발전소에 적용된 DCS 기술동향 및 구조분석

김응석, 이광훈
한국전력공사 전력연구원

A Technological trends & structure analysis of DCS installed on Power Plant

Kim Eung Seok, Lee Kwang Hoon
KEPRI, KEPCO.

Abstract - 전력사업에 있어 그 기본이 되는 발전소는 현재 복잡화되어 가고 있는 산업사회의 전력수요에 대한 대폭적인 증가 추세에 따라 발전소에서는 보다 효율적이며 합리적이고 경제적인 전력공급을 위해 전력생산에 대한 신뢰성 향상 및 안정성 확보는 물론, 효율성이 높은 운전이 요구되고 있다.
본 논문에서는 상호간섭이 많은 다변수 비선형 시스템인 발전소를 제어하기 위해 적용된 선진국들의 분산제어시스템(DCS, Distributed Control System)의 구조를 분석하고 향후 발전소용 DCS의 기술동향 및 선택을 위해 고려될 사항들을 알아보고자 한다.

1. 서 론

분산제어시스템(DCS)은 최근 마이크로 프로세서를 중심으로한 반도체 분야 및 컴퓨터 분야 등의 눈부신 발전을 근간으로 제어시스템이 디지탈 시스템화하면서 분산화 개념을 적용한 것으로 1970년대 마이크로프로세서 출현이후 단일루프 제어기들을 결합한 디지탈 분산제어시스템의 초기형태가 개발되었으며 1980년대 들어서 16Bit, 32Bit등의 고성능 마이크로프로세서를 이용한 다기능 제어기로 구성된 분산제어시스템이 개발되었다.

최근의 발전소는 설비용량의 증대로 프로세스가 복잡화됨으로서 다중변수제어, 응답속도개선, 실시간제어등이 요구되고 있다. 그러나, 과거의 제어시스템으로는 이를 실현하기가 불가능하여 보다 강력한 계산능력 ,진보된 제어 알고리즘, Batch control 기능 등을 가진 분산제어시스템을 적용하고 있는데 이러한 제어시스템의 고장으로 발전소가 정지할 경우 경제적, 사회적 손실이 크므로 신뢰성이 높은 제어시스템을 적용하는 것이 매우 중요하다.

발전소의 분산제어시스템은 각 계통을 운전하는데 있어 신호들을 감시하고, 목적하는 출력상태를 얻기 위해 각 계통을 효율적으로 제어하는 것이 주요한 기본기능이다. 안전 및 설비보호와 관련된 운전변수가 설정 한계치에 도달하면 보호계통에 의해 설비를 정지하는 Interlock 기능과 발전소 기동/정지시 Sequence기능에 대한 신뢰성을 확보해야한다.

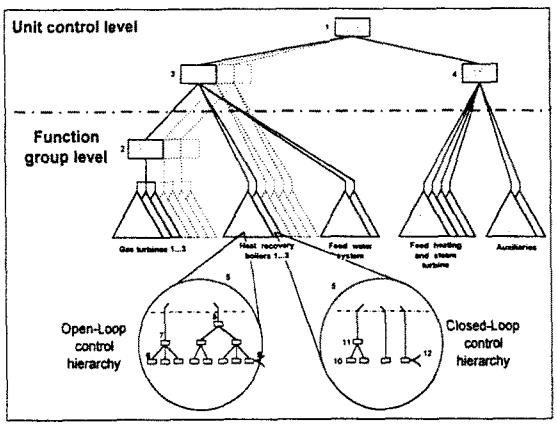
본론에서는 국내 화력발전소에 적용되고 있는 두 선진국의 분산제어시스템의 구조 및 특징에 대해 기술하였고 발전소용 분산제어시스템의 선택시 고려해야할 사항들을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 발전소 제어구조

최근 발전소의 제어계통은 분산제어방식을 채택하여 발전소 전체 공정의 감시 및 제어기능과 경보기능을 효율적으로 수행하기 위해 그룹제어 및 기기제어등 두 가지 등급의 제어기능을 갖도록 설계되며 제어구조는 분산된 계층적 구조를 이루고 있는데 그림 1과 같이 3개의 기능레벨을 갖는다.

1. Unit Control Level
2. Function Group Control Level
3. Drive(Device) Control Level



1 Control program at unit control level
2 Gas turbine control program
3 Control programs for heat recovery boiler and feed-water supply system
4 Control program for steam turbine, including feed heating and condensation
5 Control hierarchy of automation islands
6 Drive unit level
7 Drive group level
8 Function group level
9 Protection functions
10 Drive control level
11 Main group control level
12 Control loop override functions

그림 1. Hierarchical control structure of c.c plant

2.2 INFI-90 System(미국, Bailey사)

INFI-90은 계층적 Communication 구조를 가지고 있는 분산제어시스템으로서 Data 수집, 정보처리 능력 및 Binary, Analog, Sequence, Batch, PID 등의 제어기능을 지닌 Multi-Loop Controller인 MFP 모듈, 각종 I/O 모듈 및 통신 모듈에 의해 실질적인 Process Control을 수행한다. 시스템의 구성은 크게 PCU(Process Control Unit), OIS(Operator Interface Station),EWS(Engineering Work Station)로 구성되며 각 기능은 다음과 같다.

- **PCU** : Process Control 및 Plant Management
- **OIS** : 운전원 interface 시스템으로 Command, Monitor, Alarm, Tuning, Trending, Logging
- **EWS** : 운전조작화면 구성, Database의 관리, 제어로직 설계

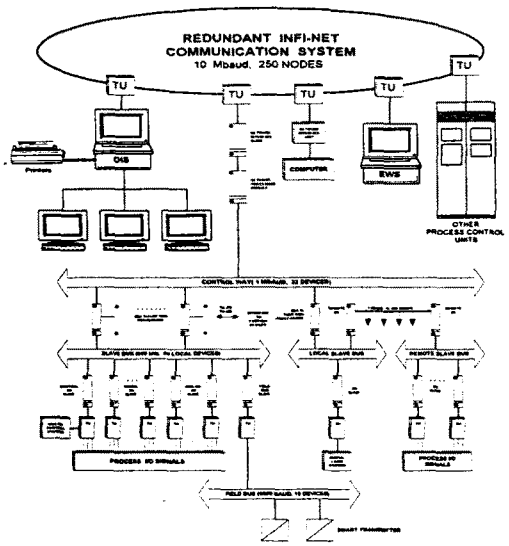


그림 2. INFI-90 System

그림 2에서 최상위 Communication Highway인 INFI-NET는 단방향 고속 직렬데이타 처리방식인 Network로 각 Node간 통신에 예외보고(exception report)방식을 사용하여 대규모 시스템에서 통신의 혼잡을 피하고 효율을 높이고 있다. 또한, 루프상의 어떤 Node에 결함이 발생한 경우 그 결함이 있는 Node를 제외하고 다른 모든 Node들은 계속 데이터를 송수신할 수 있다. INFI-90 시스템은 바로 이 통신 시스템에 의해 발전소의 다양한 계층적 구조의 분산제어가 가능하며 특징은 다음과 같다.

- 타 시스템과의 상호연결이 가능한 Open System.
- On-Line Configuration이 가능하다.
- Redundant Loop에 의한 Back-up
- Node Off-Line이 전체 Loop에 영향을 주지 않음

2.3 PROCONTROL-P System(독일, ABB사)

발전소용 제어시스템으로 개발된 Procontrol-P는 최근의 32Bit 기술과 Real-time operating system을 적용함으로서 하나의 제어모듈이 I/O 모듈 없이 4대의 구동기기(Drive)를 동작시키는 Binary 제어와 로직에 의한 Analog 제어를 함으로서 발전소의 제어구조를 그대로 시스템 구조에 적용시킨 시스템으로 기본설계 개념은 안전의 원칙과 신호의 명확화이다[그림 3. 참조].

Procontrol-P는 프로세스를 관리하고 제어하는데 필요한 signal conditioning & pre-processing, data transmission, supervision, binary & analog control protection, operator supervision and control, plant management등 모든 기능을 개별 시스템으로 구체화 시켰으며 주요 시스템은 다음과 같다.

- **Man-Machine Interface(MMI)** : 발전소를 제어하고 관리하기 위한 tool로서 최근의 인간공학과 인공지능 지식을 적용함으로서 발전소의 운전상태를 보다 편리하게 파악하게 하고 비상 및 안전이 요구되는 상황에서 운전원에게 조치사항을 알려주는 시스템으로서 POS(Process Operator Station), CDS(Control Diagnostic System), PMS(Plant Management System),EDS(Engineering Documentation and Service System)등으로 구성된다.
- **I&C Components** : Instrumentation & Control 모듈 및 MMI, field bus, external system(eg.PLC)를 위한 Coupling 모듈과 이들로 구성된 Station.
- **Data Transfer System** : station bus와 FDDI(Fiber Distributed Data Interface) token ring system에 근거한 remote bus로 구성되며 프로세스 신호의 변화는 모든 station의 station bus에서 실 시간적으로 적용된다.

이 시스템의 특징은 signal acquisition, signal conditioning, binary & analog control에 관련된 로직(functions)들을 한 station에 모두 위치시키거나 제어 로직에 따라 서로 다른 station에 분산시킬 수 있어 모듈의 위치에 제한이 없고 station의 slot의 사용이 자유롭고 FDDI network가 double ring으로 구성되어 있어 한 cable의 불량시에도 통신을 유지하며 시스템을 재구성할 수 있다는 점이다.

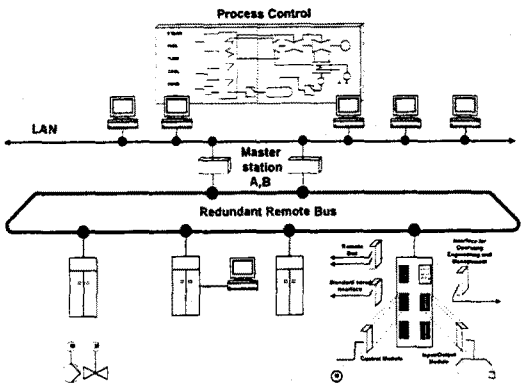


그림 3. Procontrol-P System

- **Protection system** : 2 out of 3 개념을 사용한 보호시스템으로 multi-channel, multiply redundant programmable logic protection 설계에 적합하며 input/output 모듈, 프로세서, tripping circuit, data transmission등으로 구성되며 특징은 다음과 같다.

첫째, 구성요소들의 동작상태를 주기적으로 점검한다. 둘째, 동작상태 test중일지라도 필요하다면 한 channel에 의해서도 trip이 가능함. 셋째, 안정성 측면에서 binary signal conditioning, protection application program, tripping signal outputs들은 일반적으로 normally-closed type을 적용하였음. 즉, 시스템 고장 시에는 fail-safe 개념에 의해 보호동작을 실행함[그림 4. 참조].

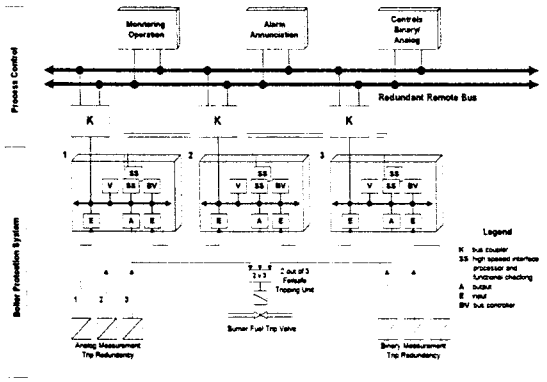


그림 4. Boiler Protection System

2.4 Considerable Specification

발전소의 건설은 크게 계획, 선정, 구매, 설치, 시운전의 단계를 거치는데 이는 수년의 긴 세월이 소요되므로 극단적으로 계약 진행 중에 선정된 제어시스템이 구식화되어 쓰이지 않을 수가 있다. 그러므로 발전소에 적용될 제어시스템의 선택에는 많은 검토가 필요한데 크게 환경적 측면, 관리적 측면, 기능적 측면, 품질보증 측면, 서비스/지원 측면으로 구분할 수 있다.

- **Environmental** : 온도, 습도, 먼지, 충격, 진동
- **Administrative** : 시스템 엔지리어링/지원, 제조시설, 교육시설, 개발추세, 수송설비, 품질보증, 설비자격, source code의 유용성
- **Functional** : 시스템 performance, software 구조, on-line diagnostic 기능, 실행속도, 고장감지 및 경보기능, 고장허용, 고장영향, 수동 back-up 기능, operator 설비, communication protocol, I/O count, display(speed/resolution, etc), cabling arrangement 타 시스템과의 통신기능, 시스템 유용성
- **Quality assurance** : 제품검사, 공장검사, heat-soak testing, incoming component test, remote diagnostic 지원, site supervision, 안전절차
- **Service/support** : 설치, 시운전, 교육, 문서(도면/설명서), instruction/repair manual, spare 부품

2.5 기술동향

기술발전이 계속 진행되는 가운데 향후 발전소에서 적용되고 있거나 앞으로 적용될 분산제어시스템의 가장 대두되는 기술추세는 MMI뿐만 아니라 Gateway를 활용한 타 제어장비와의 interface를 적극적으로 수용하며 신뢰성제고 및 현장 계기와의 실시간 통신을 위한 필드버스(field bus) 네트워크 시스템 개발이다.

2.5.1 신뢰성 제고

발전소 제어시스템의 고장으로 발전소가 정지할 경우 막대한 경제적, 사회적 손실이 발생할 뿐만 아니라 설비의 파손으로 인한 인적피해가 있을 수 있으므로 가장 중요시되는 개발분야로 전술한 바와 같이 2 out of 3, fail safe 등의 방법으로 어느 정도의 신뢰성을 확보하고 있지만 최근에는 보다 큰 신뢰성 확보를 위해 4중화 시스템이 개발되고 있으며 운전중 예측하기 어려운 입력인 외란에 대하여 안정된 대처능력, 즉 강인성(Robustness)을 높이는 강인 제어기술을 개발하여 제어시스템에 적용하고자 하는 추세이다.

2.5.2 필드버스(Field Bus) 개발

기존의 4-20mA의 아날로그 신호대신 디지탈 신호를 이용한 현장 기기와의 통신을 위해 개발된 필드버스는 도입후 배선에 의한 비용 절감 효과 및 양방향 통신에 의한 시스템 운용 및 유지보수에 소요되는 간접비용의 절감효과의 장점이 있으나 아직까지 표준화가 되지 않고 있어 "plug-and-play"가 가능한 필드버스의 표준안에 대한 연구가 진행중이다.

3. 결 론

본 고에서는 발전소에 적용된 선진국 DCS의 특징들과 DCS의 향후 기술동향을 기술하였으며 각각의 부 시스템에 대한 자세한 고찰은 다음으로 미룬다.

[참 고 문 헌]

[1] David Lindsley, "Boiler Control System", McGRAW-HILL, pp 104, 123~135, 1992

[2] 권기춘, "원전 개량형 계측제어계통 기술 개발 동향", 제어자동화시스템공학 학회지, vol. 2, no. 5, pp 40~41, 1996

[3] Bailey, "Bailey infi-90 manual", Bailey control company, 1996

[4] ABB, "ABB Procontrol-P manual", ABB Power Generation LTD, 1996

[5] 김국헌, "제어시스템의 구현 동향", 제어자동화시스템공학 학회지, vol. 1, no. 2, pp 14~19, 1995