

# 정밀모형안을 포함한 축상점에 대한 렌즈설계의 최적화

## A Study of Lens Design that Eyepiece is Combined with the Navarro Eye at a On-axis Point

최가을, 송석호, 김상기\*  
 한양대학교 물리학과, \*동남보건대학 안경광학과  
 \*koptics@dongnam.ac.kr

### Abstract

We introduced a new method for lens design that eyepiece is combined with the Navarro eye. Following Optimization of lens system-Navarro eye combination, final design has the modulation transfer function(MTF) of 0.9 at 50 cycle/mm.

기존의 광학계 설계자들은 눈과 관계된 확대경 및 현미경 계통의 광학계를 설계할 때 광학계를 거꾸로(역진) 구성하였다. 즉, 무한대에 위치한 상을 물체로, 디스플레이 면을 상면으로 취급하였다. 또는 afocal system을 이용하여 사람 안구를 이상적인 렌즈(perfect eye)로 설정하여 광학계를 정 방향으로 구성하였다. 즉, 디스플레이면을 물체로, 사람 안구의 망막을 상면으로 취급하였다.<sup>(1)</sup> 그러나 사람의 안구에는 정시안(emmetropia) 이라고 해도 수차가 존재한다. 따라서 망막에서의 결상 성능을 목적으로 할 때, 사람의 안구를 이상적인 렌즈로 취급하거나 안구를 고려하지 않은 역진 렌즈 설계는 최적의 결과를 얻을 수 없다. 본 논문에서는 정밀모형안 앞에 대안렌즈를 두어 광학계를 구성한 후 축상점에 대한 대안렌즈를 최적화 하였고, 역진 방향으로 대안렌즈를 두어 설계한 기존의 결과와 비교 분석하였다.

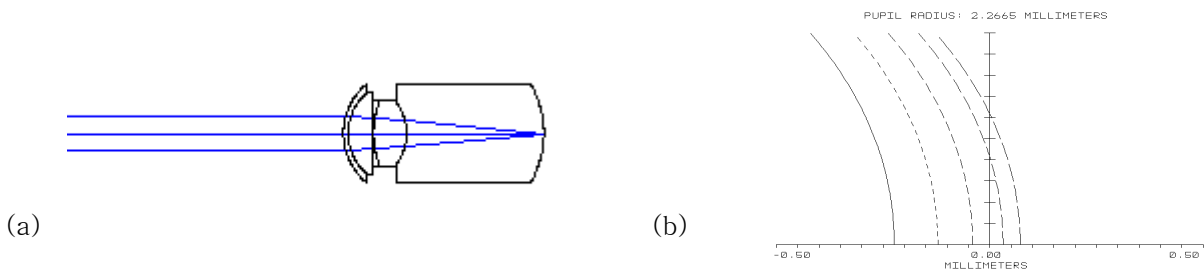


그림 1. 정밀모형안의 구성도와 수차 분석 (a)정밀모형안의 구성도, (b)정밀모형안의 종구면수차, 왼쪽부터 470, 510, 555, 610, 650 nm.

정밀모형안은 실제 사람의 안구를 정밀하게 묘사한 것으로, 4개의 비구면으로 구성되어 있다. 논문에서는 여러 논문에서 널리 정밀모형안으로 인정을 받고 있는 Navarro Eye<sup>(3)(4)</sup>를 적용하였다. 사람의 명소시(photopic vision)를 고려하여 정밀모형안의 동공 직경이 4 mm일 때, 축상광학수차를 분석하였다.<sup>(2)</sup> 그림 1(b)의 종구면수차도를 보면 표준 정시안 임에도 불구하고 정밀모형안에 defocus와 구면수차 등이 존재함을 알 수 있다. 기존의 역진 설계된 대안렌즈를 정밀모형안 앞에 두어 광학계를 구성하였다. 역진 설계 값을 거꾸로 정방향으로 입력하고, 대안렌즈의 출사동에 정밀모형안의 입사동이 위치하도록 설계하였다. 정밀모형안을 포함한 역진 설계된 대안렌즈계의 MTF(Modulation Transfer Function) 값을 그림 2(a)에 나타내었다.

Surface	Radius(mm)	Thickness(mm)	Glass
1	39.31	2.8	SF5
2	7.59	12	BAK1
3	-22.36	1	
4	23.56	10	BAK1
5	-10.58	2.8	SF5
6	97.44	15.85	
7	7.72	0.55	Cornea
8	6.5	3.05	
9	-	0	Pupil
10	10.2	4	Lens
11	-6	16.4	
12	-12	-	Retina

표 1. 정밀모형안을 포함하여 최적화시킨 대안렌즈계의 설계항목 값.

정밀모형안(표1의 Surface7-12) 앞에 대안렌즈(표1의 Surface1-6)를 두어 정방향으로 구성하였다. 마찬가지로, 대안렌즈의 출사동에 정밀모형안의 입사동(표1의 Surface9)을 위치시키고, 축상광선의 조건에서 대안렌즈의 6개의 면을 변수로 두고 최적화 하였다. 정밀모형안을 포함하여 최적화시킨 대안렌즈계의 설계항목 값을 표 1에 나타내었다. 최적화 결과, 곡률이 기존 역진 설계의 값과 차이가 있다. 정밀모형안을 포함하여 최적화시킨 대안렌즈계의 MTF 값을 그림2(b)에 나타내었다. 정밀모형안을 포함한 역진 설계의 경우(그림2(a))와 비교 했을 때에 50 cycle/mm에서 MTF값이 0.3에서 0.9로 성능이 향상된 것을 확인 할 수 있다. 이러한 성능을 갖는 렌즈 설계는 정밀모형안을 포함하지 않고는 얻을 수 없다. 정밀모형안을 포함하여 최적화시킨 대안렌즈를 단일로 역진으로 두었을 때, MTF값을 그림 3(b)에 나타내었다. (a)의 기존 역진 설계의 MTF값보다 성능이 낮음을 알 수 있다. 이는 정밀모형안을 포함하여 최적화시킨 대안렌즈를 단일렌즈만을 두고 보았을 때는 기존 역진 설계보다 수차가 더 크기 때문이다. 하지만, 이 수차가 정밀모형안이 갖고 있는 수차와 상쇄되어 결국 망막에서의 MTF 성능은 정밀모형안을 포함하여 최적화시킨 렌즈가 더 크게 된다. 그림 3의 비교는 역시 정밀모형안을 포함하지 않고는 최적의 망막 상을 얻을 수 없다는 것을 보여준다.

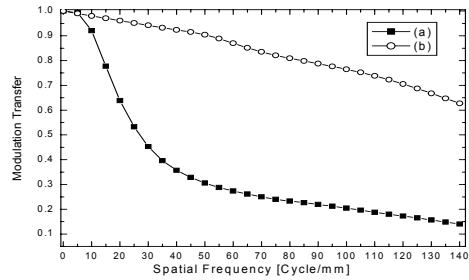


그림 2. (a)정밀모형안을 포함한 역진 설계된 대안렌즈계의 MTF 값, (b)정밀모형안을 포함하여 최적화시킨 대안렌즈계의 MTF 값.

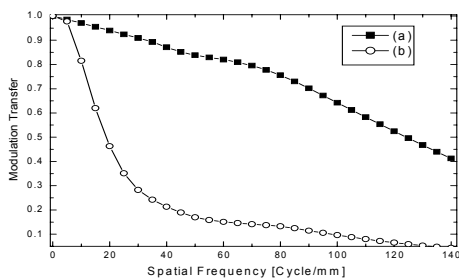


그림 3. 설계방법에 따른 대안렌즈의 MTF값 비교. (a)역진 설계된 대안렌즈의 역진으로 분 MTF값 (b)정밀모형안을 포함하여 최적화시킨 대안렌즈의 역진으로 분 MTF값.

참고문헌

1. J. E. Greivenkamp, J. Schwiegerling, J. M. Miller, M. D. Mellinger, "Visual Acuity Modeling Using Optical Raytracing of Schematic Eyes", *Am. J. Ophthalmol.*, vol. 120, no. 2, 227-240, (1995).
2. 김상기, "이론적 정밀모형안에 기초한 환산모형안의 광학상수", *한국광학회지*, 제15권 3호, 272-273 (2004).
3. Liou H., Brennan N. A., "Anatomically accurate, finite model eye for optical modeling", *Journal of the Optical Society of America A*, 14, 1684-1695 (1997).
4. Navarro R., Santamaría J., & Besco's J., "Accommodation dependent model of the human eye with aspherics", *Journal of the Optical Society of America A*, 2, 1273-1281 (1985).