

# CNS 시뮬레이션 코드 최적화연구

Study on Environmental Optimization  
of CNS Simulation Code

*KAERI*

# 제 출 문

## 한국원자력연구소장 귀하

본 보고서를 2002년도 자체연구개발사업 “CNS 시뮬레이션 코드 최적화” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2003. 4. 30.

연구기관명 : 한국원자력연구소

연구책임자 : 이동영

연구원 : 권기춘, 박재창  
오인석, 한재복  
김정택, 박원만  
이철권, 김창희  
박주현

# 요 약 문

## I. 제 목

CNS 시뮬레이션 코드 최적화

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

CNS 시뮬레이션 코드는 교육훈련용 시뮬레이터, 각종 원전 제어시스템의 성능검증장치 구축에 활용되고 있다. CNS 시뮬레이션 코드는 HP Unix 환경에서 운용되고 있다. 일반적으로 OS(운영시스템)가 upgrade되면 하위 버전에서 개발된 응용프로그램이 상위 버전에서 정상적으로 동작하여야 하나, HP workstation의 OS는 이를 만족시키지 못하고 있다. 그러므로 본 연구에서는 CNS 시뮬레이션 코드를 최신의 HP Unix 버전 11.X 환경으로 upgrade를 수행하여 CNS 시뮬레이션 코드의 노후화를 방지하고, 고리 3&4호기 모델을 고리 1호기 모델로의 수정작업 및 감독자 화면의 최적화를 수행하였다.

## III. 연구개발의 내용 및 범위

- CNS 시뮬레이션 코드를 HP Unix 버전 11.11 환경으로 upgrade
- 고리 3&4호기 모델을 고리 1호기 모델로의 수정작업
- GUI 기반의 감독자 제어반 개발

## IV. 연구개발결과 및 활용계획

본 연구의 수행 결과로 최신 HP 플랫폼에 최적화된 CNS 시뮬레이션 코드를 개발하였다. 또한 고리 3&4호기 모델을 고리 1호기 모델로의 수정작업을 거친 후 두산중공업에서 개발중인 제어봉구동장치제어계통의 성능검증장치에 활용하였다.

# S U M M A R Y

## I. Project Title

Study on Environmental Optimization of CNS Simulation Code

## II. Objectives

The CNS(Compact Nuclear Simulator) has been using for the operation training and the function evaluation for control system of the nuclear power plant. The modeling code of the CNS is operating on the HP Unix operation system(OS). As the HP Unix operation system(OS) is upgraded, application programs developed on lower version of OS did not work well. In this project, the application program is changed to work in the upgrade version of OS, and the software obsolescence is resolved. Also GUI(Graphic User Interface) for the instructor is developed.

## III. Scope of Prohect

- CNS modeling code upgrade for HP Unix version 11.11
- CNS modeling code change from the Kori unit 3&4 to unit 1&2
- Instructor GUI developpe

## IV. Result and Proposal for Application

During this project, CNS modeling code is optimized for HP Unix version 11.11. the CNS modeling code changed from the Kori unit 3&4 to unit 1&2 adopted for functional evaluation facility of control rod control system.

# 목 차

제 1 장	CNS 개요	
1.	CNS 구성	----- 1
2.	CNS 활용	----- 2
3.	CNS 시뮬레이션 코드 최적화 필요성	-----4
제 2 장	연구내용	
1.	GUI 기반 감독자 제어반 개발	----- 5
가.	기능	----- 5
나.	화면구성	----- 6
2.	고리3&4호기 모델을 고리 1호기 변경연구	----- 14
제 3 장	연구개발결과의 활용	----- 15
제 4 장	참고문헌	----- 16

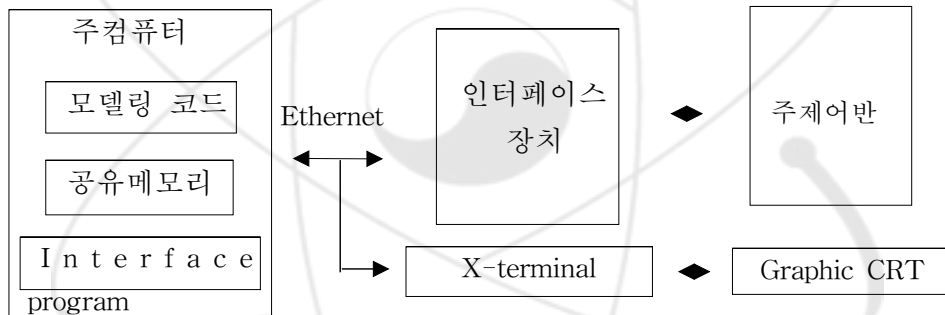
# 그림 목 차

<그림 1>	CNS 구성도	-----	1
<그림 2>	CNS 전경	-----	2
<그림 3>	주메뉴 화면	-----	6
<그림 4>	Snapshot 화면	-----	8
<그림 5>	Initial Condition 화면	-----	9
<그림 6>	Initial Condition 선택 화면	-----	9
<그림 7>	Backtrack 선택 화면	-----	10
<그림 8>	Replay 선택 화면	-----	10
<그림 9>	Time Scale 선택 화면	-----	11
<그림 10>	Malfunction 선택 화면	-----	11
<그림 11>	Malfunction 선택 적용 화면	-----	12
<그림 12>	Help 화면	-----	12
<그림 13>	Parameter Log Setup 화면	-----	13
<그림 14>	제어봉구동장치 제어시스템의 성능검증장치	-----	15

# 제 1 장 CNS 개요

## 1. CNS 구성

계측제어·인간공학연구부에서는 1985-1988년 기간동안 CNS를 개발한 후 연수원에 설치하여 교육훈련용으로 사용하고 있다. 초기에 개발된 CNS는 Micro Vax-II에 설치되었으며, 10여년의 운전기간 동안 노후화되어 운영이 불가능하게 되자, 이를 해결하기 위해 1997-1999년 기간동안 CNS 성능향상 기술개발 과제를 수행하여 주컴퓨터를 HP workstation 및 인터페이스 장치를 상용의 PLC를 사용하여 교체하였다. CNS는 그림과 같이 발전소 모델링 프로그램을 운영하는 주컴퓨터, 정보표시 및 운전원 조작상태를 표시하는 주제어반, 그리고 주컴퓨터와 주제어반을 연결하는 인터페이스 장치 등으로 구성되어 있다.



<그림 1> CNS 구성도

CNS 시뮬레이션 코드는 교육훈련용 시뮬레이터뿐만 아니라, 원자력중장기 과제의 수행으로 개발된 결과물인 경보계통, 자동운전시스템 및 기타 제어시스템 등의 성능검증장치 구축에도 활용되고 있다.

CNS 시뮬레이션 코드는 고리 3&4호기(3 loop Westinghouse, 993 MWe)를 reference 모델로 개발되었으며, 1&2차 계통의 열수력모델, 79 malfunctions 기능을 포함하고 있다. 또한 CNS 운영에 필요한 instruction 기능으로 Run/Freeze, Snapshot, Backtrack, Replay, Change time scale, Insert malfunctions 등의 기능을 갖고 있다. CNS는 좌측의 노심운전제어반, 중간의 1&2차계통 제어반, 우측의 전기제어반 등 3개의 운전제어반으로 구성되어 있

으며, 3대의 X-Terminal을 통해 운전변수의 상태를 표시하고 있다. 다음 그림은 현재 연수원에 설치된 CNS의 전경이다.



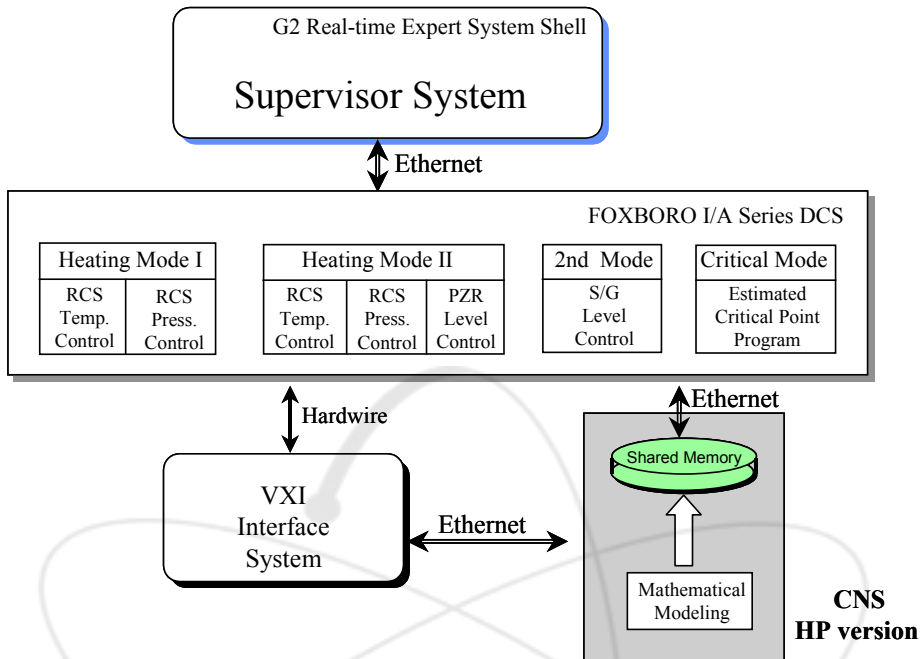
<그림 2> CNS 전경

## 2. CNS 활용

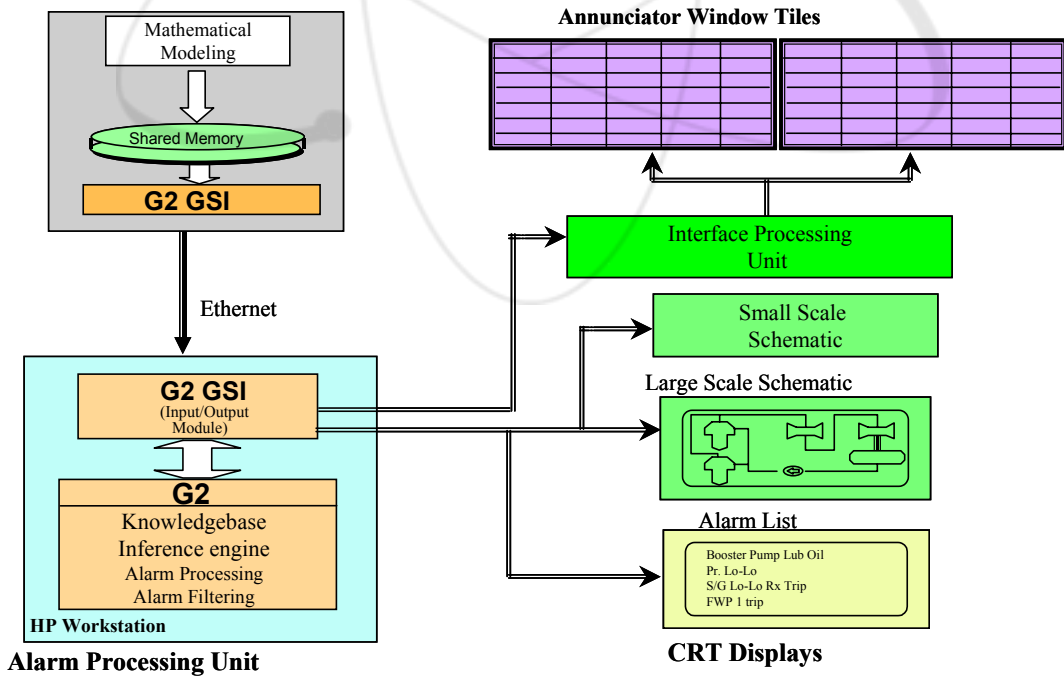
CNS 시뮬레이션 코드는 교육훈련용 시뮬레이터의 개발뿐만 아니라, 원자력중장기 과제의 수행으로 개발된 결과물인 경보계통, 자동운전시스템 및 기타 제어시스템의 성능검증장치의 구축에도 활용되었다. 다음은 연구소에서 구축한 Supervisory Control System 및 경보시스템의 성능검증장치의 예이다.



▷ Supervisory Control System : Cold shutdown ~ 5% 출력 자동운전

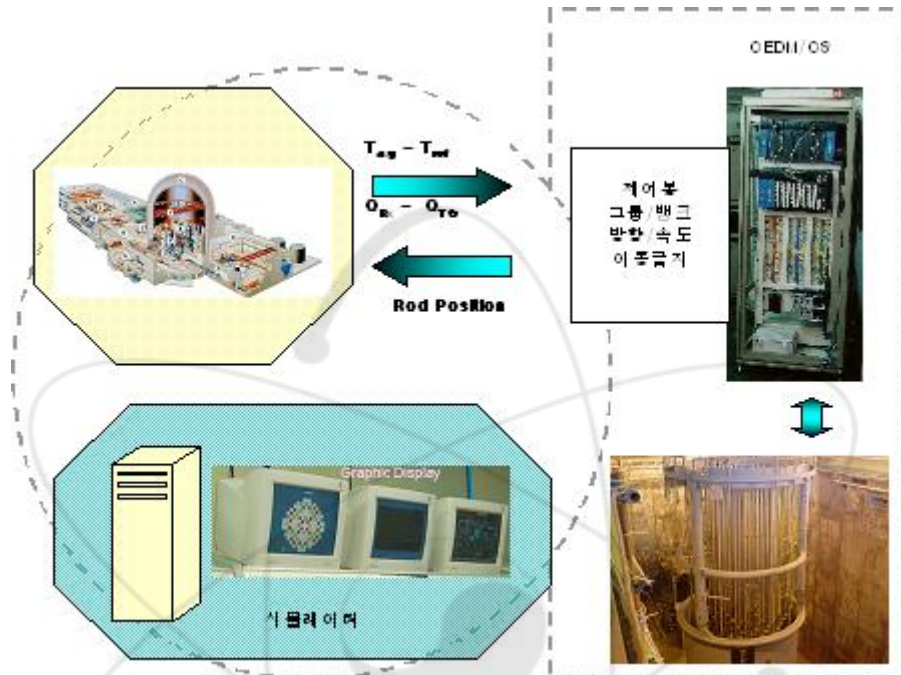


▷ 경보시스템



▷ 제어봉구동장치 제어계통(CRDM-CS) 성능검증

현재 두산중공업에서는 제어봉구동장치 제어계통(CRDM-CS) 및 이 시스템의 성능을 검증하기 위한 CRDM-CS 실시간 성능검증 장치를 개발하고 있으며, 그 구성도는 다음 그림과 같다.



3. CNS 시뮬레이션 코드 최적화 필요성

다양한 성능검증장치에서 사용되고 있는 CNS 시뮬레이션 코드는 HP Unix 버전 9.X 및 10.X의 환경에서 운용되고 있다. 일반적으로 OS(운영시스템)가 upgrade되면 하위 버전에서 개발된 응용프로그램이 상위 버전에서 정상적으로 동작하여야 하나, HP workstation의 OS는 일부 프로그램에서 이를 만족시키지 못하고 있다. 그러므로 본 연구에서는 CNS 시뮬레이션 코드를 최신의 HP Unix 버전 11.X 환경으로 upgrade를 수행하여 CNS 시뮬레이션 코드의 노후화를 방지하였다. 또한 GUI 기반의 감독자 제어반을 개발하였으며, CNS의 고리 3&4호기 모델의 일부를 웨스팅하우스 고리 1호기 모델로 변경하여 산업체 주도로 개발중인 제어봉구동장치 제어계통(CRDM-CS) 실시간 검증장치 구축과제에 참여하였다.

## 제 2 장 연구내용

### 1. GUI 기반 감독자 제어반 개발

감독자 제어반(Instructor Station)은 시뮬레이터 프로그램의 초기화, 운전 및 정지, 가상사고 변수의 설정, 운전상황의 저장 및 설정, 저장된 운전상태로의 복귀 그리고 지나간 운전상황을 설정하고 내용을 감시하는 명령을 사용자가 편리하게 입력할 수 있는 화면을 제공한다.

#### 가. 기능

감독자 제어반은 시뮬레이터의 실행 및 일시정지를 선택할 수 있고, 현재 운전상태가 실행중(RUN)인지 일시정지(FREEZE)인지 화면에 표시한다. 시뮬레이터의 초기화, 운전 및 정지, 가상사고 변수의 설정, 저장된 운전 상태로의 복귀, 지나간 운전상황의 재연 등을 수행할 수 있도록 하는 메뉴를 선택할 수 있다. 시스템의 현재시간 및 시뮬레이터를 시작한 시점부터 경과한 시간을 표시하고, 발전소의 상태를 파악할 수 있도록 발전소의 중요 변수를 표시한다.

##### ▶ Run/Freeze 기능

[RUN]버튼을 누르면 시뮬레이터를 실행하고, [FREEZE]버튼을 누르면 시뮬레이터의 실행이 일시정지 된다.

##### ▶ OneStep 기능

[One Step]버튼을 누를 때마다 시뮬레이터를 한번만 실행한다.

##### ▶ Snapshot 기능

[Snapshot]버튼을 누르는 시점에서 데이터베이스내의 모든 변수값을 지정하는 파일로 저장할 수 있다.

##### ▶ Initial Condition 기능

저장되어 있는 초기화 정보 파일 리스트를 표시하고, 사용자가 선택한 초기화 정보 파일을 시뮬레이터에 적용하거나 삭제할 수 있다.

▶ Backtrack 기능

현재로부터 지정된 시간 이전의 상태로 돌아가서 그 때부터 다시 시뮬레이션을 시작할 수 있도록 한다. 운전을 진행하면서 잘못된 점을 발견하거나 운전 실수를 하게 되는 경우 과거의 어느 시점으로 돌아가서 다시 운전을 진행할 수 있게 된다. 이전의 상태로 돌아갈 수 있는 최대시간은 30분이다.

▶ Time Scale 기능

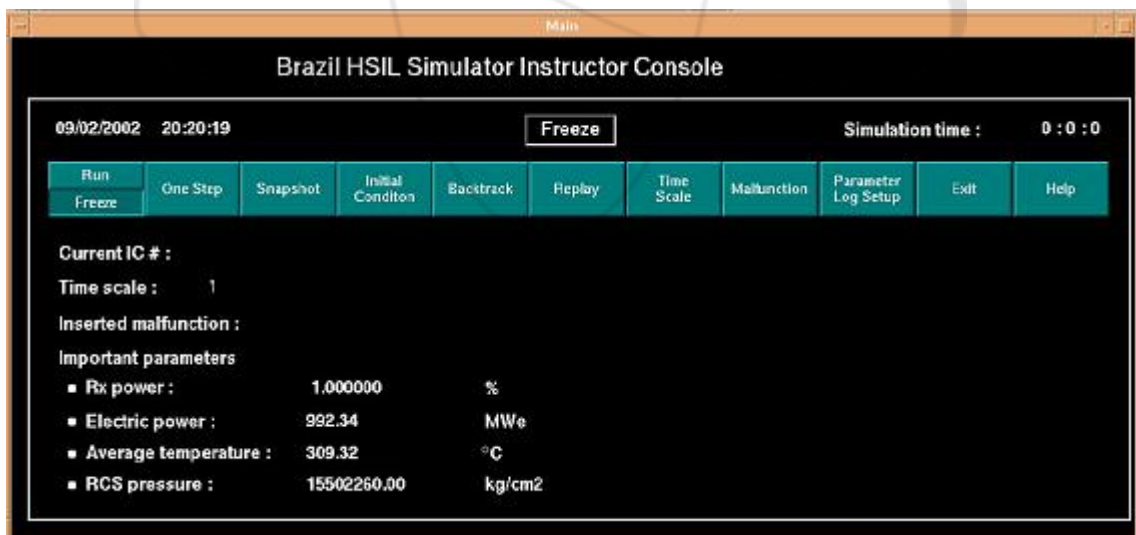
시뮬레이터는 Real Time으로 운전되고 있으나, 사용자의 요구에 의하여 Real Time보다 늦거나 빠르게 운전할 수 있다. 0.1 Real Time은 늦게 운전되는 것이고, 5 Real Time은 5배 빠르게 진행된다. 50 Real Time과 150 Real Time은 운전 초기 제논과 보론의 농도를 빨리 변화시켜야 하는 경우에만 적용된다.

▶ Malfunction 기능

오동작을 삽입하는 기능으로 이미 입력된 Malfunction List에서 Malfunction을 선택하여 적용한다.

나. 화면구성

1) 주메뉴 화면



<그림 3> 주메뉴 화면

▶ 시간표시 영역

메뉴의 상단에 위치하며 왼쪽에는 시스템의 현재 시간이 나타나고 중앙에는 시뮬레이터의 동작상태(Run/Freeze/Replay)가 표시되며, 오른쪽에는 시뮬레이터 실행후 경과된 시간이 나타난다. 시뮬레이터 실행시간은 시뮬레이터를 'RUN' 했을 경우에만 증가한다.

▶ 메뉴표시 영역

Instructor Station의 주메뉴로서 시뮬레이터를 동작시키는 기능을 선택할 수 있다. 주요메뉴는 다음과 같다.

- RUN/FREEZE : 시뮬레이터를 동작시키거나 일시정지 한다.
- One Step: FREEZE 상태에서 200msec 단위로 Simulator를 수행한다.
- Snapshot: Snapshot 화면을 표시한다.
- Initial Condition: Initial Condition 화면을 표시한다.
- Backtrack: Backtrack 화면을 표시한다.
- Replay: Replay 화면을 표시한다.
- Time Scale: Time Scale 변경 화면을 표시한다.
- Malfunction: Malfunction 선택 화면을 표시한다.
- Exit: Instructor Station 프로그램을 종료한다.
- Help: Help 화면을 표시한다.

▶ 발전소 중요변수 표시 영역

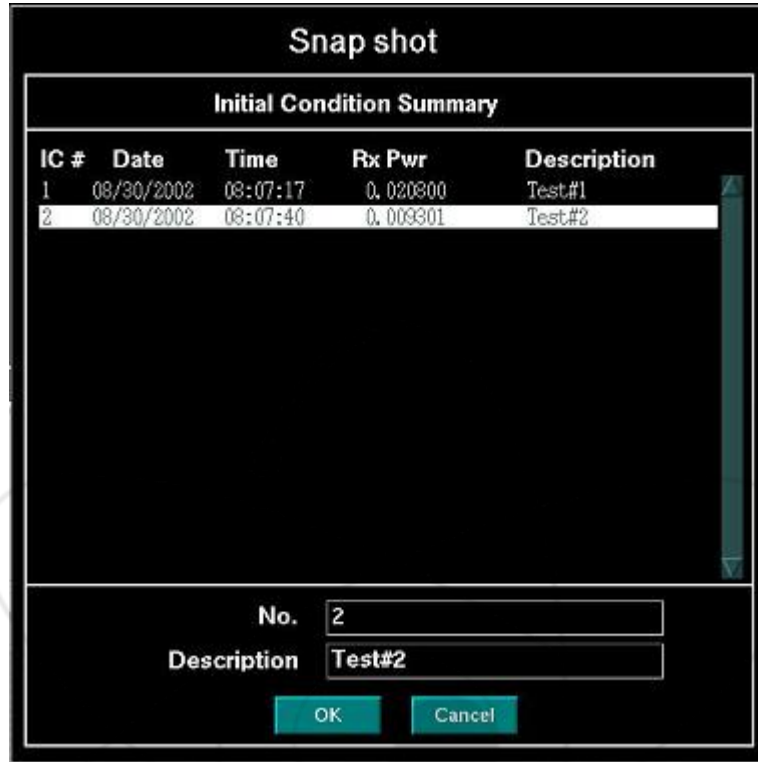
시뮬레이터가 동작하면서 중요 변수들의 값이 매초마다 변경된다.

- Current IC #: 초기화 파일을 선택했을 경우 파일 번호가 나타난다.
- Time Scale: 현재 선택된 시간 주기가 표시된다.
- Inserted Malfunction : Malfunction 선택 시 해당 Malfunction 이름표시
- RX Power: 노심출력을 표시한다.
- Electric Power: 전력을 표시한다.
- Average Temperature: RCS 평균 온도를 표시한다.
- RCS Pressure: RCS 압력을 표시한다.

▶ Parameter Log Setup 기능

System Parameter Logging Data를 저장할 수 있도록 데이터베이스에 저장되는 포인트 중 일부 포인트(최대 100개)를 사용자가 임의로 선택하여 그룹 설정을 한다.

## 2) Snapshot 화면



<그림 4> Snapshot 화면

- ▶ IC# : Initial Condition 번호를 표시한다.
- ▶ Date Time : Snapshot을 선택한 시점의 날짜와 시간을 표시한다.
- ▶ RX Pwr: Snapshot을 선택한 시점의 노심출력을 표시한다.
- ▶ Description : Snapshot을 저장하면서 입력한 설명을 표시한다.
- ▶ No: IC#를 입력한다.
- ▶ Description : Snapshot에 대한 설명을 입력한다.

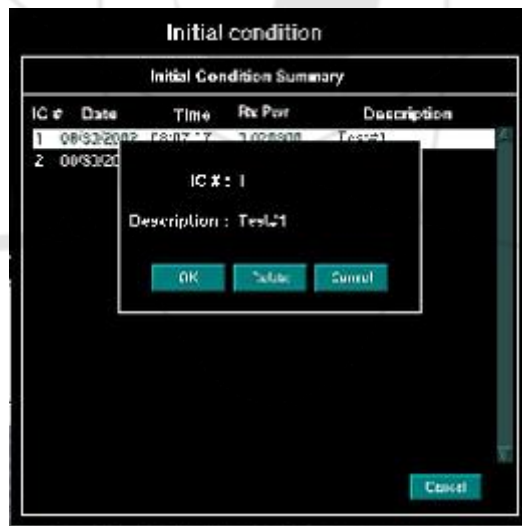
### 3) Initial Condition 화면

Snapshot 화면과 동일한 내용이 표시된다.



<그림 5> Initial Condition 화면

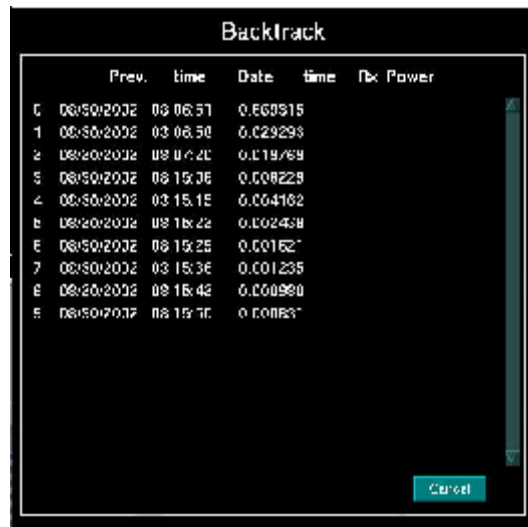
### 4) Initial Condition 선택 화면



<그림 6> Initial Condition 선택 화면

- ▶ 사용자가 선택한 Initial Condition이 번호와 설명이 표시된다.
- ▶ [OK]버튼을 누르면 Initial Condition이 적용된다.
- ▶ [DELETE]버튼을 누르면 Initial Condition이 삭제된다.
- ▶ [CANCEL]버튼을 누르면 Initial Condition 선택이 취소된다.

### 5) BackTrack 선택 화면

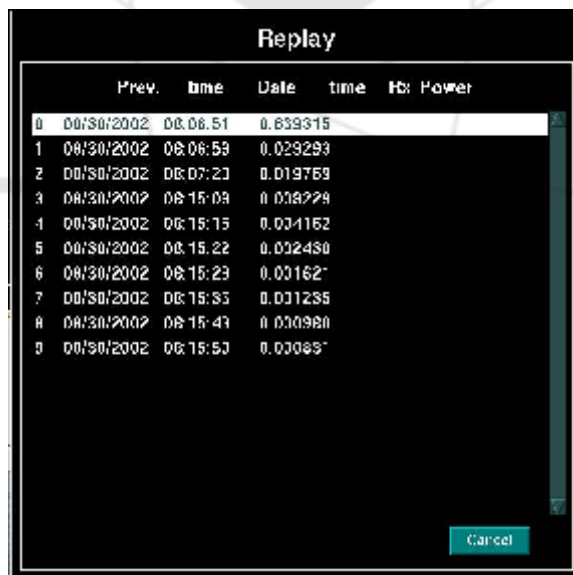


	Prev. time	Date	time	Hz	Power
0	08:50:2002	08	06:51	0.669315	
1	08:50:2002	08	06:58	0.029293	
2	08:50:2002	08	07:21	0.019769	
3	08:50:2002	08	15:09	0.008229	
4	08:50:2002	08	15:15	0.004162	
5	08:50:2002	08	15:22	0.002450	
6	08:50:2002	08	15:23	0.001627	
7	08:50:2002	08	15:36	0.001235	
8	08:50:2002	08	15:42	0.000980	
9	08:50:2002	08	15:50	0.000857	

<그림 7> Backtrack 선택 화면

시뮬레이터가 실행되면서 일정한 시간 간격으로 저장된 파일 리스트가 저장된 시점의 시간과 노심출력 값이 나타난다.

### 6) Replay 선택 화면



	Prev. time	Date	time	Hz	Power
0	08:50:2002	08	06:51	0.639315	
1	08:50:2002	08	06:58	0.029293	
2	08:50:2002	08	07:21	0.019769	
3	08:50:2002	08	15:09	0.008229	
4	08:50:2002	08	15:15	0.004162	
5	08:50:2002	08	15:22	0.002450	
6	08:50:2002	08	15:23	0.001627	
7	08:50:2002	08	15:36	0.001235	
8	08:50:2002	08	15:42	0.000980	
9	08:50:2002	08	15:50	0.000857	

<그림 8> Replay 선택 화면

시뮬레이터가 실행되면서 일정한 시간 간격으로 저장된 파일 리스트가 저장된 시점의 시간과 노심출력 값이 나타난다.



7) Time Scale 선택 화면

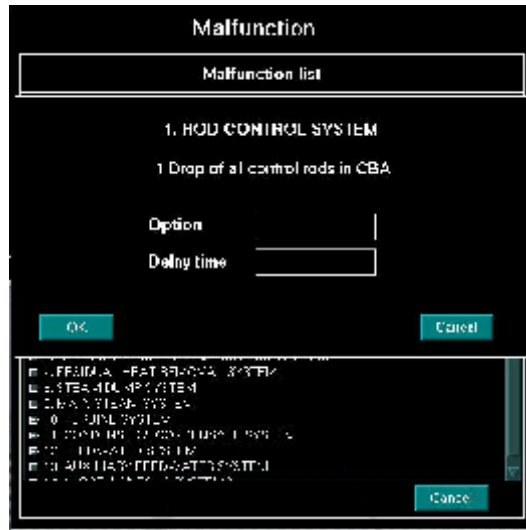


<그림 9> Time Scale 선택 화면

8) Malfunction 선택 화면



<그림 10> Malfunction 선택 화면



<그림 11> Malfunction 선택 적용 화면

Malfunction List에서 선택한 Function 이름이 나타나고, option과 Delay time을 입력할 수 있는 창이 나타난다.

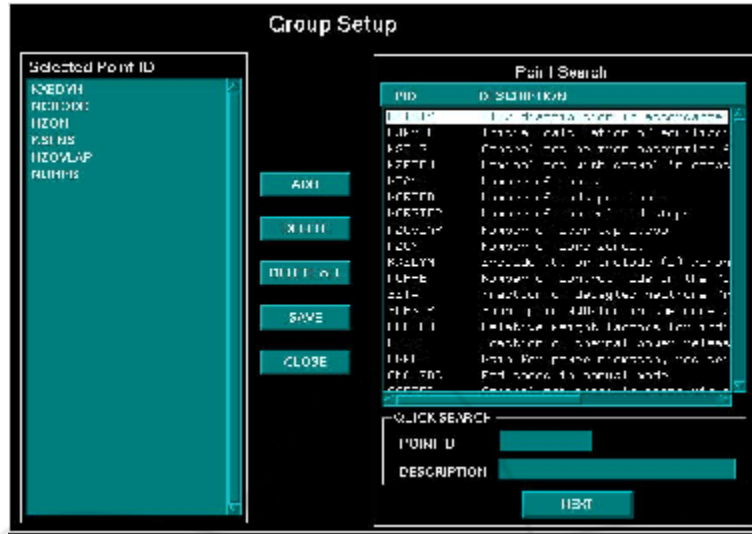
#### 9) Help 화면



<그림 12> Help 화면

화면 왼쪽에 Instructor Station에서 사용할 수 있는 기능이 나열되며 오른쪽 창에는 각 기능에 대한 설명이 표시된다.

## 10) Parameter Log Setup 화면



<그림 13> Parameter Log Setup 화면

- ▶ 그룹 설정 리스트 표시 영역  
화면 왼쪽으로 그룹 설정 포인트 리스트가 나타난다.
- ▶ 포인트 찾기 영역  
데이터베이스 내의 모든 포인트와 포인트 설명 리스트가 나타나며 포인트를 찾을 수 있도록 포인트 이름과 포인트 설명 입력창이 있다.
- ▶ 버튼 선택 영역
  - [ADD] 버튼을 누르면 포인트 리스트에서 선택한 포인트가 그룹 리스트에 추가된다.
  - [DELETE] 버튼을 누르면 그룹 리스트에서 선택한 포인트가
  - [DELETE ALL] 버튼을 누르면 그룹 리스트의 포인트 리스트가 모두 삭제 된다.
  - [SAVE] 버튼을 누르면 설정한 그룹 리스트를 파일로 저장한다.
  - [CLOSE] 버튼을 누르면 Parameter Log Setup 화면을 종료한다.

## 2. 고리3&4호기 모델을 고리 1호기 변경연구

CNS는 웨스팅하우스 3-loop 900MWe 고리3&4호기를 대상으로 개발되었다. 이 모델을 고리 1호기 CRDM/CS 성능검증장치에 활용하기 위하여 2-loop 600MWe로의 수학적 모델변경을 수행하였으며, 변경된 결과는 다음과 같다.

### ▷ 1차 계통

- 제어봉 제어계통 및 제어봉 모델 : 제어봉의 그룹수와 봉의 개수는 정지 제어봉과 제어용 제어봉이 고리3호기는 8개 그룹 52개로 되어 있으나, 고리 1호기는 9개 그룹 29개로 되어 있다.

- 3루프를 2루프로 수정 : 고리3호기는 웨스팅하우스 3루프 전기 출력 1000Mwt급이므로 이것을 2루프 600Mwt급 원자로 계통으로 모델을 수정하였다. 이와 관련하여 여기에 관련된 보호계통 및 제어계통에 사용되는 변수의 설정치도 고리 1호기 급에 맞게 다음과 아래와 맞추었다.

- 냉각재 펌프3대를 2대로 모델 수정
- 냉각재 저 유량 정지신호 및 경보 설정치도 해당 호기에 맞도록 리모델링
- 고리 3호기 1차 계통의 무 부하 및 전 부하 평균온도 292°C, 309°C를 대상 발전소의 무부하 및 전부하 평균온도 값 281.8°C, 301°C로 변경

### ▷ 2차 계통

2차측도 1차측 모델 변경에 주요 계통 및 기기는 1호기에 맞게 수정하였으나 CRCS(원전 제어봉 제어계통) 검증에 직접적으로 관련이 없는 것은 제외하였다.

- 증기발생기 3대를 2대로 모델을 수정
- 증기발생의 수에 따라 2차 계통 증기 및 급수계통 수정
- 증기발생기 고/저 수위 터빈정지 및 원자로 정지 설정치 수정
- 증기발생기 저 수위에 따라 보조급수펌프 운전 설정치 수정
- 고리 3호기 2차 계통의 기준온도 설정치는 292°C로 되어있어, 이것을 대상 발전소의 기준온도 값 281.8°C로 변경

### 제 3 장 연구개발결과의 활용

본 연구에서 개발된 GUI 기반 감독자 제어반은 브라질 인간공학 시뮬레이터 및 두산중공업에서 개발하고 있는 제어봉구동장치 제어시스템의 성능검증장치 개발에 활용하였다.

또한 고리3&4호기 모델을 고리 1호기로 변경하여 두산중공업과 기술실시계약을 체결하였으며, 두산중공업에서는 제어봉구동장치 제어시스템의 성능검증장치 개발에 활용하였다.



<그림 14> 제어봉구동장치 제어시스템의 성능검증장치

## 제 4 장 참고문헌

- [1] Compact Nuclear Simulator 성능향상 기술개발, 한국원자력연구소, KAERI/RR-1967/99.
- [2] Operating Procedure for PWR Plant, 한국원자력연구소, IEN-HSIL-DOC-02.
- [3] Simulation Model Overview, 한국원자력연구소, IEN-HSIL-DOC-03.



서 지 정 보 양 식

<b>수행기관보고서번호</b>	위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드
KAERI/RR-2334/2002			
제목 / 부제	CNS 시뮬레이션 코드 최적화		
연구책임자 및 부서명	이동영/ 계측제어·인간공학연구부		
연구자 및 부서명	권기준, 박재창, 오인석, 한재복, 김정택, 박원만, 이철권, 김창희, 박주현		
출판지	대전	발행기관	한국원자력연구소
페이지	25 p.	도표	있음( o ), 없음( )
발행년	2003	크기	Cm.
참고사항			
비밀여부	공개( o ), 대외비( ), — 급비밀	보고서종류	연구보고서
연구위탁기관		계약번호	
초록 (15-20줄내외)	<p>CNS 시뮬레이션 코드는 교육훈련용 시뮬레이터, 각종 원전 제어시스템의 성능검증장치 구축에 활용되고 있다. CNS 시뮬레이션 코드는 HP Unix 환경에서 운용되고 있다. 일반적으로 OS(운영시스템)가 upgrade 되면 하위 버전에서 개발된 응용프로그램이 상위 버전에서 정상적으로 동작하여야 하나, HP workstation의 OS는 이를 만족시키지 못하고 있다. 그러므로 본 연구에서는 CNS 시뮬레이션 코드를 최신의 HP Unix 버전 11.X 환경으로 upgrade를 수행하여 CNS 시뮬레이션 코드의 노후화를 방지하고, 고리 3&amp;4호기 모델을 고리 1호기 모델로의 수정작업 및 감독자 화면의 최적화를 수행하였다.</p>		
주제명키워드 (10단어내외)	시뮬레이터, 모델링코드, 감독자화면, GUI		

**BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET**

Performing Org. Report No.		Sponsoring Org. Report No.		Standard Report No.		INIS Subject Code	
KAERI/RR-2334/2002							
Title / Subtitle		Study on Environmental Optimization of CNS Simulation Code					
Project Manager and Department		Dong-Young Lee (I&C · Human Factors Div.)					
Researcher and Department		K.C. Kwon, J.C. Park, I.S. Oh, J.B. Han, J.T. Kim W.M. Park, C.K. Lee, C.H. Kim, J.H. Park					
Publication Place	Daejoen	Publisher	KAERI	Publication Date	2003		
Page	25 p.	Ill. & Tab.	Yes( o ), No ( )	Size	Cm.		
Note							
Classified	Open( o ), Restricted( ), ___ Class Document		Report Type	Final Research Report			
Sponsoring Org.				Contract No.			
Abstract (15-20 Lines)		<p>The CNS(Compact Nuclear Simulator) has been using for the operation training and the function evaluation of the</p> <p>nuclear power for control system plant. The modeling code of the CNS is operating on the HP Unix operation system(OS). As the HP Unix operation system(OS) is upgraded, application programs developed on lower version of OS did not work well. In this project, the application program is changed to work in the upgrade version of OS, and the software obsolescence is resolved. Also GUI(Graphic User Interface) for the instructor is developed.</p>					
Subject Keywords (About 10 words)		simulator, modeling program, instructor consol, GUI					