

Compact Nuclear Simulator의 컴퓨터 및 인터페이스 시스템 개선

Improvement of Computer Complex and Interface System for Compact Nuclear Simulator

이동영, 박원만, 차경호, 정철환, 박재창

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

CNS(Compact Nuclear Simulator)는 1980년도 후반에 개발되었으며, 당 연구소 연수원에 설치되어 그 동안 신입소원 및 계통설계자의 교육훈련에 활용하여 왔다. CNS의 주컴퓨터와 제어반 및 그래픽시스템을 연결하는 인터페이스 카드는 CNS를 위해 특별히 제작된 장치를 사용하였다. 그러나 시간이 흐름에 따라 그래픽 인터페이스 장치 및 주컴퓨터 인터페이스 카드의 노화, 유지보수 시 램프의 단락에 의한 제어반 인터페이스 카드의 파괴 등과 같은 여러 문제점이 발생하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 CNS 개선연구를 수행하였으며, 본 연구에서는 수행된 결과 중 컴퓨터 및 인터페이스 시스템의 개선에 관한 내용만을 서술한다.

Abstract

CNS(Compact Nuclear Simulator) was developed at the end of 1980s, and have been used as training simulator for staffs of KAERI during 10 years. The operator panel interface cards and the graphic interface cards were designed with special purpose only for CNS. As these interface cards were worn out for 10 years, it was very difficult to get spare parts and to repair them. And the interface cards were damaged by over current happened by shortage of lamp in the operator panel. To solve these problem, the project 'Improvement of Compact Nuclear Simulator' was started from 1997. This paper only introduces about the improvement of computer complex and interface system.

1. 서론

CNS^{1,2}는 전규모 시뮬레이터(full scope simulator)의 기능을 일부 단순화하고, 축소형 제어 및 표시 기기를 사용한 벤치보드 형태의 소규모 시뮬레이터(compact simulator)로서 1988년 제작 및 설치된 이후 많은 교육훈련에 활용하여 왔다.

CNS는 운전원에게 발전소의 상태를 나타내는 운전제어반(operator control panel), 시뮬레이터의 기동, 정지 및 운전상황을 설정하는 강사조작반(instructor console), 실제 발전소와 유사한 상황을 모의한 소프트웨어 및 이를 운영하는 주컴퓨터, 운전제어반과 주컴퓨터간의 신호전송을 담당하는 인터페이스 장치, 그리고 CRT 기반의 그래픽 표시장치 등으로 구성되어 있다. CNS는 웨스팅하우스 3 루프(loop) 900MW PWR인 고리 3/4호기를 기본으로 한 수학적 모델 코드를 사용하여 정상운전 및 사고상황을 모의하고 있다.

기존 설치된 CNS는 주컴퓨터로 2대의 MicroVax-II 컴퓨터를 사용하고, CNS 전용으로 제작된 제어반 인터페이스 카드 및 그래픽 인터페이스 카드를 사용하여 주컴퓨터에서 계산된 변수값을 운전제어반 및 그래픽시스템으로 전달하고, 또한 운전제어반에서 이루어진 운전원의 조치(action)를 주컴퓨터로 전달하였다. 그러나 그래픽 인터페이스 장치의 노후화로 인한 그래픽시스템의 동작불량 및 램프교체 시 램프의 파손에 따른 과전류로 인터페이스 카드의 손상 등과 같은 문제점이 발생하였다. 이러한 문제점을 해결하고 CNS의 성능을 개선하기 위하여 기존의 운전제어반을 그대로 유지하고, 주컴퓨터를 1대의 워크스테이션(workstation)으로, 그래픽시스템을 3대의 X-터미널로, 또한 기존의 특수 제작된 인터페이스 카드를 범용의 산업용 기기인 PLC로 교체하였으며, 이 기기 들은 이더넷(Ethernet) 통신을 사용해 데이터를 주고받도록 설계하였다.

2. CNS 구성

CNS는 운전제어반, 강사조작반, 계통 모의화 프로그램 및 주컴퓨터, 인터페이스 장치, 그리고 CRT 기반의 그래픽 표시장치 등으로 구성되어 있다.

운전제어반은³(operator control panel) 크게 핵연료 및 노심운전제어반, RCS 및 BOP 운전제어반, 전기계통 제어반 등으로 구성되어 있다. 좌측의 핵연료 및 노심운전제어반에는 일차계통의 상태를 감시하기 위한 경보창(annunciator window)과 제어 및 보호신호의 상태표시창, 원자로 출력을 감시하기 위한 검출기, 제어봉을 제어하기 위한 제어봉 구동스위치와 위치 지시기 등이 설치되어 있다. 중앙의 RCS 및 BOP 운전제어반에는 원자로, 가압기, 증기발생기, 냉각수 펌프, 화학 및 체적제어계통, 고압 및 저압 안전주입계통, 증기발생기, 터빈 및 발전기, 복수기, 그리고 주급수계통 등이 있다. 실제 CNS에는 3 루프 모델을 포함하고 있으나 운전제어반에는 오직 하나의 루프만을 나타내고, 한 루프 위에 모든 루프의 변수값을 같이 표시하였다. 또한 우측의 전기계통 제어반에는 이차계통의 상태를 감시하기 위한 경보창 및 전기계통에 관련된 기기 등이 설치되어 있다.

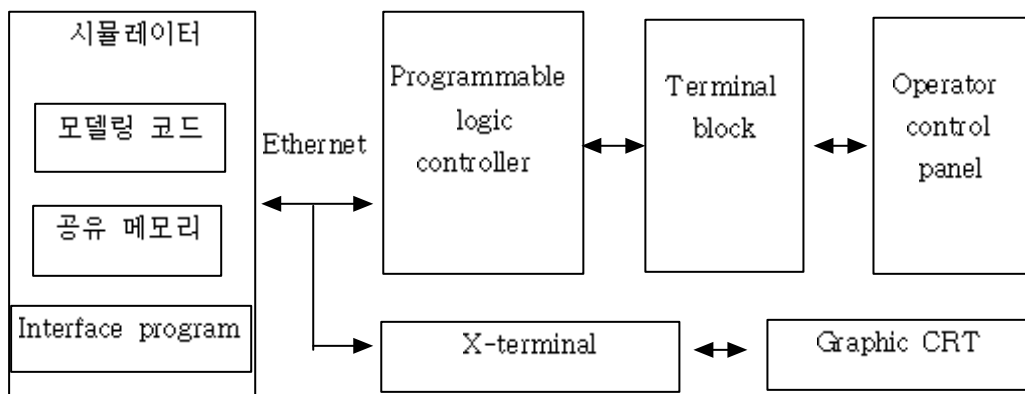
강사조작반은 주컴퓨터를 사용하여 시뮬레이터의 초기화, 운전 및 정지, 가상사고 변수의 설정, 운전 상황의 저장 및 저장된 운전상태로의 복귀, 지나간 운전상황의 재연 등과 같은 강사의 명령을 처리하는 감독자 프로그램, 그리고 훈련시작 전 운전제어반에 설치된 각종

램프, 기록계, 스위치 등 하드웨어의 동작상태를 점검할 수 있는 테스트 프로그램으로 구성되어 있다.

CNS는 기존에 2대의 MicroVax-II 컴퓨터를 주컴퓨터로 사용하였으나, 주컴퓨터의 노화 및 병렬처리 인터페이스 카드인 DRV-11J의 생산중단으로 인하여 주컴퓨터를 HP-UNIX 10.20 운용시스템을 탑재한 HP 사의 C200 워크스테이션 한대로 교체하였다. 주컴퓨터는 발전소의 계통을 모의한 수학적 모델 프로그램, 초기화 프로그램, 강사조작반 인터페이스 프로그램, 제어반 구동 프로그램 등을 운영하고 있다. 수학적 모델 프로그램은 웨스팅하우스의 3 loop 900MW PWR인 고리 3/4호기를 기본으로 설계되었으며, 초기화 프로그램은 계통 모의화 프로그램에 초기값을 부여하고, 운전제어반 및 감독자 프로그램을 초기화하는 기능을 수행한다. 또한 감독자 프로그램은 강사조작반의 요구에 따라 부여된 명령을 처리하며, 제어반 구동 프로그램은 주컴퓨터와 운전제어반 및 주컴퓨터와 그래픽시스템간의 데이터 전송기능을 수행한다.

주컴퓨터에서 계산된 변수값은 공유메모리에 저장되고, 공유메모리의 변수값은 제어반 구동 프로그램을 통해 인터페이스 장치인 PLC(Programmable Logic Controller)에 전달된다. PLC는 주컴퓨터에서 전달된 변수값을 이용해서 해당 운전제어반의 각종 경보창, 디지털 및 아날로그 계기, 램프 및 LED, 십진수표시기 등을 구동한다. 인터페이스 장치인 PLC는 이더넷 통신으로 주컴퓨터와 연결되어 있으며, 주컴퓨터에서 계산된 변수값을 운전제어반에 전달하고 또한 운전제어반에서 행해진 운전원 조치를 주컴퓨터로 전달한다.

운전제어반은 지정된 공간에 해당 변수값을 표시하므로 시간에 따른 변수값의 변화 또는 각 변수 사이의 상관관계를 나타낼 수 없다. 이러한 단점을 보완하고 운전원이 발전소의 상태를 쉽게 파악할 수 있도록 운전제어반 상부에 3대의 X-터미널을 설치하여 각종 변수의 추이를 여러 가지 시각적 방법으로 표시한다. 주컴퓨터에서 계산된 변수값은 이더넷 통신망을 통해 3대의 X-터미널에 연결되어 있으며, 전체 시뮬레이터의 개략적인 구성은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> CNS의 개략적인 구성도

3. 운전 제어반 인터페이스장치

운전제어반 인터페이스장치는 주컴퓨터에서 계산된 변수값을 운전제어반으로 전달하고, 운전원의 조작에 의해 변화된 운전제어반의 상태를 다시 주컴퓨터로 전달하는 역할을 수행한다.

운전제어반 인터페이스장치는 주컴퓨터의 수학적 모델코드를 이용해 계산된 발전소 및 벨브의 상태정보를 나타내는 60개의 LED 출력신호, 플랜트 변수값을 표시하는 24개의 BCD(Binary Coded Decimal) 출력신호, 121개의 아날로그 미터 구동신호, 그리고 320여 개의 경보 상태, 펌프상태 및 기타 발전소 상태정보들을 운전제어반으로 전달한다. 또한 운전제어반에서 운전원에 의해 조작되는 240여 개의 누름스위치 및 토글스위치의 상태를 주컴퓨터로 읽어들인다.

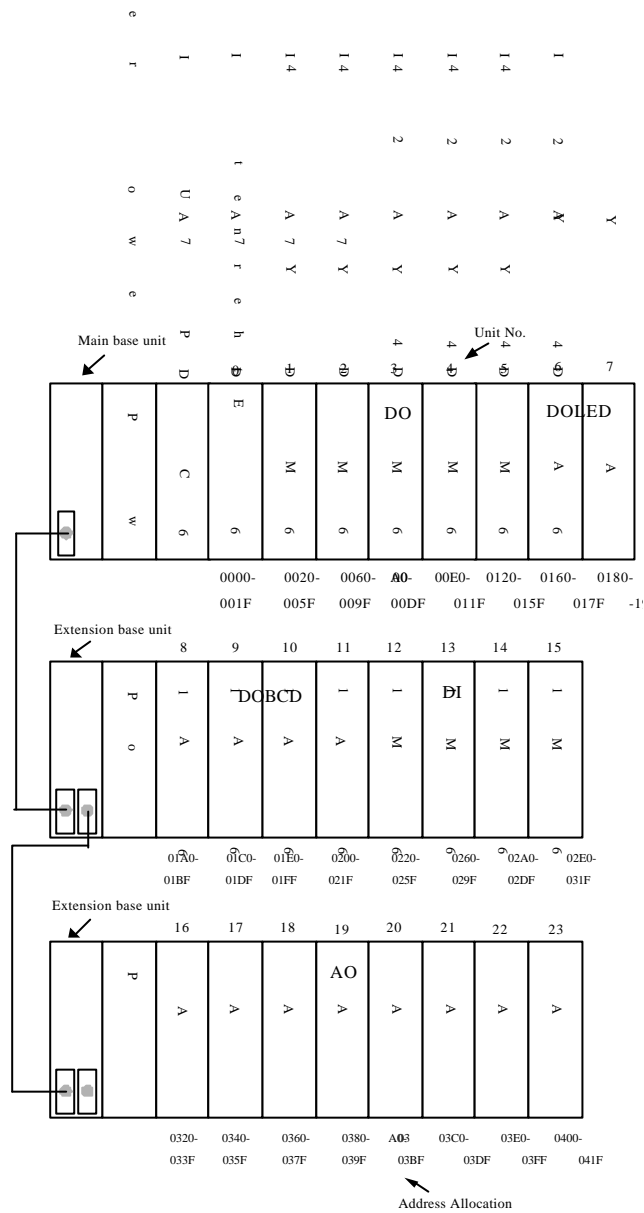
기존의 인터페이스 장치는 CNS의 운전제어반을 구동하기 위해 특별히 설계된 카드를 사용하였으나, 10여 년의 시간이 흐르며 부품이 노화되어 인터페이스 카드의 고장율이 급속히 증가하였다. 또한 운전제어반에 설치된 누름스위치 내부의 램프교체 시 램프가 파손되면 과전류가 흘러 인터페이스 카드의 부품이 손상되는 문제점이 자주 발생하였다. 이와 같이 인터페이스 카드의 노후화에 따른 문제점을 해결하고 향후 교체부품을 쉽게 확보하기 위하여 산업용 제어기기인 PLC를 사용하여 운전제어반 인터페이스장치를 설계하였으며, 램프파손 시 과전류에 의한 PLC의 손상을 막기 위해서 과전류 보호회로를 PLC의 출력단에 설치하였다.

주컴퓨터와 운전제어반을 연결하는 인터페이스 장치인 PLC는 미쯔비시의 Q4AR 시리즈⁴를 사용하였다. PLC는 3개의 베이스(base unit) 위에 설치되어 있으며, 기본 베이스(main base unit)에는 프로그램을 운용하는 CPU 모듈, 주컴퓨터와 통신하는 AJ71QE71 이더넷 인터페이스 모듈, 각종 램프를 구동하는 24V용 MY42 디지털 출력모듈, 그리고 LED를 구동하는 AY71 디지털 출력모듈이 설치되어 있다. 제1 확장 베이스(extension base unit)에는 MX42 디지털 입력모듈 및 BCD 계수를 표시하기 위한 AY71 모듈이 설치되어 있으며, 제2 확장 베이스에는 A616DAI 아날로그 출력 모듈이 설치되어 있다. 각 베이스에는 각각의 독립된 전원모듈을 설치하여 전원에는 의한 영향을 최소화할 수 있도록 설계하였다. 본 연구에서 사용한 각 모듈의 배치도는 <그림 2>와 같다.

주컴퓨터와 PLC의 AJ71QE71 이더넷 인터페이스 모듈⁵은 10BASE2 동축케이블을 사용하여 연결하고, TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol) 프로토콜⁶을 사용하여 데이터를 주고받는다. 향후 성능개선 및 기능확장을 위해 PLC 입출력 단자의 신호는 단자대(terminal block)를 통해 운전제어반의 각종 계기에 전달된다.

4. 통신

PLC와 주컴퓨터 사이의 통신은 *Reading and writing inside the PLC via a request from remote workstation* 방식⁵을 사용하였다. 이 방식을 사용하여 주컴퓨터와 PLC 간에 데이터를 전달하기 위해서는 주컴퓨터 내부에는 소켓 프로그램(socket program)이, PLC 내부에는 초기화(initial processing) 및 오픈 프로세싱(open processing)을 위한 프로그램이 필요하며, 이들 프로그램 사이의 TCP/IP 프로토콜 흐름도는 <그림 3>과 같다.

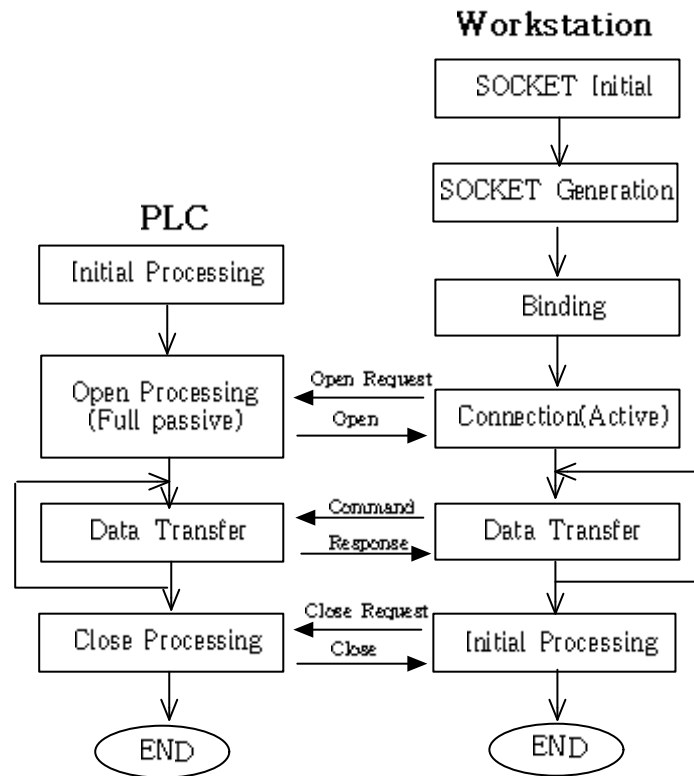


<그림 2> PLC unit configuration

PLC는 초기화 단계에서 자국의 IP 주소를 설정하고 주컴퓨터가 연결을 요청할 때까지 대기상태를 유지하고 있다. 주컴퓨터의 소켓 프로그램이 수행되면 TCP 방식으로 주컴퓨터에 소켓을 생성하고, *binding* 단계에서 생성된 소켓에 이름(address)을 부여한 후, PLC에게 연결을 요청(*connection*)하면 이때 비로소 주컴퓨터와 PLC와의 통신경로가 확립된다. 이후 주컴퓨터는 주기적으로 PLC 인터페이스 모듈에 적합한 형태의 *read/write request* 신호를 보내어, 주컴퓨터와 PLC 사이의 자료전송을 수행한다(*data transfer*).

주컴퓨터의 제어반 구동 프로그램은 PLC와 통신하기 위한 소켓 프로그램을 포함하고 있으며, 주컴퓨터에서 PLC로 변수값을 전달하기 위한 *Write to PLC* 프로그램과 PLC로부터 주컴퓨터로 운전제어반의 상태를 전달하는 *Read from PLC* 프로그램으로 구성되어 있다. *Write to PLC* 프로그램은 주컴퓨터의 공유메모리에 저장된 변수값을 읽어 이더넷 통신망을 통해 주기적으로 *write request* 신호 및 변수값을 PLC로 보낸다. PLC는 주컴퓨터로부터 받은 변수값을 PLC의 해당 출력단자(Y) 및 버퍼 메모리(D) 디바이스에 전달한다. *Read from PLC* 프로그램은 주기적으로 PLC에 *read request* 신호를 보내고, 이 신호에 따라 PLC는 운전원제어반의 조작상태를 *Read from PLC* 프로그램으로 직접 전달한다. *Write to PLC* 프로그램과 *Read from PLC* 프로그램은 각각 1초에 4번씩 주기적으로 수행된다.

주컴퓨터에서 계산된 밸브의 상태정보, 아날로그 미터 구동신호, 경보상태, 펌프상태 및 발전소 상태정보들을 나타내는 변수값은 *Write to PLC* 프로그램에 의해 PLC의 해당 출력 단자(Y)에 직접 전달된다. 그러나 플랜트의 십진변수값을 표시하는 BCD(Binary Coded Decimal) 신호는 다중화(multiplex)하여 PLC의 버퍼 메모리(D) 디바이스에 전달한 후 PLC 내부 프로그램으로 деко딩(decoding)하여 해당 BCD를 구동한다.



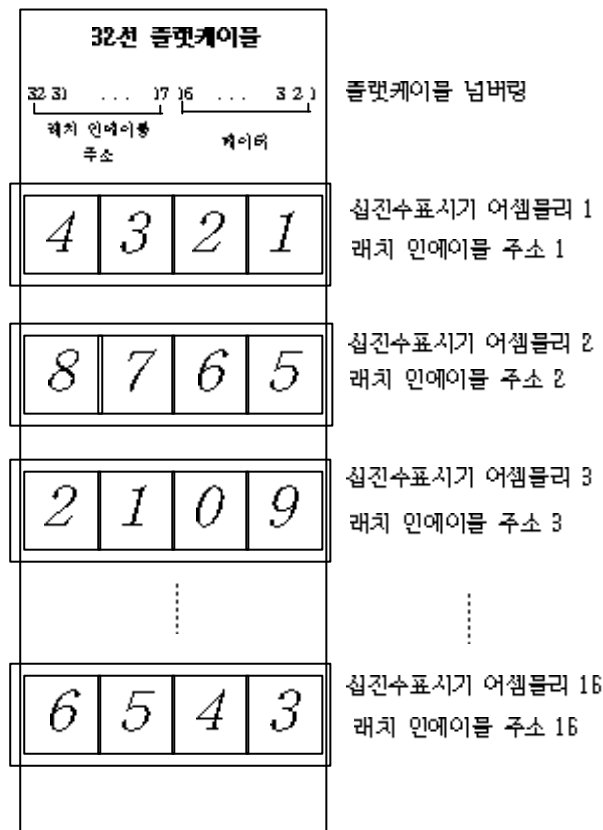
<그림 3> TCP/IP 프로그램 흐름도

5. 십진수표시기

CNS는 컴퓨터에서 계산된 십진(BCD)변수값을 운전제어반에 표시하기 위해서 래치(latch)기능을 갖는 4*7 도트 매트릭스(dot matrix) 타입의 십진수표시기를 사용하고 있다. 4 자리 십진변수값 「0000」 - 「9999」를 십진수표시기에 나타내기 위해서는 16개의 데이터 신호 및 4개의 래치 인에이블(latch enable)신호가 필요하며, 이 신호를 인터페이스하기 위해 20개의 PLC 출력단자가 필요하다. 따라서 표시할 십진변수값이 많아지면 필요한 PLC 출력단자의 수가 증가하며 비용이 많이 소요되는 단점이 있다. 그러므로 본 연구에서는 십진수표시기를 구동하는 PLC 출력단자의 수를 줄이기 위하여, 십진수표시기에 나타낼 십진변수값을 주컴퓨터에서 다중화(multiplex)하여 PLC로 전송하고 래치 인에이블 신호를 사용하여 십진수표시기를 선택할 수 있도록 설계하였다.

<그림 4>는 다중화된 십진수표시기 어셈블리(assembly)의 연결도 이다. 십진수표시기 4

개를 기판(PCB) 위에 설치하여 십진수표시기 어셈블리를 만들고 인에이블(latch enable) 신호를 공통선으로 묶어서, 한 개의 주소신호(address)로서 한 개의 십진수표시기 어셈블리가 선택될 수 있도록 구성하였다. 또한 16개의 십진수표시기 어셈블리를 32선 플랫케이블(flat cable)에 연결하고, 플랫케이블의 16선은 4개의 십진수표시기에 나타낼 「십진수 데이터」 신호의 전송에 할당하며, 남은 16선은 16개 어셈블리를 선택하는 「래치 인에이블」 신호로 사용한다. 이와 같이 16개의 십진수표시기 어셈블리를 연결한 플랫케이블을 32개의 PLC 디지털 출력단자에 연결하므로, 오직 32개의 PLC 출력단자 만을 사용하여 16개의 십진수표시기 어셈블리를 구동할 수 있다.

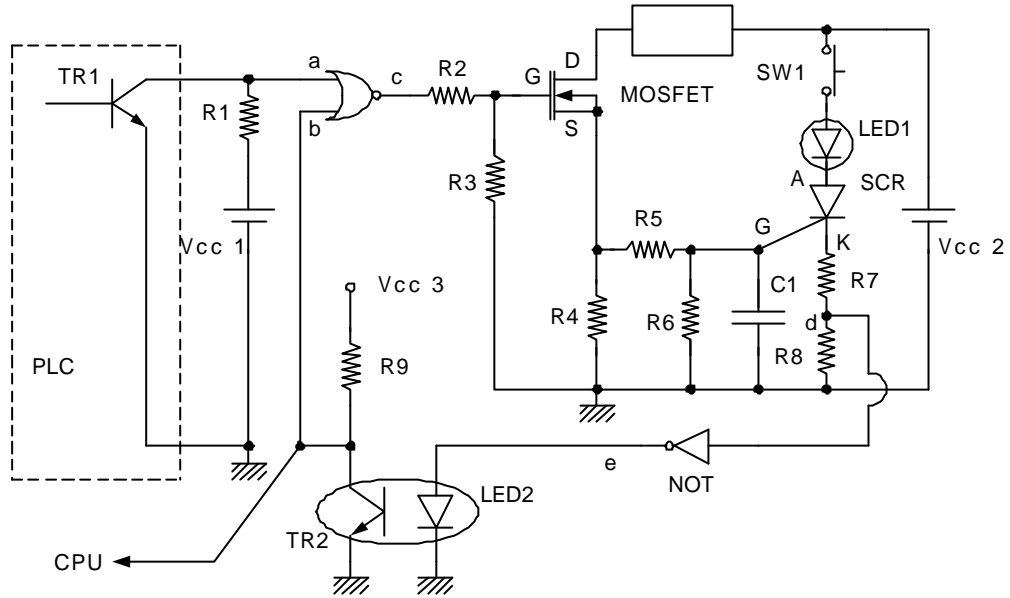


<그림 4> 십진수표시기 어셈블리 연결도

6. PLC 출력단 보호회로

운전제어반에는 발전소의 각종 기기를 제어하기 위한 여러 종류의 누름스위치들이 설치되어 있다. 운전원이 누름스วิต치를 누르면 스위치의 상태가 PLC를 통해 주컴퓨터에 전달되며, 또한 해당 기기의 현재상태를 나타내기 위하여 누름스위치 내부에 있는 램프를 점등한다. 이 누름스위치 내부에 있는 램프가 고장나서 이를 교체할 때 가끔씩 램프가 파손되는 경우가 발생하기도 하며, 누름스위치 내부의 램프가 파손되면 과전류가 흐르게되며 이로 인해 PLC의 해당 출력단자가 손상된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 <그림 5>와 같이 과전류 보호회로를 PLC의 출력단에 설치하였다.

램프가 파손되어 부하저항이 0이 되면 전원 Vcc2의 대부분 전압이 저항 R4 양단에 인가 되고 그 결과 SCR이 'ON'된다. SCR을 통해 전류가 흐르면 포토커플러는 'OFF'가 되고 PLC 출력단의 NOR 게이트 입력 b는 로직레벨 로(Low)를 나타낸다. 그 결과 NOR 게이트의 출력은 항상 로직레벨 로(Low)를 유지하여 과전류의 흐름을 방지하며 PLC 출력단자를 보호한다.



<그림 5> 과전류 보호회로

7. 결론

당 연구소는 1980년도 후반에 CNS를 개발하여 그 동안 교육훈련에 활용하여 왔다. 그러나 인터페이스 카드의 노화 및 유지보수 시 인터페이스 카드의 파괴 등과 같은 여러 문제점이 발생하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 CNS 개선연구를 수행하였으며, 그 결과 운전제어반을 제외한 주컴퓨터, 인터페이스 장치, 그래픽시스템, PLC 보호회로 등 모든 부분을 새롭게 개발하여 설치하였다. 특히 인터페이스 장치는 산업용 기기인 PLC를 사용하였으므로 향후 유지보수가 용이하며 부품의 확보가 쉽다. 또한 과전류 보호회로를 설치하여 램프의 파손에 의한 PLC의 손상을 예방할 수 있다. 현재 CNS는 웨스팅하우스 3 루프(loop) 900MW PWR을 기본으로 조정작업을 수행하고 있으며, 2000년부터 실제 교육훈련에 활용할 예정이다.

참고문헌

1. 이동영외, "교육훈련용 Nuclear Simulator 개발(I)", 한국원자력학회 추계 학술발표회, 1988년 10월.

2. 이동영외, "교육훈련용 Nuclear Simulator 개발(II)", 한국원자력학회 추계학술발표회, 1988년 10월.
3. 한국원자력연구소, 교육훈련용 Nuclear Simulator 개발, KAERI/RR-734/88, 1988.
4. Mitsubishi Programmable Controller Q4ARCPU User's Manual, 1996.
5. Mitsubishi Programmable Controller QnA Ethernet Interface Module User's Manual, 1997.
6. Stevens, "UNIX Network Programming", 1995.