반전법을 이용한 축 직각도 측정방법

이창우*(KIMM), 송준엽(KIMM), 하태호(KIMM)

Measurement of Axis Squireness by using Reversal Method

C. W. Lee(KIMM), J. Y. Song(KIMM), T. H. Ha(KIMM)

ABSTRACT

In general a square master and a dial gauge are used to measure the axis squareness on the spot. This method is a comparison measurement and its accuracy depends on the square accuracy wholly. Therefore the accuracy of a square master is very important and it is impossible that the accuracy of a square measurement is superior to the accuracy of a square master.

In this paper, the new method of square measurement is proposed for measuring square without a square master and easily. This method is an absolute measurement by using a reversal method and can be used to measurement the accuracy of a square master.

Key Words : 정밀도(Accuracy), 직각도(Squareness), 반전법(Reversal Method), Vision, Assembly, Measurement

1. 서론

산업이 발전하면서 부품의 정밀도가 더욱 요구되고 이를 생산하는 공작기계, 조립기계와 측정기는 고정도의 정밀도를 요구 받고 있다. 운동정밀도는 공작기계를 비롯한 모든 기계 시스템에서 중요한 성능이 되었고 이에 따라서 운동정밀도의 측정과 보정 기술이 매우 중요한 요소가 되었다. 공작기계의 정밀도 측정에 관한 사항들을 국제 표준화 기구(ISO)를 비롯하여 각국의 표준기관에서 규정하고 있는데 그 중의 하나가 직선운동의 정밀도인 진직도, 직각도, 평행도, 평면도 측정을 규정하고 있다. 이중 직각도 측정에 관해서는 ISO 규정을 보면 직각마스터, 다이얼 게이지, 마이크로메터, 레이저 인터페로메터 등을 이용하여 측정하도록 되어있다. 레이저 인터페로메터의 경우는 분해능과 정밀도가 우수지만 이러한 측정장비는 고가이며 숙련된 기술자와 셋팅 시간이 길어 쉽게 사용하기 어렵다. 직각 마스터를 사용하는 경우에는 직각 마스터의 정밀도에 전적으로 의존하게 되어 만약 직각 마스터가 오차를 가지면 그 오차 이상의 정밀도로 직각도 측정이 불가능하다. 또한 직각 마스터의 정밀도를 유지하기 위해서 크기가 큰 편으로 핸들링 하기가 용이하지 않다.

본 연구에서는 Vision 을 이용한 반전법으로 3 가지 직각도를 측정하는 방법을 제시하고 오차분석을 통해 그 유효성을 검증하고자 한다. 본 연구에서 제시한 직각도 측정 방법은 마스터를 이용한 상대 측정 방법이 아니고 절대 측정방법이고 정밀한 마스터가 필요하지 않아 제작이 용이하다.

2. 운동오차 분석

2.1 축의 운동오차 성분

한 축을 이송 축으로 했을 경우 축이 가지는 운동오차는 6 자유도 운동오차를 가지게 된다. 6 개의 운동오차 중에서 이송축의 위치결정오차는 Open-Loop, Semi-Closed Loop, Full-Closed Loop 과 같은 서보 방식과 능력에 따라서 결정되고 나머지 5 개의 운동오차 성분은 주로 안내기구의 정밀도에서 그 오차가 결정된다. 일반적으로 이러한 공작기계나, 조립기계는 물론이고 측정기도 보통은 3 축 이상의 이송 축을 가지는 경우가 대부분이다. 이송 축이 3 축의 경우는 각축의 운동오차 6 개씩 18 개와 각축간의 직각도 오차 3 개를 합쳐서 21 개의 운동오차가 발생하게 되며 Fig. 1 에 나타내었다. 각축간의 직각도 오차는 안내기구의 정밀도에 큰 영향을 받지 않고 조립 정밀도에 의해서 영향을 받는다. 직각도 오차는 행정이 클 수로 비례하여 증폭되는 구조를 특성을 가지고 있다. 기존에 직각도 측정은

직각 마스터를 기준으로 다이알 게이지 등을 사용하여 측정하는 비교 측정방식이 많이 사용되고 있다. 그러나 이러한 방법은 전적으로 마스터의 정밀도에 의존하게 되어 마스터 제작이 어렵고 마스터 이상의 정밀도를 보장하기 어렵다.

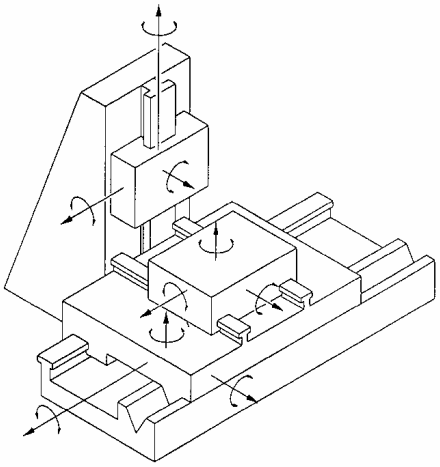

Fig. 1 21 error elements of a 3 axis motion system

2.2 직각도 오차 영향

Fig. 2 는 직각도 오차가 α인 두 축의 측정값과 이상적인 직교좌표계(Cartesian Coordinate)와의 관계를 나타낸다. 이때 이상적인 직교좌표계와 X 축을 일치하게 놓는다고 가정 할 수 있다. Fig. 2 에서 아래첨자 m 은 Measurement 를 나타내는 측정값이고 c 는 Cartesian coordinate 의 이상적 좌표계의 값을 나타낸다.

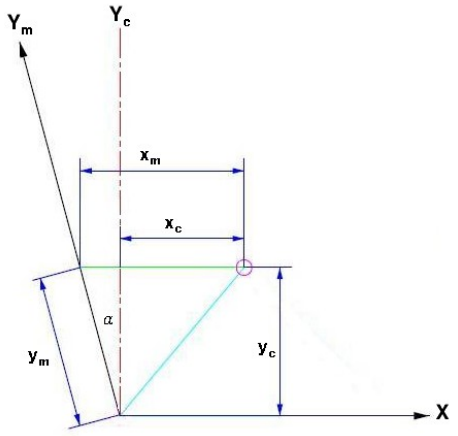

Fig. 2 Relation between measurement value and Cartesian Coordinate

Fig. 2 에서 보면 측정값과 이상적 직교좌표계에서의 좌표값과 오차의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_c = x_m - y_m \times \sin(\alpha) \quad (1)$$
$$y_c = y_m \times \cos(\alpha) \quad (2)$$

$$E_x = x_c - x_m = -y_m \times \sin(\alpha) \quad (3)$$
$$E_y = y_c - y_m = y_m \times (1 - \cos(\alpha)) \quad (4)$$

식(4)를 이용하여 직각도 오차 α 가 0.01 ° 이고 행정이 100 mm 인 경우의 최대오차는 17.4 ㎛이고 오차가 0.1 ° 인 경우는 174.5 ㎛나 된다. 기존의 비교측정에 의해서 두 축을 조립하는 경우 기준이 되는 Square Bar 의 오차가 0.01 ° 인 경우만 고려하더라도 100 mm 행정을 가지면 최대 17.4 ㎛의 오차를 가지게 된다.

3. 직각도 측정방법

본 연구에서는 Vision 을 이용한 직각도 측정방법 3 가지를 제안한다. 3 가지 방법모두 3 개의 원형 패턴의 중심을 Vision 을 이용하여 측정하여 직각도를 계산하는 방식으로 Fig. 3 에 나타낸 원형 패턴이 사용된다. 제안한 방법 중 첫 번째 방법은 기존의 직각 마스터를 Vision 을 이용한 형태로 패턴을 만들어 마스터 정밀도에 의존하는 방법으로 직각 마스터 제작비용이 높으며 측정 정밀도가 마스터의 정밀도이상의 측정이 불가능하다. 나머지 2 가지 방법은 일종의 반전법(Reversal Principle)로 패턴의 정밀도와 무관하게 직각도를 측정하는 방법이다.

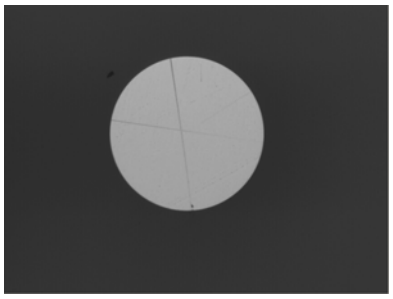

Fig. 3 Used circle pattern

3.1 직각도 측정방법 1

첫 번째 방법은 기존에 사용되던 기계적인 직각 마스터를 대신해서 Vision용 마스터를 제작하여 사용하는 방법으로 반도체 산업의 발전으로 쉽게 마스터를 제작 할 수 있는 장점을 가진다. 측정 방법

은 나머지 두 방법과 같이 미소 각도운동이 가능한 조정 장치를 이용하여 Fig. 4 에 나타낸 것처럼 점A와 점B를 X축과 일치 시킨다. 다음 점C의 중심 값 x_m, y_m을 구하면 직각도 오차 α는 식(5)처럼 구해진다.

$$\alpha = \arcsin(x_m / y_m) \quad (5)$$

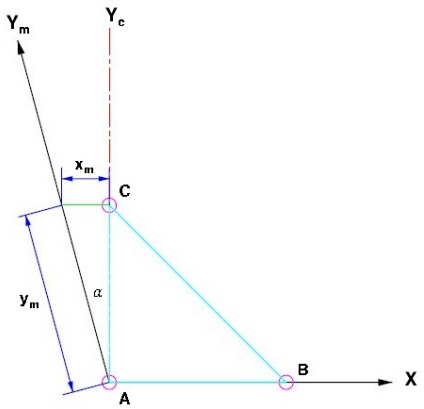

Fig. 4 Method 1 of a squareness measurement

3.2 직각도 측정방법 2

Vision 을 이용한 패턴은 그 특성상 뒤집어서 사용이 가능하다. 이러한 점을 이용한 방법이 두 번째 방법으로 측정 방법은 Fig. 5 에 나타나있다.

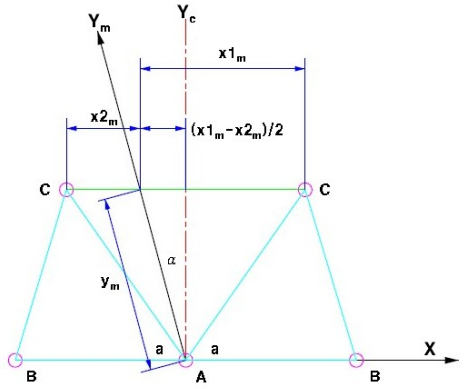

Fig. 5 Method 2 of a squareness measurement

우선 첫 번째 방법처럼 점A와 점B를 미세 각도 조정장치를 이용하여 X축과 일치시키고 이때 점C의 $x1_m$, y_m를 구하고 패턴을 뒤집어서 역시 점A와 점B를 일치시킨 후 $x2_m$를 구한다. 기하학적으로 y_m 값은 기하학적으로 일치해야 한다. 만약 y_m 값이 일치하지 않으면 측정의 오차가 있는 것으로 측정 과정의 정확성을 간접적으로 체크 할 수 있다. Fig. 5 에서 보는 것처럼 기하학적 관계로부터 직각도 오차 α는 식(6)으로 나타낼 수 있다. 이 방법은 세 점이 어떠한 관계도 가지지 않는 임의의 점이라도 측정 정밀도에는 아무런 영향도 주지 않아 패턴제작이 용이하며 절대 측정이 가능하다.

$$\alpha = \arcsin((x1_m - x2_m)/ y_m) \quad (6)$$

3.3 직각도 측정방법 3

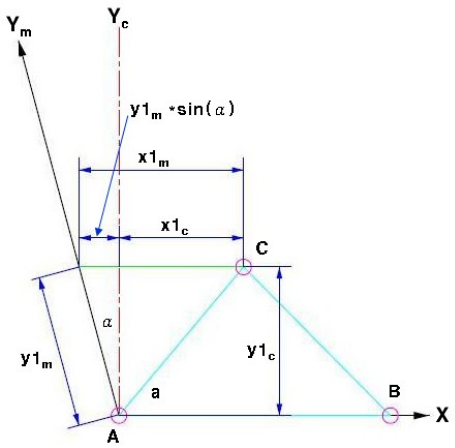

Fig. 6 Method 3 of a squareness measurement

세 번째 방법도 앞의 두 방법과 같이 Fig. 6 과 같이 우선 점 A 와 점 B 를 X 축과 일치시킨다. 그러면 식(1)과 (2)와 같이 기하학적 관계로부터 식(7)과 (8)이 얻어진다.

$$x1_c = x1_m - y1_m \times \sin(\alpha) \quad (7)$$
$$y1_c = y1_m \times \cos(\alpha) \quad (8)$$

다음은 Fig. 7 처럼 패턴을 회전하여 점A와 점C를 Y축과 일치시킨다. $y2_m$의 측정값은 선분 AC의 길이와 같게 되어 피타고라스 정리로부터 식(9)를 만족한다.

$$y2_m^2 = x1_c^2 + y1_c^2 \quad (9)$$

식(9)를 식(7)과 식(8)를 이용하여 측정 가능한 항으로 정리하면 직각도 오차 α는 식(10)과 같이 나타난다. 역시 두 번째 방법과 마찬가지로 패턴 세 점의 기하학적 관계와는 무관하게 직각도가 측정되게 된다.

$$\alpha = \arcsin\left(\left(x1_m^2 + y1_m^2 - y2_m^2 \right) / \left(2 \times x1_m \times y1_m \right) \right) \quad (10)$$

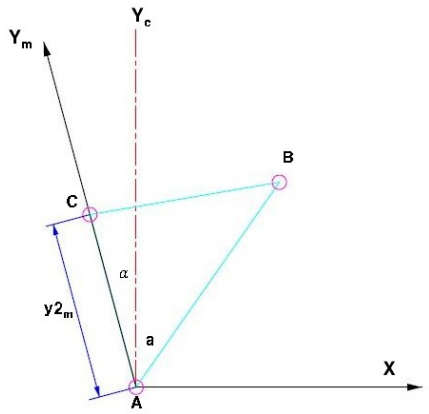

Fig. 7 Method 3 of a squareness measurement

4. 측정 오차분석

본 연구에서 제안한 세가지 축 직각도 측정방법에서 Error 의 요인은 크게 두 가지로 발생 할 수 있다. 첫 번째 Error 의 요인은 Vision 을 이용하여 원형패턴의 중심점을 찾는 과정에서 발생하는 Error 이다. 이 경우 고 배율의 Vision 시스템을 설계하고 미세 원형 패턴을 사용하면 서브마이크론의 정밀도를 가질 수 있다. 두 번째 Error 요인으로는 앞에서 언급한 것처럼 위치결정 Error 이다. 이 Error 는 레이저 인터페로메터를 사용하면 역시 서브마이크론 이하로 줄일 수 있다.

(행정 300 mm, 단위 arcsec)

	레이저 인터페로메터 (0.5 ㎛)	리니어 스케일 (2 ㎛)	엔코더 (5 ㎛)
Method 1	0.069	0.069	0.069
Method 2	0.345	1.375	3.438
Method 3	0.218	1.072	2.781

Table. 1 Measurement error analysis

공통적으로 행정은 모두 300 mm 로 이고 Vision 에 의한 Error 는 0.1 ㎛이라고 가정하고 오차를 3 가지 경우로 분석해보면 첫 번째 레이저 인터페로메터를 사용하여 위치결정 Error 가 0.5 ㎛ 이하인 경우, 두 번째 위치센서를 리니어 스케일을 사용하여 위치결정 Error 가 2 ㎛ 이하인 경우, 세 번째 Feedback 센서로 엔코더를 사용하여 위치결정 Error 가 5 ㎛이하인 경우의 Error 를 분석하면 Table 1 과 같은 결과를 나타낸다. Error 분석 결과만 보면 첫 번째 방법이 가장 우수하지만 이것은 사용된 마스터 패턴의 직각도가 완전하다는 가정하에서 계산된 값이므로 마스터의 직각도 오차를 감안하면 더 큰 값을 가지게 된다.

5. 결론

본 연구에서는 Vision 과 3 개의 원형 패턴을 이용한 새로운 직각도 측정방안을 소개하고 Error 분석을 통해서 측정 방법의 타당성을 검증하였다. 이 새로운 방법은 일종의 절대 측정방법으로 기존의 직각 마스터의 검증이나 직각의 표준을 측정하는데 사용 가능한 방법이다. 향후 계획으로는 실제 시스템에 적용하여 측정방법의 타당성을 입증하고 측정 정밀도 향상을 위한 방법을 계속 연구하고자 한다.

참고문헌

1. 김정순, “Machining Center 에서 2 차원 원호보간의 복합오차 검출 및 수치제어에 의한 고정밀도 가공방법에 관한 연구” 한국정밀공학회지 제 2 권 제 6 호, pp. 117- 126, 1994
2. 김태호, 김승우, “레이저 간섭계의 직각 평면 거울에 대한 직각도 오차 측정”, 한국정밀공학회지 제 15 권 제 12 호, pp. 169-179, 1998
3. 안경기, 조동우, “방향성을 고려한 공작기계 입체오차의 평가”, 한국정밀공학회 춘계학술논문집, pp. 676-680, 2000
4. 이승수, 김민주, 박정보, 전언찬, “CT 법을 이용한 진직도 및 직각도 측정에 관한 연구”, 한국공작기계학회논문집, Vol. 11 No.1, pp. 83-90, 2002
5. 엄태봉. “측정표준”, Vol. 18 No.1, pp. 67-73, 한국표준과학연구원, 1995
6. JIS B6191, “Machine Tools Geometric Accuracy Tests and Practical Tests Method”, 1993