

## 필드버스를 이용한 로봇웍셀의 구현과 자료운용

### Implementation and Data Operations of the Robot Workcell using the Fieldbus

\*박세웅\*, 김동준\*, 김갑일\*, 김대원\*, 김홍석\*\*, 이호길\*\*

\* 명지대학교 전기전자공학부 (Tel&Fax: 0335-30-6356, Email: kkl@wh.myongji.ac.kr)

\*\* 생산기술연구원 (Tel: 8509-255, Fax: 8509-244, Email: r6169@intech.kaitech.re.kr)

**Abstracts** With the expansion of research and development for the CIM and the IMS, the importance of introducing the communication network is being increased. This paper presents an implementation of robot workcell by using Fieldbus and investigates data operation of the robot workcell. Through experiments, the operations of periodic and real-time data, and non-periodic real-time data are studied. Also, the relationship between the network transmission rate and the monitoring results from the sensor is analyzed.

**Keywords** Fieldbus, Robot workcell, Implementation, Data operation, Transmission rate

## 1. 서론

생산시스템의 자동화 및 모듈화에 이어서 최근에는 통신시스템의 도입이 활발해지고 있다. 이러한 생산시스템의 지능화 및 통합화에 힘입어 최근에는 CIM(Computer Integrated Manufacturing) 및 IMS(Intelligent Manufacturing System)의 개발이 활발한 실정이다. 이러한 통합생산시스템을 이루기 위해서 MAP(Manufacturing Automation Protocol), mini-MAP, 및 필드버스의 3가지 통신망이 일반적으로 알려진 생산시스템의 전산망이다[1]. 그러나 아직까지도 실용성 및 경제성 등의 문제가 있어서 완전한 검증의 부족, 표준시스템의 부재, 제품의 경제성 등으로 사용이 활발하지 않은 상태이다. 그중 필드버스는 아직까지 표준화가 되지 못하고 여러 나라별 사양이 발표되어서 사용되는 형편이다. 현재 필드버스는 독일의 Profibus, 프랑스의 FIP, 미국의 IEC, BOSCH사의 CAN 등이 개별적인 표준안을 내세우고 있으며, 통합된 표준안 작성을 위한 활동이 진행중이다. 여러 필드버스 표준안중에서 현재 가장 널리 사용되는 것은 중앙접속 제어방식을 사용한 FIP과 분산접속 제어방식을 사용한 Profibus이다. 이 논문에서는 분산접속 제어방식의 Profibus를 사용하여 로봇웍셀을 구성, 필드버스를 통한 시스템 운용을 수행하고자 한다.

이러한 필드버스를 이용한 로봇시스템은 [2,3] 등에서 연구되어졌으나 시뮬레이션 및 모델링에 의한 개략적인 가능성의 검증

에 그치고 있다. 또한, 일반적인 실시간 시스템에서의 필드버스나 통신망의 사용에 대한 일반적인 연구 역시 활발히 진행되고 있다[4-7]. 본 논문에서는 필드버스의 기본적인 플랫폼을 구성하기 위한 일차적인 준비의 일환으로 Profibus를 사용하여 로봇시스템을 구현하고, 시스템 운용을 통한 데이터 분석을 수행한다. 이러한 분석은 일반적으로 필드버스의 효율을 높이기 위해서 수행되는데 여기서는 단지 실시간 운용의 관점에서 시스템의 구현에 역점을 둔다.

2장에서는 필드버스 중에서 실험에 사용된 Profibus의 프로토콜 구조에 대해서 언급하며, 3장에서는 로봇웍셀을 대상으로 한 시스템 구성에 대하여 서술하고, 4장에서는 실제 로봇의 내부센서 및 액추에이터를 이용한 경로추적 실험을 서술하며, 마지막으로 결론을 맺는다.

## 2. Profibus의 개요

Profibus는 개방형 시스템인 OSI의 7계층 중 1,2,7 계층을 사용하고 있으며 대략적인 구조는 그림 1과 같다. 물리계층의 전송방식은 RS-485이며 전송거리는 전송속도에 따라 다르지만 최대 전송길이는 1200m이고 리피터에 의해 4800m까지 확장될 수 있다. 전송속도는 9.6kbps에서 500kbps까지 사용 가능하다.

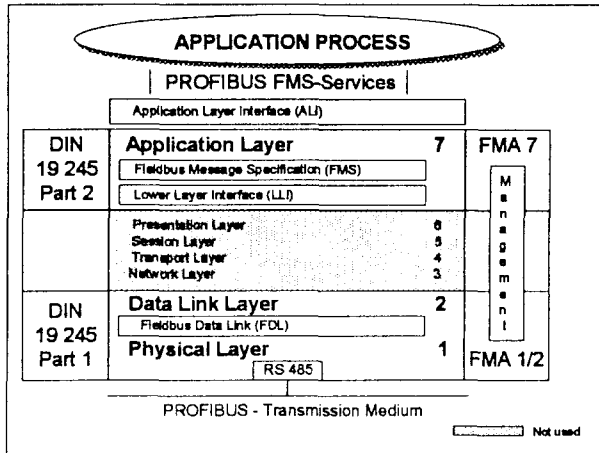


그림 1. Profibus 프로토콜 구조  
Fig. 1. Profibus protocol architecture

Profibus의 토폴로지는 그림 2와 같고 리피터 없이 연결할 수 있는 최대 스테이션의 수는 32개이며, 3개까지의 리피터를 사용하여 127개의 스테이션까지 연결할 수 있다.

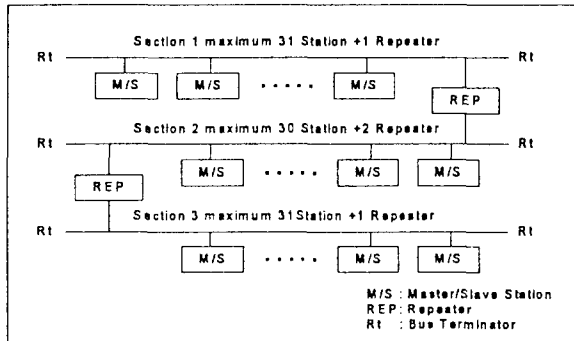


그림 2. 버스 토폴로지  
Fig. 2. Bus topology

코딩 방식은 NRZ(Non Return to Zero)방식을 사용하며, 비 동기 방식의 반 이중(half-duplex)전송을 한다. Profibus에서 계층 2는 FDL(Fieldbus Data Link)에 의해 구현되어지며, 여기서는 매체접근제어(MAC: Medium Access Control)와 데이터 무결성(Integrity)을 수행한다. Profibus에서의 MAC은 마스터 스테이션간의 통신을 위한 토큰패싱방식과 마스터 슬레이브간의 통신을 위한 마스터-슬레이브 방식을 혼용한 하이브리드방식을 사용한다. 계층 2에서의 데이터 전송 서비스는 비주기적 데이터로 SDA(Send Data with Acknowledge), SRD(Send and Request Data with Reply)그리고 주기적 데이터로 CSRD(Cyclic Send and Request Data with reply)가 있다.

계층 7은 어플리케이션 서비스를 사용자에게 제공해주는 기능을 한다. Profibus의 응용계층은 FMS(Fieldbus Message Specification)와 LLI(Lower Layer Interface)로 구성되어 있다. FMS는 MAP에서의 MMS기능을 하고, LLI는 FMS서비스를 계층 2에 매핑시켜줄 뿐 아니라 데이터 흐름제어와 연결상태 확인

기능을 수행한다.

### 3. 시스템의 구성

본 논문에서 시스템 구성의 목적은 다수의 액추에이터와 센서를 포함하고 있는 로봇웍셀을 대상으로 필드버스를 이용한 시스템을 구축하고, 이 시스템의 데이터 운용 실험을 수행하는 것이다. 본 논문에서는 Profibus를 이용하며, 실험대상 로봇으로는 스카라형 4축 로봇 두 대를 사용한다. 로봇의 내부센서와 액추에이터는 PLC에 인터페이스 되어 두 대의 필드기기 노드2와 노드3에 전달된다. 시스템 구성의 기본 개념도는 그림 3과 같다.

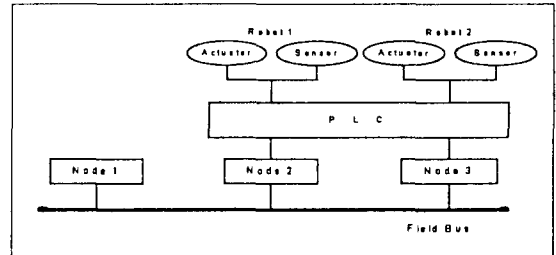


그림 3. 시스템 개념도

Fig. 3. Conceptual diagram of the system

그림 3에서 각각의 노드는 모두 마스터 스테이션으로 설정하며, 여기서 노드 1은 로봇에 전송될 제어신호를 만들고 로봇웍셀의 내부 센서 데이터(리졸버 데이터와 리미트 신호)를 모니터링하기 위한 제어기로서 각각의 로봇웍셀에 필요한 제어신호와 속도명령을 노드2, 3에 전송하고, 노드2, 3으로부터 각각의 로봇웍셀의 센서 데이터를 받는다. 그리고 노드2, 3은 두 대의 로봇에 각각 연결되어 로봇웍셀의 센서 데이터를 노드1로 전송하고, 노드1로부터 전송되어온 속도명령을 연결된 로봇의 액추에이터에 전달해준다.

#### 3.1 실험 시스템의 구성

실험에 사용된 시스템은 두 대의 로봇을 포함하는 시스템이다. 실험을 위한 시스템 구성도는 그림 4와 같다.

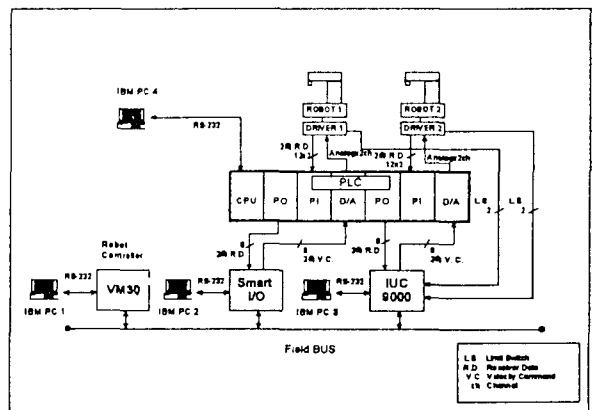


그림 4. 실험 시스템 구성도

Fig. 4. Configuration of the experimental system

여기서 IBM PC 1, 2, 3은 각각의 필드버스 기기와 연결되어 프로그램 다운로드기능과 모니터링 기능을 수행한다. IBM PC 4는 PLC의 프로그램 다운로드와 모니터링기능을 수행한다. VM30은 두 로봇의 속도명령을 만들고 전송해 주는 주제어기로 사용된다. Smart I/O와 IUC는 필드기기로서 각각의 로봇 리졸버 데이터를 받아 주제어기로 전송해준다. IUC는 두 로봇의 리미트 센서를 감시하여 신호가 들어오는 즉시 제어기로 전송해준다. 주제어기의 시스템운용은 그림 5와 같다.

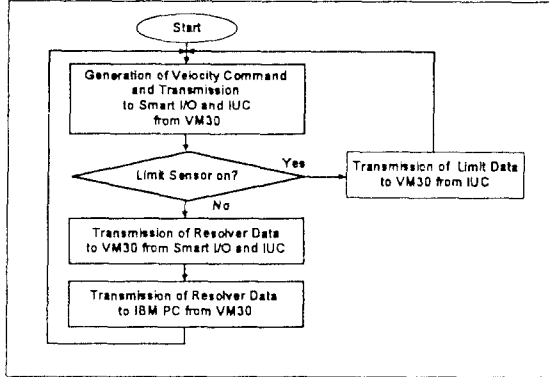


그림 5. 주제어기의 시스템 운용  
Fig. 5. System operation of the main controller

본 실험에서는 I/O 접점의 제한으로 로봇의 1, 2축 만을 제어하며, 12비트의 리졸버 데이터는 상위 7비트만을 사용하여, PLC에 전달되고 PLC는 입력된 7비트 리졸버 데이터에 1, 2축 판별 비트를 첨가하여 8비트 디지털 신호로 만들어 각각 Smart I/O와 IUC에 입력해 준다. VM30에서 만들어진 속도명령은 Smart I/O와 IUC에서 8비트 디지털 신호로 변환하여 PLC에 입력해 준다. PLC에서는 입력된 8비트 디지털신호를 PLC의 D/A 보드를 사용하여 아날로그 신호로 변환하여 로봇에 입력해준다. 로봇의 리미트 신호에는 각각 LL(Left Limit), CL(Center Limit), RL(Right Limit)신호가 있다. 여기서는 LL과 RL신호만을 사용한다.

### 3.2 로봇의 기본동작 실험 및 결과

본 실험에서는 리미트신호를 실시간 처리하여 로봇이 작업영역 밖을 이탈하지 않도록 주제어기(VM30)에서 제어하게 하였으며, 그림 5에서와 같은 순서대로 로봇의 동작 실험을 수행하였다. 실험결과, 로봇의 운전과 비주기적 센서의 입력은 정상적으로 수행되었으나, 리졸버 데이터의 주기적 전송은 I/O확장을 위해 사용한 PLC에서의 처리 지연시간의 영향으로 시간의 제약을 받아 로봇암의 실제경로에 대한 주기적 데이터들 모두 모니터링할 수 없었다. 따라서, 경로추적에 관한 주기적 데이터 실험은 4장에서 필드기기, 액츄에이터, 리졸버만으로 수행한다.

## 4. 경로 추적에 관한 실험

### 4.1 실험구성 및 순서

로봇 암의 경로를 추적하기 위한 실험 구성도는 그림 6과 같

다.

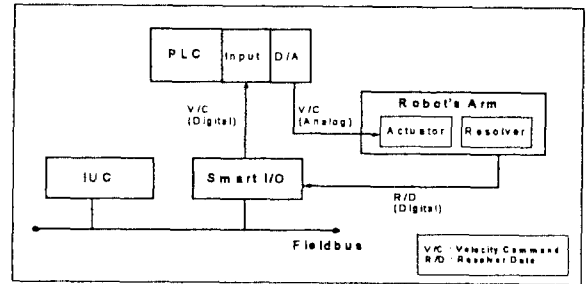


그림 6. 경로 추적에 관한 실험 시스템 구성도  
Fig. 6. Configuration of the experimental system for the trajectory tracking

IUC는 미리 만들어진 속도명령 파일을 가지고 30msec주기로 속도명령을 Smart I/O에 전송한다. Smart I/O는 전송 받은 속도명령을 PLC입력단으로 보낸다. PLC에서는 입력된 디지털 속도명령을 D/A컨버터를 사용하여 아날로그 속도명령으로 만들어 로봇 암의 액츄에이터에 보낸다. 로봇 암의 리졸버 데이터는 Smart I/O에서 받아들여져서 필드버스를 통해 IUC에 전송된다. IUC는 전송받은 리졸버 데이터를 파일에 저장한다.

### 4.2 액츄에이터의 특성과 속도명령

로봇 암의 액츄에이터의 속도명령의 범위는 -10~10V이고,  $\pm 7.5V$ 에서 3000rpm으로 설정되어 있으며,  $\pm 2.5V$ 에서 1000rpm으로 선형적이다. 본 실험에서는 그림 7과 같이 0~0.5V범위의 속도명령을 사용한다.

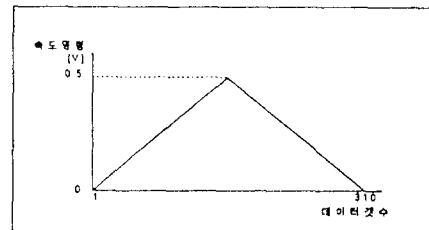


그림 7. 속도 명령  
Fig. 7. Velocity command

0.5V에서 액츄에이터는 200rpm으로 회전하며, 모터의 한번 회전에 소요되는 시간은 0.3초이다. 그러므로 로봇 암의 올바른 경로를 추정하기 위해선 리졸버 데이터의 입력주기가 최대 0.3초보다 작아야한다.

### 4.3 실험 결과 및 고찰

실험에서 30msec주기로 데이터를 전송하는 경우, 네트워크의 전송속도에 따라 올바른 전송이 되어지는 횟수가 표1과 같음을 관측했다. 속도명령을 파일에서 로드하여 전송을 시작해 모든 속도명령이 전송되고 끝나는 시점까지의 시간은 평균 9400msec이었다. 표 1에서 리졸버주기는 리졸버 데이터가 IUC에 전송되어지는 평균적인 시간이다.

표 1. 전송 속도 변화에 따른 모니터링 데이터 개수 비교  
Table 1. Comparison of the number of monitoring data according to the change of transmission rate

네트워크 전송속도 (bps)	500000	187500	93705	19200	9600
전송된 데이터 개수	150	130	120	30	20
전송주기 (msec)	62.7	72.3	78.3	313.3	470

그림 8은 500kbps의 전송속도에서 액추에이터에 입력된 경로와 리졸버로부터 모니터링된 실제경로를 나타낸다. 또한 그림 9는 9600bps에서 모니터링된 경로를 나타낸다.

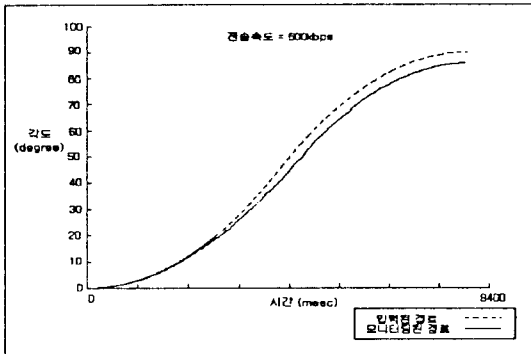


그림 8. 입력된 경로와 모니터링된 경로

Fig. 8. Inputted trajectory and monitored trajectory

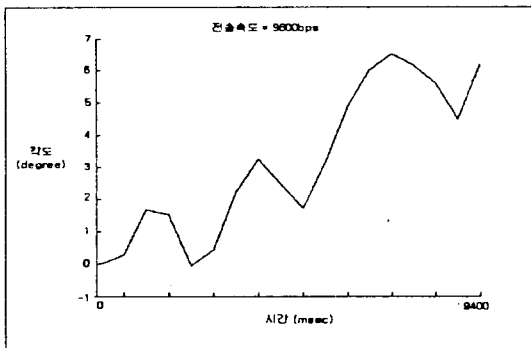


그림 9. 9600bps에서 모니터링된 경로

Fig. 9. Monitored trajectory in 9600bps

표 1에서와 같이 전송되어오는 리졸버 데이터의 개수는 전송 속도에 반비례함을 볼 수 있다. 표 1과 그림 9에서 볼 수 있듯이 리졸버 데이터의 전송되어 오는 전송주기가 0.3초를 넘는 경우 그 경로를 파악할 수 없음을 볼 수 있다. 그 이유는 리졸버 데이터의 경우는 한 바퀴 내에서 상대적인 위치 정보만을 주기 때문에 의미있는 정보의 연속성을 유지하기 위해서는 정해진 주기 시간 이내에서 모니터링이 수행되어야 하기 때문이다. 그림 8에서와 같이 전송되어진 주기가 필요로 하는 0.3초보다 훨씬 적은 경우에는 그 경로의 궤적을 올바르게 모니터링할 수 있다. 본 결과에서 어떠한 시스템에서 데이터가 요구되어 지는 시간 제한이

있는 경우 최대 제한시간보다 적은 시간주기로 데이터가 전송되어야 함을 볼 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 필드버스를 사용하여 로봇웍셀을 구성하고 액추에이터와 여러 종류의 센서의 데이터들을 실험을 통하여 운용하였다. 필드버스를 통하여 비주기적 센서의 정보와 액추에이터의 주기적 정보에 대한 실험은 원활히 수행되었으나, 리졸버로부터의 주기적 정보의 모니터링은 통신 시간 지연의 영향으로 네트워크의 전송속도에 제약을 받음을 알 수 있었다. 따라서, 필드버스와 같은 네트워크를 활용한 시스템을 설계하는 경우에는 시스템내에서 전송될 데이터의 종류, 성질, 특성을 파악하여 전송주기의 설정, 스케줄링 등의 문제를 해결하여야 하겠다.

## 참고문헌

- [1] J. D. Decotignie and P. Pleinevaux, "A survey on Industrial Communication Networks," *Annales des telecommunications*, invited paper, Vol. 48, No. 9-10, pp. 435-448, 1993.
- [2] 김동준, 김갑일, 장혁수, "Fieldbus를 이용한 Intelligent Robot Workcell의 구성에 관한 연구," *대한전기학회 논문지*, 44권, 5호, pp. 662-670, 1995년 5월
- [3] S. Cavalieri and A. Di. Stefano and O. Mirabella, "Meeting Time Requirements in Robotics by a Fieldbus Communication System," *Proc. of the IECON 93*, pp. 1915-1920, Nov. 1993
- [4] G. Cena and C. Demartini and L. Durante and A. Valenzano, "A FIP Prototype Network for Numerical Control Applications," *Proc. of the IECON 94*, pp. 1100-1104, Sep. 1994
- [5] C. Demartini and G. Cena, "Real Time Communication in the Factory Automation," *Proc. of the IECON 92*, pp. 772-777, Nov. 1992
- [6] Gonzalo Ulloa, "Fieldbus Application Layer and Real-Time Distributed Systems," *Proc. of the IECON 91*, pp. 1679-1683, Nov. 1991
- [7] Kang G. Shin and C. Chou, "Design and Evaluation of Real-Time Communication for FieldBus-Based Manufacturing Systems," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, Vol. 12, No. 3, pp. 357-367, June. 1996
- [8] *DIN 19 245 Profibus Standard Part 1, & 2*, : 1991
- [9] *PEP's VM30 and IUC and Smart I/O User's Manual*, Modular Computers, 1995
- [10] *ISaGRAF User's Guide*, CJ International 1995
- [11] *MASTER-K(PLC) PROGRAMMING*, LG산전, 1995