

# 입사 파면의 세기에 따른 삭-하트만 파면센서의 성능 변화 조사

## Investigation to Performance Variation Of Shack Hartmann Wavefront Sensing Due to Pupil Irradiance Profile

이준호<sup>1</sup>, 강응철<sup>2</sup>, 이영철<sup>2</sup>, 천호정<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국과학기술원, 인공위성연구센터, <sup>2</sup>국방과학연구소, <sup>3</sup>삼성탈레스(주)  
jhl@satrec.kaist.ac.kr

### I. 서론

삭-하트만(Shack-Hartmann) 파면 센서는 적응 광학, 광학 측정, 안과 측정 등의 많은 분야에서 파면 측정 기구로서 많이 활용되는 장비 중의 하나이다. 파면 측정기는 작은 렌즈(Micro-lens)들의 조합에 의하여 형성된 각 상의 중심점 추정하고, 추정된 중심점으로부터 각 렌즈 영역에서의 평균 기울기를 나타내는 값으로 변환하여 파면 수차를 측정한다 (그림-1). 이 때 측정된 파면 수차의 정밀도는 파면 재구성 알고리즘에 의해도 영향을 받기도 하나, 상당부분 검출기 노이즈, 유한한 크기의 검출기 크기, 수차에 의한 점영상의 비대칭화 등에 의하여 제한되는 중심점 추정 정밀도에 의하여 결정된다. 본 논문은 현재까지 발표되지는 않았으며 실제 삭-하트만 센서의 구성에 있어 발생할 수 있는 입사 파면의 비균일 강도에 따른 파면 측정 성능 변화를 조사 발표한다.

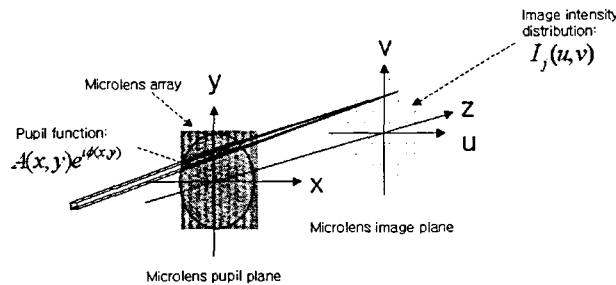


그림 1. 삭-하트만 센서의 개념도

### II. 이론 및 전산 모사

삭-하트만 센서의 각 렌즈에 의하여 형성되는 중심점은 식 (1)과 같이 정리될 수 있으며, 각 마이크로 파면의 강도가 렌즈 입사면에서 일정한 경우에, 식 (2)에 보여지듯 중심점이 평균 파면 기울기와 선형 관계를 갖게 된다. 따라서 파면의 강도가 균일하지 않은 경우에 중심점으로부터 재구성된 파면은 왜곡된 정보를 갖을 수 있으므로, 그림-2에서 보여지는 전산모사를 통하여 성능 저하를 조사하였다.

$$C_u^j = \frac{\lambda f}{2\pi} \frac{\iint W_j(x,y) I_j(x,y) \nabla_x \phi_j(x,y) dx dy}{\iint W_j(x,y) I_j(x,y) dx dy} \quad \dots(\text{식.1})$$

$$C_u^j = \frac{\lambda f}{2\pi A_s} \iint W_j(x,y) \nabla_x \phi_j(x,y) dx dy \quad \dots(\text{식. 2})$$

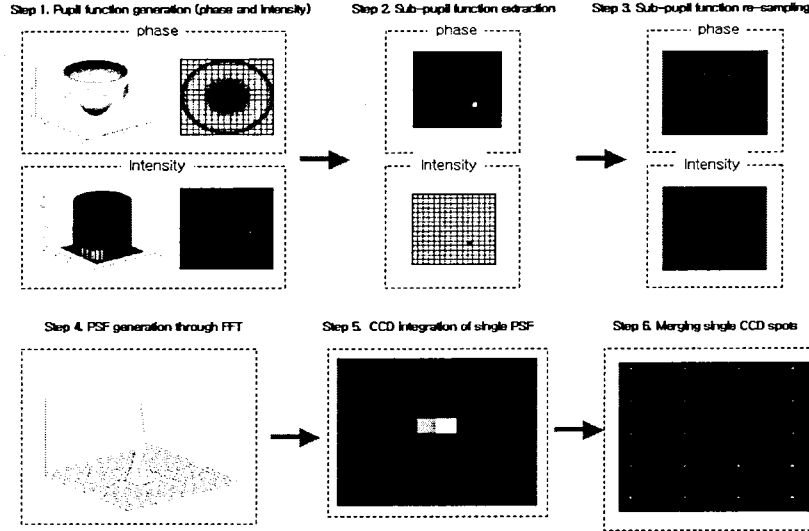
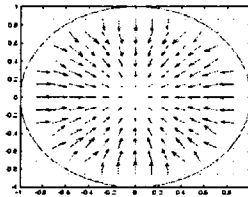


그림 2. 삭-하트만 파면 센서의 전산 모사

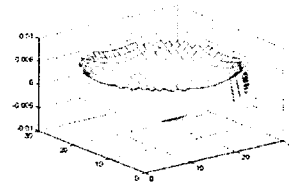
### III. 결론

본 전산 모사는 일반적으로 삭-하트만 센서에서 발생하는 레이저 광원에 따른 Gaussian Intensity 변화와 빔 분리의 이중 반사에 의하여 발생하는 간섭에 따른 강도 변화를 주요 대상으로 삼았으며, 아직 검출기의 노이즈는 고려하지 않았다.

이러한 경우 기준 파면과 측정 파면이 동일한 레이저 광원으로 구성되어 있고, 검출기가 이상적이라 할 때 두 경우 모두 측정 정밀도에 주는 영향은 실제적으로 무시할 만다는 것을 알았다. 하지만, 기준 파면과 측정 파면의 광원 또는 광경로의 차이에 의한 강도가 일치하지 않거나 검출기 노이즈가 발생하면, 검출기의 성능은 저하될 것으로 예상되며, 정확한 수량적 성능 조사에 대하여는 추가로 연구될 것이다.

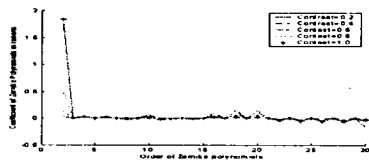


a) The centroid movements.

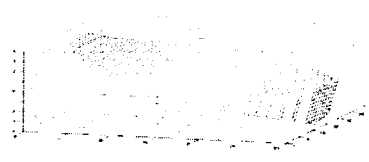


b) 3D phase field.

그림 3. 기준 파면은 이상적인 광원으로 형성되고, 측정 파면은 Gaussian 레이저 파면으로 형성되는 경우, 평면파의 측정 파면은 삭-하트만 센서에 의하여 구면 수차 및 초점면 이동 수차로 인식된다.



a) Decomposed sensing errors.



b) Reconstructed wavefront when the contrast is 1.

그림 4. 측정 파면에서만 간섭 현상이 발생하는 경우, 삭-하트만 센서의 기울기 정도에 오류가 발생한다.