

원자로 보호계통 성능시험용 입출력 모의 장치 설계

김석주¹, 김종문¹, 박민국¹, 김춘경¹, 김창희¹
¹한국전기연구원 계측제어그룹, ²한국원자력연구소 MMIS팀

Design of an I/O Simulator for Performance Evaluation of Reactor Protection Systems

Kim Seogjoo¹, Kim Jong Moon¹, Park Min Kook¹, Kim Chun Kyung¹, Kim Chang Hwoi²
¹Korea Electrotechnology Research Institute, I&C Group, ²KAERI, MMIS Team

Abstract - This paper deals with an I/O simulator design for performance evaluation of reactor protection systems in nuclear power plants. The I/O simulator provides input signals for the reactor protection system, and acquires output signals from the initiation circuits. The simulator is based on VMEbus system, and all VMEbus boards are developed within the country.

1. 서 론

우리나라의 원자력 발전소는 에너지 공급 기여도가 가장 높은 반면에 항상 사고 위험에 관한 우려를 받고 있는 것이 오늘의 현실이다. 이것은 원자력 발전소의 방사능 누출 사고가 인명 및 환경에 미치는 파급 효과가 대단히 크기 때문일 것이다. 따라서 원자력 발전소의 안전에 관계된 사항은 매우 중요할 수밖에 없다. 원전의 사고가 심각한 상태로 파급되는 것을 방지하고 방사선 재해를 최소화하기 위한 계통을 통틀어 보호 및 안전계통(Protection and Safety System)이라 한다. (1) 원전의 원자로 보호계통(Reactor Protection System; RPS)은 원자로 이상시 원자로를 긴급 정지시키는 역할을 함으로써 원자로의 상태가 항상 허용 기준 이내로 유지될 수 있도록 하는 원전의 안전을 담당하는 가장 중요한 설비이다. 다시 말하면 보호계통은 원자로의 각종 안전 관련 변수를 계속하여 이들이 허용치를 초과할 때 원자로를 안전한 상태로 정지시키는 역할을 한다. 이들은 보통 4중화 장치로 되어 있어 2개 이상의 시스템에서 원자로 정지 명령이 출력되면 원자로 정지차단기를 작동시키게 된다. 원자로 정지차단기는 원자로의 반응을 조절하는 제어봉의 전원을 차단시키는 역할을 하고 전원이 차단되면 제어봉은 자유 낙하하며 원자로에는 다량의 부반응도가 가해짐으로써 핵반응이 정지된다.

이와 같은 역할을 하는 원자로 보호계통은 철저한 검증과 시험을 거치며 개발을 하고 규제기관의 승인을 얻어 운전전에 설치된다. 따라서 개발 과정에서 검증과 시험을 위한 모의 설비는 필수적이다. 이러한 모의설비는 모의 기능의 다양성, 확장성, 사용자 편의성 등에 중점을 두고 개발되는 것이 보통이다. 또한 원자로 보호계통은 내진, 환경, 전자파 시험 등을 뺀하여야 하기 때문에 모의 설비는 자유롭게 이동 가능하여야 하고 외부 연결 인터페이스에도 세심한 주의가 필요하다.

본 논문은 원전 계측제어시스템 국산화 개발사업의 일환으로 개발되는 디지털 원자로 보호계통의 성능 시험을 위한 입출력 모의장치 설계 및 제작에 관한 것을 서술하는 것을 목적으로 한다. 모의 설비는 보호계통에 필요한 입력 신호를 제공하는 모듈과 출력신호 측정을 위한 데이터 수집 시스템 그리고 이들을 제어하기 위한 소프트웨어로 구성되며 입출력 모의 장치는 VMEbus 시스템으로 설계하였고 모든 보드는 자체 개발품을 사용하는 것으로 설계하였고 현재 단위 보드의 설계 및 제작을

마치고 시스템 통합 작업중에 있다.

2. 입출력 모의 시스템

2.1 원자로 보호계통의 개요

보호계통을 설계하는 원칙으로는 다중성(Redundancy), 다양성(Diversity), 물리적 분리(Physical Separation), 독립성(Independence) 등이 있다. (2,3) 이들은 여러 가지 수단을 통하여 철저하게 분석되고 검증을 받는다.

일반적으로 디지털 원자로 보호계통에는 원자로를 정지시킬 수 있는 각각의 변수에 대하여 전기적 및 물리적으로 격리된 4개의 센서 신호가 입력된다. 이들 4개중 2개의 센서의 측정치가 원자로 정지 설정치를 넘으면 (2-out-of-4) 원자로를 정지시키는 명령이 출력된다. 이때 원자로 정지 설정치를 초과하였는지를 감시하는 프로세서를 비교논리 프로세서(Bistable processor), 비교논리 프로세서의 출력을 비교하여 2/4 논리를 구성하는 프로세서를 동시논리 프로세서(Coincidence processor)라고 한다. 그림 1은 완전 이중화된 비교논리 및 동시논리 프로세서를 가지는 디지털 보호계통의 4개의 채널중 1개의 채널의 구성예를 표시하고 있다. 경우에 따라서는 동시논리 프로세서의 디지털 출력을 2중화 하기도 한다. 그림에서 CPC는 노심보호연산기 계통을 나타낸다.

참고적으로 원자로 정지에 관계된 공정변수는 다음과 같은 것이 있다.

- 출력 증가율
- 국부 출력 밀도
- 핵비등이탈율
- 가압기 압력
- 증기발생기 수위
- 증기 발생기 압력
- 격납 용기 압력
- 냉각재 유량
- 수동 정지

이들 변수들은 성능검증을 위한 입출력 모의장치에서 모의되는 물리적 변수들로 모의 장치의 아날로그 출력으로 제공된다.

2.2 입출력 모의 시스템 구성

시뮬레이터는 목적에 따라 많은 종류가 있지만 여기서는 시스템 개발을 위한 성능 및 기능 시험용 시뮬레이터에 대해서만 생각하기로 한다. 일반적인 HILS(Hardware In the Loop Simulator) 개념을 그림 2에 표시하고 있다. 그림과 같이 입출력 모의 장치는 센서신호를 모의하여 보호계통의 입력으로 제공하고 보호계통의 출력신호를 계속하여 기록·저장함으로써 보호계통의 기능 및 성능을 시험하는 것이 목적이다.

본 논문에서는 입출력 및 데이터 수집시스템을 VMEbus 시스템으로 설계하였으며 사용자 인터페이스

시스템은 PC를 사용하는 것으로 하였다.

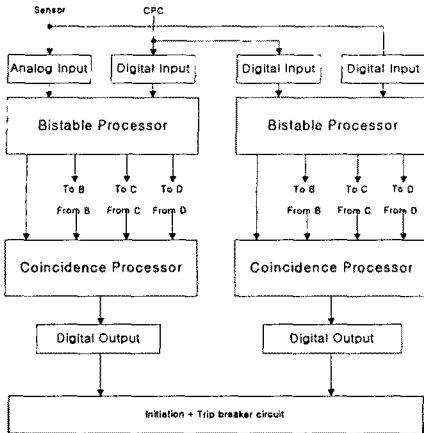


그림 1. 보호계통의 구성(Ch. A)

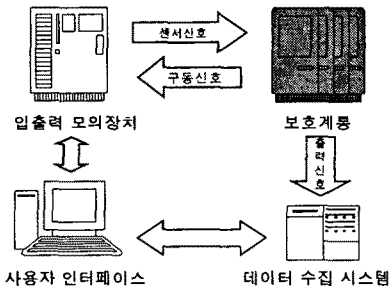


그림 2. 모의 시스템의 개념도

또한 외부의 열수력(Thermo-Hydraulic) 시뮬레이터 코드와의 연계를 위하여 TCP/IP를 외부 통신으로 제공하는 것으로 하였다.(그림 3)

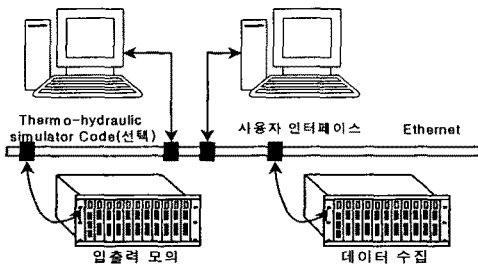


그림 3. 외부 시스템과의 인터페이스

VME 시스템의 마스터는 TMS320C32 프로세서를 사용하였으며 실시간 운영체제로 uC/OS를 이식하고 TCP/IP 스택을 구현하였다. CPU 보드의 사양은 다음과 같고 개발된 보드의 사진을 그림 4에 나타냈다.

- CPU : TMS320C32-50
- Memory : SRAM 1MB, No-Wait Flash Memory 512 KB, EPROM 512 KB
- 통신 : Ethernet, 1 Isolated RS-232C, 1 Isolated RS-485,
- VME Interface : system Controller, A24/D16, Bus Arbiter, Interrupt Handler

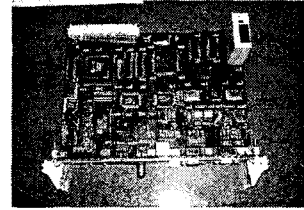


그림 4. CPU 보드 사진

2.3 입력 모의 시스템 설계

보호계통용 입력 모의 시스템은 바이스테이블 프로세서의 아날로그 입력 신호와 노심보호 연산기계통의 디지털 출력을 모의하는 기능을 제공한다. 현재 개발중인 디지털 원자로 보호계통의 아날로그 입력 신호의 범위가 0-10V 시스템이고 완전 이중화 채널로 설계되고 있기 때문에 아날로그 출력 보드를 다음과 같이 설계하였다.

- Single ended 16 ch.
- 해상도 12bit, 0-10V 또는 4-20mA
- 변환시간 : 최대 50us
- VME 인터페이스 : A16/D16

또한 노심보호연산기 계통의 디지털 출력 신호를 모의하기 위한 디지털 출력의 사양은 다음과 같다.

- Isolated 32 ch, Relay(Dry contact)
- 출력전류 : 최대 1A
- 절연 : Optical Isolation
- VME 인터페이스 : A16/D16

보호계통용 모든 신호를 동시에 모의가 가능하도록 한다면 매우 많은 아날로그 출력 카드가 필요하게 된다. 또한 현재 개발되는 디지털 원자로 보호계통은 4중화 시스템 중 2개의 채널만 시제품으로 제작되고 있다. 따라서 모든 채널의 신호를 모의하지 않고 비교논리 프로세서의 이중화와 2개의 시제품 채널을 고려하여 아날로그 출력 채널의 수는 $32 \times 2 \times 2 = 128$ ch로 결정하였다. 디지털 출력의 경우는 $22 \times 2 \times 2 = 88$ ch로 결정되었다. 다음 그림은 개발된 아날로그 출력보드와 디지털 출력 보드를 나타내고 있다.

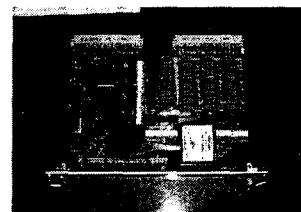


그림 5. 아날로그 출력 보드

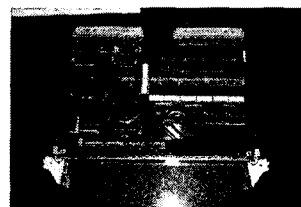


그림 6. 디지털 출력 보드

2.4 데이터 수집 시스템

보호계통에 입력되는 신호 및 보호계통의 출력 신호를 계측하기 위한 시스템으로 크게 아날로그 입력 모듈과 디지털 입력 모듈로 구성되어 있다. 아날로그 입력 모듈

의 사양은 다음과 같고 그림 7에 보드의 사진을 표시하였다.

- CPU(TMS320C32) 내장
- DPRAM을 통한 VME Master와 정보 교환
- Single ended 16 ch.
- 해상도 12bit, 0-10V 또는 4-20mA
- 변환시간 : 최대 50us
- VME 인터페이스 : A16/D16

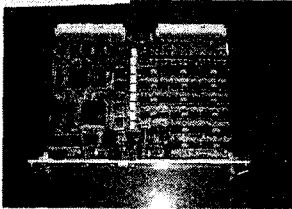


그림 7. 아날로그 입력 보드

또한 디지털 입력 보드는 다음과 같은 사양으로 개발되었고 그림 8에 사진을 나타냈다.

- Isolated 32 ch.
- Optical Isolation : 1500V
- VME 인터페이스 : A16/D16

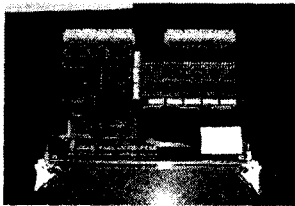


그림 8. 디지털 입력 보드

보호계통의 트립 신호가 개시회로를 거쳐 원자로 정지 차단기를 작동시키는 것을 쉽게 확인하기 위하여 모의 정지차단기를 설계하였다. 그림과 같이 선택적 AB, AC, BC, CD가 작동하면 전원이 차단되는 선택적 2/4 시스템으로 구성되어 있다.

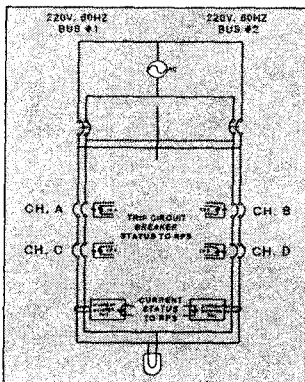


그림 9. 모의 정지 차단기

그림에서와 같이 모의 정지 차단기는 제전기, 코일전류 피드백을 위한 아날로그 출력, 시간화 장치 등으로 구성되며 이벤트 기록기(SOE: Sequence of Event)에 연결되어 있다. 이러한 시험장비는 모두 PC에서 운용하며 결과를 실시간 그래프, 이벤트 기록 등의 형태로

저장하여 분석할 수 있게 된다. 다음 그림은 제작하고 있는 전체 시스템의 외관을 나타내고 있다.

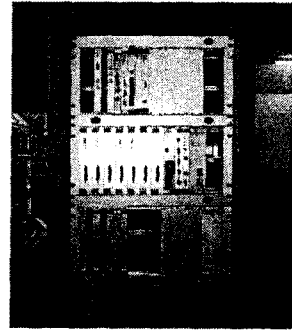


그림 10. 모의 장치 외관

2.5 운용 소프트웨어

입출력 발생기 사용자 인터페이스 부분은 마이크로소프트 윈도우즈하에서 운영되며 시험장비와는 Ethernet TCP/IP를 통하여 연결된다. 소프트웨어의 주요 기능은 다음과 같다.

- 아날로그 출력 채널 설정 : 값, 시간, Lookup
- 디지털 출력 채널 설정 : 값, 시간, Lookup
- 하드웨어 고장 시나리오 설정 : 채널, 시간
- 반복 시험 설정 : 시간
- 데이터 취득 설정 : 시간 간격 및 이벤트

위 기능중 반복시험은 번-인과 같은 환경시험시 일정 시간마다 자동적으로 모의 신호를 발생시키고 그에 따른 보호계통의 출력결과를 로깅하는 것을 의미한다. 다음과 운용 소프트웨어의 초기화면을 나타낸다.

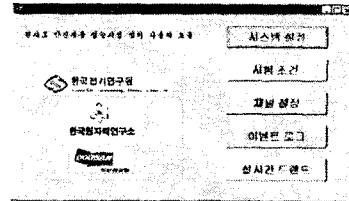


그림 11. MMI 초기화면

3. 결 론

본 논문은 현재 원전계측제어 사업단의 주도로 개발되고 있는 "디지털 원자로 안전계통 개발"과제의 1단계 시제품의 기능 및 성능 시험을 위한 장치의 설계 및 제작에 관한 내용을 서술하였다. VMEbus 시스템을 사용하고 모든 보드는 국내에서 개발된 개발품을 이용하는 것으로 하였으며 보호계통의 출력을 쉽게 파악할 수 있도록 모의 정지 차단기를 설계하여 현재 제작중에 있다.

향후 본 장치가 완성되면 시제품의 기능시험을 비롯하여 내진, 환경, 전자파 시험시 활용도가 높을 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 장순홍, 백원필 "원자력 안전", 청문각, 1999.
- [2] C. H. Kim, S. W Cheon, "Fault tolerant computing for reactor protection system in KALIMER", Proc. of FTCC, pp24-31, 2000.
- [3] General Design Criterion 20, Protection System Functions.