

## Microstage 와 global stage 를 결합한 초정밀 2 축 이동장치 개발

김종윤\*(한국표준과학연구원), 임태봉(한국표준과학연구원)

Development of high-precision 2-axis translation system comprised of microstage and global stage

J. Y. Kim(Length Group, KRISS), T. B. Eom(Length Group, KRISS)

### ABSTRACT

According to the development of industrial equipment such as semiconductor manufacturing machines, optical device, and precision machine tool, a high-precision translation system with wide range has been required. This paper describes a high-precision 2-axis translation system, which consists of microstage and global stage. In order to achieve the high-resolution in the long range, some engineering techniques are used. Three linear guides with flexible coupling are adopted to reduce the motor vibration in the global stage. A simple elastic hinge structure activated by five PZT is applied to reduce the angular deviation. As the result of combination of microstage and global stage associated with some engineering techniques, the 2-axis translation system can measure the 200×200 mm range with the nanometer accuracy.

**Key Words** : 2-axis translation system (2 축 이동장치), microstage (마이크로 스테이지), global stage (글로벌 스테이지)

### 1. 서론

최근 메모리의 집적도 향상으로 포토 이소그라피 가공 등 반도체 제조공정에서는 서브마이크로미터(Submicrometer)이하의 위치 정확도가 요구되고 있다. 또한 초정밀가공, 레이저를 이용한 초정밀 측정기기 등의 분야가 발달함에 따라서 수십 mm 이상의 범위에서 나노미터수준의 정확도가 요구되는 측정 및 이동장치의 필요성이 증가되고 있다. 나노미터 수준의 미소이동장치로는 압전구동기(PZT, piezo transducer)를 이용한 탄성힌지(elastic hinge)구조의 스테이지가 있다. 미소이동스테이지는 높은 분해능과 빠른 응답속도, 반복운동의 선형성을 가지고 있지만 이동 범위가 수십  $\mu\text{m}$  로 짧은 단점이 있다. 반면, DC 모터와 리드나사(lead screw)를 이용한 선형 이동장치는 넓은 범위를 움직일 수 있지만 백래쉬(back-lash), 스틱슬립(stick-slip) 등의 영향으로 고 분해능의 위치 정확도는 얻을 수 없다.

이와 같이 선형 모터나 압전소자 하나 만으로는 넓은 이동 영역과 고 분해능을 한꺼번에 만족시킬 수 없으므로 두 이동장치의 장점을 결합한 이중구조로 이동영역을 확장하면서 분해능을 유지하려는

연구가 활발히 진행되고 있다. 이중구조 이동장치에서 전체적인 위치 정확도는 선형이동장치의 오차가 미소스테이지의 이동범위보다 작을 때 기대될 수 있다. 그러나 미소이동에서는 아주 작은 양이었던 y 축에 대한 회전오차(tilt error)와 z 축에 대한 회전오차(yaw error)가 이중구조의 이동장치에서는 이동범위가 커지면서 함께 증가한다. 또한 리드나사에 연결된 모터의 진동, 미소이동스테이지 자체의 마찰 등이 넓은 이동범위를 갖는 이동장치의 위치 정확도를 떨어뜨리는 요인으로 작용하고 있다.

본 연구에서는 압전구동기를 이용한 탄성힌지구조의 마이크로스테이지(microstage)와 DC 모터와 리드나사로 구동되는 글로벌 스테이지(global stage)를 결합한 2 축 이동장치의 전체 구성 및 측정 시스템에 대하여 연구하였다. 고 분해능의 위치정확도를 가지는 2 축 이동장치가 넓은 영역에서 이동시 발생하는 오차의 요인들을 축소할 수 있는 방법으로 모터와 flexible coupling 으로 결합된 세 개의 선형 가이드 장치와 5 개의 압전소자와 탄성힌지구조의 스테이지, 테프론 패드를 이용한 접촉식 베어링 등을 이용하여 모터의 진동, 이동계 각축의 각도오차(yaw, tilt error), 이동계의 마찰 등을 최소화 할 수

있는 시스템을 구성하였다.

## 2. 시스템 구성

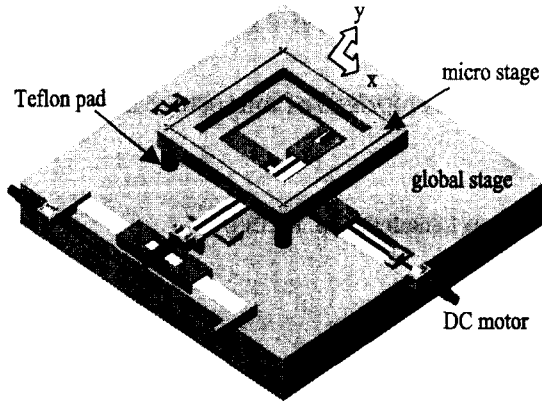


Fig. 1 Schematic diagram of 2-axis translation system

Fig. 1 에는 조정밀 길이측정을 위한 2 축 이동장치의 개략도를 나타내었다. 제작된 2 축 이동장치는  $200 \times 200$  mm 스트로크의 글로벌 스테이지에  $20 \times 20$   $\mu$ m 스트로크의 마이크로 스테이지가 일체형으로 결합된 형태이다. 넓은 이동거리에서 고분해능의 위치정확도를 얻기 위해 전체적인 이동은 조동구동용 DC 모터와 리드나사에 의해 구현되고 정밀한 위치이동은 압전구동기로 구동되는 탄성힌지 구조의 마이크로 스테이지로 구현된다. 이동계의 마찰력을 줄이기 위한 목적으로 마이크로 스테이지에는 기존의 기계적 베어링이나 공기베어링 대신 경면가공된 베이스 위에 테프론 패드를 사용한 접촉식 베어링을 사용함으로써 마찰과 진동을 최소화 하였다.

### 2.1 글로벌 스테이지

넓은 범위의 2 축 선형이동 시스템은 보통 2 개의 DC 모터와 리니어가이드로 이루어진다. x-y 방향의 자유로운 운동을 위해서 2 개의 모터가 연동될 수 있는 T 형 가이드 등이 사용되고 있는데 이러한 방법은 구동모터의 진동이 이동축에 전달되어 마이크로미터 이하의 이동에서는 위치 결정 정밀도를 떨어뜨리는 요인으로 작용하고 있다. 본 측정시스템의 글로벌 스테이지는 3 개의 DC 모터와 리드나사, 리니어가이드로 구현되었으며 모터에 부착된 타코미터의 신호에 의해 피드백 위치를 결정하였다. 또한 진동의 영향을 줄이기 위해 모터와 리드나사는 flexible coupling 을 사용하여 결합되었다. Fig. 2 는 글로벌 스테이지의 2 축 이동시스템의 개략도이

다.

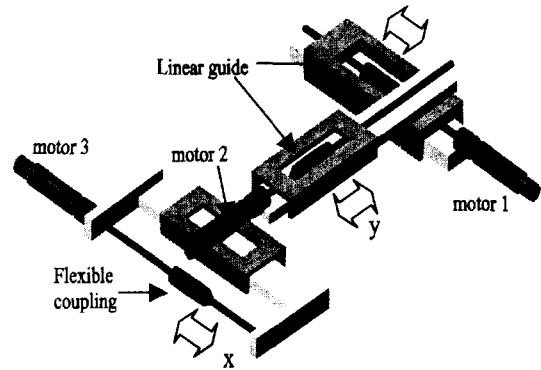


Fig. 2 Schematic diagram of translation system for global stage

x 축 방향의 이동은 커플링에 연결된 모터 1 의 구동에 의해 구현되며 x 축 리니어 가이드에 결합된 y 축은 x 축의 이동방향에 따라 움직이면서 모터 2 의 구동에 의해 y 방향으로 이동을 한다. y 축을 움직이는 모터의 진동이 x 축에 전달되는 것을 방지하기 위해 모터 3 의 가이드에 위에 y 축 모터를 결합시켜 진동전달을 최소화하도록 하였다. 모터 3 은 x 축 이동을 측정하는 전기 마이크로미터의 센서신호를 피드백 받아 모터 1 과 연동되도록 하였다. 이 때 모터 1 과 모터 3 이 연동되지 않으면 x 축으로 이동시 각운동 오차를 유발하기 때문에 센서피드백을 통한 두 모터의 동기화가 중요하다. y 축 가이드와 flexible coupling 에 의해 결합된 마이크로 스테이지는 조동구동용 x-y 축 모터의 구동에 의해 넓은 영역을 이동하게 된다. DC 모터에 의해 비교적 빠르게 이동하는 마이크로 스테이지는 바닥면과 접촉 때문에 마찰력이 발생하게 되는데, 이러한 마찰력은 정밀한 위치 결정을 제약하는 원인이 된다. 본 연구에서는 서브 마이크로미터로 이하의 분해능을 충족시키기 위해서 기존의 기계적인 베어링이나 수분, 유분이 포함되어 이동계에 영향을 미치고 공압에 의한 잔진동을 일으키는 에어 베어링대신 마이크로 스테이지의 바닥면 3 지점에 테프론 패드를 부착하여 경면가공된 베이스 위를 접촉하여 이동하도록 함으로써 스테이지의 이동에 따른 마찰과 진동을 최소화 하도록 하였다.

### 2.2 마이크로 스테이지

조동구동용 DC 모터를 이용한 넓은 영역의 위치결정 후 서브 마이크로미터 이하의 정밀한 위치 결정을 위해서는 마이크로 스테이지가 사용되어진다. 마이크로 스테이지에는 분해능과 응답성능이

뛰어나 미세구동기로 널리 쓰이고 있는 압전구동기가 구동용 액츄에이터로 사용되었고 스테이지의 네 모서리 부분에 탄성힌지구조를 채택함으로써 고분해능의 미세이동을 구현할 수 있다. Fig. 3 에는 2축 미세이동을 하기 위한 마이크로 스테이지의 구조를 나타내었다.

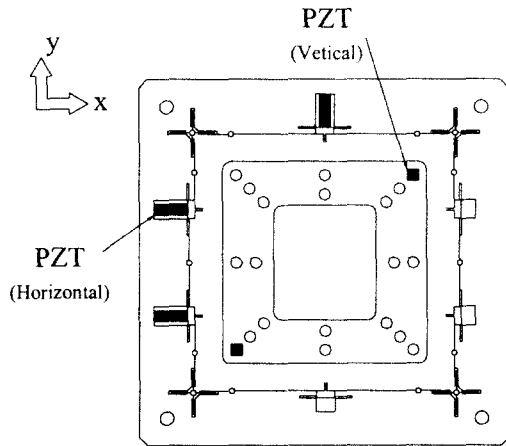


Fig. 3 Configuration of micro stage structure

제작된 마이크로 스테이지는 x 축과 y 축으로 운동이 독립적이 아니라 커플링이 되어있기 때문에 한 축의 이동에 따라 다른 축의 이동이 영향을 받아 이에 따른 각운동이 발생한다. x 방향으로 2개의 압전구동기가 사용되었는데 그 중 1개의 압전구동기는 x 방향의 변위를 이동시키고 다른 1개의 압전구동기로는 x 방향 또는 y 방향으로 변위 이동시 발생하는 z 축에 대한 각도오차(yaw error)를 보정하도록 하였다. 이 때 x 방향과 y 방향으로의 운동이 커플링 되어 있기 때문에 각축에 대한 각운동 오차가 발생 되어도 1개의 압전구동기로도 보정이 가능하다. 또한 z 방향(수직방향)으로도 2개의 압전구동기가 설치되어 z 방향의 이동 및 y 축에 대한 각도 오차(tilt error)를 보정하였다. 압전구동기가 설치된 힌지구조의 반대방향에는 스테이지의 유격을 없애고 반복운동시 발생하는 비선형성을 제거하기 위해서 실리콘 재질로 예압(pre-load)을 걸어주었다. 또한 스테이지의 구조가 전체적으로 대칭형이 되게 하여 구조적으로 발생하는 오차를 최소한으로 줄이도록 하였다. 위의 그림과 같은 탄성힌지구조와 압전구동기를 사용함으로써 x-y 축의 미세이동 및 이동시스템의 각축에 대한 각도오차를 보정할 수 있다.

### 3. 결 론

고분해능의 위치정확도를 가지는 2축 이동장치가 넓은 영역에서 이동시 발생하는 각축에 대한 각도오차, DC 모터의 진동, 시스템자체의 마찰 등은 정확도 향상에 제약으로 작용한다. 본 연구에서는 압전구동기를 이용한 탄성힌지구조의 마이크로 스테이지와 DC 모터와 리드나사로 구동되는 글로벌 스테이지를 결합한 2축 이동장치를 구성하여 이러한 오차의 요인들을 축소할 수 있는 방법을 연구하였다. 글로벌 스테이지의 x-y 축 이동에서 한 축 DC 모터의 진동이 다른 이동축에 전달되는 것을 방지하기 위해 3개의 DC 모터와 리드나사, 리니어 가이드에 의해 구현되는 2축 선형이동장치를 구성하여 모터의 진동에 의한 오차를 축소 하였다. 이동계 자체가 움직임에 따라 발생하는 마찰에 따른 오차는 경면가공된 베이스 위에 테프론 패드를 이용한 접촉식 베어링을 사용하여 스테이지의 이동에 따른 마찰과 진동을 최소화하도록 하였다. 이렇게 선형이동장치의 오차를 축소하여 안정적으로 이동이 되도록 하였으며 압전구동기를 이용한 탄성힌지구조의 마이크로 스테이지에서 변위이동에 따른 각축에 대한 각도 오차는 x 방향과 z 방향에 대해 2개의 압전구동기를 사용하여 각도오차를 보정하도록 하였다. 이러한 방법이 적용된 2축 이동장치는 넓은 영역에서 고분해능의 이동을 할 수 있는 장치로 각종 산업에 널리 응용될 수 있을 것이다. 추가적으로 2축 이동장치의 정밀한 위치제어에는 사각거울(square mirror)을 이용한 레이저간섭계를 구성하여 간섭계의 간섭신호를 피드백 받아 정밀한 위치제어를 수행할 예정이다.

### 참고문헌

1. W. Habler-Grohne and H. Bosse, "An electron optical metrology system for pattern placement measurements," *Meas. Sci. Technol.*, Vol. 9, pp. 1120 - 1128, 1998.
2. Masato Aketagawa, Koji takada and Hideki Kon, "Calibration of a laser reference plane for large-scale dimensional flatness measurement," *Meas. Sci. Technol.*, Vol. 9, pp. 1115 - 1119, 1998.
3. Takehiko Nomura and Ryouichi Suzuki, "Six-axis controlled nanometer-order positioning stage for microfabrication," *Nanotechnology*, Vol. 3, pp. 21 - 28 1992.
4. S. H. Chang and B. C. Du, "A precision piezodriven micropositioner mechanism with large travel range," *Rev. Sci. Instrum.*, Vol. 69, pp. 1785 - 1791, 1998.
5. Peng Gao, Shan-Min Swei and Zhejun Yuan, "A new

piezodriven precision micropositioning stage utilizing flexure hinges," Nonotechnology, Vol. 10, pp. 394 - 398, 1999.

6. 오정석, 이창우, 이형석, 김승우, "초정밀 위치결정을 위한 이중 서보 제어용 미세 구동 메커니즘," 한국 정밀공학회, 추계학술대회 논문집, pp. 249-254, 1994.
7. 이동성, 박종호, 박희재, "이중서보제어루프를 통한 서보모터-압전구동기의 초정밀위치결정 시스템 개발," 한국 정밀공학회, 추계학술대회 논문집, pp. 437-441, 1997.