

가시광 레이저 파면측정을 위한 Shack-Hartmann 파면센서 개발

The Development of Shack-Hartmann Wavefront Sensor for the Measurement of Visible Laser Wavefront

이재일*, 이영철, 고해석, 허준, 강응철
국방과학연구소 기술연구본부
e-mail : jerry@add.re.kr*

I. 서론

본 논문에서는 가시광 레이저에 적용 가능한 Shack-Hartmann(S-H)파면센서 설계 및 개발결과를 제시하였다. 또한, 시제 제작과 자체 시험절차 및 시험방법을 통하여 요구 성능항목을 측정하였으며, 파면측정율은 10Hz, 파면측정 정밀도는 약 $\lambda/10$ 이하를 달성하였다.

II. 본론

S-H 파면센서를 설계할 때 가장 중요한 점은 실시간 처리 보장과 함께 정확하게 파면을 측정해야 한다는 것이다^[1]. 이를 판단하는 변수는 일반적으로 파면측정율과 파면측정 정밀도이며, 본 논문에서의 S-H센서 설계목표에서는 파면측정율은 10Hz로, 파면측정 정밀도는 RMS(root mean square)값을 기준으로 $\lambda/10$ 이하(@ $\lambda=0.6328\mu\text{m}$)로 설정하였다. 파면측정율은 CCD 검출기 영상출력과 영상 데이터양, 파면복원 기법, 파면신호처리기의 연산능력에 의존한다. 이를 고려하여, 파면신호처리와 파면전시를 실시간으로 처리하기 위해 3.2GHz와 3.0GHz 두 대의 PC 기반 처리 구조로 파면센서를 구성하였다. CCD 카메라는 PULNIX사의 TM-7CN모델을 선정하였으며, RS-170 영상형태와 비일주사형의 30Hz 영상출력을 가진다. 입사하는 레이저빔 파면은 18×18 lenslet에 의해 공간 샘플링되고 CCD 카메라 초점면에 점 영상(spot image)으로 영상화된다. lenslet은 초점거리가 20mm, subaperture 직경은 480 μm 그리고 구경형상은 사각형 형태를 적용하였다. 점 영상을 획득하기 위한 영상획득장치로는 MATROX사의 Meteor-II/MC4 모델을 선정하여 적용하였다. 점 영상은 640×480 크기의 8bit 디지털 영상으로 변환되고, 파면신호처리에 의해 일련의 신호처리 후 파면이 복원된다.

파면측정 및 파면복원 신호처리 흐름도는 그림 1과 같다. 그림 1 상단의 S-H 점 영상 획득을 시작으로, 하단의 파면전시까지 신호처리 기능을 개념적으로 나타내었다. S-H 점 영상을 획득하면, CCD 검출기나 광자잡음에 기인한 시간잡음을 제거하기 위하여 3 frame/sec로 영상평균을 실시한다. 그리고, S-H 점 영상의 중심좌표를 추정하기 위해서 thresholding 처리와 함께 무게중심 추정법(mass centroid estimation)^[2]을 수행한다. 추정된 좌표 값으로부터 파면의 국부 기울기와 전역 기울기를 함께 추정하고, Southwell 복원 모델^[1]의 형상행렬(geometry matrix)을 특이값 분해(singular value decomposition)기법으로 유사역행렬(pseudo-inverse matrix)처리하여 파면을 복원하였다. 이 과정들은 파면신호처리기(wavefront processor)에서 수행된다. 복원된 파면정보는 운용PC로 TCP/IP 방식을 이용해 전송되고, 최종적으로 cubic B-spline 기법^[2]을 적용하여 2 - 4배까지 선택적으로 파면 보간을 실시한 후, 3차원 OPD(optical path difference) 영상으로 화면에 전시된다. 성능평가를 위해 그림 2의 시험장치를 구성하

였으며, 임의 파면왜곡은 형상가변거울(deformable mirror)을 이용해 발생시켰다. 성능비교를 위해 $\lambda/100$ 측정정밀도를 가지는 AOA사의 WaveScope 파면계측기를 기준자료로 사용하였다. 파면측정 및 복원 결과를 그림 3에 나타내었다. 정성적인 관점에서, 개발한 S-H 파면센서로 측정한 파면 형상은 파면계측기 결과와 매우 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 또한, 그림 3의 결과에 대한 정량적인 값을 함께 측정하여, 표 1에 나타내었는데, 모두 약 $\lambda/10$ 이하의 결과를 얻었다.

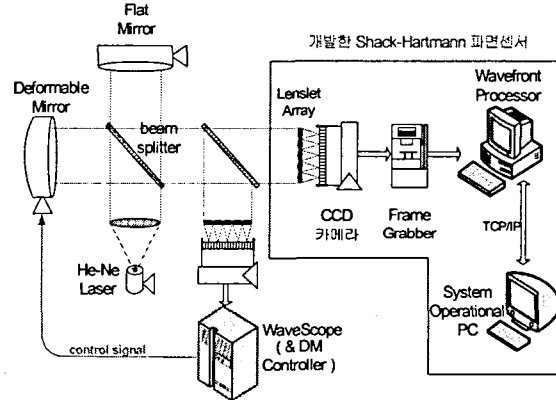
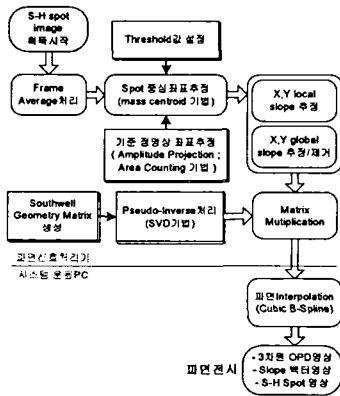


그림 1. 개발한 S-H파면센서 신호처리 흐름도 그림 2. 성능측정을 위한 시험장비 구성도

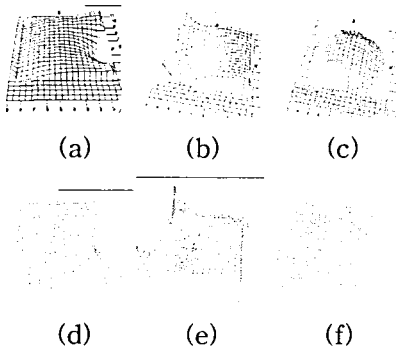


그림 3. He-Ne 레이저 파면측정 결과

표 1. 정량적인 파면측정 값 비교

RMS(μm)			
WaveScope ⁽¹⁾	그림 3(a)	그림 3(b)	그림 3(c)
	0.1396	0.1942	0.1525
개발한 S-H 센서 ⁽²⁾	그림 3(d)	그림 3(e)	그림 3(f)
	0.1470	0.201	0.1560
ΔRMS (= ①-②)	0.0074	0.0068	0.0035

III. 결 론

본 논문에서는 가시광 레이저 파면을 측정할 수 있는 Shack-Hartmann 파면센서 설계, 제작 결과를 제시하였다. 또한 각 구성요소의 설계값과 적용한 파면측정 및 파면복원 신호처리 알고리즘도 함께 제시하였다. 개발한 Shack-Hartmann 파면센서를 사용하여 실제 He-Ne 레이저 파면을 측정한 결과, 파면 측정율은 10Hz, 파면측정 정밀도는 약 $\lambda/10$ 이하를 달성하였다.

참고문헌

1. Robert K. Tyson, Principles of Adaptive Optics, Academic Press, 2nd Ed., 1998
2. Gregory A Baxes, Digital Image Processing, John Wiley & Sons, 1994

FC