論文99-36S-7-8

# 고정밀 위치 제어용 병렬 XYθ 테이블 설계 및 구현

# (Parallel XYθ Table Design and Implementation for Precision Positioning)

韓 周 勳 *, 吳 春 錫 *, 柳 英 基 *

(Joo Hun Han, Choonsuk Oh, and Young Kee Ryu)

요 약

통상적으로 삼단 적층 테이블은 수 cm에서 수십 cm까지 이송하는 작업영역에 주로 사용되나 작업영역에 비해 차지하는 공간이 큰 단점이 있다. 최근에는 산업현장에서 테이블이 단소 경박하면서 작업영역이 5mm ×5mm이내이고 위치제어 정밀도가 최소 ±4μm정도의 고정밀 위치제어용 테이블이 요구되고 있다. 본 논문은 이런 요구에 부응하여 고정밀 위치제어용 병렬 XYθ 테이블을 설계 제작하며 고정밀 위치제어를 위해 새로운 전동 리니어 액추에이터와 화상처리 알고리즘을 제안한다. XYθ의 자유도를 갖도록 테이블 베드의 단일 평면상에 액추에이터를 수평방향으로 한 개 수직방향으로 두 개를 설치한다. 두 대의 CCD 카메라를 이용한 화상처리 알고리즘은 테이블 위에 놓인 패널을 목표 지점으로 고정밀 위치제어를 수행한다. 제작된 테이블로 상기의 작업영역과 위치제어 정밀도를 충족시켜 주는 실험 결과를 얻을 수 있었다.

**Abstract**

To achieve precision positioning, working area is required within 5mm×5mm and positioning error is allowed within minimum ±4μm. As a general three-layered table takes working range from several centimeters and a few tens of centimeters, it has disadvantages compared with precision positioning table, such as larger working range and rough accuracy. In this paper we design and implement a parallel XYθ table with three linear actuators, where one is on the horizontal direction and the others on the vertical direction on behalf of a degree of XYθ freedom. Finally, the experimental results of precision positioning is showed by using new image processing algorithms with two CCD cameras.

## Ⅰ. 서 론

전자산업과 기계산업의 발달은 고성능의 반도체 부품과 디스플레이 장치인 LCD와 정밀 기계 부품 등이 생산되고 있다. 이러한 각종 부품을 검사하기 위해서는 정해진 검사 위치로 이동시켜야 하는 경우가 있다. 이 때 주로 사용되는 테이블은 XYθ의 자유도를 갖으며 X, Y, θ 세 방향에서 서로 독립적으로 구동되는 이송부를 삼단으로 적층한 (그림 1)과 같은 테이블이[1] 사용되고 있다. 이런 테이블은 위치제어 영역이 일반적으로 수 cm×수 cm 또는 수십 cm×수십 cm가 된다. 그러나 고정밀 위치제어[2]가 요구되는 공정에서는 위치 제어 영역이 5mm×5mm 이내이고 위치제어 정밀도가 최소 ±4μm가 요구되는 경우가 있다. 이 경우 삼단 적층 테이블[3]은 상대적으로 위치제어 영역이 넓어지므로 작은 영역의 위치제어 시스템에서는 비효율적이다.

이런 문제점을 해결하기 위해 고정밀 위치제어용 경

* 正會員, 鮮文大學校 電子情報通信工學部
(Sun Moon University)

接受日字:1999年2月11日, 수정완료일:1999年6月4日

박 단소형 병렬 XY$\theta$ 테이블을 설계 제작하고 고정밀 위치제어를 위해 새로운 전동 리니어 액추에이터를 제안한다. 테이블의 구조는 (그림 2)와 같이 전동 리니어 액추에이터가 XY$\theta$의 자유도를 가지도록 테이블 베드의 단일 평면상에 수평 방향으로 한 개 수직 방향으로 두 개를 설치한다. 또한 전동 리니어 액추에이터에 항상 스테이지가 접촉할 수 있도록 Y축에 대하여 전동 리니어 액추에이터 1과 근접한 축상에 스프링 한 개와 X축에 대하여 전동 리니어 액추에이터 2와 3사이에 스프링 한 개를 설치하였다. 스테이지의 초기 위치설정을 위해 Y축에 대하여 전동 리니어 액추에이터 1과 근접한 축상에 위치센서(Linear Variable Differential Transformer) [2] 한 개를 설치하고 $X$축에 대하여 전동 리니어 액추에이터 2와 3과 근접한 축상에 위치센서(LVDT) 두 개를 설치한다. 이 병렬 XY$\theta$ 테이블은 (그림 3)과 같이 전동 리니어 액추에이터에 의해 스테이지가 XY$\theta$의 자유도를 갖도록 한다.

본 논문에서는 (그림 4)와 같이 위치제어 시스템을 제작하며 두 대의 CCD 카메라를 이용하여 "+" 얼라인먼트 마크가 새겨진 패널을 테이블 위에 올려놓고 위치제어 요구지점으로 이송할 수 있도록 구현한다.

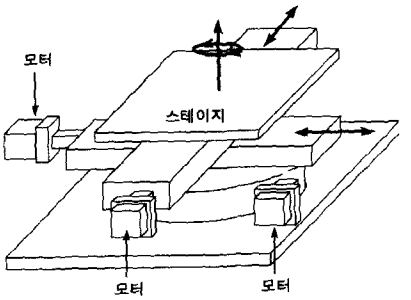
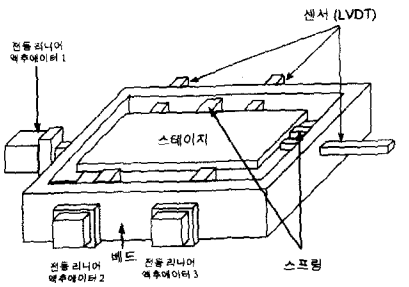



그림 1. XY$\theta$ 자유도의 삼단 적층 이송장치
Fig. 1. Three-layer table with degrees of XY$\theta$ freedom.



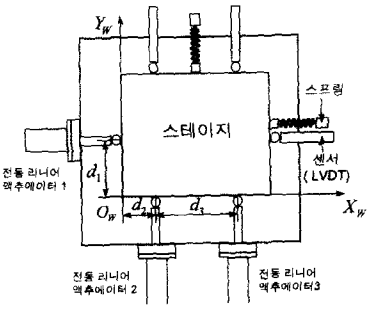




그림 2. 제안된 병렬 XY$\theta$ 테이블 구성도
Fig. 2. A proposed parallel XY$\theta$ table.

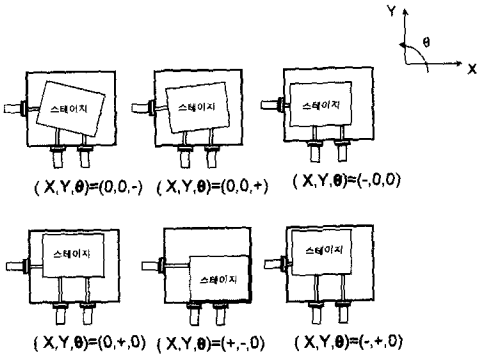



그림 3. 병렬 XY$\theta$ 테이블의 동작 예
Fig. 3. Working examples of a parallel XY$\theta$ table.

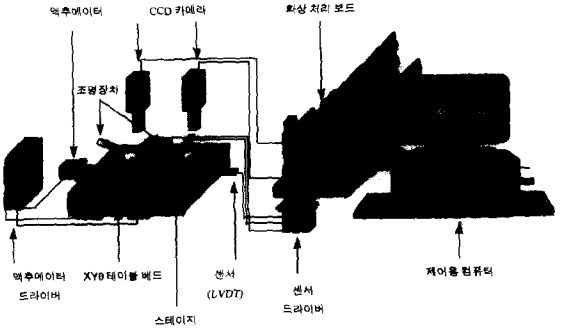


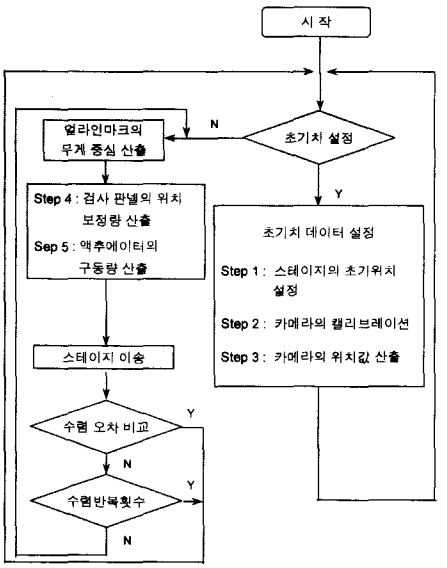

그림 4. 고정밀 위치제어 시스템
Fig. 4. A precision positioning system.

## II. 병렬 XY$\theta$ 테이블 위치 제어 이론

(표 1)은 화상처리[4] [5] [6]를 이용한 위치제어를 위한 순서도이며 우선으로 위치제어를 위해서 초기치 데이터를 설정한다. (표 1)에서 같이 초기치 데이터 설정에서는 병렬 XY$\theta$ 테이블의 스테이지 위에 "+" 얼라인먼트 마크가 새겨진 패널을 수동으로 목표 지점 근처에 위치시킨 후 전동 리니어 액추에이터를 이용하

여 미세한 이송을 통해 패널을 목표 지점에 보다 정확하게 위치시킨다. 이 상태에서 패널의 얼라인먼트 마크가 두 대의 CCD 카메라의 중앙 근처에 상이 맺히도록 두 카메라의 위치를 조정한다. 이 때 세 액추에이터의 이송에 의한 미세 조정된 테이블의 XY$\theta$ 위치값을 위치센서를 이용해 구한다. 두 대의 카메라에 대해서 한 화소당 전동 리니어 액추에이터의 입력 펄스량을 산출하고 절대 좌표계를 기준으로 스테이지를 바라보고 있는 카메라의 회전량을 구한다. 절대 좌표계 원점으로부터 두 대의 카메라의 위치를 산출하여 step (1)-(3)에 의해 초기치 데이터 값을 설정한다. 이렇게 초기치 설정이 끝나면 실제 위치제어가 요구되는 새로운 패널을 스테이지 위에 올려놓는다. 그리고 얼라인먼트 마크가 새겨진 패널의 무게중심[7] [8]에서 위치제어 목표 지점까지 XY$\theta$의 이송량을 산출하고 수렴 위치 오차 범위 내에 있는지 여부와 수렴 반복 횟수 내에 있는지를 결정한다. XY$\theta$의 이송값에 대해서 실제 전동 리니어 액추에이터에 인가될 펄스량을 산출하여 고정밀 위치제어를 수행한다. 이런 과정을 단계별로 자세히 고찰해 보면 다음과 같다.

표 1. 위치제어 수행 순서도
Table 1. Processing chart for precision positioning.




### Step 1 : 초기 위치 설정

초기위치 설정은 검사공정에서 검사하고자 하는 패널이 스테이지에 놓여질 때, 검사를 수행할 수 있는 위치를 설정하는 작업이다. 대상 패널은 종류에 따라 기구적인 체결만으로는 항상 일정 위치로 놓이게 할 수 없는 경우가 많다. 예를 들어 LCD와 같은 경우 외곽면이 유리제품이기 때문에 정밀한 직각으로의 가공이 힘들다. 이러한 경우 외곽면을 기준으로 목표 위치를 정하기가 곤란한 경우가 발생한다. 이런 문제를 해결하기 위해서 LCD 표면 위에 위치제어를 위한 "+"얼라인먼트 마크를 새겨 놓으므로 이를 이용하여 검사 부품에 대한 고정밀 위치제어를 할 수 있다.

(그림 5)는 병렬 XY$\theta$ 테이블 위에 얼라인먼트 마크가 새겨진 패널이 임의의 초기 위치로 놓여진 상태를 도시한 것이다. 여기서 절대좌표계 $X_W O_W Y_W$ 와 스테이지좌표계 $X_S O_S Y_S$는 그림에서와 같이 설정되었지만 스테이지 좌표계는 스테이지의 이송에 따라 이동한다.

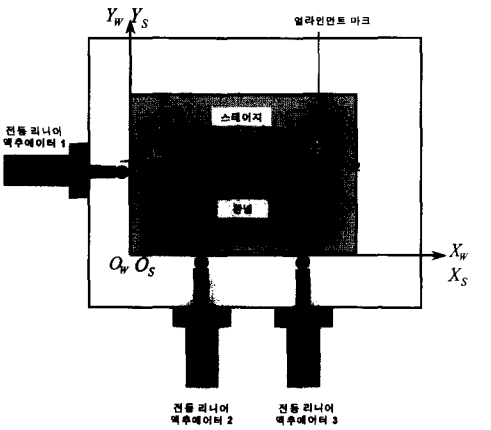



그림 5. 초기 위치제어 패널 상태
Fig. 5. Initial status of aligned test panel.

이와 같은 초기상태에서 스테이지를 보고 있는 두 대의 카메라에 얼라인먼트 마크가 각각의 카메라 화면의 중앙근처에 위치되도록 카메라의 위치를 조절한다. 카메라좌표계는 카메라 화상의 중심을 원점으로 하여 각각 $X_{c_1} O_{c_1} Y_{c_1}$과 $X_{c_2} O_{c_2} Y_{c_2}$로 설정한다.

### Step 2 : 카메라 캘리브레이션

전동 리니어 액추에이터에 인가된 한 펄스 당 CCD 카메라에서의 얼라인먼트 마크의 이동량과 절대 좌표계에 대한 카메라의 회전 자세를 구하기 위하여 카메라에 대한 캘리브레이션 작업이 요구된다

(그림 6)에서는 절대좌표계에서 카메라좌표계의 위

치를 표현한 것이고 초기 상태에서 카메라 1, 2에 의한 좌표계 상에 얼라인먼트 마크의 무게중심점의 위치를 각각 $P_1(x_{c_1}, y_{c_1})$과 $P_2(x_{c_2}, y_{c_2})$로 표시한다. 펄스당 카메라 상에서 마크의 이송량을 추출하기 위하여 이송 스테이지를 Y축 방향으로 N펄스 이동한다.

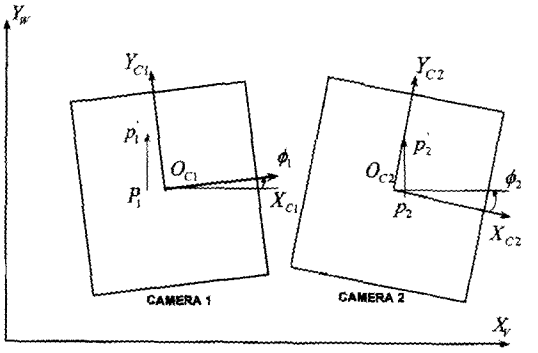



그림 6. 카메라 캘리브레이션
Fig. 6. Camera calibration.

이때의 카메라좌표계 상에서의 마크의 좌표를 $P_1'(x_{c_1}', y_{c_1}')$로 하면 우선 카메라 1에 대하여 Y축 방향에서의 펄스 당 카메라 좌표값의 변동량 $Y_{c_1}$을 구할 수 있다.

$$Y_{c_1} = \frac{\sqrt{(x_{c_1}' - x_{c_1})^2 + (y_{c_1}' - y_{c_1})^2}}{N} \quad (\text{화소수/펄스}) \tag{1}$$

같은 방법으로 X축 방향으로 N 펄스 이송하였을 때 마크의 좌표를 $P_1''(x_{c_1}'', y_{c_1}'')$로 하면 X축 방향에서의 펄스 당 카메라 좌표값의 변동량 $X_{c_1}$을 구할 수 있으며

$$X_{c_1} = \frac{\sqrt{(x_{c_1}'' - x_{c_1})^2 + (y_{c_1}'' - y_{c_1})^2}}{N} \quad (\text{화소수/펄스}) \tag{2}$$

또한 절대 좌표계상에서 카메라의 회전자세 $\phi_1$를 구할 수 있다.

아래의 회전 자세 $\phi_1$은 $X$축과 $Y$축에 대하여 회전한 각을 평균하여 구한 것으로 이송 테이블의 조립 오차로 인한 오류를 줄이기 위해서 이다.

$$\phi_1 = \left( \tan^{-1} \frac{y_{c_1}' - y_{c_1}}{x_{c_1}' - x_{c_1}} + \tan^{-1} \frac{y_{c_1}'' - y_{c_1}}{x_{c_1}'' - x_{c_1}} \right) / 2 \tag{3}$$

마찬가지로 카메라2에 대해서도 X축, Y축 방향에서의 펄스당 카메라 좌표값의 변동 $Y_{c_2}, X_{c_2}$와 회전자세 $\phi_2$를 구할 수 있다.

### Step 3 : 카메라 위치 계산

초기 위치설정 후, 화상처리에 의한 실제 스테이지의 위치제어를 위해서 절대좌표계 상에서의 카메라좌표계의 위치를 추출해야 한다. 본 논문에서는 절대좌표계 상의 한 점을 중심으로 이송스테이지를 회전시켜 카메라 상에 나타나는 마크의 이동으로부터 카메라 좌표계의 위치를 추출한다.

우선 (그림 7)에서와 같이 절대좌표계 상에서의 임의로 정한 회전 중심점을 $R(x_r, y_r)$로 하고 카메라1의 좌표계 원점 $O_{c_1}$까지의 거리를 $\Delta X_{r_1}$, $\Delta Y_{r_1}$으로 하며 초기상태에서 마크의 좌표를 $P_1(x_{c_1}, y_{c_1})$으로 한다. 다음 회전 중심점 $R$를 중심으로 이송 스테이지를 반시계방향으로 $\theta$만큼 회전하였을 때 카메라 1에서의 마크의 좌표 $P_1(x_{c_1}, y_{c_1})$이 회전 후 $P_1'(x_{c_1}', y_{c_1}')$로 하면 카메라 1의 회전자세 $\phi_1$를 보정하여 아래와 같은 등식을 세울 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\phi_1 & -\sin\phi_1 & \Delta X_{r_1} \\ \sin\phi_1 & \cos\phi_1 & \Delta Y_{r_1} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{c_1} \\ y_{c_1} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\phi_1 & -\sin\phi_1 & \Delta X_{r_1} \\ \sin\phi_1 & \cos\phi_1 & \Delta Y_{r_1} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{c_1}' \\ y_{c_1}' \\ 1 \end{bmatrix} \tag{4}$$

여기에서 $\phi_1$는 step 2에서 구한 절대 좌표계에 대한 카메라 1의 회전각이다. 식 (4)에서 $\Delta X_{r_1}$, $\Delta Y_{r_1}$에 대해 해를 구하면 다음과 같다.

$$\Delta X_{r_1} = \frac{\csc^2 \frac{\theta}{2}}{4} (A(\cos\theta - 1) + B\sin\theta) \tag{5}$$

$$\Delta Y_{r_1} = \frac{\csc^2 \frac{\theta}{2}}{4} (-A\sin\theta + B(\cos\theta - 1)) \tag{6}$$

여기에

$$A = -\cos(\theta + \phi_1) x_{c_1} + \cos\phi_1 x_{c_1}' + \sin(\theta + \phi) y_{c_1} - \sin\phi_1 y_{c_1}'$$

$$B = -\sin(\theta + \phi_1) x_{c_1} + \sin\phi_1 x_{c_1}' - \cos(\theta + \phi) y_{c_1} + \cos\phi_1 y_{c_1}'$$

위에서와 마찬가지로 절대좌표계 상에서의 카메라2의 좌표계의 원점의 위치 $O_{c_2}(x_{r_2} + \Delta X_{r_2}, y_{r_2} + \Delta Y_{r_2})$

도 식 (5)와 (6)에서와 같이 산출할 수 있다.

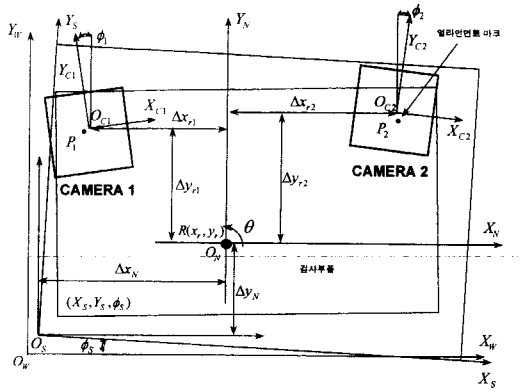



그림 7. 절대좌표계에서 두 카메라의 중심까지의 거리 계산

Fig. 7. Origin distance calculation from world coordinate to two cameras.

**Step 4 : 위치제어 파라메타 산출**

step 1, 2, 3으로부터 카메라 캘리브레이션, 좌표계의 선정 및 좌표계간의 관계를 구하였으므로 다음은 실제 이송량에 필요한 위치제어 파라메타 값을 계산한다.

초기위치 설정 후 목표 위치에 패널이 놓여졌을 경우 두 카메라에 의한 절대 좌표계상에서 얼라인먼트 마크의 초기점 $P_1(x_{c_1}, y_{c_1})$, $P_2(x_{c_2}, y_{c_2})$를 잇는 선분의 중점을 $P_o(x_o, y_o)$라하고 선분 $\overline{P_1P_2}$의 기울기를 $\theta$로 표현할 수 있다.

다음은 실제로 검사하고자 하는 패널이 입력으로 들어왔을 때 카메라 1, 2에 의한 얼라인먼트 마크의 위치를 $P_1'(x_{c_1}', y_{c_1}')$, $P_2'(x_{c_2}', y_{c_2}')$ 한다면 마찬가지로 중점 $P_o'(x_o', y_o')$와 선분 $\overline{P_1'P_2'}$의 기울기 $\theta'$를 구하고 초기위치의 중점 $P_o$으로 이송하기 위해서, 이송량 $\Delta X$는 $x_o'-x_o$로 $\Delta Y$ 는 $y_o'-y_o$하고 스테이지의 회전량을 $\Delta\theta$ 는 $\theta'-\theta$ 로 표현할 수 있다.

그러나 스테이지 이송에 있어 먼저 전동 리니어 액추에이터 끝에 부착된 강구에 대해서 고려해야 한다. 이 강구는 원형으로 설계되어 있어 스테이지와 접촉점에서 아주 미세한 오차가 발생하게 되므로 이를 다음과 같이 보상해 주어야 한다.

(그림 8)과 같이 스테이지가 $\theta_s$회전을 하였을 경우, 전동 리니어 액추에이터 끝에 접착된 반경 $r$의 강구 끝단에 대한 실제 스테이지의 위치까지의 거리를 $\Delta r$라 하면 그 값은 식 (7)과 같이 회전량 $\theta_s$과 강구 반경 $r$의 함수로 표현된다. 이 $\Delta r$는 세 개의 전동 리니어 액추에이터가 이송한 $A_1$, $A_2$, $A_3$의 이송량에 대해서 스테이지는 실제로 $\Delta r$만큼 더 많이 이송되는 결과를 가져온다.

$$\Delta r = \frac{r(1-\cos\theta_s)}{\cos\theta_s} \tag{7}$$

여기서 $r$는 강구의 반경, $\theta_s$: 스테이지의 회전량이다.

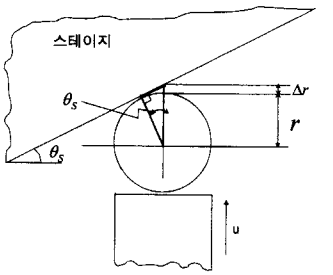



그림 8. 액추에이터 볼과 스테이지 접촉점

Fig. 8. Contact point between actuator ball and stage.

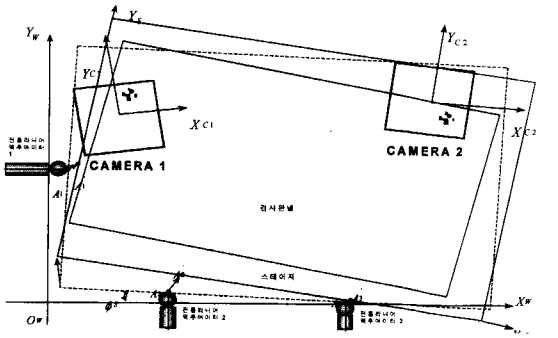



그림 9. 액추에이터의 이송량

Fig. 9. Movement of linear actuators.

**Step 5 : 액추에이터의 이송량 산출**

(Step 4)에서 구한 $\Delta X$, $\Delta Y$, $\Delta\theta$으로부터 스테이지를 이송할 전동 리니어 액추에이터의 이송량을 구해야 한다. 우선 (그림 9)처럼 검사위치 설정에서 전동 리니어 액추에이터 1, 2, 3의 강구와 스테이지가 만나는 점을 $A_1(x_1, y_1)$, $A_2(x_2, y_2)$, $A_3(x_3, y_3)$ 라하고 스테이지의 $\Delta X$, $\Delta Y$ 의 이송과 $\Delta\theta$ 회전 후의 좌표점을 $A_1'(x_1', y_1')$, $A_2'(x_2', y_2')$, $A_3'(x_3', y_3')$라 하고 액추에이터 1에 대해서는 다음과 같이 표현된다.

$$A_1'(x'_1, y'_1) = \begin{bmatrix} \cos\Delta\theta & -\sin\Delta\theta & \Delta X \\ \sin\Delta\theta & \cos\Delta\theta & \Delta Y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$= [\, x_1\cos\Delta\theta - y_1\sin\Delta\theta + \Delta X,\ x_1\sin\Delta\theta + y_1\cos\Delta\theta + \Delta Y \,] \tag{8}$$

액추에이터 2, 3에 대해서도 마찬가지로 표현 할 수 있다.

따라서 액추에이터 1이 밀어야 될 양은 $A_1$에서 $A_1'$로 $X$축 방향으로 $x_1\cos\Delta\theta - y_1\sin\Delta\theta + \Delta X - x_1$ 만큼 이송하고, 액추에이터 2는 $A_2$에서 $A_2'$로 $Y$축 방향으로 $x_2\sin\Delta\theta + y_2\cos\Delta\theta + \Delta Y - y_2$만큼 이송하고, 마찬가지로 액추에이터 3의 $Y$축으로 이송량은 $x_3\sin\Delta\theta + y_3\cos\Delta\theta + \Delta Y - y_3$ 이다. 단 여기서 전동 리니어 액추에이터의 끝에 접착된 강구에 대한 보정을 식 (7)과 같이 고려하여 세 개의 액추에이터 이송량을 $\Delta A_1$, $\Delta A_2$, $\Delta A_3$로 정의하면 다음과 같이 식 (9), (10), (11)로 표현할 수 있다.

$$\Delta A_1 = x_1\cos\Delta\theta - y_1\sin\Delta\theta + \Delta X - x_1 - r(1-\cos\theta_s)/\cos\theta_s \tag{9}$$

$$\Delta A_2 = x_2\sin\Delta\theta + y_2\cos\Delta\theta + \Delta Y - y_2 - r(1-\cos\theta_s)/\cos\theta_s \tag{10}$$

$$\Delta A_3 = x_3\sin\Delta\theta + y_3\cos\Delta\theta + \Delta Y - y_3 - r(1-\cos\theta_s)/\cos\theta_s \tag{11}$$

따라서 세 액추에이터를 각각 $\Delta A_1$, $\Delta A_2$, $\Delta A_3$ 만큼 이송했을 때 이송 스테이지의 자세는 원하는 위치로 이동하게 된다. 그러나 항상 시스템의 기구적인 오차가 존재하므로 표준 위치로의 이송은 한번에 행해지는 것이 아니며 여러번의 수렴과정이 필요하고 또 표준위치에 정확히 이송되는 것이 아니라 표준위치에서 일정한 범위 안에 수렴되게 하는 것이다.

## Ⅲ. 실험결과와 고찰

위치제어를 위한 병렬 XY$\theta$ 테이블은 (그림 10)와 같이 제작되었고 제어용 컴퓨터는 486DX100, 화상처리를 위한 보드는 삼성비전 보드 MVB02, 위치센서(LVDT)는 스트로크가 10㎜인 것과 두 대의 CCD 카메라는 SONY사의 XC-70을 이용했다.

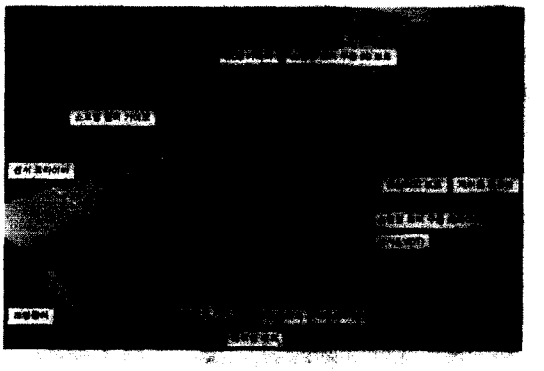


그림 10. 고정밀 위치제어용 병렬 XY$\theta$ 테이블의 실험장치 구성
Fig. 10. Implementation of a proposed parallel XY$\theta$ table.

전동 리니어 액추에이터는 (그림 11)과 같이 스텝핑 모터는 5상 여자방식으로 한 펄스당 0.18도 회전하는 것을 사용하고 마이크로미터는 한 회전당 500㎛를 움직일 수 있는 부품을 선정하여 최대 10000㎛를 이송하는 것을 선택하였다. 본 논문에서 제안한 전동 리니어 액추에이터는 이상적인 경우 한 펄스당 0.25㎛를 이송할 수 있도록 했고 스텝핑 모터의 회전운동을 직선운동으로 전환하기 위해 마이크로미터 헤드와 모터 사이에 인장과 수축이 가능한 커플링[9] [10]을 사용하였다.

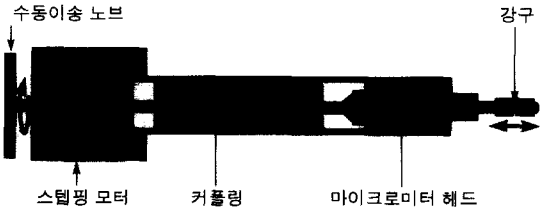



그림 11. 전동 리니어 액추에이터의 구조
Fig. 11. The structure of a linear actuator.

전동 리니어 액추에이터의 반복능 측정을 위해 (그림 12)와 같이 설치한 후 전동 리니어 액추에이터의 마이크로미터 헤드를 이송시키기 위해 초기위치를 설정한 후 액추에이터에 펄스를 가하여 마이크로미터 헤드를 이송시켜 이 때 이송량을 센서(LVDT)로 측정한다. 그 측정 결과로부터 네 개의 커플링이 수축 후 팽창하는 4000㎛ 전후 영역에서 반복능이 커지는 것을 (그림 13)에서 볼 수 있는데 이는 중간 지점에 해당하는 영역으로 커플링이 압력을 가장 적게 받는 완전히 풀어진 상태이므로 반복능 오차가 클 수밖에 없다. 본

논문에서는 위치제어 정밀도를 $\pm 4\mu m$ 이내로 제안하므로 세 개의 전동 리니어 액추에이터에서 유효한 구간은 $0\mu m \sim 3200\mu m$와 $4200\mu m \sim 8000\mu m$임을 그림에서 알 수 있다. 그러나 전동 리니어 액추에이터에 부하가 걸리지 않은 상태이므로 이 값을 이송영역으로 단정할 수 없다. 따라서 테이블 베드에 전동리니어 액추에이터와 스테이지를 조립 후 반복능을 재측정해야 한다.

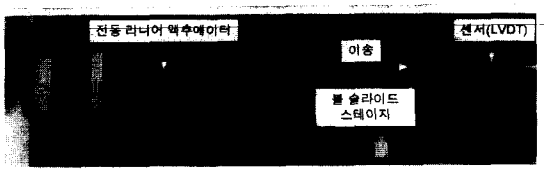



그림 12. 전동 리니어 액추에이터의 반복능 실험구성
Fig. 12. The experimental sets of a linear actuator.

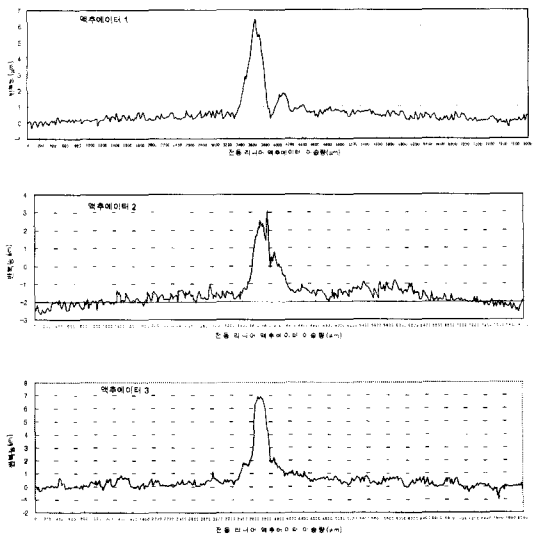



그림 13. 세 액추에이터의 반복능 결과
Fig. 13. Test results of three actuators repeatability.

(그림 14)은 $X_W$, $Y_W$방향에 대한 반복능 측정을 위해 실제로 완전히 조립된 상태이다.

이 상태에서 반복능 측정 결과인 (그림 15)와 부하가 걸리지 않은 상태인 (그림 13)을 비교할 때 반복능의 영역이 확대된 것을 알 수 있다. 이것은 스테이지를 밀고 있는 스프링에 의한 부하에 따른 것으로 본 논문에서 제안한 위치제어 정밀도 사양인 $\pm 4\mu m$에 근접하는 위치제어 작업영역은 (그림 15)에서 알 수 있듯이 6.42㎜×5.66㎜으로 사양인 5㎜×5㎜를 만족시키는 것을 알 수 있다.

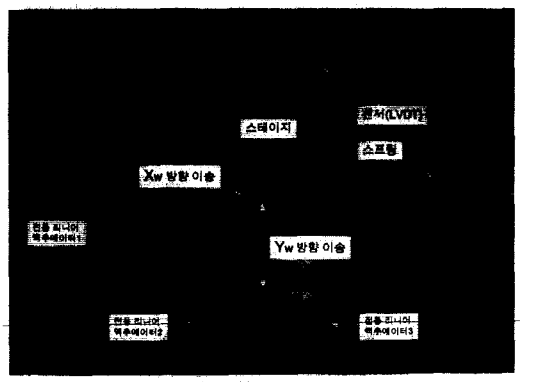



그림 14. 제작된 병렬 XY$\theta$ 테이블
Fig. 14. A proposed parallel XY$\theta$ table.

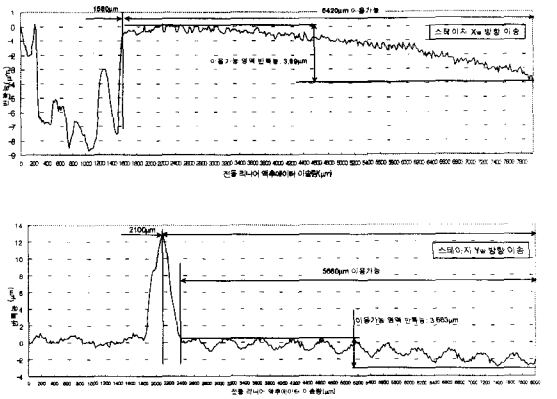



그림 15. 스테이지의 성능 실험 결과
Fig. 15. Repeatability test of a stage.

(그림 16)은 위치제어 성능을 시험하기 위해 "+" 얼라인먼트 마크가 새겨진 검사부품인 패널을 올려놓고 CCD 카메라를 통해 얻어진 화상에 대해서 위치제어를 한 후의 그림이다.

이 과정에서 우선 세 개의 위치센서를 이용하여 초기상태의 스테이지 위치값을 측정 저장하고 제어용 컴퓨터로 전동리니어 액추에이터에 임의의 펄스를 가하여 스테이지가 임의의 자세를 갖도록 한 후 2절에서 제안한 화상처리 알고리즘과 카메라를 이용하여 위치제어를 실행한다.

액추에이터 작동으로 지정된 목표위치에 정밀 이송시킨 후 세 개의 위치센서를 이용해 얻은 측정치와의 오차를 측정한 결과가 (그림 17)과 같다. 수 십 번의 실험 결과에서처럼 $\pm 4\mu m$ 범위 내로 위치 오차가 수렴하므로 주어진 사양을 충족시키는 고정밀 위치제어가 가능함을 확인할 수 있었다.

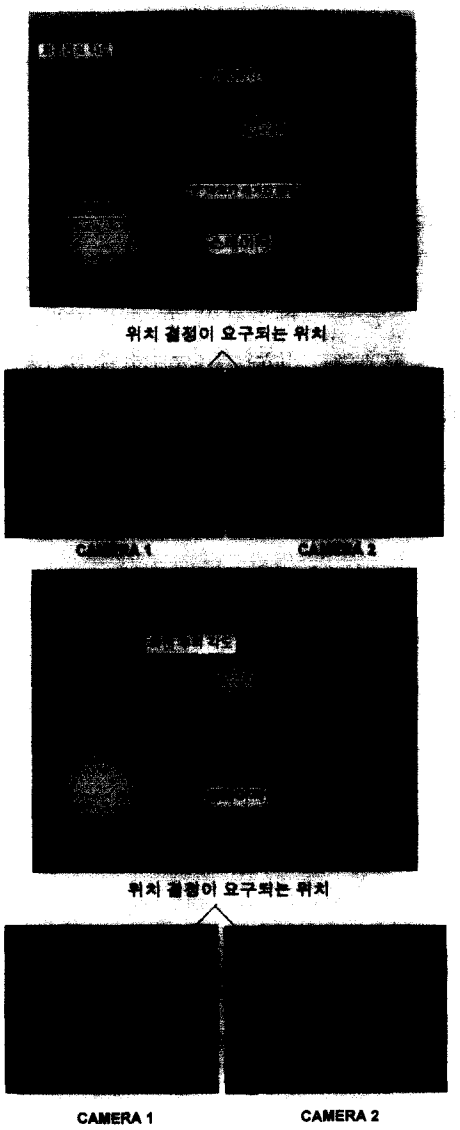



그림 16. 위치제어 성능 실험 결과
Fig. 16. The results of home position searching.

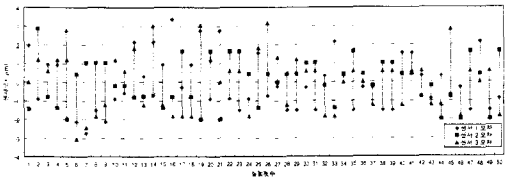


그림 17. 위치센서(LVDT)의 측정치
Fig. 17. Position detection of LVDT.

## Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 저가의 경박·단소형 고정밀 병렬 XY$\theta$ 테이블을 설계 및 제작하여 테이블 상에 놓인 검사부품인 패널를 두 개의 카메라와 세 개의 액추에이터 작동을 통하여 목표위치로 고정밀 이송을 할 수 있었다. 이 고정밀 병렬 XY$\theta$ 테이블의 작업영역은 5㎜×5㎜이고 위치제어 정밀도는 최소 ±4㎛로 기존의 삼단 적층 테이블에 단점인 고정밀 위치문제를 해결하였다. 향후 연구로 ±4㎛이하의 위치제어를 위해서는 전동 리니어 액추에이터의 반복능의 개선을 통한 새로운 테이블의 제작이 요구되고 이처럼 극소정밀 위치제어가 요구 시에는 고배율에 시야각이 협소한 카메라를 필요로 하므로 처음에는 저배율 카메라로 넓은 작업영역에서 대략적인 위치제어를 수행한 후 고배율로 극소정밀 위치제어를 할 수 있는 이원화 연구과정이 필요하다.

## 참 고 문 헌

[1] John Willey & Sons, *Handbook of Machine Tools*, Wiley, Vol. 4, pp.29~pp.33, 1984.

[2] 한응교, 장경영, *정밀계측공학*, 반도출판사, pp.80~pp.87, 1995.

[3] 한주훈, 유영기, 오춘석, "*화상처리를 이용한 병렬 XY$\theta$ 테이블의 위치결정에 관한 연구*", 대한전자 공학회 하계종합학술대회 논문집 Vol. 20 제 1호, pp.499~pp.502, 1997

[4] Ioannis Pitas, *Digital Image Processing Algorithms*, Prentice Hall, pp.117~pp.174, 1993.

[5] Henning Bassmenn Philipp W. Besslich , *Ad Oculos Digital Image processing*, International Thomson Publishing, pp.117~pp.152, 1995.

[6] Sid - Ahmed, *Image Processing*, McGraw-Hill, pp.377~pp.479, 1995.

[7] Gerhard X. Ritter Joseph N. Wilson, *Computer Vision Algorithms in Image Algebra*, CRC Press, pp.125~pp.141, 1996.

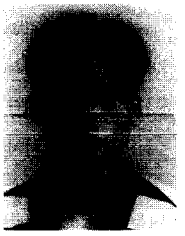
[8] Randy Crane, *A Simplified Approach to Image Processing*, Prentice Hall, pp.42~pp.85, 1997.

[9] 本莊 恭夫, "*고속화·고정밀도화에 대응하는 커플링의 선정*", 機械設計技術 제7권 3호,

pp.2~pp.6, 1992

[10] 嵯峨根 章夫, 宇羅 正司, "*정밀 위치결정용 커플링의 선정 포인트*", 機械設計技術 제 7권 3호, pp.7~pp.14, 1992

## 저 자 소 개



**韓 周 勳(正會員)**

1972년 3월 20일생. 1991년 3월 ~ 1995년 2월 선문대학교 기계공학과 학사. 1995년 9월 ~ 1998년 2월 선문대학교 전자공학과 석사. 1998년 2월 ~ 현재 디아이(주) 연구소. 주관심분야는 화상처리, 자동제어, FPGA

**吳 春 錫(正會員)**

1980년 서강대학교 전자공학과(학사). 1986년 Marquette Univ. 컴퓨터공학과(석사). 1992년 Univ. of Arizona 컴퓨터공학과(박사). 1980년 ~ 1993년 전자통신연구원 선임연구원. 1993년 ~ 현재 선문대학교 전자정보통신공학부 부교수. 주관심분야는 화상공학, 자동검사, 광학시스템, 신호처리

**柳 英 基(正會員)**

1987년 한양대학교 기계공학과(학사). 1989년 한국과학기술원 생산공학과(석사). 1996년 한국과학기술원 자동화설계공학과(박사). 1989년 ~ 1992년 삼성종합기술원 전자기기연구소 연구원. 1996년 ~ 현재 선문대학교 전자정보통신공학부 조교수. 주관심분야는 화상처리, 광계측 센서, 정밀측정시스템