6 자유도 초정밀 병렬기구의 제어 속도 향상을 위한 선형 매핑 행렬 생성

Formulation of linear mapping matrices for rapid control of a 6 DOF precision parallel mechanism

*#문준희 [1], 신현표 [2]

*#Jun-Hee Moon(junimoon@snu.ac.kr)[1], Hyunpyo Shin[2]

[1] 유한대학교 기계설계과, [2] 삼성전기 생산기술연구소

Key words : Precision parallel mechanism, Flexure-based stage, Linear mapping matrices, Euclidean norm

1. 서론

플렉셔 힌지를 기구부로 사용하고 압전소자를 구동기로 사용하는 초정밀 스테이지는 리소그래피를 이용한 반도체 제조 공정에서 주로 채택되고 있다. 반도체 제조 공정에서 많이 사용되는 이유는 백래시, 스틱-슬립이 없어서 초정밀 이송이 가능하며 윤활유와 마찰에 의한 비산물이 발생하지 않아서 반도체 수율을 떨어뜨리지 않기 때문이다. 현재 이러한 초정밀 위치결정 장치는 주로 2~3 자유도를 갖도록 제작되고 있지만, 마이크로 본딩, 나노 임프린팅 등 리소그래피보다 발전된 여러 마이크로/나노 가공공정에서는 더 높은 자유도의 운동이 가능한 스테이지를 요구하고 있다.

일반적으로 6 자유도 초정밀 병렬기구의 제어는 다음과 같은 한계를 가지고 있다; 첫째, 초정밀 스테이지는 플렉셔 기구부의 탄성으로 인해 손실되는 움직임(lost motion)이 많아서 일반적인 로보틱스를 적용하여도 오차가 많이 발생한다. 둘째, 본 연구의 대상인 6 자유도 스테이지는 자유도가 많아서 정기구학과 역기구학을 해석적으로 수식화하는 것이 매우 까다롭다. 세째, 만일 해석적인 방법이 아닌 수치반복적인 방법을 사용한다 해도 계산량과 소요시간은 실시간 제어에 적합하지 않다. 상기와 같은 한계로 인해 실제 스테이지의 제어를 위한 매핑 행렬은 대부분 기구부의 기하학적인 관계를 고려하여 경우에 맞게 만들고 있다.

본 연구에서는 초정밀 스테이지의 구동범위가 스테이지의 전체 크기에 비해 아주 작다는 점을 이용하여 스테이지의 제어를 위한 선형 매핑 행렬을 일반적으로 만드는 방법을 제안한다. 이러한 방법은 유클리디안 놈(Euclidean norm)을 기반으로 한 방법이므로 다양한 형상의 스테이지에 대해서도 일반적으로 적용할 수 있는 장점이 있다.

2. 선형 매핑 행렬의 구현

초정밀 스테이지의 모든 구동기가 하판(base)과 상판(platform)에 각각 맞닿아 있을 때, 완전 병렬 기구라고 한다. 병렬기구는 정기구학을 구현하기가 역기구학보다 더 까다롭다는 특징을 가지고 있다. 본 연구에서 구하고자 하는 선형 매핑 행렬은 Fig. 1 과 같은 구조에서 필요한 것이다.

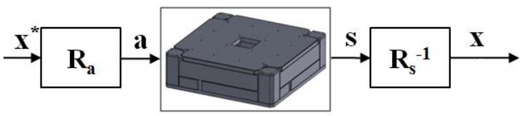
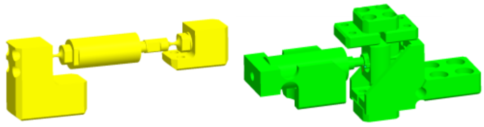


Fig. 1 Block diagram for control input and sensor output

선형 매핑 행렬 R_a , R_s 를 구하기 위해서는 각각 정기구학과 역기구학이 필요하다. 기존의 연구에서는 6 자유도 플렉셔 기반 스테이지가 드물게 연구되었을 뿐 아니라 그 제어도 기하학적인 관계에 따라 그 스테이지에 특화된 방법으로 개발되어 왔다.

본 연구에서는 초정밀 스테이지에 일반 6 자유도 병렬기구의 기구 해석에 사용되는 기법을 도입한 후, 플렉셔 기반 스테이지의 특징인 미세구동 특성을 이용하여 선형 매핑 행렬을 유도하였다.



(a) horizontal actuator (b) vertical actuator

Fig. 2 Actuators in the precision stage

다음은 Fig. 2(a), (b)와 같은 형태의 구동기에 대한 각각의 유클리디안 놈의 공식이다.

$$\|\mathbf{p_i}-\mathbf{q_i}\|^2-(l+d_i)^2=0 \quad (1)$$

$$\|\mathbf{p_i}-\mathbf{q_i}\|^2-m^2=0 \quad (2)$$

여기서 $\mathbf{p_i}$, $\mathbf{q_i}$ 는 각각 상판에 부착된 힌지의 위치와 하판에 부착된 힌지의 위치이며 l, m, d_i 는 각각 수평구동기의 초기 길이, 수직구동기의 초기 길이, 구동기에 의해 늘어난 길이이다. 위의 식 (1), (2) 등의 식은 식(3)과 같이 식들의 벡터로 나타낼 수 있고 이것은 뉴튼-랩슨 방법에 의해 액츄에이터 변위를 주면 스테이지 변위를 구할 수 있는 정기구학이 된다.

$$\mathbf{g}(\mathbf{x_n})=0 \quad (3)$$

이렇게 구한 정기구학식에 플렉셔 힌지의 특성인 미세 변형을 고려하면 정기구학 선형 매핑 행렬을 구할 수 있다.

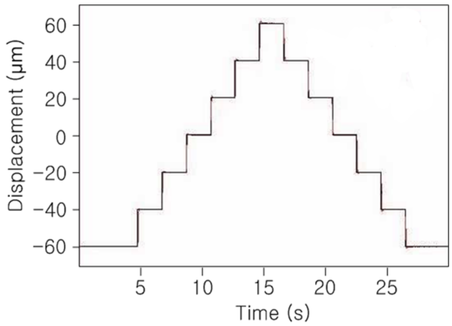
$$\mathbf{R_a}=\left[\frac{\partial a_i}{\partial x_j}\right]\in\Re^{6\times6} \quad (4)$$

마찬가지 방법으로 역기구학식에도 적용하면 다음과 같이 역기구학 선형 매핑 행렬을 구할 수 있다.

$$\mathbf{R_s}=\left[\frac{\partial s_i}{\partial x_j}\right]\in\Re^{6\times6} \quad (5)$$

3. 적용 결과

스테이지의 실제 사양을 입력하여 얻는 제어결과는 다음과 같다.



4. 결론

초정밀 스테이지의 기하학적인 위치관계가 단순한 경우에는 매핑 행렬을 직관적으로 간단히 구할 수 있지만 본 연구의 대상과 같이 자유도가 많고 복잡한 형태의 스테이지는 엄밀하게 매핑 행렬을 구하는 것이 어려운데, 본 연구에서 기존의 다자유도 로봇의 기구학 해석에 사용하는 기법을 이용하여 초정밀 스테이지의 선형 매핑 행렬을 생성하는 방법을 개발하였다.

참고문헌

1. Huang, X., Liao, Q. and Wei, S., Closed-form forward kinematics for a symmetrical 6-6 Stewart platform using algebraic elimination, Mechanism and Machine Theory, **45** (2), 327-334, 2010.
2. Dasgupta, B. and Mruthyunjaya, TS, The Stewart platform manipulator: a review, Mechanism and machine theory, **35** (1), 15-40, 2000.
3. Dong, W., Sun, L. and Du, Z., Stiffness research on a high-precision, large-workspace parallel mechanism with compliant joints, Precision engineering, **32** (2), 222-231, 2008.