

# 부하 변동 및 모델 불확실성을 갖는 유압 액츄에이터의 강인한 위치 제어기 설계

## Robust Position Control for a Hydraulic Actuator Despite Varying Loads and Model Uncertainties

\*#이상규<sup>1</sup>, 원대희<sup>2</sup>, 정재호<sup>2</sup>, 조경산<sup>2</sup>, 박상덕<sup>2</sup>

\*#S.R. Lee<sup>1</sup>(iam236@kitech.re.kr), D.H. Won<sup>2</sup>, J.H. Jang<sup>2</sup>, J.S. Cho<sup>2</sup>, S.D. Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>과학기술연합대학원대학교, <sup>2</sup>한국생산기술연구원

Key words : Hydraulic Actuator, Robust Control, Quantitative Feedback Theory

### 1. 서론

유압 액츄에이터는 중량 대비 파워 비가 다른 액츄에이터에 비해 상대적으로 크기 때문에 큰 힘을 필요로 하는 산업 분야 전반에 걸쳐 많이 이용되고 있다. 그러나 유압 시스템은 비선형성 뿐 아니라, 하중의 변화나 온도의 변화 등에 따른 모델 파라미터의 불확실성을 가지고 있어 제어에 많은 어려움이 있다. 지금까지 유압 액츄에이터를 이용한 다양한 제어기법이 연구되고 제안되었으나, 제어기가 너무 복잡하고 강인성을 고려하지 않아 실제 구현에는 적합하지 않은 경우가 있었다. 따라서 본 논문에서는 정량적 피드백 이론을 바탕으로 액츄에이터의 부하와 내부 파라미터의 변화에도 불구하고, 강인하고 구현이 용이한 제어기를 설계하였다.

### 2. 시스템 모델

변동 부하의 영향에 강인한 위치 제어기 설계를 위하여 다음 그림과 같이 유압 액츄에이터에 Pendulum 시스템을 이용하였다.

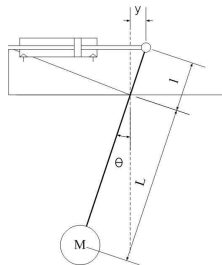


Fig. 1 Pendulum System

그리고 비선형 시스템의 해석을 간단하게 수행하기 위하여 선형으로 모델링하고 주파수 영역에서 해석하였다. 유압시스템 및 Pendulum 시스템의 동역학 방정식은 다음과 같다[3].

$$Q = K_x x - K_p P_L$$

$$Q = A \frac{dy}{dt} + \frac{V}{4\beta_e} \frac{dP_L}{dt}$$

$$\tau = J\ddot{\theta} + C\dot{\theta} + mgL \sin \theta$$

$$AP_L l \cos \theta = J\ddot{\theta} + C\dot{\theta} + mgL \sin \theta$$

$$f = \frac{J\ddot{\theta}}{l \cos \theta} + \frac{C\dot{\theta}}{l \cos \theta} + \frac{mgL \sin \theta}{l \cos \theta}$$

$$f = \frac{J\ddot{\theta}}{l} + \frac{C\dot{\theta}}{l} + \frac{mgL\theta}{l}$$

라플라스 변환은 다음과 같다.

$$Q(s) = K_x X(s) - K_p P_L(s) \quad (1)$$

$$Q(s) = AsY(s) + \frac{V}{4\beta_e} sP_L(s) \quad (2)$$

$$AP_L(s) = F(s) = \left( \frac{J}{l} s^2 + \frac{C}{l} s + \frac{mgL}{l} \right) \Theta(s) \quad (3)$$

식 (1)~(3)을 연립하여 구한 플랜트의 전달함수는 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\Theta(s)}{U(s)} = \frac{AK_x K_f J}{\left\{ \frac{VJ}{4\beta_e} s^3 + \left( \frac{VC}{4\beta_e} + K_p J \right) s^2 + \left( \frac{mgLV}{4\beta_e} + K_p C + A^2 l^2 \right) s + K_p mgL \right\} (1 + \tau s)} \quad (4)$$

모델의 불확실성 영향을 보기 위하여 본 논문에서는 주에 달린 질량과 스프링 변위 이득 및 실린더 내부압력 이득의 변화를 주었다.

아래의 표는 각각의 파라미터에 대한

변화를 보여준다.

Table 1 Comparison of measured roughness data

Symbol	Nominal value	Value boundary	Unit
$K_x$ 변위 이득	230e-3	72.85e-3 ~ 325.80e-3	m <sup>2</sup> /s
$K_p$ 압력 이득	2.3e-12	81.45e-15 ~ 14.57e-12	m <sup>2</sup> /Ns
m	60	10 ~ 60	kg
J	14	2.33~14	kg m <sup>2</sup>

### 3. 제어기 설계

정량적 피드백 이론을 이용하여 유압 액추에이터의 강인한 제어기를 설계하였다. Nominal plant  $P_0(s)$ 와 제어기  $G(s)$  의 Nominal loop 전달함수는 다음과 같이 표현된다.

$$L_0(s) = P_0(s)G(s)$$

Nichols Chart 를 이용하여  $G(s)$ 를 구한다.

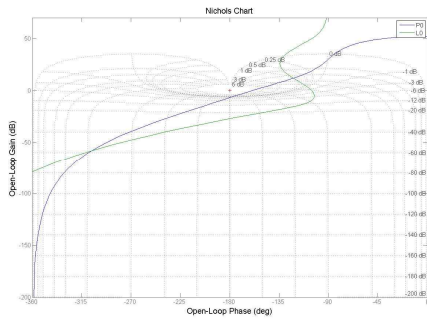


Fig. 2 Nominal plant and nominal loop transfer function

$$G(s) = \frac{0.1 \left( \frac{s}{2} + 1 \right) \left( \frac{s}{41} + 1 \right)}{s \left( \frac{s}{100} + 1 \right) \left( \frac{s}{300} + 1 \right)}$$

### 4. 시뮬레이션 결과

강인한 Tracking specification 은 다음과 같다[1].

$$T_r(\omega) \leq |F(j\omega)T(j\omega, \alpha)| \leq T_u(\omega)$$

Prefilter 가 없는 Closed-loop 주파수 응답과 Prefilter 가 포함된 주파수 응답은 다음과 같다.

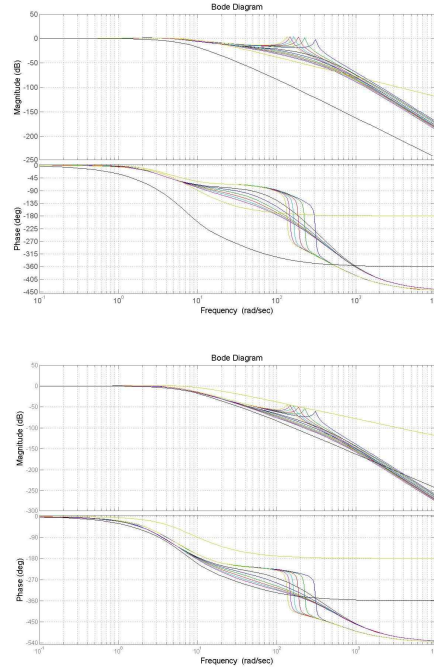


Fig. 3 (a) Closed-loop frequency response without prefilter, and (b) with prefilter

### 4. 결론

정량적 피드백 이론을 이용하여 변동 부하와 모델 불확실성을 갖는 유압 시스템의 강인한 위치 제어기를 설계하였다.

### 후기

본 연구는 지식경제부 민군겸용기술개발사업 “다축형 견마로봇 플랫폼 기술 개발” 과제로 지원되었습니다.

### 참고문헌

1. Navid Niksefat, and Nariman Sepehri, “Hydraulic Actuators Despite System and Environmental Uncertainties”, IEEE Control System Magazine, 66-77, 2001
2. Contantine H. Houpis, “Quantitative Feedback Theory”, Marcel Dekker, Inc.
3. M. G Rabie, “Fluid Power Engineering”, Mc Graw Hill