



고리 1호기 계측 제어 및 소내 전산기 개선 공사

이 종 태

한전 고리원자력본부 제1발전소 계전부장



98 년은 국내 원전 사상 최초로 원전 공정 보호 계통에 디지털을 적용한 고리 1호기 계측 제어 설비 개선 공사를 성공적으로 수행함으로써 원전 계측 제어 분야에 새로운 전기를 마련한 아주 의미있는 한 해였다.

국내에서 가장 오래된 고리 1호기는 60~70년대의 기술로 건설된 원전으로서, 보호·제어 계통에는 아날로그 모듈이, 소내 전산기 계통은 웨스팅하우스사의 PRODAC-2500이 설치되

어 있었다.

발전소 운전 연수가 20년 이상 경과함에 따라, 설비의 전반적인 노후화로 인한 마모 고장의 증가, 예비품 생산 중단, 정비 비용의 증가 등 여러 문제점들이 점차 대두되었으며, 이를 해결하기 위해서 계측 제어 설비에 대한 전반적인 개선이 절실히 요구되었다.

고리 1호기 계측 제어 설비 개선 공사가 국내 최초로 시도된다는 점을 감안하여 수 차례의 타당성 조사와 사전 기술 검토 및 성공 가능성 등을 면밀히 검토하였고, 그 결과 한국전력기술(주)를 주계약자로 선정, 일괄 도급 방식으로 계약을 체결하여 국내 기술력으로 공사를 수행하였다.

이로써 국내 최초의 원자력발전소인 고리 1호기의 안전성과 신뢰성을 제고하고, 외화 절감은 물론 후속기에 기술을 전파하고 경험을 축적하는 계기를 마련하였다.

공사 개요

1. 사전 기술 검토

사전 기술 검토는 96년 11월에 시작되어 97년 1월에 보고서가 제출되었다.

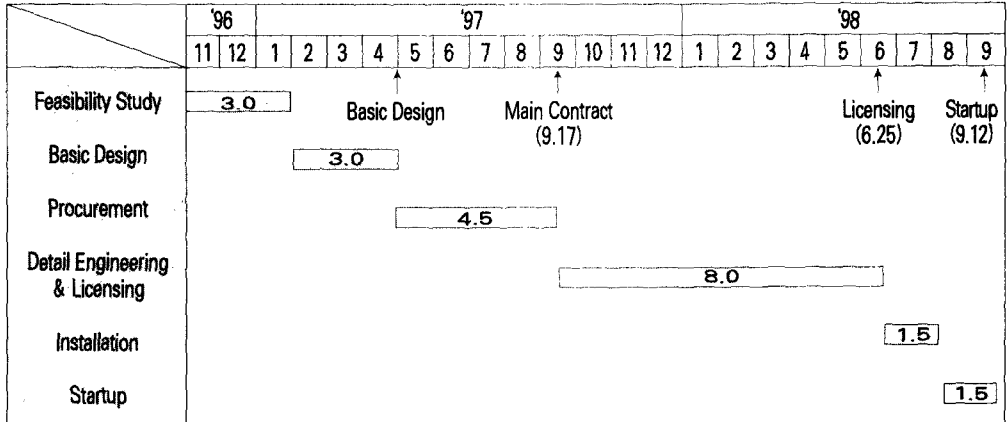
이 보고서에는 각각의 선택 사양에 따른 비용과 공사 공정을 포함한 여러 개의 방안이 제출되었다.

2. 사업 관리 전반

축박한 일정과 복잡한 구조의 조직, 엄격한 사업 관리는 성공적인 사업 추진에 회의적이었으나, 완벽한 사업 관리를 통해 예산, 공정, 자료 및 도면, 기술적인 상호 관계, 품질 등의 예기치 못한 많은 문제점들을 사전에 도출하여 적절히 조절하였다.

3. 기초 설계

사전 기술 검토 보고서 평가 결과, 가장 바람직한 방안은 계획 예방 정



(그림 1) 공사 진행도

비 기간 내에 개선 공사를 완료하는 것이었으며, 이를 위한 기초 설계 보고서가 97년 4월에 나왔다.

4. 구매

공정 제어 계통은 웨스팅하우스사·폭스보로사, 그리고 소내 전산기는 웨스팅하우스사·우리기술(주)·미쓰비시사·폭스보로사에 각각 입찰 제안서가 발송되었으며, 기술적 평가와 협상 결과, 폭스보로사와 우리기술(주)(한국 벤처 기업)가 적격 업체로 선정되어 97년 9월 17일 곧바로 구매 계약이 체결되었다.

5. 상세 설계

외국의 유사한 사례를 비교·검토한 결과, 공정 제어 계통과 보호 계통

의 설비 개선 공사를 단계적으로 분리 시공하는 것보다 소내 전산기를 포함한 모든 계통을 동시 시공하는 것이 유리하였고, 또한 예산 절감과 통합 시스템의 신뢰성을 제고할 수 있었다.

6. 인허가 지원

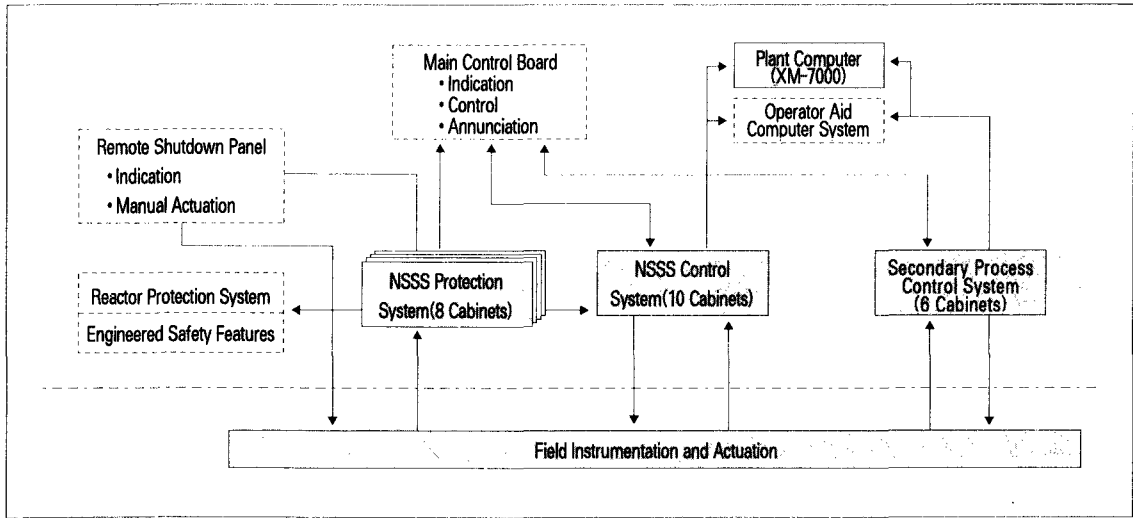
보호 설비는 국내 원전 사상 최초로 적용되는 디지털 기기로서 10CFR50, 59에 따른 엄격한 인허가 과정을 거쳤다.

주요 인허가 사항은 FSAR 개정, 다양성과 심층 분석(EPRI TR-102348, NUREG/CR-6303)에 의한 방호 개념, 불확실성과 설정치 계산(ISA-S67, 04), EMI/RFI 검증(EPRI TR-102323), 소프트웨어 보증과 타당성(RG 1, 152) 그리고 제작자 성능 시험중의 인허가 감사 활동 등이다.

개정된 FSAR은 한국원자력안전

(표) 공정 제어 계통 입찰 비교

	Item	Before	After
Control and Protection System	Supplier	Foxboro	Foxboro
	Equipment	H-line	SPEC200/SPEC200 Micro
	Module	Analog	Analog/Digital
	Accuracy	0.5%	0.5/0.1%
	Cabinets	35	24
In-Plant Monitoring System	Supplier	Westinghouse	Woorigisool
	Equipment	W2500	XM-7000
	Signals	898	2080
	System	Single	Redundant
	CPU	16bit	64bit



〈그림 2〉 고리 1호기 I&C 시스템 배치도

기술원에 제출되었고 23회에 걸친 회의와 56회의 허가 관련 질의를 거쳐 98년 6월 25일 최종 승인되었다.

7. 시공과 시운전 지원

85일의 계획 예방 정비 공기 내에 38개의 캐비닛과 42km의 전선들이 철거되었고, 273개의 지시계, 187개의 전송기, 32개의 전류/공기압 변환기를 포함해서 32개의 캐비닛과 87km의 전선들이 설치되었다.

철저한 성능 확인을 위해 현장 승인 시험, 교정 시험, 회로 시험, 정기 시험 및 성능 시험 등을 해당 절차서에 따라 수행하였으며, 모든 공사를 공기 내에 수행함으로써 적기에 발전소가 재가동될 수 있도록 하였다.

공사 주계약 후 360일인 98년 9월 12일에 발전소가 전출력에 성공적으

로 도달함으로써 향후 잔여 수명 기간 동안 설비의 신뢰성과 안전성을 크게 향상시킬 수 있게 되었다.

보호 및 공정 제어 계통

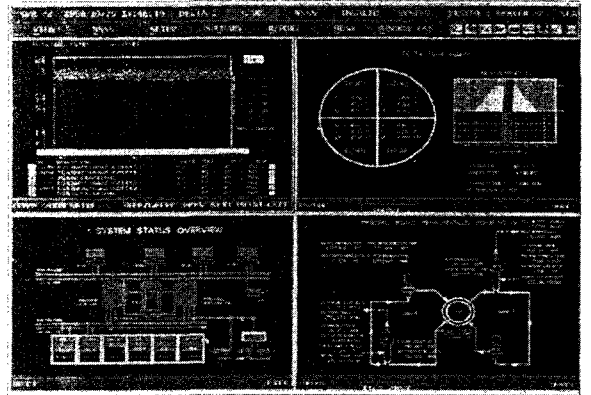
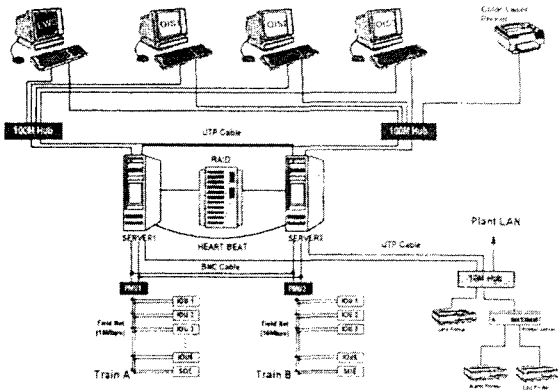
1차측 보호 계통(NPS), 1차측 공정 제어 계통(NCS) 및 2차측 공정 제어 계통(SPCS)의 기본적인 기능에는 변함이 없으나, 신호 체계가 10~15mA에서 4~20mA로 변경됨에 따라 현장 전송기뿐만 아니라 운전원과 관련된 설비인 자동/수동 변환기, 주제어반의 지시계, 기록계 및 선택 스위치가 교체되었으며, 주설비인 폭스보로 SPEC 200 MICRO는 디지털 기기로서 아날로그 입출력 모듈인 기존의 아날로그 제어 설비와 대체 설치되었다.

발전소 정지 신호, 바이스테이블(비교기) 동작 신호는 연산 장치에 의해 발생되며, 여러 종류의 아날로그 출력 신호는 NPS에 사용된다.

NCS 및 SPCS의 제어 기능은 입출력 단자의 상호 연결과 모듈 내의 6개 블록에서 20개의 제어 기능으로 구성된다.

NPS와 NCS로 분류된 공정 감지기는 아날로그 신호 상태로 전송되거나 보호 계통과 상호 간섭으로부터 격리되며, 마이크로(디지털) 모듈과 비안전성 보조 계통에 전송된 신호, 즉 아날로그 출력 신호 또한 보호 채널과 격리되어 있다.

10개의 NCS 캐비닛은 기능적으로는 변화가 없으나 12개의 NPS 캐비닛은 8개의 캐비닛으로 축소 설치되었고, 현장에 설치되었던 13개의 SPCS



〈그림 3〉 IPMS 시스템과 표준 화면

캐비닛은 중앙 집중화하여 보다 운전 환경이 좋은 주제어실 내에 6개의 캐비닛으로 재구성하여 설치하였다.

각 캐비닛은 전원 공급기의 이중화를 위하여 1차와 2차 전원 공급기가 설치되어 있으며 균등한 부하를 분담토록 조정되었다.

특히 보호 캐비닛에는 고장 경보 및 화재 감지기가 추가로 설치되었다.

계통은 전반적으로 앞으로의 변경에 대한 융통성을 갖고 FMEA (Failure Mode Effect Analysis)에 의해 신뢰성이 향상되었음을 입증하였다.

현장 전송기 및 지시계

10~50mA 신호 체계로 되어 있던 기존의 현장 전송기 및 지시계를 FISHER-RO SEMOUNT의 아날로그/스마트 전송기와 I/P 변환기, Weshler's의 아날로그 지시계로 교

체하였고 신호 체계도 4~20mA로 교체하였다.

소내 전산기 계통

70년대에 개발된 기존의 소내 감시용 PRODAC-2500 컴퓨터는 한국의 벤처 기업인 우리기술(주)에 의하여 개발된 신형의 소내 전산기 계통 (PCS, Plant Computer System) 컴퓨터로 교체되었다.

소내 전산기 계통은 계통의 유용성 향상을 위하여 주컴퓨터와 보조 컴퓨터로 이중화하였고, 또한 통신망 상설에도 대비토록 하였다.

PCS의 목적은 발전소 운전 상태를 감시하기 위하여 표준 감시 기능을 갖는데, 여기에는 자료 취득, 그래프 지시, 온라인 데이터 베이스 수정, 경보 발생 순서, 보고, 기록, 중요 상태 (SOE) 발생 상황, 이력 자료 저장

및 검색, 그리고 NSSS 적용 공정 등이다.

이러한 모든 표준 감시 기능들은 이중-윈도우 환경을 포함한 진보된 인간 공학적으로 구성되었다.

PCS의 전반적인 소프트웨어 구조는 도면으로 묘사되며 각 직사각형 모양은 하드웨어 기기를 의미한다.

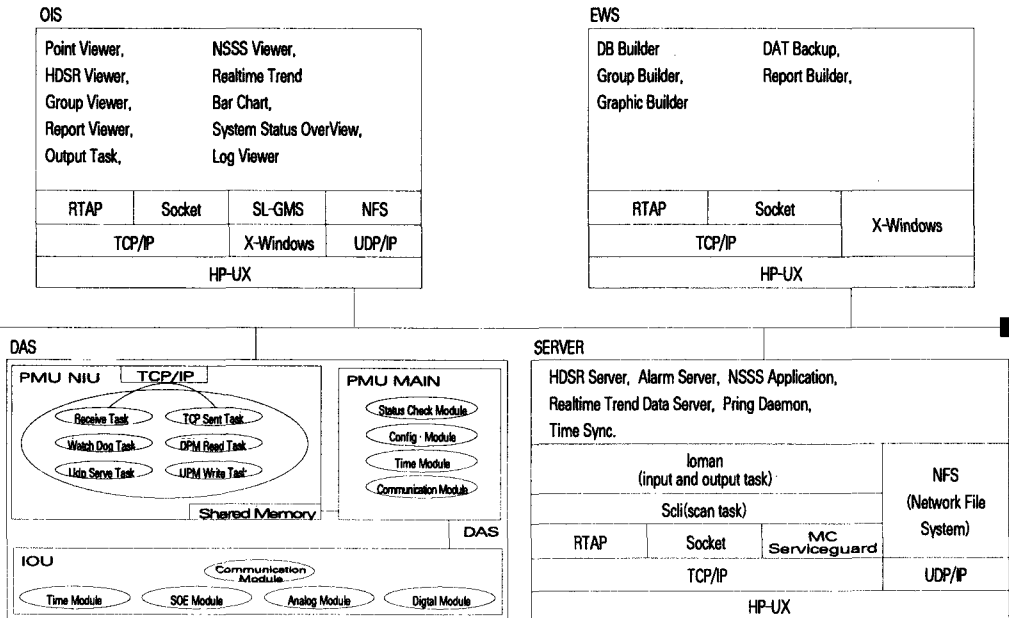
엔지니어링 단말기(ESW)와 운전원 관련 설비(OIS)는 HP 단말기들에 기초한다.

그래프 표시는 X-디자이너와 SL-GMS 장치를 사용해서 전개된다.

인간 공학 전문가는 인간 공학적 모순성을 확인하고 분석하기 위하여 인간 공학 관련성을 재검토하였다.

데이터 베이스는 RTAP(Real Time Application Platform)를 사용해서 전개된다.

SOE 항목은 1천분의 1초마다 검색, 모든 디지털 항목은 1만분의 1초



(그림 4) PCS 소프트웨어

마다 검색되고, 일발 아날로그 항목은 매초마다 검색된다.

다양성과 심층 분석에 의한 방호성

다양성과 심층 분석의 목적은 소프트웨어 내에 가상의 CMF(Common Mode Failure)를 야기하는 트랜지언트를 완화시키기 위해서 충분한 다양성이 NPS 내에 존재하는지의 여부를 결정하는 것이다.

FSAR 사고 분석에 기술된 각각의 신뢰성 항목을 조사한 분석은 NUREG/CR6303으로 기술된 방법론을 사용해서 다양한 보호 개념이

되어 있는지를 조사하였다.

NUREG/CR6303 방법론은 원자로 보호 계통의 다양성과 심층 분석에 의한 방어를 실행하는 방법이다.

분석은 다중화 채널의 CMF에 대해 6개의 취약점, 그리고 25개의 주요 항목 중 보호 계통의 전체 CMF에는 5개의 취약점이 존재함을 보여주었다.

취약점으로 분석된 보호 기능을 갖는 발전소 변수는 다음과 같다.

- ① 가압기 압력(고/저압력 원자로 정지, 저압력 안전 주입)
- ② 증기발생기 수위(저-저 수위 원자로 정지 및 보조 급수 펌프 기

동, 고-고 수위 터빈 정지 및 주 급수 차단)

- ③ 격납 용기 압력(격납 용기 살수 동작, 주증기 격리)

다양성에 있는 취약점들은 소프트웨어에서 CMF를 제거하기 위해 취약적인 변수에 대하여 아날로그 모듈을 사용함으로써 제거되었다.

결과적으로 NPS는 3개의 아날로그와 4개의 디지털 채널로 구성되어 있으며 14가지의 원자로 보호와 공학적 안전 기능을 수행한다.

이들은 복합적인 보호 시스템(Hybrid Protection)을 독특하게 수행한다. Ⓢ