

확장 트와이만-그린 간섭계를 이용한

직선 운동오차의 실시간 측정

Real-time Measurement of Motion Errors Using

Extended Twyman-Green Interferometry

배은덕, 오정석, 김승우

한국과학기술원 기계공학과 정밀/측정연구실

comnia@kaist.ac.kr

대부분의 가공기 혹은 측정기에 있어 이송테이블은 그 기능수행의 기본을 담당하고 있으며 이송테이블의 운동 정밀도와 고속화는 목표하는 정밀도와 생산성으로 직결된다. 종래에는 형상특성, 열변형 등의 계통 오차만을 오프라인(Off-line)으로 측정하고 소프트웨어적으로 보상하는 방법을 사용하였으나 초정밀 분야에서 요구되는 테이블의 운동정밀도는 기계적 강성한계를 넘는 정밀도이므로, 테이블 이송 시 발생하는 운동오차를 실시간으로 측정하고, 보상할 수 있는 온라인(On-line)개념의 능동형 보상이 필요하다. 다자유도(Multi-Degree-of-Freedom) 오차검출에 관한 연구는 레이저의 직진성과 광 삼각법을 이용한 방법과^{(1),(2)} 트와이만-그린(Twyman-Green)형태의 광 위상 간섭을 이용한 방법⁽³⁾ 등이 있다. 일반적으로 전자의 경우 많은 수의 광 부품들로 복잡하게 구성이 되어있어 실제 구현이 쉽지 않을 뿐만 아니라 그 결과 또한 광 삼각법의 원리적 한계를 뛰어넘지 못하는 것으로 알려져 있다. 본 연구는 확장된 형태의 트와이만-그린 간섭계(이하 5축 간섭계)를 제안 및 구현하여 직선운동을 하는 기계 이송 축에 있어서 진행방향을 제외한 5자유도의 구동 오차성분을 실시간으로 측정하고 보상하는 것을 목표로 한다.

5축 간섭계의 기본 구성은 2개의 트와이만-그린 간섭계의 결합으로 이루어져 광원부, 광선 분할기(BS, Beam Splitter)부, 반사경부, 영상 검출부로 구성되어 있다. 두 개의 반사경이 그림1에서와 같이 서로 수직하게 구성되어, z축 방향으로 직선운동을 할 때 발생하는 구동오차를 실시간으로 측정한다. 이때 각각의 반사경에 대해 3자유도의 오차성분을 검출하며 z축으로의 회전 오차성분(ϕ_z)은 동일한 정보이므로 총 5자유도 오차성분이 검출된다.

광 경로를 살펴보면, 광선 분할기(BS)에서 기준 광과 측정 광으로 분할되며 측정 광은 편광 광선 분할기(PBS1, Polarizing Beam Splitter)에서 각각 두 개의 측정 반사경으로 나누어져 반사되며 프리즘을 통해 편광 광선 분할기2(PBS2)에서 두 개의 영상 검출장치로 각각 입사하여 기준 광과 간섭을 일으킨다.

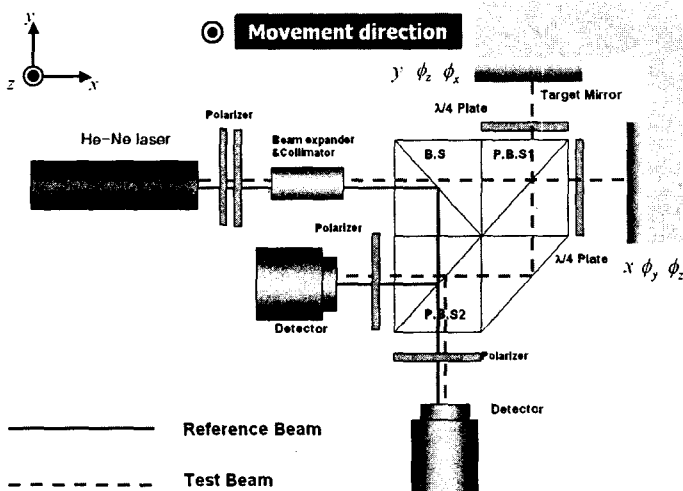


그림 1 5축 간섭계의 기본구성

영상 검출장치는 일반적으로 CCD카메라를 많이 사용하나 보다 빠른 영상검출 및 실시간 보상을 위해 2차원 포토 다이오드배열(Hamamatsu, S7585)을 이용하여 제작하였다.

간섭계의 성능을 검증하기 위한 구동기와 변위 센서로는 압전 구동기로 구동되는 마이크로 스테이지와 Zygo 사의 레이저 인터페로미터(Laser interferometer)를 이용하였다. 실험은 측정기의 잡음수준(Noise level), 레이저 인터페로미터와의 비교, 실시간 구동오차 보상을 각각 수행하였다. 잡음 수준은 30초간 마이크로 스테이지가 정지한 상태에서 측정값의 변화를 측정한 결과 변위 11.2 nm(P-V, Peak-to-Valley), 2.54 nm(S.D., Standard Deviation) 각도 0.17 arcsec(P-V), 0.04 arcsec(S.D.)의 잡음 수준을 나타내었다. 그림 2,3은 마이크로 스테이지의 변위와 각도를 레이저 인터페로미터로 제환 제어(Feedback control) 하면서 선형 및 계단형으로 구동하고 5축 간섭계로 측정한 결과이다. 지면 관계상

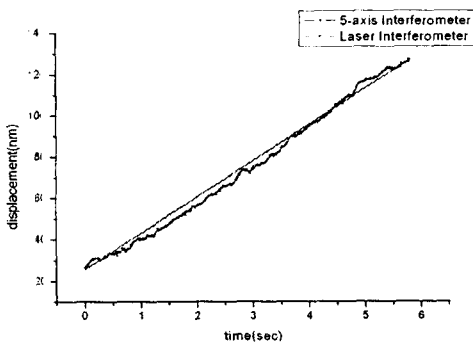


그림 2 선형 구동시의 측정결과 비교(변위)

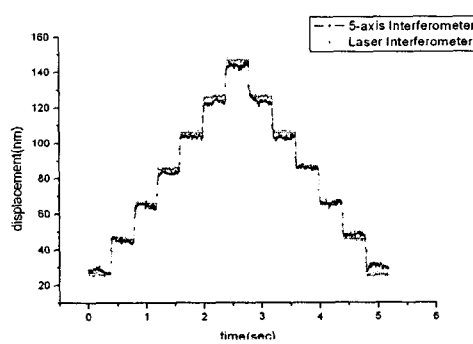


그림 3 계단형 구동시의 측정결과 비교(변위)

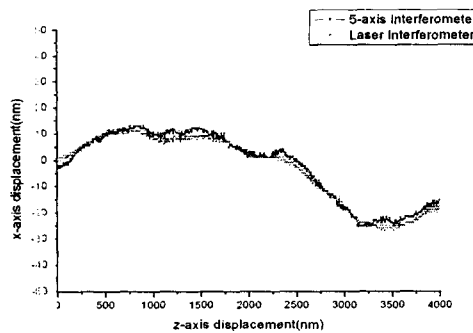


그림 4 보상 실시 전(변위)

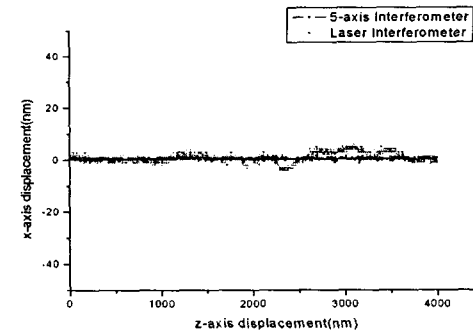


그림 5 보상 실시 후(변위)

변위 11.2 nm(P-V, Peak-to-Valley), 2.54 nm(S.D., Standard Deviation) 각도 0.17 arcsec(P-V), 0.04 arcsec(S.D.)의 잡음 수준을 나타내었고, 이러한 잡음 수준에서 실시간으로 구동 오차의 보상이 이루어졌다.

참고문헌

1. P.S.Huang and J. Ni, "On-Line Error Compensation of Coordinate Measuring Machines", Internal Journal of Machine Tools and Manufacturing, (1995).
2. Kuang-Chao Fan, Mu-Jung Chen, "A 6-degree-of-freedom measurement system for the accuracy of X-Y stages", Precision Engineering,(2000).
3. 이형석, "광위상 간섭을 이용한 기계이송축의 운동오차 측정 및 실시간 보상", 한국 과학 기술원 박사학위 논문, (1994).