

Decoupled Type 의 초정밀 이중 서보의 제어에 관한 연구

남병욱*, 김기현*, 최영만*, 김정재*, 이석원**, 권대갑#

Control of Decoupled Type High Precision Dual-Servo

Byoung Uk Nam*, Kihyun Kim*, Young Man Choi*, Jung Jae Kim*, Suk Won Lee**, Dae Gab Gweon#

ABSTRACT

Recently, with rapid development of semiconductor and flat panel display, the manufacturing equipments are required to have large travel range, high productivity, and high accuracy. In this paper, an ultra precision decoupled dual servo (DDS) system is proposed to meet these requirements. And a control scheme for the DDS is studied. The proposed DDS consists of a XY θ fine stage for handling work-pieces precisely and a XY coarse stage for large travel range. The fine stage consists of four voice coil motors (VCM) and air bearing guides. The coarse stage consists of linear motors and air bearing guides. The DDS is mechanically decoupled between coarse stage and fine stage. Therefore, both stages must be controlled independently and the performance of the DDS is mainly determined by the fine stage. For high performance tracking, the controller of fine stage consists of time delay control (TDC) and perturbation observer while the controller of coarse stage is TDC alone. With these individual controllers, two kinds of dual-servo control strategies are suggested: master-slave type and parallel type. By simulations and experiments, the performances of two dual-servo control strategies are compared.

Key Words : Dual-servo(이중서보), Linear Motor(선형모터), VCM(보이스 코일 모터), Air-Bearing Guide(공기 베어링 가이드), TDC(시간지연제어기), Perturbation Observer(섭동 관측기)

1. 서론

최근 반도체 기술의 발달로 반도체 웨이퍼나 LCD 등의 검사용 스테이지의 성능 향상이 요구됨에 따라 고속의 검사속도, 서브마이크론의 검사 정밀도, 그리고 대행정의 구동범위가 요구된다.

이러한 고속/초정밀/장행정의 성능을 구현하기 위하여 하나의 구동기를 사용하는 단일서보와 독

립된 두 개의 구동기를 사용하여 각 구동기의 장점을 살리고 단점을 보완하는 이중 서보에 대한 연구가 진행되고 있다.¹⁻⁶ 이에 본 논문에서는 검사 동작시 필요한 초정밀 위치 제어 성능과 빠른 가/감속 성능을 위하여 선형모터 (Linear Motor)로 구동되고 공기베어링으로 가이드 되는 조동 스테이지와 보이스 코일 모터 (VCM)로 구동되고 공기 베어링으로 가이드 되는 미세 스테이지로 구성된

접수일: 2005년 7월 14일; 게재승인일: 2006년 1월 13일

* 한국과학기술원 기계공학과

** 삼성전자 메카트로닉스연구소 Micro Nano 기술연구팀

교신저자: 한국과학기술원 기계공학과

E-mail dggweon@kaist.ac.kr Tel. (042) 869-3225

decoupled type 의 이중 서보를 구현하였다.

일반적으로 많이 연구되어 온 PZT 를 이용한 이중 서보 시스템은 PZT 의 특성으로 인하여 미세 스테이지의 행정 거리가 수십 마이크로미터 이내로 제한되며, 부하가 커질수록 PZT 의 크기가 커져 앰프의 응답이 느려지는 단점이 있다. 반면, VCM 을 이용한 decoupled 이중 서보는 수 mm 이상의 행정 거리를 가지고 있으며, 부하가 커지더라도 VCM 자체의 전류-힘 응답은 변하지 않는다. 또한, 조동 스테이지와 미세 스테이지 사이에 기계적 결합성이 없기 때문에 조동 스테이지에서 발생한 기계적 외란이 미세 스테이지에 직접적으로 전달되지 않으므로 검사 성능을 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 검사 동작 시 궤적 추종을 위한 제어기로서 시간 지연을 이용한 시간 지연 제어기 (time delay controller)와 섭동관측기 (perturbation observer)로 이루어진 제어기를 설계하였다. 그리고 이중 서보 구현을 위한 알고리즘을 제안 하였으며, 이중 서보의 성능 검증을 위하여 Y 축은 고정시키고 X 축으로만 구동하는 1 축 이중 서보에 대한 실험을 수행하였다.

2. 이중 서보 시스템 구성 및 모델링

2.1 이중 서보 시스템 구성

본 논문에서 사용된 이중 서보 시스템은 조동 스테이지와 미세 스테이지로 구성되며 조동 스테이지와 미세 스테이지의 개략도가 각각 Fig. 1 과 Fig. 2 에 도시되어 있다.

먼저 Fig. 1 에서 조동 스테이지는 시간에 대해서 안정성이 우수하고 평면도가 좋은 석정반을 베이스로 하고, 공기베어링과 T 타입의 프레임이 가이드로 사용한다. 조동 스테이지는 선형모터로 구동되는데, 조동 구동기는 X 축으로 한 개, Y 축으로 두 개의 선형모터로 구성된다. 그리고 조동 스테이지에는 미세 구동기인 보이스 코일 모터의 구동에 필요한 전류 공급을 위해 4 개의 코일 (X 축 두 개, Y 축 두 개)이 대칭형태로 고정되어 있다.

다음으로 Fig. 2 는 미세 스테이지로, 공기 베어링으로 가이드 되고 조동 스테이지에 고정되어 있는 4 개의 코일과 미세 스테이지에 고정되어 있는 4 개의 자석으로 구성된 4 개의 보이스 코일 모터에 의해 X 축, Y 축 그리고 θ 축, 총 3 자유도로 구동된다.

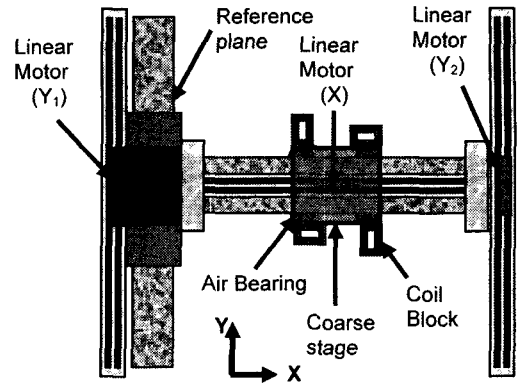


Fig. 1 Schematic figure of coarse stage

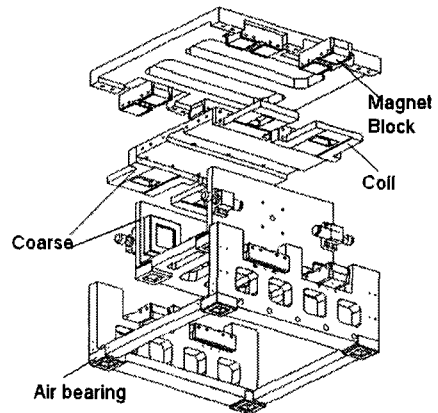


Fig. 2 Exploded view of fine stage

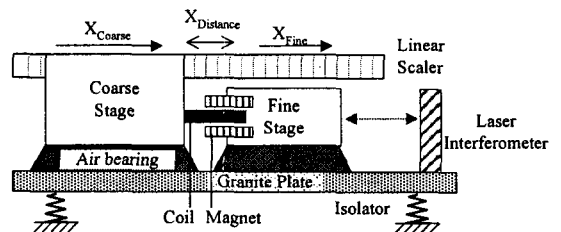


Fig. 3 Conceptual figure of the DDS

이러한 조동 스테이지와 미세 스테이지는 Fig. 3 의 개념도와 같이 결합되어 이중서보를 구성하게 된다. 이때 조동 스테이지와 미세 스테이지 사이에는 기계적인 결합성이 없으며, 보이스 코일 모터에 의해 발생하는 전자기력만이 작용하게 되므로 조동 스테이지에서 발생하는 외란이 미세 스테

이지에 직접적으로 전달되지 않는다. 실제 검사 수행시 반도체 웨이퍼나 LCD 가 Fig. 2 의 미세 스테이지 상단에 얹혀져 검사되므로 기계적 결합성이 없는 이중서보 시스템의 최종 성능은 미세 스테이지의 성능에 좌우되게 된다.

2.2 조동 구동기 모델링

제안된 시스템의 조동 구동기는 코일블록, 요크, 그리고 영구자석으로 구성된 코어가 없는 선형모터에 의해 구동 힘이 발생되며 공기베어링을 이용하여 무마찰 운동을 한다. 선형 모터는 코일에 전류를 인가하는 전기 시스템과 질량만으로 구성된 기계 시스템이 결합되어 있다. 전기 시스템은 코일의 인덕턴스 L 과 저항 R 로 이루어져 있으며, 기계 시스템은 강성과 댐핑을 무시하고 질량만 가진 시스템이라고 가정하면 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$L \frac{di}{dt} = u - Ri - K_E \frac{dx}{dt} \quad (1)$$

$$M_c \frac{d^2x}{dt^2} = K_c i \quad (2)$$

식(1)에서 u 는 코일에 인가되는 전압이며, K_E 는 역기전력 상수이다. 식(2)에서 M_c 은 coarse stage 운동자의 질량, x 는 운동자의 위치, 그리고 i 는 코일에 흐르는 전류이다. 모터가 내는 힘은 힘상수 K_c 와 전류 i 의 곱으로 나타내어 지는데, K_c 는 고정자 영구 자석의 공극 자속의 세기에 비례한다.

이로부터 선형 모터를 구동하는 방식에 따라 전압 구동방식과 전류 구동방식으로 나뉘질 수 있는데, 본 논문에서는 구조가 간단한 전류구동 방식(식(4))을 사용하였다.

Voltage-driven case:

$$\frac{x(s)}{u(s)} = \frac{K_c}{Ls^3 + M_c R s^2 + K_c K_E s} \quad (3)$$

Current-driven case:

$$\frac{x(s)}{i(s)} = \frac{K_c}{M_c s^2} \quad (4)$$

2.3 미세 구동기의 모델링

조동 스테이지에 고정되어 있는 코일과 미세 스테이지에 고정되어 있는 자석과 요크로 구성된

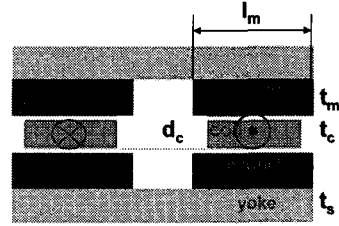


Fig. 4 Schematic of VCM

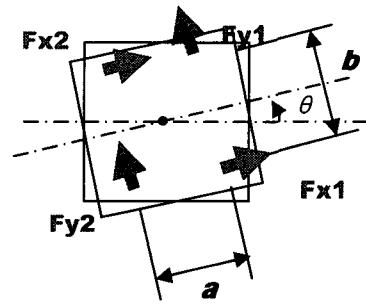


Fig. 5 Motion diagram of fine stage

다. 미세 스테이지는 Fig. 4 와 같은 보이저 코일 모터 4 개로 구동되며, 구동시 임의의 순간에 미세 스테이지의 상태를 Fig. 5 에 도시하였다. 대각선에 위치한 2 개의 보이저 코일 모터는 X 축 방향으로 힘을 발생시키며, 나머지 2 개의 보이저 코일 모터는 Y 축 방향으로 힘을 발생 시킨다. 미세 스테이지는 댐핑과 마찰이 없으며 질량중심과 기하학적 중심이 동일하고, Fig. 5 에서 4 개의 보이저 코일 모터가 동일한 특성을 가진다고 가정한다. 이때 미세 스테이지를 구동하는 로렌츠의 힘(Lorentz force)은 다음과 같이 수식적으로 표현된다.

$$F = nBil_{eff} = K_f i \quad (5)$$

여기서 K_f 는 VCM 의 힘상수이다.

Fig. 5 에서 X 축으로 힘을 내는 두 개의 보이저 코일 모터 사이의 거리를 a , Y 축으로 힘을 내는 두 개의 보이저 코일 모터 사이의 거리를 b 라고 하면, 미세 스테이지의 운동 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} M_f \ddot{x} &= F_{x1} \cos \theta + F_{x2} \cos \theta - F_{y1} \sin \theta - F_{y2} \sin \theta \\ M_f \ddot{y} &= F_{x1} \sin \theta + F_{x2} \sin \theta + F_{y1} \cos \theta + F_{y2} \cos \theta \\ I_f \ddot{\theta} &= (b/2)(F_{x1} - F_{x2}) + (a/2)(F_{y1} - F_{y2}) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 M_f 는 미세 스테이지의 질량이며 I_f 는 미세 스테이지의 회전 관성 모멘트이다. 식 (6)을 행렬식으로 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} M_f \ddot{x} \\ M_f \ddot{y} \\ I_f \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos\theta & -\sin\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \sin\theta & \cos\theta & \cos\theta \\ b/2 & -b/2 & a/2 & -a/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{x1} \\ F_{x2} \\ F_{y1} \\ F_{y2} \end{bmatrix} \quad (7)$$

따라서 4 개의 보이스 코일 모터에 전류를 가하게 되면, 각각의 보이스 코일 모터가 힘을 발생시키게 되고 최종적으로 x, y, θ 3 축 미세 스테이지의 구동을 얻을 수 있게 된다.

3. 이중 서보 제어기 설계 및 알고리즘

3.1 이중서보 제어 전략

본 논문에 사용한 이중 서보 시스템은 조동 스테이지와 미세 스테이지 사이에 기계적 결합성이 없는 decoupled 구조이므로 조동 스테이지와 미세 스테이지는 동일한 궤적을 추종해야 한다.

이와 같은 구조의 이중 서보는 그 동안 연구된 사례가 없으며, 따라서 기존에 연구된 이중 서보 알고리즘을 기본으로 본 시스템에 적용 가능한 이중 서보 제어 전략으로 parallel type 과 master-slave type 을 제안한다. Fig. 6(a)는 parallel type 이중서보 알고리즘으로 조동 스테이지와 미세 스테이지는 동일한 기준입력을 추종하게 된다. 반면에 Fig. 6(b)는 master-slave type 이중 서보 제어 전략으로 미세 스테이지는 기준입력을 추종하게 되고, 조동 스테이지는 측정된 미세 스테이지의 변위를 추종하게 함으로써 결과적으로 조동 스테이지와 미세 스테이지는 동일한 궤적을 추종하게 된다. 두 알고리즘에서 보이스 코일 모터의 성능은 구조상 동일하게 되고, 조동 스테이지와 미세 스테이지의 상대 거리에서 각 타입의 특징이 결정된다.

따라서 실험을 통하여 두 경우의 이중 서보의 성능을 결정짓는 미세 스테이지의 성능을 확인하고, 조동 스테이지와 미세 스테이지의 상대거리 변화에 대한 비교를 통하여 parallel type 과 master-slave type 의 특성을 비교분석 하도록 한다.

3.2 이중 서보 제어기 설계

본 장에서는 조동 스테이지를 구동시키는 선형 모터와 미세 스테이지를 구동시키는 보이스 코일

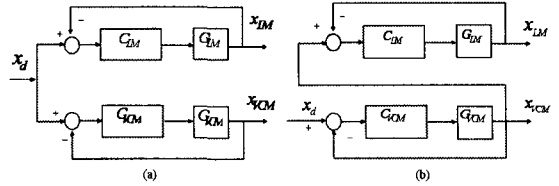


Fig. 6 Dual servo control strategies (a) parallel type dual-servo algorithm (b) master-slave type dual-servo algorithm

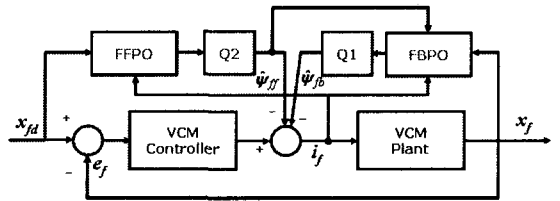


Fig. 7 Control block diagram of fine stage

모터의 제어기를 설계한다. 각 구동기의 기본 궤적 추종 제어기로는 시간 지연을 이용한 시간 지연 제어기법^{7,8}을 사용하였다. TDC는 플랜트의 알지 못하는 동역학이나 외란 등을 시간 지연을 이용해 추정하여 제어하는 기법으로, 제어기 구조가 매우 간단하며 플랜트에 대한 적은 정보만으로도 제어가 가능한 장점이 있다.

2.1 절에서 논의된 바와 같이, 본 이중서보의 성능을 결정짓는 미세 스테이지의 외란에 대한 강인 추종제어 성능 향상을 위해 제어기에 섭동 관측기⁹를 추가하였다. 섭동은 플랜트에 인가되는 내·외적인 외란 요인과 플랜트의 모델링 오차를 모두 포함하게 된다.

3.2.1 조동 구동기의 제어기 설계

식 (4)로부터 시간지연추종제어를 위한 제어 법칙으로 식 (8)을 얻을 수 있다.

$$i_c(t) = i_c(t-t_s) + \bar{M}_c \{ \ddot{x}_d - \ddot{x}_c(t-t_s) + K_D \dot{e}_c + K_P e_c \} \quad (8)$$

여기서 t_s 는 샘플링 타임, K_D, K_P 는 제어 파라미터이다. $\bar{M}_c = \hat{M}_c / K_c$ 로 주어지며, \hat{M}_c 은 M_c 의 예상치이다. 위치 오차 e 는 $x_d - x$ 로 정의된다.

조동 구동기의 제어기에는 미세 스테이지의 힘

을 예측하여 reaction 을 보상하는 force observer (FO) 알고리즘을 공통으로 사용하였다.

3.2.2 미세 구동기의 제어기 설계

미세 구동기의 제어기 역시 선형모터와 동일한 TDC 를 기본 제어기로 사용하였으며, 강인 추종 제어 성능 향상을 위해 Fig. 7 과 같이 섭동관측기를 추가 하였다. 섭동관측기는 기준입력과 제어입력을 이용하여 플랜트에 인가되는 외란을 추정하는 앞먹임 섭동관측기 (feedforward perturbation observer : FFPO), 제어입력과 출력신호를 이용하여 외란을 추정하는 되먹임 섭동관측기 (feedback perturbation observer : FBPO) 그리고 두 섭동관측기를 동시에 사용하는 방법으로 나누어 비교분석 하였다. 여기서 i_f 는 제어입력을, $\hat{\psi}_{ffpo}$ 는 앞먹임 섭동관측기에 의해 추정된 섭동 신호를, 그리고 $\hat{\psi}_{fbpo}$ 는 되먹임 섭동관측기에 의해 추정된 섭동 신호를 각각 의미 한다. 식(7)로부터 MIMO 시스템을 다음과 같이 SISO 시스템으로 변환한다.

$$\frac{M_f}{K_f} \ddot{x}(t) = i_f(t) + \psi(t) \quad (9)$$

여기서 $\psi(t)$ 는 플랜트에 인가되는 실제 섭동을 나타낸다. 따라서 플랜트의 섭동은 등가적으로 식 (10)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\psi(t) = \psi_{eq}(t) = \frac{M_f}{K_f} \ddot{x}(t) - i_f(t) \quad (10)$$

여기서 직관적인 관점에 의해 현재 플랜트의 섭동 ($\hat{\psi}(t)$) 은 $\psi(t) \approx \psi(t-t_s)$ 이라는 가정하에 식 (11)과 같이 한 스텝 이전의 외란에 의해 추정될 수 있다.

$$\hat{\psi}(t) = \psi_{eq}(t-t_s) = \frac{M_f}{K_f} \ddot{x}(t-t_s) - i_f(t-t_s) \quad (11)$$

이때, 앞먹임 섭동관측기만을 사용하였을 경우는

$$\hat{\psi}_{ff}(t) = \frac{M_f}{K_f} \ddot{x}_d(t-t_s) - i_f(t-t_s) \quad (12)$$

식 (12)와 같이 기준입력과 제어 입력을 사용하여 섭동을 추정할 수 있으며, 되먹임 섭동관측기만을 사용하였을 경우는 식 (13)과 같이 제어 입력과 출력신호를 사용하여 섭동을 추정할 수 있다.

$$\hat{\psi}_{fb}(t) = \frac{M_f}{K_f} \ddot{x}(t-t_s) - i_f(t-t_s) \quad (13)$$

그리고 앞먹임 섭동관측기와 되먹임 섭동관측기를 동시에 사용하여 섭동을 추정할 경우의 되먹임 섭동관측기의 추정값은 Fig. 7 에서 식 (14)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{\psi}_{fb}(t) &= \hat{\psi}_{fb}(t-t_s) - \hat{\psi}_{ff}(t-t_s) \\ &= \frac{M_f}{K_f} \ddot{x}(t-t_s) - i_f(t-t_s) - \hat{\psi}_{ff}(t-t_s) \end{aligned} \quad (14)$$

그리고 이와 같은 섭동관측기로 추정된 섭동 신호는 수치 미분으로 인하여 고주파 성분을 가지고 있으므로 추정된 섭동을 시스템에 인가할 경우 시스템이 불안정해지게 된다. 따라서 저주파 통과 필터(Q1, Q2)를 사용하여 고주파 성분을 제거한다.

3.2.3 섭동관측기의 주파수역 성능

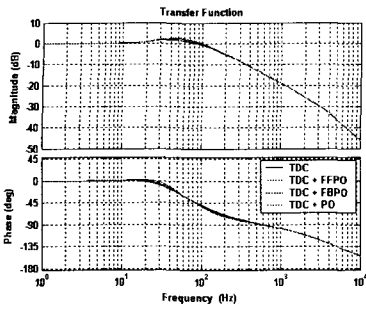
섭동관측기를 추가하여 미세 스테이지의 강인 추종 제어 성능을 향상 시켰을 경우의 주파수역 성능을 Fig. 8 에서 보였다. TDC 제어기만을 사용하였을 경우와, 섭동관측기를 추가한 경우, 되먹임 섭동관측기를 추가한 경우, 그리고 앞먹임 섭동관측기와 되먹임 섭동관측기를 동시에 추가한 경우에 대한 전달함수를 구하여 비교하여 보았다. Fig. 8(a)는 미세 스테이지의 페루프 전달함수를, Fig. 8(b)는 외란 제거 성능을, 그리고 Fig. 8(c)는 센서 잡음에 대한 감도의 Bode 선도를 나타낸다.

결과적으로 주파수역 성능 검증을 통하여 TDC 제어기에 섭동 보상기를 추가함으로써 외란 제거 및 센서 잡음에 대한 감도의 성능향상을 얻을 수 있음을 확인하였다. 특히, 앞먹임 섭동관측기와 되 먹임 섭동관측기를 동시에 사용할 경우, 앞먹임 섭동관측기에서 일차적으로 섭동을 추정하여 보상하고, 보상되지 못한 여분의 섭동이 되먹임 섭동 관측기로 추가 보상되기 때문에 하나의 섭동관측기를 사용하였을 경우에 비해 향상된 성능을 가지게 된다.

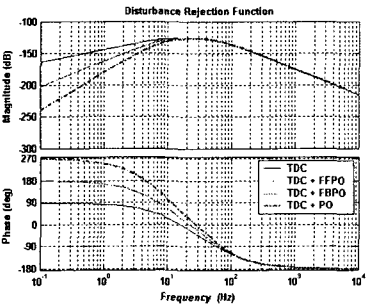
4. 실 험

4.1 시스템 구성

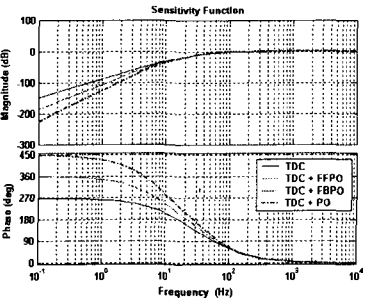
Fig. 9 는 전체 시스템의 Prototype 으로 Y 축의 조동 구동 시스템을 제외한 모든 시스템을 포함한다. 보이스 코일 모터는 적정 가속도를 획득하기 위해 자체 설계되고 제작된 것을 사용하였으며,



(a) Transfer Function



(b) Disturbance Rejection Function



(c) Sensitivity Function

Fig. 8 Frequency responses

선형모터는 Trilogy 사의 제품으로 3 상 여자 방식을 사용 하였다. 보이스 코일 모터로 구동되는 미세 스테이지의 위치는 3 축 제어를 위하여 HP 레이저 간섭계를 사용하였으며 X 축으로 2 축, Y 축으로 1 축을 구성하였다. 선형모터의 위치는 Renishaw 사의 선형 스케일을 사용하여 측정하였다. 이러한 측정 시스템에 의해 측정된 위치 신호는 DSP 기반의 디지털 제어기인 dSPACE 제어기에 32bit의 병렬 디지털 입력으로 전달된다. 실시간 위치 측정

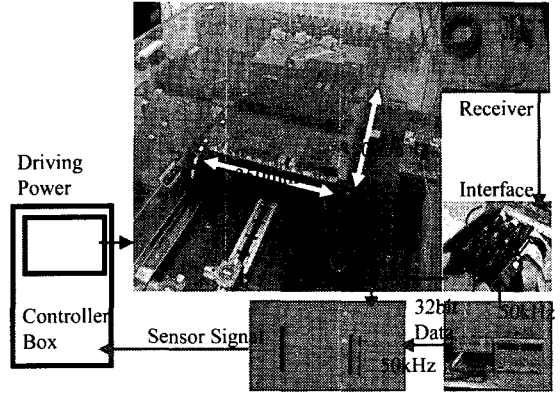


Fig. 9 Picture of experimental system

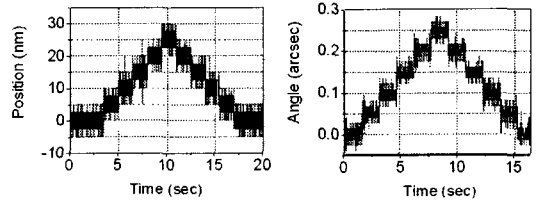


Fig. 10 Minimum resolution test

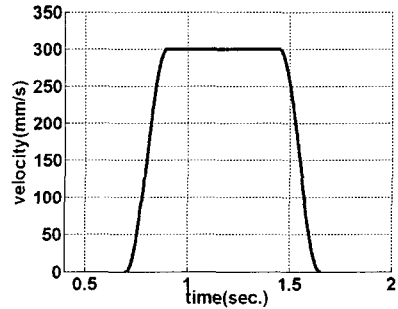


Fig. 11 Velocity profile of reference input

데이터를 바탕으로 dSPACE의 제어 프로그램을 통하여 아날로그 제어 출력을 만든다. 이때 4개의 보이스 코일 모터의 구동을 위한 앰프로 TA115를 사용하였고, 선형모터의 구동을 위한 전류 앰프는 Verdan 제품을 사용하였다. 이렇게 구성된 DDS 시스템은 Fig. 10에서 보는 것과 같이 XY 방향으로 5nm와 θ 방향으로 0.05 arcsec의 최소 스텝을 구분할 수 있다.

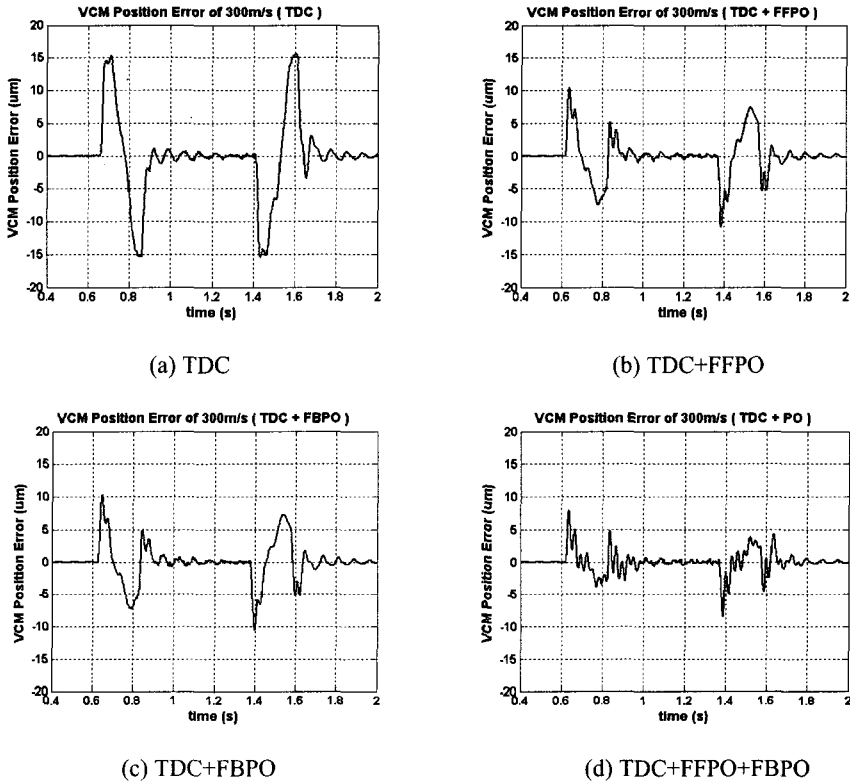


Fig. 12 Fine stage position errors

4.2 실험결과

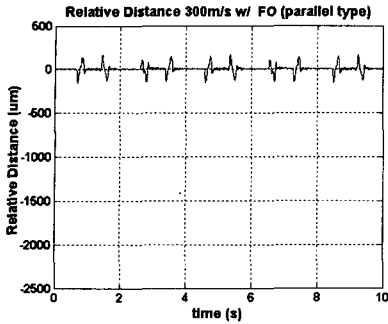
3.1 절에서 설계한 선형모터와 보이스 코일 모터의 제어기를 3.2 절에서 제안한 이중 서보 알고리즘에 적용하여 실험을 수행하였다.

먼저 제적 추종을 위해 가속/정속/감속 구간을 가지는 기준궤적을 Fig. 11 과 같이 설계하였으며, 이때 가/감속 구간에서의 최대 가속도는 0.25G, 정속 구간에서의 속도는 300mm/s 이다. Fig. 12(a)에서는 TDC 제어기를, Fig. 12(b)에서는 TDC 제어기에 앞먹임 섭동관측기를, Fig. 12(c)에서는 TDC 제어기에 뒤먹임 섭동관측기를, 그리고 Fig. 12(d)에서는 TDC 제어기에 앞먹임/뒤먹임 섭동관측기를 모두 추가하였을 때의 미세 스테이지의 위치오차 결과를 보여준다. 앞먹임/뒤먹임 섭동 관측기를 각각 사용함으로써 TDC 제어기만의 트래킹 오차를 기준으로 가/감속 구간에서는 43%, 정속 구간에서는 21% 정도의 오차가 감소 하였으며, Fig. 12(d)에서 앞먹임/뒤먹임 섭동관측기를 동시에 사용하여 가/

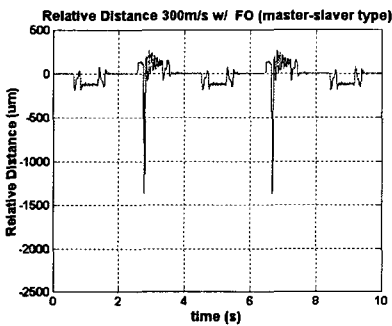
감속 구간에서는 64%, 정속 구간에서는 30% 정도로 오차가 감소하였다.

가속 후의 잔류진동은 스테이지의 reaction 에 의하여 베이스 프레임의 vibration isolator 가 진동하기 때문에 생기는 현상이며, 약 10Hz 정도의 주파수를 가지고 있다. 별도의 reaction 보상 방법을 사용하거나 isolator 의 튜닝을 최적화하면 이 잔류진동을 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

다음으로 Fig. 13(a)는 parallel type 에서의 조동 스테이지와 미세 스테이지의 상대거리의 변화를, 그리고 Fig. 13(b)는 master-slave type 의 상대거리의 변화를 나타낸 결과이다. master-slave type 의 경우 미세 스테이지의 변위를 측정하여 조동 스테이지의 기준 입력으로 사용하게 되는데, 이 과정에서 고 주파수의 노이즈 성분이 인가되기 때문에 시스템이 다소 불안정 하게 된다. 따라서 parallel type 의 이중 서보 성능이 우수한 것을 확인할 수 있다.



(a) Parallel type



(b) Master-slave type
Fig. 13 Relative distances

5. 결론

본 논문에서는 선형모터와 보이스 코일 모터로 구동되며 기계적 결합성이 없는 이중 서보 시스템을 구현하고, 이중서보의 구동을 위해 각 구동기의 제어기를 설계하였으며, 실험을 수행하였다. 특히 미세 스테이지의 강인 추종제어 성능 향상을 위해 섭동관측기를 추가하였으며, 300mm/s 의 정속을 가지는 궤적에 대한 추종 실험을 통하여 가/감속 구간에서의 위치 오차는 64%, 정속 구간에서의 위치 오차는 30% 감소하였음을 확인하였다 마지막으로 이중서보 알고리즘으로 master-slave type 과 parallel type 을 제안하였으며, 실험을 통하여 두 타입의 특성을 비교분석 함으로써 parallel type 의 이중 서보 알고리즘이 우수한 성능을 가짐을 확인하였다.

후 기

본 연구는 삼성전자 메카트로닉스 연구소와 진

행중인 대행정용 초정밀 측정 및 구동기 개발을 위한 산학과제로서 수행되었으며 이에 삼성전자 관계자 여러분에게 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

1. Moriyama, S., Harada, T. and Takanashi, A., "Precision X-Y Stage with a Piezo-driven Fine-table," Bull. Japan Soc. Of Prec. Engg., Vol.22, No.1, pp.13-17, 1988.
2. Sakuta, S., Ogawa, K. and Ueda, K., "Experimental Studies on Ultra-Precision Positioning," Int. J. Japan Soc. Prec. Eng., Vol.27, No.3, pp.235-240, 1993.
3. Okazaki, Y., Asano, S. and Goto, T., "Dual-Servo Mechanical Stage for Continuous Positioning," Int. J. Japan Soc. Prec. Eng., Vol.27, No.2, pp.172-173, 1993.
4. Lee, C. and Kim, S., "An Ultra precision Stage for Alignment of wafers in advanced microlithography," Precision Engineering, Vol.21, No.2/3, pp.113-122, 1997.
5. Choi, H. S., Song, C. W. and Han, C. S., "Design and Control of Dual Servo Mechanism for High Precision Position Control," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 20, No. 10, pp. 22-30, 2003.
6. Liu, H., Lu, B., Ding, Y. and Tang, Y., "A Motor-piezo actuator for nano-scale positioning based on dual servo loop and nonlinearity compensation," J. of Micromechanics and Microengineering, Vol. 13, pp.295-299, 2003.
7. Youcef-Toumi, K. and Ito, O., "A time delay controller for systems with unknown dynamics," Trans. of ASME, J. Dyn. Sys., Meas., Contr, Vol. 112, No. 1, pp. 133-142, 1990.
8. Youcef-Toumi, K. and Wu, S. T., "Input/Output linearization using time delay control," Trans. of ASME, J. Dyn. Sys., Meas., Contr, Vol. 114, pp. 10-19, 1992.
9. Kwon, S. J., Chung, W. K. and Youm, Y. I., "On the Coarse/Fine Dual-Stage Manipulators with Robust Perturbation Compensator," Proc. of the 2001 IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation, pp. 121-126, 2001.