

레이저 광학장치를 이용한 온라인 5 자유도 오차측정에 관한 연구

A Study on On-line 5 Degrees of Freedom Error Measurement using Laser Optical System

김진상*(한양대 대학원), 정성중(한양대 공대)
 J.S.Kim*(Graduate School, Hanyang Univ), S.C.Chung (Hanyang Univ)

ABSTRACT

Although laser interferometer measurement system has the advantage of range and accuracy, the traditional error measurement methods for geometric errors(two straightness and three angular errors) of a machine tool measures error components one at a time. It may also create an optical path difference and affect the measurement accuracy. In order to identify and compensate for geometric errors of a moving body, an on-line measurement system for simultaneous detection of the five error components of a moving axis is required. An on-line measurement system with 5 degrees of freedom was developed for geometric error detection. Performance verification of the system was performed on an error generating mechanism. Experimental results show the feasibility of this system for identifying geometric errors of a slide of machine tools.

Key words : Error generating mechanism (오차발생기구), Error measurement (오차 측정), He-Ne laser (헬륨-네온 레이저), Quadrant photo diode(4분할 광센서), 5 degrees of freedom error (5자유도 오차),

1. 서론

운동하는 강체는 z축으로 이동시 Fig.1에 나타낸 것처럼 3개의 각도오차($\theta_x, \theta_y, \theta_z$)와 3개의 선형오차($\delta_x, \delta_y, \delta_z$) 등 모두 6개의 오차 성분을 갖는다.^[1] 종래의 오차 성분 측정법은 롤 오차를 제외한 5개의 오차에 대해 개별적으로 규명하고 있는데, 측정용 기계나 공작기계의 정밀도 향상과 실시간 측정을 위해서는 서로 연관성 있는 오차 성분 전체를 단 한번의 측정으로 동시에 규명해낼 수 있는 측정법의 개발이 필요하다.^[2,3]

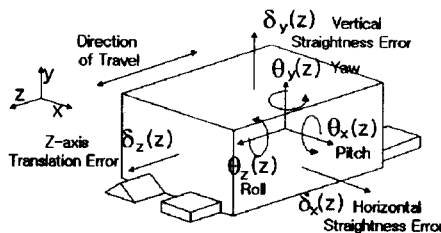


Fig.1 6 DOF errors of a positioning element

3차원 좌표측정기(CMM)와 같은 측정용 기계나 공작기계의 정밀도 향상을 위해서는 그 기계가 갖는 오차를 측정하고 이를 보상하는 것이 필수적이다.^[2,3] 이를 위해서 기계의 수많은 오차를 대표하는

몇 가지 오차를 측정하는 측정장치가 사용되며, 레이저 광학 장치를 많이 이용한다. Ni^[2-4] 등은 레이저 광학 장치를 CMM의 오차 보상에 응용하였으며, 오차보상 방법을 제안하였다.

기계 가공중에 열응력, 하중변화, 외란 등의 원인으로 공작기계 자체의 특성변화에 기인하여 시간에 따라서 오차가 발생하며^[4] 시간에 따라서 발생하는 오차를 측정하기 위해서는 가공하면서 실시간(on-line)으로 오차를 측정하는 것이 필요하다. 또한 산업 현장에서 측정을 위하여 장시간 기계를 멈추는 것은 생산성을 떨어뜨리기 때문에 실시간으로 측정하는 것이 효율적이다.^[4,5]

본 연구에서는 실시간으로 5자유도 오차측정이 가능하며, 공작기계나 측정용 기계의 오차보상에 응용 가능한 온라인 5자유도 오차측정 시스템에 관하여 연구하였다. 5자유도 오차를 기하학적으로 모델링하였으며 오차 발생기구를 사용한 실험에서 최대 측정오차가 수평진직도는 20 μm , 수직진직도는 10 μm , 피치(pitch)는 30 sec, 요(yaw)는 25 sec, 롤(roll)은 34 sec임을 확인하였다.

2. 시스템의 구성 및 동작

5자유도 오차측정 시스템은 크게 광학 부분과 신호처리를 담당하는 전기 부분으로 나누어진다. Fig.2는 실제 실험장치의 전경을 보여주고 있으며, 각 부분의 구성 및 동작은 다음과 같다.

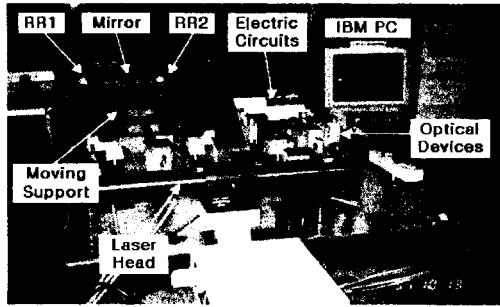


Fig.2 Overall view of 5 DOF error measuring system

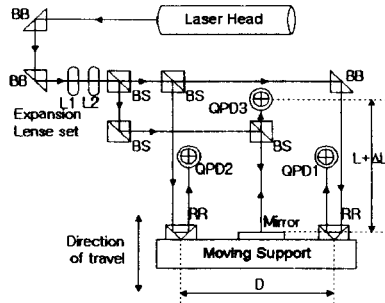


Fig.3 Schematic diagram of optical system

2.1 광학계

광학 부분은 Fig.3에 보는 바와 같이 레이저 헤드, 굴광기(beam bender ; BB), 분광기(beam splitter ; BS), 렌즈(lense; L1, L2), Retroreflector (RR), 반사경(mirror), 4분할 광센서(quadrant photo diode; QPD), 이송대(moving support)등으로 구성된다.^[6,7] 렌즈를 통과한 빛은 지름이 확대되며, 굴광기와 분광기를 거쳐 각각 RR1, RR2, Mirror 에 반사된 후 3개의 4분할 광센서에 입사된다.

2.2 신호처리 장치

Fig.4는 3개의 4분할 광센서(QPD1-QPD3)에서 얻어진 전압 신호를 처리하기 위한 회로의 개략도이다. 연산회로(arithmetic circuit)는 4분할 광센서에서 나오는 전압신호를 수평면 상의 현재 광점(light spot)의 수평방향, 수직방향의 위치를 나타내는 신호로 바꾸어준다. 이 6개의 위치신호는 A/D변환기(A/D converter; DAS20)을 통해 샘플링되어 PC에 입력되며, 5자유도 오차가 계산되어 화면에 출력된다.

3. 5자유도 오차의 해석

3.1 5자유도 오차의 모델링

4분할 광센서 1, 2, 3에 결상되는 광의 수평방향, 수직방향의 위치를 각각 $x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3$ 라 하면 5자유도 오차는 식(1)-(5)와 같이 모델링될 수 있다.

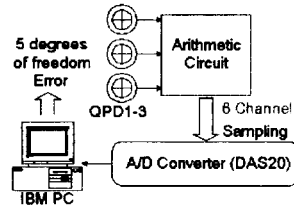


Fig.4 Schematic diagram of electrical system

$$\text{Horizontal Straightness} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{4} \quad (1)$$

$$\text{Vertical Straightness} = \frac{\Delta y_1 + \Delta y_2}{4} \quad (2)$$

$$\text{Pitch} = \frac{1}{2} \sin^{-1} \left(\frac{\Delta y_3}{L + \Delta L} \right) \quad (3)$$

$$\text{Yaw} = \frac{1}{2} \sin^{-1} \left(\frac{\Delta x_3}{L + \Delta L} \right) \quad (4)$$

$$\text{Roll} = \frac{1}{2} \sin^{-1} \left(\frac{\Delta y_1 - \Delta y_2}{D} \right) \quad (5)$$

3.2 4분할 광센서의 신뢰도

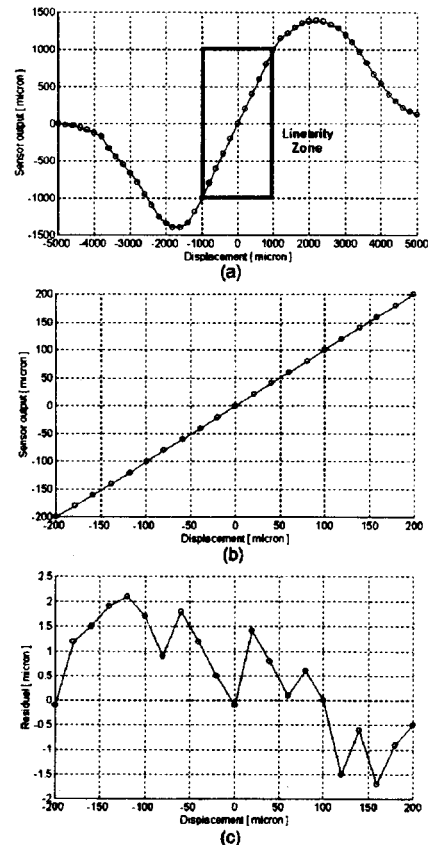


Fig.5 Experimental results of sensor calibration

Fig.5는 본 실험장치에 사용된 4분할 광센서의 선형성과 분해능에 대한 신뢰도를 검증하기 위해 머시닝 센터(machining center; VMC 430)의 한 축을 이동시키면서 실험한 결과를 나타내는 그림이다.^[6] Fig.5 (a)는 ± 5 mm 구간을 광의 위치가 $200 \mu\text{m}$ 씩 이동할 때의 센서 출력으로, 중심에서 ± 1 mm 내에서 선형적임을 나타낸다. Fig.5 (b)는 $\pm 200 \mu\text{m}$ 구간을 광의 위치가 $20 \mu\text{m}$ 씩 이동할 때의 센서 출력이고, Fig.5 (c)는 실제 이동값과 측정값의 차이를 도시한 그림으로 측정오차가 $\pm 2 \mu\text{m}$ 이내임을 알 수 있다.

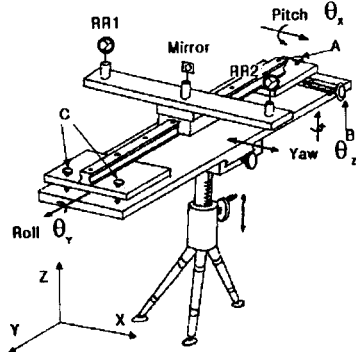


Fig.6 Error generating mechanism

3.3 5자유도 오차의 측정

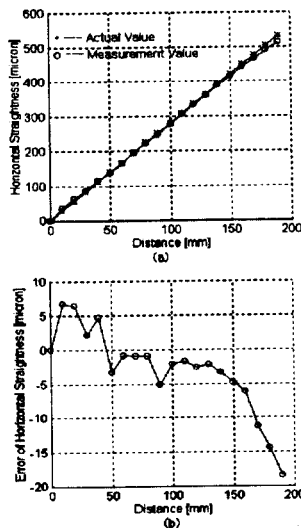


Fig.7 Results of horizontal straightness measurement

측정 시스템의 성능을 검증하기 위해 본 연구에서는 Fig.6과 같은 오차발생기구(error generating mechanism)를 사용하였다. Fig.7과 Fig.8은 오차발

생기구상의 리니어 가이드를 10 mm 씩 200 mm 구간을 이동시키면서 수평, 수직 직진도를 측정 한 결과를 보인 것이다. 이 장치는 10 mm마다 수평 직진도는 $28 \mu\text{m}$, 수직 직진도는 $16 \mu\text{m}$ 만큼씩 증가하도록 조절되었다. 수평, 수직 직진도 측정에서 측정 오차가 각각 $20 \mu\text{m}$, $10 \mu\text{m}$ 이내에 분포함을 알 수 있다.

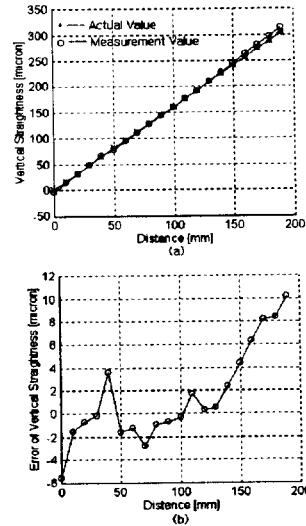


Fig.8 Results of vertical straightness measurement

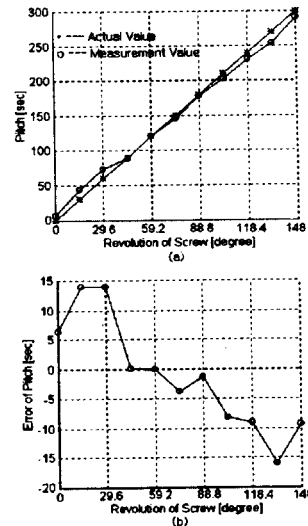


Fig.9 Results of pitch measurement

오차발생기구상의 나사피치가 1.26 mm 로 동일한 A,B,C 나사를 일정각도만큼 회전시킴으로써 피치, 요, 롤 등을 일정량만큼씩 증가시킬 수 있다. A 나사와 C나사간의 거리는 357 mm 로써 A나사를

14.8°씩 회전시키면서 이송대의 피치를 30 sec 만큼씩 증가하도록 하였고, B나사도 같은 방법으로 12.4°씩 회전시키면서 이송대의 요를 25 sec 만큼씩 증가하도록 하였다. Fig.9와 Fig.10은 이 때의 측정결과를 나타낸다. 두 개의 C나사간의 거리는 166.5 mm 로써 한 개의 C나사를 7.9°씩 회전시키면서 이송대의 롤을 34 sec 만큼씩 증가하도록 하였으며, 이 때의 측정결과를 Fig.11에 나타내었다.

측정 오차는 각각 15 sec, 20 sec, 18 sec 이내임을 알 수 있다. 측정값의 측정 오차 발생의 원인은 센서가 가지는 오차, 오차 발생 기구 자체 오차와 설치상의 오차 등이다.

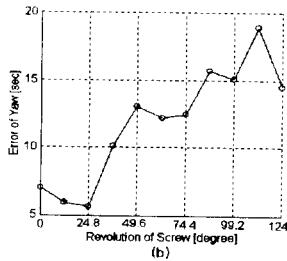
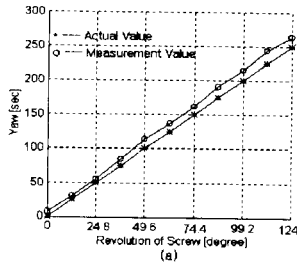


Fig.10 Results of yaw measurement

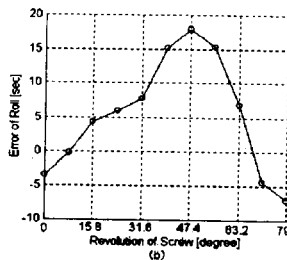
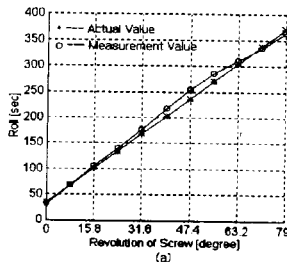


Fig.11 Results of roll measurement

4. 결 론

- (1) 레이저를 이용하여 수평 직진도, 수직 직진도, 요, 피치, 롤 등을 온라인으로 측정할 수 있는 5자유도 오차 측정 시스템을 설계 및 제작하였다.
- (2) 5자유도 오차를 기하학적으로 모델링하였다.
- (3) 오차 발생 기구를 사용하여 최대 허용 오차가 다음과 같음을 검증하였다.

- ① 수평 직진도 최대 오차 : 20 μm / 500 μm
- ② 수직 직진도 최대 오차 : 10 μm / 300 μm
- ③ 피치 최대 오차 : 30 sec / 300 sec
- ④ 요 최대 오차 : 25 sec / 250 sec
- ⑤ 롤 최대 오차 : 34 sec / 350 sec

향후에는 개발된 5자유도 오차 측정 시스템의 절대오차 보정과 머시닝 센터나 3차원 좌표 측정기 등에 적용하는 것이 필요하다.

참 고 문 헌

- (1) H.Slocum, Precision Machine Design, Prentice Hall, 1993.
- (2) J.Ni, S.M.Wu, "An On-Line Measurement Technique for Machine Volumetric Error Compensation", Trans. on ASME, Journal of Engineering for Industry, Vol.115, pp.85-92, 1993.
- (3) P.S.Huang, J.Ni, "On-Line Error Compensation of Coordinate Measurement Machines", International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol.35, No.5, pp. 725-738, 1995.
- (4) J. S. Chen, J.X.Yuan, J.Ni, S.M.Wu, "Real-time Compensation for Time-variant Volumetric Errors on a Machining Center", Trans. on ASME, Journal of Engineering for Industry, Vol.115, pp.472-479, 1993.
- (5) P.A.Mckeown, "The Role of Precision Engineering in Manufacturing of the Future", Annals of the CIRP, Vol.36, No.2, pp.495-501, 1987.
- (6) E.Wagner, et al., Sensors (Optical Sensors) ; Optical Phase-Sensitive Detection, Vol.6, Chapter 13, VCH, 1992.
- (7) F.L. Pedrotti and L.S. Pedrotti, Introduction to Optics, Prentice Hall, 1993.