

# 직선 이송축의 기하학적 오차 평가를 위한 볼바 측정 경로 생성

## Generation of DBB Measurement Path for Geometric Error Evaluation of Linear-axes

\*이광일<sup>1</sup>, 이동목<sup>1</sup>, #양승한<sup>1</sup>

\*K. I. LEE<sup>1</sup>, D. M. LEE<sup>1</sup>, #S. H. YANG(syang@knu.ac.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 기계공학부

Key words : Geometric error, Linear-axes, Measurement path, Double ball-bar

### 1. 서론

직선 3 축 공작기계에서 공구와 공작물 사이의 체적 오차는 21 개의 기하학적 오차를 사용하여 모델링하며, 체적 오차는 각각의 오차를 측정 및 평가하여 최소화한다.<sup>1</sup> 직선 이송축의 오차 측정에는 레이저 간섭계, 정전용량 센서와 스트레이트에지, 전자레벨을 사용한다. 그리고 21 개의 오차는 여러 측정 장비를 사용하여 측정한다.

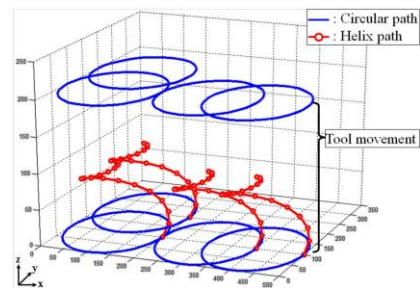
본 논문에서는 직선 3 축 공작기계의 21 개 오차 평가를 위하여 볼바 측정 경로를 생성하고, 생성된 측정 경로의 타당성은 모의실험을 통하여 검증한다.

### 2. 기하학적 오차 평가

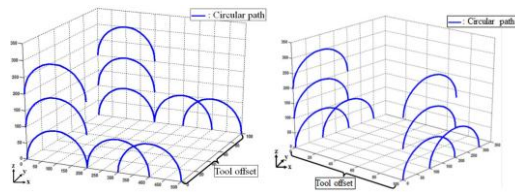
직선 이송축 자체의 오차는 3 개의 위치 오차,  $\delta_{ij}$  와 3 개의 각도 오차,  $\epsilon_{ij}$  로 모델링하고 직선 이송축 간의 오차는 3 개의 직각도 오차,  $s_{ij}$  로 나타낸다. 여기서  $i$  는 오차의 방향을 나타내며,  $j$  는 해당 직선 이송축을 의미한다.

#### 2.1 측정 데이터의 역기구학적 해석

볼바 측정에는 2 축 이상의 이송에 의한 원호 측정 경로가 필요하며, 측정 데이터에는 민감도에 따라서 이송축의 여러 오차가 포함된다. 이러한 측정 데이터에서 오차를 분리하기 위해 각각의 오차는 매개 변수화하고, 측정 데이터와 오차의 매개 변수 관계는 역기구학 해석을 통하여 결정한다. 최종적으로 이송축의 오차는 계산된 매개 변수를 사용하여 평가한다.<sup>2</sup>



a) Circular path in XY and helix path



b) Circular path in XZ

c) Circular path in YZ

Fig. 1 Measurement path using DBB

볼바 측정에서 공구 볼, **TB**(tool ball)은 공구의 끝단에 위치하며, 공작물 볼, **WB**(workpiece ball)은 테이블에 고정하여 원호 경로를 생성한다. 그러나 체적 오차 및 셋업 오차에 의하여 각각 오차  $\Delta TB$ ,  $\Delta WB$  가 발생하며, 최종적으로 측정 데이터,  $R+\Delta R$  과 공구 볼 및 공작물 볼의 관계는 식 (1)과 같다. 여기서  $R$  은 볼바의 기준 길이를 나타낸다.

$$R\Delta R = (\mathbf{TB} - \mathbf{WB})^T (\Delta \mathbf{TB} - \Delta \mathbf{WB}) \quad (1)$$

#### 2.2 측정 경로 생성

측정 데이터에 영향을 미치는 오차는 측정

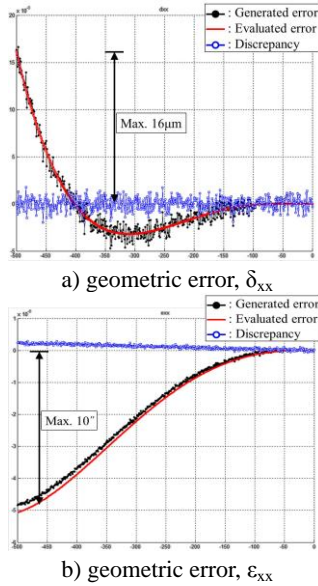


Fig. 2 Simulation results

경로에 따라 달라지며, 또한 측정 경로에 의하여 매개 변수화된 오차 사이의 특이해 문제가 발생한다. 이를 고려하여 생성된 Fig. 1의 측정 경로 특징은 다음과 같다.

- 1) 측정 경로는 매개 변수화된 오차를 보다 안정적으로 평가하기 위하여 이송축 방향으로 생성.
- 2) 위치 오차와 각도 오차 사이의 특이해 문제는 공구의 이송(tool movement) 및 공구의 오프셋(tool offset)을 적용하여 해결.
- 3) 각도 오차 사이의 특이해 문제는 반구상의 나선형 측정 경로를 사용하여 해결.

### 3. 모의실험

직선 이송축 자체의 오차는 4 차 다항식으로 모델링하고 이송축 간의 오차는 상수로 고려한다. 모의실험의 순서는 다음과 같다.

- 1) 21 개의 오차 및 초기 셋업 오차 생성.
- 2) 동차변환행렬을 사용하여 체적 오차 모델링 및 측정 경로에 따른 측정 데이터 계산.
- 3) 역기구학 해석을 통한 매개 변수와 측정 데이터 관계 결정.
- 4) 최소자승법을 사용하여 매개 변수 계산 및 오차 평가.

Table 1 Evaluation of squareness errors, (°)

errors	Generated error	Evaluated error	Difference
$S_{zy}$	1.829	1.808	0.021
$S_{xz}$	-5.277	-5.602	0.325
$S_{yz}$	2.045	1.814	0.231

초기 셋업 오차는  $\pm 5\mu\text{m}$ , 위치 오차는 최대  $20\mu\text{m}$ , 각도 오차는 최대  $20''$ , 직각도 오차는 최대  $10''$ 의 범위에서 생성한다. 또한 다항식 근사화에 따른 오차는 최대  $5\mu\text{m}$ , 측정 오차는  $\pm 0.5\mu\text{m}$ 의 범위에서 고려한다. 생성된 오차와 평가된 오차 및 차이는 Fig. 2와 같으며, 직각도 오차는 Table 1에 정리한다. 생성된 오차와 평가된 오차의 차이는 잡음 수준이다.

### 4. 결론

본 논문에서는 직선 3 축 공작기계의 기하학적 오차를 평가하기 위하여 불바 측정 경로를 생성하였으며, 결론은 다음과 같다.

- 특이해 문제 해결을 위한 반구상의 나선형 측정 경로 생성.
- 불바 측정을 통한 직선 3 축 공작기계의 21 개 기하학적 오차 평가.
- 생성된 측정 경로의 타당성은 모의실험을 통하여 검증.

### 후기

이 논문은 2010년도 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. Hai, N., Yuan, J. and Ni, J., "Reverse Kinematic Analysis of Machine Tool Error using Telescoping Ball Bar," ASME, PED, Vol. 68, No. 1, pp. 277-286, 1994.