

## 원자력 발전소 분산제어시스템의 통신 프로토콜 설계

이성우, 윤명현, 문홍주, 이병윤  
한국전력공사 전력연구원

### Design of a Communication Protocol for the Distributed Control System of the Nuclear Power Plants

S.W. Lee, M.H. Yoon, H.J. Moon, B.Y. Lee  
Korea Electric Power Research Institute, Email: swlee@kepri.re.kr

#### Abstract

*A distributed real-time system that is being used now is usually divided into three level : higher level, middle level, and lower level. The higher level network is usually called an information network, the middle level is called a control network, and the lower level is called a field network or a device network. This dissertation suggests and implements a middle level network which is called PICNET-NP (Plant Implementation and Control Network for Nuclear Power Plant). PICNET-NP is based partly on IEEE 802.4 token-passing bus access method and partly on IEEE 802.3 physical layer. For this purpose a new interface, a physical layer service translator, is introduced. A control network using this method is implemented and applied to a distributed real-time system.*

**KEY WORDS : PICNET-NP, DCS, IEEE 802.3, IEEE 802.4, MAC**

#### 1. 서론

분산 제어 시스템의 통신망은 적용범위에 따라서 계층구조를 가지는 경우가 많은데, 이런 경우 보통 IEEE 802.4 토큰 버스 규약[1], IEEE 802.5 토큰 링 규약[2], 그리고 FDDI 규약[3] 등의 통신 규약들은 중위권을 담당하고, 프랑스에서 제안된 FIP[4], 독일에서 제안된 Profibus[5], 그리고 자동차의 통신 규약으로 제안되어 국제 표준으로 자리잡은 CAN[6]등 많은 필드버스들은 하위 계층의 센서, 구동기 부분의 통신을 담당한다. 하지만, 각 네트워크 프로토콜들의 특성으로 볼 때 중위 계층 하위 계층의 구분이 모호하다. 이러한 프로토콜들을 원자력 발전소 분산 제어 시스템의 중위 계층 통신망에 바로 적용하기에는 어려움이 많다. 원자력 발전소와 같은 안전 관련 시스템의 경우에는 빠른 시간내에 데이터를 정확히 보낼 수 있는 버스형태의 통신망이나 링 형태의 통신망이 물리 계층으로 적당하다. 버스 형태의 통신망과 링 형태의 통신망 사이에는 장점과 단점이 있기 때문에 어느 하나가 좋다고 단정 할 수는 없으나 다음과 같은 특징을 가진다. 버스 형태의 통신망의 경우에는 링 형태의 통신망에 비해 멀티 캐

스팅과 브로드 캐스팅 성능이 일반적으로 좋다. 또한 보다 단순한 접속(interface)방식을 필요로 한다. 그리고 통신망상의 한 노드가 고장이 났을 경우에 복구 능력이 있어 일반적으로 버스 형태가 링 형태보다 원자력 발전소의 안전성과 신뢰성 측면에서는 좋다.

본 논문에서는 전력연구원에서 제안한 원자력 발전소 분산 제어시스템 프로토타입인 KNX-5[7]의 제어 네트워크를 대상으로 하여 2장에서는 원자력 발전소용 통신망 설계시 요구사항을 분석하고, 3장에서는 원자력 발전소 DCS의 중위 계층 통신 프로토콜의 물리계층을 설계하였으며, 고장이 나기 쉬운 물리 매체를 이중화하여 신뢰성 있는 송신 기능, 수신 기능 및 관리 기능을 수행하도록 하였다. 그리고, 데이터 링크 계층의 MAC 부계층은 IEEE 802.4 토큰 버스 방식을 채택하므로 MAC 부계층과 물리 계층 사이의 서비스가 IEEE 802.4 와 IEEE 802.3 방식을 각각 만족하도록 하였다. PICNET-NP의 물리적 신호(physical signaling) 방식은 IEEE 802.3의 방식을 그대로 따르면서 IEEE 802.4 방식의 MAC 부계층-물리 계층 접속 서비스 규격을 만족했다[8]. 마지막으로 4장에 결론이 있다.

## 2. 원자력 발전소용 통신망 설계시 요구 사항

이 절에서는 원자력 발전소용 통신망을 설계할 때 고려해야 할 요구 사항들을 기술한다.[9]

- 통신망이 상태기반(stated-based)인가 사건기반(event-based)인가를 파악하고 알맞은 형태의 통신망 규약을 선택한다.
- 안전한 고신뢰 시스템이어야 한다.
- 적용하려는 시스템이 정해져 있어야 한다.
- 통신 시스템은 결정적(deterministic)이어야 한다.
- 그 시스템을 구성하는 노드들간의 데이터 송수신과 관련된 사항이 알려져 있어야 한다.
- 통신망은 안전성을 위해 이중화 및 분산형으로 되어 있어야 한다.
- 원자력 발전소에서 많이 사용하는 PID(Proportional Integral Differential)알고리즘을 이용하는 실시간 제어를 위하여 수십 msec내의 반응 지연이 요구된다. 따라서 OSI의 7계층 중에서 3계층 정도만 사용하여야 한다.
- 통신망에서 최악의 트래픽인 경우에도 최대 응답시간이 보장되어야 한다. 이 최대 응답시간은 원자력 발전소 안전계통에 영향을 미치지 않는 최대시간 보다 충분히 작은 시간이어야 한다.
- 통신망의 규약, 그 통신망에 사용되는 실제 매체와 관련된 요구사항을 파악하고 이에 맞게 설계하여야 한다.

본 논문에서는 위와 같은 설계시 요구사항을 바탕으로 원전에 사용할 DCS를 대상으로 하는 통신망을 설계한다.

## 3. PICNET-NP의 물리 계층 설계

### 3.1 원자력발전소 분산 제어 시스템의 구조

KNX-5를 제어 네트워크를 중심으로 분산 제어 시스템 측면에서 다시 그리면 그림 1과 같은 형태를 갖는다. 이 때 제어 네트워크와 관련된 분산 제어 시스템은 다음과 같은 부분

들로 이루어진다. 운전원 스테이션 (OIS; Operator Interface Station)은 운전자가 전체 시스템에 대한 제어, 감시 기능을 할 수 있게 하는 장치이다. 엔지니어 스테이션 (ES; Engineer Station)은 공정제어 및 감시제어 관련 설계 자료 및 프로그램을 작성할 수 있는 기능을 제

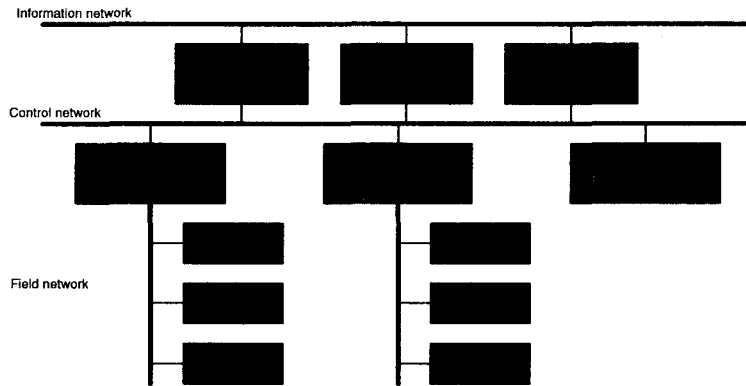


그림 1. 원자력 발전소 분산 제어 시스템의 전체 계통 구조

공한다. 공정제어 유닛 (PCU; Process Control Unit)은 입출력 유닛으로부터 신호를 입력받아 제어 및 감시 기능을 수행하고, 처리된 결과를 입출력 유닛으로 전송하는 기능을 갖는다. 공정제어 유닛간의 데이터 교환을 통한 연계동작 및 운전원 스테이션과의 연계동작이 일어날 수 있다. 입출력 유닛 (IOU; I/O Unit)은 현장에서 수집한 신호를 공정 제어기 쪽으로 보내거나 공정제어기에서 보낸 신호를 현장으로 출력하는 기능을 수행한다. 입출력 유닛에서는 signal conditioning 및 기본적인 제어기능을 수행할 수 있다.

### 3.2 물리 계층의 구성

본 논문에서는 고장이 나기 쉬운 물리 매체를 이중화하여 신뢰성 있는 송신 기능, 수신 기능 및 관리 기능을 수행하도록 하였다. 그리고, 데이터 링크 계층의 MAC 부계층은 IEEE 802.4 토큰 버스 방식을 채택하므로 MAC 부계층과 물리 계층 사이의 서비스가 IEEE 802.4와 IEEE 802.3 방식을 각각 만족하도록 하였다. PICNET-NP의 물리적 신호(physical signaling) 방식은 IEEE 802.3의 방식을 그대로 따르면서 IEEE 802.4 방식의 MAC 부계층-물리 계층 접속 서비스 규격을 만족했다.

IEEE 802.3 물리 계층은 다음의 그림 2와 같은 구조로 구성되어 MAC와 접속된다.

### 3.3 물리계층의 기능 및 특성

#### 3.3.1 물리 계층의 기능

PICNET-NP의 서비스 변환기로부터 10MHz의 변조되지 않은 데이터를 수신하여 20MHz의 맨체스터 코딩된 데이터로 변조하여 AUI(attachment unit interface) 케이블 및 꼬임 쌍선(twisted pair) 케이블을 통해 10BASE5 매체로 전송한다. AUI 케이블 또는 꼬임 쌍선 케

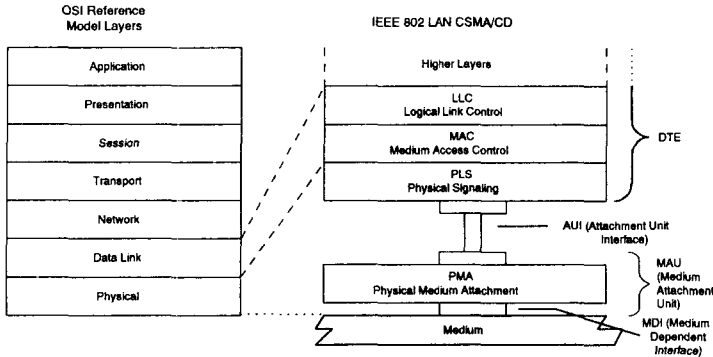


그림 2. LAN 모델과 비교한 서비스 규격

이블을 통해 전송된 20MHz의 맨체스터 코딩된 데이터로 디코딩하여 10MHz의 변조되지 않은 데이터로 복조하고 이를 이중 채널 관리기로 전달한다.

IEEE 802.3 10BASE5 형식을 만족하고, 물리계층 회로와 AUI 커넥터 사이에는 펄스 변압기(pulse transformer)로 절연된다. AUI 커넥터에는 10BASE5 물리 매체를 연결한다. IEEE 802.3 10BASE-T 형식을 만족하고, 물리 계층 회로와 10BASE-T 물리 매체를 연결시킨다. 매체와 연결할 때 필터 및 펄스 변압기를 사용하여 절연한다.

### 3.3.2 물리 계층의 특성

본 논문에서는 현재 널리 사용하는 IEEE 802.3 방식의 물리 계층을 채택함으로써, 물리 계층에 관련된 다양한 하드웨어, 예를 들면 통신망 접속 회로, 탭, 케이블, 리피터(repeater), 종단기(terminator) 등을 손쉽게 구입할 수 있고, 기존에 IEEE 802.3용 통신망이 설치되어 있다면, 이 케이블들을 그대로 사용하면서 통신망을 재구성할 수 있어 호환성이 좋다.

즉, 통신망 접속 장치(network interface unit, NIU)를 PICNET-NP용으로 교체하면 기존의 IEEE 802.3 통신망을 PICNET-NP로 재구성하는 것이 가능하다. 또한 원자력 발전소에서 요구하는 통신망은 고 신뢰성과 실 시간성을 충족시키는 통신 방식으로서 토큰을 전달함으로써 정확하게 보내고자 하는 목적지로 데이터를 보낼 수 있는 토큰 전달 방식을 채택하였고, 그 중에서도 통신망의 설치와 관리가 비교적 손쉬운 버스 방식인 토큰 버스 방식, 즉 IEEE 802.4 방식이 채택하였다. 이 기술 자체가 물리 계층의 하드웨어 부분이 베이스 밴드 방식을 사용하므로 정밀한 기술을 요구하지 않아 다양한 제품군을 형성할 수 있다. 또한, 그간의 연구 결과에 의하면 원자력 발전소의 분산 제어 시스템용 중위권 통신망 시스템의 통신 속도는 5-10MHz 정도가 적절하므로, IEEE 802.3 방식이나 IEEE 802.4 방식은 모두 이 전송 속도를 만족한다. 그러므로, PICNET-NP의 물리 계층으로는 10MHz의 IEEE 802.3 방식을 채택하고, IEEE 802.4 방식의 MAC 부 계층과 접속하도록 하였다.

### 3.4 물리 계층의 VMEbus용 PICNET-NP 모델 보드의 구성 및 구현

본 절에서는 설계에서 언급한 내용을 바탕으로 하여 PICNET-NP의 물리 계층의 프로토콜에 대해 실제적인 구현방법을 기술한다. 그림 3은 PICNET-NP의 물리 계층을 구현한 하드웨어 모델 보드의 구성이다. 이 모델 보드는 VMEbus용으로 개발되었다. 이 보드는 VPM(VMEbus PICNET-NP modem board)라고 부른다.

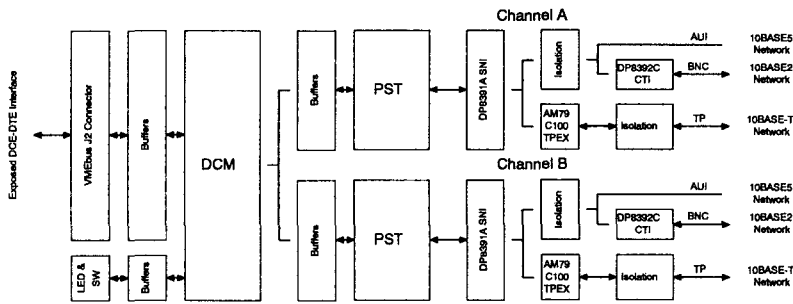


그림 3. VMEbus용 PICNET-NP 모델 보드의 블록도

#### 3.4.1 VMEbus용 PICNET-NP의 통신망 접속 장치(NIU)

하드웨어 구현상의 편의를 위하여 PICNET-NP의 물리 계층의 하드웨어는 통신망 접속 장치와 분리된 별도의 모델 보드 내에 구현된다. 그리고, 통신망 접속 장치와는 노출된 DTE-DCE(data terminal equipment data communication equipment)인터페이스를 통하여 접속된다.

#### 3.4.2 이중 채널 관리기(dual channel manager)

구현된 하드웨어는 매체 이중화 기능을 갖추고 있다. 이를 위해, 모델 보드 내에는 매체 이중화 관리 하드웨어가 위치한다. 이 하드웨어는 DCM(dual channel manager)과 버퍼(buffer) 회로 등으로 구성하였다. DCM은 Xilinx사의 CPLD(complex programmable logic device)인 XC7372-12PC68 1개를 사용하여 구현하였다.

이중 채널 관리기에서는 두 개의 IEEE 802.3 물리 계층 부분에서 동시에 신호를 수신하고, 그 중 한 부분의 신호를 선택하여 PICNET-NP의 서비스 변환기로 데이터를 전달한다. 또한 IEEE 802.3 물리계층 부분으로부터 즉, 10BASE5 물리 매체 또는 10BASE-T 물리 매체 관리 신호로부터 이상 상태를 감지하고, 내부 상태 레지스터에 기록한다. 만약에 이상이 발생하면 네트워크 관리와 물리계층 접속부를 통해 전달되는 네트워크 관리의 명령에 의해 수신 중인 통신 채널을 전환할 수 있다. 통신 채널 전환이 성공하면 이중 채널 관리기는 네트워크 관리에 보고한다. 즉, 내부 상태 레지스터에 현재의 상태를 기록하여 네트워크 관리와 물리계층 접속부가 내부 상태 레지스터를 읽어 갈 수 있도록 하였다.

### 3.4.3 PST(PICNET-NP service translator)

PST ASIC은 PICNET-NP의 물리 계층 중 PICNET-NP의 서비스 변환 기능을 담당하는 회로로서, IEEE 802.4 MAC 부계층과 IEEE 802.3 물리 계층을 연결하는 서비스 변환기이다. Xilinx사의 CPLD인 XC7372-12PC68 1개를 사용하여 구현하였다. PICNET-NP의 서비스 변환기는 데이터 링크 계층과 물리계층 접속부에서 전달받은 5MHz 전송 속도의 MAC 부호로부터 10MHz 전송 속도의 변조되지 않은 데이터를 생성하여 SNI(serial network interface)로 전달한다. 또한, 10MHz 전송 속도의 변조되지 않은 데이터를 SNI로부터 수신하여 5MHz의 MAC 부호로 변환하고 TBC(token bus control)로 전달한다.

## 4. 결론

본 논문에서는 원자력 발전소 분산제어 시스템의 새로운 통신 프로토콜을 제안하였다. 이러한 통신 프로토콜의 제안을 위해서 요구사항을 분석하고 설계시 반영하였다. 고장이 나기 쉬운 물리 매체를 이중화하여 신뢰성 있는 송신 기능, 수신 기능 및 관리 기능을 수행하도록 하였다. 그리고, 데이터 링크 계층의 MAC 부계층은 IEEE 802.4 토큰 버스 방식을 채택하므로 MAC 부계층과 물리 계층 사이의 서비스가 IEEE 802.4와 IEEE 802.3방식을 각각 만족하도록 하였다. IEEE 802.4 토큰 버스 방식을 사용하여 매디어를 제어하고, 신뢰성과 결정론적 데이터를 전송할 수 있었다.

PICNET-NP의 물리적 신호(physical signaling) 방식은 IEEE 802.3의 방식을 그대로 따르면서 IEEE 802.4 방식의 MAC 부계층-물리 계층 접속 서비스 규격을 만족했다.

### [참고문헌]

- [1] *Token Passing Bus Access Method Physical Layer Specification*, ANSI/IEEE Standard 802.4, 1985.
- [2] *Token Ring Access Method and Physical Layer Specification*, IEEE Standard 802.5, 1983.
- [3] *FDDI Token Ring Media Access Control*, ANSI Standard X3.139, 1987.
- [4] *General Purpose Field Communication System*, prEN 50170, WorldFIP, 1995.
- [5] *DIN 19 245 Profibus Standard*, Profibus Trade Organization, 1993.
- [6] *Road vehicles Interchange of digital information Controller area network (CAN) for high-speed communication*, ISO 11898, 1993.
- [7] "한국형 원전 DCS (KNX-5) 개발", 전력연구원, 1996.1.
- [8] 이성우, 임한석 " 원자력 발전소 분산제어 시스템을 위한 중위계층 통신망의 성능분석 ", 대한 전기학회 하계 학술대회, pp. 2537-2539, 1998. 7.
- [9] 이성우, 임한석 " 원자력 발전소 분산제어 시스템을 위한 네트워크의 실시간 특성 해석 ", 대한전기학회 논문지 제 48권 5호, pp.650-657, 1999.