

Multi-Points Method 를 이용한 스테이지의 5 자유도 운동 오차 측정 방법

5 DOF Stage Motion Error Measurement Using Multi-Points Method

*김규하¹, #이선규¹

*G. H. Kim¹, #S. K. Lee(skyee@gist.ac.rk)¹

¹광주과학기술원 기전공학과

Key words : Sequential-Two-Points Method, Sequential-Three-Points Method, Multi-Points Method

1. 서론

직선 운동 오차 또는 가공면의 진직도를 측정하는 방법으로 2 개의 변위센서를 사용한 Sequential-Two-Points (STP) Method¹ 또는 3 개의 변위센서를 사용한 Sequential-Three-Points (STRP) Method² 가 있다. STP Method 의 경우 이동 방향에 수직인 운동오차와 진직도를 구할 수 있으나 각운동 오차를 고려하지 않는 단점이 있다. STRP Method 는 이러한 단점을 보완한 방법으로 변위센서를 하나 더 추가함으로써 수직 운동 오차, 진직도와 함께 Pitching 오차를 구할 수 있다.² 그러나 STP Method, STRP Method 모두 Rolling 오차를 고려하지는 않는다.

본 논문은 위에서 언급한 Rolling 오차를 포함한 5 개의 운동오차를 측정하기 위해 STP Method 와 STRP Method 를 결합한 Multi-Points Method 를 제안하였다. 이 방법의 유효성을 확인하기 위해서 운동오차 및 진직도를 함수로 만든 후, 이를 이용하여 센서 출력 신호를 합성하였다. 합성된 출력 신호를 제안한 Multi-Points Method 를 사용하여 운동 오차와 진직도를 계산 후, 이를 센서 출력 신호 합성에 사용된 값과 비교하였다.

2. Multi-Points Method Algorithm

스테이지의 5 자유도 운동 오차 측정하기 위한 변위센서 위치에 대한 간략도는 Fig. 1 와 같다. Multi-Points Method 를 위한 변위 센서 시스템은 3 개의 시스템으로 구성되어 있다.

Sensor System 1,2 는 수직 운동오차, Pitching 오차, Rolling 오차를 측정하며, Sensor System 3 은 수평 운동오차, Rolling 오차, Yawing 오차를 측정한다. 각각의 변위센서의 출력 신호는 운동 오차와 측정면의 진직도에 대해 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$S_{A1}(x) = z_{error}(x) + l_y \epsilon_x(x) - e_{1z}(x) \quad (1)$$

$$S_{B1}(x) = z_{error}(x) + l_y \epsilon_x(x) - e_{1z}(x+l_x) - l_x \epsilon_y(x) \quad (2)$$

$$S_{C1}(x) = z_{error}(x) + l_y \epsilon_x(x) - e_{1z}(x+2l_x) - 2l_x \epsilon_y(x) \quad (3)$$

$$S_{A2}(x) = z_{error}(x) - l_y \epsilon_x(x) - e_{2z}(x) \quad (4)$$

$$S_{B2}(x) = z_{error}(x) - l_y \epsilon_x(x) - e_{2z}(x+l_x) - l_x \epsilon_y(x) \quad (5)$$

$$S_{A3}(x) = y_{error}(x) + l_z \epsilon_x(x) - e_{1y}(x) \quad (6)$$

$$S_{B3}(x) = y_{error}(x) + l_z \epsilon_x(x) - e_{1y}(x+l_x) - l_x \epsilon_z(x) \quad (7)$$

$$S_{C3}(x) = y_{error}(x) + l_z \epsilon_x(x) - e_{1y}(x+2l_x) + 2l_x \epsilon_z(x) \quad (8)$$

위의 식을 이용하여 운동 오차와 진직도를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\epsilon_y(x) = \epsilon_y(x-l_x) + (S_{A1}(x) - S_{B1}(x) - S_{B1}(x-l_x) + S_{B1}(x-l_x)) / l_x \quad (9)$$

$$e_{1z}(x) = e_{1z}(x-l_x) - l_x \epsilon_y(x-l_x) + (S_{A1}(x-l_x) - S_{B1}(x-l_x)) \quad (10)$$

$$e_{2z}(x) = e_{2z}(x-l_x) - l_x \epsilon_y(x-l_x) + (S_{A2}(x-l_x) - S_{B2}(x-l_x)) \quad (11)$$

$$\epsilon_x(x) = (S_{A1}(x) - S_{A1}(0) - S_{A2}(x) + S_{A2}(0)) / 2l_y \quad (12)$$

$$\epsilon_z(x) = \epsilon_z(x-l_x) - (S_{A3}(x) - S_{B3}(x) - S_{B3}(x-l_x) + S_{C3}(x-l_x)) / l_y \quad (13)$$

$$e_{1y}(x) = e_{1y}(x-l_x) + l_x \epsilon_z(x-l_x) + (S_{A3}(x-l_x) - S_{B3}(x-l_x)) \quad (14)$$

$$z_{error}(x) = z_{error}(x-l_x) + (e_{1z}(x) - e_{1z}(x-l_x)) - l_y (\epsilon_x(x) - \epsilon_x(x-l_x)) + (S_{A1}(x) - S_{A1}(x-l_x)) \quad (15)$$

$$y_{error}(x) = y_{error}(x-l_x) + (e_{1y}(x) - e_{1y}(x-l_x)) - l_z (\epsilon_x(x) - \epsilon_x(x-l_x)) + (S_{A3}(x) - S_{A3}(x-l_x)) \quad (16)$$

스테이지가 이동시 거리 l_x 마다 센서 출력을 측정하여 위의 식에 대입함으로써 운동 오차를 측정할 수 있다.

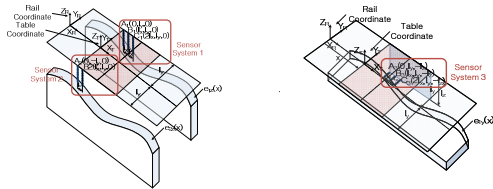


Fig. 1 Schematic Diagram of Sensor System for Multi-Points Method

3. Simulation

Multi-Points Method의 유효성을 확인하기 위해서 운동오차와 진직도를 수학 함수로 정의하고 식(1) ~ (8)을 이용하여 센서 출력 신호를 합성하였다. 합성된 센서 출력 신호를 식(9) ~ (16)에 적용하여 계산된 운동 오차와 진직도를 센서 신호 합성에 사용된 운동 오차와 진직도와 비교하였다. Fig. 2는 계산된 운동 오차와 진직도 결과를 나타낸 것이다. 검정선이 Multi-Points Method의 결과값이고 빨간선이 센서 신호 합성에 사용된 값이다. 파란선은 두 값의 차를 나타낸다. 아래의 그림에서 보듯이 두 값의 차가 이동 거리에 대해 일정하고 두 형태가 같음을 알 수 있다. 이것으로 본 논문에서 제안한 Multi-Points Method의 유효성을 확인하였다.

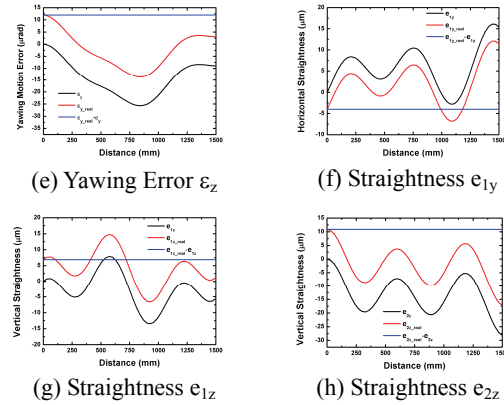


Fig. 2 5-DOF Motion Errors and 3 Straightness Profiles estimated by Multi-Points Method

4. 결론

본 논문은 기존의 Two-Points Method 나 Three-Points Method에서 고려하지 않은 Rolling Error를 고려한 Multi-Points Method를 제안하였다. Multi-Points Method의 유효성을 확인하기 위해서 운동 오차와 진직도를 수학 함수로 정의하고 센서 출력을 합성하였다. Multi-Points Method를 이용하여 계산한 값을 센서 출력 합성에 사용된 값과 비교하였다. 비교 결과 제안한 방법이 5개의 운동오차와 진직도를 분리할 수 있음을 알 수 있다.

후기

이 연구는 기계장비 정밀도 시뮬레이션 플랫폼 기술 개발의 지원을 받았습니다.

참고문헌

1. Tanaka, H., Tozawa, K., Sato, H., O-hori, M., "Application of a New Straightness Measurement Method to Large Machine Tool," Annals of CIRP, **30**, 455-459, 1981.
2. Tanaka, H., Sato, H., "Extensive Analysis and Development of Straightness Measurement by Sequential-Two-Points Method," Trans. ASME J. Eng. Ind., **108**, 176-182, 1986.

