

# 새로운 적응 슬라이딩 모드제어에 관한 연구

## A Study on the new adaptive sliding mode control

박 승 규\*, °김 민 찬\*, 정 은 태\*\*, 꺾 균 평\*

\* 창원대학교 전기공학과(Tel : 82-055-279-7514; Fax : 82-055-263-9956 ; E-mail:skpark@sarim.changwon.ac.kr)  
 \*\* 창원대학교 제어계측공학과(Tel : 82-055-279-7557; Fax : 82-055-262-5064 ; E-mail:jet26@sarim.changwon.ac.kr)

**Abstract** : This paper proposes a modified adaptive sliding mode control which improve the performance by making the system follow the nomianl trajectories controlled by nomianl controller. This method is used for the system with unknown parameter uncertainty and bounded uncertainties.

**Keywords** : sliding mode control, adaptive

### 1. 서론

슬라이딩모드제어(Sliding Mode Control:SMC)는 파라미터 변동이나 모델링의 오차, 외란에 둔감한 강인제어기법으로서 이제까지 많은 연구결과와 실제 적용 예를 가지고 있지만[1] 근본적으로 도달기간(Reaching Phase)문제와 입력 떨림(Input Chattering)현상을 가지고 있다[2][3]. SMC의 특성중에 하나는 SMC제통의 동특성이 상태들의 선형결합 형태인 슬라이딩 평면에 의해서 좌우되기 때문에 슬라이딩 평면의 개수 즉 입력의 개수만큼 동특성의 차수가 줄어든다는 것이다. 이것은 SMC가 여러가지 모델기반 선형제어 이론과 결합되어 사용되는 것을 어렵게 하며 성능면에서 외란이 불확실성이 없는 경우의 다른 제어기법을 적용시킨 경우에 비해서 뒤질 수 밖에 없다는 것을 나타낸다. 이것은 SMC의 보수성(conservatism)이라고 지적된 바 있다[5]. SMC의 이러한 보수성을 없애고 도달기간 문제를 해결하기 위한 논문이 발표되었다[5]. 반면에 크기를 모르는 파라미터 불확실성이 존재하는 경우에 대해 적응슬라이딩 모드 제어기법이 연구되었다. 본연구에서는 크기가 알려지지 않은 파라미터 불확실성을 갖는 계통에 대해서 공칭제어기를 최적제어기로 구성하여 최적제어기와 SMC가 결합된 형태를 갖도록 함으로써 불확실성이 존재하는 경우에도 불확실성이 존재하지 않는 최적제어 공칭계통과 같은 성능을 갖도록 하는 것을 가능하게 하였다. 도달기간을 제거하는 문제는 가상상태의 초기치를 슬라이딩 평면의 초기값이 영으로 되도록 결정하여 줌으로써 간단히 해결된다.

### 2. 문제 설정

다음과 같은 불확실성을 포함하는 n차 계통을 고려한다.

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + D_h h(t) \theta + D_r f(t) \quad (1)$$

여기서  $x \in R^n$  은  $u \in R^m$  은  $f \in R^r$  와 외란행렬  $D_r$  는  $D_h$  는 다음의 정합조건(Matching Condition)을 만족한다.

$$rank([B : D_h : D_r]) = rank B \quad (2)$$

정합조건을 만족시킨다는 것은 불확실성이 다음과 같이 표현될 수 있음을 의미한다.

$$\begin{aligned} D_h h(t) &= B D_1 h(t) \\ D_r f(t) &= B D_2 f(t) \end{aligned} \quad (3)$$

식(1)은 위의 정합조건에 의하여 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\dot{x}(t) = Ax + B(u(t) + D_1 h(t) \theta + D_2 f(t)) \quad (4)$$

여기서  $f(x, t)$  는 그 크기가 다음과 같이 제한되어 있다.

$$\|f(x, t)\| \leq \rho(x, t) \quad (5)$$

기존의 슬라이딩 평면은 다음과 같이 정의된다 [2].

$$S = \{x \mid S = \Sigma x(t) = 0\} \quad (6)$$

여기서,  $C = [c_1 \dots c_n]$   $c_1, \dots, c_n$  는 슬라이딩 모드의 동특성이 안정하도록 선택된다.

크기의 제한값을 모르는 파라미터 불확실성에 대해서 적절한 보상을 하기 위해서 파라미터 적응 알고리즘이 필요하며 적절한 파라미터 추정을 통하여 이같은 불확실성을 상쇄하는 입력을 구할 수 있는 기존의 결과가 존재한다.

적응슬라이딩 모드 제어입력은 다음과 같다.

$$u = (\Sigma B)^{-1} \Sigma Ax - h(t) \hat{\theta} - \rho(x, t) \text{sgn}(s) \quad (7)$$

파라미터 적응알고리즘은 다음과 같다.

$$\dot{\hat{\theta}} = \gamma h(t)^T s \quad (8)$$

본 연구에서는 이러한 경우에 공칭제어기에 의해서 제어되는 공칭시스템의 동특성을 갖도록 하며 이것이 가능하려면 슬라이딩 평면의 동특성이 공칭제어기에 의해서 제어되는 공칭시스템과 같아야 된다는 것을 의미한다. 이와 동시에 도달기간 문제를 해결한다.

### 3. 새로운 적응 슬라이딩 모드제어

기존의 적응 슬라이딩 모드 제어에서 도달기간을 없애고 슬라이딩 평면이 공칭계통의 동특성을 갖도록 하기 위해서 다음과