

필드버스 공압 솔레노이드 밸브/센서시스템 설계 및 성능평가 특성해석

김동수*, 홍춘표**

A Study on the Design and Performance Evaluation Technology of Fieldbus Pneumatic Solenoid Valve/Sensor System

D. S. Kim, C. P. Hong

Key Words: Pneumatic System Control(공기압 시스템제어), Host Control Module(호스트 제어 모듈), Local Node Control Module(로컬노드 제어 모듈), Protocol, Electric Supply Module(통신, 전원 모듈), Fieldbus(필드버스)

Abstract

For pneumatic system control, we need a data transmission system with high speed and high reliability or information interchange between main computer and solenoid valves and I/O devices. This paper presents a set of design techniques for a data communication system that is mainly used for pneumatic system control. For this purpose, we first designed hardware modules for an interface between central control module and local node that handles the operation of solenoid valves. In addition we developed a communication protocol for construction of RS-485 based multidrop network, and this protocol is basically designed with a kind of polling technique. Finally we evaluated performance of the developed system. The field test results show that, even under high noise environment, the data transmission of 375Kbps rate is possible up to 1,000m without using repeater. In addition, the system developed in this research is proved to be used easily for extension of a communication network because of its module structure.

1. 서론

공기압 시스템 제어 (pneumatic system control) 에서 주 컴퓨터와 각 솔레노이드 밸브 및 I/O 장치간의 자료와 정보를 교환하기 위해서는 고속, 고 신뢰성의 데이터 전송 능력을 가지고 있을 뿐만 아니라 데이터를 전송할 수 있는 거리도 제한되어 있다. 더구나 데이터 전송거리가 길어지면 잡음의 영향을 많이 받기 때문에 데이터 전송속도도 떨어진다. 본 연구의 목표는 이와 같은 제

한사항을 해결한 고속, 고 신뢰성의 데이터 전송 시스템을 개발하여 공기압 시스템의 제어에 적용하는 것이다. 이러한 데이터 전송시스템 구축을 위해서 각 밸브 및 I/O장치의 개수가 증가하면 회선 연결 문제가 복잡해 질뿐만 아니라 잡음에 의한 영향도 심각해지며 설치 및 유지,보수비도 증가하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 여러 개의 케이블을 한 개의 버스로 대체한 것이 바로 필드버스의 개념인데, 이 방식에서는 모든 자료와 명령어를 한 개의 링크를 통하여 전송한 다음 시분할 시켜 사용한다. (1)(2)(3)(4) 이러한 시스템에서는 각각의 밸브 및 I/O 장치들이 버스 시스템에 연결되는데 이를 통하여 주 컴퓨터와의 통신을 수행하게 된다. 이렇게 함으로써 케이블의 수를 줄일 수 있을 뿐만

* 한국기계연구원

** 대구대학교

아니라 시스템 전체의 구성을 크게 수정하지 않고서도 필드 장치의 개수 및 형태를 쉽게 바꿀 수 있게 된다. 본 연구에서는 필드버스의 개념에 바탕을 둔 고속, 고 신뢰성의 데이터 전송 시스템 구성을 위한 하드웨어 설계 기법에 대하여 기술하며, 이 하드웨어는 통신 프로토콜과 함께 시스템 전체에 대한 네트워크의 구축에 적용이 된다. 또한 RS-485 멀티드롭 네트워크 및 이 방식의 구조를 채택한 통신 프로토콜의 설계에 대하여 기술한다. 마지막으로 개발된 시스템을 이용하여 성능 평가를 수행하였으며, 성능 평가결과 개발된 시스템은 고 잡음 환경 하에서 원거리 데이터 전송이 가능할 뿐만 아니라 네트워크의 구축이 용이함을 확인하였다.

2. 시스템 설계

본 연구에서는 고속, 고 신뢰성의 데이터 전송 시스템을 개발하기 위하여 필드버스의 설계 개념에 바탕을 두고 시스템을 설계하였다.

필드버스 시스템에서 로컬 노드(local node)는 통신선이 병렬로 연결되어 있으며 통신은 베이스밴드 방식을 사용하여 이루어진다. 베이스밴드 방식에서는 특별한 변조 혹은 복조장치 없이 통신이 이루어지며 리피터를 사용하지 않는 경우 최대 가능 통신 거리는 1-2km 정도이다. 한 개 세그먼트(segment)에 최대 32개의 로컬 노드를 부착할 수 있으며, 리피터를 사용하면 최대 가능 통신 거리는 늘어난다. 컨트롤러에서 내보낸 신호는 로컬 노드에 있는 인터페이스 모듈을 통하여 밸브, 센서 터미널에 가해져 솔레노이드 밸브를 ON/OFF시켜 준다. 또한 솔레노이드 밸브에 부착된 리미트스위치(limit switch)로부터의 신호는 인터페이스 모듈을 거쳐 컨트롤러에 전송되며 이를 이용하여 솔레노이드 밸브의 ON/OFF 상태를 확인할 수 있다. 필드버스 시스템의 구성을 위한 제어 시스템은 프로세서 컨트롤러 및 로컬노드의 두 부분으로 구성되어 있다. 우선 프로세서 컨트롤러는 PC 내부에 필드버스와의 인터페이스를 위한 호스트 제어 모듈을 부착하여 구성한다. 로컬 노드는 통신·전원 모듈, 로컬 노드 컨트롤(local node control) 모듈 및 드라이브(drive) 모듈의 세 부분으로 구성이 되어 있다.

2.1 호스트 (Host) 제어 모듈

호스트 제어 모듈은 중앙의 제어 장치(PC)와 로컬 노드와의 통신을 위한 인터페이스 역할을 담당하며, Fig.1에 구성도가 주어졌다. 구성도에 기술된 것처럼 8-Bit 마이크로컴퓨터(Intel 8751) 및 FIFO 메모리를 이용하여 PC 및 로컬 노드와의 데이터 통신을 수행하며, 이 때 FIFO 메모리는 서클러 버퍼(circular buffer) 역할을 담당한다. 또한 통신회선 상에서 발생하는 잡음성분의 영향을 최소화시킬 수 있도록 포토 카플러(photo-coupler)를 이용하여 마이크로컴퓨터를 이용한 컨트롤러에 송·수신되는 데이터와 전송 선로상에서 전송되는 데이터를 분리시켰다.

그리고 마이크로컴퓨터에 연결된 덤 스위치(dip switch)를 이용하여 데이터 전송 속도(baud rate)를 선택할 수 있다. 또한 각 로컬 노드에도 데이터 전송 속도의 선택을 위한 덤 스위치가 있으며, 시스템 운용시에 스위치의 위치를 로컬 노드 제어 모듈의 덤 스위치와 동일하게 설정하여야 한다.

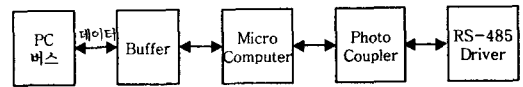


Fig. 1 The Structure of Host Control Module

2.2 로컬 노드(Local Node)

로컬 노드는 통신·전원 모듈, 로컬 노드 제어 모듈 및 드라이브 모듈의 세 부분으로 구성되어 있으며, Fig. 2에 블록 다이어그램이 주어졌다.

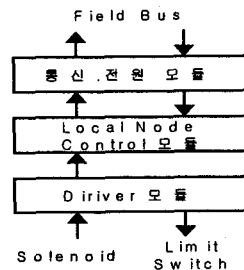


Fig. 2 The Structure of Local Node Control Card

2.2.1 통신·전원 모듈

통신·전원 모듈은 다음의 두 가지 역할을 담당한다. 첫째, 중앙의 제어 장치로부터 수신한 데

이더를 포토 카플러를 통하여 로컬 노드 제어 모듈로 전송해준다. 또한 로컬 노드 제어 모듈로부터 수신한 데이터를 포토 카플러를 통하여 중앙의 제어 장치 혹은 다른 로컬 노드로 전송해준다. 둘째, 외부로부터 드라이버 모듈에 가해진 24V 전원을 이용하여 두 개의 독립된 5V 전원을 만든다. (+5V 및 E5V), 여기서 E5V 전원은 데이터 전송 선로에 연결된 포토 카플러측의 전원으로만 사용되는데, 이는 통신용 전원을 주 전원으로부터 분리시킴으로써 전송 선로에서 발생하는 잡음의 영향을 최소화시키기 위함이다.

2.2.2 로컬노드 (Local Node) 제어 모듈

로컬노드 제어 모듈은 중앙의 제어 장치(PC)와 로컬 노드와의 통신을 위한 인터페이스 역할을 담당한다. 이 모듈은 호스트 제어 모듈처럼 8-Bit 마이크로컴퓨터를 이용하여 구현하였으며, 그 구성은 호스트 제어 모듈과 유사하다. 이 모듈은 중앙의 제어장치로부터 전송된 신호를 드라이브 모듈로 전달하여 솔레노이드 밸브를 제어하고 또한 드라이브 모듈을 통하여 전송된 리미트 스위치로부터의 신호를 중앙의 제어용 컴퓨터로 전달해주는 역할을 담당한다.

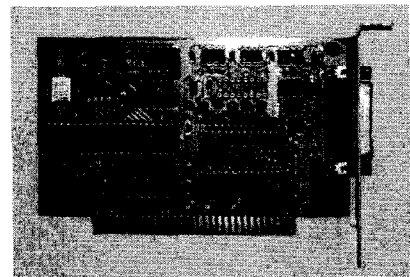
이 모듈도 호스트 제어 모듈에서와 같이 마이크로컴퓨터에 연결된 DIP 스위치를 이용하여 데이터 전송속도를 선택할 수 있으며, 2.1절에 기술된 바와 같이 데이터 전송속도의 선택을 위한 DIP 스위치의 위치는 호스트 제어 모듈에서 설정된 값과 일치해야 한다. 또한 이 모듈에는 간단한 아날로그 회로를 부착하여 데이터 전송속도를 증가시켰을 때 생기는 링잉(ringing) 현상을 최소화시켰다. 이 외에도 이 모듈에는 마이크로컴퓨터에 두 개의 선택 스위치를 부착하여 로컬 노드의 주소를 선택할 수 있도록 되어 있다. 이렇게 함으로써 실제 이 모듈을 이용하여 멀티드롭 네트워크(multidrop network)를 구성하였을 때 필드버스로 전송된 데이터의 주소 값과 미리 설정된 주소 값이 일치하는 데이터만 수신할 수 있도록 되어 있다. 이 기능을 이용하여 세그먼트 당 32개의 로컬 노드를 연결하여 멀티드롭 네트워크를 쉽게 구현할 수 있다.

2.2.3 드라이브 (Drive) 모듈

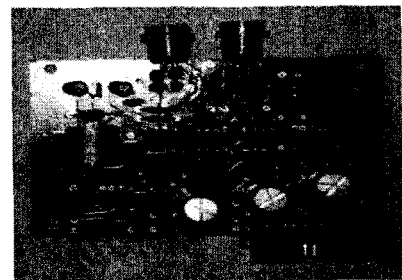
드라이브 모듈은 다음의 두 가지 역할을 담당

한다. 첫째, 로컬 노드 제어 모듈을 통하여 전송된 중앙의 제어 장치 (PC)로부터의 신호를 이용하여 솔레노이드 밸브 제어 신호를 내보낸다. 이때 필드버스를 통하여 전송된 데이터는 직렬(serial) 형태이며 직렬-병렬 변환 쉬프트 레지스터(serial-to-parallel shift register)를 이용하여 직렬 데이터를 8-Bits 병렬(parallel) 데이터로 변환시킴으로써 8개의 솔레노이드 각각에 대하여 동시에 ON/OFF 제어가 가능하도록 한다. 이때 병렬로 변환된 데이터는 솔레노이드를 직접 구동할 수 있을 만큼의 충분한 전력을 갖고 있지 않기 때문에 별도의 구동회로를 이용하여 솔레노이드의 구동에 필요한 전력을 생성한다. 둘째, 공기압 시스템에 부착된 리미트 스위치로부터의 신호를 로컬 노드 제어 모듈로 전달해준다. 이때 8개의 실린더 양단에 부착된 리미트 스위치로부터 감지된 데이터는 8-Bits의 병렬 데이터로서 병렬-직렬 변환 쉬프트 레지스터(parallel-to-serial shift register)를 이용하여 직렬 데이터로 변환시킨 다음 로컬 노드 제어 모듈로 전송해준다.

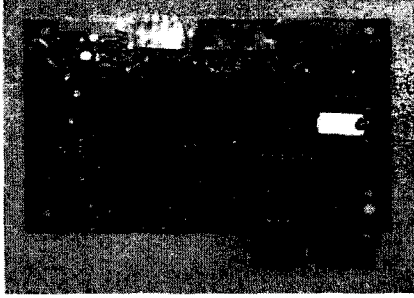
Fig. 3은 설계, 제작된 하드웨어 모듈의 실제 모양을 나타낸다. 그림에 기술된 것처럼 각 모듈은 별도의 보드로 구성이 되어있기 때문에 시스템 구성시 확장이 용이하다.



(a) Host Control Module



(b) Protocol/Power Supply Module



(c) Local Node Control Module

Fig. 3 The Structure of Developed Hardware

3. RS-485 멀티드롭(Multidrop) 네트워크 구성

EIA RS-485 인터페이스 방식은 산업체에서 가장 널리 응용되는 양 방향성의 평형 특성(balanced)을 가진 전송 회선의 표준이다. 이 방식은 산업체의 멀티드롭 시스템에 적합하게 개발된 것으로서 원거리에서도 고속으로 데이터를 주고 받을 수 있다는 장점을 가지고 있다.

각 I/O 모듈은 완전히 독립적이며 데이터를 주고받기 위하여 단지 한 개의 꼬임선(twisted pair)을 사용할 뿐이다. 또한 모든 노드들은 네트워크에 병렬로 연결되기 때문에 전체시스템의 성능이나 나머지 노드에 영향을 미치지 않으면서 쉽게 노드를 새로이 추가하거나 선을 많이 사용하는 데 이는 꼬임선이 잡음에 대해서 좋은 특성을 보여주기 때문이다.

각각의 노드가 네트워크를 통하여 통신을 할 때는 아주 간단한 명령 및 응답 체계를 이용하기 때문에 통신에 대한 충돌은 발생하지 않는다. 이 경우 항상 한 개의 중앙 제어 장치가 있고 여러 개의 종속 장치가 있게 되는데 중앙장치는 각각 다른 어드레스를 가진다. 중앙의 제어장치에서 통신하고자 하는 종속 장치로 명령, 응답 신호를 보내게 되며, 이때 명령어는 통신하고자 하는 종속 장치의 어드레스를 포함하고 있다. 제어 장치에서 내 보낸 어드레스와 일치하는 어드레스를 가진 종속 장치는 해당 명령어를 수행하게 되며 그 결과를 제어 장치에서 확인할 수 있다.

3.1 RS-485 네트워크의 구성

본 연구의 경우 중앙의 제어 장치는 호스트

제어 모듈이 부착된 PC이고 종속 장치는 로컬 노드 제어 모듈이 되며, 이때 각각의 로컬 노드 제어 모듈이 데이터를 송신하지 않을 때는 응답상태가 된다. RS-485 인터페이스 방식은 기본적으로 두 가닥의 선을 사용한다. 각 로컬 노드 제어 모듈은 이 두 가닥의 선을 통하여 네트워크에 연결이 되는데 모든 연결이 병렬로 이루어지기 때문에 새로운 모듈의 추가나 혹은 모듈의 제거가 전체 네트워크의 성능에는 영향을 미치지 않는다. 본 연구에서는 전송 선로로부터의 신호 반사를 최소화시킬 수 있는 daisychain 방식으로 네트워크를 구성하였다(5). 이 방식에서는 여러 개의 세그먼트가 리피터(repeater)를 통하여 연결되어 한 개의 네트워크를 형성한다. 각 세그먼트에는 최대 32개까지의 로컬 노드 제어 모듈을 연결할 수 있으며 모듈의 개수가 32개를 초과하면 IC 구동단의 전류가 급격히 감소하여 통신상의 에러를 유발할 수 있다. 이 네트워크에는 최대 256개의 로컬 노드 제어 모듈을 연결할 수 있다.

3.2 통신 프로토콜 설계

중앙의 제어장치(PC)와 로컬 노드 사이의 통신은 송신(Tx) 데이터와 수신(Rx) 데이터로 구분하여 수행한다. 제어 장치를 기준으로 송신 데이터는 공압시스템의 솔레노이드 밸브를 제어하거나 또는 리미트 스위치로부터 신호를 수신하기 위한 제어 신호로 사용하며, 수신 데이터는 리미트 스위치로부터의 데이터를 수신하기 위하여 사용한다. 송신 데이터는 5개 필드(필드당 1 Byte), 수신 데이터는 3개 필드(필드당 1 Byte)로 구성되어 있으며 각 필드에 대한 정의는 각각 Fig. 4, 5와 같다. Fig. 4, 5에서 정의한 데이터 송신 및 수신 프로토콜을 이용하여 다음의 두 가지 경우로 구분하여 공압 시스템을 제어한다. 첫째, 제어 장치에서 원하는 솔레노이드 밸브의 제어 신호를 보내기 위해서는 해당 로컬 노드의 ID 및 COMMAND 값을 0으로 설정한 다음 제어 신호를 DATA 0 및 DATA 1에 실어 버스를 통하여 송신한다. 이때 에러 체크를 위한 BCC 데이터는 ID, COMMAND, DATA 0 및 DATA 1의 값을 EX-OR 시켜서 구하며 호스트 제어 모듈에서 자동으로 생성된다. 버스에 연결된 로컬 노드에서는 ID값을 체크하여 읽어드린다. 이때 COMMAND 값이 0으로 설정되어 있기 때문에

DATA 0 및 DATA 1을 솔레노이드 밸브 제어 신호로 이용한다. 로컬 노드에서는 수신된 데이터를 필드 단위로 EX-OR 시켜서 [ERROR_CHECK = (ID) EX-OR (COMMAND) EX-OR (DATA 0) EX-OR (DATA 1)] 에러 체크를 위한 준비를 한다. 만약 (ERROR_CHECK = BCC) 이면 제어 장치로부터의 송신 데이터에 에러가 존재하지 않으며, 만약 (ERROR_CHECK ≠ BCC)이면 제어장치로부터의 송신 데이터에 에러가 존재하기 때문에 수신된 데이터가 무시되며 제어 장치에서는 데이터를 재 전송해야 한다. 둘째, 제어 장치에서 원하는 공압 시스템에 부착된 리미트 스위치의 상태를 확인하기 위해서는 해당 로컬 노드의 ID 및 COMMAND 값을 1로 설정한 다음 이 데이터를 버스를 통하여 송신한다. 이때 DATA 0 및 DATA 1 값은 제어 데이터로 이용이 되지 않기 때문에 시스템에 아무런 영향을 미치지 않으며 어떠한 값을 가진 아무런 상관이 없다. 버스에 연결된 로컬노드에서는 ID 값을 체크하여 자신의 주소 값과 일치하는 경우 전송된 데이터를 읽어든다. 이때 COMMAND 값이 1로 설정되어 있기 때문에 로컬 노드에서는 리미트 스위치의 상태 값을 제어장치로 전송해야함을 인식하게 된다. 이어서 로컬노드에서 리미트스위치의 상태 값을 DATA 0 및 DATA 1에 실어 버스를 통하여 송신하며, 제어장치에서는 이 값을 읽어 리미트 스위치의 상태를 확인한다. 이때 에러 체크를 위한 BCC 데이터는 DATA 0 및 DATA 1의 값을 EX-OR 시켜서 구하며 로컬 노드 모듈에서 자동으로 생성된다. 제어장치에서는 수신된 데이터를 필드 단위로 EX-OR시켜서 [ERROR_CHECK = (DATA 0) EX-OR (DATA 1)] 에러 체크를 위한 준비를 한다. 만약 (ERROR_CHECK = BCC)이면 로컬노드로부터의 송신 데이터에 에러가 존재하지 않으며, 만약 (ERROR_CHECK ≠ BCC)이면 로컬노드로부터의 송신 데이터에 에러가 존재하기 때문에 수신된 데이터가 무시되며 로컬 노드에서는 데이터를 재 전송해야 한다.(6)(7)(8)

ID	COMMAND	DATA 0	DATA 1	BCC
----	---------	--------	--------	-----

(a)

필드	구분	비고
ID	Local node의 구조	1~99의 값을 가짐
COMMAND	0:솔레노이드밸브 제어신호 송신 1:Limit switch의 상태표시를 위한 데이터 송신 요구	
DATA 0 DATA 1	솔레노이드 밸브제어 데이터	
BCC	송신 에러 체크를 위한 Checksum 데이터	

(b)

Fig. 4 Transmitter Data Format

(a)Transmitter Data Format,(b)Field Data Format

DATA 0	DATA 1	BCC
--------	--------	-----

(a)

필드	구분	비고
DATA 0 DATA 1	Limit switch의 상태 표시 데이터	
BCC	수신 에러 체크를 위한 Checksum 데이터	

(b)

Fig. 5 Receiver Data Format

(a) Receiver Data Format, (b)Field Data Format

4. 성능 평가

설계, 제작된 시스템에 대하여 성능평가를 실시하였다. 우선 시스템의 성능 평가를 위하여 Fig. 6과 같이 시험 장치를 구성하였으며, 데이터의 원거리 전송 가능성, 전송 속도, 사용환경 하에서의 잡음 방지 기능, 데이터 전송 시스템의 제어 프로그램에 대한 신뢰성을 중심으로 시험을 실시하였다. 시험 방법은 통신 케이블의 길이 및 데이터 전송 속도를 바꾸어 가면서 솔레노이드 밸브의 정상 작동 여부를 시험하였다.

데이터의 원거리 전송 가능성에 대한 시험은 리피터를 사용하지 않은 상태에서 데이터의 전송 속도를 최대 375Kbps로 설정하였을 때 1,000m까지 정상 작동을 수행하였다. 또한 본 시스템에서는 통신용 전원과 주 전원을 분리시킴으로써 고 잡음 환경하에서도 사용 가능함을 확인하였고, 잡음 특성이 양호한 커넥터(connector)를 사용함으

로써 외부 잡음에 대한 영향은 최소화시킬 수 있었다. 또한 데이터 통신시에 에러 체크를 위하여 1byte의 체크섬(checksum) 데이터를 추가로 전송하기 때문에 데이터가 오 전송될 확률은 매우 낮음을 알 수 있다.

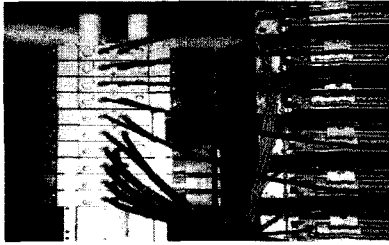


Fig. 6 Experimental Apparatus for Fieldbus Pneumatic Solenoid Valve System

5. 결론

본 연구에서는 공기압 필드버스 시스템에의 적용을 위한 고속, 고 신뢰성의 데이터 전송 시스템을 개발하였다. 이를 위하여 중앙 제어 장치 및 공기압 시스템 사이의 인터페이스를 위한 하드웨어 모듈을 설계, 제작하였으며, 또한 RS-485 방식에 근거한 멀티드롭 네트워크 구축을 위한 통신 프로토콜을 개발하였다. 개발된 시스템의 성능시험 결과 데이터 전송 속도를 375Kbps로 설정했을 때, 고 잡음 환경에서 리피터를 사용하지 않고 1,000m 거리에 있는 솔레노이드 밸브의 제어 가능하였다. 또한 본 시스템은 고 잡음 환경에서 사용이 가능할뿐만 아니라, 시스템의 확장 및 개선이 용이하며 시스템의 운용시 신뢰도 및 유연성을 제공한다.(9)

본 연구에서 개발된 시스템은 공기압 제어 시스템에의 응용을 위하여 개발되었지만 이 외에도 생산 자동화 시스템, 생산 공정 관리 시스템 및 원격 데이터 획득 시스템(remote data acquisition system) 등의 구축에 쉽게 적용이 가능하다. 예를 들어 본 연구에서 개발된 데이터 전송 시스템을 이용하면 생산 현장에 흩어져 있는 대형의 복잡한 제어 시스템을 여러 개의 분산된 부 시스템으로 모듈화 시킨 다음, 각각의 부 시스템들을 제어하는 제어기를 한 개의 네트워크로 연결하여 중앙에서 제어할 수 있는 시스템을 쉽게 구축할 수 있다. 이렇게 함으로써 생산 현장의 모니터링

이 용이할 뿐만 아니라, 중앙 통제 장치와 생산 현장 사이의 데이터 수집 및 정보교환이 신속하게 이루어진다.

참고 문헌

- (1) M. Santon and K. Zech, March 1996, "Fieldbus Brings Protocol to Process Control," IEEE Spectrum, pp. 60-64.
- (2) P. Pleinevaux and J. D. Decotignie, May 1988, "Time Critical Communication Networks Field Buses," IEEE Networks, pp.55-63. Vol.2. No.3.
- (3) J.G. Bollinger and N. A. Duffie, May 1983, "Data-Driven automation 4 : Enabling Hardware," IEEE Spectrum, pp. 70-73.
- (4) K. Bender, 1992, PROFIBUS: "The Fieldbus for Industrial Automation", Prentice Hall, NJ.
- (5) IEEE Network Magazine, May 1988, "Special Issue Communication for Manufacturing", Vol 2, NO.3.
- (6) W. Stallings, 1994, Data and Computer Communications, 4th edition, Prentice Hall, NJ.
- (7) ISA-S50.02-1992, 1992, Standard Fieldbus: "Standard for Use in Industrial Control Systems", Part 2: Physical Layer Specification and Services Definition.
- (8) ISA-dS50.02, 1993, Draft Standard: "Fieldbus Standard for Use in Industrial Control Systems", Part 4: Data Link Protocol Specification.
- (9) 홍춘표, 김동수, Nov, 2000 "공기압시스템 제어를 위한 데이터 전송시스템 설계," 한국퍼지 및 지능시스템학회(KFIS), pp.413-418, Vol.10, No.2.