

# 공기베어링 응용 고진공 회전테이블의 미소구동특성 평가 Ultra-Precise Motion of a Vacuum-Compatible Rotation Table using Air Bearing

\*#김경호<sup>1</sup>, 박천홍<sup>1</sup>

\*#G. Khim (gyungho@kimm.re.kr)<sup>1</sup>, C.-H. Park<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국기계연구원 나노융합·생산시스템연구본부 초정밀기계시스템연구실

Key words : Rotation table, Vacuum, Air bearing, Ultra-precise motion, Repeatability

## 1. 서론

디지털 정보화 시대가 급속히 진행되면서 작으면서도 큰 용량을 지닌 디지털 기기들에 대한 요구가 커지고 있다. 이에 대한 요구에 부응하고자 정보저장매체 시장에 있어서도 DVD 에 비해 25 GB 용량의 블루레이 디스크가 이미 시장에 선보이고 있으며, 머지않아 500 GB 급의 디스크 시장이 형성될 것으로 보인다.<sup>1,2</sup> 메모리 분야에 있어서도 선풍 30 nm 급의 64GB 낸드플래시가 이미 개발되어 HDD 를 대체할 SSD(Solid State Drive)에 적용되고 있다. 대용량화가 진행될수록 기존의 방식을 탈피한 새로운 기술이 요구되고 있으며, 이는 노광장비나 마스터링 장비에 있어서도 기존 레이저광의 파장이나 광학계의 회절 한계로 인해 레이저광 대신 파장이 훨씬 짧은 전자빔을 사용하려는 연구가 진행되고 있다. 이와 같은 장비들은 모두 기존의 대기환경이 아닌 진공환경에서 이루어져 하므로, 따라서 진공환경에서 동작하는 초정밀 스테이지에 대한 필요성이 증가하고 있다.

저자 등은 블루레이 디스크 마스터링 장비를 대상으로 하여 진공환경용 초정밀 스테이지에 대한 연구를 진행중에 있다. 블루레이 디스크의 원판 가공은 반경-회전방향으로 가공이 이루어지므로 직선테이블과 회전테이블이 필요하고, 장비 특성상 회전테이블의 정밀도가 훨씬 중요하므로 회전테이블에는 공기베어링을 이용하여 구성한 바 있다.<sup>3</sup> 공기베어링을 이용한 회전테이블의 설계 및 진공특성에 대해서는 이미 검증을 끝냈으며, 직선테이블과의 동기제어 구동특성에 대해서도 그 특성을 평가한 바 있다.<sup>4</sup> 블루레이 디스크 마스터링 장비에서의 회전테이블은 기본적으로 일정 선속도로 계속 구동되는 것이기에 미소이송특성은 평가 대상이 아니다. 그러나 다른 장비, 용도에 사용되는 것을 가정할 때 미소구동특성은 매우 중요한 요소이기에 본 논문에서는 이에 대한 실험결과에 대해 소개하고자 한다.

## 2. 고진공 회전테이블의 설계

진공환경에서 공기베어링을 이용한 회전테이블의 설계는 진공씰(seal)의 추가 외에는 기본적으로 일반 대기환경용 회전테이블에 비해 큰 차이는 존재하지 않는다. 회전테이블의 구조를 Fig. 1 과 같이 내부를 모두 대기압으로 설정하여 일반 대기환경용 부품을 모두 사용할 수 있으며 공기베어링의 설계 또한 동일한 과정을 거치면 되므로 차이점은 전혀 없다. 그러나 회전테이블 내부를 진공에 노출되는 구조로 설계가 이루어지면 모든 부품을 진공용 부품으로 대체함과 동시에 공기베어링의 설계 조건 또한 달라지게 된다. 공기베어링에서 배출된 공기가 챔버에 누출되는 것을 억제해주는 진공씰의 설계는 차동배기 및 자성유체씰을 이용한 방법이 사용되고 있으며 여기서는 차동배기만을 사용하였다.

회전테이블은 Aerotech 사의 슬롯리스 다이렉트 드라이브 모터(S130-39-B)를 채택하여 코깅에 의해 발생하는 회전정밀도 저하 현상과 속도변동을 최대한 억제하였다. 제어기는 Delta Tau 사의 Turbo PMAC2 보드를, 앰프는 Varedan 사의 LA400 리니어 앰프를 이용하였다. 사용된 모터에는 홀센서가 부착되어 있으나, 이를 이용하지 않고 엔코더 신호를 받아 제어기에서 직접 commutation 하여 사용하여 구

동특성을 향상시키고자 하였다. 피드백은 Sony 사의 고분해능 각도엔코더를 사용하였으며, 스케일은 박판타입(스케일 필름두께 60 μm)으로 스케일 필름을 별도의 회전프레임에 접착하여 사용하게 된다. 사용된 스케일 필름은 BE10 모델로 직경 29 mm 짜리이며, 한 회전당 302,400 개의 사인파 펄스가 출력된다. 제어기는 이미 체배가 이루어진 TTL 신호가 아닌 사인파 신호를 받아들인 후에 체배를 함으로써 주파수 입력대역(PMAC 의 경우 40 MHz)에 여유가 있으며, 따라서 고분해능과 동시에 상대적으로 고속구동이 가능하게 된다. 사용된 체배보드는 ACC-51P 로 128 배의 정수체배와 32 배의 소수체배로 총 4096 체배를 할 수 있다. 이로써 직경 29 mm 짜리 BE10 모델의 경우, 한 회전당 총 38,707,200 개의 펄스가 출력되며, 분해능은 한 펄스당 0.162 μrad 가 된다. 소수체배까지 포함할 경우는 0.005 μrad 까지의 분해능의 구현이 가능하다. 제작된 회전테이블은 이와 같은 고분해능하에서도 사인파 출력 엔코더의 사용으로 최대 850 rpm 로 동작함을 확인하였다.

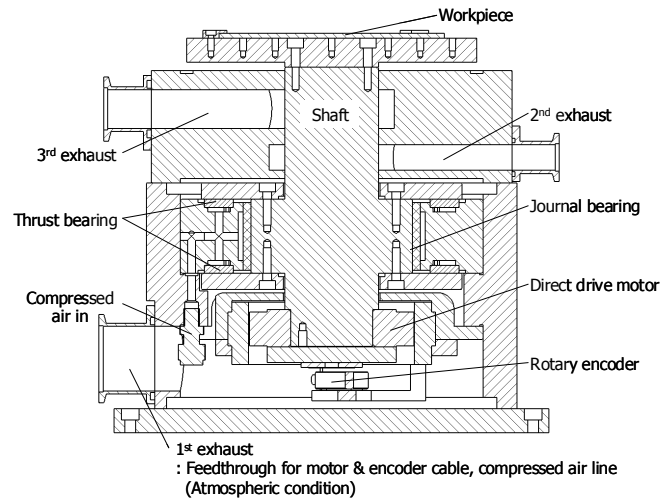


Fig. 1 Structure of a vacuum-compatible rotation table

## 3. 미소구동특성 평가

제작된 회전테이블을 진공챔버에 설치한 모습을 Fig. 2 에서 보여주고 있다. 진공챔버는 외부진동을 차단하기 위하여 2.5 Hz 의 고유진동수를 지니는 패시브 타입 방진테이블(BiAir<sup>®</sup>)에 설치되어 있다. 또한 고진공환경을 위해 사용되는 터보분자펌프를 진공챔버에 직결하는 대신 벨로즈를 통한 완충영역을 두어 펌프회전에 의한 영향을 최대한 차단하고자 하였다.

회전테이블의 미소이송특성을 평가하기 위해 정전용량형 센서와 AD 보드를 사용하였다. 정전용량형 센서는 진공에서 사용할 수 있는 ADE 사의 4810 앰프와 2803V probe 를 이용하였으며, ±10 μm 의 측정범위에 분해능은 0.5 nm 이다. AD 보드는 Dewetron 사의 Dewe-43 모델로 24bit 의 분해능을 가진다. Fig. 3 은 정전용량형 센서가 설치된 모습을 보이고 있으며, 회전테이블에 직육면체 모양을 바를 설치하여 회전에 따른 직선변위를 측정하였다.

회전테이블의 미소이송특성 평가시 방진테이블에 의해

대부분의 외부진동은 차단할 수 있으나, 전기 노이즈 등은 접지 등의 방법을 통해서도 완벽한 차단은 어렵다. 따라서 측정 노이즈에 의한 영향을 제거하고 회전테이블 자체의 이송특성만을 평가하기 위해 저대역통과필터(Low Pass Filter)를 거쳐 10 Hz 미만의 신호만을 처리하였다.

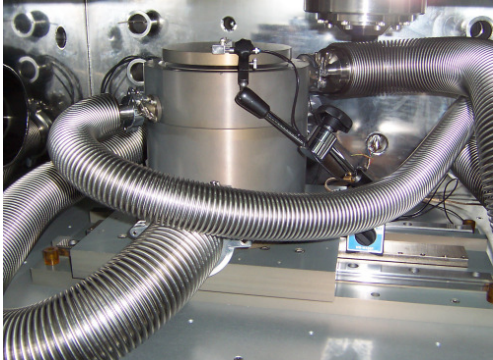


Fig. 2 Rotation table installed in a vacuum chamber

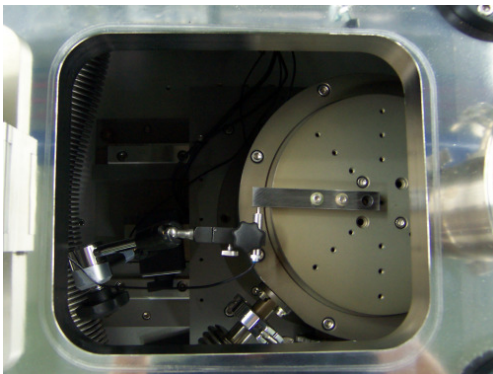
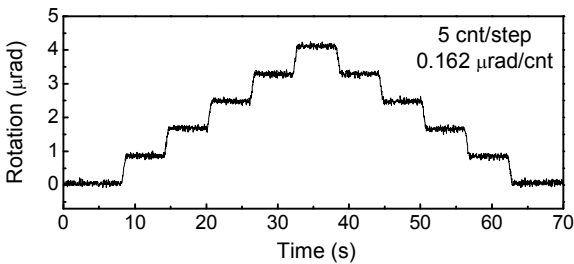
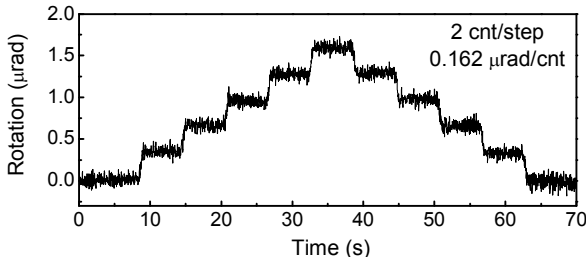


Fig. 3 Setup for micro step response

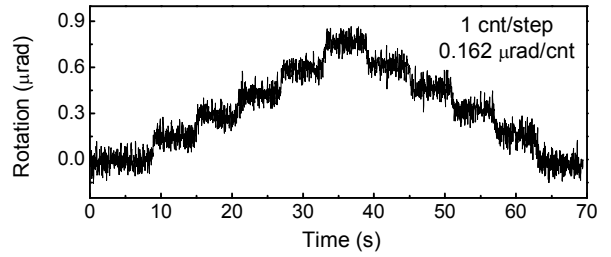
Fig. 4는 회전테이블을 한 스텝당 각각 5, 2, 1 펄스씩 미소이동한 결과를 보여주고 있다. 정전용량형 센서에 측정된 직선변위를 각변위로 환산하여 나타내었다. 각 경우에 대해 모두 완벽한 미소이동이 가능하였으며, 특히 1 펄스에 해당하는  $0.162 \mu\text{rad}$  ( $=0.033 \text{ arcsec}$ )씩 보낸 경우에 있어서도 명확한 구분이 가능해 측정노이즈만 제거한다면 이 이상의 분해능도 달성가능하리라 판단된다.



(a)  $0.811 \mu\text{rad}$  step



(b)  $0.324 \mu\text{rad}$  step



(c)  $0.162 \mu\text{rad}$  step

Fig. 4 Ultra-precise motion response test

Fig. 5는 반복능 테스트를 한 것으로 현재 실험셋업에서 정전용량형 센서가 인식할 수 있는 거리인 1000 펄스씩 왕복 이송하면서 측정한 결과이다. 1000 펄스에 해당하는  $162.3 \mu\text{rad}$ 을 정확히 이송한 것을 확인할 수 있으며, 단 방향이나 양방향 모두에 대해 반복능 오차는 측정노이즈보다도 작은  $0.1 \mu\text{rad}$  이하임을 알 수 있다.

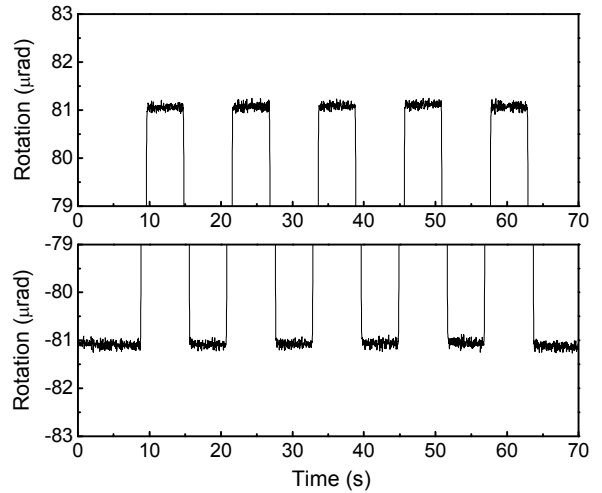


Fig. 5 Repeatability test

#### 4. 결론

진공환경용 초정밀 회전테이블에 대해 미소구동특성을 평가하였다. 마찰이 거의 없는 공기베어링 및 고분해능 엔코더의 사용으로 1 펄스당  $0.162 \mu\text{rad}$ 의 이송분해능으로 구동됨을 확인할 수 있었으며, 반복정밀도에 있어서도 반복능 오차가 측정노이즈보다 작은  $0.1 \mu\text{rad}$  이하임을 알 수 있었다. 측정환경이 개선되면 보다 작은 분해능 및 반복능 오차 구현도 가능하며, 이로부터 진공용 공기베어링이 적용된 회전테이블이 초정밀 구동이 필요한 관련분야에서 충분히 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

1. Kojima, Y., et al., "High Density Mastering Using Electron Beam," Jpn. J. Appl. Phys, Vol. 37, pp. 2137-2143, 1998.
2. Furuki, M., et al., "Electron Beam Recording with a Novel Differential Pumping Head Realizing More than 50 GB/Layer Capacity Disc," Jpn. J. Appl. Phys, Vol. 42, pp. 759-763, 2003.
3. 김경호, 송창규, 박천홍, "전자빔 마스터링을 위한 공기 베어링 응용 고진공 회전테이블의 설계 및 진공특성 평가," J. KSPE, Vol.25, No.12, pp.132-138, 2008
4. 김경호, 심종엽, 박천홍, 송창규, 이성재, "PMAC 제어기를 이용한 전자빔 마스터링 스테이지의 일정선속도 동기제어," 한국정밀공학회 2009 춘계학술대회논문집, pp. 871-872, 2009