하금형 승온 온도°C)	640	T3	550	ST1	80
T11(상금형 승온 온도°C)	640	T4	350	ST2	80
T2(하금형 승온 유지온도°C)	640	T5	150		
T12(상금형 승온 유지온도°C)	640				

여기서 Z는 실제적인 금형의 높이이며, P는 가압조건, T는 온도에 해당한다. 이러한 최적 성형 조건을 바탕으로 대구면 렌즈를 성형한 결과 Fig 7과 같이 직경 42.0 mm의 비구면 글라스 렌즈를 얻을 수 있었다. 사진의 좌측은 성형 직후의 렌즈를 나타낸 것이고, 우측은 제시된 LED unit의 특성을 평가하기 위하여 후 가공된 렌즈의 사진을 나타내고 있다.

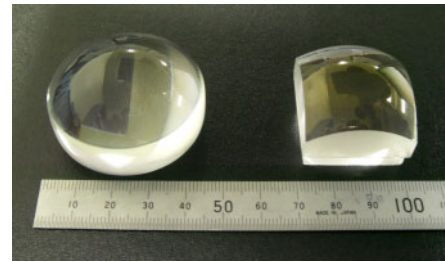


Fig. 7 Photography of aspheric lens

4. 결론

대면적 LED 발산광학계에서 발산빔의 Uniformity를 향상하기 위한 격자형의 LED unit을 LightTools로 광학설계하고 적용된 대구경 비구면 글라스 렌즈를 고온고압 성형하여 제작하였다.

1. LightTools을 이용한 LED unit의 광학설계 Uniformity는 9.5%/81cm²이고, 실제 측정은 Fig. 8과 같이 10.1266%/9cm²이었다.
2. LED unit용 대구경 비구면 글라스 렌즈에 대한 형상정밀도가 P-V 0.2010 μm 인 Binderless WC재질의 금형코어 제작하였다.
3. 제작된 대구경 비구면 글라스 렌즈 금형을 이용하여 광학글라스와 GMP(Glass Molding Press)를 이용하여 직경 42.0 mm의 글라스 렌즈를 성형하였다.

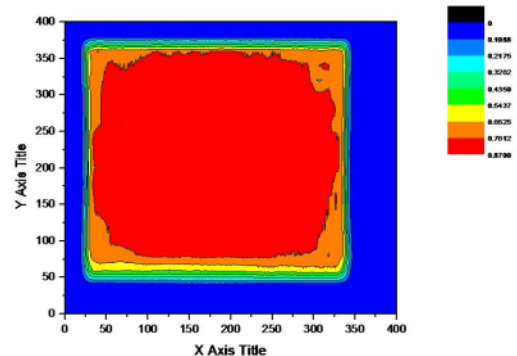


Fig. 8 Uniformity of LED unit

참고문헌

1. Min-Seok Kwak, "Development of Design and Manufacturing Technique for the Aspheric Lens ,"Korea society of Marine Engineering, pp 323-324, 2006.
2. Kyung-Ho Shin, "The Design of Lens for Power LEDs Spot Light ,"Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, pp 145-150, 2006.