

원전 시뮬레이터 노심-계통 연계기술 개발

이지우, 이용관, 이명수, 홍진혁, 이승호, 서정관

Development of core model connection technology for Nuclear Power Plant Simulator

Ji-woo Lee, Yong-kwan Lee, Myeong-soo Lee, Jin-hyuk Hong, Seung-Ho Lee, Jeong-Kwan Suh

Abstract

This paper describes the methodology of connecting MASTER (Multi-purpose Analyzer for Static and Transient Effects of Reactors) to simulator system, system configuration, and previous test. The actual simulator environment for YoungKwang Unit1 has been developed. It is impossible for the simulator server to execute MASTER code by limitation of computer performance. So, environment of distributed system was developed, and it had a synchronization task. As MASTER and simulator module should be synchronized in different device, the connection of communication was tested and verified.

Key Words: Core Model, Simulator, Distribute System, RMASTER

* Korea Electric Power Research Institute.

1. 서론

본 논문에서는 한국원자력 연구소의 주관아래 수행된 노심해석 장치(MASTER)와 시뮬레이터 계통과 연계하기 위한 기술의 방법론, 시스템 구축 그리고 사전시험에 대하여 기술하였다. 컴퓨터의 한계상 시뮬레이터 서버컴퓨터에 MASTER코드를 하나의 장치에 구동하는 것은 불가능하기 때문에, 분산 시스템으로 이루어진 환경을 구축하여 실제 기준 시뮬레이터(영광 1호기)에 적용하였다. 이때 노심해석 장치와 시뮬레이터 계통은 통신을 통하여 연산결과를 주고받기 때문에 동기화 문제가 발생할 수 있다. 이러한 동기화 문제를 해결하기 위해 사용된 방법론에 대하여 기술하며, 구축된 분산환경에 대한 사전시험을 통하여 시뮬레이션 결과를 확인하여 보았다. 또한, 노심모델의 3차원 중성자 속 및 온도에 대한 가시화 표현을 위해 3차원 가시화 프로그램 개발과 연계 방법에 대하여 기술하였다.

2. Windows NT기반 시뮬레이션 환경 분석 및 구축

2.1 기준 시뮬레이터(영광 1호기)시뮬레이션 환경(SSP3.3)구축

노심해석 모델을 실시간 전범위 복제형 시뮬레이터의 노심모델로 적용하기 위해서는 전범위 시뮬레이터의 환경과 동일하게 구축하는 것이 필요하다. Windows NT기반인 영광 1호기 시뮬레이터 시스템을 분석하여 실제 구축하였는데, 영광 1호기 시뮬레이터 시스템은 다음과 같이 시뮬레이터 서버 시스템, PPC 시스템 그리고 IS(Instructor Station)시스템으로 구성되어 있다. 다음절에 실제 시뮬레이터의 구성과 구축된 내용에 대하여 기술한다.

■ Simulator Server System 구축

영광 1호기 시뮬레이터 환경은 시뮬레이터 소프트웨어 전문 제공업체인 GSE사의 시뮬레

이터 환경인 SimSuite Power 3.3(SSP3.3)을 바탕으로 하고 있다. SSP3.3은 시뮬레이터를 구성하는 모든 소프트웨어(계통 모델링, P&ID 등)를 개발하고, 실시간 실행하고 디버깅할 수 있는 종합관리시스템으로 계통 모델 개발의 용이성을 도모한다. 실제 영광 1호기 시뮬레이터 서버 환경과 동일한 시스템을 실험실에 구축하였다.

■ PPC(Plant Process Computer) System구축

PPC system은 발전소 안전계통과 발전소 감시계통을 시뮬레이션하는 기능이며, 모니터, 지시계, 프린터등을 이용하여 운전원에게 필요한 정보를 제공한다. 고리 원자력발전소 교육원 시뮬레이터 2호기(KNPEC2)에는 다음과 같은 PPC 서브시스템으로 구성되어 있다.

- P2500 시스템
- OACS (Operator Aided Computer System)
- DRMS (Digital Radiation Monitoring System)
- DEHC 시스템
- AMS

시스템간 하드웨어 연결은 이더넷(ethernet)으로 구성되어 있으며, 현재 과제 수행을 위해 PPC System 구축은 PPC Server 1대와 PPC Client(DEHC Display Monitor) 1대로 구성하였다.

■ IS(Instructor Station) System 구축

SimDiagram 및 SimPanel이 개발된 SEIS (SimExec IS)를 이용하여 시뮬레이터 서버의 계통 모델들을 조작할 수 있는 시스템 이다. 발전소에서 일어날 수 있는 각종 사고들을 실험실에서 가능하도록 IS 시스템을 구축하였다.

2.2 기준 시뮬레이터 시뮬레이션 소프트웨어기 개발

기준 고리원자력 교육원#2 시뮬레이터에는 발전소 제어반이 설치되어 있어 운전이 가능하

나 실험실에는 제어반이 없는 관계로 운전이 불가능하게 된다. 제어반 없이 운전이 가능하도록 하기 위해 소프트웨어 개발이 필요하였다. PPC 시스템에 대한 제어기와 IS시스템의 제어용 소프트웨어 패널을 제작하여 운전이 가능하도록 하였다.

▣ PPC 수정

현재 고리 원자력 교육원에서는 시뮬레이터 2호기(KNPEC2)에 설치되어 있는 하드웨어 전용 키보드를 사용하고 있다. 이를 대체할 수 있는 소프트웨어 키보드(제어기)를 개발하여 제어할 수 있도록 하였다.

▣ IS(Instructor Station) System 수정

SEIS 소프트웨어패널에서 DEH Turbine Control 패널로 운전조작이 가능하도록 하기 위해 소프트웨어패널을 개발하였고, 데이터 추가 및 수정에 따른 해당 변수를 연결하여 운전조작이 가능하도록 하였다.

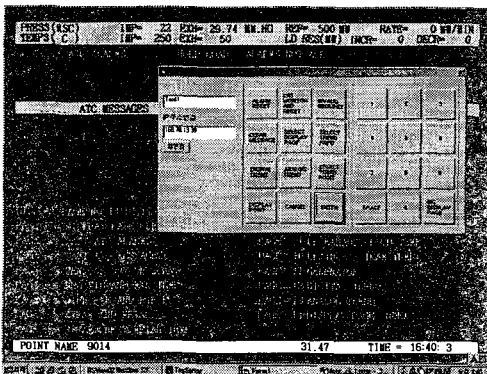


그림 1. 화면전환 소프트키 화면



그림 2. 출력조절 소프트웨어 패널

3.3. 기준 시뮬레이터 해당 주기(15주기) 시뮬레이션 노심모델 개발

노심계통과 연계되는 원자로 냉각재계통 및 관련 보조계통의 각 변수들의 조건을 일치시키기 위해 기준발전소인 영광 1호기 제15주기 노심 설계자료를 입수하여 시뮬레이터 노심모델(REMARK)을 개발하였다. 그리고 노심 교체 후에 이에 연계되는 원자로 냉각재계통 및 관련 보조계통의 각 변수들을 조정하여 100% 초기 조건을 생성하였다.

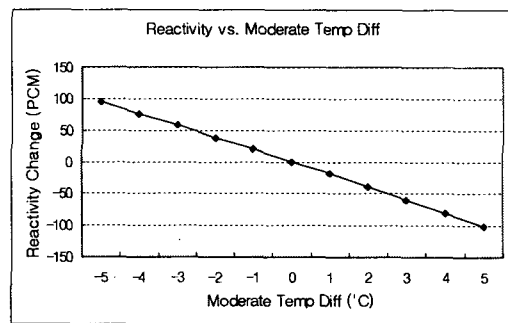


그림3. 냉각재 온도 변화(°C)에 따른 반응도(PPM) 변화

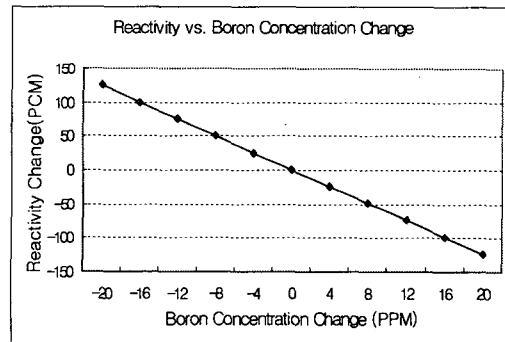


그림4. 붕산농도 변화(PPM)에 따른 반응도(PCM) 변화

그림 3, 4는 영광 15주기 노심자료를 이용하여 생성한 시뮬레이터 노심특성을 시험하기 위해 100%운전 조건에서 냉각재 온도 및 붕산농도가 변화 할 때 반응도의 변화 그래프이다.

3. 노심 모델-계통간(보조계통 및 강사 조작 기능)연계기술 개발

3.1 3D 노심 모델 가시화 프로그램 개발

발전소 원자로 노심설계코드의 출력으로부터 3차원 형상을 만들어 주는 3차원 가시화 프로그램을 개발하였다. 3차원 형상을 만들어 주는 프로그램과 연계하기 위해서 TCP/IP 통신을 사용하였으며, 노심설계코드에서는 매우 많은 양의 데이터를 생성하는데, 이중 핵연료온도(temperature)와 중성자속(flux)에 대한 데이터는 3차원 노심 모델을 가시화 하는데 사용하였다. 통신을 통하여 데이터가 전달되기 때문에 빠른 전송을 위해서 3차원 가시화에 꼭 필요한 변수만을 이용하여 통신하도록 구현하였다.

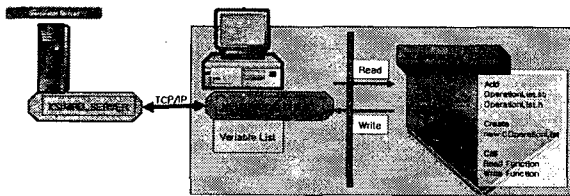


그림 5 .3D 노심 모델 가시화 프로그램 연계

3.2 기준 시뮬레이터 시뮬레이션 환경 연계

GSE사의 SimSuite Power3.3 (SSP3.3)을 바탕으로 개발된 노심(TH)모델을 수정하였다. 이때, 기존의 설계코드에 “crs:switch”라는 특정 플래그를 추가하여 변수값이 참(true)인 경우에 TCP/IP통신을 이용하여 MASTER코드에서 연산된 결과를 입력으로 받아 처리하도록 하였다. 실시간 분산 시스템을 구현하기 위해서는 MASTER 코드와 시뮬레이터 모듈과의 실시간 통신 및 동기화(Synchronization)작업이 이루어져야 한다. 서버 컴퓨터의 모듈과 클라이언트인 MASTER코드 모듈을 동기화시키기 위해서 StartProcessing, WaitResult모듈을 삽입하여 동기화를 위한 수단으로 활용하였다. 서버측 TH모듈에 특정 플래그 (crs:switch)가

참(true)인 경우 그림 7과 같은 연산수행을 거친다.

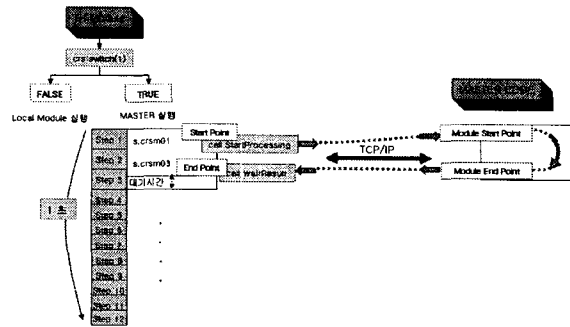


그림 6 . Master코드와 연계시 연산 수행 절차

3.3 강사조작시험

서버측에서 시뮬레이터를 기동하고 클라이언트측에서 MASTER코드를 기동하였다. 분산된 모듈사이로 통신을 통하여 전달해야 할 변수들이 정확한 사이클 안에 계산값을 통신을 통하여 이루어짐을 확인하였으며, 서버측 디버거인 ISD(Interactive Symbolic Debugger) 명령창에 기동, 정지, 초기화 그리고 스냅 명령에 대하여 시험하였다. 조작결과 서버와 클라이언트 사이에 동기화 되어 올바르게 명령이 작동되어 실행됨을 확인 할 수 있었다.

100% 안정상태에서 주요 운전 변수를 확인하고 각 출력별(100%, 75%,50%,25%)로 비교하였으며 기존 시뮬레이터 노심(REMARK)의 결과와 분산 노심해석장치(RMASTER) 결과값이 비슷함을 확인하였다.

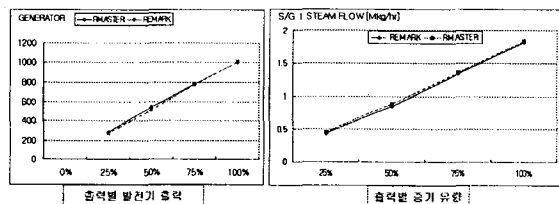


그림 7 .초기조건 확인 및 열성능 시험

4. 결론

타 과제로부터 제공된 MASTER코드 기반의 실시간 노심해석 모델을 분산 시스템으로 구축하여 시뮬레이터 환경(SSP3.3)에 연계하여 사전 기능시험을 한 결과 기본적인 제어기능(Run, Freeze, Snap IC, Reset)이 작동됨을 확인하였다. 실제 현장 적용시 사용 편의를 위해서는 시뮬레이션 소프트웨어(SEIS)의 기능 보강이 요구되며, 분산 노심 해석 감시 및 검증용 3D 가시화 프로그램 개발이 더 추가적으로 요구된다. 연계된 분산 노심 해석장치를 이용하여 간단한 시험을 실시하였으며 그 결과 대체적으로 만족한 결과를 얻을 수 있었으며 구축된 방법론의 유용성을 확인하였다.

본 논문은 과학기술부 원자력연구개발사업인 "원전 시뮬레이터 노심-계통 연계기술 개발"과제의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- [1] Song Jae Seung, Joo Han Gyu, Zee Sung-Quun, Noh Jae Man, "MASTER-2.0 : Multi-purpose Analyzer for Static and Transient Effects of Reactors", Korea Atomic Energy Research Institute, January, 1999.
- [2] 홍진혁, 이명수, 이용관, 서인용, Development of the Core-Model Implementation Technology for YGN1 Simulator, 한국원자력학회 춘계학술대회, 2004
- [3] "GSE Modeling Technical Manual", GSE, 2002.
- [4] KAERI, "Improvement of Cycle Dependent Core Model for NPP Simulator", Final Report, 2002.
- [5] Myeong-soo Lee etc., "The New Research Activities of KEPRI for KNPEC-2 Simulator Upgrade Project", ASTC-Advanced Simulation Technologies Conference-2001 SCS, 2001.