



## 원전 운전원 훈련용 시뮬레이션 국산화 개발

### 이용관

한전 전력연구원 시뮬레이터개발팀장



**한** 전 전력연구원 시뮬레이터 개발팀은 지난 1991년 8월부터 약 7년여에 걸쳐 159억원의 연구비와 연인원 2,455MM의 인력을 투입하여 운전원 훈련용 시뮬레이터 국산화 개발 사업을 추진하여 왔다.

그 동안 영광 3·4호기, 고리 1·2호기 및 보령 3·4호기 등의 전범위 시뮬레이터를 성공적으로 개발하였고, 월성 중수로 시뮬레이터 강사조작실 그래픽스 개발 등 4

기의 시뮬레이터 성능 개선을 지원하였으며, 현재 올진 표준 원전 시뮬레이터 개발 등 2기의 시뮬레이터를 개발중에 있다.

또한 축적된 기술과 경험을 바탕으로 화력발전소 보일러 및 터빈 발전기 디지털 분산 제어 시스템 검증용 시뮬레이터를 자체 기술로 개발하였으며, 과학기술부 주도 핵심 소프트웨어 개발 사업에 참여하여 PowerSim이라는 시뮬레이터 개발 Tool도 개발하였다.

영광 3·4호기 시뮬레이터를 차세대 원전 MMI(Man-Machine Interface) Moch-up과 연계하여 동적 설계 검증 설비로 활용하는 등 KEDO 원전과 차세대 원전(KNGR) 시뮬레이터의 국내 개발 기반을 마련하였다.

한편 불모지였던 국내 시뮬레이터 산업을 선도하여 삼성SDS 등 세계 굴지의 시뮬레이터 전문 업체를 양성하였고, 한중(주)와 한기(주)

등을 시뮬레이터 사업에 참여토록 유도하여 경쟁 체제를 구축하는 등 국제 경쟁력 확보에도 노력하였다.

경제적 측면에서는 국내에서 자체 개발함으로써 외국에서 일괄 도입시에 비해 최소 120억원 이상의 예산을 절감할 수 있었으며, 국제 시장에서도 한국 내의 시뮬레이터 가격이 Reference가 되어 국제적인 시뮬레이터 전문 Vendor들이 한국의 눈치를 살피는 형편이 되었다.

시뮬레이터 기술 측면에서는 세계 최초로 가상 현실(Virtual Reality) 기술을 시뮬레이터에 접목한 CATS(Computer Assisted Training System) 개발로 훈련 효과를 극대화하며, 설계 코드 수준의 NSSS(Nuclear Steam Supply System) 열수력 모델인 ARTS(Advanced Realtime Thermal-hydraulic System) 개발과 MAAP(Modular Accident



Analysis Program) 기반의 중대 사고 모델 도입 등 세계 시뮬레이터 기술 개발 방향을 선도하고 있다.

오늘이 있기까지 어려운 여건 속에서 땀과 인내로 헌신해준 팀원들에게 진심으로 고마움을 전하고, 10년 앞을 내다보는 해안과 일관된 믿음으로 지도해주신 선배님들께 감사드리며 국산화에 동참해주신 삼성SDS와 현대전자에 감사드립니다.

지금까지 축적된 기술과 경험을 더욱 발전시켜 원자력발전소의 안전성을 한층 더 높일 수 있는 시뮬레이터 기반의 종합 운전 지원 시스템으로 발전시켜 나갈 것을 약속하며 시뮬레이터 국산화 개발 내용을 소개하고자 한다.

### 국산화 개발의 필요성

TMI(Three Mile Island) 및 체르노빌 원전 사고 이후 원자력발전소의 안전성 확보를 위해 운전원의 운전 능력 배양을 위한 효과적인 훈련이 강조되어 왔으며, 이를 위해 첨단 시뮬레이터를 개발하여 운전원의 비상시 대응 능력을 강화하고 제어 요원의 훈련 및 제어 로직 개발, 그리고 시스템 분석 등에 사용하는 것이 세계적인 추세이다.

기존 국내에 도입 운영되고 있는 시뮬레이터는 각기 다른 외국의 전문 업체에서 Turn-Key 베이스로 공급되었기 때문에 기술의 호환성

이 없음은 물론, 유지 보수 및 성능 개선시 소프트웨어 및 부품의 확보와 운영 요원의 전문화가 어려워 운영상의 어려움을 겪고 있었다.

또한 운전원 훈련용 시뮬레이터 제작 기준 개정(ANSI/ANS 3.5) 및 훈련요건의 강화로 정확한 계통 모델이 요구되고, 특히 1989년부터는 원자력발전소 면허 시험(RO/SRO)에 시뮬레이터 실기가 포함되는 등 시뮬레이터의 중요성은 점차 증대되어 가고 있다.

이에 따라 발전소 시뮬레이터 관련 국제 규정을 충족시키고 고품질의 운전원 교육을 통해 발전소의 운영 효율 개선 및 안전 운전에 기여하며 운영상의 어려움을 해결하기 위하여 컴퓨터 소프트웨어에 의한 시뮬레이션을 통해 구현되는 전범위 복제(Full Scope Replica)형 시뮬레이터를 국산화 개발하기로 하였다.

이를 통하여 지금까지 전적으로 외국의 시뮬레이터 전문 제작 업체에 의존해온 시뮬레이터의 전반적인 설계 및 제작에 국내 기술진이 참여하고 기술을 전수 받아 국내 기술 인력을 양성함으로써 시뮬레이터를 순수 국내 인력으로 독자 개발할 수 있는 기반을 확보하는 것을 목표로 하였다.

### 개발 내용

#### 1. 5기의 Full Scope Simulator

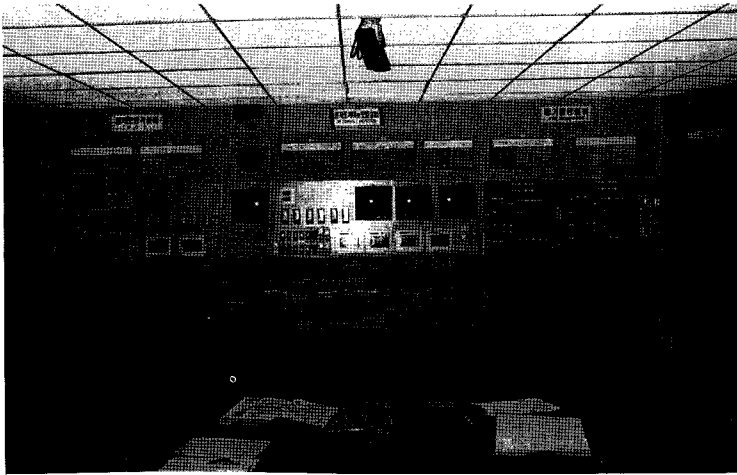
복잡한 시뮬레이터 기술의 자립을 단기간에 이루기 위해 외국의 상용 기술을 도입, 바로 적용(Jump Start) 하였지만, 도입 기술을 이용하여 순수 국내 기술 인력이 모델을 개발하고 관련 시스템을 통합하며, 고가나 특수한 하드웨어의 국내 개발 등의 노력을 통해 높은 국산화율을 이룩하여 2기의 원자력발전소(영광 3호기 고리 2호기) 시뮬레이터 및 1기의 표준 석탄화력(보령 3호기) 시뮬레이터를 개발하였다.

또한 최근에는 하동 화력 시뮬레이터 및 원자력교육원 2호기 시뮬레이터를 Windows-NT 시뮬레이션 환경 및 최신 GUI 기반의 강사조작반, 컴퓨터 지원 교육 훈련 시스템(CATS), 가상 현실(Virtual Reality)을 이용한 현장 설비 교육 등 기존의 주제어실에 한정되었던 시뮬레이터의 개념을 현장에까지 확장한 첨단 교육 시스템으로 개발하고 있다.

#### 가. 한국 표준형(CE-1000MWe)

##### 원자력발전소 시뮬레이터 개발

1997년 4월 한국 표준 원전의 효시라고 할 수 있는 영광 원자력 3호기의 전범위(Full Scope) 시뮬레이터를 개방형 OS인 UNIX System 기반의 실시간 시뮬레이터로 국산화 개발에 성공하여 영광 훈련센터에 설치, 영광 3·4호기 및 울진 3·4호기 운전원 훈련에 활용하고 있으며, 향후 KEDO 원전 시뮬레



영광 3·4호기 시뮬레이터. 한전 전력연구원 시뮬레이터개발팀은 영광 3·4호기 시뮬레이터를 차세대 원전 MMI(Man-Machine Interface) Moch-up과 연계하여 동적 설계 검증 설비로 활용하는 등 KEDO 원전과 차세대 원전(KNGR) 시뮬레이터의 국내 개발 기반을 마련하였다.

이터의 Reference로 활용할 예정이다.

#### 나. 웨스팅하우스-600MW 원자력발전소 시뮬레이터 개발

1998년 7월 웨스팅하우스 2-Loop인 고리 원자력 2호기의 전범위(Full Scope) 시뮬레이터를 개방형 OS인 UNIX System 기반의 실시간 시뮬레이터로 국산화 개발에 성공하여 고리 원자력교육원에 설치, 고리 1·2호기 운전원 훈련에 활용하고 있다.

#### 다. 한국 표준형 석탄화력발전소(500MW) 전범위 시뮬레이터 개발

개발된 시뮬레이터는 보령 훈련센터에 설치되어 표준 석탄화력발전소 운전원 훈련용으로 활용되고 있어 화력발전소의 안전성 향상과 운전성 향상에 크게 기여하고 있다.

#### 라. 하동 화력 시뮬레이터 개발

시뮬레이터 국산화 개발 연구를 통하여 축적된 기술과 경험을 최대한 활용하고 고도화시키고자 하는

측면에서 활용성이 높은 Windows NT 운영 체제의 개방형 시스템을 채택함으로 유지 보수 능력의 향상을 도모하였다.

시뮬레이션 컴퓨터와 콘솔간의 I/O Interface는 전력연구원에서 자체 개발한 Field Bus를 적용하여 관련 기술의 적용 확대를 꾀하고 교육 효과를 진작하기 위한 동적 그래픽 구현을 위한 가상 현실(Virtual Reality)을 일부 화면에 적용하여 현실감을 향상시킴으로써 Computer Based Training의 기초를 구축하였다.

#### 마. 원자력교육원 2호기 시뮬레이터 성능 개선

고리 3·4호기 및 영광 1·2호기 운전원 훈련용으로 사용하는 원자력교육원 2호기 시뮬레이터 시스템의 노후화와 일부 모델의 모의 한계성으로 인해 운전원에게 적합한 훈련을 실시하는데 어려움을 가중시키는 요인으로 등장함에 따라 효율적인 운전원 교육을 위하여, 단계별로 부분

충수 운전(Mid-Loop Operation) 가능한 Neutronics Model, 의 변환 및 최신 모델로의 개발, 일부 시스템 변환 작업(Rehosting), 강의실에서 사용 가능한 강사용 실시간 시뮬레이션 훈련 프로그램인 CATS(Computer Assisted Training System) 개발 등을 수행하였다.

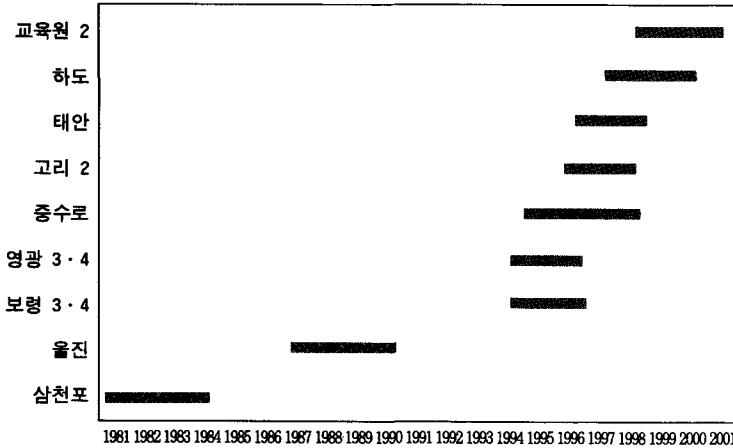
## 2. Upgrade 기술 지원

중수로형 원전인 월성 1·2·3·4호기의 운전원 훈련을 위한 시뮬레이터 도입시 기술 사양서 개발, 입찰서 기술 평가 등의 업무 수행은 물론, 개발에 직접 참여하여 IOS(Instructor Operating Station)용 Stylized Panel 및 Schematic Diagram을 개발하는 등 한전에서 발주되는 모든 시뮬레이터 관련 사업에 대한 기술 자문과 Technical Monitor로서의 업무를 수행하였다.

## 3. 시뮬레이터 개발 Tool 개발

열수력학적 모델, 제어기 모델 및 입출력 제어 장치를 포함하고 있고 GMB(Graphic Model Builder)와 Data base 및 실시간 Executive를 갖춘 시뮬레이터 개발툴 PowerSim을 국내 최초로 독자 개발하였다.

GUI 기반으로 발전소 계통을 도식화하고 이에 데이터를 입력하는 것만으로 발전소 모델과 데이터 베이스를 생성하고 실행 파일을 만든다



〈그림 1〉 시뮬레이터 연도별 개발표

는 등의 작업을 자동으로 수행하는 기능이 가능하며, 사용자 편의성을 고려하여 다양한 강사조작반 기능을 제공하고 있으며, 이를 호남화력 발전소 보일러 제어용 DCS를 검증하기 위한 시뮬레이터 개발에 적용하였다.

#### 4. 개발된 기술의 특성

##### 가. Unix 및 Windows NT 기술 적용

Unix 운영 체제의 범용 워크스테이션 및 Windows-NT 기반의 PC를 시뮬레이터 주전산기로 채택하여 기술의 일관성과 호환성을 향상시켰다.

##### 나. GUI 근간의 Code Generation Tool 사용 및 CMS 채택

소프트웨어 개발시 기존 수작업에 의존하던 프로그램 코딩 방법에서 탈피, 데이터 입력만으로 자동으로

프로그램이 생성되는 Auto Code Generation Tool을 사용하도록 하였으며, 생성된 프로그램들을 CMS(Configuration Management System)에 의해 자동으로 관리할 수 있도록 하여 향후 유지 보수, 성능 개선의 효율성을 더욱 높이도록 하였다.

##### 다. 고정밀도

정밀도면에서는 미국의 원전 시뮬레이터 제작 기준인 ANSI/ANS-3.5와, 화력 기준인 ISA-77.2의 요구 조건을 완벽하게 만족시켰으며, 2상 유체 모델, 3-D 입체 노심 모델, Mid-Loop Operation과 중대 사고 모델 등은 세계 최고 수준의 고정밀급임을 성능 시험을 통하여 입증하였다.

##### 라. 최신 NSSS 열수력 모델 적용

규제 기관으로부터 인증을 취득한 최적 계산 코드인 RETRAN03

를 기본으로 고리 원자력교육원 2호기 시뮬레이터용 열수력 프로그램인 ARTS(Advanced Realtime Thermal-hydraulic System)를 개발하였다.

##### 마. 실시간 중대 사고 모델 적용

원자로 용기 내 노심 용융 사고를 실시간으로 모의할 수 있는 ARTSAS 코드를 이용하여 모의함으로써 기존의 훈련용 시뮬레이터의 모의 영역을 확대하였고, 현재는 MAAP(Modular Accident Analysis Program)을 이용한 중대 사고 시뮬레이션 모델 기술을 개발중에 있다.

##### 바. CATS(Computer Assisted Training System)

강의실에서 시뮬레이터실의 예비용 전산기나 데이터 서버로 접속하여 강사의 조작과 설명으로 대화식 실시간 시뮬레이션이 가능토록 훈련 시나리오를 개발하여 운전원이 이론상으로 배웠던 각종 사고 현상을 심도있게 이해할 수 있도록 하고, 또 가상 현실(Virtual Reality) 기술을 접목하여 발전소 현장(격납용기 내부, 원자로 용기 내부 등)을 강의실에서 대형 스크린 및 입체 영상 출력 장치 등을 통해 표현할 수 있도록 하여 기존의 하드웨어 패널 위주의 교육 방식에서 탈피하고, 원자력발전소 교육/훈련의 현실적 특수성을 극복하며, 교육 내용의 정확한 이해, 교육/훈련 품질의 향상으

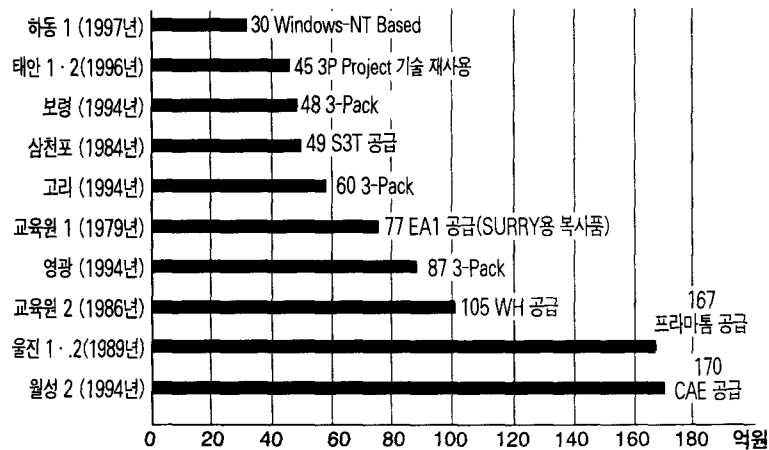
〈표 1〉 기술 자립도 분석

항목		가중치	기술 보유 현황
하드웨어	컴퓨터 시스템	10	시스템 구성 및 부분 제작(9)
	입출력 장치	10	자체 제작 또는 외부 구매(9)
	제어반	10	국내 제작(10)
	기술 수준	30	28
소프트웨어	모델 소프트웨어		실증 모델 소프트웨어 보유(33)
	응용 실행 프로그램	35	보유 소프트웨어 응용, 수정 가능(18)
	- 강사 조작 프로그램	20	
	- 소내 전산기 프로그램	15	
	시스템 통합		경험 인력 및 통합 능력 보유(13)
기술 수준	70	64	
계		100	92

〈표 2〉 도입 가격과 3-PACK 시뮬레이터 가격 비교

단위 : 억원

구분	도입시 가격 (일괄 도입 국제가)	국내 개발	절감	비고
원자력(2기)	273~337	147	125~190	(원자력교육원 2호기+울진) ~(울진+월성) 기준
화력(1기)	49	48	1	삼천포 기준
계	321~386	195	126~191	* 주:모든 가격은 1998.6 기준 환산 금액



〈그림 2〉 1998년 6월 기준 환율과 물가 상승을 고려한 국내 시뮬레이터 가격 비교 (1\$-1385원)

로 인한 운전원의 발전소 운전 능력 배양, 인터넷을 통한 실시간 교육 시스템을 도모하고자 CATS (Computer Assisted Training System)를 개발하여 시뮬레이터에 적용하고 있다.

### 개발 성과

#### 1. 높은 국산화율과 기술 자립도 성취

본 연구 과제 의 기본 계획 수립 당시 외국 업체 주도 탈피 및 국내 축적 기술을 최대한 활용할 목적으로 영광/보령 3·4 호기 시뮬레이터에 대하여는 50%, 고리 2호기 시뮬레이터에 대하여는 80%의 국산화율을 요구하였다.

이에 대한 연구진의 끊임없는 연구 노력으로 영광 3·4호기 54.3%, 보령 3·4호기 53.4%, 고리 2호기 81.5%의 국산화율이 이루어졌는데, 이 국산화율은 삼성전자(주)와의 소프트웨어 계약분 국산화율만 계산한 것으로서 계산식은 다음과 같다.

$$\text{국산화율} = \frac{\text{국내 개발금}}{\text{국내 개발금} + \text{국외 개발금}} \times 100$$

한편 하드웨어 제작은 부품을 구매 후 국내에서 조립 완성하였기 때문에 시뮬레이션 컴퓨터를 제외한 나머지 부분은 100% 국산화되었다.

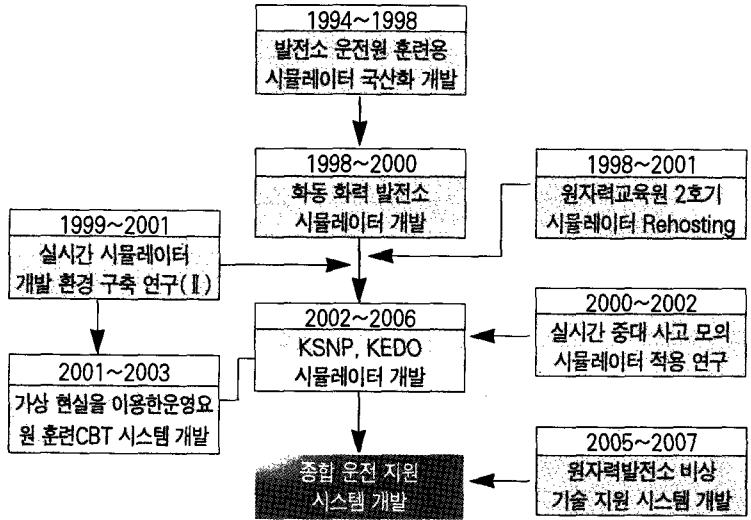
또한 기본 계획 수립 당시 국내 업체를 포함한 기술 자립도는 40%



정도였으나, 고리 2호기 시뮬레이터 최종 개발 완료 후 국내 보유 기술로 제작시 92%의 기술 자립도를 갖게 되었다.

### 2. KSNP, KEDO 원전 및 차세대 원전 시뮬레이터 국내 개발 기반 마련

국내의 시뮬레이터 제작 기술 확보로 올진 3·4호기의 한국 표준 원전, KEDO 원전 및 차세대 원전 시뮬레이터의 국내 개발 기반을 마련하였다.



〈그림 3〉 향후 계획

### 3. 국내 산업체 양성

금번 시뮬레이터 기술 국산화 사업을 통해 기존의 한국전력기술(주) 외에 삼성SDS(주)와 한국중공업(주) 등의 사업 참여를 유도하여, 국내에 시뮬레이터 산업의 기반을 마련하였다.

### 4. 경제적 효과

경제적 측면에서는 국내에서 자체 개발함으로써 외국에서 일괄 도입할 때에 비하여 약 126~191억원을 절감할 수 있었다. 또한 현재 수행중에 있는 하동 화력 시뮬레이터의 경우 성능 향상과 물가 상승, 고환율에도 불구하고 개발비를 30억 원대로 낮출 수 있었던 것은 전력연구원의 자체 수해분(계통 모델링 중 30%)을 증가시킨 때문이다.

### 향후 전망

발전소 운전원 훈련용 시뮬레이터 국산화 개발(3-Pack Project), 하동 화력발전소 시뮬레이터 및 원자력교육원 2호기 시뮬레이터 개발 등으로 축적된 기술과 경험을 최대한 활용하고 기술 선진화를 이룩하고자 현재 외국 전문 회사의 기술(GSE의 SimSuite)에 의존하고 있는 시뮬레이터의 핵심 기술인 시뮬레이터 개발 환경을 독자적으로 개발하여 종합적인 시뮬레이터 개발 시스템으로 발전시켜 나갈 계획이다.

또한 실시간 중대 사고(Severe Accident) 모델을 도입하여 기존 시뮬레이터의 모의 한계인 설계 기준 사고(Design Basis Accident)

를 초과하는 사고(Beyond DBA)를 모의할 수 있도록 하여 운전원의 비상 대처 능력을 보다 향상시킬 수 있는 최첨단 시뮬레이터를 제작할 수 있는 기술을 확보할 예정이다.

아울러 강의실에서 시뮬레이터 운전 강의를 체험 가능한 가상 현실을 기반으로 하는 발전소 운영 요원 훈련 CBT 시스템을 개발하여 고기능 다목적 Engineering 시뮬레이터로 개발할 예정이다.

궁극적으로는 발전소 비상 사태 시 운영 요원에 대한 기술 지원을 할 수 있는 원자력발전소 비상 기술 지원 시스템을 개발함으로써 명실공히 종합적인 운전 지원 시스템으로 개발 발전시키고자 한다.