2009년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2009. 7. 14 - 17

발전소 제어 검증용 시뮬레이터를 위한 바이패스 계통의 제어 로직 구현

변승현*
한전 전력연구원

Implementation of bypass system control for power plant simulator

Seung Hyun Byun
KEPCO, KEPRI

Abstract - 국산 개발 분산 제어시스템의 발전 설비에의 적용을 위해서는 시뮬레이터를 이용한 제어 시스템의 기능 및 신뢰성 등의 검증이 요구되어진다. 본 논문에서는 제어시스템 검증용 시뮬레이터를 개발하는데 있어서, 제어 모델 중 기동 초기와 급격한 부하 변동시 활용되어지는 터빈 바이패스 계통의 제어 로직을 구현하고, 발전소 모델과의 연계를 통한 시뮬레이션을 통해 구현한 제어 로직의 효용성을 보인다.

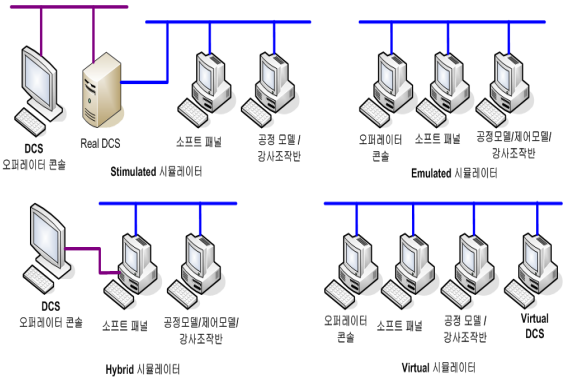
1. 서 론

국내 전력의 수요증가로 인해 전력산업에서의 I&C의 중요성이 날로 증가하고 있고, 500MW 이상의 기력 발전소 제어 시스템은 선진 외국사 제어 시스템에 의존하고 있는 실정이며, 선진 제작사의 기술보호로 인해 제어 시스템 국산화가 절실히 요구되고 있는 상황이다. 이러한 요구에 따라 국내 표준화력에의 실증 적용을 목표로 국산 분산제어시스템이 개발되고 있다. 개발하는 분산제어시스템은 발전 설비의 중요성으로 인해 개발 과정이나 개발 완료된 후 발전 설비에 적용되기 전에 시스템의 기능 및 신뢰성 등의 검증이 선행되어야 하기에 분산 제어 시스템의 개발과 더불어 제어 시스템 검증을 위한 시뮬레이터 개발도 이루어지고 있다. 시뮬레이터는 크게 발전소 공정을 모사하는 공정 모델과 제어 시스템을 모사하는 제어 모델로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 제어 검증용 시뮬레이터를 개발하는데 있어서 제어 모델 중 기동초기와 급격한 부하 변동시 보일러에서 발생한 증기를 복수기로 방출하는 터빈 바이패스 계통의 제어 로직을 구현하고, 공정 모델 등 발전소 모델과의 통합을 통한 시뮬레이션을 통해 구현한 제어 로직의 효용성을 보여준다.

2. 본 론

2.1 시뮬레이터의 개요

발전소 시뮬레이터는 발전소 공정을 모사하는 공정 모델과 제어 시스템을 모사하는 제어 모델, 고장 모사/원격 시험 등을 가능하게 하는 강사 조작반, 공정 모델, 제어 모델과 연계하여 발전 출력을 조정할 수 있는 운전 조작반, 공정 변수를 모니터링 하고, 일부 조작이 가능한 소프트(하드) 패널 등으로 구성되어지며, 제어 모델과 오퍼레이터 콘솔의 구현 방법에 따라 그림 1과 같이 stimulated, virtual, hybrid, emulated 등 4가지 타입의 시뮬레이터로 분류할 수 있다.

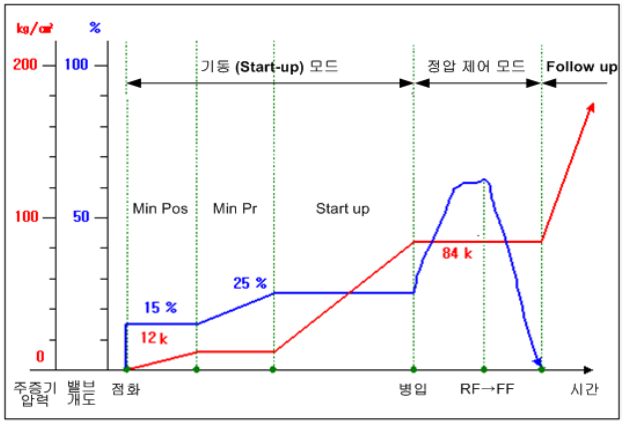


<그림 1> 시뮬레이터의 분류

제어 검증용 시뮬레이터는 개발 후에, 검증되어질 개발 제어 시스템과 인터페이스 되어야 하기에 본 논문에서는 유지보수가 용이한 emulated 타입을 채용한다. 시뮬레이터가 제어 검증용으로 개발되어지기 위해서는 시뮬레이터의 제어모델 측면에서 제어 로직의 수정이 가능하여야 하고, 구현하는 제어 기능 블럭의 기존 시스템에 대한 충실도가 높아야 하며, 제어 파라미터의 온라인 모니터링 및 튜닝이 가능하여야 한다. 또한 새로운 제어 알고리즘의 적용과 제어 로직 개선을 위해 새로운 기능블럭을 추가할 수 있어야 하며, 최초 개발시 현장의 제어 파라미터를 가급적이면 수정 없이 사용할 수 있어야 한다. 시뮬레이터에서 대상으로 삼고 있는 발전소는 500MW급의 국내 석탄 표준화력으로, 제어 시스템은 보일러 제어 시스템, 터빈 제어 시스템, 바이패스 제어 시스템, 급수 터빈 제어 시스템으로 구성되어진다. 시뮬레이터의 모델은 객체 지향 환경을 제공하는 실시간 시뮬레이션 툴을 이용하여 개발되었다.

2.2 바이패스 계통의 개요

바이패스 계통은 보일러 과열기 출구 헤더에서 나오는 과열증기를 고압 터빈을 바이패스 시켜 저온 재열관으로 보내는 고압 바이패스 계통과 재열기 출구 증기를 중압/저압 터빈을 바이패스 시켜 복수기로 배출하는 저압 바이패스 계통으로 구성되어진다. 바이패스 계통은 기동시 기동시간 단축 및 급격한 부하 변동시 보일러에서 발생한 증기를 복수기로 방출하여 보일러 압력을 조절하며, 급격한 온도 변화에 의한 증기 온도와 터빈 금속온도의 차를 신속하게 최적으로 유지함으로써 터빈 열응력을 최소화한다. 또한 부하특성 향상과 보일러 및 터빈의 분리 독립 운전, 고형입자에 의한 터빈 블레이드 침식 방지, 계통 과도 현상에 대한 안정성 향상 등의 기능을 수행한다. 고압 바이패스 계통은 과열기 출구에 설치된 4개의 고압 터빈 바이패스 밸브를 이용하여 고압 과열증기를 재열기로 바이패스 시키며, 제어 로직은 압력 제어, 온도 제어, 안전 계통 제어 등으로 구성되어진다. 고압 바이패스 계통의 압력 운전 곡선은 그림 2와 같으며, 압력 제어는 기동 모드, 정압 제어 모드, Follow up 모드로 구분되어진다. 기동 모드는 보일러의 압력이 터빈의 기동 압력까지 상승되도록 조절하여 과열기 및 재열기에 충분한 증기 유량을 형성시켜 튜브의 과열을 방지시켜 주는 모드로 최초 밸브 개도는 15%, 보일러 압력 설정치는 12kg/㎠이며, 보일러 연소율이 계속 증가하면서 바이패스 밸브는 25%까지 열리고, 주증기 압력이 계통 병입 조건인 84 kg/㎠에 도달하면 정압 제어 모드로 절환된다. 정압 제어 모드는 증기 압력을 84kg/㎠로 일정하게 유지하도록 밸브를 제어하는 모드로 계통 병입이 되어 증기량이 증가하면 바이패스 밸브는 서서히 닫히고 2%이하가 되면 Follow up 모드로 절환된다[1].



<그림 2> 고압 바이패스 계통 압력 운전 곡선

2.3 바이패스 계통의 제어 로직 구현

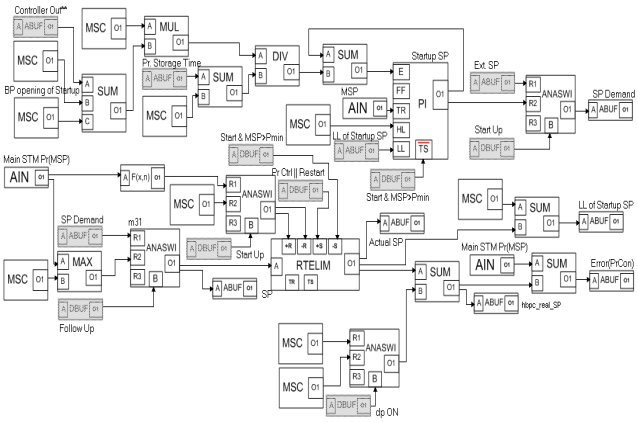
2.3.1 제어 로직 구현 툴 개발

시뮬레이터를 제어 시스템 검증용으로 활용하기 위해서는 제어 로직의 구현과 수정이 용이하여야 한다. 유지보수의 편이성을 도모하고, 로직 개선 수정 및 활용의 제고를 위해 바이패스 계통의 제어 시스템 매뉴얼에 기반하여 바이패스 계통에 사용된 기능블럭을 분석하고, 분석을 토대로 시뮬레이터 개발 툴에서 활용할 수 있는 GUI 방식의 제어 모델 개발 툴을 개발하였다[2]. 그림 3은 개발한 기능블럭 중 PI 제어기 기능블럭에 대한 기호를 보여주고 있다. PI 제어기는 입력으로 제어 에러 입력(E), 선행 신호(FF), 트랙스위치(TS), 트랙신호(TR), 제어기 출력 상한(HL), 제어기 출력 하한(LL)을 받아들여 제어기 출력(O1)을 계산하며, 튜닝 가능한 내부 파라미터로는 비례 이득과 적분시간을 갖는다.

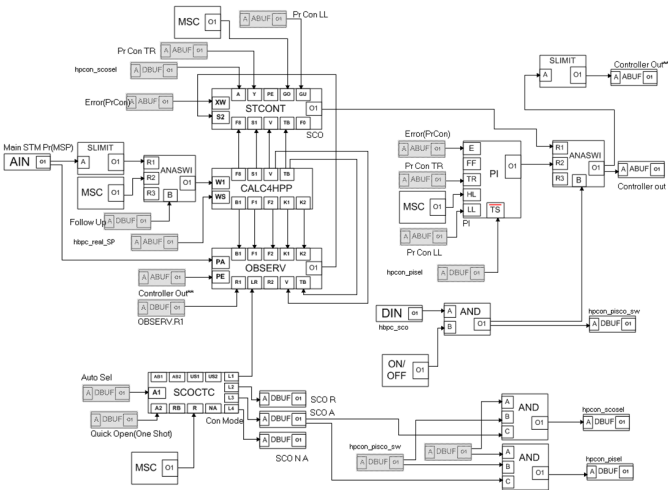
〈그림 3〉 PI 제어기 기능블럭 기호

2.3.2 제어 로직 구현

개발한 제어 로직 구현 툴을 이용하여 그림 2의 고압 바이패스 계통의 압력 운전이 가능한 제어 로직을 구현하였다. 그림 4와 그림 5는 고압 바이패스 계통의 압력(주증기 압력) 제어 로직을 구현한 것으로, 그림 4는 주증기 압력 설정치 및 제어기 입력으로 작용하는 에러 생성 로직 다이아그램을 보여주고 있으며, 그림 5는 생성된 제어기 입력인 에러를 받아들여 제어기 출력을 계산하는 제어 로직 다이아그램을 보여주고 있다. 그림 5의 제어기 출력은 바이패스 밸브의 포지션 디맨드로 작용하게 된다.



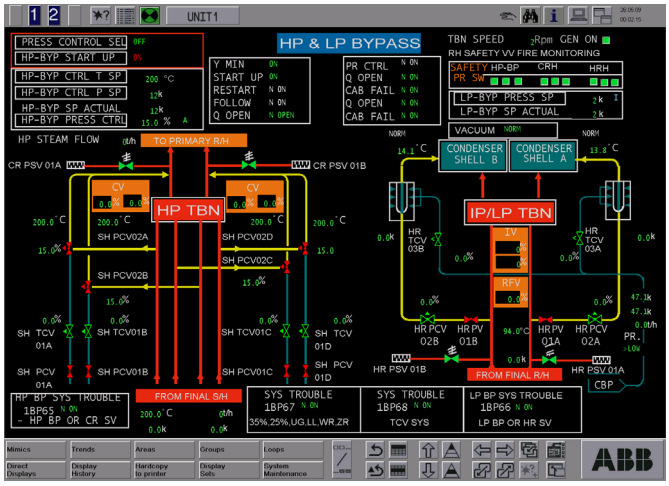
〈그림 4〉 주증기 압력 설정치 및 제어기 입력 에러 생성 로직 구현



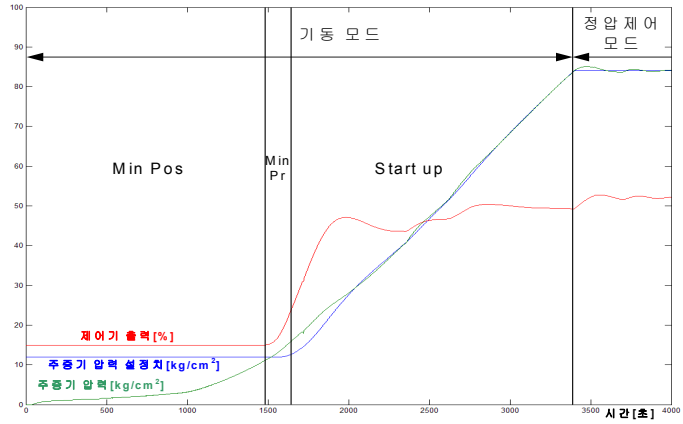
〈그림 5〉 주증기 압력 제어 로직 구현

2.4 시뮬레이션

구현한 바이패스 계통 제어 로직은 공정 모델과 보일러 제어 모델 등과 연계 되어 바이패스 운전을 담당하게 된다. 그림 6은 구현한 바이패스 계통 제어 로직이 발전소 공정 모델과 보일러 제어 모델 등 타 계통과 인터페이스 되어 바이패스 운전을 위해 사용되어지는 사용자 인터페이스 화면으로 점화 초기의 기동 모드 화면을 보여주고 있다. 바이패스 제어 로직이 발전소 모델과 연계되어 점화부터 주증기 압력이 계통병입 압력인 84kg/㎠에 도달하기까지의 바이패스 제어 시뮬레이션 결과는 그림 7과 같다. 그림 7의 시뮬레이션 결과를 보면, 압력 설정치 12kg/㎠, 밸브개도 15%의 최초 기동 모드에서 연소율이 증가함에 따라 밸브 개도가 열리고, 밸브 개도가 25%이상 열리면서 압력 설정치도 계통 병입 압력인 84kg/㎠까지 증가함을 볼 수 있다. 주증기 압력 설정치가 연소율 증가에 따라 그림 2의 운전 곡선과 같이 생성되어지고, 바이패스 밸브 포지션 디맨드인 제어기 출력에 의해 주증기 압력이 주증기 압력 설정치를 추종함을 볼 수 있다.



〈그림 6〉 바이패스 계통 제어 사용자 인터페이스(점화 초기)



〈그림 7〉 고압 바이패스 계통 압력 제어 트렌드

3. 결 론

본 논문에서는 발전소 제어 검증용 시뮬레이터를 개발하는데 있어서, 기동 초기와 급격한 부하 변동시 활용되어지는 터빈 바이패스 계통의 제어 로직을 구현하고, 발전소 공정 모델, 보일러 제어 모델 등 발전소 타 계통 모델과의 연계를 통한 시뮬레이션을 통해 구현한 제어 로직의 효용성을 확인하였다.

후 기

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

[참 고 문 헌]

[1] "모의화력 실무", 태안발전본부 교육훈련센터, 2007
[2] "바이패스 계통 제어 모델 개발 툴 구현 보고서", 전력연구원, 2009