

아날로그 PID 제어기를 이용한 2단 비례 압력 제어 밸브의 실현에 관한 연구

A Study on PID Control Law's Realization for 2-Stage Proportional Pressure Control Valve with Analog Controller

윤소남^{1*} · 정황훈¹

S. N. Yun and H. H. Jeong

Received: 20 Aug. 2012, Revised: 29 Oct. 2012, Accepted: 19 Nov. 2012

Key Words : PID Controller(비례-적분-미분 제어기), Proportional Pressure Control Valve(비례압력 제어밸브), 2 Stage Valve(2단 밸브)

Abstract: The customers who used the hydraulic system desire the product that has more detailed specification quickly during the industrial technology is developed. Every researcher try to reduce the developed period and to satisfy the customers' desire. Lot's of simulation software and hardware already was used to be satisfied those purpose. But these kind of equipment need a lot of cost to set up and technical knowledge to drive that system.

This paper concerns about analog PID controller that can be assembled with a few resistor, condenser and optional amplifier and doesn't need technical knowledge to drive. At the first, the plant was modeled mathematically to design the analog PID controller's circuit. After that, PID controller's parameter was selected by customers' desire. Finally, the analog PID controller's circuit was assembled from the control law. The circuit's availability was confirmed by step response test in the controlled system.

1. 서 론

산업기술의 발전에 따라 유체기계를 사용하는 소비자들은 보다 구체적인 성능사양을 만족하는 제품을 요구하고 있다. 이러한 소비자들의 요구를 만족시키기 위해 유체기계 생산자들은 소비자들이 필요하는 성능사양을 만족하는 유체기계를 개발하는데 필요한 기간을 최대한 줄이고자 노력하고 있다. HILS(Hardware-in -the loop simulation)과 같이 다양한 시뮬레이션 소프트웨어와 하드웨어는 개발에 소요되는 시간을 줄이고자 하는 개발자들의 필요를 충족시키기 위해 개발되었으며, 그 목적을 충분히 달성하고 있다. 하지만, 이러한 시뮬레이션 시스템

은 초기 시스템을 구축하는데 많은 비용이 소요되며, 시스템의 운용에 전문적인 지식이 필요한 단점이 있다.

본 연구는 특별한 전문 지식이 필요없는 PID제어기를 간단한 아날로그 회로를 통해 구현하여 제어대상 시스템의 기본적인 실험을 수행할 수 있도록 하는 것을 목적으로 한다. 이에 따라 주어진 제어대상을 정의하고, 이 제어 대상에 대한 PID 파라미터를 선정한다. 설계된 PID 제어기를 아날로그 앰프를 통해 실현하며, 아날로그 PID 제어기를 포함하는 시스템의 스텝 응답으로부터 제작된 회로의 유용성을 확인하고자 한다.

2. 제어대상

Fig. 1은 제어 대상 유압 밸브의 사진이다. 제어 대상 유압 밸브는 파일럿 타입 2단 비례압력 제어 밸브로 실제 유압을 제어하는 메인 밸브와 메인 밸브의 압력을 제어하기 위한 파일럿 밸브로 구성되어 있다.

* Corresponding author: ysn688@kimm.re.kr

1 Extreme Mechanical Engineering Research Division, Korea Institute of Machinery & Materials, Deajeon 305-343, Korea

Copyright © 2012, KSFC

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

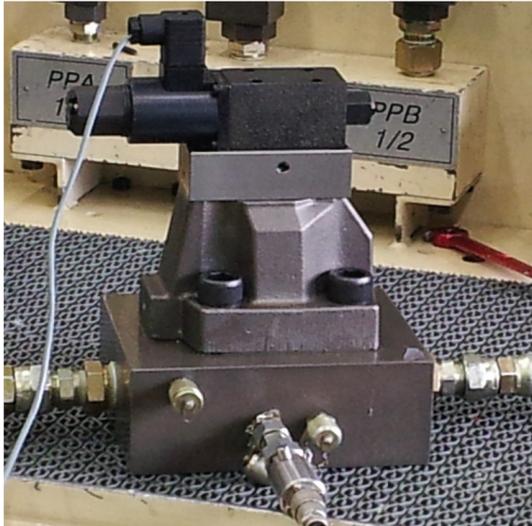


Fig. 1 Hydraulic valve to control

Table 1 RCGA's parameters

Maximum generation	100
Chromosome length	4
Population	60
Crossover Probability	0.9
Mutation Probability	0.1

시스템의 응답특성 상 식(1)과 같은 시간지연이 있는 단순 2차계 시스템으로 가정할 수 있다.

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = G(s) = e^{-as} \frac{c}{s^2 + b_1s + b_2} \quad (1)$$

제어 대상 유압 밸브 시스템의 전달함수 파라미터 값은 RCGA(Real Coded Genetic Algorithm, 유전알고리즘)를 이용하여 동정한다.¹⁾ Table 1은 RCGA를 구현하기 위한 내부 파라미터 값들을 정의한 표이며, 파라미터 값을 추정하기 위한 탐색영역은 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} -100 &\leq a \leq 0.5 \\ -100 &\leq b_1 \leq 100 \\ -3000 &\leq b_2 \leq 3000 \\ -3000 &\leq c \leq 3000 \end{aligned} \quad (2)$$

식(3)은 Table 1과 같은 프로그램 파라미터를 가지는 RCGA의 계산결과를 통해 동정한 제어 대상의 전달함수이다.

$$G(s)_{250} = e^{-0.083s} \frac{547.8518}{s^2 + 42.671s + 1755.121} \quad (3)$$

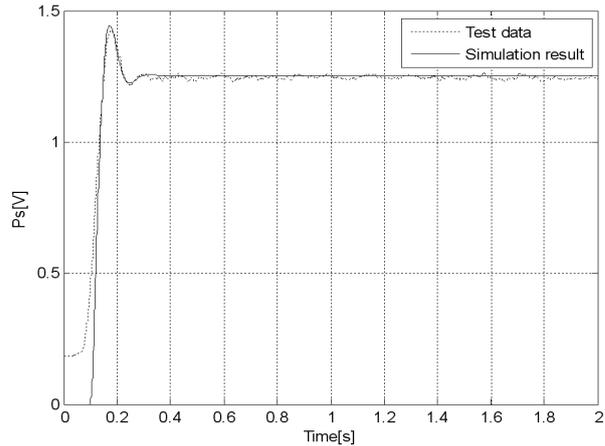


Fig. 2 Step response comparison between test's data and identified one

Fig. 2는 식(3)과 같은 전달함수를 가지는 시스템의 스텝응답과 개루프 상태에서의 제어 대상 밸브의 스텝응답을 비교한 그래프로 동정된 전달함수가 실험 데이터를 충분히 추종하고 있음을 확인할 수 있다.

3. 제어 시스템

3.1 PID 파라미터 선정

PID제어기는 특별한 전문지식 없이 제어기의 계수를 조정하여 제어대상의 동특성을 조절할수 있는 제어기로 간단한 시스템을 주로 사용하는 산업현장에서 사용하기 적합한 제어기이다. PID제어기 파라미터를 구하는 방법에는 근궤적법과 같이 시간영역에서의 시스템 응답특성을 이용한 방법과 Ziegler-Nichols 계수 조정법과 같이 안정한 시스템의 응답으로부터 계수를 결정하는 방법이 있다.

본 연구에서는 식(4)와 같이 정의된 PID제어기를 포함하는 HILS 시스템을 구현하고, 제어 시스템을 운용하는 사용자의 기호에 따라 직관적으로 파라미터 값을 선정하였다.

$$C(s) = (K_P + \frac{K_I}{s} + K_Ds)E(s) \quad (4)$$

Fig. 3은 PID제어기의 파라미터를 선정하기 위한 실험장치이다. 실험장치는 제어대상인 2단 비례압력 제어밸브와 솔레노이드 액추에이터를 구동하기 위한 파일럿 밸브 구동용 앰프, 압력 피드백을 위한 압력 센서(PCH-100MP, NTS inc.)와 압력센서용 앰프, 데이터 샘플링 및 디지털 제어를 수행하기 위한 PXI 컨트롤러로 구성되어있다. Fig. 3과 같은 실험 장치를 이용하여 선정된 PID 파라미터는 식(5)와 같다.



Fig. 3 The equipments of a step response test

$$K_P = 0.6, K_I = 25, K_D = 0.002 \quad (5)$$

3.2 아날로그 PID 제어기 제작

Fig. 4는 PID제어기에 대한 블록선도이다. Fig. 4에서처럼 PID제어기는 시스템 출력 $Y(s)$ 와 기준입력 $R(s)$ 사이에서 발생하는 에러신호 $E(s)$ 를 증폭하고, 적분하고, 미분하여 제어신호를 만들어내는 장치이다.

아날로그 PID제어기는 앞에서 기술한 PID제어기의 동작원리를 연산증폭기를 이용하여 구현한 것이다. 즉, 연산증폭기를 이용하여, 증폭회로와 미분회로, 적분회로, 가산회로를 구현하고, 이를 통해 제어신호를 만들어낸다. Fig. 5는연산증폭기를 이용하여 설계한 아날로그 PID제어기의 회로도이다. 회로에서 반전증폭기의 회로는 비례상수 K_P 를 구현하기 위해 사용되었으며, 입력측 저항 R_5 을 $10k\Omega$ 으로 피드백 저항 R_6 를 $6k\Omega$ 으로 선정하였다. 적분회로는 적분상수 K_I 를 구현하기 위해 사용되었으며, 입력측 저항 R_8 을 $400k\Omega$ 으로 피드백 커패시턴트 C_2 를 $0.1\mu F$ 으로 선정하였다. 미분회로는 미분상수 K_D 를 구현하기 위해 사용되었으며, 입력측 커패시턴트 C_1 을 $0.1\mu F$ 으로 피드백 저항 R_7 을 $20k\Omega$ 으로 선정하였다.

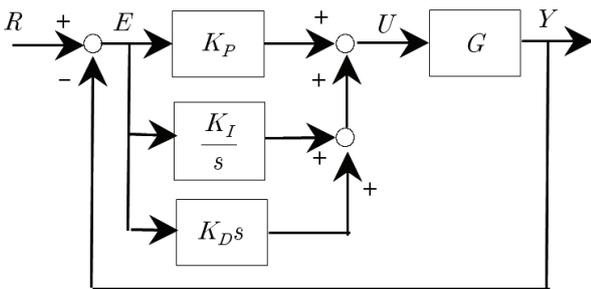


Fig. 4 Block diagram for PID controller

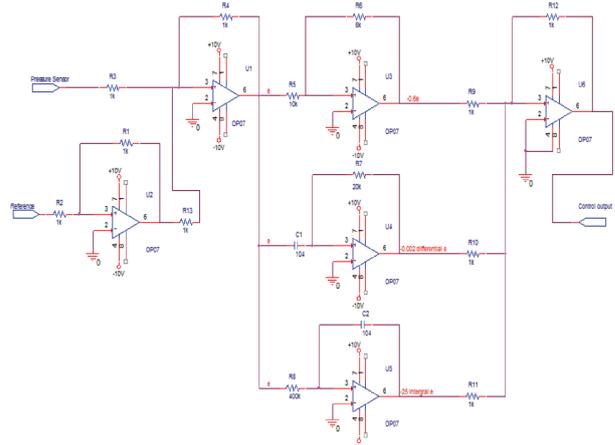


Fig. 5 Analog PID controller

Fig. 6은 만능기판을 이용하여 제작한 아날로그 PID 제어기의 사진이다. 회로를 제작하는데 사용된 연산증폭기는 OP07이며, 제어대상의 입출력 조건에 맞춰 $\pm 10V$ 의 직류 양전원을 사용하였다.

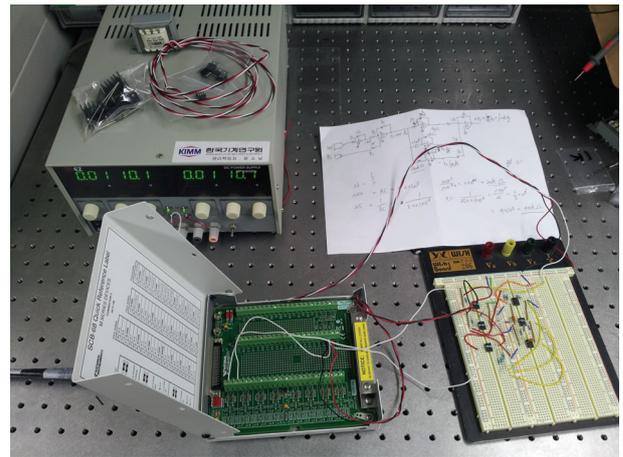


Fig. 6 Analog circuit for PID controller

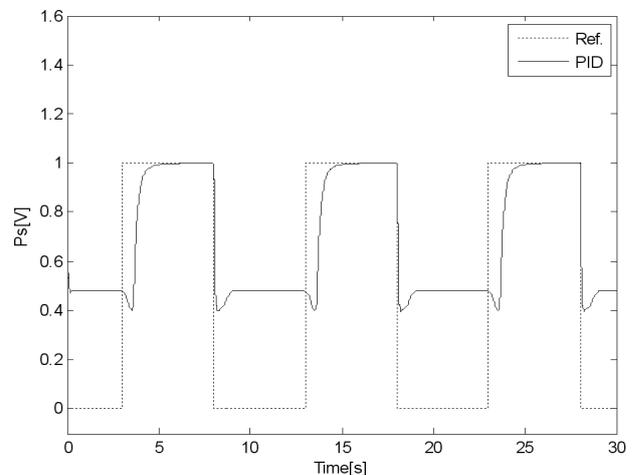


Fig. 7 Step response with analog PID

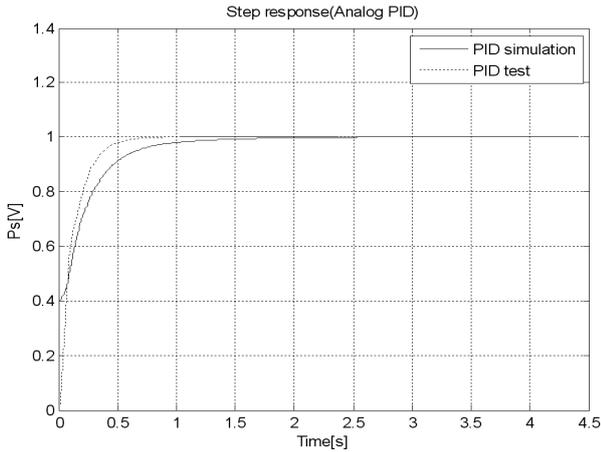


Fig. 8 Comparison between analog and digital PID controller

3.3 스텝응답 실험

아날로그 PID제어기를 포함하는 제어시스템의 스텝응답 실험은 Fig. 3과 동일한 상태에서 수행되었다. 이 때, PXI는 실험데이터를 저장하고 모니터링하는 용도로만 사용되었다.

Fig. 7은 아날로그 PID제어기를 사용한 비례압력 제어밸브 시스템의 스텝응답을 나타낸 그래프이다. 기존의 필터를 포함하지 않는 디지털 PID제어기를 사용한 제어시스템의 경우 제어 시스템의 출력에 많은 채터링(chattering)이 포함되었으나, 아날로그 PID제어기를 사용한 제어 시스템의 경우 채터링이 제거된 깔끔한 출력신호를 발생하고 있었다. 이는 아날로그 PID제어기 자체가 필터의 기능을 수행하고 있기 때문이라 판단된다.

Fig. 8은 실험에 의해 구한 PID제어 시스템의 응답 결과와 동정된 전달함수와 정의된 PID제어기를 사용하여 계산된 시뮬레이션 결과를 비교한 그림이다. 실험에 의해 구한 시스템의 응답이 시뮬레이션 응답에

비해 감쇄비가 더 큰 형태로 출력되고 있다. 이는 제작된 회로 중 적분기 내 콘덴서 값이 아주 작아 작은 오차에도 전체 시스템에 큰 영향을 끼치기 때문이며, 저렴한 비용으로 제어시스템의 동작확인을 위한 목적으로 아날로그 PID제어기는 충분히 효율적인 제어기라고 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 밸브를 개발하는 과정에서 시제품의 특성을 간단히 확인할 수 있는 제어시스템을 보다 저렴하게 구현하는 것을 목적으로 한다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 제어 대상에 적합한 PID제어기를 선정하고, 이를 연산증폭기를 이용하여 제작하였다. 또한 제작된 아날로그 PID제어기의 유용성은 실제 실험을 통해 확인하였으며, 이를 통해 특별한 전문지식 없이도 간단한 PID 제어시스템을 구현할 수 있음을 확인하였다.

참고 문헌

- 1) S. N. Yun, et al. "System Identification and Pressure Control of Pilot Type Poppet Valve", KSPSE Autumn Conference, pp.93~96, 2011.
- 2) I. Y. Lee and J. M. Son, "Basic Characteristics of a Two Stage Directional Control Valve with Pilot Spool Assembled in Main Spool Coaxially", Journal of KSPSE, Vol.14, No. 6, pp.102~108, 2010.
- 3) J. S. Kim, "Linear Control System Engineering", Cheong Moon Gak, Paju, pp.311~317, 2003.
- 4) J. H. Yang, et al. "Automatic Control", Doo Yang Sa, Seoul, pp.316~322, 2006.