

**파라미터 불확실성을 가지는
시간 지연 시스템에 대한 보장비용 출력궤환제어**

**Guaranteed Cost Output Feedback Control for Time Delay Systems
with Parameter Uncertainties**

박재훈, 정상섭*, 오도창**, 박홍배***

*경북대학교 전자전기공학부(TEL : +82-53-940-8648; E-mail : pjh416@palgong.knu.ac.kr)
 **건양대학교 제어계측공학과(TEL : +82-41-730-5369; E-mail : docoh@kytis.konyang.ac.kr)
 ***경북대학교 전자전기공학부(TEL : +82-53-950-5548; E-mail : hbpark@ee.knu.ac.kr)

Abstract : This paper considers guaranteed cost output feedback controller for the uncertain time-varying delay systems with delays in state and control input. The uncertainty in the system is assumed to be norm-bounded and time-varying. The sufficient condition for the existence of controller and the guaranteed cost output feedback controller design method are presented. Also, using some changes of variables and Schur complements, the obtained sufficient condition can be reformulated as LMI forms in terms of transformed variables. Using the obtained LMI variables, we derive guaranteed cost controller gain and guaranteed cost.

Keywords : guaranteed cost control, output feedback, delayed system, LMI

1. 서론

대부분의 물리적 시스템은 시간지연을 가지고 있지만, 무시할 수 있을만큼 작거나 모델링을 간단히 하기 위해 고려하지 않는 경우가 많다. 그러나 시간지연으로 인하여 전체 폐루프 시스템이 불안정해질 수 있으므로 시간지연 시스템의 안정성에 관한 연구는 많은 관심을 받아왔다[2,5,6]. 또한 모델 불확실성에 견실한 제어시스템 설계는 많이 요구되는 문제중의 하나이고 과거 수십 년동안 제어기술자와 과학자들로부터 상당한 관심을 받아왔다. 이러한 두 가지의 문제를 같이 다룬 경우도 많이 있어 왔지만 대부분은 파라미터 불확실성과 시간지연에 대하여 견실안정성을 보장하기 위한 제어기를 찾는 쪽으로 노력을 기울여왔다. 그러나 실제 플랜트에서는 안정성뿐만 아니라 원하는 성능을 보장하는 제어기를 설계하는 것이 중요하다.

이러한 문제에 대한 접근방법으로 제시된 것중의 하나가 보장비용제어(guaranteed cost control)이다. 보장비용제어의 목적은 성능지수로 주어진 비용함수의 상한치를 최소화하는 것이다. 그러므로 불확실성에 의해 발생하는 시스템의 성능저하가 구하여진 상한치보다 적어진다고 보장할 수 있다. 이는 Chang과 Peng[1] 이후로 연속시간과 이산시간에서 상당히 확장되어 왔다. Petersen 등[9]은 리카티 방정식 접근방법을 이용하여 자승적 안정화 문제를 자승적 보장비용제어에 관한 문제로 확장하여 다루었다. 또한 Yu 등[10]은 상태궤환에서 불확실성 시간지연 시스템에 대하여 LMI 접근방법을 통한 보장비용제어를 제안했고 Kim[7]이 상태와 제어입력에 시변 시간지연을 가지는 파라미터 불확실성 시스템으로 확장해서 다루었다. 출력궤환에서는 시간지연을 포함한 시스템에 대한 연구가 거의 없다. Ohse 등[8]은 극점배치 제약조건을 포함한 보장비용 출력궤환제어방식을 제안하였고 Eesfani 등[3]은 출력궤환에서 불확실성 시간 지연 시스템으로 확장하였다. 그러나 Eesfani 등[3]의 결과는 상태지연만을 고려하였으며 시간지연 또한 시불변이었다.

따라서 본 논문에서는 상태와 제어입력에 시변 시간지연을 가지는 파라미터 불확실성 시스템으로 확장하여 보장비용 출력궤환제어기를 설계한다. 주어진 시스템을 안정화시키는 출력궤환 제어기의 존재조건과 비용함수(cost function)를 최소화하는 최

적화문제는 LMI 접근방법을 통해 구한다. 2장에서 본 논문에서 다루는 시변 시간지연 시스템과 출력궤환제어기의 구조를 보이고 3장에서 보장비용 출력궤환제어기의 존재조건 및 보장비용 출력궤환제어기 설계방법을 제시한다. 그리고 4장에서 예제를 통하여 제시한 보장비용 출력궤환제어기의 타당성을 검증하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 문제 설정

상태와 제어입력에 시간지연을 가지는 불확실성 시스템

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= [A + \Delta A(t)]x(t) + [A_d + \Delta A_d(t)]x(t-d_1(t)) \\ &\quad + [B + \Delta B(t)]u(t) + [B_d + \Delta B_d(t)]u(t-d_2(t)) \\ y(t) &= Cx(t) \\ x(t) &= \phi_1(t), \quad t \in [-d, 0], \quad d = \max\{d_1(0), d_2(0)\} \end{aligned} \quad (1)$$

을 고려한다. 여기서 $x(t) \in \mathbb{R}^n$ 은 상태, $u(t) \in \mathbb{R}^m$ 은 제어입력, $y(t) \in \mathbb{R}^p$ 는 측정결과, $\phi_i(t)$ 는 주어진 초기함수이다. 지연시간 $d_i(t), i=1,2$ 는 시변이고

$$0 \leq d_i(t) < \infty, \quad d_i(t) = \beta_i < 1, \quad i=1,2 \quad (2)$$

와 같은 가정을 가진다. 또한 파라미터 불확실성은

$$\begin{aligned} \Delta A(t) &= H_1 F_1(t) E_1, \quad \Delta A_d(t) = H_2 F_2(t) E_2 \\ \Delta B(t) &= H_3 F_3(t) E_3, \quad \Delta B_d(t) = H_4 F_4(t) E_4 \end{aligned} \quad (3)$$

의 정합조건을 만족하며 여기서 $F_i(t)$ 는

$$F_i(t) \in \mathcal{Q} := \{F_i(t) : F_i(t)^T F_i(t) \leq I, \quad i=1,2,3,4\} \quad (4)$$

를 만족한다. 시변 시간지연 시스템 (1)에 출력궤환제어기

$$\begin{aligned} \hat{\dot{x}}(t) &= A_K \hat{x}(t) + B_K u(t) \\ u(t) &= C_K \hat{x}(t) + D_K y(t) \\ \hat{x}(t) &= \phi_2(t) = 0, \quad t < 0 \end{aligned} \quad (5)$$