

파면 보정을 위한 폐회로 적응광학계 개발

Development of Closed-loop Adaptive Optics system for Wavefront Correction

서영석*, 백성훈**, 박승규**, 김철중**

*충남대학교 물리학과, **한국원자력연구소 양자광학기술개발팀

ex-sys@nanum.kaeri.re.kr

원자력 산업에서는 레이저진동측정기와 같은 원격/비접촉 측정기술이 많이 사용된다. 가동 중인 연구용 원자로의 핵연료 진동측정 같은 경우도 이러한 원격측정기술이 요구되고 있으나, 측정 대상체가 유동하는 유체 안에 있으므로 입사한 레이저의 파면이 변형되어 레이저진동측정기의 적용이 어렵다. 적응광학계(adaptive optics system; 또는 능동광학계)는 유동 층에서 변형된 파면을 파면측정 센서로 측정하고, 변형거울(deformable mirror)등의 파면보정 장치를 사용하여 파면을 보정하는 기술이다. 본 연구에서는 Shack-Hartmann 파면측정센서를 개발하고, 변형거울과 파면측정센서를 컴퓨터에 연결하여 레이저 파면의 왜곡상태를 폐회로(closed-loop)로 보정하는 장치를 개발하였다.

적응광학 실험 장치는 그림1과 같이 변형거울과 파면측정센서, 분석 및 제어용컴퓨터 등으로 구성되었다. 실험용 광원으로 He-Ne 레이저를 사용하였고 membrane 방식의 다른 변형거울을 사용하여 인위적인 파면왜곡을 인가하였다. 변형거울의 작용함수(influence function)를 구하고, 파면왜곡 상태를 감지하기 위하여 간단한 Fizeau 간섭계를 실험장치에 구성하였다. 파면의 왜곡 정도를 측정하기 위한 파면측정센서는 Shack-Hartmann 방식으로, lenslet array와 CCD 카메라, 그리고 영상처리 장치로 구성된다. Lenslet array는 초점거리가 45mm이고, 구경이 500 μ m인 에폭시 microlens가 7 \times 7mm의 크기에 정방형으로 배열되어 있다. CCD 카메라는 interline transfer 방식이며, 640 \times 480 pixel을 영상처리 보드에서 획득하여 처리하였다. 파면 보정을 위한 변형거울(Xinetics Inc.)은 지름이 42mm 이고, 37 채널의 PMN 작동기(actuator)로 구성되어 있으며, 각 작동기의 최대 변위는 5 μ m이다.

레이저빔에 의해 형성된 파면이 lenslet array에 입사되면 각각의 lenslet에 의해 나누어지고, lenslet array의 초점 면에서 각각의 spot은 파면의 국소적인 기울기의 양에 비례하여 이동된다. 초점 면에서 spot의 변위는 CCD 카메라로 획득하고 중심점 추출 알고리즘에 의해 계산된다. 파면의 국소적인 경사를 결정한 후, 수직, 수평 방향에서의 기울기를 최소제곱법 방식으로 통합하여 전체 위상을 재구성한다.

폐회로 파면보정 실험은 먼저 변형되지 않은 파면을 파면측정센서를 사용하여 측정하고, 측정된 임의의 왜곡된 파면을 폐회로에 연결된 변형거울을 통해 보정하는 방식으로 이루어졌다. 파면 측정센서에서 CCD 카메라로부터 전송된 영상을 컴퓨터로 분석한 결과 픽셀의 1/15까지 spot의 변위를 측정할 수 있었다. 그림 2와 그림 3은 실험결과를 나타낸 것으로, 보정전 파면의 P-V(peak to valley)치는 3.48 λ 인데 비해, 보정 후는 0.46 λ 로 약 8배 정도로 보정된 결과를 얻었다. 파면 기울기를 이용한 파면 보정 속도는 파면의 기울기를 직접 이용하여 변형거울을 구동하는 방식의 경우 약 3Hz이며, 기울기 정보로부터 파면정보를 구성하여 보정하는 경우는 1Hz까지 측정이 가능하였다. 현재 파면측정센서의 정밀도를 향상시키고, 속도를 향상시킬 수 있도록 파면 재현 알고리즘의 최적화 연구를 수행 중이다

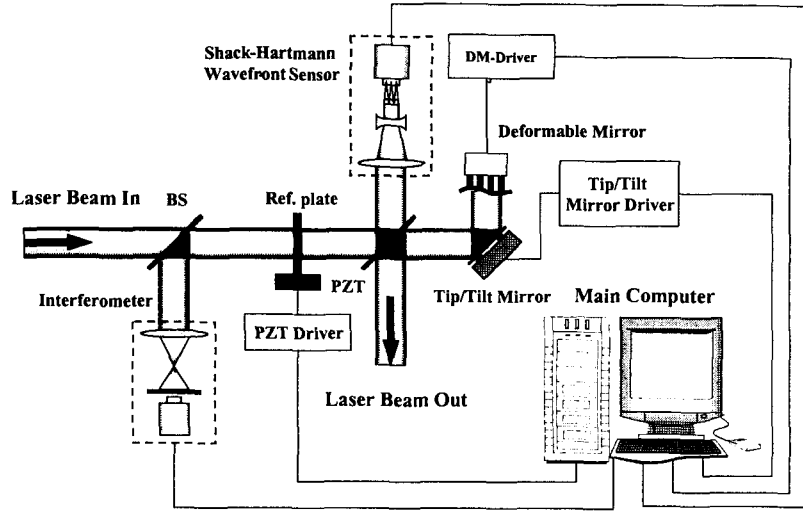


Fig. 1. Schematic diagram of closed-loop adaptive optics system.

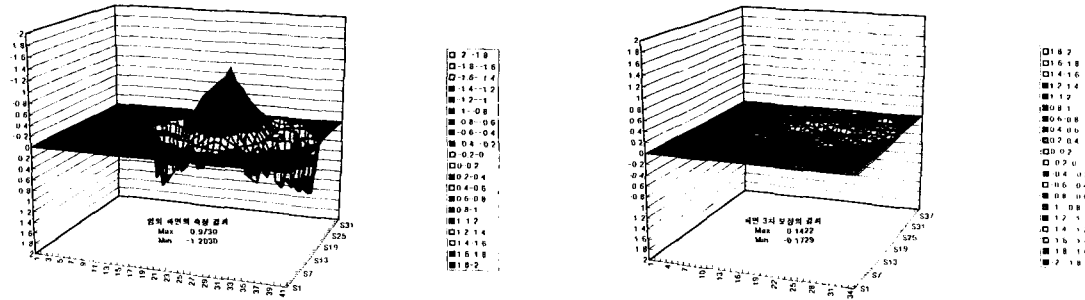


Fig. 2. Wavefront of tested laser beam. Fig. 3. Wavefront of compensated laser beam

참고문헌

1. D. L. Fried, "Least square fitting a wavefront distortion estimate to an array of phase-difference measurements", J. Opt. Soc. Am., Vol. 67(3), pp. 370-375 (1977).
2. R. H. Hudgin, , "Wavefront reconstruction for compensated imaging", J. Opt. Soc. Am., Vol. 67(3), pp. 375-378 (1977).
3. J. W. Hardy, "Active optics: a new technology for the control of light", Proc. IEEE Vol.66(6), 651-697 (1978)

후 기

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었음.