

지능형 대용량 비례유량제어밸브 서보컨트롤러 설계

Design of Intelligent Servocontroller for Proportional Flow Control Solenoid Valve with Large Capacity

정 규 흥

G. H. Jung

접수일: 2011년 7월 4일, 수정일: 2011년 7월 28일, 게재확정일: 2011년 7월 29일

Key Words : Proportional Flow Control Solenoid Valve(비례유량제어밸브), Servocontroller(서보컨트롤러), On-Board Diagnosis(자기진단), Fail-Safe(안전작동), Error Code(오류코드)

Abstract: As the technologies of electronic device have advanced these days, most of mechanical systems are designed with electronic control unit to take advantage of control parameter adaption to operating conditions and firmware flexibilities as well. On-board diagnosis, which detects the system malfunction and identifies potential source of error with its own diagnostic criteria, and fail-safe that can switch the mode of operation in view of recognized error characteristics enables easy maintenance and troubleshooting as well as system protection. This paper dealt with the development of diagnosis and fail-safe function for proportional flow control valve. All type of errors related to valve control system components are investigated and assigned to a specific hexadecimal codes. Cumulative error detection algorithm is applied in order for the sensitivity and reliability to be appropriate. Embedded simulator which runs simultaneously with system program provides the virtual error simulation environment for expeditious development of error detection algorithm. The diagnosis function was verified both with solenoid valve and embedded simulator test and it will enhance the valve control system monitoring function.

1. 서 론

최근 급속히 발전하고 있는 반도체와 디지털 컴퓨터기술은 임베디드 소프트웨어와 결합하여 전자제어에 활용됨으로써 자동화된 기계시스템 개발을 가속시키고 있다. 기계장치의 구동 및 제어에 전자제어를 도입함으로써 얻을 수 있는 이점으로는 기계적인 시스템의 작동상태와 환경을 고려하여 이에 적절하게 작동 파라미터를 설정함으로써 성능향상 및 안정화가 가능하고 임베디드 소프트웨어가 갖는 설계의 다양성과 유연성 외에도 기계 및 전자제어 시스템에서 발생하는 작동오류를 자체적으로 검출하고 작동오류의 특성에 따라 적절한 작동모드를 전환하는 진단 및 안전작동 기능의 설계가 가능하다는 점이다.

기계적인 장치를 대상으로 설계되는 전자제어시스템은 기본적으로 제반센서로부터 획득된 정보를 바

탕으로 목표성능에 부합되도록 액추에이터를 구동하므로 임베디드 소프트웨어로 구현된 시스템운영 프로그램에서는 입출력 신호로부터 적절한 오류검출 알고리즘을 이용하여 작동오류를 판단할 수 있다. 전자제어장치 자체적으로 이상 작동상태를 인식하고 오작동의 잠재적인 원인을 검출하는 자기진단기능(on-board diagnosis)은 시스템 유지보수 및 고장수리가 간편할 뿐만 아니라 안전작동(fail-safe) 기능을 이용하면 오작동에 의한 기기의 파손 및 전체 시스템 작동오류에 따른 손실을 방지할 수 있는 장점을 갖는다. 기계시스템의 전자제어화가 진행됨에 따라 힘, 압력, 변위 등 기계적인 형태의 신호전달방식은 아날로그 신호 및 디지털 통신으로 대체된다, 이에 따라 전기적인 신호전달체계와 센서 및 액추에이터의 물리적 취약성으로 인하여 전자제어시스템에 대한 신뢰성이 대두되고 있지만 전반적으로 기계시스템이 갖는 기능의 다양성과 지능화에 대한 요구를 충족시키기 위해서는 전자제어가 불가피하며 신뢰성확보를 위해서 진단 및 안전작동 기능이 더욱 강화될 것으

로 예상된다.

비례유량제어밸브(PFSCSV: proportional flow control solenoid valve)는 원자력 및 화력발전소, 정유공장 등에서 플랜트 배관계통 내에 흐르는 공정유체의 유량을 제어하기 위하여 유로단면적을 연속적으로 조절하는 기능을 가지며 고온, 고압의 대용량 유량이 밸브를 통과할 때 발생하는 유체력을 극복하면서 밸브 위치를 안정적으로 유지하기 위하여 파일럿 디스크와 메인 디스크로 구성되는 2단 밸브 구조로 설계된다. 1단 밸브인 파일럿 디스크 구동에는 공압이나 전기모터가 사용되었으나 최근에는 전자기력을 발생시키는 솔레노이드의 설계 및 제작기술이 향상되어 코일에 흐르는 전류로 파일럿 디스크를 구동하는 비례솔레노이드 밸브가 일반화되고 있다. 비례솔레노이드 밸브는 파일럿 디스크를 구동하는 액추에이터가 밸브에 내장되므로 기밀성이 우수하고 소형이면서도 응답성능이 빠른 장점을 갖는다.^{1~2)}

본 연구에서는 독자모델로 개발된 대용량 비례유량제어밸브의 파일럿 디스크 변위를 페루프 방식으로 제어하는 기능의 서보컨트롤러에 이상 작동상태를 검출하는 자기진단기능과 검출된 오류에 적절한 작동모드로 전환하는 안전작동기능을 설계하였으며 시험을 통하여 구현된 기능을 검증하였다. 마이크로컨트롤러를 이용하여 디지털방식으로 밸브를 구동하는 서보컨트롤러는 센서와 액추에이터의 단선(open circuit), 단락(short circuit)뿐만 아니라 기계적 부품결함에 의한 작동이상을 판정하는 기능이 내장됨으로써 전자제어시스템의 신뢰성을 향상을 통하여 지능형 스마트 밸브 제어시스템을 구현하였다.

2. 비례유량제어밸브 및 제어시스템

전기적인 지령신호에 비례하여 밸브변위가 조절되는 비례유량제어밸브는 전자기력을 발생시키는 솔레노이드, 파일럿 디스크와 메인 디스크로 구성되는 밸브와 파일럿 디스크변위가 지령신호를 추종하도록 코일전류를 제어하는 서보컨트롤러, PC에서 수행되면서 직렬통신을 이용하여 제반 작동 매개변수를 설정하고 작동성능과 관련된 데이터를 수집하는 기능의 모니터링 프로그램으로 구성된다.

2.1 비례유량제어밸브

Fig. 1은 2단 밸브의 구조를 갖는 대용량 비례유량제어밸브의 단면도를 나타낸다. 솔레노이드에 전류가

흐르지 않는 상태에서 파일럿 디스크는 스프링 초기 압축력에 의하여 하단 끝까지 내려와 유로를 폐쇄하고 솔레노이드에 흐르는 전류에 비례하여 고정자에 의하여 가동자에 발생하는 전자기력이 증가하여 파일럿 디스크를 상단으로 이동시킨다. Fig. 1은 솔레노이드에 전류가 흐르지 않는 초기 상태에서 유로가 폐쇄되는 상시 폐쇄형(normally closed) 구조이며 스프링 초기 압축력의 방향을 반대로 하면 상시 개방형(normally open) 밸브의 설계가 가능하다.

이와 같이 파일럿 디스크 변위는 전자기력과 스프링 압축력이 평형을 이루는 위치에서 결정되고 기계적 구조로 설계된 자력제어시스템(self-controlled system)에 의하여 메인 디스크 변위는 파일럿 디스크를 추종하고 메인 디스크 변위에 비례하여 밸브 개도면적이 결정되는 구조를 갖는다.³⁾

Fig. 2는 시작품으로 제작된 60W와 100W급 대용량 비례유량제어밸브를 나타내고 Table 1은 시작품의 각 모델별 주요 사양이다.

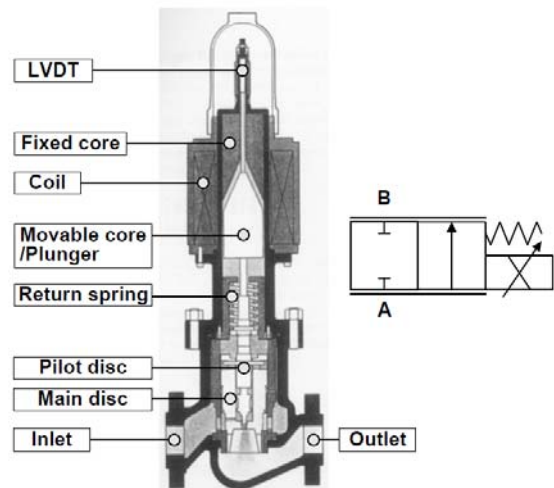


Fig. 1 Internal structure of proportional flow control solenoid valve



(a) 60W (b) 100W (c) 400W
Fig. 2 Prototype of flow control solenoid valve

Table 1 Specification of flow control solenoid

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

2.2 서보컨트롤러

Fig. 3은 전기적인 지령신호로부터 파일럿 디스크 변위를 제어하도록 개발된 서보컨트롤러를 나타낸다. 서보컨트롤러는 마이크로 컨트롤러를 이용하여 솔레노이드 코일에 흐르는 전류를 조절하여 전자기력을 변화시키면서 선형변위계(LVDT)로 측정된 파일럿 디스크 변위가 기준입력신호와 일치되도록 피드백 제어하는 기능을 담당한다. 지령신호와 파일럿 디스크 변위를 나타내는 선형변위계 출력신호는 마이크



Fig. 3 Servocontroller(v3.0)

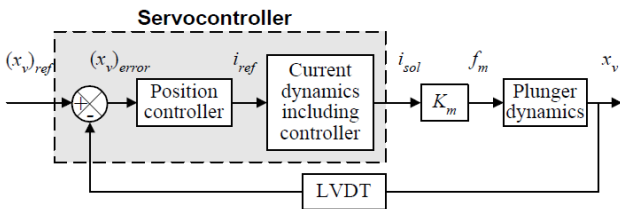


Fig. 4 Block diagram of PFCSV control system

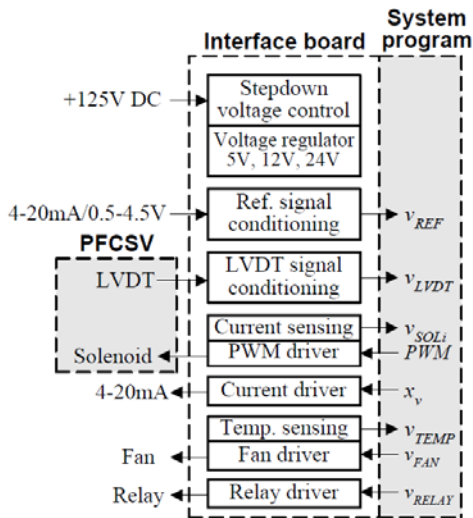


Fig. 5 I/O signal interface of servocontroller

로 컨트롤러에서 A/D변환으로 인터페이스되고 솔레노이드 전류는 FET 전력트랜지스터를 이용하여 펄스 폭변조(PWM)방식으로 구동된다.

Fig. 4는 파일럿 디스크 변위를 피드백 제어하는 위치제어시스템의 블록선도이고 Fig. 5는 서보 컨트롤러에 설계된 인터페이스 회로의 입출력 신호를 나타낸다. 서보컨트롤러 내부에는 위치제어기와 더불어 솔레노이드 코일의 작동온도에 따른 저항변화를 보상하기 위한 전류제어기능이 구현되어 있다.^{4~5)}

2.3 모니터링 프로그램

서보컨트롤러에 연결된 비례유량제어밸브는 뒷면 단자를 통하여 입력되는 전기적인 지령신호에 의하여 밸브가 작동되고 작동상태에 대한 정보는 전면 텍스트 LCD를 이용하여 확인할 수 있다. 이에 비하여 PC에서 수행되는 모니터링 프로그램을 이용하면 서보컨트롤러와 직렬통신으로 연결되어 사용자 작동 지령을 송신하고 작동상태와 관련된 다양한 정보를 실시간으로 수집하는 기능이 가능하므로 제반 작동 파라미터의 설정과 성능시험에 활용될 수 있다.

Fig. 6은 LabWindows/CVI로 설계된 모니터링 프로그램의 메인창을 보여준다. 서보컨트롤러 단독 작동 시에는 파일럿 디스크 위치제어만이 가능하지만 모니터링 프로그램이 직렬통신으로 서보컨트롤러와 연결된 상태에서는 기본적인 페루프 위치제어뿐만 아니라 개루프 PWM 제어, 전류제어모드로 구동할 수 있고 내장된 함수발생기에 의한 프로그램 구동과 제어기 이득설정, 선형변위계 출력신호 자동보정(auto calibration) 등의 다양한 기능을 활용할 수 있도록 설계하였다.



Fig. 6 Monitoring program main window

3. 진단알고리즘

서보컨트롤러는 파일럿 디스크 변위를 나타내는

선형변위계의 출력신호가 항상 지령신호와 일치하도록 PWM 듀티율을 변화시키면서 솔레노이드 코일전류를 조절한다. 솔레노이드 코일전류에 의한 전자기력과 스프링 압축력에 의하여 위치가 결정되는 파일럿 디스크의 동특성은 전달함수의 극점이 허수축에 존재하지 않는 Type0 시스템이므로 위치제어기를 비례-적분제어기로 설계하는 경우에는 정상상태오차가 발생되지 않는다.⁶⁾ 따라서 비레유량제어밸브의 이상 작동상태는 지령신호와 파일럿 디스크 변위와의 오차신호로부터 판정할 수 있다.

그러나 지령신호가 변화되는 과도상태에서는 항상 어느 정도의 오차가 존재하고 고속으로 스위칭하는 PWM 구동에 의해 아날로그 신호의 A/D 변환과정에서 글리치(glitch) 잡음이 유입될 수 있으므로 오작동 판정이 잘못 될 수 있다. 밸브 제어시스템에서 발생하는 오류를 안정적으로 판정하면서 오류 발생 원인을 정확하게 식별하기 위해서는 오작동 상태의 종류와 특성을 분류하고 오류판정 조건에 대한 명확한 설계를 바탕으로 다양한 작동조건에서 구현된 진단 알고리즘에 대한 검증이 필요하다.⁷⁾

3.1 오류코드의 분류

연구대상 비레유량제어밸브의 작동오류는 1바이트의 16진수 숫자로 지정되고 오류가 발생하는 작동요소, 오류 발생 원인이 제거되었을 때 오류가 삭제되는 복원여부, 발생한 오류가 비휘발성 메모리(non-volatile memory)에 저장되는 여부에 따라 다음과 같이 분류된다.

- 작동요소에 따른 분류

파일럿 디스크 변위를 측정하는 선형변위계와 전자기력을 발생시키는 솔레노이드 코일의 단선 및 단락, 인터페이스 회로에 공급되는 +125V 전원과 전원 제어회로에서 조절되는 제반기준전압이 너무 낮거나 높은 상태, 아날로그 지령신호의 유효범위 초과오류로 분류되며 각 오류는 입출력 커넥터의 단자전압으로부터 신호조정회로를 거쳐 A/D 변환된 결과로부터 일정한 주기로 반복 측정하여 오류여부를 판정한다. 서보컨트롤러 작동 매개변수가 저장된 EEPROM 데이터는 초기 기동 시에 복원되면서 체크섬을 이용하여 유효한 데이터를 확인한다.

- 복원여부에 따른 분류

복원불능오류는 오류가 검출되었을 때 서보컨트롤

러는 작동모드를 전환하면서 더 이상 해당되는 오류에 대한 진단을 수행하지 않으므로 오류 발생 원인이 제거되어도 복원되지 않는 오류로서 선형변위계와 비레솔레노이드 오류가 대표적이다. 복원가능오류는 오류 발생 원인이 제거되면 자체적으로 검출된 오류가 삭제되는 오류로서 아날로그 지령신호 유효범위 초과오류가 대표적이다. 복원불능오류는 오류 발생 원인을 제거한 후 서보컨트롤러 전원을 다시 켜야만 삭제된다.

- 비휘발성 메모리에 오류 저장여부에 따른 분류
- 비휘발성 오류(nonvolatile error)는 검출된 오류가 비휘발성 메모리인 EEPROM에 저장되며, 서보컨트롤러 전원스위치를 작동시켜 프로그램이 시작되는 초기에 오류로 재설정되는 오류이다. 비휘발성 오류는 선형변위계 자동보정데이터 오류(0xF1)가 대표적이며 이를 삭제하기 위해서는 모니터링 프로그램을 이용하여 선형변위계 자동보정을 수행한 후 보정데이터를 설정해 주어야 한다.

3.2 오류검출 알고리즘

비레유량제어밸브 진단알고리즘은 판정기준 데이터가 정상작동범위를 벗어나는 경우에 신속하면서도 정확하게 검출되도록 설계되어야 한다. 오작동 상태에 대한 판정기준이 너무 민감하면 정상적인 작동상태에서도 작동조건에 따른 과도응답 특성과 잡음에 의하여 오류로 판정될 수 있으며, 너무 둔감하면 오류가 검출되지 않거나 오류가 검출될 때까지 다소 많은 시간이 소요되므로 구동회로가 손상될 수 있다. 따라서 오류판정의 신뢰성을 높이면서 신속하게 오류를 검출하기 위해서는 분류된 오류의 특성과 발생한 오류가 제어시스템에 미치는 영향을 고려하여 오류 판정기준을 설계해야 한다.

본 연구에서는 분류된 각 오류에 대해 판정기준을 설계하고 진단알고리즘이 수행되는 주기와 오류로 최종 판정되기 위한 누적 오류 횟수를 이용하여 진단알고리즘의 민감도와 오류 반응속도를 설계하였다. Fig. 7은 진단에 이용되는 데이터가 판정기준을 벗어나는 오류 누적횟수가 임계값에 도달하는 시점에서 최종적으로 작동오류로 확정하는 진단알고리즘의 오류검출과정을 나타낸다. 누적오류 검출알고리즘은 아날로그 전압신호에 유입되는 과도한 잡음으로 인하여 일시적으로 정상작동의 판정기준을 벗어나는 경우에는 오류로 인식되지 않도록 하기 위한 설계이며

복원가능오류의 경우에는 정상작동상태가 누적된 오류횟수만큼 지속되어 오류 누적횟수가 다시 영이 되는 시점에서 해당되는 오류가 삭제된다. 진단알고리즘의 수행주기는 5ms와 0.1sec로 구분된다. 비례솔레노이드가 125V 공급전원이나 접지에 단락되는 경우에는 과도한 전류가 흘러 비례솔레노이드 코일이나 구동회로가 파손될 수 있으므로 신속한 오류검출을 위하여 5ms 주기로 오류를 판정하며 여타 모든 오류에 대한 판정은 0.1sec 주기로 수행된다. Table 2는 비례유량제어밸브 진단알고리즘에서 설계된 오류코드의 종류와 안전작동모드를 나타낸다.

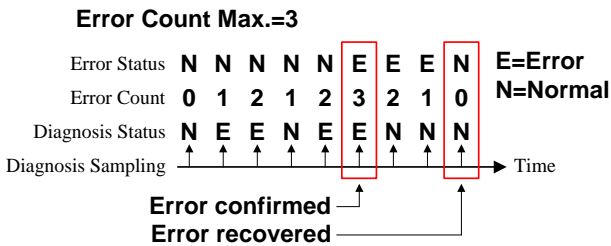


Fig. 7 Cumulative error detection process

Table 2 Summary of error code

Err.	Description	Mode
11H	O.C. at LVDT signal	OPEN
12H	S.C to supply voltage at LVDT signal	OPEN
13H	Malfunction of LVDT signal	OPEN
21H	O.C. at proportional solenoid	SSHD
22H	S.C. to supply voltage at solenoid	SSHD
23H	S.C. to ground at proportional solenoid	SSHD
31H	Current command less than 4mA	NORM
32H	Current command greater than 20mA	NORM
33H	Voltage command less than 0.5V	NORM
34H	Voltage command greater than 4.5V	NORM
D1H	Low voltage at +12V	NORM
D2H	High voltage at +12V	NORM
D3H	Low voltage at +24V	NORM
D4H	High voltage at +24V	NORM
D5H	Low voltage at +125V	CSHD
D6H	High voltage at +125V	NORM
F1H	LVDT auto calibration data lost	OPEN
F2H	EEPROM data checksum error	NORM

NORM: normal operation
 OPEN: open-loop control
 SSHD: solenoid shutdown
 CSHD: controller shutdown

3.3 안전작동기능

진단알고리즘이 이상 작동상태를 감지하여 오류로 최종 판정하면 서보컨트롤러는 오류 발생 원인으로 부터 비례제어밸브와 서보컨트롤러 전류구동회로를 보호하면서 최대한 밸브기능이 유지될 수 있도록 작동모드를 전환하게 되며 비례유량제어밸브의 오류특성에 따라 설계된 안전작동모드는 다음과 같다.

(1) 정상작동(normal)

이상 없이 정상작동에 영향을 미치지 않는 오류가 검출되는 경우이다.

(2) 개루프 제어(open-loop control)

선형변위계 오류로 인하여 페루프 위치제어가 불가능한 경우로 전기적인 지령신호에 비례하는 PWM 듀티율로 비례솔레노이드 전류를 개루프 제어함으로써 파일럿 디스크를 구동시키는 작동모드이다.

(3) 솔레노이드 작동정지(solenoid shutdown)

비례솔레노이드 오류로 밸브구동이 불가능한 경우이며 솔레노이드 구동은 중지되고 모니터링 프로그램과의 통신만이 정상적으로 작동되는 모드이다.

(4) 컨트롤러 작동정지(controller shutdown)

서보컨트롤러에 공급되는 125V 직류전원이 저하되어 컨트롤러 작동이 정지되는 경우로 솔레노이드 구동과 모니터링 프로그램과의 통신이 중지된다.

3.4 임베디드 시뮬레이터를 이용한 진단기능 설계

서보컨트롤러는 센서와 액추에이터 신호로부터 작동정보를 획득하여 이상 작동상태를 판정하므로 설계된 진단기능을 검증하기 위해서는 오작동에 해당되는 상태를 실현하여 오류의 검출과정과 안전작동모드로 전환되는 기능을 확인해야 한다. 그러나 오작동 조건을 실현하기 위하여 실제 입출력 단자를 인위적으로 단선, 단락시키는 방법은 개발과정에서 검증시험이 번거로울 뿐만 아니라 설계된 진단 및 안전작동기능이 미흡한 경우에는 단선, 단락 시 밸브 및 제어회로의 파손이 유발될 수 있으며 서보컨트롤러 공급전원 오류를 확인하기 위해서는 전압을 가변시키는 시험장치가 필요한 단점이 있다.

임베디드 시뮬레이터는 서보컨트롤러 운영프로그램과 함께 수행되면서 서보컨트롤러에서 획득되는 작동정보를 모사하는 기능을 갖는다. 본 연구에서는 모니터링 프로그램에서 사용자가 설정한 값으로 서보 컨트롤러 작동정보를 대체하는 기능의 임베디드

시뮬레이터를 이용해서 간편하게 오작동 조건을 모사하여 설계된 진단기능 검증에 활용하였다. 임베디드 시뮬레이터는 가상오류 시뮬레이션 기능 외에 전원 리셋에 의해서만 오류코드가 삭제되는 복원불능 오류도 사용자 버튼조작으로 제거가 가능하므로 진단알고리즘의 신속한 개발에 유용하게 활용될 수 있다. Fig. 8은 LabWindows/CVI로 설계된 모니터링 프로그램에서 임베디드 시뮬레이터가 활성화되었을 때 솔레노이드 전류, 선형변위계 출력 전압신호, 전원신호를 모사함으로써 이상 작동상태를 설정하는 기능의 임베디드 시뮬레이터 사용자 인터페이스 작업창을 나타낸다.

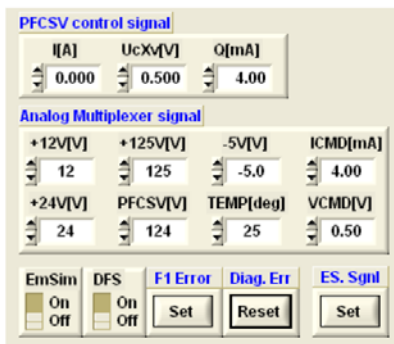


Fig. 8 Embedded simulator command window

4. 진단기능 검증시험

비례유량제어밸브를 대상으로 설계된 자기진단 및 안전작동기능을 검증하기 위하여 정상작동상태에서 센서와 액추에이터에 인위적으로 오류를 발생시킨 후 서보컨트롤러에서 검출되는 오류와 작동모드가 전환되는 특성을 살펴보았다.

Fig. 9는 비례솔레노이드 연결단자를 단선시켰을 때의 시험결과를 나타낸다. 서보컨트롤러는 0x21의 오류코드를 약 2초 후에 검출한 후 솔레노이드 작동 정지모드로 전환됨을 확인하였다. 비례솔레노이드가 단선되면 전류가 흐르지 않게 되어 밸브와 구동회로 손상에 영향을 미치지 않으므로 0x21오류는 0.1초 주기로 진단하여 누적오류가 20회에 도달하는 시점에서 오류로 판정되도록 설계하였다. 0x21 오류는 복원 불능오류이므로 전원 리셋에 의해서만 삭제되지만 임베디드 시뮬레이터에 설계된 오류 리셋기능을 이용하면 내장된 제어기 상태변수를 초기화한 후 오류를 삭제하므로 정상작동상태로 복원될 수 있으며 Fig. 9는 비례솔레노이드 단자를 다시 연결한 후 오류 리셋으로 복원되는 응답을 나타낸다.

Fig. 10은 선형변위계를 단선시켰을 때의 시험결과이며 서보컨트롤러는 선형변위계의 오작동을 나타내는 0x13의 오류코드를 0.5초만에 검출한 후 개루프 제어모드로 전환함을 알 수 있다. 선형변위계에 오류가 발생하면 파일럿 디스크 위치가 측정되지 않으므로 페루프 제어는 불가능하지만 지령신호에 비례하는 PWM 제어를 이용하여 밸브구동은 가능하게 된다. 0x13 오류는 복원불능오류이므로 선형변위계를 다시 연결하여도 오류가 삭제되지 않으며 지령신호에 비례하는 PWM 듀티율에 의하여 개루프 방식으로 구동되므로 파일럿 디스크변위는 지령신호와 일치하지 않게 된다.

Fig. 11은 임베디드 시뮬레이터를 이용하여 릴레이 구동전원인 +12V 전압을 가상적으로 조절하였을 때 검출되는 오류를 나타낸다. +12V는 전원제어회로에서 +125V 입력전원으로부터 조절되며 입력전원이 정상이어도 +12V 전원제어회로 부품이 파손되면 오류가 발생할 수 있다. 0xD1은 밸브작동에 영향을 미치지 않는 복원가능오류로서 11V보다 낮은 상태에서 오류가 검출되고 다시 12V로 전압을 복원시키면 오류가 삭제됨을 확인하였다.

5. 결 론

비례유량제어밸브는 발전소나 화학플랜트 등에서 배관계통 내에 흐르는 고온, 고압의 공정유체를 제어하기 위하여 2단 밸브의 구조를 가지며 전기적인 신호로 유로 단면적이 조절되는 2방향 밸브이다. 최근에는 디지털제어 기술이 발전함에 따라 PWM 방식으로 솔레노이드 코일에 흐르는 전류와 밸브변위를 제어하는 기능이 마이크로 컨트롤러에서 수행되는 임베디드 소프트웨어로 구현되는 디지털 서보컨트롤러가 일반화되고 있다.

본 연구에서는 대용량 유량제어용으로 독자 개발된 2단 비례유량제어밸브를 대상으로 내장된 센서와 액추에이터의 이상 작동상태를 서보컨트롤러 자체적으로 감지하는 자기진단기능과 오류가 검출되었을 때 밸브구동시스템을 보호하면서 밸브기능이 최대한 유지될 수 있도록 하는 안전작동기능을 설계하였다. 진단기능을 설계하기 위하여 비례유량제어밸브에서 발생할 수 있는 오류의 종류와 특성을 분석하였고 이를 바탕으로 진단주기와 누적오류 검출알고리즘을 이용하여 오작동 상태에 대한 오류판정의 민감도를 적절하게 설정하였다.

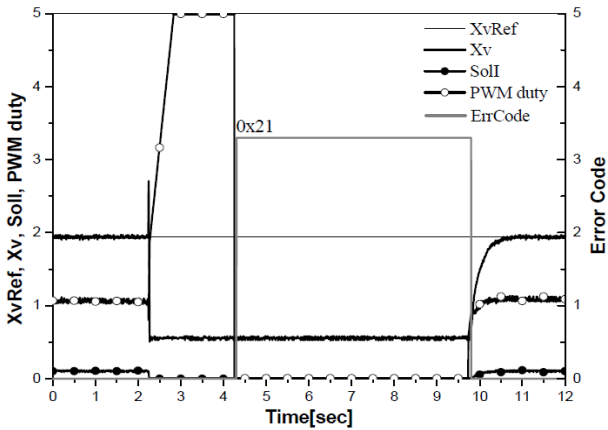


Fig. 9 O.C. at proportional solenoid error(0x21)

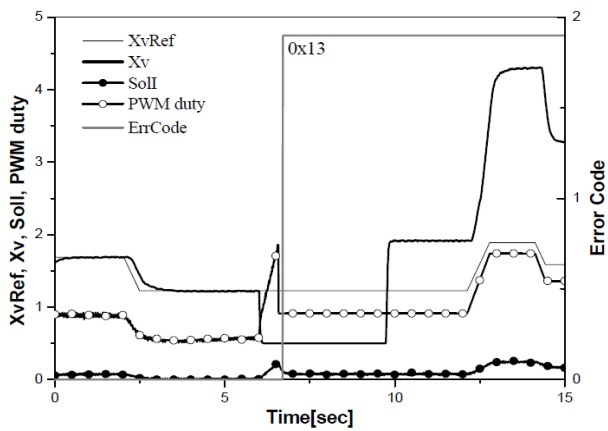


Fig. 10 Malfunction of LVDT signal error(0x13)

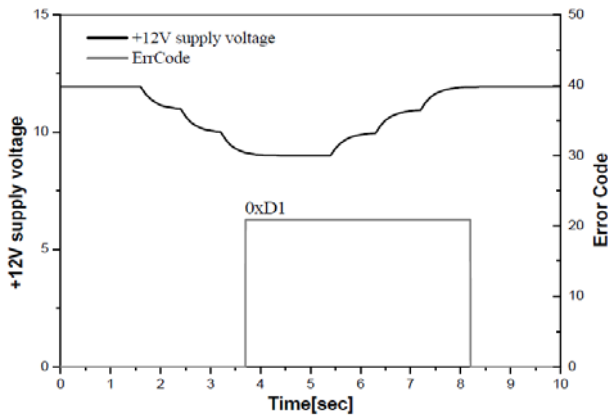


Fig. 11 Low voltage at +12V(0xD1)

임베디드 소프트웨어로 구현된 진단 및 안전작동 알고리즘은 정상 작동되는 상태에서 선형변위계와 비례솔레노이드 단자를 실제적으로 단선시켜서 검출된 오류와 응답시간으로부터 설계된 기능을 검증하였으며 오작동 상태를 인위적으로 발생시키기 어려운 전원오류는 가상오류 시뮬레이션이 가능하도록 설계된 임베디드 시뮬레이터를 이용하여 검증하였다. 비례제어밸브의 자기진단기능은 전자제어 시스템의 신뢰성을 향상과 더불어 스마트 밸브에 필수적인 요소로서 지속적인 시험과 검증이 요구된다.

참고 문헌

- 1) V. Liantonio, "High Pressure Modulating Solenoid Valve for Steam/Gas Service", InTech, pp. 43~46, 1988.
- 2) V. Liantonio, "Use of Electromagnetic Control Valves in Risk Significant Applications"
- 3) 정규홍, "대용량 비례유량제어밸브 정특성 분석", 유공압시스템학회 2009년도 추계학술대회 논문집, pp. 67~72, 2009.
- 4) 정규홍, "대용량 비례유량제어밸브 서보컨트롤러 개발", 유공압시스템학회 2010년도 추계학술대회 논문집, pp. 23~29, 2010.
- 5) 정규홍, "시스템 식별을 이용한 비례솔레노이드밸브 위치제어기 설계", 유공압시스템학회 논문집 제7권 제4호, pp. 23~31, 2010.
- 6) 정규홍, "대용량 비례유량제어밸브 동특성 분석", 유공압시스템학회 논문집 제7권 제1호, pp. 20~27, 2010.
- 7) 정규홍, "대용량 비례유량제어밸브 진단 및 안전작동 설계", 유공압시스템학회 2011년도 춘계학술대회 논문집, pp. 9~14, 2011.