

정전용량 센서를 사용하여 직선 이송축의 롤 오차 측정에 관한 연구

The Research about the Roll Error Measurement of Linear Axis using Capacitive Sensors

*이광일¹, 이재창¹, #양승한¹

*K. I. LEE¹, J. C. LEE¹, #S. H. YANG(syang@knu.ac.kr)¹

¹경북대학교 기계공학부

Key words : Geometric error, Reversal method, Sequential two point method

1. 서론

초정밀급 부품 수요 증가로 인해 기계 산업에서는 초정밀 가공기가 요구되고 있다. 초정밀 가공을 위해서는 공작기계의 정확한 기하학적 오차 측정, 실시간 보정이 필요하다.¹

공작기계의 기하학적 오차는 다양한 측정 장비들을 이용하여 측정이 가능하다. 롤 오차를 제외한 나머지 직선 이송축의 기하학적 오차는 레이저 간섭계를 이용하여 측정하며, 롤 오차는 전자 레벨이나 정전용량 센서를 이용하여 측정한다. 그러나 전자 레벨은 수직축의 롤 오차를 측정하지 못하는 측정 한계를 가지고 있다. 이와 관련하여 반전법을 이용한 측정 방법을 제안하였으나, 측정된 오차는 셋업 오차의 영향이 누적되는 문제가 있다.²

본 논문에서는 반전법과 축차 2 점법을 동시에 적용하여 롤 오차를 측정하는 방법을 제안한다. 제안된 방법을 이용함으로써, 셋업 오차의 영향을 제거하여 롤 오차를 정확하게 측정한다.

2. 측정 원리

본 논문에서 제안한 측정 시스템은 Fig. 1 과 같이 2 개의 정전용량 센서와 측정 타겟으로 구성한다. 센서의 측정값 m_{ij} ($i, j=1, 2$)은 동차변환행렬(Homogeneous Transform Matrix)을 이용하여 계산하면 식 (1)과 같이 나타낸다. 측정값의 첫 번째 아래 첨자 i 는 측정 순서를 두 번째 첨자 j 는 사용되는

센서를 나타낸다. 또한 $r(x)$ 는 측정면의 형상이고 θ_i ($i=1, 2$)는 측정면의 기울기이며 y_i ($i=1, \dots, 4$)는 초기 정렬 오차이다.

$$\begin{aligned} m_{11,k} &= -r(x_k + w) + \delta_{z1}(x_k) - r\epsilon_{z1}(x_k) \\ &\quad - w\epsilon_{z1}(x_k) + (x_k + w)\tan\theta_1 + y_1 \\ m_{12,k} &= -r(x_k - w) + \delta_{z2}(x_k) - r\epsilon_{z2}(x_k) \\ &\quad + w\epsilon_{z2}(x_k) + (x_k - w)\tan\theta_2 + y_2 \end{aligned} \quad (1)$$

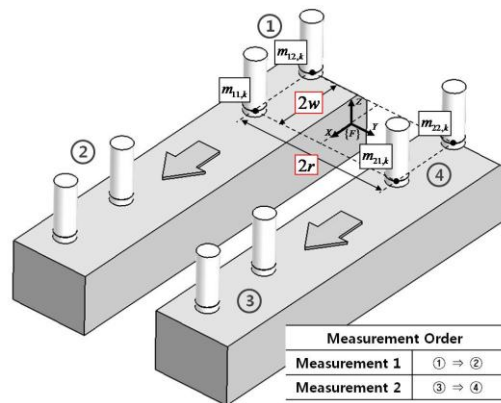


Fig. 1 System configuration

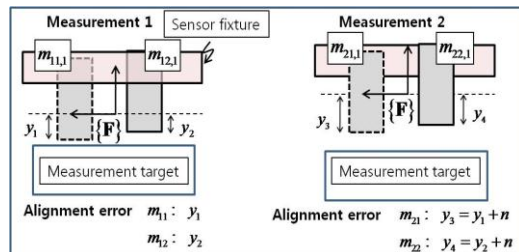


Fig. 2 Initial setup for experiment

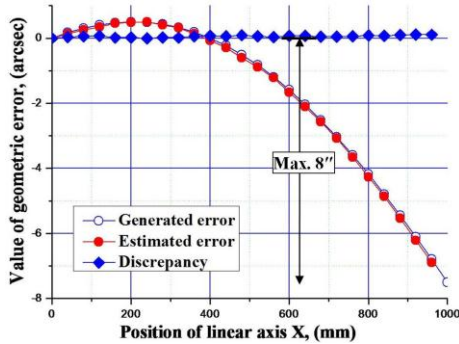


Fig. 3 Simulation result

축차 2 점법을 적용하여 타겟면의 형상 $r(x)$ 및 기울기 오차 θ_i ($i=1,2$) 를 제거 한다.³ 동일한 위치에서의 두 정전용량 센서의 측정값 $m_{11,k}$, $m_{12,k+1}$ 를 이용하여 식 (2)와 같이 나타낸다. 정렬 오차 y_i ($i=1,\dots,4$)는 초기 셋업에 의해 관계가 정의된다. 두 정전용량 센서는 지그에 고정되기 때문에 상대적인 위치 변화량은 일정하며 Fig. 2 와 같이 나타낸다. 정의된 초기 정렬 오차와 식 (2)를 이용하여 롤 오차는 식 (3)과 같이 정리된다.

$$m_{12,k+1} - m_{11,k} = \{\delta_{zx}(x_{k+1}) - \delta_{zx}(x_k)\} - r\{\varepsilon_{xx}(x_{k+1}) - \varepsilon_{xx}(x_k)\} + w\{\varepsilon_{yx}(x_{k+1}) - \varepsilon_{yx}(x_k)\} + (y_2 - y_1) \quad (2)$$

$$m_{22,k+1} - m_{21,k} = \{\delta_{zx}(x_{k+1}) - \delta_{zx}(x_k)\} + r\{\varepsilon_{xx}(x_{k+1}) - \varepsilon_{xx}(x_k)\} + w\{\varepsilon_{yx}(x_{k+1}) - \varepsilon_{yx}(x_k)\} + (y_4 - y_3)$$

$$\varepsilon_{xx}(x_{k+1}) = \frac{1}{2r} \{ (m_{22,k+1} - m_{21,k}) - (m_{12,k+1} - m_{11,k}) \} + \varepsilon_{xx}(x_k) \quad (3)$$

3. 모의실험

직선 이송축의 6 개 기하학적 오차와 초기 셋업 오차, 측정면의 형상을 생성한다. 기하학적 오차와 형상은 각각 4 차 다항식으로 모델링하고, 셋업 오차는 상수로 고려하여 정전용량 센서의 측정값을 계산한다. 그리고 위치오차와 형상오차는 최대 $10\mu\text{m}$, 각도 오차는 최대 $8''$ 의 범위에서 생성한다. 본 논문에서 제안된 측정 방법을 적용하여 롤 오차를 측정하며, 모의실험에 사용된 실험변수는 Table 1 과 같다. 정전용량 센서의 측정 노이즈는 $\pm 10\text{nm}$ 범위에서 균일분포로 가정하면, 생성된 오차와

Table 1 Simulation parameters

parameter	value	parameter	value
r	50 mm	w	20 mm
θ_1	$80''$	θ_2	$-70''$
step	40 mm	range	1000 mm

측정된 오차 및 차이는 Fig. 3 과 같다. 생성된 오차와 측정된 오차의 최대 차이는 $0.1''$ 로 잡음 수준이며, 이는 제안된 측정 방법의 타당성을 나타낸다.

4. 결론

본 논문에서는 2 개의 정전용량 센서와 측정면을 사용하여 직선 이송축의 롤 오차 측정방법을 제안하였으며, 결론은 다음과 같다.

- 반전법과 축차 2 점법을 동시에 적용한 측정 방법 제안.
- 초기 셋업 오차들의 영향을 고려하여 정확한 롤 오차 측정.
- 제안된 측정 방법은 모의실험을 이용하여 타당성 검증.

후기

이 논문은 2010 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2010-0018890), (No. 2010-0020089).

참고문헌

1. Yang, S., Yuan, J. and Ni, J., "Accuracy enhancement of a horizontal machining center by real-time error compensation," Journal of Manufacturing System, Vol. 15, No. 2, pp. 113-124, 1996.
2. 오윤진, 박천홍, 황주호, 이득우 "초정밀 이송테이블의 5 자유도 운동오차 측정," 한국정밀공학회지, 22 권, 11 호, 135-141, 2005.
3. Gao, W. and Satoshi, K., "High accuracy profile measurement of a machined surface by the combined method," Measurement, Vol. 19, No. 1, pp. 55-64, 1996.