

## 조속기 시험기의 인간-기계 연계 설계

허태영, 박신열  
한국전력공사 전력연구원

### Human System Interface Design for the Governor Test Equipment

Tae-Young Huh, Shin-Yeol Park  
Korea Electric Power Corporation

#### Abstract

디지털 기술을 기반으로 한 조속기 제어시스템의 제어 알고리즘에 대한 적합성과 하드웨어의 신뢰성 시험을 위한 다이나믹 테스트 베드를 구축하기 위해 증기 터빈 및 발전기의 특성을 그대로 모사하는 시뮬레이터 및 하드웨어를 개발하였으며, 개발된 시뮬레이터를 사용자(시험자)가 그 기능들을 적절하고 편리하게 사용할 수 있도록 인간공학의 원칙을 반영하여 설계하였다. 이를 위해 시뮬레이터가 가져야 하는 기능들을 시험 절차의 분석을 통해 도출하고 그 기능들을 사용 목적에 따라 적절하게 그룹핑하였으며, 가장 빈번하게 사용하는 Mimic Display의 경우 사용자가 항상 확인 가능하도록 주 화면에 구성한 인간-기계 연계 설계에 대해 소개하고자 한다.

#### 1. 개 요

개발된 조속기 시험용 시뮬레이터는 현장 패널(Local Panel)과의 신호 연결을 담당하는 입출력 모듈, 증기 터빈, 발전기, 재열기 등의 특성을 그대로 모사하는 시뮬레이터, 사용자(시험자)와 시뮬레이터간의 인터페이스를 담당하는 디스플레이 장치로 구성되어 있다. 이들 구성 요소중 시뮬레이터와 사용자의 인터페이스는 시험 시 시뮬레이터의 동적인 상황을 효과적으로 표시하여 주고, 또 사용자가 오류를 일으키지 않도록 하기 위해 다음의 순서에 따라 설계하였다.

- 시험 절차 및 운전 현황을 분석하여 시험기가

지고 있어야 하는 주 시험 기능 및 하위 상세 기능을 도출하였다.

- 도출된 기능에 따라 사용자가 필요한 화면(제어, 감시, 설정 등)의 종류를 결정하고, 해당 화면에 필요한 입/출력 변수의 확정 후 관련 기능들을 그룹핑하여 배치하였다.
- 표시(Display) 상세 설계
  - + 각 화면에 필요한 변수 또는 기기들을 그 기능별로 할당하였다.
  - + 표시 목적에 적합한 표시 형태 (Symbol, Color & Shape Coding 등)를 결정하였다.
  - + 설계에 대한 Prototyping 및 운전성을 확인하였고, 최종적으로 시뮬레이터와 통합하여

시험을 수행하였다.

## II. 기능

조속기 제어시스템의 제어 알고리즘에 대한 적합성과 하드웨어의 신뢰성을 시험하기 위해 필요한 HSI 기능은 크게 세 부분 즉, 시험기능, 제어기능, 감시기능으로 나눌 수 있으며 다음은 본 연구에서 확정한 세부 기능을 요약한 것이다.

### 1. 시험기능

조속기 시험을 위해 필요한 시험기능으로는 기동시 및 정상운전시 주기적으로 시험을 수행하고 있는 다음의 기능을 구현하였다.

#### - Overspeed Trip Test

터빈 속도가 규정치를 넘어설 경우 터빈을 강제 정지시키는 기능

#### - TBN Trip Test

Condenser Vacuum Low, Lub Oil Pr. Low, Thrust Failure, Lub Oil Level Low, Exhaust Hood Temp, Manual의 6개의 신호중 하나라도 입력될 경우 터빈을 정지시키는 기능

#### - TBN Valve Test

기동시 또는 운전중 증기밸브 및 제어 알고리즘의 건전성을 확인하는 시험

### 2. 제어기능

시험기능뿐 아니라 정상운전 중에 다음과 같은 관련 변수에 대한 제어기능을 구현하였다.

#### - Main Steam Pr. Control

#### - Reheat Pr. Control

#### - TBN Steam Valve Control

#### - TBN Speed Control

#### - Temp Control

#### - Circuit Breaker Control

#### - System Frequency Control

### 3. 감시기능

사용자는 전체 터빈 시스템의 운전상황을 쉽게 확인하고 이해할 수 있어야 한다. 이를 위해서 "Dark Board At Power"의 개념을 적용하여 설계하였고, 전체 터빈 시스템의 운전상황을 한 눈에 확인할 수 있도록 Mimic Display를 주 화면에 Default로 제공하며, 관련 운전변수의 감시기능은 Trend Display, Status Table Display의 2가지로 제공하도록 하고 운전정보 및 시험정보는 Information Tiles Display를 통해 제공하도록 설계하였다. 또, 위에서 언급한 모든 설계는 상호 접근이 용이하도록 주 화면에서 Default로 제공하는 Mimic Display와 긴밀한 연관 관계를 가지도록 설계하였다. (화면 설계 참조)

## III. 화면 설계

### 1. 주 화면

주 화면은 Header, Main Menu, Mimic Display의 세 부분으로 구성되어 있다. (그림 1. Main Window 참조)

### 2. Mimic Display

Mimic Display는 감시기능의 핵심으로 주 기기 뿐 아니라 관련 변수의 현재 값, 상태 등을 시험자에게 제공한다. Mimic에서 표시되는 기기는 주증기 제어밸브(MCV), 주증기 정지밸브(MSV), 고압

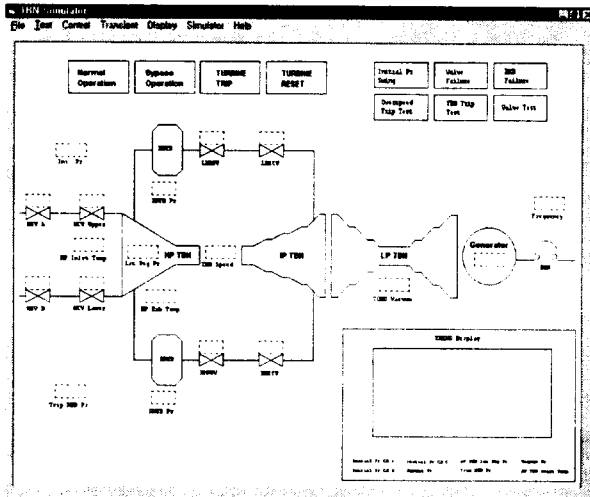


그림 1. Main Window

터빈(HP), 중압터빈(IP), 저압터빈(LP), 재열기, 재열증기 제어밸브(ICV) 및 차단밸브(RSV), 발전기, 차단기 등이며 관련 운전정보가 갱신되어 표시된다. 또 Mimic Display에서 표시되는 운전변수와 제어기능은 상호 접근이 용이하도록 설계되었으며 대응관계는 “표 1. 운전변수와 제어화면과의 연계”에 나타난 바와 같이 서로 직접적인 관련이 있는 표시변수와 제어변수는 기능적으로 연결하였다.

표 1. 운전변수와 제어화면과의 연계

번호	운전 변수명	제어 화면명
1	Initial Pr.	Initial Pr Control
2	Reheat Pr.	Reheat Pr Control
3	TBN Speed	TBN Speed Control
4	MCV, MSV, ICV, RSV	Valve Control
5	Generator Output	Gen. Output Control
6	HP Inlet Temp	Temp. Control
7	HP Exhaust Temp.	Temp. Control
8	IP Inlet Temp	Temp. Control
9	Vacuum	Vacuum Control
10	Breaker	Circuit BKR Control

즉, 시험자가 Mimic에서 표시되고 있는 운전변수 또는 기기에 대한 제어, 또는 추이곡선 등의 다른 형태의 HSI 화면으로의 이동을 원할 경우 Mimic에서 직접 해당 변수를 선택하고, 접근이 가능한 HSI 화면들 중 원하는 화면으로 이동이 가능하도록 설계하였다.

### 기기 상태 표시

증기밸브들의 표시는 색상(적색; 열림, 녹색; 닫힘, 동작중; 녹색 및 적색)으로 상태를 표시한다. 예) 제어밸브의 경우 밸브 번호는 Symbol 아래에, 개도는 Symbol 위에 표시하였다. 또 위치에 따라 색상을 달리 적용하여 Open 상태는 적색으로, Close 상태는 청색으로 표시하였으며, On-Off 밸브와의 구분은 개도가 있고 없음으로 구분이 가능하도록 하였다. BKR는 증기밸브와 동일한 색상을 사용하며 위치 표시에 의한 코딩을 추가하여 표시한다. 발전기는 운전중일 때 적색, 정지중일 때 녹색으로 표시한다. 표 2는 이를 간략하게 표로 나타낸 것이다.

표 2 기기 표시에 사용된 Color

	Open 또는 운전	Close 또는 정지	동작중
증기밸브	Red	Green	Red/Green
차단기	Red	Green	-
발전기	Red	Green	-

### 3. Information Tiles Display

현재의 운전상태는 Mimic Display를 통해서 파악하고 현재 진행되고 있는 시험에 대한 관련 정보는 Tiles Display를 통해 쉽게 확인할 수 있도록 하였다. 즉, Mimic과 Tiles을 함께 배치하여

운전정보 및 시험정보를 한 화면에 제공하는 것이다. (그림 2, 3 참조)

- Normal/Bypass Operation
- Turbine Trip/Reset
- Transient Test
- Turbine Trip Test

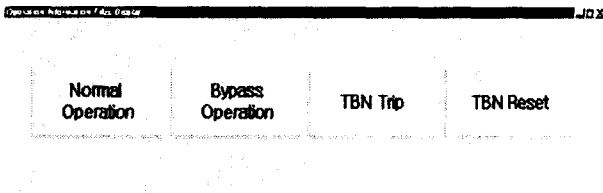


그림 2. Operation Information Tiles Display

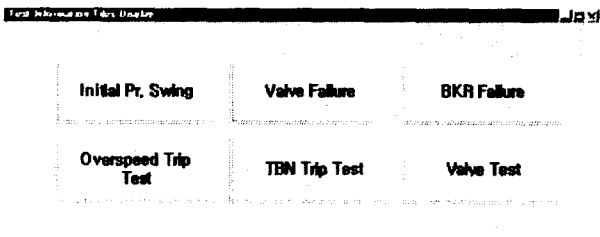


그림 3. Test Information Tiles Display

#### 4. Trend Display

일반적으로 압력, 수위 등의 표시는 단순히 숫자(현재값)로만 표시할 경우 보다는 과거의 기록과 함께 그 변화상태를 함께 보여줄 경우 운전상태를 정확하게 판단할 수 있고 예측도 가능하게 된다. 따라서, 감시되어야 하는 운전 변수 중 다음의 변수들은 Trend Graph로 표시 가능하도록 설계하였으며 한 화면에 4개의 변수를 수용할 수 있도록 하였다.

- Initial Pressure
- HP TBN Inlet Temp.
- HP TBN 1st Stage Pressure
- HP TBN Exhaust Temp.

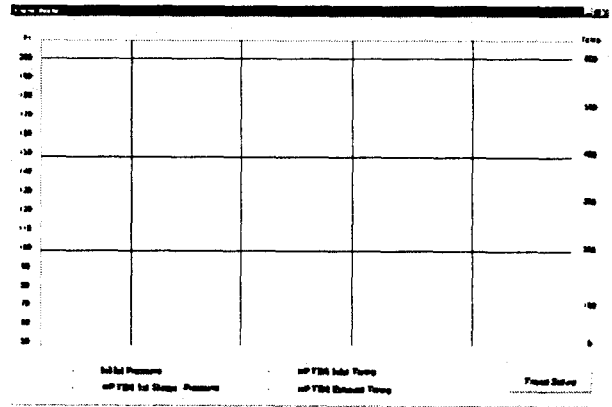


그림 4. Trend Display

#### 5. Status Table Display

밸브 상태표시의 경우 Demand, Feedback, Error등을 동시에 표시할 수 있고, 동일한 기능을 하는 타 밸브와의 상호 비교도 가능한 Status Table을 제공한다.

	Demand	Feedback	Error
MCV Upper			
MCV Lower			
MSV A			
MSV B			
LHRSV			
LHICV			
RHRSV			
RHICV			

그림 5. Status Table Display

#### 6. Control 화면

기기 또는 변수의 제어와 관련된 화면의 설계는 여타 정보는 Mimic Display 및 Information Tiles Display를 참고하도록 하기 위해 실제 제어에 필요한 요소만을 표시하였다.

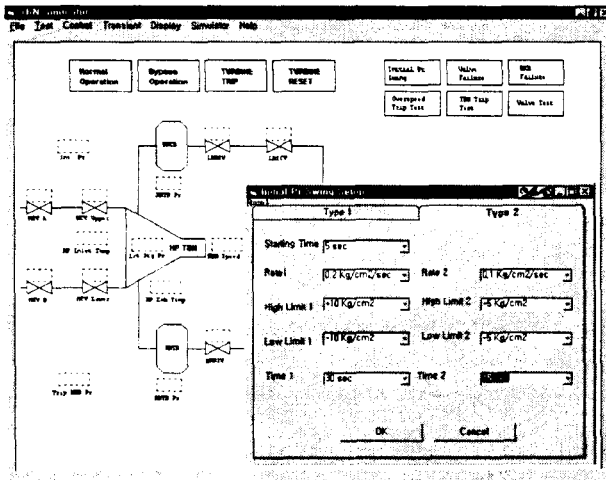


그림 6. Initial Pr Swing Setup

#### IV. 결론

시스템의 사용성 및 시험의 효율성을 향상시키기 위해 인간-기계 연계를 체계적으로 설계하여 적용하였으며, 향후 기력 및 원자력 발전소에서 사용하고 있는 각종 디지털 터빈 구동 기기에 대한 제어시스템의 건전성 확인장비로 확장시 HSI 일부 수정만으로도 그 기능을 완벽하게 수행할 수 있게 되었다. 또한 시뮬레이터 분야에서 HSI 설계 및 개발과 관련된 기술의 개발에도 기술적인 파급효과가 클 것으로 기대된다.

#### [참고문헌]

1. 이용관 외 9명, "발전소 운전원 훈련용 모의 제어반 개발 적용 [최종 보고서]", KEPRI Technical Report, 1998.
2. 정창기 외 3명, "터빈 제어 시스템의 시작품 기본설계 보고서", KEPRI Technical Memorandum, 1999.