

선명한 주변시를 가진 비구면 안경렌즈의 설계와 초정밀 가공 Design and Ultra-Precision Fabrication of an Aspherical Ophthalmic Lens with Peripheral Clear Vision

*김동익¹, #김건희¹, 김기석¹, 원종호², 장동빈³

*D. I. Kim¹, #G. H. Kim(kgh@kbsi.re.kr)¹, G. S. Kim¹, J. H. Won², D. B. Jang³

¹한국기초과학지원연구원 첨단장비개발사업단, ²충남대학교 기계공학과, ³신진다이아몬드 공업

Key words : Oblique Astigmatism, Aspherical Lens, Ultra-Precision Fabrication

1. 서론

비구면 렌즈 광학계는 구면수차를 제거하여 초점의 집광 능력을 향상시키고 여러 개의 복잡한 렌즈 구성을 단순화시켜주는 장점을 가져 광학 산업 전반에 걸쳐 점차 수요가 증가하고 있다. 이에 안광학 분야에서도 3차 수차 이론과 비구면을 이용하여 안경렌즈의 주변부에서 발생하는 비점수차를 보정한 연구가 최근 수행되었다[1, 2]. 본 연구에서는 이러한 선행 연구를 활용하여 비점수차를 보정한 안경렌즈를 설계하였고 이 설계 값을 가지고 직접 렌즈를 가공 및 측정하였다. 다음은 그 설계와 측정된 결과에 관해 논의하고자한다.

2. 비구면 안경렌즈 설계

비축 방향의 비점수차를 최소화하고 렌즈 두께가 주는 영향을 고려한 근시 교정용 렌즈의 설계는 다음과 같다. 렌즈의 설계에는 굴절률 n_c 가 1.597이고 Abbe 값이 42인 1.60 Index Resin을 사용했는데, 이 재료는 플라스틱이라 가볍고 높은 굴절률 덕분에 같은 도수라도 저 굴절률 렌즈보다 두께를 얇게 만들 수 있어 경량화에 유리하다. 여기에 비구면 설계가 적용되면 경량화에 더해서 구면수차 및 비점수차도 제거하여 선명한 주변부 시야를 제공하는 안경렌즈를 만들 수 있다. 표 1은 -4D (diopter) 근시렌즈의 주변부 비점수차를 최소화하기 위해 추출한 최적의 파라미터들이다.

Table 1 Design results of -4D ophthalmic lens

Dia. (mm)	R ₁ (mm)	R ₂ (mm)	k ₁	k ₂	T _c (mm)	BFL (mm)
70	92.701 ± 0.05	56.755 ± 0.05	0.00	-0.05	3.00 ± 0.05	-250.00

여기에서 R₁과 R₂는 각각 앞면과 뒷면의 곡률반경이고 k₁, k₂는 비구면 형상을 나타내는 원추상수 (conic constant), 그리고 T_c와 BFL은 렌즈의 중심두께 및 후초점거리(back focal length)이다. 표 1과 같이 앞면은 구면이고 뒷면은 k₂가 -0.05인 긴 타원체면(prolate ellipsoid)일 때 렌즈 주변부의 비점수차가 최소화되었다.

그림 1은 렌즈를 통해서 물체를 볼 때 눈의 회전으로 인하여 발생하는 비축 방향의 비점수차가 최소가 되도록 설계한 결과를 보여주고 있다.

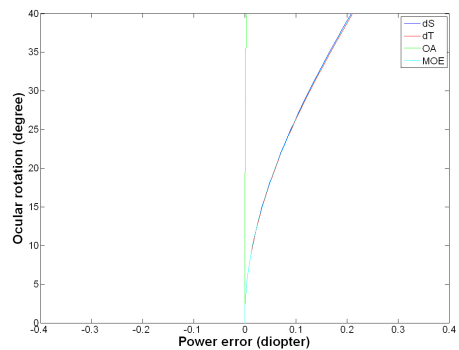


Fig. 1 Minimized oblique astigmatism according to ocular rotation.

설계 결과에 따르면 눈의 회전 각도에 따른 tangential과 sagittal 방향의 도수(굴절력)변화 dT와 dS는 40°에서 약 0.2D가 되는데 보통 사람이 눈을 돌려 보는 각이 20° 미만인 것을 감안하면 주변시의 변화가 약 0.05D로 상당히 만족할 만한 수준이다. 각도에 따른 비점수차 OA는 dT와 dS의 차이로 0°부터 40°까지 거의 0에 가깝기 때문에 이 렌즈에

대해서 OA는 제거되었다고 볼 수 있다.

3. 초정밀 가공

비구면 안경렌즈의 가공에 사용된 재료는 렌즈의 앞면이 구면으로 반 가공된 세미렌즈로 재료의 특성은 2절에서 언급하였다. 본 가공을 하기에 앞서 2절의 설계에서 구한 렌즈 뒷면의 파라미터 R_2, k_2 를 렌즈의 sag 방정식[3]에 대입하여 0 mm부터 70 mm까지의 y의 변화에 대한 z 값을 산출하였다.

$$z = \frac{C_2 y^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k_2) C_2^2 y^2}}$$

여기에서 C_2 는 뒷면에 대한 곡률을 나타내는 데 곡률반경 R_2 의 역수이다. 가공할 렌즈는 축대칭 비구면으로 x축 값을 따로 구할 필요는 없다. 이렇게 해서 구한 데이터를 Nanotech사의 450UPL 초정밀 가공기에 적용하여 가공을 하였다.

그림 2는 NT 2000을 이용하여 가공된 렌즈 중심부의 표면 거칠기를 측정한 결과를 보여주고 있다. 측정 결과 중심 부분에서 Ra 9.65 nm를, 여기에서는 지면상 보여주지 않았지만 측면부에서 Ra 9.16 nm를 각각 얻었는데 별도의 연마가 필요 없을 정도로 양호한 수준이다.

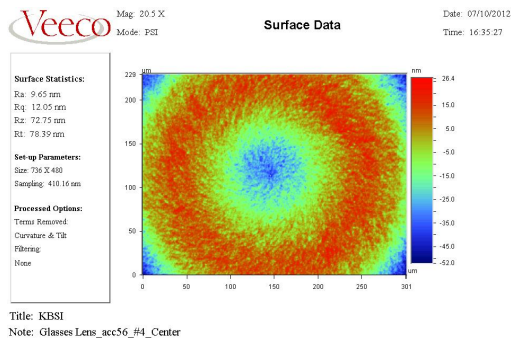


Fig. 2 Measurement of surface roughness of the fabricated ophthalmic lens.

그림 3은 초고정도 3차원 형상측정기 UA3P로 렌즈 뒷면의 x축과 y축의 형상을 각각 측정한 결과를 보여주고 있다. 여기에서 알 수 있는 것은 설계한 값과 실제 가공한 결과물의 형상오차가 안경렌즈에서 요구하는 PV 5 μm 보다 훨씬 좋은 PV 0.9535 μm 와 RMS 0.1851 μm 를 각각 보여줌으로써 설계

값과 매우 가까운 고품질의 비구면 안경렌즈를 구현했음을 알 수 있다.

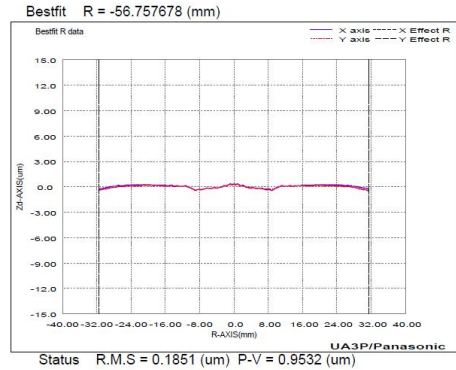


Fig. 3 Measurement of aspherical form: PV 0.9532 μm and RMS 0.1851 μm , respectively.

4. 결론

우리는 비구면 형상이 갖는 장점(경량화 및 구면수차와 비축 방향의 비점수차의 제거)을 안경렌즈의 설계에 적용하였고 이 설계 값에 근거하여 렌즈를 가공하고 측정한 결과에 대해 분석하였다. 그 결과는 유리몰드를 이용한 일반적인 안경렌즈의 제조(PV > 5 μm)보다 더 좋은 형상오차를 보여주고 있다. 따라서 본 연구는 우수한 품질이 요구되는 안경렌즈의 생산에 적용할 수 있다.

후기

본 연구는 중소기업청 비구면 안경렌즈 금형 및 자동성형 공정기술개발 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Atchison, DA., "Third-Order Theory of Spectacle Lenses Applied to Correction of Peripheral Refractive Errors," *Optometry and Vision Science*, **88**, E227-E233, 2011.
2. Miks, A., Novak, J. and Novak, P., "Third-Order Design of Aspheric Spectacle Lenses," *Optik*, **121**, 2097-2104, 2010.
3. 이동희, "안경렌즈 코아 가공을 위한 비구면 형상 도출 프로그램 개발," *J. Korean Oph. Soc.*, **12**, 87-90, 2007.