

## 국내 시판 안경렌즈의 성능 분석 및 설계

김세진 · 임현선\*

국민대학교 물리학과, \*극동정보대학 안경광학과

투고일(2010년 11월 15일), 수정일(2010년 12월 13일), 게재확정일(2010년 12월 18일)

**목적:** 국내에서 시판되는 안경렌즈의 성능을 분석하고 최적화 설계로 수차가 보정된 안경렌즈를 설계하였다.  
**방법:** 굴절률 1.6의 재질을 갖는 4개 회사의  $\pm 5.00D$ 의 구면 렌즈와 비구면 렌즈의 중심두께, 곡률반경, 비구면 계수를 측정하였다. Mitutoyo사의 ID-F150으로 중심두께를 측정하였고, Automation Robotics사의 FOCOVISION(SR-2)를 이용하여 곡률반경을 측정하였다. 비구면 계수는 Taylor Hobson사의 PGI 1240S로 측정하였다. 렌즈 후면부터 눈의 회전점까지의 거리 27 mm, 동공직경 4 mm, 중심시야 30°에서 적은 양의 수차를 갖는 안경렌즈를 설계하였다. 측정 렌즈보다 Axial height를 짧게 함으로써 미용 상의 이점을 높였다. 설계에는 ORA사의 Code V를 이용했다.  
**결과:**  $-5.00D$  비구면 렌즈는 구면 렌즈보다 비점수차와 왜곡수차는 약간 크게 나타났으나 Axial height가 짧고 가장자리 두께가 감소하여 미용 상의 장점이 있다.  $+5.00D$  비구면 렌즈는 왜곡수차의 성능이 향상되고 (-)렌즈와 마찬가지로 Axial height와 중심두께의 감소로 미용 상의 장점을 확인하였다. 최적화 과정을 통한 전면 비구면 렌즈는 비점수차와 왜곡수차가 측정 구면 렌즈보다 좋은 성능과 미용 상의 장점을 확인할 수 있다. **결론:** 국내에서 시판되는 비구면 렌즈는 수차의 성능보다는 미용 상의 장점을 키우는 Axial height의 감소와 두께의 감소에 주안점을 둔 전면 비구면 설계가 이뤄지고 있다. 최적화 설계이론을 통해 측정렌즈보다 향상된 수차성능과 미용 상의 이점을 모두 갖는 전면 비구면 안경렌즈의 설계를 하였다. 후면 비구면 렌즈의 설계를 통해 전면 비구면 렌즈보다 향상된 성능을 얻을 수 있음을 기대할 수 있다.

**주제어:** 안경렌즈, 비점수차, 왜곡수차, 비구면

### 서 론

비정시안의 교정이 목적인 안경렌즈는 비정시안이 안경을 썼을 때 좀 더 편안한 착용감을 갖도록 설계되어야 한다. 그렇기 때문에 다음의 두 가지가 지켜져야 한다. 첫 번째, 상질을 저하시키는 비점수차와 왜곡수차가 감소하는 설계가 이뤄져야 한다. 두 번째, 안경렌즈의 무게를 감소시켜 착용의 부담을 줄이고, 편평한 곡률을 갖도록 미용적인 기능도 고려해야 한다. 현재 안경렌즈는 미용적인 기능을 많이 고려하여 좀 더 편평하고, 가볍게 만드는 설계가 이뤄지고 있다.

Fig. 1에서와 같이  $s_1$ 은 전면 sag,  $s_2$ 는 후면 sag,  $t$ 는 중심 두께,  $e$ 는 가장자리 두께,  $DA$ 는 렌즈 직경,  $ah$ 는 axial height를 나타낸다. (-)렌즈는 전면 sag값을 작게 만들어 편평한 미용 상의 효과를 나타낼 수 있게 설계하고, 후면 sag값은 가장자리 두께 감소를 위해 작게 만들고 있다. 반면에 (+)렌즈는 후면 sag값을 0에 가깝게 편평하게 만들

지만, 미용 상의 이유로 약간은 오목하게 만드는 추세이다<sup>[1]</sup>. 이러한 sag값은 Axial height를 감소시킨다. Axial height를 Fig. 1에 나타냈다.

본 논문에서는 국내에서 시판되는 4개 회사의 구면 렌즈와 비구면 렌즈의 중심두께, 곡률반경, 비구면 계수를 측정하여 설계 성향과 수차성능을 분석하였다. 최적화과정을 통하여 기존 안경렌즈의 수차성능을 향상시킬 수 있는 비구면 안경렌즈를 설계하였다.

### 방 법

#### 1. 측정 방법

국내에서 시판되는 4개 회사의 굴절률  $n=1.60$  재질의  $\pm 5.00D$  렌즈의 중심두께, 곡률반경, 비구면 계수를 측정하였다. 중심두께는 Mitutoyo사의 ID-F150을 이용하였으며 곡률반경은 Automation Robotics사의 FOCOVISION (SR-2)으로 측정하였다. 비구면 계수는 Taylor Hobson사의

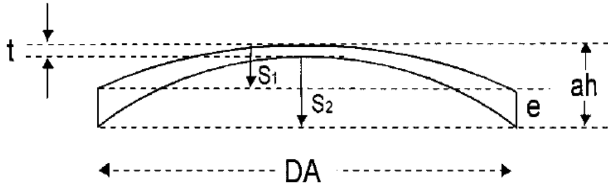


Fig. 1. The axial height is the height of the lens, as measured perpendicularly from a flat plane to the apex of the front surface.

PGI 1240S를 이용하여 측정하였다.

2. 측정렌즈 분석

ORA사의 Code V 프로그램을 이용하여 측정된 자료를 토대로 동공크기 4 mm, 렌즈 후면에서부터 눈의 회전점까지의 거리 27 mm, 중심시야 30°, 파장 656.2725 nm, 587.5618 nm, 486.1327 nm일 때의 수차 성능을 분석하였다.

3. 비구면 안경렌즈 설계

Fig. 2는 비구면에서의 사광선 진행을 나타낸다. 비구면은 접평면과 접구면 사이의 간격인 sag(sagittal의 약자) 또는  $S^2$ 로 표시될 수 있다<sup>[2]</sup>.

$$Z = \frac{1}{c} [1 - (1 - c^2 S^2)^{1/2}] \quad (1)$$

여기서  $S^2 = X^2 + Y^2$  (접평면의 중심에서 접하는 구면의 한 점까지의 거리)이고,  $Z$ 값은 광축에서부터 구면상의 한 점까지의 거리에 관계하는 값이다. 식 (1)의 분모, 분자에 각각  $[1 + (1 - c^2 S^2)^{1/2}]$ 을 곱하면

$$Z = \frac{cS^2}{1 + \sqrt{1 - c^2 S^2}} \quad (2)$$

이 된다. 비구면에서의 sag 값은  $S^2$ 에 대한 Power Series로 전개하면 다음과 같이 표현된다.

$$Z = \frac{cS^2}{1 + \sqrt{1 - c^2 S^2}} + cS^4 + fS^6 + gS^8 + hS^{10} + O(S^{12}) \quad (3)$$

식 (3)에서  $S$ 의 짝수 항만을 사용하는 이유는 비구면이  $Z$ 축에 대하여 대칭성을 가지고 있기 때문이다. 수치계산에 있어서는  $O(S^{12})$ 는  $S^{12}$  이상의 고차항의 합을 나타내고 그 값은 0으로 간주한다. 따라서 수차 보정에서는 계수  $e, f, g, h$ 만이 관여하게 된다. 계수  $e, f, g, h$ 는 빛의 입사각에 관계된 방정식으로써 표현할 수 있으며 이것은 Gauss 소거법을 이용하여 방정식을 풀어 그 값을 구한다.

$eS^4, fS^6, \text{etc}\dots$ 의 값들을 deformation term이라고 하며,

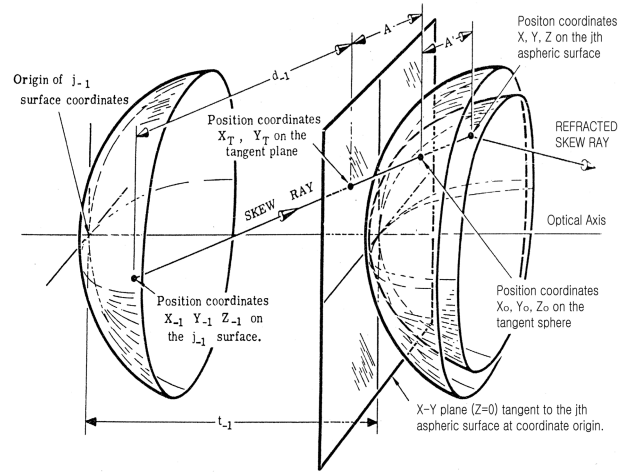


Fig. 2. A skew ray in space between the surface and the aspheric surface.

비구면의 일그러진 정도를 나타내주는 값들이다.

안경렌즈는 미용 상의 장점을 높이기 위해 Axial height를 짧게 만들어야 한다. (-)렌즈는 전면 sag값은 편평할 수 있도록 작아야 하며, 후면 sag값은 전체 Axial height가 짧을 수 있게 되도록 적은 값을 갖도록 곡률반경을 정해야 한다. (+)렌즈는 후면 sag값이 편평하도록 작은 값의 곡률반경을 적용해야 한다<sup>[1]</sup>.

결과 및 고찰

구면 렌즈와 비구면 렌즈는 A, B, C, D사의 측정 자료를 토대로 분석하였다. C사의 +5.00D 비구면 렌즈는 시판되지 않아 분석에 포함하지 못했다. 그래프에서 구면 렌즈는 A(S), B(S), C(S), D(S)로 표기하였으며, 비구면 렌즈는 A(A), B(A), C(A), D(A)로 표기하였다. 최적화 설계한 전면 비구면 렌즈는 KSJ(A)로 표기하였다.

Fig. 3은 상측정점굴절력의 오차율을 나타낸 그래프이다. -5.00D와 +5.00D 렌즈의 상측정점 굴절력의 공차(tolerance)는  $\pm 0.12D$ 로 오차율이 2.4% 이내를 만족해야 한다. 호주, 영국, 미국의 공차를 기준으로 삼았다<sup>[3-5]</sup>. 측정된 (-)렌즈 A, B, D사는 구면 렌즈보다 비구면 렌즈에서 초점거리의 오차가 1% 이내로 적었다. C사의 (-)비구면 렌즈는 2.38%로 상측정점굴절력의 오차가 가장 크게 나타났으나 설계 공차의 범위를 만족한다. 비구면 (+)렌즈에서 A, D사는 구면 렌즈보다 큰 오차율을 가졌고, B사는 더 적은 오차를 가짐을 확인하였다. B, D사의 비구면 렌즈는 설계 공차의 범위내의 오차를 가졌으며, A사는 공차의 범위를 넘어간 3.1%의 오차율을 갖는 것으로 확인되었다.

측정한 구면 렌즈와 비구면 렌즈 모두 아주 작은

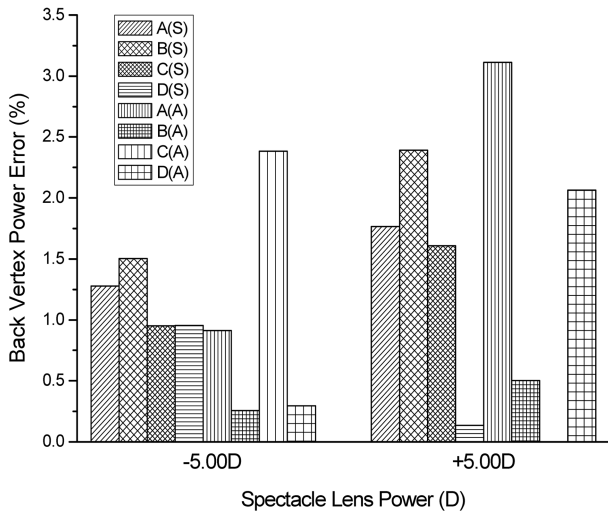


Fig. 3. Back vertex power error (%): A(S), B(S), C(S), D(S) are spherical lenses. A(A), B(A), C(A), D(A) are aspherical lenses.

Diopter 단위의 비점수차와 왜곡수차를 갖는 것을 확인하였다. 편의상 수차를 비교하기 위해 비점수차는 mm단위로, 왜곡수차는 %로 환산해서 표시하였다.

(-) 구면 렌즈는 A, B, C, D사 모두 0.04 mm 내의 적은 비점수차를 갖고 있으며 왜곡수차는 1.1% 내외로 나타났다. 그에 비해 비구면 렌즈는 전반적으로 구면 렌즈보다 큰 양의 비점수차와 왜곡수차를 가졌다. A사는 1.333 mm로 조금 큰 비점수차를 가졌지만, 나머지 B, C, D사는 0.6 mm 내의 비점수차를 가졌다. 왜곡수차는 최대 3.19%에서 최소 1.7% 내로 구면 렌즈보다 큰 수차를 가졌다.

측정한 (+) 구면 렌즈는 0.157 mm 내의 비점수차를 가졌으며 왜곡수차는 2%가 약간 넘는 양을 가졌다. 비구면 렌즈에서 D사는 구면렌즈보다 적은 0.07 mm의 비점수차를 가졌고, A, B사는 구면 렌즈보다 큰 비점수차가 나타

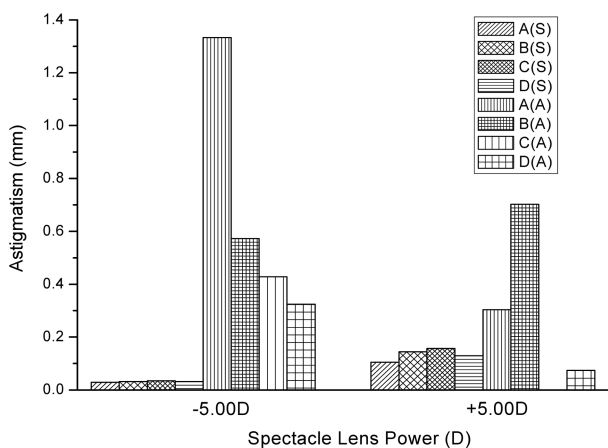


Fig. 4. Astigmatism: A(S), B(S), C(S), D(S) are spherical lenses. A(A), B(A), C(A), D(A) are aspherical lenses.

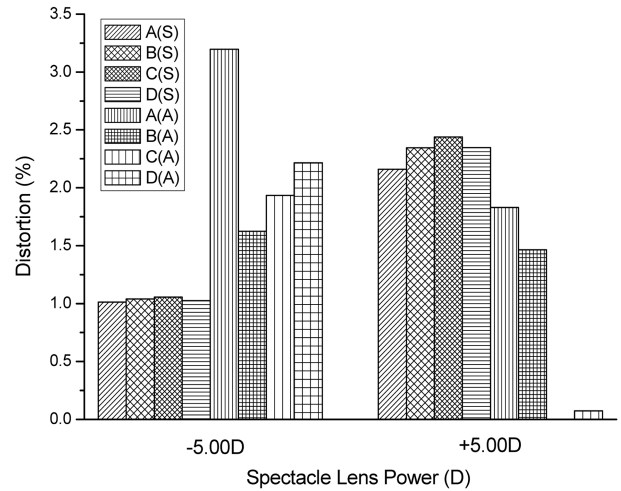


Fig. 5. Distortion: A(S), B(S), C(S), D(S) are spherical lenses. A(A), B(A), C(A), D(A) are aspherical lenses.

났으며, 왜곡수차는 구면 렌즈보다는 약간 작은 1.9% 내로 나타났다. 구면 렌즈와 비구면 렌즈의 비점수차와 왜곡수차를 Fig. 4와 Fig. 5에 나타냈다.

국내에서 시판되는 -5.00D의 렌즈에서 구면 렌즈가 비점수차와 왜곡수차 성능이 더 좋지만, D사를 제외한 A, B, C사의 비구면 렌즈는 후면의 sag값을 감소시켜 곡률을 편평하게 하여 상의 장점이 있음을 확인하였다. +5.00D의 렌즈에서는 비구면 렌즈의 비점수차 성능은 떨어지지만 왜곡수차는 약간 향상되었으며, 전면 sag값을 작게 만들어 상의 장점이 있음을 확인하였다. sag값으로 인한 Axial height를 Fig. 6에 나타냈다.

전면의 비구면 계수를 이용하여 측정한 구면 렌즈와 비구면 렌즈보다 성능이 향상되도록 최적화 설계 과정을 통하여 비점수차는 0.005 mm로 줄이고 왜곡수차는 1% 이내를 만족하는 -5.00D의 비구면 안경렌즈를 설계하였다. +5.00D 렌즈는 0.034 mm의 비점수차와 1.68%의 왜곡수

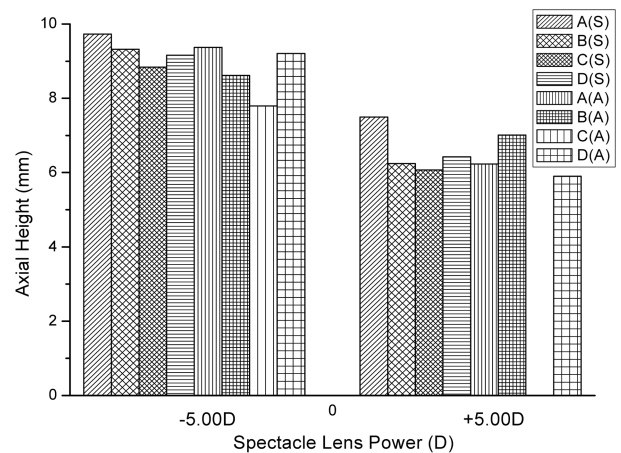


Fig. 6. Axial height: A(S), B(S), C(S), D(S) are spherical lenses. A(A), B(A), C(A), D(A) are aspherical lenses.

Table 1. Design results of aspherical lenses

	Front surface radius	Back surface radius	center Thickness	Conic constant
-5.00D	276.0 mm	83.5 mm	1.0 mm	72.8544
+5.00D	87.0 mm	310.0 mm	4.5 mm	-2.2866

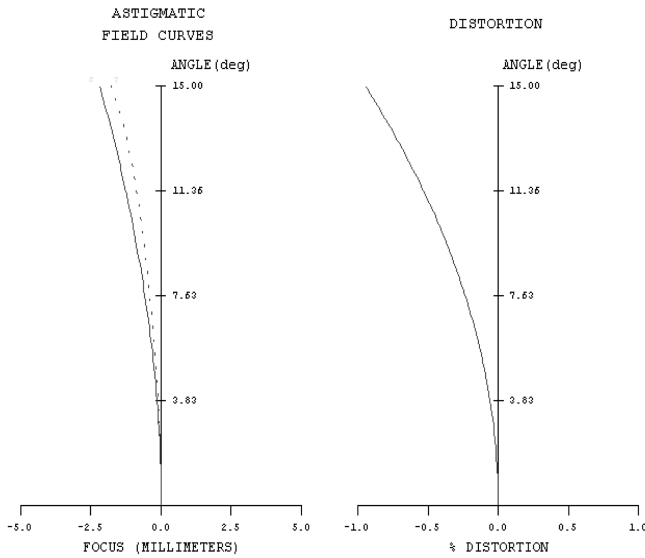


Fig. 7. Astigmatism & Distortion of negative lens.

차를 가짐으로써 측정된 구면 렌즈와 비구면 렌즈보다 성능이 향상됨을 확인하였다. 설계 렌즈 데이터를 Table 1에 나타냈고, Fig. 7과 Fig. 8은 설계한 -5.00D와 +5.00D 렌즈의 비점수차와 왜곡수차의 그래프이다.

Axial height는 최적화 설계를 통한 -5.00D의 전면 비구

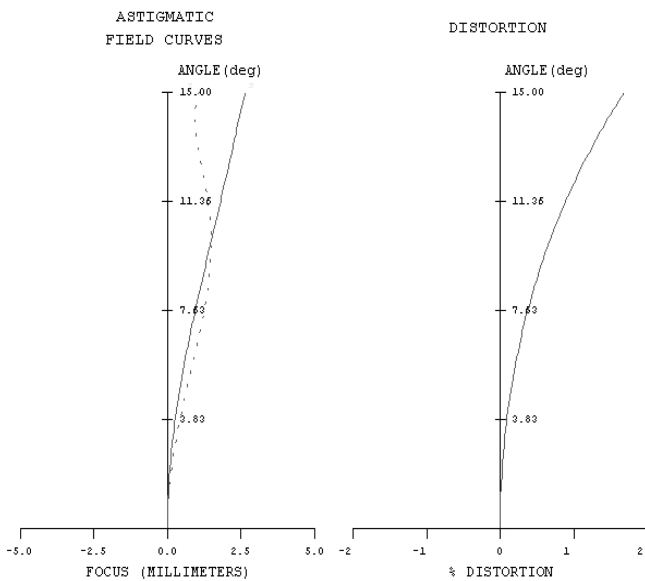


Fig. 8. Astigmatism & Distortion of positive lens.

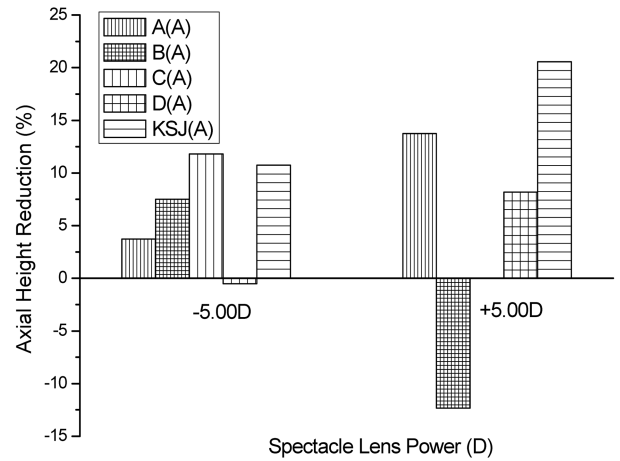


Fig. 9. Comparison of the rate of axial height.

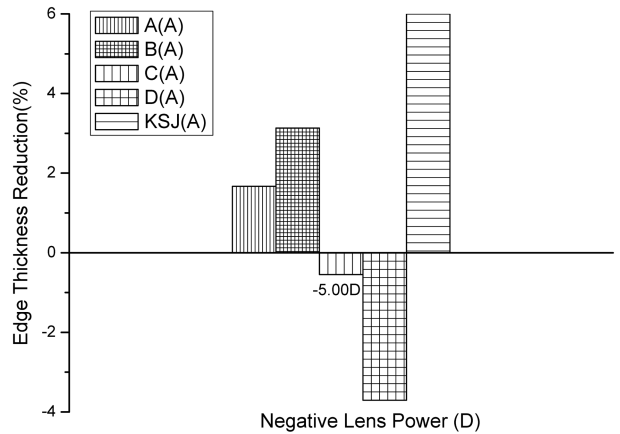


Fig. 10. Comparison of edge thickness reduction.

면 렌즈에서 8.49 mm로 가장 긴 Axial height를 갖는 A사의 구면 렌즈와 비교했을 때 최대 10.7% 감소하였다. +5.00D의 전면 비구면 렌즈 역시 5.95 mm로 가장 긴 Axial height를 갖는 A사의 구면 렌즈와 비교했을 때 20.6% 감소하였다. Fig. 9에 Axial height의 감소율을 나타냈다.

비구면 렌즈 설계시 두께의 감소도 얻을 수 있다. Fig. 10에 (-)렌즈의 가장자리 두께 감소율을 나타냈고 Fig. 11에 (+)렌즈의 중심두께 감소율을 나타냈다. -5.00D 렌즈는 가장 짧은 가장자리 두께를 갖는 A사의 구면 렌즈와 비교했을 때 6.46 mm로 6.1% 감소된 것을 확인하였다. +5.00D 렌즈는 가장 짧은 중심두께를 갖는 B사의 구면 렌즈와 비교했을 때 4.5 mm로 18.9%의 감소율을 확인하였다.

전면 비구면으로 설계한 안경렌즈는 현재 국내에서 시판되는 안경렌즈보다 적은 양의 비점수차와 왜곡수차를 가짐으로써 광학적 성능이 우수하고, Axial height와 가장자리 두께의 감소로 미용 상의 이점이 있음을 알 수 있

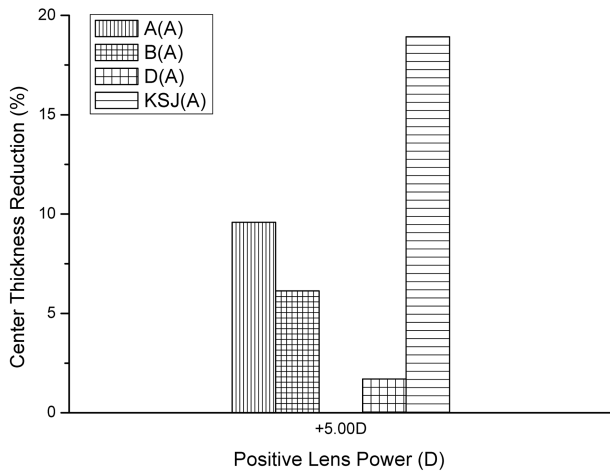


Fig. 11. Comparison of center thickness reduction.

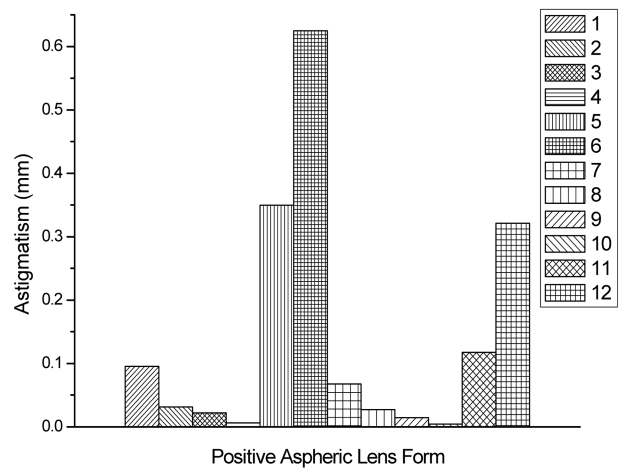


Fig. 13. Comparison of Astigmatism for positive lenses.

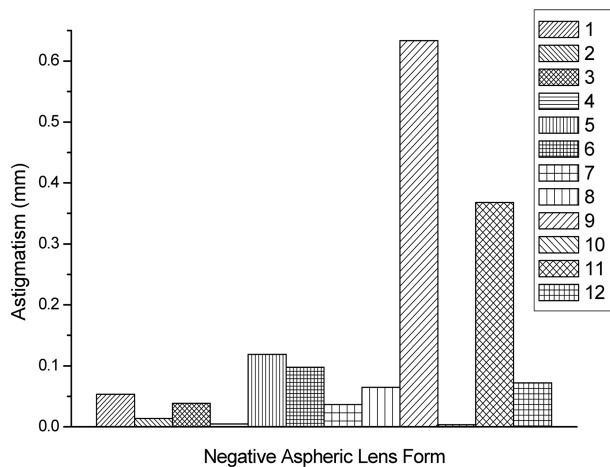


Fig. 12. Comparison of Astigmatism for negative lenses.

었다.

그동안의 안경렌즈의 연구는 비점수차와 왜곡수차의 영향을 줄이고, 미용 상의 이유로 편평한 곡률로 만드는 설계가 목적이었다. 최근의 연구 동향을 살펴보면, 고굴절률의 재질을 사용하여 중심두께를 감소시켜 안경렌즈의 무게를 줄이고, 전후면 비구면 계수를 계산하여 눈에 큰 영향을 미치는 비점수차와 왜곡수차 뿐만 아니라, 구면수차와 코마의 영향도 줄이는 비구면 렌즈의 설계 방법이 다양하게 연구되고 있다. 참고문헌 [6], [7]에서 제시한 방법으로 설계한 렌즈의 비점수차를 Fig. 12와 Fig. 13에 제시하였다. 홀수번호는 참고문헌 [7]의 방법으로 설계한 렌즈이고 짝수번호는 참고문헌 [6]로 설계한 렌즈이다. 1~6번은 전면 비구면이고 7~12번은 후면 비구면이다. 1, 2, 7, 8번은 구면수차와 비점수차를 함께 제거한 렌즈이고, 3, 4, 9, 10번은 코마와 비점수차를 함께 제거한 렌즈이며 5, 6, 11, 12번은 왜곡수차와 비점수차를 함께 제거한 렌즈이다.

Fig. 12는 -5.00D 렌즈를 설계했을 때의 비점수차를 비

교한 그래프이다. Antonin Miks<sup>[6]</sup>가 제시한 방법 중 구면수차와 비점수차를 함께 제거한 후면 비구면 렌즈를 제외한 나머지 렌즈들은 Antonin Miks<sup>[6]</sup>에서 제시한 방법으로 설계한 비구면 렌즈가 비점수차가 적음을 알 수 있다. Fig. 13은 +5.00D 렌즈를 두 방법으로 설계했을 때의 비점수차를 나타낸 그래프이다. Antonin Miks<sup>[6]</sup>의 안경렌즈 설계 방법 중 왜곡수차와 비점수차를 함께 제거한 렌즈는 전면 비구면과 후면 비구면 모두 Shen Weimin<sup>[7]</sup>의 설계 방법보다 비점수차량이 많았지만, 나머지 렌즈는 더 적은 비점수차를 갖는 것을 확인하였다. 두 방법 모두 후면 비구면 렌즈의 설계가 비점수차를 최소화 시킬 수 있는 방법임을 확인할 수 있다.

이 설계 방법 중 코마와 왜곡수차가 함께 제거된 렌즈의 경우, 광학적 성능만을 고려하여 곡률이 크게 증가된 형태를 가짐으로써 Axial height의 증가로 미용적인 측면이 낮아짐을 볼 수 있다. 최적화 조건으로 설계한 전면 비구면 렌즈는 참고문헌 [6], [7]로 설계한 렌즈와 광학적 성능은 비슷하지만 두께의 감소와 Axial height의 감소를 고려하여 미용 상의 이점이 있음을 알 수 있다.

### 결론

현재 국내에 시판되는 안경렌즈의 수차 값은 적은 양의 비점수차와 왜곡수차를 갖고 있음을 확인할 수 있었다. -5.00D의 전면 비구면 렌즈의 비점수차는 0.03 mm 내의 인 구면 렌즈보다 평균 0.6 mm로 크게 나타났으며, 왜곡수차는 1%인 구면 렌즈보다 평균적으로 2.24%로 크게 나타남을 확인하였다. 전면 비구면 렌즈가 후면 비구면 렌즈보다 비점수차와 왜곡수차 량이 크게 나타나지만 Axial height와 가장자리 두께를 줄임으로써 미용 상의 이점을 내세울 수 있다. +5.00D의 전면 비구면 렌즈는 구면 렌즈

보다 비점수차가 평균 0.42 mm로 크게 나타났으나 왜곡 수차는 2% 이내로 평균적으로 2.32%가 넘는 구면 렌즈보다 적은 양이었고, 중심두께와 Axial height의 감소로 미용상의 이점을 내세울 수 있다.

현재 국내에서 시판되고 있는 구면 렌즈와 비구면 렌즈보다 더 적은 비점수차와 왜곡수차를 갖고, 미용상의 이점도 내세울 수 있도록 Axial height를 줄일 수 있는 곡률 반경을 계산하여 최적화 설계 하였다. 현재 국내에서 출시되고 있는 비구면 렌즈는 대부분 전면 비구면 렌즈이다. 전면 비구면 렌즈에 비하여 가격이 비싸지만 광학적 성능이 좀 더 우수한 후면 비구면 렌즈의 출시도 활성화되기를 기대한다.

### 참고문헌

[1] Wen-Shing Sun, Chuen-Lin Tien, Ching-Cherng Sun,

Ming-Wen Chang, and Horng Chang, "Ophthalmic lens design with the optimization of the aspherical coefficients", *Optical Engineering*, 39(4):978-988(2000).

[2] Robert E., Hopkins, "Military Standardization on Handbook, Optical Design", MIL-HDBK-141, Washington 25 D,C, USA, pp. 5.1-5.37(1962).

[3] Ron Rabbetts, "Back vertex power measurement tolerances for spectacle lenses", *Optician*, pp. 25(2010).

[4] Jason Lane, "Tutorial on ISO 10110 Optical Drawing Standard OPTI 521- Intro to Opto-Mechanical Engineering" (2009).

[5] "Quantitative Standards for Spectacle Lenses", Victorian College of Optometry(1988).

[6] Antonin Miks, Jiri Novak, and Pavel Novak, "Third-order design of aspheric spectacle lenses", *Opt. Int. J. Light Electron. Opt.*, 121(23):2097-2104(2010).

[7] Shen Weimin, and Xue Mingqiu, "Aberration Analysis and Optical Design of Aspheric Spectacle Lens", *Acta Optica Sinica*, 22(6):743-748(2002).

## The Performance Analysis and Design of Selling Spectacle Lenses in Domestic Market

Se-Jin Kim and Hyeon-Seon Lim\*

Department of Physics, Kookmin University

\*Department of Ophthalmic Optics, Keukdong College

(Received November 15, 2010; Revised December 13, 2010; Accepted December 18, 2010)

**Purpose:** Analysis performance for spectacle lens which sales in domestic market and optimization design a spectacle lens which is corrected aberration. **Methods:** Measured center thickness, radius and aspherical surface coefficient for spherical and aspherical lenses which were  $\pm 5.00D$ . Refractive index for every lens was 1.6 and they came from 4 different companies. I used 3 types of equipment to measure lenses. ID-F150 (Mitutoyo) : Center Thickness, FOCOVISION (SR-2, Automation Robotics) : Radius, PGI 1240S (Taylor Hobson) : Aspherical surface coefficient. Designed a lens which had 27 mm of distance from lens rear surface to center of eye, 4 mm of pupil diameter and small aberration on center vision 30°C. To shorten axial distance compared with the measured lens rise merits for cosmetic. Lens Design tool was CODE V (Optical Research Associates). **Results:**  $-5.00D$  aspherical lens had somewhat high astigmatism and distortion compared with the spherical lens. But it had a merit for cosmetic because of short axial height and decrease edge thickness. Improved a performance of distortion and ascertain merits for cosmetic due to short axial height and decrease edge thickness same as (-) lens in case of  $+5.00$  aspherical lens. Though an optimization process front surface aspherical lens had a good performance for astigmatism and distortion and the merit for beauty compared with measured spherical lens. **Conclusions:** Design trend for domestic aspherical lens is decrease axial height and thickness to increase a merit for cosmetic not but increase performance of aberration. From design theory for optimization design front surface aspherical spectacle lens which has improved performance of aberration and merit for cosmetic at the same time compared with the measured lens. Expect an improved performance from design back aspherical lens compared with front aspherical lens.

**Key words:** Spectacle Lens, Astigmatism, Distortion, Aspherical Lens