

초정밀가공기에서 R-Test 방법과 볼바테스트 방법의 실험적 고찰

Experimental Investigation between R-Test and DBB-Test for Rotary Table

*#심종엽, 황주호, 김양진, 이찬홍

*#J. Y. Shim(jyshim@kimm.re.kr), J.H. Hwang, Y.J. Kim, C.H. Lee

한국기계연구원 초정밀기계시스템 연구실

Key words : Experimental Investigation, R-test, DBB, Rotary Table, Geometric Error

1. 서론

최근의 다축 머시닝센터의 추세는 가공 및 위치결정의 유연성 확보 및 가공 속도 향상을 위하여 다축의 운동요소들이 복잡한 구조로 구성되고 있다. 직선 이송축과 회전축의 결합구조에 따라서 다양한 형태의 5 축 머시닝센터가 적용되고 있으며 병렬형 머시닝센터와 같이 직교좌표계 형태의 직선 이송축이 존재하지 않는 새로운 형태들도 적용되고 있다. 이러한 신구조 머시닝센터의 경우 제작 단계 또는 제품 성능 향상 단계에서 기하학적 오차를 측정/보정하는 방법이 기존의 구성 요소별/이송축별로 측정하는 방식을 사용하기에는 한계를 보이고 있으며 또한 회전축과 직선축이 복잡한 관계로 구성되므로 측정이 불가능한 기하학적 오차도 존재한다. 따라서, 신구조 장비, 머시닝 센터의 새로운 구조에 대한 기하학적 오차측정을 위하여는 회전축과 직선축간의 오차를 측정/평가 할 수 있어야 하고, 또한 병렬형 머시닝센터와 같이 새로운 좌표계를 사용한 경우 새로운 방법의 측정기 및 측정알고리즘의 제안이 필요하다.

2. 기하학적 오차 측정법

Figure 1 에는 ISO 230-7 의 규격으로 회전축의 기하학적 오차를 정의하고 있다. 회전축과 직선축이 동기화 되어 구동되는 5 축 머시닝 센터의 경우 회전축과 직선축들 간의 축간 상대 위치오차로 인한 상대운동 오차를 측정하고 보정하는 기술이 중요하다. XYZ 의

직선 3 축은 공구의 위치를 나타내는 좌표계이고 이 좌표계는 5 축 머시닝센터에서 직선축의 이송에 의한 공구와 공작물과의 상대 위치 변화량을 표시하는 좌표계가 된다. C 축의 축 벡터는 C 축의 한바퀴 회전 당 발생하는 운동오차의 평균 벡터를 의미하고 이 벡터와 XY 축의 원점과 발생한 상대 위치 오차가 표시하는 오차량이 XOC, YOC 가 된다. 따라서, AOC 와 BOC 는 XY 축과 C 축 벡터와의 직각도 오차가 된다. 이러한 회전-직선 축간 상대 위치오차에 의해서 회전축과 직선축 간 동기운동에서 상대 운동 오차가 발생된다. R-test 측정 장비의 경우 상기 회전-직선 축간 상대 위치오차를 측정하기 위하여 고정밀 진구와 이 구의 중심점의 이동량을 측정하기 위한 센서부로 구성된다.

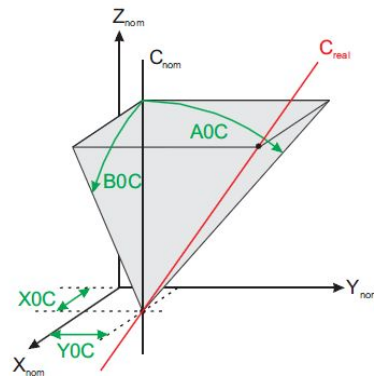


Fig. 1 Definitions in ISO230-7 of rotary axis involved geometric error

예로써 진구를 머시닝센터의 주축에 장착하고 회전 테이블면에 센서부를 장착하고, 직선 축들과 회전축을 동기 구동하면 회전-직선 축간 상대 위치 오차가 회전 테이블상 좌표축에 대하여 XYZ 세 개의 방향 오차값으로 구할 수 있다. 이러한 직선-회전 축들의 위치 데이터 및 그에 상응한 XYZ 오차값으로 기하학적인 오차 모델링에 의하여 축간 상대 위치오차를 구할 수 있다.

또한, DDB (Double-Ball-Bar) 측정법은 두 개의 볼을 이용하여 주축과 회전테이블 면에 볼-삼점지지 방법으로 접촉하게 하고 회전테이블과 직선축을 동기화 운동시켜 1 축 방향의 오차를 얻게 된다. 이러한 과정을 세 번 반복하면 3 축의 오차를 얻게 되어 이론적으로는 R-test 방법과 같은 결과를 얻게 된다.

3. 모델링 및 실험적 결과

수식 1 에는 기하학적 오차를 추출하기 위한 직선축-회전축 계의 기하학적 모델링의 방법으로 HTM (Homogeneous Transformation Matrix) 수식을 보이고 있다. 최종적으로 수식 2 로부터 회전축과 직선축 간의 상대운동 오차를 모델링 할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 {}^R T_1 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_0 \\ 0 & 1 & 0 & y_0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 {}^1 T_2 &= \begin{bmatrix} | & | & | & 0 \\ n_1 & n_2 & n_3 & 0 \\ | & | & | & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 {}^2 T_3 &= \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$q^R = {}^R T_1 {}^1 T_2 {}^2 T_3 q^3 \tag{2}$$

이상적으로는 R-test 및 DBB 측정법에 의한 회전축과 직선축 간의 XYZ 상대오차 값은 같은 값이 얻어져야 하며 또한 결과적으로 구해진 기하학적 오차의 값도 같아야 한다. 그러나, 측정방법의 차이에 의하여 측정 과정 및 측정원리에서 발생하는 실험적 오차의 차이가 존재한다. 이러한 차이에 의하여 두 개의 측정법의 차이가 존재할 것이다. Figure 2 에서는 R-test 방법에 의한 결과를 보이고 있다. 본 논문에서는 DBB 의 실험결과와 비교하여 R-test 방법과 측정원리 및 실험절차 차이에 의한 측정결과의 차이에 대하여 비교하고자 한다.

참고문헌

1. S. Weikert, W. Knapp, "R-Test, a New Device for Accuracy Measurements on Five Axis Machine Tools," Annals of the CIRP, 2004.
2. B. Bringmann, W. Knapp, "Model-based Chase-the-Ball Calibration of a 5-Axes Machining Center," Annals of the CIRP, Vol. 55, No. 1, 2006.

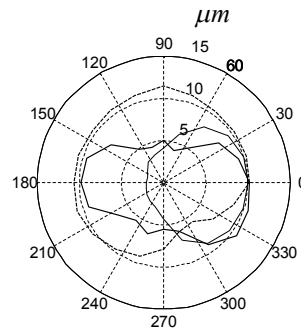


Fig. 2 Experimental XYZ error plotting results from R-test. X : thick solid line, Y : dotted line, Z : thin solid line.