

플랫폼의 운동성을 향상시킨 병렬 기구의 설계

유재명*(중앙대원), 최기훈(중앙대 미래신기술연구소), 김영탁(중앙대)

A design of parallel mechanism to improve the workspace of platform

J. M. Yoo(Mecha. Eng. Dept. CAU), G. H. Choi(FTIP, CAU), Y. T. Kim (Mecha. Eng. Dept. CAU)

ABSTRACT

The application area of parallel mechanism is limited in spite of many advantages of that because the workspace of platform is a very small. Thus enlargement of workspace is important issue in design of parallel mechanism. In this paper a parallel mechanism design method is described using commercial simulation program. Firstly strokes of the assembled parallel mechanism's active joints are simulated from kinetic simulation mode to get required workspace, Secondly, dynamic parameters(velocity, acceleration, force, moment) are simulated for the gravity, friction and exit load. Finally, workspace of moving platform is displayed and workspace of area is simulated by motion analysis. The results of this paper will help engineer to design parallel mechanism with optimize workspace.

Key Words : Parallel mechanism (병렬 기구), workspace of platform (플랫폼의 작업공간)

1. 서론

최근, 병렬 기구는 산업현장에서 뿐 아니라 비행기 조종사의 비행 연습, 시뮬레이션 게임기, 운전 연습장, 햅틱 장비등 우리 생활에서 매우 많이 사용되어지고 있다. 그 이유는 직렬 구조보다 큰 가 반하중, 높은 강성 등의 장점을 가지고 있기 때문이다. 그러나 플랫폼(platform)의 작업 공간(workspace)이 작은 것이 보다 다양한 응용을 제한하고 있다.

최근의 컴퓨터 기술의 발달과 더불어 병렬 기구의 설계에도 컴퓨터를 이용한 설계^{(5),(6)}와 운동 해석^{(7),(8)}에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

현재 3 차원 모델링과 시뮬레이션 프로그램은 다양한 제품들이 등장해 있으며, 또한 동역학 해석까지 가능한 통합 프로그램들이 제공되고 있지만 이를 사용하는 대부분의 사용자는 통합된 기능을 사용하지 못하는 것이 현실이다.

이에 본 연구에서는 통합 기능의 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 병렬 기구를 설계하고, 운동을 해석하고자 한다. 본 연구에서 사용된 시뮬레이션 프로그램은 Pro-Engineer 와 Mechanism 이며, 기구 설계와 동역학 및 운동 궤적(trajecory)해석이 가능

한 통합 해석 프로그램이다.

2. 구조와 모델링

2.1 좌표와 구조

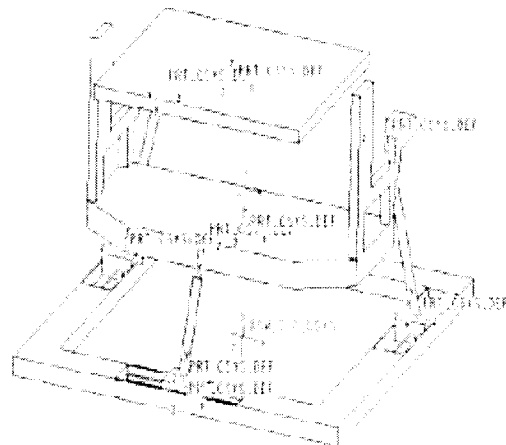


Fig. 1 Schematic diagram of the parallel mechanism

본 연구에서 설계대상으로 하는 병렬 기구는 6

자유도 운동기구로서 플랫폼의 작업 공간을 크게 확보하기 위한 것이 목적이다.

이것은 직동 관절, 회전 관절 그리고 실린더 관절로 구성되었으며, 이를 Fig. 1에 간략히 나타낸다. 그림중에서 바닥 중심에 기준좌표가 표시되어 있다. 베이스 부분에는 모터에 의해 X 축으로 움직이는 직동 관절(prismatic joint)이 전방에 하나, Z 축으로 움직이는 직동 관절이 좌·우에 하나씩 달려있다. 그리고 베이스와 중간판(middle plate)을 연결하는 실린더 관절로 구성된 다리(leg)가 3 개 있으며, 이것에 의해 상하(Y 축) 운동이 가능하다. 또한 이 다리는 중간판과 베이스에는 회전 관절로 구성되어 있다.

2.2 모델링

본 연구에서 사용된 병렬 기구의 전체 크기는 $2000 \times 2000 \times 1600$ [mm]이며, 원하는 병렬 기구의 플랫폼의 작업공간을 Table.1에 나타낸다.

Table. 1 Requirement workspace of the system

X Axis	Y Axis	Z Axis
267mm	80mm	330mm

병렬 기구는 운동 중에 발생하는 두 부품 사이의 간섭으로 심각한 파손이 발생할 수 있다. 본 연구에서 사용된 프로그램은 시뮬레이션 중에, 부품들끼리 간섭되는 부분과 간섭되는 부품이 표시된다. 따라서 간섭되는 부품의 재 설계가 용이하다. 이것은 실제 제작 후 발생하는 기구적 에러를 줄일 수 있다.

먼저 부품들의 간섭을 체크하기 위해

1. 각 부품(part)을 작성 후, 부품의 연결 상태(관절)를 결정하여 조립한다. 본 연구에 사용된 병렬 기구의 관절은 직동 관절, 회전 관절 그리고 실린더 관절 등이다.

2. 3 개의 직동 관절과 3 개의 실린더 관절에 각각 서보 모터를 정의한다. 즉 플랫폼의 좌우 이동을 위한 X 축 모터 하나와 상하 운동을 위한 Y 축 모터 세 개, 전후 이동을 위한 Z 축 모터 두개를 사용한다. 초기 모터의 크기와 주기, 그리고 움직이는 방향은 임의로 설정한다.

3. 시뮬레이션을 실행하여 모든 부품 사이의 간섭을 체크한다. 만약 간섭이 발생되면 부품을 새롭게 수정하여 간섭이 발생되지 않도록 한다.

두 번째로 관절 변위와 병렬 기구에 작용하는 힘과 모멘트 등을 측정하기 위한 동역학 시뮬레이

션은 다음의 사항을 수행하여 실행한다.

1. 각 부품의 질량 속성을 설정한다. 이것은 각 부품별 밀도를 설정하여 얻을 수 있다. 본 연구에서는 모든 부품의 밀도를 7850 [kg/m³]으로 설정한다.

2. 중력의 방향은 -Y 축이고, 그 크기는 9806.65 [mm/sec²]이다(Fig. 2).

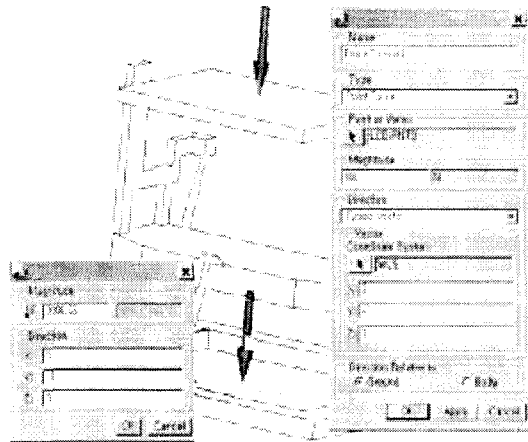


Fig. 2 Gravity and exit load on the parallel mechanism

3. 만약 하중이 작용한다면 하중의 방향과 크기를 표시한다(Fig. 2). 본 연구에서는 플랫폼의 정 중앙에 -Y 축 방향으로 980 [N]이 작용하고 있다고 가정한다.

4. 만약 마찰력을 무시할 수 없다면 마찰력도 포함한다.

5. 시뮬레이션을 통하여 플랫폼이 요구하는 작업공간을 만족하기 위해 이전에 설정된 각 서보 모터의 크기를 조정한다.

6. 마지막으로 병렬 기구의 이동 속도 및 가속도 등을 해석하고, 각 관절에 작용하는 힘(force)과 모멘트(moment)를 측정한다.

3. 시뮬레이션 결과

먼저 각 부품들을 조립한 병렬 기구의 기본 속성을 Table. 2에 나타낸다. 이 병렬 기구의 체적은 $4.18e8$ [mm³], 무게는 $4.14e8$ [t]으로 계산되었다.

Table. 2 Properties of the parallel mechanism

Properties	Magnitude
Volume	$4.14e8$ mm ³

Surface	1.32e7 mm ²
Mass	4.14e8 tone
Moments of Inertia	X : 2.12e14 tone/mm ² Y : 2.16e14 tone/mm ² Z : 2.62e14 tone/mm ²
Center of Gravity From reference frame	X : 2.12e14 tone/mm ² Y : 2.16e14 tone/mm ² Z : 2.62e14 tone/mm ²

병렬기구가 Table. 1 에 보여진 작업공간을 만족하기 위하여 각 관절의 행정(stroke)을 결정하여야 한다. 이것은 임의로 정의된 관절의 행정과 방향을 조절하여 작업공간을 결정할 수 있다

X 축의 직동 관절의 크기가 256[mm], Y 축의 실린더 관절의 크기가 76[mm], 그리고 Z 축의 직동 관절이 행정이 322[mm]일 때 Fig. 3 과 같이 X, Y, Z 축의 작업공간이 결정된다.

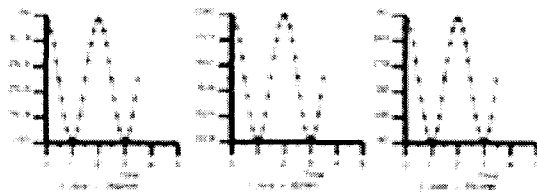


Fig. 3 Requirement distance of upper plate

두 번째로 플랫폼의 속도와 가속도를 측정한다. 본 연구에서는 계산의 편리성을 위하여 플랫폼의 정 중앙 점이 X, Y, Z 축으로 움직일 때의 속도와 가속도를 측정하였다.

X 축으로 움직일 때 병렬 기구 플랫폼(upper plate)의 정 중앙에서의 X 축의 속도와 가속도를 Fig. 4 에 나타낸다. 계산된 속도와 가속도는 820[mm/sec]와 2600[mm/sec²]이며, 이 때 세로축 단위는 각각 [mm/sec]와 [mm/sec²]이고 가로축 단위는 [sec]이다

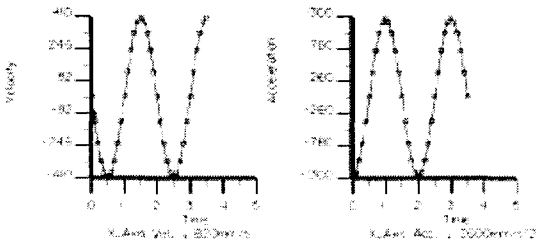


Fig. 4 Velocity and acceleration of X-axis direction

또한 Y 축으로 움직일 경우에는 각각 260[mm

/sec]와 820[mm/sec²], Z 축은 각각 1020[mm/sec]와 3020[mm/sec²]이었으며, 이를 Fig. 5 와 Fig. 6 에 각각 나타낸다.

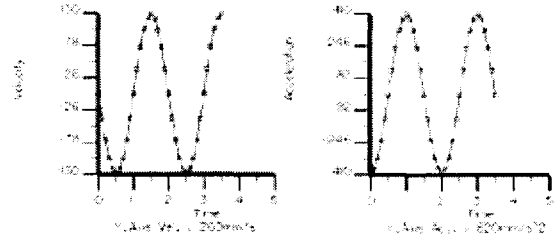


Fig. 5 Velocity and acceleration of Y-axis direction

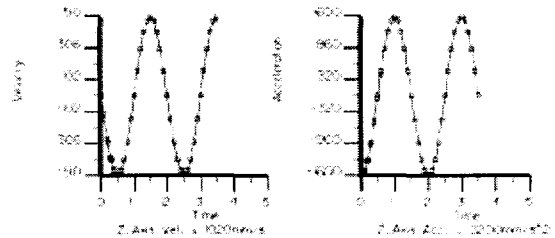


Fig. 6 Velocity and acceleration of Z-axis direction

다음으로 동역학 모드를 이용하여 각 관절에 작용하는 힘과 모멘트를 계산하였다. Fig. 7 에 보여진 듯이 X 축으로 움직이는 경우 좌우 2 개의 직동 관절의 축방향 반발력은 0 이고, Y 축으로 움직이는 경우 모든 직동 관절의 반발력이 0, Z 축으로 움직일 때는 전방의 직동 관절은 0 이며, 좌우 2 개의 직동 관절은 동일한 크기이다. 이 때 세로축 단위는 [N]이고 가로축 단위는 [sec]이다

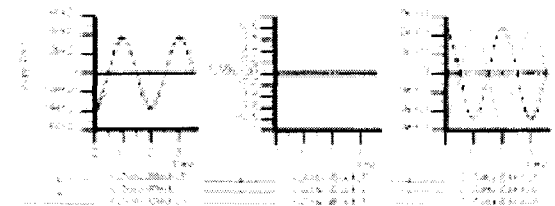


Fig. 7 Axial forces of 3 prismatic joints

X 축과 Y, Z 축으로 이동할 때 3 개의 직동관절에서 발생하는 모멘트를 Fig. 8 에 나타낸다. 측정된 모멘트는 X 축은 약 3.5e+013[N · mm], Y 축 모멘트는 모두 0, Z 축은 약 3e+013[N · mm]이다. 또한 3 개의 실린더 관절에 작용하는 힘은 Y 축 운동 중에 발생되는데 약 0.2[N]이며 다른 운동 중에 발생하는 힘

은 거의 0 이었으며, X 축 운동 모멘트는 0.18[N · mm], Y 축은 1[N · mm], Z 축은 0.18[N · mm]로 측정되었다.

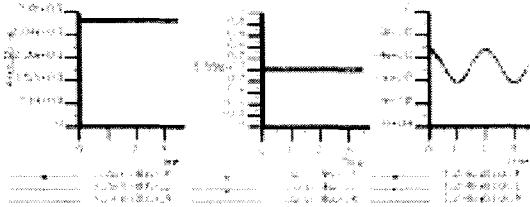
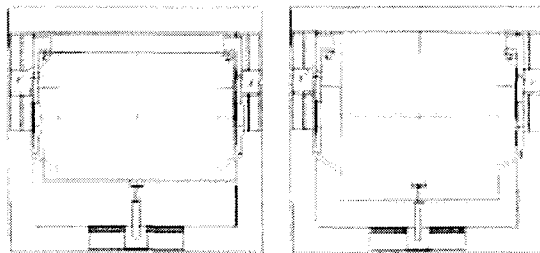


Fig. 8 Axial moments of 3 prismatic joints

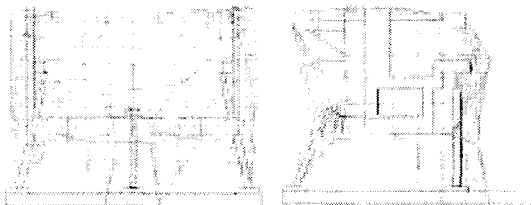
마지막으로 X 와 Z 축으로 움직일 때 플랫폼의 움직이는 공간을 Fig. 9 에 표시한다.



a) X-axis motion b) Z-axis motion

Fig. 9 Surface area of platform during each motion

Fig.9 a)는 X 축으로 움직이는 경우의 플랫폼의 제적으로, 빨간색으로 표시된 넓이는 1.86e6 [mm²]이다. Z 축으로 움직일 때는 b) 에 나타났으며, 이 경우 플랫폼의 움직이는 넓이는 2.15e6 [mm²]으로 계산되었다.



a) X-axis motion b) Z-axis motion

Fig. 10 Workspace with all joints' motion

Fig. 10 은 X 축과 Z 축으로 움직이는 병렬 기구의 각 관절이 움직이는 공간을 직선으로 연결하여

나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 각 관절이 움직이는 전체 크기는 베이스보다는 작음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 병렬 기구를 설계하고 운동을 해석하였다.

모든 환경 변수들을 고려한 플랫폼의 작업 공간의 체적과 여러 변수들을 계산하는 방법을 소개하였다. 움직이는 부품의 운동 영역이 베이스 영역 안에서 운동하여 안정적인 운동을 하는 병렬 기구의 설계가 가능함을 입증하였다.

이 결과는 안정적이고 최적화된 병렬 기구를 설계하고 운동을 해석하는 것에 매우 유용할 것이다.

참고문헌

1. Clavel R.A, 1989, "Une nouvelle structure de manipulateur parallele pour la robotique legere, AP II, 23(6), pp.501~519
2. Robert S, Tatsuo Arai, 1993, "A modified Stewart Platform Manipulator with Improved Dexterity," IEEE Transaction on Rob. & Auto, Vol.9, No.2, pp.165~173
3. H.Zhuang, J.Yan, O.Masory, 1998, "Calibration of Stewart platforms and other parallel manipulators by minimizing kinematic residuals.", J. of Rob. Sys., 15, 7, pp.395~405
4. P.Bischer, R.Clavel, 1998, "Kinematic calibration of the parallel Delta Robot," Robotica, 16, pp.207~218
5. Xin-Jun Liu, Zhen-Lin Jin, Feng Gao, 2000, "On the Optimum design of planar 3-DOF parallel manipulators with respect to the workspace," Pro. of the 2000 IEEE Int. Conf. on Rob. & Auto, pp.4122~4127
6. Francois Pierrot, Frederic Marquet, Olivier Company, Thierry Gill, 2001, "H4:Parallel Robot: Modeling, Design and Preliminary Experiments," Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp.3256~3261
7. S.Tarao, E.Inohira, M.Uchiyama, 2000, "Motion Simulation Using a High-Speed Parallel Link Mechanism,", Pro. of the 2000 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Rob. & Sys. pp.1584~1589
8. D.Sato, Y.Ishii, T.Shitashimizu, 2001. "3D Graphics-Based Off-line Task Teaching for a Force-Controlled High-Speed Parallel Robot," Pro. of the 4th IEEE Int. Sym on Assembly and Task Planning Soft Research park, pp.122~127