

a

Simulation of a Stewart Platform

*# 1, 2

*#Y. Y. Cha(ggypcha@wonkwang.ac.kr)¹, S. M. Jeong²

Key words : Stewart Platform, Parallel Mechanism

1.

Stewart는 비행체운동을 시뮬레이션하기 위하여 병렬로 연결된 6개의 구동 액츄에이터를 이용한 병렬 운동기구를 제안하였다^{1,2}. 이러한 기구는 초기에는 비행체나 헬리콥터등과 같이 고도로 숙련된 조종술을 요구하는 조종사의 훈련을 보다 안전하고 효과적으로 수행하기 위하여 개발되었다. 최근에는 시뮬레이션을 위한 시뮬레이터로 그 응용분야가 점차 확대되어가고 있으며, 반도체 조립공정 등의 고정밀 분야까지 이르고 있다.

시뮬레이터로는 지상차량 시뮬레이터, 비행체 시뮬레이터, 배의 운동 상태를 재현하는 함 시뮬레이터, 우주선 시뮬레이터가 있다. 다른 적용 예로는 광학, 전자빔, 레이저 등의 정렬과 추적, 우주장비 테스트, 수술용 로봇, X-선의 회절 측정, 반도체 핸들링 시스템, 정밀절삭 및 제작을 위한 공구 제어 등에 이용되고 있다.

Stewart platform에 대한 연구는 크게 기구학 해석과 제어분야로 나눌 수 있다. 기구학 해석 분야는 각 액츄에이터의 길이를 주고 플랫폼의 형상을 알고자 하는 순기구학 해석에 관한 연구가 주로 진행되어졌다. 순기구학의 해를 구하기 위해서는 반복적인 수치해석 방법, 해석적 방법, 그리고 추정기를 이용하는 방법으로 나눌 수 있다. 수치해석적 방법으로는 주로 Newton-Raphson 방법을 이용하며, 해석적 방법은 정확한 해를 구할 수 있다는 장점이 있으나 해를 구할 때 고차다항식을 풀어야 하므로 결국 수치해석적 방법을 이용해야 한다. 마지막으로 추정기를 이용하는 방법은 칼만필터 알고리즘을 이용한 방법과 신경망(neural network)을 이용한 방법이 있다^{3,4}.

Stewart platform의 제어에 관한 연구는 단일입출력 제어, 다변수 제어^{5,6} 그리고 하이브리드 제어⁷로 나눌 수 있다. 단일입출력 제어는 액츄에이터 각각의 길이에 대한 제어기를 설계하는 방식으로 제어기 구성이 간단하고 제어 입력 계산이 쉽다는 장점이 있지만, 운동 상태에 따라 변화되는 각 액츄에이터의 외부부하를 고정된 부하로 가정하여 동일하게 설계된 액츄에이터 제어기는 대용량의 부하를 고속 정밀 제어하기에는 어려움이 많다. 한편 다변수 제어에서는 제어 대상이 각 액츄에이터의 길이가 아니라 상판의 6자유도 변위를 대상으로 하기 때문에 제어출력을 각 액츄에이터에서 작동해야할 힘으로 하고 제어입력을 운동재현기의 6자유도 운동변위로 선정한다. 순기구학을 통하여 제어입력으로 사용될 6자유도 운동변위를 구하고, 출력인 요구되는 구동력을 발생시키기 위한 액츄에이터 힘 피드백이 필요한 작용력 부제어기가 필요하다. 마지막으로 하이브리드 제어는 기존의 하이브리드 위치/힘 제어 및 키네스테틱 필터(kinesthetic filter)를 병렬형 매니플레이터에 적합하게 재구성하여 제어기를 설계하는 방법이다. 본 연구에서는 마이크로 포지셔닝용 Stewart platform의 X, Y, Z축 이동의 Simulation을 하였다.

2. Stewart platform

Stewart platform은 두개의 평판과 6개의 구동 액츄에이터로 구성된다. 상부에 위치한 평판을 플랫폼이라 하고, 하부에 위치한 평판을 베이스라 한다. 베이스의 경우 하부에 고정 되어있고, 플랫폼은 6개의 구동 액츄에이터에 의해 6자유도 운동을 한다. 액츄에이터는 베이스와 플랫폼에 3자유도를 갖는 볼 조인트로 연결되어 있다. Fig. 1은 Stewart platform의 형상을 보여주고 있다.

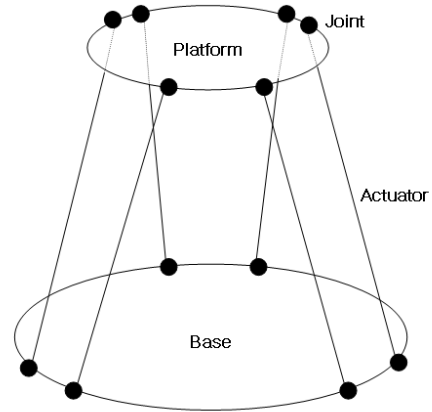


Fig. 1 A form of Stewart platform

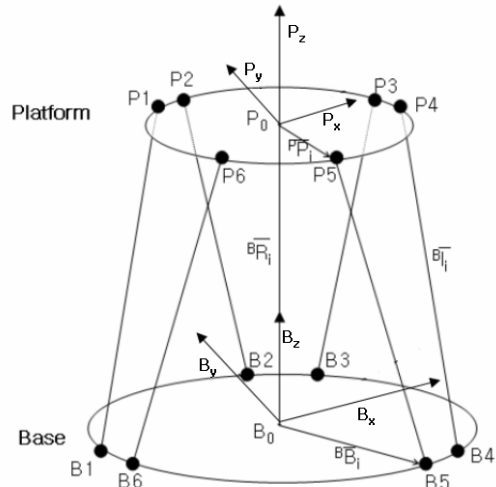


Fig. 2 Coordinate system of Stewart platform

Fig. 2는 Stewart platform의 좌표계를 나타낸다. 베이스에 고정된 직각 좌표계 B_{xyz} 를 베이스 좌표계(base coordinate system)라 하고, 플랫폼에 고정된 직각 좌표계 P_{xyz} 를 플랫폼 좌표계(platform coordinate system)라 한다. 각 벡터는 직각 좌표계를 따라 3개의 요소로 구성되어진다.

식 (1)과 (2)는 B_{xyz} 좌표계에 대한 B_i 점과 P_i 점의 위치벡터를 나타낸다.

$${}^B B_i = [B_{ix} \ B_{iy} \ B_{iz}]^T, \quad i = 1, 2, \dots, 6 \quad (1)$$

$${}^B P_i = [P_{ix} \ P_{iy} \ P_{iz}]^T, \quad i = 1, 2, \dots, 6 \quad (2)$$

식 (3)은 P_{xyz} 좌표계에 대한 P_i 점의 위치벡터를 나타내고, 베이스와 연결하는 조인트 부착점을 $B_i, i = 1, 2, \dots, 6$ 로

플랫폼과 연결하는 조인트 부착점을 $P_i, i = 1, 2, \dots, 6$ 로 나타낸다.

$${}^P P_i = [P_{ix} \ P_{iy} \ P_{iz}]^T, \quad i = 1, 2, \dots, 6 \quad (3)$$

Stewart platform은 베이스 기준 좌표계에 대한 플랫폼의 형상을 3개의 선형변위와 3개의 각변위로 나타낼 수 있다. 선형변위는 베이스 좌표계에서 서로 수직인 각 축으로 이동된 거리 x, y, z 로 나타낼 수 있고, 각변위는 x, y, z 각 축으로 회전하는 Roll(γ), Pitch(β), Yaw(α)로 나타낼 수 있다.

Table 1. Technical data of developed Stewart platform

| Specifications | Values | Units |
|---|------------|-----------------|
| Travel X,Y | ± 25 | mm |
| Travel Z | ± 12.5 | mm |
| Travel θ_x, θ_y | ± 7.5 | deg |
| Travel θ_z | ± 15 | deg |
| Actuator Stroke | ± 12.5 | mm |
| Min. Incremental Motion X,Y | 1 | μm |
| Min. Incremental Motion Z | 0.5 | μm |
| Min Incremental Motion $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ | 5 | μrad |
| Repeatability X,Y | ± 2 | μm |
| Repeatability Z | ± 1 | μm |
| Repeatability $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ | ± 10 | μrad |
| Velocity X,Y,Z (typ.) | 2.5 | mm/sec |
| Velocity X,Y,Z (max.) | 4 | mm/sec |
| Velocity $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ (typ.) | 25 | mrad/sec |
| Velocity $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ (max.) | 50 | mrad/sec |
| Weight | 13 | Kg |
| Load capacity(vertical) | 116 | Kg |
| Load capacity(random) | 10 | Kg |
| Size ϕ D | 280 | mm |
| Size ϕ d | 182 | mm |
| Size H | 300 | mm |

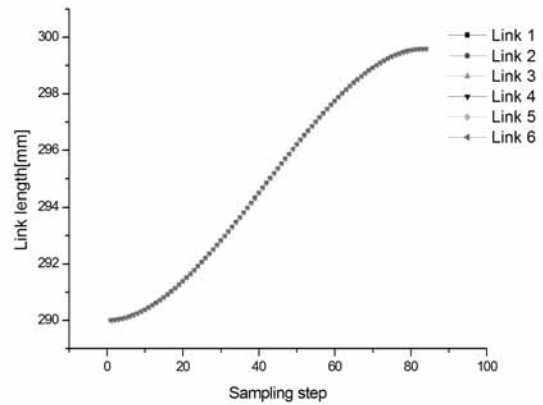


Fig. 5 Link length according to Z-axis linear motion

3. imulation

Table 1은 시뮬레이션을 위해 설계된 Stewart platform의 기계적 사양을 보여주고 있다. Fig. 3에서는 X축으로 10mm 이동하도록 한 것이다. 링크 1, 6은 같은 값으로 길이가 증가하였고, 링크 3, 4는 같은 값으로 변화하지만 길이 변화에는 거의 차이가 없었다. 또한 링크 2, 5는 같은 값으로 감소하였다. Fig. 4는 Y축으로 10mm 이동하도록 한 것이다. 링크 4는 길이의 변화량이 가장 많이 증가되었고, 링크 1, 5는 같은 값으로 증가하였으며, 링크 2, 6은 같은 값으로 감소하였다. 링크 3은 가장 많이 감소하였다. Fig. 5는 Z축으로 10mm 이동하도록 한 것이다. 모든 링크의 값이 같이 증가하는 모습을 확인 할 수 있다.

4.

본 연구에서는 마이크로 포지셔닝용 Stewart platform의 X, Y, Z축 이동의 Simulation을 하였다. 이를 위하여, AutoCAD를 이용하여 기구부를 설계하였고, PTC사의 Pro-ENGINEER 프로 그래를 이용하여 모델링 및 시뮬레이션을 하였다.

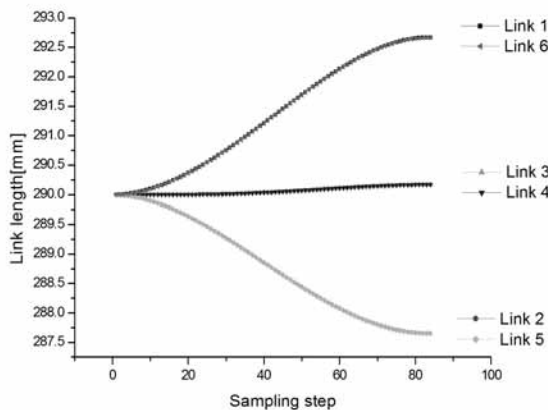


Fig. 3 Link length according to X-axis linear motion

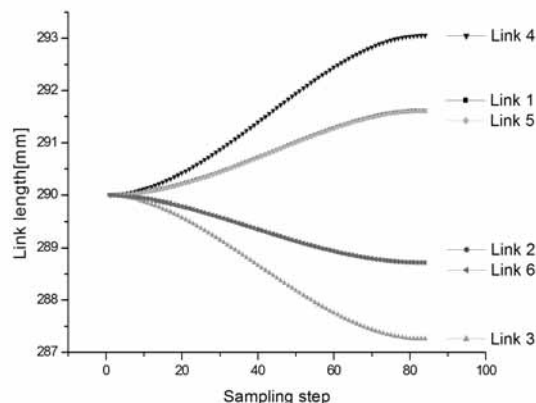


Fig. 4 Link length according to Y-axis linear motion

- [1] 이병주, 김희국, 허금강, “스튜어트 플랫폼 메카니즘의 기구학적/동역학적 최적설계,” 제어·자동화·시스템공학 논문지, 2, 1, pp.45-52, 1996.
- [2] 구상화, 손권, “스튜어트 플랫폼의 기구학적 교정기법에 관한 연구,” 제어·자동화·시스템공학 논문지, 7, 2, pp.168-172, 2001.
- [3] 이형상, 한명철, 이민철, “신경망을 이용한 스튜어트 플랫폼의 순기구학 추정기 설계,” KACC, 13, pp.1281-1284, 1998.
- [4] 구상화, 손권, “신경망과 뉴턴 랩슨 방법을 이용한 스튜어트 플랫폼의 순기구학 해석에 관한 연구,” 한국 자동화 공학회 논문집, 9, 1, pp.156-162, 2001.
- [5] 고동우, “다변수 건설 제어기의 스튜어트 플랫폼의 실험 적용 및 제어 성능 평가,” 부산대학교 대학원 지능기계공학과 석사 학위논문, 2003.
- [6] 허성준, “스튜어트 플랫폼에 대한 다변수 건설제어와 LQG/LTR 제어에 관한 연구,” 부산대학교 대학원 지능기계공학과 석사 학위논문, 2002.
- [7] 김종형, “Stewart Platform형 Manipulator의 Cranking 작업을 위한 하이브리드 제어,” 연세대학교 대학원 기계공학과 석사 학위논문, 2001.