

비례유량제어밸브 위치제어기 자동조정

정 규 홍*†

* 대전대학교 컴퓨터응용기계설계공학과

Auto Tuning of Position Controller for Proportional Flow Control Solenoid Valve

Gyu Hong Jung*†

* Dept. of Computer Aided Mechanical Design Engineering, Daejin Univ.

(Received March 5, 2012 ; Revised April 18, 2012 ; Accepted April 18, 2012)

Key Words: Proportional Flow Control Solenoid Valve(비례유량제어밸브), Positioner(위치제어기), Auto Tuning(자동조정), PI Controller(비례적분제어기)

초록: 비례솔레노이드밸브는 코일전류에 비례하는 전자기력을 이용하여 밸브 변위를 연속적으로 가변시키는 밸브이다. 대용량 비례유량제어밸브는 발전소나 화학 플랜트에서 물, 스팀, 가스 등과 같은 공정유체의 대용량 유량제어에 사용되며 공압이나 모터를 이용하는 밸브에 비하여 우수한 응답성과 소형화의 장점을 가진다. 본 연구에서는 비례제어밸브를 대상으로 밸브의 동적 특성을 식별한 후 목표 성능이 만족되도록 위치제어기의 비례적분이득을 자동으로 조정하는 기능을 설계하였다. 동특성 식별은 릴레이 피드백을 통하여 한계 안정 상태에서의 임계이득과 임계주기로 파악하였으며, 비례적분이득 결정에는 Ziegler-Nichols 방법을 적용하였다. 구현된 기능은 시험을 통하여 성능을 검증하였으며 밸브 작동점과 릴레이 제어기 변수가 자동조정에 미치는 영향을 분석하였다.

Abstract: Proportional solenoid valves are a modulating type that can control the displacement of valves continuously by means of electromagnetic forces proportional to the solenoid coil current. Because the solenoid-type modulating valves have the advantages of fast response and compact design over air-operated or motor-operated valves, they have been gaining acceptance in chemical and power plants to control the flow of fluids such as water, steam, and gas. This paper deals with the auto tuning of the position controller that can provide the proportional and integral gain automatically based on the dynamic system identification. The process characteristics of the solenoid valve are estimated with critical gain and critical period at a stability limit based on implemented relay feedback, and the controller parameters are determined by the classical Ziegler-Nichols design method. The auto-tuning algorithm was verified with experiments, and the effects of the operating point at which the relay control is activated as well as the relay amplitude were investigated.

- 기호설명 -

- a : 릴레이 피드백 시스템 출력신호 진폭
- d, ϵ : 릴레이 제어기 진폭, 히스테리시스
- $G_p(s), G_i(s)$: 위치, 전류제어기 전달함수
- $G_s(s)$: 비례솔레노이드 전류동특성 전달함수
- $G(s)$: 비례솔레노이드밸브 동특성 전달함수
- i_{sol} : 비례솔레노이드 전류
- k_c, T_i : 비례적분제어기 비례이득, 적분시간
- k_u : 임계이득(critical gain)
- $N(a)$: 기술함수(describing function)

- p_u : 임계주기(critical period)
- x_r, x_v : 비례솔레노이드밸브 지령 신호, 변위

1. 서론

비례솔레노이드(proportional solenoid)는 감겨진 코일에 흐르는 전류에 비례하여 전자기력이 발생되는 액추에이터이며, 비례솔레노이드밸브는 스프링 복원력과 전자기력을 이용하여 밸브 변위를 연속적으로 가변시키는 밸브로 두 위치에서만 안정된 상태를 유지하는 단순 개폐(on-off) 솔레노이드밸브와 구분된다.

대용량 비례유량제어밸브는 발전소나 화학 플

† Corresponding Author, ghjung@daejin.ac.kr

랜트에서 물, 스팀, 가스 등과 같은 공정유체의 대용량 유량을 조절하기 위한 목적으로 사용되는 밸브로 종래에는 공압 실린더나 전기모터를 이용하여 밸브를 구동하였으나 최근 솔레노이드 설계 및 제작기술이 발전함에 따라 비례솔레노이드 구동방식의 밸브가 일반화되고 있다. 비례유량제어 밸브는 액추에이터가 외부에 설치되는 공압작동 밸브(air-operated valve)나 전기모터를 이용하는 모터작동밸브(motor-operated valve)와 달리 솔레노이드가 밸브몸체에 내장되는 밀폐형 구조로 누설이 발생하지 않아 유지보수가 간편하고 패키징에서의 마찰력이 감소되므로 우수한 응답성과 소형 경량화가 가능한 장점을 갖는다.⁽¹⁾

Fig. 1은 위치제어기(positioner)로 구동되는 상시 폐쇄형(normally closed) 2방향(2-way) 밸브제어 시스템의 도식적인 구조와 회로기호를 나타낸다. 밸브 위치에 대한 지령 신호는 4-20mA 전류로 주어지고 위치제어기는 선형변위계(LVDT)로 측정되는 파일럿 디스크 변위가 지령 신호와 일치되도록 솔레노이드 코일전류를 제어한다. 대용량 비례유량제어밸브는 고압, 대용량의 유체가 밸브를 통과할 때 발생하는 유체력을 보상하면서 안정된 위치를 유지하기 위하여 2단 밸브(two stage valve)로 설계된다. 위치제어기가 전류지령 신호에 비례하여 파일럿 디스크(1단 밸브)를 구동하면 기계적인 방식으로 설계된 자력제어시스템(self-controlled system)에 의하여 메인 디스크(2단 밸브)는 파일럿 디스크 변위를 추종하고, 메인 디스크 변위에 비례하여 밸브 개도면적이 결정되는 작동방식이다. 펌프방식으로 구동되는 대용량 비례유량제어밸브에서 위치제어기는 전류지령 신호와 선형변위계 측정신호사이의 제어오차로부터 비례솔레노이드 전류를 조절하는 기능을 가지며 위치제어 성능은 메인 디스크의 구조, 기계적 자력제어 시스템 및 비례솔레노이드의 특성뿐만 아니라 위치제어기에 의해서 결정되므로 우수한 제어 성능을 위해서는 내부 구조와 동특성 분석을 바탕으로 최적의 제어기 설계가 필수적이다.

자동조정(auto tuning)은 제어대상 시스템의 입출력 신호로부터 동특성을 식별한 후 목표 성능이 충족되도록 제어기 파라미터를 설정하는 설계 방법이다. 자동조정은 동특성 식별방법과 제어기 구조에 따라 다양한 이론과 연구결과⁽²⁻⁴⁾가 존재하지만 실제적인 활용을 위해서는 동적시스템의

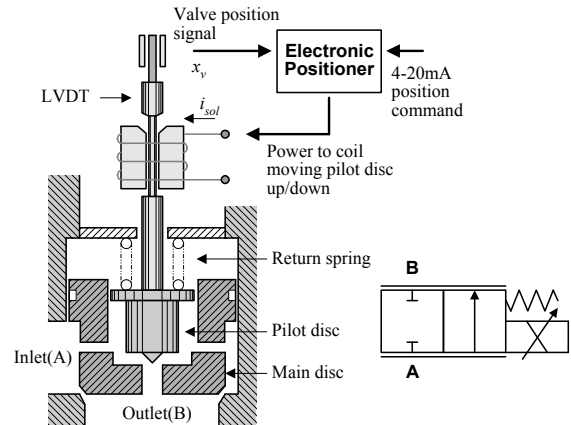


Fig. 1 Proportional flow control solenoid valve

비선형성, 외란, 입출력 신호의 잡음 등을 고려하여 적절하게 구현되어야 한다. 본 연구에서는 비례분제어기로 설계된 비례제어밸브 위치제어기 이득을 자동으로 조정하는 기능을 설계하였다. 시스템식별은 단순 릴레이(relay) 피드백을 이용하여 한계안정 상태(stability limit)에서의 비레이득과 리밋 사이클(limit cycle) 주기로 파악하였으며 고전적인 Ziegler-Nichols 방법을 적용하여 비례분제어기 이득을 선정하였다. 자동조정 알고리즘은 마이크로 제어기(microcontroller)를 이용하여 개발된 디지털방식 서보제어기(servocontroller)에 구현하였으며, 시험을 통하여 기능과 성능을 검증하고 밸브 작동점과 릴레이 제어기 변수가 자동조정에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 비례유량제어밸브 및 제어시스템

전기적인 지령 신호에 의하여 밸브 변위가 조절되는 비례유량제어밸브는 전자기력을 발생시키는 비례솔레노이드, 파일럿 디스크와 메인 디스크로 구성되는 밸브와 파일럿 디스크 변위가 지령 신호를 추종하도록 코일전류를 제어하는 디지털방식 서보제어기, PC에서 수행되면서 직렬통신을 이용하여 제반 작동 파라미터를 설정하고 작동 성능과 관련된 데이터를 수집하는 기능의 모니터링 프로그램으로 구성된다.⁽⁵⁾

Fig. 2는 시작품으로 제작된 60W, 100W, 400W의 소모 전력을 갖는 대용량 비례유량제어밸브이며 구동전압은 모두 직류 125V이다. 비례유량제어밸브 사양은 솔레노이드 코일의 소모 전력, 파일럿 디스크 최대 이동변위, 제어유량이 통과하

Table 1 Specification of the flow control solenoids

Data	60W	100W	400W
Coil resistance[Ω]	256	156	40
Max. current[A]	0.488	0.8	3.1
Stroke[mm]	3	10	30
Disc size[inch]	1	2	4

는 메인 디스크 직경과 솔레노이드에 전류가 흐르지 않는 초기 상태에서 유로의 개폐 상태에 따라 상시 폐쇄형과 상시 개방형으로 구분되며 Table 1은 제어대상 비례유량제어밸브의 기본 사양을 나타낸다. 모든 밸브는 동일한 작동원리를 가지므로 인터페이스 회로의 증폭기 이득과 내장 소프트웨어의 작동 파라미터만을 변경함으로써 동일하게 설계된 서보제어기가 적용된다.

Fig. 3은 비례유량제어밸브의 파일럿 디스크 변위를 제어하는 기능으로 개발된 서보제어기이고 Fig. 4는 밸브제어 시스템의 내부 구조를 나타내는 블록선도로 응답성과 안정성을 향상시키기 위하여 위치제어루프 내부에 전류제어루프가 포함되는 구조로 설계하였다. 내장 소프트웨어가 실행되는 마이크로 제어기는 16MHz 클럭으로 동작하는 ATMEL사의 AT90CAN128을 사용하였으며 제어주기는 5ms(200Hz)이다. 서보제어기내의 인터페이스 회로는 입력 및 센서출력 신호조정회로(signal conditioning), PWM 전류구동회로와 기타 부가적인 기능의 회로로 구성된다.

Fig. 5는 LabWindows/CVI로 설계된 모니터링 프로그램의 메인 창을 보여준다. 서보제어기 단독 작동 시에는 뒷면 단자를 통하여 입력되는 전기적인 지령 신호에 의하여 밸브가 작동되고 작동 상태에 대한 정보는 전면 텍스트 LCD(text LCD)를 이용하여 확인할 수 있다. 이에 비하여 PC에서 수행되는 모니터링 프로그램을 이용하면 서보제어기와 115,200bps의 직렬통신으로 연결되어 사용자 작동 지령을 송신하고 작동 상태와 관련된 다양한 정보를 실시간으로 수집하는 기능이 가능하므로 밸브 위치제어와 관련된 제반 작동 파라미터의 설정과 작동 상태정보를 모니터링하거나 저장하는 경우에 활용된다.

3. 자동조정 알고리즘

자동조정은 제어대상 시스템의 동적 특성이 변

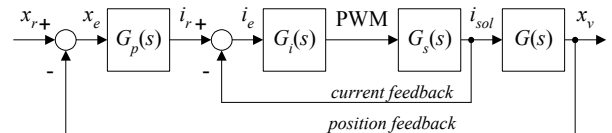


(a) 60W (b) 100W (c) 400W

Fig. 2 Prototype of the proportional solenoid valves



Fig. 3 Digital servocontroller(v4.0)



$G_p(s)$: Position controller
 $G_i(s)$: Current controller
 $G_s(s)$: Current driver and solenoid dynamics
 $G(s)$: Pilot disc dynamics

Fig. 4 Block diagram of the positioner

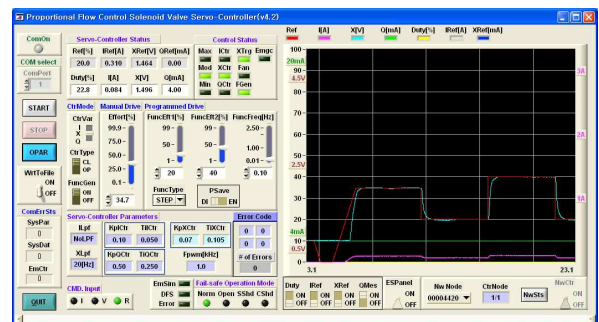


Fig. 5 Monitoring program main window

화되거나 외란 등과 같은 작동환경이 달라졌을 때 이를 식별한 후 적절하게 제어변수를 조정함으로써 안정된 성능을 유지하기 위한 목적으로 활용된다. 자동조정 방식은 정상작동 상태에서 제어대상 플랜트의 입출력 신호를 이용하여 연속적으

로 동특성을 식별하고 이를 바탕으로 제어변수를 조정하는 온라인 방식과 미리 설계된 가진(excitation) 시험신호에 대한 제어대상 플랜트의 출력신호로부터 동특성을 파악하고 제어변수를 조정하는 오프라인 방식으로 구분된다.

본 연구에서는 밸브 사양에 따른 동특성 차이 뿐만 아니라 동일사양 제품의 기계적인 성능 차이를 보상하면서 간편하게 목표 성능을 구현하기 위해 자동조정기능을 활용하였다. 대용량 비례유량제어밸브는 원자력 발전소 등에서 위급한 상황에서만 작동되는 긴급 급수밸브로 사용되어 정상 작동 상태에서는 초기 위치에서 정지해 있으므로 오프라인 방식의 자동조정을 적용하였다.

3.1 Ziegler-Nichols 방법

다양한 제어이론이 개발된 현재에도 비례적분미분제어기(PID controller)는 제어기의 구조가 단순하고 플랜트에 대한 수학적 모델이 없어도 현장 기술자들이 이득을 조절함으로써 제어 성능을 변화시킬 수 있다는 장점으로 인하여 일반 산업현장에서 보편적으로 사용되고 있다. 본 연구에서는 비례제어밸브 위치제어기로 비례적분제어를 적용하였으며 미분제어는 선형변위계 출력신호에 발생하는 잡음이 증폭되어 성능이 저하되는 것을 방지하기 위하여 사용하지 않았다.

Ziegler-Nichols 방법은 실험을 통하여 2개의 파라미터를 측정하여 동특성을 식별한 후 이를 이용하여 비례적분제어기의 이득을 선정하는 경험적인 방법으로 Fig. 6과 같이 개루프 시스템의 단위계단 응답에서 R 과 L 을 이용하거나 비례제어기가 적용된 폐루프 시스템이 지속적으로 진동하는 이득 k_u 와 출력의 주기 p_u 를 구하여 식 (1)의 비례적분제어기에서 비례이득 k_c 과 적분시간 T_i 를 결정하게 된다. 개루프 시스템의 단위계단 응답을 이용하면 외란에 민감하고 폐루프 시스템의 경우에는 한계안정 상태를 나타내는 비례이득 k_c 를 구하는 것이 쉽지 않은 단점이 있다.

$$u = k_c e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt \quad (1)$$

3.2 릴레이 피드백 방법

Fig. 6(b)와 같이 비례제어기가 적용된 폐루프 시스템을 이용하는 Ziegler-Nichols 방법은 한계안정 상태에서 루프전달함수 $k_u G(s)$ 의 위상이 180° 이

고 임계안정이므로 Nyquist 선도에서 -1 을 통과하는 임계 주파수 ω_c 와 이 때의 임계이득 k_u 를 구하는 것과 동일하다. 전술된 바와 같이 비례제어를 이용하면 시스템이 불안정해질 수 있으므로 한계안정 상태에 대한 식별이 어렵지만 Fig. 7과 같이 릴레이 제어를 이용하면 안정적으로 시스템 출력의 진폭을 조절하면서 한계안정 상태를 구현할 수 있다. 여기서 릴레이 진폭 d 는 리밋 사이클을 나타내는 시스템 출력의 진폭 a 조절에 이용되며 릴레이 히스테리시스(hysteresis) ε 은 측정 잡음에 민감하게 반응하지 않도록 설정된다.

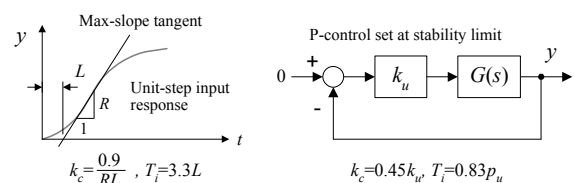
Fig. 8은 히스테리시스를 갖는 릴레이의 입출력 신호를 나타내며 비선형요소에 대한 전달함수는 릴레이 출력신호를 푸리에 급수로 변환한 후 기본 주파수(fundamental frequency) 성분만을 고려하는 기술함수(describing function)로 나타낼 수 있다. 히스테리시스 ε 이 릴레이 진폭 d 에 비하여 매우 작아 무시하면 릴레이 제어기의 기술함수는 입출력 신호의 진폭비로서 다음과 같다.⁽⁶⁾

$$N(a) = \frac{4d}{\pi a} \quad (2)$$

따라서 Fig. 7과 같은 릴레이 피드백을 이용하면 시스템 출력이 리밋 사이클을 나타내는 한계안정 상태를 안정적으로 구현할 수 있으며 임계이득 k_u 는 $N(a)$ 로 대체하여 Ziegler-Nichols 방법으로 비례이득과 적분이득을 결정할 수 있다.

3.3 비례제어밸브 동특성 식별

Fig. 9는 릴레이 피드백을 이용해서 비례제어밸브의 한계안정 상태를 구현하는 블록선도이다. 릴레이는 변위 오차 x_e 의 부호에 따라 PWM 듀티율을 d 만큼 증가시키거나 감소시켜 밸브 변위에 리밋 사이클이 발생되도록 하였으며 기준신호 x_r 은 동특성 식별의 작동점을 나타낸다. Fig. 4의 비례제어밸브 위치제어기는 변위 오차로부터 전



(a) Step response (b) Stability limit gain

Fig. 6 Ziegler-Nichols gain tuning method

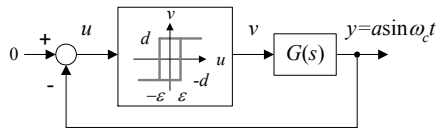


Fig. 7 Block diagram of the auto-tuner

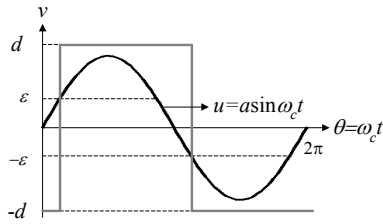


Fig. 8 Input-output of a relay controller

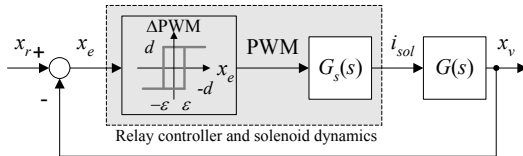


Fig. 9 Relay control for proportional solenoid valve

류제어기의 기준전류를 연산하므로 제어기 입출력 단위가 동일하도록 릴레이 제어 시 임계이득 k_u 는 밸브 변위진폭에 대한 전류진폭의 비로 계산하였다.

Ziegler-Nichols 방법으로 설계된 비례적분제어기는 계단입력 시 부족감쇠 진동의 진폭이 매 주기마다 1/4씩 감소되는 특성을 가지며 등가 감쇠비(damping ratio)는 0.22로 알려져 있다.⁽⁷⁾ 이러한 특성은 외란제어에는 효과적이지만 지령 신호가 변화될 때의 과도응답에서는 큰 진동이 수반되므로 본 연구에서는 릴레이 피드백으로부터 식별된 임계이득 k_u 와 임계주기 p_u 로부터 계산되는 비례이득 k_c 과 적분시간 T_i 계산식을 임계감쇠에 근접하도록 적절하게 수정하였다.

4. 성능시험

60W급 비례유량제어밸브 시작품을 대상으로 비례솔레노이드 구동전류에 대한 밸브 변위의 정특성을 파악하고 자동조정기능을 검증하기 위한 시험을 수행하였다.

4.1 정특성 시험

디지털 서보제어기는 PWM방식으로 전력트랜지스터를 고속으로 ON/OFF 스위칭하여 비례솔레노이드 전류를 조절하며 PWM 스위칭 주파수(또는,

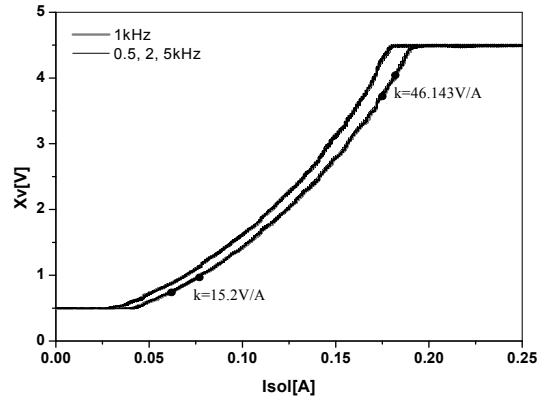


Fig. 10 Steady-state characteristics

반송 주파수)에 따라 작동특성이 달라질 수 있다. 구동조건에 따른 비례솔레노이드밸브의 개루프 특성을 살펴보기 위하여 0.5k, 1k, 2k, 5kHz PWM 반송주파수에 대하여 PWM 듀티율을 0%에서 60%까지 0.01Hz 램프신호로 서서히 변화시키면서 코일전류에 대한 파일럿 디스크변위의 정특성을 파악하였으며 시험 결과는 Fig. 10과 같다. 선형변위계로 측정되는 밸브 변위의 출력전압은 최소 0.5V, 최대 4.5V로 보정된 결과이다.

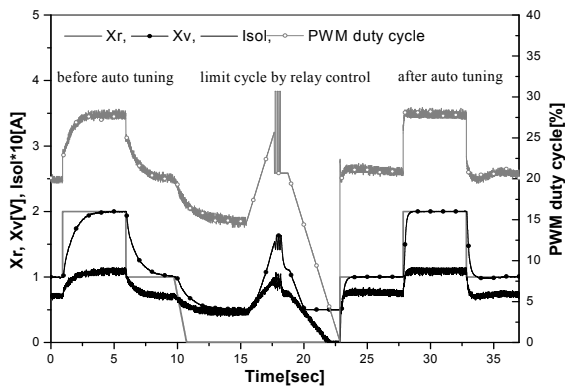
시험 결과에서 PWM 반송 주파수에 의한 영향은 거의 없으며, 파일럿 디스크 변위가 발생하는 최소 전류는 30mA이고 191mA에서 최대 변위에 도달함을 확인하였다. 30-191mA의 유효전류영역에서는 최소 0.122V, 최대 0.548V의 출력 히스테리시스가 발생하며, 히스테리시스가 다른 이유는 전류가 클수록 고정자와 가동자 사이의 공극이 작아지므로 전자기력이 증가하여 전류입력에 대한 파일럿 디스크 변위의 개루프 이득이 크기 때문이다. 이와 같은 정특성 시험을 통하여 제어 대상 비례솔레노이드밸브에는 마찰력에 의한 히스테리시스뿐만 아니라 개루프 이득도 작동점에 따라 변화되는 비선형성이 존재함을 알 수 있다.

4.2 자동조정 시험

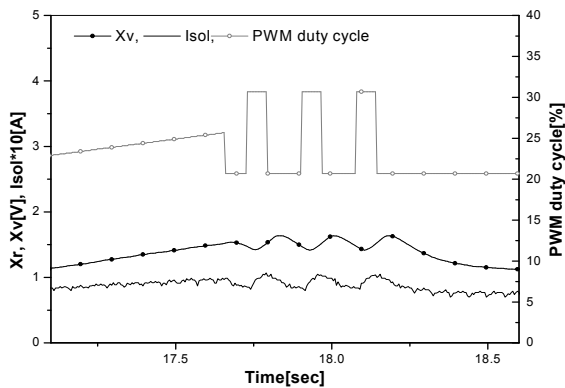
Fig. 11(a)은 비례제어밸브 자동조정의 전 과정을 나타내는 시험 결과이다. 자동조정 전 비례적분제어 이득은 $k_c = 0.03A/V$, $T_i = 0.2sec$ 이다. 계단신호에 대한 응답은 적분제어로 인하여 정상상태 오차는 발생되지 않으나 과감쇠로 다소 느리게 목표 값에 수렴한다. 릴레이 피드백에 의한 자동조정을 거친 후에는 $k_c = 0.07$, $T_i = 0.105$ 로 변화되어 임계감쇠의 신속한 응답특성을 나타내었다. 릴레이 피드백에서 동특성 식별의 작동점을 나타내는 $x_r = 1.5V$ 이고

릴레이 제어의 크기와 히스테리시스는 각각 $d = 5\%$, $\epsilon = 0.2\%$ 로 설정하였다. Fig. 11(b)는 릴레이 제어에 의하여 발생하는 한계안정 상태에서의 응답을 확대한 그림이다. 자동조정이 시작되면 PWM 듀티율이 서서히 증가하여 $x_v = x_r$ 에서 릴레이 제어가 활성화되고 3개의 리밋 사이클에 대하여 임계이득과 임계주기를 측정하도록 설계하였다. 이상적인 선형 시스템에서는 릴레이 출력이 50%의 듀티율을 갖는 구형파가 되어야 하지만 비선형성으로 인하여 다소 왜곡됨을 알 수 있다. 그러나 히스테리시스를 이용하여 측정 잡음에 의한 릴레이 출력변화를 방지함으로써 리밋 사이클의 주기가 일정하므로 안정적인 식별이 가능함을 확인하였다.

릴레이 진폭 d 가 자동조정에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 작동점에서 PWM 듀티율 변화량을 2%, 5% 10%로 설정하여 시험하였다. 정특성 시험에서 파악된 바와 같이 비례제어밸브는 히스테리시스 특성을 가지므로 $x_v = x_r$ 에 도달하였을 때 릴레이 제어기에서 출력되는 PWM 듀티율의 변화량이 작으면 리밋 사이클이 발생하지 않게



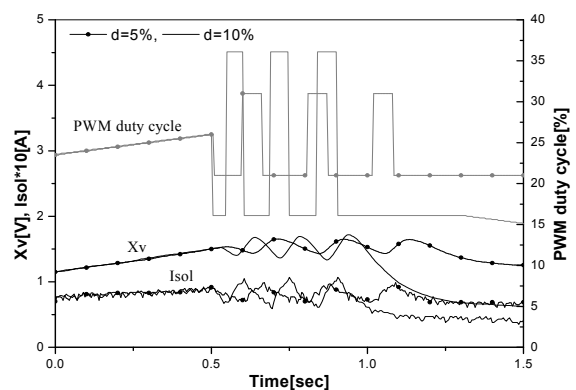
(a) Entire process



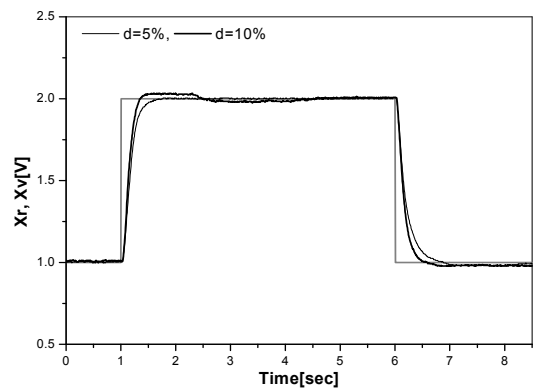
(b) Magnified view of limit cycle

Fig. 11 Auto tuning of proportional solenoid valve

된다. $d = 2\%$ 인 경우에는 밸브진동이 발생하지 않았으며 5%와 10%인 경우에 대한 시험 결과를 Fig. 12(a)에 나타내었다. 릴레이 진폭이 클수록 밸브 진폭이 증가할 뿐만 아니라 진동 주파수도 커짐을 확인하였다. 선형 시스템의 경우에는 릴레이 진폭과 밸브 진폭은 비례하고 진동주기는 일정하므로 임계이득 k_u 와 임계주기 p_u 는 릴레이 진폭에 무관하지만 비례제어밸브는 비선형성에 의하여 릴레이 진폭에 따라 임계주기가 변화되고 이는 적분시간 T_i 에 영향을 미친다. $d = 10\%$ 에 대한 자동조정 결과는 $k_c = 0.07$, $T_i = 0.075$ 이다. Fig. 12(b)는 5%와 10%의 릴레이 진폭에 대하여 자동조정된 비례적분제어기의 계단응답 비교를 나타낸다. $d = 10\%$ 인 경우에는 적분이득이 증가하므로 목표 값에 빠르게 도달하지만 오버슈트가 발생하는 부족감쇠 특성을 나타내었다. 상기 시험 결과로부터 릴레이 피드백을 이용한 자동조정 시 릴레이 진폭은 작동점 부근에서의 선형성만을 파악하기 위하여 리밋 사이클이 발생하는 작은 크기로 설계하는 것이 유리함을 알 수 있다.



(a) Auto tuning process



(b) Step response

Fig. 12 Auto tuning for relay amplitude variation

Table 2 Auto tuning result for the operating points

$(x_r)_{op}[V]$	$k_c[A/V]$	$T_i[sec]$
1.5	0.07	0.105
2.5	0.04	0.110
3.5	0.03	0.115

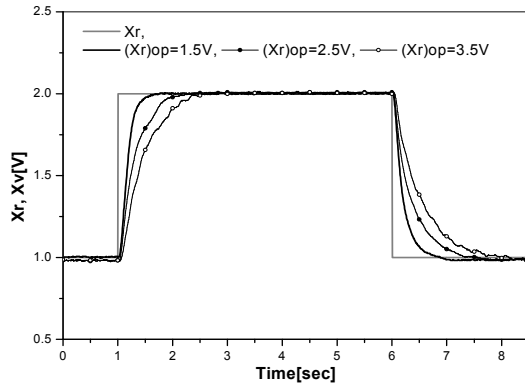
**Fig. 13** Step response variation for $(x_r)_{op}$

Fig. 10의 정특성 시험에서 시험대상 비례제어밸브는 작동점에 따라 전류에 대하여 발생하는 변위이득이 3배 이상 변화되므로 릴레이 피드백에 의하여 자동조정되는 비례적분제어기도 다르게 나타남을 알 수 있다. 자동조정에서 작동점이 미치는 영향을 고찰하기 위하여 릴레이 제어가 활성화되는 밸브 변위를 1.5, 2.5, 3.5V로 설정하여 자동조정을 수행하였으며 Table 2에 결과를 나타내었다. 밸브 작동점에서의 개루프 이득이 클수록 폐루프 시스템의 응답이 임계감쇠에 근접하도록 비례제어이득은 감소하고 적분시간은 증가(적분이득 감소)함을 알 수 있다. Fig. 13은 1V에서 2V로 변화되는 계단지령 신호에 대하여 3가지 작동점에서 자동조정된 비례적분제어기를 적용하여 시험한 결과를 나타낸다. 1.5V를 기준으로 자동조정된 제어기 성능이 가장 양호하며 작동점이 멀어질수록 느린 응답을 나타내었다. 이러한 제어 성능은 비례제어밸브의 비선형에 기인하므로 성능보완을 위해서는 작동점에 따른 제어기 이득설정이나 비선형제어를 활용해야 한다.

5. 결론

비례제어밸브는 솔레노이드 코일에 흐르는 전류에 비례하여 발생하는 전자기력을 이용하여 밸브 변위를 연속적으로 가변시키는 기능을 가진다.

본 논문에서는 원자력 발전소나 화학 플랜트에 서 공정유체의 대용량 유량조절에 이용되는 대용량 비례유량제어밸브를 대상으로 밸브 변위를 제어하는 위치제어기의 자동조정기능을 릴레이 피드백을 통하여 구현하였으며 시작품을 대상으로 시험을 수행하여 기능과 성능을 검증하였다.

시험대상 비례제어밸브는 개루프 이득이 작동점에 따라 변화될 뿐만 아니라 마찰력에 의해 히스테리시스가 존재하는 비선형적인 요소임을 확인하였으며 릴레이 제어기 출력의 진폭과 리밋 사이클이 발생하는 작동점이 자동조정에 미치는 영향을 분석하였다.

후 기

이 논문은 2012학년도 대전대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.

참고문헌

- (1) Vito, L., 1988, "High Pressure Modulating Solenoid Valve for Steam/Gas Service," *InTech*, pp. 43~46.
- (2) Astrom, K. J. and Hagglund, T., 1984, "Automatic Tuning of Simple Regulators with Specifications on Phase and Amplitude Margins," *Automatica*, Vol. 20, No. 5, pp. 645~651.
- (3) Kwon O. S., Park S. M., Park J. M., Kim, H. H. and Jung W. H., 2009, "Design of Auto-Tuning State Controller with Observer for Steam Temperature Control of Power Plant Superheater," *KSME spring conference*, pp. 169~174.
- (4) Oh, S. R., 2010, "An Auto-Tuning Algorithm of PI Controller Using Time Delay Element," *Journal of IEEK(SC)*, Vol. 47, No. 6, pp. 341~345.
- (5) Jung, G. H., 2011, "Design of Intelligent Servocontroller for Proportional Flow Control Solenoid Valve with Large Capacity," *Journal of KFPS*, Vol. 8, No. 3, pp. 1~7.
- (6) Takahashi, Y., Rabins, M. J., Auslander, D. M., 1972, *Control and Dynamic Systems*, Addison-Wesley, pp. 523~527.
- (7) Astrom, K. J. and Hagglund, T., 1988, *Automatic Tuning of PID Controllers*, Instrument Society of America, pp. 52~61.