

# 강건성을 고려한 유압 위치시스템의 적응제어 Adaptive Control for Hydraulic Positioning System considering Robustness

\*김기범<sup>1</sup>, #김인수<sup>1</sup>, 김영식<sup>1</sup>  
\*K. B. Kim<sup>1</sup>, #I. S. Kim<sup>1</sup>, Y.S. KIM<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>금오공과대학교 기전공학과

Key words : Adaptive control, robustness, hydraulic positioning system

## 1. 서론

비례 솔레노이드 밸브는 입력 전류의 크기에 비례해 개도량을 조절할 수 있으나 개루프의 한계로 히스테리시스와 비선형성을 야기하게 된다. 최근 발표된 연구에서는 비례 솔레노이드 밸브 유압계의 경우에도 피드백 제어를 통해 적절한 주파수 대역폭 향상이 가능하고 LQG/LTR 기법을 통해 제어계의 응답속도를 높일 수 있음을 보여주고 있다<sup>(1)</sup>. 한편 LQG/LTR 제어기가 안정도 및 강인성 문제를 반영하지만 시스템의 파라미터가 변하는 경우에도 원하는 일정한 응답을 얻는 데는 선형 제어 기법으로는 한계가 있다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위하여 시스템의 파라미터 변동에 대해서도 자동적으로 제어기 파라미터를 조정하는 적응제어 기법을 유압 위치 시스템에 적용한다. 먼저 적응제어 기법 중 가장 일반적인 모델인 기준형 적응제어(MRAC)를 시스템에 적용하되 기준 모델(reference model)은 적분기가 포함된 LQG/LTR 제어계를 이용한다. 이는 LQG/LTR 기법이 주파수 대역에서 제어계의 성능을 체계적으로 설정할 수 있는 장점이 있기 때문이다. 또한 본 연구에서는 시스템에 잡음이나 모델화 되지 않은 동특성으로 인한 제어 시스템의 불안정의 문제를 해결하기 위해 강건성을 고려한 적응제어기를 유압 위치 시스템에 적용한다.

## 2. 제어 시스템

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 MRAC의 구조를 나타낸 것으로 빠른 응답과 고정밀 추종 성능을 갖게 하기 위해 역사역대(inverse dead-zone)를 이용한 비선형 보상기를 추가하였다.

또한 본 연구에서는 강인 모델 기준 적응제어(Robust MRAC)를 설계하여 적용하였다.

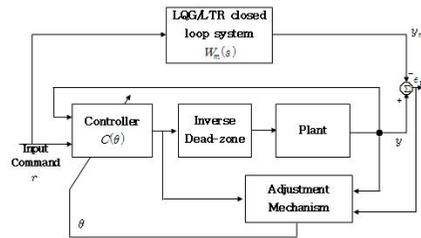


Fig. 1 The Structure of MRAC scheme.

다음과 같이 선형 시불변 상태방정식으로 표현되는 시스템을 생각하자.

$$\dot{x} = A_p x_p(t) + B_p u(t) + v(t) \quad (1)$$

$$y_p = C_p x_p(t) \quad (2)$$

$$v(t) = f(y_p, t) + d(t) \quad (3)$$

여기서  $x_p(t) \in R^n$ ,  $u(t) \in R^1$ ,  $y(t) \in R^1$ 은 각각 상태 벡터와 입출력 벡터를 나타내며,  $v(t) \in R^n$ 은 외란을 나타낸다. 플랜트의 전달함수가 다음과 같을 때

$$y_p = k_p \frac{Z_p(s)}{R_p(s)} u_p \quad (4)$$

기준모델은 식(5)와 같이 일반화된 식으로 나타낼 수 있다.

$$y_m = W_m(s)r = k_m \frac{Z_m(s)}{R_m(s)} r \quad (5)$$

식(6)은 플랜트 출력과 기준모델 출력의 오차를 나타낸 식이다.

$$e_1(t) = y_p(t) - y_m(t) \quad (6)$$

제어 법칙은 식(7)로 표현될 수 있는데 F, g는 가제어 행렬이며, F는 양의 한정 행렬로 선택된다.

$$\dot{w}_1 = Fw_1 + gw_p \quad (7)$$

$$\dot{w}_2 = Fw_2 + gy_p$$

$$u(t) = \theta^T(t)\zeta(t) - \rho(t)e_1(t)$$

$$\zeta(t) = [y_p(t)w_1^T(t)w_2^T(t)r(t)]^T$$

식 (7)에서  $\omega_1(t)$ 와  $\omega_2(t)$ 는  $R^{n-1}$ 차의 벡터이다. 제어기 파라미터 조정을 위한 적응 규칙은 식 (8)과 같다<sup>(2)</sup>. 여기서  $\sigma$ 는 양의 실수이다.

$$\begin{aligned} \dot{\theta}(t) &= -\sigma\theta(t) - e_1(t)\zeta(t) \\ \dot{\rho}(t) &= -\sigma\rho(t) + e_1(t)^2 \end{aligned} \quad (8)$$

### 3. 제어 시뮬레이션 및 실험

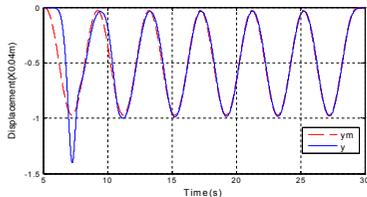


Fig. 2 Experimental equipment.

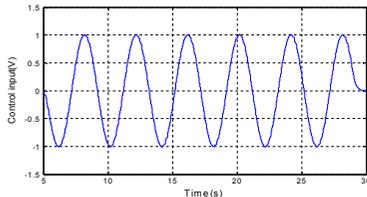
본 연구를 위해 구성된 시스템은 Fig 2와 같으며 비례 제어 밸브의 동적거동을 비례요소로 이상화시켜 식(6) 과 같이 시스템을 모델링 하였다.

$$G(s) = \frac{K\omega_n^2}{s(s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)} \quad (6)$$

여기서  $K=0.74(\text{m/s})/\text{volt}$ ,  $\omega_n = 59\text{rad/sec}$ ,  $\zeta=1.0$ 이다.



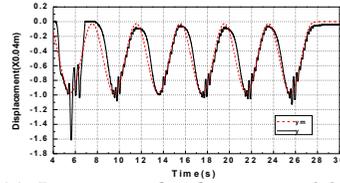
(a) Response of reference model and plant



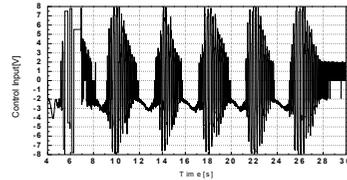
(b) Control input

Fig. 3 Simulation response of the MRAC without considering robustness.

Fig. 3은 0.25Hz의 정현파를 제어계에 인가했을 때 모사결과이다. 제어계가 기준모델을 잘 추종하고 있음을 알 수 있다.

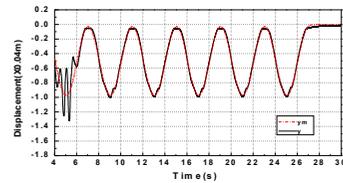


(a) Response of reference model and plant

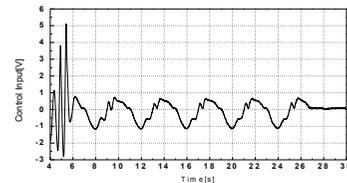


(b) Control input

Fig. 4 Experimental response of the MRAC without considering robustness.



(a) Response of reference model and plant



(b) Control input

Fig. 5 Experimental response of the MRAC considering robustness.

Fig. 4와 Fig 5는 각각 강건성을 고려하지 않은 MRAC와 강건성을 고려한 MRAC에 정현파를 가했을 때 제어계의 응답과 제어입력을 보인 것이다. 강건성을 고려하지 않은 제어계는 시스템의 모델링되지 않은 동특성과 잡음으로 인하여 불안정하며, 강건성을 고려한 제어계는 시스템이 안정한 것을 확인할 수 있다.

### 참고문헌

1. Kim, I. S., Kim, Y. S. and Kim, K. B., "LQG/LTR Control of Hydraulic Positioning System with Dead-zone", Trans. of the KSNVE, VOL. 22, No. 8, 729-735, 2012
2. Ioannou, Jin Sun, "Robust Adaptive Control", 2002.