

초정밀 위치 결정을 위한 이중 서보 제어용
미세 구동 메카니즘

(A Fine Motion Mechanism of Dual Servo Control for Ultraprecision Positioning)

오정석*, 이창우, 이형석, 김승우
(한국과학기술원 정밀공학과)

Jeong-Seok Oh, Chang-Woo Lee, Hyung-Seok Lee, Seung-Woo Kim

ABSTRACT : In order to respond to the increasing demands of ultraprecision positioning mechanism in the field of precision engineering, more accurate stages are needed whose positioning uncertainty should be in the unprecedented level of nanometers, while maintaining a long travel range. For this application, most conventional stage mechanisms are found not suitable, so the concept of dual servo, which uses two different servos, is one of the new design and control strategies being extensively investigated these days. This paper presents a fine motion mechanism as a part of research on the dual servo control. The stage is made of a single structure of elastic flexure, whose $xy\theta$ motions are induced in the form of elastic deformation activated by three piezoelectric actuators. Experimental results show that the translational and rotational motions of the stage can be controlled with resolutions of 5 nm and 0.1 arcsec, respectively.

1. 서론

급격한 공정의 발전에 따라 각종 공정 및 관련장비들의 정밀화 추세가 가속화되고 있다. 구체적 예로써 가공정도의 발전추세를 보면 2000년대 초에는 정밀가공분야에서 0.01 μm 수준까지, 초정밀 가공분야에서는 0.001 μm 수준까지 도달할 것으로 예측된다 [1]. 또한 반도체산업의 경우, 1990년대 중반에 최소선폭 0.25 μm 의 256 M DRAM의 출현이 예상되고 있고, 21세기 초반에는 최소선폭 0.15 μm 의 1 G DRAM의 사용이 일반화될 것으로 보인다. 이에 따른 투영노광장치의 스테이지 반복운동, 여러가지 요인 을 감안할 때, 256 M DRAM의 경우 내략 0.03-0.04 μm , 1 G DRAM의 경우 0.02 μm 는 되어야 할 것으로 보인다[2]. 이와 같은 초정밀 위치 결정에 사용하기 위해서는 하나의 서보를 사용하는 대부분의 전통적인 스테이지 메카니즘들이 요구되는 행정과 정도들 동시에 충족시키기에는 부적절한 것으로 판명되고 있으며 새로운 설계 및 제어방법론으로서 이중 서보(dual servo)의 개념이 강력하게 대두되고 있다[3-6]. 일반적으로 이중 서보 시스템이란 서로 다른 특성용 가진 두개의 독립적인 서보가 중첩된 시스템을 말하며 글로벌 서보(global servo)와 마이크로 서보(micro servo)로 이루어진다. 글로벌 서보는 적당한 위치 정도를 가지고 긴 행정용 움직일 수 있고, 이에 비해 마이크로 서보는 비록 행정이 짧지만 미세 위치 결정 능력을 가지고 있다. 따라서, 이중 서보 시스템은 전체적인 행정은 글로벌 서보에 의해 실현되고 위치 정도는 마이크로 서보에 의해 유지되는 동기화된 제어(synchronized control)구조를 가진다. 이중 서보 시스템의 한 축을 구성하는 마이크로 서보는 시스템의 위치 결정 능력을 최우하는 핵심요소이며 독자적으로도 사용이 가능해 많은 연구가 이루어지고 있는 추세이다[7-10].

본 연구에서는 이중 서보 시스템 제어의 실행연구로서 마이크로 서보에 관한 연구류 수행하였다. 탄성굽힘체(elastic flexure)와 압전구동기를 이용하여 미세 구동 메카니즘을 설계하고 이를 이용하여 제작된 이중 서보 시스템의 전체 구성 및 제어 시스템에

대해서 논하였다. 마이크로 서보 시스템의 실제 제어를 통해 미세구동능력을 파악하고 이중 제이시 발생할 수 있는 제반 문제점에 대해서 고찰하였다. 본 논문에서는 이중 제이 전체를 다루는 것이 아니라 이중 제이 구조하에서의 마이크로 스테이지의 제이시 발생할 수 있는 문제점 및 그 해결방법에 대해서 연구하였다.

2. 시스템 구동 메카니즘

2.1 미세 구동 메카니즘 설계

굽힘을 이용한 탄성민형은 형체가 간단하고 동작이 편리하며 마찰이나 백래쉬(backlash)가 없는 등의 장점으로 미세구동장치에 많이 응용되고 있다. 본연구에서는 탄성굽힘체를 응용하여 3축을 한 평면상에서 동시에 구동할 수 있고 기구학적으로 대칭적

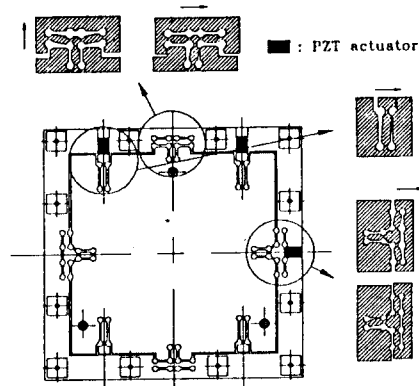


Fig.1 Micro stage structure and its operating principles

인 구조를 가지는 스테이지를 설계하여 3자유도 운동이 가급적 같은 특성을 가지면서 독립적으로 이루어질 수 있도록 했다. 이 중 서보 구성을 위해서는 마이크로 스테이지가 단순하고 콤팩트해야 하며 이와 같은 개념으로 설계된 마이크로 스테이지의 구조 및 동작원리를 Fig.1에 나타내었다. 스테이지는 내판과 외판의 두 부분으로 나뉘어 있으며 a, b, c의 같은 세가지 형태의 굽힘체로 연결되어 있다. 압전구동기에 전압이 인가되어 변위가 발생하면 각각의 굽힘체들에서 단상변형이 유발되어 가이드 역할을 하면서 내판과 외판의 상대변위를 야기시키게 된다.

2.2 이중 서보 시스템 구성

2.2.1 기계적 구성

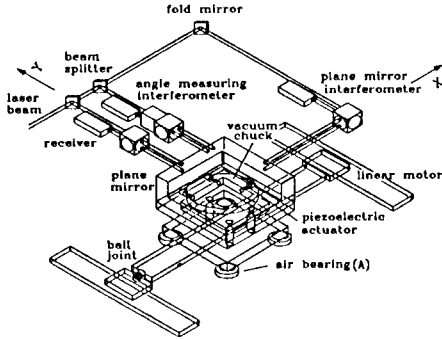


Fig.2 Schematic diagram of dual servo system

Fig.2는 전체 시스템의 개략도이다. 이중 서보 시스템 중 글로우벌 서보는 X축 제어를 위한 한개의 리니어 모터와 Y 및 Yaw의 제어를 위한 두개의 리니어 모터로 구성되어 있으며 H frame 형을 이루고 있다. Yaw 운동은 Y축 두개 리니어 모터의 변위차로 제어되며 이를 위해 한쪽이 볼 조인트(ball joint)로 연결되어 움직임이 자유롭도록 설계되었다. 마이크로 스테이지의 내판은 글로우벌 서보와 힌지 조인트로 연결되어 있으며 외판에는 다시 곱판용 대이 강성을 높이 외판전체가 강제운동이 일어나기 용이한 구조로 되어 있다. 외판 위에는 웨이퍼 등의 장착을 위한 진공척과 변위 측정을 위한 평면기준이 설치되어 있다. 스테이지는 모두 공압베어링에 의해 지지되어 기계적 마찰이 일어나지 않으며 따라서 체결성이 유지되고 보수가 편리하다. 공압베어링의 종류는 원형 및 사각 두 종류를 사용하고 있다. 행정은 마이크로 스테이지의 경우 직선운동 $\pm 5\mu\text{m}$, 각운동 $\pm 5 \text{ arcsec}$ 정도이며, 전체 시스템의 경우 직선운동 200 mm, 각운동 0.5° 이다. 이와 같이 설계된 이중 서보 시스템은 우선 X, Y, θ 를 한 평면에서 구동하여 중첩으로 발생하는 오차를 미연에 방지할 수 있고, 회전방향으로의 움직임이 자유롭도록 풀이되기 때문에 측정과 제어에 의해 정밀도가 유지되며 따라서 가이드의 정밀도에 기계의 정밀도가 좌우되지 않는 정점을 가지고 있다.

2.2.2 측정 및 제어부 구성

Fig.3은 전체 제어 구성도를 나타낸다. 측정장치는 Zygo사의 레이저 인터페로미터가 사용되었다. X, Y, Yaw를 측정하기 위해서는 레이저가 똑같은 광장으로 분할되어야 하며 이를 위해서 67% 와 50%의 투과율을 가지는 광분할기(Beam splitter)를 사용하였다. 광분할기를 거쳐 똑같은 광장으로 분할된 3개의 레이저

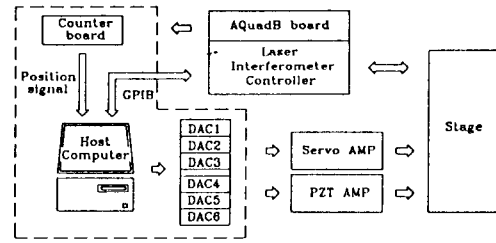


Fig.3 Overall control hardware

빔은 다시 광분할기에 의해서 기준광과 측정광으로 나뉘어, 기준거울과 스테이지 이동부에 장착된 $\lambda/20$ 의 평면도를 가지는 평면거울용 거울 광분할기로 돌아와 합쳐지게 된다. 이는 리시버로 수광되어 레이저 인터페로미터 컨트롤러에 전해지며 이 위치신호는 AQuadB 보드에 의해서 펄스형태로 비파이 출력되게 된다. 레이저 인터페로미터의 최소 분해능은 직선 변위의 경우 1.25 nm, 각 변위의 경우 0.057 arcsec이며 GPIB 통신으로 데이터 전송속도나 분해능 등의 조절이 가능하도록 되어 있다. 이렇게 펄스형태로 전환된 X, Y, Yaw의 위치신호는 카운터 보드(counter board)로 임혀지고 이를 CPU 컨트롤러에서 처리하여 제어신호를 생성하게 된다. 이는 6채널 12비트 D/A 컨버터를 거쳐 3채널은 Servo AMP로 입력되어 리니어 모터를 구동하고 나머지 3채널은 압전구동용 고전압증폭기(high voltage amplifier)로 입력되어 3개의 압전구동기를 구동하게 된다.

3. 시스템 모델링

3.1 좌표계 정의

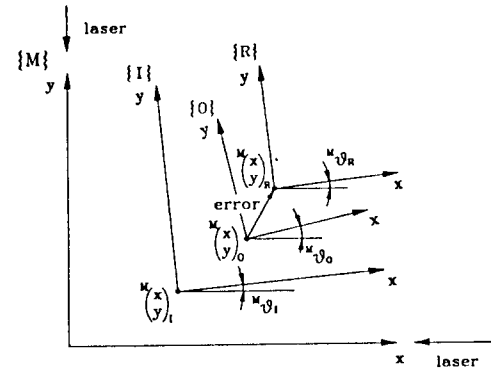


Fig.4 Definition of frames

Fig.4는 시스템의 좌표계를 나타낸다. 우선 변위측정 X축, Y축 레이저의 교점을 원점으로 하는 기계 좌표계를 (M)으로 정의한다. 목표 위치와 방위(orientation)가 좌표계 (R)의 원점과 방위로 주어져 있을 때 우선 글로우벌 서보로 목표위치까지 움직여 마이크로 서보의 구동범위 내로 들어오면 마이크로 서보가 동작을 시작하게 된다. 마이크로 서보의 동작 전까지는 마이크로 스테이지의 내판과 외판이 일치하고 있는 상태이며 이때 내판의 위치와 방위를 좌표계 (I)로 표시한다. 압전구동기에 전압이 인가되어 내판과 외판의 상대 변형이 발생하면 더이상 내판과 외판의 좌표는 일치하지 않으며 이때의 외판의 위치와 방위를 좌표계 (O)로 표시하기로 한다. 마이크로 스테이지의 오차량은 목표 좌표계 (R)

과 현재 외판의 좌표계 (O)의 차이로 정의된다. 이상과 같이 시스템을 설명하는 좌표계는 4가지로 구분될 수 있다. 또한, 편의를 위해서 레이저 인터페로미터에 의해 측정되는 변위량을 (S)로 표시하기로 한다. 본 연구에서는 한 좌표계에 대한 다른 좌표계의 원점과 방위를 다음과 같이 정의하고 사용하겠다.

$$M \begin{pmatrix} x \\ y \\ \theta \end{pmatrix}_1 : \text{좌표계 (M)에 대한 좌표계 (1)의 원점과 방위}$$

3.2 전압인가에 따른 내판과 외판의 상대 변형

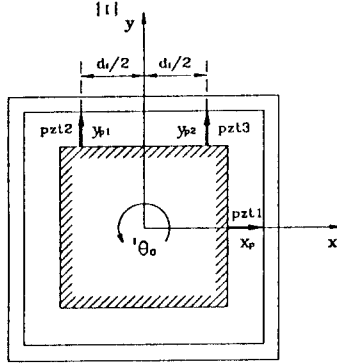


Fig.5 Kinematic model of the micro stage

Fig.5는 마이크로 스테이지의 기하학적 모델을 나타낸다. 우선 압전구동기에 가한 전압입력과 압전구동기 출력변위의 관계를 규명하는 것이 필요하며 벡터 u , p 를 다음과 같이 정의한다.

$$u = [u_1 \ u_2 \ u_3]^T \quad (1)$$

$$p = [x_p \ y_{p1} \ y_{p2}]^T \quad (2)$$

이때 벡터요소 u_i , p_i 는 각각 i 번째의 입력전압과 압전구동기 출력변위를 나타낸다. 임의히 말하면 입력전압 u 와 압전구동기 출력변위 p 는 동적(dynamically)으로 결합(couple)되어 있으며 그 관계는 다음과 같이 기술될 수 있다.

$$p(s) = \Lambda(s)u(s) \quad (3)$$

이때 $\Lambda(s)$ 의 각 요소 $a_{ij}(s)$ 는 j 번째 압전구동기에 인가한 전압과 i 번째 압전구동기 출력변위를 연결시키주는 계수로 다음과 같이 정적항과 동적항으로 표현된다.

$$a_{ij}(s) = b_{ij}g_{ij}(s) \quad (4)$$

이상적으로는 전압을 인가한 압전구동기만 출력변위가 발생하고 나머지는 출력변위가 발생하지 않아야 하나 간섭특성으로 인해

$\Lambda(s)$ 에는 비대각성분이 존재하게 된다. 대각성분과 비대각성분의 크기를 실험적으로 비교하기 위해 한축만을 구동하면서 각각의 압전구동기 출력변위 p 를 측정하였다. Fig.6은 각각 전압을 인가한 압전구동기의 변위를 X축으로 나머지 압전구동기의 변위

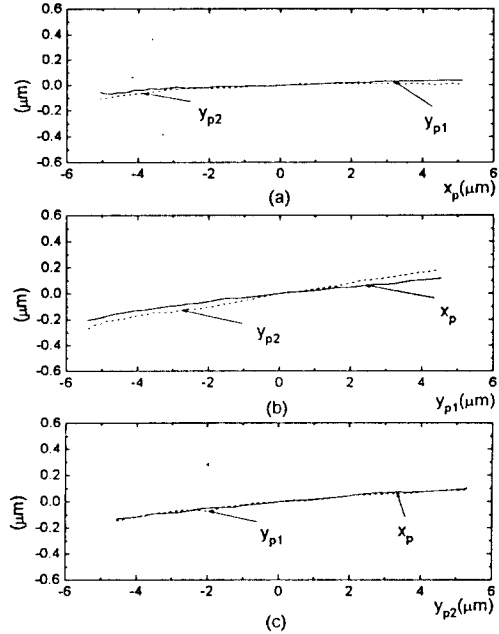


Fig.6 Displacement-interaction characteristics

를 Y축으로 하여 나타낸 것이다. 전압을 인가한 압전구동기의 출력변위가 나머지 압전구동기의 출력변위보다 훨씬 큼을 확인할 수 있으며 그 비율을 따져보면 가장 큰 비대각 성분이 대각 성분의 약 3-4 % 정도 된다. 따라서 압전구동기의 출력변위는 다른 압전구동기에 인가한 전압에 대해서는 영향을 거의 받지 않는다고 생각할 수 있으며 행렬 $\Lambda(s)$ 의 비대각 성분을 무시하고 3개의 독립적인 SISO 시스템으로 분할 수 있다.

$$\Lambda(s) = \begin{bmatrix} b_{11}g_{11}(s) & 0 & 0 \\ 0 & b_{22}g_{22}(s) & 0 \\ 0 & 0 & b_{33}g_{33}(s) \end{bmatrix} \quad (5)$$

또한 압전구동기의 변위 (x_p , y_{p1} , y_{p2})와 내판에 대한 외판의 상대변위의 관계는 기하학적으로 다음과 같이 기술될 수 있다.

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ \theta \end{pmatrix}_O = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 0 & -\frac{1}{d_1} & \frac{1}{d_1} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_p \\ y_{p1} \\ y_{p2} \end{pmatrix}$$

$${}^I x_O = J p \quad (6)$$

식(3),(6)으로부터 입력전압과 테이블 출력변위의 관계는 다음과 같이 정의된다.

$${}^I x_O = J \Lambda(s) u \quad (7)$$

3.3 스테이지 이동에 따른 측정값과 스테이지 변위의 불일치 보상

3-2절의 전개내용을 바탕으로 마이크로 스테이지를 제어하기

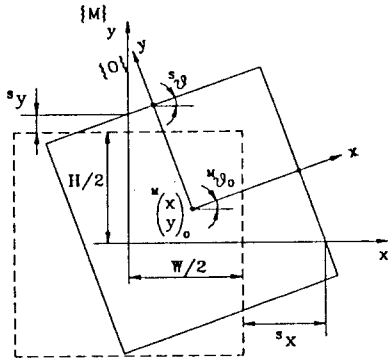


Fig.7 Relation between sensed value and stage position

위해서는 내판에 대한 오차량이 필요하다. 이중 제이시 스테이지가 움직일 경우 측정 레이저는 고정되어 있기 때문에 스테이지상의 일정한 위치를 측정하는 것이 아니며 스테이지의 회전운동에 의해 측정값과 실제 스테이지의 변위량 사이에는 불일치가 존재하게 된다. 레이저 인터페로미터로 측정하는 부분은 외판으로 측정값은 최종적인 외판의 위치상태를 나타내게 된다. Fig.7은 측정값과 마이크로 스테이지 외판 중심의 기계좌표계 변위량의 관계를 나타낸다. 초기에 스테이지 중심과 기계 좌표축의 중심이 일치했을 경우에 0으로 초기화된 측정값들이 스테이지가 움직이면서 (s_x, s_y, s_θ)로 레이저 인터페로미터에 의해 잡지되면 이를 이용하여 스테이지 외판 중심의 기계좌표 (${}^m x_0, {}^m y_0, {}^m \theta_0$)를 구할 수 있다. 구성된 이중 서보 시스템의 각운동 양은 0.5°로 작으며 더우기 마이크로 서보의 구동가능각은 15 arcsec로 매우 작다. 따라서 이론 전개시 각도에 곱해지는 양이 매우 크지 않은 이상 무시하고 근사하기로 한다. 근사된 관계식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} {}^m x_0 &= s_x - s_\theta \cdot s_y \\ {}^m y_0 &= s_\theta \cdot s_x + s_y \\ {}^m \theta_0 &= s_\theta \end{aligned} \quad (8)$$

이렇게 구해진 스테이지 외판 중심의 기계 좌표 (${}^m x_0, {}^m y_0, {}^m \theta_0$)로부터 목표 좌표 (${}^m x_R, {}^m y_R, {}^m \theta_R$)까지의 기계좌표계 오차량을 식(8)을 이용해 측정량으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{pmatrix} {}^m x_R - {}^m x_0 \\ {}^m y_R - {}^m y_0 \\ {}^m \theta_R - {}^m \theta_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_x - s_\theta s_y - (s_\theta s_x - s_\theta s_y) \\ s_\theta s_x + s_y + (s_\theta s_x - s_\theta s_y) \\ s_\theta - s_\theta \end{pmatrix} \quad (9)$$

이때 식(9)의 우항의 첫째 식을 보면 s_θ 과 s_θ 의 크기가 매우 작다. s_y 과 s_y 는 크기는 매우 큰 반면 그 차이를 $s_\Delta y$ 라 할 때 이 양은 스테이지가 목표 좌표계 (R)에 대해 마이크로 서보의 구동범위 내에 있으므로 매우 작다. 따라서 다음과 같이 근사할 수 있다.

$$\begin{aligned} s_\theta s_y - s_\theta s_y &= s_\theta (s_y + s_\Delta y) - s_\theta s_y \\ &= s_\theta s_\Delta y \end{aligned} \quad (10)$$

우항의 둘째식도 같은 방법으로 근사할 수 있으며 따라서 식(9)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{pmatrix} {}^m x_R - {}^m x_0 \\ {}^m y_R - {}^m y_0 \\ {}^m \theta_R - {}^m \theta_0 \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} 1 & 0 & -s_y \\ 0 & 1 & s_x \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} s_x - s_x \\ s_y - s_y \\ s_\theta - s_\theta \end{pmatrix}$$

$${}^m e = T^{-1} s e \quad (11)$$

측정값 오차량 $s e$ 로부터 전개된 기계좌표계 오차량 ${}^m e$ 는 기계 좌표계(M)에 대한 양으로 마이크로 스테이지의 구동을 위해서는 이를 스테이지 내판 좌표계 (I)에 대한 오차량 ${}^i e$ 으로 전환해야 한다. Fig.4에서 볼 수 있듯이 이 두 오차량의 관계는 단순히 회전 행렬을 곱한 것으로 나타나며 그 관계는 식 (12)와 같다.

$$\begin{pmatrix} {}^m x_R - {}^m x_0 \\ {}^m y_R - {}^m y_0 \\ {}^m \theta_R - {}^m \theta_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -{}^m \theta_1 & 0 \\ {}^m \theta_1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} {}^i x_R - {}^i x_0 \\ {}^i y_R - {}^i y_0 \\ {}^i \theta_R - {}^i \theta_0 \end{pmatrix}$$

$${}^m e = R {}^i e \quad (12)$$

이때 ${}^m \theta_1 \ll 1$ 이므로 행렬 R은 단위행렬 I로 근사할 수 있으며 따라서 식 (12)는 결과적으로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$${}^m e \approx {}^i e \quad (13)$$

Fig.8에 제이선도를 나타내었다. 레이저 인터페로미터에 의해 측정변위 (s_x, s_y, s_θ)가 잡지되면 식(11)을 이용하여 목표 측정변위 (s_x, s_y, s_θ)와의 오차량 $s e$ 로부터 ${}^m e$ 가 정의되며 식(13)을 이용하여 이를 ${}^i e$ 로 환산할 수 있다. 이는 다시 식(6)에 의하여 압전구동기의 출력변위 오차량 Δp 로 변환된다. 이때 압전구동기의 인가전압과 압전구동기의 출력변위를 연결시켜주는 $\Lambda(s)$ 가 거의 대각행렬이므로 3개의 SISO 시스템에 대한 독립적인 제어로써 시스템을 제어할 수 있게 된다. 컨트롤러를 기친 제이신호는 마이크로 스테이지에 전압으로 인가되고 내판과 외판의 상대적인 변위가 발생하게 된다. 여기에 내판의 기계좌표와 방위가 더해져서 외판의 기계좌표와 방위가 되고 이는 T를 거쳐서 최종적으로 레이저 인터페로미터의 측정신호로 바뀌어 측정된다.

4. 실험 및 고찰

4.1 마이크로 스테이지 3축 동시제어

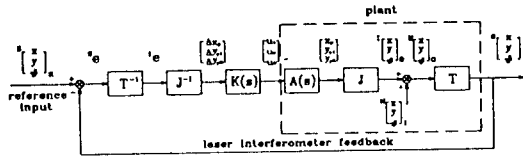


Fig.8 Control block diagram

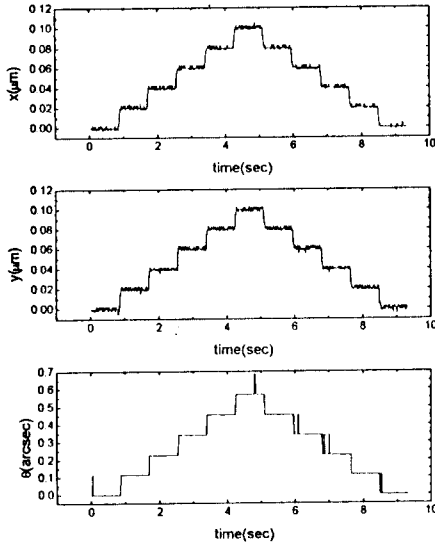


Fig.9 Step control of the micro stage

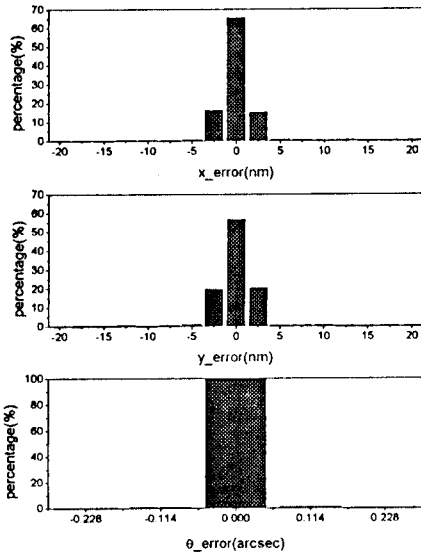


Fig.10 Histogram of error in measured step

대부분의 마이크로 스테이지 연구에서는 적분제어를 쓰고 있거나 아니면 적분게인의 값이 다른 게인의 값에 비해 상대적으로 매우 크다. 본 연구에서 제작된 마이크로 스테이지도 공압을 내린 경우 적분제어만으로 제어가 가능하며 Fig.9에 실험결과를 나타내었다. 레이저 인터페로미터의 분해능은 2.5 nm 와 0.114

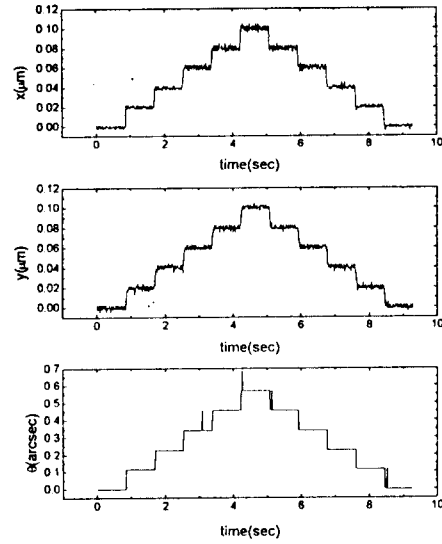


Fig.11 Step control when the stage moves (X = 80mm, Y = 110 mm)

arcsec 로 세팅했으며 공압을 꺼서 마이크로 스테이지를 정면면에 고정시킨 상태에서 기계 좌표계 원점에서 직선변위 20 nm 스텝, 각변위 0.114 arcsec 스텝으로 구동한 결과이다. Fig.10은 각 제어량의 오차를 막대그래프(histogram)으로 나타낸 것이다. 직선 변위의 경우 95% 이상이 에리비위 15 nm 내에 있으며 각변위의 경우는 거의 98% 이상이 ± 0.114 arcsec 의 오차범위내에 들어 있음을 볼 수 있다. 이보다 큰 오차량은 대부분 시스템의 과도응답에서의 오차량으로 볼 수 있으며 이는 입력과 출력의 차를 오차로 측정함에 따라 필연적으로 발생하는 양이다. 이런 오차를 제어하려면 대부분의 오차량들이 직선변위의 경우 15 nm, 각변위의 경우 ± 0.114 arcsec 내에 있음은 알 수 있다.

Fig.11은 마이크로 스테이지를 기계 좌표계 상에서 X축으로 80 mm, Y축으로 110 mm 이동했을 경우의 제어 결과를 나타낸다. 원점에서 실험한 경우와 비교해서 거의 같은 성능을 내고 있으며 스테이지 이동으로 인한 측정비위량과 스테이지 변위량의 불일치가 효과적으로 보상되었음을 입증한다.

4.2 공압에 의한 영향

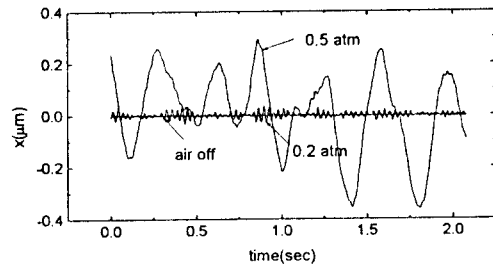


Fig.12 Influences of air pressure on the vibrational disturbances(X axis circular bearing)

실제 이중 서보 시스템에서 마이크로 스테이지는 글로우벌 서보에 의해 움직이면서 동작을 하게 된다. 따라서 공압을 올린 상태에서 제어를 하게 되는데 이 경우에는 공압이 증가할수록 진

동위관이 증가하는 현상을 보이고 있다. 현재 X축 원형배어링 (Fig.2의 A)의 공압에 의한 X축 방향 외관이 가장 크며 다른 배어링의 공압에 의한 영향은 무시할 수 있을 정도로 미소하다. Fig.12는 X축 원형배어링의 공압에 따른 X축의 외관을 보여준다. 공압이 증가할수록 외관도 키짐을 알 수 있으며 0.2기압일 경우 대략 60-80 nm, 0.5기압일 경우 400-600nm 정도의 크기를 보인다. 외관의 주파수 대역을 보면 대략 50 Hz 이내이다. 외관을 제거하기 위해서는 외관의 주파수 대역에서 루프이득(loop gain)을 크게 해야 하나 적분제이만으로는 위상 지연(phase lag)으로 인한 안정성문제로 인하여 만큼 이득을 크게 할 수 없다. 이를 해결하기 위해 PID제어를 사용하였으며 위상을 리드시켜 위상여유를 증가시킴으로써 상대안정성(relative stability)을 증가시켰다. Fig.13의 (a), (b), (c), (d)는 각각 X축 원형배어링의 공압이 0.5기압일 경우 적분제이와 PID 제이의 결과, 0.2기압일 경우의 적분제이와 PID제이 결과를 X축만 나타낸 것이다. 나머지 Y와 Z축는 공압을 끈 경우와 별 차이가 나지 않는다. 0.5기압일 경우는 적분제이만으로는 제이가 되지 않으며 PID제이의 경우는 공압을 내린 경우에 비해서 나쁘기는 하지만 오차량 ± 20 nm 이내로 제이가 되고 있다. 0.2기압의 경우에도 적분제이는 0.5기압에서 PID제이를 한 것보다 결과가 안 좋으며 PID 제이를 한 경우에는 공압을 내렸을 경우와 비교해 별 차이가 나지 않는다. 이상의 결과로 볼 때 공압에 의한 외관이 들어올 경우 적분제이만으로는 제이가 되지 않으며 PID제이를 사용하는 것이 효과적이라는 것을 알 수 있다.

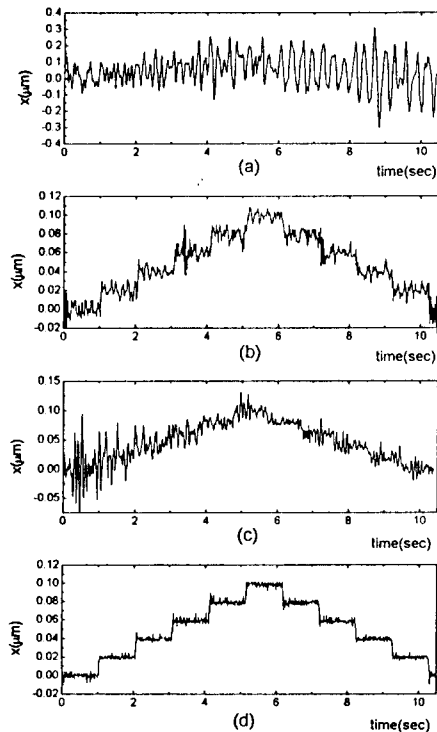


Fig.13 Comparison between I and PID control
 { 0.5atm : (a) I control (b) PID control }
 { 0.2atm : (c) I control (d) PID control }

5. 결론

압전구동기와 탄성금속체를 이용한 이중 서보 제어용 미세 구동 메커니즘을 설계하였다. 시스템의 모델링을 통해 MIMO인 시스템용 세개의 독립적인 SISO 시스템으로 근사할 수 있음을 보였으며, 스테이지의 이동에 따른 축정비위와 실제 스테이지 변위량의 불일치를 보정하는 알고리즘에 대한 연구가 진행되었다. 실제 제어를 통해 공압을 끈 경우 적분제이만으로도 직선변위 ± 5 nm, 각변위 ± 0.1 arcsec의 반복능을 구현할 수 있음을 입증하였다. 공압에 의한 진동외관이 들어올 경우는 적분제이만으로는 해결할 수 없고 PID제어를 써야한다. 결론적으로 마이크로 스테이지 자체의 성능은 이중 서보 시스템에 사용하기 충분한 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) N. Taniguchi, "Future Trends of Nanotechnology", Int. J. Japan Soc. Prec. Eng., Vol.26, No.1, Mar, 1992, pp.1-7.
- 2) 전자통신연구소, "통계정보", 주간기술동향, 통권 631, pp.324-346
- 3) S. Moriyama, T. Harada, A. Takanashi, "Precision X-Y Stage with a Piezo-driven Fine-table", Bull. Japan Soc. of Prec. Engg., Vol.22, No.1 Mar, 1988, pp.13-17.
- 4) I. Kobayashi, H. Hirai, Y. Hamada, S. Yamada, "Development of Stage System for Aligner", JSPE, Vol.57, No.12, 1991, pp.133-138.
- 5) Y. Okazaki, S. Asano, T. Goto, "Dual-Servo Mechanical Stage for Continuous Positioning", Int. J. Japan Soc. Prec. Engg., Vol.27, No.2, June, 1993, pp.172-173.
- 6) S. W. Kim, H. S. Lee, C. W. Lee, "Design of an Ultraprecision Stepping Stage for Lithography of Next Generation Integrated-Circuit Chips", Proceedings of the 3rd International Conference on UME, May, 1994, pp.39-42.
- 7) M. Taniguchi, M. Ikeda, A. Inagaki, R. Funatsu, "Ultra Precision Wafer Positioning by Six-axis Micro-motion Mechanism", Int. J. Japan Soc. Prec. Engg., Vol.26, No.1, Mar, 1992, pp.35-40.
- 8) Y. Tomita, F. Sato, K. Ito, Y. Koyanagawa, "Decoupling Method of Ultraprecision Stage using Parallel Linkage Mechanism", Int. J. Japan Soc. Prec. Engg., Vol.26, No.1, Mar, 1992, pp.47-53.
- 9) Y. Tomita, K. Kodaira, F. Sato, K. Itoh, Y. Koyanagawa, "A 6-Axis Motion Control Method for Parallel Linkage Type Fine Motion Stage", JSPE, Vol.58, No.4, 1992, pp.118-124.
- 10) N. Henmi, K. Sato, S. Wada, A. Shimikohbe, "A Six Degrees of Freedom Fine Motion Mechanism", Mechatronics, Vol.2, No.5, 1992, pp.445-457.
- 11) S. Stalnaker, L. Straaijer, J. Stoeldraijer, A. Katz, "System and Metrology Improvements to Achieve 85 nm Overlay", SEMICON/KOREA 91 Technical Proceeding, September, 1991, pp.30-38.
- 12) Zygo Co, AXIOM 2/20 Laser Measurement System Operation and Reference Manual, OMP-022011, 1993