

시축 변화와 홍채 편심에 따른 정밀모형안의 광학적 성능 분석

김봉환* · 한선희

춘해보건대학 안경광학과

투고일(2010년 1월 26일), 수정일(2010년 3월 23일), 게재확정일(2010년 6월 19일)

목적: 시축과 홍채의 편심에 따른 정밀모형안의 광학적 성능 변화를 분석하고자 하였다. **방법:** 기존에 설계되어진 Radial GRIN과 Spherical GRIN 형태의 수정체를 갖는 정밀모형안을 이용하여 홍채의 위치를 코 방향으로 0.5 mm 편심시키고 시축은 절점을 기준으로 코방향으로 5°, 아래로 2.5° 기울여 중심와의 위치에 상측초점이 위치하도록 하였다. 그리고, 실제의 눈과 동일하도록 광학계를 구성하여 광학적 성능 변화를 분석하였다. **결과:** 전체적인 수차 분포가 실안의 성능과 비교하여 많은 차이를 나타내고 있었다. 특히, 광학계의 중앙 부위를 통과하는 영역에서 가장 큰 차이를 나타내고 있었다. 그리고, 구면수차가 가장 큰 차이를 나타냈으며, 주변부 굴절력 오차와 상면만곡은 (+) 방향으로 수차분포가 치우쳐져 있었다. **결론:** 시축과 홍채 편심을 고려한 실안과 유사한 정밀모형안을 설계하는데 있어서 가장 유념해야 할 부분은, 광학계의 중앙 부위를 통과하는 영역에서의 수차 보정이다. 먼저, 가장 큰 차이를 나타내고 있는 구면수차를 보정하고, (+)방향으로 치우쳐 있는 주변부 굴절력 오차와 상면만곡은 (-)방향으로 이동하도록 고려해야 할 것이다.

주제어: 시축, 홍채, 편심, 정밀모형안, GRIN

서 론

광학적 모형안에서 설정한 광축은 안구의 전극, 즉 각막 정점과 후극을 잇는 직선이므로 기하광학적으로는 이 광축과 망막과의 교점이 상측초점이 되어야 한다. 그리고, 후극에는 물체의 상 정보 자극을 가장 예민하게 받는 중심와가 위치하고 있어야 한다. 그러나, 눈의 해부학적 특성상 이 교점은 중심와에서 코방향으로 약 5° 정도 비껴 있으며, 안구운동의 정확한 방향을 나타낼 때는 이 미소한 차이도 무시할 수 없다^[1].

시축(Visual axis)은 주시점과 절점 및 중심와를 연결하는 선이다. 특히, 시축은 동공의 크기에 의존하지 않기 때문에 시기능에서 유용한 기준축이다. 이 축은 각막과 입사 동공에서 주시선(Line of sight)과 대개 가깝게 위치하며, 광축과 시축이 이루는 각을 '알파각(α)'이라고 한다^[2].

물측에서 시축이 광축의 코방향인 경우, 시축과 광축 사이의 각은 양(+의 부호)을 가지게 된다. 알파각의 평균치는 수평으로 약 +5°이고, 대체적으로 +3°~+5°의 범위를 갖는다. 또한 시축은 광축에 비하여 2°~3° 아래에 위치한다^[3].

임의 회전대칭광학계에서 동공은 중앙에 위치하고 있으나, 실제 눈에서 동공은 일반적으로 편심되어 있어서 광축에서 약 0.5 mm 코 방향에 위치한다^[4]. 입사동의 위치는 눈으로 들어가는 광선 경로의 방향을 조절하므로 수차의 양과 종류에 영향을 주어 망막상의 질에 영향을 주게 된다^[5].

본 연구에서는 기존에 분석되어진 홍채의 위치를 코 방향으로 0.5 mm 편심시킨 Radial GRIN과 Spherical GRIN 형태의 수정체를 갖는 정밀모형안^[6]을 이용하여 시축 변화에 따른 정밀모형안의 광학적 성능 변화를 각각 분석하고자 하였다. 분석한 결과를 기초로 하여 시축의 변화와 홍채의 편심이 정밀모형안 설계 시에 반드시 고려되어야 함을 제시하고자 한다.

연구 방법

기존에 설계되어진 Radial GRIN과 Spherical GRIN 형태의 수정체를 갖는 실안과 유사한 정밀모형안^[7]을 이용하여 홍채의 위치를 코 방향으로 0.5 mm 편심시켜 실제의 눈과 동일하도록 하였다. 또한, 시축은 절점을 기준으로

교신저자 연락처: 김봉환, 689-784 울산시 울주군 웅촌면 곡천리 산72-10 춘해보건대학 안경광학과
TEL: 052-270-0330, FAX: 052-270-0199, E-mail: bhkim@ch.ac.kr

본 연구는 2009년도 춘해보건대학 학술연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

Table 1. Spec. of Radial GRIN Schematic eye

| | | | | | |
|---|--------|--------|-------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| r | 7.585 | 6.153 | | 9.886 | -6.579 |
| Q | -0.274 | -1.040 | 0.000 | -1.100 | -0.675 |
| n | 1.376 | 1.336 | 1.336 | GRIN* | 1.336 |
| t | 0.575 | 3.219 | 0.000 | 3.460 | 15.924 |

* $n_0 = 1.406, A = 0.036667$

Table 2. Spec. of Spherical GRIN Schematic eye

| | | | | | |
|---|--------|--------|-------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| r | 7.782 | 6.713 | | 9.776 | -5.838 |
| Q | -0.180 | -1.040 | 0.000 | -0.128 | -1.650 |
| n | 1.376 | 1.336 | 1.336 | GRIN* | 1.336 |
| t | 0.575 | 3.157 | 0.000 | 3.600 | 15.941 |

* $n_0 = 1.406, a = \pm 38.293, d = 1.7$

알과각의 평균치인 수평으로 +5°, 아래로 2.5° 기울여 중심와의 위치에 상측초점이 위치하도록 하였다.

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

기존에 설계되어진 Radial GRIN과 Spherical GRIN 형태의 수정체를 갖는 실안과 유사한 정밀모형안의 제원을 Table 1~2에 나타내었다. 그 중 1면과 2면은 각막, 3면은 홍채, 4면과 5면은 수정체를 각각 나타내고 있다. 그리고, r은 곡률반경, Q는 비구면계수, n은 굴절률, t는 두께, *는 수정체의 GRIN 매질 계수를 의미한다.

결과 및 고찰

시축과 홍채를 편심시킨 정밀모형안에서 광선추적에 따른 광학계의 단면도를 Fig. 1에 제시하였다. 그리고, 홍채의 위치를 코방향으로 0.5 mm 편심시키고 절점을 기준으로 각막과 홍채 및 수정체를 수평으로 +5°, 아래로 2.5° 기울여 우안 망막의 중심와에 상측초점이 위치하도록 하였다.

실안¹⁸⁾과 Radial GRIN, Spherical GRIN 형태의 수정체를 갖는 정밀모형안을 기준으로 하여, 시축과 홍채 편심에 따른 정밀모형안의 구면수차 변화를 Table 3에 나타내었다. 그리고, Fig. 2~4에 주변부 굴절력 오차, 비점수차와 상면만곡의 변화를 각각 제시하였다.

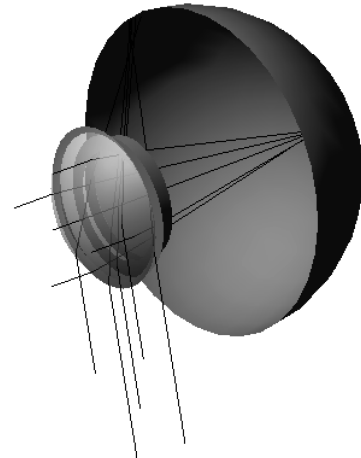


Fig. 1. Diagram of Radial GRIN Schematic eye.

Table 3. Spherical aberration of Real eye and Finite schematic eyes

(Unit: Dptr)

| Relative Pupil Height | Real eye | Radial GRIN | Spherical GRIN |
|-----------------------|----------|-------------|----------------|
| 0 | 0 | 0.134 | 0.161 |
| 0.1 | 0.0122 | -297.849 | -299.599 |
| 0.2 | 0.0486 | 89.818 | 89.720 |
| 0.3 | 0.109 | 39.407 | 39.443 |
| 0.4 | 0.195 | 25.531 | 25.594 |
| 0.5 | 0.304 | 19.141 | 19.221 |
| 0.6 | 0.438 | 15.556 | 15.651 |
| 0.7 | 0.596 | 13.344 | 13.452 |
| 0.8 | 0.778 | 11.922 | 12.042 |
| 0.9 | 0.985 | 11.014 | 11.140 |
| 1 | 1.216 | 10.470 | 10.595 |

구면수차의 경우를 살펴보면, 시축과 홍채 편심에 따른 정밀모형안의 광학적 성능 변화가 가장 심하여 실안과 비교하여 보았을 때 가장 큰 차이를 보이고 있다. 특히, 중앙 부위인 0.1과 0.2 필트 영역에서 가장 큰 차이를 나타내고 있어 모형안 설계 시 유념해야 할 것으로 여겨진다 (Table 3).

주변부 굴절력 오차의 경우도 Radial GRIN의 경우 15°와 20° 사이, Spherical GRIN의 경우 20°에서 25° 사이의 영역에서 가장 큰 변화를 보이고 있어서 역시 모형안 설계 시 유념해야 하며, 전체적인 수차분포를 (-) 수차 방향으로 이동시킬 것을 고려해야 할 것이다(Fig. 2).

비점수차의 경우 역시, 15°와 25° 영역에서 가장 큰 변화를 보이고 있어서 설계 시 이 부분을 중점적으로 고려

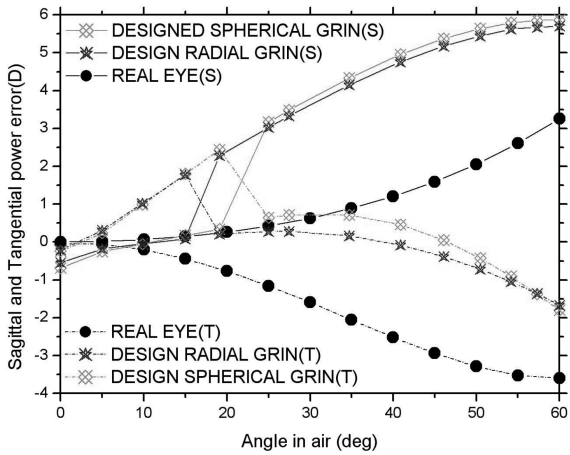


Fig. 2. Sagittal and Tangential power error comparison.

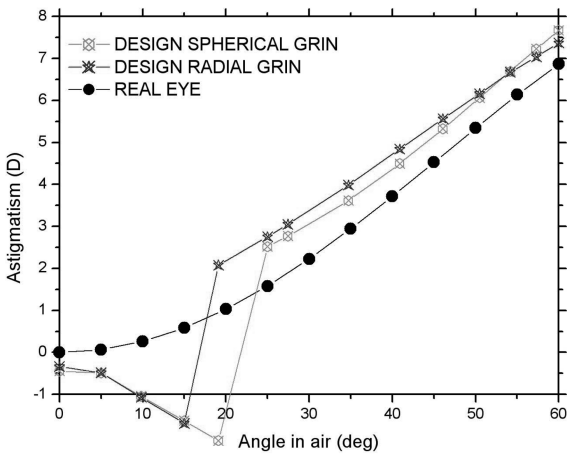


Fig. 3. Astigmatism comparison.

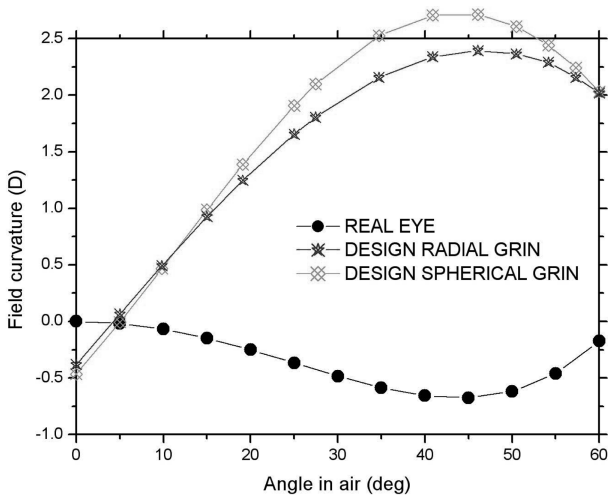
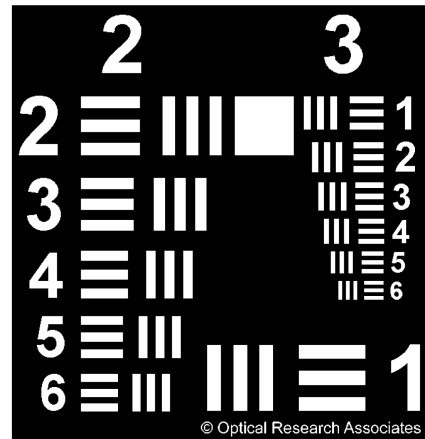


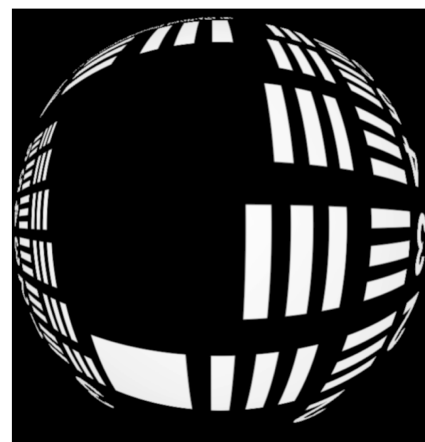
Fig. 4. Field curvature comparison.

해야 할 것이다(Fig. 3).

상면만곡의 경우에 있어서 수차분포가 (+) 수차 방향으로 많이 기울어져 있어서 설계 시 (-) 수차 방향으로 보정



(a) Object



(b) Image

Fig. 5. 2D Image Simulation on retina.

하도록 해야 할 것이다(Fig. 4).

왜곡수차의 경우는 시축과 홍채 편심에 따른 변화가 거의 없어서 그래프로 제시하지 않았으며, 60°로 입사한 광선에 대하여 약 팔백만 화소정도의 분해능을 갖는 물체에 대한 망막의 상을 Fig. 5에 제시하였다. 제시된 수차는 약 30%로 슬통형의 왜곡수차를 보이고 있다(Fig. 5).

결론

기존에 설계되어진 Radial GRIN과 Spherical GRIN 형태의 수정체를 갖는 정밀모형안을 이용하여 홍채의 위치를 코 방향으로 0.5 mm 편심시켜 실제의 눈과 동일하도록 하였다. 그리고, 시축은 절점을 기준으로 알파(α)의 평균치인 수평으로 +5°, 아래로 2.5° 기울여 중심와의 위치에 상축초점이 위치하도록 하여 시축의 변화에 따른 정밀모형안의 광학적 성능 변화를 각각 분석하여 보았다.

그 결과, 전체적인 수차분포가 실안과 비교하여 많은 차이를 나타내고 있었다. 특히, 광학계의 중앙 부위를 통과

하는 영역에서 가장 큰 차이를 보이고 있었다. 이것은 실안과 유사한 정밀모형안을 설계할 때 시축과 홍채 편심을 고려하지 않는다면 실안과 큰 성능차이가 발생하므로 반드시 고려해야함을 의미한다.

정밀모형안 설계 시 우선, 가장 큰 차이를 나타내고 있는 구면수차를 보정하고, (+)방향으로 치우쳐 있는 주변부 굴절력 오차와 상면만곡을 (-)방향으로 이동시킬 것을 고려해야 할 것이다. 또한, 정밀모형안과 실안이 큰 성능차이를 나타내는 원인으로는 시축과 홍채 편심을 고려하지 않은 수정체 GRIN 매질의 굴절률 분포에 있으며, 이로 인한 각 굴절면의 광학 변수와 비구면 계수, GRIN 매질 계수 등의 최적화가 요구되어진다.

참고문헌

[1] 성풍주, “안경광학”, 6판, 대학서림, 서울, pp. 41-42(2008).

- [2] Atchison D. A. and Smith G., “Optics of the Human Eye”, Butterworth-Heinemann, pp. 30-37(2000).
- [3] Tscherning M., “Physiologic Optics”, 1st ed. (translated from the original French edition by C. Weiland). The Keystone, pp. 10-50(1990).
- [4] Westheimer G., “Image quality in the human eye”, *Optica Acta.*, 17:641-658(1970).
- [5] Atchison D. A. and Smith G., “Optics of th Human Eye”, Butterworth Heinemann, pp. 21-29(2000).
- [6] 김봉환, 한선희, “홍채 편심에 따른 눈의 광학적 성능 분석”, *한국안광학회지*, 14(2):31-34(2009).
- [7] 김봉환, “GRIN 수정체를 갖는 정밀모형안 설계”, *국민대학교 대학원 박사학위논문*, pp. 104-126(2005).
- [8] Atchison D. A. and Smith G., “Optics of th Human Eye”, Butterworth Heinemann, pp. 137-156(2000).

An Analysis of Optical Performance of the Finite Schematic Eye According to Iris Eccentricity and Visual Axis change

Bong-Hwan Kim and Sun-Hee Han

Department of Ophthalmic Optics, Choonhae College of Health Sciences
(Received January 23, 2010: Revised March 23, 2010: Accepted June 19, 2010)

Purpose: We investigated how the movement of iris and visual axis affects the finite schematic eye **Methods:** Using the schematic eye with the crystalline lens in the existing forms of the radial GRIN and the spherical GRIN, the iris centre was moved 0.5 mm in nasal direction and visual axis was tilted 5° in same direction, with the additional degree of 2.5 down to locate the focal point in fovea. This study analyzed performance change of the optical system, designing it same as the real eye. **Results:** The whole aberration distribution showed a considerable difference in performance in comparison with the real eye; the biggest difference shown at the central field of optical system. The spherical aberration showed the biggest difference, and a peripheral power error and field curvature leaned toward (+) direction in aberration distribution. **Conclusions:** When designing the schematic eye with the performance similar with that of the real eye by taking into consideration the iris centre and visual axis, the aberration at the center field of optical system in particular should be corrected. Spherical aberration which showed the biggest difference should be corrected in the first place. In addition, a peripheral power error and field curvature that leaned toward (+) direction should be moved toward (-) direction.

Key words: Visual axis, Iris, Eccentricity, Finite schematic eye, GRIN