

3자유도 병렬식 두니플레이터의 기구학적 해석 및 제어

Kinematic analysis and control of 3-DOF parallel manipulator.

김태원^{1,*}, 이문구¹, 김호상², 이준희², 최문영²

Taehyun Kim^{1,*}, Moon. G. Lee(moongulee@ajou.ac.kr)¹, Ho-Sang Kim², Chan-Hee Lee², Jun-Myoung Choi²
¹아주대학교 기계공학과, ²고등기술연구원 로봇생산기술센터

Key words :Parallel mechanism, Kinematics, PZT, Flexure Hinge

1. 서론

최근 나노 과학 기술이 발전함에 따라 관련분야의 연구개발이나 제조과정에서 수 마이크로미터 혹은 그 보다 낮은 수준으로 위치결정을 해야 하기 때문에 미세한 조작이 필요하게 되었다. 이러한 미세한 조작을 위하여 매니플레이터가 개발되어 왔다. 일반적으로 직렬 매니플레이터는 구동범위가 크고 기구가 간단하다는 장점이 있으나, 큰 힘을 낼 수가 없고 분해능이 나쁜 단점이 있다.[1] 반면 병렬형 구조는 작업공간이 적은 단점이 있지만 강성이 크며 적은 오차, 작업공간 내에서 높은 결정 분해능 등의 장점이 있다. 병렬형 구조의 대표적인 사례인 스트리트 플랫폼(Stewart platform)은 초기 비행 모의훈련기(Flight simulator)에 활용되기 시작하여 많은 힘이 요구되거나 적은 관성력이 요구되는 다양한 작업에 많이 활용되어 오고 있으며 그 우수성이 입증되고 있다.[2]

본 연구에서는 미세한 물체의 정밀한 조작을 위하여 스트리트 플랫폼 메커니즘을 이용한 3자유도 병렬형 매니플레이터를 제안하고 압전소자(PZT)와 유연힌지(Flexure hinge)를 사용하여 구현하였다. 이에 대한 기구적 분석과 실험을 통한 측정으로 성능을 확인하였다.

2. 병렬형 기구적 기구학적 해석

제안하는 매니플레이터는 Fig.1 과 같이 고정된 베이스(B₁B₂B₃), 플랫폼(A₁A₂A₃)과 3개의 다리로 구성된다. 각 다리에는 2개의 Revolute joint가 4자유도를 갖는 Universal joint를 구성하고, 2개의 Revolute joint 사이에 병진관절이 위치한다. 이는 Grubler의 식에 의하여 3자유도를 갖는다. 이와 같은 기구는 3-UPU 매니플레이터라고 부른다. [3]

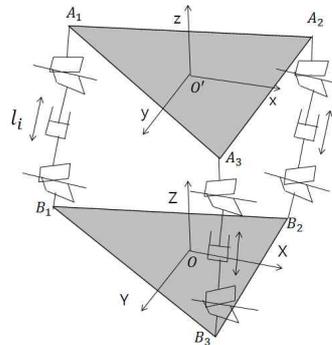


Fig. 1 Geometric configuration of 3-UPU manipulator

플랫폼에는 x-y 좌표계가 있고 베이스에는 X-Y 좌표계가 있다. 각 좌표계의 원점은 O'와 O이다. 플랫폼의 3점 A₁, A₂, A₃는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} B_i \\ 1 \end{bmatrix}_O = [R] \begin{bmatrix} A_i \\ 1 \end{bmatrix}_{O'} \quad i = 1, 2, 3$$

이때 R은 다음과 같이 표현된다.

$$[R] = \begin{bmatrix} C\alpha & S\beta S\alpha & S\beta C\alpha & x_o' \\ 0 & C\alpha & -S\alpha & y_o' \\ -S\beta & C\beta S\alpha & C\beta C\alpha & z_o' \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

이때 C = cos, S = sin, α = θ_x, β = θ_y이다.

역기구학 해석은 아래 식에 의하여

$$l_i^2 = (\vec{B}_i - \vec{A}_i)^2 \quad i = 1, 2, 3$$

다음과 같이 결정된다.

$$l_1 = \sqrt{A_{11}^2 + A_{12}^2 + A_{13}^2}$$

$$l_2 = \sqrt{A_{21}^2 + A_{22}^2 + A_{23}^2}$$

$$l_3 = \sqrt{A_{31}^2 + A_{32}^2 + A_{33}^2}$$

이때 A_{ij} ($i = 1, 2, 3$ and $j = 1, 2, 3$) 은 다음과 같다.

$$A_{11} = [1 - C\beta + \sqrt{3} S\beta S\alpha] \frac{R}{2}, A_{12} = [C\alpha - 1] \frac{\sqrt{3}}{2} R$$

$$A_{13} = [S\beta + \sqrt{3} C\beta S\alpha] \frac{R}{2} + Z_0$$

$$A_{21} = [1 - C\beta - \sqrt{3} S\beta S\alpha] \frac{R}{2}, A_{22} = [1 - C\alpha] \frac{\sqrt{3}}{2} R$$

$$A_{23} = [S\beta - \sqrt{3} C\beta S\alpha] \frac{R}{2} + Z_0$$

$$A_{31} = [C\beta - 1] R, A_{32} = 0, A_{33} = Z_0 - RS\beta$$

3. 매니플레이터의 제작

3-UPU 매니플레이터의 정밀한 조작과 큰 힘을 내기 위하여 구동부는 PZT를 사용하였다. PZT의 성능은 Table 1과 같다.

Table 1 Specification of PZT

Displacement	45 μ m
Resolution	0.9 nm
Blocked force	3,000 N
Stiffness	75 N/ μ m
Resonant frequency	9 kHz

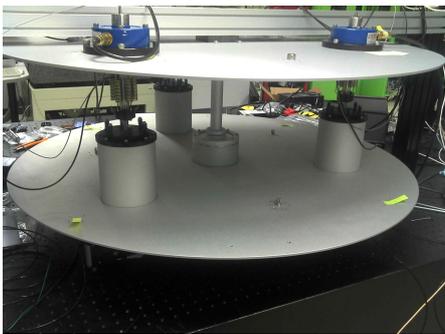


Fig. 2 3-UPU manipulator

4. 실험

매니플레이터의 플랫폼에 정전용량센서를 적용하여 구동 분해능을 시험하였다. 계단 입력전압을 PZT에 인가하였다. Z축 병진(T_z)의 시험 데이터를 Fig 3에 대푯값으로 나타내었고, 각 자유도에서 구현 가능한 분해능은 Table. 2와 같다.

Table 2 Resolution of 3-UPU manipulator

T_z	200 nm
θ_x	10 μ rad
θ_y	8.3 μ rad

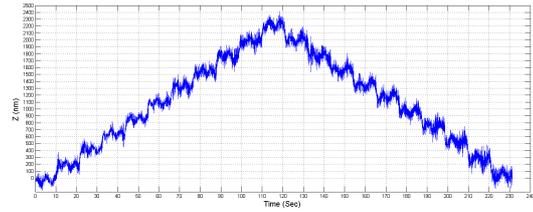


Fig. 3 Response of 3-UPU manipulator (Z direction translation)

5. 결론

본 연구에서는 수백 나노미터에서 수백 마이크로미터의 물체를 조작하기 위하여 3자유도 병렬형 매니플레이터를 개발하였다. 무거운 플랫폼을 정밀하게 조작하기 위하여 PZT와 유연힌지를 이용하여 제작하였다. 실험을 통하여 구현가능 분해능을 구하였다. 비록 만족할 만한 수준의 분해능이 나오지는 않았지만 주변진동, 조립공차 등을 고려하였을 때 개선의 여지가 보였다. 앞으로 분해능의 수준을 높이는 연구를 진행할 것이며 되먹임 제어를 이용하여 이력현상을 보상 할 것이다.

참고문헌

본 연구는 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 전략기술 인력양성사업으로 수행된 연구결과임

참고문헌

1. Maret J.-P., Parallel robots, Springer, pp.1-11, 2006.
2. D. Stewart, "A platform with six degree of freedom," Proceedings of the Institute of Mechanical Engineering, Vol. 180, Part 1, No. 15, pp.371-386. 1965-66.
3. Tsai, L. W., "Kinematics of a three-DOF platform with three extensible limbs," Recent Advances in Robot Kinematics, J. Lenarcic and V. Parenti-Castelli (eds.), Kluwer Academic Publishers, pp.401-410, 1996.