

원전 운전원 훈련용 시뮬레이터

이 용 관

한전 전력연구원 소프트웨어시스템그룹
그룹장



97년 4월 1일 영광 3·4호기 시뮬레이터 준공식이 영광원자력본부 훈련센터에서 있었다.

이 시뮬레이터는 한국전력공사 산하 전력연구원 소프트웨어시스템그룹이 삼성전자(주)와 공동으로 하드웨어 설계 및 소프트웨어를 개발하고, 현대전자(주)에서 하드웨어 제작에 참여하여 국내 최초로 개발된 발전소 운전원 훈련용 시뮬레이터이다.

그 동안 외국의 전문 제작 업체에만 의존하던 시뮬레이터 기술을 국산화함으로써 기존 시뮬레이터에 대한 고난도 성능 개선은 물론, 북한 원전 및 차세대 원전용 시뮬레이터 공급의 기반을 구축하였으며, 항공기 시뮬레이터 등 국내 관련 산업계에 대한 파급 효과도 클 것으로 기대된다.

시뮬레이터(모의 장치, 모의 제어반)란 말은 어떤 현상이나 계(혹은 계통)의 동작 특성을 규명하기 위해 그 동작 특성을 수학적 모델로 표현하여 해석하는 모의화(simulation)로부터 유래된 것으로, 어떤 현상이나 계(system)의 동작 특성을 수학적 모델로 표현하여 기계적·전자적 메커니즘을 통해 표현하는 장치이다.

오늘날 현대 문명을 주도해 가는 전자 공학 및 컴퓨터 기술이 엄청나게 빠르게 발전해 나가고 있는데, 이러한 장치의 개발로 이전에는 상상치 못하던 복잡한 계통을 실시간(real time)에 모의할 수 있게 되었다.

시뮬레이터 기술은 비행기 조종사 훈련, 우주선, 군 작전 훈련, 발전소 운전원 훈련, 게임, 옷 디자인, 성형 수술, 해부 실습, 기계 보수 훈련, 가구 배치, 집 설계, 자동차 설계, 자동차 운전, 기상 예보 등 실로 쓰이지 않는 곳이 없다고 할 정도로 모든 분야에서 각광을 받고 있는 첨단 기술이라 할 수 있다(그림 1).

이러한 여러 가지 모의 응용 분야

를 크게 나누어 보면, 설계 해석 분야와 훈련 분야로 대별될 수 있다.

그 중에서도 고가의 장비를 조작하며, 또 오조작으로 인한 피해가 큰 항공기 조종사나 발전소 운전원들처럼 고도의 숙련된 기술을 갖추어야 하는 경우에도 불구하고, 평소에 경험할 수 있는 상황이란 극히 제한적일 수밖에 없는 경우에, 다양한 상황을 부여하면서 반복 교육이 가능한 시뮬레이터를 이용한 훈련이 주는 이점은 이로 말할 나위 없이 크다.

최초의 시뮬레이터는 57년 영국원자력공사(UKAEA United Kingdom Atomic Energy Authority)에 의해 제작된 Calder Hall Magnox 플랜트의 시뮬레이터이며, 최초로 제작된 운전원 훈련용 시뮬레이터는 68년 제너럴 일렉트릭(GE)사가 제작한 800MWe BWR인 Dresden 2발전소를 기준 발전소로 하여 연수원에 설치된 것이다.

시뮬레이터 개발의 필요성

드리마일 아일랜드(TMI) 및 체르

노빌 원전 사고 이후, 원자력발전소의 안전성 확보를 위해 운전원의 운전 능력 배양을 위한 효과적인 훈련이 강조되어 왔으며, 이를 위해 시뮬레이터를 사용하는 것이 세계적인 추세이다.

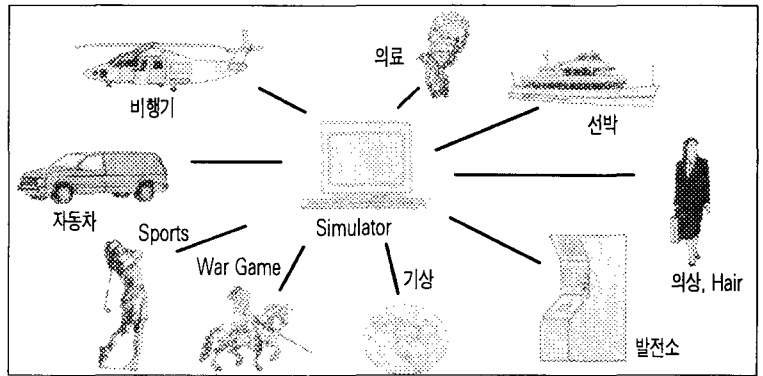
79년 3월에 발생한 TMI 사고의 경우, 그 당시 운전원들은 원자로 냉각재 계통에 기포가 생기는 경우를 모의할 수 없는 시뮬레이터로 교육을 받아 왔으므로, 기포 생성으로 인한 수위 증가를 이해할 수 없었다.

그래서 가압기 수위 증가는 곧 원자로 냉각재 계통의 질량이 너무 많다고 생각하였고, 이러한 오판으로 고압 안전 주입 펌프를 너무 일찍 정지시키게 되었다.

사소한 고장과 운전원의 오판이 결합되어 이러한 대형 사고를 초래하자 대대적인 원인 조사 분석이 실시되었으며, 그 세부 조사를 담당하였던 Essex사는 '훈련 재난(training disaster)' 이라고 결론을 지었다.

조사 결과 운전원 훈련의 약 6% 정도만이 시뮬레이터 훈련이었으며, 그 훈련조차도 적절하지 못하였다는 것이 밝혀졌다.

결국 그 후속 조치 중의 하나로 미국 원자력규제위원회(NRC)는 각 발전소마다 해당 발전소를 기준으로 한 full-scope 시뮬레이터를 설치하도록 의무화하였고, 81년 8월부터는 운전 면허(RO, SRO)의 실기 시험에 시뮬레이터를 이용하도록 하였다.



(그림 1) 시뮬레이터의 활용 분야

초창기의 10CFR, Part55의 '운전원 면허' 부분의 간단한 기술 기준에 불과하였던 시뮬레이터에 대한 성능 기준은 TMI 사고 이후 강화되었다.

원자력규제위원회에서 발전소 운전원 훈련용 시뮬레이터의 기준 안을 작성하여 81년에 발표하였으며, 그 후 85년에 개정·보완하여 ANSI/ANS-3.5-1985를 발표하게 되었다.

이 표준 지침은 시뮬레이터의 일반적인 요구 사항, 검증, 환경, 성능, 설계 기준 등 최소 한도의 기준에 대해 포괄적으로 규정하였다.

그 후 87년 3월에 개정된 10CFR 55.45 (b) 1991은 5월 26일 이후의 운전원 면허 시험에 원자력규제위원회의 ANSI/ANS-3.5의 기준을 만족하여 인가(certification)나 승인(approval)을 받은 시뮬레이터 이외에는 사용하지 못하도록 하였다.

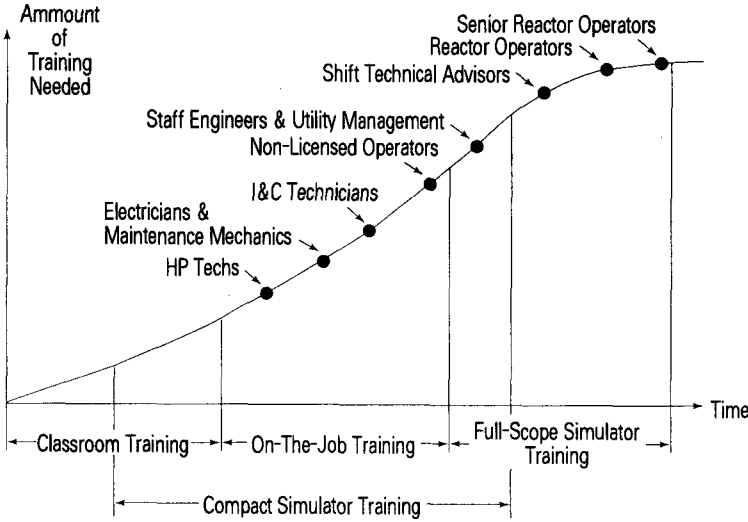
그리고 그 구체적 기준으로 Reg. Guide 1.149로 시행 규칙을 제정하

여, 매년 기준 발전소의 변경 사항(update design data)을 검토한 뒤 시뮬레이터의 자료(data)와 일치시키도록 하였다.

아울러 고장(malfunction)과 과도 상태(transient)에 대해서 적어도 4년에 한 번씩(즉 매년 25% 정도) 시험을 실시하여, 시뮬레이터의 성능이 허용 기준 이내에 있음을 보증하도록 요구하고 있다.

이후 93년에 개정된 ANSI/ANS-3.5에서는 형상 관리 시스템(configuration management system)을 비롯하여 정상 운전(normal evolution)에서 초기 조건(initial condition) 변경 금지, 인수 시험이나 매년 성능 시험시 기준 발전소 절차서를 그대로 사용할 수 있도록 하는 등 여러 항목을 규정하고 있다.

한편 그 동안 상대적으로 무관심하던 화력 발전소에 대한 규정도 제정되어, 93년 화력발전소 시뮬레이터의 기능 요구 조건이 ISA-S77.20으로



(그림 2) 훈련 종류에 따라 사용되는 시뮬레이터 비교

제정되었다.

아직 국내에서는 운전원 훈련용 시뮬레이터의 인가나 승인 기준이 구체적으로 마련되어 있지 않고, 훈련에 사용하기 위한 인가나 승인을 요구하고 있지 않지만, 조만간 기준이 제정될 것으로 예상된다.

운전원 훈련용 시뮬레이터 분류

시뮬레이터의 종류는 그 목적(기능)과 설비 규모에 따라 다음과 같이 구분된다.

1. 목적에 의한 분류

사용 목적에 따라 나누면 설계·분석용(공학용) 시뮬레이터와 교육 훈련용 시뮬레이터로 구분할 수 있다.

공학용 시뮬레이터는 고충실도의

모델만 있으면 되므로 일반적으로 full-scope일 필요는 없고 훈련용 시뮬레이터는 훈련 목적에 따라 다르나 일반적으로 기계 조작 장치 등이 함께 있어야 되므로 규모가 커진다(그림 2).

2. 설비 규모 및 성능에 따른 분류

규모 및 성능으로 나누면 full-scope 시뮬레이터, compact 시뮬레이터, part-task 시뮬레이터 및 micro 시뮬레이터로 분류할 수 있다.

가. Full-scope 시뮬레이터

기준 발전소 주제어실의 각종 패널과 계기들을 기계적으로 동일하게 만들고 보다 정확한 수학적 모델로 발전소 계통을 모의하여, 운전원이 시뮬레이터와 기준 발전소와의 차이를 발견하지 못하도록 하여, 기준 발전

소에서 훈련하고 있다는 심리적인 착각을 줄 정도로 운전원의 훈련에 적합하다

나. Compact 시뮬레이터

기준 발전소의 계통을 간단히 축소시켜 일반적인 발전소 개념이나 기본적인 물리적 현상의 이해를 도모하며, 시뮬레이션 정확도는 full-scope 시뮬레이터와 비슷하다.

또한 주제어반(MCB) 기기를 소프트웨어 처리한 mimic 화면으로 조작 가능하며, 초보 단계 운전원, 원전 근무 비운전 요원, 관리자급 훈련에 적합하다.

다. Part-task 시뮬레이터

특정 계통(RCS, CVCS, TG 등)만 시뮬레이션하여, 특정 계통 운전 훈련에만 사용하고, 기준 발전소 없이 일반적으로 만들 수 있다.

그러므로 full-scope 시뮬레이터 전 단계로 사용한다.

라. Micro 시뮬레이터

개인용 PC 혹은 워크스테이션에 이용하며, 모니터와 키보드로만 입출력하고, 공학적 설계 및 해석 업무에 주로 이용하며, 꼭 실시간(real time)일 필요는 없다.

시뮬레이터 국산화 사업 개요

94년 3월 시뮬레이터 국산화 개발 사업을 시작할 당시, 한국전력공사는 이미 4기의 운전원 훈련용 시뮬레이터를 도입하여 운영하고 있었다.

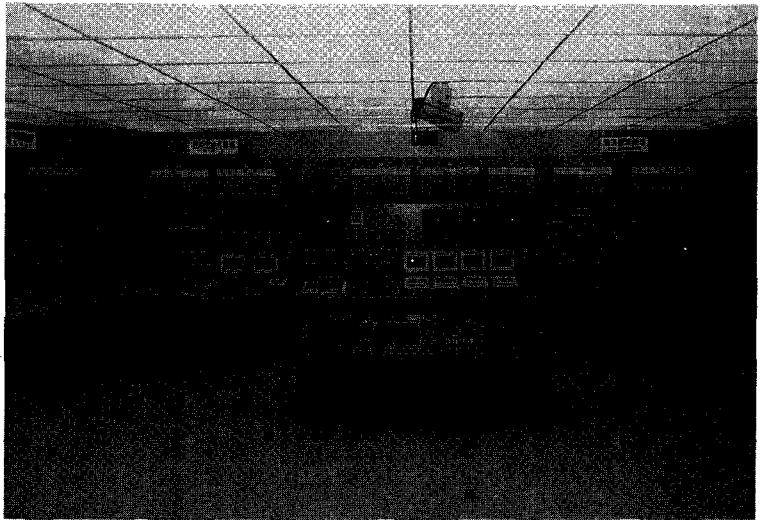
그러나 각기 다른 외국의 전문 업체에서 턴키 베이스로 공급되었기 때문에, 기술의 호환성이 없음은 물론 유지·보수 및 성능 개선시 공급자로부터 기술 지원을 받거나 소프트웨어 및 부품의 확보가 어렵고 운영 요원의 전문화에도 문제가 있는 등 운영상 어려움을 겪고 있었다.

국가 경제 성장에 따라 늘어나는 전력 수요를 감당하기 위해 추가로 발전소를 짓게 된 한국전력공사는, 교육 수요를 충족하고 사고시 운전원들의 대처 능력 배양을 위해, 영광 3·4호기, 보령 3·4호기 및 고리 2호기의 시뮬레이터의 추가 도입을 결정하였고, 위에 언급한 운영상의 문제점을 근본적으로 해결하기 국산화 개발을 하기로 결정하였다.

이를 통해 지금까지 전적으로 외국의 시뮬레이터 전문 제작 업체에 의존해 온 시뮬레이터의 전반적인 설계 및 제작에 국내 기술진이 참여하고, 기술을 전수받아 국내 기술 인력을 양성함으로써 시뮬레이터를 순수 국내 인력으로 독자 개발할 수 있는 기반을 확보하는 것을 목표로 하였다.

다음은 개발 관련 사항을 간략히 설명한 것이다.

- ① 연구 과제명 : 발전소 운전원 훈련용 모의 제어반 국산화 개발 적용
- ② 목표 : 원자력 및 화력 발전소 운전원 훈련용 시뮬레이터 국산화 개발 및 시뮬레이터 개발 기술 확보
- ③ 기간 : 94년 3월 9일~98년 7



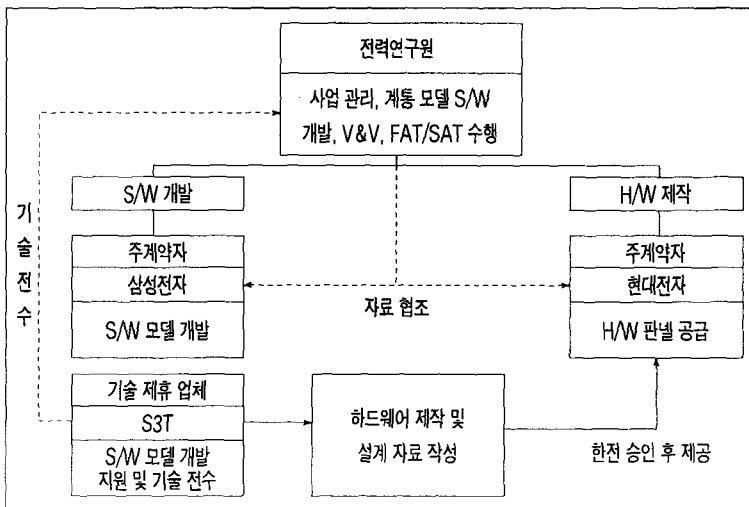
영광 3·4호기 시뮬레이터

월 8일

- ④ 수행 방법 : 전력연구원 주도 국내 산업체 공동 개발(그림 3)
- ⑤ 총예산 : 130억5천3백만원
- ⑥ 개발 내용 : <표 1>
- ⑦ 기술 전수
삼성전자(주)의 기술 제휴 업체인 미국의 S3 Technologies(S3T)사와 기술 전수 협약을 체결하여(94. 3. 7) S3T사가 보유한 최신 기술과 소프트웨어(시뮬레이터 개발 tool 및 계통 모델) 및 관련 자료를 제공받고 기술 전수 교육을 OJP 형식으로 6명은 1년간, 5명은 6개월간 실시하였다.
- ⑧ 시뮬레이터 개발 tool 및 계통 모델 설치
개발 tool 및 계통 모델을 전력연구원 내 컴퓨터에 설치하여 개발에 활용하였는데 종류는 다음과 같다
○개발 tool
• US3(Simulator Software

Support System) : US3는 System V UNIX Library를 사용하여 컴파일된 다수의 C언어 프로그램으로 구성된 시뮬레이션 소프트웨어 지원을 위한 tool 이다.

- M/IS(Motif Instructor Station)
- EDNET(Electrical Distribution Network)
- TOPMERET(Two Phase Flow Model Auto code Generator) : TOPMERET는 발전소 1차 계통에 비해서 상대적으로 모의 충실도가 뒤떨어진 2차 계통(BOP) 모델의 정확도와 실시간 실행을 만족시키기 위해 S3T사가 개발한 표준화되고 정형화된 자동 코드 생성 프로그램으로서 계통 내 유체의 2상 비평형 상태를 구현한다.
- FLOWNET(Single Phase



(그림 3) 훈련용 시뮬레이터 국산화 개발 계약 구조 및 추진 조직

(표 1) 훈련용 시뮬레이터 개발 내용

시뮬레이터명	기준 발전소	훈련 대상	설치 장소/년도
영광 3·4호기	영광 3호기 1,000MW PWR	영광 3·4호기 및 울진 3·4호기 운전원	영광원자력본부/96.12
보령 3·4호기	보령 3호기 500MW 초임계압 관류형 보일러	보령 3·4호기 및 후속기 운전원	보령화력본부/96.10
고리 2호기	고리 2호기 650MW PWR	고리 1·2호기 운전원	원자력연수원/98.7

Flow Model Auto code Generator)

- GEMDRAW(Graphic Editor)
- CLASC(Control & Logic Auto Generated Source Code)
- 계통 모델
- STK(Core Neutronics Model) : STK는 FLARE 코드를 기반으로 S3T사가 개발한 1군 노심 모델링 코드로 3차원으로 노심 모델링을 수행하며, 여러 연소도

에서 정상 및 사고시의 전체 노심을 시뮬레이션할 수 있다.

- RETACT(NSSS Thermohydraulics Model) : 노심의 열수력 관련 계산을 하기 위해서 S3T사가 개발한 코드로서, PWR이나 BWR의 시뮬레이터 뿐만 아니라 모델 검증용 시험 설비 등을 실시간으로 시뮬레이션할 수 있는 코드이다.
- TBN/GEN(Turbine, Generator Model)

- Plant Components(Base Line Object Model)
- Pumps
- Valves

영광 3·4호기 시뮬레이터 개발 공정

소프트웨어의 주요 개발 공정은 기준 발전소의 자료를 수집하고 시뮬레이션 범위를 확장한 후 계통별로 프로그램 소프트웨어를 개발한다.

그 다음 각 계통별 시험을 하고 하드웨어와 통합한 후 시험 및 검증을 시행한다.

1. 자료 수집

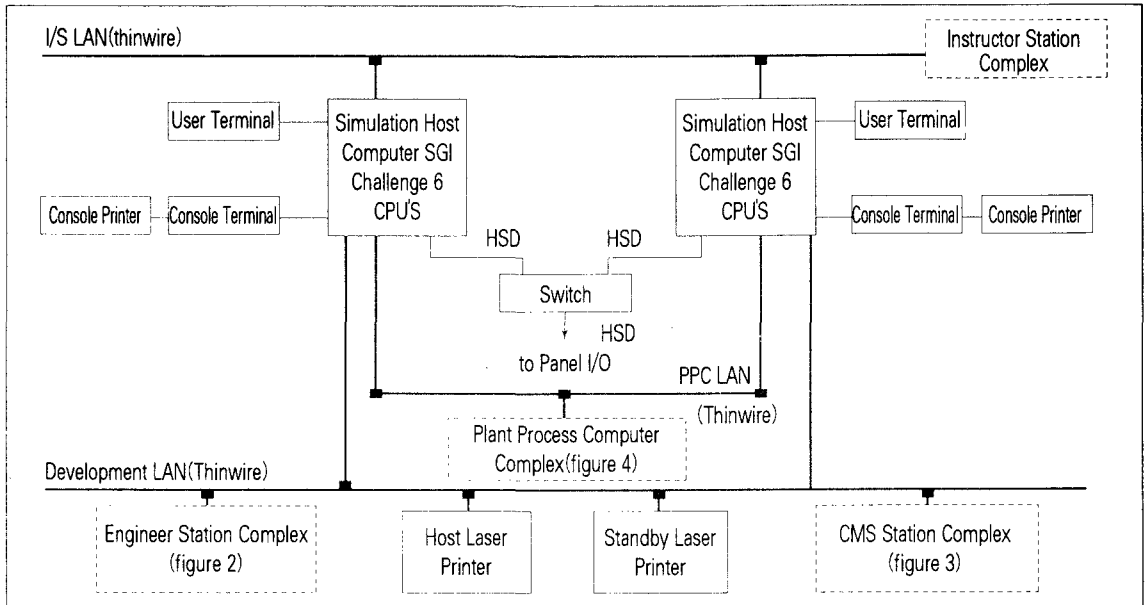
자료 수집은 시뮬레이터 개발의 첫 단계로서 기준 발전소의 기초 설계 자료로부터 각종 설비의 매뉴얼, 운영 절차서 및 운전 특성 시험 결과 등을 수집한다.

2. SRS(Software Requirement Specification)

SRS 작성 단계는 시뮬레이션 범위를 결정하는 단계로서 수집된 자료와 P&ID를 기초로 시뮬레이션 범위를 정하고 발전소 운영 부서의 검토를 거쳐 최종 결정된다.

3. DDS(Detailed Design Specification)

결정된 시뮬레이션 계통별로 실제



(그림 4) 영광 3·4호기 시뮬레이터 컴퓨터 시스템 구성

발전소의 데이터를 입력하고 시뮬레이터에서 구동될 프로그램 즉 모델을 개발한다.

4. NIST(Non-Integrated System Test)

이 단계에서 각 계통별로 완성된 모델에 대해 독립적인 실행 시험을 하는 단계로서 각 계통이 독자적으로 정상적인 실행이 될 수 있는지 시험하며 발전소의 운전 기록 및 시험 기록과 비교하여 차이점 발생시 모델을 수정하여 완전한 계통 모델이 되도록 한다.

5. 통합(Integration)

각 계통별로 실행 시험이 완료된

계통 모델을 모두 결합하여 소프트웨어상 완전한 발전소 모델로 만드는 과정이며 결합된 모델은 다시 실행 시험을 통하여 차이점을 수정한다.

소프트웨어의 통합이 완료되면 시뮬레이터 하드웨어와 통합하여 완성한다.

6. 시험(Acceptance Test)

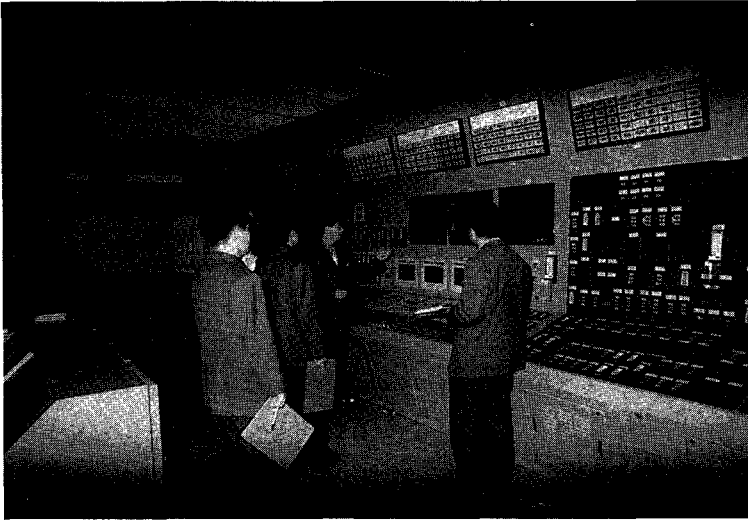
제작이 완료된 시뮬레이터는 시험 절차(acceptance test procedure)에 따라서 하드웨어와 컴퓨터 시스템의 시험, engineer station과 instructor station의 시험, 발전소 과도 상태에 대한 시뮬레이터 응답 시험 및 100시간 운전 시험 등의 성능 시험을 수행한 후 발전소 운영 부서

에 인계한다.

영광 3·4호기 시뮬레이터 기술 특징

1. 기본 설계 개념

원자력발전소 운전원의 효과적인 훈련을 위하여 최신 제작 기준(ANSI/ANS 3.5, 1995)을 적용하여 계통 시뮬레이션의 정밀화를 추구하였고, 시뮬레이터의 용이한 유지보수와 향후 성능 향상을 고려한 확장성·일관성 및 호환성을 최대한 유지하도록 하였으며, 시뮬레이션 컴퓨터간 온라인 네트워크 기능을 확보하도록 하였다.



영광 3·4호기 시뮬레이터의 기능을 설명하고 있는 모습

2. 컴퓨터 시스템

기존 시뮬레이터와는 달리 가격 대 성능비가 우수한 범용의 워크스테이션을 채택하여 경제성을 도모하였고, 컴퓨터들을 동일 계열로 채택하여 컴퓨터간 기술적 호환성을 유지하였으며 워크스테이션별로 기능을 분산시켰다.

컴퓨터간 통신은 Ethernet을 이용한 TCP/IP 프로토콜을 채택하였다.

컴퓨터 시스템은 다음과 같이 구성되었다(그림 4).

- 주컴퓨터 1대 및 주변 장치
- 주컴퓨터와 동일한 사양의 예비 컴퓨터 1대 및 주변 장치
- 엔지니어 워크스테이션 3대 및 주변 장치
- CMS 워크스테이션 1대 및 주변 장치
- 강사 조작용 워크스테이션 3대 및 주변 장치

○Plant process 컴퓨터를 시뮬레이션하는 워크스테이션 5대 및 주변 장치

○I/O 연결 장치

○각 컴퓨터들을 연결하는 네트워크. 주컴퓨터

발전소 계통을 실시간으로 시뮬레이션하는 알고리즘으로 계산하고 I/O 장치를 통해 주제어반 계기와의 인터페이스를 제공한다.

나. 예비 컴퓨터

주컴퓨터를 이용할 수 없을 때 이를 대신하여 시뮬레이션 모델과 I/O 장치를 구동하는 동일한 기능을 수행하며, 평상시에는 엔지니어 워크스테이션과 연결하여 소프트웨어의 개발과 유지 보수, 수정 업무에 이용된다.

다. 엔지니어 워크스테이션

모델링 소프트웨어를 개발하고 그 모델의 단독 시험과 통합 시험을 하는데, 모델이 개발되거나 수정이 끝

나면 주컴퓨터로 보내져 시험을 하고 변수들은 엔지니어 워크스테이션에서 모니터 된다.

라. PPC(Plant Process Computer)용 워크스테이션

주컴퓨터가 발전소 계통을 시뮬레이션하고 I/O 장치를 통해 제어반의 미터·레코더 등을 표시하는 반면 PPC용 워크스테이션은 발전소 감시 계통, 제어 계통 등을 처리하는 발전소 컴퓨터 역할을 하는 워크스테이션이며 관련 제어반의 CRT나 키보드로 입출력을 처리한다.

마. 강사 조작용 워크스테이션

시뮬레이터 운용상 가장 중요한 역할을 하는 것으로 훈련 상황을 부여하고 시뮬레이터를 제어하며 훈련생과 강사의 행동을 모니터링하는 기능을 갖는다.

바. CMS(Configuration Management System)용 워크스테이션

시뮬레이터 설계시에 데이터의 참조 자료를 만드는 구조화된 기능을 제공하고, 개발시에 데이터 저장과 검색을 하는 시뮬레이터 사용 전기간에 걸쳐 데이터 베이스를 생성하고 유지하는 데 사용된다.

사. I/O 연결 장치

주컴퓨터와 제어반 장비 사이, 강사 조작용 컴퓨터와 제어반 장비 사이에 아날로그 입출력, 디지털 입출력, 릴레이/램프 출력들의 I/O 신호들을 실시간으로 처리하는 장치로서

미국 S3T사가 제작한 DIGI-3 I/O 시스템이 사용되었다.

3. 강사 조작반

개발은 X-Window 시스템을 기반으로 강력한 그래픽 표현 기술을 이용한 진보된 man-machine interface를 채택하여 쉽게 사용할 수 있다.

즉 완전한 GUI 환경 적용으로 용이하게 사용하고 상황 부여가 가능하게 하였다.

기능면에서는 첫째, 시뮬레이터 패널 도면(Soft Panel Mimic DWG)을 강사 조작반 컴퓨터에 설치하여 이를 통해 운전 추이를 감시할 수 있고 override 및 malfunction 부여가 가능하다.

둘째, 노심 주기 및 운전 상태에 따른 다양한 초기 조건(IC Initial Condition)을 부여하여 훈련 효과 극대화를 극대화할 수 있게 하였다.

셋째, 발전소 중대 사고와 유사 발전소의 경험을 반영한 다양한 시스템 malfunction과 펌프·밸브·제어기 등 단위 기기에 대한 component malfunction 부여 기능을 가졌다.

넷째, 컴퓨터를 이용하여 강사와 훈련원의 행동을 기록·모니터 및 평가할 수 있고 훈련 상황을 시나리오로 작성하여 순차적인 훈련 상황 부여가 가능하다.

〈표 2〉는 강사 조작반의 기능을 표로 정리한 것이다.

〈표 2〉 강사 조작반의 기능

기 능		내 용
Malfunction		발전소 사고나 고장 상황을 부여하는 것으로 비상시 운전원의 대처 능력을 향상시킨다.
Remote Function		시뮬레이터 주제어반에서 조작할 수 없는 현장 기기를 강사가 조작하도록 하는 기능이다.
I/O Override		강사가 시뮬레이터 주제어반의 계기가 잘못 지시되도록 계기 고장 상황을 부여한다. 이것은 훈련생에게 계통이 오동작된 것처럼 보이게 된다.
CASE(Computer Assisted Scenario Exercise)		강사가 미리 설정한 시간에 자동으로 상황을 부여하거나, 훈련생의 조작을 감시하여 이에 따라 자동으로 상황을 부여하여 훈련생의 운전 능력 평가 자료를 만든다.
DORT(Daily Operational Readiness Test)		I/O 연결 장치와 주제어반 계기의 고장 유무를 시험한다.
Initial Condition		발전소 주요 변수를 초기 조건으로 설정하여 훈련을 시작할 수 있도록 한다. 종류로는 preassigned IC, snapshot IC, backtrack IC가 있다.
시뮬레이터 제어	Freeze/Run	시뮬레이터의 진행을 현재 상태를 유지한 채로 정지(freeze)시키고, 현재 상태에서부터 계속 진행(run)시킨다.
	Backtrack/Replay	운전중 지난 60분간의 운전 상황을 기록하여 필요시 이전 상태로 되돌리거나(backtrack), 기록된 운전 상황을 재생(replay)시킨다.
	Reset	원하는 초기 조건으로 되돌아간다.
	Switch Check	특정 초기 조건으로 전환시 그 상태에 맞는 값들로 계기의 지시치가 조정된다.
	Snapshot	현재의 상태를 초기 조건으로 선정한다.
기 타		- 운전 변수를 선정하여 변화 추이를 관찰할 수 있다. - 음향·조명·기기의 노이즈 효과를 구현한다. - CCTV를 통하여 훈련 상황을 관찰하고 녹화한다.

4. 모델링 및 시뮬레이션 범위

영광 3·4호기 시뮬레이터의 시뮬레이션 범위는 실제 발전소 주제어실에 설치되고 운전되는 모든 발전소 계통과, 주제어반 계기 지시에 영향을 주는 현장 기기를 모두 포함하는 전범위 복제형 시뮬레이터로 주증기 계통, 급수 계통, 터빈 계통, 전기 계통 등 모든 발전소에 공통으로 해당되는 부분과 부분 충수 운전, 중대 사고, 2상 열수력 모델 및 3D multi-

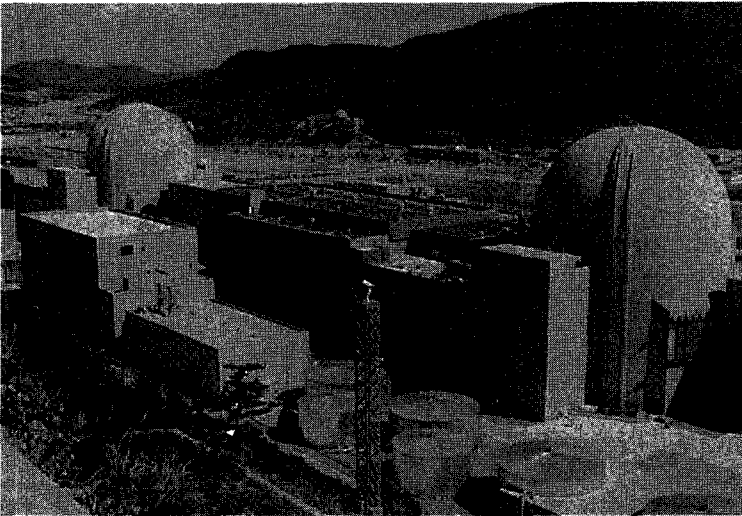
node neutronics 모델 등 원자력발전소의 운전에 필요한 사항 그리고 CPC/COLSS, 발전소 감시 계통 등 영광 3·4호기 원자력발전소의 고유한 계통 특성을 반영하였다.

가. 노 심

다중 노드 3차원 중성자속을 계산하며 미국 S3T사의 STK(Space Time Kinetics) 모델이 사용되었다.

나. 원자로 냉각재 계통

냉각재 계통 내 단상 및 2상 유체



영광 원자력 3·4호기

와 증기, 비응축성 가스 발생 현상을 시뮬레이션하며 핵연료 온도 변화에 따른 열전달 현상을 반영하였다.

다. 가압기

모든 운전 상태에서의 가압기 제현상을 반영하였다.

라. 증기발생기

운전 상태에 따른 수위와 증기 발생 현상 및 외부로의 열전달 등을 시뮬레이션한다.

마. 원자로 냉각재 펌프

단상과 2상 유체에서의 펌프 운전과 회전자 고착, 전원 상실, 플라이휠 효과 등을 반영하였다.

바. 격납 용기

격납 용기 내의 온도, 압력, 수소 농도, 방사능을 시뮬레이션한다.

사. 중대 사고

핵연료 관련 사고와 냉각재 상실 사고, 핵연료 용융, 노심 형상 변형 등 중대 사고를 시뮬레이션할 수 있

도록 하였다.

아. 발전소 감시 계통

노심 운전치 감시 계통, 1차 계통 진전성 감시 계통, 부적절 노심 냉각 감시 계통 등 영광 3·4호기에 새로이 채택된 계통들을 포함하였다.

개발 효과

앞에서 언급한 바와 같이 한국전력 공사는 이미 20여년 동안 운전원 훈련을 위해 원자력 및 화력발전소 운전원 훈련용 시뮬레이터를 운영해 오고 있었으나, 지금까지 전량(4기)을 외국 제작사에 의존하여 도입·설치하여 온 까닭에 기술의 호환성이 없음은 물론, 운영 기술의 전문화도 어렵고 핵심 소프트웨어에의 접근이 곤란하여 성능 개선이 불가능한 등 여러 문제점이 잠재되어 있었다.

이번 시뮬레이터 국산화 개발을 통

해 한국전력공사의 연구 인력이 직접 개발에 참여하여 기술을 습득함으로써 21세기에 첨단 종합 기술의 기반을 확보하는 좋은 계기가 되었다고 생각한다.

발전소 운전원 훈련 측면에서는 효과적인 운전원 훈련으로 운전 능력을 배양하고 모든 사고 또는 고장에 대한 대응 능력을 향상시켜 원전 안전성 향상에 기여하며, 기술 개발 효과 면에서는 전력연구원 및 국내 업체의 시뮬레이터 기술 자립 기반을 구축하여, 고난도 성능 개선 등 유지 보수 능력을 향상시키며 해외 및 북한 원전 시뮬레이터의 국내 개발 능력을 확보할 수 있게 되었다.

경제적인 면에서는 국산화를 통하여 외국 업체에서 직접 구매시보다 30여억원을 절감하는 효과를 거두었다.

또한 홍보면에서도 국민 원자력 PA 증진에도 기여할 수 있게 되었다.

향후 전망

시뮬레이터 기술은 산업 전반에 파급 효과가 큰 첨단 기술로서 국제 경쟁력을 갖춘 소프트웨어 개발 기술을 확보하여 후속 북한 원전 및 차세대 원전 시뮬레이터 개발에 적용하고, 멀티미디어 기장 현실 등의 기술과 접목하여 CBT(Computer Based Training) 등으로 발전시킬 예정이며 로봇 개발 연구에도 활용할 계획이다. ☉