

신고리 #3, 4호기 NSSS 제어계통 Stimulation 설계 개념

배병환, 고도영
한국수력원자력(주) 원자력발전기술원

Design Concept of DCS Stimulator for Shin-kori #3, 4 NSSS Control System

Byung-Hwan Bae, Do-Young Ko
Korea Hydro & Nuclear Co., Ltd. Nuclear Engineering & Technology Institute

Abstract - 본 논문은 차세대 원전 신고리 #3, 4호기 NSSS(Nuclear Steam Supply System) 제어계통의 검증시스템을 개발하기 위한 설계개념에 관한 것이다. 차세대 원전 신고리 #3, 4호기는 KHNP(Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd.)가 개발한 APR1400(Advanced Power Reactor 1400 [MWe])을 적용하는 최초의 원자력발전소이다.

APR1400은 3세대 원자력발전소로 인정받고 있으며, APR1400 원자력발전소의 안전한 운영을 위하여 I&C(Instrumentation and Control)시스템이 디지털 표준 플랫폼으로 설계 되었다[2]. 특히, 차세대 원전 신고리 #3, 4호기의 비안전계통(제어, 감시 및 경보계통)은 WEC (Westinghouse Electric Company)의 DCS(Distributed Control System) 상용 단일 플랫폼으로 구성될 예정이다.

우리는 신고리 #3, 4호기의 제어계통 중에서 NSSS(Nuclear Steam Supply System) 제어계통의 검증시스템을 개발하기 위하여 Stimulated Simulator의 방법론을 적용하여 "Simulator"라는 설계개념을 정립하였다. 현재 원자력발전소 NSSS 제어계통의 DCS Stimulator 개발을 위하여 차세대 원전 신고리 #3, 4호기에 시설될 WEC의 DCS와 Simulation 서버 그리고 I/O 설비를 구축 중에 있으며, 원자력발전소 현장 기기 모델링 소프트웨어와 I/O 설비간의 인터페이스를 위한 통신 소프트웨어도 개발하고 있다.

1. 서 론

APR1400[1]으로 건설될 차세대 원전 신고리 #3, 4호기 원자력발전소의 I&C시스템은 기존의 원자력발전소와는 달리 국내 최초의 Full Digital 시스템이라는 것이 가장 주요한 특징이다[2].

신고리 #3, 4호기의 비안전계통에 설치될 DCS는 Emeson Process Management사가 제작하고 WEC가 공급하는 "OVATION"이다.

우리는 국내 원자력발전소에 최초로 Full Digital I&C시스템으로 건설될 차세대 원전 신고리 #3, 4호기의 제어시스템인 DCS에 대하여 원자력발전소 건설 및 발전사업자로서 제어시스템의 성능을 검증하기 위하여 본 연구를 진행하고 있다[3].

2. 본 론

2.1 DCS Stimulator 구축 기준

원자력발전소에서 Simulator의 목적은 일반적으로 발전소 운전원의 교육과 발전소 제어시스템의 유지/보수요원에 대한 교육 그리고 발전소 제어시스템에 대한 설계검증이다. 기존의 원자력발전소의 제어시스템은 거의 대부분이 아날로그 제어시스템이다.

최근에 일부 제어시스템이 디지털 제어시스템으로 설치되거나 설비가 개선된 후에도 통신속도 및 서로 다른 제어시스템 기종간의 인터페이스가 용이하지 않아 Simulation을 Emulated Simulator에 의해서 수행하고 있다. 그러나 최근의 통신방식 표준화 및 개방형 구조, 빠른 통신속도의 개발로 Stimulated Simulator가 가능하게 되었다. 우리는 이러한 Stimulated Simulator를 "Simulator"라 칭하였고 Emulated Simulator를 "Emulator"라 칭하였다. 표 1은 기존 Emulator와 본 논문의 Simulator를 비교한 것이다.

우리는 원자력발전소 디지털 제어계통의 주요 설비인 DCS에 대하여 세계 최초로 원자력발전소 NSSS 제어계통의 Simulator를 설계하였고 현재 구축 중에 있다.

차세대 원전 신고리 #3, 4호기 NSSS 제어계통의 DCS Stimulator를 구축하기 위하여 다음의 몇 가지의 기본적인 설계 요건을 정립하였다.

가. 차세대 원전 신고리 #3, 4호기에 설치될 DCS 플랫폼을 적용하여 Stimulation 기법으로 설계하여야 한다.

나. Stimulated I/O를 적용하기 위하여 발전소와 동일한 하드웨어(제어기)와 소프트웨어(OS, DB, HSI 등)를 사용하여야 한다.

다. 차세대 원전 신고리 #3, 4호기 NSSS 제어계통의 제어로직을 적용하여야 한다.

라. 원자력발전소 현장 기기들(펌프, 밸브 등)을 최적으로 모델링할 수 있는 툴을 사용하여 Simulation 서버를 구성하여야 한다.

〈표 1〉 기존의 Emulator과 본 논문의 Simulator의 비교

	Emulator	Stimulation
Process Modeling	Modeling Tool	Modeling Tool
제어로직	Host Computer	DCS Controller
HSI* Software	Host Computer	DCS HSI EWS**
I/O Interface	Host Computer (S/W 기반)	DCS I/O Modules & 일반 산업용 I/O Modules (H/W 기반)
EWS	Simulator EWS	DCS HSI EWS/OWS***
Models과 DB 일치	필요없음	Models DB와 DCS DB Mapping 시켜야 함
시스템 구성	제어시스템이 아닌 다른 시스템	원자력발전소와 동일한 제어시스템
설계변경 용이성	수정이 어려움	수정이 용이함
활용성	발전소 Operator 교육	발전소 Operator 교육, 유지보수 요원 교육 및 설계검증에 활용

* HSI : Human System Interface, ** EWS : Engineering Workstation, *** OWS : Operating Workstation

2.2 DCS Stimulator 구축 방법

제어시스템의 효율적인 설계검증을 위한 가장 일반적인 방법인 Simulator를 개발하여 검증하는 것이다. Simulator 구축 방법은 크게 5가지로 조사[3]되었고 다음과 같은 특징이 있었다.

① Emulation

I&C설비가 아닌 제3자의 기기로 Simulator를 구축하는 방법이다. 근본적으로 유연성이 좋고 현장 소프트웨어와 분리된 Simulator로 구성할 수 있는 장점이 있으나, 복잡한 원자력발전소 I&C시스템의 HSI에 Emulation 하고 추적하기에 어렵다는 단점이 있다.

② Stimulation

Stimulated I/O를 적용하기 위하여 원자력발전소와 동일한 하드웨어와 소프트웨어를 사용하는 Simulator를 말하며, 발전소와 동일한 기능성과 적합성, 간단한 유지보수 그리고 최소 개발비용이 드는 장점이 있다. 그러나, 초기 개발 및 구축비용이 많이 소요된다.

③ Hybrid stimulation / Emulation

HSI를 Stimulation 할 수 있고, 제어용 소프트웨어가 모델 컴퓨터의 코드 실행결과를 사용하고 목적(대상) 기반의 툴을 사용하는 Simulator 방법이다. 사용자의 요구조건을 잘 만족하고 적은 하드웨어 비용과 적은 초기 투자비가 드는 장점이 있으나, 각 플랫폼 제어 알고리즘의 개발과 유지보수가 필요하며, 초기 상당한 개발기술과 높은 개발 유지 보수비용이 요구되는 단점도 있다.

④ Hybrid stimulation / Translation

HSI를 Stimulation 할 수 있고, 제어용 소프트웨어가 모델 컴퓨터의 코드 실행결과를 사용하고 자동화된 툴을 사용하는 Simulator 방법이다. 사용자의 요구조건을 잘 만족하고, 적은 하드웨어와 초기 투자비, 초기구축을 위한 짧은 기술시간, 그리고 원자력발전소 MCR(Main Control Room) 교육훈련을 위한 동일한 HSI 등이 장점이다. 그러나, 각 플랫폼 제어 알고리즘과 Translator의 개발과 유지

보수가 필요하고, Simulator 스케줄에 맞춘 지원을 위한 시스템 소프트웨어가 필요하다.

④ Virtual stimulation

HSI를 Stimulation 하거나 가상(virtual)으로 구성[4]할 수 있고, 워크스테이션 내에서 제어용 소프트웨어를 재처리하고 모델컴퓨터와 인터페이스하는 Simulator 방법이다. 사용자의 요구조건을 잘 만족시키고 적은 하드웨어와 적은 초기 투자비 그리고 가장 짧은 기술 시간이 소요된다. 또한 원자력발전소 MCR 훈련을 위한 동일한 HSI를 사용하며, 윈 플랫폼 툴셋의 활용과 제어용 소프트웨어의 검증에 위해 주로 사용된다. 단점으로는 Simulator 스케줄에 맞춘 지원을 위해 시스템 소프트웨어가 필요하고, 큰 시스템을 위한 다양한 가상 Simulation 장치가 필요하다.

우리는 차세대 원전 신고리 #3, 4호기 원자력발전소 NSSS 제어계통의 DCS Stimulator를 구축하기 위한 방법으로 실제 원전과 가장 유사한 검증시스템을 구축하기 위하여 두 번째의 Stimulation 방법을 적용하여 설계하기로 하였다.

2.3 DCS Stimulator 설계 개념 및 검증방법

DCS Stimulator의 기본설계 개념은 실제 발전소에서와 가장 유사한 시스템을 구성을 하면서 최소의 비용과 설비로 설계하는 것이다. 그러므로 제어시스템은 차세대 원전 신고리 #3, 4호기에 설치될 예정인 DCS 하드웨어와 소프트웨어를 사용하여 구성하고, 현장의 제어대상 기기는 모델링 툴을 사용하였다.

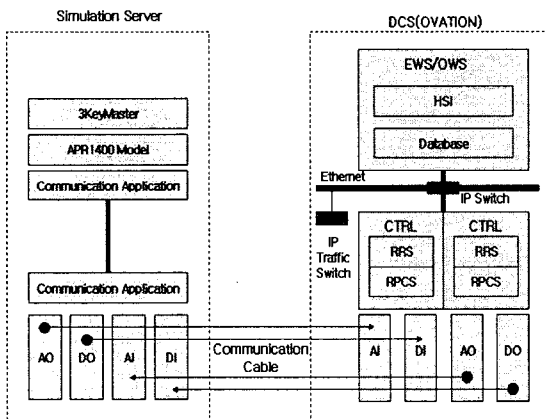
본 연구를 위하여 선정된 NSSS 제어계통은 RRS(Reactor Regulating System), RPCS(Reactor Power Cutback System), SBSCS(Steam Bypass and Control System), FWCS(Feed Water Control System), PLCS(Pressurizer Level Control System) 그리고 PLCS(Pressurizer Pressure Control System) 등 6개 시스템이다.

DCS 부분은 실제 발전소에서 1대의 DCS가 1개 또는 2개의 발전소 제어계통을 담당하도록 설치되지만, 본 연구에서는 비용절감을 위하여 1대의 DCS 제어기에 1개의 제어계통 제어로직을 다운로드하여 검증한 후 삭제한다. 그리고 다시 다른 제어계통 제어로직을 다운로드하여 시험하기로 하였다. 제어기는 발전소와 동일한 방식으로 이중화하였다. DCS의 HSI EWS/OWS는 TCP/IP Switch를 통하여 DCS 제어기와 이중으로 연결된다. DCS I/O 모듈의 수량은 6개 NSSS 제어계통의 A/I, A/O, D/I 그리고 D/O 수를 제어도면으로부터 각각 분석하여 설계하였다.

Simulation 서버 부분은 발전소 현장 기기를 모델링 툴로 WSC(Western Service Corp.)의 3KeyMaster를 사용하여 차세대 원전 신고리 #3, 4호기 원자력발전소 NSSS 제어계통을 구현하였다. 또한, 구현된 이 모델과 DCS의 DB와의 인터페이스를 위하여 통신 소프트웨어를 개발하고 있고, Simulation 서버와 DCS I/O 모듈과의 인터페이스를 위하여 일반 산업용 I/O 모듈로 설계하였다. 산업용 I/O 모듈은 위의 6개 NSSS 제어계통 DCS의 I/O 모듈 규격을 검토하여 선정할 것이다.

DCS와 Simulation 서버간의 인터페이스[5]는 실제 발전소에서 동일한 환경을 위하여 제어용 차폐케이블로 연결되도록 설계하였다.

그림 1은 차세대 원전 신고리 #3, 4호기 NSSS 제어계통 DCS Stimulator의 설계 개념을 나타낸 그림이다.

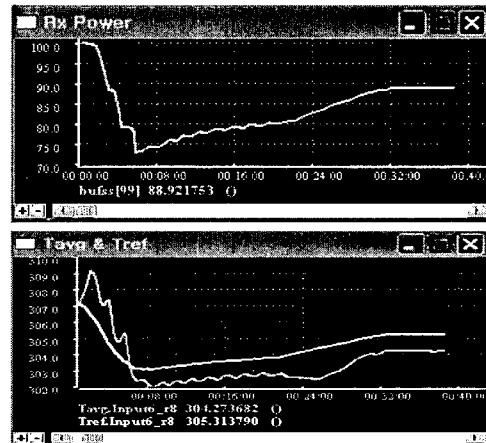


〈그림 1〉 차세대 원전 신고리 #3, 4 NSSS 제어계통 DCS Stimulation 설계 개념도

검증방법은 위 6개의 제어계통 중에서 신고리 #3, 4호기 RRS를 예들들면 모델을 모델링 툴로 구성하고 RRS 모델중에서 RRS 제어로직만 제거하여 수정한 RRS 모델을 Simulation 서버에서 구동시

키고, 제거된 RRS 제어로직은 DCS OVATION의 제어기로 다운로드하여 실행하는 것이다. 그리고 난 후, 모델링 툴에서 원자로출력 제어의 다양한 실험을 통하여 DCS OVATION과 원자력발전소 제어시스템의 제어로직의 설계를 검증할 수 있다.

그림 2는 Emulator를 이용한 PCS(Power Control System)의 원자로 출력값과 원자로 냉각재 평균온도(T_{avg})/기준온도(T_{ref}) 실험결과이다. PCS 제어로직은 RRS, RPCS 그리고, CEDMCS (Control Element Drive Mechanism Control System)의 모델을 3KeyMaster 모델링 툴을 이용하여 구현하였고, 다이나믹 모델은 Relab 5 Real Time으로 구성하여 제어로직과 인터페이스 하였다. 원자로 출력을 100%→75%→90%로 변동하였을 때 Emulator 결과값은 그림 2와 같이 얻을 수 있었다.



〈그림 2〉 Emulator에 의한 PCS의 원자로 출력 및 T_{avg} , T_{ref} 결과(원자로 출력 100%→75%→90% 변동시)

3. 결 론

우리는 APR1400 원자력발전소의 최초 건설 프로젝트가 되는 차세대 원전 신고리 #3, 4호기의 주요 디지털 제어시스템인 DCS의 성능과 발전소 제어로직을 검증하기 위한 연구를 진행하고 있다. 현재는 1단계로 NSSS 제어계통의 6개 시스템을 검증하는 것이 목표이며 이를 위하여 Simulator 구축 방법 중에서 개발과 구축비용이 많이 소요되지만 설계검증과 활용성이 우수한 Stimulation 방법을 적용하였고, Stimulator의 설계 개념과 기본설계를 완료하였다.

원자력발전소 현장의 제어시스템과 동일한 환경을 구성하기 위하여 실제 차세대 원전 신고리 #3, 4호기에 시설 예정인 WEC의 이중화된 실제 제어기와 I/O 모듈, 네트워크 방식, 발전소 제어로직, 그리고 모델링 툴 등으로 설계하였다. 현재는 상세설계를 통하여 DCS Stimulator 개발에 박차를 가하고 있다.

향후 DCS Stimulator 개발과 다양한 실험으로 문제점을 사전에 해결한다면, 국내 원자력발전소 최초의 Full Digital 제어시스템으로 건설될 차세대 원전 신고리 #3, 4호기의 안전성과 신뢰성 향상에 크게 기여할 것으로 사료된다.

〔참고 문헌〕

- [1] 한국수력원자력(주), Advanced Power Reactor 1400 Standard Safety Analysis Report, Chapter 1, 7, 2001.
- [2] 한국수력원자력(주), 신고리 3, 4호기 예비안전성분석보고서 P.2367 ~ 2770, 2003.
- [3] 한국수력원자력(주), APR1400 디지털제어계통 검증시스템 구축 (1차 중간보고서), P.50 ~ 51, 2007.
- [4] Emerson Process Management, Simulation User Guide for Ovation 3.0, 2006.
- [5] Western Services Corporation, Interfacing with 3KeyMaster, 2005.