

## 홍채 편심을 고려한 GRIN 수정체를 갖는 정밀모형안 설계

김봉환 · 한선희

춘해보건대학 안경광학과

투고일(2011년 2월 7일), 수정일(2011년 3월 15일), 게재확정일(2011년 3월 19일)

**목적:** 홍채의 편심이 눈에 미치는 영향을 고려한 실안과 보다 유사한 GRIN 형태의 수정체를 갖는 정밀모형안을 설계하고자 하였다. **방법:** 기존에 설계되어진 Radial GRIN과 Spherical GRIN 형태의 수정체를 갖는 정밀모형안을 이용하여 홍채의 위치를 코 방향으로 0.5 mm 편심시켜 실제의 눈과 동일하도록 하였다. 광선 추적과 설계는 Optical Research Associates(ORA)의 Code V 프로그램을 이용하였다. **결과:** 설계한 모형안은 홍채 편심에 따라 실안과 비교하여 감소된 수차를 보여주고 있던 것을, 실안과 유사하도록 수차보정을 하여 정밀모형안을 설계하였다. **결론:** 안광학계는 홍채가 편심된 회전비대칭계인 점을 고려하여, 홍채의 편심이 눈에 미치는 영향을 고려한 실안과 보다 유사한 GRIN 형태의 수정체를 갖는 정밀모형안을 설계하였다.

**주제어:** 홍채, 편심, 정밀모형안, GRIN, 수차

### 서 론

안과 또는 안경원에서는 정밀의료기기를 이용하여 안구를 관찰함으로써 시력 및 안구이상 유무를 확인하고 시력적으로 또는 임상적으로 교정하는 업무를 주로 하고 있다. 이때 사용되는 광학장비는 사람의 안굴절 이상과 안저 상태를 측정함으로써 올바른 시력을 회복하기 위하여 정확한 교정을 제시하고자 널리 사용되어지고 있다. 이러한 광학장비를 설계하는데 있어서 필수적인 것이 바로 모형안이다.

모형안은 사람 눈의 여러 가지 광학상수, 즉 굴절기능에 관여하는 각막, 수정체, 방수, 초자체 등의 굴절률, 각막과 수정체의 곡률, 비구면계수, 굴절력, 그리고 렌즈계로서의 주요점(cardinal point) 위치 등에 대한 평균값을 적용하여 사람 눈의 형상을 광학적 수치로 정리한 것으로, 눈을 광학계로 간주하여 이론적인 연구를 수행 시 기초적인 자료를 제공한다<sup>[1]</sup>. 모형안은 크게 근축(paraxial) 모형안과 정밀(finite) 모형안으로 분류할 수 있는데, 근축 모형안은 굴절면이 구면이고 구면의 중심이 광축 상에 있으며, 굴절률이 각각의 매질에서 일정한 것으로 가정한다. 정밀 모형안은 비구면 굴절면, 일반적인 축에 대한 편위 또는 가변적 굴절률을 갖는 수정체 등의 요건들 중 한 가지 이상을 내포하고 있다<sup>[2]</sup>.

임의 회전대칭광학계에서 동공은 중앙에 위치하고 있다. 그러나 실제 눈에서 동공은 일반적으로 편심되어 있어 광축에서 약 0.5 mm 코 방향에 위치한다(Westheimer, 1970)<sup>[3]</sup>. 입사동의 위치는 눈으로 들어가는 광선 경로의 방향을 조절하므로 수차의 양과 종류에 영향을 주어 망막상의 질에 영향을 주게 된다<sup>[4]</sup>.

본 논문에서는 기존에 분석되어진 홍채의 위치를 코 방향 0.5 mm 편심시킨 Radial GRIN(Gradient Index)과 Spherical GRIN 형태의 수정체를 갖는 정밀모형안<sup>[5]</sup>의 분석 결과를 기초로 하여, 홍채의 편심이 눈에 미치는 영향을 고려한 실안과 보다 유사한 GRIN 형태의 수정체를 갖는 정밀모형안을 설계하였다.

### 연구 방법

기존에 설계되어진 Radial GRIN과 Spherical GRIN 형태의 수정체를 갖는 실안과 유사한 정밀모형안<sup>[6]</sup>을 이용하여 홍채의 위치를 코 방향으로 0.5 mm 편심시켜 실제의 눈과 동일하도록 하였다.

홍채 편심에 따라 변화된 정밀모형안의 광학적 성능이 실안의 광학적 성능과 유사하게 하기 위하여 구면수차, 비점수차, 상면만곡, 왜곡수차가 실안의 수차량과 근접되도록 구속조건을 주었다. 설계 시 안광학계가 홍채가 편심된

회전비대칭계인 점을 고려하여 설계를 하였고, 587.6 nm의 단일파장을 사용하였으며 색수차는 고려하지 않았다.

설계 변수로는 각 면의 곡률반경과 굴절면 사이의 간격, 비구면 계수인 코닉 상수를 한국인 정시안 임상자료의 표준편차 범위 내에서 변화도록 하였다. 또한 수정체의 굴절률을 실안에서와 같이 균일하지 않은 매질로 설정하였다. 망막의 곡률반경은 Drasdo와 Fowler<sup>[7]</sup>(1974)가 주장한 -12 mm의 곡률반경을 갖는 구면으로 하였다.

광선 추적과 설계는 Optical Research Associates(ORA)의 Code V 프로그램을 이용하였고, 광선추적은 기준광선 d-line(587.56 nm)을 이용하여 홍채 직경을 최대 8 mm, X축과 Y축에 대하여 60° 각도로 하였다. 이 때 모든 길이의 단위는 mm이고 굴절력은 Diopter(D)이다.

## 결과 및 고찰

설계되어진 홍채편심을 고려한 Radial GRIN과 Spherical GRIN 형태의 수정체를 갖는 실안과 유사한 정밀모형안의 제원은 Table 1~2에 나타내었다. 1면과 2면은 각막, 3면은 홍채, 4면과 5면은 수정체를 나타낸다. r은 곡률반경, Q는 비구면계수, n은 굴절률, t는 두께, \*는 수정체의 GRIN 매질 계수를 의미한다.

기준에 설계된 모형안에 비하여 Radial GRIN 형태의 정밀모형안은 곡률반경이 1, 4면이 증가, 2면이 감소하였고, 비구면계수는 1, 4, 5면에서 +방향으로 증가하였고, 두께는 2면에서 감소한 반면, 4, 5면에서 증가하였다. Spherical GRIN 형태의 정밀모형안은 비구면계수만이 1면과 4면에서 -방향으로 증가하였다.

Table 1. Spec. of Radial GRIN Schematic eye

	1	2	3	4	5
r	7.678	6.013		10.981	-6.579
Q	-0.225	-1.040	0.000	0.850	-0.621
n	1.376	1.336	1.336	GRIN*	1.336
t	0.575	3.157	0.000	3.600	15.935

\*n<sub>0</sub> = 1.406, A = 0.036667

Table 2. Spec. of Spherical GRIN Schematic eye

	1	2	3	4	5
r	7.782	6.713		9.776	-5.838
Q	-0.200	-1.040	0.000	1.150	-1.650
n	1.376	1.336	1.336	GRIN*	1.336
t	0.575	3.157	0.000	3.600	15.941

\*n<sub>0</sub> = 1.406, a = ±38.293, d = 1.7

Table 3. First order properties of Designed Schematic eyes

First order properties	Radial GRIN Type	Spherical GRIN Type
EFL	21.321	21.320
BFL	15.935	15.941
FFL	-14.298	-14.289
FNO	1.817	1.817
OAL	23.267	23.273
Tot. DPT	62.66D	62.66D

설계한 정밀모형안들의 기초 성능을 Table 3에 제시하였다. EFL은 주초점거리를 나타내며 21.32 mm로 전체 굴절력(Tot. DPT) 62.66D인 임상자료에 만족하는 것을 볼 수 있다. BFL은 상측정점 초점거리, FFL은 물측정점 초점거리, OAL은 안축장을 의미한다. FNO는 광학계의 밝기로서 F number를 의미하고 홍채 직경 8 mm일 때의 값이다. 설계한 두 GRIN 형태 모두 유사한 기초성능을 나타내고 있다.

실안과 코 방향으로 -0.5 mm 홍채 편심에 따른 성능변화, 설계된 홍채 편심을 고려한 Radial GRIN, Spherical GRIN 형태의 수정체를 갖는 정밀모형안들의 광학적 성능을 Figs. 1~4에 구면수차와 주변부 굴절력 오차, 비점수차, 상면만곡으로 각각 제시하였다.

실안의 광학적 성능은 구면수차  $\Delta F(r)$ , 구결(sagittal)면의 수차  $L_s(\theta)$ 와 자오(tangential)면의 수차  $L_t(\theta)$ 로 표현된 주변부 굴절능 이상, 비점수차  $AS(\theta)$ , 상면만곡  $FC(\theta)$ 으로 제시하였다<sup>[8]</sup>.

$$\Delta F(r) \approx br^2 = 0.76 \times 10^{-3} r^2$$

$$L_s(\theta) = 6.31 \times 10^{-4}\theta^2 + 7.64 \times 10^{-8}\theta^4$$

$$L_t(\theta) = -2.03 \times 10^{-3}\theta^2 + 2.86 \times 10^{-7}\theta^4$$

$$AS(\theta) = L_s(\theta) - L_t(\theta)$$

$$AS(\theta) = 2.66 \times 10^{-3}\theta^2 - 2.09 \times 10^{-7}\theta^4$$

$$FC(\theta) = \frac{[L_s(\theta) + L_t(\theta)]}{2}$$

$$FC(\theta) = -7.00 \times 10^{-4}\theta^2 + 1.81 \times 10^{-7}\theta^4$$

구면수차는 홍채 편심에 따라 실안과 비교하여 최대 -0.414D 차이를 보여주고 있던 것을, 설계한 모형안은 실안과 ±0.002D 이내의 유사한 성능을 갖도록 수차보정을 하였다.

공통적으로 기준에 설계된 두 가지 형태의 모형안들에 비하여 홍채 편심에 따라 주변부 굴절력 오차의 경우 구결(Sagittal) 방향에서는 평균 -0.54D, 자오(Tangential) 방향에서는 평균 -0.43D, 비점수차의 경우 평균 -0.91D, 상

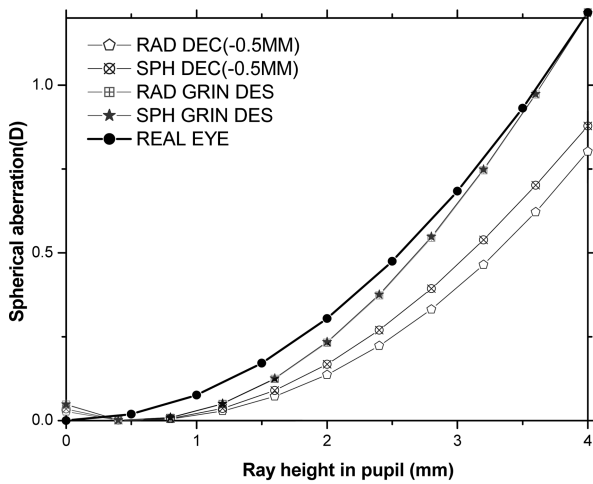


Fig. 1. Spherical aberration comparison.

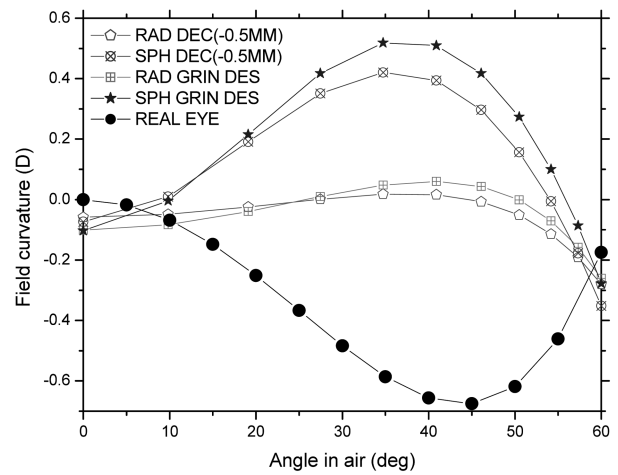


Fig. 4. Field curvature comparison.

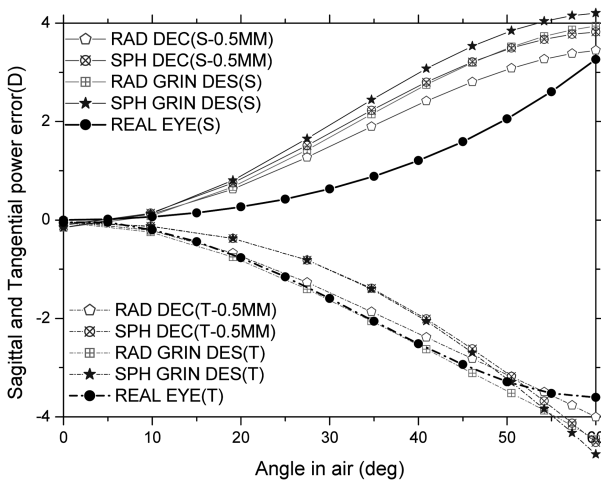


Fig. 2. Sagittal and Tangential power error comparison.

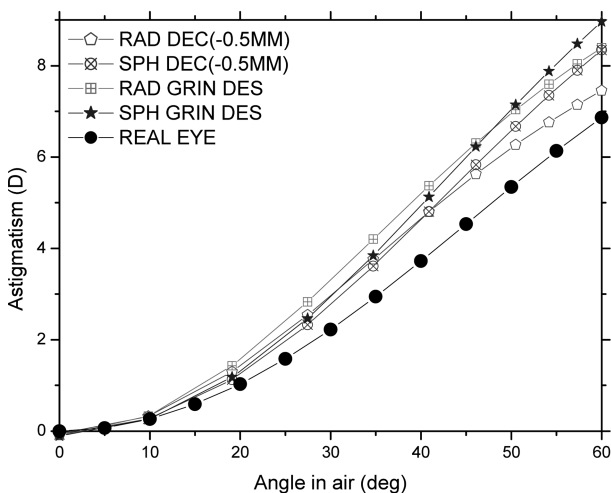


Fig. 3. Astigmatism comparison.

면만곡의 경우 평균  $-0.125D$ 의 감소된 수차를 나타냈던 성능들을 수차보정을 통하여 실안과 유사한 성능 분포를 갖도록 설계하였다.

## 결론

본 연구는 기존에 분석되어진 홍채의 편심이 눈에 미치는 영향을 고려하여 보다 실제의 눈과 동일하도록 정밀모형안을 설계하였다. 설계 방법으로는 기 설계된 Radial GRIN과 Spherical GRIN 형태의 수정체를 갖는 정밀모형안을 이용하여 홍채의 위치를 코 방향으로 0.5 mm 편심시켜, 한국인 정시안의 임상자료 범위 내에서 설계 변수의 구속조건을 주고 설계하였다. 눈에서 가장 중요하게 고려해야하고, 홍채 편심에 따라 실안과 큰 차이가 발생되었던 구면수차를 각 굴절면의 광학변수와 비구면 계수들을 이용하여 실안의 성능과 유사하도록 설계에 주안점을 두었다.

안광학계는 홍채가 편심된 회전비대칭계인 점을 고려하여, 홍채의 편심이 눈에 미치는 영향을 고려한 실안과 보다 유사한 GRIN 형태의 수정체를 갖는 정밀모형안을 설계하였다.

## 감사의 글

본 연구는 2010년도 춘해보건대학 학술연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

## 참고문헌

- [1] 강현식, “안경학개론”, 3판, 신광출판사, pp. 155-167(2005).
- [2] Atchison D. A. and Smith G, “Optics of the Human Eye”, Butterworth-Heinemann, pp. 39-47(2000).
- [3] Westheimer G, “Image quality in the human eye”, Optica Acta., 17(9):641-658(1970).
- [4] Atchison D. A. and Smith G, “Optics of the Human Eye”, Butterworth-Heinemann, pp. 21-29(2000).

- [5] 김봉환, 한선희, “홍채 편심에 따른 눈의 광학적 성능 분석”, 한국안광학회지, 14(2):31-34(2009).  
 [6] 김봉환, “GRIN 수정체를 갖는 정밀모형안 설계”, 국민대학교 대학원 박사학위논문, 104-126(2006).  
 [7] Drasdo N. and Fowler C. W., “Non-linear projection of the retinal image in a wide-angle schematic eye”, Br. J. Ophthalmol., 58:709-714(1974).  
 [8] Atchison D. A. and Smith G., “Optics of the Human Eye”, Butterworth Heinemann, pp. 137-151(2000).

## Design of the Finite Schematic Eye with GRIN Crystalline Lens Considering Iris Eccentricity

Bong-Hwan Kim and Sun-Hee Han

Department of Optometry, Choonhae College of Health Sciences

(Received February 7, 2011: Revised March 15, 2011: Accepted March 19, 2011)

**Purpose:** The purpose of this study was to design the finite model eye with GRIN lens similar to actual eye, which considered the effect of iris eccentricity on eyes. **Methods:** By using the finite model eye with Radial GRIN and Spherical GRIN, which were designed previously, the location of iris was eccentrically located by 0.5 mm in the direction of nose to show the same eye as actual one. For ray trace and design, Code V program of Optical Research Associates (ORA) was adopted. **Results:** Designed model eye was compared to actual eye depending on iris eccentricity and the model eye which showed reduced value was corrected according to actual eye to design the finite model eye. **Conclusions:** Ocular optical systems considered the point that iris was a rotational asymmetry and designed the finite model eye with GRIN lens, which was similar to actual eye, by considering the effect of iris eccentricity on eye.

**Key words:** Iris, Eccentricity, Finite schematic eye, GRIN, Aberration