

Shack-Hartmann 파면분석기를 이용한 DVD 렌즈의 수차측정

Measuring wavefront aberration of DVD Lenses with a Shack-Hartmann wavefront sensor

김학영, 이진석, 박영필, 한재원, 박노철*,
연세대학교 기계공학과, *정보저장기기 센터

E-mail : jaewhahn@yonsei.ac.kr

점광원과 Shack-Hartmann 파면분석기를 이용하여 렌즈의 수차를 측정할 수 있는 시스템을 만들었다. 단일모드 광섬유와 표준렌즈를 이용하여 만든 평행광을 reference로 사용하여 파면분석기가 내부적으로 가지고 있는 에리요인을 보정하였다. 1마이크로미터의 핀홀을 이용하여 구면파를 만들어 측정대상인 렌즈로 보내어 나오는 평행광의 파면수차를 센서로 측정했다. 측정결과 파면수차가 $0.041\lambda_{RMS}$, $0.046\lambda_{RMS}$ 로 자이고 간섭계로 측정한 결과와 $0.005\lambda_{RMS}$ 의 차이를 보여 목표로 했던 측정정확도인 $0.01\lambda_{RMS}$ 를 충분히 만족시켰다.

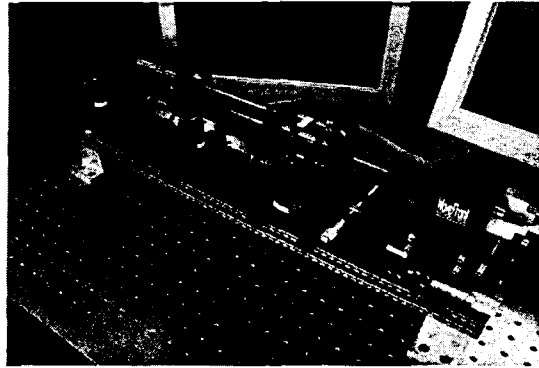
주제어 : 점광원, Shack-Hartmann 파면분석기, 파면수차, 단일모드광섬유, 표준렌즈, 회절

Shack-Hartmann 파면분석기는 입사되는 광의 위상과 세기를 측정할 수 있는 정교한 장치로 주로 능동광학 분야에 활용되고 있다. 센서 내부에는 마이크로렌즈 어레이와 디텍터로 구성되어있고, 각각은 입사되는 빔의 진행방향과 수직하다. 마이크로렌즈의 직경과 배열은 측정용도에 따라 달라진다.⁽¹⁾ 본 연구에 사용된 파면분석기의 마이크로렌즈는 직경이 $198\mu\text{m}$ 이며, 37×37 로 배열되어 있다. 디텍터는 크기가 $7.4\mu\text{m}\times 7.4\mu\text{m}$ 인 픽셀이 1004×1004 개로 이루어져있으며, 파면분석기의 분해능은 $\lambda/150$ 이다. 평행광이 파면분석기로 입사되면 각각의 렌즈는 디텍터 위에 각기 다른 위치에 초점을 맺는다. 이렇게 맺혀진 초점과 reference 초점과의 위치관계에 의해 부분적으로 기울기들이 계산되고, 각각의 렌즈를 지난 파면의 기울기가 조합되면 전체적인 파면으로 재구성된다.⁽²⁾ 이와 같은 방법으로 파면분석기가 수차를 계산하고 Zernike 다항식을 통해 수차를 분석할 수 있다. 일반적으로 Shack-Hartmann 파면분석기는 간섭계 방식에 비해 진동에 민감하지 않고, 가격이 싸며, dynamic range가 커서 폭 넓게 응용되고 있다.⁽³⁾

실험을 위해 두 가지의 실험장치를 꾸렸다. 하나는 표준렌즈를 이용하여 평행광을 만드는 시스템이고, 또 다른 하나는 $1\mu\text{m}$ 핀홀을 이용하여 구면파를 만드는 시스템이다. 두 가지 시스템을 이용하여 측정할 때 발생할 수 있는 오차요인은 다음과 같다. 첫 번째는 파면분석기의 시간에 대한 안정성이며, 두 번째는 파면분석기 자체가 가지고 있는 오차이다. 그리고 마지막 오차요인은 핀홀을 이용하여 구면파를 만들 때 구면파의 파면수차로 인한 오차이다. 이 모든 것을 알아보기 위해 우선 헬륨네온레이저와 단일모드 광섬유, 표준렌즈를 이용하여 평행광을 생성하는 시스템을 만들었다. 시간에 대한 안정성 테스트 결과 변화의 폭이 $0.0012\lambda_{RMS}$ 로 측정정확도인 $0.01\lambda_{RMS}$ 의 10%에 불과했다. 아래 그림은 두 가지의 시스템을 나타내는 것이다.



[그림 1] Reference를 만드는 시스템



[그림 2] 구면파를 이용한 측정 시스템

파면분석기가 아무리 잘 만들어졌더라도 기계적 결함 등으로 인해 자체적인 오차를 가지고 있기 때문에 측정을 통해 그 크기가 어느 정도인지 알아보았다. 파면분석기의 디텍터 전면적에 대해 갖고 있는 오차는 $0.086\lambda_{RMS}$ 이며, 측정하고자 하는 렌즈와 같은 크기에 대해서는 $0.015\lambda_{RMS}$ 로 측정정확도 보다 큰 오차를 가지고 있다. 오차를 보정하기 위해 파면수차가 작은 평행광 만들어 파면분석기로 보내어 reference로 놓고 측정하는 방법을 사용하였다. 마지막으로 핀홀의 크기에 의해 발생할 수 있는 구면파의 파면수차를 계산한 결과, $1\mu m$ 의 핀홀을 통해 회절되어 만들어진 구면파의 파면수차는 $0.0007\lambda_{RMS}$ 로 측정정확도의 7%에 불과하였다.

평행광을 만들어 reference로 하여 두 개의 DVD 렌즈의 수차를 측정하고, 자이고 간섭계로 측정한 결과와 비교하여 보았다. 아래의 표를 통해 알 수 있는 바와 같이 두 개의 렌즈에 대한 측정 결과는 자이고 간섭계로 측정한 결과와 $0.005\lambda_{RMS}$ 의 차이를 보여 측정정확도인 $0.01\lambda_{RMS}$ 의 범위 내에서 수차를 측정할 수 있었다.

	DVD 렌즈 1의 수차	DVD 렌즈 2의 수차
파면분석기로 측정	$0.041\lambda_{RMS}$	$0.046\lambda_{RMS}$
자이고 간섭계로 측정	$0.036\lambda_{RMS}$	$0.041\lambda_{RMS}$

[표 1] DVD 렌즈의 파면수차 측정 결과

1. Ben C. Platt, Ronald Shack, "History and Principles of Shack-Hartmann Wavefront Sensing", Journal of Refractive Surgery, 17-s, 573-577(2001)
2. R. G. Lane, M. Tallon, "Wave-front reconstruction using a Shack-Hartmann sensor", App. Opt., 31, 6902-6908(1992)
3. G. Y. Yoon, J. Takahisa, N. Masahiro, N. Sadao, "Shack-Hartmann wave-front measurement with a large F-number plastic microlens array", App. Opt., 35, 188-192(1996)

T
P