

프리즘과 수동소자를 이용한 슬림형 디지털 카메라용 줌렌즈 설계

Zoom Lens Design for Slim Digital Camera Using Prism and Passive Device

박성찬*, 박준

단국대학교 물리학과

scpark@dankook.ac.kr

최근 카메라 기술 동향을 분석해 보면 대부분의 카메라들은 다양한 기능들이 첨가 되면서도 슬림형 디자인을 고수 하고 있다. 이런 슬림형 디자인을 가능하게 할 수 있는 방법 중 하나로 광학적 부분에선 줌렌즈계의 슬림화를 들 수 있다.

본 논문에서는 이런 광학계의 동향을 염두한 1/4인치 image sensor를 사용한 2군 3배줌 렌즈를 설계하고 평가 하였다. 본 논문에서 다룬 줌 광학계는 1군과 상면사이의 거리가 모든 줌 위치에서 항상 일정하게 유지되어 안정적인 줌 구현이 가능하며 외형적으로는 이동하는 군이 보이지 않아 완성 제품의 디자인적인 면까지 충족 하고 있다. 아울러 folding 광학계를 만들기 위해 1군에 5.5mm의 프리즘을 삽입하여 슬림형 디지털 카메라를 구현할 수 있게 하였다. 이와 더불어 슬림형 구조를 지속적으로 이끌어갈 미래기술인 액체렌즈를 2군에 적용하여 2군 광학계의 focusing 문제를 보완하고 줌밍 거리를 줄이는 방법을 모색하였다. 이 액체렌즈는 아직 보편화 되지 않았지만 현재 나오는 렌즈 모듈의 단점을 보완하기 위해서 꼭 필요한 기술 이라 할 수 있다. 액체렌즈는 0.02초에 초점거리를 5mm 변환 시킬 수 있는 빠른 응답속도와 전기적으로 렌즈의 곡률을 변화시키기 때문에 moving part를 없애거나 이동경로를 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다.

추가적인 기구들의 특성과 각각의 렌즈 데이터의 초기값을 고려한 초기설계 데이터를 렌즈모듈을 이용하여 얻어내고 그림 2와 같이 액체렌즈의 3번째 면의 굴절력은 제작할 수 있는 범위인 -18m^{-1} 부터 $+13\text{m}^{-1}$ 까지 제한조건을 주어 contact angle 크기가 너무 커지지 않도록 saturation을 유념하여 최적화 설계를 하였다. 이렇게 얻어진 최적 설계된 2군 3배줌 렌즈는 표 1의 특성을 만족 시킬 수 있도록 하였고 그림 4의 MTF 특성을 보게 되면 공간 주파수 200cycles/mm 에서 25%이상의 성능을 나타내어 만족스러운 결과를 얻어 내었다. 아울러 두께가 5.5mm인 프리즘을 포함하고서도 전 렌즈계의 전장이 18.4mm 로 매우 컴팩트한 구조를 가지고 있으며 주변광량비 64%, AOI 20.6° 로서 목표 사양을 만족 하였다. 수동소자부의 영향으로 렌즈계의 전장 감소량은 최대 5mm정도이다. 아울러 프리즘 렌즈의 길이를 5.5mm로 설계하여 광학계를 folding 한 경우에도 구조적으로 매우 슬림한 광학계를 유지 할 수 있게 하였다. 최종 설계된 2군 3배줌 렌즈는 이너 포커스 줌 형태이고 프리즘을 이용하여 광경로를 90도 꺾을 수 있다는 장점을 가지고 있어 목표 사양을 만족하였다.

목표 사양에 맞게 최적 설계된 2군 3배줌 렌즈는 2군을 움직이면서 2군내에 전기적 신호에 의해 곡률이 변할 수 있는 액체렌즈를 적용하였기 때문에 zooming 과 focusing 기능을 수행할 수 있게 되었고 이로 인하여 moving part의 이동 범위가 작아져 전장의 길이가 짧아지는 결과를 얻어 내었다. 그림 3의 줌계적 변화에서 비선형인 1군과 2군의 간격과는 달리 초점거리 변화가 거의 선형에 가깝게 변화되는 것을 볼 수 있다. 이는 2군 줌렌즈 임에도 불구하고 액체렌즈의 효과로

인하여 focusing이 안정적임을 의미한다.

본 논문에서 최적 설계된 줌렌즈계의 F/#는 각 줌 위치에서 F/3~F/5이며, 줌비가 3배인 줌렌즈계는 향후 슬립형 줌광학계 및 액체렌즈를 응용한 광학계에 널리 활용되리라 기대된다.

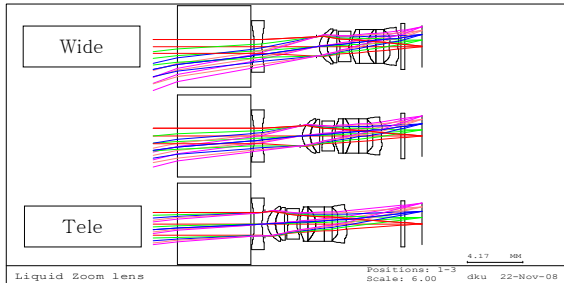


그림 1. 최적 설계된 2군 3배 줌광학계.

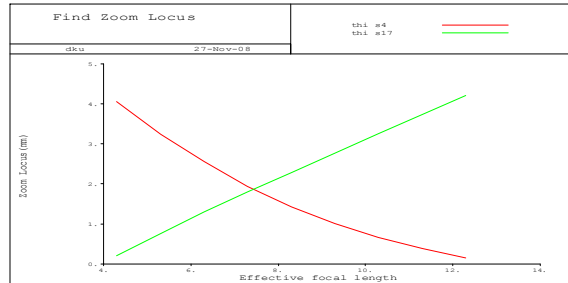


그림 3. 최적 설계된 줌렌즈의 zooming locus.

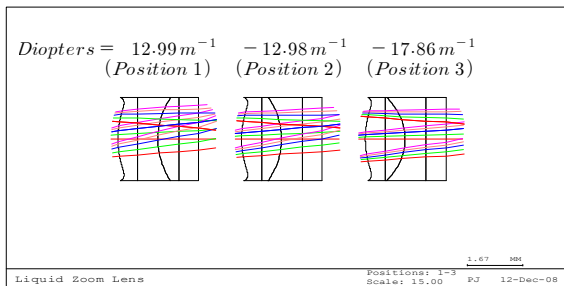


그림 2. 수동소자부의 굴절능 특성 변화.

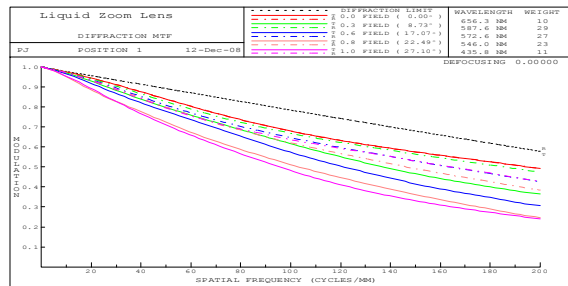


그림 4. 최적 설계된 줌렌즈의 MTF 특성.

표 1. 전압에 따른 diopter 변화율

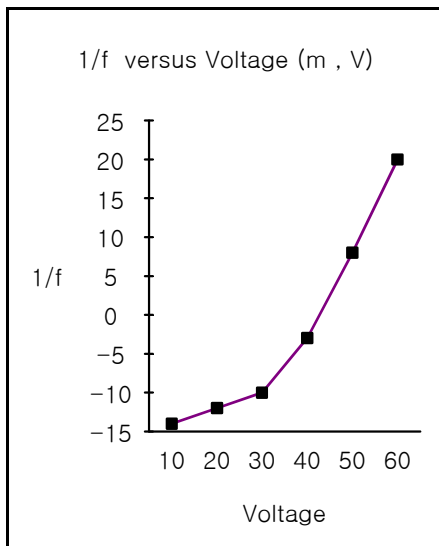


표 2. 최적 설계된 2군 3배 줌 광학계의 설계사양.

항목	최적 설계치	
EFL	$f_w = 4.3 \text{ mm} \sim f_t = 12.04 \text{ mm}$	
F/#	F/3 @ wide ~ F/5 @ tele	
Back Focal Length	1.3 mm	
Distortion	$\pm 5\%$ 이내	
Relative illumination	62 % 이상 at full field	
Angle of Incidence	20.8° 미만	
Overall length	18.42 mm이하	
Image Quality (MTF)	0.0F	over 25% 이상 at 200 lp/mm
	0.7F	over 30% 이상 at 160 lp/mm
	1.0F	over 30% 이상 at 140 lp/mm

1. Kwan Hyong Kang, 'How Electrostatic Fields Change Contact Angle in Electrowetting', Langmuir by ACS, 18, 10318-10322 (2002)
2. H. J. J Verheijen and M. W. J.Prins, 'Reversible Electrowetting and Trapping of Charge' Philips Research Laboratories (1999)
3. 조용주, '모바일용 슬립형 3배 줌 광학계의 설계 및 해석' 단국대학교 대학원 박사학위 논문 (2008)