

유정압 베어링 이용 초정밀 가공기의 나노미터 영역 제어에 관한 연구

High Precision Control of Hydrostatic Bearing Machine Tool

*#심종엽¹, 송창규¹, 박천흥¹

*#J. Y. Shim¹(jyshim@kimm.re.kr), C.K. Song¹, C.H. Park¹

¹ 한국기계연구원 초정밀기계시스템 연구실

Key words : nanometer control, high precision machine tool, hydrostatic bearing

1. 서론

최근 초정밀 가공기의 수요는 전통적인 기계 제품의 한계를 넘어 휴대폰/디스플레이 등 IT 분야 제품의 부품 가공에도 응용되고 있다. 복잡한 형상을 가진 휴대폰의 정밀금형 및 디스플레이 패널의 확산필름 등 BLU(Back Light Unit)의 핵심 부품소재에서 초정밀 가공기 역할은 점점 커지고 있다. 이러한 응용 분야에서 부품의 성능 및 정밀도를 향상시키기 위해서 가공 정밀도는 중요한 역할을 하며 가공 정밀도에 직접적으로 영향을 미치는 초정밀 가공기의 위치제어 정밀도 향상은 중요한 과제라 할 수 있다.

초정밀 가공기는 최근 1 μm에 근접하는 패턴을 가공하는 수준에 다가가고 있으며 이에 따른 가공기의 제어성능의 중요성도 부각되고 있다. 초정밀 가공기의 제어 플랜트는 이송테이블, 베어링, 구동기 및 센서의 각 요소가 복잡한 전달함수를 구성한다. 초정밀 제어를 위하여, 복잡한 구조로 인하여 발생할 수 있는 부차 공진을 사용 주파수 영역에서 제거해야하며 각 요소에 감쇄특성을 부여하여 발생하는 부차공진의 영향도 최소화 하는 제어적인 접근이 중요하다.

본 논문에서는 4축 초정밀 가공기의 이송계를 대상으로 제어기의 설계 및 제어 성능향상에 대한 연구를 수행하고자 한다.

2. 4축 초정밀 가공기

Fig. 1에는 실험에 사용된 4축 초정밀 가공기를 보이고 있다. XY 평면 가공 면적은 400 mm x 400 mm 이며 Z축은 120mm을 이송할 수 있고 Y축 내부에 C축이 내장되어 구성되었다.



Fig. 1 4-axis ultraprecision machine tool picture

4축의 모든 베어링은 유정압 베어링을 채용하고 있고 모든 직선 이송계는 Coreless 리니어 모터를 채용하고 있으며 위치센서로는 리니어 스케일을 채용하였다. C축의 구동기는 내장형 직접구동방식 모터를 채용하였고 회전형 스케일이 각도 피드백 센서로 사용된다. Table 1에 본 연구의 제어실험에 사용된 Y축의 시스템 구성을 보이고 있다. 각 이송축의 제어기로는 Delta-Tau 사의 Umac 제어유니트가 사용되었다.

Table 1 Specifications of controlled system

항목	제원	
가공기 크기	1,300×1,800×1,200 mm	
Y축	Feed table	Oil hydrostatic
	Motor	Coreless linear motor
	Feedback	Laser scale, resolution 0.3 nm

3. 제어 플랜트 분석 및 나노미터 제어

이송축의 초정밀 제어를 위하여 이송축 제어 시스템의 분석을 수행하였다. 제어시스템을 가동시켜 위치제어를 수행한 상태에서 위치 오차 성분의 주파수 응답특성을 분석하면 두개의 커다란 노이즈 성분으로 58 Hz와 116 Hz 성분이 보이고 116 Hz 성분은 58 Hz의 두번째 하모닉 성분으로 58 Hz로 인하여 발생한 제어루프가 걸린 상태의 오차 성분으로 판단된다. 이러한 주파수 분석으로 58 Hz 성분의 제거가 요구되어 노이즈 성분의 원인이 기계적인 것인지 전기적인 것인지의 파악이 필요하였다. Fig. 2(a)에서는 스케일 지그의 주파수 응답특성 실험 결과를 보이고 있다. 수직방향 결과에서 보면 58 Hz 성분이 확연히 보이고 있다. 이에 의한 결과로 스케일 신호상의 58 Hz 성분은 스케일 지그의 기계적인 공진으로 인한 결과임이 확인되었다. Fig. 2(b)에서 보이듯이 FEM을 수행하여 기존의 스케일 지그를 분석 및 재설계하였으며 설계된 스케일 지그를 장착하여 주파수 분석 및 제어기 분석을 수행하였다. 또한, accumulator, T-필터 및 유압압 베어링 시스템에 종속된 공급 유압의

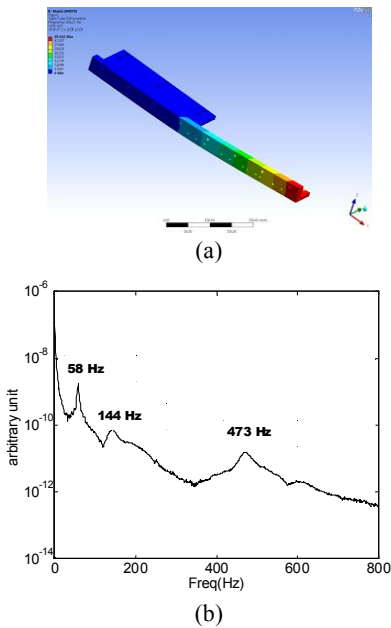


Fig. 2 (a) FEM modal analysis for scale jig (b) modal experiment result for scale jig

맥동 저감을 위하여 제어 노이즈가 최소가 되는 유압 동작점으로 주파수 분석을 통하여 설정하였다. Fig. 3에서 보이듯이 주파수 응답특성을 실험적으로 분석하여 제어기를 설계하고 미소 응답 제어를 수행하여 5 nm 위치제어 실험을 수행하였다.

4. 결론

유압압 베어링을 사용한 4축 초정밀 가공기의 초정밀 제어에 관한 연구를 수행하였다. 전기/기계적인 시스템 요소의 제어 노이즈 분석에서 노이즈 저감설계를 수행하였고 제어시스템의 주파수 분석을 통한 유압 시스템의 최적화 및 문제가 되는 기계요소 추출/분석 및 보완설계를 수행하였다. 나노미터 급으로 제어하기 위하여 각 초정밀 가공기 시스템 요소 설계가 제어의 관점에서 어떻게 설계 되어야 하는지 방향을 제시하였다.

참고문헌

1. Jan Van Eijk, "Dynamic Design for Improved Control", Proceeding of 2009 ASPE, 2009.
2. Leonard Meirovitch, "Dynamics and Control of Structures", Wiley, 1990.

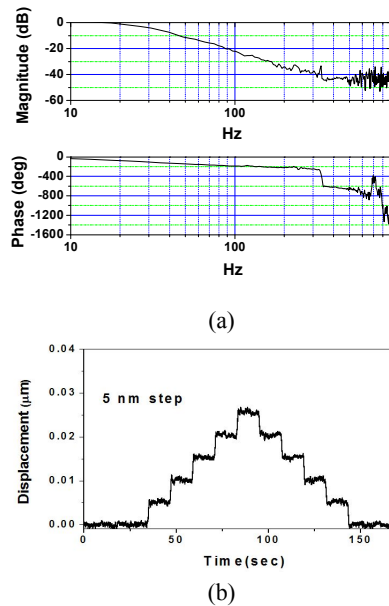


Fig. 3 (a) Closed-loop transfer function of final tuned system (b) 5 nm multi-step control result