

## 초진공용 2축 대변위 나노 스테이지 개발

강은구\*, 홍원표, 이석우, 정문성, 최현종(한국생산기술연구원)

### Development of 2-Axes Linear Motion System with Nano resolution for UHV

E. G. Kang, W. P. Hong, S. W. Lee, M. S. Jung and H. Z. Choi (KITECH)

#### ABSTRACT

The direct write FIB technology has several advantages over contemporary micro-machining technology, including better feature resolution with low lateral scattering and capability of maskless fabrication. Therefore, the application of FIB technology in micro fabrication has become increasingly popular. In recent model of FIB, however the feeding system has been a very coarse resolution of about a few  $\mu\text{m}$ .

Our research is the development of nano stage of 200mm strokes and 10nm resolutions. Also, this stage should be effectively operating in ultra high vacuum of about  $1 \times 10^{-7}$  torr.

This paper presents the discussion and results of CAE of the 2 axes stages. we have estimated the stable static and dynamic characteristics for dual servo system. Therefore the 2 axes stages developed and future work are introduced at the end of the paper.

**Key Words :** Linear Motion System(선형이송계), UHV(초진공), Nano Resolution(나노 분해능), Dual Servo System (듀얼 서보 시스템)

#### 1. 서론

최근 대두되고 있는 NT, IT, BT 등 소위 신기술의 경향은 크게 극 미세화, 극 초정밀화로 요약할 수 있으며, 이의 신산업 시장이 형성됨에 따라 이들 제품을 생산 및 가공할 수 있는 극미세/극초정밀 가공장비의 사용 여부가 향후 국가 경쟁력 확보의 핵심 요소가 될 것으로 예상하고 있다.

정밀 가공, 정밀 제어, 정밀 계측 등의 분야에서는 고정도, 고발생력, 고변위의 요구사항이 적절히 조합되어 필요로 하는 기능을 원활히 수행할 수 있는 정밀 위치 이송 구동부 및 부품 조작부가 필수적으로 요구되며 그 수요가 급증하고 있는 추세이다. 특히 초정밀 기계와 스테퍼 등의 반도체 제조장비에 적용하기 위한 나노이송계의 개발이 요구되고 있다.

수백mm 정도 긴 변위의 이송계에 나노수준의 분해능을 갖기 위한 방법 중의 하나로 coarse 스테이지와 fine 스테이지를 동시에 구동하는 방식이 많은 연구자에 의해 연구되었다. 그러나 이러한 듀얼 방식 이송계의 적용에 대한 시도가 지속적으로 수행되었음에도 초진공용 대변위의 가공 시스템에 적용하고 실제 구현하기 위해서는 Feed back system을 포함한 많은 H/W 및 S/W 기술의 어려움이 존재하고 있다.

본 논문은 집속도 10nm이하 FIB 장비에 적용하기 위해 200mm의 변위를 가지며 10nm이하의 분해능을 가지는 초진공용 나노 스테이지의 중간 제작물의 결과를 기본으로 하며, 1차 설계된 구조물의 해석 결과를 토대로 한 문제점 분석과 2차 설계된 구조물의 정적/동적 해석 결과 및 분석한 내용을 다루었다. 또한 2차 설계를 토대로 제작 완료된 스

테이저를 소개하고자 한다.

## 2. CAE 해석

### 2.1 설계 및 제작된 2축 스테이지의 3D Model

Fig. 1은 설계 완료되어 제작되어진 스테이지의 3D 모델이다. 진공용으로 사용하기 위한 재료선정과 공기빼기 구멍 및 폴리싱 등이 고려되어 설계되었었으며, 향후 2축(회전축 및 경사축)이 보강되어질 것을 감안하여, 스테이지 상단부를 넓고 자유스러운 구조로 설계하였다. 또한 구조적인 안정감과 열변형 등에 영향을 최소화 하기위한 경험적인 접근방법과 해석적인 방법을 병행하여 설계하였다. 듀얼스테이지를 고려하여 이를 설계에 반영하였다.

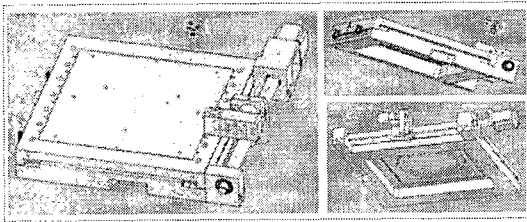


Fig. 1(a) 3D model of 2<sup>nd</sup> designed stage of x axis

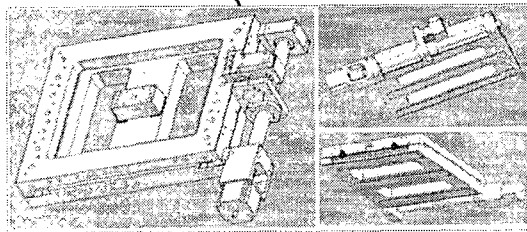


Fig. 1(b) 3D model of 2<sup>nd</sup> designed stage of y axis

### 2.2 1차 설계 스테이지 자중해석

Fig. 2(a)는 1차 설계된 스테이지의 구조에 대한 자중 해석 결과이다. 전체적인 변형량은 최대 0.7 $\mu$ m, 최소 -0.7 $\mu$ m 정도로서 작은량으로 판단될 수 있으나, 실제 열변형 오차가 추가될 경우 이보다 수배정도가 커질 가능성이 존재하며, 또한 이송방향으로 변형 형상이 이루어져 있어, 이송 오차에 직접적인 오차를 유발 시킬 가능성이 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 구조는 나노이송계의 구조로 적합하지 못하다고 판단되어 졌다.

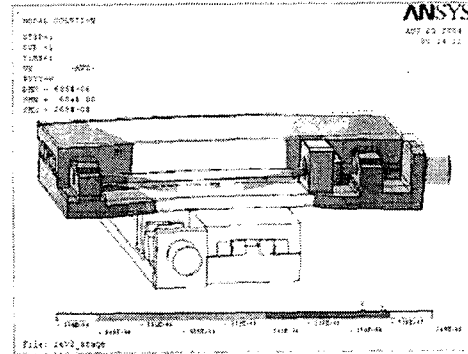


Fig. 2 Structural analysis with respect to the gravitational force for 1<sup>st</sup> designed 2 axes stage

### 2.3 2차 설계 스테이지 자중해석

Fig. 3은 2차 설계된 스테이지의 자중해석 결과이다. 전체적인 변형량은 최대 0.5 $\mu$ m이며, 최소 0.06 $\mu$ m로서 비교적 작은량으로 판단된다. 또한 1차 설계된 스테이지에 비해 이송방향에 따른 변형량은 차이가 크지 않기 때문에 열변형량이 추가될 경우에도 비교적 안정적인 이송정밀도 성능을 유지할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 나노 스테이지의 구조로서 적합할 것으로 판단되어 졌다.

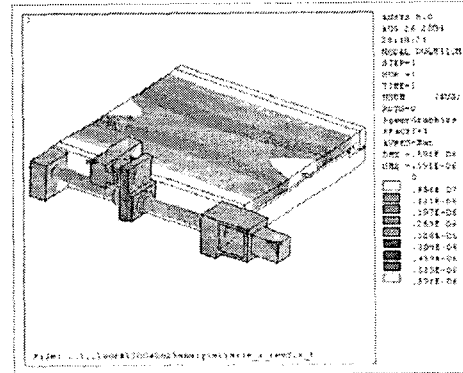


Fig. 3 Structural analysis with respect to the gravitational force for 2<sup>nd</sup> designed stage

### 2.4 2차 설계 스테이지 모달 해석

Fig. 4(a)는 x축 스테이지의 모달해석 결과이다. 모달 해석의 목적은 듀얼서보 방식의 제어시 모드형태와 Bandwidth의 예측이며, 실제 해석결과 1차 모드가 테이블의 이송방향 모드가 예측되었으며, 이때 고유진동수는 422Hz이다. 이는 해석시 볼 접촉에 의한 강성이 고려되어야 하는 볼스크류 및 너트와 양

단 지지베어링 부가 실제 강성보다 큰 강성조건에서 해석되었기 때문에 이를 고려할 경우 1차 모드의 주파수가 줄어들 수 있는 가능성은 예측되어 질 수 있으나, 듀얼 서보 제어시 요구되는 이송 방향 모드는 유지될 가능성이 클 것으로 기대된다. 또한 나노 스테이지의 구현시 문제가 될 수 있는 요소를 고려하여, 현재 리니어 가이드의 부품 또한 저마찰, 저진동을 고려하여 선정하였다.

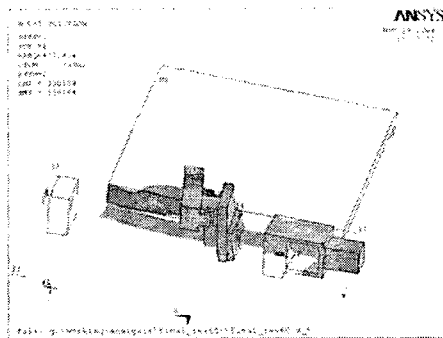


Fig. 4(a) Modal analysis of 2<sup>nd</sup> designed stage of x axis

Fig. 4(b)는 y축의 모달해석 결과이며, x축 스테이지에 비해 질량 상승으로 인해 1차 고유진동수는 244Hz가 줄어든 178Hz가 예측되었다. 또한 1차 형태는 x축과 유사한 이송방향의 모드 형태가 예측되어 지기 때문에 듀얼 서보 제어시 원활한 제어 성능을 발휘할 것으로 판단되어 졌다.

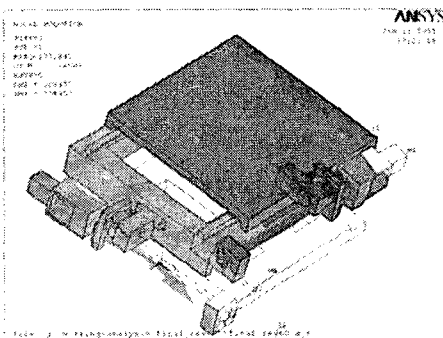


Fig. 4(b) Modal analysis of 2<sup>nd</sup> designed 2 axes stage

### 3. 나노 스테이지 제작

#### 3.1 스테이지 설치 공간의 진동 및 소음 측정

Fig. 5(a)는 나노스테이지의 설치 장소에 대한 소음 및 진동 수준을 측정하여, 향후 나노스테이지의

성능 판단을 위한 기준 자료로 활용하기 위함이다. 소음 측정결과 45dB 정도가 측정되었다. 또한 Fig. 5(b)에 나타난 진동 측정결과 5Hz정도에서 최대 0.2  $\mu\text{m}$ (RMS) 정도가 측정되었으며, 일반적으로 무진동 시스템의 관심 주파수 영역인 10Hz이상의 진동은 최대 0.02 $\mu\text{m}$ 수준이 측정되어졌다. 향후 측정된 결과 값을 토대로 나노이송정밀도의 영향력에 대한 분석 작업을 수행할 예정이다.

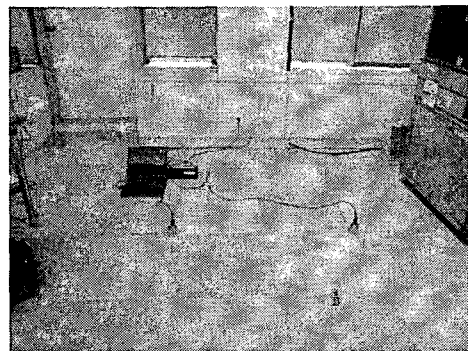


Fig. 5(a) Sound and vibration test of installation area of nano stage

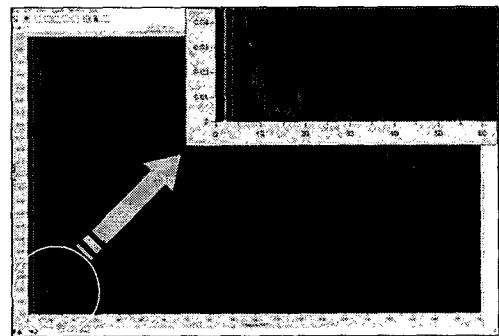


Fig. 5(b) Vibration test result of installation area of nano stage

#### 3.2 제작된 나노 스테이지 사진

Fig. 6은 2차 설계 결과를 토대로 제작되어진 나노스테이지의 사진이다. 진공용 재료에 따른 가공정도의 달성에 어려움을 겪었으며, 조립시 얼라인에 따른 많은 시간이 소요되었다. 현재에도 사용되고 있는 Feedback시스템 및 모터제어부의 미세 튜닝작업이 진행 중이다. 향후 진공용 나노스테이지의 최적성능 결과에 대한 기고를 기대해 본다.

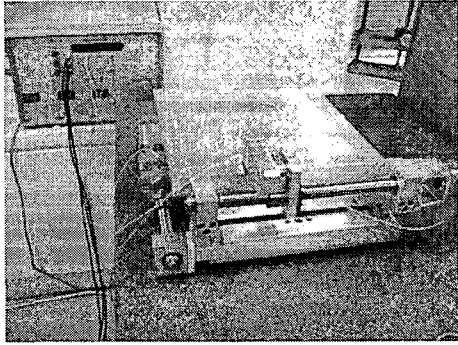


Fig. 6 Photograph of developed 2 axes stages with a few nano resolution for UHV

#### 4. 결론

집속도 10nm이하의 FIB 장비에 적용하기 위한 나노스테이지 개발을 목표로 200mm의 변위를 가지며, 10nm이하의 분해능을 가지는 초진공용 나노스테이지의 제작에 대한 설계 및 해석 결과와 1차 시제품 제작결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 2차 설계 스테이지의 CAE 해석결과 정적/동적 특성에 대한 안정성을 확보하였다.
2. 모달 해석 결과 x축 및 y축의 1차 모드 형태는 이송방향의 모드가 예측되었으며, 고유진동수는 각각 422Hz, 178Hz가 예측되었다.
3. 소음 측정결과 45dB 정도가 측정되었으며, 이에 대한 나노스테이지의 영향력에 대한 평가가 향후 요구된다.
4. 진동 측정결과 5Hz정도에서 최대 0.2 $\mu$ m(RMS) 정도가 측정되었으며, 일반적으로 무진동 시스템의 관심 주파수 영역인 10Hz이상의 진동은 최대 0.02  $\mu$ m(RMS) 수준으로 향후 나노스테이지의 영향력에 대한 평가가 요구된다.

#### 후기

본 연구는 산업자원부 차세대신기술개발사업 “이온빔 이용 나노가공용 장비 개발” 과제의 연구비를 지원받아 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. Sakuta, S., Okawa, K., and Ueda, K., "Experimental Studies on Ultra-Precision Positioning -

- An Inchworm Movement Method using and Coarse Positionings." Int. J. Japan Soc. Prec. Eng, Vol.27, No.3, pp.235-240, 1993.
2. Okazaki, Y., Asano, S., and Goto, T., "Dual-Servo Mechanical Stage or Continuous Positioning," Int. J. Japan Soc. Prec. Eng, Vol.27, No.2, pp.172-173, 1993.
3. Lee, C. W., and Kim, S. W., "An Ultra-precision Stage for Alignment of Wafers in Advanced Microlithography," Precision Engineering, Vol.21, pp.113-122, 1997.
4. Park, H. J., Lee, D. S., and Park, J. H., "Ultra-Precision Positioning System for Servo Motor -Piezo Actuator using the Dual Servo Loop and Digital Filter Implementation," Int. J. of Machine Tools & Manufacture, Vol.41, pp.51-63, 2001.
5. Woronko, A., Huang, J., and Y. Altintas, Y., "Piezoelectric Tool Actuator for Precision Machining on Conventional CNC Turning Centers," Precision Engineering, Vol.27, pp.335-345, 2003.
6. Sasaki, M., Suzuki, T., Ida, E., Fujisawa, F., Kobayashi, M., and Hirai, H., "Track-following Control of a Dual-Stage Hard Disk Drive using a Neuro-Control System," Engineering Applications of Artificial, Vol.11, pp.707-716, 1998.
7. Li, Y., and Horowitz, R., "Design and Testing of Track-following Controllers for Dual-Stage Servo Systems with PZT Actuated Suspensions," Technologies, Vol.8, pp.194-205, 2002.
8. Liu, H., Lu, B., Ding, Y., Tang, Y., and Li, D., "A Motor-Piezo Actuator for Nano-scale Positioning based on Dual Servo Loop and Nonlinearity Compensation," J. of Micromech. Microeng, Vol.13, pp. 295-299, 2003.
9. 초정밀 위치결정시스템? 대한민국 특허 등록번호 제10-0396020호, 2001.
10. 정밀스테이지? 대한민국 특허 공개번호 특 2002-0085886, 2002.