

시력 정밀 측정용 파면분석기

A wavefront analyzer for precise measurement of the visual acuity

고동섭

목원대학교 광·전자물리학과 및 의료광기술연구소

dsko@mokwon.ac.kr

시력 진단장비로는 자각식 측정법인 시력표, 타각식 계측기로는 검영기와 자동굴절력측정기 등이 있으나 눈도 일반 광학계와 같이 공간적으로 불균일한 광학적 특성을 가지기 때문에 눈의 광학적 기능을 정확하게 진단하기 위해서는 광학수차의 공간 분포를 정밀하게 측정할 필요가 있다. 광학수차는 시력의 한계를 규정하고 안광학 기기의 설계에 있어서 중요한 요소이다. 눈의 광학수차를 측정하기 위한 파면 분석기에는 공간분해굴절계, Tscherning 파면분석기, 광선추적파면분석기, 주사실름굴절계, 그리고 Shack-Hartmann 파면분석기(SH 파면분석기) 등이 있으며, SH 파면분석기는 적응광학계에서도 유용하게 사용되고 있다. 1994년 Liang 등이 SH 파면분석기를 사용하여 인체안의 광학수차를 정밀 측정함으로써 임상학적 활용 가능성을 확인하였고, 1999년 Seiler 등이 파면분석을 이용한 웨이브프론트수술법을 시행하여 한때 많은 관심을 끌었다.¹⁻²

눈의 굴절력은 각막지형도를 측정하여 진단할 수도 있다. 그러나 시력에 큰 영향을 미치는 수정체와 초자체 상태 등 각막지형도만으로는 알 수 없는 요소들이 있으며, 이와 같은 안구 내부의 광학적 불균일성은 파면분석기를 사용하여 측정하게 된다. 물론 기형적으로 매우 심한 굴곡을 가진 각막에 대해서는 각막지형도가 더 유용할 수 있으므로 파면분석기와 각막지형도를 함께 이용한다면 보다 정밀하게 최적의 진단 결과를 얻을 수 있을 것이다.

SH 파면분석기를 사용한 광학수차 측정은 다음과 같다. 단색광원을 망막에 집속시키면 망막에서 반사된 광이 각막 방향으로 진행한다. 이때 근시 또는 원시와 같은 굴절이상이가 있다면 각막 표면에 도달한 광파는 수렴하거나 발산하는 파면이 된다. 만약 광이 진행하는 경로에서 광학적으로 불균일한 공간이 있다면 부분적으로 파면이 왜곡된다. 미소렌즈를 사용하여 공간적으로 서로 다른 위치의 파면의 기울기를 측정하고, 파면 기울기 정보를 근거로 해서 파면을 재현하며, 재현된 파면은 시력뿐만이 아니라 위치에 따른 고위광학수차 정보를 제공하게 된다.

SH 파면분석기의 계측오차를 유발하는 요인으로는 system 오차, 중심점 오차, 제니케 계수 계산오차 등으로 나눌 수 있다. System 오차에는 미소렌즈를 포함한 광학계가 가지고 있는 결점을 들 수 있다. 망막에 맺힌 광점의 크기도 오차를 유발하는 주요 변수이다. 입사광이 점으로 집속되어야 하지만 광원 자체의 크기와 집속렌즈 그리고 안구의 광학적 불균일은 광점의 크기 뿐만이 아니라 광세기의 불균일한 분포를 유발한다. 안구의 부분적 불투명도 계측에 부정적 결과를 준다.

중심점 오차는 빛의 양자론적 특성인 광자잡음, 광검출기의 신호 읽기 잡음, 그리고 빛의 간섭성에 의한 스펙클 잡음으로부터 유발된다. 광자잡음은 극복할 수 없는 자연 특성이지만 입사광의 세기, 즉 광자 계수율을 높임으로써 오차를 줄일 수 있다. 안구에 입사시키는 광세기는 안전기준을 넘을 수 없으므로

로 잡음이 적고 양자효율이 우수한 영상소자를 사용하는 것이 그 대책일 것이다. 읽기 잡음은 잡음 제어기 우수한 전자회로와 전자소자를 사용하여 최소화할 수 있다. 스펙클 잡음을 최소화하기 위해서는 비간섭성 광원을 사용하는 것이 바람직하다. 대표적인 광원으로 LED가 있다. 그러나 LED 광을 작은 광점으로 만드는 것이 용이하지 않다. 그 대안으로 크기와 구조는 레이저와 같으나 유도방출을 억제하여 LED) 광과 유사한 특성을 갖도록 만든 소자가 SLD이다. 그럼에도 SLD의 선폭이 LED 선폭에 미치지 못하여 부분적으로 스펙클 잡음이 발생하는 한계를 가지고 있다. 제니케 계수를 계산하는 과정에서도 상김크기가 영향을 미치며 곡선맞춤오차도 고려되어야 한다.

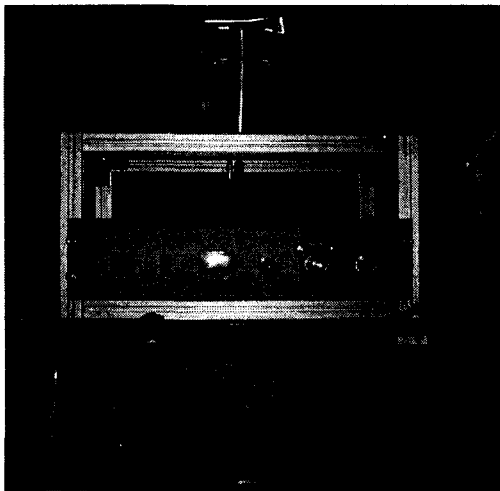


그림 1. 미소렌즈 제작 장치

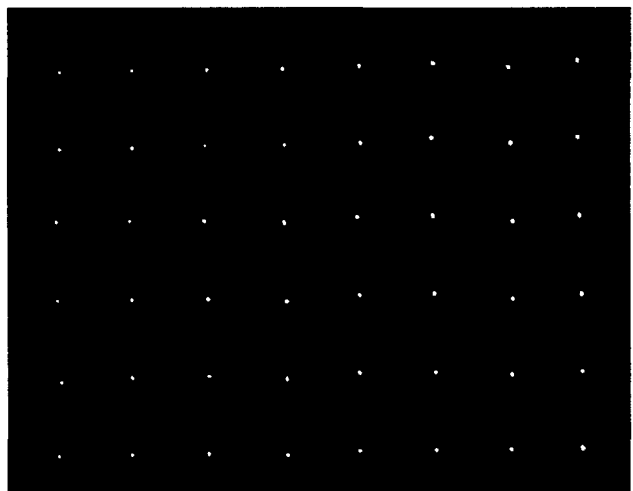


그림 2. 미소렌즈 광점

한편 시력 측정용 SH 파면분석기에서는 초점거리가 수 cm이며 적절한 pitch를 갖는 microlens array가 필요하다. 일반적으로 microlens array를 제작하는 과정이 복잡하고 많은 비용을 부담해야 한다. 그런데 파면분석기 개발 단계에서 여러 규격의 microlens array를 직접 사용하여 그 결과를 평가할 필요가 있다. 본 연구에서는 그림 1과 같이 미소렌즈를 직접 제작할 수 있는 간단한 장치를 개발하였으며, 그림 2는 CCD 소자에 맺힌 미소렌즈의 광점을 보여주고 있다.

본 발표에서는 시력과 관련된 눈의 구조적·광학적 특성을 포함하여 상술한 계측오차 요인, 미소렌즈 제작 과정, 파면분석기 개발에서의 문제점 등을 제시하고 측정 결과를 보여주고자 한다.

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

[참고문헌]

- (1) 고동섭, 이경섭, 유용성, 김진국, 김광원, 이인식, 최철명, "파면분석을 이용한 맞춤 굴절교정각막수술" (ALC, 서울, 2002).
- (2) J. Liang, B. Grimm, S. Goelz, and J. F. 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*, vol. 11, no. 7, pp. 1949-1957, 1994.