

유정압 회전 테이블의 오차 분석 Error Analysis of a Hydrostatic Rotary Table

*김정환¹, #황주호¹, 심종엽¹

*J. H. Kim¹, #J. Hwang(joocho@kimm.re.kr)¹, J. Shim¹

¹ 한국기계연구원 초정밀시스템연구실

Key words : Rotary Table, Rotational Accuracy, Stiffness

1. 서론

초정밀 자유곡면 가공기에 필수적 요소인 회전 테이블은 정밀한 각도 분할, 회전중 작은 런 아웃 오차와 높은 강성이 요구되는 특성을 가지고 있으며, 선진 제품의 경우 유정압이나 공기베어링을 이용한 저마찰 구조를 활용하고 있다.

기존의 연구는 회전운동만을 고려한 초정밀 스피들에 대한 오차가 주를 이루고 있으며^{1,2}, 초정밀 회전 테이블의 오차분석에 대한 연구는 문헌을 찾아보기 힘들다. 본 논문에서는 유정압베어링과 내장형서보모터를 내장한 직구동 방식의 회전테이블의 제작 중 오차분석과 성능평가방법에 대하여 소개하고자 한다.

2. 유정압 회전테이블의 구조

사용된 유정압 회전테이블은 주로 회전각의 각도분할 위치결정용으로 사용되며 높은 회전수를 필요로 하지 않는 반면에 정도 높은 위치결정 특성을 위해 1/10000° 이내의 최소이송단위를 필요로 한다. 이상의 특성들 및 사용용도를 고려하여 Fig. 1 에 보이는 바와

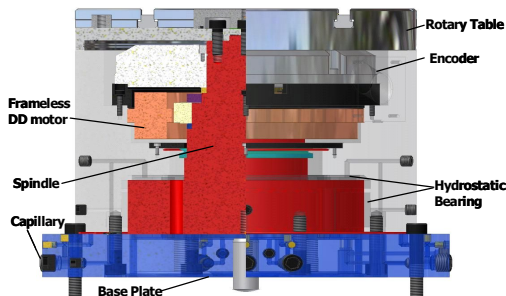


Fig. 1 Configuration of the ultra precision rotary table

같이 유정압 베어링이 하단에 위치하고 직구동모터와 인코더를 장착한 회전테이블을 설계 제작하여 실험에 사용하였다.

3. 회전테이블 오차 분석

3.1 정강성 분석

정강성 평가를 위하여 작용하는 힘을 단계적으로 변화시키면서 변위의 변화를 측정하였다. Fig. 2 상단에서 보는 바와 같이, 변위대 힘의 대표기울기는 483.6 N/μm 임을 알 수 있으며, 이는 해석을 통하여 예상한 557.3 N/μm 의 87 %수준이다. 이러한 차이는 해석 모델은 한 개의 일체된 부품으로 모델화 하는 것과 달리 실제 유니트는 여러 부품간의 볼트 결합이나 끼워 맞춤 등의 접촉 강성을 가지고 있기 때문에 이러한 차이로 강성이 저하된 것으로 보여 진다.² 반경방향 강성은

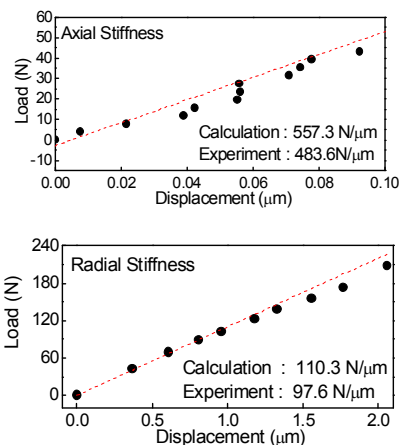


Fig. 2 Axial and radial stiffness of the rotary table

로드셀을 통하여 힘을 가하면서 힘이 가해지는 테이블의 반대편에서 변위를 측정하여 변위대 힘의 관계를 구하여 Fig.2 하단에 도시하였다. 그림에 보이는 바와 같이 97.6 N/ μm 임을 알 수 있으며, 이는 해석을 통하여 예상한 110.3 N/ μm 의 88% 수준으로 축방향 강성결과에서와 마찬가지로 결합부에서의 강성저하의 영향으로 보여진다.

3.2 회전정밀도 분석

로타리 테이블의 회전정밀도 평가를 위하여 Fig. 3 에 보이는 바와 같이 0.03 μm 의 진구도를 갖는 듀얼 마스터 볼을 테이블 중심에 설치하여 정전 용량형 센서를 이용하여 5 자유도의 운동오차를 분석하였다. 베어링면의 형상오차에 대한 오차분석을 살펴보기 위하여 Fig.4 에 보이는 바와 같이 Journal 베어링이 접촉하는 부위의 진원도 측정 값을 Fig. 4 에 보이는 바와 같이 측정하여 그의 영향을 전달함수법에 의하여 분석하였다.³

Fig. 5 는 X1 과 X2 위치에서 측정한

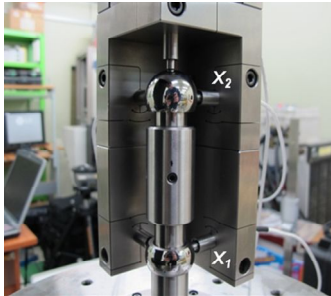


Fig. 3 Dual master ball for 5 D.O.F error motions

반경방향의 회전정밀도를 나타낸 것이다.

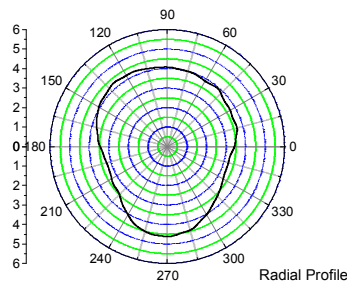


Fig. 4 radial profiles of the shaft

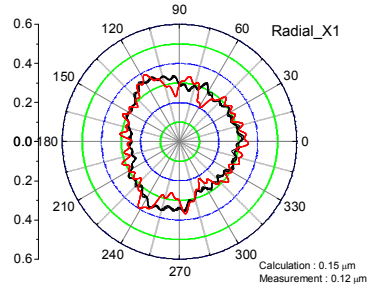


Fig. 5 Radial error motions of the table

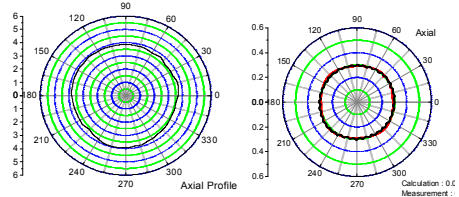


Fig. 6 Axial profile and error motions of the table

회전동기오차의 예측 값은 약 80%가 예측이 가능함을 알 수 있으며 Fig. 4 의 Profile 중 3 산의 오차성분이 주 영향을 미쳐 3probe 형태의 오차가 보이게 됨을 알 수 있다. 이는 4 개의 패드를 사용하는 유정압 테이블의 저널베어링의 주요 주파수와 상관관계가 높음을 알 수 있다. 한편 축방향의 오차는 Fig. 6 에 보이는 바와 같이 매우 양호한 결과를 보임을 알 수 있으며 이는 축방향 프로파일의 가공이 매우 양호하여 생기는 영향임을 알 수 있다.

참고문헌

1. Lu, X.-D., Paone, M.P., Usman, I., Moyls, B., Smeds, K., Rotherhofer, G. and Slocum, A.H., "Rotary-axial spindles for ultra-precision machining," CIRP Annals - Manufacturing Technology, 58, 323-326, 2009
2. Park, C.H., Hwang, J., "Design and performance evaluation of a spindle system for centerless grinding machine," J. of KSPE, 22, 142-150, 2005
3. Hwang, J., Shim J., Hong, S.-W., and Lee, D.-W. "Accuracy Simulation of Precision Rotary Motion Systems," J. of KSPE, 28, 285-291, 2011