

공기베어링 스테이지의 이송특성 연구

황주호* , 박천홍 , 송창규 (한국기계연구원), 김종천 (삼익공업(주))

A Study on the Positioning Characteristic of Aerostatic Stage

J. H. Hwang, C. H. Park, C. K. Song(KIMM), J. C. Kim (Samick Industrial Co., LTD.)

ABSTRACT

An aerostatic stage has frictionless behavior, so it has a advantage of investigation into driven mechanism such as ballscrew. In this paper, for investigating positioning characteristic of ballscrew and feedback device in aerostatic stage, we compare the positioning characteristic between full-closed(laser scale) and semi-closed(encoder) system.

Experimental results show that the aerostatic stage has a 10nm micro step response and repeatability is improved up to 1.00 μ m using laser scale. We confirm the laser scale compensate error motion of ballscrew, so acquire 1.12 μ m positioning accuracy.

Key Words : Aerostatic stage(공기정압 스테이지), positioning characteristic (위치결정 특성), micro step response (미소스텝 응답), Positioning accuracy (위치결정정도)

1. 서론

위치결정기술은 산업 및 생활에서 활용되는 포괄적인 기술로 대형 크레인에서부터 전자제품, 프린터, 전자현미경에 이르기까지 수많은 분야에 활용된다. 이중에서도 서브미크론의 정밀도가 요구되는 초정밀 가공기, 반도체장비, 초정밀측정기 등에 활용되는 초정밀스테이지는 부가가치가 높은 핵심기술로서 1980년 후반부터 활발한 연구가 진행되고 있다.

수십mm 이상의 스트로크가 요구되는 스테이지의 경우, 초정밀 위치결정에 큰 장애요인으로 작용하는 마찰력을 줄이는 목적으로 공기베어링을 대부분 사용하며, 전달기구부로는 대상기계의 속도, 정밀도, 비용등을 고려하여 볼나사^{(1),(2)}, 리니어모터⁽³⁾, 마찰 구동기⁽⁴⁾등을 활용하고 있다. 반도체장비등 높은 생산성을 요구하는 고속의 스테이지는 리니어모터를 사용하는 비중이 차츰 높아가고 있는 추세이나, 나머지 분야에선 가격적으로 유리한 볼나사를 많이 선호하는 추세이다.

위치검출 장치로는 높은 정밀도를 요구하는 초정밀 가공기, Stepper등에선 레이저 간섭계를 사용하고 있으며, Prober, 검사장비, 고정밀가공기 등에선 리니어 스케일을 많이 사용한다. 최근엔 열팽창계수가

낮고 리니어스케일 보다 정밀도가 높은 레이저 스케일이 사용되기 시작했으며, 가격적인 면에서 레이저 간섭계보다 유리하다.

본 연구에서는 가이드는 공기베어링을 사용하고, 구동기구는 볼스크류를 사용하며 위치검출 장치는 레이저 스케일(Laser Scale)과 정밀 인코더를 사용하는 스테이지의 이송특성에 대하여 미소이송정도 및 위치결정 특성을 실험적으로 분석하여, 각 기구의 특성을 파악하는 것을 그 목적으로 한다.

2. 공기정압 스테이지의 구조 및 기초특성

2.1 이송계의 구조

공기정압 스테이지의 구조는 Fig. 1과 같으며 카본 그라파이트재료로 구성된 공기정압 패드를 사용하고 있으며 더블패드방식으로 상하운동을 구속하고 있다. 구동기구는 C0급의 볼나사와 AC Brushless 모터를 사용하며, 위치검출장치는 인코더와 레이저 스케일을 사용하고 있다. 사용된 재원의 특징은 Table 1과 같다.

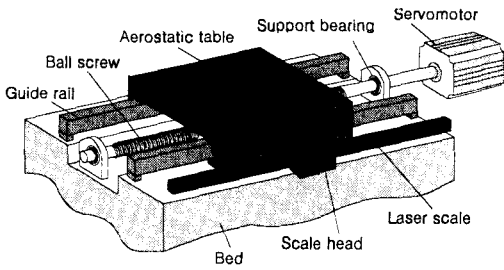


Fig.1 Schematic diagram of aerostatic stage

Table 1 Element of aerostatic stage

	제작사/모델명	특징
볼나사	THK/BNFN2505-2.5	C0급, 리드5mm 나사부:375mm
서보모터	Glentek/GMB3530	1.2kw
인코더	Heidenhain/ROD250	18000line 2.8nm 분해능
레이저스케일	SONY, BSA75A-310N	Accuracy:0.31μm 10nm 분해능

인코더는 회전당 18000주가의 사인파형이 출력되 컨트롤러 4채배 포함 총 100채배를 하여 볼나사 1mm이송당 360000개의 구형파가 출력된다. 레이저스케일은 분해능이 10nm이고 열팽창계수가 $0.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 로 온도변화에 대하여 일반적인 리니어스케일 등에 비하여 1/10 수준으로 매우 우수하다.

사용된 공기정압 스테이지는 자체제작한 것으로 정강성은 수직방향 78.5N/μm, 수평방향 34.8μm이다. 공기의 유입에 의한 테이블의 부상을 방지하지 않으며 볼스크류에 의한 운동오차 흡수를 위하여 fig. 2와 같은 판 스프링형의 커플링을 부착하였으며 커플링의 강성은 수직방향 0.021N/μm, 수평방향 1.331N/μm으로 설계되었다.

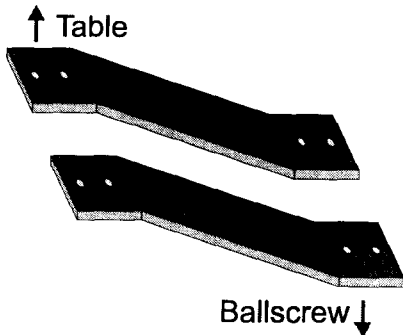


Fig. 2 Schematic diagram of coupling

2.2 공기정압 스테이지 기초특성 실험

공기정압 스테이지의 특성은 위치결정에 영향을 줄 수 있으므로 기초특성에 관하여 실험하였다. 공

기정압 가이드의 배기진동을 측정하기 위하여 정전용량형 센서를 이용하여 이송방에 대하여 수평 및 수직방향의 공기배기에 의한 진동을 측정하였다. Fig. 3에 보이는 바와 같이 10nm이하의 진폭을 보이며 위치결정에 문제가 되지 않으리라 예상된다.

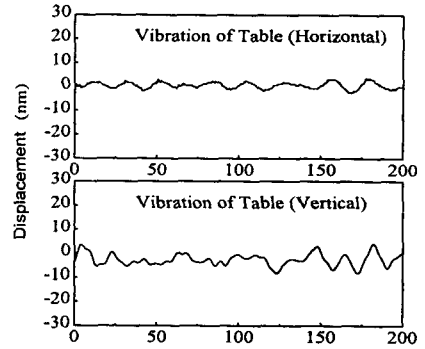


Fig.3 vibration of table due to air flow

Fig. 4는 볼나사를 결합하지 않은 가이드 자체만의 진직도를 측정한 결과이다. 이송방향에 대하여 수평방향 수직방향 진직도는 각각 2.07μm, 0.92μm로서 위치결정에 영향을 주는 정도는 극히 적으리라 판단된다.

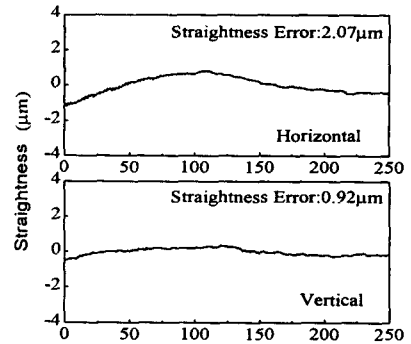


Fig. 4 Straightness of aerostatic guide

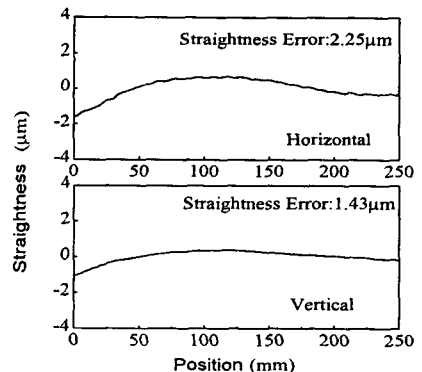


Fig. 5 Straightness of guide driven by ballscrew

볼스크류를 체결한 후 구동시의 진직도 오차를 Fig. 5에 도시하였다. 그림에서 보이는 바와 같이 Fig.4의 파형과 매우 유사하며 테이블에 부착된 판스프링 형태의 커플링이 볼스크류의 오차흡수를 하는 것으로 생각된다.

3. 이송특성 실험

3.1 미소이송특성

인코더를 사용하여 미소이송 특성을 정전용량형 변위계를 테이블 선단에서 측정한 결과이다. 4pulse에 해당하는 11.2nm 스텝이송에 대하여 스텝간의 구별이 명확하게 나타나는 반면, 5.6nm의 간격으로 이송하면 스텝간의 구별은 가능하나 11.2nm의 스텝이송에 비하여 안정적이지 못하다.

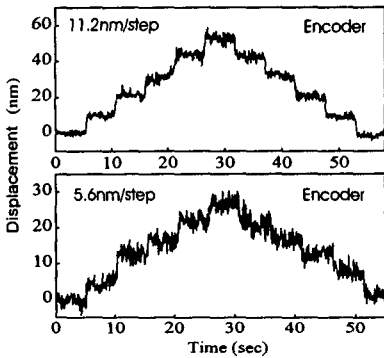


Fig. 6 Micro step response of stage using encoder

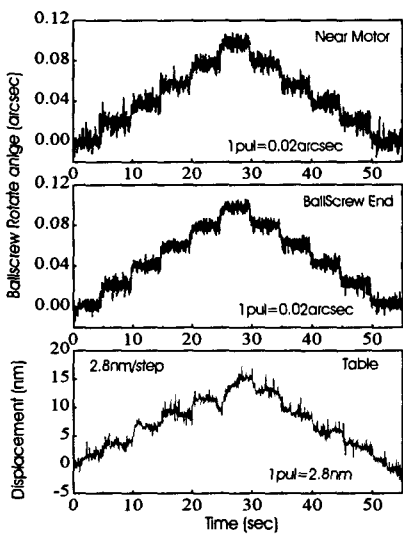


Fig. 7 Comparison of rotation of ballscrew with displacement of table

미소이송특성시 오차를 유발하는 부분을 찾기위하여 모터에서부터 연결된 커플링 근처와 반대편 끝단의 스크류에 회전중심에 대하여 5mm의 회전반경을 갖도록 보조막대를 삽입하여, 스크류의 회전량과 테이블의 변위관계를 살펴보았다. Fig. 7에서 관찰된 바와 같이 최소분해능인 0.02arcsec의 회전에 대하여도 모터는 안정적인 응답특성을 보이며 모터측의 회전 변위가 뒤틀림 없이 볼나사 끝단으로 전달됨을 확인 할 수 있었다. 그림에서 보이는 바와 같이 테이블의 변위는 스텝간의 구별이 어려우며, 이로부터 볼나사 너트부위에서 운동전달이 충분히 되지 않는 것을 확인 할 수 있다.

볼나사 시스템은 C0급을 사용하더라도 변동이나 흔들림을 내포하고 있어, 이송테이블의 위치를 직접 검출하는 레이저 스케일을 이용하여 위치결정시 미소이송 특성 특성을 정전용량형 변위계로 측정한 결과이다.

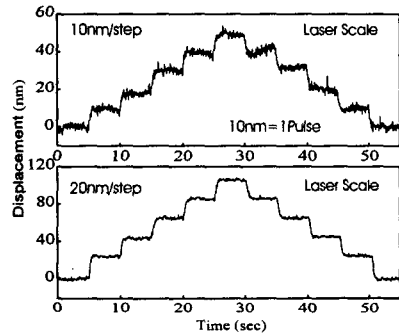


Fig. 8 Micro step response of stage using laser scale

Fig. 8에 보이는 바와 같이 최소분해능인 10nm와 두배인 20nm에 대하여 모두 뚜렷한 스텝간의 구별을 보임을 확인 할 수 있었다. Fig. 9는 연속적으로 마이크로 스텝으로 반복운동 하였을 때의 미소이송 정도를 나타낸 것이다.

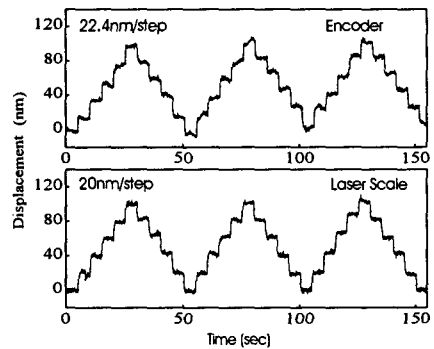


Fig. 9 Comparison of micro step response between encoder and laser scale feedback

레이저 스케일을 사용한 시스템의 경우 인코더를 사용한 경우에 비하여 균일한 간격의 스텝을 보이고 왕복 운동시 그 차이가 적음을 알 수 있다. 이는 위치결정시 반복능과 밀접한 관계를 가지리라 예상된다.

3.1 위치결정특성

인코더와 레이저스케일의 위치결정특성비교를 위하여 레이저 간섭계를 이용하여 ISO230-2의 기준으로 시험분석한 결과이다. 인코더를 위치검출 장치로 사용한 경우 볼스크류의 특유의 누적오차 특성을 보임을 알 수 있었고, 변동이 커서 반복능이 7.41 μm 나 된다. 레이저 스케일은 제작사의 제시 반복능인 0.02 μm 보다 50배정도 큰 1.18 μm 를 보인다. 이는 레이저 주위의 대기 등의 흔들림에 의한 측정상의 문제 및 스테이지의 흔들림에 기인한 문제라고 생각된다.

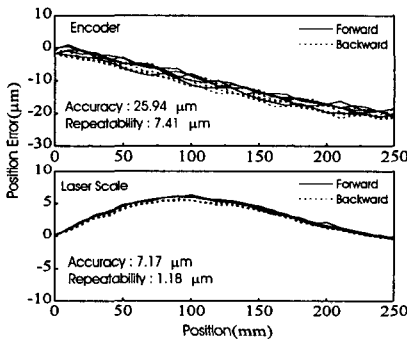
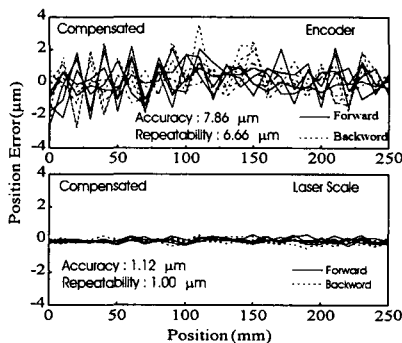


Fig. 10 Comparison of positioning characteristic between encoder and laser scale feed back

Fig10의 결과를 바탕으로 수치보정을 통하여 보정을 수행한 결과를 Fig. 11에 도시하였다.



보이는 바와 같이 수치보정을 통하여 누적오차는 줄일 수 있었으나, 반복능은 향상이 어려워서 반복

능이 위치결정정도를 좌우하는 요소가 되었다. 즉 서브미크론의 위치결정정도를 갖기 위해서는 반복능의 감소가 요구되어지며 이의 원인에 대한 규명이 필요하다.

4. 결론

공기정압 베어링 스테이지의 동력 전달기구로 볼스크류와 서보모터를 사용하고, 위치검출장치인 인코더와 레이저 스케일을 비교함으로써 각 요소의 기본 특성을 파악하였으며 그로부터 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 공기정압 스테이지를 이용하여 10nm 스텝의 미소이송분해능이 가능하며, 볼스크류의 너트부에서 운동이 전달되지 않음을 확인 할 수 있었다.

2) 레이저 스케일을 사용한 경우 전기적 분해능인 10nm의 미소이송이 가능함을 확인 하였으며, 미소스텝으로 왕복 운동시 인코더에 비하여 규칙적인 특성을 보임을 확인 할 수 있었다.

3) 인코더를 사용한 경우 볼스크류의 변동이 그대로 전달되어, 반복능이 7.41 μm 이며, 반면 레이저 스케일을 사용하는 경우는 이보다 적은 1.18 μm 임을 확인 하였다. 수치보정을 통하여도 반복능의 향상은 1.00 μm 으로 그 크기가 크지 않음을 알 수 있었으며, 위치결정정도는 1.12 μm 까지 가능하였다.

참고문헌

1. Paul I. Ro and Peter I. Hubbel, "Nonlinear micro-dynamic behavior of a ball-screw driven precision slide system", Precision Engineering, Vol.14, No.4, pp229, 1992
2. Jiro Otsuka, "Nanometer level positioning using three kinds of lead screws", Nanotechnology, Vol. 3, pp. 29-36, 1992.
3. Shigeru Futami, "Nanometer Positioning and its micro-dynamics", Nanotechnology, Vol. 1, pp. 31-37, 1990.
4. Hiroshi Mizumoto, Katsumi Nomura and Tomio Matsubara, "An ultraprecision positioning system using a twist-roller friction drive", Precision Engineering, Vol. 15, No. 3, pp. 180-184, 1993.