

Step-diagonal 측정방법의 오차 분석

Analysis of Step-diagonal Measurement Method

*부이바친¹, #황주호², 박천홍², 이찬홍²

* B.C.Bui (bbchinh@kimm.re.kr)¹, #J.H. Hwang² (Joocho@kimm.re.kr), C.H. Park², C.H. Lee²

¹ 과학기술연합대학원 나노메카트로닉스학과, ² 한국기계연구원 지능형생산시스템연구본부

Key words : Volumetric errors, Machine Tool, Step-diagonal method

1. 서론

공작기계는 3 차원 형상의 가공을 위하여 3 축의 직선 테이블이 상대운동을 하면서 가공을 하는 것이 일반적이다. 3 축이 동시이동을 수행하기 때문에 각축의 위치결정 정밀도 뿐만 아니라, 각운동 오차, 진직도 오차 및 직각도 등이 복합적으로 영향을 주게된다.

따라서, 3 축공간오차에 대한 분석기술은 여러 연구가 수행되고 있으며 모델을 통한 예측기술과 측정방법 등이 대표적인 예라고 할 수 있다. 오차분석 모델로 대표적인 것은 각축의 영향관계를 동차변환행렬 (Homogeneous Transformation Matrix)를 이용하여 구하는 방법이다.¹ HTM 방법은 많은 연구가 진행되고 있으며 설계 및 제작단계에서 오차의 배분 등에 이용하기는 쉬운 장점이 있지만 실질적인 3 차원 공간오차를 분석하기에는 너무 많은 오차변수가 필요하여 사용에 어려움이 있다.

따라서 3 차원 볼륨 오차의 측정에는 ISO230-6 규격에 의한 공간오차 측정 방법을 많이 사용하고 있다. 이 방법은 대상이 되는 3 차원의 공간 체적에 대하여 대각선 방향으로 연결하는 4 개의 대각선을 측정하여 각 목표에 대한 차이로부터 측정값을 구하는 것이다.² 이러한 측정 방법은 오차의 수준을 알 수 있지만 각 오차요소의 값을 알지 못하여 기계수정에 관한 데이터를 주지 못하는 단점이 있다.

따라서, 공간오차를 측정가능 하면서 각 축의 오차를 측정 할 수 있는 방법으로 제안된 것이 step-diagonal 방법이다.³ 이 측정 방법은 Fig. 1 에 보이는 바와 같이, X,Y,Z 축

이 움직이면서 측정을 하기 때문에 각 축이 움직이면서 생기는 각도변화에 대한 오차를 유발하게 된다.

2. Step-Diagonal Method 의 측정오차 개선

Step-Diagonal 측정방법의 문제점 중 하나는 각축이 이루고 있는 직각도 오차에 의하여 그 영향을 주는 것이다. 식 (1)은 직각도를 구하는 식과 이로부터 측정된 값을 보정하기 위한 식을 나타내고 있다. 또한 축의 셋업 오차를 줄이기 위하여, 식(2)에 의하여 X, Y, Z 축이 움직이면서 생기는 Flat Mirror 의 다른 위치를 측정하면서 생기는 offset 에 의한 오차를 주될 수 있다. 이렇게 개선된 값을 이용하여 식(3) 및 (4)에 의하여 각 축의 오차 성분을 구할 수 있다.

$$\Delta\alpha = \frac{-2(x^2 + y^2 + z^2) + R_{ppp}^2 + R_{ppn}^2}{4xy}$$

$$\Delta\beta = \frac{-2(x^2 + y^2 + z^2) + R_{ppp}^2 + R_{ppn}^2}{4yz}$$

$$\Delta\gamma = \frac{-2(x^2 + y^2 + z^2) + R_{ppp}^2 + R_{ppn}^2}{4zx}$$
(1)

$$R_{ppp_real}^2 = R_{ppp_measure}^2 - 2P_x P_y \Delta\alpha - 2P_y P_z \Delta\beta - 2P_z P_x \Delta\gamma$$

$$R_{ppn_real}^2 = R_{ppn_measure}^2 + 2P_x P_y \Delta\alpha - 2P_y P_z \Delta\beta + 2P_z P_x \Delta\gamma$$

$$R_{pnp_real}^2 = R_{pnp_measure}^2 + 2P_x P_y \Delta\alpha + 2P_y P_z \Delta\beta - 2P_z P_x \Delta\gamma$$

$$R_{ppn_real}^2 = R_{ppn_measure}^2 - 2P_x P_y \Delta\alpha + 2P_y P_z \Delta\beta + 2P_z P_x \Delta\gamma$$

$$dR(x)_i = dR(x)_{i+1} - dR(z)_i; dR(y)_i = dR(y)_{i+1} - dR(x)_{i+1}$$

$$dR(z)_i = dR(z)_{i+1} - dR(y)_{i+1}$$
(2)

$$dR(x)_{i+1(accumulation)} = dR(x)_{i+1(calculation)} + dR(x)_{i(calculation)}$$

$$dR(y)_{i+1(accumulation)} = dR(y)_{i+1(calculation)} + dR(y)_{i(calculation)}$$

$$dR(z)_{i+1(accumulation)} = dR(z)_{i+1(calculation)} + dR(z)_{i(calculation)}$$

$$E_x x = [dR(x)_{ppp} - dR(x)_{ppn}] \frac{\cos\alpha}{2}$$

$$E_y x = [dR(x)_{ppp} - dR(x)_{ppn}] \frac{\cos\beta}{2}$$

$$E_z x = [dR(x)_{ppp} - dR(x)_{ppn}] \frac{\cos\gamma}{2}$$

$$E_x y = [dR(y)_{ppp} - dR(y)_{ppn}] \frac{\cos\alpha}{2}$$

$$E_y y = [dR(y)_{ppp} - dR(y)_{ppn}] \frac{\cos\beta}{2}$$

$$E_z y = [dR(y)_{ppp} - dR(y)_{ppn}] \frac{\cos\gamma}{2}$$

$$E_x z = [dR(z)_{ppp} - dR(z)_{ppn}] \frac{\cos\alpha}{2}$$

$$E_y z = [dR(z)_{ppp} - dR(z)_{ppn}] \frac{\cos\beta}{2}$$

$$E_z z = [dR(z)_{ppp} - dR(z)_{ppn}] \frac{\cos\gamma}{2}$$
(3)

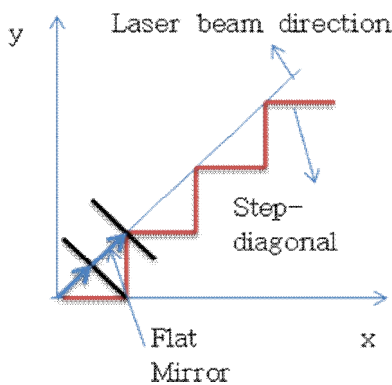
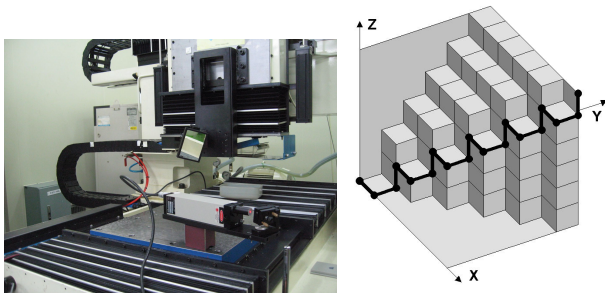


Fig. 1 Principle of the step-diagonal method



(a) Measurement (b) Path of the movement
Fig. 2 Configuration of sequence of single-axis motions

$$\cos a = \frac{X}{R_{ideal}}; \cos b = \frac{Y}{R_{ideal}}; \cos c = \frac{Z}{R_{ideal}} \quad (4)$$

3. 직선축의 다축 정밀도 평가

각 축의 오차를 구하는 방법을 위하여 Fig. 2의 (b)와 같이 ISO 230-6 규격에 의한 대각오차의 측정 대신 X, Y, Z가 순차적으로 움직이면서 측정하는 방법을 통하여 각축의 오차를 구하는 것이 step-diagonal 측정에 의한 Vector Measurement (VM) 분석법이며, 측정하는 실제 모습을 Fig. 4에 나타내었으며, 초기에 측정된 결과는 Fig. 5의 (a)와 같다. 식 (1)에 의하여 축의 직각도 및 레이저 빔과 축의 이동방향이 다른 코사인 오차의 수정이 가능하며 수정된 후의 값을 Fig. 5의 (b)에 도시하였다.

수정된 측정 값을 식(2), (3) 및 (4)에 의하여 오차를 구할 수 있으며 이를 통하여 각축의 위치결정 오차를 구한 결과를 Fig. 7에 도시하였다. 비교 검증을 위하여 레이저를 1축만 움직이면서 측정한 결과이며 그림에서 보는 바와 같이 실제 1D 측정 값과의 오차와 유사한 결과를 보이고 있음을 알 수 있으며 기존의 상용화된 Step-Diagonal 방법은

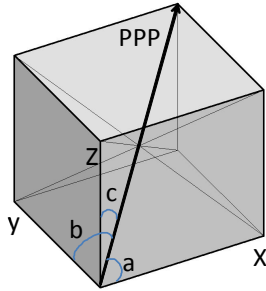


Fig. 3 A component of vector movement

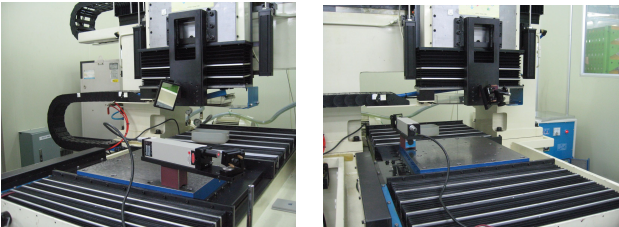
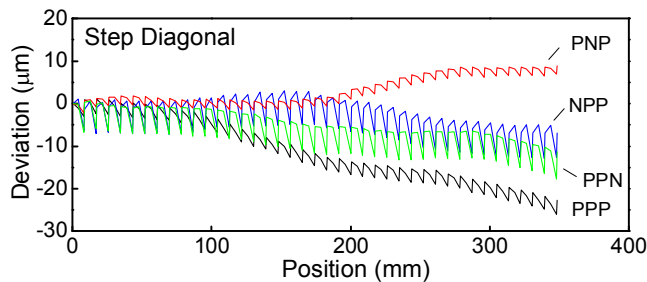
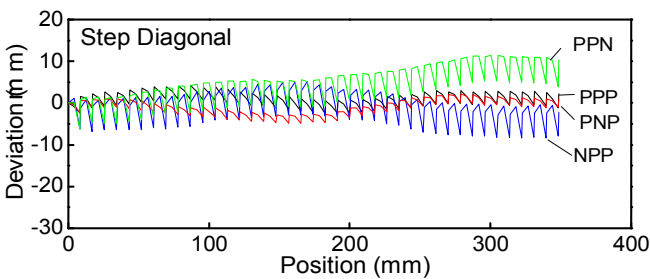


Fig. 4 Measurement of three dimensional errors



(a) Measured data along 4 body step diagonal



(b) Corrected data

Fig. 5 Comparison between measured data and corrected data

셋업오차와 직각도 오차를 포함하고 있어 훨씬 큰 오차를 가지고 있음을 알 수 있다. 이는 주로 step diagonal 측정을 함에 있어서 설치오차와 각운동 오차에 의한 움푹의 거리 변화, 레이저 간섭계의 설치 위치를 변경하면서 생긴오차 등으로 보여진다.

참고문헌

1. Okafor, A.C., Ertekin, Y.M., "Derivation of machine tool error models and error compensation procedure for three axes vertical machining," International Journal of Machine Tools and Manufacture, 40, pp 1199-1213, 2000.
2. ISO 230-6: 2002, "Test code for machine tools – Part 6: Determination of positioning accuracy on body and face diagonals (Diagonal displacement tests)," An International Standard by International Standards Organization, 2002.
3. Wang, C., "Laser Vector measurement Technique for the determination and compensation of volumetric positioning errors. Part I: Basic theory," Review of Scientific Instruments, 71, pp. 3933-3937, 2000.
4. Wang, C., "Vector measurement for coordinate measuring machine," U.S.Patent No. 6519043, 2003.
5. Chapman, M.A.V, "Limitations of laser diagonal measurements," Precision Engineering, Vol. 27, No. 4, pp. 401-406, 2003.
6. J.H. Hwang, B.C. Bui, C.H. Park, C.H. Lee, "Three dimensional Error Models and measurement of errors for machine tools" KSPE 2009 Spring conference, 2009
7. Renishaw, Laser & Calibration Products Division, Laser step diagonal test, 2006
8. S. Ibaraki, T. Hata, A. Matsubara, "A new formulation of laser step-diagonal measurement-two-dimensional case" Precision Engineering, Vol 33, Issue 1, pp. 56-64, January 2009

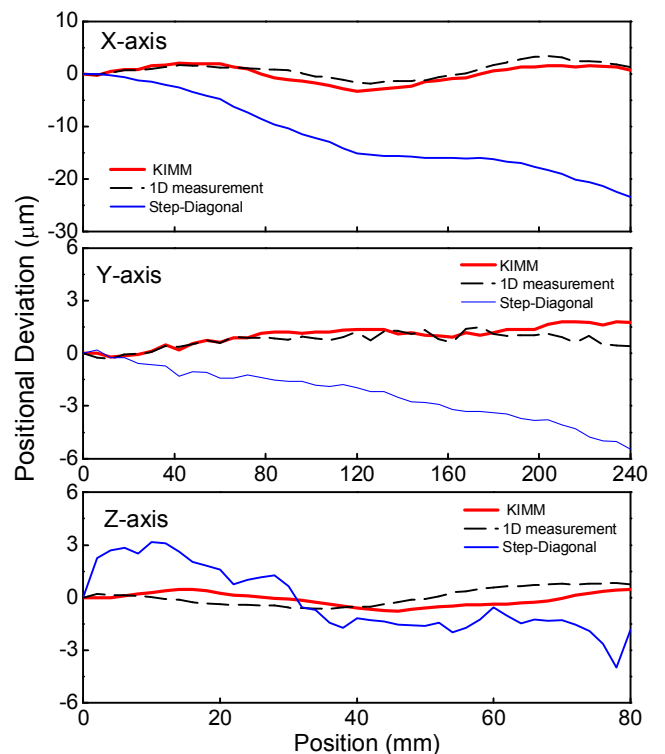


Fig. 6 Comparison between the VD and VM Method