

# 슬라이딩 모드를 이용한 유연한 매니플레이터의 위치제어

## Position Control for a Flexible Manipulator Using Sliding Modes

김정구\*, 박창용\*\*

\* 금오공과대학교대학원 기전공학과(Tel : 054-467-4406; Fax : 054-467-4200 ; E-mail:kimjgoo@hanmail.net)

\*\* 금오공과대학교 기계공학부(Tel : 054-467-4215; Fax : 054-467-4200 ; E-mail:cypark@knut.kumoh.ac.kr)

**Abstract :** This paper presents a sliding mode controller based on variable structure for the tip position control of a single-link flexible manipulator. Dynamic equations of a single-link flexible manipulator are derived from the Euler-Lagrange equation using a Lagrangian assumed modes method based on Bernoulli-Euler Beam theory. Simulation results are presented to show the validity of the system modeling, controller design.

**Keywords :** Flexible Manipulator, Sliding Mode Control, Robust Control.

### 1. 서론

현대는 고도의 기술의 발전에 힘입어 자동화 생산 공정에서의 로봇 매니플레이터의 활용도가 높다. 특히 우주공간이나 방사능 지역 같은 극한 환경 하에서의 우수한 성능과 신뢰성을 요구하는 로봇 매니플레이터는 효율을 높이기 위하여 중량을 경량화 함으로서 고속운동을 가능케 하고 구동 에너지를 줄일수 있게 되었다. 그러나 조작기의 경량화와 고속화에 따른 강도저하와 관성력의 증가로 인하여 발생하게 되는 진동 문제는 정밀도 및 안정도에 큰 영향을 미치며 특히 고속의 움직임에 있어서는 이러한 문제점들이 더욱 심각하게 발생된다. 이러한 사실로 인하여 유연한 로봇 매니플레이터에 대한 보다 정밀한 동역학적인 방정식에 근거한 강인한 제어기의 설계가 요구된다.

탄성을 고려하는 방법으로는 일반적으로 가정된 모드(assumed mode)법과 유한요소법(finite element method)이 많이 사용된다. 이들 방법은 연속적인 시스템을 유한 차원을 가지는 이산화된 시스템으로 나타낸다. 그리고 구조적인 탄성을 갖는 시스템은 제어 입력보다 일반화 좌표의 수가 많기 때문에 강체 로봇보다 좀 더 정밀한 제어 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 가정된 모드법과 Lagrangian 접근법을 이용하여 유연한 로봇 매니플레이터에 대한 동역학 방정식을 유도하였으며[4], 구조적 불확실성, 파라미터 불확실성, 외부의란에 대하여 강인성을 갖는 가변 구조 제어를 이용하여 제어기를 설계하였다.

가변 구조 제어는 스위칭 평면상에서 시스템의 구조를 임의로 변화시켜 슬라이딩 운동이라는 특이한 동특성을 얻는 제어 방식이다. 이러한 슬라이딩 모드 동안에는 시스템 매개 변수 변화와 외부 잡음 등의 불확실성에 강인한 특성을 가지며 빠른 응답 특성과 선형계는 물론 비선형계, 파라미터 변동계, 시변계 등에 용이하게 적용되며 원하는 특성을 전환면으로서 설계하면 시스템

은 증가적으로 원하는 특성에 구속되어 적용하게 된다. 이 결과 슬라이딩 모드 제어는 제어입력이 연속적으로 변화하는 비선형 제어 성격과 슬라이딩 모드가 존재하면 원하는 특성으로 적용하는 적응제어 성격의 양면을 가지고 있게 된다[5].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 가정모드법과 Lagrangian 방정식을 이용하여 유연한 로봇 매니플레이터의 동역학 방정식을 유도하며, 3장에서는 가변 구조 제어 이론을 이용한 슬라이딩 모드 제어기를 설계하고 채터링을 제거하기 위해 불연속적인 제어입력을 연속적인 제어입력으로 수정하여 제어기를 설계한다. 4장에서는 슬라이딩 제어기를 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 5장에서는 결론을 맺는다.

### 2. 유연한 로봇 매니플레이터의 모델링

본 장에서는 한쪽 끝에 토크  $\tau$ 에 의해 구동되는 모터가 연결되어 있고, 다른쪽 끝은 자유단인 단일 유연 매니플레이터(Fig. 1)의 상태공간 방정식을 유도한다.

접근법으로 가정된 모드법을 이용하였고 빔의 뎀핑은 무시하였다. 빔은 높이가 폭보다 큰 Bernoulli-Euler Beam 이고 모든 변형은 아주 작은값이며 전단 변형과 회전 관성 효과는 무시되었다.

빔의 관성모멘트는  $I_b$ , 선형질량밀도는  $\rho$ , 빔의 길이는  $L$ , 회전각은  $\theta(t)$ , 허브의 관성모멘트는  $I_h$ , Young 계수는  $E$ , 빔의 단면적은  $A$ , 횡면적에 대한 관성모멘트는  $I$ 로 정의하였다.

탄성 매니플레이터의 전체 변위는

$$y(x, t) = \theta(t)x + w(x, t) \quad (1)$$

여기서  $x$ 는 빔의 중립선의 접선에서 허브로부터의 길이를 나타내고  $w(x, t)$ 는  $x$ 의 위치에서 접선으로부터 빔까지의 탄성변