

# 볼바를 사용하여 틸팅 회전 테이블 형태의 5축 공작기계 오프셋 오차 추정

## The Estimation of Offset Errors of a Five-axis Machine Tool with Tilting Rotary Table using Double Ball-bar

\*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 : Five-axis machine tool, Tilting rotary table, Offset errors, Double ball-bar

### 1. 서론

5축 공작기계는 3개의 직선 이송축과 2개의 회전 테이블로 구성하며, 공구와 공작물의 상대 자세를 제어하기 위해 널리 사용한다. 그러나 제작된 5축 공작기계의 가공 성능은 각 이송축 자체의 기하학적 오차 및 이송축 간의 기하학적 오차에 의하여 저하된다. 이를 해결하기 위하여 직선 이송축의 기하학적 오차는 다양한 방법을 사용하여 측정 및 평가하고 있다. 그러나 회전 테이블의 기하학적 오차 측정에는 상대적으로 연구가 미흡하다.<sup>1,2</sup>

본 논문에서는 볼바를 사용하여 이송축 간의 기하학적 오차 중 오프셋 오차의 추정 방법을 제안한다. 측정은 틸팅 회전 테이블 형태의 5축 공작기계를 대상으로 하며, 볼바의 설치시 발생하는 셋업 오차를 고려한다.

### 2.5축 공작기계의 오프셋 오차 추정

틸팅 회전 테이블 형태의 5축 공작기계에서 틸팅 테이블 A의 좌표계 {A}와 회전 테이블 C의 좌표계 {C}는 Fig. 1에 나타내었다.

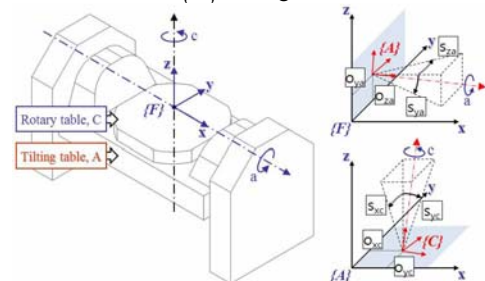


Fig. 1 Tilting/rotary table of five-axis machine tool

여기서  $o_{ij}$ 는  $j$ 축의  $i$ 방향 오프셋 오차,  $s_{ij}$ 는  $j$ 축의  $i$ 에 대한 직각도 오차,  $a$ 는 틸팅 테이블 A의 회전각 그리고  $c$ 는 회전 테이블 C의 회전각이다.

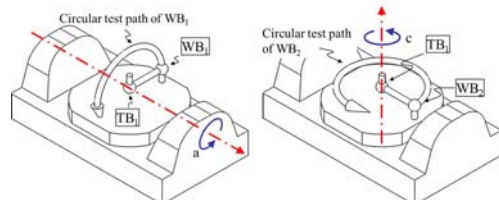
### 2.1 틸팅 테이블 A의 오프셋 오차 추정

틸팅 테이블 A의 오프셋 오차  $o_{ya}$ ,  $o_{za}$ 를 추정하기 위한 볼바 측정 방법은 Fig. 2의 (a)와 같다.  $TB_1$ 은 주축에 고정된 볼이고  $WB_1$ 은 회전 테이블 상에 고정된 볼이며 식 (1)과 같다. 여기서  $R$ 은 볼바의 기준 길이이며,  $(w_{x1}, w_{y1}, w_{z1})^T$ 는  $WB_1$ 를 설치하는 과정에서 발생하는 셋업 오차이다.

$$TB_1 = (0, 0, 0)^T$$

$$WB_1 = (w_{x1}, R + w_{y1}, w_{z1})^T \quad (1)$$

기하학적 오차와 셋업 오차의 고차항이 미소하다고 가정하면 볼바의 측정데이터  $R + \Delta R_1$ 은 식 (2)와 같으며, 최소자승법을 사용하여 오프셋 오차  $o_{ya}$ ,  $o_{za}$ 를 추정한다.



(a) 1<sup>st</sup> measurement (b) 2<sup>nd</sup> measurement  
Fig. 2 Circular test path of ball-bar measurement

$$(R + \Delta R_1)^2 = |TB_1 - WB_1|^2 \quad (2)$$

$$\Delta R_1 = o_{ya} \cos a + o_{za} \sin a + o_{yc} + w_{y1}$$

### 2.2 회전 테이블 C의 읍셋 오차 추정

회전 테이블 C의 읍셋 오차  $o_{xc}$ ,  $o_{yc}$ 를 추정하기 위한 볼바 측정 방법은 Fig. 2의 (b)와 같다.  $WB_2$  및 볼바 측정데이터  $R + \Delta R_2$ 와 읍셋 오차  $o_{xc}$ ,  $o_{yc}$ 의 관계는 각각 식 (3), 식 (4)와 같다.

$$WB_2 = (R + w_{x2}, w_{y2}, w_{z2})^T \quad (3)$$

$$\Delta R_2 = o_{ya} \cos c + (o_{ya} + o_{yc}) \sin c + w_{x2} \quad (4)$$

### 3. 모의실험

모의실험에서는 읍셋 오차와 셋업 오차를 생성하고  $TB_i$ ,  $WB_i$ ,  $R + \Delta R_i$  ( $i=1,2$ )를 계산한다. 또한 측정 과정에서 발생하는 측정 오차를 고려하여 정규분포를 나타내는 잡음(noise,  $\pm 0.05\mu\text{m}$ )을 볼바의 측정값에 추가한다. 생성된 읍셋 오차와 추정된 읍셋 오차의 차이인 추정 오차(estimation error)를 평가하여 제안된 볼바 측정 방법의 타당성을 검증한다. 모의실험에 사용된 볼바의 기준 길이  $R$ 은 150mm이며, 생성된 읍셋 오차 그리고 셋업 오차는 Table 1에 나타낸다. 계산된 볼바 측정값  $R + \Delta R_i$  ( $i=1,2$ )는 Fig. 4와 같다. 추정 오차는 잡음 수준이며, 이는 제안된 볼바 측정 방법의 타당성을 나타낸다.

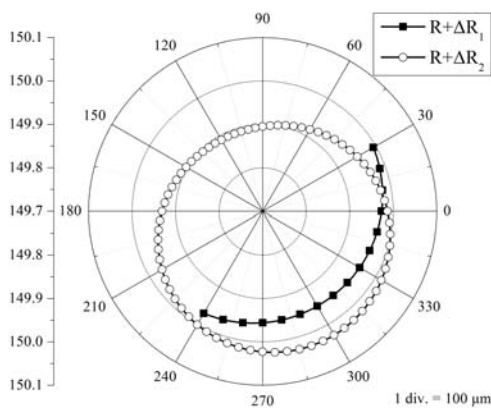


Fig. 4 Calculated ball-bar data for a simulation

Table 1 Parameters and estimation error, ( $\mu\text{m}$ )

Parameter	Generated value	Estimation error
$o_{ya}$	28.0	-0.0065
$o_{za}$	-45.0	-0.0035
$o_{xc}$	-19.0	0.0026
$o_{yc}$	36.0	0.0390
$(w_{x1}, w_{y1}, w_{z1})^T$	$(24, 37, -18)^T$	-
$(w_{x2}, w_{y2}, w_{z2})^T$	$(-41, 16, -9)^T$	-

### 4. 결론

본 논문에서는 5축 공작기계의 읍셋 오차를 추정하기 위하여 볼바 측정 방법을 제안하며, 결론은 다음과 같다.

- 킬팅 회전 테이블 형태의 5축 공작기계의 읍셋 오차를 추정하기 위한 볼바 측정 경로를 제안함.
- 볼바 측정데이터, 읍셋 오차 및 초기 셋업 오차의 관계를 정의함.
- 모의실험을 통하여 제안된 방법을 검증함.

### 후기

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

### 참고문헌

1. Suh, S. H., Lee, E. S. and Jung, S. Y., "Error Modelling and Measurement for the Rotary Table of Five-axis Machine Tools," International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 14, No. 9, pp. 656-663, 1998.
2. Ibaraki, S., Kakino, Y., Akai, T., Takayama, N., Yamaji, I. and Ogawa, K., "Identification of Motion Error Sources on Five-axis Machine Tools by Ball-bar Measurement (1st report) - Classification of Motion Error Components and Development of the Modified Ball Bar Device (DBB5)-," Journal of the Japan Society for Precision Engineering, Vol. 76, No. 3, pp. 333-337, 2010.