

## 울진 표준형원전 시뮬레이터 개발

### Development of the KSNP Simulator

홍진혁

한전전력연구원

#### 요약

울진 표준형원전 시뮬레이터 개발은 그동안 전력연구원에서 추진해온 시뮬레이터 국산화 개발연구를 통하여 축적된 기술과 경험을 최대한 활용하고 고도화하여, 기존 운전원 훈련용 시뮬레이터의 기능을 대폭 개선한 고성능 전범위 시뮬레이터로 개발되었다. 우선 기존 시뮬레이터 공급자가 제공하던 열수력 모델보다 더욱 정밀한 EPRI의 첨단 열수력 모델인 RETRAN03를 실시간으로 개량하여 ARTS(Advanced Realtime Thermal-hydraulic Simulation) 코드를 개발하여 기존에는 모의하지 못하던 발전소 기동운전시 실시하는 배기 및 부분충수 운전 등 모의 범위를 확대하였다. 그리고, MAAP-4 기반의 중대사고 해석모델을 활용한 RSAM(Realtime Severe Accident Model) 등의 개발을 통하여 발전소의 정상운전은 물론 중대사고 (Beyond DBA)까지도 보다 생생하게 구현할 수 있게 되었다. 또한 강사와 다수의 운전원들이 동시에 접속하여 공동으로 하나의 작업을 수행하는 등의 가상훈련이 가능한 최첨단 교육훈련 시스템인 VRCATS (Virtual Reality & Computer Assisted Training System)를 개발하여 훈련효과를 높였다.

#### Abstract

The KSNP simulator is the result of all KEPRI's accumulated experiences in previous projects and research activities. Equipped with innovative tools and highly accurate simulation models, it is expected to be one of the highest tech simulators ever in the world. These technologies include RSAM, ARTS, VRCATS. To provide a more vivid two-phase flow simulation in the NSSS thermal hydraulic system, KEPRI developed ARTS during a joint research undertaking with KAERI. ARTS significantly contributes to the high performance of the simulator. RSAM is based on MAAP (Modular Accident Analysis Program) 4, a severe accident analysis model developed by EPRI. RSAM simulates probable severe accidents, a feature not usually within the scope of most simulator. In the VRCATS for Ulchin, all components of the virtual plant are linked with Engineering DB in addition to a more immersive environment with HMD and Data Glove. The purpose of this paper is to report the results of these efforts.

#### I. 서론

본 논문에서는 전력연구원에서 수행한 ‘울진 표준형원전 시뮬레이터 개발’ 과제의 결과물인 울진표준형원전 시뮬레이터 소개 및 탑재된 세계 수준의 최첨단 시뮬레이터 기술에 대해 소개하는 것을 목적으로 하고 있다.

#### II. 본론

## 1. ARTS (Advanced Realtime T/H Simulation) 모델

기존 시뮬레이터용 열수력 프로그램은 질량과 에너지로만 각 제어체적에서 보존하고 운동량은 “Loop Momentum Model”을 사용하거나, 정상상태 Bernoulli Equation을 사용하여 루프내의 냉각재 유량을 계산한다. 실제로 “Loop Momentum Model”을 이용한 계산방식은 일차측이 액상 (Single Phase Liquid)에 머무는 과도 현상에는 유용하지만, 이상유동시에는 전혀 타당성이 없는 방법이며, 정상상태 Bernoulli Equation을 사용하는 경우에는 유동의 유동에 관한 관성 (Inertia)이 무시되기 때문에 액상유동시와 같이 관성의 영향이 큰 경우에는 타당하지 못한 방법이므로, 계산결과의 신뢰도가 매우 떨어져 Negative Training을 야기할 수 있다. 반면에 RETRAN03과 같이 각 제어체적내의 질량, 에너지 및 운동량을 보존하는 최적코드를 사용한다면 해석결과의 정확도를 크게 향상시킬 수 있다. 결과적으로 기존의 단순화된 모델에서 비롯되는 저 신뢰도 모의결과 및 이로 인한 Negative Training의 가능성에서 탈피할 수 있으며, 시뮬레이터를 최적평가환경에서 운전원의 훈련 및 평가에 활용할 수 있다. 더 나아가 시뮬레이터를 종합사고분석, Scoping Calculation 등의 도구로도 활용가능하게 된다.

### 1.1 모의의 대상

ARTS 모델은 최신 시뮬레이터 제작기준인 ANSI/ANS-3.5-1998에 부합하도록 개발되었으며, 모의 대상인 계통은 다음과 같다.

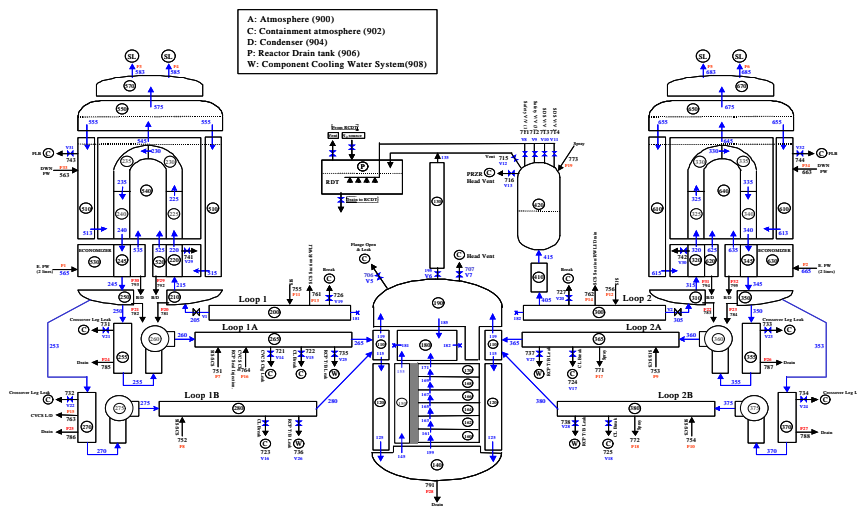
- 원자로 압력용기
- 원자로 냉각유로 1, 2
- 원자로 냉각재 펌프 1A, 1B, 2A, 2B
- 가압기
- Reactor Drain Tank
- 1차측 증기발생기 1, 2
- 2차측 증기발생기 1, 2 : 출구의 유량제한기까지
- 상기 계통모델 관련 제어 및 보호계통 연계

### 1.2 Nodalization

울진 3·4호기는 2-루프 원전으로 이에 대한 RETRAN Nodalization은 <그림. 1>에 나와있다. 원자로 계통은 62개의 수력적 체적과 126개의 Fill 및 Normal junction으로 구성되어 있으며 각 Volume은 정상운전 상태 및 각종 과도상태에서의 주요 열수력학적 특성을 반영하고 RETRAN 코드의 사용자 지침서의 권고사항을 최대한 반영하여 모델하였다. 특히 RETRAN 코드의 특성상 상(Phase)이 변하는 경우에는 계산시간 간격이 감소하므로 계산시간이 증가된다. 따라서 상의 변화가 예상되는 수력적 체적에는 Bubble-rise model을 적용하여 계산시간을 단축하였다.

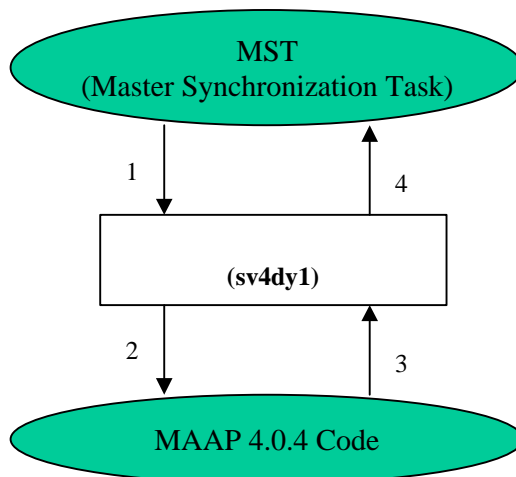
## 2. RSAM (Realtime Severe Accident Model) 모델

중대사고 분석용 코드인 MAAP4.0.4를 실시간 중대사고 (Severe Accident) 모델로 채택함으로 기존 Full-Scope Simulator의 모의 한계인 가상사고 (Design Basis Accident)를 초과하는 사고 (Beyond-DBA)를 모의하여, 보다 광범위한 해석 및 교육을 가능하도록 하는 것이 본 모델의 주된 목적이다. 추후 컴퓨터 성능이 발달함에 따라 초실시간(Super Real-time)으로 MAAP4 코드 실행 가능시 Plant-Specific으로 수립된 방사선 비상계획에 따라 중대사고로 인한 방사능방재 훈련이 가능하고, 기술지원실 (Technical Support Center)에 탑재가능한 비상대응설비 모델링시 관련된 기반기술이 확보될 것으로 기대된다.



[그림. 1] ARTS 코드 울진 표준원전용 입력자료 개념도

<그림. 2>는 울진 표준형원전 시뮬레이터 중대사고 모델과 타 계통 모델 (혹은 시뮬레이션 통합환경)간의 정보 교환을 나타내는 그림이다.



[그림. 2] 시뮬레이션 환경과 RSAM과의 연계도

자료의 전달방식은 함수의 인자로 MAAP 코드에서 사용되는 모든 변수의 시작 포인트를 넘겨주는 방식으로

서로 자료를 공유하는 Call-by-Reference를 채택하였다. 또한 추후 중대사고 모델의 개정 및 유지보수를 위하여 원본 MAAP코드를 최대한 변경하지 않고 보존하도록 노력하였다. 따라서 연계를 위한 몇 개의 파일(sv4dy1.for, pmaap.for 등)이외에는 원본 MAAP 파일과 모두 동일한 소스 파일들을 사용하였다.

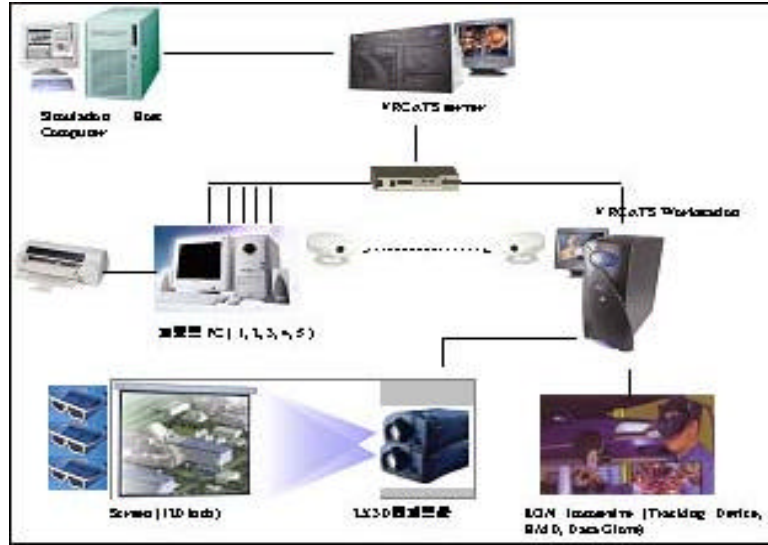
### 3. VRCATS (Virtual Reality Computer Assisted Training System)

#### 3.1 시스템 개요

지금까지 원자력 및 화력발전소에서의 운전원 교육은 주로 전범위 시뮬레이터에 의해서만 진행되어 왔다. 전력연구원은 이러한 교육 중에서 상당부분을 강의실에서 컴퓨터를 이용하여 수행할 수 있다는데 착안하여 강의실용 교육훈련 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 4 종류의 서브시스템, 즉, VRPLANT(가상발전소), VRMCR(가상주제어실), CBT(Computer Based Training), WBT (Web Based Training)로 구성되어 있다. VRPLANT는 WEB3D 기술을 적용하여 3차원 공간으로 구축되어 있어서 발전소 건물, 건물 내의 주요기기 등을 가상공간에서 Navigation 할 수 있으며, 주요기기에 대해서는 엔지니어링 DB가 연동되어 있어서 이동 중에 특정기기를 클릭하면 P&ID, Logic 도면, Spec 등을 참조해 볼 수 있다. 또한 기기들은 분해/조립 등을 할 수 있어서 기기의 형태, 내부구조, 동작원리 등을 습득할 수 있다. VRMCR도 3차원으로 구축되어 있어서 공간을 이동하면서 버튼, 계기판, 경보판 등의 형상을 파악할 수 있으며, 주요 계기들은 시뮬레이터와 연동되어 있어서 특정 스위치를 조작하면 경보판의 울림, 계기판의 변화 등을 감지 할 수 있다. 또한 교육생들이 하나의 팀을 구성하여 네트워크상의 자신의 컴퓨터에서 각종계기의 조작 및 문제 상황 대처 방법을 학습할 수 있다. 뿐만 아니라 Cyber Glove, HMD 등의 가상현실 장비를 이용하여 한층 더 몰입감을 느낄 수도 있다. CBT는 강사가 강의실에서 시뮬레이터를 직접 기동하여 운전 중 발생 가능한 다양한 사고에 대한 시뮬레이션을 해 볼 수 있다. 시뮬레이터와 연동하여 노심내부의 동작과정, 중대사고 현상 및 증기 발생기 열 변환 과정 등도 표현하였다. WBT는 자체 Server를 이용하여 Web Site를 구축하였으며 강사의 자료와 각종 교안 등의 관리, 강사/운전원간의 의견교환 등이 가능하도록 하였다.

#### 3.2 개발환경

본 시스템을 구성하는 H/W는 발전소 시뮬레이션 모델이 운영되는 컴퓨터, 본 프로젝트에서 개발한 가상현실 시스템 운영을 위한 워크스테이션 및 서버 컴퓨터, 몰입형 장비인 Data Glove, HMD(Head Mounted Display), 강사와 운전원간의 공동작업을 위한 개인용 컴퓨터, 입체영상을 구현하는 LCD 프로젝터 등으로 구성되어 있으며 이들 장비들은 LAN을 이용하여 서로 연결되어 있다. 다음 그림은 본 시스템의 구성을 나타낸다.



[그림. 3] VRCATS 구성

### 3.3. 시스템 구성

#### 3.3.1 가상발전소 (VRPLANT)

가상발전소는 발전소 전경 시물레이션, 주요건물, 기기 분해/조립, 내부구조, 계통 시물레이션, 핵연료장전 등 총 6개 큰 항목으로 구성되어 있다. 가상발전소는 전경에서 건물, 그리고 그 건물을 구성하고 있는 기기까지 점차적으로 세부적인 부분까지 이동하도록 구성되어 있다.

울진 3·4호기의 전경 시물레이션은 마우스뿐만 아니라 키보드를 사용하여 자유로운 Navigation 및 Heliport View, Bird View, Walk View 등 3개의 Viewport를 구성하여 사용자가 원하는 시선으로 자유자대로 건물 외부 및 발전소 주변을 Navigation을 할 수 있다. 주요건물은 Containment, Turbine, Fuel, Auxiliary 건물 등 총 4개로 구성되어 있으며, 건물 안의 Navigation 뿐만 아니라 건물의외곽에 Opacity를 주어 건물 안을 구성하고 있는 각종 기기와 배관 등의 상호관계성과 위치, 크기 등을 한눈에 파악할 수 있다.

또한 각 기기들의 명칭은 툴팁(Tool Tip)을 이용하여 표시하며, P&ID도면, 명세(Specification) 등의 내용을 가진 EDB(Engineering Data Base)가 3차원 데이터와 링크되어 있어서, 운전원이 Navigation 중에 언제라도 관련정보를 볼 수 있다. Steam Generator, Reactor Vessel 등 주요기기는 툴팁을 이용하여 명칭을 표시하며, 각 기기를 부분별로 분해하여 Rotate/Zoom/Pan 기능을 이용하여 기기의 세부적인 형태와 동작원리를 쉽게 파악할 수 있다.

#### 3.3.2 가상주제어실 (VRMCR)

가상 주제어실은 발전소의 MCR(Main Control Room)을 컴퓨터상에서 3차원 가상현실로 구현하였으며, 가상 제어반의 3차원 모델은 시물레이터의 모델과 연계되어 가상제어반의 스위치 조작에 따른 데이터 변동 값을 시물레이션 모델로부터 현실감 있게 받게 된다. 시물레이터 모델과의 연계는 시물레이터 예비용 컴퓨터에 데이터 서버를 구축하여 시물레이션 모델과 가상발전소 사이에 데이터 통신이 되도록 하였다. 본 시물레이터용 데이터 통신 서버는 OPC(OLE for Process Control)를 이용하여 개발 하였다. VRMCR에서는 다수의 운전원들이 동시에 접속하여 공동으로 비상운전을 수행하는 Collaboration의 기능을 포함하고 있다. 비상운전을 위해

강사는 자신의 Avatar와 Chatting에 의해 작업명령을 내리고, 운전원은 그 지시에 따라 계기를 조작한다. 본 프로젝트에서는 비상운전절차 중 EOP-02에 의한 비상운전을 수행할 수 있는 수준으로 관련 경보판, 계기, 스위치들이 동적으로 모델링 되어져 있다.

가상 주제어실외에 현장 패널인 EER(Electric Equipment Room), RSP(Remote Shutdown Panel), 2차 현장 패널, Intake 패널은 2차원으로 실사 이미지를 이용하여 작성 하였다. 각 패널 이미지는 마우스를 가져가면 미리보기가 활성화되고, 이미지 Viewer에서 Zoom In, Zoom Out 기능을 이용하여 이미지의 전체적인 형태와 각 부분의 깨끗하고 선명한 이미지를 볼 수 있다. 추가적으로, VRPLANT와 VRMCR은 HMD(Head Mount Display)와 Data Glove를 이용한 몰입형(Immersive) 환경을 지원하며, 또한 입체 프로젝트를 이용하여 대형화면에서 입체영상을 제공한다.

### 3.3.3 CBT

CBT(Computer Based Training)는 발전소 시뮬레이션(Plant Simulation), RX. Dynamics, 중대사고(Severe Accident), 비상발령 및 증기발생기 열변환 과정으로 구성되어 있다. Simulator Operation 기능을 이용하면 강사는 강사조작 메뉴를 통하여 시뮬레이터를 조작(Reset, Malfunction, Override 등) 할 수 있고, 각종 화면(Sim-Diagram, Trends)을 보여줄 수 있다. 중대사고는 모의사고에 의해 구축된 데이터를 근거로 하여 개발되었다. 중대사고에서 일어나는 각 현상들을 단계별로 나누어 구성한 중대사고는 각 현상마다 시간 지시계(Time Indication)와 발전소 손상 상태(Plant Damage State)를 Animation View창 우측에 배치하여, 각 현상이 일어날 때 소요되는 시간, 격납건물과 원자로의 압력을 파악할 수 있도록 되어 있다.

또한 방사선 비상등급에 따라 백색비상, 청색비상, 적색비상으로 구성된 비상발령은 각 발령의 발령상황 등을 Open Window를 통하여 볼 수 있다. 증기발생기는 터빈 발전기를 기동하기 위한 증기를 공급하는 일종의 열 교환기로서 본 프로젝트에서는 그 열변환 과정을 각 단계별로 나누어 Animation화 하였다. 제일 먼저 전체적으로 열변환 과정을 보여주는 Animation View 창은 오른쪽에 있는 작동버튼에 의해서 제어되도록 되어 있다.

### 3.3.4 WBT

WBT (Web Based Training)는 강사와 교육생이 강의실 이외의 장소에서 시간과 공간의 제약을 벗어나서 원격교육이 가능하도록 웹서버 환경을 구축하였다. 현재는 기존에 구축된 강사들의 홈페이지를 Intra-Net 환경에서 접근이 가능하도록 링크된 상태에 있다. 향후에는 일부내용에 대해서는 원격으로 강의가 가능하도록 다양한 콘텐츠를 개발할 예정이며, 현재는 발전소 운전과 관련한 교육자료, 각종 동영상 및 이미지, 각종교재 등에 대한 DB 구축을 준비중에 있다.

### 3.3.5 입체영상

인간의 두 눈은 약 65mm정도 이격되어 있어 어떠한 사물을 볼 때 각각 다른 이미지 정보를 획득하게 되며, 대뇌에서 두 이미지 합성을 통하여 입체를 인지하게 된다. 입체영상이란 바로 이처럼 양쪽 눈에 비쳐지는 사물의 모습이 다르다는 원리를 응용한 것이다. 본 프로젝트도 3차원 영상에 대해 더욱 현실감 있는 교육을 지원하기 위해 입체 영상을 구현하였다.

## 4. PCATS (Personal Computer Assisted Training System)

기존의 시뮬레이터 훈련은 법령에 의한 강제 훈련으로서 주재어실 근무자나 근무 예정자들을 위한 것으로 주로 반복 학습에 의한 운전 조작 절차 숙지를 목적으로 하고 있는 반면에 발전소의 발전 원리나 계통 설명 등 대부분의 교육은 강의실에서 고전적인 방법(구두 설명, 교재, OHP, Beam Project등)을 통해 이루어져 왔으며 개인 학습을 위한 별다른 시스템은 없는 형편이었다. 이를 위해 울진 표준형 시뮬레이터 개발과제의 일환으로 개발된 개인용 컴퓨터 학습시스템(PCATS; Personal Computer Assisted Training System)을 개발하였다.

일반적으로 원전 분석기(Nuclear Plant Analyzer)는 사고 분석이나 안전성 해석을 위주로 하기 때문에 정교한 모델을 위주로 하고 실시간을 보장 해 주지 못한다. 이러한 원전분석기는 실제 그러한 업무에 종사하는 일부 전문 종사자들에게는 유용하게 쓰이지만 이들 이외의 다른 대부분의 발전소 종사들은 그러한 좁은 분야의 전문적인 해석 결과 보다는 일반적인 여러 사고 스펙트럼을 실시간으로 해석해줄 수 있고 사용자 편의성이 보장된 시스템이 자신의 컴퓨터에 설치되어 있기를 원하는 경향이 있다. PCATS는 이러한 목적에 맞도록 설계되어 원전 최적 해석 열수력 코드인 RETRAN을 기반으로 하는 ARTS등 울진 표준형원전 시뮬레이터에 탑재된 정밀한 모델을 갖추면서도 중대사고를 비롯한 여러 가지 사고를 범용 개인용 PC에서 실시간으로 할 수 있도록 개발되었다.

### 4.1 RCS 모델

PCATS의 핵심 모델이라고도 할 수 있는 원자로 냉각수 계통의 이상유체(Two Phase Model)을 위해서는 본 과제의 전범위 시뮬레이터에 사용된 RETRAN을 기반으로 그 모의범위를 확장한 ARTS를 탑재하였으며 그 노드도 전범위 시뮬레이터와 동일하다.

### 4.2 노심 및 기타 모델

PCATS의 노심 모델도 시뮬레이터의 노심모델과 근본적으로 동일하며 각 연료집합체를 축방향으로 12방향으로 나누었으며 원자로 동특성을 쉽게 알 수 있도록 하기 위해 3D Display 및 각 반응도 인자가 표시되는 화면을 개발하여 설치하였다.

그 외에 주증기 및 주급수 계통등 주요 1,2차 보조 계통을 개발하여 연계하였으며 대형냉각재 상실 사고, 주증기관 파열, 증기발생기 세관 파열, RCP 정지등 중요한 비상사고 운전이 가능하도록 설계하였다.

### 4.3 중대사고 모델

PCATS의 중대사고 모델도 시뮬레이터(VRCATS)의 중대사고모델과 근본적으로 동일하며 PSA 사고분석에 사용되는 MAAP 코드를 기반으로 하는 중대사고 실시간 모델(RSAM)을 사용하였으며 고온관 파열, 모든 교류전원 상실, 주증기관 파열, 소형 냉각재 상실, 증기발생기 세관 손상 등의 사고로 기인하는 중대사고 시나리오의 자동 운전분석이 가능하도록 설계되어 있다.

## 5. 노심 모델

REMARK(REAL-time Multigroup Advanced Reactor Kinetics)는 원자로 노심을 실시간으로 모의하기 위한 노심모델 개발틀로서 원자로의 정상 및 비정상하에서 속중성자 및 열중성자의 특성을 정확히 모의하기 위해서 2 에너지 그룹을 사용하고, 노심내의 중성자속과 출력분포를 정확히 모의하기 위해서 3차원 Mesh-cell 구조를 갖는다. 또한 Finite Difference 방정식을 사용하여 시간중속 확산이론을 유도하여 계산한다. 이 컴퓨터자원과 실시간 조건이 경계가 되어 Mesh-cell의 크기를 정할 수 있다. 비균질 원자로는 다중의 균질 원자로로 나뉘어 모의된다. REMARK의 특징으로는 다음과 같다.

- (1) 노심 중성자속 분포를 계산하기 위한 개선된 Quasi-Static 해결방안 도입
- (2) 6군 지발중성자 고려
- (3) I-135, Xe-135, Pm-149, Sm-149 등 4개의 동위원소에 대한 농도 계산
- (4) 핵연료온도, 냉각재 온도/밀도, 기포분율 (Void Fraction) 등의 열수력학적조건에 기초한 반응도 제환
- (5) 제어봉 제적에 따른 반응도 계산
- (6) 보른 농도 변이에 따른 반응도 계산
- (7) 노내(외) 검출기에서의 중성자속 계산
- (8) 실제 발전소의 노심계산에 사용되는 Lattice 코드 및 설계 코드의 Cross-section 사용
- (9) Fission Power History에 근거한 U-235, U-238, Pu-239로부터 발생하는 붕괴열 분포를 계산하기 위해 23개의 붕괴열 그룹을 도입.

울진 표준형원전 시뮬레이터에서 개발된 노심모델은 원자로심의 연료부분을 축방향으로는 12분할하고, 반경방향으로는 177개로 분할하여 전체 2124개의 노드로 분할하여, 3차원적인 중성자속 및 출력 분포를 계산해내고 있다.

## 6. 발전소 일반 모의계통

울진 표준형원전 시뮬레이터에서 개발된 계통은 다음과 같다.

- CC (Component Cooling Water System)
- CH (Containment System)
- CV (Chemical and Volume Control System)
- ED/EG (Electrical Distribution/Generation System)
- GC (generic Component)
- FW (Feed Water System)
- MC (Main Condenser System)
- MS (Main Steam System)
- NI (Nuclear Instrumentation System)
- RC (Reactor Coolant System Logic)
- RD (Rod Drive Control System)/RX(Reactor Control System)
- RM (Radiation Monitoring System)



- RP (Reactor Protection System)
- RH/SI (Residual Heat Removal/Safety Injection System)
- TC (Turbine Control System)

## 7. 플랜트 컴퓨터 시스템

### 7.1 개요

Plant Process Computer 시스템은 발전소의 안전계통과 감시계통을 Simulation 하는 컴퓨터 기능으로서 Math model로 부터 입력받은 데이터를 적절한 프로그램으로 처리하여 모니터, 지시계, 프린터등을 이용하여 운전원에게 정보를 제공한다. PPC system은 Math model 시스템에서는 계산되지 않는 값들을 계산하기도 하고, Math model에서 입력받은 데이터를 그대로 사용자 인터페이스 화면에 보여주기도 한다. 이러한 기능들을 사용하여 울진표준형원전 시스템에서는 아래와 같이 각 계통별 Sub\_System을 개발하였다.

PPC SubSystem에는 발전소감시계통(PMS), 방사선감시계통(RMS), 터빈감시, 제어계통(Mark-V), 노심보호 연산기(CPC/CEAC), 원자로 노심냉각감시계통(ICCMS), 제어봉집합체(CEA), Annunciator Monitoring System(AMS), 진동감시계통(RCPVMS), 발전소제어계통(PCS), CCTV 시스템이 있다.

### 7.2 구성 시스템

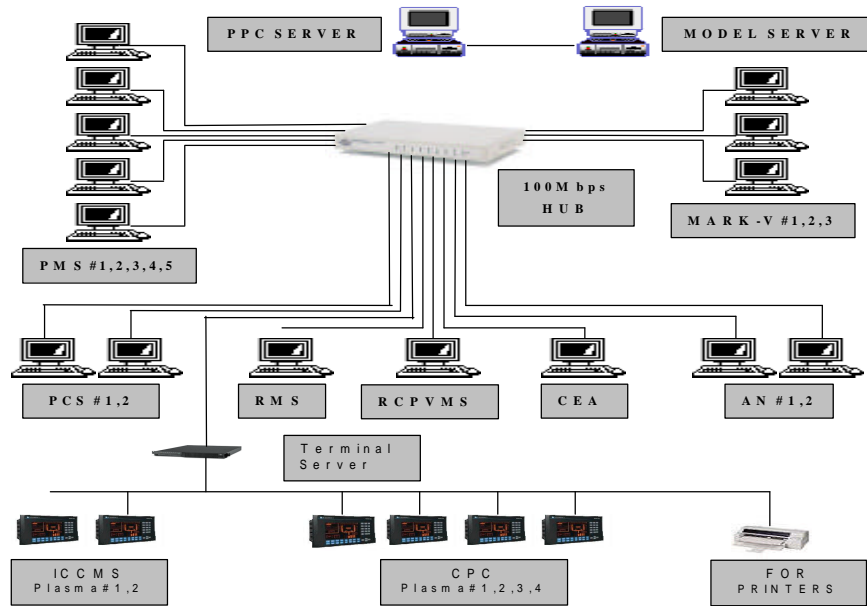
PPC Server 시스템은 서버와 클라이언트간 OPC(OLE for Process Control) 통신 방식으로 이루어지고 있다. OPC 통신을 위해 Math Model 서버에는 OPC 서버가 설치되어지는데 이 프로그램은 Rockwell Software 에서 제공하는 OPC 통신 라이브러리를 이용하여 현 모의제어시스템에 맞게 개발되어진 프로그램으로서 이들 시스템간의 데이터 전송은 Math Model Computer에서 공유메모리를 이용하여 데이터를 수집하고, 수집된 데이터를 Polling 또는 Advising 방식에 의해 해당 클라이언트에 현재 데이터들을 서비스하는 방식으로 구성된다. 이 통신방식은 특정 클라이언트가 추가되거나 제외되더라도 현 시스템의 구조에 영향을 끼치지 않고 쉽게 서버와 클라이언트의 접속을 기대할 수 있다.

#### 7.2.1 소프트웨어 구성 및 개발프로그램

PPC Server 시스템에는 RSVIEW32 32K Tags Works, OPC Toolkit 및 Visual Basic으로 개발된 CPC/CEAC, CCTV, AMS 시스템용 프로그램이 내장되어 있다.

#### 7.2.2 전체 구성도

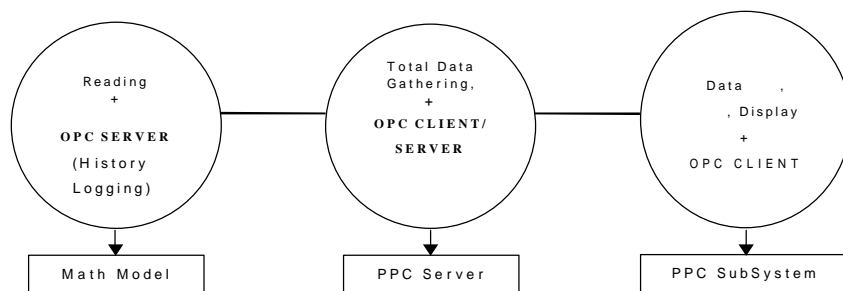
PPC의 전체 구성도는 <그림. 4>와 같다.



[그림 4] PPC 전체구성도

### 7.2.3 통신구조

PPC 서버 및 클라이언트의 연결 구성도는 <그림. 5>와 같다.



[그림 5] PPC 서버/클라이언트 구성도

## III. 결론

전력연구원은 지난 1994년 발전소 운전원 훈련용 모의제어반 국산화 개발에 착수한 이래 영광 원자력 3,4호기 (CE Type PWR) 시뮬레이터, 보령화력 3,4호기 (관류형 보일러) 시뮬레이터, 고리 원자력 2호기 (PWR) 시뮬레이터, 하동화력 3호기 (표준화력) 시뮬레이터 및 원자력교육원 2호기 시뮬레이터 성능개선 등의 프로젝트를 성공적으로 완료하였다. 이들 과제의 수행을 통해 축적된 기술을 바탕으로 전력연구원은 올진 표준형원전 시뮬레이터 개발을 완료하였다.

본 과제의 주요 기술적 특징으로는

첫째, 올진 1호기 시뮬레이터와 호환성을 유지할 수 있고, 기술의 호환성 및 일관성 유지, 보수 전문인력 양성 등이 용이하며, 소프트웨어 및 하드웨어 유지보수 등에 있어서 친숙한 환경을 제공하는 개방형 OS (Operating System) 기술을 적용하였다.

둘째, 실시간 중대사고(Severe Accident) 모델의 도입과 해외 전문기관의 기술자문을 통해 기존 시뮬레이터의 모의한계인 가상사고 (Design Basis Accident)를 초과하는 사고 (Beyond-DBA) 모의가 가능한 wd대사고 모델 개발

셋째, 3차원 계산이 가능한 최신코드로 3차원 노심모델을 개발

넷째, 전력연구원과 원자력연구소가 공동으로 개발한 최신 열수력 코드인 ARTS(Advanced Realtime Thermal-hydraulic Simulation)를 사용하여 발전소 충수운전시 배기 (Vent) 기능 등 최첨단 모의가 가능

다섯째, 최신 가상현실 (Virtual Reality) 기술을 이용하여 3차원으로 표현된 가상 발전소 (Virtual Plant)와 결합시켜 강사의 교육을 지원토록 하는 컴퓨터 지원 교육훈련 시스템 (CATS : Computer Assisted Training System)을 개발 등을 들 수 있으며, 시뮬레이터 성능의 대폭향상 및 교육환경의 질적 도약을 이루었다.

#### IV. 참고문서

- [1] REMARK, GSE Modeling Technical manual
- [2] 한수원(주), 울진 표준형원전 시뮬레이터 개발, August 2002.
- [3] RETRAN-3D -- A Program for Transient Thermal-Hydraulic Analysis of Complex Fluid Flow Systems, NP-7450(A), July 2001
- [4] KEPCO, Ulchin Units 3&4, Final Safety Analysis Report, Chapt. 15, pp 15.0-1.
- [5] KHNP, 영광 3,4호기 중대사고 관리지침서.
- [6] KAERI/GP-108/96, 한국 표준원전 계통실무, 한국원자력연구소.
- [7] Myeong-Soo Lee etc, The new research activities of KEPRI for KNPEC-2 Simulator upgrade project , ASTC-Advanced Simulation Technologies Conference- 2001 SCS 2001.
- [8] ANSI/ANS-3.5 1993, Nuclear Power Plant Simulations for Use in Operator Training .
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Yong-Kwan Lee etc, Performance of the NSSS Model for Design Base Plant Transients of the Yonggwang 3&4 and Kori No. 2 Simulators, 2000 Western Multi-conference (Jan.23-27, 2000), SCS.