

홍채 편심에 따른 눈의 광학적 성능 분석

김봉환* · 한선희

춘해보건대학 안경광학과

투고일(2009년 4월 26일), 수정일(2009년 5월 26일), 게재확정일(2009년 6월 4일)

목적: 홍채의 이동이 눈에 미치는 영향을 광학적으로 분석하고자 한다. **방법:** 기존에 설계되어진 Radial GRIN과 Spherical GRIN 형태의 수정체를 갖는 실안과 유사한 정밀모형안을 이용하여 홍채의 위치를 코 방향으로 0.5 mm 편심하여 실제의 눈과 동일하도록 하였다. 또한, 홍채의 위치는 동공의 크기가 증가함에 따라 이동하게 됨을 고려하여 귀 방향으로 0.4 mm 편심하여 눈의 광학적 성능 변화를 각각 분석하였다. **결과:** 홍채의 위치를 코 방향으로 0.5 mm 편심시킨 정밀모형안에서 구면수차의 감소로 실안과 비교하여 많은 차이를 보여주고 있으며, 홍채의 위치를 귀 방향으로 0.4 mm 편심한 정밀모형안에서의 구면수차는 실안보다 약간 증가된 성능을 나타냈다. **결론:** 홍채의 위치를 코 방향으로 0.5 mm 편심시켜 실안과 보다 유사한 모형안을 설계하는 경우에 있어서는, 눈의 광학적 성능 변화에 영향을 미치므로 구면수차와 주변부 굴절력 오차, 비점수차 등의 성능 변화를 고려하여 각 굴절면의 비구면 계수 등 광학상수들에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

주제어: 홍채, 편심, 정밀모형안, GRIN, 수차

서 론

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^[1]. 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^[2].

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

변화에 따라 움직일 수 있다. Walsh(1988)^[4]는 자연적이거나 약물로 유도된 동공산대 모두에서 동공의 중심이 0.4 mm 정도 이동됨을 발견하였다. Wilson 등(1992)^[5]은 Walsh의 주장을 확립하였고 대부분의 연구에서 동공의 크기가 증가함에 따라 동공 중심은 귀쪽으로 이동됨이 나타났다^[6].

본 논문에서는 기존에 설계되어진 Radial GRIN과 Spherical GRIN 형태의 수정체를 갖는 실안과 유사한 정밀모형안^[7]을 이용하여 홍채의 위치를 코 방향 0.5 mm, 귀 방향 0.4 mm로 편심하여 눈의 광학적 성능 변화를 각각 분석하였다. 분석한 결과를 기초로 하여 홍채의 이동이 눈에 미치는 영향을 고려한 실안과 보다 유사한 모형안을 설계하는데 기초 자료로 제시하고자 한다.

연구 방법

기존에 설계되어진 Radial GRIN과 Spherical GRIN 형태의 수정체를 갖는 실안과 유사한 정밀모형안을 이용하여 홍채의 위치를 코 방향으로 0.5 mm 편심하여 실제의 눈과 동일하도록 하였다. 또한 홍채의 위치는 동공의 크기가 증가함에 따라 이동하게 됨을 고려하여 귀 방향으로

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

*이 논문은 2008년도 춘해보건대학 학술연구비 지원에 의한 것임.

Table 1. Spec. of Radial GRIN Schematic eye

면	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

*n₀=1.406, A=0.036667

Table 2. Spec. of Spherical GRIN Schematic eye

면	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

*n₀=1.406, a=±38.293, d=1.7

0.4 mm 편심하여 눈의 광학적 성능 변화를 각각 분석하였다. 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 8 mm, X축과 Y축에 대하여 60°의 각도로 하였다. 이 때 모든 길이의 단위는 mm이고 굴절력은 Diopter(D)이다.

기존에 설계되어진 Radial GRIN과 Spherical GRIN 형태의 수정체를 갖는 실안과 유사한 정밀모형안의 제원은 Table 1과 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.

결과 및 고찰

실안과 Radial GRIN, Spherical GRIN 형태의 수정체를 갖는 정밀모형안⁸⁾을 기준으로 하여 홍채 이동에 따른 정밀모형안의 광학적 성능 변화를 Fig. 1~4에 구면수차와 주변부 굴절력 오차, 비점수차, 상면만곡으로 각각 제시하였다.

홍채의 위치를 코 방향으로 0.5 mm 편심하여 실제의 눈과 동일하도록 이동시킨 정밀모형안에서는 구면수차의 경우 Radial GRIN 형태에서는 0.41D, Spherical GRIN 형태에서는 0.34D의 감소된 수차를 나타냈다. 주변부 굴절력 오차의 경우 구결(Sagittal) 방향에서는 Radial GRIN 형태에서 0.58D, Spherical GRIN 형태에서 0.49D의 감소된 수차로, 자오(Tangential) 방향에서는 Radial GRIN 형태에서 0.52D, Spherical GRIN 형태에서 0.33D의 감소된 수차를 나타냈다. 비점수차의 경우 Radial GRIN 형태에서는

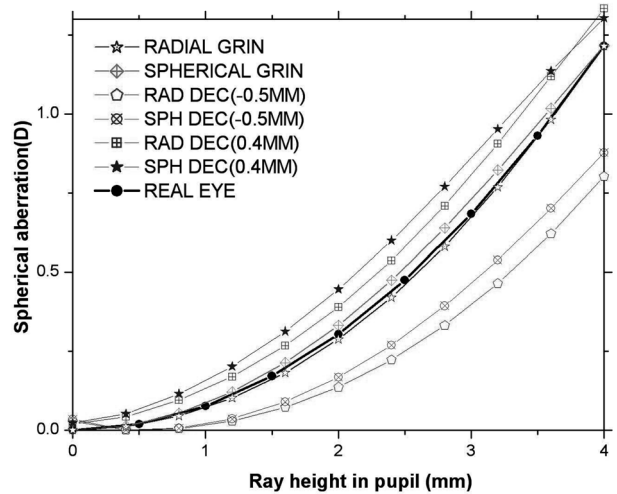


Fig. 1. Spherical aberration comparison.

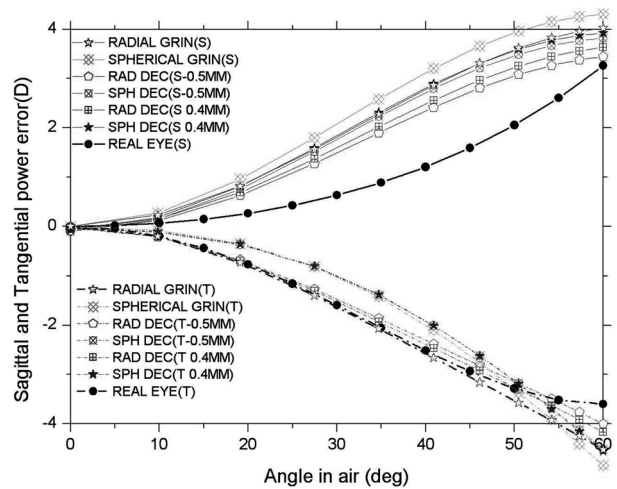


Fig. 2. Sagittal and Tangential power error comparison.

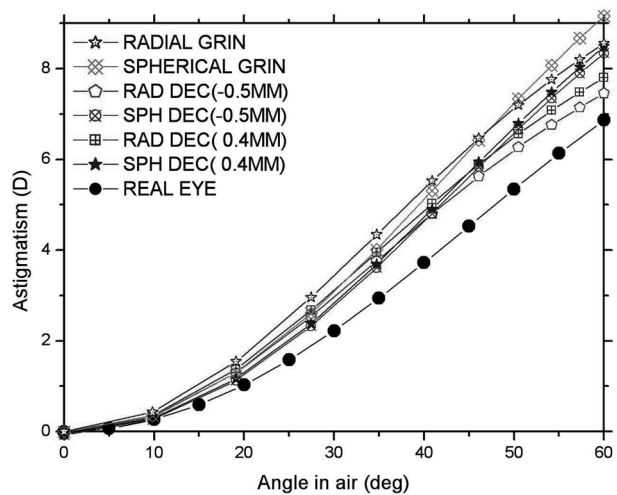


Fig. 3. Astigmatism comparison.

1.10D, Spherical GRIN 형태에서 0.81D의 감소된 수차를 나타냈다. 상면만곡의 경우 Radial GRIN 형태에서 최대 0.09D, Spherical GRIN 형태에서 최대 0.16D의 감소된 수

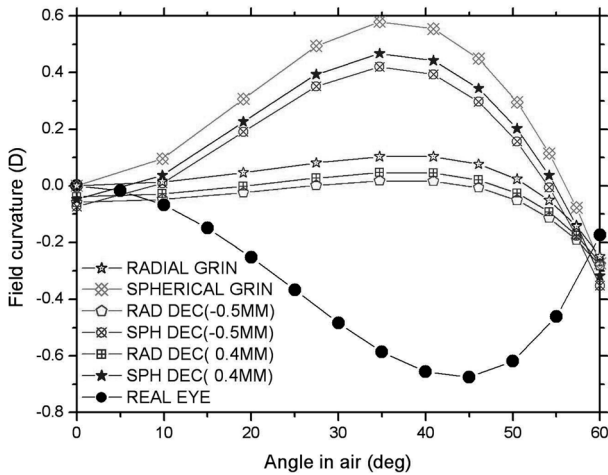
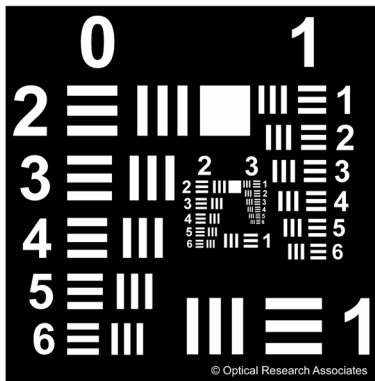
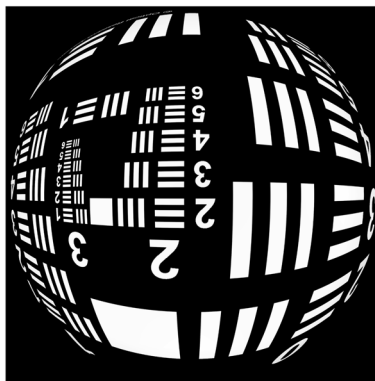


Fig. 4. Field curvature comparison.



(a) Object



(b) Image

Fig. 5. 2D Image Simulation on retina.

차 차이를 나타내었다.

동공의 크기가 증가함에 따라 홍채의 위치가 이동하게 됨을 고려하여 귀 방향으로 0.4 mm 편심한 정밀모형안에서는 구면수차의 경우 Radial GRIN 형태에서는 0.12D, Spherical GRIN 형태에서는 0.09D의 증가된 수차를 보여 주고 있다. 주변부 굴절력 오차의 경우 구결(Sagittal) 방향에서는 Radial GRIN 형태에서 0.40D, Spherical GRIN 형태에서 0.38D의 감소된 수차로, 자오(Tangential) 방향에서

는 Radial GRIN 형태에서 0.36D, Spherical GRIN 형태에서 0.29D의 감소된 수차를 나타냈다. 비점수차의 경우 Radial GRIN 형태에서는 0.75D, Spherical GRIN 형태에서 0.67D의 감소된 수차를 나타냈다. 상면만곡의 경우 Radial GRIN 형태에서 최대 0.06D, Spherical GRIN 형태에서 최대 0.11D의 감소된 수차 차이를 나타내었다.

홍채 이동에 따른 정밀모형안의 광학적 성능 변화를 분석한 결과, 홍채의 위치를 코 방향으로 0.5 mm 편심시킨 정밀모형안에서 구면수차의 감소는 실안과 비교하여 많은 차이를 보여주고 있다. 홍채의 위치를 귀 방향으로 0.4 mm 편심한 정밀모형안에서의 구면수차는 실안보다 약간 증가된 성능을 보이고 있다.

공통적으로 주변부 굴절력 오차와 변화가 가장 큰 비점수차는 감소된 수차로 실안과 보다 유사한 성능으로 나타났으며 상면만곡은 큰 변화가 없었다.

왜곡수차의 경우는 홍채 이동에 따른 변화가 거의 없어서 그래프로 제시하지 않았고, 60°로 입사한 광선에 대하여 약 팔백만 화소정도의 분해능을 갖는 물체에 대한 망막의 상을 Fig. 5에 제시하였다. 그림에서의 왜곡수차는 약 33%의 술통형 왜곡수차를 보이고 있다.

결 론

실안과 Radial GRIN, Spherical GRIN 형태의 수정체를 갖는 정밀모형안을 기준으로 하여 홍채 이동에 따른 정밀모형안의 광학적 성능 변화를 분석한 결과, 귀 방향으로 0.4 mm 편심한 정밀모형안에서는, 구면수차와 상면만곡은 약간의 변화가 발생하였고, 주변부 굴절력 오차와 비점수차는 감소하여 실안과 보다 유사한 성능으로 나타나므로, 전체적인 눈의 광학적 성능에는 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

반면, 홍채의 위치를 코 방향으로 0.5 mm 편심하여 실제의 눈과 동일하도록 이동시킨 정밀모형안에서는, 상면만곡은 큰 변화가 없었고 주변부 굴절력 오차와 비점수차는 감소되어 실안과 보다 유사한 성능으로 나타났다. 구면수차는 감소하여 실안의 성능과 많은 차이를 나타내었으므로, 홍채의 위치를 이동하여 실안과 보다 유사한 모형안을 설계하는 경우에 있어서 구면수차와 주변부 굴절력 오차, 비점수차 등의 성능 변화를 고려하여 각 굴절면의 비구면 계수 등 광학상수들에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

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.*, 17:641-658(1970).
- [4] Walsh G, "The effect of mydriasis on pupillary centration of the human eye", *Ophthal. Physiol. Opt.*, 8:178-182(1988).
- [5] Wilson M. A., Campbell M. C. W., and Simonet P., "Change of pupil centration with change of illumination and pupil size", *Optom. Vis. Sci.*, 69:129-136(1992).
- [6] Atchison D. A., and Smith G, "Optics of th Human Eye", Butterworth Heinemann, pp. 21-29(2000).
- [7] 김봉환, "GRIN 수정체를 갖는 정밀모형안 설계", 국민대학교 대학원 박사학위논문, pp. 104-126(2005).
- [8] 김봉환, "실안의 수정체 굴절률 분포를 갖는 정밀모형안 설계", *한국광학회지*, 15(2):167-170(2007).

Optical Performance Analysis of the Eye which it Follows in Iris Eccentricity

Bong-Hwan Kim and Sun-Hee Han

Department of Ophthalmic Optics, Choonhae College of Health Sciences
(Received April 26, 2009: Revised May 26, 2009: Accepted June 4, 2009)

Purpose: We are to analyze optically how to affect the eye related with movement of the iris. **Methods:** Using the schematic eye to have the crystalline lens of the radial GRIN and the spherical GRIN forms that come to be planned in existing, the iris centre was moved 0.5 mm with nasal direction in order to be identical with the real eye. Also, considering that the iris centre move according to increase of the pupil size, the iris centre was moved 0.4 mm with temporal direction to analyze the optical performance change of the eye respectively. **Results:** Because of decrease in the spherical aberration, the schematic eye with nasal direction 0.5 mm eccentricity of the iris showed a different consequence plentifully compared with the performance of the real eye. Besides, the schematic eye with temporal direction 0.4 mm eccentricity of the iris showed that the spherical aberration somewhat increased. **Conclusions:** In case of design of the schematic eye with the similar real eye performance which the iris centre was moved 0.5 mm with nasal direction, we need to research about aspheric coefficient of optical constants of each refracting surface considering the performance change of a spherical aberration, a peripheral power error and astigmatism etc, owing to change of the real eye hence to be affected by the iris movement.

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