

# 볼바를 이용한 직각도 평가에 관한 연구

## A Study on the squareness evaluation using a ball bar

\*이동목<sup>1</sup>, 이훈희<sup>2</sup>, #양승한<sup>2</sup>

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

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

Key words : Squareness measurement, Ball bar system, Laser Interferometer

### 1. 서론

이송계의 직각도 측정을 위한 시스템으로 레이저 간섭계,<sup>1</sup> 정진용량 센서와 볼바 등이 있으며 특히 볼바 시스템은 설치가 비교적 쉽고 측정이 간편하여 다축기계 평가에 많이 활용되고 있다. 볼바 시스템을 사용한 오차 평가는 반경 방향으로의 변위 측정을 통해 측정 원호 경로에 합성된 구동축의 오차 요소들을 분석하는 방법으로 이루어지며, 이때 각각의 오차는 서로 독립관계를 가진 매개변수 모델로 구성된다.<sup>2</sup> 하지만 이러한 평가 방법은 특이해 문제를 피하기 위해 축약 모델을 사용하게 되며 이는 분석 정확도를 나쁘게 하는 원인이 된다. 특히 상용 볼바 시스템에서 제공하는 오차 평가 소프트웨어<sup>3</sup>는 진직도 오차를 2 차 다항식 모델로 축약하거나 세 방향의 각도 오차(Angular error)의 무시를 가정하는 등 출력 결과가 부정확한 분석 오차를 포함하고 있다. 따라서 본 논문은 정확한 직각도 평가를 위한 효율적인 측정 및 분석 기법을 제안한다.

### 2. 직각도 측정 및 분석 기법

상용 볼바(QC20)에서 제공하는 직각도 분석 방법은 원호 데이터에서 장축과 단축 상 방향으로의 반경 오차를 이용하여 계산한다. 다른 오차 요소와 중복되는(Redundant) 항을 피하기 위해 진직도를 2 차 다항식으로 가정하며 각도 오차는 무시할 수 있는 것으로 가정한다. 이러한 가정이 야기하는 부정확성을 개선하기 위해 본 논문에서는 Fig. 1 과 같이 레이저 간섭계와 볼바를 이용해 정확한 직각도를 평가하는 방법을 제안한다. 레이저

간섭계를 이용해 직각도를 제외한 오차들을 측정하고 합성하여 볼바 측정에 사용된 환경과 동일한 가상 원호 데이터를 구성한 후, 실제 볼바 데이터에서 가상 원호 데이터를 제거하면 직각도만을 포함한 원호가 구해지며 이 원호로부터 최종 직각도를 계산하는 방법이다.

직각도를 제외한 오차들로 합성된 가상 원호 데이터에서의 반경오차( $\Delta R'_{LI}$ )와 실제 볼바를 사용한 측정데이터( $\Delta R'_{BB}$ )의 차이는 식 (1)과 같이 직각도 요소만 포함하게 된다.

$$\Delta R_{SQ} = \Delta R'_{BB} - \Delta R'_{LI} \quad (1)$$

XY 평면에서 볼바를 이용한 측정은 방정식  $R\Delta R = x\Delta x + y\Delta y$  로 표현된다.<sup>2</sup> Fig. 2 와 같이 직각도( $s_{xy}$ )만을 포함한 원호를 가정하여 대입하였을 경우, 방정식은 식 (2)와 같다.

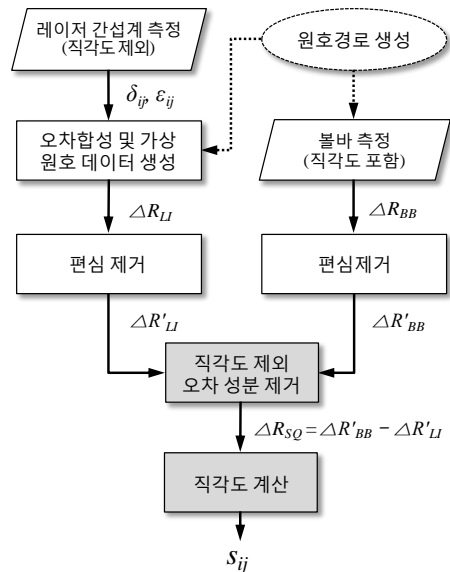


Fig. 1 Squareness evaluation procedure

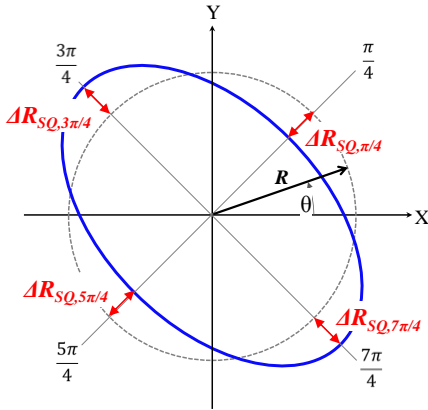


Fig. 2 Circular plot with squareness inclusion

$$\Delta R_{SQ} = s_{xy} (R \sin 2\theta / 2) \quad (2)$$

식 (2)는 장축과 단축 방향(엄격히 타원은 아님)으로의 반경오차를 이용해 직각도를 쉽게 산출할 수 있다. Fig. 2 를 참조하면 식 (2)의 반경오차,  $\Delta R_{SQ}$  는 장축 방향인  $\theta = \pi/4$  와  $\theta = 5\pi/4$  지점에서 최대값 ( $s_{xy}R/2$ ), 단축 방향인  $\theta = 3\pi/4$  와  $\theta = 7\pi/4$  지점에서 최소값 ( $-s_{xy}R/2$ ) 을 가지므로 식 (3)과 같이 네 지점에서의 평균으로 직각도를 추정한다.

$$\begin{aligned} s_{xy} &= 2(-\Delta R_{SQ,\pi/4} + \Delta R_{SQ,3\pi/4} - \Delta R_{SQ,5\pi/4} \\ &\quad + \Delta R_{SQ,7\pi/4}) / 4R \\ &= \sum_{n=1}^4 (-1)^n \Delta R_{SQ,(2n-1)\pi/4} / 2R \end{aligned} \quad (3)$$

### 3. 모의 실험

제안한 분석 기법을 이용하여 모의 실험을 실시하였다. 모든 생성된 오차에는 레이저 간섭계에서 제시한 측정 오차 수준으로 랜덤 노이즈를 생성하여 포함시켰으며 최종적인 결과는 Table 1 과 같이  $1.0 \mu\text{m/m}$  이하의 차이 값으로 거의 정확히 추정되었다.

### 4. 결론

볼바를 이용하여 정확한 직각도 평가하기 위해 레이저 간섭계를 보조 활용한 측정 방법 및 분석 기법을 제시하였다.

- 레이저 간섭계를 이용해 측정된 오차

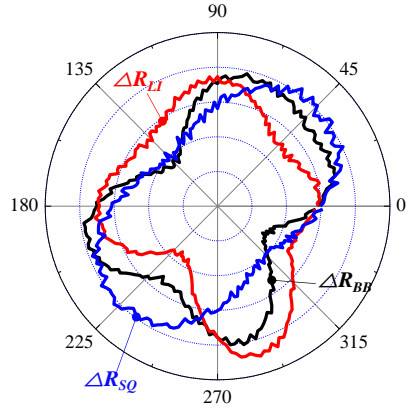


Fig. 3 Simulation Results

Table 1 Simulation results

	Generated	Estimated	Discrepancy
$S_{xy}$	-100.0 $\mu\text{m/m}$	-101.0 $\mu\text{m/m}$	-1.0 $\mu\text{m/m}$

데이터와 볼바 측정 데이터의 비교를 통한 직각도 측정 방법을 제안하였다.

- 직각도 분석하기 위한 수학적 모델을 제시하였고 모의실험을 통하여 타당성을 검증하였다.

### 후기

이 논문은 2012 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업으로 수행된 연구임(No. 2012-0005856).

### 참고문헌

1. Lee, D. M., Lee, H. H. and Yang, S. H., "A nalysis for the Squareness Measurement using Laser Interferometer," Journal of Korea Society for Precision Engineering, Vol. 29, No. 8, pp. 863-872, 2012.
2. Kim, K. H. and Yang, S. H., "A Reverse Kinematic Approach for Error Analysis of a Machine Tool using Helical Ball Bar Test," Journal of Korea Society for Precision Engineering, Vol. 18, No. 3, pp. 143-151, 2000.
3. Renishaw plc, "Online Instructions for using QC20-W and QC10 Ballbar System", 2010.