

# 스핀들의 에러검출에 대한 측정불확도 요인분석

## Analysis of Uncertainty Factor for Error Detecting of Spindle

\*김창순<sup>1</sup>, #이춘만<sup>2</sup>

\*C. S. Kim<sup>1</sup>, #C. M. Lee(cmlee@changwon.ac.kr)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>창원대학교 클러스터사업단, <sup>2</sup>창원대학교 메카트로닉스공학부

Key words : Measurement Uncertainty, Machining Center

### 1. 서론

새로운 제품을 제작하고 생산함에 따라 사용자들이 요구하는 제품의 성능에 보다 정확한 수치를 원하고 있다. 이에 따라 실제 생산된 부품, 소재 및 기기에 대한 결과 값을 실제값의 범위 내에서 측정이 가능한가에 대하여 많은 연구를 하고 있다.

실험실에서 측정된 모든 값들은 오차(error)를 가지고 있다. 절대적인 참값도 없으며, 우리가 얻고자 하는 값은 절대적인 참값이 가장 근사한 값인지 여부와 측정된 값이 어느 정도 오차범위와 그 신뢰성을 고려하게 된다..

측정의 결과 도출해 낼 때, 그 결과값을 사용할 사람이 얼마만큼의 신뢰성을 가진 채로 사용해야 하는지에 대한 측정결과의 신뢰도에 관한 정량적 표현이 필요함에 따라 여러 가지 오차분석을 사용하였다. 이러한 오차분석은 아무리 정확한 분석을 하더라도 참값과는 일치하지 않고 단지 참값과 가까워질 뿐이다. 이러한 측정결과의 신뢰성을 알 수 있도록, 불확도라는 개념이 사용되었는데, 이러한 불확도의 개념을 사용하여 측정결과를 얻기 위해선 그 측정결과에 영향을 주는 각각의 측정불확도 요인을 고려하여야 한다.

공작기계관련 스피들 주축 열변형 시험시 주축의 측정불확도를 측정하기 위한 여러 가지 요인 분석이 필요하다. 이에 본 논문에서는 그러한 요인들의 측정불확도에 미치는 영향을 분석하도록 한다.

### 2. 측정 불확도

측정불확도에서는 크게 반복측정에 대한 통계적처리에 의한 A타입 측정불확도 추정과 B타입 측정불확도로 나눌 수 있다.

$$u_a = \frac{s}{\sqrt{n}} \tag{1}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \tag{2}$$

여기서  $u_a$ 는 A타입 측정불확도,  $s$ 는 표준편차,  $n$ 는 반복실험 횟수,  $x_i$ 는  $i$ 번째 측정값,  $\bar{x}$ 는 평균값을 나타낸다.

공칭 열팽창 편차량(NDE:Nominal Differential Thermal Expansion)은 20℃에서 벗어난 온도로 인해 측정대상과 시험장치 사이의 추정된 열팽창 값의 차이로 측정대상과 시험장치의 공칭 열팽창 요소불확도의 제곱의 합에 대한 루트의 제곱근으로 구하게 된다.

$$u_{NDE} = \sqrt{u_a^2 + u_{a_s}^2} = \sqrt{\left(\frac{0.1a}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.1a_s}{\sqrt{3}}\right)^2} \tag{3}$$

합성표준불확도의 산술평균 측정값에 대한 모델식은 아래 식과 같이 정리한다.

$$u_{CT} = \sqrt{u_{ET}^2 + L_s^2(T_s - 20) + L^2(T - 20)^2 u_a^2 + L_s^2 a_s^2 u_{TM_s}^2 + L^2 a^2 u_{TM}^2} \tag{4}$$

- $L$  : 측정대상의 길이
- $L_s$  : 시험장치의 길이(레이저 간섭계의 경우)
- $T$  : 측정대상의 온도(℃)
- $T_s$  : 시험장치의 온도(℃)
- $u_{TM}$  : 측정 대상의 온도 측정 불확도

- $u_{TM_s}$  : 시험 장치의 온도 측정 불확도
- $u_{CT}$  : 표준복합열적 불확도
- $a$  : 측정 대상의 열팽창 계수
- $a_s$  : 측정장치의 열팽창 계수

### 3. 측정방법

공작기계에서의 열변형으로 인한 불확도 시험시, 주위 온도 변화 오차와 회전 주축에 의한 열변형에 대하여 고려한다.

Fig. 1과 Pic. 1은 각각 수직 머시닝 센터에서의 시험장치를 나타내고 있다. 변위 측정기가 장착되는 고정장치는 측정할 기계의 회전하지 않는 작업 영역 또는 공구 지지부에 견고하게 고정한다.

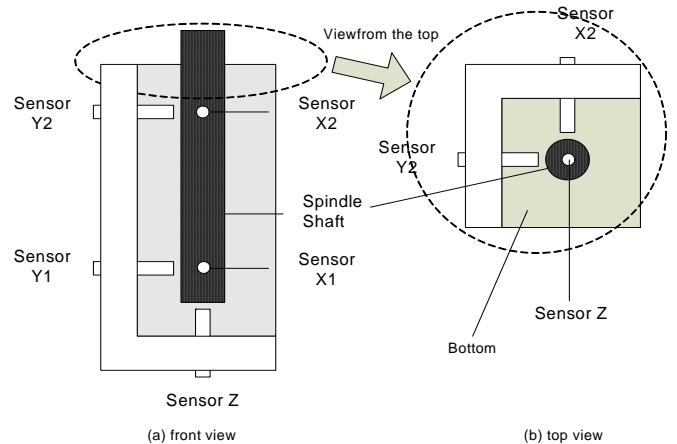


Fig. 1 Example of installed measuring device in perpendicular machining center

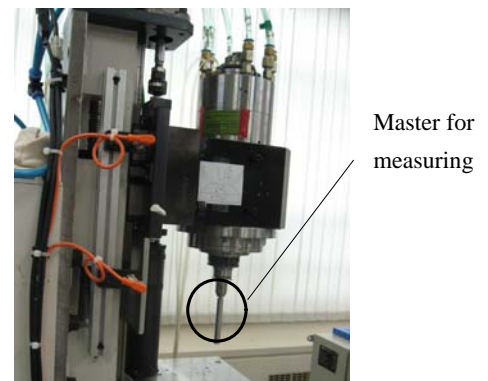


Fig. 2 Picture of measured spindle motor

이 측정에서 이루어지는 측정은 기계의 이송축에 평행한 세 직교 좌표축을 따라 공구를 지지하는 부분과 공작물을 지지하는 장치 사이의 상대 변위, 이 때 시험 결과와 함께 측정 장치의 정확한 위치 기록 및 공작기계의 X,Y축에 대한 정확한 위치에 대하여 이루어진다.

주축 전반부 베어링에 가능한 한 가까운 지점에서 측정된 기계 구조물의 온도와 주축 선단과 동일한 높이로 기계 근방에서 측정된 주위의 온도를 매 5분마다 기록하며, 주위온도를 측정하

기 위해서 장비의 동작에 의한 온도 변화를 피하기 위하여 장비로부터 충분한 거리가 떨어진 곳에서 측정한다. 이렇게 측정된 온도와 변위가 직접적으로 연관되지 않을 시에도 이 사항은 주위 환경과 장비들의 열적 변화에 대한 정보가 된다.

#### 4. 측정 결과 및 고찰

각각의 기계 좌표축에 따른 최초 20분간 변위의 범위( $d_{x1,20}$ ,  $d_{y1,20}$ ,  $d_{z20}$ ,  $d_{A,20}$ ,  $d_{B,20}$ )와 주축 가동 주기의 종료 시간  $t$ 로 표현되는 총 주축 가동 주기 동안 변위의 범위( $d_{x1,t}$ ,  $d_{y1,t}$ ,  $d_{z,t}$ ,  $d_{A,t}$ ,  $d_{B,t}$ )는 같은 방향을 갖는 두 변위 측정기 사이의 거리( $l$ )와 함께 기록한다.

Table 1 measured data and standard uncertainty

	value
1st	4.233 $\mu\text{m}$
2nd	4.123 $\mu\text{m}$
3rd	4.254 $\mu\text{m}$
4th	4.543 $\mu\text{m}$
5th	4.012 $\mu\text{m}$
Average	4.233 $\mu\text{m}$
Standard uncertainty	0.089

준 95%의 포함인자는 1.96으로 구한다.

#### 5. 결론

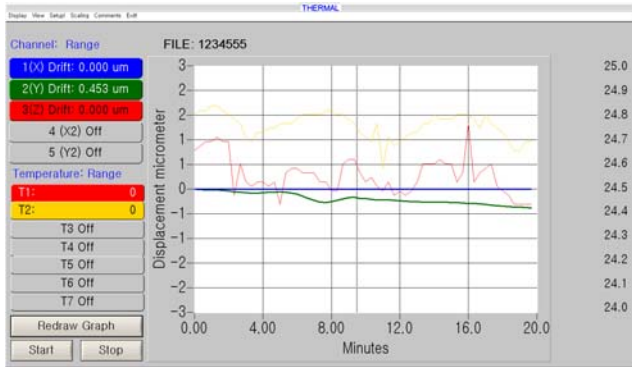
머시닝센터의 스핀들 모터의 주축의 열변형 및 변위오차에 대한 측정오차 분석을 수행하였다. 이러한 교정결과와 신뢰성을 확보하기 위하여 기존의 KOLAS 교정기관에서 해당장비의 교정을 통하여 그 교정값에 따라 측정이 실시되었다. 스핀들 에러검출에 대한 통합측정불확도 고려시 장비구동에 의한 열적변화와 축의 기울기의 오차 등을 측정하여 그 변위차를 구하였고, 각각의 변위는 약 3 $\mu\text{m}$  이내로 차이가 있음을 알 수 있었다. 시험결과의 분석을 보다 정밀히 하기 위해서는 시험장비의 교정 또한 중요한 관건으로 자리잡게 되었다.

#### 후기

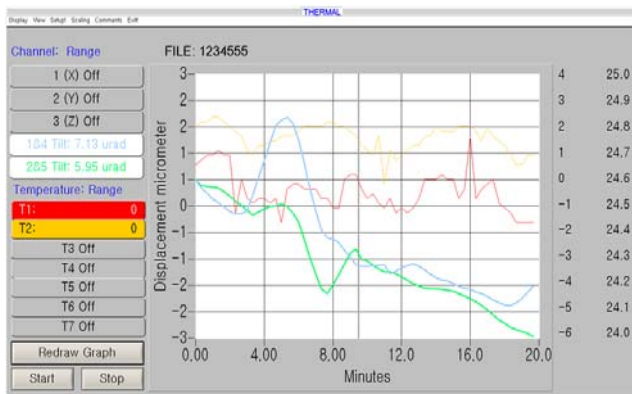
본 연구는 지식경제부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03) 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. KS B ISO-3 : 2007, “공작기계 시험방법-제 3부”, 2007.
2. 이용봉, 서상준, "가속도계의 교정불확도 평가방법," 한국정밀공학회지, 74-78, 1999.



(a) displacement of X, Y, Z-axis and temperature



(b) X1 & X2 Tilt, Y1 & Y2 Tilt and Temperature

Fig. 3 Graph of measured data

Fig. 3 20분간의 X1, X2, Y1, Y2의 변위변화량을 통하여 Table 2와 같은 합성표준불확도를 구한다.

Table 2 measured data and standard uncertainty

	$u_a$ A-type	$u_a$ B-type	$u_{a,s}$	$u_{ETVE}$	$u_{CTM}$	$u_{CT}$
type	A	B	B	B	B	
추정값	4.233	0.001	0.001	0.866	0.015	1.473
표준불확도	0.089	0.001	0.001	0.866	0.015	
확률분포	정규	직사각형	직사각형	직사각형	직사각형	
감도계수	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
기여분	0.089	0.001	0.001	0.866	0.015	
자유도	4	inf	inf	inf	inf	
단위	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$^{\circ}\text{C}$	

Table 2에서 유효자유도가 무한대이므로 t-분포표에서 신뢰수