

논문 2011-48SC-4-4

# 발전소 제어시스템 기본 스테이션 기능 검증

( Functional Test of A Station of Control System for Power Plant )

변 승 현\*, 박 두 용\*, 임 익 현\*

( Seung-Hyun Byun, Doo-Yong Park, and Ick-Hun Lim )

## 요 약

국내 전력의 수요증가로 인해 전력산업에서 신경망 역할을 하는 I&C(Instrumentation & Control)의 중요성이 날로 증가하고 있으며, 외국 선진 제작사의 기술 보호로 제어 시스템의 국산화가 요구되고 있는 상황이다. 이러한 상황에서 500MW급 초임계압 표준 석탄화력 발전소에의 실증 적용을 목표로 국산 통합 감시 제어시스템 개발 연구가 진행되고 있다. 개발하는 통합 감시 제어시스템은 발전설비의 중요성으로 인해 개발과정이나 개발 후 발전 설비에 적용되기 전에 시스템의 기능 및 신뢰성 등의 검증이 요구되고 있다. 또한 전력수요의 증가로 인해 제어시스템 설치 및 시운전 기간의 충분한 확보가 어려운 시점에서, 향후 실증 적용시 시행착오를 줄이기 위해 제어 시스템의 검증은 필수적이다. 본 논문에서는 개발한 제어 시스템의 기본 스테이션에 대해 기능 검증한 사례를 소개한다.

## Abstract

A control system has been developed by Korean engineers for 500MW Korean standard type fossil power plant with the advent of retrofit of old control system. The developed control system is required to verify in terms of function and reliability prior to application to a power plant because a power plant is a very important facility in the industry. It is difficult to secure the enough period for installing the control system and commissioning due to the gradual increase of power demand and competitive power market environment. It is essential to verify the control system in order to reduce trial and error cases during overhaul period for application of control system to the power plant. This paper shows the case study of a functional test of a station of control system for power plant.

**Keywords :** Control System, Functional Test, Simulator

## I. 서 론

전력 수요의 증가로 인해 전력산업에서 신경망 역할을 하는 I&C(Instrumentation & Control) 기술의 중요성이 날로 증가하고 있는 상황이다. 전기를 생산하는 발전설비의 중요성으로 인해 신규 발전소에의 제어 시스템의 적용이나 기존 발전소의 제어 시스템 개조시 제어 시스템의 기능 및 신뢰성의 검증이 엄격하게 요구되

고 있다.

또한 전력 산업 환경에 의해 제어시스템 설치 및 시운전 기간의 충분한 확보가 어려운 시점에서, 향후 실증 적용시 시행착오로 인한 공기 지연을 줄이기 위해 제어 시스템의 검증은 필수적이다.

제어시스템의 검증은 크게 개발/제작된 시스템의 설계 요구 조건 및 성능 등 기기의 건전성을 검증하는 기기 검증 시험과 시스템의 기능을 검증하는 기능 검증 시험으로 구분할 수 있다. 기기 검증 시험의 경우 공인된 시험 기관에 의해 수행되어지며, 구성 부품의 노화에 대한 영향을 분석하는 노화분석 시험, 시스템 조립 후 시스템의 구성 및 배치도의 설계도와의 일치 여부, 구성 카드들의 부품과 부품 목록과의 일치 여부, 터미널 블럭/케이블/카드 등의 식별 번호, 접지 처리, 배선,

\* 정회원, 한전 전력연구원  
(KEPCO Research Institute)

※ 본 논문은 지식경제부 전력산업연구개발사업에 의하여 수행 중인 화력발전용 통합 감시 제어시스템 성능 검증 및 실증시험 기술 개발 결과임.  
접수일자: 2011년4월22일, 수정완료일: 2011년7월5일

외함 손상 등을 검사하는 육안 검사, 향후 시험의 기준이 되는 시험으로 시험 대상 시스템을 이루는 각 서브시스템의 설계서에 기반한 기능 만족 여부를 확인하는 초기 기능 시험, 제품을 길들이거나, 특성을 안정시키기 위하여 사용 전에 일정시간 동안 동작시키는 변인 시험, 전원 전압 변동 시험, 순시 전압 강하 시험, 순시 정전 시험 등의 전원 영향 시험, 저온 시험, 고온 시험, 온도 변화 시험, 습도 시험, 온도 사이클 시험 등의 온습도 시험, 시스템이 규정된 가혹도의 진동에서 견딜 수 있는 거의 능력을 판단하는 진동 시험, 시스템이 타 시스템에 전자 간섭을 일으키는지와 다른 시스템으로부터의 전자 간섭에 대해 내성을 가지고 있는지를 판단하는 EMC(Electromagnetic Compatibility) 시험, 시스템 중 설치시 가장 외부현장에 가깝게 설치되어 염기에 노출될 가능성이 큰 것에 대하여 실시하는 염수분무 시험, 앞에서 언급한 모든 시험을 마친 후에 환경시험에 종합적으로 영향을 받는지를 확인하는 시험으로 초기 기능 시험과 같은 항목을 실시하는 최종 기능 시험 등으로 구성되어진다<sup>[1]</sup>. 기능 검증은 스테이션 하나에 대해 이루어지는 기본 시스템 기능 검증과 현장에 실증 적용되는 형태의 네트워크로 결합되어진 통합 환경의 스테이션들에 대해 실시하는 통합 시스템 기능 검증으로 구분할 수 있다.

본 논문에서는 제어 시스템 검증을 위해 기기 검증 후 이루어진 보일러 제어 시스템의 기본 스테이션에 대한 기능 검증 사례에 대해 소개한다. 본문에서는 기본 시스템 기능 검증 시험 항목을 나열하고, 나열한 시험 항목에 대한 시험 결과를 기술한다.

## II. 기본 시스템 기능 검증

개발한 통합 감시 제어시스템의 프로토타입의 기본 스테이션에 대한 기능 시험은 개발한 제어 시스템이 갖추어야할 기본 기능을 구비하고 있는 지를 검증하는 시험으로, 시험 항목은 전력연구원이 기 수행한 제어 시스템 국산화 개발 과제인 화력발전소 보일러용 분산 제어 시스템 개발 과제와 원전 DCS(Distributed Control System) 개발 과제 수행 결과를 참조하여 선정하였다<sup>[2]</sup>. 선정된 시험항목은 시험 대상 제어시스템 제원 및 구성 확인, 엔지니어링 확인 및 변경 시험, 시뮬레이터 연계 단위 제어 루프 시험, 이중화 시험, 시스템 진단 기능 시험, 기능블럭 시험, 하드웨어 입출력 시험 등이다.

한편, 시뮬레이터는 주로 운전 훈련용으로 개발되어 활용되어지고 있으나 최근에는 전 범위로 개발되어 원자력 발전소의 디지털 제어 시스템 업그레이드 적용 전 훈련과 사전 시험을 실시함으로써 현장에서의 시행착오를 줄이기 위한 테스트 베드로써 이용되어지고 있으며<sup>[3]</sup>, 적용되어질 디지털 제어 시스템의 적용 전 제어 로직 시험과 인터록 시험 그리고 HMI(Human Machine Interface) 등 소프트웨어 검증용으로 활용되어지고 있다<sup>[4]</sup>.

국내에서도 시뮬레이터를 이용하여 제어 시스템의 검증이 이루어지고 있다. 화력의 경우 국내에서는 2000년에 국산 개발 발전소 보일러 주 제어 시스템을 대상으로 전 범위는 아니지만 중용량 화력발전소를 대상으로 열수력 모델을 이용한 시뮬레이터를 개발하여 보일러 제어용 분산 제어 시스템의 신뢰성과 기능 검증을 하여 국산 개발 제어시스템을 석탄화력 발전소에 최초로 실증 적용한 사례가 있다<sup>[5]</sup>. 또한 500MW급 석탄 표준화력 발전소의 실증적용을 목표로 개발한 제어 시스템을 대상으로 전 범위 시뮬레이터를 이용하여 기능 검증을 수행하고 있다<sup>[2]</sup>. 원자력의 경우도 신규 원전에 적용 예정인 국산 개발 분산 제어 시스템에 대해서 전 범위 시뮬레이터를 이용하여 기능과 신뢰성 검증을 수행하고 있다<sup>[6]</sup>. 제어 시스템을 검증하기 위해서는 검증 대상인 제어 시스템과 시뮬레이터간 인터페이스가 선행되어야 하는데, 주로 직접 결선을 통해 인터페이스 되어 검증되고 있다. 시뮬레이터와 검증 대상 제어시스템간의 일반적인 인터페이스는 그림 1과 같다. 그림 1과 같은 시스템 구축을 위해서는 크게 공정 모델과 제어 모델로 구성되는 시뮬레이터 개발과 함께 I/O 인터페이스 시스템을 구축하고, 시뮬레이터와 연계하기 위한 프로토콜을 개발해야 한다.

발전소 시뮬레이터는 발전소 공정을 모사하는 공정 모델과 제어 시스템을 모사하는 제어 모델, 고장모사/

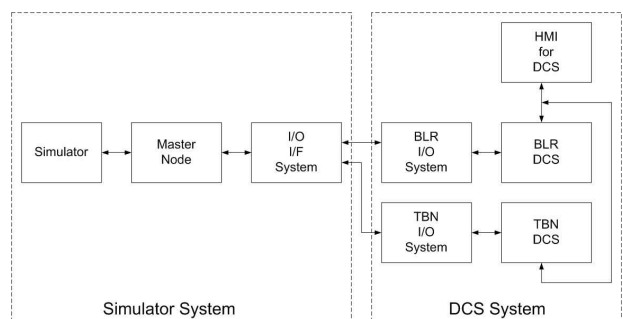


그림 1. 제어시스템과 시뮬레이터간 인터페이스  
Fig. 1. Interface between control system and simulator.

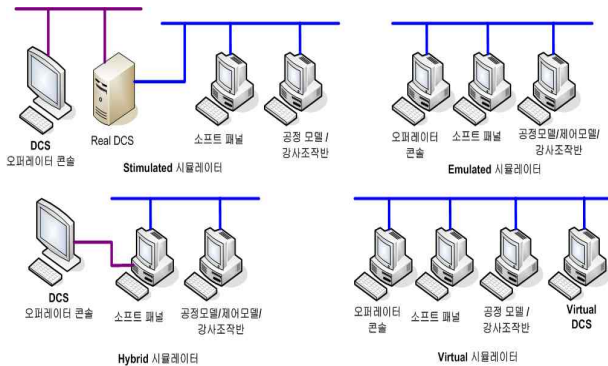


그림 2. 시뮬레이터의 분류  
Fig. 2. Classification of Simulator.

표 1. 시뮬레이터 타입에 따른 장단점 비교  
Table 1. Comparison of strong and weak points depending on simulator type.

	Stimulated	Virtual	Hybrid	Emulated
요구되는 자료	- (DCS 벤더 자료)	- (DCS 벤더 자료)	중간 (HMI 연계 데이터)	많음 (자료 정확도가 충실도 결정)
시스템 폐쇄성	매우 높음 (DCS 벤더에 독립적)	높음 (DCS 벤더에 독립적)	중간 (HMI 연계 프로토콜)	- (DCS 벤더에 독립적)
개발 기간	짧음 (DCS와 공정모델간 연계시간)	짧음 (DCS와 공정모델간 연계시간)	장기간 (HMI 연계 시간)	가장 장기간 (제어 모델 구현 시간)
업그레이드 용이성	중간	중간	낮음	낮음
유지보수 용이성	어려움 (DCS 벤더에 매우 의존적)	중간 (DCS 벤더에 의존적)	중간 (벤더에 의존적)	쉬움 (상용 H/W 및 S/W 이용가능)
구축비용	매우 높음	저렴	높음	가장 저렴

원격시험 등을 가능하게 하는 강사 조작반, 공정 모델, 제어 모델과 연계하여 발전 출력을 조정할 수 있는 운전 조작반, 공정 변수를 모니터링하고, 일부 조작이 가능한 소프트(하드) 패널 등으로 구성되며, 제어 모델과 오퍼레이터 콘솔의 구현 방법에 따라 그림 2와 같이 4 가지 타입으로 분류할 수 있다. 시뮬레이터 타입에 따른 장단점을 비교하면 표 1과 같다<sup>[7]</sup>.

- Stimulated 타입 : 발전소 현장에서 사용하고 있는 DCS와 동일한 오퍼레이터 콘솔과 하드웨어를 사용하여 구현하는 방식
- Virtual 타입 : 발전소 현장에서 사용하고 있는 DCS 제작사에서 제공하는 virtual 시스템(실제 시스템과 동일한 제어 라이브러리 제공)을 이용하여 구현하는 방식

- Hybrid 타입 : 발전소 현장과 동일한 오퍼레이터 콘솔을 제공하면서 제어 모델은 emulation 하여 구현하는 방식
- Emulated 타입 : 오퍼레이터 콘솔과 제어 모델을 emulation 하여 구현하는 방식

제어 시스템 검증용으로는 Virtual 타입이나 Stimulated 타입의 시뮬레이터가 일반적으로 개발되어지고 있는 추세이나, 제어 시스템 제작사의 의존도가 높고, 제어 시스템 제작사에서 Virtual 타입 또는 Stimulated 타입의 시뮬레이터 개발을 위한 제어 모델을 제공하지 않을 경우에는 개발이 불가능하다. 제어 시스템을 검증하고자 하는 경우에는 제어 시스템이 제공되어 시뮬레이터와의 연계되어 활용되므로 emulated 타입의 시뮬레이터를 개발한 후 제어 시스템과 연계하여 제어 검증용으로 활용하기도 한다. 본 논문에서는 시뮬레이터 개발 후 분산 제어시스템과 연계되어 활용되어지며, 제어 모델의 수정이 이루어지는 관계로 시스템의 유지보수 용이성과 향후 활용성 측면에서 emulated 타입의 시뮬레이터를 개발하여 제어 검증용으로 활용하였다.

본 논문에서 소개하는 500MW급 석탄 표준화력 발전소의 실증적용을 목표로 개발한 제어 시스템의 기능 검증도 전 범위 시뮬레이터를 이용하여 시험한다<sup>[2]</sup>. 제어 시스템과 시뮬레이터간 인터페이스는 그림 3과 같이 직접 결선을 통해 이루어졌다. 본 논문에서 대상으로 삼은 제어 시스템은 발전소 보일러 제어용 시스템의 기본 스테이션으로 그림 3과 같이 이중화 시스템의 구성

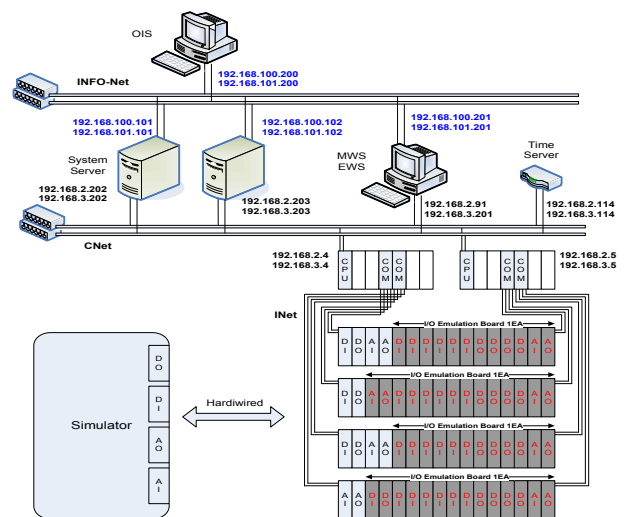


그림 3. 제어시스템의 구성과 시뮬레이터간 인터페이스  
Fig. 3. Control system configuration and Interface diagram between control system and simulator.

을 갖는다. 그림 3의 제어 시스템 캐비닛의 구성에서 전원은 이중화된 CPU 랙에 각각 전원을 공급하도록 구성되어 있다.

## 1. 기능 시험 항목

### 가. 시험 대상 제어 시스템 제원 및 구성 확인

본 항목은 시험 대상인 제어 시스템의 제원 및 구성을 확인하기 위한 항목으로 시험 결과가 시스템 구성과 하드웨어 버전이나 소프트웨어 버전 등에 따라 달라질 수 있으므로 시험 시스템을 구체적으로 식별화 하기 위해 시험 시스템 구성, 모듈별 버전, 시스템 설정 상태, 통신 연결 상태, 시스템 진단 상태 등을 확인한다.

### 나. 엔지니어링 확인 및 변경 시험

본 항목에서는 EWS(Engineering Work Station)에서 온라인 다운로드 기능과 온라인 파라미터 수정 기능, 입출력 변수 Forcing 기능 등을 확인한다.

### 다. 시뮬레이터 연계 단위 루프 시험

본 항목에서는 단위 제어 루프에 대한 로직을 개발한 제어 시스템에 구현하고, 구현한 로직을 이용하여 시뮬레이터 공정 모델의 해당 루프를 제어하면서 제어시스템에서 구현한 제어 로직을 검증할 뿐만 아니라 I/O 보드, 통신 보드, CPU 보드, 데이터베이스 서버, HMI 등 통합 환경에서 종합적인 기능을 확인한다. 본 항목 시험을 위해서는 제어 대상 루프를 선정하고, 제어 시스템에서 시뮬레이터의 공정 모델을 제어하기 위해 필요한 I/O 포인트를 정의한 다음 제어시스템과 시뮬레이터 간 I/O 포인트를 연계하는 등 시험 준비가 선행되어야 한다. 본 항목에서는 신호 타입별로 시뮬레이터와 제어 시스템간에 신호를 주고 받으면서 제어 시스템 OIS (Operator Interface Station)의 HMI와 EWS 그리고 시뮬레이터의 GUI(Graphical User Interface) 환경에서 태그 확인 시험을 하고, 제어 로직에 의한 제어 루프 기능 시험을 한다.

### 라. 이중화 시험

본 항목에서는 그림 3의 제어 시스템 구성에서 CPU 보드, 통신 보드, 시스템 서버, 통신 라인, 전원 등 이중화로 구현되어 있는 시스템 또는 모듈 중 마스터로 운전 중인 하나가 이상상황이 발생하였을 경우 대기중이던 시스템 또는 모듈로 마스터가 정상적으로 절환되는

지를 확인한다.

#### (1) CPU 보드 이중화 시험

제어 시스템 캐비닛의 제어를 담당하는 이중화로 구현된 CPU 보드의 이중화 시험으로 마스터로 운전 중인 CPU 리셋을 통한 CPU 절환 시험, 슬레이브로 운전 중인 CPU의 Mastership 절환을 통한 CPU 절환 시험, 마스터로 운전 중인 CPU Rack의 전원 OFF를 통한 CPU 절환 시험 등을 통해 CPU 보드의 이중화 절환 시험을 한다. 정상적인 절환 여부의 판단은 삼각파를 시뮬레이터에서 제어 시스템으로 주고, 제어 시스템은 AI(Analog Input) 보드를 통해 삼각파를 받아들여, 받아들인 삼각파를 AO(Analog Output) 보드를 통해 출력으로 다시 내보내어 이중화 모듈 절환시 트렌드를 제어 시스템 OIS의 HMI와 시뮬레이터의 GUI를 통해 확인함으로써 이루어진다.

#### (2) 통신 보드 이중화 시험

제어 시스템 캐비닛에서 제어를 담당하는 CPU 보드와 입출력을 처리하는 I/O 보드간 통신을 담당하는 이중화로 구현된 통신 보드의 이중화 시험으로 마스터로 운전 중인 CPU 보드 측의 통신 보드를 리셋하였을 경우, 슬레이브로 대기 중이던 CPU 보드로 마스터가 정상적으로 절환되는지를 확인한다. 통신보드가 2개이므로 2번 실시하며, CPU가 이중화된 관계로 역으로 한 번 더 시험한다. 정상적인 절환 여부의 판단은 CPU 보드 이중화 시험과 마찬가지로 삼각파 입출력의 트렌드를 확인함으로써 이루어진다.

#### (3) 시스템 서버 이중화 시험

제어 시스템 캐비닛의 CPU 보드와 OIS간의 통신을 위한 게이트웨이 역할과 DB 서버 역할을 담당하는 시스템 서버의 이중화 시험으로 마스터로 운전 중인 서버를 시스템 종료할 경우 마스터 서버가 절환되는 것을 확인한다. 정상적인 절환 여부의 판단은 CPU 보드 이중화 시험과 마찬가지로 삼각파 입출력의 트렌드를 확인함으로써 이루어진다. 시스템 서버가 이중화 된 관계로 역으로 한 번 더 시험한다

#### (4) 통신 라인 이중화 시험

통신 라인 이중화 시험으로 통신 라인에 이상이 발생하였을 경우 정상적인 라인의 절체 또는 모듈의 절환이

이루어지는 지를 확인한다. 본 논문에서 대상으로 한 제어 시스템은 그림 3에서와 같이 OIS간 통신 네트워크인 INFO-Net(Information Network), 시스템 서버와 제어 시스템 캐비닛의 CPU 보드간 통신 네트워크인 CNet(Control Network), 제어 시스템 캐비닛의 통신보드와 I/O 보드간 통신 네트워크인 INet(Internal Network) 등 세 계층의 네트워크를 갖는다. 따라서 통신 라인 이중화 시험은 INFO-Net, CNet, INet 통신 라인에 대해서 각각 이루어진다.

마. 시스템 진단 기능 시험

본 항목은 시스템 진단 기능을 확인하는 시험으로 EWS와 OIS의 HMI에서 시스템의 진단 정보와 상태를 감시한다. 감시 항목으로는 CPU 보드의 Master/Slave 여부, CPU 보드의 고장 여부, 통신 보드의 고장 여부, CPU 보드의 부하, 각 통신 포트의 연결 상태, I/O 보드의 고장 여부, CPU 보드의 Master/Slave 절환 여부, 통신 포트의 절체 여부, 시스템 서버의 고장 여부, 시스템 서버의 Master/Slave 여부 등으로 그래픽 또는 시스템 알람을 통해서 확인한다. 그림 4는 시스템 진단 기능에 의한 제어 시스템 캐비닛의 시스템 상태를 보여주고 있다. CPU 보드의 마스터/슬레이브 여부, CPU 보드의 부하, I/O 보드의 고장 여부 등을 보여주고 있다.

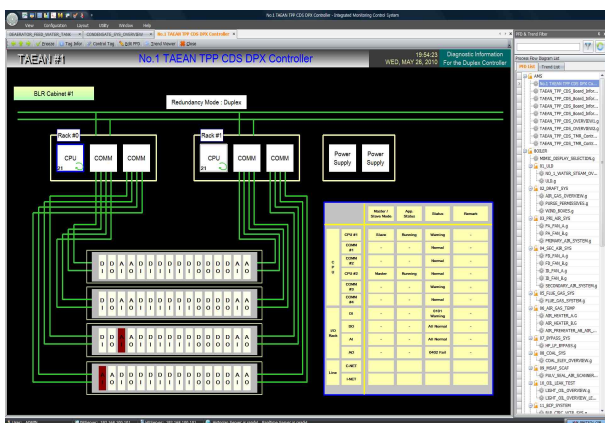


그림 4. 시스템 상태 표시 화면의 예  
Fig. 4. Example of system status HMI.

바. 기능 블록 시험

본 항목은 제어 알고리즘 구현을 위해 사용하는 기능 블록의 기능을 시험한다. 본 항목에서는 제어 시스템 운영자 환경 매뉴얼과 보일러 제어용 기능 블록 시험 보고서를 참고하여 보일러 제어용 기능 블록 중 알고리

즘이 들어가는 PD(PD Controller), PT1(1st order Delay Element), PT2(2nd order Delay Element), INT(Integrator), PID(PID Controller), PI(PI Controller), M\_STATION(Manual Station) 등에 대해서 기능 점검을 하는 것으로 하여 각 기능 블록에 대해 시험 절차를 작성하였다<sup>[2]</sup>. 본 논문에서는 PID 제어기의 경우에 대해서만 기술한다. PID 제어기의 기능블록 시험은 크게 기본 기능 시험, 모드 절환에 대한 범프리스 절환 시험, 상한/하한 시험, 선행 신호 입력 시험, PI 제어기로서의 PID 제어기 시험 등으로 구분되어진다. PID 제어기는 표 2의 PID 행의 전달함수로 표현되어진다. 기본 기능 시험은 설정값을 스텝 변화시켰을 때, 제어기 출력이 전달함수의 스텝응답과 동일한 응답을 보이는지를 확인하는 시험을 의미하며, 모드 절환에 대한 범프리스 절환 시험은 PID 제어기가 수동/자동/트랙 모드의 모드간 절환시 범프 발생 여부를 확인하는 시험을 말한다. 상한/하한 시험은 제어기 출력이 파라미터로 미리 설정한 상한/하한을 넘어가지 않는지와 상한/하한에 도달한 후에 에러의 부호가 바뀌었을 때 제어기 출력에 integral wind-up이 발생하지 않는지를 확인하는 시험을 의미한다. 선행 신호 입력 시험은 제어기에 선행 신호를 인가 시 제어기 출력이 선행 신호에 맞게 응답하는지를 확인하는 시험을 말한다. PI 제어기로서의 PID 제어기 시험은 PID 제어기의 전달함수에서  $T_V$ 와  $T_I$ 의 값이 같을 경우에는 PI 제어기와 같은 전달함수가 되므로, 설정값의 스텝 변화 인가 시 제어기 출력이 PI 제어기의 스텝 응답과 같은 응답을 보이는지를 확인하는 시험을 의미한다.

사. HMI 시험

본 항목은 사용자 인터페이스 기능을 제공하는 HMI의 소프트웨어 기능을 시험하는 항목으로, 실시간 트렌드, 이력 데이터 관리, 알람 처리, 리포트 기능, 보안 기능, 엔지니어링 기능 등 HMI가 가지는 기능을 확인한다.

아. 하드웨어 입출력 시험

본 항목은 I/O를 담당하는 입출력 보드(AI 보드, AO 보드, DI 보드, DO 보드)가 각 보드의 설계 사양을 만족하는지를 시험한다.

2. 기본 시스템 기능 시험

본 절에서는 제어시스템 대해 앞 절에서 언급한 기능

시험 항목을 적용하여 시험한 결과를 기술한다.

가. 기능 블록 시험

보일러 제어용 기능블럭 중 선별한 기능블럭에 대한 기능시험 결과는 표 2와 같다. 기능블럭 중 PID 제어기, PT2, M\_STATION에 일부 오류가 있었으나, 펌웨어 알고리즘 수정과 설계 오류에 의한 재설계를 통해 정상화하였다.

표 2. 기능 블럭 기능 검증 결과  
Table 2. Function Block Test Result.

기능블럭명	Description	시험항목	확인
PD	$F(s) = K_P + K_D \frac{T_I s}{1 + T_I s}$	기본기능	○
		KP=0	○
		KD=0	○
		D기능 Stop	○
PT1	$F(s) = K_P \frac{1}{1 + T_I s}$	기본기능	○
		T=0	○
INT	$F(s) = \frac{1}{T_I s}$	기본기능	○
		모드절환	○
		상한하한	○
PID	$F(s) = K_P \frac{1 + T_N s}{T_N s} \frac{1 + T_V s}{1 + T_I s}$	기본기능	○
		모드절환	○
		상한하한	○
		선행신호	○
		PI(T <sub>I</sub> =T <sub>V</sub> )	○
PI	$F(s) = K_P \frac{1 + T_N s}{T_N s}$	기본기능	○
		모드절환	○
		상한하한	○
		선행신호	○
M_STATION	Manual Station	SP 설정	○
		MV 출력	○
		모드절환및우선순위	○

나. 하드웨어 입출력 시험

I/O 처리를 담당하는 입출력 보드의 설계 사양 만족

표 3. 하드웨어 입출력 시험 결과  
Table 3. I/O Card Test Result.

보드명	Description	시험항목	확인
AI 보드	Analog Input Board	입력범위	4-20[mA]
		해상도	24bit
		오차율	±0.1[%]
		임피던스	249Ω±0.5[%]
AO 보드	Analog Output Board	출력범위	0-20[mA]
		오차율	±0.1[%]
		Hot Swapping	○
DI 보드	Digital Input Board	On 전압	16.8[V]
		Off 전압	16.7[V]
		Hot Swapping	○
DO 보드	Digital Output Board	On 전압	22[V]min
		Off 전압	0[V]
		Hot Swapping	○

여부를 시험하는 하드웨어 입출력 시험에 대한 결과는 표 3과 같다.

다. 이중화 시험

CPU 보드, 통신 보드, 시스템 서버, 통신 라인, 전원 등 이중화로 구현되어 있는 시스템 또는 모듈 중 마스터로 운전 중인 하나가 이상상황이 발생하였을 경우 대기중이던 시스템 또는 모듈로 정상적으로 절환되는지를 확인하는 이중화 시험에 대한 결과는 표 4와 같다.

이중화 시험은 4[mA]를 0%, 20[mA]를 100%로 하는 신호 범위에서 10% ~ 90%까지 변하는 20초 주기의 삼각파 신호를 시뮬레이터에서 발생시키고, 이 신호를 제어 시스템의 AI 보드를 통해 받아들여, 받아들인 신호를 AO 보드를 통해 다시 시뮬레이터로 전송하는 어플리케이션을 이용하여 이루어졌다. 표 4의 이중화 시험 결과는 시뮬레이터의 GUI와 제어시스템의 HMI를 통한 삼각파 입출력을 통해 확인하였다. 시뮬레이터 관점에서의 삼각파 입출력은 제어 시스템 제어기의 동작을 확인하는 것이고, 제어 시스템 관점에서의 삼각파 입출력은 제어기와 시스템 서버를 통한 HMI의 동작을 확인함을 의미한다. 그림 5는 시뮬레이터의 GUI를 통해 본 삼각파 입출력 트렌드를 보여준다. 삼각파의 주기는 20초이고, 최대 값은 90[%], 최소 값은 10[%]이다. 이 값을 제어시스템이 받아들여, 하나는 입력받은 대로 출력을 하고, 또 하나는 10[%]를 더한 연산 결과를 출력

표 4. 이중화 시험 결과  
Table 4. Redundancy Test Result.

시험	시험항목	절환 방향	확인	비고
CPU 보드 이중화	CPU 보드 리셋	A → B	○	CPU 보드
		B → A	○	
	Master Selection 스위치	A → B	○	
		B → A	○	
CPU Rack 전원 OFF	A → B	○		
	B → A	○		
통신보드 이중화	통신 보드 리셋	A → B	○	CPU 보드
		B → A	○	
서버 이중화	서버 시스템 종료	A → B	○	시스템 서버
		B → A	○	
통신라인 이중화	허브 스위치 OFF	A → B	○	INFO-Net 통신
		B → A	○	
통신라인 이중화	CNet 허브 스위치 OFF	A → B	○	CNet 통신
		B → A	○	
통신라인 이중화	통신 케이블 분리	A → B	○	
		B → A	○	
통신라인 이중화	통신 포트 케이블 분리	A → B	○	INet 통신
		B → A	○	

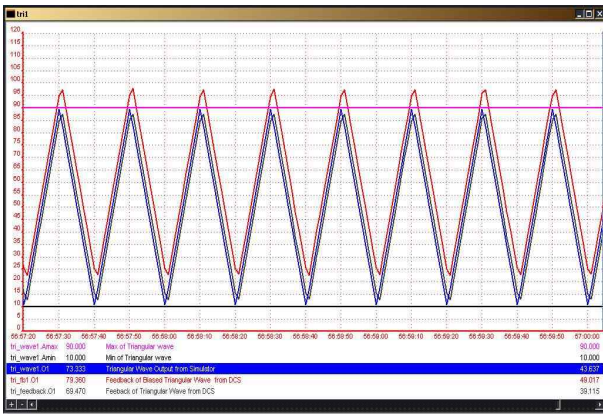


그림 5. 이중화 시험에서의 시뮬레이터 관점에서의 삼각파와 입출력 트렌드  
 Fig. 5. Trend of triangular waveform in terms of simulator during redundancy test.

을 하게 되는데, 이 값을 시뮬레이터에서 받아들인다. 그림 5의 트렌드에서 시뮬레이터 관점에서의 삼각파와 출력(제어시스템 관점에서의 입력)과 삼각파와 입력(제어시스템 관점에서의 출력)을 보여주고 있다.

라. 시뮬레이터 연계 단위 루프 시험

단위 제어 루프에 대한 로직을 제어 시스템에 구현하고, 제어 시스템 로직으로 시뮬레이터의 공정 모델의 해당 루프를 제어하면서 제어시스템의 제어 로직을 검증하는 시험으로 복수기 계통의 Hot well 수위 제어, Rejection 레벨 제어, COP(Condensate Pump) 최소 유량 제어, CBP(Condensate Booster Pump) 최소 유량 제어, 탈기기 수위와 오버플로우 제어, 탈기기 Pegging steam 압력 제어를 대상으로 시험을 하였다. 제어 루프에 대한 시험을 위해서 제어를 위해 필요한 I/O 포인트를 정의/연계하고, 해당 제어 로직을 제어시스템에서

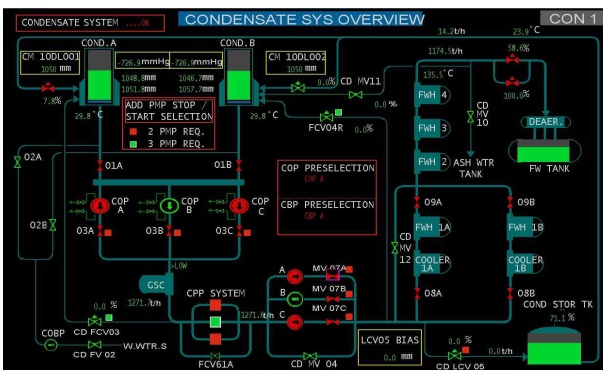


그림 6 복수기 Hot well 수위 제어의 HMI 화면  
 Fig. 6. HMI for hot well level control in condensate system.



그림 7 기능시험 환경인 시뮬레이터 I/O 인터페이스 시스템과 제어 시스템  
 Fig. 7. Simulator interface system and control system as functional test environment.

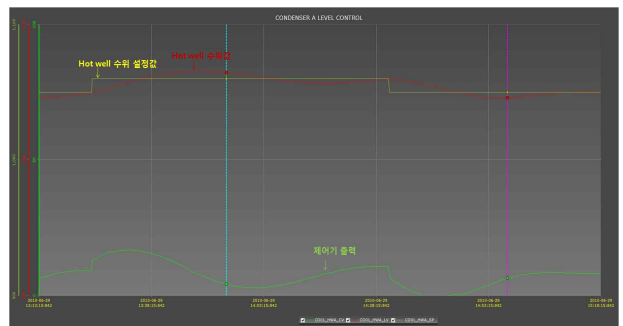


그림 8 제어 시스템에서 구현한 로직에 의한 Hotwell A 수위 제어 트렌드  
 Fig. 8. Trend of Hotwell-A level controlled by the implemented control logic.

구현하였다. 그림 6은 기능 검증을 하는 대상 제어 루프인 복수기 Hot well 수위 제어의 HMI 화면을 보여주고 있다.

그림 7은 시험 환경인 제어시스템과 시뮬레이터 인터페이스 시스템을 보여주고 있다.

제어 로직 검증시험은 제어 시스템의 해당 제어기를 수동모드에서 제어기 출력을 시뮬레이터의 해당 제어기 출력과 동일하게 설정한 상태에서, 시뮬레이터의 공정 모델의 제어권한을 제어시스템에 넘겨주고, 제어시스템의 제어기를 자동모드로 전환하여 제어기의 설정값을 변경하면서 공정값이 설정값을 추종하는지를 확인하였다. 그림 8은 제어시스템에서 구현한 제어 로직을 이용하여 Hot well A 수위 설정값 변화에 대한 제어 결과 트렌드를 보여주고 있다. 시상수가 크고, 시간 지연이 있는 제어 루프에 대해 공정값이 설정값을 추종함을 볼 수 있다.

시뮬레이터 연계 단위 루프 시험은 이중화 시험시 사

용하였던 삼각과 입출력 시험을 병행하고, 장기간 운용함으로써 단위 제어 루프의 제어 로직을 검증할 뿐만 아니라 I/O 보드, 통신 보드, CPU 보드, 시스템 서버, HMI 등 제어시스템의 종합적인 기능을 확인할 수 있었다. 이 기능을 활용함으로써 단기간에 이루어진 항목 기능 시험에서 발견하지 못했던 문제점들을 발견하고, 펌웨어 수정, 응용 소프트웨어 수정, 보드 칩 교체 등을 통해 기본 스테이션의 신뢰도를 제고할 수 있었다.

### III. 결 론

본 논문에서는 신뢰성이 요구되어지는 발전소 보일러 제어 시스템의 기본 스테이션에 대한 기능 검증 시험 항목을 기존 수행 연구를 참조하여 선정하고, 수행한 시험 사례를 소개하였다. 본 논문에서 소개한 기본 스테이션에 대한 기능 검증 시험 결과를 현장에 실증 적용되는 20여개의 스테이션으로 구성되어지는 통합 제어 시스템 기능 검증에도 활용하여 발전소에 적용하기 전에 통합 제어 시스템의 신뢰도를 제고할 것으로 기대한다.

### 후 기

본 논문은 지식경제부 전력산업연구개발사업에 의하여 수행 중인 화력발전용 통합 감시 제어시스템 성능 검증 및 실증시험 기술 개발 결과임.

### 참 고 문 헌

[1] “발전소 보일러용 디지털 분산제어시스템 개발”, 중간보고서, 1999, 전력연구원  
 [2] “통합감시제어시스템 성능검증 및 실증시험 기술 개발”, 2010, 전력연구원  
 [3] Burkhard Holl, Helmut Probst and Wolfgang Wischert, “Digital I&C Systems Pre-Tests using Plant Specific Simulators”, 4th ANS International Topical Meeting, Columbus, USA, September 2004.  
 [4] Chia-Kuang Lee, Chin-Mao Lee and Kin W. Wong, “Digital System Validation Testing in the Lungmen Project”, 6th ANS International Topical Meeting, NPIC&HMIT 2009, Knoxville, Tennessee, USA, April 2009.  
 [5] “발전소 보일러용 디지털 분산제어시스템 개발”,

최종보고서, 2001, 전력연구원  
 [6] “통합 성능 검증 설비용 원전 시뮬레이터 개발”, 2010, 전력연구원  
 [7] 변승현, 황도현, “제어 검증용 시뮬레이터 개발”, 한국시뮬레이션 학회 논문지, 제 19권 제 1호, 2010.

### 저 자 소 개



**변 승 현**(정회원)  
 1992년 연세대학교 전기공학과 학사 졸업  
 1994년 KAIST 전기 및 전자공학과 석사 졸업  
 1994년~현재 한전전력연구원 선임연구원

<주관심분야 : 제어시스템 설계, 제어 시뮬레이션>



**박 두 용**(정회원)  
 1991년 한밭대학교 전기공학과 학사 졸업  
 1976년~현재 한전전력연구원 책임연구원

<주관심분야 : 제어시스템 설계, 제어로직 HMI>



**임 익 현**(정회원)  
 1980년 건국대학교 전기공학과 학사 졸업  
 1996년 홍익대학교 전기공학과 석사 졸업.  
 2002년 홍익대학교 전자공학과 박사 졸업

1988년~현재 한전전력연구원 수석(을)연구원  
 <주관심분야 : 제어시스템설계, 전력전자제어>