

APR1400 디지털제어계통 검증시스템 구축 및 활용방안

강성곤, 고도영, 예송해
한국수력원자력(주) 원자력발전기술원

Establishment and Application Plan of Validation System for APR1400 Digital Control System

Sung-Kon Kang, Do-Young Ko, Song-Hae Ye
Korea Hydro & Nuclear Power Co., Nuclear Engineering & Technology Institute

Abstract - 본 논문은 전기출력이 1400 MWe급으로 개발된 첨단 원자력 발전소인 APR1400(신형경수로 1400) 제어계통에 적용되는 디지털시스템의 설계 및 성능 검증을 위해 개발 중인 디지털제어계통 검증시스템에 관한 것이다. APR1400 디지털제어계통은 발전소 출력 제어 및 안전운전과 관련된 중요 기능들을 수행하며, 기존 원자력발전소와 달리 단일 디지털 Platform을 적용하고, Multi-Loop 개념과 네트워크를 적용하여 Controller와 케이블 수량을 줄인 특징을 가지고 있다. 이와 같은 설계는 지금까지 원자력발전소에는 적용된 적이 없기 때문에 사용자 측면에서는 디지털 제어계통 설계 및 성능 관점에서의 검증을 위한 시스템이 요구되었다. 현재는 APR1400 시뮬레이터(발전소 모델링을 통한 모의시스템)를 이용한 검증시스템을 1차적으로 구축한 상태에 있으며, 시스템 전체 시험을 진행 중에 있다. 특히, 이번에 개발 중인 검증시스템은 구성이 간단하고 사용이 편리한 장점을 지니고 있을 뿐만 아니라 다양한 고장상황을 재현해 봄으로써 디지털제어계통의 성능을 확인해 볼 수 있는 특징을 보유하고 있다.

본 검증시스템의 활용방안으로는 첫째, 계통설계의 구현 가능성 관점에서의 확인시험을 수행하는 방안, 둘째, 발전소 시운전 착수 전 시운전요원 교육에 활용하는 방안, 셋째, 발전소 설계 변경 필요 시 설계 변경에 따른 영향 파악, 넷째, 디지털제어계통 유지보수 기술 습득 등에 효과적으로 활용할 수 있을 것으로 본다. APR1400 디지털제어계통은 현재 건설 중인 신고리 3,4호기 원자력발전소에 적용될 예정이며, 향후에는 해외 원자력 수출을 위한 기반기술로 활용될 수 있을 것으로 확신한다.

1. 서 론

APR1400(신형경수로 1400) 디지털제어계통은 원자력발전소 출력제어 및 안전운전과 관련된 중요 기능들을 수행하며, 기존 원자력발전소와 달리 발전소 출력제어를 위해 단일 디지털 Platform을 적용하고, 발전소 전반에 Multi-Loop, Segmentation 설계와 디지털 네트워크 설계를 적용함에 따라 Controller 수량과 케이블 수량을 줄이고, 운전 신뢰성을 더욱 높인 특징을 가지고 있다. APR1400 디지털제어계통 설계는 다양한 설계특성을 반영함에 따라 발전소에 적용하기 전에 발전소 운영자 측면에서 제어계통 설계 및 성능 검증을 위한 검증시스템이 요구되었다. APR1400 디지털제어계통 검증시스템을 통해 발전소 시운전 시 일어날 수 있는 다양한 사고 즉 설계 오류나 엔지니어링 구현 실수 등에 따른 발전소 파도상태 지속 등과 같은 사고들을 사전에 방지할 수 있게 함에 따라 운전 신뢰성을 높이고, 이에 따른 경제적 손실을 줄일 수 있는 도구로 활용하고자 한다.

본 논문에서는 APR1400 디지털제어계통 검증시스템 개발과정과 개발 결과물의 실질적 활용 방안에 대해 기술하고자 한다. 현재 APR1400 표준설계를 근간으로 한 신고리 3,4호기 원자력발전소를 건설 중에 있으며, 2013년과 2014년에 3, 4호기를 각각 준공하여 상업운전을 시작할 예정이다.

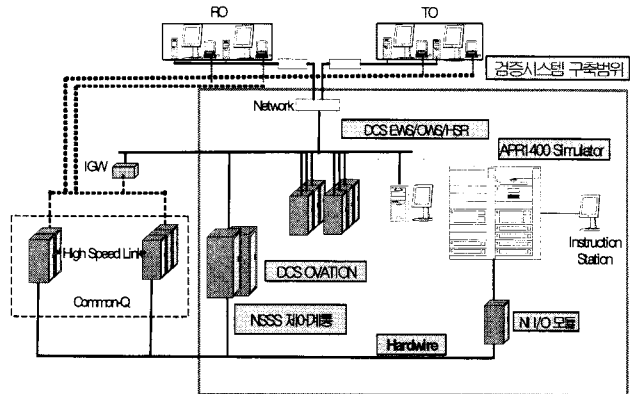
2. 본 론

2.1 디지털제어계통 검증시스템 구축

APR1400 디지털제어계통 검증시스템 개발을 위해 다양한 개발방법을 검토하였으며, 과제의 목적과 향후 시스템 활용방안을 고려하여 Stimulation 기법을 적용한 검증시스템 개발 방식을 채택하였다[1][2]. Stimulation 기법의 장점은 실제 발전소에 적용될 I&C(Instrumentation & Control) 시스템을 활용하고 이를 시뮬레이터와 연계함으로써 시스템의 구축부터 시험에 이

까지 발전소에 설치하고 시험하는 것과 유사한 과정을 실제로 시행해 보고 이를 통해 다양한 경험을 축적할 수 있다는 점이다.

실제 발전소에 적용될 I&C시스템으로 신고리 3,4호기 NSSS(Nuclear Steam Supply System) 제어계통을 그 대상으로 하였다. NSSS 제어계통은 발전소의 1차측과 2차측 사이에 에너지 균형을 맞추기 위한 자동 제어 기능을 갖춘 시스템이며, 각각의 기능에 따라 원자로제어계통(RRS), 원자로출력 급감발 계통(RPCS), 증기발생기 우회제어계통(SBCS), 주급수 제어계통(FWCS), 가압기 압력 및 수위 제어계통(PPCS, PLCS)으로 구분할 수 있다. 원자로 저출력에서부터 100%출력에 이르기까지 증기발생기 수위 제어, 1차측 에너지 유지를 위한 2차측 잉여에너지 제어 등과 같은 NSSS 제어 기능은 발전소의 다양한 운전상황에서 중요한 역할을 수행하므로 NSSS 제어계통 논리와 기기 신뢰성 확인을 위해 검증시스템 구축 범위를 그림1과 같이 선정하였다. 또한 검증시스템 구축을 위해 NSSS 제어계통에 적용되는 설비(Platform)로는 신고리 3,4호기에 적용되는 동일한 DCS(Distributed Control System)를 사용하였다. 검증시스템 구축을 위해 신고리 3,4호기 원자력발전소 모델을 적용하여 개발된 시뮬레이터를 사용하였다[2]. 따라서, 검증시스템에서는 시뮬레이터에 포함되어 있던 동일한 NSSS 제어계통 모듈은 삭제한 후 NSSS 제어계통 논리를 DCS에 구현하였다.

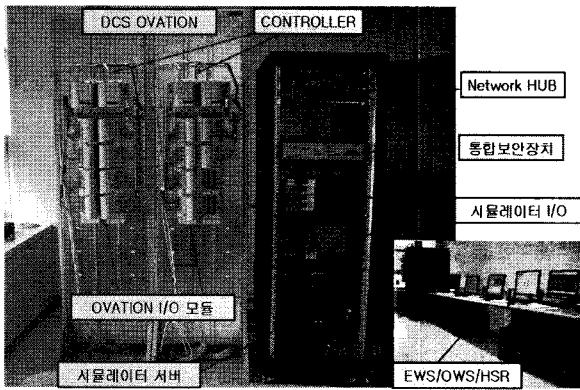


〈그림 1〉 디지털제어계통 검증시스템 구축 범위

2.1.1 DCS를 이용한 검증시스템 구축

검증시스템은 그림2 및 표1과 같이 APR1400 Simulator, 연계시스템(I/O Card set, 연계 프로그램), 제어기 및 I/O를 포함한 2개의 DCS 캐비넷, DCS 엔지니어링 작업을 위한 EWS(Engineering Workstation) 1식, DCS 운전 및 상태 감시를 위한 OWS(Operator Workstation) 2식, 모든 데이터 기록을 위한 HSR(Historical Storage Retrieval) 1식으로 구성되며 각 기기는 네트워크와 Hardwired I/O로 연결하여 구성한다. 검증시스템은 다음과 같은 단계를 통해 구축하였다.

- ① NSSS 제어계통 각 변수, 설정치, 운전범위 등 Table 작성
- ② DCS Engineering Tool을 통해 Point DB(Data Base) 구축
- ③ DCS Engineering Tool을 통해 제어논리(Control Logic) 구현
- ④ DCS Engineering Tool을 통해 MMI 운전 화면 구현
- ⑤ DCS와 연계된 Simulator를 통해 디지털제어계통 단위시험 수행
- ⑥ DCS와 연계된 Simulator를 통해 디지털제어계통 성능시험 수행
- ⑦ Simulator와 연계프로그램에 의한 NSSS 제어 계통 6개 각각을 연계 하면서 시험 수행



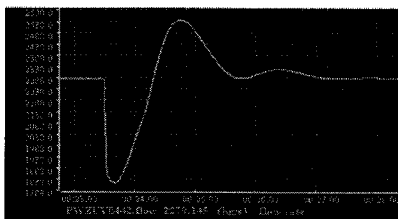
〈그림 2〉 APR1400 디지털제어계통 검증시스템

〈표 1〉 검증시스템 주요 구성요소

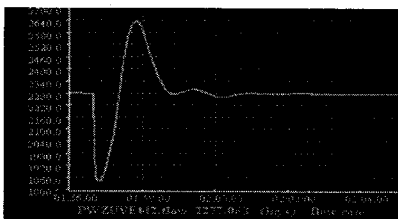
시스템 구성요소	제품	기능
DCS (분산제어시스템)	Emerson社 Ovation DCS (CPU 400MHz, Redundant Controller 장착, I/O Module 25개)	신고리 3,4호기 NSSS 제어계통에 적용되는 I&C Platform
APR1400 Simulator	WSC社 3KEYMASTER 소프트웨어, 서버 1식(Dual Core)	APR1400 발전소 모델 시뮬레이션 시스템
연계시스템	NI(National Instrument)社 I/O Hardware Set, 연계프로그램	Simulator API와 NI API간 연계하여 DCS로 데이터 입출력
Network	100Mbps Ethernet CISCO社 Swithing HUB	DCS 구성 요소들 간 통신
보안장비	AhnLab TrusGuard UTM	방화벽과 침입방지

2.1.2 APR1400 Simulator와 DCS 연계 시험결과

위와 같은 절차에 따라 디지털제어계통 검증시스템을 구축하여 Simulator 자체 시험결과와 검증시스템을 이용한 시험결과를 비교해보면 아래와 같이 유사한 시험결과를 얻는 것을 알 수가 있다. 아래에 나온 시험은 원자로 출력 100%에서 주급수 펌프 1대가 갑자기 정지할 때 주급수 헤드 유량값 변화 추이를 나타낸 것으로 Simulator내에 구현된 주급수 제어계통에 의한 주급수 유량 회복 상황을 나타낸 것이다. 검증시스템 운전결과 DCS에 구현된 주급수 제어계통에 의한 주급수 유량 회복 상황을 나타낸 것이다. 거의 동일한 특성이 나타나는 것을 볼 수가 있다.



〈그림 3〉 Simulator 단독 운전 결과



〈그림 4〉 검증시스템 운전 결과

2.2 디지털제어계통 검증시스템 활용방안

디지털제어계통 검증시스템은 설계, 운전, 유지보수 측면에서 다양한 사용자들에게 유용한 도구가 될 것으로 확신하며 다음과 같은 구체적인 활용 방안을 제시한다.

2.2.1 NSSS 제어계통 설계논리 검증

과거의 경험에 비추어 보면, NSSS 제어계통은 다양한 발전소 상황에서 복잡한 자동제어 논리로 구성되어 있어 항상 제어변수들을 결정하는데 있어 많은 시간과 노력이 소요되었다. 특히, PID 제어를 위한 시정수(Time Constant)와 이득값(Gain)은 발전소 현장에 적용된 시스템 특성에 민감한 경향이 있어 발전소 설치 전에는 쉽게 결정하기 어려운 애로사항이 있었다. 하지만 검증시스템을 활용하게 된다면 발전소 기기 설치 전에 미리 PID 시정수와 이득을 통해 시스템 안정도(Stability) 측면에서의 다양한 시험과 사행차오를 통해 값을 결정할 수 있어 발전소 시운전 기간을 단축시킬 수 있는 장점이 있다. 또한, 운전을 위한 상세설계의 완성도 측면에서도 미리 설계를 시험해 볼 수 있으므로 다른 계통 설계에도 설계 영향에 따른 결과를 예측해 볼 수 있다. 계통설계 논리를 실제 발전소에 적용되는 엔지니어링 도구를 사용하여 직접 구현해 봄으로써 설계 의도를 정확하게 파악해 볼 수 있고, 구현작업을 수행하면서 엔지니어에 의한 논리 오류 발생 가능성을 미리 파악할 수 있는 기회를 제공한다.

2.2.2 APR1400 모델 발전소 시운전 지원

APR1400 표준설계를 근간으로 한 신고리 3,4호기 원자력발전소는 현재 건설 중에 있으며, 2010년 이후 시운전을 담당하는 시운전 조직에 의해 시운전을 수행할 예정이다. 과거를 통해 습득한 경험과 기술을 바탕으로 NSSS 제어계통을 포함한 I&C 계통에 적용될 DCS Platform 구조 및 DCS 엔지니어링 Tool 사용법과 제어논리 구축방법을 전수하고, 시운전 상황에서 문제 발생 시 문제 원인파악 및 해결자로서의 역할을 수행하고자 한다.

2.2.3 APR+ 원전 설계 지원

APR1400 모델을 개선한 차세대 원전(APR+) 설계 수행 시 검증시스템을 활용함으로써 개념설계 단계부터 I&C 설계 구조와 네트워크 요건 결정, Segmentation 설계 적용 방안 결정, 응답속도(Response Time) 요건 결정, 논리 변경, 사이버보안(Cyber Security) 요건 결정 등에 대한 가능성을 미리 시험해 볼 수 있으므로 설계 단계별 결과물 도출에 실질적인 도움을 제공할 수 있다. 설계변경을 통해 논리를 재작성할 경우, 정성적인 해석뿐만 아니라 정량적인 해석을 할 수 있도록 지원하여 설계자와 운영자에게 설계 변경에 대한 확신을 심어주고, 설계변경에 따른 발전소 영향을 미리 확인할 수 있는 기회를 제공한다.

3. 결 론

전술한 바와 같이 본 논문에서는 APR1400 디지털제어계통 검증시스템 개발과정과 활용방안에 대하여 기술하였다. DCS를 기반으로 한 검증시스템은 NSSS 제어계통을 그 대상으로 하였으며, APR1400 시뮬레이터를 연계하여 검증시스템을 구축하였으며, 특징으로는 신고리 3,4호기 원자력발전소에 적용되는 것과 동일한 DCS Platform 하드웨어와 소프트웨어를 기반으로 개발하였다는 점이다. 디지털제어계통 검증시스템은 설계, 운전, 유지보수 측면에서 다양한 사용자들에게 유용한 도구가 될 것으로 판단되며, 구체적인 활용방안으로는 첫째, NSSS 제어계통 설계논리 검증 수행, 둘째, APR1400 모델 발전소인 신고리 3,4호기 시운전 기간동안 문제 발생 시 과제 수행경험을 통해 기술지원 제공, 셋째, APR+ 차세대원전 설계 단계별 설계 수행 시에 검증시스템을 활용하여 요건을 결정하고 설계를 원활하게 하는데 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다. APR1400 디지털제어계통 검증시스템은 향후에는 해외 원자력 수출을 위한 기술로 활용될 수 있을 것으로 확신한다. 현재 검증시스템을 통합하여 성능시험을 수행 중에 있으며 발전소의 각 모드에서 설계 요건 만족를 확인한 후 계속적으로 시스템의 완성도를 높여 나가하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 고도영외 1인, “신고리 #3, 4호기 NSSS 제어계통 Stimulation 설계개념”, 제어정보학회(CICS) 추계학술대회, 2007
- [2] 한국수력원자력(주), APR1400 디지털제어계통 검증시스템 구축 (2차 중간보고서), 2007.