

인체안 단색수차의 타각식 계측을 위한 파면분석기 연구

Study on the wavefront analyzer for objective measuring the monochromatic aberrations of human eye

강돈희, 고동섭*, 손진욱*, 권혁제*, 김현수*

목원대학교 광·전자물리학과 및 의료광기술연구소, *(주)휴비츠

*dsko@mokwon.ac.kr

인체안의 단색수차는 시력의 한계를 규정하고 또한 안광학 기기의 설계에 있어서 중요한 요소이기 때문에 오래 전부터 많은 관심을 갖게 되었다. 또한 단색수차를 정밀하게 측정함으로써 가장 이상적인 시력 교정 방법을 찾을 수 있다.⁽¹⁻³⁾

본 연구에서는 먼저 그림 1과 같은 Shack-Hartmann (SH) 파면분석기를 구성하였다. 이 파면분석기는 대물렌즈, 결상렌즈, 미소렌즈배열(microlens array, MLA), 그리고 이미지 센서(CCD)로 구성되어 있다. 시료 계측점과 MLA는 서로 공역점을 형성하도록 대물렌즈와 결상렌즈를 위치시킨다. 일반적으로 대물렌즈의 물측 초점면에 시료 계측점이 오도록 하고, 결상렌즈의 상측 초점에 MLA가 위치하도록 배치한다.

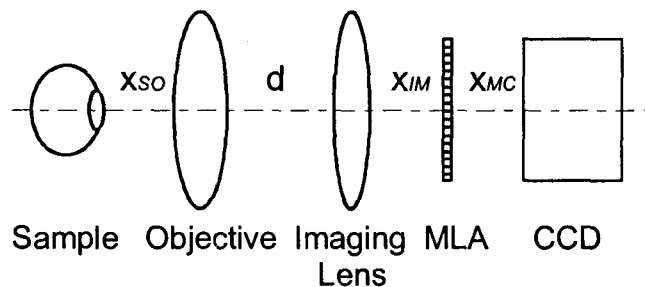


그림 1. 파면분석기 개략도

만약 시료 계측점에서 파면 곡률이 D_o 라고 하면, 이 파면의 수렴점은 $x = -1000/D_o$ 이며, 단위는 mm이다. 얇은 렌즈 공식에 의해서 $1/(x_{SO} - x) + 1/q_1 = 1/f_o$, $1/(d - q_1) + 1/q_2 = 1/f_i$ 가 성립하고, 이 식으로부터 q_2 를 구하면, MLA 위치에서 파면 곡률은 $D_m = -1000/(q_2 - x_{IM})$ 가 된다. f_o 와 f_i 는 각각 대물렌즈와 결상렌즈의 초점거리이다.

광학계 횡배율은 $M_T = f_i/f_o$ 로 주어지며, 종배율은 $M_L = D_m/D_o$ 로 정의하기로 한다. 파면분석기 제원 결정에서, 횡배율은 측정 가능한 최소 동공 직경과 관련이 있으며, 종배율은 MLA와 이미지 센서로 측정할 수 있는 곡률 범위와 관련이 있다. 본 실험에서는 파면분석기의 working distance를 고려하여 대물렌즈의 초점거리를 결정하였다. 이때 계측점이 각막정점으로부터 12 mm 전면에 위치하고 있는 점을 고려하였다. 배율 데이터를 참조하여, 최소 동공 직경은 2 mm, 곡률은 -20 ~ +20 diopter를 계측할 수 있도록 렌즈, MLA, 그리고 이미지 센서의 제원을 결정하였다.

다음은 MLA와 CCD 센서 사이의 거리에 따른 상점간 거리, 미소렌즈 초점거리에 따른 상점의 종방

향 위치, 시료 위치에 따른 계측오차, 대물렌즈 초점거리에 따른 계측오차, 결상렌즈 초점거리에 따른 계측오차, 대물렌즈와 결상렌즈 사이의 거리에 따른 계측오차, MLA 위치에 따른 계측오차, 결상렌즈와 MLA 사이의 거리에 따른 계측오차 등을 검토하여 보았다. 몇 가지 주요 검토 결과를 요약하면 다음과 같다.

먼저 시료와 대물렌즈, 결상렌즈와 MLA 사이의 거리 편차에 따른 오차는 서로 반대 특성이 있기 때문에, 시료와 대물렌즈 사이의 거리 변화와 반대 방향으로 결상렌즈와 MLA 사이의 거리를 조정하면 계측오차를 줄일 수 있음을 확인하였다. 또한 대물렌즈와 결상렌즈 사이의 거리 편차에 따른 계측오차는 파면 곡률에 의존하지 않는 일정한 값을 나타내므로 계측오차로 보기보다는 0점 조정하여 보정할 상수임을 확인하였다. 이 결과들을 근거로, 광학계를 정렬할 때 시료 계측점이 MLA에 정확하게 결상하는 것이 가장 중요한 요소임을 알 수 있었다.

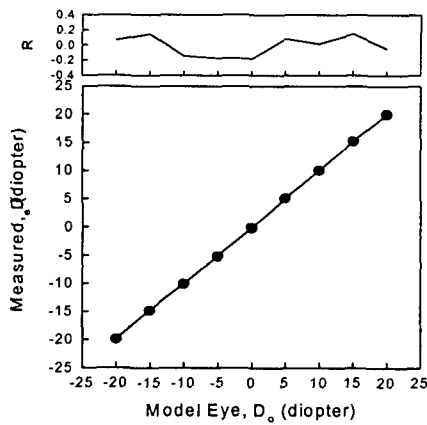


그림 2. 모형안 구면도수 측정 결과

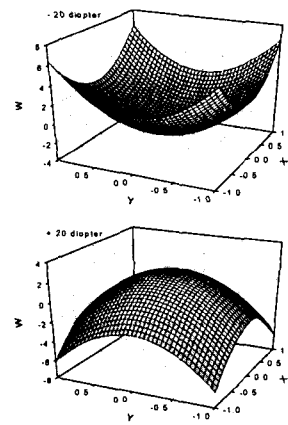


그림 3. 재현한 파면 지형도

그림 2는 모형안을 대상으로 측정한 결과이다. 여기서는 pitch 거리 1 mm, 초점거리 36.1 mm인 MLA(OKO, APO-1.0-36.1)를 사용하였다. -20~+20 diopter까지 측정한 결과 ± 0.2 diopter 오차 범위에서 측정이 가능하였다. 상품화되어 있는 점안기들의 계측오차인 ± 0.25 diopter 보다는 정확한 측정 결과를 보여 주었다. 그림 3은 계산한 데이터를 근거로 하여 재현한 파면의 지형도이다. -20 diopter는 수렴하는 파면, +20 diopter는 발산하는 파면을 보여주고 있다.

본 연구는 산업자원부 2002년도 공통핵심기술개발사업(과제번호: 10003199)의 지원을 받았다.

[참고문헌]

- (1) G. Walsh, W. N Charman and H. Howland, "Objective technique for the determination of monochromatic aberrations of the human eye", J. Opt. Soc. Am. A 1, 987-992 (1984).
- (2) L. D. S. Haro, "Wavefront sensing in the human eye with a Shack-Hartmann sensor", Ph.D. Thesis, University of London, 2000.
- (3) 고동섭, 이경섭, 유용성, 김진국, 김광원, 이인식, 최철명, "파면분석을 이용한 맞춤 굴절교정각막수술" (ALC, 서울, 2002).