

# 병렬평행기구의 병진운동 실험

## The Translational Experiment of a Parallel Manipulator

\* #차영엽<sup>1</sup>

\*<sup>#</sup>Y. Y. Cha(ggypcha@wonkwang.ac.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>원광대학교 기계자동차공학부

Key words : Micropositioning, Parallel manipulator

### 1. 서론

스튜어트 플랫폼에 대한 연구는 정 역기구학, 속도 가속도 기구학, 특이점과 작업영역 해석, 동역학과 제어, 그리고 설계 및 개발문제로 나뉜다<sup>1</sup>. 여기서 역기구학 해석과정은 상판의 위치와 회전이 주어진 상태에서 링크의 변위를 구하는 것이고, 정기구학 해석은 링크의 길이가 주어질 때 상판의 위치와 회전을 구하는 것이다. 역기구학 해석과정은 간단하고 닫힌해(closed-form solution) 형태로 주어지는 반면, 정기구학 해석과정은 6개의 링크의 상호간섭으로 인한 고차비선형 방정식을 포함하여 매우 복잡한 수식을 갖게 되므로, 일반적으로 그 유도과정이 복잡하고 닫힌해를 갖지 않으므로 보다 빠른 시간 내에 정기구학 해를 구할 수 있는 실용적인 해석법을 찾기 위한 연구가 이루어졌다<sup>2,3</sup>.

기존의 많은 연구들에서 병렬 매니퓰레이터의 정기구학 해를 수치해석적으로 계산하였다<sup>4</sup>. 그 중 가장 많이 사용되었던 수치해석법은 Newton-Raphson법이다. 정기구학의 해석과정에서 유도된 고차 비선형 방정식은 수치적으로 해석되므로 비수렴 영역이 존재하면 해의 수렴성을 보장하기 어렵고, 계산 부하가 크므로 병렬기구의 제어에 큰 부담을 주고 있다. 또한 정기구학의 수치해석방법은 수치적 정밀도, 초기조건과 연산 속도에 매우 민감하고 해의 선정에 대한 부담을 발생시킨다.

이런 이유들 때문에 정기구학 해를 보다 빠르고 안정적으로 구하기 위한 방법이 활발히 연구되고 있다. 병렬 매니퓰레이터의 수치해석적인 정기구학 해석의 어려움과 문제점들을 해결하기 위하여 최근 정기구학 해를 보다 빠른 시간내에 계산하기 위한 연구들이 이루어지고 있다. 수치해석방법의 계산 부하를 줄이기 위하여, Han<sup>5</sup>은 하나의 추가센서를 사용하여 3-6형태의 스텐어트 플랫폼의 병렬기구를 닫힌해로 구하였고, Ku<sup>6</sup>는 해석해 형태로 유도된 단일 변수를 가지는 16차의 고차방정식의 계산부하의 문제점을 지적하고 Taylor 급수를 사용한 3개의 각도 변수를 가진 근사화된 수치해석법을 제안하였다.

본 연구에서는 국내에서 마이크로 포지셔닝용 병렬평행기구의 설계 및 제작에 대한 연구가 미미하므로, 이를 위하여 수십 mm의 작업영역에서  $\mu\text{m}$  분해능을 가지는 마이크로 포지셔닝용 병렬평행기구를 설계 제작하고 기구학해석을 통하여 x-, y-, z-축 운동을 시뮬레이션하고 구동과 분해능에 대한 실험을 하였다. 이를 위하여 기구학 해석과 PTC사의 Pro-ENGINEER 프로그램을 이용하여 모델링과 시뮬레이션을 하고, 사용자 인터페이스 제어패널을 구성하고, 캐피시턴스 센서시스템을 이용하여 성능을 측정하였다.

### 2. 병렬기구

모델링과 시뮬레이션을 통하여 부품간의 간섭확인 및 이동성을 확인한 후에 실제로 제작된 스텐어트 플랫폼 사진이 그림 1에서 보여진다. 또한 제작된 스텐어트 플랫폼의 제어를

위하여 Visual C++를 이용한 사용자 인터페이스를 위한 제어패널을 만들고 마우스와 키보드로 위치와 자세를 명령할 수 있고 제어 상황도 실시간으로 확인이 가능하도록 하였다. 제작된 스텐어트 플랫폼은 상판의 조인트부 직경이 151.9mm, 하판의 조인트부 직경이 247.8mm, 액츄에이터가 있는 링크의 길이는 289.9mm 이다. 사용된 액츄에이터는 PI사의 M-230 DC-Mike 모터 6개이다.



Fig. 1. Photograph of the developed Stewart platform.

### 3. 실험

스튜어트 플랫폼의 단방향, 양방향 분해능과 구동범위 실험을 위하여, 먼저 실험용 컴퓨터의 Visual C++로 만든 제어창에서 기준좌표계에 대한 플랫폼의 위치와 자세가 주어지면 역기구학에 의하여 6개 링크의 목표길이가 얻어지고, 이 값이 6개의 모터 컨트롤러를 통하여 6개의 선형모터(DC서보모터+볼나사)로 주어진다. 개별적인 링크의 이동은 캐피시턴스 프로브로 측정되고 캐피시턴스 애플리케이션과 데이터 획득장치를 거쳐서 실험용 컴퓨터 내의 데이터 획득 패널에서 읽혀진다. 구성된 시스템 내에서 스텐어트 플랫폼의 분해능은 액츄에이터의 분해능과 사용된 근접센서의 노이즈 크기에 의해 제한된다.

실험은 캐피시턴스 센서를 이용하여 각 방향의 분해능과 이동에 관한 실험이다. z-축방향의 단방향 분해능 실험결과가 그림 2(a)에 나와 있다. z-축의 반복 분해능 실험결과가 그림 2(b)에 나와 있다. 결과적으로 본 연구에서 설계 제작된 스텐어트 플랫폼은 액츄에이터의 이동거리가  $\pm 12.5\text{mm}$ 인 선형모터를 사용 하였으며, 이에 따른 x-, y-축 방향의 이동거리는  $\pm 25\text{mm}$ 이고, z-축 방향의 이동거리는  $\pm 12.5\text{mm}$ 이다. 또한 x-, y-축 방향의 최소분해능은  $1\mu\text{m}$ , 반복분해능은  $\pm 2\mu\text{m}$ 이다, 또한 z-축 방향의 최소분해능은  $0.5\mu\text{m}$ , 반복분해능은  $\pm 1\mu\text{m}$  였다.

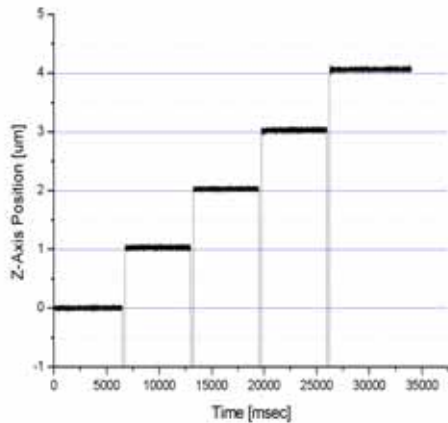
### 4. 결론

본 연구에서는 국내에서 연구가 미미한 마이크로 포지셔닝용 병렬평행기구를 설계 제작하고 x-, y-, z-축 운동을 시뮬레이션하고 실험을 하였다. 이를 위하여, AutoCAD를 이용하여 기구부를 설계하였고, PTC사의 Pro-ENGINEER 프로그램을 이용하여 모델링 및 시뮬레이션을 하였다. 본 연구에서 설계 제작된 스튜어트 플랫폼은 액츄에이터의 이동거리가  $\pm 12.5\text{mm}$ 인 선형모터를 사용하였다. 단방향과 양방향 반복분해능 실험을 위하여 캐퍼시턴스 센서를 사용하였고, 이에 따른 x-, y-축 방향의 이동거리는  $\pm 25\text{mm}$ 이고 z-축 방향의 이동거리는  $\pm 12.5\text{mm}$ 이다. 또한 x-, y-축 방향의 최소분해능은  $1\mu\text{m}$ 이고 z-축 방향의 최소분해능은  $0.5\mu\text{m}$ 이다.

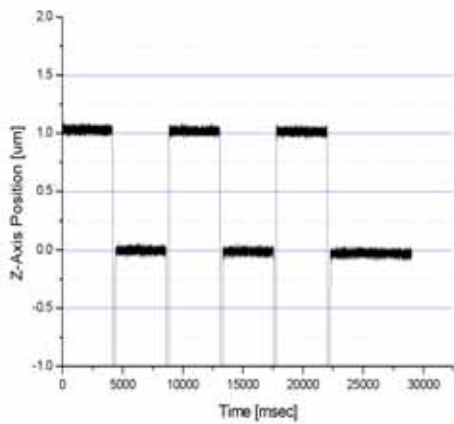
*Electronics*, vol. 40, no. 2, pp. 282-293, 1993.

[5] K. Han, W. Chung, and Y. Youm, "New resolution scheme of the forward kinematics of parallel manipulators using extra sensors," *Transactions of the ASME*, vol. 118, pp. 214-219, 1996.

[6] D. M. Ku, "Direct displacement analysis of a Stewart platform mechanism," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 4, pp. 453-465, 1999.



(a)



(b)

Fig. 2. Experimental results of (a) Uni-directional resolution and (b) repeatability at z-axis.

**참고문헌**

[1] B. Dasgupta and T. S. Mruthyunjaya, "The stewart platform manipulator: A review," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 35, pp. 15-40, 2000.

[2] J. P. Merlet, "Direct kinematics and assembly modes of parallel manipulators," *International Journal of Robotics Research*, vol. 11, no. 2, pp. 150-162, 1992.

[3] E. M. Dafaoui, Y. Amirat, J. Pontnau, and C. Francois, "Analysis and design of a six-DOF parallel manipulator, modeling, singular configurations, and workspace," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 14, no. 1, pp. 78-91, 1998.

[4] K. Liu, J. Fitzgerald, and F. L. Lewis, "Kinematic analysis of a stewart platform manipulator," *IEEE Trans. on Industrial*