

시간지연을 갖는 프로세서의 견실한 2자유도 제어기

Robust 2 D.O.F. Controller for the Processes with dead-time

° 최주용*, 배종일**, 이만형***

* 부산대학교 지능기계공학과(Tel : 81-51-510-1456; Fax : 81-51-512-9835 ; E-mail: jychoi75@kr.qrio.com)

** 부경대학교 전기공학과(Tel : 81-51-620-1437; Fax : 81-51-620-1437 ; E-mail: jibae@pine.pknu.ac.kr)

*** 부산대학교 기계공학과(Tel : 81-51-510-2331; Fax : 81-51-512-9835 ; E-mail: mahlee@hyowon.pusan.ac.kr)

Abstract : In this paper, A dead-time compensator(DTC) for the processes with long dead-time is proposed. The processes which consist of dead-time, time-constant, gain are estimated by the linear least squares method in the frequency domain. A Smith predictor(SP) modified by including a filter becomes a two degree of freedom DTC. So the proposed DTC can yield the desirable setpoint and load disturbance responses separately. PI controller is used for the primary controller and the filter is tuned to be robust. Simulation examples demonstrate the properties of the proposed DTC.

Keywords : Dead-Time Compensator(DTC), Smith Predictor(SP), Robust Control, Relay feedback

1. 서론

시간지연 보상기(Dead-Time Compensator, DTC)로 일반적으로 알려진 기법이 Smith 예측(Smith Predictor, SP)기법이다. SP는 기본제어기 주위의 내부 궤환 두프에 프로세서 모델을 이용하여 제 두프 전달함수의 특성방정식에서 시간지연을 제거하는 것이다. 따라서 제어기는 시간지연이 제거된 프로세서 모델을 대상으로 설계한다. 이러한 기본적인 SP기법을 바탕으로 응답 특성과 견실성을 향상시키기 위한 수정된 SP의 연구가 진행되어 왔다.

적분요소와 시간지연이 존재하는 프로세서에 대해 Watanabe와 Ito는 수정된 SP구조를 제안하였다[1]. 이를 바탕으로 Aström[2]과 Matusek[3],[4] 등은 기준입력 응답과 외란제거 성능을 향상시키는 수정된 SP구조를 제안하였다. 이러한 수정된 SP에서 설계 파라미터 수를 줄여 제어기 설계를 쉽게 하였다. Normey-Rico[5]는 기준입력만에 필터를 두어 기준입력과 외란제거 성능을 따로 설계할 수 있는 2자유도 제어기 개념을 도입했다. 그러나 프로세서의 대부분은 시정수와 시간지연이 존재하는 일자의 프로세서 모델로 표현하는 것이 일반적이다. 이러한 프로세서 모델은 시간역과 주파수역에서 추정이 가능하다. Ziegler-Nichols와 Cohen-Coon [6]들은 시간역에서 계단입력 응답을 근간으로 계인과 시정수, 시간지연을 추정하였다. Hägglund[6]는 프로세서 파라미터와 제어기 파라미터의 관계들 통해 수동적으로 파라미터를 추정하였다. Tuch[7]는 최소위상을 갖는 선형 시분변시스템을 연속시간계에서 추정하였다. 주파수역에서는 Zhou[8]가 응답의 크기 자승(Squared Magnitude Response)을 이용하여 시간지연을 배제한 후 시스템 자승을 결정하는 기법을 도입하였다. 이러한 추정기법에서는 불확실한 시간지연을 시스템자승이 보상하게 되어 제어기 설계가 복잡해질 수 있다. Wang[9]은 relay 궤환을 이용한 주파수응답으로부터 비선형의 추정문제를 선형 궤소자승문제로 간단히 하였다. 이러한 기법은 비 궤소위상 process에서도 가능하다.

시간지연을 갖는 프로세서의 제어에 있어, Hägglund[6]는 임계값이 되도록 PI제어기를 설계하여 시간지연을 보상하였지만 응답이 느리고 견실하지 못하다. 견실성 문제를 극복하기 위해, Normey-Rico[9]는 필터를 사용하여 견실성, 응답 속도 향상시켰지만 계인과 시정수, 시간지연 그리고 2개의 필터 파라미터를 설계하는 것은 쉽지 않다. Zhang[10],[11]은 SP구조를 사용하지 않고 시

간지연을 Padé 근사화한 프로세서에 대해 H[∞] 최적 제어기법을 근간으로 한 PID제어기를 설계하였으나 응답이 느린 단점을 가지고 있다. Wang[12]은 SP구조의 수정을 통해 기준입력과 외란 응답에 대해 2자유도 제어기를 제안하였으나 Normey-Rico[9]의 시간지연 보상기 만큼 견실성을 향상시킬 수 없었다. Wang[13]은 주파수역에서 추정된 프로세서 모델에 대해 감쇠비와 고유진동수를 고려하여 제어기를 설계하였다. 그러나 Wang의 시간지연 보상은 견실성 향상을 위한 제어 파라미터 설정이 쉽지 않다.

본 논문에서는 주파수응답으로부터 선형 궤소자승법도 이용해 프로세서 모델을 추정한다. 필터를 포함하는 수정된 SP구조에서, 필터는 외란과 모델링 오차를 고려하여 설계하고 기본제어기는 시간지연이 배제된 모델을 근간으로 설계한다. 이러한 수정된 SP구조는 2개의 설계 파라미터를 이용하여 기준입력 응답과 외란 응답을 각각 분리하여 설계할 수 있는 2자유도 제어기 모델링 오차나 외란에 대해 견실하다. 이러한 2개의 설계 파라미터는 물리적 해석이 명확하고 수동적인 조절이 쉽다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2절에서는 주파수역에서의 프로세서 모델의 추정기법을 소개하며, 3절에서는 수정된 SP구조에서 제어기와 필터의 설계기법을 제안한다. 4절에서는 다른 기법과 제안된 DTC의 견실성을 비교한다.

2. 주파수역에서의 프로세서 모델 추정

시간지연을 가지는 프로세서는 다음과 같이 모델링 한다.

$$P_n(s) = \frac{K_0}{(T_0s+1)^2} e^{-L_0s} \quad (1)$$

여기서 K_0 는 이득을, T_0 는 시정수, L_0 는 시간지연으로 추정할 모델 파라미터들이다. 실제 프로세서의 주파수응답은 relay 궤환 실험을 통해 쉽게 구해진다[10]. 프로세서 모델 $P_n(s)$ 의 추정은 위상 교차주파수 ω_c 까지의 m -지점의 주파수응답 $F(j\omega_i), (i=0,1,\dots,m)$ 을 이용하여 결정한다.

$$\frac{K_0}{(j\omega_i T_0 + 1)^2} e^{-j\omega_i L_0} = F(j\omega_i), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$