

비선형 포화시스템 제어에 관한 안정성 연구

A Study on the Stability of Control for Nonlinear Saturated Systems

정상화*, 오용훈**, 류신호***, 김상석***

* 조선대학교 기계공학부(Tel : +81-62-230-7178; Fax : +81-62-230-7178 ; E-mail : shjeong@mail.chosun.ac.kr)

** 한국산업기술평가원(Tel : +81-2-829-8731; Fax : +81-2-829-8806 ; E-mail : yhoh@mail.itep.re.kr)

*** 조선대학교 대학원 기계공학과(Tel : +81-62-230-7178)

Abstract : In realistic control systems, the nonlinear saturation attributes of the control actuator due to physical limitations should be taken into account. This nonlinear saturation of actuators may cause not only deterioration of the control performance but also a large overshoot during start-up and shut-down. As the overshoot increases, the system may become oscillatory unstable. In this paper, the supervisor implementation which guarantees good performance for saturation operation and prevents reset wind-up is presented. Moreover, the sufficient conditions of the stability for saturated systems using supervisory control with a dynamic controller are provided in the discrete-time domain. A numerical example is illustrated to depict the efficiency of supervisory control for a typical saturated production-distribution system controlled by a discrete-time dynamic controller and to validate basic results by simulation.

Key words : Nonlinear system, Supervisory control, Dynamic controller, Reset wind-up, Actuator saturation

1. 서 론

일반적으로 실제 동적 시스템에서 구동기의 구동 범위는 제한되어 있기 때문에 구동기에 충분히 큰 신호가 입력될 때 구동기는 포화된다. 이러한 구동기의 포화는 시스템을 비선형화하며, 시스템의 성능에 지대한 영향을 미친다. Glattfelder와 Schaufelberger⁽¹⁾는 피드백 라인에 비선형 신호 제한기를 설치하여 반와인드업 회로(anti-reset windup circuit)를 제안하였다. 또한 Krikelis^(2,3)는 피드백 회로에 적분기들의 피드백 신호를 제한하는 지능적분기(intelligent integrator)를 고안하였다. 최근에 Walgama⁽⁴⁾는 여러가지 형태로 사용되고 있는 많은 반와인드업 보상기(anti-windup compensator)들은 일반화된 조건기법(generalized conditioning technique)을 이용하여 나타낼 수 있고, 이러한 조건기법은 선형 제어기들의 반와인드업 보상기들을 단일화하는 일반적인 구조를 제공한다고 주장하였다. Campo⁽⁵⁾는 AWBT(Anti-Windup and Bumpless Transfer) 기법을 수식화하고 주파수 영역에서 플랜트 입력이 한계(limitation)와 교체(substitution) 등이 이루어지는 선형 시불변 시스템에 적용이 가능한 일반적인 AWBT의 분석과 종합이론(analysis and synthesis theory)을 발전시켰다. 지난 몇 년 동안 많은 연구자들은 시간영역에서 일반적인 제어기-출력 피드백 혹은 전-상태 피드백을 이용한 포화된 여러 시스템의 안정화에 관한 연구를 수행하였다. 특히 최근에는 Jeong⁽⁶⁾에 의하여 구동기가 포화된 비선형 시스템에 적용되는 슈퍼바이저 제어가 제안되고 연속시간계에서 BIBO 안정성 등이 연구되었다. 이러한 많은 연구에도 불구하고, 아직도 다양한 제어기에 의해 제어되는 포화된 시스템의 안정화 영역을 넓히고 성능을 향상시키려는 연

구가 진행중이다.

본 연구에서는 포화구동기를 가진 시스템에 대하여 좋은 성능을 보장하고 반와인드업을 방지하는 슈퍼바이저(supervisor) 제어기법을 이산시간계에서 도입하였다. 또한 이산시간계 동적제어기(dynamic controller)가 부착된 슈퍼바이저(supervisory) 제어를 이용한 포화된 시스템에 대한 최근 안정성을 이산시간영역에서 유도하였다. 최대구동제한을 갖는 비선형 생산분배 시스템에 제안된 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션을 수행하여 제안된 알고리즘의 타당성을 보였다. 두 종류의 동적 제어기의 일반적인 구조와 동적제어기에 의하여 제어되는 시스템의 강인 안정성에 관한 연구는 Jeong⁽⁶⁾에 의해 체계적으로 수행되었다.

2. 슈퍼바이저 제어기법

비선형 생산분배계에서 구동기가 포화될 때, 적분기 와인드업(windup)과 성능저하를 방지하기 위한 새로운 제어기법을 제안한다. 기본적인 개념은 플랜트의 구속받지 않은(unconstrained) 모델과 같은 공칭 플랜트의 슈퍼바이저(supervisor)를 개발하는 것이다. 구동기가 포화된 시스템을 제어하는 슈퍼바이저 기술은 좋은 성능뿐만 아니라, 넓은 영역에서의 안정성을 보증한다. 구동기가 포화된 n 차 시불변 시스템은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + B \text{sat } u(t), \quad x(0) = x_0 \quad (1)$$

여기서 $x(t) \in R^n$ 은 플랜트의 상태벡터이고, $u(t) \in R^m$ 은 구동기에 대한 제어입력벡터이다. 그리고, $\text{sat } u(t) \in R^m$ 은 플랜트