

사면체 조합을 이용한 3-6형태의 스튜어트 플랫폼의 정기구학의 새로운 해석법

A Novel Analytic Approach for the Forward Kinematics of the 3-6-type Stewart Platform using Tetrahedron Configurations

°송 세 경*, 권 동 수**

* 한국과학기술원 기계공학과(Tel:+82-42-869-3082; Fax:+82-42-869-3095 ; E-mail:songsk@robot.kaist.ac.kr)

** 한국과학기술원 기계공학과(Tel:+82-42-869-3042; Fax:+82-42-869-3210; E-mail:kwonds@me.kaist.ac.kr)

Abstract: This paper presents a new analytic approach using tetrahedrons to determine the forward kinematics of the 3-6-type Stewart platform. By using of the tetrahedral geometry, this approach has the advantage of greatly reducing the complexity of formulation and the computational burden required by the conventional methods which have been solved the forward kinematics with three unknown angles. As a result, this approach allows a significant abbreviation in the formulations and provides an easier means of obtaining the solutions. The proposed method is well verified through a series of numerical simulation.

Keywords : parallel manipulator, forward kinematics, tetrahedron

1. 서론

본 논문은 3-6형태의 스튜어트 플랫폼(Stewart platform)[1] 형태의 6자유도 병렬 매니퓰레이터의 정기구학(forward kinematics)의 해석에서 기존에 사용되었던 수치해석적인 해석 방법의 유도과정의 복잡성과 계산부하의 문제점을 극복할 수 있는 보다 빠르고 실용적인 정기구학의 해석방법에 관한 연구이다. 3-6이란 상판에 3개와 하판에 6개의 연결조인트의 수를 의미한다.

병렬 매니퓰레이터에서 역기구학(inverse kinematics) 해석과정은 상판(moving platform)의 위치(position)와 회전(orientation)이 주어진 상태에서 링크의 변위를 구하는 것이고, 정기구학(순기구학) 해석은 링크의 길이가 주어질 때 상판의 위치와 회전을 구하는 것이다. 역기구학의 해석과정은 간단하고 해석해 형태로 주어지는 반면, 정기구학 해석과정은 6개의 링크의 상호간섭으로 인한 고차비선형 방정식을 포함하여 매우 복잡한 수식을 갖게 되므로, 일반적으로 그 유도과정이 복잡하고 해석해(closed-form solution)를 갖지 않으므로 보다 빠른 시간내에 정기구학해를 구할 수 있는 보다 실용적인 해석법을 찾기 위한 연구가 계속되고 있다.

기존의 많은 연구들에서 병렬 매니퓰레이터의 정기구학 해를 수치해석적으로 계산하였다[2-8]. 그 중 가장 많이 사용되었던 수치해석법은 Newton-Raphson 수치해석법이다[2,3,6,10]. 정기구학의 해석과정에서 유도된 고차 비선형 방정식은 수치해석적으로 해석되므로 비수렴 영역이 존재하면 해의 수렴성을 보장하기 어렵고, 계산부하가 크므로 병렬기구의 제어에 큰 부담을 주고 있다. 또한 정기구학의 수치해석방법은 수치적 정밀도(numerical precision), 초기조건과 연산속도에 매우 민감하고 수십 개의 해의 선정에 대한 부담을 크게 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 이루어 지고 있다. 수

치해석방법의 계산부하를 줄이기 위하여, Han은 하나의 추가 센서를 사용하여 3-6형태의 스튜어트 플랫폼의 병렬기구를 해석해(closed form solutions)로 구하였고[9], Ku는 해석해 형태로 유도된 단일 변수를 가지는 16차의 고차방정식의 계산부하의 문제점을 지적하고 Taylor 급수를 사용한 3개의 각도 변수를 가진 근사화된 수치해석법을 제안하였다[10].

그러나 추가센서를 도입한 해석법은 상판과 하판을 연결하는 상부/하부 조인트의 중심부에 변위센서를 장착하여야 하므로 고 분해능 센서의 설치와 인터페이스에 많은 비용과 구현의 어려움을 발생시킨다. 각도변수를 미지수로 사용한 Ku의 연구는 기존의 해석방법보다 정기구학의 실제 계산시간을 단축하였으나, 여전히 정기구학의 유도과정의 복잡성과 고차방정식의 근사화에 따른 수식전개의 복잡성에 기인된 계산부하의 문제점을 내재하고 있다.

따라서 본 논문에서는 6자유도 병렬 매니퓰레이터중 가장 많이 연구되고 있는 형태인 3-6 스튜어트 플랫폼을 대상으로 제안된 사면체 조합을 사용한 정기구학 해석법을 사용하여 기존의 방법보다 유도의 간결성과 최종 유도된 수식의 비선형도를 줄일 수 있는 해석방법을 제안한다. 정기구학 해를 유도하기 위한 방법으로 제안된 사면체(tetrahedron) 정리를 적용하여 정기구학을 해석하는 방법으로 설명한다. 이와 더불어 제안된 정기구학 해석법을 사용한 시뮬레이션 결과를 통하여 유용성을 보인다.

2. 사면체 기하학(Tetrahedron Geometry)

사면체의 기하적 특징은 병렬 매니퓰레이터의 정기구학의 해석을 위한 유용한 실마리를 제공한다. 사면체는 4개의 꼭지점(vertex)들이 동일평면상에 존재하지 않고 서로 겹치지 않는 4개의 면을 지닌 형상을 의미한다. 이런 사면체의 특징은 공간상의 한 점을 정의하기 위한 최소의 구속조건이 세 개인 것처럼, 베이스의 3개의 꼭지점의 좌표를 알고, 3개의 공간길이를 알면 공간상의 꼭지점(O)을 찾을 수 있음을 이용하여 병렬기구의 정기구학의 해석 방법으로 활용될 수 있다. 다시 말하