

## PICNET-NP 통신망의 신뢰성 검증을 위한 시뮬레이션 구현

이성우  
한국전력공사 전력연구원

### A realization of simulator for reliability verification of the communication network PICNET-NP

S.W. Lee  
Korea Electric Power Research Institute

**Abstract** - 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.

To verify the performance of proposed protocol, experimental were carried out, and the following results are obtained.

- 1) proper initialization of the protocol.
- 2) normal receiving and transmission of data.
- 3) proper switching of transmission media in case of a fault condition on the one of transmission media.

The proposed protocol exhibits the excellent performance in the experimental system. From the test results in the experimental system, the proposed protocol, PICNET-NP, can be used for the upgrading of a nuclear power plant and the distributed control system in the next generation of nuclear power plant.

### 1. 서 론

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 규약을 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 중위계층 하위계층의 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 통신망의 경우에는 링 형태의 통신망에 비해 멀티 캐스팅과 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 형태 보다 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 분석하여 설계시 반영하였으며 3장에서는 원자력 발전소 DCS의 3계층 통신 프로토콜의 전체 구조를 제안하였으며, 4장에서는 시뮬레이터 시험장치와 시험방법을 제시하고 5장에서는 시험을 통해 초기화 기능, 정상 송수신 기능, 매체절체 기능이 정상적으로 동작하는 것을 확인하였다. 마지막으로 6장에 결론이 있다.

### 2. 원자력 발전소용 통신망 설계시 요구 사항

이 절에서는 원자력 발전소용 통신망을 설계할 때 고려해야 할 요구 사항들을 기술한다.[8]

- 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. 원자력발전소 분산 제어 시스템의 구조

대형시스템에 설치되는 경우 제어기기들간의 구역설정을 통해 독립성을 확보하기 위하여 다음과 같은 특성을 부가한다.

- 1) 제어통신망은 구역(division) 단위로 분할하여 설치한다.
- 2) 제어통신망 구역간의 통신을 위하여 제어통신망 구역간 통신망을 별도로 설치하고, 각 구역의 제어통신망과 제어통신망 구역간 통신망은 데이터 게이트웨이의 일종인 DGW-CD (Data gateway between the control network and the inter-division network)를 통해 연결된다.
- 3) 전체 제어통신망 구역에 연결된 노드수의 합 및 전체 통신 데이터의 합은 기본구조에서의 제어통

신장 노드수 및 통신데이터양의 최대값과 같다. (엄격하게는 데이터 게이트웨이를 하나의 노드로 계산한다.)

이와 같은 형태를 그림으로 나타내면 그림 1과 같다. 그림에서 제어 통신망 및 정보통신망은 bus 형태로 그려져 있으나, 앞에서의 설계와 같이 star 형으로 구축된다.

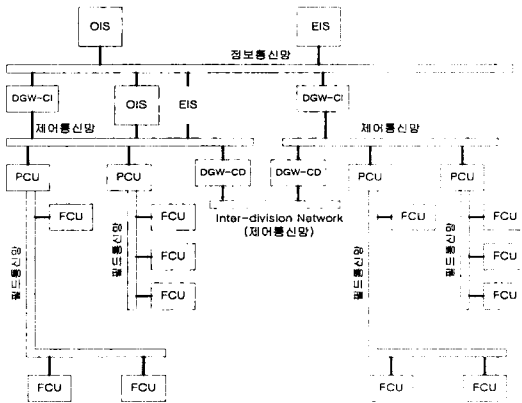


그림 1. 원자력발전소 분산제어시스템의 구조

#### 4. PICNET-NP의 시험 장치 및 방법

##### 4.1 시험장치

PICNET-NP의 시험 시스템은 6노드로 구성되었다. 그림 2는 시험 시스템의 대략적인 배치도이다.

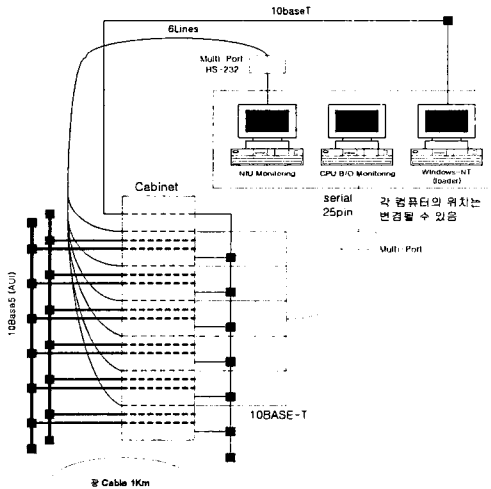


그림 2. 시험 장치의 구성

이것은 크게 세 부분으로 구성된다. 6개의 서브랙 (subrack)이 들어가는 캐비닛(cabinet). NIU 모니터링 PC, CPU 보드 모니터링 PC, 그리고 Windows NT 스테이션을 위한 테이블, 그리고 1 Km의 광케이블로 구성된다.

그림 2에서 NIU와 CPU 보드 모니터링을 위한 케이블의 구성과 10base5 AUI 케이블의 구성을 보여준다. 캐비닛에 점선으로 된 부분은 캐비닛 내부로 케이블이 들어가는 것을 나타낸다. 10baseT와 광 케이블의 구성은 캐비닛 앞면의 NIU에 연결되어 일단 캐비닛 내부로 들어가서 캐비닛 하단의 허브 광 허브 부분에서 다시 앞으로 나와 연결된다. 아래 그림에서는 생략하였다.

##### 4.1.1 모니터링 PC

캐비닛의 각 서브랙에 꽂힌 NIU를 모니터링하기 위한 PC다. 모니터링을 해야 할 NIU는 6개이다. 모니터링 방법은 RS-232C를 사용한다. 하나의 PC로 6개의 NIU를 모니터링하기 위해 멀티 포트 RS-232C 카드를 사용한다. 또한 6개 NIU의 상황을 하나의 모니터에서 모니터링하기 위해 대형 모니터를 사용한다. 그림 3은 모니터링 PC와 RS-232C로 연결된 NIU 보드들이다.

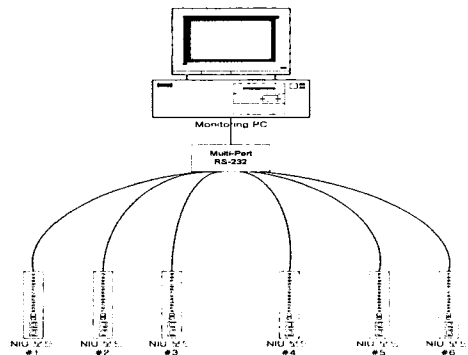


그림 3. 모니터링 PC와 NIU 보드

##### 4.1.2 케이블

10base5 에 사용하는 케이블은 백본으로 사용하였다. 시험을 위해 5-10m 정도의 길이를 사용한다. 매체 이중화 기능을 위해 두 개가 필요하다. 각 NIU에서 백본으로의 연결을 위한 AUI 케이블은 5m 정도의 길이를 사용한다. 모두 12개가 필요하다.

광케이블도 사용하여 통신하였다. 광케이블은 노이즈에 대한 내성이 우수하며 다른 매체에 비해 전송 지연이 가장 작다. 본 시험에서는 두 개의 NIU가 광케이블을 사용한다. 하나는 5-10m 정도의 짧은 케이블을 사용하고 다른 하나는 1Km 정도의 긴 케이블을 사용하였다. 따라서 5-10m 케이블 2개, 1Km 케이블 2개를 사용하였다.

##### 4.1.3 광 트랜시버(transceiver), 광 허브, 허브

10base5 AUI와 광케이블을 연결하기 위한 것이다. 두 NIU를 위해 (매체 이중화) 4개의 광 트랜시버를 사용하였다. 광케이블을 사용한 통신을 보여주기 위한 광 허브이다. 10base5 AUI를 지원해야 한다. 마찬가지로 매체 이중화를 위해 두 개를 사용하였다.

10baseT를 사용한 통신을 보여주기 위한 허브이다. 매체 이중화를 위해 두 개가 사용하고 케이블의 길이는 5m 정도로 12개를 사용하였다. 스위칭 기능이 없거나 스위칭 기능을 막을 수 있는 허브이어야 한다.

##### 4.1.4 CPU 보드 와 멀티포트 RS-232 보드

데모용 응용프로그램이 동작한다. VME 마스터 기능과 이더넷을 지원하고, VRTXsa가 포팅 가능해야 한다. 멀티포트 RS-232 보드는 단일 PC에서 여러 시스템을 RS-232를 사용해서 모니터링 할 때 사용한다.

## 4.2 시험 방법

### 4.2.1 초기화 기능

- 호스트 보드의 초기화 시험을 행한다. 이 시험에는 각 테스크들을 생성하고 Console I/O가 가능해지는 등의 기능 시험, 초기화 완료 및 호스트가 독립적으로 초기화를 하도록 하는 기능 시험 등이 포함되어진다.
- 각 계층별 초기화 상태 확인 (NIU 모니터에서 출력되는 메시지로 확인가능)
- 초기화 중 오류 발생시 오류보고 및 오류처리 기능 확인
- 정상적인 초기화가 안되면 NIU 모니터에서 오류보고 및 처리메시지 출력
- 사용자가 오류를 처리하고 나면 재 초기화 실시

### 4.2.2 데이터 교환 방법

- 호스트와 NIU 간 공유 메모리를 통한 데이터 교환 상태
- NIU와 NIU간 데이터 링크 계층을 통한 데이터 교환 상태
- 토큰 전달 상태 확인
- 두 개의 스테이션을 가지고 계속 송수신이 이루어지는지 확인

### 4.2.3 이벤트보고 방법

- 호스트로의 이벤트보고
- 프레임을 전달받은 원격의 NIU는 프레임에 실린 명령과 정보에 따라 구성정보를 갱신하는지 확인
- 인위적으로 물리 매체에 결함을 발생시켜서 이중화가 동작되는지를 확인하는 절차

### 4.2.4 오류 통계보고 방법

- 그림 4는 오류가 발생할 때마다 공유 메모리의 오류 통계 정보 흐름을 나타내낸 것이다.
- NIU에서 오류가 발생 할 때마다 공유 메모리의 오류 통계 정보를 갱신하는지를 확인
  - 호스트에서 NIU의 데이터 링크 계층이나 응용 프로그램의 수행에서 발생한 오류의 통계를 읽는지 확인

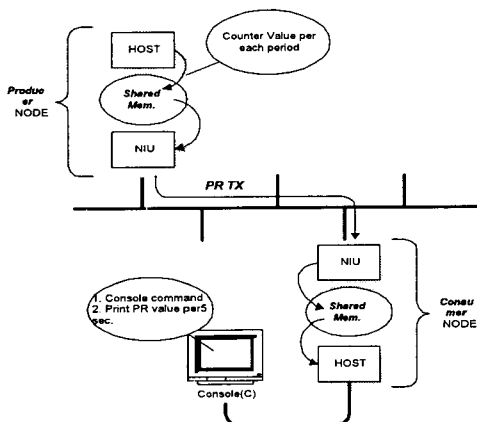


그림 4. 오류 통계 정보의 흐름

- 오류 발생에 대한 NIU에서 호스트로의 보고나 마스터 NIU로의 보고가 정상적으로 이루어지는지 확인
- NIU의 각 계층에서 발생한 오류에 대한 관련 자료 갱신과 오류 보고가 정상적으로 이루어지는지 확인

### 4.2.5 콘솔을 이용한 통신망의 통계정보 출력

물리 계층의 안정적인 동작을 확인시켜주기 위해서 통계정보를 출력할 수 있다. NIU 쪽의 콘솔을 이용해서

MC68824에서 지원하는 통계 정보를 출력한다. 이를 출력하게 하는 콘솔 명령이 존재한다. 이를 출력하는 이유는 물리 계층의 안정성을 보일 수 있고, 콘솔을 이용해서 시스템의 정상적인 상태를 검증할 수 있다.

## 5. 시험 결과

시험 결과는 각각의 NIU 보드에 연결된 감시용 PC를 이용하여 확인할 수 있다. 먼저 초기화 기능과 정상 동작 기능, 매체 절환 기능 그리고 오류 통계보고, 원자력 발전소 제어 계통의 데이터를 시험장치에 적용한 시험 결과들이 요구 사항에 맞게 정상적으로 작동되었다. 시험 결과는 감시용 PC에 출력된 결과를 그림으로 확인하였다.

### 5.1.1 초기화 기능

그림 5는 각 NIU 보드와 호스트 보드에 전원을 인가한 후 초기화되는 과정을 나타낸다. 초기화가 완료되면 NIU Initialization Success라는 글과 함께 그 스테이션의 주소가 나타난다.

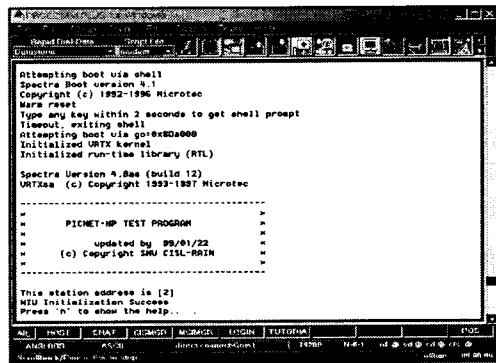


그림 5. 초기화 과정에 의한 결과

### 5.1.2 정상적 토큰 전달 및 송수신 과정

시험에서 두개의 스테이션을 이용하고 계속 송수신되는 정상 상태를 확인하였다. 시험에서는 각 NIU는 토큰을 가지고 있을 때 5개의 프레임을 전송하고 후에 5개의 프레임을 수신하는 형태로 토큰이 회전한다. 그림 6은 정상적인 송수신 과정의 결과를 나타낸 것이다.

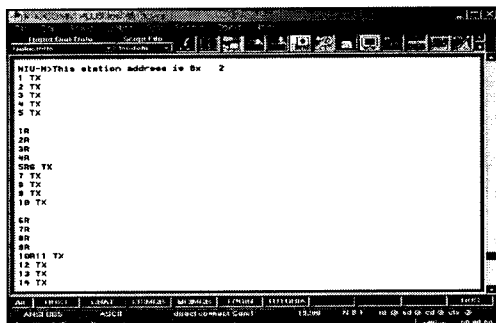


그림 6. 정상적인 송수신 과정 결과

### 5.1.3 자동 절환 기능의 활성화

사용자의 “a” 입력이나 여분 매체의 상태 체크를 통해 정상이면 자동 절환 기능이 활성화된다. 시험에서는 “a” 입력에 의해 활성화되고 다른 NIU에도 브로드캐스팅 한다. 이때 구성 관리 기능에 의해 각 NIU의 구성 상태가 변경되었음을 사용자에게 보고한다. 그림 7은 콘솔 입력에 의해 “a”가 입력했을 때의 결과이다.

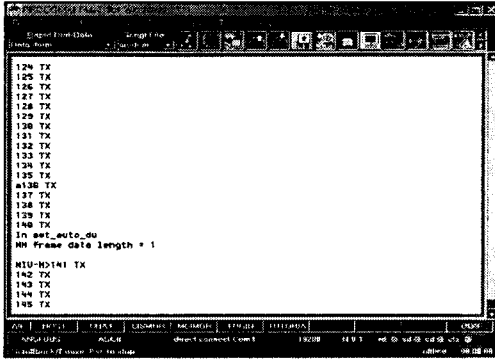


그림 7. “a”가 입력된 노드의 구성변화

## 6. 결 론

본 논문에서 제안한 PICNET-NP가 정상적으로 동작하고, 만족하는 전송속도로 데이터를 보내는지를 알아보기 위해 PICNET-NP의 시험 시스템을 구성하였다. 시험한 결과로부터 첫째로 PICNET-NP의 통신 프로토콜이 초기화되는 과정, 둘째로 정상적인 송수신 과정, 셋째로 인위적으로 물리 매체에 결함을 발생시켜서 물리 매체가 자동절환 되는 과정이 정상적으로 이루어지는지를 확인하였다. 상기와 같이 PICNET-NP의 통신 프로토콜이 정상적으로 동작하는 것을 시험을 통해서 확인하였다.

### [참 고 문 헌]

- [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 네트워크의 실시간 특성 해석”, 대한전기학회 논문지 제 48권 5호, pp.650-657, 1999.