



## 국내 1,000MWe급 화력발전소 제어 및 감시시스템 설계 사례 [1회]

### 글 쓰는 순서

1. 개요
2. 시작하며
3. 발전소 통합 제어 및 감시시스템 설계
4. 발전소 자동 기동 및 정지 순차 제어
5. 통합 제어 및 감시설비와 현장 기기 간의 데이터 취득
6. 제어 및 감시설비에 대한 사이버 보안
7. 보조감시설비
8. 결론

김 창 현 부장  
한국전력기술 플랜트본부  
전기계측기술그룹  
chkim@kepco-enc.com

이 형 주 대리  
한국전력기술 플랜트본부  
전기계측기술그룹  
lhzoof2@kepco-enc.com

### 1. 개요

최근, 당진화력 9,10호기, 태안화력 9,10호기, 삼척그린파워 1,2호기, 신보령화력 1,2호기를 포함한 초초임계압 1,000MWe급 석탄화력발전소가 건설되어 순차적으로 상업운전 중에 있다. 제어시스템 설계 측면에서, 기존 국내 표준 500MWe급 석탄화력발전소와 달리 보일러, 터빈, 보조기기(Balance of Plant, BOP)와 보조기기 패키지 설비(탈질설비, 전기집진기(EP), 탈황설비(FGD), 회처리설비 등)에 통합 제어 및 감시설비(ICMS)가 적용되어 주제어실 운전원이 현장 운전 데이터를 실시간으로 감시할 수 있도록 하고, 적은 유지보수 비용으로 발전소를 운영할 수 있도록 경제적 관점에서 설계되고 있다.

통합 제어 및 감시시스템은 현장 설비로부터 취득한 방대한 양의 데이터를 처리하고, 다양한 설비의 데이터 전송을 위하여 디지털 통신과 하드와이어링 결선 방식을 조합하여 사용하는 경우가 많아졌으며, 통합 제어 및 감시설비와

현장 계기, 지능형 MOV 및 지능형 MCC 간 통신연계도 확대 적용되고 있는 추세이다.

본고에서는 제어설비 최적 설계를 고려한 안정적인 운전과 발전소 효율 향상을 위해 1,000MWe급 석탄화력발전소에 적용된 제어시스템 구성, 제어실 배치, 통합 제어 및 감시설비와 타 설비 간 데이터 통신 연계에 대한 설계 특성 등에 대해 기술한다.

## 2. 시작하며

정보통신기술의 급격한 발달과 함께, 스마트 장치는 개인과 다양한 산업 분야의 일상에 큰 변화를 가져왔다. 이는 활발한 정보 교환으로 인하여 새로운 환경을 만들고, 정보처리 능력을 향상시키고 있다.

인간의 생명과 설비를 보호하는 것이 안전의 최우선으로 생각하는 것은 발전소 설계 분야에서도 마찬가지이다. 다양한 계측기에 최첨단 정보통신기술이 적용되고 있으며, 발전소 설계 분야에서는 이를 이용한 고속 네트워크를 통해 보다 많은 데이터를 취득하여 분석함으로써 운전 효율과 수익성을 개선하는데 주력하고 있다.

발전소 설계 초기에는 스위치, 전송기 및 밸브와 같은 현장 계기류들이 현장에서부터 제어 및 감시설비로 직접 결선되었으나, 최근에는 제어 및 감시설비에 통신기술이 폭넓게 적용됨에 따라 4~20mA의 아날로그 신호와 디지털 신호의 조합인 HART(Highway Addressable Remote Transducer)와 같은 고속의 디지털 통신 네트워크가 각 현장 계측기기류(Smart Transmitter, Smart Positioner 등)의 운전 데이터 취득 및 원격 관리 등의 목적으로 일반적으로 사용되고 있다.

국내의 석탄화력 발전소의 설계는 1990년대 초 500 MWe급 발전소에 이어, 2000년대 800MWe의 영흥화력 발전소까지 설계 표준화를 추진하여 왔으며, 최근 2010년부터 건설되어 상업운전 중인 당진화력 9,10호기, 태안화력 9,10호기, 삼척그린파워 1,2호기와 신보령화력 1,2호기를 통해 1,000MWe급 석탄화력 발전소의 제어 및 감시시스템은 그 동안의 설계 개선 사항 및 최신 기술 등을 반영하여 설계되었다.

본고는 상업운전 중인 1,000MWe급 석탄화력발전소에 적용된 제어 및 감시시스템의 주요 특징과 시운전 기간 동안 개선된 사항들을 기술하고자 한다.

## 3. 발전소 통합 제어 및 감시시스템 설계

발전소 주요기기들과 운전원에 대한 안전을 극대화하고, 어떠한 이상 운전조건에서도 발전소를 안전하게 정지하고, 효율 및 경제적인 운전을 위한 관점에서 통합 제어 및 감시시스템(ICMS)이 1,000MWe급 화력발전소에 적용되고 있다. 통합제어 및 감시시스템은 기능적이고, 전략적으로 분산된 계층 구조의 마이크로 프로세서 기반의 디지털 제어설비 플랫폼이다.

변조(Modulation), 순차 제어 및 시스템 통신 채널과 연계하기 위한 공정 제어기는 이중화로 설계된다. 즉, 제어기를 구성하는 구성요소(CPU, 전원공급장치, 통신 카드, 메모리, 입출력 처리기 및 버스)는 이중화로 구성된다. 또한 운전 중 이상 발생 시 주 CPU에서 예비 CPU로 변경되거나, 예비 CPU에서 주 CPU로의 전환은 아무런 운전 장애(지연시간) 없이 자동으로 절체된다.

이중화 통신 네트워크는 하부에 여러 CPU를 관장할

수 있도록 다중 분기되며, Fault tolerance를 갖는 구조이다. 이중화된 CPU는 최악의 상태에서도 30%의 부하를 넘지 않도록 설계하고, 최종 시운전 단계에서 이의 준수 여부를 확인한다.

제어시스템은 보일러, 터빈 및 보조기기(BOP) 뿐만 아니라 탈질설비, 전기집진기, 탈황설비, 회처리설비와 같은 보조기기 패키지 설비들의 실시간 운전 데이터를 취득함으로써 제어실에서 원격으로 통합 제어 및 감시 가능하도록 설계한다.

그림 1에 나타난 바와 같이 보일러, 터빈, 보조설비(BOP) 및 취수설비, 제매설비, 고압/저압 바이패스 설비, 탈질설비, 탈황설비, 전기집진기 및 회처리설비와 같은 패키지 설비의 제어 캐비닛은 전기/전자건물 3층의 전자

기기실에 위치한다.

최상의 설비 가용성을 위하여, 개별 입출력 모듈을 제외하고는 단일 요소 또는 시스템의 어느 부분의 고장을 방지할 수 있도록 구성한다. 각 제어기는 제어설비의 통신망과 연결하기 위한 전용 통신 제어기를 가지고 있다. 입출력 신호와 제어 기능은 열(列)구조(train concept)를 기반으로 기능적, 물리적으로 구분한다.

예를 들어, 보일러 급수펌프 터빈(BFPT)-A에 대한 입출력 신호 및 제어기 모듈은 기능적으로 분리하도록 설계하는 방식을 적용하여 하나의 제어기의 입출력 카드가 고장나더라도 같은 기능을 수행하는 설비에 상호 영향을 미치지 않도록 시스템을 구성한다.

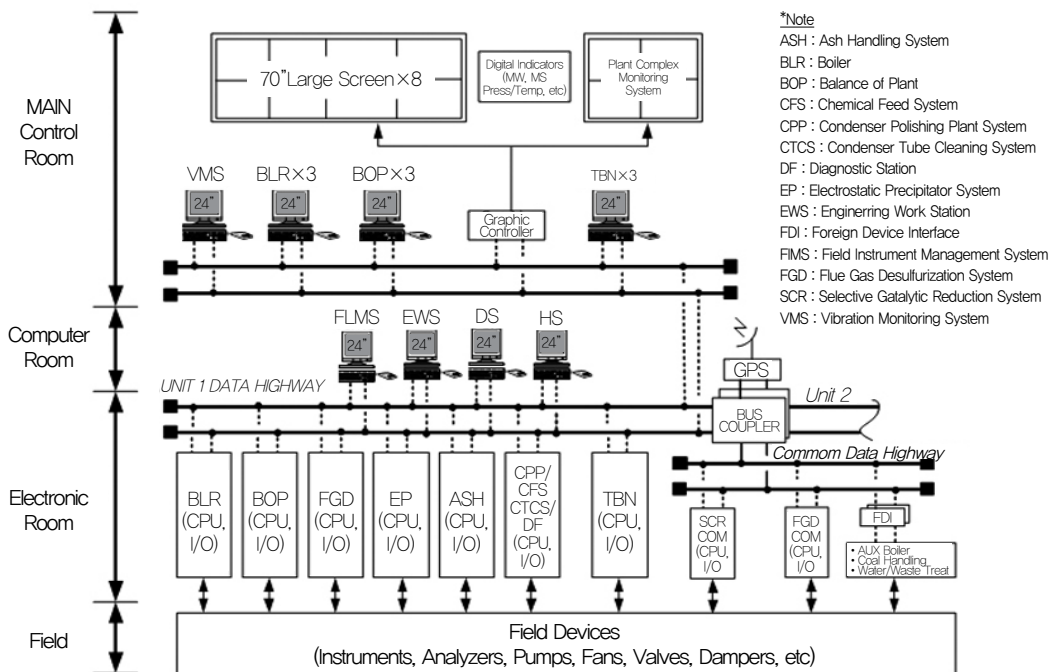


그림 1. 통합 감시 및 제어설비의 개략 구성도

설비	이중화 제어기 수량(Set)	기능 분리 그룹
보일러	16	1 Automatic Plant Start-up/Shutdown
		1 Unit Master (BLR, TBN, Feed water, Fuel, Air)
		3 Automatic Plant Control (BLR Water/Steam-A/B, Air/Gas-A/B, Fuel-C/D/B & E/A/F)
		3 Mill Burner Control (Burner-C/E, B/D, A/F, MILL- C/E, B/D, A/F)
		1 Mill Burner Control-Common (Master Fuel Trip, Light oil, Atomizing Air)
		2 Sequence Control (Draft-A/B, De-NOx-A/B)
		1 Sequence Control-Common (BLR Water/Steam common)
		1 HP/LP Bypass System
		2 Soot Blower System
		1 Boiler Tube and Metal Temp. Miscellaneous
보조기기 (BOP)	8	3 Feed water-A/B/C, Condensate-A/B/C, Condenser Vacuum-A/B/C
		2 Circulating Water-A/C & B/D, Closed Cooling -A/B
		1 Common (Feed water, Condensate, Cond, Vacuum, Closed cooling)
		1 Turbine Water Induction Protection(Extraction)
		1 Miscellaneous
증기터빈	3	1 Turbine Main Control (Speed/Load/MW/Start-up/Shutdown)
		1 Aux. Control & Monitoring
		1 Turbine Protection (Emergency Over speed, Trip device)
보조터빈-A/B	4	2 Aux. Turbine-A/B Main Control (Speed/Load/MW/Start-up/Shutdown)
		2 Aux. Turbine-A/B Aux. Control & Monitoring
패키지 설비	7	1 Condensate Polishing Plant/Chemical Feed System
		1 Condenser Tube Cleaning System/Debris Filter
		1 Electrostatic Precipitator System
		2 Ash Handling System
		2 Flue Gas Desulfurization (FGD) System
공용 설비	4	2 Flue Gas Desulfurization (FGD) Common
		1 Balance of Plant (BOP) common
		1 SCR-common
계		38 Sets/Unit, 4 Sets/Common

표 1. 프로세스 제어기 기능 분리

위의 설계 개념에 따라, 발전소에서는 위의 표 1과 같이 공정 제어를 분할하여 적용한다.

#### 4. 발전소 자동 기동 및 정지 순차제어

발전소의 자동 기동 및 정지 순차제어(Automatic Plant

Startup and Shutdown Sequence, APS)는 발전소 기동 및 정지 시, 다수의 운전원에 의해 수행되는 복잡한 운전 조작을 미리 설계된 프로그램에 따라 자동적으로 진행되도록 하는, 안정적이고 신속한 기동 및 정지 시스템으로 중단점(Break point)를 사용하여 순차적으로 진행되는 방식으로 실행된다. 중단점은 발전소 자동화 절차에서의 주요 지표를 의미한다. “Hold” 기능은 오작동

으로 의심되는 부분을 조사하기 위해 운전원이 개입하여 진행 과정을 중단할 수 있도록 한다.

자동 기동 및 정지는 보일러와 터빈의 기동, 정지를 위한 중단점을 모두 가지고 있다. 순환수 계통, 복수기 공기제거계통, 복수계통, 급수계통, 주증기 및 재열증기 배수계통, 급수가열기 추기/배수/배기 계통과 같은 보조설비와 복수탈염, 약품 주입, 복수기관 세정장치, 해수여과기, 전기집진기, 회차리설비, 탈황설비, 탈질설비와 같은 보조기기 패키지 설비는 자동 기동 및 정지 신호에 따라 자동으로 기동 또는 정지한다.

자동 기동 및 정지를 사용하면 자동 시퀀스 뿐만 아니라 각 단계의 시퀀스를 수동으로 시작할 수 있다.

수동과 자동 기동 시퀀스는 다음 단계를 진행하기 전에 특정 조건을 만족해야 다음 절차를 진행할 수 있다.

보일러 자동 기동 절차(Automatic Boiler Startup and Shutdown Sequence, ABS)는 보일러 점화부터 정격 출력(NR)까지 진행되며, 보일러 운전 정지 절차는 기동절차의 반대로 진행된다.

터빈 자동 기동 및 정지 절차(Automatic Turbine Startup and Shutdown Sequence, ATS)는 자동 시퀀스뿐만 아니라 각 단계의 시퀀스를 수동으로 시작할 수 있게 한다. 기동 절차는 유압유 계통, 윤활유 계통의 기동, 터빈 회전(Roll off)부터 통기 이후 밸브 개폐까지 진행되며, 정지 절차는 부하 감발부터 시작해서 터빈 정지까지 진행된다.

자동화의 정도는 기동/정지에 필요한 총 시간, 주요 제어 변수의 품질 및 장비의 보호가 운전원의 개입이 아닌 제어되는 시스템에 의해 자동으로 생성되는 것이어야 한다.

발전소의 주간(週間) 기동 및 정지 운전은 자동화되어 있으며, 발전소의 냉간(Cold) 기동/정지, 온간(Warm) 기동/정지, 열간(Hot) 기동/정지, 재기동(Restart)/정지를 자동화하기 위한 프로그램이 준비되어 있다.

각 절차의 진행 과정과 모든 비정상 상태 등 발전소 자동화에 대한 자세한 정보는 운전원이 확인할 수 있도록 모니터에 표시된다.

### 보조기기 및 패키지 설비

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Water treatment system normal</li> <li>• 10bar Aux. steam header press. normal</li> <li>• CCWP disch. header press. normal</li> <li>• Feed water quality satisfied</li> <li>• One COP/CBP running</li> <li>• Condenser hotwell level normal</li> <li>• Chemical injection system in service</li> <li>• Sampling system normal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instrument air &amp; Service air press. normal</li> <li>• 20bar Aux. steam header press. normal</li> <li>• Feed water storage tank level normal</li> <li>• Condenser storage &amp; transfer system normal</li> <li>• Seawater cooling water pump or circulating water pump running</li> <li>• Preselection CWP, COP/CBP, CVP &amp; Misc. Drives</li> </ul>
---	---

### 보일러 및 터빈 설비

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hydraulic valves including HP/LP bypass HPU normal</li> <li>• Preselection of PAF, FDF, CIDF and Misc. drives</li> <li>• Boiler Master Fuel Trip</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stator cooling water system normal</li> <li>• Generator seal oil system normal</li> <li>• Generator H2 gas cooling system normal</li> <li>• Main turbine lube oil system normal</li> </ul>
--	---

표 2. 기동을 위한 선행 조건

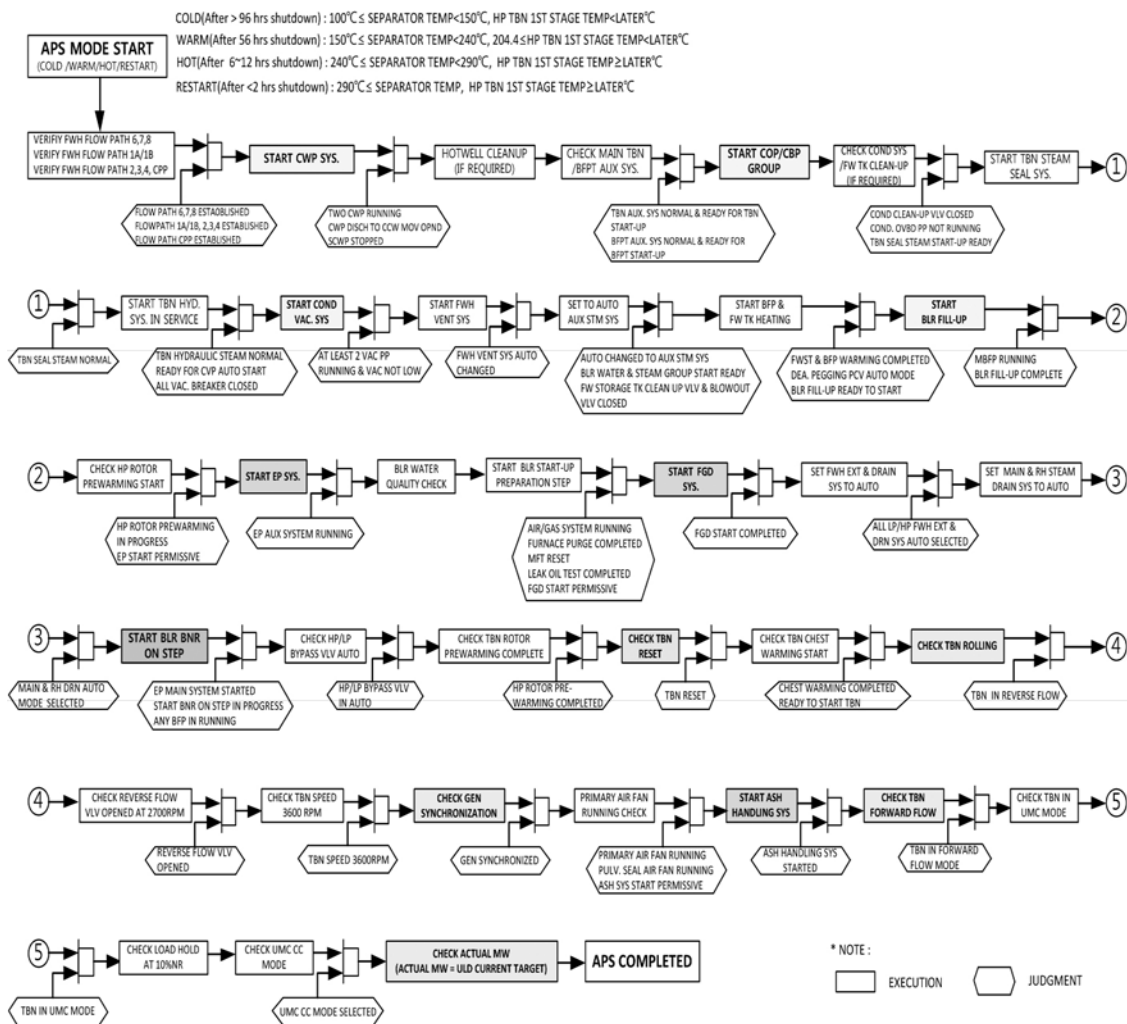


그림 2. 발전소 자동 기동 시퀀스 적용 사례(냉간 기동)

참고 문헌

- [1] ISA Seminar "Foundation Fieldbus H1 Field-Level Installation and Commissioning (Jonas Berge)"
- [2] FOUNDATION™ Fieldbus "System engineering guideline", 2003~2004.
- [3] Foundation Fieldbus System Engineering Guidelines (AG-181), Revision 3.2.
- [4] PROFIBUS Installation Guideline for PROFIBUS-DP/FMS(PROFIBUS Guideline, Order, No. 2.112) Version 1.0.
- [5] KOMPO, KEPCO E&C, "New Technical Application Report for Electrical Facilities of Shinbory-eong 1, 2 TPP", Aug. 2013.
- [6] IEEE Std 1046-1991, "IEEE Application Guide for Distributed Digital Control and Monitoring for Power Plants", 1991.
- [7] North American Electric Reliability Corporation (NERC) Cyber Security Standards, CIP-001~009.
- [8] ISA 99.01~99.04 : Industrial Automation and Control System Security Standards.
- [9] The National Institute of Standards and Technology (NIST)-SP 800-82, Guide to Industrial Control System (ICS) Security