

500MW급 표준화력발전소 시뮬레이터 모델을 이용한 디지털 제어시스템 검증

서정관^{1†} · 이명수¹ · 홍진혁¹

Digital Control System Validation using the Simulator Models for 500MW Standard Type Fossil Power Plant

Jeong-Kwan Suh · Myeong-Soo Lee · Jin-Hyuk Hong

ABSTRACT

The simulator models for 500MW fossil power plant have been developed, and interconnected with the turbine control system to test and validate the digital instrumentation & control (I&C) systems before they are implemented in operating power plants. When the performance of a selected digital I&C system is tested, the corresponding simulator model is replaced by the plant digital I&C systems which is considered as a non-tunable system. The input/out variables of simulator models and control systems were mapped using the LabView in interface systems. This paper describes the interconnection method between the simulator model and the digital I&C system, and summarizes the validation test results performed at the condition of steady-state operation, normal evolution, and malfunction. The integrated validation method of digital I&C systems using the simulator models showed that the simulator can be used as a test bed for the implementation of digital I&C systems in power plants.

Key words : Power Plant, Simulator, Control System, Validation

요약

디지털 계측제어계통을 발전소에 적용하기 전에 시험 및 검증하기 위하여 500MW급 표준화력발전소 시뮬레이터 모델을 개발하고 터빈 제어시스템과 연계하였다. 선택된 디지털 계측제어계통의 성능시험 시, 해당되는 시뮬레이터 모델은 조정할 수 없는 발전소 디지털 계측제어계통과 교체된다. 시뮬레이터 모델 및 제어시스템의 입출력은 연계장치에 있는 LabView 프로그램을 사용하여 연결되었다. 본 논문에서는 시뮬레이터 모델 및 디지털 계측제어계통을 연계하는 방법론에 대하여 기술하고, 정상운전, 과도상태 및 고장인가 시 수행된 검증시험 결과를 제시하였다. 시뮬레이터 모델을 사용한 디지털 계측제어계통의 종합검증을 통하여 시뮬레이터가 디지털 제어시스템을 발전소에 적용하기 위한 시험장치로 사용될 수 있는 방법론을 개발하였다.

주요어 : 발전소, 시뮬레이터, 제어시스템, 검증

1. 서론

발전소에서 사용하고 있는 제어시스템은 대부분 아날로그로 구성되어 있으며, 제품의 노후화 및 예비품의 생산중단 등으로 점차 디지털 설비로 교체되고 있다. 디지털 제어시스템은 발전소에 적용하기 전에 충분한 검증이

필요하며, 발전소 시뮬레이터를 이용하여 디지털 제어시스템을 종합 성능검증하려는 방법론 개발연구는 국제적으로 활발히 추진되고 있다¹⁾.

전범위 발전소 시뮬레이터를 사용하여 실제 발전소에 적용할 디지털 제어시스템을 검증하는 연구는 현재 일부 기관에서 추진중이며 발표된 결과는 제한적이다. 다만 대만의 Lungmen 프로젝트 진행상황이 최근 발표된 논문에서 소개되었다²⁾. 상기 논문에는 디지털 시스템 검증장치 구성 및 현재까지 수행된 검증시험, 즉 인간-계통 연계장치 시험, 로직 및 경보 시험, 계통 운전절차서 시험 결과 등이 소개되어 있으나, 디지털 제어시스템을 시뮬레이터와

2010년 6월 30일 접수, 2010년 9월 14일 채택

¹⁾ 한전 전력연구원

주 저 자 : 서정관

교신저자 : 서정관

E-mail: jksuh@kepri.re.kr

연계하는 방법에 대한 설명은 기술되어 있지 않다.

한전 전력연구원은 화력발전소 디지털 제어시스템을 발전소에 적용하기 전에 종합 검증할 수 있는 시험설비를 구축하기 위하여, 500MW급 표준화력발전소 시뮬레이터 모델을 개발하고 터빈 제어시스템을 연계하여 검증하는 시험을 수행하였다^[3]. 제어시스템 검증용 시뮬레이터 모델에서 제어계통 모델은 실제 발전소에서 사용될 제어시스템과 교체되어 검증시험이 수행되므로 이를 용이하게 하기 위하여 모듈화하여 개발하고, 시뮬레이터 제어계통 모델을 사용한 운전 중 검증대상 제어시스템으로의 절체 운전이 가능하도록 하였다. 개발된 시뮬레이터 모델에 대한 상세 설명은 선행 연구논문에 기술되어 있다^[4].

또한, 시뮬레이터 모델과 검증대상 제어시스템과의 연계를 위한 입출력 장치가 개발되었고 입출력 변수는 LabView를 이용하여 연계되었다. 입출력 장치는 디지털 입출력, 전류 입출력 및 전압 입출력을 모두 연계할 수 있도록 구성되어 있으며, LabView를 이용한 변수 연계 시 제어시스템에서 생성되는 신호가 샘플링 시간에 따라 변동폭이 크게 나타나서 평균신호를 발생하는 객체를 사용하여 연계변수 값을 조정하였다. 본 연구에서 검증대상으로 선정한 터빈 제어시스템에 대한 상세 설명은 선행 연구논문에 기술되어 있다^[5].

본 논문에서는 제어시스템 검증용 시뮬레이터의 구성 및 터빈 제어계통 모델에 대하여 소개하고, 개발된 입출력 장치를 이용한 제어시스템 연계방법 및 정상, 과도상태 등에서 수행한 종합 성능검증 결과를 기술하였다.

2. 시뮬레이터 모델 및 제어시스템 연계

2.1 제어시스템 검증용 시험설비 구축

화력발전소 제어시스템 검증용 시험설비를 구축하기 위하여 그림 1과 같은 시뮬레이터 환경을 구성하였다. 검증설비는 시뮬레이터 서버, 강사조작 컴퓨터, 제어계통 감

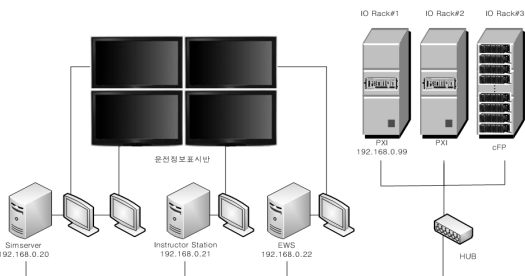


그림 1. 제어시스템 검증용 시뮬레이터 구성

시 및 조작 컴퓨터, 운전정보표시반 및 입출력 장치 등으로 구성되어 있다.

시뮬레이터 서버는 발전소를 모의하는 시뮬레이터 모델이 구동되어 발전소와 유사한 물리적 거동을 통하여 제어시스템과 실시간으로 변수 값을 주고받는다. 강사조작 컴퓨터는 시뮬레이터 서버와 랜선으로 통신을 하며 다양한 발전소 과도상태를 투입하는 기능을 수행한다. 제어계통 감시 및 조작 컴퓨터는 시뮬레이터 서버와 랜선으로 통신을 하며 제어계통 변수 값을 실시간으로 제공하고, 이 화면에서 제어계통 제어가 가능하다. 운전정보표시반은 시뮬레이터 서버에서 제공하는 발전소 모델상태, 강사조작 화면, 보일러 및 터빈 제어계통 상태를 제공하여 발전소 상태에 따른 제어시스템 상태를 확인할 수 있도록 한다. 입출력 장치는 시뮬레이터 서버에서 생성된 발전소 변수를 아날로그 및 디지털 입출력 신호로 변환하여 제어시스템과 실시간으로 변수 값을 주고받는다. 그림 2 및 그림 3은 각각 운전정보표시반 및 입출력 변수 연계 장치 사진을 나타내고 있다.

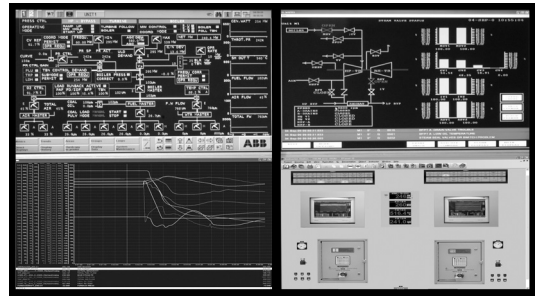


그림 2. 운전정보표시반

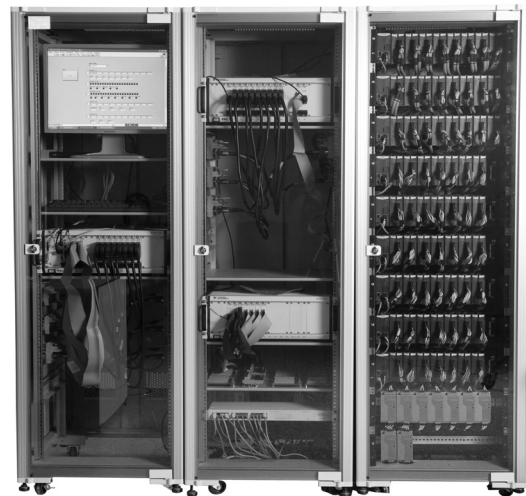


그림 3. 입출력 변수 연계 장치

2.2 제어시스템 검증용 시뮬레이터 모델

화력발전소 제어시스템 검증을 위하여 태안 1호기를 기준발전소로 선정한 500MW급 표준화력발전소 시뮬레이터 모델을 개발하였다. 발전소의 공정모델 및 제어모델은 객체지향 시뮬레이션 환경 프로그램인 3KeyMaster를 사용하여 개발되었다⁶⁾. 그림 4에 공정모델인 터빈계통의 시뮬레이션 다이어그램 중 일부를 나타내었다. 그림에서 배관, 밸브, 펌프, 복수기 등의 유로 및 기기는 객체로 내장되어 있으며, 마우스를 이용하여 선택, 이동, 연결하여 발전소 공정계통을 모델링한다.

터빈계통은 발전소 배관 및 기기도(P&ID)를 기준으로 1장을 1페이지로 구현하였으며, 계통의 복잡도 및 모델링 편의에 따라 2페이지 이상으로 구현하여 가독성 향상 및 수정/추가 시 용이하도록 하였다. 타 계통과 연계되는 부분은 경계조건으로 모델링하여 모듈화하였다.

제어계통 모델은 제어시스템 검증시험 시 스티물레이

션(Stimulation) 방법으로 되는 것을 고려하여, 변환 프로그램을 사용하여 제어계통 화면 및 평선블록이 생성되도록 하는 변환 이뮬레이션(Emulation) 방법으로 개발하였다. 그림 5는 발전소 데이터를 변환 프로그램을 사용하여 시뮬레이터 환경에서 실행 가능한 로직 다이어그램으로 구현한 예를 보여주고 있다.

시뮬레이터 제어계통 모델은 검증대상 제어시스템으로의 절체 운전이 용이하도록 개발되어야 한다. 이를 위해 제어계통 별 모듈화하여 개발하고, 제어시스템과의 입출력 변수는 외부 링크 방식으로 모델링하여 계통별 별도의 파일로 관리하였다. 검증대상 제어시스템에 따라 송수신되는 변수 형태가 다른 경우가 있으므로 연계 시 이를 고려하여야 한다.

2.3 입출력 변수 연계 장치

시뮬레이터 모델 및 검증대상 제어시스템을 연계하기 위하여 그림 6과 같은 입출력 변수 연계 장치를 설계하였다. 입출력 변수 연계 장치는 시뮬레이터 모델에서 생성된 발전소의 물리적 거동에 따른 입출력 제어변수를 검증대상 제어시스템과 연계하는 기능을 수행한다. 크게 세 부분으로 구성된 입출력 변수 연계 장치의 기능은 아래와 같다.

2.3.1 시뮬레이터 서버

네트워크를 통한 가상 입출력 방식으로 제어변수를 입출력 장치와 통신한다. 연계 전 독립 실행할 수 있으며 제어시스템 제어변수가 연계 초기값을 충족할 경우 연계를 수행하게 된다.

2.3.2 입출력 장치

입출력 장치는 시뮬레이터 서버 및 검증대상 제어시스템에서의 입출력 신호를 정해진 위치에서 연계하는 기능을 수행한다. 이를 위해 본 연구에서 검증대상으로 선정

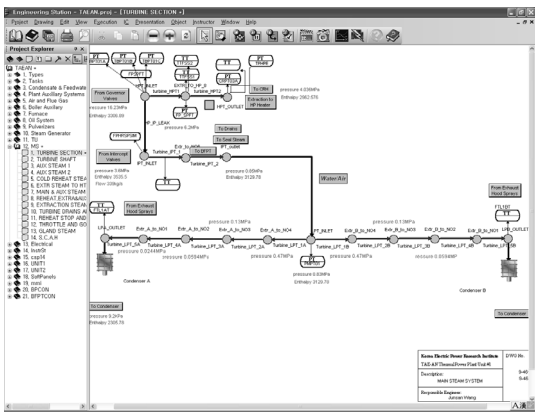


그림 4. 터빈계통 시뮬레이터 모델 예

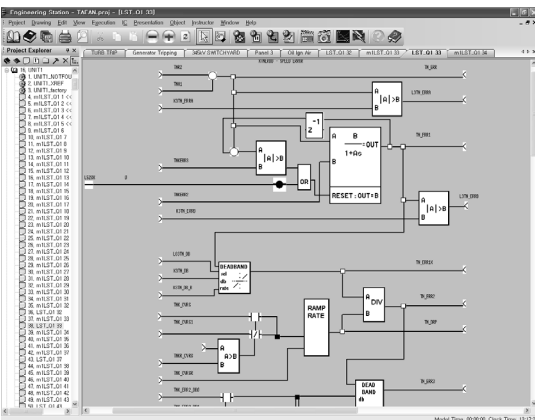


그림 5. 터빈 제어계통 로직 다이어그램 예

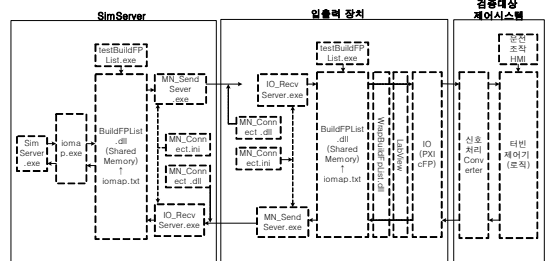


그림 6. 입출력 변수 연계 장치 개념도

PXI 1044													
8106 Controller	8331	6511	6512			6239	6239	6239	6238	6238	6238	6238	6238
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
PXI 1044													
8331	6238	6238	6238	6238	6238	6238	6238	6238	6238			6704	8331
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
PXI 1044													
8331	6255	6509	6602	6704	6704	6704							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

그림 7. PXI 카드 배치도

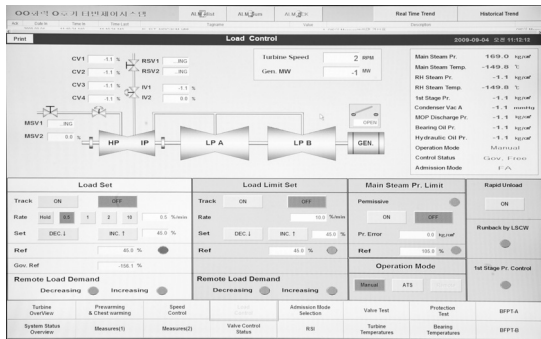


그림 8. 터빈 제어시스템 화면

한 터빈 제어시스템과의 호환성을 위하여 NI사 PXI 및 cFP를 사용하였다. PXI에 설치된 LabView 프로그램을 사용하여 입출력 Map에서 지정한 변수를 연계한다. 그림 7은 입출력 Map 작성을 위한 PXI 카드 배치도이며, cFP 카드도 동일한 방식으로 배치도를 작성하여 실배선으로 구성하였다. 그림에는 사용한 카드 종류 및 위치가 나타나 있으며 카드 수량은 채널 수, 신호 형태 및 확장성을 고려하여 설계하였다.

2.3.3 검증대상 제어시스템

검증대상 제어시스템은 발전소에서 실제 적용할 터빈 제어기 로직, 입출력 신호처리 변환기(Converter) 및 운전 조작 화면으로 구성되어 있다. 신호처리 변환기는 터빈 제어기에서 발생하는 전류 신호를 저항을 사용하여 전압으로 변환하고 실배선으로 입출력 장치와 통신한다. 터빈 제어시스템은 그림 8에 나타난 운전조작 화면을 통하여 운전하며 시뮬레이터 모델과 통신한 변수를 감시한다.

그림 6에는 시뮬레이터 서버와 입출력 장치의 연계 변수 통신을 위하여 개발된 파일들이 나타나 있으며 이를 설명하면 다음과 같다.

- iomap.exe : 시뮬레이터 모델에서 생성된 입출력 변수를 공유 메모리에 등록

- iomap.txt : 입출력 카드(PXI 및 cFP)의 번지를 지정하는 iomap
- BuildFPList.dll : 공유 메모리 할당
- testBuildFPList.exe : 입출력 카드와 통신하는 변수 확인
- MN_SendServer.exe : 서버 연계변수 송신
- IO_RecvServer.exe : 입출력 카드에서 연계변수 수신
- MN_Connect.ini : 통신방식, 통신대상 IP, Port, Lport, 서버명 등 지정
- MN_Connect.dll : 통신 dll
- WrapBuildFPList.dll : 입출력 장치에서 LabView를 사용하기 위하여 연계변수 정의

2.4 시뮬레이터 모델 및 제어시스템 연계

시뮬레이터 모델 및 제어시스템을 연계하기 위하여 다음과 같은 절차를 수행하였다. 먼저, 시뮬레이터에는 터빈 제어 모델이 동작하므로 이를 차단하고 터빈 제어시스템을 연계하여야 한다. 이를 위해 시뮬레이터 모델 및 터빈 제어시스템에서 연계 변수 목록을 작성하고, 단위 변환을 고려하여 입출력 카드를 통한 통신을 위한 Map을 표 1과 같이 작성하였다. 연계변수 Map에는 시뮬레이터 모델 변수명 및 입출력 카드의 주소명이 매핑되어 있으며, 신호 형태에 따라 사용하는 입출력 카드 형태를 지정하여야 한다. 시뮬레이터의 제어계통 모델은 모듈화하여 개발되어 제어시스템과 연계 시 용이하게 되어 있으나, 제어시스템으로부터 받는 신호 형태에 따라 받을 수 있는 형태로 변경이 필요한 부분이 있으므로 이를 확인하여야 한다.

상기와 같이 매핑된 시뮬레이터 모델 변수 및 제어시스템 변수는 입출력 장치에서 LabView를 사용하여 연계되었다. LabView를 이용한 변수 연계 시 터빈 제어시스템에서 생성되는 신호가 샘플링 시간에 따라 변동폭이 크게 나타나서, 평균신호를 발생하는 객체를 사용하여 연계 변수 값을 조정하였다. 터빈 제어시스템에서 입출력 장치로 전달되는 신호는 전압, 전류 및 디지털 형태이며, 송신된 값이 감쇄 없이 수신되는 지 확인하여야 한다. 본 연구에서 평균신호 발생 객체를 사용하여 변수 값 조정시, 소수점 이하 6자리까지 일치함을 확인하였다. 이러한 변수 조정은 해당 물리량의 허용 오차범위를 고려하여 수행하였다.

그림 9에 LabView를 사용한 변수연계 화면 일부를 나타내었다. 그림 9는 PXI-6509를 사용하여 디지털 신호를 시뮬레이터 모델로부터 터빈 제어시스템으로 연계하는 화면을 나타내며, 아날로그 신호를 터빈 제어시스템으로

표 1. 연계변수 Map(부분)

IO Type	Description	Eng. (from)	Eng. (to)
AI	MSV2 개도 요구값	1.4-7 V	0-100
AI	CV1 개도 요구값	1.4-7 V	0-100
AI	CV2 개도 요구값	1.4-7 V	0-100
AI	CV3 개도 요구값	1.4-7 V	0-100
AI	CV4 개도 요구값	1.4-7 V	0-100
AI	IV1 개도 요구값	1.4-7 V	0-100
AI	IV2 개도 요구값	1.4-7 V	0-100
DI	MSV1 Test Solenoid	0,1	0,1
DI	RSV1 Test Solenoid	0,1	0,1
DI	RSV2 Test Solenoid	0,1	0,1
DI	TBN Reset	0,1	0,1
DI	Electrical Trip Solenoid	0,1	0,1
DO	GCB Closed	0,1	0,1
DO	Emergency Oil Low Trip	0,1	0,1
DO	MSV1 Opened	0,1	0,1
DO	MSV1 Closed	0,1	0,1
DO	RSV1 Opened	0,1	0,1
DO	RSV1 Closed	0,1	0,1
DO	RSV2 Opened	0,1	0,1
DO	RSV2 Closed	0,1	0,1
AO	Turbine Speed MPU-1(RPM)	0-4000	0-4000
AO	Turbine Speed PPU-1(RPM)	0-4000	0-4000
AO	Turbine Speed MPU-2(RPM)	0-4000	0-4000
AO	Turbine Speed PPU-2(RPM)	0-4000	0-4000
AO	1st Stage Pr	0-20MPa	4-20mA
AO	MW	0-600MW	4-20mA
AO	MSV2 개도	0-100	4-20mA
AO	CV1 개도	0-100	4-20mA
AO	CV2 개도	0-100	4-20mA
AO	CV3 개도	0-100	4-20mA
AO	CV4 개도	0-100	4-20mA
AO	IV1 개도	0-100	4-20mA

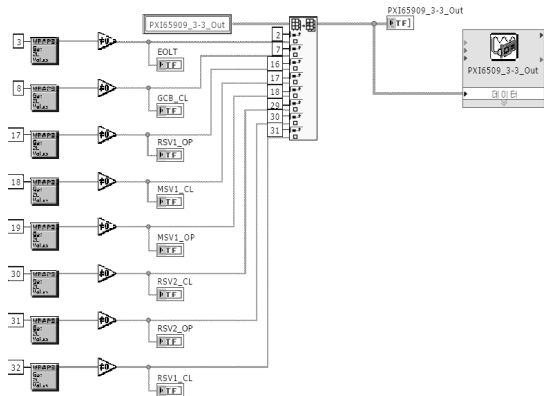


그림 9. LabView를 활용한 변수연계 화면 예

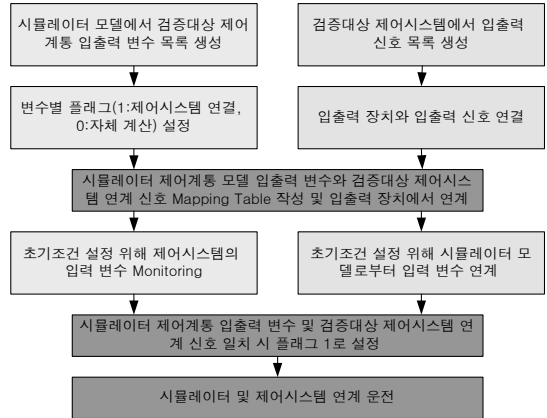


그림 10. 제어시스템 연계 시험 절차도

부터 수신하는 경우 평균신호 발생 객체가 추가된다.

연계 절차는 시뮬레이터 모델 변수 및 입출력 장치 간 연계, 입출력 장치 및 터빈 제어시스템 간 연계, 그리고 시뮬레이터 모델 및 터빈 제어시스템 간 연계의 순서로 진행된다. 이를 위해 통신 프로그램(testBuildFPList)을 사용하여 각 연계변수가 정확한 값으로 송수신되는지 확인하였다.

연계 초기에 시뮬레이터 모델은 단독 실행되며 변수를 송신만 하고, 터빈 제어시스템은 수신 및 송신을 하여 초기조건에 도달하면 시뮬레이터의 터빈 제어계통 모델은 터빈 제어시스템과 절체 운전된다. 시뮬레이터 모델 및 터빈 제어시스템의 초기조건은 각 조건에 따라 지정된 표를 사용하며, 불만족한 상태에서 연계되면 트립 신호가 발생하는 등의 문제가 나타날 수 있다. 그림 10에 시뮬레이터 모델 및 제어시스템을 연계하여 시험하는 절차를 나타내었다.

3. 제어시스템 검증시험 결과

디지털 제어시스템의 종합적인 성능검증을 위하여 시뮬레이터 모델과 검증대상인 터빈 제어시스템을 연계한 후 정상운전, 과도상태 및 고장인가 시험을 수행하였다.

3.1 정상운전 시험 결과

정상운전 시험을 위하여 시뮬레이터 모델 및 터빈 제어시스템을 연계한 후 100% 출력운전 조건에서 발전소의 상태를 나타내는 주요 변수 값을 확인하였다. 연계 시 시뮬레이터 모델은 100% 출력운전 조건에서 단독 실행되고, 터빈 제어시스템은 0% 출력운전 조건에서 시뮬레

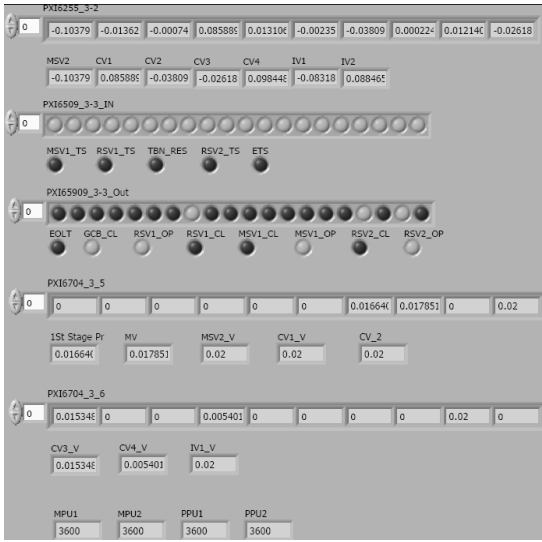


그림 11. LabView를 활용한 변수연계 결과 화면

Parameter	Value	Parameter	Value
aziKNICS[0]	7.2158	MSV2V.ivpDemand	107.666
aziKNICS[3]	7.2699	CV1VSUM.Input1_r	108.851
aziKNICS[6]	7.25412	CV2VSUM.Input1_r	101.248
aziKNICS[9]	4.697	CV3VSUM.Input1_r	59.6687
aziKNICS[12]	1.8169	CV4VSUM.Input1_r	12.8447
aziKNICS[15]	7.42835	IV1V.ivpDemand	106.114
aziKNICS[18]	7.48536	IV2V.ivpDemand	102.289
aziKNICS[7]	false	MSV1.cv.points.v[0]	0
aziKNICS[9]	false	RSV1.cv.points.v[0]	0
aziKNICS[24]	false	RSV2.cv.points.v[0]	0
aziKNICS[17]	false	RGUAE145.Impu...	0
aziKNICS[25]	false	TURBTRP.Input1_i	0

그림 12. 연계변수 초기조건 감시 화면

이터 모델로부터 초기값을 받아서 100% 출력운전 조건으로 초기값을 조정하였다.

시물레이터 모델 및 터빈 제어시스템에서 송수신되는 신호를 확인하기 위하여, 먼저 입출력 장치에서 iomap에 정의된 변수가 정상운전 시 주어진 값을 적절히 전달하고 있음을 감시해야 한다. 그림 11은 LabView로 구현된 입출력 변수 연계결과 화면을 나타내고 있다. 이 화면에서 시물레이터 모델 및 터빈 제어시스템으로부터 수신된 변수 값이 단위 변환되어 정확 값으로 나타나는 지 확인한다. 터빈 제어시스템으로부터 수신되는 변수 값은 변환기를 경유하므로, 저항을 이용하여 전류를 전압 신호로 변경할 경우 샘플링 시간에 따라 오차가 발생하므로 이를 조정하여야 한다. 그림 11에는 PXI 카드 종류에 따라 송수되는 변수 값이 나타나 있으며, 시물레이터 모델 및 터빈 제어시스템으로부터 수신된 변수 값이 송신된 값과 일치함을 확인하였다.

그림 12는 시물레이터 서버에서 연계변수 초기조건을

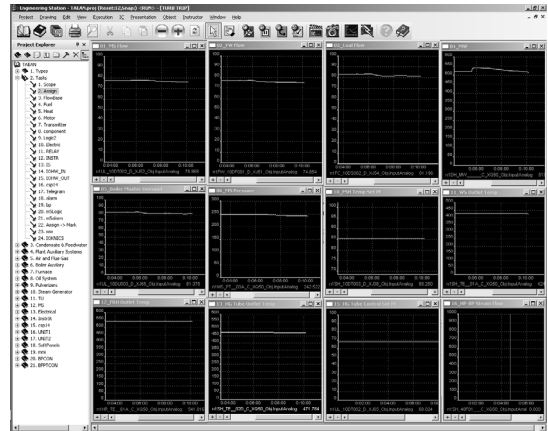


그림 13. 시물레이터 및 터빈 제어시스템 연계 화면

표 2. 100% 열평형 상태에서 주요 공정 변수 값 결과

No.	공정값	단위	Zero	Span	기준값	시물레이터값	오차 [%]
1	주증기압력	kg/cm ²	0	350	247	247.3	0.08
2	주증기량	t/h	0	2000	1512.8	1519.3	0.32
3	급수량	t/h	0	2000	1512.8	1497.1	-0.78
4	재열증기온도	°C	200	600	541	541.01	0.00
5	발전기출력	MW	0	650	510	517	1.07

감시하는 화면을 나타내고 있다. 그림에서 좌측은 터빈 제어시스템으로부터 수신되는 변수 값을 나타내고, 우측은 시물레이터 모델이 송신하는 변수 값을 나타내고 있다. 이 화면에서 터빈 제어시스템으로부터 받는 변수가 100% 초기값에 접근하면 시물레이터 모델은 자체의 터빈 제어계통 모델을 차단하고 터빈 제어시스템으로 절체 운전을 수행한다.

그림 13은 시물레이터 모델 및 터빈 제어시스템을 연계하고 주요 공정변수를 감시한 화면을 나타내고 있다. 그림의 각 트렌드 창에서 가로는 시간(분)을 나타내고, 세로는 주증기량, 급수량, 연료량, 발전기 출력 등의 공정변수 값을 나타내고 있다. 그림에서 약 5분 경과 후 시물레이터 모델 및 터빈 제어시스템이 연계되었으며, 초기값을 근접시킨 후 연계하여 매우 안정된 상태로 실행됨을 알 수 있다.

100% 정상상태 운전 시 주증기 압력, 주증기량 등 주요 변수 값은 발전소 데이터를 기준으로 ± 2% 이내에 들어오도록 하고, 기타 변수는 ± 5% 이내에 들어오도록 하였다. 표 2는 주요 변수의 기준값과 터빈 제어시스템을

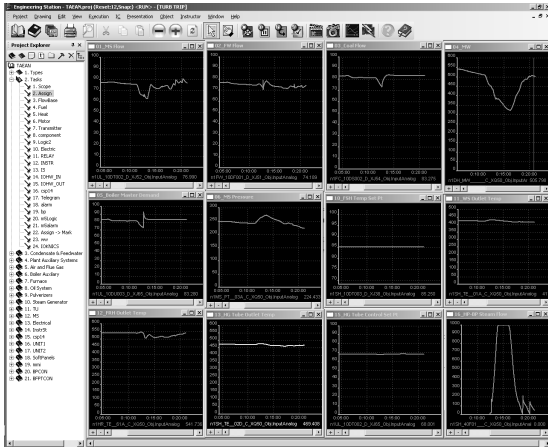


그림 14. 출력 증감발 시험화면(100%-70%-100%)

연계한 결과 값 및 오차를 보여주고 있다. 주요 공정변수는 오차 범위를 만족하며, 발전기 출력은 발전소 데이터를 기준으로 상향 조정한 결과를 보여주고 있다.

3.2 과도상태 및 고장인가 시험 결과

본 연구는 시뮬레이터를 구축하고 터빈 제어시스템과 같은 제어시스템을 연계하여 그 성능을 검증하는 방법론을 개발하는 것이 중요한 목적이다. 이를 위해 연계된 제어시스템의 동작성을 검증하기 위한 시험 조건을 설정하고 시험을 수행하였다. 시험은 기동/정지 운전 및 출력 증감발 등을 통하여 터빈 제어시스템의 동작성을 확인하고, 터빈 제어시스템이 동작하는 터빈 트립과 같은 고장인가 시험을 통해 수행되었다. 터빈 제어시스템은 터빈에 유입되는 증기량을 조절하여 터빈의 속도를 유지하고, 터빈 과속 및 이상상태 발생 시 터빈의 모든 밸브를 신속히 폐쇄하여 터빈을 보호하는 기능을 가진다.

그림 14는 100%-70%-100%의 출력 증감발 시험시 생성한 화면을 나타내고 있다. 출력 증감발 변화율은 발전소와 동일하게 10%/min으로 설정하였다. 그림에서 발전기 출력은 520MW에서 320MW까지 감발되었다가 다시 500MW까지 증가하고 있음을 나타낸다. 이때 바이패스 유량이 증가하였다가 감소하여 잉여 부하를 담당하였다.

출력 감발 시 발전기 출력이 설정치인 70% 보다 더 낮게 내려간 이유는 그림 8과 같은 터빈 제어시스템 화면을 통하여 수동 조작하기 때문이다. 운전원은 목표 출력에 따른 증기량 조절밸브 개도를 설정함으로써 출력을 감발하므로, 목표 값 350MW보다 30MW 낮은 출력까지 감발되었다. 이는 실제 발전소에서 나타날 수 있는 현상

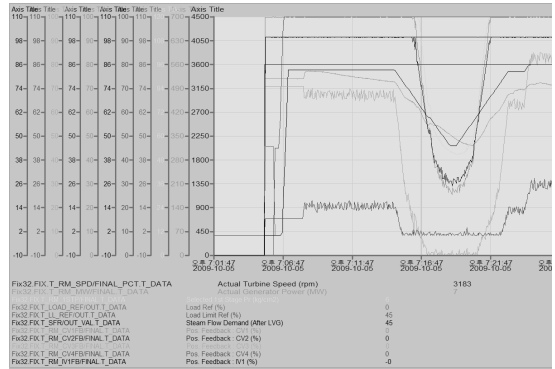


그림 15. 터빈 제어시스템 변수 화면

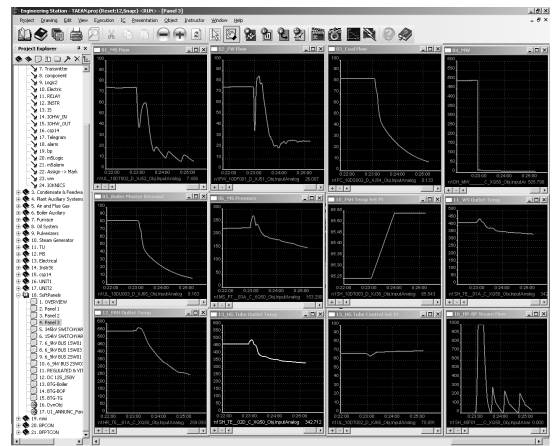


그림 16. 터빈 트립 시험화면

이며 터빈 제어시스템은 열출력을 적절히 제어하는 것으로 나타났다.

그림 15는 출력 증감발 시 터빈 제어시스템에서 운전 변수를 제어한 결과를 나타내고 있다. 그림에는 출력 감발 및 증가 변화율에 따른 터빈 속도, 발전기 출력, 고압 터빈 압력, 증기 요구량, 증기량 조절밸브 개도 및 시뮬레이터 모델로부터 받은 실제 밸브 개도 등이 나타나 있다. 그림에서 본 연구의 검증대상인 터빈 제어시스템은 연계 장치를 통하여 시뮬레이터 모델과 제어신호를 송수신하며 적절한 응답 속도로 기능을 수행하는 것으로 확인되었다.

고장인가 시험은 터빈 제어시스템의 동작성을 확인하기 위하여 터빈 제어가 작동하는 터빈 트립 시험을 선정하였다. 그림 16은 터빈 트립에 의한 고장인가 시 생성한 화면이다. 터빈 제어시스템에서 터빈 트립신호가 발생하면 발전기 출력은 열출력으로 감소하고, 증기량, 급수량, 연료량 등의 주요 공정변수 값은 터빈 제어시스템으

로부터 밸브 개도를 받아서 감소함을 알 수 있다. 터빈 트립 시험을 통하여 검증대상 제어시스템은 다양한 고장 상황에서도 적절히 기능을 수행함이 확인되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 화력발전소 디지털 제어시스템을 발전소에 적용하기 전에 종합 검증할 수 있는 시험설비를 구축하기 위하여, 500MW급 표준화력발전소 시뮬레이터 모델을 개발하고 터빈 제어시스템을 연계하여 검증시험을 수행하였다. 검증시험은 출력 증감발 및 터빈 트립에 의한 고장인가를 수행하였으며, 시험결과 검증대상 제어시스템은 발전소를 적절히 제어하는 것으로 나타났다.

또한, 시뮬레이터 모델 및 제어시스템 연계를 위하여 입출력 장치를 개발하였으며, 입출력 변수는 연계 장치에 있는 LabView 프로그램을 사용하여 연결되었다. 본 연구에서 개발한 제어변수 입출력 장치는 범용성을 고려하여 개발되어 다양한 제어시스템 검증에 활용될 수 있는 확장성을 갖추었다.

본 연구를 통하여 발전소 시뮬레이터 모델을 사용한 디지털 제어시스템의 종합 검증을 수행함으로써, 시뮬레이터가 디지털 제어시스템을 발전소에 적용하기 위한 테스트 베드로 사용될 수 있는 방법론을 개발하였다.

본 연구에서 개발된 발전소 제어시스템 검증용 시뮬레이터는 신규 개발된 제어시스템 검증뿐만 아니라, 최신 제어 알고리즘의 사전 시험 및 I&C 분야 교육훈련 등에 활용될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. Burkhard Holl, Helmut Probst, and Wolfgang Wischert, "Digital I&C System Pre-Tests using Plant Specific Simulators," 4th American Nuclear Society International Topical Meeting, Sep. 2004.
2. Chia-Kuang Lee, Chin-Mao Lee, and Kin W. Wong, "Digital System Validation Testing in the Lungmen Project," 6th American Nuclear Society International Topical Meeting, April 2009.
3. 이주현, 이명수 외, I&C 시스템 연구 및 시험설비 인프라 구축(최종보고서), DPT201002064, 한전전력연구원, 2009년.
4. 변승현, 황도현, "제어 검증용 발전소 시뮬레이터 개발," 한국시뮬레이션학회논문지, 19(1), pp. 41-51, 2010년 3월.
5. 정창기, 우주희, "터빈제어시스템의 기능 검증을 위한 시뮬레이터 기능 설계," 대한전기학회 하계학술대회, 2008년 7월.
6. Western Services Corporation, 3KeyMaster User Guide, 2003.



서 정 관 (jksuh@kepri.re.kr)

1996 서울대학교 원자핵공학과 학사
2000 서울대학교 원자핵공학과 석사
2003 서울대학교 원자핵공학과 박사과정 수료
2004~현재 한전전력연구원 선임연구원

관심분야 : 발전소 모델링



이 명 수 (fiatlux@kepri.re.kr)

1981 인하대학교 기계공학과 학사
1984 인하대학교 기계공학과 석사
1984~현재 한전전력연구원 책임연구원

관심분야 : 발전소 모델링, 가상현실 모델링, 시뮬레이션



홍 진 혁 (jhhong@kepri.re.kr)

1994 한양대학교 원자력공학과 학사
1996 KAIST 원자력공학과 석사
1997~현재 한전전력연구원 선임연구원

관심분야 : 발전소 모델링, 시뮬레이션