

## 정밀 이송대의 회전각 측정을 위한 초소형 자동시준기 제작과 평가

### A compact autocollimator for angular motion measurement of a precision stage

조미정\*, 공홍진\*, 김종안\*\*, 강주식\*\*, 김재완\*\*

\*한국과학기술원 물리학과, \*\*표준과학연구원 길이/시간 그룹  
mani81@kaist.ac.kr

선형이송대가 직선운동을 할 때 수반되는 기생운동인 회전은 이송대의 성능을 제한하는 중요한 오차요인이다. 정밀한 측정이나 가공 장비일수록 이송대의 회전각인 피치(pitch)와 요(yaw)를 측정, 평가, 보정해서 사용할 필요가 있다. 회전각의 측정에는 비접촉식 각도 측정기인 자동시준기를 많이 사용한다. 이송대의 회전운동 특성은 이송대가 받는 하중이나 설치 조건과도 밀접한 관계가 있으므로 이송대만 분리해서 측정하는 것보다는 원래의 장비에 장착된 상태로 측정하는 것이 더 유용하다. 이 경우 자동시준기의 센서 크기가 작을수록 측정의 제약이 작으므로 감도가 높은 소형 센서가 필요하다.

최근에는 PSD (position-sensing device)와 QPD(quadrant photodiode)를 측정 센서로 이용하여 크기를 90(L) mm까지 줄일 수 있었다.<sup>(1)</sup> 그러나 이를 실현하기 위한 실험 장치가 복잡하고, 고분해능을 유지하기 위하여 긴 초점거리를 가진 시준 렌즈를 사용하기 때문에 자동 시준기의 크기를 줄이는 데 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해서는 실험 장치를 간단히 하고, 짧은 초점거리를 가진 시준 렌즈를 사용해야 한다. 하지만 각도 분해능은 초점거리에 반비례한다. 초점거리를 짧게 유지하면서 높은 각도 분해능을 유지하기 위해서는 측정센서의 위치 분해능이 높아야 한다. 측정센서의 위치 분해능은 센서의 크기가 작을수록, 빔의 크기가 작을수록 높아진다. 이러한 사항들을 고려하여 자동 시준기를 설계하였다.

본 연구에서 제작한 자동 시준기의 실험 장치는 그림 1과 같다. 광원으로는 633 nm의 헬륨-네온 레이저를 사용하였고 단일모드 광섬유를 통해 그림 1과 같이 광섬유 커넥터 부분으로 입사한다. 입사한 빔은 BS에서 둘로 나뉘진 후 시준 렌즈를 통과하여 평행하게 된 후, 평가를 수행할 거울(test mirror)에서 다시 반사된다. 다시 반사된 빔은 BS에서 반사되어 PSD에서 초점을 맺는다. 사용된 PSD의 (Hamamatsu S7848-01) 측정영역은 2 mm × 2 mm이고 회로의 분해능은 0.04 μm이다. 테스트 거울의 각도 변화에 따라 초점의 위치는 민감하게 변화하고, 이 변화에 따라 PSD의 전압 값이 변화하는 것을 이용하여 각도 변위를 측정한다. 이 실험 장치는 전체 크기가 25(L) mm × 20(W) mm × 25(H) mm 이며, 분해능은 0.2 arcsec로 설계되었다. 또한, 광원 부분을 광섬유 커넥터를 사용하여, 오토콜리메이터를 설치할 부분에서 다시 정렬을 하지 않고, 어느 곳에서나 광섬유 광원을 커넥터에 연결해서 사용할 수 있으며, 측정 센서로 PSD를 사용하여 동시에 2차원 각도 정밀 측정이 가능하다.

측정 센서로서 사용된 PSD는 중심 근처에서는 초점의 위치에 따라 선형적인 전압변화율을 보이지만, 그 외의 부분에서는 비선형성을 나타내기 때문에 측정할 수 있는 각도 영역이 제한된다. 이러한 PSD의 비선형성을 보정하고, PSD 자체의 결함을 보완하기 위해 0.07 arcsec의 불확도를 가지고 있는 교정 시스템을 이용하여 교정 알고리즘을 만들고, 이를 컴퓨터에 적용하여 실시간적으로 얻어진 데이터를 교정할 수 있는 시스템을 만들었다. <sup>(2)</sup>

제작된 자동 시준기의 성능을 실험하기 위해 정밀 이송대에 거울을 부착한 후 이송대가 직선운동을 하는 동안 회전 각도를 측정하였다. 측정된 결과는 기준 자동 시준기로부터 얻은 결과와 비교하여 검증하였다.

이번 실험에서 우리가 제작한 자동 시준기는 크기가 매우 작고, 자유자재로 이동이 가능하다. 그리고 실험을 통해 높은 분해능과 안정도를 갖는다는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 자동 시준기는 이송대가 놓여진 위치에서 공간의 제약 없이 설치될 수 있다. 또한 소형 자동 시준기는 이송대의 각도 측정 분야에서 뿐만 아니라, 기계적 시스템의 정확한 정렬 및 교정, 기계 장비의 직각도, 편평도의 측정 등 여러 분야에 사용될 수 있을 것이다.

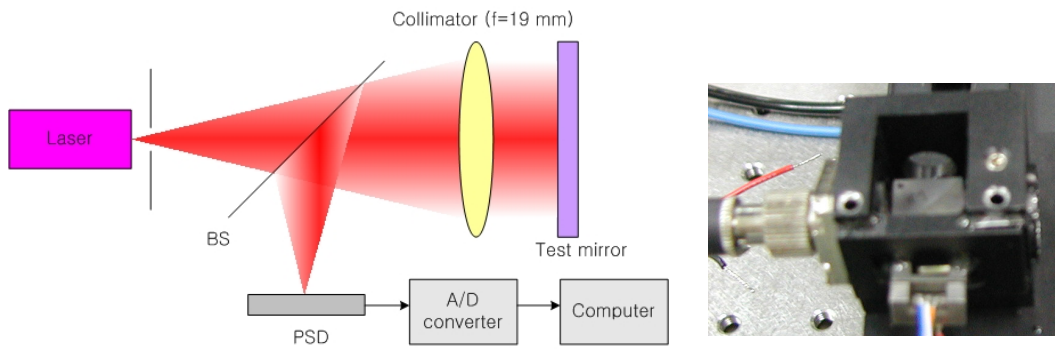


그림 1. 자동 시준기의 구조 및 실험 장치

참고문헌)

1. Wei Gao, *et al.*, "A compact and sensitive two-dimensional angle probe for flatness measurement of large silicon wafers", *Precision Engineering*, V. 26, pp. 396-404 (2002)
2. M.Z. Shen and S. Liao, "A High Precision Dynamic Autocollimator", *Key Engineering Materials* Vols. 295-296 pp. 337-342 (2005)