

비례유량제어밸브 네트워크 제어기 설계

Design of Network Controller for Proportional Flow Control Solenoid Valve

정 규 흥
G. H. Jung

접수일: 2011년 7월 28일, 수정일: 2011년 8월 24일, 게재확정일: 2011년 8월 30일

Key Words : Proportional Flow Control Solenoid Valve(비례유량제어밸브), Network Control(네트워크 제어), CAN Communication(CAN 통신), Servocontroller(서보컨트롤러)

Abstract: Proportional control solenoid is a type of modulating valve that can continuously control the valve position with magnetic force of solenoid. Recent microcontroller based digital servocontroller for proportional valve is being developed toward the smart valve with additional features such as enhanced control algorithm for finer process and intelligent on-board diagnosis for maintenance. In this paper, development of servocontroller network control with CAN bus which is free from problems of security and network traffic jam is presented. Design of network control system includes modes of communication between master and slave, assignment of 29bit message identifier and message objects, transaction of communication sequence, etc. Monitoring function and control experiments for remote valve through CAN network prove the extended function of smart valve control system.

1. 서 론

p

최근 급속하게 발전하고 있는 디지털기와 통신 기술은 일상생활에서 사용되는 가전기기뿐만 아니라 산업용 기계장치에도 확산되어 임베디드 컨트롤러(embedded controller)를 활용한 제어와 모니터링 시스템(monitoring system)이 일반화되고 있다. 자동차산업에서는 연비향상과 배기가스저감을 위하여 엔진과 변속기에 전자제어장치(ECU, electronic control unit)가 일찍이 도입되었으며 안전과 편의장치로 확대된 후 최근에는 IT산업과 융합되어 친환경 교통시스템으로 발전하고 있다. ECU를 이용한 기계시스템 제어는 지능형 제어, 진단 및 안전작동에 의한 유지보수, ECU 상호 간 통신을 이용하여 전체 시스템을 최적으로 작동시킬 수 있는 장점으로 인하여 건설중장비 및 농업용 기계, 일반 산업장치에도 다양한 방식으로 적용되어 개발되고 있다.

전자제어시스템 도입 초기에는 독립적으로 ECU가 개발되어 설계된 기능을 수행하였으나 현재의 자동

차와 같이 다수의 ECU가 존재하는 경우에는 차량운행 및 제어에 필요한 정보를 실시간으로 교환함으로써 안전과 편의성향상을 도모하고 있으며 정보의 빠른 응답시간이나 전송이 요구되는 ECU간 실시간 통신에는 CAN(Controller Area Network)이 사용되고 있다. CAN은 1980년대 말 BOSCH에서 자동차산업을 위하여 개발하였으며 CAN_L와 CAN_H의 2개의 꼬인 선(twisted pair)이 데이지 체인(daisy-chain)방식으로 ECU를 연결함으로써 복잡한 배선문제를 해결하면서 단일 네트워크를 구성할 수 있는 장점으로 인하여 현재 자동차 전장제어에 일반적으로 사용되는 통신방식이다.

비례제어밸브는 솔레노이드 코일에 흐르는 전류에 비례하여 발생하는 전자기력과 스프링 압축력에 의해 밸브변위가 연속적으로 조절되는 밸브로 솔레노이드 여자(excitation) 상태에 따라 2위치 또는 3위치만을 갖는 개폐식 솔레노이드밸브와 구분된다. 본 연구대상 비례유량제어밸브(PFCSV, proportional flow control solenoid valve)는 원자력 및 화력발전소, 정유공장 등에서 플랜트 배관계통 내에 흐르는 공정유체의 유량을 제어하기 위하여 유로단면적을 연속적으로 조절하는 기능의 2방향 밸브로 대용량의 유량을

제어할 수 있도록 파일럿 디스크(pilot disc)와 메인 디스크(main disc)로 구성되는 2단 밸브의 구조를 갖는다.¹⁻²⁾ 서보컨트롤러(servocontroller)는 솔레노이드에 의해 구동되는 파일럿 디스크변위를 선형변위계(LVDT)로 측정하여 기준입력신호와 일치되도록 피드백 제어하는 기능을 담당하는 ECU에 해당된다. 밸브변위를 제어하는 기능의 서보컨트롤러 설계는 아날로그와 디지털방식으로 구분되는데 디지털방식 설계에서는 마이크로 컨트롤러를 이용해서 입출력 신호처리와 전류 및 위치제어가 이루어지므로 제반 작동변수의 설정과 조정이 간편하고 다양한 제어알고리즘과 로직(logic)을 이용하여 성능향상과 부가적인 기능구현이 가능하다.³⁾ 뿐만 아니라 ECU 자체적으로 이상 작동상태를 인식하고 오작동의 잠재적인 원인을 검출하는 자기진단기능은 시스템 유지보수 및 고장수리가 간편할 뿐만 아니라 안전작동(fail-safe) 기능은 오작동에 의한 기기의 파손 및 전체 시스템 작동오류에 따른 손실을 방지할 수 있으므로 최근 서보컨트롤러는 대부분 디지털방식을 이용한 지능형 스마트 밸브제어시스템(smart valve control system)으로 개발되고 있다.⁴⁾

본 연구에서는 디지털방식으로 설계된 비례유량제어밸브 서보컨트롤러를 대상으로 CAN 통신 네트워크를 구성한 후 네트워크에 연결된 서보컨트롤러를 원격으로 제어하고 작동상태를 모니터링하는 기능의 네트워크 제어기를 설계하였다. 네트워크 제어는 네트워크에 연결된 임의의 서보컨트롤러를 통하여 선택된 다른 노드(node)의 서보컨트롤러와 비례유량제어밸브를 원격으로 작동시키는 기능으로 위급한 상황에서만 작동되어야 하는 발전소 긴급급수밸브 등을 주기적으로 점검하는 경우에 유용하게 활용될 수 있으며 네트워크상의 서보컨트롤러를 유기적으로 연계하여 작동시키는 시나리오 구현이 가능하다. 개발된 네트워크 제어 기능은 네트워크 통신모드를 정의한 후 네트워크 통신의 개시 및 종료과정의 설계와 CAN 메시지 객체(message object)를 이용한 송수신 데이터 설계를 통하여 구현하였으며 성능시험을 통하여 기능을 검증하였다.

2. 밸브제어시스템

전기적인 기준입력신호에 의하여 밸브변위가 조절되는 비례유량제어밸브는 전자기력을 발생시키는 솔레노이드, 파일럿 디스크와 메인 디스크로 구성되는

밸브와 파일럿 디스크변위가 지령신호를 추종하도록 코일전류를 제어하는 디지털방식 서보컨트롤러, PC에서 수행되면서 직렬통신을 이용하여 제반 작동 파라미터(parameter)를 설정하고 작동성능과 관련된 데이터를 수집하는 기능의 모니터링 프로그램으로 구성된다.

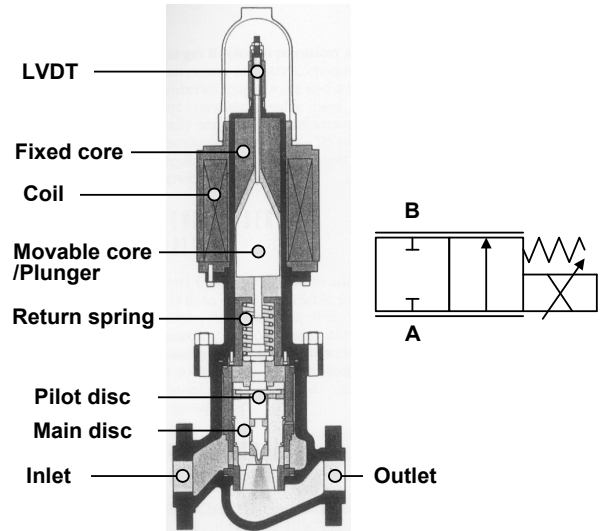


Fig. 1 Internal structure of proportional flow control solenoid valve

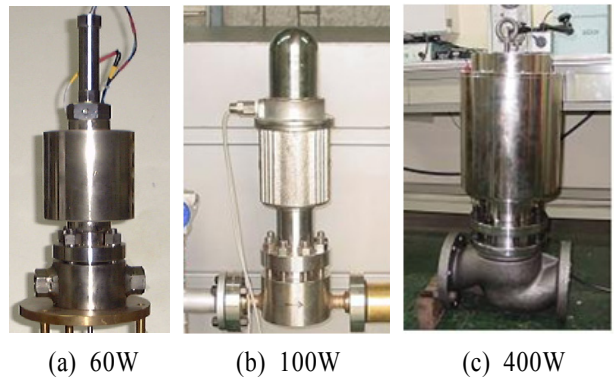


Fig. 2 Prototype of proportional solenoid valve

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
Disc size[inch]	1	2	4

Fig. 1은 2단 밸브의 구조를 갖는 대용량 비례유량제어밸브의 단면도이고 Fig. 2는 시제품으로 제작된

60W, 100W, 400W급의 대용량 비례유량제어밸브를 보여준다. 비례유량제어밸브의 사양은 솔레노이드 코일의 소모전력, 파일럿 디스크 최대 이동변위, 제어유량이 통과하는 메인 디스크 직경과 솔레노이드에 전류가 흐르지 않는 초기 상태에서 유로의 개방 및 폐쇄상태에 따라 상시 폐쇄형(normally closed)과 상시 개방형(normally open)으로 구분되며 Table 1은 제어 대상 비례유량제어밸브의 기본 사양이다. 모든 밸브는 동일한 작동원리를 가지므로 인터페이스회로의 증폭기 이득과 펌웨어의 작동 파라미터를 변경하여 동일하게 설계된 서보컨트롤러가 적용된다.

Fig. 3은 비례유량제어밸브의 파일럿 디스크변위 또는 유량을 제어하는 기능으로 개발된 서보컨트롤러이고 Fig. 4는 제어기 내부구조를 나타내는 블록선도이다. 임베디드 소프트웨어가 실행되는 마이크로컨트롤러는 CAN 2.0 Part B를 지원하는 CAN 제어가 내장된 ATMEL사의 AT90CAN128을 사용하였으며 인터페이스 회로는 입력 및 센서출력신호 조정회로, PWM 전류구동회로와 기타 부가적인 기능의 회로로 구성된다. 기준입력신호는 4-20mA의 전류, 0.5-4.5V의 전압, 모니터링 프로그램에서 전송되는 직렬통신 데이터를 선택적으로 이용할 수 있으며 제어변수는 LVDT로 측정되는 파일럿 디스크변위와 유량계로 측정되는 유량 중 하나를 선택할 수 있도록 설계되어 있다. 상용화된 기존의 서보컨트롤러는 아날로그방식으로 파일럿 디스크만을 제어하며 유량은 외부 루프를 형성하는 유량제어기에 의하여 제어되는 방식이지만 본 연구에서 개발된 서보컨트롤러는 유량제어기능을 내장하고 제어변수를 전기적인 신호와 디지털 통신으로 송신함으로써 밸브변위와 유량제어가 통합된 기능을 구현하였다.

Fig. 5는 LabWindows/CVI로 설계된 모니터링 프로그램의 메인 창을 보여준다. 서보컨트롤러 단독 작동

시에는 뒷면 단자를 통하여 입력되는 전기적인 지령 신호에 의하여 밸브가 작동되고 작동상태에 대한 정보는 전면 텍스트 LCD(text LCD)를 이용하여 확인할 수 있다. 이에 비하여 PC에서 수행되는 모니터링 프로그램을 이용하면 서보컨트롤러와 직렬통신으로 연결되어 사용자 작동지령을 송신하고 작동상태와 관련된 다양한 정보를 실시간으로 수집하는 기능이 가능하므로 제반 작동 파라미터의 설정과 작동 상태 정보를 모니터링하는 경우에 이용된다.

본 연구에서 개발된 네트워크 제어 기능은 모니터링 프로그램을 통해서만 활성화되며 네트워크 제어 모드에서는 모니터링 프로그램과 직렬통신으로 연결된 주(master) 서보컨트롤러를 통하여 네트워크에 연결된 다른 노드의 서보컨트롤러를 종속(slave)으로 지정하여 모니터링 프로그램을 통해서 주 서보컨트롤러와 동일하게 작동시키는 기능이다.



Fig. 3 Servocontroller(v4.0)

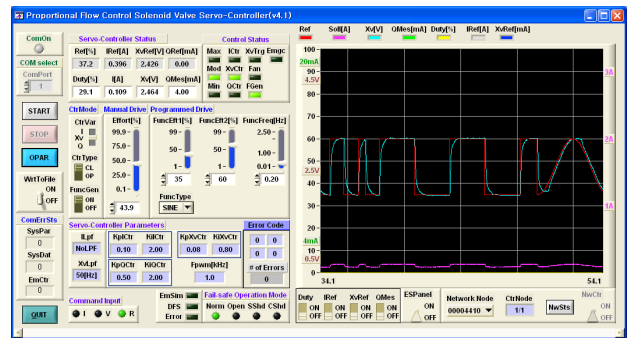


Fig. 5 Monitoring program main window

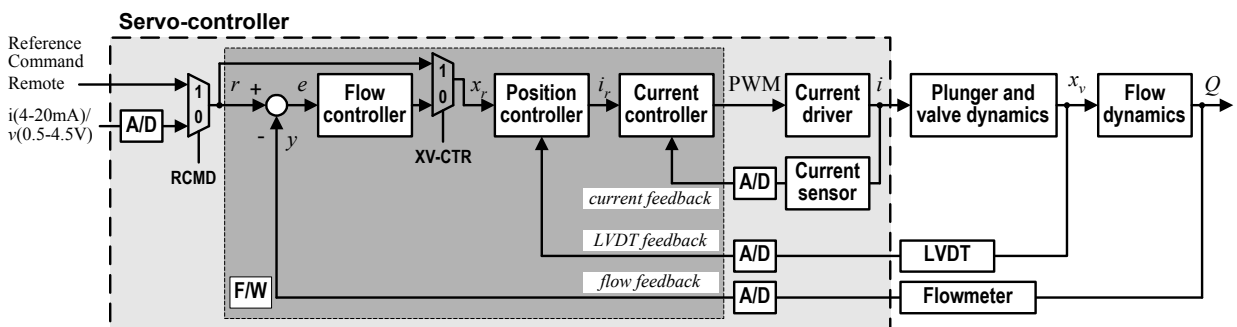


Fig. 4 Block diagram of servo controller for proportional flow control solenoid valve

3. 네트워크 제어기

기계적인 장치를 원격으로 제어하기 위해서는 디지털방식의 네트워크 통신이 필수적이며 전화선을 이용하는 모뎀(modem)이나 최근 일반화된 초고속 인터넷 통신망을 이용한 TCP/IP를 통해서도 임베디드 웹서버(embedded web-server) 기능이 구현된 ECU의 원격제어설계가 가능하다.⁵⁾ 인터넷 통신망을 이용하는 경우에는 인터넷 통신서비스가 제공되는 어느 곳에서나 ECU의 원격제어가 가능한 장점이 있는 반면에 네트워크의 트래픽(traffic)이 증가하는 경우에는 통신장애로 인하여 실시간 제어와 모니터링이 되지 않을 수 있으며 온라인에서는 보안문제와 디도스(DDos) 공격에 의해 임베디드 웹서버기능을 내장한 ECU가 통신뿐만 아니라 기계장치의 제어 기능에도 영향 받을 수도 있기 때문에 안정된 작동이 요구되는 응용분야에는 적용되기 어렵다. 원격제어의 또 다른 방법으로는 블루투스(bluetooth) 무선통신을 활용할 수 있지만 무선통신 역시 보안에 취약하고 통신 환경에 따른 전송거리의 제약으로 인하여 작동 신뢰성이 보장되지 않는다. 이에 비하여 CAN 네트워크는 2개의 통신선만을 사용하여 ECU를 단일 네트워크로 연결하므로 인터넷이나 무선통신에서와 같은 문제점이 발생되지 않는다. 또한 CAN 전송신호는 차동(differential) 방식으로 잡음에 견실하고 마이크로 컨트롤러에 내장된 CAN 제어기 자체적인 오류 검출 및 처리 기능에 의한 통신신뢰성, 저렴한 네트워크 구축비용, 최대 1M bit/sec의 전송속도로 1km의 통신 거리를 보장하는 장점으로 인하여 산업용 제어기의 실시간 네트워크 제어에 적합하다.

3.1 네트워크 통신모드

Fig. 6은 비례유량제어밸브 서보컨트롤러의 CAN 네트워크 구성을 나타낸다. 네트워크에 연결된 서보컨트롤러 중 모니터링 프로그램이 수행되는 PC와 RS232 통신으로 연결되는 서보컨트롤러가 주 노드가 되고 나머지는 종속노드에 해당된다. 네트워크상의 모든 노드는 종속노드로 초기화되고 모니터링 프로그램과 연결되는 임의의 노드만이 주 노드로 설정된다. 주 노드와 종속노드 간의 네트워크 통신모드는 작동상태에 따라 다음과 같이 구분된다.

(1) 네트워크 아이들(idle) 모드

모니터링 프로그램과 RS232 통신으로 연결된 서보

컨트롤러가 없는 경우로 모든 서보컨트롤러가 종속 노드이므로 다른 노드를 인식하지 못한다.

(2) 네트워크 모니터링 모드

네트워크상의 서보컨트롤러 중 어느 하나가 모니터링 프로그램과 RS232 통신으로 연결되고 네트워크 제어가 비활성화된 상태로 주 노드는 종속노드가 전송하는 기본정보만을 수집하여 모니터링 프로그램으로 전송한다. 모니터링 프로그램을 통해서 주 노드의 비례유량제어밸브를 제어하거나 작동상태를 모니터링하는 작동모드이며 네트워크에 연결된 모든 종속 노드에 대한 정보를 확인할 수 있다.

(3) 네트워크 제어모드

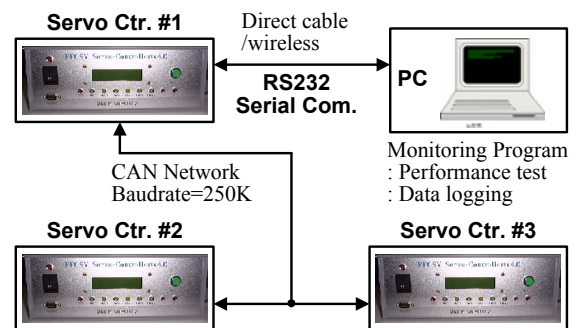


Fig. 6 CAN network control system

네트워크 모니터링 모드에서 지정된 종속노드에 대한 네트워크 제어가 활성화된 상태로 종속노드에 연결된 비례유량제어밸브를 주 노드와 CAN으로 데이터를 송수신하면서 제어하게 하며 주 노드와 모니터링 프로그램사이의 통신데이터는 모두 종속노드에 대한 지령과 작동상태정보로 인식된다.

3.2 통신 프로토콜

CAN 2.0 Part B는 8바이트로 구성되는 15개의 메시지 객체에 29비트의 메시지 식별자(message identifier)를 할당하여 통신하는 방식이다.⁶⁾ CAN 통신이 광범위하게 사용되는 자동차의 경우에는 메시지 식별자와 메시지 객체에 대한 표준화된 프로토콜(protocol)이 SAE J1939에 정의되어 있으나 본 연구에서와 같이 독립된 네트워크를 이용하여 비례제어밸브를 제어하는 경우에는 효율적으로 송수신 정보교환이 이루어질 수 있도록 메시지 식별자와 객체에 대한 통신프로토콜을 독자적으로 설계하여 활용할 수 있다.

Fig. 7은 네트워크 노드를 구성하는 서보컨트롤러

에 할당되는 29비트 메시지 식별자를 나타낸다. 네트워크에 연결된 모든 노드는 고유의 식별자를 가져야 하는데 설계된 서보컨트롤러의 펌웨어 버전(firmware version), 일련번호, 비례제어밸브 소모전력, 최대 변위 및 전류 등의 정보를 이용하여 메시지 식별자의 비트 28-4를 구성함으로써 주 노드에서 수신된 종속 노드의 식별자를 통하여 서보컨트롤러의 기본사양을 확인할 수 있도록 하였다. 비트 3-0은 15개의 메시지 객체를 나타내며 모든 노드에서 공통으로 사용된다. Table 2는 네트워크 모니터링 및 제어모드에서 송수신되는 8바이트 메시지 객체(MOb)의 설계사양을 나타낸다. 네트워크 모니터링 모드에서는 MOB0만 활성화되고 PWM 듀티율, 코일구동전류, 파일럿 디스크변위와 제어유량, 진단상태 등의 정보를 종속노드에서 주 노드로 1초 간격으로 전송한다. 네트워크 제어모드에서는 지령신호와 작동 파라미터가 저장된 4개의 메시지 객체(MOb7-10)가 주 노드로부터 종속노드로 0.1초 간격으로 전송되고 작동상태와 관련된 데이터를 포함하는 또 다른 4개의 메시지 객체(MOb1-4)가 0.01초 간격으로 종속노드에서 주 노드로 전송되어 종속노드의 비례유량제어밸브를 제어하게 된다. 메시지 객체에 대한 수신은 지연처리에 의해 발생할 수 있는 오류를 방지하기 위하여 마지막으로 수신되는 메시지 객체에 대한 인터럽트로 처리된다. Fig. 8은 네트워크 제어모드에서 송수신되는 CAN 신호를 오실로스코프로 측정된 결과를 나타내며 설계와 일치하는 신호가 발생됨을 확인하였다. Fig. 9는 네트워크 모니터링 모드에서 주 노드와 종속노드 서보컨트롤러 정보를 나타내는 상태 창을 나타내며 종속노드에 대한 상태 창 정보는 주 노드에서 MOB0를 통하여 수신된 결과이다.

3.3 네트워크 제어 통신절차

서보컨트롤러는 전원투입 시 종속노드로 초기화되고 기본적인 작동상태정보가 저장된 MOB0를 1초 간격으로 송신하게 된다. 그러나 네트워크상의 모든 노드가 종속노드인 상태에서는 MOB0의 수신이 인식되지 않는 네트워크 아이들 모드로 작동하게 된다. 네트워크 제어를 위한 통신이 연결되기 위해서는 네트워크상의 한 노드가 모니터링 프로그램과 RS232로 연결되어 주 노드로 전환된 후 모니터링 프로그램에서 종속노드를 지정하고 네트워크 제어 활성화 버튼을 누르면 주 노드와 종속노드 사이의 네트워크 제어모드의 통신이 시작된다. 주 노드에 대한 네트워크 제어 통신과정은 다음과 같다.

31	29 28	20 19	12 11	4 3 0
N/U	PFCSV Spec.	Serial Number	Firmware Ver	MOb

Fig. 7 29bit node identifier assignment

Table 2 CAN message objects in network control

MOb	Master	Slave	Period [sec]	Active mode
0	RX	TX	1	Mon./Ctr.
1-4	RX	TX	0.01	Ctr.
7-10	TX	RX	0.1	Ctr.
Int.	MOB0			Mon./Ctr.
	MOB4	MOB10		Ctr.

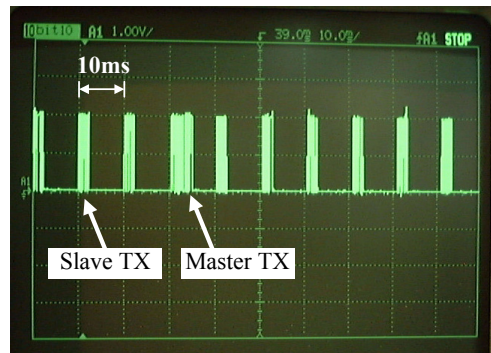
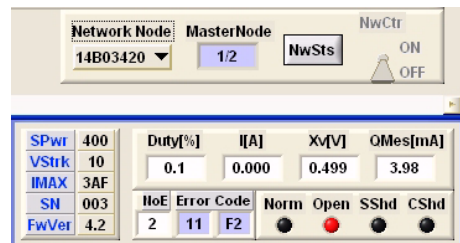
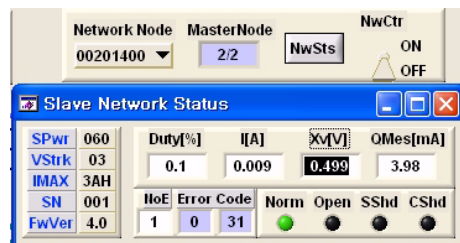


Fig. 8 CAN signal in network control mode



(a) master node



(b) slave node

Fig. 9 Network status windows

(1) 종속노드가 모니터링 프로그램으로부터 직렬통신으로 데이터를 수신하면 주 노드가 되며 MOB0를 수신으로 전환하여 다른 종속노드가 송신하는 MOB0

를 처리한다. 이 상태는 네트워크 모니터링 모드로서 주 노드는 네트워크에 연결된 서보컨트롤러 정보를 획득하여 모니터링 프로그램으로 전송한다.

(2) 모니터링 프로그램으로부터 네트워크 제어 활성화 지령이 수신되면 MOB1-4는 지정된 종속노드의 메시지 식별자에 대한 수신으로 MOB7-10은 송신으로 전환한 후 모니터링 프로그램으로부터 수신된 작동지령을 0.1초 간격으로 송신한다. 이 상태는 네트워크 제어모드이며 주 노드는 작동지령을 0.1초 간격으로 송신하고 종속노드는 주 노드로부터 수신된 작동지령에 따라 비례제어밸브를 제어하면서 작동데이터를 0.01초 간격으로 송신한다.

(3) 모니터링 프로그램으로부터 네트워크 제어 종료지령이 수신되면 주 노드는 MOB7-10의 송신을 중지하고 종속노드는 감시타이머(watchdog timer)를 이용하여 작동지령이 일정 시간동안 수신되지 않으면 MOB1-4의 송신을 중지하고 네트워크 제어를 종료한다.

Fig. 10은 주 노드에서 네트워크 제어 통신이 이루어지는 과정을 나타내는 순서도이다. 네트워크 제어 통신은 클라이언트(client)에 해당되는 주 노드에서 서버(server)의 기능을 갖는 종속노드로 CAN 메시지 객체를 송신함으로써 개시되지만 네트워크 제어모드로 전환된 후에는 종속노드가 능동적으로 0.01초 마다 작동데이터를 송신하도록 설계함으로써 실시간 통신을 구현하였다.

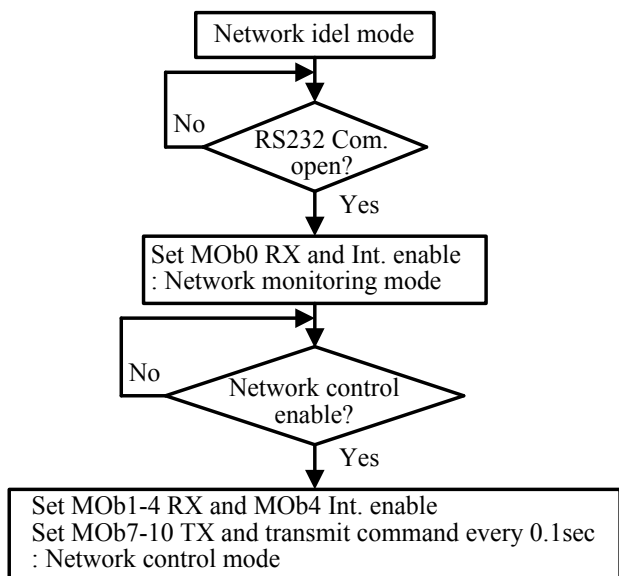


Fig. 10 Network control sequence in master node

4. 기능시험

설계된 네트워크 제어기능을 확인하기 위하여 2개 서보컨트롤러로 네트워크를 구성한 후 주 노드를 이용하여 종속노드에 연결된 비례유량제어밸브를 구동하였으며 Fig. 11은 시험결과를 나타낸다.

모니터링 프로그램과 연결된 주 노드의 밸브가 일정한 위치에서 제어되고 있을 때 네트워크 제어가 활성화되면(a 시점) 모니터링 프로그램에서 수집되는 작동 데이터와 제어지령이 모두 종속노드로 전환된다. 네트워크 제어 개시시점에서 종속노드는 1.5V에 해당되는 전류지령으로 작동되는 상태이며 기준입력신호를 내장된 함수발생기에서 발생하는 0.5Hz의 계단입력신호로 변경(b 시점)함에 따라 종속노드에 연결된 밸브가 작동됨을 알 수 있다. 함수발생기 작동을 중지(c 시점)하면 종속노드의 밸브변위는 수동 작동모드의 기준입력신호를 추종하고 모니터링 프로그램에서 네트워크 제어를 종료(d 시점)하면 다시 주 노드에 대한 제어로 전환됨을 확인하였다. 종속노드에 대한 네트워크 제어 시 주 노드는 최소 PWM 듀티율만을 인가하므로 밸브는 0.5V에 해당되는 초기 위치로 복귀하여 정지된 상태를 유지하며 주 노드에 대한 제어로 복귀되면 기준입력신호도 초기 위치로 변경되도록 설계하였다. 네트워크 제어는 주 노드 또는 종속노드에 대한 제어를 선택적으로 활성화하는 지능형 제어기의 부가적인 기능으로 기본 작동모드에서 서보컨트롤러는 독립적으로 밸브를 제어하지만 네트워크 제어모드에서는 주 노드 서보컨트롤러의 밸브제어기능이 정지되고 통신 기능만을 담당하므로 주 노드 밸브가 초기위치에 있을 때 네트워크 제어를 개시하는 것이 안정적이다.

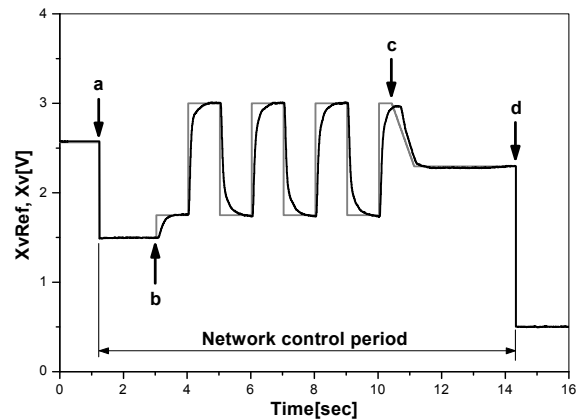


Fig. 11 Network control experiment

5. 결 론

비례제어밸브는 솔레노이드 코일에 흐르는 전류에 의해 발생하는 전자기력에 비례하여 밸브변위가 연속적으로 조절되는 밸브이며, 비례유량제어밸브는 발전소나 화학플랜트 등에서 배관계통에 흐르는 공정 유체의 유량을 제어하는 목적으로 사용된다. 마이크로 컨트롤러를 이용하여 설계되는 디지털방식의 서보컨트롤러는 선형변위계로 측정되는 밸브변위가 기준입력신호와 일치되도록 솔레노이드 코일전류를 조절하는 기본적인 기능 외에 자체적으로 이상 작동상태를 감지하는 진단기능이 부가된 스마트 밸브제어 시스템으로 개발되는 추세이다.

본 연구에서는 디지털방식의 비례유량제어밸브 서보컨트롤러를 대상으로 CAN 네트워크를 이용하여 원격으로 제어하고 작동상태를 모니터링할 수 있는 기능을 설계하였다. CAN은 차량용 ECU의 다중 프로세서 통신을 목적으로 개발되어 현재 자동차산업에서 광범위하게 사용되고 있으며 2개의 통신선만으로 구성된 단일 네트워크를 이용하여 신뢰성을 갖는 실시간통신이 가능하여 보안을 유지하면서 기계적인 장치의 안정된 작동이 요구되는 분야에 적합하다.

서보컨트롤러의 네트워크 제어 기능은 작동상태에 따라 통신모드와 메시지 식별자 할당방법, 송수신되는 CAN 메시지 객체를 정의하고 네트워크 통신의

개시와 종료절차를 설계하여 구현하였으며 시험을 통하여 기능을 검증하였다. 개발된 네트워크 제어를 이용하면 공정설비에 분산 설치되어 있는 다수의 비례유량제어밸브를 원격 제어함으로써 신속하면서도 간편하게 성능 및 작동상태를 점검할 수 있으므로 지능형 스마트밸브의 부가적인 기능으로 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

참고 문헌

- 1) Vito Liantonio, "High Pressure Modulating Solenoid Valve for Steam/Gas Service", InTech, pp. 43~46, 1988.
- 2) 정규홍, "대용량 비례유량제어밸브 정특성 분석", 유공압시스템학회 2009년도 추계학술대회 논문집, pp. 67~72, 2009.
- 3) 정규홍, "대용량 비례유량제어밸브 서보컨트롤러 개발", 유공압시스템학회 2010년도 추계학술대회 논문집, pp. 23~29, 2010.
- 4) 정규홍, "대용량 비례유량제어밸브 진단 및 안전 작동 설계", 유공압시스템학회 2011년도 춘계학술대회 논문집, pp. 9~14, 2011.
- 5) 정규홍, "임베디드 웹서버를 이용한 Synthetic Jet Actuator의 풍동실험장치 개발", 대한기계학회 논문집 A권, 제29권 제5호, pp. 639~646, 2005.
- 6) ATMEL, AT90CAN128 datasheet, 2005.