

# 非整合條件 下의 슬라이딩 모드 觀測器를 이용한 強忍 制御

## Robust control using the sliding mode observer in the presence of unmatched uncertainties.

°한 상 철\*,박 인 규\*,함 운 철\*

\* 전북대학교 전자공학과(Tel : 82-063-270-2399; Fax : 063-270-2405 ; E-mail: wcham@moak.chonbuk.ac.kr)

**Abstract** : In this paper, sliding mode observer design principles based on the equivalent control approach are discussed for the systems which may not satisfy the matching conditions. We propose a new approach for designing a sliding observer and the proof of the stability of the state reconstruction error system for time-invariant systems using the Lyapunov method. The reaching time to the sliding surface, the sliding dynamics of the system, the stability of the reconstruction error system via Lyapunov method, sufficient conditions for the existence of the sliding mode are studied.

**Keywords** : sliding, matching condition, observer, Lyapunov

### 1. 서론

슬라이딩모드제어란 미리 정해 놓은 슬라이딩 평면을 경계로 시스템의 구조를 임의로 변화시켜 슬라이딩 모드라는 특이한 동 특성을 갖는 제어방법이다. 슬라이딩모드제어는 임의의 초기상태에서 슬라이딩 평면 위로 도달시키는 도달 모드와 슬라이딩 평면을 따라서 움직이는 슬라이딩 모드로 나뉜다. 도달구간에서는 상태가 슬라이딩 평면을 벗어나 있어 시스템의 견실성을 보장할 수 없지만 슬라이딩 모드동안에는 시스템의 매개변수 변화나 외란등의 불확실성에 견실한 특성을 가진다. [1][2]

즉 정합조건을 만족시키는 시스템이면 슬라이딩모드의 초 평면 상에서의 동작은 불확실성에 불감으로 되어 불변성을 유지하게 되고, 이 때문에 슬라이딩모드제어는 정합조건을 만족시키는 제어 대상의 불확실성에 대해서는 강인 안정하다고 인식되어왔다.[3] 그러나 슬라이딩모드제어의 견실성도 정합조건을 만족하지 않는 불확실성을 가지는 시스템에서는 슬라이딩 모드 구간에서 시스템에 예기치 못한 성능을 유발시키게되어 이는 슬라이딩모드제어의 단점중의 하나로 문제시되고 있다. 그리고, 실제의 시스템에서는 정합조건이 성립하지 않는 일이 많기 때문에 정합조건을 다루는 연구가 많이 이루어지고 있다.[3][4][5]

본 논문에서는 [4][5][6]에서의 연구를 응용하여 불확실성이 정합조건을 반드시 만족한다고 할 수 없는 시스템을 제어대상으로 하여 슬라이딩모드제어를 구성할 수 있도록 하는 조건에 대해서 고찰한다. 또 상태에 대한 정보를 얻기 위해서 슬라이딩모드 관측기를 구성하고[7], 관측기 오차로 표현되는 여러 시스템을 정의하고 이 시스템에 대한 입력을 설계해서 시스템의 안정도를 Lyapunov 방법을 이용해서 증명해보고자 한다.

### 2. 슬라이딩 모드 제어

#### 2.1 문제설정

다음의 시스템을 고려하자.

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + bu(t) + v\zeta(t) \\ y(t) &= cx(t) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $x(t) \in R^n$ 는 상태변수이고  $A \in R^{n \times n}$ ,  $b \in R^{n \times 1}$ ,  $u(t)$ 는 제어입력,  $v \in R^{n \times 1}$  그리고  $\zeta(t)$ 는 외부 외란이다. 본 연구에서는 외부 외란  $\zeta(t)$ 는  $M = \sup(|\zeta|)$  을 만족하며 행렬쌍  $(A, b)$ 는 완전 제어 가능 (completely controllable) 이고 행렬쌍  $(A, c)$ 는 완전 관측 가능 (completely observable)이라고 가정한다.

#### 2.2 슬라이딩 평면 및 제어입력 설계

슬라이딩 모드제어는 임의의 초기상태로부터 설정된 평면에 도달하기까지의 도달 모드와 평면에 도달한 후 평면을 따라 움직이는 슬라이딩 모드의 두 구간으로 나누어지는데 슬라이딩 모드동안에는 시스템의 상태가 슬라이딩 평면으로 제한되어 시스템이 외부잡음에 영향을 받지 않게 된다. 본 논문에서는 슬라이딩 평면을 다음과 같이 설정한다.

$$\delta = s^T x = 0 \quad (2)$$

슬라이딩모드제어에 있어서 제어입력  $u$ 는 슬라이딩모드를 유지시켜 주는 등가 제어 입력  $u_{eq}$ 와 슬라이딩모드를 발생시키는 입력  $u_{sd}$ 로 구성되는데, 슬라이딩모드 동안의 등가입력 제어  $u_{eq}$ 는 다음과 같다.

$$u_{eq} = -\frac{1}{s^T b} (s^T A x + s^T v \zeta) \quad (3)$$

이때  $s^T b = 1$  이라 가정하면  $u_{eq}$ 는 다음과 같이된다.

$$u_{eq} = -(s^T A x + s^T v \zeta) \quad (4)$$

제어입력  $u$ 를 설계하기 위해서 아래와 같이 슬라이딩모드가 존재하기 위한 필요 충분조건을 고려해 보자.

$$\delta \operatorname{sgn}(\delta) < -\eta < 0, \eta \geq 0 \quad (5)$$

식(2)와 식(5)로 부터 아래의 식(6)을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \delta \operatorname{sgn}(\delta) &= (s^T A x + s^T b u + s^T v \zeta) \operatorname{sgn}(\delta) \\ &= (-u_{eq} + u) \operatorname{sgn}(\delta) \\ &= -(u_{eq} - u) \operatorname{sgn}(\delta) \end{aligned} \quad (6)$$