

발전기 과열기의 증기 온도 제어기 설계

(Steam Temperature Controller Design of Power Plant Superheater)

홍현문* · 전병석** · 김종근** · 강금부** · 이봉섭***

(Hyun-Mun Hong, B · S Jeon, J · G Kim, G · B Kang, B · S Lee)

* 동해대학교 전기전자공학과, ** 충북대학교 전기공학과, *** 삼척대학교 컴퓨터제어계측공학과

Abstract

In this paper, we present a method of fuzzy controller design for the power plant superheater in the form of bilinear system. For the steam temperature control, the input variables are constructed by the area of difference between the profiles estimated from bilinear observer and reference profiles, and the time rate of change. We estimate the control rules by T. Takagi and M. Sugeno's fuzzy model. The feasibilities of the suggested method are illustrated via the computer simulation result.

1. 서 론

발전소에서 과열기는 드럼으로부터 유입되는 포화증기의 수분을 증발시켜 과열증기를 만든다. 이 과정에서 증기온도는 열응력에 의한 터빈의 균열을 막기 위해서 일정범위 내로 유지되어야 하며, 발전소에서는 과열기의 입구 또는 출구 측에 과열 저감기(desuperheater)를 설치하여 운용하고 있다. 이 과열 저감기를 이용하여 출구의 증기온도를 제어하는 과열기는 쌍선형 시스템으로 표현된다[1].

쌍선형 시스템에 대한 제어기의 설계문제는 시스템이 갖는 특성 때문에 꾸준히 연구되어 왔으나, 상태변수와 입력변수가 곱해진 항 때문에 시스템을 제어하기가 용이하지 않다[2-4]. 쌍선형 시스템을 비선형 시스템으로 간주하여 제어기를 설계하여도 적절한 제어성능을 얻기 어려우며, 근사화된 선형 시스템으로부터 최적해를 구하기 위해 반복적 방법을 이용한 최적제어기법이 제안되었지만, 제한된 시스템에 대해서만 적용이 가능하고, 많은 연산을 수반하는 문제점이 존재한다[5-7].

본 논문에서는 쌍선형 시스템으로 표현되는 과열기의 비선형성에 대한 적당한 보상을 위해 퍼지 제어기법을 도입함으로써 시스템의 모델링 및 연산에 대한 부담을 줄이고, 쌍선형 시스템의 제어문제를 해결하였다. 여기서, 제안된 퍼지 제어기를 구성하기 위한 입력변수는 증기의 기준온도 프로파일과 관측기를 통하여 구성된 증기온도의 프로파일의 차이면적과 그 차이면적의 시간 변화율이며, T. Takagi와 M. Sugeno의 퍼지모델[8]을 기반으로 수행하였다.

본 논문은 제어대상 발전기 과열기 증기 온도 제어기

를 설계하고, 설계한 것을 모의실험으로부터 유용성을 검증하였다.

2. 발전기 과열시스템 및 제어기 설계

2.1. 발전기 과열 시스템 모델링

일반적으로 열교환기는 그림 1과 같은 구조를 가지며, 본 장에서 과열 저감기가 설치된 과열기의 모델링에 사용된다.[1,7].

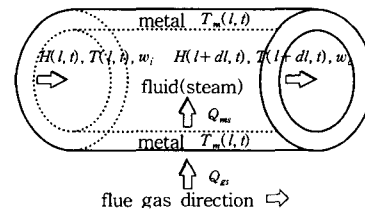


그림 1. 열교환기 모델
Fig. 1. Heat exchanger model

열교환기를 유한차분법에 의하여 그림 2와 같이 \$n\$개의 부분으로 분할된다. 과열 저감기를 포함하는 첫 번째 부분은

$$V_s \rho C_p \frac{dx_1}{dt} = -C_p(w_i + w_d)x_1 + \alpha_{ms} S_2(z_1 - x_1) + C_p T_i w_i + C_{pd} T_d w_d \quad (1)$$

$$M_m C_m \frac{dz_1}{dt} = \alpha_{gm} S_1(T_{g1} - z_1) - \alpha_{ms} S_2(z_1 - x_1) \quad (2)$$

이고, \$k\$ 번째는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_s \rho C_p \frac{dx_k}{dt} = C_p (w_i + w_d)(x_{k-1} - x_k) + a_{ms} S_2 (z_k - x_k) \quad (3)$$

$$M_m C_m \frac{dz_k}{dt} = a_{gm} S_2 (T_{gk} - z_k) - a_{ms} S_1 (z_k - x_k) \quad (4)$$

여기서, $x_k = T_k$, $z_k = T_{mk}$ 이다.

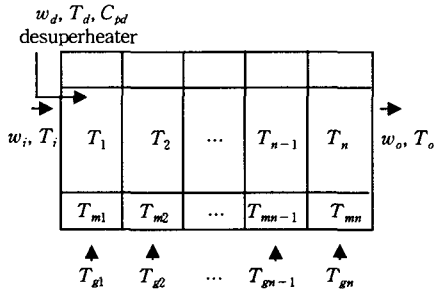


그림 2. 과열기 분할
Fig. 2. Partition of a superheater

그리고 식 (1)~(4)으로부터 다음과 같은 쌍선형 시스템의 상태방정식을 얻을 수 있다[7,9].

$$\dot{x}(t) = [A_0 + \sum_{i=1}^n p_i(t) A_i] x(t) + [B_0 + \sum_{j=1}^n q_j(t) B_j] u(t) + Dv(t) \quad (5)$$

$$u(t) = Cx(t) \quad (6)$$

여기서, $x(t) \in R^n$, $u(t) \in R^p$, $w(t) \in R^m$ 그리고 $v(t) \in R^q$ 는 각각 상태, 입력, 출력 그리고 미지의 입력을 나타내고, $A_0 \in R^{n \times n}$, $A_i \in R^{n \times n}$, $B_0 \in R^{n \times p}$, $D \in R^{n \times q}$, $C \in R^{m \times n}$ 을 만족하며, $p_i(t)$ 와 $q_j(t)$ 는 입력 또는 상태 변수이다.

2.2. 쌍선형 관측기 제어기 설계

식 (5)과 (6)의 시스템에 대한 쌍선형 관측기는 다음과 같은 형태로 구성할 수 있다[9].

$$\dot{z}(t) = [F_0 + \sum_{i=1}^n p_i(t) F_i] z(t) + [G_0 + \sum_{j=1}^n q_j(t) G_j] u(t) + [L_0 + \sum_{i=1}^n p_i(t) L_i] w(t) \quad (7)$$

$$x_e(t) = z(t) - Ew(t) \quad (8)$$

여기서, $F_0 \in R^{n \times n}$, $F_i \in R^{n \times n}$, $G_0 \in R^{n \times p}$, $G_j \in R^{n \times p}$, $L_0 \in R^{n \times m}$, $L_i \in R^{n \times m}$, $E \in R^{n \times m}$ 이고, $z(t) \in R^n$, $x_e(t) \in R^n$ 이다.

그리고 관측기의 구성행렬은 다음 식들을 만족한다.

$$F_0 - PA_0 + (L_0 + F_0 E)C = 0 \quad (9)$$

$$F_i - PA_i + (L_i + F_i E)C = 0 \quad (10)$$

$$G_0 - PB_0 = 0 \quad (11)$$

$$G_j - PB_j = 0 \quad (12)$$

$$(EC + I)D = 0. \quad (13)$$

여기서, $P = EC + I$ 이다.

3. 모의실험

그림 3은 제안된 관측기에 의한 스팀의 온도와 추정값이며, 과열기 길이에 대하여 균등하게 나눈 각 지점에서 한 부분을 나타낸 것이다.

발전소 과열기 시스템에 대한 출구온도는 그림 10에서 목표값인 540[°C]를 유지함을 확인할 수 있다.

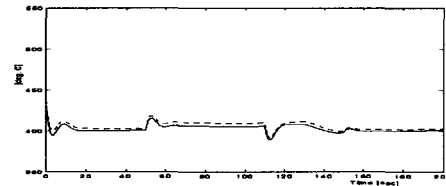


그림 3. 스팀의 온도(---)와 추정값(—)
Fig. 3. Steam temperature and estimated value

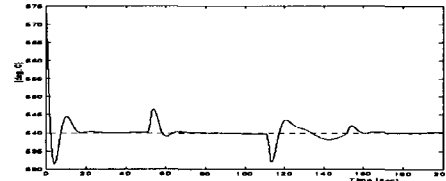


그림 4. 출구온도
Fig. 4. Outlet steam temperature

4. 결 론

본 논문에서는 쌍선형 시스템으로 표현되는 과열기의 증기온도제어를 위한 제어기를 설계하여 검증하였다. 제안된 방식은 쌍선형 관측기로부터 얻은 추정값과 기준값의 오차면적과 그 시간 변화율을 고려하여 입력변수를 구성하였으며, T. Takagi와 M. Sugeno의 기반으로 수행하였다. 과열기의 증기온도제어에 대한 시뮬레이션 결과로부터 원하는 제어성능을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) 한국전력공사, 보일러 계수 추정에 의한 최적 보일러 제어기 개발, 한국전력공사 기술연구원, 1993.
- (2) W. A. Cebuhar and V. Costanza, "Approximation Procedures for the Optimal Control of Bilinear and Nonlinear Systems", Journal of Optimization Theory and Applications, vol. 43, no. 4, pp 615-627, 1984.

- (3) E. P. Ryan, "Optimal Feedback Control of Bilinear Systems, *Journal of Optimization Theory and Applications*, vol. 44, no. 2, pp. 333-362, 1984.
- (4) R. R. Mohler, *Nonlinear Systems Application to Bilinear Control*, Prentice-Hall, 1991.
- (5) E. P. Hofer and B. Tibken, "An Iterative Method for the Finite-Time Bilinear-Quadratic Control Problem", *Journal of Optimization Theory and Applications*, vol. 57, no. 3, pp. 411-427, 1988.
- (6) Z. Aganovic and Z. Gajic, "The Successive Approximation Procedure for Finite-Time Optimal Control of Bilinear Systems", *IEEE Trans. Auto. Control*, vol. 39, no. 9, pp. 1932-1935, 1994.
- (7) 이상혁, 김주식, "반복적 방법을 이용한 화력발전소 과열기 시스템의 온도제어", *한국조명·전기설비학회 논문지*, 제13권, 제4호, pp. 47-55, 1999.
- (8) T. Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy Identification of Systems and its Applications to Modeling and Control", *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, vol. 15, no. 1, pp. 116-132, 1985.
- (9) S. H. Lee, J.S. Kong, and J.H. Seo, "Observer for Bilinear Systems with Unknown Inputs and Application to Superheater Temperature Control", *Journal of IFAC, Control Engineering Practice*, vol. 5, no. 4, pp. 493-506, 1997.
- (10) Y. Funahashi, "Stable State Estimator for Bilinear Systems", *Int. J. Control*, vol. 29, no. 2, pp. 181-188, 1979.
- (11) F. L. Lewis, *Optimal Control*, John Wiley & Sons, 1986.
- (12) V. Svoronos, G. Stephanopoulos, and R. Aris, "On Bilinear Estimation and Control", *Int. J. Control*, vol. 34, no. 4, pp. 651-684, 1981