

고리 1호기를 위한 운전원 교육용 가상 시뮬레이터 개발

홍진혁*

Development of the Virtual Simulator for Kori #1 Nuclear Power Plant

Hong Jin Hyuk

Abstract

고리 1호기 운전원 교육용 가상 시뮬레이터 개발은 고리 1,2호기 운전원, 특히 시뮬레이터가 없는 고리 1호기 운전원의 시뮬레이터 실습효과를 향상시키고 규제기관의 규제요건 충족 및 신입사원 등의 계통교육을 효과적으로 수행하는데 그 목적이 있다. 현재 1단계가 종료된 상태로 현재까지 개발된 범위는 고리 1호기를 기준발전소로 하여 전범위 시뮬레이터 모델과 동일한 구조와 기능을 갖는 원자로심, 열수력 계통 및 CVCS 등 주요 계통을 개발하였으며, 이들 계통을 제어하기 위한 강사조작용 소프트웨어, Sim Diagram, Soft Panel 등이 개발되었다. 고리 1호기 가상 시뮬레이터를 개발함으로써 기준 발전소 시뮬레이터가 없는 고리1호기 운전원의 교육훈련에 지대하게 효과를 높일 것으로 예상된다.

I. 서론

본 논문에서는 전력연구원에서 수행한 '운전원 교육용 가상시뮬레이터 개발' 과제의 결과물인 고리1호기용 가상 시뮬레이터에 탑재된 세계 수준의 최첨단 시뮬레이터 기술에 대해 소개하는 것을 목적으로 하고 있다.

II. 본론

1. ARTS (Advanced Realtime TH 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 과도현상에는 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, 계산 결과의 신뢰도가 매우 떨어져 Negative Training을 야기할 수 있다. 반면에 RETRAN03과 같이 각 제어체적내의 질량, 에너지 및 운동량을 보존하는 최적코드를 사용한다면 해석결과의 정확도

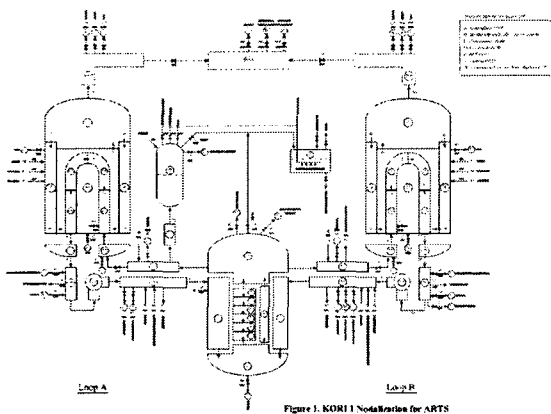
* 한전전력연구원 원자력연구실 원자로공학그룹
시뮬레이터개발팀

를 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 기하학적자료 입력

ARTS 입력자료는 고리 1호기 RETRAN 입력자료를 기본으로 하여 작성했는데 수정이 필요한 노심 및 증기발생기, 가압기의 기하 모델은 이미 여러 안전해석에서 사용하여 품질 보증된 입력자료인 고리 1호기 RELAP5/MOD3 Calculation Note를 참조하였다. 이밖에도 고리 1·2호기 최종안전성분석보고서(FSAR) 및 고리 1·2호기 PL&S(Precation, Limit and Setpoint)를 참고 자료로 활용하였다.

고리 1호기는 2-루프 Westinghouse형 원전으로 이에 대한 RETRAN Nodalization은 <그림 1>에 제시되어 있다. 원자로 계통은 46개의 수력적 체적과 91개의 Fill 및 Normal junction으로 구성되어 있으며 각 Volume은 정상운전 상태 및 각종 과도상태에서의 주요 열수력학적 특성을 반영하고 RETRAN 코드의 사용자 지침서의 권고 사항을 최대한 반영하여 모델하였다.



[그림 1] 고리 1호기 ARTS Nodalization

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. 노심 및 핵연료 입력력은 Westinghouse사의 Vantage-5H 연료의 자료를 바탕으로 작성하였다.

1.2 경계조건 모델링

ARTS 코드가 모의하는 영역은 가압기, 가압기 방출탱크, 원자로 용기 및 1차 냉각계통, 증기 발생기 1, 2차측이다. 이 외의 부분은 ARTS 코드에서 경계조건으로 처리된다. 경계조건으로 주어지는 주요 계통은 다음과 같다.

- 화학 및 체적 제어 계통 (CVCS)
- 잔열제거계통 (RHRS)
- 비상노심냉각계통 (ECCS)
- 주급수 및 보조급수 계통
- 주증기계통

상기 계통이외에도 NSSS 관련 제어계통의 제어 파라미터나 Malfunctions를 구현하기 위해 설치한 Valve components 등이 ARTS 코드의 경계조건으로 모델된다.

2. Reactor Core 모델

고리 1호기 노심모델은 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. 그 외 고리 1호기 노심모델의 특징으로는 다음과 같다.

- (1) 노심 중성자속 분포를 계산하기 위한 개

선된 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 등의 열수력학적조건에 기초한 반응도 계산
- (5) 제어봉 케적에 따른 반응도 계산
- (6) 보론 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.

고리 1호기 시뮬레이터에서 개발된 노심모델은 원자로심의 연료부분을 축방향으로는 12분할하고, 반경방향으로는 121개로 분할하여 전체 1452개의 노드로 분할하여, 3차원적인 중성자속 및 출력 분포를 계산해내고 있다.

2. 강사조작 소프트웨어 개발

강사조작 소프트웨어는 시뮬레이션 강사가 조작하는 프로그램으로 실시간제어 및 다양한 종류의 그래픽형태를 수용하는 기능을 제공할 수 있도록 개발하였다.

2.1 개발환경

SoftPanel는 실시간 형상화 툴을 사용하여 설계되고 구현되었다. 실시간 형상화 툴은 다음과 같은 특징을 가지고 있으며, 보다 현실감 있는 GUI를 위하여 인간공학적인 설계를 도입하려고 노력하였다. 또한 개체의 동적 연결을 위하여 개체의 이벤트는 실시간 형상화 툴에서 지원하는 VB Script를 사용하여 메시지 처리를 하였다.

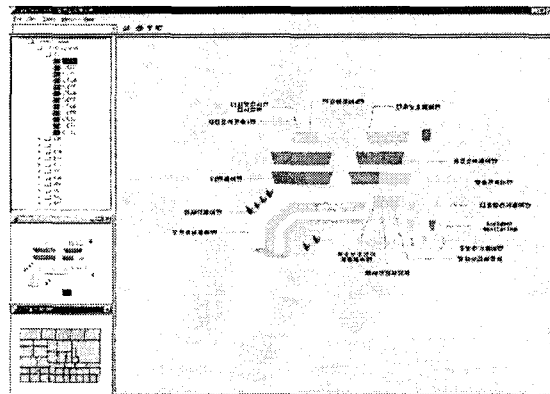
- 그림개체 지원
- Windows Control 지원 (표준 및 ActiveX)
- 확장성을 위해 VB Scripting과 C++

callbacks 지원

- VB Scripting은 다른화면과 병행하여 사용 가능
- 속성창은 폰트 및 색상변경을 위한 Tool bar 제공
- Office 2000 스타일의 색상선택기능
- 개체정렬, 회전, 그룹, Layer 등 기능
- Zoom 기능 및 자동 scrolling
- VB Script의 변수 및 문법 표시기능
- 드래그&드롭을 활용한 사용자 고유의 그래픽 카탈로그 제작기능 등

2.2 Sim Diagram

화면은 왼쪽상단의 Tree구조로 되어있는 화면 전환 창, 그리고 중앙의 주 작업화면, 그리고 왼쪽하단의 현재 나타나 있는 화면의 계층을 보여주는 작은 두개의 화면으로 이루어져 있다. Sim Diagram의 메인화면은 <그림 2>와 같다.



[그림 2] 제어화면 구성

가. 화면 전환창

화면전환 창은 Tree구조로 되어있고 각 항목을 선택하면 주 작업화면이 해당되는 곳으로 이동하게 되어있다.

나. 상위 요약 화면

상위요약화면은 중앙의 주 화면을 축소하여

보여주는 화면으로 주 화면이 변함에 따라 따라서 변한다. 아울러 각각의 영역을 선택하면 주 작업화면이 해당되는 곳으로 이동하게 되어있다.

다. 하위 요약 화면

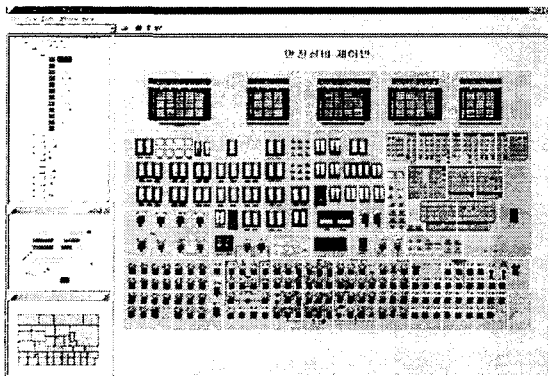
하위요약화면은 중앙의 주 화면의 개체를 선택하여 화면이동을 하였을 때 혹은 상위요약화면에서 화면전환을 하였을 때 주 화면이 변함에 따라 변화되는 요약화면이다. 하위요약화면에서 화면의 개체를 선택하면 하위요약화면은 변하지 않은 채 주 화면이 상세화면으로 전환된다.

2.3 Soft Panel

고리 1호기의 경우 기준발전소 시뮬레이터가 없는 점을 감안하여 운전원 컴퓨터에 나타나는 소프트판넬만으로 운전훈련을 가능하도록 하는 것이 주된 목적이다.

(1) Panel 전체보기화면

Panel 전체보기 화면이란 Panel을 큰 부분으로 나누어서 해당영역을 크게 보여주는 화면이다. 전체보기 화면에서 각 영역을 선택하여 누르면 해당되는 상세화면으로 이동하게 된다. 그리고 Panel전체보기 화면은 왼쪽하단의 하위요약 화면과 항상 일치하게 설계되어있다. <그림 3>은 Panel 전체보기 화면이다.



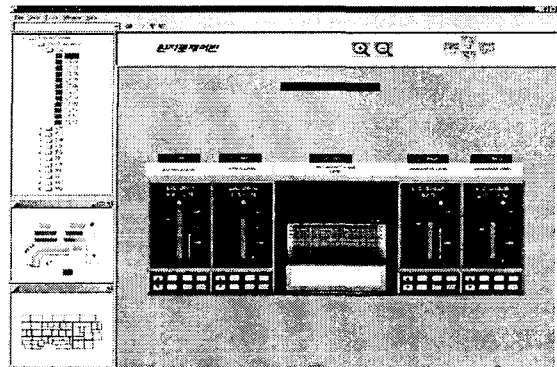
[그림 3] 판넬 전체보기 화면

(2) Panel 상세보기화면

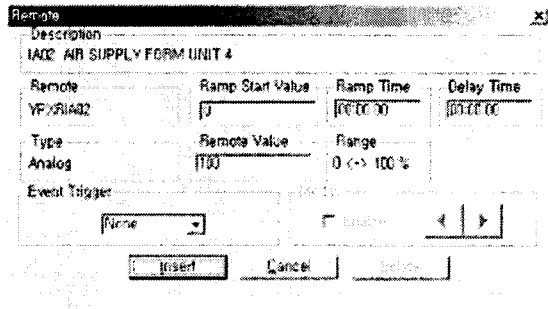
Panel 상세보기화면은 계기들의 상태를 가장 자세하게 보여주는 화면으로 전체보기화면의 일부를 선택하면 나타나게 된다. 보다 상세한 정보를 보여주기 위하여 Area Zoom 및 버튼을 통한 일괄 zoom 기능이 제공된다. (<그림 4> 참조)

2.4 제어모듈 개발

시뮬레이터 서버에서 구동되는 모델 프로그램의 제어를 위하여 <그림 5>와 같은 제어모듈을 개발하였다. 클라이언트와 서버와의 통신은 표준통신툴킷인 OPC (Ole for Process Control)을 사용하여 개발하였다.



[그림 4] 판넬 상세보기 화면



[그림 5] 제어모듈 화면

2.5 지능형 계기 모듈 개발

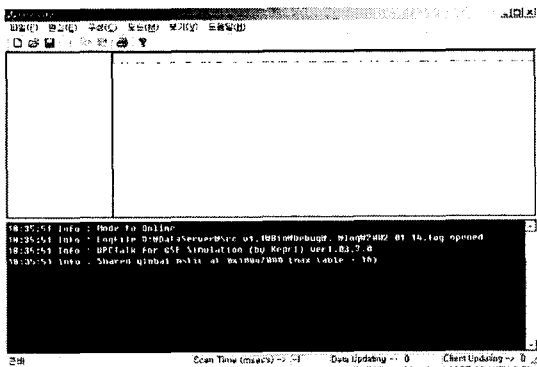
지능형 계기 모듈은 가상으로 동작되는 기기를 시뮬레이션하고 또한 GUI와의 손쉬운 통합

을 위하여 OCX로 개발되었으며 GUI에서는 ActiveX 삽입기능으로 그림에 삽입된다. GUI에서 설계된 개체이미지와 개발된 지능형 계기 OCX는 설계된 VBScript를 통해 상호 데이터를 주고 받으며 내부적인 동작을 위해 Background로 모듈의 algorithm이 돌아가고 있다.

2.6 통신용 서버 개발

외부의 응용프로그램이 고리 1호기 시뮬레이터의 실행 모델 변수들의 값들을 클라이언트 컴퓨터에서 접근할 수 있도록 하기 위해 효과적으로 Read/Write 할 수 있는 OPC (OLE for Process Control) Server를 개발 하였다. 본 프로그램은 Rockwell의 OPC Server Toolkit인 RSI OPC/DDE Server Toolkit Library를 이용하여 개발하였으며 시뮬레이터가 실행되고 있는 컴퓨터에서 실행된다. 외부 응용프로그램들은 OPC Client로서 OPC Server를 통하여 시뮬레이터의 값에 효과적으로 액세스가 가능하다.

OPC 서버의 메인 프로그램은 <그림 6>과 같다.



[그림 6] 통신용 서버 프로그램

III. 결론

지금까지 운전원 스테이션에 나타나는 Soft Panel 만으로 운전훈련이 가능한 고리 1호기 가상 시뮬레이터에 대하여 다루었다. 고리 1호기

가상 시뮬레이터의 주요 특징은 다음과 같다.

가. Simulation Diagram, Soft Panel 화면개발을 위해 지금까지 거의 모든 시뮬레이터의 GUI 화면개발에 이용해 왔던 Data Views 대신에 높은 현실감을 부여할 수 있는 일러스트레이트를 이용하였다.

나. Simulation Diagram, Soft Panel를 통한 가상제어 및 운전원제어 프로그램을 개발하기 위해 Data Visualization Tool (DVT)인 DataPlant를 이용하였다. 본 DVT는 10240*7680 이상의 해상도 지원하며 Graphic객체의 event처리를 표준화된 script 언어로 정의하고 32 Bits color이상의 미려한 색채를 지원한다.

다. 3D 계산이 가능한 최신코드로 3D 노심(Neutronics)모델을 개발하였다.

라. 최신 열수력 코드인 ARTS (Advanced Real time Thermal hydraulics Simulation)를 사용하여 최첨단 모의가 가능한 NSSS T/H 모델을 개발하였다.

본 가상 시뮬레이터의 개발로 시뮬레이터가 없는 고리 1호기 운전원의 시뮬레이터 실행효과를 향상시키고 규제기관의 규제요건 충족 및 신입사원 등의 계통교육을 효과적으로 수행할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] 전력연구원 외 2사, “울진표준형 원전 시뮬레이터 개발”, 중간보고서, 2001. 9
- [2] 전력연구원 외 2사, “원자력교육원 2호기 시뮬레이터 성능개선”, 최종보고서, 2001. 6
- [3] 전력연구원 외 2사, “KSNP 컴퓨터지원 교육훈련시스템 개발”, 운영 및 사용자 지침서, 2002. 4.
- [4] 박신열, “가상현실을 이용한 발전소 시뮬레이터용 교육 훈련 시스템 설계”, 한국원자력학회, 2001. 4.

