

## 발전소 터빈제어시스템의 성능시험을 위한 모의시험 및 현장 시운전 적용

우주희, 김종안, 정창기, 김병철, 최인규  
한국전력공사 전력연구원

### Application and Simulation for Performance Test of Turbine Control System in Power Plant

Woo Joo-Hee, Kim Jong-Ahn, Jeong Chang-Ki, Kim Byung-Chul, Choi In-Kyu  
Korea Electric Power Research Institute

**Abstract** - 국내 발전소의 아날로그 전기식 터빈제어시스템을 디지털 삼중화 제어시스템으로 개조하여 현재 성공적으로 운전되고 있다. 현장 적용하기 이전에 자체 개발한 시작품의 성능을 검증하는 절차가 필요하고, 본 현장 적용에서는 여러 가지 방법 중 발전소 동특성을 모사한 터빈 시뮬레이터를 사용하여 검증하였다. 본 논문에서는 이 시뮬레이터를 사용하여 모의시험 한 방법을 설명하고, 실제 현장 적용 후 시운전 결과와 비교하였다.

#### 1. 서 론

터빈 제어시스템은 발전소의 핵심제어 설비중 하나로서 발전기를 구동하는 터빈(수력 터빈, 가스 터빈, 증기 터빈 등)의 속도를 지속회전 상태에서 정격속도까지 승속한 후, 발전기가 전력계통에 병렬로 운전되면 전기출력을 조절하게 된다. 전기 품질의 가장 중요한 요소인 정격주파수 유지를 위해서도 터빈 제어시스템의 건전성은 필수적인 요소이다. 이번에 현장 적용된 터빈제어 시스템은 하드웨어는 이미 신뢰성이 입증된 상용화된 제품을 사용하고, 제어기 및 운전원 화면 구성을 위해서 범용의 프로그램을 선정하여 제어 프로그램과 운전조작 시스템을 현장 조건에 맞도록 자체 개발하였다. 이렇게 개발된 시스템은 발전소 현장 실 적용을 목표로 하기 때문에 개발된 시스템에 대한 신뢰성 검증이 중요한 문제 중에 하나이다. 시스템 구성에 필요한 하드웨어와 소프트웨어의 기본 유틸리티는 이미 신뢰성이 입증된 상용화된 제품을 사용함으로써 해결되었고, 개발된 응용프로그램은 적용발전소의 터빈 동특성을 모사한 터빈 전용 시뮬레이터를 사용하여 시험함으로써 해결하였다. 현장 설치 이전에 장기간동안 터빈 시뮬레이터와 시작품을 연계 운전하여 개발된 응용프로그램의 내재된 오류를 수정하고, 시운전시 발생될 문제점들을 미리 제거할 수가 있게 되었고, 시작품의 신뢰성 확보에 도움이 될 뿐만 아니라 시운전 기간을 단축하는데 큰 도움이 되었다.

본 논문에서는 발전소 현장 적용이전에 터빈 시뮬레이터를 사용하여 성능 시험하는 방법 및 그 결과와 실제 시운전한 결과를 소개하고자 한다.

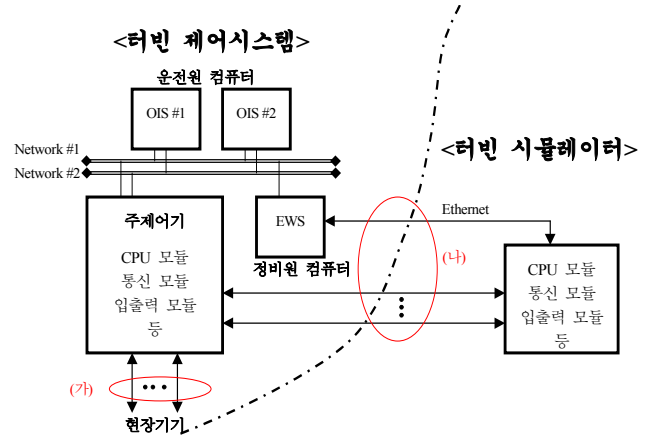
#### 2. 본 론

##### 2.1 적용 대상 발전소의 터빈 제어 개요

적용 대상 발전소는 고압터빈 1대, 저압터빈 3대가 동일 축상에 직렬로 연결되어 있다. 관련 제어밸브로는 고압터빈 보호를 위한 주증기 차단밸브(ESV: Emergency Stop Valve)가 4개, 주증기 유량 조절용 밸브(GV: Governor Valve)가 4개, 저압터빈 보호를 위한 재열증기 차단밸브(RSV: Reheater Emergency Stop Valve)가 6개, 재열증기 조절용 밸브(IV: Intercept Valve)가 2개 설치되어 있다. 터빈 운전은 모든 IV를 완전히 개방하고, GV 4개로 터빈으로 유입되는 증기량을 동일하게 조절하여 승속과 계통병입 및 출력 증발이 이루어진다.

##### 2.2 개발된 시스템의 구성과 모의시험 방법

터빈제어시스템의 구성은 아래 그림의 좌측 부분에 표시된 것과 같이 크게 두 부분으로 구성되어 있다. 하나는 전자기기실에 설치된 삼중화 제어기인 TMR(Triple Modular Redundancy)구조의 상용화된 주제어기가 있다. TMR은 제어로직 및 각종 자기진단 기능을 수행하는 CPU 모듈, 현장의 각종 센서로부터 신호를 입력받고 현장의 각종 기기를 구동하기 위한 신호를 출력하는 입출력 모듈과 운전원 컴퓨터와의 통신을 위한 모듈 등으로 구성되어 있다. 또 다른 하나는 중앙제어실에 설치된 운전원 조작 및 감시시스템이 있다. 발전 운전원들이 GUI(Graphic User Interface)에 의해 각종 현장기기를 구동할 수 있는 OIS(Operator Interface Station)와 발전 정비원들이 TMR 및 OIS를 유지 보수하기 위한 EWS(Engineering Work Station)이 있다.



〈그림 1〉 모의시험 개요도

위 그림의 우측 부분에 표시된 터빈 시뮬레이터는 발전소 현장의 터빈 동특성을 모사하는 것으로서 적용 대상 발전소의 동특성이 반영되어 있다. 신호의 흐름은 OIS에서 운전원이 터빈 승속 혹은 발전기 출력 증감발 명령을 선택하면, 이에 따라 주제어기에서 목표치가 증가되고 시뮬레이터(발전소 현장을 의미함)에서 피드백 되는 값이 없으면 제어오차가 증가되어 주제어기에서는 더 많은 제어신호를 시뮬레이터에 보내게 되어 시뮬레이터 내부의 여러 가지 모델이 연산하여 터빈 속도 혹은 발전기 출력이 증감발하게 되고, 이에 따라 제어오차가 작아지면서 주제어기의 요구신호가 안정상태를 유지하게 되면서 시뮬레이터에서도 안정된 상태가 유지하게 된다. 이러한 과정이 연속적으로 일어나서 새로 구현된 제어시스템의 성능시험을 할 수 있게 된다.

새로 구현된 제어시스템을 발전소 현장에 설치하여 실제 기동시 발생될 수 있는 문제점을 미연에 방지하기 위해 두 가지 방식으로 모의시험을 하였다.

- 실험실에서의 모의시험 방법 : 실험실에서는 발전소 현장신호와 실제 결선될 수 없으므로 그림 1의 '나' 부분에서와 같이 모든 신호를 터빈 시뮬레이터와 직접 연결하여 시험한다.
  - 발전소 설치 후, 기동전 모의시험 방법 : 제어시스템이 현장에 설치된 상태이므로 '가' 신호의 일부를 사용할 수 있다. 예를 들어 현장의 밸브 개도 신호를 시뮬레이터의 밸브 개도 요구 신호로 입력하여 터빈 모델이 연산하도록 구성한다.
- 이렇게 시험한 모의시험 결과와 실제 시운전 결과를 실제 승속 운전과 출력 증감발 운전의 경우에 대해 각각 비교해 보았다.

##### 2.3 제어시스템의 모의시험 및 시운전 결과

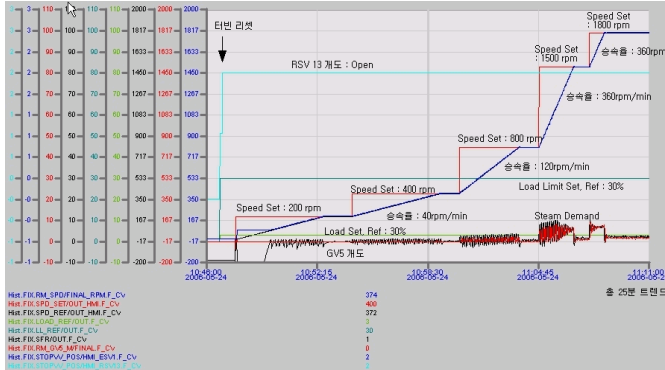
구현된 시작품의 소프트웨어 성능시험을 위해 전력연구원서 기 보유한 터빈 시뮬레이터를 사용하였다. 이 성능시험은 실제 기동시 발생될 수도 있는 시작품의 여러 가지 문제점을 사전에 예방하고자 함이며, 이를 위해 작성된 신규 터빈제어시스템용 운전절차서에 따라 주제어기와 운전원 및 정비원 컴퓨터가 정상적으로 동작하는지의 기능을 발전소 현장에 설치하기 전에 미리 시험하는 것이다. 아래에 터빈 승속 및 발전기 출력 증감발 운전에 대해 위에서 설명한 두 가지의 모의시험 결과와 실제 시운전한 결과를 각각 비교하였다.

##### 2.3.1 실험실에서의 시작품 모의시험 결과 (경우 1)

- 터빈 승속 운전  
시뮬레이터에서 터빈을 리셋하면 자동으로 RSV 및 ESV가 열리

게 되고, 이후 운전원 조작 화면에서 속도 목표값과 승속율을 지정하면 주 제어기의 제어 동작에 의해 GV의 개도가 변하면서 속도가 증가되고 있는 결과를 보여주고 있다. 시험을 위해 아래와 같이 단계별로 확인하였다.

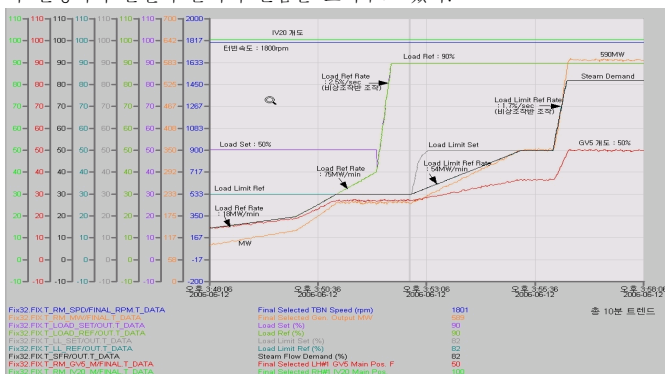
- 속도 목표값 200 → 400rpm은 승속율 40rpm/min으로 시험함
- 속도 목표값 400 → 800rpm은 승속율 120rpm/min으로 시험함
- 속도 목표값 800 → 1500rpm은 승속율 360rpm/min으로 시험함
- 속도 목표값 1500 → 1800rpm은 승속율 360rpm/min으로 시험함



〈그림 2〉 승속 운전 (경우 1)

○ 발전기 출력 증감발 운전

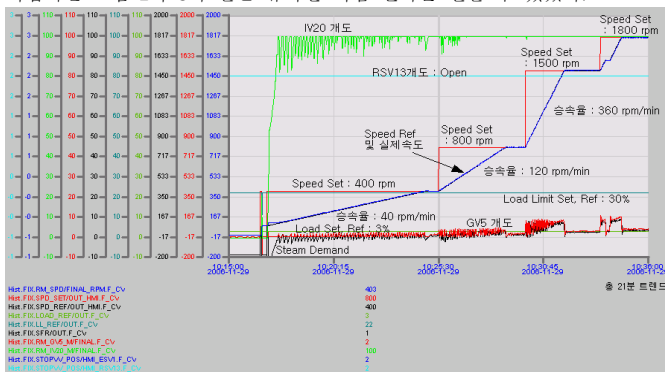
부하증감은 부하설정값 및 부하제한 설정값을 가변시킴으로써 가능하고 그 방법은 운전원 컴퓨터, 비상조작반 및 타 제어시스템으로부터의 증감신호에 의해서 이루어진다. 아래 그림에서 보듯이 여러 가지 설정값이 정해지면 그 목표값이 정해진 기술기로 증가되고 있음을 볼 수 있으며, Load Ref와 Load Limit Ref중 작은 값이 선택되어 GV의 개도가 결정되어 발전기 출력이 변함을 보여주고 있다.



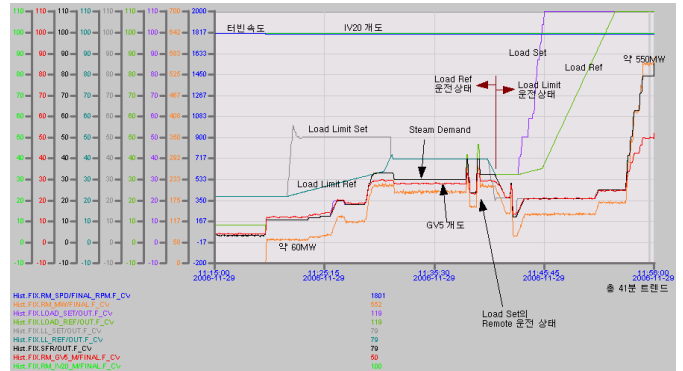
〈그림 3〉 발전기 출력 증감발 운전 (경우 1)

2.3.2 발전소 현장 설치 후 기동전 모의시험 결과 (경우 2)

발전소 현장에 설치한 후에 터빈 시뮬레이터와 연계하여 현장의 밸브를 실제 움직여야 하므로, 경우 1에서의와 같은 동일한 내용으로 시험하기 어렵지만 그림 2와 3과 같은 유사한 시험 결과를 얻을 수 있었다.



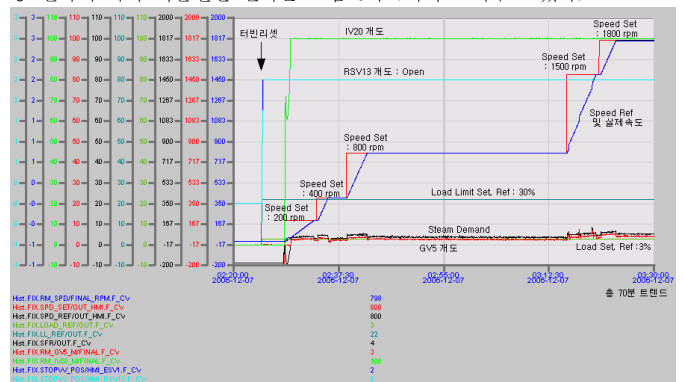
〈그림 4〉 승속 운전 (경우 2)



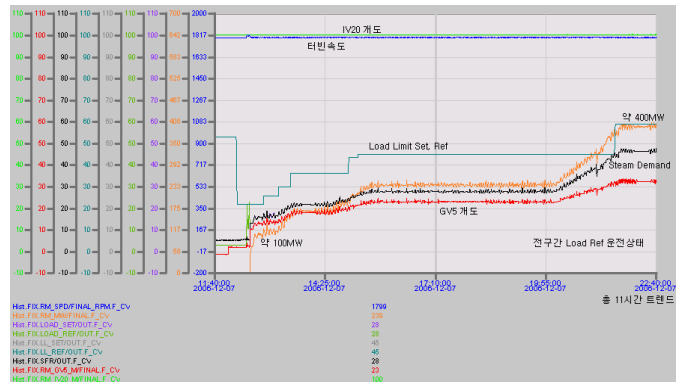
〈그림 5〉 발전기 출력 증감발 운전 (경우 2)

2.3.3 실제 터빈기동 및 부하 운전 결과 (경우 3)

터빈 시뮬레이터를 제어시스템에서 완전히 제거하고, 실제 발전소 기동 절차에 따라 시운전한 결과를 그림 6과 7에서 보여주고 있다.



〈그림 6〉 승속 운전 (경우 3)



〈그림 7〉 발전기 출력 증감발 운전 (경우 3)

3. 결 론

발전소 현장 적용이전에 터빈 시뮬레이터를 사용하여 성능 시험하는 방법에 대해 간단히 서술하였으며, 발전소 현장의 특수성으로 인해 실험실에서도와 같은 다양한 시험을 시운전해 할 수 없었지만, 모의시험 결과와 실제 시운전 결과와 비교해보면 유사한 결과를 볼 수 있었다. 향후 제어기능을 변경하여 성능을 확인하고자 하거나 사용자 교육시 터빈 시뮬레이터를 활용할 수도 있다.

[참 고 문 헌]

[1] 한국전력공사 전력연구원, “원전 터빈 디지털 제어시스템 개발”(최종보고서), 2003  
 [2] 한국전력공사 전력연구원, “CANDU형 원전 디지털 터빈제어시스템 개발”(최종보고서), 2006