

# VCM을 이용한 리소그래피용 레티클 스테이지의 설계 및 기구학적 해석

오민택<sup>+</sup>, 김문수<sup>+</sup>, 김정한\*  
(논문접수일 2008. 1. 10, 심사완료일 2008. 4. 3)

## Design and Kinematic Analysis of the Reticle Stage for Lithography Using VCM

Min-taek Oh<sup>+</sup>, Mun-su Kim<sup>+</sup>, Jung-han Kim\*

### Abstract

This paper presents a design of the reticle stage for lithography using VCM(Voice Coil Motor) and kinematic analysis. The stage has three axes for  $X, Y, \theta_z$ , those actuated by three VCM's individually. The reticle stage has cross coupled relations between  $X, Y, \theta_z$  axes, and the closed solution of the forward/inverse kinematics were solved to get an accurate reference position. The reticle stage for lithography was designed for reaching both high accuracy and long stroke, which was  $0.1\mu\text{m}$  ( $X, Y$ ) /  $1\mu\text{rad}$  ( $\theta_z$ ) accuracies and relatively long strokes about 2mm ( $X, Y$ ) and 2 degrees ( $\theta_z$ ). Also this research presents a rotational compensation algorithm for the precision gap sensor for the stage. Simulation results show the overall performance of the whole algorithm and the improvement quantity of the rotational compensation algorithm.

**Key Words** : Reticle stage(레티클 스테이지), Kinematics(기구학), Voice coil motor(보이스 코일 모터), Gap sensor(간극 센서)

## 1. 서론

웨이퍼나 유리 기판에 빛을 이용해 회로를 찍어내는 노광기는 디스플레이/반도체 장비들 중에서 가장 정밀한 기술이 필요한 장비 중에 하나이다. 노광기 안의 여러 부분 중 레티클(reticle) 스테이지는 노광 시 마스크(mask)가 올라가는

부분으로써 정렬에 있어서 매우 중요한 역할을 하며, 조금만 흔들리더라도 웨이퍼에 회로가 제대로 찍히지 못하고 회로선들이 서로 겹치게 되므로 매우 정밀한 스테이지 위치제어 기술이 필요하며, 제어 중에 발생하는 작은 섭동(perturbation) 변화에 매우 민감하다. 이러한 초정밀 스테이지는 넓은 구동 범위를 동시에 만족시키기 위하여 기본 액추에이터에 정밀

<sup>+</sup> 서울산업대학교 산업대학원 메카트로닉스학과

<sup>\*</sup> 교신저자, 서울산업대학교 기계설계자동화공학부, 정밀기계기술연구소 (hankim@snut.ac.kr)  
주소: 139-743 서울시 노원구 공릉2동

한 액추에이터를 추가한 듀얼스테이지 구조를 사용하는 경우가 많으며, 또한 기존의 많은 레티클 스테이지는 로터리 타입의 액추에이터를 이용하여 제작되었다. 하지만 로터리 모터는 백래쉬등의 문제가 발생하고, 발생한 힘을 직선운동을 변환해주기 위한 부가적인 기구물이 필요하다. 이러한 부가적인 기구물은 시스템의 정밀도와 응답속도 등을 떨어뜨리고 시스템의 복잡성을 증대시키며 부피를 크게 만들어 스테이지 설계시 공간적 제약과 생산 시 가격을 증대시키는 문제점을 가지고 있다.

이러한 문제점 때문에 최근의 연구에서 로터리식 액추에이터가 아닌 다양한 종류의 액추에이터를 이용한 직접 구동식 정밀 스테이지에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. K.S Chen은 6개의 모터를 이용한 X-Y- $\theta$ 의 3자유도를 가지는 정밀 스테이지를 연구하였고<sup>(1)</sup>, Wei Gao는 서페이스 모터(Surface motor)라 명명한 특수한 타입의 모터를 이용한 연구를 진행하였다<sup>(2)</sup>. Yoshiyuki Tomita 또한 BLDC 타입의 서페이스 모터(surface motor)를 사용한 설계에 대한 연구를 하였다<sup>(3)</sup>. Won-jong Kim은 자기 부상스테이지를 연구하는<sup>(4)</sup> 등 다양한 액추에이터를 이용한 정밀 스테이지가 연구되고 있으며, 정밀도와 스트로크의 반비례(trade-off)를 극복하기 위한 다양한 방법이 연구되고 있다<sup>(5)</sup>.

본 연구에서는 정밀도를 높이면서도 다른 초정밀 스테이지에 비하여 비교적 큰 스트로크를 얻을 수 있는 구조의 디스플레이 노광기용 3축 레티클 스테이지를 설계하고 이를 해석하여 상업적으로 사용가능하도록 기구학적 해를 구하였다. 본 연구에서는 큰 스트로크를 얻기 위하여 구동장치(actuator)로 일반적으로 쉽게 구할 수 있는 산업용 보이스코일 모터(VCM)와 에어 베어링을 사용하여 기구적인 마찰을 최소화 하였다. 이러한 구조에서는 백래쉬 현상이 없을 뿐만 아니라, 동력 전달 장치가 없으므로 내구성 및 공간적으로도 매우 유리하다. 또한 구동부의 에어 베어링은 기구적인 마찰부를 최소화함으로써 별다른 유지 보수없이 장기적으로도 운전 및 고정도를 유지할 수 있다는 장점이 있다<sup>(6-8)</sup>. 본 연구에서는 이러한 장점을 이용하면서 최소 개수의 액추에이터를 사용하여 X, Y,  $\theta_z$ 의 3자유도를 가지는 스테이지를 설계하고, 스테이지의 동작에 대한 정 기구학적 해석과 역 기구학적 해석을 수행하였다. 또한 스테이지의 구조상 회전 시 갭센서에 유발될 수 있는 오차를 보정할 수 있는 회전오차 보정함수를 개발하였다. 개발된 회전오차 보정함수는 스테이지에 실제 사용된 갭센서의 특성을 실제 측정하여 측정된 데이터를 활용하여 그 성능을 평가하였다.

## 2. 스테이지 설계 및 동작 개념

### 2.1 스테이지의 설계

본 스테이지는 구동 테이블과 기저부, 두 개의 부분으로 나누어져 있다. 세 개의 VCM이 Fig. 1과 같이 구동 테이블에 직접적으로 부착되어 있다. 피드백 센서로서 세 개의 와전류 방식(eddy current)의 갭센서가 VCM 바로 옆에 각각 설치되어있고, 기저부와 구동 테이블 간의 마찰을 없애기 위하여 에어베어링을 설계, 장착하였다. 설계된 에어 베어링은 4개의 노즐로 구성되었으며, 동작시 발생하는 상하진동을 줄이기 위하여 흡기(vacuum) 노즐을 중앙에 설계하여 부상(levitation)중의 진동을 최소화 하였다.

일반적으로 에어베어링의 블로우 노즐은 구동 테이블에 설치하지만, 본 스테이지의 경우 스트로크가 작고, 공기 튜브의 탄성력이 스테이지의 정밀도에 미치는 영향 등을 고려하여 기저부의 고정 부분에서 블로우하는 방식으로 설계하여 공압튜브에 의한 영향을 제거하였다.

### 2.2 동작의 개념

본 스테이지의 구동은 Fig. 2에서 나타난 것처럼 X축방향의 직선운동 때에는 VCM A의 구동을 통해 행해지며 VCM B, C의 같은 방향, 같은 크기의 구동을 통해 Y방향의 직선운동이 이루어진다.

회전운동은 VCM B와 C가 각각 다른 방향, 같은 크기로 구동함으로써 직선운동 없이 회전을 발생시키고 이 때 VCM A는 회전 운동에 영향을 주지는 않지만, 회전 운동 시에 발생하는 X축 방향의 변위만큼 구동을 해준다. 이처럼 모든

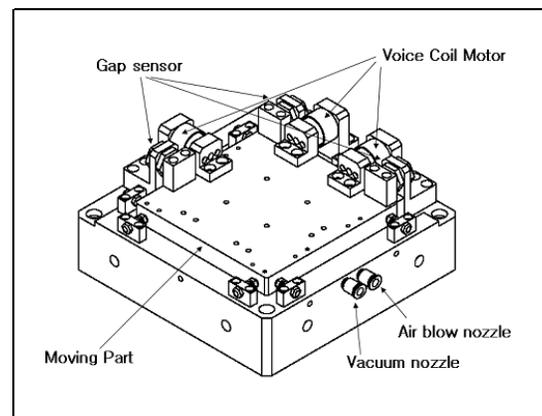


Fig. 1 Design of the reticle stage

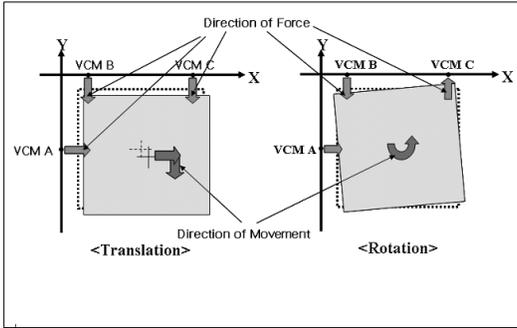


Fig. 2 Conceptual diagram(top view)

동작이 세 VCM들의 조합을 통해 이루어지므로 구동을 위한 정·역 기구학적 해석이 필요하다.

### 3. 기구학적 해석

#### 3.1 좌표계 설정

기구학적 해석을 위한 좌표계는 Fig. 3과 같이 실제 스테이지의 센서 설치위치가 X, Y 각 축 위에 위치하도록 설정하였다. 점 A, B, C는 센서들의 설치위치이고 점 S는 구동 테이블의 중심점이다. 중심점의 좌표는 각각 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} x_s &= i_a + l_2 \\ y_s &= -(i_b + l_1) \end{aligned} \quad (1)$$

$i_a, i_b, i_c$ 는 구동 테이블이 초기위치에 있을 때 센서 프로

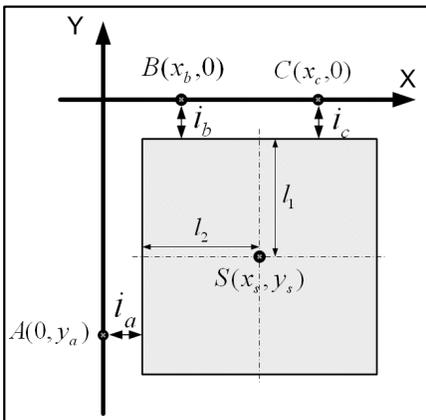


Fig. 3 Defined coordinate of the stage

브와 구동 테이블과의 초기거리이다. 초기치를 포함한 센서와 스테이지의 간극을 각각  $G_a, G_b, G_c$ 로 표기하였다.

구동 테이블 위의 모든 점은 4사분면 상에 있고, 4사분면을 벗어나지 않는 범위에서 움직인다. 구동 테이블의 직선 이동 거리는 각각  $T_x, T_y$ 로 표시하며, 회전각은  $\theta$ 로 나타낸다.  $T_x, T_y$ 의 증가방향은 각각 X축, Y축의 증가방향과 일치한다. 초기 위치에 있을 때 구동 테이블의 위치는  $T_x, T_y$  모두 0, 회전각 또한 0으로 설정했다.

#### 3.2 정 기구학적 해석(Forward kinematics)

##### 3.2.1 회전각(Rotation angle)

센서와 스테이지의 간극  $G_a, G_b, G_c$ 를 알 때 이를 이용하여 스테이지의  $T_x, T_y, \theta$ 를 구해보자. 우선  $\theta$ 의 경우 아래 식과 같이 구동 테이블의 상변의 기울기를 이용하면 테이블의 회전각  $\theta$ 를 알 수 있다.

$$\therefore \theta = \arctan\left(\frac{G_b - G_c}{x_c - x_b}\right) \quad (2)$$

##### 3.2.2 회전이 발생할 때의 직선운동

센서에서 측정되는  $G_b, G_c$ 의 값은 회전만이 발생할 때의 변위, Y방향의 직선운동에 의한 변위, X방향의 직선운동에 의해 발생하는 Y방향의 변위, 이 3개항의 합으로 분리해낼 수 있으므로( $G_a$ 의 경우도 마찬가지), 다음과 같이 표현할 수 있다( $G_b$ 의 증가방향은 Y축과 반대이므로 식 (4)의  $T_y, T_{yx}$ 는 (-1)이 곱해져야 한다).

$$G_a = G_{ae} + T_x + T_{xy}, \quad (3)$$

$$G_b = G_{be} - T_y - T_{yx}, \quad (4)$$

여기서,

$G_{ae}, G_{be}$  : 회전만 발생시 예상되는  $G_a, G_b$  값,

$T_x, T_y$  : 직선운동 크기,

$T_{yx}$  :  $T_x$ 에 의해 발생하는 Y방향의 변위,

$T_{xy}$  :  $T_y$ 에 의해 발생하는 X방향의 변위.

①  $T_{yx}, T_{xy}$  (간접적 직선운동에 의한 변위)

구동 테이블의 상변을 직선의 방정식으로 표현하면,

$y = a_T x + b_T$  과 같이 나타낼 수 있는데, 이 직선이 Fig. 4와 같이 c만큼 X축 방향으로 이동하면 센서 B에서의 거리는  $d - d$ 만큼 발생한다. 이동된 직선의 방정식은,

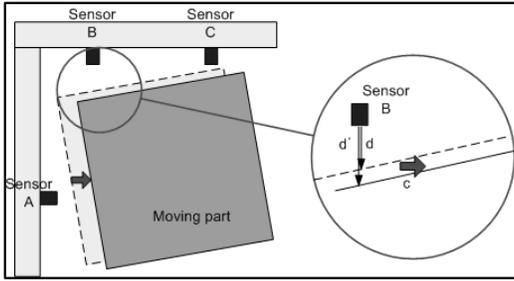


Fig. 4 Gap changes according to X directional movement

$$y = a_T x + b_T - a_T c_T, \quad (5)$$

과 같으며,  $T_x$ 에 의하여 발생된  $T_{yx}$ 는,

$$T_{yx} = -T_x \tan \theta \quad (a_T = \tan \theta, c_T = T_x). \quad (6)$$

같은 방법으로  $T_{xy}$ 를 구하면 센서 A가 부착되어 있는 구동 테이블 좌변의 직선의 방정식을 다음과 같이 놓으면

$$y = a_L x + b_L \quad (7)$$

이 식에서 Y방향으로  $e$ 만큼 이동하면,

$$x = \frac{(y-e) - b_L}{a_L} = \frac{y - b_L}{a_L} - \frac{e}{a_L}. \quad (8)$$

여기서 센서A에 유발되는  $T_{xy}$ 는,

$$T_{xy} = -\frac{e}{a_L} = -\frac{T_y}{-\cot \theta} = T_y \tan \theta. \quad (9)$$

$$\text{여기서 } \therefore a_L = -\frac{1}{a_T} = -\cot \theta \quad (10)$$

②  $G_{ac}$ ,  $G_{bc}$  (회전에 의해 발생한 변위)

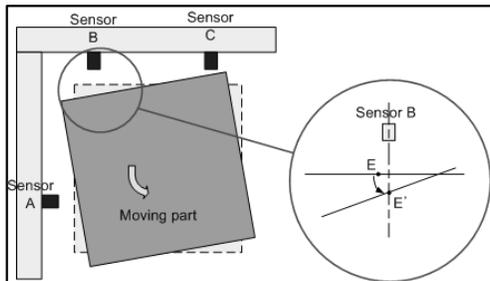


Fig. 5 Movement of E according to stage rotation

Fig. 5와 같이 구동 테이블 상변의 임의의 점  $E(x, -i_b)$ 가  $x_s, y_s$ 를 중심으로 회전하여 센서 B의 측정선 상에 놓여 E가 되면,

$$E' = [x, -i_b, 1] \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -x_s & (i_b + l_1) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ x_s & y_s & 1 \end{bmatrix} = [(x - x_s) \cos \theta - l_1 \sin \theta + x_s, (x - x_s) \sin \theta + l_1 \cos \theta + y_s, 1] \quad (11)$$

여기서 회전이 발생하는 간극  $G_{bc}$ 는 식 (11)의 y좌표의 절댓값이므로,

$$\therefore G_{bc} = (x_s - x) \sin \theta - l_1 \cos \theta - y_s \quad (12)$$

여기서 E'는 센서 B의 측정선 상의 점이므로

$$(x - x_s) \cos \theta - l_1 \sin \theta + x_s = x_b. \quad (13)$$

식 (13)을  $x$ 에 대하여 정리하면,

$$x = (x_b + l_1 \sin \theta) \sec \theta + (1 - \sec \theta) x_s. \quad (14)$$

같은 방법으로  $G_{ac}$ 도 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\therefore G_{ac} = -l_2 \cos \theta - (y - y_s) \sin \theta + x_s \quad (15)$$

여기서

$$y = (y_A + l_2 \sin \theta) \sec \theta + (1 - \sec \theta) y_s \quad (16)$$

③  $T_x, T_y$  (직접적 직선운동에 의한 변위)

먼저  $T_x$ 를 구한다. 식 (6)을 식 (4)에 대입하면

$$T_y = -(G_b - G_{bc} - T_x \tan \theta) \quad (17)$$

식 (17)의  $T_y$ 를 식 (9)에 대입하여 이를 식 (3)에 대입하면

$$T_x = G_a - G_{ac} - T_y \tan \theta = G_a - G_{ac} + (G_b - G_{bc} - T_x \tan \theta) \tan \theta \quad (18)$$

$$\therefore T_x = \frac{G_a - G_{ac} + (G_b - G_{bc}) \tan \theta}{1 + \tan^2 \theta} \quad (19)$$

식 (19)에서 구해진  $T_x$ 를 식 (6)에 대입하여 이를 식 (4)에 대입하면 마찬가지로  $T_y$  또한 구할 수 있다.

$$T_y = -(G_b - G_{be} - T_x \tan\theta) \quad (20)$$

$$= G_{be} - G_b + (G_a - G_{ae} - T_y \tan\theta) \tan\theta$$

$$\therefore T_y = -\frac{G_b - G_{be} - (G_a - G_{ae}) \tan\theta}{1 + \tan^2\theta} \quad (21)$$

정리하면, 기하학적 설계치 및 3개의 간격값( $G_a, G_b, G_c$ )을 알면, 식 (2), (19), (21)과 식 (15), (12)를 이용하여 회전각( $\theta$ )과 스테이지의 중심점의 이동( $T_x, T_y$ )을 구할 수 있다.

### 3.3 역 기구학적 해석(Inverse kinematics)

#### 3.3.1 $G_b, G_c$ 구하기

이변에는 특정  $T_x, T_y, \theta$ 가 주어질 때, 이를 구현하기 위한  $G_a, G_b, G_c$  값을 구해보자. 센서 B의 측정선 상에 있는 구동 테이블 상변 위의 임의의 점 I의 회전변환과 직선운동을 통해 상변의 직선의 방정식을 구한다.

$$I(x_b, -i_b) \quad (22)$$

$$I' = (x_b, -i_b, 1) \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -x_s & i_b + l_1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ x_s & y_s & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ T_x & T_y & 1 \end{pmatrix}$$

$$= [(x_b - x_s) \cos\theta - l_1 \sin\theta + x_s + T_x, \quad (23)$$

$$(x_b - x_s) \sin\theta + l_1 \cos\theta + y_s + T_y, 1]$$

$$x_{I'} = (x_b - x_s) \cos\theta - l_1 \sin\theta + x_s + T_x \quad (24)$$

$$y_{I'} = (x_b - x_s) \sin\theta + l_1 \cos\theta + y_s + T_y \quad (25)$$

점 I'이 통과하는 직선의 기울기는  $\tan\theta$  이므로 이 때 상변의 직선의 방정식은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

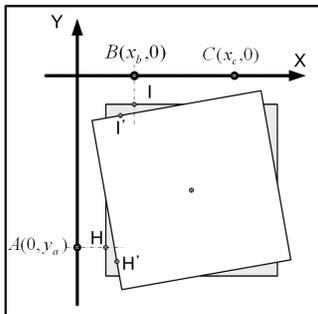


Fig. 6 Movement of I, H according to stage rotation

$$y = x \tan\theta + d = x \tan\theta + (y_{I'} - x_{I'} \tan\theta) \quad (26)$$

$$(d = y - x \tan\theta = y_{I'} - x_{I'} \tan\theta) \quad (27)$$

$$\therefore y = (x - x_{I'}) \tan\theta + y_{I'} \quad (28)$$

여기에 센서 B, C의 X축 좌표를 각각 넣어주고, (-1)을 곱해주면  $G_b, G_c$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$G_b = (x_{I'} - x_b) \tan\theta - y_{I'} \quad (29)$$

$$G_c = (x_{I'} - x_c) \tan\theta - y_{I'} \quad (30)$$

#### 3.3.2 $G_a$ 구하기

같은 방법으로 센서 A의 측정선 상에 있는 좌변 위의 임의의 점  $H(i_a, y_a)$ 의 이동 후의 좌표는 다음과 같다.

$$H' = (i_a, y_a, 1) \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -(i_a + l_2) & -y_s & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ x_s & y_s & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ T_x & T_y & 1 \end{pmatrix} \quad (31)$$

$$= [-l_2 \cos\theta - (y_a - y_s) \sin\theta + x_s + T_x, \quad (32)$$

$$-l_2 \sin\theta + (y_a - y_s) \cos\theta + y_s + T_y, 1]$$

$$x_{H'} = -l_2 \cos\theta - (y_a - y_s) \sin\theta + x_s + T_x, \quad (33)$$

$$y_{H'} = -l_2 \sin\theta + (y_a - y_s) \cos\theta + y_s + T_y. \quad (34)$$

센서 A가 부착되어 있는 부분인 구동 테이블의 좌변은 상변과 직교하므로 좌변의 직선의 방정식은 식 (35)와 같다.

$$y = -\frac{1}{\tan\theta} x + d. \quad (35)$$

식 (35)의 직선은 점  $H'(x_{H'}, y_{H'})$ 를 통과하므로,

$$d = y + \frac{1}{\tan\theta} x = y_{H'} + \frac{1}{\tan\theta} x_{H'}. \quad (36)$$

식 (36)을 식 (35)에 대입 후  $x$ 에 대하여 정리하면,

$$x = (y_{H'} + \frac{1}{\tan\theta} x_{H'} - y) \tan\theta \quad (37)$$

$$= (y_{H'} - y) \tan\theta + x_{H'}$$

여기서  $G_a$  값은 식 (37)의 직선에서  $y = y_a$ 일 때의 값이므로

$$G_a = (y_{H'} - y_a) \tan\theta + x_{H'} \quad (38)$$

정리하면 특정  $T_x, T_y, \theta$ 가 주어졌을 때, 이를 구현하기 위한 목표 간격값  $G_a, G_b, G_c$  값은 식 (38), (29), (30)과 식 (33), (34), (24), (25)를 사용하면 구할 수 있다.

#### 4. 갭 센서 회전 오차 보상기

본 연구에서는 측정 범위 2mm, 분해능 0.1mm 특성을 가지는 Micro epsilon 사의 갭 센서를 사용하였다. 갭 센서는 측정물(target)이 갭 센서의 헤드와 평행하지 않을 때 그 출력 값이 달라지는 특성을 보이는데, 본 연구에서의 스테이지 구조상 Fig. 7에서 볼 수 있는 것처럼 회전 운동이 일어났을 때 갭센서의 측정면과 헤드면에 일정 각도가 발생하게 된다.

해당 특성을 측정하기 위해 Fig. 7과 같이 프로브의 중심점과 측정물의 중심점 사이의 거리가 변하지 않도록 하며 회

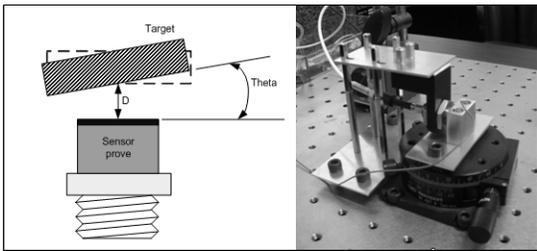


Fig. 7 Inclination of the sensor plate and the experimental system of rotational sensor effect

Table 1 Sensor outputs according to plate rotation

deg	A		B		C	
	Output (V)	Dist. (mm)	Output (V)	Dist. (mm)	Output (V)	Dist. (mm)
-2.0	5.892	1.178	5.791	1.158	4.920	0.984
-1.6	5.939	1.187	5.812	1.162	4.945	0.989
-1.2	6.006	1.201	5.857	1.171	4.992	0.998
-0.8	6.081	1.216	5.911	1.182	5.059	1.011
-0.4	6.153	1.230	5.960	1.192	5.111	1.022
0.0	6.223	1.244	6.001	1.200	5.167	1.033
0.4	6.289	1.257	6.042	1.208	5.214	1.042
0.8	6.353	1.270	6.080	1.216	5.261	1.052
1.2	6.420	1.284	6.123	1.224	5.312	1.062
1.6	6.490	1.298	6.164	1.232	5.362	1.072
2.0	6.559	1.311	6.207	1.241	5.410	1.082

전시키는 실험 장치를 구성하여 특성을 측정하였다. Table 1과 Fig. 8은 각각 세 개의 갭센서들의 회전에 따른 측정값의 변화를 실측하여 도시한 것이다. Fig. 8에서 보듯이 같은 거리에서도 각도에 따라 센서가 인식하는 거리가 다르게 인식되는 것을 알 수 있는데, 이는 스테이지 구동 시에 스테이지의 위치 및 자세에 오차를 발생시키므로, 이에 대한 센서의 특성을 모델링하여 역기구학 식에 넣기 위하여 Fig. 8의 그래프의 방정식을 최소자승법을 이용해 1차식으로 모델링하였다. 이 때 상수항은 거리에 따른 오프셋(Offset)이므로 1차항의 계수만을 취하였다. 1차식으로 근사된 센서의 모델링 방정식은 식 (39)와 같다.

$$\begin{aligned}
 A: & G_a + (0.033918 \times \theta), \\
 B: & G_b + (0.021384 \times \theta), \\
 C: & G_c + (0.02537 \times \theta).
 \end{aligned}
 \tag{39}$$

또한, 이에 대한 성능 개선을 확인하기 위하여 Table 1의 결과를 포함한 가상 플랫폼 시스템을 모델링 하였다.

$$Virtual\_stage = G + (Sensor\_data - Offset_0)$$

여기서,

G : 역기구학 식을 통해 얻은 각 센서 목표치,

Sensor\_data : Table 1의 실제 데이터,

Offset0 : Table 1의 0.0°의 센서 출력.

Fig. 9는 3장에서 얻어진 역기구학식을 통해 얻은 센서 출력과, 위의 보정 함수를 추가한 경우의 센서 출력을 가상 실제 스테이지에 입력하여 얻은 시뮬레이션 결과 그래피이며, Fig. 10과 Table 2는 Fig. 8의 결과를 정기구학 식에 넣어

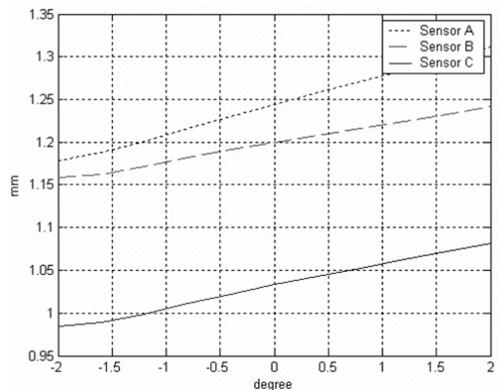


Fig. 8 Sensor outputs according to plate rotation

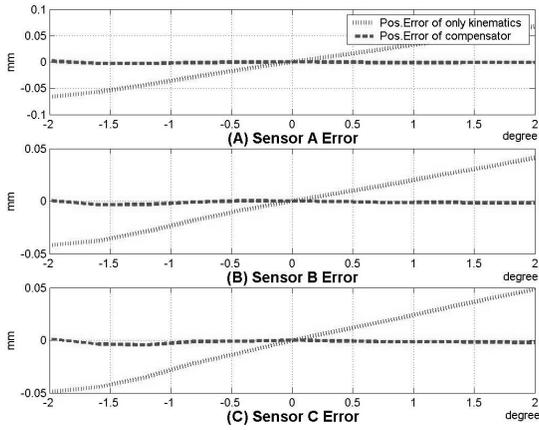


Fig. 9 Inverse kinematic error result: (A) sensor A, (B) sensor B, (C) sensor C

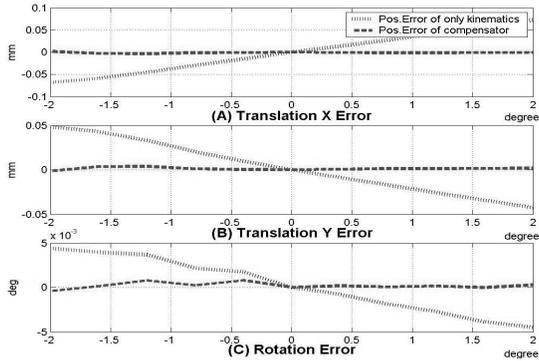


Fig. 10 Forward kinematic error result: (A) X-direction movement, (B) Y-direction movement, (C) rotational movement

실제 위치 정밀도에 대한 오차를 확인한 그래프와 그 데이터이다. 그리고 Table 3은 Table 2의 두 가지 경우에 대한 RMS 값을 구한 것이다. Table 3을 통해 직선 운동의 경우 X, Y 방향이 각각 13.16 $\mu$ m, 8.42 $\mu$ m 씩 위치 오차가 감소되었음을 알 수 있고, 회전 운동 오차의 경우 0.81mdeg의 오차가 감소하였음을 확인할 수 있다.

### 5. 결론

본 연구에서는 VCM과 에어 베어링을 이용한 리소그래피용 3자유도 레티클 스테이지를 설계하였다. 설계된 초정밀 스테이지는 기구적인 마찰력이 거의 없으므로 내구성이 뛰

Table 2 Comparison error result of inverse kinematics simulation

(A) Error data of inverse kinematics when uncompensated

Deg	Trans. X(mm)	Trans. Y(mm)	Rotation(Deg)
-2	-0.068	0.048	0.004400
-1.6	-0.059	0.043	0.003980
-1.2	-0.046	0.033	0.003679
-0.8	-0.030	0.020	0.002172
-0.4	-0.015	0.010	0.001750
0	0.000	0.000	0.000000
0.4	0.014	-0.009	-0.000784
0.8	0.028	-0.017	-0.001870
1.2	0.042	-0.026	-0.002714
1.6	0.057	-0.034	-0.003859
2	0.072	-0.043	-0.004520

(B) Error data of inverse kinematics when compensated

Deg	Trans. X(mm)	Trans. Y(mm)	Rotation(Deg)
-2	0.002	-0.001	-0.000405
-1.6	-0.003	0.004	0.000134
-1.2	-0.003	0.004	0.000794
-0.8	-0.001	0.001	0.000248
-0.4	-0.001	0.000	0.000788
0	0.000	0.000	0.000000
0.4	-0.001	0.001	0.000178
0.8	-0.001	0.001	0.000054
1.2	-0.001	0.001	0.000171
1.6	-0.001	0.002	-0.000014
2	-0.001	0.002	0.000284

Table 3 RMS improvement of the compensation

	Trans. X (mm)	Trans. Y (mm)	Rotation (Deg)
RMS error of not compensated	0.01364	0.00900	0.00092
RMS error of compensated	0.00048	0.00058	0.00011

어나며, 3개의 VCM에 의하여 비교적 큰 스트로크를 구현할 수 있도록 설계하였다.

- (1) 설계된 스테이지의 정/역기구학 문제를 3개의 변위로 분리하여 계산해서 최대한 간단한 방정식으로 정리하여 제시하였다.
- (2) 갭센서의 회전에 따른 오차를 실측 및 모델링하여 이를 바탕으로 보상함수를 설계하였다.
- (3) 설계된 보상함수는 실제 특성이 입력된 가상의 스테이지에서 시뮬레이션하여 그 성능을 검증하였다.

## 후 기

이 논문은 산자부 대면적 고해상도 노광기 개발을 위한 나노급 요소기술 개발(2007)의 지원에 의하여 연구되었음.

## 참 고 문 헌

- (1) Chen, K. S., Trumper, D.L., and Smith, S.T., 2002, "Design and Control for an electro - magnetically driven X-Y- stage," *Precision Eng.*, Vol. 26, pp. 355~369.
- (2) Wei, G., Dejima, S., Yanai, H., Katakura, K., Kiyono, S., and Tomita, Y., 2004, "A surface motor-driven planar motion stage integrated with an XY surface encoder for precision positioning," *Precision Eng.* Vol. 28, pp. 329~337.
- (3) Tomita, Y., "Decoupling method of ultra precision stage using parallel linkage mechanism," *Int JSPE*, Vol. 26, No. 1, pp. 35~40
- (4) Kim, W. J., and Trumper, D.L., "High precision magnetic levitation stage for photo lithography," *IEEE trans. on control system technology*, Vol. 5, No. 4, pp. 427~437
- (5) Shin J. H., 2005, "Linear voice coil motor controller design," AThesis of for a master, *Seoul National University of Technology*, Republic of Korea.
- (6) Kim, S. W., 2001, "Precision control of linear voice coil motor for optical pick-up system," A Thesis for a master, *Yonsei University*, Republic of Korea.
- (7) Sriyotha, P., Nakamoto, K., Sugai, M., and Yamazki, K., 2006, "Development of 5-Axis Linear Motor Driven Super-Precision Machine," *Annals of the CIRP*, Vol. 56, pp. 369~372.
- (8) Kim, J. M., 2005, "Precision Displacement Control of VCM with Compensator for Non-linearity of Force According t Position," A Thesis for a master, *Pusan Nation University*, Republic of Korea.