

단일 유연 링크 매니플레이터의 복합 퍼지 제어

Composite Fuzzy Control of a Single Flexible Link Manipulator

김제승*, 이수한**

* 울산대학교 기계·자동차공학부 대학원(Tel : 82-52-259-2149; Fax : 82-52-259-1680; E-mail : kjs009@orgio.net)

** 울산대학교 기계·자동차공학부(Tel : 82-52-259-2137; Fax : 82-52-259-1680; E-mail : shlee@uou.ulsan.ac.kr)

Abstract : To control a light weight flexible manipulator, a composite fuzzy controller is proposed. The controller is designed based on two time scaled models. A singular perturbation technique is applied for deriving the models. The proposed controller, however, does not use the complex equilibrium manifold equations, which are usually needed in the controller based on the two time scaled models. The controller for a slow sub-model and a fast sub-model are T-S type fuzzy controllers, which use 3 linguistic variables for each sub-model. A step trajectory is used in simulations as a reference trajectory of joint motions. The results of simulations with the proposed controller show excellent damping of flexible motions compared to a controller with derivative control of flexible motions.

Keywords : flexible manipulator, singular perturbation technique, composite control, fuzzy control, flexible motion control

1. 서론

유연 링크 로봇의 제어에 대한 연구는 크게 두 방향의 연구가 있어왔다. 한 연구방향[1,2,3]은 해당 관절을 기준으로 각도와 진동을 같은 위치에서 측정하고 제어하는 방법이다. 이 경우는 진동 측정과 진동 제어가 동일 점에 위치하므로 이 둘 사이의 위상은 최소(minimum)이다. 다른 한 방향의 연구[4,5]는 끝 점의 제어인데, 이 경우는 제어하는 위치와 움직임을 측정하는 위치가 다르므로 이 둘 사이는 비 최소 위상(non-minimum phase)이고 시간 지연도 있어 삼차 이상의 진동 모우드는 제어가 힘들다고 알려져있다[7]. 또 다 링크(multi-link)의 경우에는 측정의 문제점과 제어 효율성 때문에 보통 진자의 제어 방법이 많이 연구되고 있다. 본 연구도 측정과 제어를 동일 위치에서 하는 진자에 속한다.

유연 링크 로봇은 모터 축에 대한 링크의 회전운동이 링크에 진동을 유발하고, 유발된 진동은 링크의 회전 운동에 영향을 끼치는 등으로 상호 연성된 운동을 한다. 그리고 제어 면에서는 모터하나로 링크의 회전 운동과 이론상 무한개인 진동 모우드를 제어해야되는 문제점이 있다. 이러한 문제점은 두 시간 분리(two-time scale) 모형을 이용하면 비교적 제어에 적용하기 쉬운 운동 모형을 구할 수 있다[3,6,10]. 두 시간 모형으로 유도된, 느린 부 모형(slow sub-model)은 보통의 강체 링크 로봇의 모형과 동일하고 빠른 부 모형(fast sub-model)은 평형 매니폴드(equilibrium manifold)에 대한 진동 모형이 된다. 이 각 각의 모형에 대하여 제어기를 설계한다. 복잡한 계의 평형 매니폴드 식을 사용하지 않기 위하여 빠른 부모형의 제어기에 높은 주파수 통과 필터를 사용하여 제어기를 설계한다. 본 연구에서는 관절 축의 운동과 유연 운동을 시간 분리(time separation)를 고려하여 각 각 느린 변수와 빠른 변수로 사용한다.

2. 운동방정식

유연 링크 로봇의 운동방정식은 Lagrange 식을 이용[1,2]하거나 Hamilton의 원칙을 이용하여[5] 유도하는 것이 일반적인 방법이다. 하지만 Hamilton의 원칙을 이용하는 방법은 다 링크의 경우에는 경계조건에 관련된 식의 해를 구하기 힘들고, 또한 모형의 정밀도 등에서도 타 방법과 차이가 없기에 거의 사용되지 않는다. 본 연구에서는 다 링크의 적용을 대비하여 Lagrange 식을 이용하여 유도된 운동방정식을 사용한다. Fig. 2.1에 본 연구의 대상인 단일 유연 링크 매니플레이터와 관련 좌표를 나타내었다. 그림에서 작은 값으로 가정한 변위, δ ,는 다음과 같이 표시된다.

$$\delta(x, t) = \sum_{i=0}^n q_i(t) \phi_i(x) \quad (2.1)$$

이 식에서 첨자 i 는 해당 진동 모우드를, ϕ_i 는 진동형을 나타내며 q_i 는 해당 진동 모우드의 시간에 대한 진폭을 나타낸다. 그리고 n 은 이론상으로는 무한개의 진동 모우드를 나타내지만 모형의 정밀도, 링크의 감쇠, 그리고 모터의 작동 대역폭 등을 고려하여 보통 n 개의 모우드 만 고려한다. m 관절 유연 링크 로봇의 운동 방정식은 일반적으로 다음과 같이 표시된다 [1,2,3,6].

$$M(\theta, q) \begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{q} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_1(\theta, \dot{\theta}) \\ f_2(\theta, \dot{\theta}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} g_1(\theta, \dot{\theta}, q, \dot{q}) \\ g_2(\theta, \dot{\theta}, q, \dot{q}) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ Kq \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

여기서, M 은 관성행렬을, f_i 는 중력, 코리올리스 력, 그리고 원심력항을, g_i 는 각변위, 각속도, 유연운동의 변위와 속도가 연성된 항을, θ 는 각변위를, q 는 유연운동 진동 모우드의 진폭