

## 터빈제어시스템의 기능 검증을 위한 시뮬레이터 기능 설계

정창기, **우주희**  
한국전력공사 전력연구원

### Design of Simulator to Test a Turbine Control System

Chang-Ki Jeong, Joo-Hee Woo  
Korea Electric Power Research Institute

**Abstract** - 전력설비에서의 제어시스템의 중요성 증대하여 제어시스템 연구 및 시험설비의 인프라 구축이 필요하게 되었고, 그 가운데 터빈제어시스템의 기능 검증을 위해 필요한 터빈 시뮬레이터의 기능 요건에 대해서 소개하고자 한다.

#### 1. 서 론

최근의 급속한 기술발전에 힘입어 전력산업 분야에도 I&C 시스템의 첨단화 및 다양화되고 있으며, I&C 시스템은 전력설비의 중추적 역할을 담당하여 높은 신뢰성을 요구되고 있다. 그리고 신규 전력설비 증설과 더불어 기존 전력설비 고 효율화 추진, 기존 아날로그 제어 시스템의 디지털화 및 IT와의 접목 등으로 전력설비에서의 I&C 시스템의 중요성과 I&C 시스템의 국산화 개발 증가 및 필요성이 증대하여 제어시스템 연구 및 시험설비의 인프라 구축이 절실하다. 이를 목표로 전력연구원은 전력산업기반기금 과제로 "I&C 시스템 연구 및 시험설비 인프라 구축" 과제를 수행하고 있다.

특히, 국내 오래전에 설치된 발전소의 터빈제어시스템은 설비가 노후되어 유지보수가 힘들게 되어, 최신 제어설비로의 개조가 필요하게 되었다. 이에 따라 개발자가 새로이 작성한 제어 알고리즘을 신규 설비에 적용한 후, 발전소 현장에 적용하기 전에 충분한 기능 검증이 필요하다. 이를 위해 발전소 현장의 터빈제어 계통을 모의할 수 있는 시뮬레이터가 필요하다.

본 논문에서는 500MW급 표준 화력 발전소의 터빈제어시스템의 기능을 검증하기 위해 필요한 터빈 시뮬레이터의 기능 요건에 대해서 소개하고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 제어시스템 검증을 위한 터빈 모델 개요

터빈제어시스템의 성능을 검증하기 위해서는 하드웨어 및 소프트웨어에 대한 기능 검증이 필요하다. 사용자 입장에서는 하드웨어 및 소프트웨어의 소스 레벨의 분석 및 시험은 많은 시간과 노력이 소요되므로, 전체 제어시스템을 구축해 놓은 상태에서 실제 발전소 현장에 적용하기 이전에 아래의 각종 성능시험을 할 필요성이 있으며, 이렇게 함으로써 실제 현장 적용시 발생할 여러 가지 문제점을 미리 해결할 수 있으며 공기 단축에도 기여할 수 있다.

- CPU 및 입출력 신호의 다중화 선택 기능 시험
- 제어시스템의 입출력 기능 시험
- 터빈 운전을 위한 제어 알고리즘의 기능 시험
- 운전원 감시 및 조작 설비의 기능 시험
- 제어변수 조정 및 제어상태 시험
- 각종 Fault 시험, 등

보일러에서 생산된 고온, 고압의 증기는 해당 제어 밸브를 통과하여 고압터빈에 공급된다. 고압터빈을 통과한 저온증기는 재열기에서 다시 가열되어 해당 제어 밸브를 거쳐 중압, 저압터빈으로 공급되며, 터빈을 통과한 증기는 복수기에서 응축된다.

터빈제어시스템의 기능을 검증하기 위해 터빈 모델은 발전소 현장을 모사할 수 있어야 하며, 터빈속도 및 발전기 출력 신호, 각종 밸브 개도, 주증기압 및 고압터빈 1단 압력 등의 신호가 필요하다. 따라서 터빈계통의 모델링 범위는 보일러 후단에서 복수기 전단까지로 할 수 있으며, 구현되어야 할 각 모델은 다음과 같다.

##### ○ 터빈 모델

터빈계통은 고압, 중압, 저압 터빈으로 구성되어 있으며, 각 터빈은 추기를 고려하도록 다단계로 모델링 되어야 한다.

##### ○ 재열기 모델

재열기는 고압터빈에서 팽창된 저온의 증기를 다시 가열하여 중압터빈에 공급하는 시스템이며, 이 모델에는 압력강하, 온도상승을 계산하도록 모델링 되어야 한다.

##### ○ 발전기/터빈 속도 모델

발전기가 계통에 연결되어 있을 경우, 발전기는 터빈의 회전력을 이용하여 전기를 생산하지만 계통에 연결되어 있지 않을 경우, 터빈에 공급된 증기의 열에너지는 터빈의 속도를 증가시키는 역할을 하게 된다.

##### ○ 밸브 모델

밸브 모델은 유로의 단면적을 제한하여 유량을 조절하는 기능을 모델링하며, 밸브의 개폐에 소요되는 시간은 시정수에 의해 조정된다. 각 밸브의 개도와 실제유량과의 관계는 발전소의 운전데이터 또는 설계 데이터로부터 결정된다. 밸브타입 (비례, 적분 및 이중 적분형)은 여러 가지 선택 가능하도록 한다.

##### ○ 경계조건 모델

기능시험 하는 터빈계통의 경계조건 즉 보일러 후단의 압력 및 엔탈피와 복수기의 압력조건과 같이 시뮬레이션을 위한 경계를 모델링한다. 이 모델에서 압력은 주어져야 하며, 유량은 계산에 의해서 구해진다. 엔탈피의 경우, 유량이 경계조건 모델로 들어오면, 계산에 의해서, 유량이 흘러나가면 지정된 값으로 결정된다.

##### 2.2 터빈 시뮬레이터의 기능 기본 설계

본 연구과제에서는 추진하는 터빈 시뮬레이터의 기능 요건은 아래와 같다.

○ 터빈 모델의 구현은 그림 1과 같으며, 다음과 같은 방식으로 구현한다.

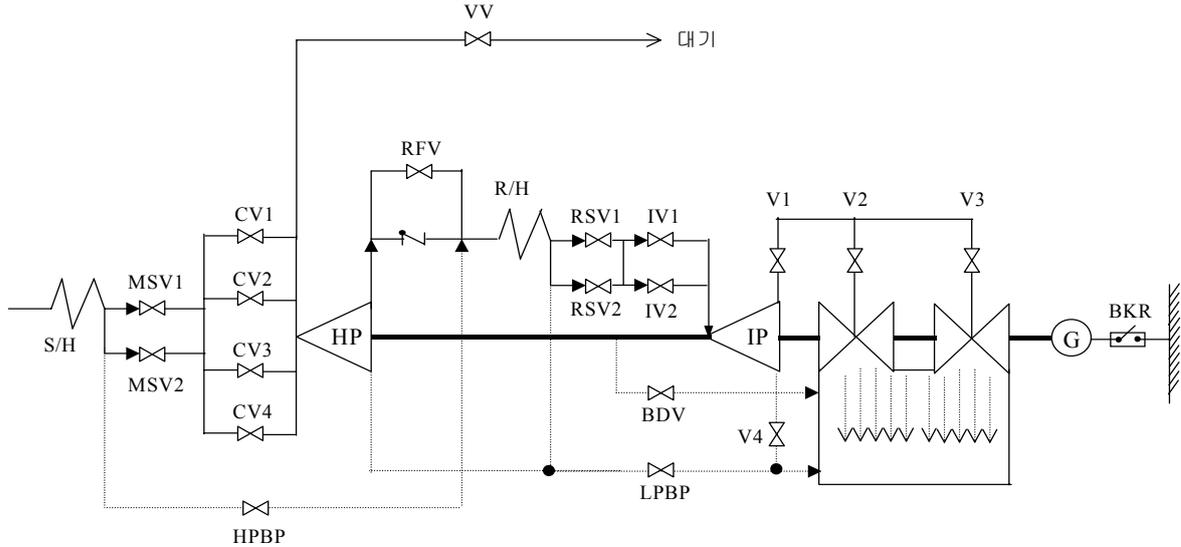
- 터빈 계통 : HP, IP 및 LP로 구성되며 여러 단(Stage)으로 구성하여 추기를 고려하여 모의할 수 있어야 한다. 보일러 후단에서의 증기 흐름에 따라 온도, 유량, 엔탈피 및 각 터빈의 열에너지 등을 계산하여야 한다. 이 열에너지가 터빈 속도 및 발전기의 전기적 출력을 계산하는데 사용된다. 또한 그림 1을 보면 V1, V2, V3, V4라는 On/Off 밸브를 구현해 놓았는데, 이는 발전소의 실제 기기 상태 (IP가 없는 경우, LP가 1개인 경우 등)에 따라 모델에서 선택하기 위함이다.

- 재열기 (R/H) 계통 : HP에서 팽창된 저온의 증기를 다시 가열하여 IP에 공급하는 시스템이며, 내부에서의 압력강하와 온도상승을 고려하여야 한다.

- 발전기 및 터빈 속도 계통 (G) : 계산된 증기 상태에 따라 터빈이 계통에 연결되지 않았을 경우에는 터빈속도가 증가되고, 계통에 연결되면 발전기 출력이 증가 되어야 한다.

- Steam Header 및 복수기 계통 : 터빈 모델 전체의 입력측인 Steam Header (S/H)가 되고 출력측은 복수기가 된다. Steam Header는 보일러 출구측의 증기조건인 주증기압, 주증기량 및 엔탈피 등을 나타내고 복수기는 진공도 등을 나타낸다. 이들 입력점은 터빈 시뮬레이터가 단독으로 사용될 경우를 대비하여 사용자가 직접 지정하여 입력될 수 있어야 하며, 타 시뮬레이터 (보일러 시뮬레이터)와 연계되어서 사용될 경우에는 전류 혹은 통신으로 입력받아 계산될 수 있어야 한다.

- 밸브 계통 : 밸브 개도 요구신호를 입력받아 사용자의 선택에 의해 비례형(Proportional), 적분형(Integral) 및 이중 적분형(Double



〈그림 1〉 제어시스템 기능 검증을 위한 터빈 모델 개요도

Integral)의 동작을 할 수 있어야 한다. 또한 밸브 개도에 따른 유량 특성을 사용자가 정의할 수 있어야 하며, 미리 정의된 접점신호가 입력되면 빨리 닫히는 동작이 구현되어야 한다. 그림에서 보면 HP측의 차단밸브인 MSV1, 2와 제어밸브인 CV1, 2, 3, 4가 있다. 마찬가지로 IP측에도 RSV1, 2와 제어밸브인 IV1, 2가 있다.

- HP/LP Bypass 계통(HPBP 및 LPBP)을 선택적으로 모의할 수 있도록 한다. HP Bypass 계통은 발전소 기동 · 정지 및 비상운전시 보일러에서 발생한 증기를 터빈을 통과하지 않고 Bypass 시킴으로서 보일러와 터빈을 독립해서 운전될 수 있도록 한다. LP Bypass 계통은 보일러 기동시 또는 비정상 운전상황 발생시 HP Bypass 계통을 지난 주증기의 전량은 재열기를 거쳐 통해 복수기나 대기로 방출시키는 설비이다.

- Reverse Flow Valve (RFV), Blow Down Valve (BDV) 및 Ventilation Valve (VV)를 모의할 수 있도록 한다.

- 정상운전중 주증기 압력 및 계통주파수 신호에 대해 사용자가 임의로 지정할 수 있어야 하며, 이에 따라 터빈모델이 연동되어 변해야 한다.

- 모델은 외부 입출력 신호를 무시하고 소프트웨어적으로 신호를 강제 입력하여도 모델 연산이 가능하여야 한다. 이는 모델 구축할 때, 모델 자체의 기능을 확인하고자 함이다.

- 미리 정형화된 모델을 하나의 아이টে็ม으로 구현하여 사용자가 아이টে็ม을 선택하여 모델을 쉽게 추가 및 삭제할 수 있도록 그래픽으로 인터페이스 되게 구현한다. 또한 각 아이টে็ม 별로 여러 가지 내부 변수를 사용자가 대화상자 형식으로 변경할 수 있도록 구현한다.

- 모델 내부의 여러 변수 (온도, 압력, 유량 등)를 사용자가 임의 선택하여 전기적 혹은 통신(예: OPC 등)으로 입출력될 수 있도록 구현한다.

○ 입출력 신호 발생부분은 다음과 같은 방향으로 구현한다.

- 터빈 모델과 터빈 제어시스템과의 연결은 통신으로 구현하지 않고 결선으로 구현한다. 이는 향후 어떤 제작사의 터빈 제어시스템이라도 쉽게 시험할 수 있도록 하기 위함이며, 구현된 제어로직의 기능을 입출력 신호도 포함하여 시험하기 위함이다.

- 각 입출력신호의 제어기에서 업데이트 주기 (최소 10msec부터)는 사용자가 화면에서 선택할 수 있어야 한다.

- 각 입출력 신호는 정해진 주기마다 동시에 이루어져야 한다.

- 입출력 신호 발생기는 Ethernet 통신이 가능하여야 하며, 제어기의 입출력 모듈의 각 채널에서 업데이트 되는 값은 Ethernet으로 연결된 별도의 컴퓨터에 통신으로 데이터를 송수신 받을 수 있어야 한다. 즉 제어기의 출력 모듈의 각 채널에서 출력되는 값은 별도의 컴퓨터에서 통신으로 보내는 값을 출력하여야 하고, 제어기의 입력 모듈의 각 채널에서 입력되는 값은 별도의 컴퓨터에 통신으로 보낼 수 있어야 한다.

- 아날로그 입출력 신호에 대해 zero/span을 그래픽 화면에서 사용

자가 임의로 변경할 수 있어야 한다.

- 사인 및 펄스 출력신호를 생성할 수 있어야 한다.
- 이동하여 사용할 경우를 대비하여 소형화 하여, 분리하여 사용하기 쉽게 제작한다.
- 이를 위해 신호 발생부분의 결선을 최소화하기 위해 신호변환기 (Signal Condition 기능)를 입출력 모듈에 내장된 제품을 선택한다. 또한 사용하는 전원도 복잡하지 않는 제품을 선택한다.
- 현재 현장에 많이 적용되고 있는 상업용 제품을 구입하여, 사용자가 쉽게 입출력점을 추가 및 변경할 수 있도록 구현하고, 장기적으로 제품의 유지보수가 국내에서 쉽게 이루어질 수 있는 제품을 선정한다.

○ 터빈 모델이외에 타 모델 (보일러, 발전기 등)과의 연결은 통신 및 결선의 방법 모두를 제공한다. 만약 통신으로 연결시 통신속도가 모델의 실행 주기와 제어설비의 실행 주기에 영향주지 않도록 충분한 사전검토가 이루어져야 한다.

### 3. 결 론

전력설비에서의 제어시스템의 중요성 증대하여 제어시스템 연구 및 시험설비의 인프라 구축이 필요하게 되었고, 그 가운데 터빈제어시스템의 기능 검증을 위해 필요한 터빈 시뮬레이터의 기능 요건에 대해서 언급하였다. 이러한 요건을 기본으로 하여 터빈 시뮬레이터를 구축할 예정이다. 이렇게 함으로써 발전소에 따른 여러 가지 터빈 모델로의 구축이 용이하고, 터빈 모델이 전기적인 입출력 신호를 생성할 수 있으므로 신규 제어설비의 기능 검증을 입출력 모듈을 포함하여 할 수 있는 장점이 있다. 또한 신규 제어설비 검증용으로 활용할 뿐만 아니라, 신규 제어설비의 사용자에게 교육에도 터빈 시뮬레이터를 활용할 수도 있다.

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업인프라구축지원사업에 의해 진행된 "I&C 시스템 연구 및 시험설비 인프라 구축" 과제의 결과물입니다.

### [참 고 문 헌]

[1] 정창기 외, "I&C 시스템 연구 및 시험설비 인프라 구성방안", 2007 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2007  
 [2] 정창기 외, "I&C 시스템 연구 및 시험설비 인프라 구축", 1차년도 중간보고서), 2007