

# 네트워크 기반 전력전자 기술동향

■ 이흥희, 전태원 / 울산대 전기전자정보시스템공학부

## 서 론

최근에 자동화 시스템에서는 컴퓨터를 이용하여 분산된 공정을 자동화하고 이들을 수직, 수평적으로 통합하여 전체 공정을 일관되게 관리함으로써 생산성을 향상시키고, 비용을 절감시키는 동시에 자동화 공정의 구축 및 유지관리의 유연성과 신뢰도를 극대화시키는 효과를 거두고 있다. 그리하여 모든 공정의 통합화를 추구하는 분산제어 및 자동화시스템에서의 네트워킹 기술이 가장 핵심이 되는 기술로 부각되고 있다.[1,2]

이 분산제어 방식의 특성은 흔히 중앙집중식 제어방식과 비교하여 설명하며, 그림 1은 중앙집중식 제어와 분산제어를 보인 것이다.

중앙집중식 제어방식은 호스트 컴퓨터에서 통신으로 여러가지 센서나 전동기 등과 같은 액추에이터를 제어한다. 이 방식은 가령 호스트컴퓨터에 문제가 있으면 전 시스템이 마비되는 등 치명적인 영향을 준다. 또한 노드나 제어기기의 변경이나 추가할 경우에는 제어 프로그램 전체를 변경하여야 하므로 유연성이 없다는 단

점도 있다. 이에 반하여 분산제어 네트워크에서는 각 노드가 자신의 응용프로그램을 가지고 서로 독립적으로 통신하며 동작하므로 중앙집중식의 호스트가 필요 없다. 각 노드는 개별 응용프로그램에 의해 독립적으로 동작하므로 개별 노드의 응용 프로그램 수정이나 변경이 망 내의 연결된 다른 노드의 응용프로그램에 영향을 주지 않는다. 따라서 기존의 시스템에 영향을 주지 않고 쉽게 시스템을 확장 및 재구성이 가능하여 유연성이 상당히 높다는 장점이 있다.

따라서 인버터 등 반도체 전력회로로 구동되는 전동기 구동시스템도 기존의 1개의 전동기를 단독으로 제어하는 고립적인 구성에서 벗어나 서로 연관성이 있는 전동기들을 모두 네트워크로 연결하고, 상호간 효율적인 제어를 위하여 정보를 교환하며 호스트 컴퓨터에서는 이를 총괄 관리하는 시스템을 구성하면 많은 장점을 가지고 있다. 즉 네트워크를 통하여 여러 전동기를 통합적으로 제어함으로써 각 전동기의 운전 효율을 향상시킬 수 있다. 또한 호스트 컴퓨터에서 각 전동기의 동작 상태를 모니터링 할 수 있으므로 고장진단이 신속히 이루어질 수 있어, 신뢰성을 향상시키면서 유지보수비용도 절감할 수 있다.[3] 따라서 향후 인버터의 설정 및 동작상태의 정보를 네트워크를 통해 송/수신할 수 있도록 네트워킹 기능의 필요성이 점차 증가하게 될 것이다.

공장 자동화를 위한 네트워크 기술로 최근에는 근거리통신망으로 필드 장치간의 실시간 데이터 통신을 지원하는 필드버스(Field bus)에 대한 연구와 응용이 큰 활기를 보이면서 급속한 기술발전이 진행되고 있다.

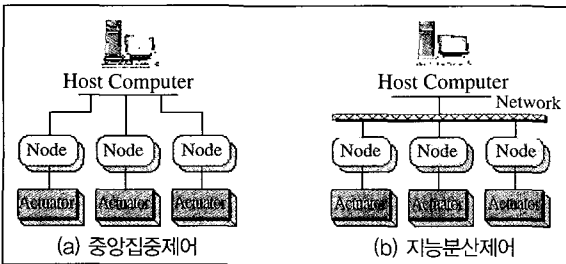


그림 1 중앙집중 제어 및 지능 분산제어

## 필드버스의 종류 및 특성

필드버스는 실시간 근거리통신망으로 공장의 통신구조에서 가장 하위부분의 필드기기 간의 데이터 통신을 담당한다. 필드버스의 계층구조는 OSI (Open System Interconnect) 7 계층 모형에서 중간계층이 생략된 3계층 형태(물리계층, 데이터 링크 계층, 응용계층)가 일반적이다. 필드버스는 배선을 획기적으로 간소화하고 공정제어나 자동화 등에서 신속 처리가 요구되는 다량의 데이터를 효과적으로 처리할 수 있으며, 필드기기의 추가나 변경이 쉽고 시스템의 형태나 배치, 구성에 유연성을 제공한다. 전송매체로는 주로 저렴한 트위스트 페어 케이블을 사용하지만 경우에 따라 동축케이블, 광케이블 등이 선택적으로 사용한다.

현재, 많은 필드버스가 존재하지만 세계적으로 많이 사용되고 있는 필드버스로 Profibus, DeviceNet, Interbus, Foundation Fieldbus, CAN, Lonworks 등이 있다. 그러나 필드버스는 단일 규격으로의 통일이 실패하여 독일 지멘스의 Profibus, 미국 로그웰 오토메이션사의 DeviceNet가 시장에서 많이 사용되고 있는 실정이다. 따라서 Profibus와 DeviceNet와 함께 LonWorks, CAN, Ethernet 등에 대한 특성을 간단히 설명하고자 한다.

표 1은 대표적인 필드버스의 특성을 비교한 것이다. 이 표에서 통신모드는 망에 연결된 노드 중 어떤 노드가 통신을 개시할 수 있는 권한이 있는지를 결정하는 것이다. 매체접속방식은 망에 연결된 노드로부터 매체 접속 요구가 있을 경우 매체를 사용할 수 있는 권한을 부여하는 기법이며, 트래픽 상태에 따른 통신 지연특성이 달라지므로 실시간 제어가 가능한지를 결정하는 주요 요소가 된다. 다음 항목은 각 필드버스에서 사용할 수 있는 전송매체의 종류와 최대 전송률이며, 이는 전송 거리에 제한을 받는다. 마지막 항목은 각 필드버스가

표 1 대표적인 필드버스의 주요 특성 비교

	통신모드	매체접속 방법	전송매체	최대전송속도	OSI계층구조
Profibus-DP	Master/Slave Peer-to-peer	Token Passing	RS-485 Shielded TP 광케이블	12Mbps	1,2계층
DeviceNet	Master/Slave Peer-to-peer Multimaster	CSMA/NBA	Twisted Pair	500Kbps	1, 2, 7계층
CAN	Multimaster	CSMA/NBA	Twisted Pair	1Mbps	1,2계층
LON	Peer-to-peer	CSMA/CA	Twisted Pair RF 전원선 광케이블	1.25Mbps	1~7 전계층
Ethernet	Peer-to-peer	CSMA/CD	Unshielded TP 광케이블	10Mbps 또는 100Mbps	1, 2계층

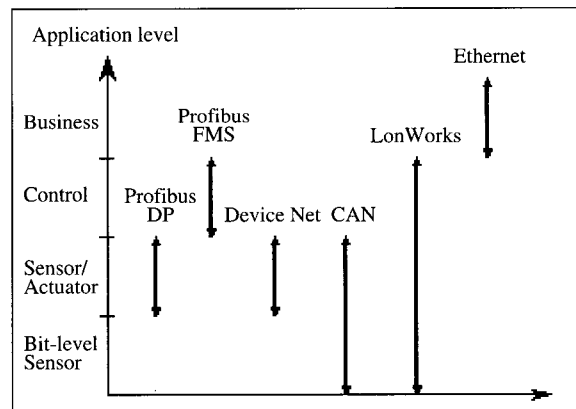


그림 2 필드버스의 종류 및 응용범위

지원하는 OSI의 계층구조를 표시하였다.

한편 그림 2는 각 필드버스 별로 자동화 등급별 적용시킬 수 있는 범위를 나타낸 것이다. 대체로 응용서비스가 경영정보시스템과 같이 추상성이 높을수록 많은 대역폭을 요구하고, 제어용 네트워크와 같이 구체적인 디바이스 제어서비스용 네트워크는 대역폭보다는 실시간 서비스를 만족시키기 위한 구조가 강조된다.

다음은 각 필드버스에 대한 특성을 간단히 기술한다.

### Profibus의 특성

Profibus는 1987년도 독일 지멘스등 유럽 기업체 12개가 연합하여 개발된 필드버스이다. 서로 다른 제작사

에서 제작된 장치간의 통신 시 특별한 인터페이스 없이 통신이 가능한 완전 개방형 필드버스이다.[4] 이 필드버스 규격은 유럽 필드버스 표준 규격 EN50170으로 제정된 후, 1999년도 세계표준 (IEC 61158)으로 결정되었다. Profibus는 적용 용도별로 Profibus-DP, Profibus-FMS Profibus-PA 등 3가지 종류가 있으나, 소량 데이터의 고속전송이 가능하면서 저 비용으로 설치가 가능한 Profibus-DP가 공장 자동화 설비에 가장 많이 사용되고 있다. 현재 필드버스 시장에서 Profibus의 점유율이 20% 이상이며, 또한 향후 산업용 LAN통신을 위해 TCP/IP에 기반한 Profinet제품도 출시될 예정이다.

### DeviceNet의 특성

DeviceNet는 미국 로크웰 오토메이션사에서 개발하였다. OSI의 물리층과 데이터 링크 층은 CAN규격을 적용하고 있으며 프레임 당 전송량을 0~8byte로 제한함으로써 디바이스의 응답시간을 1msec 이내로 실현하고 있다. 또한 매체접근 제어방식으로 CSMA/NBA를 적용하여 반드시 설정한 시간 안에 어떤 기기라도 전송기회를 확보할 수 있다. 따라서 리얼타임 제어가 가능하므로 리미트 스위치로부터 전동기제어 시스템까지 광범위한 범위의 디바이스에 적용할 수 있다. 여기에 전송매체는 통신을 위한 트위스트 페어선 외에 전원선이 같이 있으므로 전력소비가 작은 기기인 경우에는 별도 전원선이 필요 없다는 장점도 있다. 한편 여러 벤더간의 기기 호환성과 교환성을 보장하면서 설치 및 교환을 쉽게 하기 위하여, 기기 별로 기본 I/O포맷, 프로파일 등이 국제 표준화 단체 ODVA (Open DeviceNet Vender Association)에 의해 규정되어 있다.

### LonWorks의 특성

LonWorks는 에셀론사가 개발한 네트워크로 주로 빌딩자동화에 적용하여 왔으나 점차 홈오토메이션, 수송시스템의 감시 및 제어, 공정자동화 등 다양한 분야로 확산되고 있다.[5] LonWorks의 프로토콜인 Lontalk는 ANSI/EIA, IEEE 등 국제 표준기관이 인정한 개방형 표준 프로토콜이며, 이 Lontalk는 OSI의 7계층 모듈을 지원하고 있으므로 Lonworks 네트워크

뿐만 아니라 IP 네트워크상에서도 응용 시스템을 구현할 수 있다. 다양한 전송매체 (트위스트페어선, 전력선, RF, 광케이블 등)를 통하여 데이터를 송수신할 수 있고, 매체가 다른 네트워크에서도 간단한 라우트만으로 통합시킬 수 있다는 장점도 있다. 현재 전세계적으로 LonWorks를 지원하는 다양한 센서류, 액추에이터, 컨트롤러를 만드는 업체가 계속 증가하고 있으므로, 앞으로 공정자동화의 주요 요소인 인버터-전동기 구동장치에 LonWorks를 지원하는 시스템이 개발될 것으로 예상된다. 그런데 매체접속제어 방식인 CSMA/CA는 버스로 데이터를 전송 전 버스의 idle상태를 체크하고, 다른 데이터와 충돌할 확률을 예측하여 데이터 전송여부를 판단한다. 그런데 이 방식은 과부하상태에서 전송 지연이 발생할 가능성이 있으므로, 리얼타임 제어에 이 필드버스를 적용하기 위해서는 다소 어려운 점이 있다.

### CAN의 특성

CAN (Controller Area Network)은 1986년도 독일 Robert Bosch GmbH에 의하여 개발되었으며, 1992년도에는 CAN네트워크를 차량의 엔진제어기, 기어박스 제어기, 에어컨 제어기 등에 적용하였다. 그후 차량용 네트워크로 열악한 환경속에도 안정적으로 동작하여 신뢰성을 인정받았으며, 내 노이즈성이 우수하여 점차 전동기제어를 포함하여 공장자동화용으로 사용범위가 확산되고 있다. 이 필드버스는 ISO11898 국제표준 규격으로 제정되었으며, 2000년에는 1억개 이상의 CAN 디바이스가 생산되었다. CAN은 OSI의 1계층과 2계층을 지원하고, CAN 프로토콜을 이용하여 전체 네트워크를 구성할 경우 제작사의 고유 응용계층 (제7계층)을 지원한다.[6] 이 응용계층을 지원하는 필드버스 중 FA용으로 적합한 DeviceNet과 기기 제어용 시스템의 내장형 네트워크로 CANopen등이 있다.

여기서 인텔사의 16비트 마이크로제어기 80C196CA와 TI사의 DSP인 TMS320X243, TMS320LF240X, TMS320LF28X는 CAN이 내장되어 있으며, 특히 이 DSP 칩들은 전동기제어에 가장 적합하게 설계된 칩이다. 따라서 전동기 제어시스템에 이 DSP를 사용할 경우, 1개의 DSP로 전동기 제어뿐만 아니라 CAN 네트워킹까지 쉽게 할 수 있다.

## Ethernet의 특성

Ethernet은 1973년도 Robert Metcalfe에 의해 개발된 후, 1985년도 IEEE802.3, CSMA/CD 표준 규격이 만들어졌다. 이 Ethernet은 빠른 전송속도 (Ethernet은 10Mbps, Fast Ethernet은 100Mbps), 패킷당 데이터량이 가변적이고, 저렴한 설치비용 등 많은 장점 때문에 산업용 네트워크 분야에서 많은 관심을 갖기 시작하였다. 그런데 매체접속제어 방식으로 CSMA/CD 방식은 복수의 기기가 동시에 통신을 시작하여 버스상에서 충돌이 발생하면 모든 기기가 통신을 중단한다. 그리고 각 기기가 스스로 재송신까지의 대기시간을 설정하여 그 시간이 경과 후 재송신을 한다. 이 방식은 대기시간이 길어지고 또한 재전송시 다시 충돌할 가능성도 있으므로, 데이터의 전송지연을 예측할수 없어 실시간 제어에는 다소 문제가 있다.

따라서 전동기제어를 포함한 공장자동화에서는 필드버스와 함께 다음 그림 3과 같은 형태로 Ethernet은 필드버스 상층구조의 네트워크로 많이 응용되고 있다. 필드버스에 각종 센서, 전동기 구동장치, 인버터 등을 연결하여 데이터 통신 및 실시간 제어를 수행하며, TCP/IP로 데이터 통신 프로토콜을 변환하여 Ethernet를 통하여 인터넷상에서 각종 센서, 전동기 구동장치의 동작상태 감시 및 제어를 수행한다.

## 필드버스 적용 예

전동기 제어시스템에 LonWorks와 CAN을 적용한

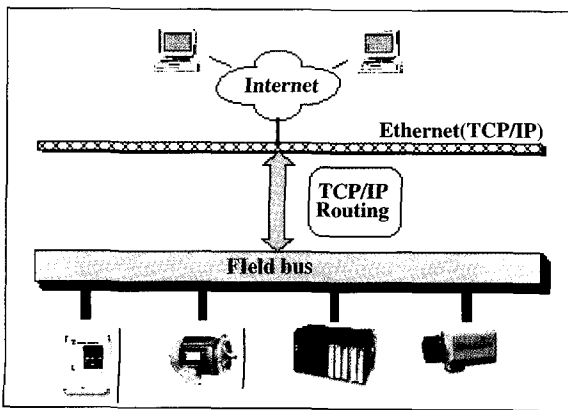


그림 3 Field bus와 Ethernet과의 연결

예를 2가지 기술한다.

### (1) Lonworks를 사용한 야드크레인의 위치제어

야드 크레인은 부두의 컨테이너 야적장에서 컨테이너를 트레일러에 적재하거나, 트레일러의 컨테이너를 야적장으로 이동시키는 크레인이다. 그림 4는 야드 크레인의 위치제어를 위한 전동기 구동장치를 보인 것이다. 야드 크레인에는 각 bay로 이동시키는 좌우 1개씩의 갠츨리 (Gantry) 구동전동기와 크레인 위에서 row 방향으로 이동시키는 트롤리 (Trolley) 구동전동기 등 3개의 구동 전동기가 있으며, 크레인을 원하는 위치로 이동시키기 위하여 3개의 전동기 위치제어를 동시에 수행한다.

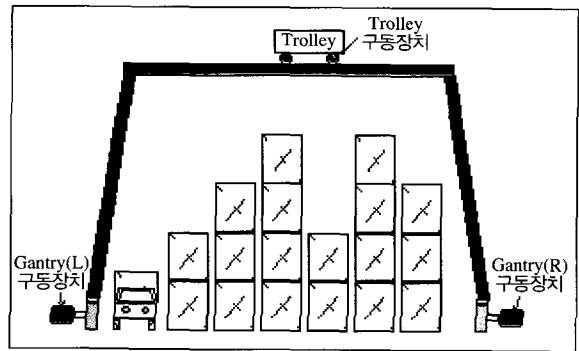


그림 4 야드크레인 구동장치

갠츨리 위치 제어용 2개의 구동전동기와 트롤리 위치 제어용 1개의 구동 전동기 등 3개의 전동기 구동 시스템에 호스트 컴퓨터를 네트워크로 연결하여 그림 5

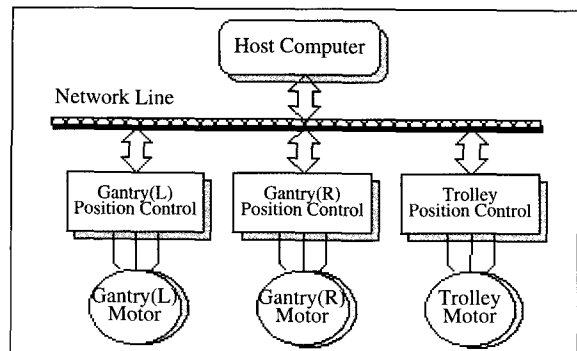


그림 5 네트워크 구성도

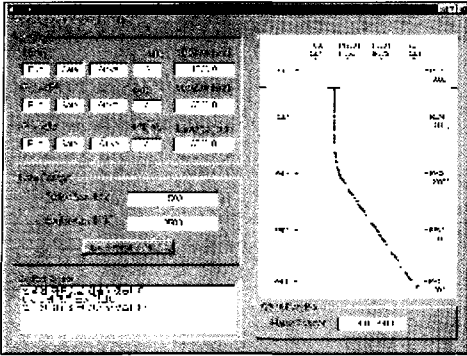


그림 6 호스트컴퓨터 창



그림 7 야드크레인 시뮬레이터 사진

통신선을 이용해 실시간으로 주고 받을 수 있는 실시간 제어 네트워크를 구축한다. 두 대의 전동기 구동 시스템에서, 전동기 속도(위치)는 상호 의존적이라고 가정한다. 간단한 구동 알고리즘을 위해, 전동기하

와 같이 4개의 노드를 가지는 네트워크를 구성한다.

호스트 컴퓨터에서는 갠추리 및 트롤리의 제어보드로부터 전송 받은 각 정보로 갠추리 및 트롤리의 위치 즉 크레인의 위치와 각 전동기 구동시스템의 동작상태를 나타내며, 또한 갠추리 및 트롤리 기준 위치 값 및 정지/시작 등 제어 명령을 하달한다.

그림 6은 호스트컴퓨터 창을 보인 것이다. 이 창은 야드 크레인 구동용 3개 전동기의 동작상태 및 현재 위치값을 표시한 창, 갠추리 및 트롤리의 기준 위치값을 입력하는 창, 갠추리 및 트롤리의 이동궤적을 표시한 창 등으로 구성된다.

그림 7은 실제 크레인 크기의 약 1/10 축소한 야드크레인 시뮬레이터의 사진이다.

## (2) CAN 네트워크를 이용한 복수 전동기의 위치 동기화 제어

CAN을 이용해 여러 대의 전동기를 제어하기 위해 필요한 각종 제어명령이나 속도 또는 위치정보를 단일

나를 마스터로 두고 다른 하나는 이를 추종하는 슬레이브로 둔다. 마스터는 제어기에서 출력되는 임의의 속도(위치)명령에 따라 구동되고 슬레이브는 마스터의 실제 속도(위치)를 받아 호스트 제어기에서 계산된 속도(위치)명령에 의해 구동된다. 그림8은 위치제어 시스템의 블록도이다.

CAN을 이용한 복수전동기 동기화 시스템을 그림9와 같이 구성하였다. 호스트 제어기는 TMS320C32에 Stand alone 형태의 CAN 제어기를 이용하여 버스 인터페이스를 구현하였다.

또한 CAN제어기로 버스 인터페이스를 구현한 80C196KC를 입출력 보드로 사용하였다. 즉, 입출력 보드에서는 전동기의 속도정보를 얻고 CAN 네트워크를 통해 이를 호스트로 전송하는 역할을 수행하며 호스트에서는 마스터의 속도정보를 이용해 계산된 슬레이브의 속도명령을 출력하는 역할을 수행한다.

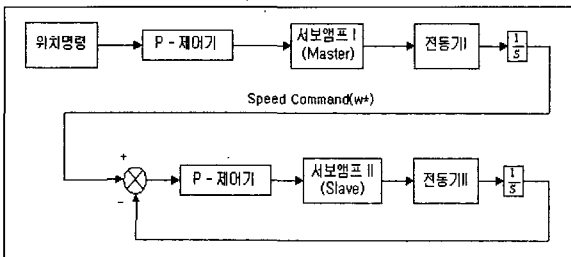


그림 8 위치제어 블록도

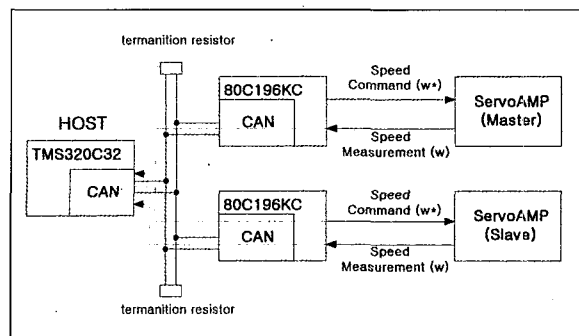


그림 9 복수전동기 동기화를 위한 네트워크 구성도

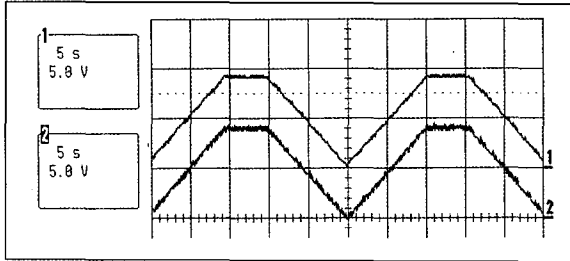


그림 10 속도명령

그림10은 마스터 입출력 보드에서 출력하는 속도명령이며, 마스터는 오픈루프로 구동된다.

그림11은 마스터 전동기의 속도를 측정하여 호스트로 보내진 값으로부터 계산을 통해 슬레이브로 보내는 속도명령이다.

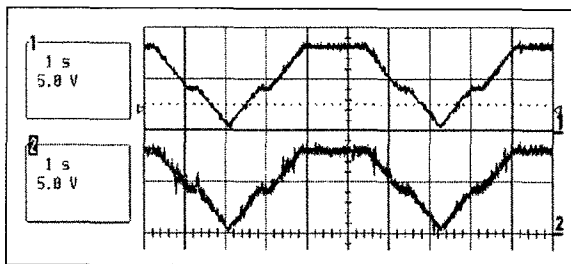


그림 11 속도 동기화(마스터/슬레이브)

## 결론

필드버스의 개념과 함께 대표적이 필드버스의 특성들을 비교 평가하였다. 다수의 전동기 구동시스템만을 네트워크로 제어 및 감시하는 시스템에는 DSP등에 내장된 CAN을 사용하는 것이 바람직할 것이다. 그러나 기존의 자동화 설비의 일부 요소로 인버터-전동기 구

동시스템을 투입할 경우에는 이미 설치된 필드버스를 사용하여야 하므로 다양한 필드버스에 대한 지식이 필요하다. 향후에는 계속 발전하는 필드버스의 기능에 맞추어 더 빠르면서 다른 종류의 필드버스에서도 사용될 수 있는 호환성을 가진 네트워크 인터페이스기능을 장착한 인버터 및 전동기 구동시스템의 개발이 필요할 것이다.

### [참고문헌]

- [1] I.A.Janet, W.J.Wiseman, R.D.Michelli, A.L.Walker, S.M.Scoggins, "Using Control Networks for Distributed Robotic Systems", in Conf. Rec. on Robotics, Vol.2, pp.1138-1143, 1999.
- [2] R.A.Ziemerink, C.P.Bodenstein, "Utilizing a LonWorks Control Network for Factory Communication to Improve Overall Equipment Effectiveness", in Symposium on Industrial Electronics, Vol.2, pp684-689, 1998.
- [3] P.H.Lin and H.L.Broberg, "Internet-Based Monitoring and Controls for HVAC Applications", IEEE Industry Application Magazine, Jan./Feb., 2002.
- [4] 월간자동화 기술, "공업용 네트워크 최전선", 1999년 5월호.
- [5] Motorola, LonWorks Technology Device Data, Rev.2, 1996.
- [6] Wolfhard Lawrenz, CAN System Engineering From Theory to Practical Application, Springer, 1997.