

**제어봉 구동장치 제어시스템의 다중화 설계에 관한 고찰**

서 중 석, 조 창 호, 육 심 균, 남 채 호, 문 태 선  
 두산중공업 기술연구원 시스템기술연구팀

**A Study of Redundant Design of a Control Rod Control System**

Sur joong surk, Cho chang ho, Yook sim kyun, Nam Chae Ho, Moon Tae Sun  
 Systems Technology Research Team, R & D Center, Doosan Heavy Industries & Construction Co., Ltd.

**Abstract** - Digital technologies are required to reduce to events due to human fails clarified existing nuclear power plant. When we are trying to retrofit control rod control system from analog system to digital one, new communication network and controller is required to be constructed. In this paper, we are going to introduce experience in developing economic and reliable control rod control system construction. this proposed system consists of redundant POS, communication network, and controller to provide enhance reliability and safety

**1. 개요**

계측제어 시스템의 급진적인 발전에 따라 시스템 구현 방법도 다양해지고 또 그 종류도 급격히 증가하고 있는 추세이다. 고 신뢰성을 갖춘 계측제어 시스템을 효과적으로 구축하기 위해서는 먼저 최하단의 제어기에서부터 최상단의 POS(Process Operation Station)까지 고 신뢰성을 갖춘 기기를 이용한 시스템 구현이 필연적이다.

이를 구현하기 위하여 System Server 및 Process Operation Station의 특성과 사용자의 요구사항을 파악하여 반영하고, 계측제어 시스템에서 핵심 역할을 담당하는 통신은 최하단의 기기에서부터 최상단의 컴퓨터에 이르기까지 기기나 장비들을 서로 유기적으로 결합시켜 정보를 교환하고, 필요시 상호간에 인터록킹을 통하여 공정이 원활히 이루어 질 수 있게 구성하여야 한다. 이를 위해서는 표준화된 통신 사양을 반영한 제어기를 선정하여 시스템을 구성하여야 하나, 아직까지는 표준화된 통신 사양을 반영한 제어기 생산이 활성화되어 있지 않는 상태이므로 제어기 선정이 전체 시스템의 특성을 결정하는 중요한 역할을 한다. 그러므로 시스템의 요구사항을 충분히 수용할 수 있는 제어기의 선정이 무엇보다 중요하다.

본 논문에서는 소규모이면서 높은 신뢰성을 요구하는 그림 1과 같은 원자로 제어봉 구동장치 제어시스템에 적용한 다중화(System Server, 통신망, 제어기)의 특성을 분석하고, 구현 방법을 제시코자 한다.

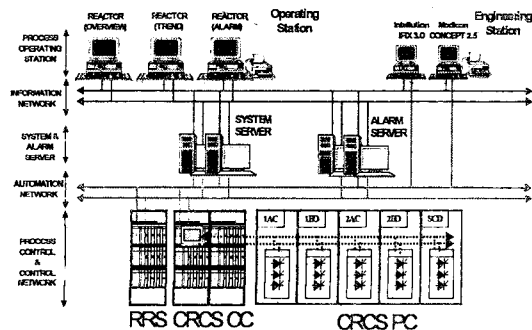


그림 1. 원자로 제어봉 구동장치 제어시스템 개념도

**2. 계측제어 시스템에서의 다중화**

**2.1 Server 및 Process Operation Station**

계측제어시스템의 구성요소 중 상위스테이션의 하드웨어 사양은 워크스테이션이나 X-서버, X-터미널 등을 이용하였으나, 최근에는 사용자의 요구에 따라 PC의 사용이 보편화 되어가고 있으며 운영체제는 범용 운영체제인 유닉스에서 윈도우로 변화되어가고 있다.

상위스테이션 기능의 핵심은 감시 및 제어 기능이다. 이 장치는 설비의 정보를 제어기에서 받아 알람이나 운전기록을 남기는 이벤트처리 및 데이터의 추세를 보여주는 트랜드 처리 등 다양한 서비스를 제공한다. 또한 현재 데이터의 기록을 남기는 보고서 기능, 네트워크에 접속된 스테이션 또는 프린터 등으로의 출력 기능 및 확장, 보수를 위한 진단기능을 제공할 수 있는 매체로 이용되기도 한다.

**2.2 정보 및 자동화 통신망**

최근의 계측제어 분야는 개방된 통신망으로 옮겨가고 있다. 하나의 방법으로 간단한 데이터 저장에서부터 디스크리트 기계제어(PLC) 그리고 분산형 공정제어(DCS)에 이르기까지 모든 자동화 응용에 적용할 수 있다면 그것은 매우 이상적이다. 그러나 현실적으로 자동화 시스템에서는 필수 조건이 다양하여 한 종류의 통신망을 모두에 적용한다는 것이 어떤 분야의 응용에서는 최적인 반면 또 다른 분야의 응용에서는 부적합한 통신망이 될 가능성이 있기 때문에 불가능하다. 그러므로 각 계층별 통신망의 특성을 정확히 파악하고 이해하여야 경제적이고 효율적인 시스템 구축이 가능하리라 본다.

**2.2.1 정보 및 자동화 계층 통신망(TCP/IP)**

정보 및 자동화 계층의 통신 기능은 계층적인 제어 구조의 일부가 되어 다수의 제어기나 지능형 장비를 관리 감독할 수 있게 한다. 고 기능의 통신 링크를 위해서는 각 업체의 특수한 통신망이 아닌 표준적인 통신망과 연결할 수 있는 기능을 가져야 한다. 이와 같은 요구 사항을 충족하면서 표준화되어 있는 Ethernet(TCP/IP)통신망을 사용함으로써 사용자의 정보 시스템에 접속을 용이하게 하는 것이 일반적인 추세이다.

**2.2.2 제어 및 기기 계층 통신망**

자동화되어 있는 설비공정 전체에서 볼 때, 제어 및 기기 계층에서 실시간 수행능력과 판단기능이 전체 제어 시스템의 핵심 요소 기술이다. 작업성과 생산성을 향상시키기 위해서는 통합적인 높은 신뢰성을 가진 설비의 통신기능을 필요로 하게 된다. 이러한 통신기능은 마이크로컴퓨터, 제어기와 같은 각종 장비를 연결하여 제어하고 프로그램할 수 있게 한다. 대부분의 제어기 제조업체에서는 통신의 안정성을 위해 이중화 되어있는 전용의 통신망을 제공하여 자사의 제어기와 제품을 링크시켜 준다. 이중화 제어기 및 통신망을 제공하는 주요 제어기 업체별 제어 및 기기 계층의 통신망을 살펴보면,

Allen-Bradley사는 Data Highway/ControlNet, Modicon사는 Modbus+, General Electric사는 GENIUS, ABB Automation사는 Advant Fieldbus 100, SIEMENS사는 Profibus DP, Profibus FMS 등이 대표적이다.

### 2.3 계측제어 시스템

계측제어시스템은 개방형 시스템 구조 채택으로 범용성 확보 및 확장성을 용이하게 하고 이 기간의 상호접속을 가능하게 하며 시스템의 신뢰성 향상 및 신속 용이한 유지보수를 위한 신기술들이 빠르게 적용되고 있다. 여기에 대표적인 것으로는 시스템 진단기능으로써 소프트웨어 및 하드웨어의 이상 유무를 확인할 수 있는 기능, 즉 하드웨어 모듈 단위는 물론 채널 단위까지도 진단함으로써 오동작을 방지하고 유지보수를 쉽게 하는 것과, 운전 중 고장난 모듈 탈착지원 및 원격 유지보수지원 시스템에 의한 신속한 유지보수, 시스템 고장시간을 최소화하여 가동효율의 극대화를 기하는 것이다. 단순한 자동제어 시스템으로서의 고유기능 뿐만 아니라 정보교환 및 자료공유 기능을 제공함으로써 고부가가치의 통합시스템 구축을 가능하게 한다.

그림 2는 제어시스템의 다중화 구성도이다. 크게 상위스테이션(POS), 통신망, 제어스테이션(PCS) 3 부분으로 분류할 수 있고 각각의 구성별 특성은 다음과 같다.

#### 2.3.1 CPU 이중화

CPU 보드 두 장을 사용하여 실제 제어스테이션이 이중화 처리가 되는 것이 아니라 상위 데이터 통신라인과 CPU 기능만을 이중화하는 방안으로(그림 2. POS-1 부분)경제적인 측면에서 유리하고 하드웨어 구현이 비교적 쉬운 장점이 있다. 다만 제어스테이션의 하드웨어 결합이나 소프트웨어의 결합이 발생된다면 치명적인 시스템 다운 현상을 초래하고, 데이터를 일치시키기 위해 시스템 부하가 증가하여 전체 통신라인에 충돌이 많아지는 현상이 있다.

#### 2.3.2 메모리 보드를 이용한 이중화

메모리 보드를 이용한 이중화 구성은 주종 제어 스테이션 간에 이중화를 위한 데이터의 일치를 위하여 메모리 보드와 메모리 보드 간에 별도의 통신라인을 추가하여 구현하는 방안으로, 메모리 보드를 통해서 데이터를 일치시키므로 LAN 통신라인의 통신부하를 현저히 줄일 수 있으므로 부하발생의 문제를 해결할 수 있는 방안이다.

그림 2. POS-2 부분의 시스템 구성은 메모리 보드를 이용한 이중화 시스템으로, 이중화 처리를 위해서 주 제어스테이션의 메모리 보드의 내용을 데이터 백업 라인을 통해서 종 제어스테이션의 메모리 보드로 복사 시키 데이터의 일치를 확인한다.

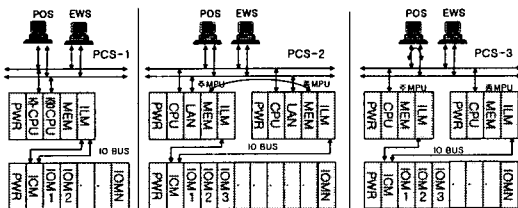


그림 2. 제어스테이션별 다중화 구성도

#### 2.3.3 소프트웨어 라우팅을 이용한 이중화

그림 2. POS-3은 소프트웨어 라우팅을 이용한 이중화 구성도로 주 MPU의 CPU 보드에 데이터를 종 MPU의 CPU 보드에 일치시키기 위해 라우팅 테이블의 정보를 이용하여 종 MPU의 CPU 보드로 데이터를 전달하는 방식이다. 이 방식은 상위스테이션에서 제어스테이션에 이용되는 라우팅 정보를 소프트웨어 라우팅하여 자신의 데이터가 주 MPU의 CPU 보드 데이터라고 인정되면, 종

MPU의 CPU 보드에 접속하는 LAN 케이블로 IP만 바꾸어 전송하게 된다.

### 3. 제어용 구동장치 제어시스템에서의 다중화 구현

아날로그식 원자로 제어용 구동장치 제어시스템을 디지털 제어 시스템으로 개조할 때에는 필연적으로 새로운 통신망과 제어를 이용한 제어시스템 구축이 필요하다. 본 논문에서는 600MW급 가압 경수형 제어용 구동장치 제어시스템 개조시 적용한 다중화된 POS, 통신망 및 제어기의 활용과 아울러 소규모의 계측제어 시스템에서 높은 신뢰성을 가지면서 경제적인 제어용 구동장치 제어시스템 구현에 대해 소개하고자 한다.

#### 3.1 시스템 요구 사항

원자로 제어용 구동장치 제어시스템을 구현하기 위해서는 여러 회사에서 개발된 고 신뢰성을 갖춘 다양한 단위 기기들을 결합하여 원자로 가용성의 증대, 효율적인 운전, 편리한 유지/관리가 가능한 시스템으로 통합되어야 한다. 이들 요구사항을 정리하면 아래와 같다.

- 신뢰성 있는 POS/통신/제어기기 이중화 구조
- 개방된 네트워크로 유연성 및 통합성용이
- 저렴한 노드 비용 및 배선 비용 절감
- 지능형 장치에 의한 향상된 진단 피드백
- 제어 및 자동화 신기술 도입용이

#### 3.2 제어용 구동장치 제어시스템의 다중화 구성

제어용 구동장치 제어시스템의 구성은 그림 3에 표시한 바와 같이 시스템 서버 이중화, 통신망 이중화(정보용 통신망, 분산제어용 통신망, 근거리입출력 통신망, 전력제어기 감시용 통신망), 제어기기 이중화(논리제어기기, 전력제어기)를 통하여 제어시스템에서의 신뢰성을 향상시키도록 시스템을 구성하였다.

#### 3.3 제어용 구동장치 제어시스템의 다중화 특성

##### 3.3.1 Server 및 Operation Station 특성

제어용 구동장치 제어시스템 POS 구성을 위해 하드웨어는 Compaq 서버 2대, PC 3대로 시스템을 구성하였으며, Server Redundancy는 그림 4에 표시된 바와 같이 설정 하였다.

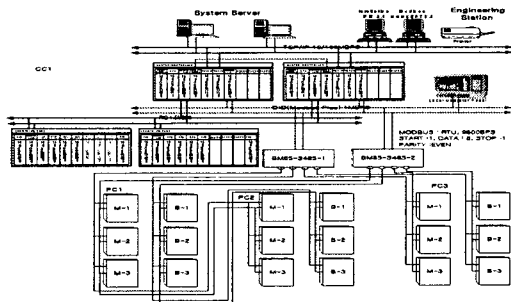


그림 3. 다중화를 적용한 제어용 구동장치 제어시스템

POS의 Redundancy 솔루션을 통해 다음의 기능을 지원할 수 있다.

- LAN연결 상태에 따른 각 SCADA서버와의 연결 상태 모니터링
- Network Status Server(NSS)를 이용한 네트워크 연결 상태 모니터링
- 두 System Server가 동시에 가동 중일 때 한 번의 알람 확인만으로 두 System Server의 알람 인식 상태가 동기화
- 수동으로 Failover를 지정함으로써 System Server의 전환상태를 사용자가 인식

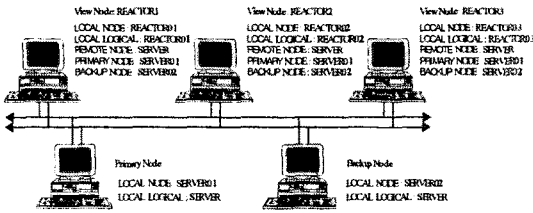


그림 4. 제어봉 구동장치 제어시스템 POS 기능설정

### 3.3.2 통신망 특성

#### 가. 정보 및 자동화 계층 통신망

정보 통신망은 최상위 통신망을 말하며 여기에는 Operating Station, Engineering Station, System Server 및 Alarm Server가 Ethernet으로 연결되어 있다. 이 정보 통신망은 두 종류의 Server와 제어기기 사이의 자동화 통신망과 완전 분리 설치하여 상호간의 통신망 상태에 영향을 받지 않도록 하였다. 정보 통신망에는 Hard-Copy용 프린터와 보고서용 프린터 그리고 여러 대의 컴퓨터가 연결되어 있다. 이들 계층은 산업 표준으로 널리 사용되고 있는 Ethernet (TCP/IP)을 통신망 사양으로 선정하여 종합적인 정보 통신망이 되도록 하였다. Ethernet을 이용한 통신망의 일반적인 특성을 정리하면 아래와 같다.

- IEEE 802.3 을 지원(전송속도 : 100/10 Mbps)
- Protocol - 표준 IP Node 주소
- 다양한 전송 매체 : Thick Wire, Thin Wire, Fiber, Twisted Pair, RF, Broadband
- 표준 Transceiver 와 Cable Connect 사용
- 다수 회사의 많은 제품과 호환성 : Gateway, Routers, Bridges, Repeaters 등
- Wide Area 네트워크를 구성하여 정보를 통합 관리.

#### 나. 제어 및 기기 계층 통신망

분산제어용(DIO) 통신망과 근거리 입출력(RIO) 통신망은 데이터양은 적으면서 매우 빠른 응답속도를 요구한다. 제어봉 구동장치 제어시스템에서 적용한 분산제어용(DIO)통신망은 이중화된 주 제어기, Local Operating Module 및 전력제어기 사이에 적용하였으며 주요 특성은 아래와 같다.

- Modicon사 Modbus Plus 프로토콜을 사용하여 다양한 Vendor의 다양한 제품과 호환성 유지.
- 정보 및 자동화 정보망을 확대 적용 가능.
- 통신망을 이중화 시켜 시스템의 안정성을 고려.

제어봉 구동장치 제어시스템에서 적용한 근거리입출력(RIO)통신망은 이중화된 주 제어기, 근거리 입출력 랙 사이에 적용하였으며 주요 특성은 아래와 같다.

- Modicon사 Remote I/O 프로토콜을 사용하여 다양한 Vendor의 다양한 제품과 호환성 유지.
- 정보 및 자동화 정보망을 확대 적용 가능.
- 통신망을 이중화 시켜 시스템의 안정성을 고려.

### 3.3.3 계층 제어시스템 특성

원자로 제어봉 구동장치 제어시스템에서 구현한 제어 스테이션은 Modicon사의 PLC로 똑같이 구성된 두개의 제어기에 두개의 Hot Standby(메모리보드를 이용한 이중화) 모듈로 구성하여 서로 통신할 수 있게 하였으며, 각 제어기는 프로그램의 첫 번째 세그먼트에 HSBY라는 로더블 소프트웨어 함수를 가지고 구현하였다.

#### 가. HSBY(Hot Standby) 시스템의 기능

HSBY모듈은 동일하게 구성된 슬롯 장착용 제어기가

두 개 있는 시스템에서 사용하며 동일하게 구성된 제어기 중의 하나는 기본(Primary) 제어기로 동작한다. 이 기본 제어기는 입력 데이터를 근거리 입출력 Sub-system에서 데이터를 읽고 메모리에 있는 사용자 프로그램을 실행하여 결과를 Sub-system에 보낸다. 그리고 기본 제어기는 매 스캔의 끝에서 현재 제어기의 상태정보와 RAM의 상태정보를 가지고 Standby 제어기의 데이터를 갱신한다. Standby 제어기는 단지 상태정보를 읽을 뿐 제어기능을 실행시키거나 기본 제어기의 실행을 방해하지 않는다. 기본 제어기에 이상이 발생하면 Standby 제어기는 13\*48 msec안 기본제어기로 동작한다.

#### 나. HSBY 시스템의 상세 구성도

그림 5에 표시한 HSBY 모듈(140 CHS 110 00)은 슬롯 장착용 제어기의 선택 슬롯에 장착되도록 설계된 모듈로서 리모트 I/O 프로세스 모듈(140 CRP 932 00)을 사용하는 제어기와 연계하여 사용된다. 이때 각 제어기에 사용된 모듈은 모든 하드웨어와 펌웨어는 동일해야 한다. 각각의 HSBY 모듈은 광케이블을 사용하여 서로 연결하고, 두개의 RIO 프로세스는 라인 스플리터를 연결하기 전에 Self-terminating 커넥터를 삽입한 동일한 길이의 동축 케이블로 연결한다.

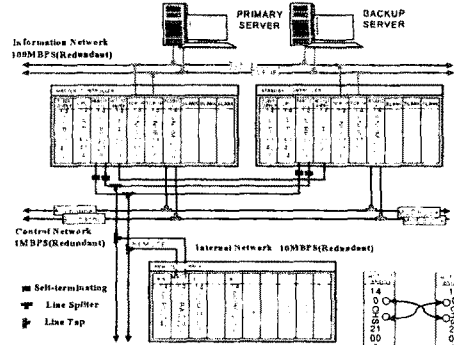


그림 5. HSBY 모듈을 적용한 제어시스템 상세 구성도

## 4. 결론

본 논문에서는 소규모이면서 높은 신뢰성을 요구하는 제어봉 구동장치 제어시스템 개발에 적용되는 이중화 POS 및 제어기의 역할, 구성 및 중요성을 설명하였으며, 근래에 많이 활용되는 계층별 통신망(Information 계층, Automation 계층, Control, Device 계층)의 특성을 분류하여 보았다.

그리고 다중화된 POS, 통신망 및 제어기를 활용한 높은 신뢰성을 가진 제어 시스템 구현 방법을 확보하였으며 향후 제어봉 구동장치 제어시스템을 개발하는데 적용하여 실제 발전 설비에서 성능 및 신뢰성을 입증할 예정이다.

## 참고 문헌

- [1] 한국전력공사, "제어봉 제어설비(I)", 1991.11
- [2] 한국전력공사, "제어봉 위치지시설비(I)", 1991.9
- [3] Douglas E. Comer, "Introduction to TCP/IP and Internetworking", Network Interop 96, 1996
- [4] Douglas E. Comer, "Internetworking with TCP/IP" Third edition, Prentice Hall, 1995
- [5] Modicon 사 제어기 및 통신 관련 manual
- [6] MODICON 사 제어기 및 통신 관련 manual
- [7] GEFANUC 사 제어기 및 통신 관련 manual
- [8] FOXBORO 사 제어기 및 통신 관련 manual
- [9] ABB 사 제어기 및 통신 관련 manual
- [10] GEFANUC 사 Automation Software 관련 manual