

마이크로 물체 조작을 위한 3 자유도 병렬형 매니플레이터 개발

* 한창수¹, 윤덕원², 탁태열², 김진호²

¹ 한양대학교 기계공학과, ² 한양대학교 대학원 기계공학과

Development of 3-DOF parallel manipulator for micro object handling

* C. S. Han¹, D.W. Yun², T. Y. Tak², J. H. Kim²,

¹Dept. of Mech. Eng. Hanyang Univ, ²Dept. of Mech. Eng. Hanyang graduate school.

Key words : 3-DOF parallel manipulator, Micro object, PZT, Wire link

1. 서론

나노 과학 기술이 발달함에 따라서 반도체, 나노소자, 나노 입자, 나노 선에 대한 관심이 높아지고 연구활동이 활발해 지고 있다. 이러한 연구분야는 수백 나노미터에서 수 마이크로 미터의 물체를 미세하게 조작해야 하는 과정이 요구된다. 물체의 조작은 주로 광학식 현미경이나 전자현미경상에서 조작자가 눈으로 관찰하고 원하는 위치까지 이동시키게 되며 이 때 정밀한 스테이지나 매니플레이터가 필요하다.

최근에는 미세한 시편을 정밀하게 조작하는 매니플레이터가 개발되었다. 이와 같은 매니플레이터의 관절구조는 대부분 직렬형 구조이다. 직렬형 구조는 넓은 작업공간의 장점이 있으나 관절에서의 오차누적과 강성이 낮아 진동에 취약하다.

반면 병렬형 구조는 작업공간이 적은 단점이 있지만 강성이 크며 적은 관절 오차누적, 작업공간 내에서 높은 위치 결정 분해능등의 장점이 있다. 실제로 현미경에서 확보되는 시야는 수백 마이크로 미터에서 수 마이크로 정도이므로 미세한 물체 조작을 위해서는 병렬형 기구가 적합하다.

본 연구에서는 미세한 물체의 정밀한 조작을 위하여 3-DOF 병렬형 매니플레이터를 제안하며 기구적 해석과 구현을 위해 PZT 와 플렉서 힌지를 사용하였고 측정을 통하여 성능을 확인하였다.

2. 병렬형 기구의 기구학적 해석

3 자유도 병렬형 기구는 Fig.1 과 같이 고정된 베이스, 플랫폼, 3 자유도를 갖는 3 개의 구형관절, 1 자유도를 갖는 3 개의 회전관절과 1 자유도를 갖는 3 개의 병진관절로 구성된다. 이 기구는 Grubler 의 식에 의해 2 개의 회전 자유도와 1 개의 병진자유도인 3 자유도로 결정된다.

고정된 베이스로부터 병진관절(l_i), 회전관절(R_i), 링크(m_i), 구형관절(S_i)의 순서로 플랫폼에 연결되어 있다. θ_i 는 링크 와 $\Delta R_1 R_2 R_3$ 사이의 각이며 두개의 직교 좌표계가 각각 베이스와 플랫폼에 부착되어 있다.

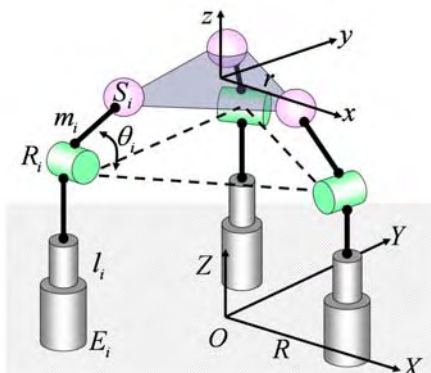


Fig. 1 Geometric configuration of 3-DOF parallel manipulator

E_1, E_2 and E_3 은 X-Y 평면에 있으며, S_1, S_2 and S_3 는 x-y 평면위에 있다. 직교 좌표계의 원점 O 는 $\Delta E_1 E_2 E_3$ 의 중심에 위치하고 있다. X-Y-Z 좌표계와 x-y-z 좌표계에 대한 관계는 다음과 같다. 대한 병진 관절의 아래 끝부분의 위치 벡터는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \vec{S}_i \\ 1 \end{bmatrix}_{XYZ} = [T] \begin{bmatrix} \vec{s}_i \\ 1 \end{bmatrix}_{xyz} \quad i=1,2,3$$

이때

$$[T] = \begin{bmatrix} n_1 & o_1 & a_1 & x_c \\ n_2 & o_2 & a_2 & y_c \\ n_3 & o_3 & a_3 & z_c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{이다.}$$

역기구학 해석은 아래식에 의해

$$m_i^2 = (\vec{S}_i - \vec{E}_i - \vec{l}_i)^2$$

다음과 같이 결정된다.

$$l_1 = (n_3 r + z_c) \pm \sqrt{(n_3 r + z_c)^2 - K_1}$$

$$l_2 = [(-n_3 r + \sqrt{3} o_3 r + 2 z_c) \pm \sqrt{(-n_3 r + \sqrt{3} o_3 r + 2 z_c)^2 - K_2}] / 2$$

$$l_3 = [(-n_3 r - \sqrt{3} o_3 r + 2 z_c) \pm \sqrt{(-n_3 r - \sqrt{3} o_3 r + 2 z_c)^2 - K_3}] / 2$$

이때

$$K_1 = (n_1 r + x_c - R)^2 + (n_2 r + y_c)^2 + (n_3 r + z_c)^2 - m_1^2$$

$$K_2 = (-n_1 r + \sqrt{3} o_1 r + 2 x_c + R)^2 + (-n_2 r + \sqrt{3} o_2 r + 2 y_c - \sqrt{3} R)^2 + (-n_3 r + \sqrt{3} o_3 r + 2 z_c)^2 - 4 m_2^2$$

$$K_3 = (-n_1 r - \sqrt{3} o_1 r + 2 x_c + R)^2 + (-n_2 r - \sqrt{3} o_2 r + 2 y_c + \sqrt{3} R)^2 + (-n_3 r - \sqrt{3} o_3 r + 2 z_c)^2 - 4 m_3^2, (l_i > 0)$$

이다. 또한 구형관절을 중심으로 정기구학 해석을 수행하였다.

3. 매니플레이터 제작

위의 기구와 같이 3 자유도 병렬형 매니플레이터를 제작 하였다. 병렬형 기구의 병진 관절은 구동 시스템의 변위 입력부 이다. 매니플레이터의 정밀한 조작과 수백 마이크로 미터의 구동 변위를 구현하기 위해 판토크래프 형태의 PZT 를 사용하였다. 판토크래프 형태의 PZT 의 성능은 Table 1 과 같다

Table 1 Specification of pantograph type PZT

Displacement	120 μ m
Resolution	1.2 nm
Blocked force	39 N
Stiffness	0.33 N/ μ m
Resonance frequency	1300Hz

일반적으로 기구에서 사용되어지는 관절은 관절에서의 오차가 많이 발생하므로 정밀한 기구에는 부적합 하다. 본 연구에서는 초정밀 분야의 관절로 주로 사용되어지는 플렉서 힌지를 이용하여 관절을 구성하였으며 구형관절과 회전관절을 모사하여 근사적인 형태로 구동하도록 구현하였다.

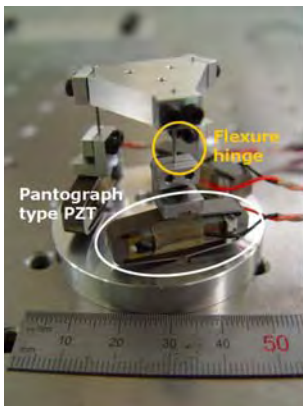


Fig. 2 3-DOF parallel manipulator using pantograph type PZT and flexure hinge.

4. 실험

제작되어진 매니플레이터의 끝단에 3cm 의 end effector 를 부착하여 구동 분해능에 대한 실험을 수행하였다. 구동신호는 multi step 을 가하였으며 측정은 정전용량형 센서를 사용하였다. 측정시 사용된 DAC 의 분해능은 16bit 이며 이때 정전용량형 센서의 분해능은 약 3.05nm 가 된다. 전기적 노이즈에 의해 정확한 구동기의 움직임을 파악하기 어려우므로 측정 신호에 1 차의 low-pass filter 를 사용하였으며 cutoff frequency 는 약 3Hz 로 설정하였다. 측정되어진 데이터는 fig 3 과 같고 매니플레이터에서 각각의 자유도에서 구현 가능한 분해능은 table 2 와 같다.

Table 2 Resolution of 3-DOF parallel manipulator

θ_x	$5 \times 10^{-7} \text{ rad (0.1031 arc - sec)}$
θ_y	$2.7 \times 10^{-7} \text{ rad (0.0557 arc - sec)}$
T_z	8nm

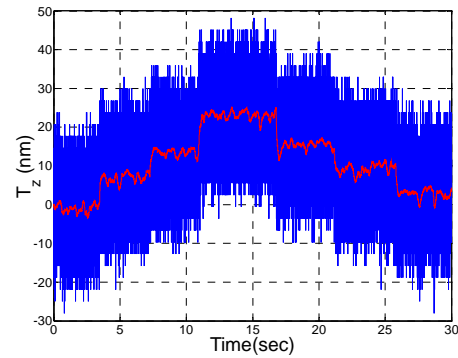


Fig. 3 Multi step response of 3-DOF parallel manipulator (Z direction translation)

5. 결론

본 연구에서는 수백 나노미터에서 수 마이크로 미터의 물체를 조작하기 위한 3 자유도 병렬형 매니플레이터를 개발하였다. 개발되어진 3 자유도 매니플레이터는 높은 구동 분해능 구현을 위하여 판토프래프 형태의 PZT 와 플렉서 힌지를 이용하였다. 또한 실험을 통하여 수 nm 에서 수십 nm 의 구동분해능을 갖는 것을 확인하였다.

개발되어진 병렬형 매니플레이터는 마이크로 방전가공, 정밀한 probe station, 나노 wire 의 조작등에 응용이 가능한 것으로 판단 된다.

후기

본 연구는 산업자원부에서 지원하는 차세대 신기술 개발사업 중 “이온빔 이용 나노가공용 장비개발 사업”의 연구비를 지원받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. L. M. Peng et al., “Performaing probe experiments in the SEM”, *Micron*, **35**, 495-502, 2004
2. Tien-Fu Lu et al., “A three-DOF compliant micromotion stage with flexure hinges”, *Industrial Robot An International Journal*, **31**, 355-361, 2004
3. Wei Dong et al., “Stiffness influence atlases of a novel flexure hinge based parallel mechanism with large workspace”, *High technology research development program of China*, No 2002AA422260, 2002
4. K. Y. Lee, “A study on the development of three DOF parallel manipulator for micro-motion, Master Thesis in Hanyang Univ.
5. 윤덕원, 한창수 et al., “초 탄성 링크를 이용한 초정밀 3 자유도 병렬형 매니플레이터 개발”, 한국 공작기계학회 춘계 학술대회