

파면 측정을 위한 샤-하트만 센서 시스템 구성 및 검증에 관한 연구

A Study on the Makeup and Verification of Shack-Hartmann Wavefront Sensors

김지연, 엄태경, 노경완, 박상훈, 이준호*, 윤성기
한국과학기술원 기계공학과, *국립공주대학교 영상광정보공학부
ele1111@kaist.ac.kr

샤-하트만 센서는 렌즈릿 배열을 사용하여 광학계의 정확도를 평가하는 목적으로 사용되고 있다. 평행광이 렌즈릿 배열을 통과할 때 각각의 렌즈에 의해 초점이 맺히게 되어 초점 평면의 영상은 점들의 배열 형태로 나타난다. 이 때 기준 파면에 대한 점 영상의 위치 변화가 파면의 기울기와 선형적인 관계를 갖는다는 원리를 이용해 파면을 측정하는 방법이다.

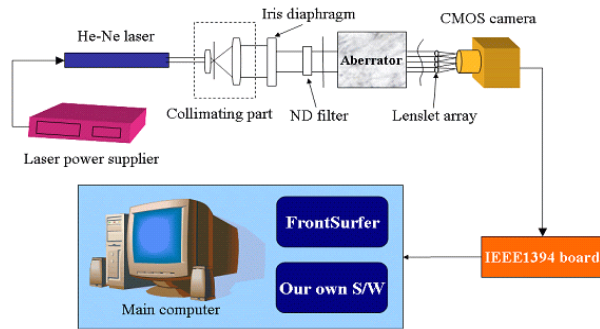


Fig. 1 샤-하트만 센서 시스템의 구성도

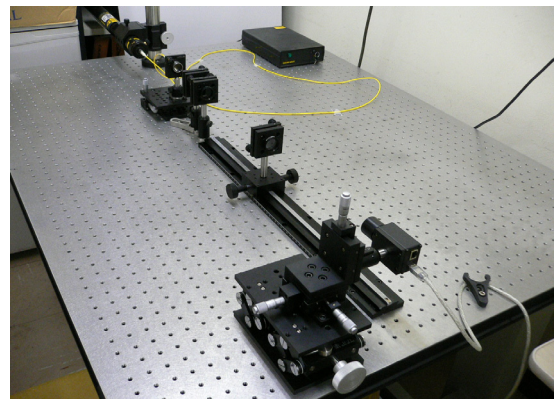


Fig. 2 샤-하트만 파면 측정 센서

Fig. 1에 샤-하트만 센서를 이용한 파면 측정 시스템 전체의 구성도를 나타냈다. 레이저 광원으로 가시광선 영역의 He-Ne 레이저를 선택하였다. 점 영상을 받아들이기 위한 카메라는 CMOS 타입, IEEE 1394방식의 디지털 카메라를 이용하였다. 렌즈릿 배열은 적용하고자 하는 적응광학 시스템에 따라 크기, 초점 거리 및 피치 등을 결정하게 되는데 16×16 의 배열크기를 갖는 렌즈릿 배열을 선정하였다. 선정된 렌즈릿 배열의 피치는 0.3mm이고 초점 거리는 40mm이다. Fig. 2는 구성한 샤-하트만 파면 측정 센서의 모습을 나타내고 있다.

샤-하트만 센서를 통한 파면 측정을 수행하기 위한 절차는 다음과 같다. 우선 기준 점 영상이미지를 얻기 위하여 평행광을 렌즈릿 배열에 통과 시킨 후 CMOS 카메라를 통하여 영상을 획득하며, 이로부터 얻은 기준 점 영상의 중심점을 계산한다. 앞서 구한 기준 점 영상에 대한 상대적인 수차를 측정하기 위해서, 측정하고자 하는 오차를 가진 파면에 대한 영상을 샤-하트만 센서로부터 획득한다. 중심점 측정 알고리즘을 이용하여 각각의 점 영상에 대해서 기준 점 영상으로부터의 상대적인 변위를 구하고 변위와 기울기 관계식 및 파면 복원 방법에 따른 관계식을 적용해서 파면 복원을 수행한다. 이 때, 중심점 측정 알고리즘으로는 상관 관계법(correlation method)을 사용하였고 파면 복원 방법으로는 Southwell 방법을 사용하였다.

구성한 삭-하트만 센서를 이용하여 파면 측정을 수행할 때, 파면 측정의 정확도를 검증해 보아야 한다. 렌즈 배열과 광원사이에 렌즈를 놓고 렌즈의 초점 평면을 렌즈 배열에 위치시키면 렌즈 배열에 초점이 맺힌다. 그리고 렌즈를 렌즈 배열의 반대 방향으로 점진적으로 이동 시키면 렌즈의 이동거리가 렌즈 배열에 도달하는 구면파의 반경이 된다. 이 때 렌즈 배열에 도달하는 구면파의 반경과 디포커스 수차와의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.⁽¹⁾

$$R_{shpere} = -\frac{r_p^2}{4\sqrt{3}C_4}$$

R_{shpere} : Radius of curvature

r_p : Radius of the pupil

C_4 : Zernike coefficient describing defocus

Fig. 3은 6×6 렌즈 배열을 사용한 디포커스 측정 실험 후 측정된 데이터를 이용해서 유효 초점 거리를 계산하여 센서를 보정하여 얻은 결과 그래프를 나타낸 것이다. 구면파의 곡률반경을 150mm에서 400mm까지 변화시키면서 파면 오차를 측정하였다.

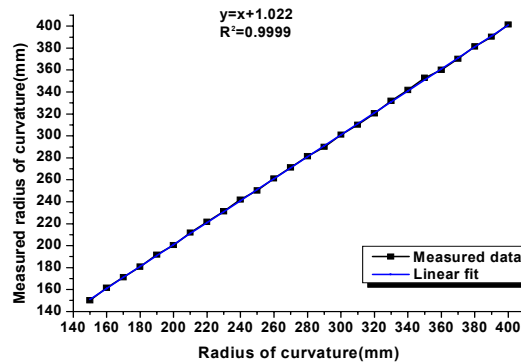


Fig. 3 디포커스 측정 실험 결과

이 실험을 통해서 입력 파면의 곡률 반경에 대한 측정 파면 곡률반경의 오차는 최대 1% 이내로 일치하는 결과를 얻었으며 구성된 삭-하트만 파면 측정 센서로 정확하게 파면 측정이 가능함을 확인하였다.

본 연구는 한국과학기술원 영상정보특화연구센터를 통한 국방과학연구소의 지원을 받은 것입니다.

참고문헌

1. Emma Eriksson, "Low-order aberration correction with a membrane deformable mirror for adaptive optics", Chalmers University of Technology : Master' thesis, Sweden (2004).