

# 원자력발전소 시뮬레이터를 위한 강의실용 CBT/WBT 교육훈련 시스템 개발

홍진혁\*

## Development of the CBT/WBT for Nuclear Power Plant Simulator

Hong Jin Hyuk

### Abstract

본 논문에서는 울진 표준형원전 시뮬레이터의 강의실용 교육훈련 시스템의 일원으로 개발된 CBT (Computer Based Training) 및 WBT (Web Based Training)에 대해 다루고 있다. CBT는 발전소 시뮬레이션, 노심 다이내믹스, 중대사고, 비상발령 및 증기발생기 열변환 과정으로 구성되어 있다. Simulator Operation 기능을 이용하면 강사는 강사조작 메뉴를 통하여 시뮬레이터를 조작을 할 수 있고, Sim-Diagram 등 각종 화면을 보여줄 수 있다. 중대사고는 모의사고에 의해 구축된 데이터를 근거로 하여 개발되었으며, 방사선 비상등급에 따라 백색비상, 청색비상, 적색비상으로 구성된 비상발령은 각 발령의 발령상황 등을 Open Window를 통하여 볼 수 있도록 하였다. 한편 WBT는 강사와 교육생이 강의실 이외의 장소에서 시간과 공간의 제약을 벗어나서 원격교육이 가능하도록 구축한 웹서버 환경이다. 현재는 기존에 구축된 강사들의 홈페이지를 Intra-Net 환경에서 접근이 가능하도록 링크된 상태에 있다. 향후에는 일부내용에 대해서는 원격으로 강의가 가능하도록 다양한 콘텐츠를 개발할 예정이다. 현재는 발전소 운전과 관련한 교육자료, 각종 동영상 및 이미지, 각종교재 등에 대한 DB 구축을 준비중에 있다.

## I. 서론

본 논문에서는 원자력발전소, 특히 울진 3,4호기 원자력발전소를 위한 강의실용 CBT/WBT 교육훈련 시스템에 대하여 소개하는 것을 목적으로 하고 있다. CBT는 강사가 강의실에서 시뮬레이터를 직접 기동하여 운전 중 발생 가능한 다양한 사고에 대한 시뮬레이션 할 수 있도록 하였으며, 시뮬레이터와 연동하여 노심내부의 동작과정, 중대사고 현상 및 증기 발생기 열 변환과정 등도 표현하였다. 또한 WBT는 자체 Server

를 이용하여 Web Site를 구축하여 강사의 자료와 각종 교안 등의 관리, 강사/운전원간의 의견 교환 등이 가능하도록 개발하였다.

## II. 본론

### 1. CBT

시뮬레이터의 연동시스템구축을 위하여 개발된 CBT는 Plant Simulation, RX, Dynamics과 LOCA의 시작으로 발생하는 여러 현상중 하나를 선택하여 Animation의 구성한 Severe Accident, 방사선 비상등급으로 구성되어 있는 비상발령,

\* 한전전력연구원 원자력연구실 원자로공학그룹  
시뮬레이터개발팀

증기발생기 열변환 과정으로 구성되어 있다. 중대사고에서 일어나는 각 현상들을 단계별로 나누어 구성한 Severe Accident는 각 현상마다 Time Indication과 Plant Damage State를 Animation View창 우측에 배치하여 각 현상이 일어날 때 일어나는 시간들과 격납건물과 원자로의 압력을 상호 파악할 수 있도록 되어 있다. 또한 방사선 비상등급에 따라 백색비상, 청색비상, 적색비상으로 구성된 비상발령은 각 발령의 발령상황 등을 Open Window를 통하여 볼 수 있도록 하였다.

### 1.1 화면구성

CBT의 메인화면으로는 <그림 1>과 같다.

(1) 큰 항목 : 시뮬레이터의 연동시스템구축의 Plant Simulation, RX. Dynamics과 LOCA의 시작으로 발생하는 여러 현상중 하나를 선택하여 Animation의 구성한 Severe Accident, 방사선 비상등급으로 구성되어 있는 비상발령, 증기발생기 열변환 과정으로 큰 항목은 구성되어 있다

(2) 작은 항목 : 큰 항목에 따르는 작은 항목들이 명시되어 있으며 클릭으로 그에 해당하는 창이 활성화된다. 마우스를 오버하였을 때 미리보기 창에서 Still Cut으로 미리 보여 준다.



[그림 1] CBT 메인화면

## 1.2 Plant Simulation

### 1.2.1 Simulator Operation

시뮬레이터를 조작 (Reset, Replay, IC Snap, MalFunction, Override 등) 할 수 있게 되고, 각

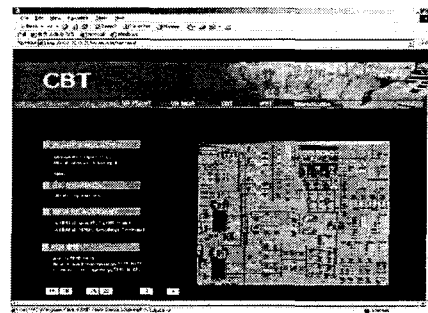
종 화면(Sim-Diagram, Trend 등)을 나타내는 강사조작반 창을 띄우기 위한 버튼이다. (<그림 2>)



[그림 2] 시뮬레이터 조작 화면

### 1.2.2 Plant Status Display

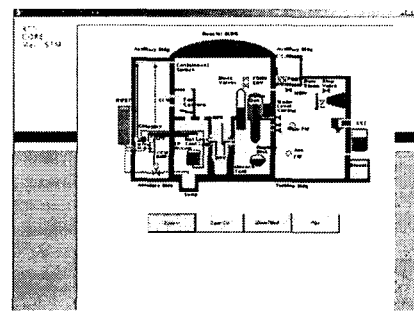
발전소 상태를 주요계통별 P&ID 형식으로 운전원에게 제공하기 위한 화면이다. 각 계기에 해당하는 물리량을 디지털 혹은 아날로그 형식으로 운전원에게 제공한다.



[그림 3] Plant Status Display

### 1.2.3 Mimic Display

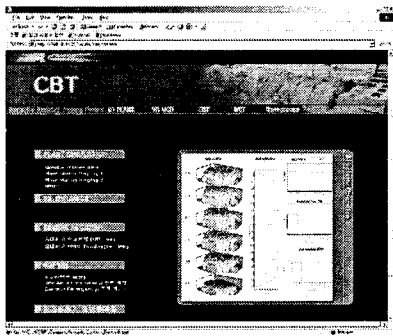
Mimic Display는 시뮬레이션 서버에서 구동되는 계통 모델의 상황을 GUI로 표현하여 운전원에게 일목요연한 주요 화면 정보를 제공하는 것을 목적으로 한다.



[그림 4] Mimic Display

### 1.3 Reactor Dynamics

실시간으로 구동되는 노심모델의 노심내 열중성자속, 핵연료 온도, 냉각재 온도를 3차원으로 6개의 노드별로 형상화하며, 반응도(reactivity), 출력 (Power), 노외 수직출력 경사도 (External Axial Offset), 노내 평균 핵연료/냉각재 온도, 지논/사마리움 반응도를 시간별 2차원 그래픽으로 제공하고, 각 제어봉의 현재 위치를 지시하여 노심모델이 제공하는 여러 중요 물리적 변수를 동적으로 사용자가 알 수 있게 함으로 노심 현상에 대한 이해를 높이고자 Reactor Dynamics를 제공하고 있다.



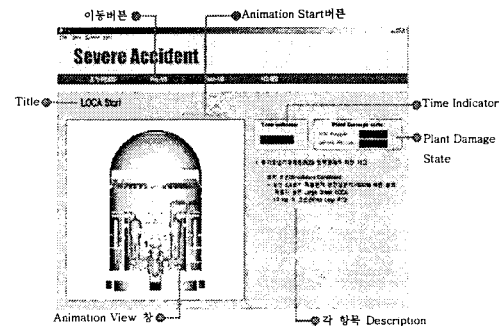
[그림 5] Reactor Dynamics

### 1.4 Severe Accident

방사능 방출 유무에 관계없이, 초기사고 유발 요인인 초기사건(Initiating Event)이 발생되고 여기에 대처하도록 설계된 안전계통이 추가적으로 고장을 일으켜 작동되지 못하여 원자로심이 손상되고 최후에 방어벽인 격납건물이 건전성을 상실하게 되는 중대사고는 사건 초기단계인 초기사건/ESF, 원자로 용기 파손 전까지의 Pre-VB와 그후의 Post-VB에서 사고결말까지 나누어 구성되어 있다. 또한 각 단계별 세부 현상으로 다시 나누었고 각 현상에 따라 시간의 흐름과 격납용기 건물, 원자로용기의 압력을 표시하여 발전소 손상상태 파악을 용이하도록 하였다.

#### (1) Severe Accident 화면구성(off-line)

<표 4-3>의 Severe Accident Menu 구성과 같이 LOCA시작에서 사고결말까지 총 8현상으로 나누어진 중대사고는 초기사건/ESF, Pre-VB, Post-VB, 사고결말로 크게 4단계로 나누어져 구성되어 있다. 또한, Severe Accident Browser에는 Animation View 창과 그 현상에 대한 정보를 기록한 Description을 비롯하여 Time Indication, Plant Damage State의 수치들은 그 현상이 시작하기 전, 즉 전 현상이 끝난 시간과 압력수치까지 표현하고 있다.



[그림 6] 중대사고 화면

[표 1] Severe Accident Menu 구성

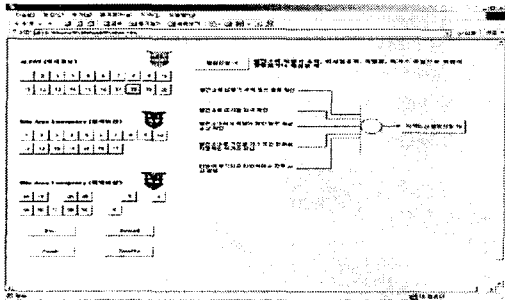
NO	단 계	현상
1	초기 사건/ESF	LOCA Start
		ESF 작동상태
2	Pre-VB	중대사고 발생 전 RCS/격납건물 상태
		중대사고 발생 후 RCS/격납건물 상태
3	Post-VB	원자로 용기 파손과정
		원자로 공동에서의 노심 용융물 거동
		장기격납건물 거동
4	사고결말	격납건물 손상여부

#### (2) 중대사고 Mimic Display (On-line)

중대사고 진행에 따라 비상 발령 조건이 되면 비상등이 해당조건에 따라 색깔을 달리하도록 개발한 도시화면이다.

### 1.5 비상발령

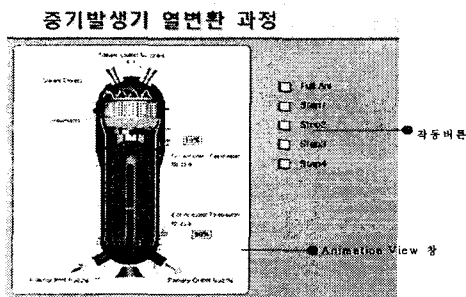
방사선비상의 등급에 따라 Alert (백색 비상), Site Area Emergency (청색비상) 및 Site Area Emergency (청색비상)로 구분된 비상발령은 그에 따른 발령상황들을 Open Window하여 파악할 수 있도록 구성하였다.



[그림 7] 중대사고 비상발령 화면

### 1.6 증기발생기 열변환과정

증기발생기는 터빈발전기를 기동하기 위한 증기를 공급하는 일종의 열교환기로서 현 개발은 그 열변환 과정을 각 단계별로 나누어 Animation 화하여 구축하였다. 제일 먼저 전체적으로 열변환 과정을 보여주는 Animation View 창은 오른쪽에 있는 작동버튼에 의해서 제어되도록 되어 있다.



[그림 8] 증기발생기 열변환 화면

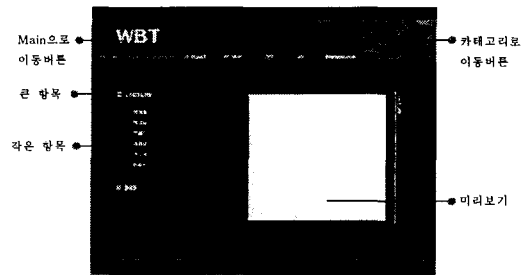
## 2. WBT

### 2.1 시스템 구성

Web Base Training System으로 Web을 기반

으로 하는 WBT는 교수 홈페이지의 링크에서부터 BBS를 구축하여 정보 교환 및 질의응답이 가능하도록 하였다.

### 2.2.1 메인화면



[그림 9] WBT 메인화면

### 2.2.2 화면 구성

- (1) 큰 항목 : 교수의 홈페이지와 연동하는 Lecture 와 발전소 훈련원과 교수님 의 질의응답을 편리하게 연결시켜주는 BBS로 구성되어 있다.
- (2) 작은 항목 : 교수님의 명단으로 구성되어 작은 항목은 각자의 교수님의 홈페이지로 링크되어 있다.

## Ⅲ. 결론

CBT/WBT는 강사가 강의실에서 시뮬레이터를 직접 기동하여 운전중 발생가능한 다양한 사고에 대하여 시뮬레이션할 수 있게 하고, 시뮬레이터와 연동되어 노심내부의 동작과정, 중대사고 현상 및 증기발생기 열변환 과정 등을 제공할 뿐만 아니라, 강사 자료와 각종 교안 등의 관리, 강사/운전원간의 의견교환을 가능하게 하는 교육 훈련 시스템이다. CBT/WBT를 개발함으로써 강의 및 운전 훈련이 독립적으로 이루어졌던 기존 강의형태를 벗어나, 강의중 논의 사고에 대한 직접 모의를 할 수 있고, 시뮬레이션 현황을 직관적으로 파악하는 수단을 제공하여 교육 효과에 극대화를 줄 것으로 예상된다.

### 참고문서

- [1] 전력연구원 외 2사, “KSNP 컴퓨터지원 교육훈련시스템 개발”, 운영 및 사용자 지침서, 2002. 4.
- [2] 박신열, “가상현실을 이용한 발전소 시뮬레이터용 교육 훈련 시스템 설계”, 한국원자력학회, 2001. 4.
- [3] MyeongSoo Lee, “Development of a web-based traing system, VRCATS, for the operation and maintenance of nuclear power plant in Korea”, EUROMEDIA 2002. April 2002.
- [4] 한수원(주), 울진 표준형원전 시뮬레이터 개발, August 2002.
- [5] KAERI/GP-108/96, 한국 표준원전 계통실무, 한국원자력연구소.
- [6] Myeong-Soo Lee etc, The new research activities of KEPRI for KNPEC-2 Simulator upgrade project, ASTC-Advanced Simulation Technologies Conference- 2001 SCS 2001.
- [7] ANSI/ANS-3.5 1993, Power Plant Simulations for Use in Operator Training.
- [8] Yong-Kwan Lee etc, KEPCOs 3-Pack Simulator Develop Plan, Proceedings of the 1995 Simulation Multi-conference (Phoenix, AR, Apr.9-13, 1995), SCS, pp.53-57.
- [9] Myeong-Soo Lee etc, Verification and Validation of the Yonggwang 3&4 Full Scope Simulator 12th European Simulation Multi-conference (June.16-19, 1998), SCS, pp.246-251.