2001 춘계 학술발표회 논문집

한국원자력학회

하나로의 제어 컴퓨터 개선

Upgrade Plan for HANARO Control Computer System

김민진, 김영기, 정환성, 최영산, 우종섭, 전병진

한국원자력연구소

대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

하나로의 원자로 제어에 사용되고 있는 마이크로 프로세서를 기반으로 하는 디지털 컨트롤 시스템인 멀티루프 컨트롤러(Multi-Loop Controller)는 80년대 초에 시장에 등장하여 석유 화학, 제지 공장 및 연구용 원자로 등의 제어 계통에 적용되었다. 그러나 지금은 생산이 중단되어 부품 조달 및 보수에 어려움을 겪고있다. 하나로의 수명 기간 동안 제작사에 대한 기술적 의존도를 줄이고 성능을 향상시키기 위하여 기존 제어 컴퓨터 시스템을 개조할 필요가 있다. 이 계획은 몇 개의 단계로 추진될 것이며 이미 일부는 진행 중에 있다. 여기서는 이러한 과정을 추진하기 위한 계획을 설명하고 새로운 시스템 개발에 필요한 엔지니어링 업무에 대하여 기술한다.

Abstract

A microprocessor based digital control system, the Multi-Loop Controller (MLC), which was chosen to control HANARO, was introduced to the market in early ‘80s and it had been used to control petrochemical plant, paper mill and Slowpoke reactor in Canada. Due to the development in computer technology, it has become so outdated model and the production of this model was discontinued a few years ago. Hence difficulty in acquiring the spare parts is expected. To achieve stable reactor control during its lifetime and to avoid possible technical dependency to the manufacturer, a long-term replacement plan for HANARO control computer system is on its way. The plan will include a few steps in its process. This paper briefly introduces the methods of implementation of the process and discusses the engineering activities of the plan.

1. 서론

하나로의 출력제어와 데이터 획득 목적으로 설계 및 검증 과정을 거친 제어 컴퓨터 시스템이 설치되어 1994년에 시운전을 마쳤고, 그 후 약 7년 간 별다른 문제없이 운전되고 있다. 그러나 이 시스템은 이미 구형이 되어 유지 보수가 어려울 뿐 아니라 운전원이 사용하기에도 불편한 점이 많다. CRT 디스플레이 화면의 기능 또한 제한이 많아 PC에서 사용되는 윈도우 기반의 프로그램이 보여주는 다양한 기능을 제공하지 못하고 있다. 그 동안 예비품이 이미 소진된 CRT는 국산 모니터로 대체하였으나 주사 주파수가 30 kHz 이하인 모니터는 더 이상 생산이 되지 않고 있다. 8.5 인치 디스크 드라이브는 다른 컴퓨터에서는 사용하지 않는 구형으로 여기에 저장된 데이터는 다른 곳에서는 읽을 수가 없다. 또한 주 컴퓨터의 부품도 노후화되고 있으며 부품 생산의 중단으로 필요한 예비품의 구입이 더욱 어려워지고 있다. 이러한 이유로 운전 데이터 저장 기능 및 분석 기능이 향상된 운전원 웍스테이션(Operator Workstation)으로의 개선이 요구되고 있다[1].

현재의 제어 컴퓨터 시스템을 장기적으로 개선하기 위한 계획이 수립되어 그 중 가장 시급한 운전원 웍스테이션의 개선이 진행되고 있다. 구형 CRT 스테이션은 운영 체제로서 윈도우 NT 4.0이 탑재된 PC 급의 웍스테이션으로 대체될 것이며, 새로운 운전원 웍스테이션은 기존의 데이터 저장 및 분석 상의 문제점을 해결해 줄 것이다. 장기 계획으로 PC를 기반으로 하는 제어 시스템으로 단계적으로 교체할 계획을 세우고 있다. 첫째 단계로서 2000년 초 시뮬레이터 개발을 시작하였다. 이 시뮬레이터는 운전원의 교육 및 시스템 개발에 사용될 것이며 전체 프로젝트의 주요한 부분을 구성할 것인데, 현재는 시스템 모델링, 사용자 인터페이스 설계, 제어 알고리즘의 구현 등이 진행되고 있다. 둘째 단계로는 신호의 입출력(I/O)이 가능한 다이나믹 테스트 베드(dynamic test bed)를 개발하는 것이다. 덩 단계에서는 개발한 시뮬레이터와 상호 연결하여 소프트웨어를 검증하게 될 것이다. 마지막 단계에서는 PC 기반의 원자로 제어 시스템을 현장에 적용하는 것이다. 이 모든 과정은 약 5년 간에 걸쳐서 수행될 예정이다. 퍼스널 컴퓨터의 하드웨어 및 소프트웨어의 고신뢰도와 네트워킹 기술은 PC 기반 원자로 제어 시스템의 성공에 필수적인 전제 조건이다.

2. 하나로 제어 컴퓨터 시스템

하나로의 계측 제어 시스템은 원자로 제어 계통(Reactor Regulation System)과 원자로 보호 계통(Reactor Protection System)으로 크게 구분된다. 원자로 보호 계통(RPS)은 고전적인 릴레이 회로에 의한 보호 회로로서 원자로의 보호 계통 신호가 설정치를 넘어서는 경우 원자로를 정지시킨다. 원자로 제어 계통(RRS)은 멀티 루프 컨트롤러(Multi-Loop Controller: MLC)라고 부르는 디지털 컴퓨터를 사용하여 원자로의 출력을 제어한다. 설계 초기 단계에서 원자로의 제어 시스템과 공정 계통 제어 시스템에 마이크로 프로세서 기반의

디지털 제어 시스템의 적용을 결정하였다. 캐나다의 Moore 사에서 제작된 MLC가 선정되었는데 이는 실시간으로 동작하는 공정 제어 컴퓨터로서 내장된 제어 로직 및 연산 기능 라이브러리를 사용하여 설정하게 되어있다. 시스템은 3 대의 MLC로 구성되었는데 MLC#1은 원자로 제어용, MLC#2는 주요한 프로세스 제어용, MLC#3는 보조 계통 제어용으로 구성되어 있다[2]. MLC 계통의 하드웨어의 구성은 그림 1과 같다.

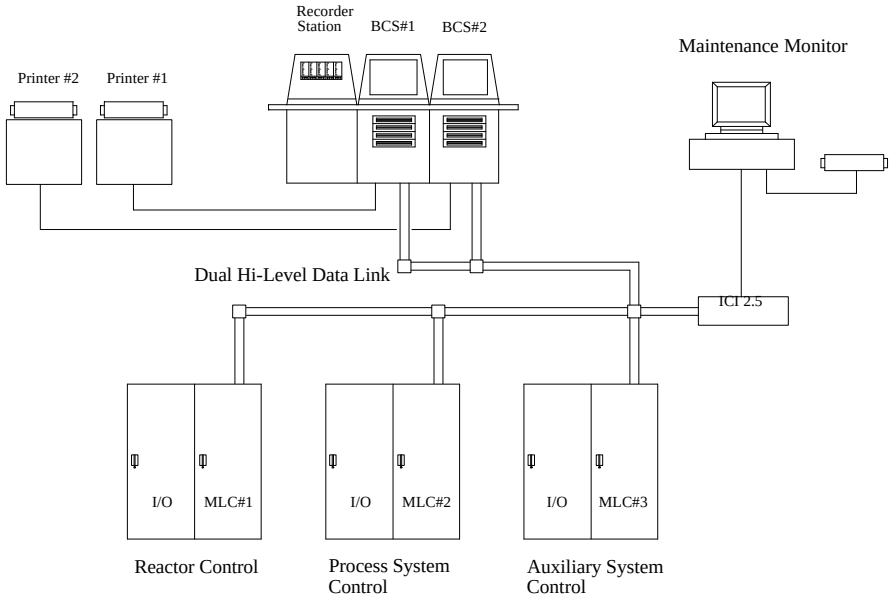

그림 1. 하나로 제어 컴퓨터 시스템의 구성도

운전원은 운전원 워스테이션인 BCS(Basic CRT Station)를 통해 MLC에 제어 신호를 보내고 받는다. 기종을 선택할 때 가장 중요하게 고려한 것은 고장 방지(fault-tolerant) 설계였다. MLC는 내부에 설치된 모든 하드웨어가 2중 구조로 되어 있어, 주 제어 컨트롤러가 고장 나는 경우 보조 제어 컨트롤러가 즉시 제어 기능을 담당하여 제어 프로세스에 충격 없이 전환되도록 설계되어 있다. MLC의 매니저 컴퓨터는 자기 진단 기능을 담당하며 시스템 내의 여러 종류의 마이크로 컴퓨터들의 고장 발생 여부를 항상 감시하고 있다. 매니저 컴퓨터는 보조 제어 컨트롤러에 이러한 정보를 계속 제공하여 주 제어 컨트롤러에 고장이 발생하는 순간 보조 제어 컨트롤러가 즉시 제어 기능을 인수하도록 한다.

MLC는 30개의 내장된 기본 알고리즘을 이용하여 제어 기능을 프로그램할 수 있도록 되어있다. 내장된 알고리즘은 각종 프로세스 제어에 이용할 수 있는 프로시저나 함수 등으로 구성되어 있으며 블록이라는 소프트웨어적 공간에 이 알고리즘을 채워 넣어 프로그램을 완성한다. 최대 128개의 블록을 사용하여 프로그램할 수 있고 각 블록의 입출력을 서로 연결하여 프로그램을 유연하고 다양하게 작성할 수 있다.

BCS는 이 디지털 컴퓨터 시스템의 휴먼 인터페이스(Human Interface)로서 운전원과

엔지니어에게 필요한 운전 및 시스템 제어를 위한 정보를 제공하며 시스템을 제어하기 위한 명령을 MLC로 출력한다. 각 BCS는 19인치 칼라 모니터, 전용 키보드, 멀티 프로세싱 마이크로 컴퓨터 센터(multi-processing microcomputer center)와 2 대의 8.5 인치 디스크 드라이브와 5 세트의 3 펜 레코더로 구성되어 있다.

3. 운전 경험 및 현황

MLC는 제어 알고리즘 기능의 검증을 끝낸 후. 1994년 2월부터 원자로 운전에 적용되고 있으며 그때부터 모든 종류의 MLC 하드웨어 및 소프트웨어의 비정상 상태가 운영 담당 부서에 의해 기록되고 있다. 표 1에서 14건의 고장 관련 기록 중 10건이 BCS에 관련된 기록으로서, 원자로 제어를 위한 인터페이스인 모니터, 디스크 드라이브 및 키보드에 대한 고장으로 심각한 비정상 상태가 발생된 적은 없다. 이들 부품은 현재 생산이 중단되어 더 이상 구입할 수 없는 상황으로 신속히 대책을 세울 필요가 있다.

BCS의 고장과 비교하여 MLC 관련 고장은 빈도가 아주 낮았으며 신기종으로의 개선이 그다지 시급하지 않다. 그러나 부품 생산은 이미 중단되어 있어 MLC의 수명 기간 동안 사용할 충분한 예비 부품을 확보하는데 문제가 있다.

위에서 언급한 모든 상황을 고려하여, 하나로의 제어 컴퓨터 시스템을 개조하는 장단기 계획이 수립되었다. 단기 계획으로서는 우선 BCS를 신기종으로 대체하는 것이다. 신기종을 설치하면 데이터 저장 및 디스플레이에 관련된 문제를 해결하고 원자로 운전의 효율을 최대한 높여줄 것으로 기대된다. 앞에서 이미 언급한 바와 같이, 기존 시스템과 호환성 있는 신기종을 구입하여야 하므로 기술적으로 제작사에 의존해야 하는 것을 완전히 피할 수는 없다. 따라서 장기 계획으로 MLC를 PC 기반의 제어 컴퓨터 시스템으로 전면 개발할 예정이다.

표 1. 제어 컴퓨터 시스템의 비정상 사례

번호	일자	고장 원인	조치 사항
1	96. 11	MLC#2 Rack A 에서 5V DC 전원 고장으로 Rack B 전환됨	고장난 전원 예비품으로 교체.
2	97. 3	CRT 모니터 고장으로 인한 BCS#1 부팅 안됨	모니터 예비품으로 교체
3	97. 7	BCS#2 의 그래픽 표시 비정상 (비디오 보드 고장)	예비품으로 교체 고장난 보드는 제조사에서 수리
4	97. 8	MLC#1 Rack B 의 5V DC 전원 고장(Rack A 로 전환되며 원자로 정지)	국내 제품으로 전원 교체
5	97. 11	BCS#1 키보드 고장(사용 빈도가 높은 키가 눌려진 위치에 고착됨)	예비품으로 교체
6	97. 11	레코더의 D/A 보드 고장	예비품으로 교체(예비품 소진됨)
7	98. 3	BCS#1 디스플레이 불안정(CRT 모니터 고장)	일반 PC monitor 로 교체했으나 스캔 주파수가 낮은 제품 추가 구입 불가
8	98. 5	MLC#3, Rack B 아날로그 출력 보드 고장으로 Rack A 로 전환	예비품으로 교체하고 AO 보드 추가 구입
9	98. 6	MLC#1, Rack A 의 AI 보드 고장	예비품으로 교체하고 AI 보드 추가 구매
10	98. 12	BCS#2 디스크 드라이브 고장	예비품으로 교체
11	99. 1	BCS 디스크 드라이브 고장	예비품으로 교체하고 2 대 추가 구입
12	00. 11	BCS 차트 레코더 고장 (15 펜 중 4 펜 사용불능)	예비품 없음(근간에 신형 레코더로 교체 예정)

4. 개조 계획

4.1 기존 운전원 웍스테이션의 개선

운전원 웍스테이션의 개선은 단기 계획의 일환으로 진행 중이다. 기술 사양서에 하드웨어와 소프트웨어의 규모를 기술하였고 현재는 제작사와 하드웨어 공급 및 소프트웨어의 프로그래밍을 위한 기술 검토가 완료되어 구매를 추진하고 있다. 제작사에서 일괄적으로 상용 프로세스 제어 전용 소프트웨어인 프로세스스위트(ProcessSuite™)의 프로그램을 수행할 것인데 디스플레이 및 제어창의 인터페이스 화면 구성이 기존의 BCS와 동일하여 시스템 교체에 따른 운전원들의 혼란을 최소화 시킬 수 있다[3].

또한 과거의 히스토리 데이터(history data) 및 실시간 운전 자료의 저장 및 분석이 편리하며 일반 PC로 자료를 이송하여 저장 및 분석도 가능하게 될 것이다.

새로운 시스템은 2 세트의 PC급 웍스테이션으로 구성되어 2대의 CRT와 함께 기존의 하이 레벨 데이터 링크(High Level Data Link)에 연결될 것이며 그림 2와 같다.

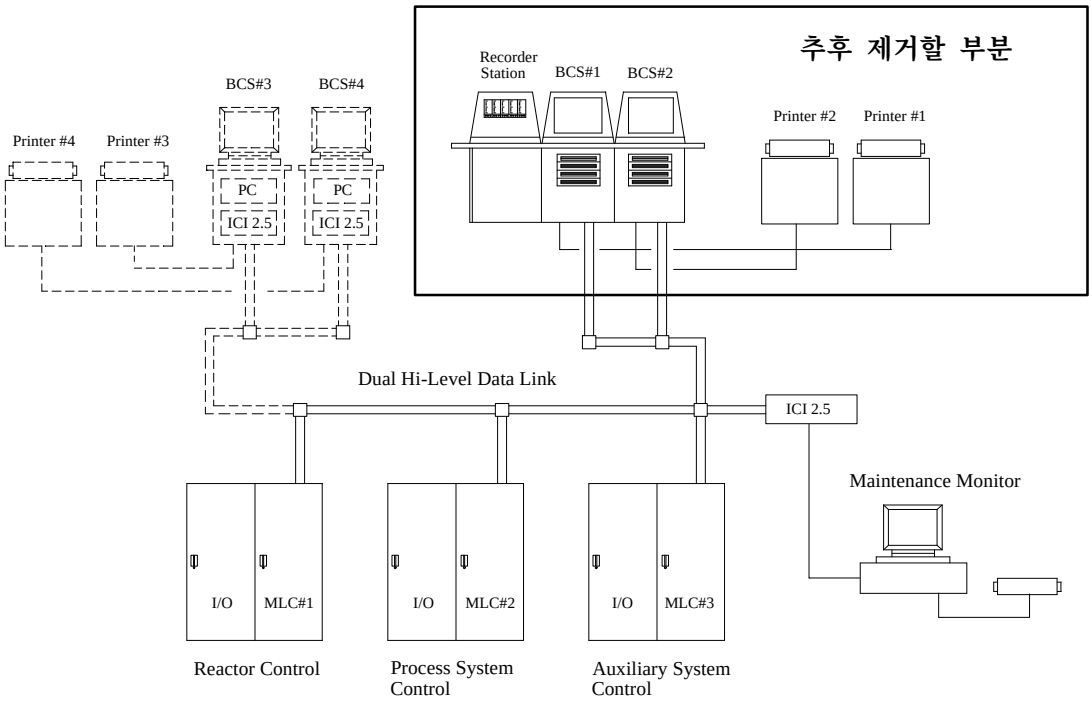

그림 2. 새로운 운전원 웍스테이션 구성도

새로운 운전원 웍스테이션은 기존의 BCS 스테이션과 같이 병렬로 설치되어 약 1년에 걸쳐 여러 가지 시험이 수행될 예정이다. 이 병렬 운전 기간은 1년 정도 계속될 것이며 운전원에게 새로운 시스템과 익숙해질 수 있는 시간과 충분한 실험 자료를 수집할 수 있는 시간을 제공할 것이다.

4.2 엔지니어링 시뮬레이터

장기 계획의 첫 단계로서 2000년부터 연구소 자체 과제로 “PC 기반의 엔지니어링 시뮬레이터”를 수행하고 있다. 이 시뮬레이터는 운전원 훈련과 시스템의 성능 검증을 위한 중요한 도구이다. 하나로의 엔지니어링 시뮬레이터는 장기 계획의 최종 목표인 PC 기반의 원자로 제어 시스템의 개발에서 중요한 역할을 담당할 것이다.

시뮬레이터는 크게 다음과 같이 구성된다[4].

1. 노심 동특성
2. 열전달 모델
3. 수력학 모델
4. 계측기 모델
5. 반응도 모델
6. 디지털 제어기 모델

7. 원자로 보호계통

수학적 모델은 하나로 설계 시에 개발된 시뮬레이션 코드인 KMRRSIM[4]에서 검증된 것을 사용하고 있다. 시뮬레이션 프로그램 개발 언어는 객체 지향 언어(object-oriented programming language)인 델파이 5.0을 사용하는 것을 원칙으로 하였다. 시뮬레이션 프로그램은 MS Windows™ 환경에서 실행되며 그래픽 유저 인터페이스(graphic user interface)로 구성될 것이다[5]. 조만간 시뮬레이터에 하나로의 주요 프로세스 계통의 동적 특성을 포함시킴으로써 좀더 실제 플랜트 상황에 가까운 독립된 시스템이 구현될 것이다. 엔지니어링 시뮬레이터는 다음과 같은 장기 계획의 실행을 위한 기초가 될 것이다.

4.3. 다이나믹 테스트 베드의 개발

다이나믹 테스트 베드(DTB: Dynamic Test Bed)는 하나로를 실시간으로 시뮬레이션 하기 위한 목적으로 개발된다. DTB는 첫 단계에서 제작되는 엔지니어링 시뮬레이터와 현장의

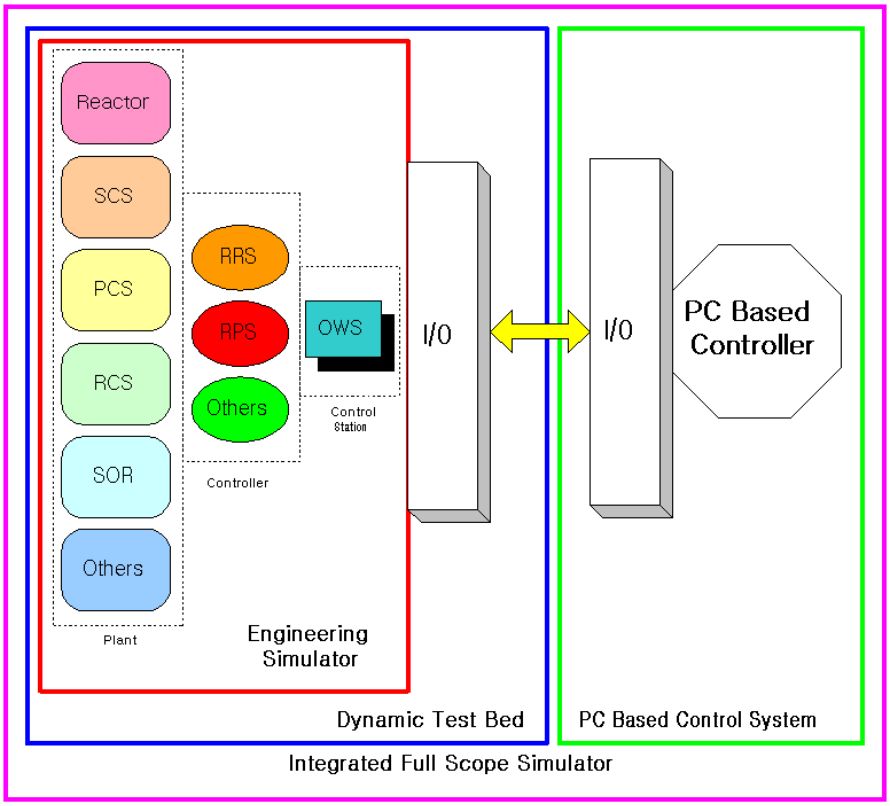

그림 3. 전 범위 시뮬레이터의 블록 다이어그램

측정 계기들을 모의하는 입출력 모듈로 구성된다. 그림 3은 전 범위 시뮬레이터(full scope simulator)를 나타내고 있다.

엔지니어링 시뮬레이터의 소프트웨어는 입출력 변수의 동적 거동을 계산하고 DTB의

입출력 모듈로 적절한 공학적 단위(engineering unit)를 추가하여 결과를 내보낸다. DTB의 입출력 인터페이스(I/O Interface)는 입력 신호를 생산하여 제어 컴퓨터로 보내고 제어 컴퓨터의 출력을 받아들인다. 이 제어 컴퓨터에서는 제어 알고리즘이 시험된다. 각 DTB의 입출력 점은 제어 컴퓨터의 입출력 점과 연결되며 스케일 및 단위는 양쪽이 같아야 한다. 또한 DTB는 표 2에 표시한 기존 하나로의 제어 컴퓨터에 입출력되는 I/O 신호들을 완전히 수용하여야 한다.

표 2. 하나로 제어 컴퓨터의 입출력 신호 현황

	Analog Inputs		Analog Outputs	Contact Inputs	Contact Outputs	Discrete Outputs	TOTAL
	mA DC	RTD					
MLC#1	21	1	10	47	4	40	123
MLC#2	30	34	4	142	21		231
MLC#3	32	21	11	168	10		242
TOTAL	83	56	25	357	35		596

4.4 PC 기반의 제어 시스템 개발

하나로에 사용되는 모든 원자로 제어 알고리즘은 이미 검증되었고 정상적으로 사용되고 있으므로 새로운 제어 개념이나 전략을 개발할 필요는 없다. 다시 말해 PC 기반의 제어 컴퓨터 시스템을 개발하는데 요구되는 주요 작업은 프로그램 코딩 작업이 될 것이다. 프로그램 언어는 델파이 또는 비주얼 C++ 등이 예상되고 있다. 그러나 프로그램 코딩 작업보다는 시스템의 성능을 시험하는 것이 더 중요할 것이다. I/O 모듈이 추가된 DTB가 이 성능 시험을 수행하는데 필요하다. 그림 3의 전 범위 시뮬레이터를 사용하여 PC 기반의 제어 컴퓨터 시스템에 요구되는 원자로 제어 기능을 검증할 수 있을 것이다.

이 시스템 개발에서 주된 특징은 하드웨어 구조를 이중으로 구성하는 것이다. 이 개념은 시스템 하드웨어를 포함하여 네트웍 버스 구조에도 적용될 것이다.

만일 주 제어 컨트롤러가 고장이 나면 보조 컨트롤러가 운전원의 개입 없이도 바로 제어 기능을 할 수 있어야 한다. 그림 4는 PC 기반의 제어 컴퓨터 시스템의 구조를 보여준다.

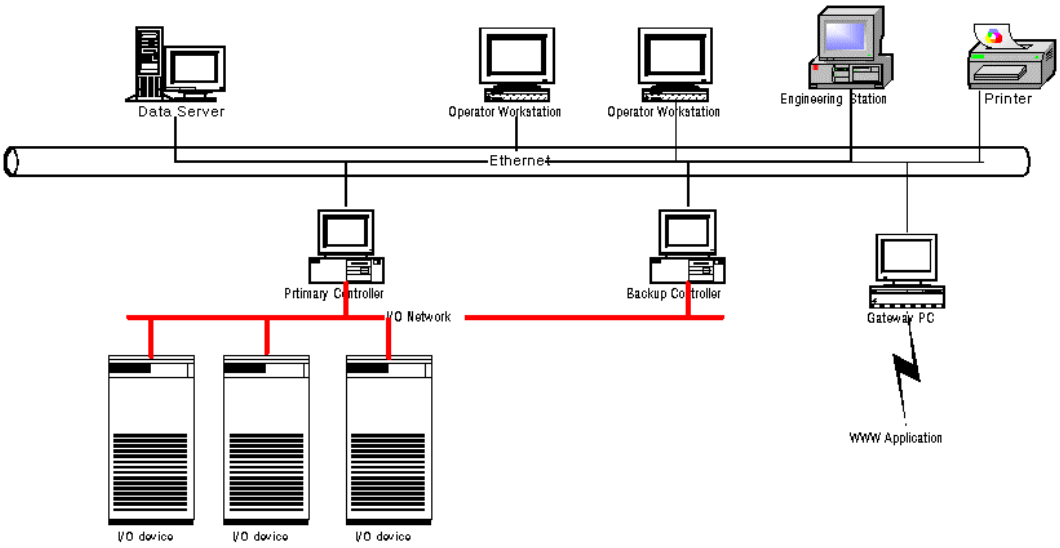

그림 4. PC 기반의 제어 컴퓨터 시스템의 구조

5. 결론 및 향후 계획

하나로의 제어 컴퓨터 시스템은 약 20년 전에 개발된 제품으로 지금은 이미 생산이 중단되어 시스템 운전에 필요한 예비 부품을 확보하는데 어려움이 제기되고 있다. 이제 기존의 컴퓨터 시스템을 신 기종, 즉 특정한 제작사나 상용 소프트웨어에 종속되지 않는 PC 기반의 원자로 제어 시스템으로 교체하는 것이 당면 과제이다.

단기 계획으로서는 노후화된 운전원 웍스테이션을 개선하여 예비 부품 부족으로 인해 원자로 운전에 어떤 지장도 발생하지 않도록 하며 운전 데이터의 저장 및 분석이 용이하도록 대비할 것이다. 이를 위해 기존 시스템의 제작사와 접촉하여 Windows NT™ 운영 체제에서 실행되는 새로운 PC 급의 운전원 웍스테이션 도입을 추진하고 있다. 이것이 도입되면 약 1년간의 소프트웨어 기능 시험을 통하여 성능을 검증한 후 노후된 시스템은 제거할 계획이다.

장기 계획의 첫 단계로서 실시간 엔지니어링 시뮬레이터를 자체 기술로 개발 중인데, 이 엔지니어링 시뮬레이터는 이미 1차 년도에 수학적 모델과 시제품을 구축하였고 2차 년도에는 보조 계통 구현, 시나리오 개발 및 사용자 인터페이스 구현 등의 프로그램 작업과 제어실 환경과 유사한 분산 시스템을 구축하여 성능을 검증할 계획이다.

궁극적으로 엔지니어링 시뮬레이터는 입출력 모듈이 추가되어 DTB로 개발될 것이며 최종 목표인 PC 기반의 원자로 제어 시스템을 개발하기 위한 확인 및 검증 도구가 될 것이다.

참고 문헌

[1] Y. K. Kim, “Application of Direct Digital Control System to Control and Operation of the HANARO Research Reactor” Presented at IAEA-TCM, Pitesti, Romania, Oct. 19 – 21, 1998

[2] Design Manual, “Programmable Controller System”, KM-664-DM-001, 1990

[3] M.J.Kim, “Technical Specification – PrecessSuite™ Vision Development Package for BCS Upgrade”, HAN-RS-DD-SP-00-003, KAERI, Sep.18, 2000

[4] H. S. Jung et al. “Development of HANARO Engineering Simulator(I)” Research Report, KAERI/RR-2092/2000, KAERI, Jan. 2001.

[5] H. S. Jung, P. H. Seong, “Development of A Highly Modularized Object Oriented Real Time Engineering Simulator for the HNARO Research Reactor, *Proceeding of Korean Nuclear Society, Autumn meeting, Taejon Korea, Oct. 2000.*