

Hybrid 비구면 렌즈를 이용한 Eye glass Display용 광학시스템의 최적화

김태하, 박광범*, 박영수, 김휘운, 석종민, 문현찬*

전자부품연구원*, (주)방주광학

Optimization of optical design for Eye Glass Display using hybrid aspheric lens

T.H. Kim, K.B. Park*, Y.S. Park, H.W. Kim, J.M. Seok, and H.C. Moon*

KETI*, Bang Joo Optical Industry Co., Ltd

Abstract

Eye Glass Display (EGD) with microdisplay to realize the virtual display can make the large screen, so virtual image has been developed by using microdisplay panel. This paper shows study of low cost lens design and simulation for microdisplay system with 0.6"LCoS panel. Lens design optimized consider to spherical aberration, astigmatism, distortion, and chromatic aberration. Code V is used and it designed an aspheric lens about exit pupil 6mm, eye relief 20mm and 35 degree of field of view (FOV). With the application this aspheric lens to liquid crystal on silicon (LCOS) type's microdisplay, virtual image showed 50 inch at 2m. One side of the aspheric lens was constituted from diffractive optical element (DOE) for the improvement in a performance. It had less than 2.5% of distortion value and modulation transfer function in axial had 20% of resolution with 32 lp/mm spatial frequency. The optical system is suitable for display of 15.6 mm-diagonal with SVGA.

Key Words : Microdisplay, Eye glass display, Head mounted display, hybrid aspheric lens

1. 서론

최근 급속히 발전하고 있는 정보화 시대에 다량의 정보를 효율적으로 전달하기 위해 디스플레이 수요가 빠르게 급증하고 있다. 마이크로 디스플레이는 디스플레이의 다양한 분류 중에 일반적으로 1인치 이하의 디스플레이를 말한다⁽¹⁾. 처음에는 Head Mounted Display (HMD, 또는 Helmet Mounted Display)라고 군사용으로 사용되었으며, 컴퓨터 시스템의 고성능화, 소형화가 비약적으로 진행되면서 눈 가까이 착용할 수 있는 Eye Glass Display (EGD)로 발전되었다⁽²⁾. EGD는 크게 입력신호를 조정하는 Interface/Timing Controller Board와 Cable Assembly, Microdisplay, Optics, 외곽 기구물 등으로 구성되어 있다. 이들 중 광학계는 마이크로디스플레이 영상을 확대하여 볼 수 있고, 부피와 무게를 줄일 수 있는 가장 중요한 요소 중 하나이다. 이에 본 연구는 부피를 최소로 줄이

기 위해 비구면 렌즈 1매를 사용하여 광학계를 최적화 시켰다. 기존의 광학계 설계와는 달리 성능을 향상시키기 위해, 한 면은 비구면 렌즈를 사용하고, 다른 한 면은 Diffractive optical element (DOE)를 사용하였다.

2. 본론

광학계 설계를 위해 사용한 마이크로 디스플레이 패널은 반사형 Liquid Crystal on Silicon (LCOS) SVGA (800x600) 0.6 inch를 사용하였다. 반사형 LCOS는 저비용으로 초소형시스템에 사용되어 높은 개구율과 화소의 피치를 줄일 수 있어 HMD나 Head-up-displays 그리고 Projection display에 사용되고 있다⁽³⁾. 그림 1은 반사형 LCOS 마이크로디스플레이에 적용된 EGD의 기본 개략도이다.

2.1 설계목표 및 설계 결과

마이크로 디스플레이의 확대된 가상 영상을 보기 위해, 광학계 구성은 다음과 같다. 1. 동공 크기는 6mm, 2. 가상 이미지를 보기 위한 광학계와 눈까지의 거리(Eye relief)는 20mm로, 3. 화각(FOV)은 35도를 이루는 것으로 설계하였다. EGD용 광학계에서는 위의 3가지가 광학계를 구성하는데 있어 가장 중요하다. 일반적으로, EGD용 광학계의 유효

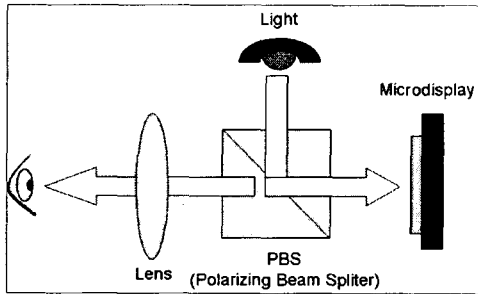


그림1. 반사형 LCOS microdisplay를 이용한 EGD의 개략도

초점 거리는 20~30 mm정도 범위가 적절하며, 시야 범위(FOV)는 25~35° (수평) x 20~25° (수직) 정도로 설정하였다.

표.1. EGD용 광학계의 목표사양 및 설계 결과

	Target	Result
Field of View()	35	35.23
Focal Length (mm)	25	25.6
Image Size (mm)	16	16
Distortion	< 3%	< 2.5%
MTF(Full field)	30%	20%
Virtual Image Size	45" at 2 m	50" at 2m
Eye Pupil Diameter	8 mm	6 mm
Eye Relief (mm)	20~30	20

2.2. 비구면 렌즈 설계.

비구면 렌즈를 설계하기 위해 CodeV를 사용하였으며, 다음의 식(1)에 나와 있는 비구면 방정식을 이용하여 렌즈를 설계하였다⁽⁴⁾.

$$z(r) = \frac{c r^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2 r^2}} + A r^4 + B r^6 + \dots + J r^{20} \quad (1)$$

식(1)에서 z(r)은 x축에서 r만큼 떨어져 있는 표면 위의 점들의 좌표이다. 또한 $r^2 = x^2 + y^2$ 이고, c는 렌즈의 곡률반경, k는 conic constant 이며, A, B,

..., H, J는 비구면 계수이다.

2.3 DOE 설계

회절광학 소자는 부피가 작고, 광학적 성질을 향상시키는 특성을 가지고 있어 주목받고 있다(5). 이중 Kinoform은 얇은 재료에 위상 형상(phase profile)을 만든 회절광학소자로 주로 근사화된 계단 형상으로 제작된다. 파장의 위상이 2π의 위상구조(phase structure)를 갖도록 톱니 형상으로 만들면 위상 $\phi(r)$ 은 식 (2)와 같이 표현되게 된다.

$$\phi(r) = \frac{2\pi}{\lambda_0} \sum C_n r^{2n} \quad (2)$$

여기에서 λ_0 는 참조파장(reference wavelength)이고, C_n 은 2차 계수이다. 파장 λ_0 인 기판에서의 굴절률이 n_0 이면 렌즈의 두께는 식 (3)과 같이 표현된다.

$$d = \frac{\lambda_0}{n_0 - 1} \quad (3)$$

이상의 식을 이용하여 패널쪽 면을 DOE로 설계를 하였다. 광학렌즈의 매질은 Zeonex사 E48R 플라스틱 재료를 사용하여 무게를 최소화 할 수 있다. 또한 비구면과 DOE의 형상을 새기기가 용이하며, 대량생산이 가능하여 가격이 저렴하다. 하지만, 일반적인 플라스틱 재질은 굴절율이 낮고 품종이 다양하지 못한 단점이 있다.

다음은 시뮬레이션을 수행한 결과를 나타낸 그림이다. 그림1은 설계된 광학계의 ray tracing 나타낸 것으로 마이크로 디스플레이 패널을 상면으로 하고 광학계를 설계하였다. Stop aperture는 실제 눈이 위치하는 것이고 stop을 통해서 광축과 광축을 중심으로 5개의 field를 써서 ray tracing을 하였다.

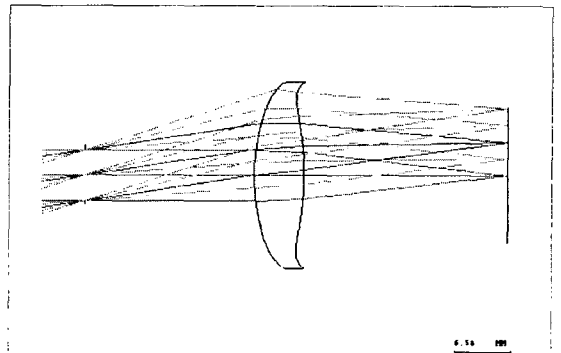


그림 1. 설계된 광학계 ray tracing

표. 2. 설계된 EGD용 광학계의 데이터

No	Radius (mm)	Thickness(mm)	Glass
object	Infinity	Infinity	
stop	Infinity	Infinity	
2	27.4546	5.925	E48R
비구면 K -0.527078			
A	0.29672E-4	B	0.270219E-6
C	-0.465843E-8	D	0.499166E-10
3	-29.1488	24.0749	
비구면+DOE K -75.559857			
A	-0.219516E-3	B	0.466755E-5
C	-0.464610E-7	D	0.220437E-9
C1	-1.5497E-3	C2	1.6031E-5
C3	-3.0946E-7	C4	2.6191E-9
C5	-8.2223E-12		
image	Infinity	-	

그림 2는 ray tracing analysis 결과를 나타낸 그림으로 구면수차 ±0.25, 상면만곡 ±0.4, 그리고 왜곡 ±2.5%의 특성을 보였다.

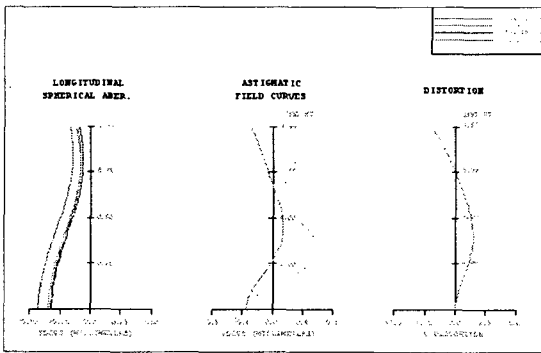


그림 2. 구면수차, 상면만곡, 왜곡수차

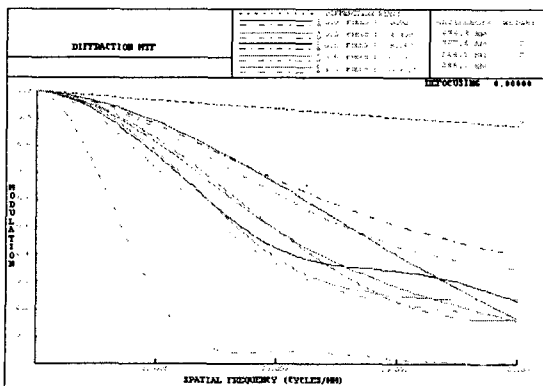


그림 3. 광학계의 성능 평가 (MTF 곡선)

그림3은 광학계의 성능 결과인 MTF 곡선을 나타낸 것으로 30cycles/mm에서 full field의 tangential 성분이 20%이상으로 나왔다.

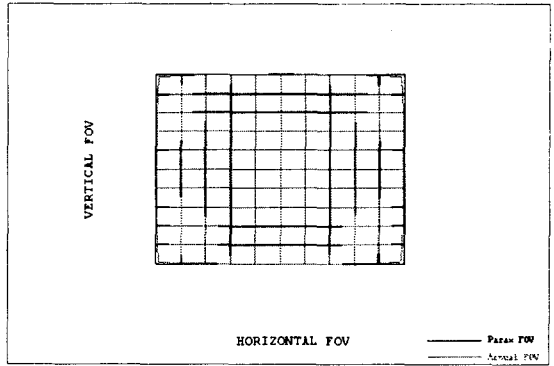


그림 4. 왜곡 결과.

그림 4는 왜곡 결과를 정방향의 이미지로 나타낸 것이다.

3. 결론

EGD용 렌즈를 최적화시키기 위해 Hybrid DOE를 갖는 비구면 렌즈를 설계하여 광학적 특성을 향상시켰다. 또한 렌즈의 두께를 6 mm이하로 설계하였고, 재질을 플라스틱으로 하여 EGD에서 가장 중요하게 생각하는 무게를 최소화 시킬 수 있을 것이라 생각한다. EGD는 미래형 wearable 전시회에 지속적으로 제품이 나오고 있으며, 향후 마이크로디스플레이에 있어서 상용화에 가장 큰 영향을 줄 것으로 기대된다.

참고문헌

1. James E. Melzer and Kirk Moffitt, Head Mounted Displays, McGraw-Hill, Network chap. 3 (1997)
2. M.B. Spitzer, P.M. Zavracky, G. Hunter and N. Rensing, "Wearable, Stereo Eyewear Display," Conference Record of the 2003 SID Symposium
3. Sangrok Lee, James C. Morizio and Kristina M. Johnson, "A LCOS microdisplay driver with frame buffer pixels". Information Sciences. 149, pp. 3-11. 2003.
4. Code V Introductory User's Guide, version

- 9.5. ch7, pp151-176, ORA Inc., USA
5. 이인환, 김동성, 조동우, 그리고 권태현, “마이크로 광 조형기술을 이용한 3차원 형태의 응용제품 제작 및 이의 평가”, 한국정밀공학회 2003년 추계 학술대회논문집, 포항공대, pp 233-236, 2003.