

외란 관측기를 이용한 새로운 스미스 예측제어기 설계

이순영* · 양대근**

New Smith Predictor Controller Design Using a Disturbance Observer

Soonyoung Lee* · Daegeun Yang**

요약

본 논문에서는 입력측에 외란이 인가된 시간지연 시스템에 대한 새로운 스미스예측제어기를 제안하였다. 외란을 검출할 수 있는 외란 관측기를 구성하였으며 이를 이용하여 외란의 영향을 소거할 수 있는 제어기를 구성하였다. 그 결과 계단입력 형태의 외란에 대한 정상상태 오차를 빠르게 0으로 할 수 있는 새로운 스미스 예측제어기를 구성할 수 있었다. 이렇게 구성된 제어기에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션을 행하여 제안된 시스템의 효용성 및 우수성을 입증하였다.

ABSTRACT

In this paper, a new Smith predictor controller for a disturbance adding to input side of a time delay plant is proposed. A disturbance observer is obtained to estimate an input disturbance and the new Smith predictor controller to eliminate the effects of a disturbance is designed using the disturbance observer. As a result, the proposed Smith predictor controller can make a steady state error for step input disturbance zero quickly. The effectiveness and the improved performance of the proposed system are verified by computer simulation.

키워드

Smith predictor controller, Time delay system, PID controller

I. 서 론

궤환제어에 있어서 입력은 현재의 제어량에 따라 변화되어야 하지만, 시간지연을 포함하는 플랜트에서는 과거의 제어량이 피드백 되므로 올바른 제어효과를 얻을 수 없다. 또한 시간지연을 포함하는 제어계에서는 시간지연이 클수록 제어계의 안정을 위하여 제어이

득을 낮추어야 하는데 그렇게 되면 응답이 매우 느리게 된다. 따라서 이런 문제를 해결하기 위해서는 현재의 제어량을 예측하는 일이 필요하게 된다[1].

시간지연을 극복하기 위한 방법으로 스미스 예측제어기가 주로 많이 사용되고 있는데, 이는 매우 간단하면서도 효과적으로 시간지연 요소를 제거할 수 있기 때문이다. 이 방법은 지연시간이 큰 시스템을 전달함

* 경상대학교 전기전자공학부, 공학연구원

접수일자 : 2005. 8. 8

** 여수화력발전처 계측제어부

수 부분과 지연시간 부분으로 각각 모델링하여 궤환 신호를 검출함으로써 마치 부동시간을 제외한 것과 같은 제어효과를 기대할 수 있다. 그러나 플랜트의 입력축에 외란이 인가되면 이 외란을 적절히 제어하기가 어려울 뿐만 아니라 플랜트 전달함수가 원점이나 혹은 원점에 가까운 극을 포함하고 있을 경우에는 단위계단 형태의 외란에 대하여 정상상태 오차가 발생하게 되고 또한 내부적으로 불안정해질 수 있다[2].

따라서 이러한 외란에 대한 시간지연계의 응답을 개선하기 위한 많은 방법들이 제시되었는데 Watanabe[1]나 Matausek[3,4], Astrom[5] 등과 같이 주로 외란보상기를 이용한 설계가 주를 이루고 있다. 그러나 이 방법들은 많은 변수들을 조정해야 하는 어려움이 있으며, 또한 Matausek와 Astrom의 방법은 1차계에 한정되어 있어 사용에 제약을 받을 수 있다.

이에 본 논문에서는 시간지연 플랜트의 입력축에 인가되는 외란을 검출할 수 있는 외란관측기를 구성하였으며, 이렇게 검출된 외란을 스미스예측제어기의 모델부분에 인가시킴으로써 외란의 영향을 빠르게 소거 할 수 있도록 하였다. 그 결과 계단입력 형태의 외란에 대하여 안정하며 정상상태오차를 빠르게 0으로 할 수 있는 새로운 형태의 스미스 예측제어기를 구성할 수 있었다. 또한 이렇게 구성된 시스템에 대하여 컴퓨터 시뮬레이션을 행하여 구성된 스미스예측제어기의 효용성 및 우수성을 확인하였다.

II . 스미스 예측 제어기

시간지연을 갖는 플랜트에 대한 스미스예측제어기의 블록선도는 그림 1과 같다. 여기서 $R(s)$ 는 기준 입력이고 $D(s)$ 는 외란을 나타낸다. 또한 $G_c(s)$ 는 제어기로 PI 혹은 PID 제어기가 주로 사용된다.

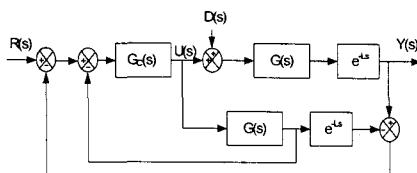


그림 1. 스미스 예측제어 시스템
Fig 1. Smith predictor control system

기준입력에 의한 출력의 전달함수는 다음과 같다.

$$G_r(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G_c(s)G(s)e^{-Ls}}{1 + G_c(s)G(s)} \quad (1)$$

위의 전달함수는 분모에 시간지연항이 포함되어 있지 않다. 따라서 시간지연이 없는 플랜트처럼 제어기 $G_c(s)$ 를 구성할 수 있다. 또한 제어기가 적분기를 포함하게 되면 계단 입력에 대한 정상상태 오차는 0이 된다. 외란에 대한 전달함수를 구하면 다음과 같이 된다.

$$G_d(s) = \frac{Y(s)}{D(s)} = \frac{G(s)e^{-sL}}{1 + G_c(s)G(s)} + \frac{G_c(s)G(s)e^{-Ls}}{1 + G_c(s)G(s)} (G(s) - G(s)e^{-Ls}) \quad (2)z$$

플랜트가 적분항을 포함하고 있지 않고 제어기가 적분기를 포함하고 있으면 계단입력 형태의 외란에 대한 정상상태오차는 0이 된다. 그러나 플랜트의 전달함수가 순수 적분항을 포함하고 있거나 허수축에 가까운 극점을 가지고 있는 경우 외란에 대하여 정상상태 오차가 존재하게 되고 또한 내부적으로 불안정하게 될 수도 있어 원만한 제어효과를 기대할 수 없다..

그러나 그림 2처럼 외란을 측정할 수 있고 측정된 외란을 모델에 인가시킬 수 있다면 외란에 대한 전달함수는 다음과 같이 된다.

$$G_d(s) = \frac{Y(s)}{D(s)} = \frac{G(s)e^{-sL}}{1 + G_c(s)G(s)} \quad (3)$$

이 전달함수로부터 $G_c(s)$ 에 적분기가 포함되면 계단입력 형태의 외란에 대하여 정상상태오차는 0이 되고 안정도 또한 보장됨을 알 수 있다.

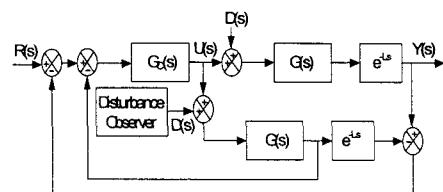


그림 2. 검출된 외란을 이용한 스미스 예측 제어기
Fig 2. Smith predictor control system using estimated disturbance

III . 외란 관측기를 이용한 제어기

외란 관측을 위하여 그림 3과 같이 외란관측기를 구성한다.

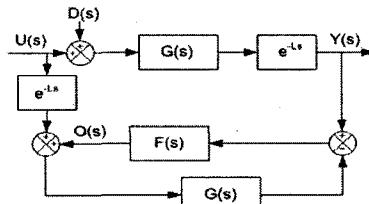


그림 3. 외란 관측기
Fig 3. Disturbance observer

이 블록선도로부터 신호 $O(s)$ 를 구하면

$$O(s) = \frac{G(s)e^{-Ls}}{1 + F(s)G(s)}D(s) \quad (4)$$

여기서 $F(s)$ 는 외란관측기의 안정도와 수렴 속도를 조절할 수 있는 다음과 같은 형태의 임의의 전달함수이다.

$$F(s) = \frac{a}{s+a} \quad (5)$$

여기서 $a > 0$ 는 식(4)의 안정도를 보장할 수 있는 임의의 상수이다. 만일 $sD(s)$ 가 허수축과 s평면 우반부에 대하여 해석적이라면 식(4)와 식(5)로부터 다음식이 성립하여 외란을 측정할 수 있음을 알 수 있다.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} o(t) = d(t) \quad (6)$$

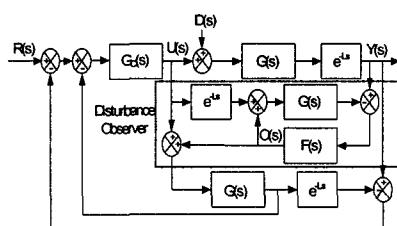


그림 4. 외란 관측기를 이용한 스미스 예측제어기
Fig 4. Smith predictor control system using the disturbance observer

따라서 그림 3의 외란관측기를 사용하면 외란의 영향을 소거할 수 있음을 알 수 있다.

외란 관측기를 포함한 최종적인 스미스 예측제어기의 구성을 그림 4에 나타내었다.

IV . 시뮬레이션 및 검토

다음과 같은 3종류의 플랜트에 대하여 시뮬레이션하여 Watanabe[1] 방법과 비교하여 보았다.

$$G(s) = G_1(s) = \frac{1}{s} \quad (7)$$

$$G(s) = G_2(s) = \frac{1}{s(s+1)} \quad (8)$$

$$G_3(s) = \frac{1}{s(s+100)(s+0.02)} \quad (9)$$

모든 플랜트의 시간지연은 $L = 20[\text{sec}]$ 로 하였다. 또한 $F(s) = \frac{10}{0.1s+10}$ 으로 하였으며 Watanabe

방법에 사용한 파라메타들은 논문[1]에 따라 구하였다. $G_1(s)$ 와 $G_2(s)$ 와 같이 플랜트 전달함수가 순수 적분기를 포함하고 있을 경우의 제어기로는 다음과 같은 PI 제어기를 사용하였다.

$$G_c(s) = \frac{s+10}{s} \quad (10)$$

그림 5와 그림 7은 100[sec]에서 $d(t) = 0.3$ 인 외란을 지속적으로 인가하였을 경우의 $G_1(s)$ 와 $G_2(s)$ 에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림에서 보듯이 본 논문에서 제안한 방법이 Watanabe의 방법보다 개선된 결과를 보이고 있음을 확인할 수 있다.

또한 그림 6과 그림 8은 측정된 외란을 나타내는데 외란을 잘 검출하고 있음을 보여준다.

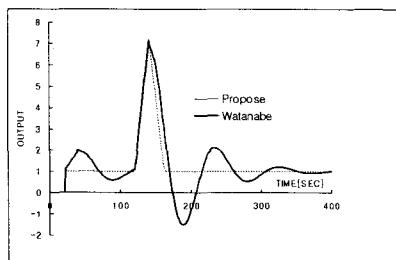


그림 5. $G_1(s)$ 의 응답
Fig 5. Responses of $G_1(s)$

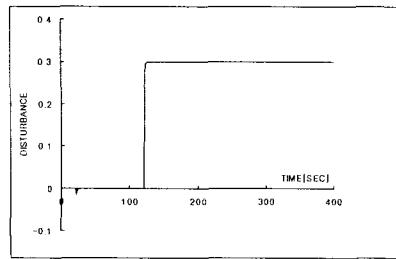


그림 6. 검출된 외란
Fig 5. Estimated disturbance

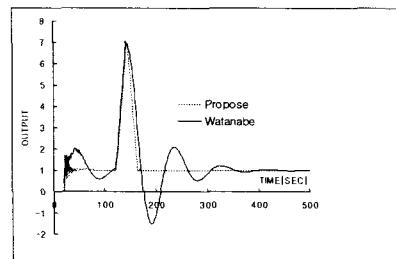


그림 7. $G_2(s)$ 의 응답
Fig 7. Responses of $G_2(s)$

또한 그림 6과 그림 8은 추정된 외란을 나타내는데 외란을 잘 검출하고 있음을 보여준다.

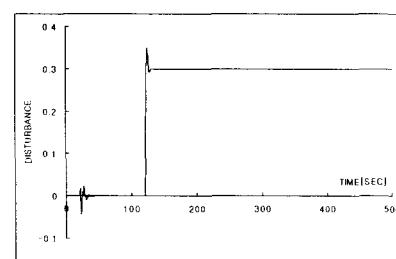


그림 8. 검출된 외란
Fig 8. Estimated disturbance

그림 9 및 그림 10은 플랜트 전달함수 $G_3(s)$ 가 순수 적분기와 원점 근처의 극을 갖고 있는 경우에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 400[sec]에서 $d(t) = 0.3$ 인 외란을 인가하였으며, 이 때의 제어기로는 전체계의 안정도를 고려하여 다음과 같이 설정하였다.

$$G_c(s) = \frac{s + 0.005}{10s} \quad (11)$$

이 경우에도 본 논문에서 제안한 방법에 의한 결과가 과도상태, 응답시간, 외란소거 등의 관점에서 Watanabe의 방법보다 개선되었으며 외란도 잘 추종하고 있음을 확인할 수 있다.

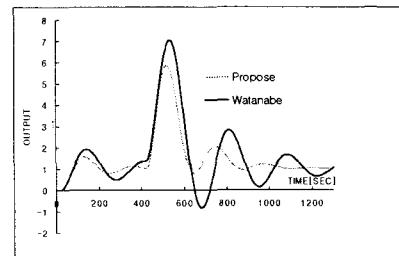


그림 9. $G_3(s)$ 의 응답
Fig 9. Responses of $G_3(s)$

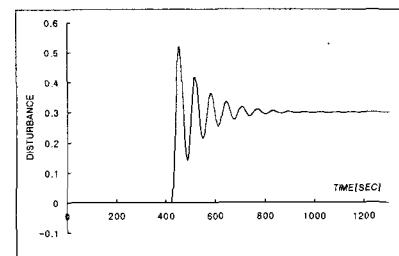


그림 10. 검출된 외란
Fig 10. Estimated disturbance

V . 결 론

본 논문에서는 적분기를 가지는 시간지연 플랜트에 대한 새로운 스미스 예측 제어기를 제안하였다. 입력

측에 인가된 외란을 검출하기 위한 외란 관측기를 구성하였으며, 검출된 외란을 사용하여 스미스 예측 제어기를 구성하였다. 그 결과 안정하며 외란에 대한 정상상태 오차를 0으로 할 수 있는 새로운 형태의 스미스 예측제어기를 구성할 수 있었다.

구성된 시스템에 대해 컴퓨터 시뮬레이션을 행하여 Watanabe의 방법과 비교 검토 하여 본 결과, 제안한 시스템의 효용성 및 우수성을 확인 할 수 있었다.

참고문헌

- [1] K. Watanabe, "A new modified Smith predictor control for time delay systems with an integrator", Proc. of the 2nd Asian Control Conference, Vol.3 pp. 127 - 130, July, 1997, Seoul
- [2] S.Majhi, D.P. Atherton, "Modified Smith predictor and controller for processes with time delay", IEE Proc. Control Theory Appl., Vol.146, No. 5, pp. 359-366, September 1999
- [3] M.R. Matausek A.D. Micic, " A modified Smith predictor for controlling a process with an integrator and long dead time", IEEE Trans. on Automatic Control, Vol.41, No.8,pp. 1199-1203, August 1996
- [4] M.R. Matausek, A.D. Micic, " On the modified Smith predictor for controlling a process with an integrator and long dead time", IEEE Trans. on Automatic Control, Vol.44, No.8, pp. 1603-1606, August 1999
- [5] K.J. Astrom, C.C. Hang, and B.C. Lim, " A new Smith predictor for controlling a process with an integrator and long dead time", IEEE Trans. on Automatic Control, Vol.39, No.2, pp. 343-345, February 1994

저자소개



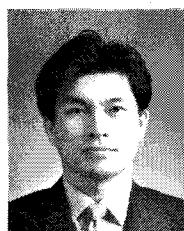
이순영(Soon-Young Lee)

1980년 한양대학교 전기공학과
(공학사)

1982년 한양대학교 전기공학과
(공학석사)

1985년 한양대학교 전기공학과
(공학박사)

현재 경상대학교 전기전자공학부 교수



양대근(Dae-Geun Yang)

1998년 진주산업대학교 공학사
2000년 경상대학교 전기공학과
(공학석사)

2005년 경상대학교 전기공학과
(공학박사)

현재 여수화력발전처 계측제어부 부장