

# 특이성에 대한 퍼지 제어

## Fuzzy Control Through Singularity

°이 헤 린\*, 경 정 주\*\*

\*한양대학교 전자통신전파공학과(Tel : 82-02-2282-5307; E-mail: hrinlee@hymail.hanyang.ac.kr)

\*\*한양대학교 전자전기공학부(Tel : 82-02-2282-1724; E-mail: cchung@email.hanyang.ac.kr)

**Abstract** : For irregular nonlinear systems, switching control form is proposed recently. This control law is designed to overcome the singularities through the scheme that switches between an approximate tracking law close to the singularities, and an exact tracking law away from the singularities. But, that form has problems which may break the system's stability through unstable control input value at switching procedure. In this paper, We propose new switching control law which supervises approximate tracking control law and exact tracking control law by fuzzy rules to overcome instability problem in switching procedure.

**Keywords** : Fuzzy supervisory control, Ball and Beam system, switching control, Singularity

### 1. 서론

퍼지 제어는 기계적인 방법이 아닌 전문가의 지식이나 경험이 직접적으로 시스템에 개입되고 있는 경우, 이 전문가적 지식을 손쉽게 수용, 기계화하여 보다 높은 차원의 자동화 시스템을 구현하는 것을 목적으로 제안된 일종의 비선형 제어 방법이다[5]. 초기의 퍼지 제어기는 일반적 선형 제어기와 달리 제어대상의 차수나 비선형도에 관계없이 구현될 수 있다는 장점으로 큰 주목을 받아왔으나 제어방법으로의 안정성에 대한 검증이 미흡한 단점이 있었다. 그 후 Tanaka-Sugeno 퍼지시스템 형태가 제안되면서 퍼지 시스템이 asymptotically stable하기 위한 충분조건이 Lyapunov direct method를 통해 제시되었고[8], 또한 TS system을 이용해 uncertain nonlinear plant를 표현한 퍼지 모델에서 stability criterion과 robust area를 갖기 위한 uncertainty의 조건이 도출되었다[4]. 이런 과정으로 퍼지 비선형 제어기를 Piecewise 선형제어기의 parallel distributed compensation 형태로 나타낼 수 있게 되면서 제어기로서의 안정성을 검증할 수 있게 되었다. 그러나 이런 TS system 형태로의 표현을 통한 안정성의 검증 문제는 시스템이 regular하다는 조건을 가짐으로써, irregular한 비선형 시스템에 적용시킬 수 없는 한계를 보인다.

비선형 시스템에 적용하는 제어방법 중 최근 몇 해 동안 주목받아온 Feedback Linearization은 1970년대 state feedback을 통한 linearization의 방법으로 제안된 이후 비선형 시스템의 Jacobian linearization과 달리 비선형 시스템의 입출력 관계를 정확히 선형화할 수 있는 방법으로 발전하면서 비선형 제어기 개발에 많은 연구결과를 가져온 분야이다[1]. Feedback linearization의 주된 목적은 비선형 system의 dynamics를 선형화된 형태로 transformation함으로써 선형시스템에서 상립되어 있는 여러 가지 제어방법을 적용시킬 수 있도록 하는 것이다.

Tomlin은 irregular한 비선형 시스템에 기존의 approximate feedback linearization law와 exact feedback linearization law를 스위칭 시키는 제어 방법을 사용하여 특이성(singularity)을 극복하고 시스템의 안정성을 얻을 수 있음을 제안했다[9]. 이 방법은 시스템의 상태를 두 영역으로 나누어, 특이성을 가질 수 있는 상태 영역에서는 approximate feedback linearization law를 적용하여 특이성의 영향을 받지 않도록 하고, 나머지 영역에서는 exact feedback linearization law를 적용하여 정확한 referenc tracking을 얻어냈다.

그러나 이 경우 스위칭의 경계를 정하는 문제와, 스위칭 되는 순간에 야기될 수 있는 불안정한 control value를 피하기 위한 switching time의 결정이 복잡한 과정으로 주어져 있다. 또한, 이런 불안정한 control input이 시스템의 unmodelled dynamics에 영향을 미쳐 시스템의 안정성을 깨뜨릴 수 있는 여지가 있다.

본 논문에서는 irregular한 비선형 시스템에 대한 제어 방법으로 제안된, 근사 추적(approximate tracking) 제어와 정확 추적(exact tracking) 제어를 스위칭 시키는 방식을 변형하여, 퍼지 개념으로 supervisory 제어 형태로 병합시키는 새로운 스위칭 제어 방법을 구현하여 시스템의 특이성을 극복하는 동시에 스위칭을 통해 나타날 수 있는 불안정한 parameter을 개선시키는 효과를 얻고자 한다. 본 연구에서는 Ball and Beam 비선형 시스템을 대상으로 하여 근사 추적(approximate tracking) 제어기와 정확 추적(exact tracking) 제어를 퍼지 룰로 병합시켜 적용시키는 새로운 스위칭 제어기를 설계하고 그 안정성과 타당성을 검증하려 한다.

### 2. Switching Control through singularity

#### 2.1 Ball and Beam System

Ball and Beam system은 그림과 같이 수평으로 놓인 저울대 위에서 공의 위치를 제어하는 시스템이다.  $r$ 은 저울대의 중심에서부터의 공의 중심까지의 거리이고,  $\theta$ 는 저울대의 각도를 가리킨다. 공은 저울대가 상하로 움직일 경우 항상 저울대에 접촉된 상태를 유지하고 있다고 가정할 때 이 시스템의 dynamics는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= B(x_1 x_4^2 - G \sin x_3) \\ \dot{x}_3 &= x_4 \\ \dot{x}_4 &= u \\ y &= x_1 - r_0 \end{aligned} \tag{1}$$

$B = M/(J_b/R^2 + M)$   
 $G$  : 중력가속도  
 $J_b$  : 공의 관성모멘트  
 $M$  : 공의 질량  
 $R$  : 공의 반경