

과구동 4축 스테이지의 정밀도 향상에 대한 연구

A Study on accuracy enhancement of 4-axis stage with Over-actuator mechanism

*최용석¹, 노기훈¹, 원종진², #정제일²

*Y.S. Choi¹, K. H. Noh¹, J. J. Won², #J. I. Jeong(jayjeong@kookmin.ac.kr)²

¹ 국민대학교 기계설계학과, ² 국민대학교 기계자동차공학부

Key words : over-actuator stage, position error, nano-imprint lithograph

1. 서론

최근 반도체, LCD 기술의 발달, 그리고 IT 및 바이오 산업 등을 중심으로 수나지 수십 나노급의 초정밀 위치결정 시스템에 대한 수요가 증가하고 있으며, 그 수요에 맞춰 초정밀 스테이지의 연구 개발에 대한 필요성이 크게 증가하고 있다. 이러한 정렬 공정에서 패턴상의 정렬 오차를 줄이기 위해서 스테이지의 정밀도가 중요한 요소가 된다.

현재 주로 사용되어지는 스테이지는 U, V, W의 3자유도에 맞춰 3개의 구동기가 장착된 3축 스테이지이다. 이 스테이지 장비는 구동기가 서보 모터로 작동되는 경우 수 μm 급의 정밀도를 가지고 행정거리가 수 μm 에서 수 mm인 반면 피에조 액추에이터로 작동되는 스테이지는 수 mm의 정밀도와 행정거리를 가진다. 이러한 구동기의 종류에 따라 장단점을 가지는 3축 스테이지를 최대한 보완하면서 서보 모터로 제어시에 발생하는 백래쉬를 최대한 제거함과 동시에 정지 상태에서나 구동시 스테이지에서 작용 가능한 축 방향 힘에 관한 강성을 최대한 높인 과구동 4축 스테이지를 설계하였다.[4]

본 연구는 3축 스테이지의 단점을 보완하여 개발된 4축 스테이지의 정밀도 향상을 위해 4축에 장착된 서보 모터를 구동하여 끼이는 상태에서의 오차 변화를 측정하였다.

2. 실험 방법 및 조건

Fig. 1의 스테이지를 Fig.2, Fig3과 같이 4축 스테이지와 레이저 인터페로미터를 실험을 위해 설치한다.[1,5]

스테이지의 X, Y축의 최대 구동거리의 중점을 절대 좌표 0으로 지정하고 Y축을 중심으로 실험을 하였다. 이때 스테이지에 입력 값은 0에서 +5까지, +5에서 -5까지, -5에서 0까지의 세구간으로 나누어 1mm씩 스테이지를 이동하여 각 위치에서의 오차를 측정하는 방식으로 각각 3회의 반복 실험을 실시하였다.[1,2]

위의 방법과 같이 실험을 실시하며 Fig. 4에서처럼 4개의 모터를 각각 M_1, M_2, M_3, M_4 로 지정하고 4개의 크로스 롤러를 C_1, C_2, C_3, C_4 로 지정한다. 그리고 Y축의 위치를 측정하기 위해 설치된 2개의 인터페로미터를 각각 Y_1, Y_2 로 정하여 실험에서 임의로 구동될 모터와 끼이게 될 크로스 롤러를 지정하여 실험을 실시한다.

각 실험에서 레이저 인터페로미터를 통해 얻어진 데이터에 온도, 습도, 기압의 보정을 하여 위치 오차를 구한다.[3,6]

실험 결과는 Y축의 이동을 측정하기 위해 설치된 두 인터페로미터(Y_1, Y_2)로 얻어진 오차의 평균을 3회 반복 실험을 거친 오차의 평균으로 다시 구해서 도출하였다.

환경적인 조건과 스테이지 제어에 관한 조건은 Table 1과 같다. 실험적인 조건은 3가지로 나누어 비교 실험을 실시하였다. 먼저 첫 번째 실험 조건은 Table 2와 같이 임의의 모터 구동 없이 위치 오차만 측정된 Test₁₁과 Y축 서보 모터(M_2)를 임의로 +4 μm 이동시켜 오차를 구한 Test₁₂와 +4 μm 이동시킨 Test₁₃를 비교하기 위한 조건이다.

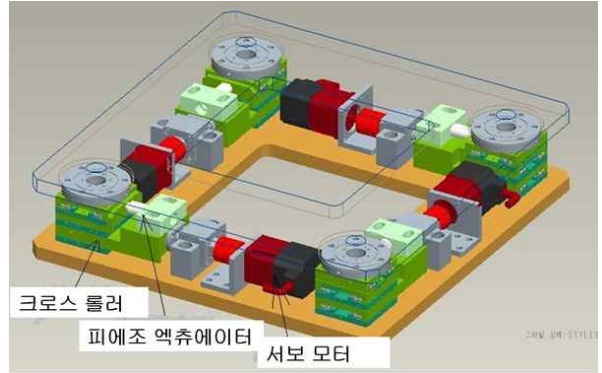


Fig. 1 4-axis precision stage

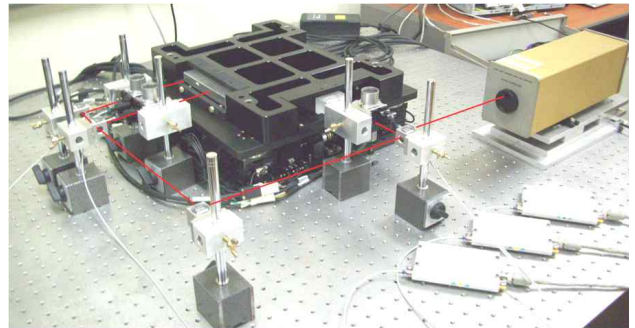


Fig. 2 Laser interferometer setup

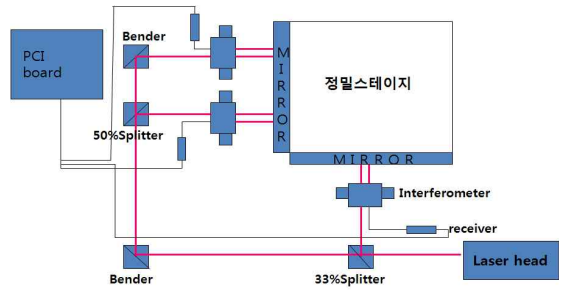


Fig. 3 Experimental setup of laser interferometer

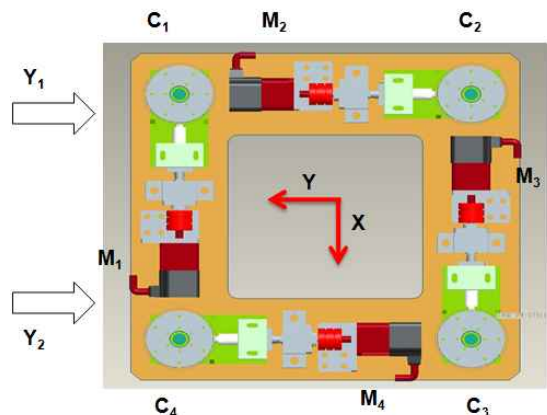


Fig. 4 Top view of Stage sets for an experiment

Table 1 Environmental and Dynamic condition

Temperature : 20°C	Air pressure : 751mmHg	Humidity : 47%
Velocity : 0.2 mm/s	Acceleration : 0.1 mm/s ²	Deceleration : 0.1 mm/s ²

Table 2 Experimental condition 1

	Test 11	Test 12	Test 13
Moving motor	X	M ₂	M ₂
Moving value(μm)	0	+4	-4
Jammed point	X	C ₁	C ₂

Table 3 Experimental condition 2

	Test 21	Test 22	Test 23
Moving motor	X	M ₁ , M ₂ , M ₃ , M ₄	M ₁ , M ₂ , M ₃ , M ₄
Moving value(μm)	0	+10, -10, -10, +10	+10, -10, -10, +10
Jammed point	X	C ₂ , C ₄	C ₁ , C ₃

Table 4 Experimental condition 3

	Test 31	Test 32	Test 33
Moving motor	X	M ₁ , M ₂ , M ₃ , M ₄	M ₁ , M ₂ , M ₃ , M ₄
Moving value(μm)	0	+10, -10, -10, +10	+20, -20, -20, +20
Jammed point	X	C ₂ , C ₄	C ₂ , C ₄

두 번째 실험 조건은 Table 3와 같이 임의의 모터 구동 없는 위치 오차만 측정된 Test₂₁과 크로스 롤러 C₂, C₄를 끼이게 하기 위해 서보 모터를 각각 ±10 μm 이동시켜 오차를 구한 Test₂₂와 크로스 롤러 C₁, C₃를 끼이게 하기 위해 서보모터를 각각 ±10 μm 이동시켜 오차를 구한 Test₂₃를 비교하기 위한 조건이다.

세 번째 실험 조건은 Table 4와 같이 임의의 모터 구동 없는 위치 오차만 측정된 Test₃₁와 크로스 롤러 C₂, C₄를 끼이게 하기 위해 서보 모터를 각각 ±10 μm 이동시켜 오차를 구한 Test₃₂와 서보 모터를 각각 ±20 μm 이동시켜 오차를 구한 Test₃₃을 비교하기 위한 조건이다.

3. 결과 및 분석

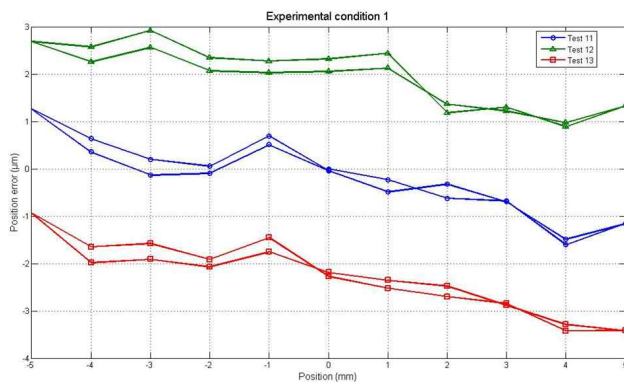


Fig. 5 Result of experimental condition 1

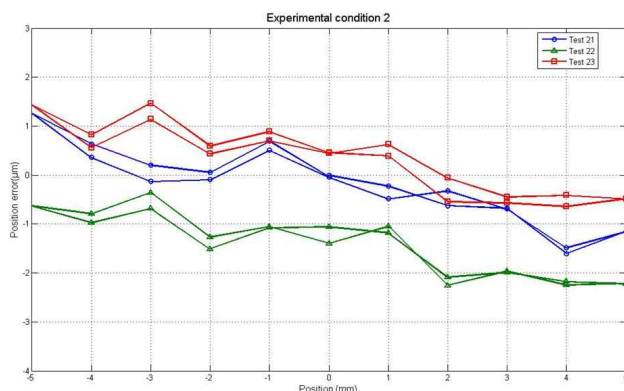


Fig. 6 Result of experimental condition 2

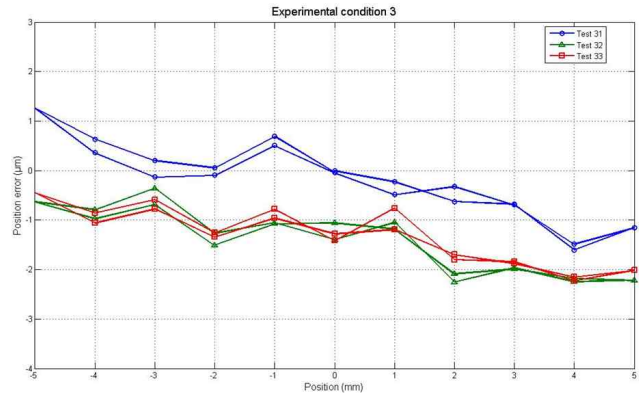


Fig. 7 Result of experimental condition 3

실험 조건1의 결과 즉, Fig. 5을 보면 서보 모터 M₂를 ±4 μm 이동함에 따라 ±2 μm씩 쉬프트 되는 결과를 나타내었다. 이는 경향은 그대로 유지하면서 한쪽에 4 μm 이동하여 회전하면서 2 μm의 쉬프트를 나타낸다는 결과를 얻을 수 있다.

실험 조건2의 결과 즉, Fig. 6을 보면 끼이는 방향, 즉 끼이는 점이 C₂, C₄일때와 C₁, C₃일때가 각각 끼이는 방향에 따라 다른 형태의 위치 오차 경향을 나타낸다는 결과를 얻을 수 있다.

실험 조건3의 결과 즉, Fig. 7을 보면 끼이는 방향이 C₂, C₄로 같고 그 크기가 ±10 μm일때와 ±20 μm일때는 같은 경향의 위치 오차를 나타내지만 백래쉬와 정확도가 크게 줄어드는 결과를 얻을 수 있다.

3가지 조건의 비교 실험을 통해서 스테이지의 끼이는 점과 방향의 변화와 그 세기에 따라서 정밀도가 달라짐을 알 수 있고 이 결과를 바탕으로 최소의 위치 오차를 가지는 스테이지의 끼이는 방향과 세기를 도출할 수 있다는 결과를 얻을 수 있다.

4. 결론

과구동 4축 스테이지는 기존에 주로 사용되고 있는 3축 스테이지와는 달리 4개의 서보 모터를 이용하여 스테이지가 가지는 오차를 조절할 수 있다. 각각의 서보 모터를 조절하여 끼이게 함으로써 오차에 변화를 주어 정밀도를 향상시킬 수 있음을 증명하였다.

향후 서보 모터와 크로스 롤러 사이의 끼이는 힘을 측정하고 그 힘에 따른 오차의 변화를 파악하는 실험을 통해 끼이는 힘에 따른 오차의 경향을 파악하고 이론과 모델링을 통한 해석 결과를 비교하여 과구동 4축 스테이지의 효용을 확립시킬 계획이다.

후기

본 연구는 서울시 산학연 협력사업(과제번호 10583)의 지원하에 수행되었습니다.

참고문헌

1. HEPHAIST, 3-axis precision stage manual, available at <http://www.hephaist.co.jp/>
2. PI Nanopositioning guide book, available at <http://www.physikinstrumente.com/>
3. Edlen, B., "The Refractive Index of Air. Metrologia", 2, 71-80, 1966
4. 이진영, 박원준, 원종진, 정재일, "SimMechanics를 이용한 4축 과구동 스테이지의 모델링", 대한기계학회 추계학술대회 강연 및 논문 초록집, 69, 2008
5. 최용석, 노기훈, 원종진, 정재일, "4축 스테이지 속도와 가속도 변화에 따른 입출력 오차 분석", 대한기계학회 동역학 및 제어부문 춘계학술대회 논문집, 124-129, 2009
6. 최용석, 노기훈, 원종진, 정재일, "보간법을 이용한 과구동 4축 스테이지의 오차 보정결과", 대한기계학회 추계학술대회 강연 및 논문 초록집, 311, 2009