

# 4 개의 정전용량센서를 이용한 롤 오차 측정 방법의 실험적 검증

## Experimental Verification of Roll Error Measurement System using Four Capacitance Sensors

\*박성령<sup>1</sup>, #양승한<sup>2</sup>

\*S. R. Park<sup>1</sup>, #S. H. Yang(syang@knu.ac.kr)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 기계연구소, <sup>2</sup>경북대학교 기계공학부

Key words : Roll error, Differential method, Capacitance sensor, Zero adjustment error

### 1. 서론

가공품의 정밀도 향상을 위해 동작기계의 기하학적 오차에 대한 측정 및 평가는 필수적이다. 기하학적 오차 중 하나인 롤 오차(roll error)를 측정하는 방법으로 두 개의 정전용량 센서와 측정 기준면(straight-edge)으로 구성된 시스템이 있다. 하지만 장 행정의 직선 구동축에 대한 롤 오차를 측정하기 위해서는 고가의 측정 기준면이 필요하고 기준면의 비틀림 현상 등에 의해 정밀도가 떨어진다.

본 논문에서 제안한 시스템<sup>1</sup>은 측정 기준면을 사용하지 않는 구조로 4 개의 정전용량센서를 정사각형 모양의 고정장치 꼭지점에 구성하였다. 완전 평면이 아닌 측정면의 형상을 센서의 측정값에서 제거하기 위해 차분법(differential method)을 이용하였다. 마지막으로 제안한 측정 시스템을 실험적 방법으로 검증하였다.

### 2. 수학적 모델

본 시스템은 Fig. 1 과 같이 정사각형 모양의 고정장치 꼭지점 위치에 각각 하나의 정전용량센서를 고정하여 구성하였다. 수학적 모델은 오차합성모델링 기법을 이용하여 유도하였으며 관련 수식은 식(1)과 같다.<sup>1</sup> 관련 수식을 유도하는 과정에서 센서 끝 단의 상대적인 위치 정보인 초기 설치 오차(zero adjustment error) 항이 남게 된다.<sup>2</sup> 롤 오차의 정밀한 추정을 위하여 이러한 초기 설치 오차에 대한 측정이 필요하며 식(2)와 같이

추정된다.<sup>1</sup>

$$\varepsilon_{xx}(x+d) - \varepsilon_{xx}(x) = \frac{1}{d} \{ -m_{A,0}(x+d) + m_{B,0}(x) - m_{C,0}(x) + m_{D,0}(x+d) \} + \frac{1}{d} ZAE \quad (1)$$

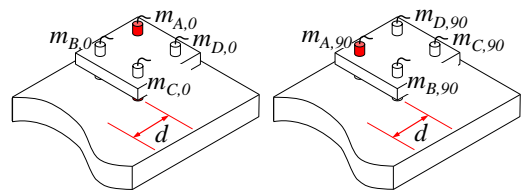
여기서,  $\varepsilon_{xx}(x)$ 는  $x$  위치에서의 롤 오차,  $d$ 는 정전용량센서간의 거리,  $m_{A,0}$ ,  $m_{B,0}$ ,  $m_{C,0}$  및  $m_{D,0}$ 는 Fig. 1(a)와 같이 4 개 정전용량센서의 측정값, 그리고 ZAE는 초기 설치 오차다.

$$ZAE = \frac{1}{2} \{ m_{A,0}(d) + m_{A,90}(0) - m_{B,0}(0) - m_{B,90}(0) + m_{C,0}(0) + m_{C,90}(d) - m_{D,0}(d) - m_{D,90}(d) \} \quad (2)$$

여기서  $m$  밑 첨자의 “0”은 정전용량센서가 Fig. 1(a)와 같은 위치를 “90”은 Fig. 2(b)와 같은 위치를 의미한다.

### 3. 실험적 방법을 통한 검증

본 장은 제안한 롤 오차 측정 시스템에 대한 검증을 실험적으로 수행한 결과를 제시한다. 롤 오차의 기준 데이터를 설정하기 위해



(a) Normal position (b) Rotated position (CCW)

Fig. 1 Measurement of zero adjustment error

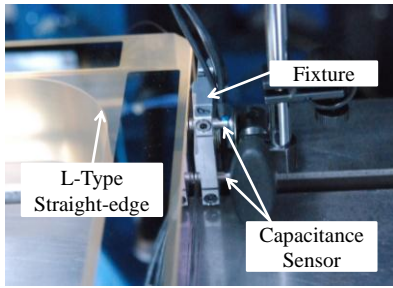


Fig. 2 Verification of the proposed system

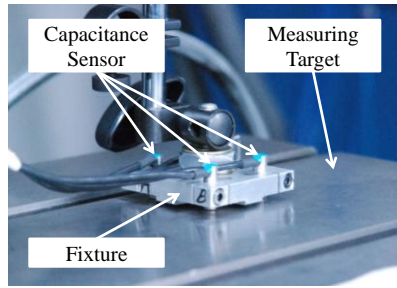


Fig. 3 System configuration and measurement

Fig. 2 와 같이 두 개의 정전용량센서와 측정 기준면을 이용하여 측정하였으며 Fig. 4 와 같다.

제안한 롤 오차 측정 시스템은 스핀들에 장착하여 초기 설치 오차 측정을 위해 필요한 고정장치의 90 도 회전을 용이하게 하였다. 정전용량센서는 측정 범위가  $\pm 100\mu\text{m}$  인 Micro Sense 社의 2812 모델을 AD 컨버터는 National Instrument 社의 NI9215 모델을 측정 기준면은 측면이  $\lambda/9.3$  의 평면도를 가지는 L 형태를 사용하였다. 정전용량 센서간의 간격  $d$  는 30mm 로 설정하여 고정 장치를 만들었다.

초기 설치 오차는  $-26.654\mu\text{m}$  를 얻었으며 롤 오차는 Fig. 4 와 같다. 제안한 시스템으로 측정한 결과(X)와 측정 기준면을 이용하여 측정한 결과(Y)의 비교는 가설검증을 통하여 수행하였다. 귀무가설은 두 측정 데이터가 같다, 즉  $X-Y=0$  로 정의하였다. 그 결과 평균  $E(X-Y)$ 는 0.051 을 분산  $V(X-Y)$ 는 0.099 를 얻었다.  $\alpha$  를 0.05 로 두면  $t_{0.025,6}$  는 2.447 이고  $t_0$  는 0.428 이다. 여기서  $|t_0| < t_{0.025,6}$  이므로 귀무가설을 채택하면, 95%의 신뢰도로 두 측정 데이터가 일치하는 결과를 도출하였다.

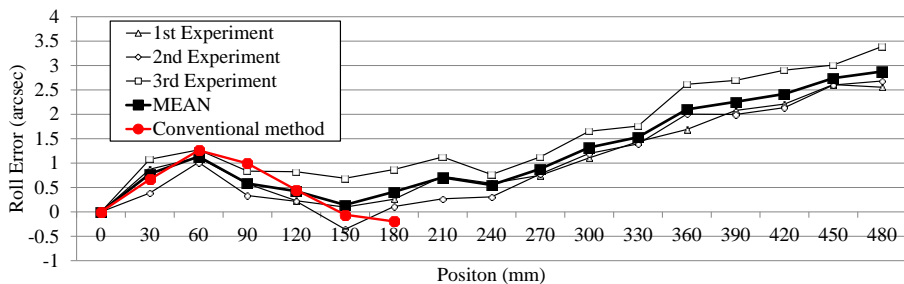


Fig. 4 Measured roll error and its verification

#### 4. 결론

본 논문은 제안한 롤 오차 측정 시스템을 실험적 방법으로 검증하였다. 기준 데이터는 측정 기준면과 두 개의 정전용량센서를 이용하여 도출하였으며 가설검증을 통하여 제안한 측정 시스템의 타당성을 검증하였다.

#### 후기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2011-0020445), (No. 2011-0018392).

#### 참고문헌

1. 박성령, 장진석, 양승한, “4 개의 정전용량센서를 이용한 롤 오차 측정 방법의 타당성 검증,” 한국정밀공학회 2011년도 춘계학술대회논문집, 291-292, 2011.
2. Gao, W., Arai, Y., Shibuya, A., Kiyono, S. and Park, C.H., “Measurement of multi-degree-of-freedom error motions of a precision linear air-bearing stage,” Precision Engineering, **30**, 96-103, 2006.