

분산제어를 위한 필드제어시스템의 실시간 데이터 연계

김석곤\* 송성일\* 오응세\* 이성우\* 광귀일\* 이은웅\*\* 박태림\*\*\*  
\*전력연구원 \*\*충남대 \*\*\*서울대

a Study on the Real-time Data Linkage of Field Control System for Distributed Control

S.G. Kim\*, S.I. Song\*, E.S. Oh\*, S.W. Lee\*, K.Y. Gwak\*, E.W. Lee\*\*, T.R. Park\*\*\*  
\*KEPRI, \*\*Chungnam Univ., \*\*\*Seoul Univ.

**Abstract** - This paper describes the real-time data linkage of the field control system for distributed control in nuclear power plant environment. The most important keys of digital control system in nuclear power plant are the reliability and stability of system, and real-time control ability. This paper brought up the hardware construction using a new method about the design of each station located upon control transmission network to improve real-time ability of field control system, and measured the station binding time between devices connected to field control module. And it was confirmed performance improvement of overall system for real-time data linkage between control devices.

1. 서 론

발전소 계통의 제어를 위한 분산제어시스템은 최첨단 기술이 집약된 설비로서 그 신뢰성과 편리성에 따라 발전소의 안정적인 운전과 효율성에 큰 영향을 미친다. 국내의 분산제어시스템 기술은 타 산업분야의 디지털 관련기술에 비해 낙후되어 있고 선진국과의 기술격차도 크다. 현재, 국내 발전소의 계통 운전에는 대부분 외국산 분산제어시스템을 이용하고 있다. 그러므로 시스템 구매에 필요한 외화의 유출은 물론 유지보수에도 많은 문제점이 발생하고 있다[1]. 이러한 문제점을 극복하기 위해 원전용 분산제어시스템의 개발을 시작하였다[2][3]. 본 논문에서는 분산제어를 위한 필드제어시스템의 각 제어기간 데이터 공유에 있어서 실시간 공유를 위해 제어용전송망 상에 위치하는 각 스테이션의 설계에 있어서 새로운 방식의 하드웨어 구조를 적용하고 필드 입출력단과 제어용통신망을 거치는 데이터의 처리시간을 시험 및 분석하였다.

2. 원전계통 분산제어 시스템의 개발 환경

분산제어시스템의 일반적인 구조에서, 기능적인 측면으로 구분해 보면, 플랜트 내에서 계속된 입력신호를 읽은 후, 마이크로프로세서에 의해 각종제어 연산기능을 수행하여 플랜트로 제어출력을 실행하는 프로세서 제어 스테이션과 플랜트의 수많은 정보를 수집하여 필요한 정보를 운전원이 쉽게 파악할 수 있도록 하고, 운전원이 플랜트의 공정을 키보드를 통하여 원하는 상태로 조작이 가능하도록 해주는 운전원/엔지니어링 스테이션, 그리고 지역적으로 넓게 분산되어 있는 여러 스테이션 들을 연결하여 각종 정보들을 서로 공유할 수 있도록 해주는 데이터 전송망 등이 있다. 그러므로 분산제어시스템의 구성은 운전원 조작부, 엔지니어링 작업부, 프로세서 제어부, 데이터전송망 등으로 나누어진다[1]. 이러한 분산제어 시스템은 안정성과 효율성을 중요시하고 제어대상이 비교적 많고 복잡한 원자력 발전소 현장에 적용하기에

적합하다. 따라서 발전소 현장의 여러 지역에 분산된 계통을 제어하는데 있어서, 분산된 컴퓨터와 기기들 사이의 데이터를 교환하고 공유하는 기능을 하는 데이터전송시스템의 구성이 중요하다.

또한, 원자력발전소에서 사용되는 중요기기들은 온도, 습도, 방사선, 진동, 그리고 지진 등의 환경조건 하에서 도 안전하게 기능 수행이 가능한지 검증되어야 한다. 원전에 적용하기 위한 제어시스템의 기기검증은 기기 또는 표본 부품을 예상되는 환경조건에서 직접 시험하는 형식 시험과, 과거 시험 또는 실제운전 경험을 통해 입증된 데이터를 시험대상 장비에 적용하여 시험하는 운전경험, 그리고 이미 정량화 된 데이터가 존재하고 그에 따른 타당한 수학적 모델이 존재할 경우, 시험을 직접 수행하지 않고 해석 결과치에 따라 평가하는 해석에 의한 방법 등이 있다[2].

3. 필드제어 시스템의 설계와 구현

3.1 필드제어시스템의 구성

그림 1은 필드제어시스템의 데이터 연계실험을 위해 설계·구현한 원전환경 분산제어시스템의 구성도이다. 필드제어시스템의 콘트롤러는 제어용전송망과 필드전송망을 통해서 제어명령을 수행하며, 제어용전송망에 위치한 공정제어장치들 간의 정보를 상호 공유한다. 정보전송망은 공유되는 데이터를 전송하고 기기 제어를 위한 명령 등을 필드제어시스템내의 콘트롤러에게 제어 전송망을 통해 내 보낸다. 제어용전송망상에 위치한 PCU-C는 제어용 공정제어장치를 의미하며, PCU-G는 게이트웨이용 공정제어장치이다.

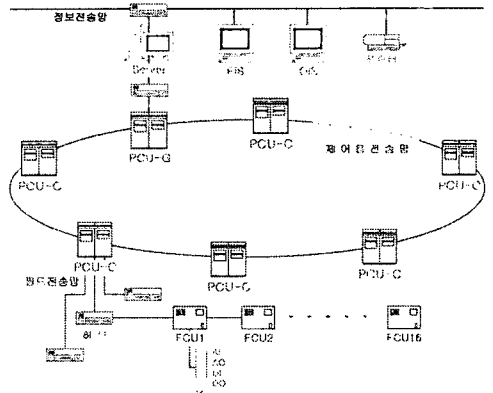


그림 1 원전환경 실시간 필드제어시스템 구성도

공정제어장치의 내부에는 공정제어장치들 간의 데이터 송수신을 위한 제어용전송모듈(Control Transmission Module), 필드제어장치(Field Control Unit)와 공정제어장치간의 데이터 전송을 제어하는 필드버스모듈, 공정제어장치와 상위레벨의 엔지니어링 스테이션간에 데이터를

송수신하기 위한 호스트제어모듈, 그리고 각종 모듈에서 필요로 하는 전원을 공급하기 위한 전원공급모듈(Power Supply Module)등이 있다. 제어용전송망은 물리계층, 데이터링크계층, 응용 계층 등 세 개의 계층만을 사용하는데, 데이터 링크 계층으로는 토큰 패싱 메커니즘(Token Passing Mechanism)을 사용하였으며, 물리 계층으로는 패스트 이더넷(Fast Ethernet)의 물리 매체를 그대로 사용하였다.

분산제어시스템을 적용한 원전계측제어계통에서 데이터 수집, 전송, 처리 기능 등은 궁극적으로 발전소 내의 모든 제어와 감시를 포함한 계통에 대하여 데이터 계통 구성상 최하위 레벨에서 신호를 연계(Linkage)한다. 수집된 데이터는 데이터 현장감지기, 운전스위치 등의 송신장치와 구동기, 운전표시기 등의 데이터 수신 장치 등과 연계되어 여러 제어기들이 공유하도록 한다[3]

### 3.2 필드제어시스템의 전송 데이터 스케줄링

필드제어시스템의 구성요소 중 데이터전송망의 기능 및 동작특성은 전체 분산제어시스템의 성능을 결정짓는 매우 중요한 부분으로 전체시스템에서 요구하는 실시간성, 신뢰성 등의 각종 특성을 만족시켜야 한다. 링 형의 구조를 갖는 타이머 제어 형 실시간 필드제어시스템의 제어용전송망은 직접적인 제어 및 감시동작을 수행하는 공정제어기가 연계되어 동작하고, 동시에 감시 및 운전 조작 등을 수행하는 운전원 스테이션이 연계되어 있어서, 주기적인 데이터와 비 주기적인 데이터에 대한 전송 서비스가 제공된다.

한 스테이션  $S_i$  에서 임의의 기간  $T$  동안에 발생할 수 있는 경성 실시간 주기 데이터의 최대량은 식(1)로 나타내어지고, 연성 실시간 주기 데이터의 최대량은 식(2)로 나타내어진다. 식에 이용된 파라미터  $T$ 는 임의의 특정시간을 나타내며,  $p^s$  및  $p^h$ 는 연성 및 경성 실시간 주기데이터의 개수를 나타낸다[4]

$$A_{THsv} = \sum_i^{b^s} [T/p^s(j)] \quad (1)$$

$$A_{STsv} = \sum_i^{b^h} [T/p^h(j)] \quad (2)$$

전송망에서 토큰의 회전시간 최대 값( $T^{\max}$ )을 사용한 연성 실시간 주기 데이터에 대한 최대 전송요구는 식(3)과 같다.

$$A^h \leq \sum_i^{b^h} [T^{\max}/p^h(j)] = b^h \quad (3)$$

식(1)~(3)은 데이터전송망에서 데이터의 효율적 전송을 위한 주기 데이터의 스케줄링에 이용하였다.

### 3.3 제어용 전송망의 실시간 데이터 전송

제어용 전송망에서 데이터의 전달속도를 측정하기 위해 각 주기별 데이터의 업데이트 주기를 분석하였다[5]. 각 노드 사이의 전송 선로에 의한 전송지연(Propagation delay)을 전체 네트워크에서 나타내는 값인  $T_{prop}$ 는 식(4)이며, 긴 주기 한 프레임의 보내는 데 걸리는 시간  $T_{f_i}$ 은 식(5), 그리고 전체 네트워크에서의 업데이트 주기  $T_{up}$ 은 식(6)이다.

$$T_{prop} = \sum_{i=0}^N 5L_i \quad (4)$$

$$T_{f_i} = (N_i \bmod N_{cell}) M_c + M_{header} + M_{crc} T_b \quad (5)$$

$$T_{up} = \sum_{i=1}^N \{T_{Ath} + (N_{F_i} + N_{F_i})T_{D_{sv}} + T_{D_{sv}} + T_{t_i} + T_{D_i}\} \quad (6)$$

식(4)과 (5)에서  $L_i$ 는 한 노드와 인접노드간의 거리를 나타내며  $N_{i,c}$ 과  $N_{cell}$ 은 긴 주기 프레임의 개수와 한 프

레이에 들어가는 Cell의 개수,  $M_c$ 는 Cell의 크기,  $M_{header}$ 와  $M_{crc}$ 는 헤더의 크기와 CRC 필드의 크기,  $T_b$ 는 1 bit 시간을 나타낸다. 그리고 식(6)에서 전체 업데이트 주기는 짧은 주기 프레임의 개수( $N_{f_i}$ )와 긴주기 프레임의 개수( $N_{f_i}$ ), 그리고 데이터프레임의 생성시간( $T_{D_{sv}}$ ), 한 노드가 자신의 통신 프레임 전송하는데 걸린 시간( $T_{D_{sv}}$ ), 토큰생성시간( $T_{t_i}$ ) 등과 비례함을 알 수 있다. 식(6)의 업데이트 주기를 최소화함으로써, 필드제어시스템의 스테이션 바인딩 시간을 줄일 수 있다.

### 3.4 링형 토폴로지 개선장치의 설계와 적용

그림 1의 제어용전송망(CTN)에서 각 노드가 접속되는 송수신 선로 상의 인터페이스용 스위치에 링형 토폴로지 개선장치(Topology Enhancing Device for Ring-type network; TED-R)를 추가하여 장치를 구성하였다. 이 장치는 브로드캐스팅 된 데이터를 수신하여 노드에서 사용하는 중앙처리장치(CPU)에 넘겨줌과 동시에 다음 노드로 전달해 줌으로써 브로드캐스팅 된 데이터가 각 노드를 지나갈 때 마다 생기는 시간 지연을 줄이는 기능이 있다. 링형 토폴로지 개선장치의 개념적인 블록 다이어그램은 그림 2와 같이 신호재생장치와 아날로그 스위치, 그리고 PLD로 구성되며, 컨트롤 신호는 노드가 수신 상태인지 송신 상태인지에 따라 스위칭 기능을 수행하며, 수신 상태 일 때는 들어온 데이터를 아날로그 상태에서 바로 송신 장치로 전달함과 동시에 노드의 수신 버퍼로 전달한다.

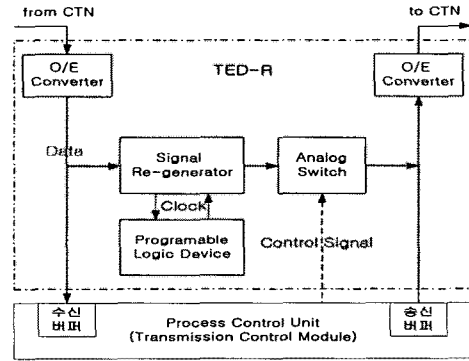


그림 2 TED-R 구조도

### 3.5 필드제어시스템의 데이터 바인딩 기능

본 논문에서 구현한 제어용 전송망상의 공정제어장치의 자동복제 기능을 시험하기 위해 바인딩 시험을 수행하였다. 필드제어모듈(FCM)은 로직이 다운로드 되었을 때 데이터를 분석하여 만들어진 모든 바인딩 데이터의 설정정보를 만들어 필드버스모듈(FBM)에 전송하면, 바인딩 설정정보를 참조한 FBM은 FCM이 필요로 하는 바인딩 데이터를 적재적소에서 읽어 들여, FCM이 필요로 하는 형태로 만들어 다시 FCM에 전달한다. 그리고 FBM이 비정상 상태에서 정상 상태로 환원되었을 때, 다시 FBM으로 전송한다.

그리고, 분산제어시스템의 스테이션 바인딩 기능의 시험을 위해 I/O신호 시뮬레이터를 설계·제작하였다. I/O신호 시뮬레이터는 제어신호 발생, 수집 및 시스템 응답 성능 분석의 기능을 가지며 응답시간, 정밀도 등 시스템의 전송성능과 동작기능을 분석한다.

### 4. 실험 및 고찰

제어용 전송망 순환 데이터의 특성을 분석하기 위해 그림 3과 같이 CTM1, CTM2, CTM3 등 3개의 제어용 전송모듈과 전송망 분석기를 포함한 분석 스테이션 1개 등 모두 4개의 스테이션을 구성하였다.

각 노드에서 전송되는 전송프레임의 크기는 토큰의 경우는 64개 노드에 대한 스케줄링 정보를 저장하기 위해 64 byte가 필요하며, 데이터 프레임의 크기는 한개의 노드당 120 kByte로 설정하였다.

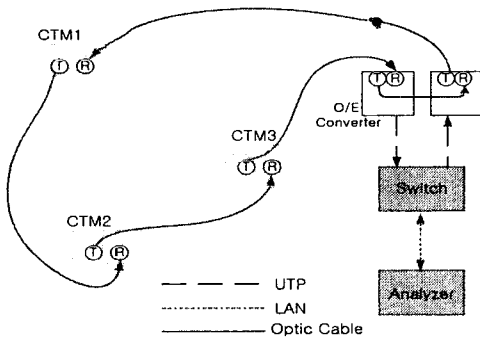


그림 3 제어용 데이터 전송시스템 실험장치 구성도

그림 4는 신호 시뮬레이터를 이용하여 필드제어시스템의 스테이션 바인딩 시험을 수행하기 위한 구성도이다.

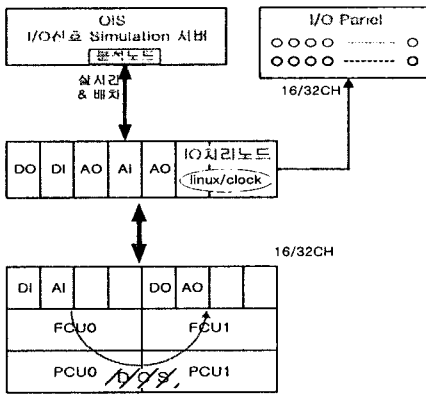


그림 4 스테이션 바인딩 성능시험 구성도

#### 4.1 데이터 이용률과 에러수 분석

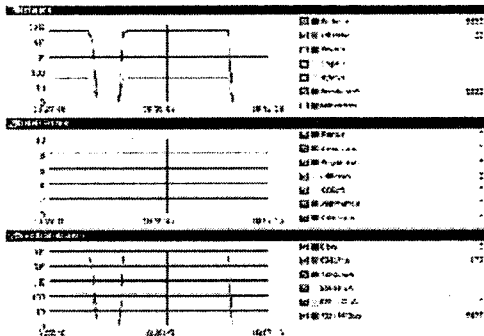


그림 5 이용률과 전송 패킷수 표시화면

그림 5는 데이터 전송망의 성능을 측정하여 분석한 결과를 나타낸 것으로 데이터 전송망의 이용률은 54 %를 보이고 있다. 그리고 프레임의 길이별 종류 분포는 66 byte가 162개, 그리고 1024 byte 이상이 6477개의 2종류가 존재 하고 있음을 알수 있다. 초당 패킷수는 2개 노드에서 6639개를 나타내었고 패킷의 에러율은 '0'으로 확인되었다.

#### 4.2 필드제어시스템 스테이션 바인딩 성능시험

그림 6은 시뮬레이터를 이용한 스테이션 바인딩 시간을 측정 한 시험결과 그래프이다. 실험결과, 스테이션 바인딩 시간의 평균값이 65 msec로 확인 되었으며, 토큰회전시간은 각 노드별 8 kByte 전송 기준으로 7 msec가 된다.

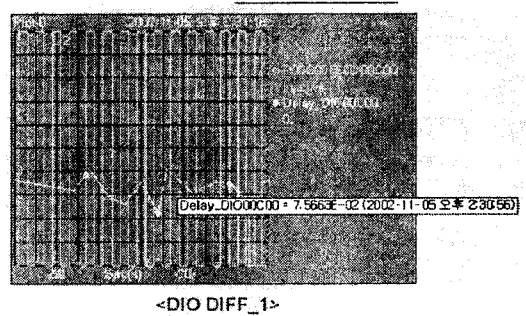


그림 6 스테이션 바인딩시간( $T_{SDR}$ ) 측정 그래프

상기 실험에 의한 토큰회전시간은 3개 노드 기준으로 약 7 msec 이고, 64개 기준으로는 140 msec가 되므로 데이터의 실시간 전송능력이 대체로 양호함을 알 수 있다.

### 5. 결 론

기존의 리플렉티브 메모리 시스템에 비하여 좀 더 향상된 실시간 데이터의 연계를 구현하기 위해, 링 형의 제어용전송망상의 각 스테이션 설계에 좀더 향상된 방식의 하드웨어 구조를 소개하였다. 이 구조의 실제 리플렉티브 메모리 방식의 산업용 데이터 전송망의 순환 데이터 이용률과 에러율등을 분석하여, 데이터의 전송 등 시스템의 동작이 정상적으로 이루어짐을 확인하였다. 또한, 필드제어용 모듈에 접속되는 제어기들 간 데이터를 상호 공유하는 스테이션 바인딩에 대한 시간지연을 시뮬레이터를 이용하여 측정하고, 제어기들 간 데이터의 실시간 연계가 이루어짐을 확인하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 권재휘 "원전분산제어 시스템용 응용 프로그램 접속부에 관한 연구", 학위논문, 서울대학교, 1998
- [2] 전력연구원, "원전 자동제어 설비의 디지털 화 개발(III)", Technical Report(종료보고서), 2001
- [3] 전력연구원, "원전 자동제어 설비의 디지털화 개발", Technical Report, 1999
- [4] Hong-ju Moon, Hong-sung Park, "Transmission Method of Periodic and Aperiodic Real-time Data on a Timer-Controlled Network for Distributed Control Systems", 제어·자동화·시스템논문지, 제6권 제7호, 2000
- [5] 최재영, 백일주, 김석곤 외, "분산제어시스템을 위한 리플렉티브 메모리 기반 통신망 구조에 대한 성능분석 및 실험", 원자력학회-전기학회 공동주최 계측제어기술 워크샵, 2002