

보일러 과열기 및 증기 압력 제어를 위한 외란 관측기 및 새로운 스미스 예측제어기 개발

이순영\*, 신취범\*, 박수용\*, 장은승\*  
경상대학교 전기공학과\*

Development of New Smith Predictor Controller and a Disturbance Observer for Control of the Superheater and the Steam Pressure

Soonyoung Lee\*, Hwi-Beom Shin\*, Sooyong Park\*, Eunsyeung Jang\*  
Gyeongsang National University\*

**Abstract** - The steam superheater and the steam pressure systems are time delay systems that have poles near the origin in the left half plane or a pure integrator. Smith predictor can't be applied to these systems any more, because of occurring the steady state error for the step disturbance. In this paper, a new Smith predictor controller for the steam superheater and the steam pressure is proposed. A disturbance observer to estimate an input disturbance and a new controller to eliminate an effect of a disturbance are proposed. The computer simulation results are shown the efficiency of the proposed system.

1. 서 론

화력발전소에 있어서 과열기 및 증기 압력 제어는 경제성, 환경오염 문제 등의 관점에서 매우 중요하다. 그러나 이 계통들은 지연시간이 크고 큰 시정수를 가지고 있어 이의 정확한 제어는 쉽지 않다[1]. 일반적으로 시간지연 시스템의 제어로는 스미스 예측제어기가 주로 사용되고 있다. 이 제어기의 주된 장점은 시간지연 항이 특성방정식에서 소거되어 마치 시간지연이 없는 시스템처럼 제어기를 구성할 수 있는 것이다. 그러나 플랜트에 외란이 인가되면 이 외란을 적절히 제어하기가 어려울 뿐 아니라 플랜트 전달함수가 원점이나 혹은 원점에 가까운 극을 포함하고 있을 경우에는 외란에 대하여 정상상태 오차가 발생하게 되고 또한 내부적으로 불안정해진다 [1,2]. 이런 문제들을 해결하기 위하여 많은 연구들이 수행되고 있으나 조정해야 하는 파라메타들이 너무 많아지거나, 제어기 구성이 너무 복잡하게 되어 실제 사용에 제약을 받고 있다[3-5].

본 논문에서는 큰 시정수를 갖거나 순수 적분기를 가지는 플랜트에 대한 새로운 스미스 예측제어기를 제안하였다. 시간지연 플랜트의 입력측에 인가되는 외란을 검출할 수 있는 외란관측기를 구성하였으며, 이렇게 검출된 외란을 스미스예측제어기의 모델부분에 인가시킴으로써 외란의 영향을 빠르게 소거할 수 있도록 하였다. 그 결과 계단입력 형태의 외란에 대하여 안정하며 정상상태오차를 빠르게 0으로 할 수 있는 새로운 형태의 스미스 예측제어기를 구성할 수 있었다. 또한 구성된 제어기의 효용성 및 우수성을 확인 하기 위하여 과열기 및 증기압력 제어를 구성 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였다.

2. 본 론

2.1 스미스 예측 제어기

시간지연을 갖는 플랜트에 대한 스미스예측제어기의 블록선도는 그림1과 같다. 여기서  $r(t)$ 는 기준입력이고  $d(t)$ 는 외란을 나타낸다. 또한  $G_c(s)$ 는 제어기로 PI 혹은 PID 제어기가 주로 사용된다.

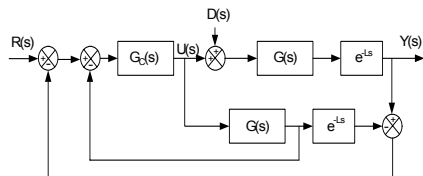


Fig 1) Smith predictor control system

기준입력 및 외란에 의한 출력의 전달함수는 다음과 같다.

$$Y(s) = H_r(s)R(s) + H_d(s)D(s) \tag{1}$$

여기서

$$H_r(s) = \frac{G_c G e^{-Ls}}{1 + G_c G} \tag{2}$$

$$H_d(s) = \frac{G e^{-Ls}}{1 + G_c G} + \frac{G_c G e^{-Ls}}{1 + G_c G} (G - G e^{-Ls}) \tag{3}$$

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 외란을 측정할 수 있고 측정된 외란을 모델에 인가시킬 수 있다면 외란에 대한 전달함수는 다음과 같이 된다.

$$H_d(s) = \frac{G e^{-Ls}}{1 + G_c G} \tag{4}$$

이 전달함수로부터 제어기에 적분기가 포함되면 계단입력 형태의 외란에 대하여 정상상태오차는 0이 되고 안정도 또한 보장됨을 알 수 있다.

2.2 외란 관측기를 이용한 제어기

외란 관측기를 포함한 그림 2와 같은 스미스 예측제어기를 생각한다.

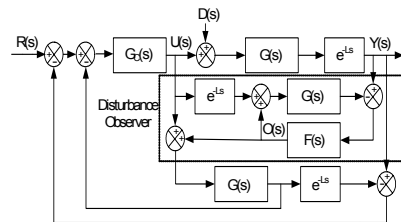


Fig 2) Smith predictor control system using the disturbance observer

이 블록선도로부터 신호  $O(s)$ 를 구하면

$$O(s) = \frac{G F e^{-Ls}}{1 + G F} d \tag{5}$$

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

만일  $sD(s)$ 가 허수축과 s평면 우반부에 대하여 해석적이라면 식(4)와 식(5)로부터 다음식이 성립하여 외란을 측정할 수 있음을 알 수 있다.

$$\lim_{t \rightarrow 0} p(t) = d \tag{6}$$

## 2.3 시뮬레이션

### 2.3.1 과열기 제어

화력발전소의 과열기 전달함수는 다음과 같이 주어진다[6].

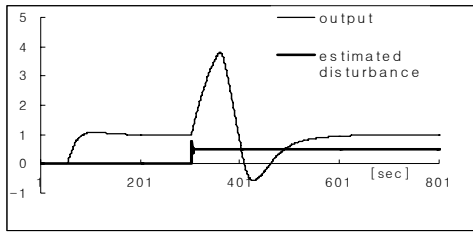
$$G(s) = \frac{9}{56s+1} e^{-53s} \quad (7)$$

이 시스템은 큰 지연시간과 시정수를 가지고 있다. 전체계의 안정도를 고려하여 제어기  $G_c(s)$ 와  $F(s)$ 를 다음과 같이 가정하였다.

$$G_c(s) = (.4s+0.015)/s \quad (8)$$

$$F(s) = 5/(s+1) \quad (9)$$

입력으로는 단위계단 입력을 사용하였고 외란은 250[sec]에서  $d=0.5$ 를 가하였다. 그림3은 출력과 검출된 외란을 나타낸다.

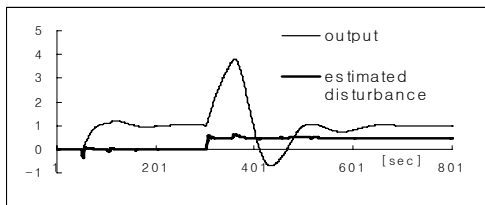


<Fig 3> Superheater output and estimated disturbance

그림 4는 플랜트 파라메타가 다음과 같이 변화했을 경우의 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

$$G(s) = 10/(65s+1)e^{-50s} \quad (10)$$

위의 시뮬레이션 결과들에서 보듯이 외란을 잘 추종하고 있으며, 외란의 검출로 인하여 원하는 출력 특성을 보이고 있음을 알 수 있다.



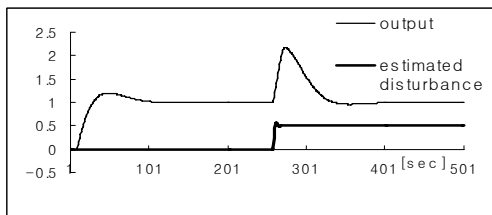
<Fig 4> Superheater output and estimated disturbance with parameter mismatch

### 2.3.2 증기압력 제어

증기압력 제어기의 모델은 다음과 같이 얻어진다[7].

$$G(s) = \frac{0.2}{s} e^{-7.8s} \quad (11)$$

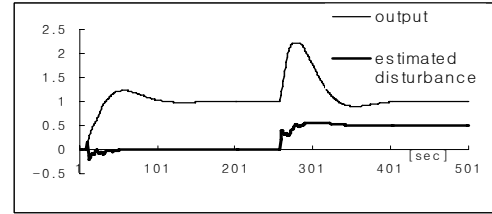
이 시스템은 순수 적분기를 포함하고 있다. 입력, 외란, 제어기 와  $F(s)$ 는 과열기 제어의 경우와 같이 가정하였다.



<Fig 5> Pressure output and estimated disturbance

출력과 검출된 외란을 그림 5에 나타냈으며, 그림 6은 플랜트 파

라메타가 약 20 % 변해  $G(s) = \frac{0.3}{s} e^{-9s}$ 로 되었을 경우의 결과를 나타낸다. 이 결과들로부터 외란 검출 및 원하는 제어가 수행됨을 알 수 있다.



<Fig 6> Pressure output and estimated disturbance with parameter mismatch

## 3. 결 론

본 논문에서는 큰 시정수와 순수 적분기를 가지는 과열기와 증기압력 제어를 위한 새로운 스미스 예측제어기를 제안하였다. 입력측에 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.

또한 과열기 및 증기압력 제어기를 구성하여 시뮬레이션을 행한 결과 제안한 시스템의 효용성 및 우수성을 확인할 수 있었다.

## [참 고 문 헌]

- [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, " 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
- [4] 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
- [5] Q.G. Wang, H.Q. Zhou, Y.S. Yang, Yu. Zhang, Yong Zhang, " Modified Smith predictor design for periodic disturbance rejection", Proceeding of the 5th Asian Control Conference, pp.1145-1150, 2004
- [6] X.L. Song, C.Y. Liu, Z.Y. Song, X.F. Song, "Robust PID control for steam superheater", Proceedings of the Third International Conference on Machine Learning and Cybernetics, pp. 26-29, 2004
- [7] C. Zhang, Y. Huang, J. Xue, F. Dong, "The compound control of load disturbance compensator and predictive PI for the boiler steam pressure", Proceeding of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, PP. 21-23, 2006

본 연구는 한국서부발전(주)의 지원에 의하여 이루어짐