

# a 스테이지 안내면의 진직도 및 평행도 측정을 위한 Multi-Point Method

## Multi-Point Method for Straightness and Parallelism Measurement of Slideway

\*김규하<sup>1</sup>, #이선규<sup>1</sup>, 이차범<sup>1</sup>, 김종현<sup>1</sup>, 이동진<sup>1</sup>

\*G. H. Kim<sup>1</sup>, #S. K. Lee(skyee@gist.ac.kr)<sup>1</sup>, C. B. Lee<sup>1</sup>, J. H. Kim<sup>1</sup>, D. J. Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>광주과학기술원 기전공학부

Key words : Multi-point method, Two-point method, Three-point method, Straightness, Parallelism, slideway

### 1. 서론

공작 기계용 스테이지는 높은 정밀도가 요구되는 요소로 한 쌍의 안내면을 높은 강성을 가진 슬라이드 가이드 또는 유정압 베어링으로 구속하여 이송 방향을 제외한 운동을 제한하도록 설계, 제작된다. 두 안내면의 진직도와 평행도는 베어링과 안내면 사이의 접촉면 변형량, 윤활막 두께를 변화시켜 강성을 변동시킨다. 결과적으로 진직도와 평행도에 의해 직선 이송체의 운동 정밀도에 영향을 미친다. 진직도 측정법은 주로 Two-Point Method<sup>1</sup>, Three-Point Method<sup>2</sup> 등 여러 개의 변위 센서를 이용한 Multi-Point Method 를 사용한다. 기존의 Multi-Point Method 는 단일면에 대한 진직도의 측정만 가능하며 평행한 두 면 사이의 평행도를 고려한 진직도는 측정하지 못한다. 이러한 단점을 해결하는 방법으로 Sequential-Two-Point Method 를 이용, 한 면을 측정하고 나머지 면에 변위 센서 하나를 더한 방법으로 평행한 두 면에 대한 진직도와 평행도를 동시에 측정하는 방법이 고안되었다<sup>3</sup>. 그러나 이 방법은 포개어져 있는 두 면에 대한 것으로 나란히 배열된 면에 대해서 측정 스테이지의 롤링에 의한 오차로 인해 적용할 수 없다.

본 논문은 평행한 나란히 배열된 두 면에 대해 진직도를 측정하는 동시에 두 면 사이의 평행도를 측정하는 방법을 제안하였다. 기준면의 진직도의 측정하기 위해서 Three-Point Method 를 사용하였으며 측정 스테이지의

롤링을 측정하기 위해 같은 면에 2 개의 변위 센서를 사용하였다. 나머지 면의 진직도와 기준면에 대한 평행도를 측정하기 위해서 2 개의 센서를 사용하여 총 7 개의 센서를 사용하였다. 측정 알고리즘의 타당성을 확인하기 위해서 임의의 함수를 이용하여 센서 측정 데이터를 생성, 이를 진직도 측정법을 이용하여 계산한 결과를 센서 측정 데이터의 생성에 사용된 기준값과 비교하였다.

### 2. 진직도 및 평행도 측정 알고리즘

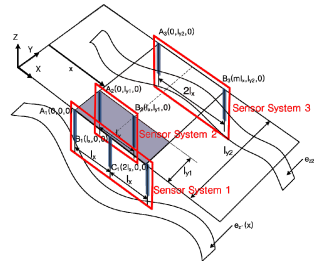


Fig. 1 Schematic Diagram of Sensor System to measure the Straightness and Parallelism

평행한 두 면의 진직도와 평행도를 측정하기 위한 변위 센서의 위치에 대한 간략도는 Fig. 1 과 같다. 센서는 총 3 개의 시스템으로 구성되어 있다. Sensor System 1, 2 는 기준면의 진직도, 측정 스테이지의 수직 운동 오차, Pitching 오차, Rolling 오차를 측정하며, Sensor system 3 은 두번째 면의 진직도 및 기준면에 대한 평행도를 측정한다. 변위 센서의 측정 신호는 운동 오차와 측정면의 진직도에 대해 다음과 같은 선형 관계식으로

표현할 수 있다.

$$S_{A1}(x) = \delta_z(x) - e_{z1}(x) + \delta_{A1} \quad (1)$$

$$S_{B1}(x) = \delta_z(x) - e_{z1}(x + l_x) - l_x \varepsilon_y(x) + \delta_{A1} + \delta_{AB1} \quad (2)$$

$$S_{C1}(x) = \delta_z(x) - e_{z1}(x + 2l_x) - 2l_x \varepsilon_y(x) + \delta_{A1} + (\delta_{AB1} + \delta_{BC1}) \quad (3)$$

$$S_{D1}(x) = \varepsilon_y(x) + \varepsilon_{yoff}(x) \quad (4)$$

$$S_{A2}(x) = \delta_z(x) - e_{z1}(x) + l_{y1} \varepsilon_x(x) + \delta_{A2} \quad (5)$$

$$S_{B2}(x) = \delta_z(x) - e_{z1}(x + l_x) + l_{y1} \varepsilon_x(x) - l_x \varepsilon_y(x) + \delta_{A2} + \delta_{AB2} \quad (6)$$

$$S_{A3}(x) = \delta_z(x) - e_{z2}(x) + l_{y2} \varepsilon_x(x) - l_x \varepsilon_y(x) + \delta_{A3} \quad (7)$$

$$S_{B3}(x) = \delta_z(x) - e_{z2}(x + 2l_x) + l_{y2} \varepsilon_x(x) - 2l_x \varepsilon_y(x) + \delta_{A3} + \delta_{AB3} \quad (8)$$

위의 식은 측정 영역의 임의의 한 지점에서의 센서 측정 신호를 나타내는 것으로 측정 스테이지가 이동시  $l_x$  마다 센서 출력을 측정한 데이터를 이용, 선형 연립 방정식을 구성할 수 있다. 이 방정식은 Over-Determined 시스템으로 이것을 풀기 위해서 Least-Square Method 를 하였다.

### 3. 이론적 검증

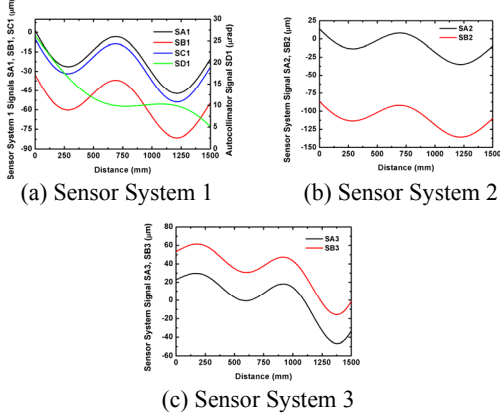


Fig. 2 Sensor Signals synthesized for Multi-Point Method

진직도 측정법의 타당성을 검증하기 위해서 Fig. 2 와 같이 센서 신호를 합성하여 진직도와 평행도를 계산하였다. Fig. 3(a)에 나타난 것처럼 기준면의 진직도는 시작점과 끝점의 높이 차가 없도록 계산하였으며, 나머지 면에 대해서는 Fig. 3(b)와 같이 기준면에 대해 상대적인 기울기인 평행도와 진직도를 계산하였다. 그래프에서 검정선은

진직도 계산 결과를 나타내며, 빨간선은 센서신호 합성에 사용된 진직도를 표시한 것이다. 파란선은 두값의 차이를 나타낸다.

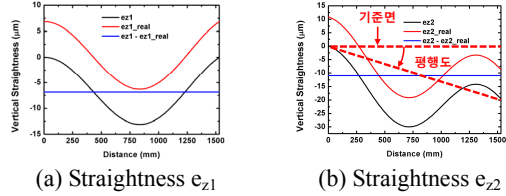


Fig. 3 Sensor Signals and 2 Straightness Profiles estimated by Multi-Point Method

### 4. 결론

본 논문은 나란히 배열된 두 면에 대한 진직도와 평행도를 계산하는 Multi-Point Method 를 제안하였다. 제안된 방법을 검증하기 위해서 임의의 함수로 합성한 센서 신호를 이용하여 이론적 검증을 수행하였다. 향후 안내면의 진직도 및 평행도의 동시 측정에 대한 실험적 검증을 수행할 예정이다.

### 후기

이 연구는 2010 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 2010018458)이며 부분적으로 기계정밀도 시뮬레이션 플랫폼 기술 개발 과제에 지원을 받았음.

### 참고문헌

1. Tanaka, H., Tozawa, K., Sato, H., and 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.
3. Hwang, J., Park, C., Gao, W., and Kim, S., "A three-probe system for measuring the parallelism and straightness of a pair of rails for ultra-precision guideways," Inter. J. Machine Tools & Manufacture, **47**, 1053-1058, 2007.