

상용 진원도측정기 스피ن들의 회전오차 보정 Run-out Error Compensation of Rotating Spindle in Commercial Roundness Tester

*#엄태봉¹, 정돈영, 김명순, 강주식, 김종안, 김재완
*#T. B. Eom(tbeom@kriss.re.kr)¹, D. Y. Jeong, M. S. Kim, C. S. Kang, J. A. Kim and J. W. Kim
¹ 한국표준과학연구원 기반표준본부 길이/시간센터

Key words : Roundness measurement, Error separation, Roundness standard, Spindle, roundness error

1. 서론

진원도측정기는 정밀 가공물의 진원도를 측정하기 위하여 널리 사용되고 있다. 이 진원도 측정에서 진원도측정기 스피ن들(spindle)의 회전오차는 측정값에 포함된다. 따라서 진원도 측정의 정확도를 향상하기 위해서는 측정 결과에서 진원도측정기 스피ن들의 회전오차를 보정하여야 한다. 일반적으로 진원도측정기 스피ن들의 회전오차는 진원도가 매우 좋은 표준구를 이용하여 측정된 후 그 결과를 컴퓨터에 저장한 후 일반 가공물을 측정할 때 그 값을 보정하여 사용하도록 되어 있다. 이와 같이 스피ن들의 회전오차를 보정하기 위한 진원도 표준구는 다단 오차 분리법(multi-step error separation technique)이나 반전법(reversal error separation technique)을 이용하여 진원도 오차를 측정하게 된다. 이 방법을 적용할 경우 측정 대상인 진원도 표준구의 진원도 오차와 진원도측정기 스피ن들의 회전오차를 동시에 측정할 수 있는데 다단 오차 분리법이 일반적으로 사용된다.

본 연구에서는 다단 오차 분리법을 이용하여 진원도 표준구의 진원도를 측정할 수 있도록 상용의 진원도측정기를 개조하였다. 여기서 우리는 적은 비용으로 진원도 표준구를 자동 측정할 수 있도록 하였다. 진원도 표준구를 회전시키기 위한 공기베어링식 로타리 테이블과 진원도 표준구에 접촉하여 형상 변화를 검출하는 전기마이크로미터의 신호를 얻기 위한 데이터처리 장치를 상용 진원도측정기에 설치하였다. 컴퓨터는 로타리 테이블의 회전각을 제어하고 전기마이크로미터의 신호를 획득하여 다단 오차 분리법으로 스피ن들의 회전오차를 분리한다.

2. 진원도측정기의 개조

다단 오차 분리법에 의한 스피ن들 오차 자동 보정을 위해 1982년에 도입된 Rank Taylor Hobson사의 Talyrond 73이 사용되었다. 이 측정기는 oil-hydrostatic 베어링의 스피ن들을 갖는 픽업 회전식(rotating pick-up type)으로 스피ن들은 기어가 내장된 synchronous motor에 의한 구동된다. 스피ン들에 부착된 half bridge inductive transducer의 픽업이 측정물에 접촉하여 회전하는데 픽업의 신호가 전자장치에서 증폭되고 필터링된 후 진원도가 표시된다.

다단 오차 분리법을 적용하기 위해 위의 상용 진원도 측정기에 표준구를 회전하기 위한 공기베어링식 로타리 테이블과 픽업의 신호를 획득하기 위한 data acquisition 장치가 새롭게 장착되었다. 로타리 테이블의 회전 오차와 위치 안정도가 이 측정에서 중요하기 때문에 소형의 공기 베어링식 로타리 테이블(BLOCK-HEAD Model 4R, Professional Instruments)을 사용하였다. 이것의 회전오차는 0.025 μm 이하이며 자동 회전을 위해 회전당 3,600 pulse를 발생하는 로타리 엔코더가 내장된 스텝모터를 에어 베어링 테이블에 부착하였다. 픽업의 신호는 20,000 배($\pm 2 \mu\text{m}$ 측정 범위) 증폭되고 1-500 UPR의 cut-off를 갖고 필터링 된다. 이 신호는 16 bit의 분해능을 갖는 A/D 변환기(NI PCI-6013, National Instruments)를 통해 컴퓨터에 입력된다. Fig. 1은 상용의 측정기에 공기 베어링식 로타

리 테이블이 장착된 사진이다.

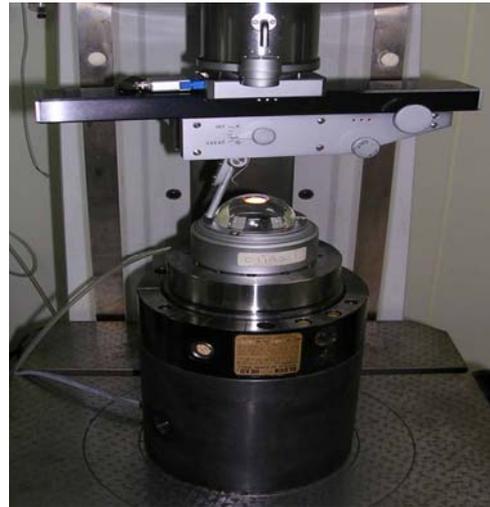


Fig. 1 Roundness tester with air bearing rotating turntable for multi-step error separation.

픽업 신호의 획득, 평균화, 필터링, 다단 오차 분리를 위한 계산용 프로그램은 Labview로 작성되었다. 픽업은 표준구 주위를 6 rpm으로 회전하며 스피ن들의 원점을 지시하는 신호가 입력되면 일정한 간격으로 1회전당 10,000개의 데이터를 받는다. 신호의 반복성을 검사하기 위해 한 회전이 끝난 후 10개의 데이터를 더 받아 처음 값과 비교하여 규정치보다 클 경우 데이터로 사용하지 않는다. 일반적으로 획득된 데이터는 A/D 변환기의 노이즈를 제거하기 위해 몇 개씩 평균을 취한 후 보통 1-50 UPR로 필터링을 한다. 최종적으로 최소사승원(least square circle)으로 측정값을 fitting하여 진원도 형상을 구한다.

스핀들의 회전오차를 보정하기 위해서는 다단 오차 분리법이 사용된다. 이를 위해 표준구는 보통 10개의 각도 위치에서 진원도 형상을 측정한다. 즉 로타리 테이블을 이용하여 표준구를 36° 간격으로 돌린 위치에서 진원도를 측정하게 된다. 스피ن들의 회전 오차는 10개의 각도 위치에서 측정된 값의 평균으로부터 구할 수 있으며 진원도 표준구의 진원도는 각 측정값에서 스피ن들의 회전오차를 보정한 후 평균화하여 구한다.

3. 장치의 성능평가 및 측정

픽업의 교정은 길이측정용 레이저 간섭계를 이용하여 정적으로 행해진다. 픽업의 축침을 미소변위기구에 고정된 레이저 간섭계의 이동 거울에 접촉시킨 후 미소변위기구를 PZT로 구동하면서 레이저 간섭계의 값과 진원도 측정기의 값을 비교한다. 표준구 교정에 사용되는 20,000 배 증폭 비에서 비선형성은 0.2% 미만이었다. 픽업의 축침이 표준구에 접촉하는 동안의 노이즈를

측정하였는데 그 값은 0.8 nm 수준이었다.

다단 오차 분리법을 사용할 경우 스피들의 회전 오차와 표준구의 진원도를 동시에 측정하기 때문에 스피들의 장기 안정도는 크게 문제가 되지 않으나 일반 진원도 측정기는 표준구를 이용하여 스피들의 회전 오차를 주기적으로 측정 후 이 값을 컴퓨터에 저장한 후 측정값에서 이 값을 보정하여 사용하기 때문에 스피들의 장기 안정도가 중요하다. Fig. 2 는 본 측정장치의 장기 안정도를 측정 한 결과이다. 그림을 보면 1 년에 걸쳐 약 8 nm 정도 변함을 알 수 있다. 표준구의 장기 안정도도 다단 오차 분리법을 적용하여 스피들의 장기 안정도와 함께 측정하였으며 그 결과가 Fig. 3 에 있다. 그림을 보면 표준구의 최대 형상 변화는 4 nm 수준으로 스피들의 장기 안정도 보다 변화량이 적었다.

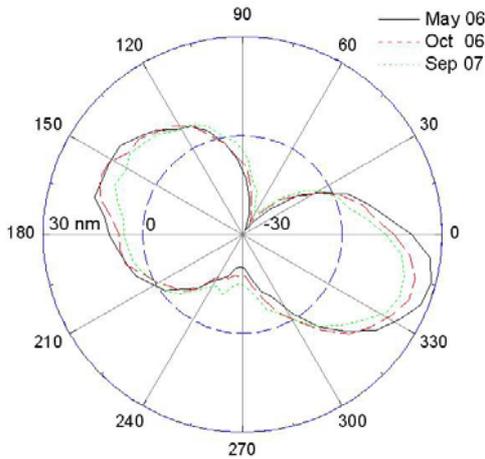


Fig. 2 Spindle error measured with multi-step technique, filtered with a cut-off of 50 UPR and averaged with 50 points/ one circle.

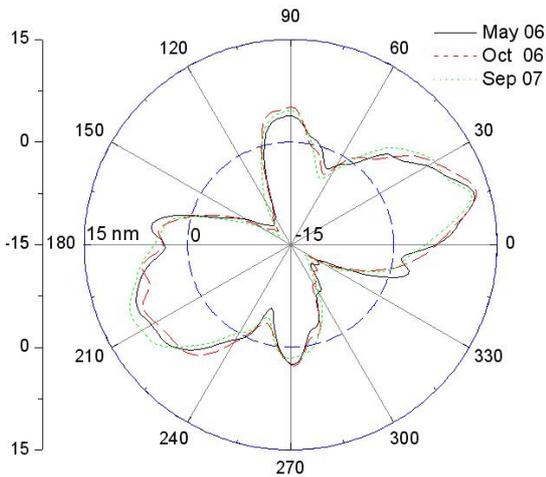


Fig. 3 Roundness of the hemisphere measured with multi-step technique, filtered with a cut-off of 50 UPR and averaged with 400 points/ one circle.

다단 오차 분리법을 적용할 경우 스피들이나 표준구에 step 수에 해당하는 harmonics 가 있을 경우 이를 정확하게 분리할 수 없다. Fig. 4 는 step 수를 달리하여 표준구의 진원도 형상을 측정 한 결과이다. 이 측정에서는 필터 등 모든 설정 값을 동일하게 하였다. 그림에서 보면 4 번 측정 결과에 대한 표준편차가 0.5 nm 이었다. 이 결과로부터 다단 오차 분리법에 의해 보정되지 않은 스피들의 하모닉스는 0.5 nm 이하임을 알 수 있다.

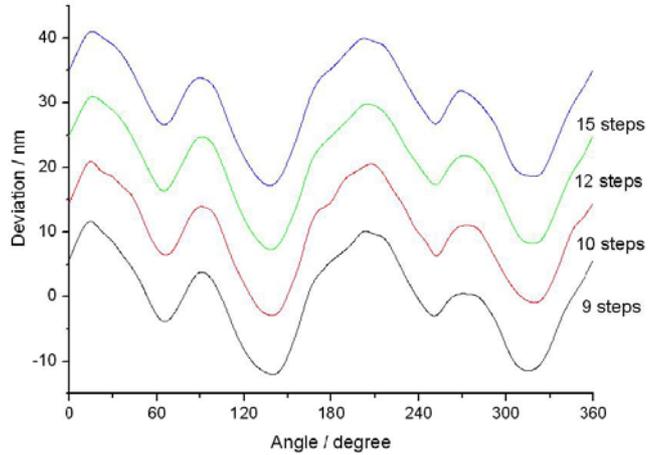


Fig. 4 Roundness profiles of the hemisphere measured at 4 different step number, filtered with a cut-off of 50 UPR and averaged with 100 points/ one circle.

4. 결론

다단 오차 분리법을 적용하여 스피들의 오차를 보정하기 위해 상용의 진원도 측정기를 개조하였다. 표준구를 회전하기 위한 공기 베어링식 로타리 테이블, 픽업의 신호를 획득하기 위한 A/D 변환장치 및 Labview 프로그램이 진원도 측정기에 새롭게 장착되었다. 장치는 완전 자동으로 스피들과 표준구의 진원도를 측정할 수 있다.

참고문헌

1. Whitehouse D. , "Some theoretical aspects of error separation techniques in surface metrology" J. Phys. E: Sci. Instrum. **9** 531-536, 1976.
2. Donaldson R., "A simple method for separating spindle error from test ball roundness error" Annals of the CIRP, **21**, 125-126, 1972.
3. Saccini A., Panciera R. and Pasin W.," High precision roundness measurement measurements at IMGCC" Proc. 9-IPES/UME-4, 163-166, 1997.
4. Haitjema H., Bosse H., Frennberg M., Sacconi A. and Thalmann R. "International comparison of roundness profiles with nanometric accuracy" Metrologia, **33**, 67-73, 1996.
5. Eom T. B., Lee J. Y., Kim J. W. and Lyou J. "Portable calibration system for displacement measuring sensors" Int. J. of Prec. Eng. and Manufact. **7**, 56-58, 2006.