

전범위 실시간 시뮬레이션 환경개발

홍진혁*

Development of the Environment for Full-Scope Simulator

Hong Jin Hyuk

Abstract

본 논문은 시뮬레이터 각 계통 모델을 개발하고, 개발된 각 모델링 실행파일을 실시간으로 실행하며, 각 계통 모델의 건전성 시험을 용이하게 수행하기 위해 개발중인 시뮬레이션 환경을 소개하는 것을 목적으로 하고 있다. 개발중인 시뮬레이션 환경은 울진 표준형원전 시뮬레이터의 전 계통을 모델로 하고 있으며, 현재 각 계통 변수 데이터베이스 제어프로그램, 멈춤/실행 (Freeze/Run), 운전상태의 저장 (Snapshot), 임의의 변수에 대한 동적인 변수값 도시 (Display), 각 계통 실행파일들의 실시간 제어, 3차원 실시간 형상화 툴 등 여러 기능이 있으며, 영광1호기 최적운전분석기 등의 시스템에 이미 활용중이다. 본 시스템의 구축으로 모든 시뮬레이션 모델 및 각종 코드의 실시간 실행/빠린실행/느린실행 등의 개별 운전모드 시간조정도 가능해져 시뮬레이터 모델 이외에도 기존의 사용 프로그램의 통합 등 다양한 응용이 가능할 것으로 기대된다.

I. 서론

본 논문은 시뮬레이터 각 계통 모델을 개발하고, 개발된 각 모델링 실행파일을 실시간으로 실행하며, 각 계통모델의 건전성 시험을 용이하게 수행하기 위한 통합 소프트웨어 시스템(시뮬레이션 환경)에 대한 개념 및 개발중인 개발환경을 소개하는 것을 목적으로 하고 있다. 현재 실시간 계통 변수/모듈 데이터베이스 프로그램과 멈춤/실행 (Freeze/Run), 운전상태의 저장 (Snapshot), 임의의 변수에 대한 동적인 변수값 도시 (Display), 각 계통 실행파일들의 실시간 제어, 3차원 실시간 형상화 툴 등 여러 시스템이 탑재된 실시간 시뮬레이션 환경 (KSETM : KEPRI Simulator Environment)에 대한 내용을 다룬다.

* 한전전력연구원 원자력연구실 원자로공학그룹
시뮬레이터 개발팀

II. 본론

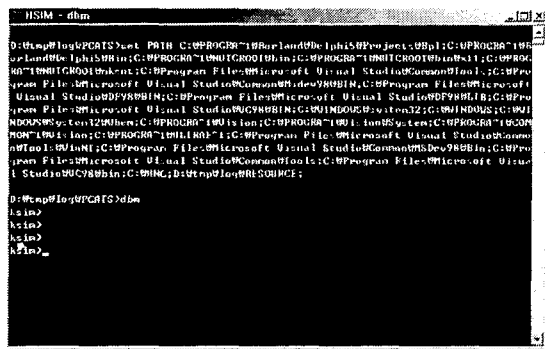
1. 실시간 계통변수/모듈 데이터베이스 프로그램

실시간 계통변수/모듈 데이터베이스 프로그램은 시뮬레이터를 구성하는 각 계통의 모델링에서 사용되는 내부변수들에 대한 공유화 관리 및 제어, 계통 모듈들에 대한 관리 등을 담당하는 데이터베이스 관리 프로그램이다. 명령을 위하여 온라인 데이터 엔트리 (Data Entry)를 입력하는 대신 명령어를 사용자가 직접 입력함으로써 보다 효율적으로 제어할 수 있도록 개발하였다.

주요 기능으로는 시뮬레이터를 구성하는 계통들에 대한 전역 메모리를 할당하여 계통간에 공유할 수 있게 하는 System Memory Globals (SMG) 기능, 각 SMG내에서 계통을 모델링 하

기 위해 필요한 내부변수들에 대한 메모리를 할당해주는 Data Memory Allocation (DMA) 기능, 각 계통 모델링에 필요한 모듈을 관리하기 위한 Module Administration (MA) 기능, 계통 모듈들을 개발된 언어에 따라 컴파일하는 Module Compilation 가능 (MC), 각 계통 모듈을 통합하여 하나의 계통 실행파일을 만드는 Module Integrity (MI) 기능 등이 있다.

〈그림. 1〉은 실시간 계통변수/모듈 데이터베이스 프로그램의 주요 화면을 제시하고 있다.



〈그림. 1〉 실시간 계통변수/모듈 데이터베이스 프로그램

1.1 SMG 기능

시뮬레이터를 구성하고 있는 계통별로 사용되는 변수 및 모듈을 시스템 전역으로 사용할 수 있게 하기 위하여 계통별 메모리를 할당하여 실시간으로 공유하는 기능이다. 이를 통하여 한 계통의 모듈에서 다른 계통 변수의 값을 실시간으로 공유할 수 있게 한다.

1.2 DMA 기능

계통별로 할당된 전역 메모리내에서 특정 계통변수가 차지할 공간을 관리하여 할당해주는 기능이다. 계통 변수의 메모리 번지는 할당된 계통 전역 메모리 번지의 Offset 개념으로 할당된다.

1.3 MA 기능

각 계통의 동적 현상을 모의하기 위해 현상을

수학적 모델링으로 구현하여 기능별로 서버루틴화하여 만든 모듈을 등록하고 개발하기 위한 기능이다.

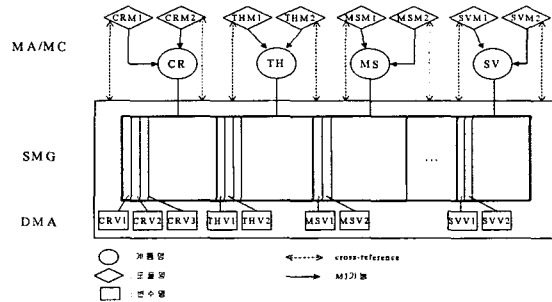
1.4 MC 기능

MA에 의해 개발한 계통 모듈을 각 개발언어 (C, Fortran, Java 등)별로 컴파일하여 목적파일 (Object File)을 만들어 내기 위한 기능이다.

1.5 MI 기능

MC에 의하여 컴파일된 목적파일들을 종합하여 계통을 모의하는 실행프로그램으로 만드는 기능을 담당한다. 각 실행 프로그램간에는 내부 변수들의 값들이 서로 공유되고, 실시간으로 실행될 수 있도록 해주는 이벤트 동기화 (Event Synchronization)가 내포되어 있다.

실시간 계통변수/모듈 데이터베이스 프로그램의 주요기능에 대한 전체적인 기능도는 〈그림. 2〉와 같다.



〈그림. 2〉 실시간 계통변수/모듈 데이터베이스 프로그램 기능도

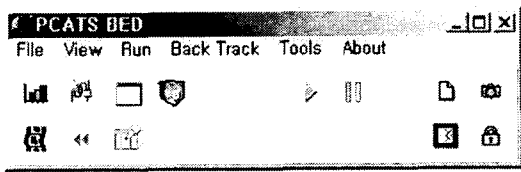
2. 실시간 시뮬레이션 환경 (KSIM)

실시간 시뮬레이션 환경에서 제공되는 주요 기능으로는 다음과 같다.

1. 각 계통에 대한 CPU별 분할실행 기능
2. 각 계통 실행모듈간의 실시간/초실시간 제어 (1초에 12번 실행)
3. 계통모델의 내부 변수들에 대한 현재값 지

시 및 변경

4. 주요계통변수에 대한 실시간 그래프 제공
 5. 미믹 (Mimic) 화면 제공
 6. 3차원 노심거동 화면
 7. 현재 상태 저장(Snapshot)/복원(Reset) 기능
 8. 운전원 조작기능 (Operator Action)
- KSE의 메인화면은 <그림. 3>과 같다.



<그림. 3> 실시간 시뮬레이션 환경 (KSE)

2.1 CPU별 계통 분할 실행 기능

실시간 계통 변수/모델 데이터베이스 프로그램에 의해 개발된 각 계통 실행파일들을 CPU별로 분할하여 실행할 수 있도록 하는 기능이다. 최대 32개까지 CPU 탑재가 가능한 Windows-NT 환경에서 각 CPU의 부하를 최소화 하기 위하여 여러 CPU의 로드가 균등히 분배될 수 있도록 각 계통을 분할하기 위한 것이 이 기능의 목적이다.

2.2 실시간/초실시간 제어 기능

KSE는 실시간일 경우 각 계통모델을 1초에 12번 실행하도록 제어한다. 따라서 각 계통 모델은 0.083초에 정확히 한번 호출되도록 제어되어야 한다. 사용자가 빠른 사고 결과를 원하는 등의 경우 초실시간을 선택할 수 있는데, 이때는 컴퓨터가 지원하는 최대의 속도로 각 계통모델을 동기화를 유지하며 실행되도록 개발하였다.

2.3 내부 변수 현재값 제공기능

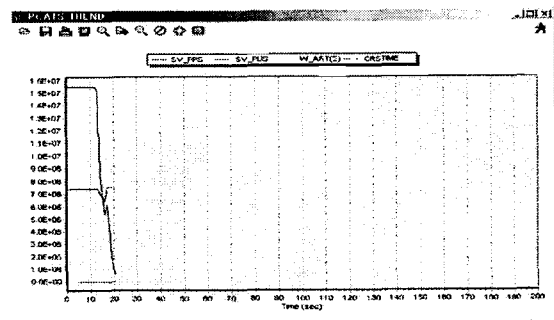
KSE에서는 각 모델 프로그램 내부에서 사용하는 변수들의 현재값을 보거나 변경할 수 있도록 하였다. 먼저 위의 메인화면의 ISD버튼을 누르면 <그림. 4>와 같은 화면이 제공된다. 이 화면에서 하단부의 명령창에 각 모델에서 사용되는

내부 변수를 기록하고 리턴키를 누르면 해당 변수가 모델이 실행되면서 바뀌는 값들을 제공받을 수 있게 된다. 또한, 사용자의 편의를 위하여 여러 변수들을 매번 입력하기보다는 미리 입력된 변수 리스트를 호출하게 하거나, Reset/Snap 등 각 버튼들이 제공하는 제어 동작들도 명령어를 통해서 가능하게끔 하였다.

| | | | | | |
|----|--------------|---------------|----|-----------------|---------------|
| 1 | CRSSTAGE | 1 | 21 | CRSTFUELVAVG | 0.000000E+000 |
| 2 | CRS.INITIAL | false | 22 | CRSALFVAVG | 0.000000E+000 |
| 3 | CRS.AMPL | false | 23 | CRSDMDXAVG | 0.000000E+000 |
| 4 | CRS.TUNE | false | 24 | CRSTMDDAVG | 0.000000E+000 |
| 5 | CRS.EQME | false | 25 | CRSXE13SAVG | 0.000000E+000 |
| 6 | CRS.EQSM | false | 26 | CRSKNFVAVG | 0.000000E+000 |
| 7 | CRS.EQDH | false | 27 | CRSBETA | 0.000000E+000 |
| 8 | CRS.EQCG | false | 28 | CRSNBORNAV | 0.000000E+000 |
| 9 | CRS.OSM | false | 29 | YPFASSTXE | 1.000000E+000 |
| 10 | CRS.OME | false | 30 | YPFASSTDH | 1.000000E+000 |
| 11 | CRS.PEAKSM | false | 31 | CRSAMPLDIFF1 | 0.000000E+000 |
| 12 | CRSTIME | 0.000000E+000 | 32 | CRSAMPLDIFF2 | 0.000000E+000 |
| 13 | CRSKEFF | 0.000000E+000 | 33 | CRSAMPL | 0.000000E+000 |
| 14 | CRSQN | 0.000000E+000 | 34 | CRS.TEST(1) | false |
| 15 | CRSQDH | 0.000000E+000 | 35 | CRSKRAB10MUL(1) | 5.300000E-001 |
| 16 | CRSFLDK1AVG | 0.000000E+000 | 36 | CRSPERIOD | 0.000000E+000 |
| 17 | CRSFLDK2AVG | 0.000000E+000 | 37 | CRSRHO | 0.000000E+000 |
| 18 | CRSCDN | 0.000000E+000 | 38 | CRSRHOPCM | 0 |
| 19 | CRSRHOMXE135 | 0.000000E+000 | 39 | CRSFLDKADJ | 1.000000E+000 |
| 20 | CRSRHOM149 | 0.000000E+000 | 40 | CRSQPRDMPT | 0.000000E+000 |

Command

<그림. 4> ISD 및 명령창 화면



<그림. 5> 트렌드 화면

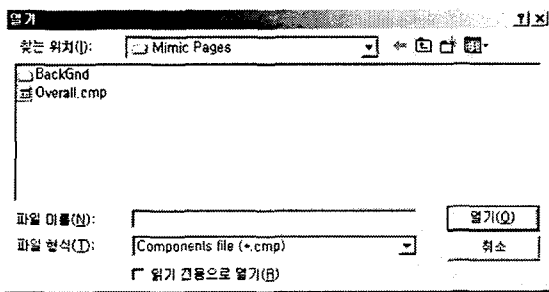
2.4 주요 계통변수에 대한 실시간 그래프

PCATS에서는 가압기 압력, 수위, RCS 온도 등 각 계통의 주요 변수에 대하여 계통과 연계되어 제공되는 실시간 그래프를 제공한다. 메인 화면의 메뉴 상단의 트렌드 버튼을 누르면 <그림. 5>와 같은 화면이 나타나며, 이 화면에서 주요

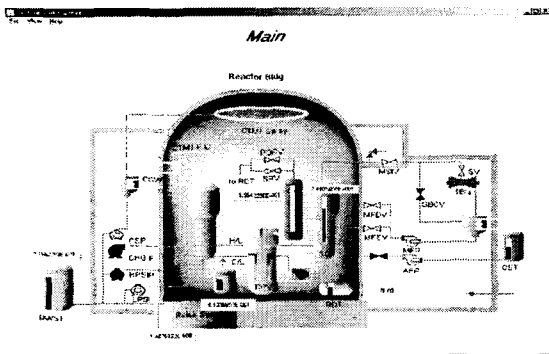
변수명을 입력하면 해당 변수의 변화를 그래프로 볼 수 있게 된다.

2.5 미믹 (Mimic) 화면

메뉴 상단의 미믹 버튼을 누르면 사용자가 개발하여 변수를 연결하여 저장한 미믹 다이어그램을 불러 올 수 있다. <그림. 6>은 디폴트로 나타나는 화면이다.



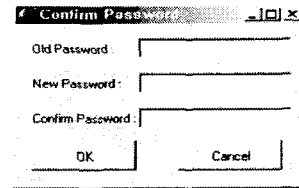
<그림. 6> 미믹 불러오기 화면



<그림. 7> 디폴트 메인화면

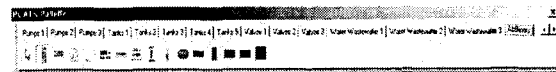
만일 사용자가 자기 고유의 화면을 만들려면 미믹메뉴의 'File/New'를 눌러서 바탕화면으로 원하는 그림(BMP 혹은 JPG파일)을 선택하거나, 바탕 화면없이 하려면 '취소'버튼을 누르면 된다. 관리자 모드로 들어가기 위해서는 미믹 화면의 빈 화면에서 마우스 오른쪽 버튼을 클릭하여 암호 입력을 하게 되면 들어가는데, 이 모드에서는 계기 및 지시기를 사용자가 원하는 곳에 입력할 수 있게 되어 있다.

관리자 모드로 들어가는 암호를 바꾸기 위해서는 우측 하단부의 관리자 모드 버튼을 선택하고 <그림. 8>의 암호 입력절차를 거쳐(초기 암호는 없다) 자기 암호를 셋업할 수 있다.



<그림. 8> 암호변경 창

관리자 모드로 로그인 후에는 사용자 스스로 Mimic 화면을 구성 할 수 있는 컴포넌트가 그림 5-2-10와 같이 나타나게 되며 각 컴퍼넌트를 사용자가 마우스를 클릭하여서 Drag & Drop방식으로 캔버스에 끌어 놓을 수 있고 <그림. 8>화면의 'View/Palette'메뉴를 선택하여 사용자가 입력하기를 원하는 계기 및 지시기를 선택하여 화면에 놓으면 바탕화면에 선택한 컴포넌트가 생김을 알 수 있다. (<그림. 9>). 또한 오른쪽 버튼을 이용하여 해당변수를 입력할 수 있다.

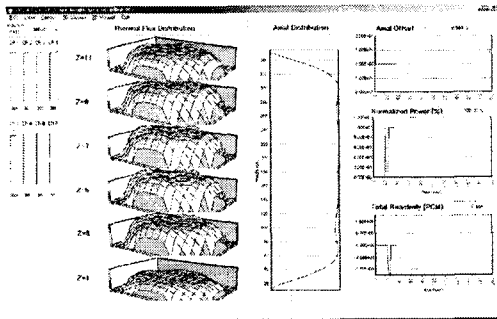


<그림. 9> 계기 및 지시기 사용자 입력모드

2.6 3차원 노심거동 화면

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 하였다. 이 3차원 노심

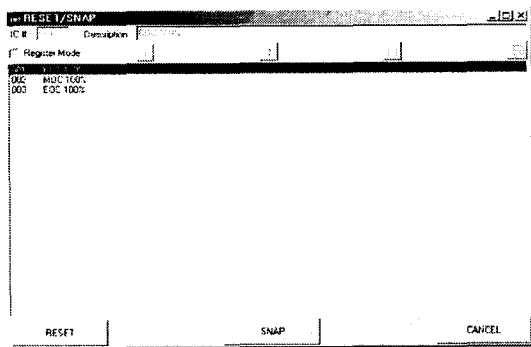
거동 화면은 그래픽의 평행이동, 축소/확대, 회전 등의 여러 옵션을 설정해 줌으로써 사용자가 사용하기에 용이하도록 편의를 도모하였다. [그림.10]은 울진 3호기 노심의 100% 정상운전시 원자로 노심내부의 축방향으로 6개 위치에서의 열중성자의 반경분포를 3차원으로 보여주고 있으며, 평균 축방향 열중성자 분포와 수직출력경사도 (Axial Offset), 원자로 노심 출력변화, 총 반응도 변화 등을 보여주고 있다.



<그림. 10> 3차원 노심 디스플레이 화면

2.7 현재상태 저장/복원 기능

메뉴 우측 상단의 Reset 버튼을 누르면 그림과 같은 초기조건 (IC : Initial Condition) 선정 화면이 나온다.

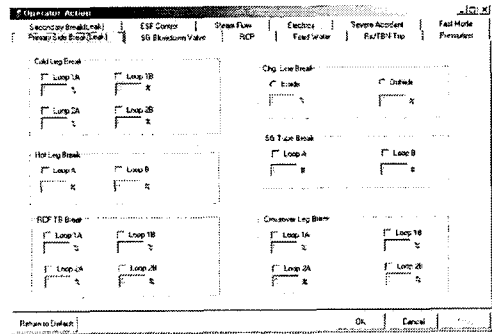


<그림. 11> IC 선정 화면

이 화면에서 사용자가 미리 저장해 놓은 초기 조건 번호를 선택하고 시뮬레이션 조건을 초기화(reset) 하거나 각 계통모델의 현재상태를 저장(snap)할 수도 있게 하였다.

2.8 운전원 조작기능

메뉴 상단의 운전원 조작(Operator Action) 버튼을 누르면 <그림. 12>가 나타나며 각 화면을 통해 시뮬레이션 중에도 운전원 조작을 통해 과도/사고 상태를 분석할 수 있도록 하였다.



<그림. 12> 운전원 조작 화면

III. 결론 및 추후 과제

실시간 계통변수/모듈 데이터베이스 프로그램 및 KSE를 개발함으로써 시뮬레이터를 구성하는 계통별 실행프로그램 생성, 실시간수행 및 시험 등 전범위 실시간 시뮬레이터 제작을 위한 주요 기능은 구축되었다. 본 시스템의 구축으로 모든 시뮬레이션 모델 및 각종 코드의 실시간 실행/빠린실행/느린실행 등의 개별 운전모드 시간조정도 가능해져 시뮬레이터 모델 이외에도 기존의 사용 프로그램의 통합 등 다양한 응용이 가능할 것으로 기대된다.

추후, 교육생 성취도 검토 (Trainee Performance Review), 컴퓨터 지원실습기능 (CASE), 현장 조작기능 (Remote Function) 등 강사조작을 위한 여러 시스템을 개발 및 탑재하여 보다 우수한 시뮬레이터 통합환경으로 개발해 나갈 예정이다.

참고문서

- [1] REMARK, GSE Modeling Technical manual
- [2] Myeong-Soo Lee etc, The new research

- activities of KEPRI for KNPEC-2 Simulator upgrade project, ASTC-Advanced Simulation Technologies Conference- 2001 SCS 2001.
- [3] ANSI/ANS-3.5 1993, Nuclear Power Plant Simulations for Use in Operator Training.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.