

# 기계가공로봇의 설계, 제어 및 프로그램에 관한 연구

박근우\*(창원대 메카트로닉스공학부)

Study on Design, Control and Program of a parallel manipulator for machining work

K. W. Park(School of Mechatronic, Changwon Nat'l Univ.)

## ABSTRACT

In this paper, I propose double parallel manipulator for machining work And I derive an kinematics by combining the kinematics of the central axis and the kinematics of the link train of linear actuator The Jacobian of the central axis and the Jacobian of the link train of the linear actuators are induced by a motor algebra and they are combined to an entire Jacobian matrix to transform the velocity of the end effector to those of linear actuators. And then this paper presents the development of control system and user interface program for machining work.

**Key Words** Machining work (기계가공작업), Double Parallel Manipulator (2단 병렬기구), Control Program(제어 프로그램), GUI Program(GUI 프로그램)

### 1. 서론

본 논문은 기계 가공 작업 자동화를 위한 적합한 머니플레이터의 설계하고 이를 실제 시스템으로 구현하는 연구이다 이 작업은 분진과 소음으로 작업 환경이 매우 열악하여 작업자들이 기피하는 대표적인 업종이다. 따라서 관련업체에서는 작업환경을 개선하기 위해서 로봇을 이용한 자동화를 추진하고 있다 그러나 이러한 가공작업은 로봇 머니플레이터의 강성이 커서 가공 작업시 변형과 진동이 적어야 하며 작업공간이 커서 다양한 형상의 가공물을 다룰 수 있어야 한다 대표적인 고강성 머니플레이터에 관한 연구로 Gough가 처음으로 개발한 것을 Stewart<sup>1</sup>가 변형한 스튜어트 플랫폼이 있다 이 기구는 Hunt<sup>2</sup>에 의해서 장단점이 분석되고 Fichter<sup>3</sup> 등에 의해 기구학과 동역학 해석이 완성됨으로써 실용화되었다 본 논문에서는 기계 가공작업에 적합한 2단 병렬기구를 제안하며 이를 제어하기 위한 기구학 해석 및 자코비안을 유도한다. 또 실제 구현된 시스템을 3차원 미지형상가공에 적용하기 위한 제어기를 개발하고 일반사용자들을 위한 사용자 인터페이스 프로그램을 개발한다.

### 2. 기계 가공 머니플레이터

#### 2.1 머니플레이터의 설계

기계 가공 작업을 위한 2단 병렬기구 머니플레이터를 Fig. 1과 같이 제안한다 DPM은 2개의 베이스와 플랫폼 그리고 중앙축으로 되어 있다. 첫째 단(first parallel mechanism : First PM)에는 3개의 리니어 액추에이터, (LA\_1, LA\_2, LA\_3)로 이루어져 있으며 각 리니어 액추에이터의 양단에는 유니버설 조인트가 설치되어 베이스-1(base-1)과 플랫폼-1(platform-1)에 각각 연결되어 있다

중앙축은 머니플레이터의 중앙에 있으며 한 몸체로 되어있는 플랫폼-1과 둘째 단(second parallel mechanism : Second PM)의 베이스-2(base-2)를 축을 따라 이동하게 하는 가이드 역할을 한다 둘째 단은 2개의 리니어 액추에이터(LA\_4, LA\_5)로 이루어져 있으며 첫째 단과 같이 양단에 설치된 유니버설 조인트가 베이스-2(base-2)와 플랫폼-2(platform-2)에 각각 연결되어 있다 마지막 회전 액추에이터 (A6)는 플랫폼-2에 설치되어 그리퍼의 회전운동을 담당한다

이 기구는 각 단의 운동이 서로 독립적으로 행해

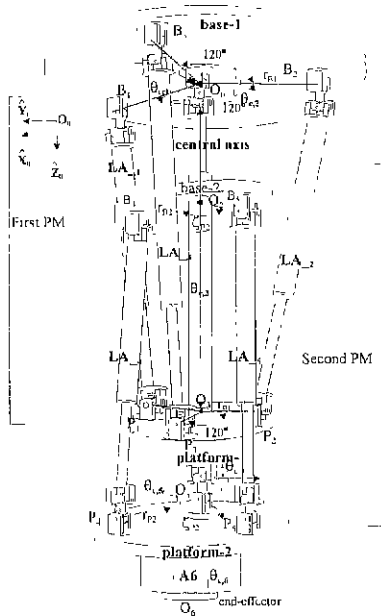


Fig 1 Double Parallel Manipulator

지므로 다관절 로봇과 같이 위치와 자세 운동이 분리된다 즉, 첫째 단은 둘째 단을 공간상에 위치시키는 기능을 하며 둘째 단은 플랫폼-2의 각도를 조절함으로써 그림퍼의 요(yaw)와 피치(pitch)운동을 생성한다 롤(roll)운동은 플랫폼-2에 설치되어있는 A6의 회전운동으로 행해지는데 이 운동만이 유일하게 회전 액추에이터에 의한 직접 구동이고 나머지 운동은 리니어 액추에이터의 길이 조절에 의한 간접 구동이다.

병렬기구의 기구학적 구조의 특성을 분석하기 위해서 Gossellin이 제안한 parallelism의 정도<sup>5</sup>를 도입하면 2단 병렬기구의 parallelism 정도는 75%로 넓은 작업 공간의 직렬기구의 장점과 고 강성의 병렬기구의 장점을 가지는 기구가 된다.

## 2.2 기구학 해석

2단 병렬기구의 특징은 운동을 구속하는 중앙축이 있다는 것이다. 중앙축은 Fig. 1과 같이 베이스-2를 중앙축을 따라 이동하게 함으로써 베이스-2와 한 몸체로 되어 있는 플랫폼-1의 운동과 플랫폼-2의 운동을 연결해 주는 역할을 한다. 그러므로 기구의 운동이 중앙축의 관절의 운동으로 표현되어 운동해석이 간단해진다

중앙축 기구학 해석(kinematics)은 일반 다관절로 가정하고 D-H방법을 이용하여 구하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} (\overline{O_0O_6}, {}^0R_6) &= \mathcal{N}_c(\theta_c) \\ \theta_c &= \mathcal{N}_c^{-1}(\overline{O_0O_6}, {}^0R_6) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $\overline{O_0O_6}$ 는 좌표 {0}와 좌표 {6}사이 거리벡터.

${}^0R_6$ 는 좌표 {6}의 자세를 나타내는 회전행렬  $\theta_c$ 는 중앙축 피동 파라미터( $[\theta_{c,1}, \dots, \theta_{c,6}]$ ),  $\mathcal{N}_c(\cdot)$ 와  $\mathcal{N}_c^{-1}(\cdot)$ 은 각각 중앙축의 정/순방향 기구학 함수이다 그러나 식 (2)에서 다루는 값들은 피동 파라미터로 직접제어가 불가능하다. 그러므로 제어가 가능한 능동 파라미터, 즉, 리니어 액추에이터의 길이를 첫째 단과 둘째 단

$$\begin{aligned} {}^0B_iP_i &= {}^0O_0O_3 + {}^0R_3{}^3O_3P_i - {}^0O_0B_i, (i=1, 2, 3) \\ {}^5P_iB_i &= {}^5O_5O_2 + {}^5R_2{}^2O_2B_i - {}^5O_5P_i, (\tau=4, 5) \end{aligned} \quad (2)$$

로 각각 구함으로써 기구학 해석이 완료된다

## 2.3 자코비안 해석

자코비안은 속도제어를 위해서는 필수적이다<sup>6</sup> 일반 병렬기구의 자코비안  $J$ 는 아래와 같이 플랫폼의 속도  $[V_P \ \Omega_P]^T$ 를 리니어 액추에이터의 속도  $([\dot{\theta}_1 \ \dot{\theta}_2 \ \dots \ \dot{\theta}_6]^T)$ 로 변환하는 행렬로 정의된다

$$[\dot{\theta}_1 \ \dot{\theta}_2 \ \dots \ \dot{\theta}_6]^T = J_{(6 \times 6)} [V_P \ \Omega_P]^T \quad (3)$$

그러나 2단 병렬기구에서는 플랫폼의 속도를 2개 또는 3개뿐인 링크에 전달해야 하므로 식 (3)과 같이 직접 변환될 수 없다. 본 논문에서는 모터의 원리<sup>7</sup>를 이용하여 각 단의 구속운동을 포함한 자코비안을 유도한다. 각 조인트의 모터는 단위속도와 플랫폼의 결과 속도로 정의되는데  $i$ -링크 트레인의  $j$ -조인트  $\theta_{ij}$ 가 단위 속도로 구동될 때 플랫폼에 부여된 점  $O$ 의 회전 및 선 속도를  $Vel\_O$ 로 나타내면

$$Vel\_O = \dot{\theta}_{11} {}^0M_{11} + \dot{\theta}_{22} {}^0M_{22} + \dots + \dot{\theta}_{ij} {}^0M_{ij} \quad (4)$$

로 표현된다. 여기서  ${}^0M_{ij}$ 는  $6 \times 1$ 의 배열로,  $i$ -번째 링크 트레인의  $j$ -번째 조인트가 단위 속도로 구동될 때 출력 링크의 회전속도와 점  $O$ 의 선속도의 집합으로 정의되는 단위 모터다. 그리고 첨자  $f$ 는 자유도이고,  $\dot{\theta}_{ij}$ 는  $j$ -번째 조인트의 속도이다.

2단 병렬기구의 자코비안을 구하기 위해서 중앙축  $Vel\_P_c$ 와  $i$ -번째 능동 링크 트레인 끝단의

$$Vel\_P_i \text{ 는 각각 } Vel\_P_c = {}^P J_c \dot{\theta}_c \quad (5)$$



