

Customized Optics를 이용한 눈의 고차 수차 보정

Correction of higher-order aberrations in human eyes by using customized optics

정태문(Tae Moon Jeong)

Center for Visual Science · University of Rochester

Advanced Photonics Research Institute (APRI), 광주과학기술원

jeongtm@apri.gist.ac.kr

Shack-Hartmann 파면(wavefront) 분석기를 이용한 눈의 파면 측정 방법이 도입된 이후로,⁽¹⁾ 눈의 수차 분석 및 보정에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다. Porter등은 100여명의 정상적인 사람 눈의 파면 측정을 통해 비록 정상적인 사람 눈이라 할지라도 상당량의 고차 파면 수차(higher-order wavefront aberration)가 존재함을 보였다.⁽²⁾ 근시와 난시의 원인인 defocus나 astigmatism과 달리 고차의 파면 수차는 일반적인 안경이나 contact 렌즈로 교정이 불가능 하며, 사람 눈의 visual performance를 악화시키는 역할을 한다. 현재, 이러한 고차 파면 수차를 보정하기 위해서, 적응 광학계(Adaptive optics), phase plate, customized contact 렌즈, 및 customized refractive surgery등의 방법이 제시되고 있다. 그러나 적응 광학계는 장비가 고가이고, 적응 광학계를 구성하기 위해서는 많은 설치 공간이 필요로 하므로 망막의 정밀한 상을 얻는다는 망막세포의 기능을 연구하기 위한 전문적인 목적을 제외하고는 실생활에서 시력 교정용으로 적용하기 어렵다. Customized refractive surgery 방법은 파면 보정을 위해 사람 눈 각막의 일부를 제거하므로 비가역적이고, 각막의 두께라든가 눈에 존재하는 고차 파면 수차의 양에 따라 적용이 제한이 되는 단점이 있다. 이에 비해서 phase plate나 customized contact lens는 값싸고 손쉽게 만들 수 있으며, 사람 눈 각막의 일부를 제거하지도 않으므로 필요에 따라서 얼마든지 다시 만들 수 있는 장점이 있다.

본 논문에서는 phase plate와 customized contact lens를 이용한 사람 눈의 고차 파면 수차의 보정 방법 및 결과에 대해서 발표한다. 이 논문에서 사람 눈의 파면은 자체 제작된 Shack-Hartmann 파면 분석기로 측정하였으며, 측정된 파면은 10차까지의 Zernike polynomial로 기술하였다. Phase plate나 customized contact lens는 측정된 파면 데이터를 바탕으로 제작하였다. 이 phase plate와 customized contact lens를 이용하여 사람 눈의 고차 파면 수차 보정을 시도하였고, 고차 파면 수차를 보정하였을 때, 시력의 교정을 visual acuity 측정 실험을 통하여 관측하였다.

그림 1은 Shack-Hartmann 파면 분석기로 측정한 정상적인 사람 눈의 고차 파면 수차와 phase plate로 고차 파면 수차를 보정한 후, 측정된 고차 파면 수차이다. 이 때, 측정된 파면에 대한 동공(pupil)의 크기는 6 mm 이었다. 정상적인 사람 눈의 고차 파면 수차는 고차 rms(higher-order root-mean-square) 값으로 $0.39 \pm 0.09 \mu\text{m}$ 이었으며, phase plate를 이용하여 고차 파면 수차를 보정하였을 때 평균적으로 $0.15 \pm 0.02 \mu\text{m}$ 까지 줄일 수 있었다. 남은 $0.15 \mu\text{m}$ 정도의 고차 파면 수차는 phase plate의 제작상의 에러와 그 외 동공과 phase plate의 광축의 미세한 불일치 등으로 해석될 수 있었다. Phase plate로 고차 파면 수차를 보정한 후, visual acuity를 측정하는 방법으로 시력 교정을 측정하였다. Visual acuity는 명암

대비가 각각 100%(고) 와 10%(저)인 글씨 “E”를 이용하여 측정하였으며, logMAR (log Minimum Angle Resolution) 단위로 표현하였다. Phase plate로 고차 파면 수차를 보정하였을 때, 시력은 각각 고 대비에서 약 0.05 logMAR, 저 대비에서 약 0.12 logMAR 개선되었다. 그림 2는 customized contact lens를 이용한 사람 눈의 고차 파면 보정을 보여준다. 피험자로 advanced keratoconic eye를 가진 사람이 실험에 참여하였다. 그림에서 보는 바와 같은 keratoconic eye는 일반적으로 큰 양의 코마(Coma)와 구면 수차(Spherical aberration)를 갖는다. Customized contact lens를 이용하였을 때, 코마 수차는 2.19 μm 에서 0.15 μm 로 줄일 수 있었으며, 구면 수차는 60%까지 줄일 수 있었다. 최종적으로, customized contact lens를 이용하여 고차 파면 수차의 rms를 3.07 μm 에서 1.28 μm 까지 줄일 수 있었다.

결론적으로 Shack-Hartmann 파면 분석기로 사람 눈의 파면 수차를 측정하였고, 측정된 파면 수차로부터 고차 파면 수차 보정용 광학계인 phase plate와 customized contact lens를 제작하였다. 제작된 phase plate와 customized contact lens는 사람 눈의 파면 수차를 성공적으로 보정할 수 있었으며, 고차 파면 수차 보정을 통해서 시력이 향상됨을 관측할 수 있었다. 현재, customized contact lens를 이용한 완벽한 파면 보정 및 시력 교정 실험이 수행되고 있다.

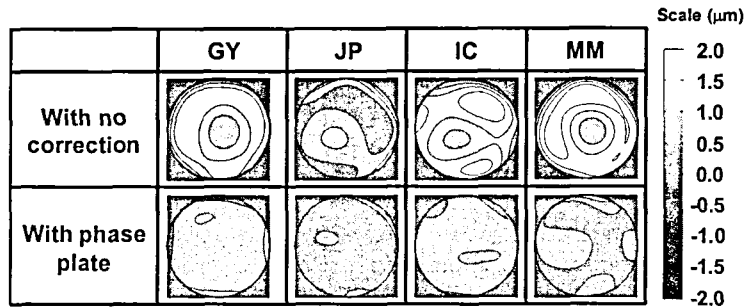


Fig. 1. Higher-order wavefront map before and after correcting higher order aberration with phase plates.

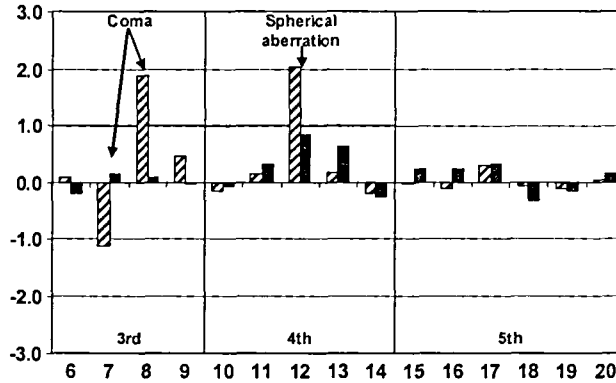


Fig. 2. Zernike coefficients before and after correcting higher order aberrations with a customized contact lens
Dashed bar graphs: Zernike coefficients without a customized contact lens. Solid bar graphs: Zernike coefficients with a customized contact lens.

참고문헌

[1] J. Liang, B. Grimme, S. Goelz, and J. Bille, "Objective measurement of wave aberrations of the human eye with the use of a Hartmann-Shack wave-front sensor", J. Opt. Soc. Am. A 11, 1949-1957 (1994).
[2] J. Porter, A. Guirao, I. Cox, and D. Williams, "Monochromatic aberrations of the human eye in a large population", J. Opt. Soc. Am. A 18, 1793-1803 (2001).