전력 플랜트에 적용되는 다중 루프 제어 시스템의 구성

변 증남* · 조 영조** · 김 병국***
(*한국과학기술원 전기 및 전자공학과 교수,
**동 박사과정,
***한국과학기술대학 전자전산학과 조교수)

1. 서 론

1950년대 중반 트랜지스터를 사용한 디지탈 컴퓨터가 공정 제어에 사용된 이래로, 컴퓨터 및 반도체 기술의 발달은 공정 제어 분야에 매우 큰 영향을 미치게 되었다. 특히, 1970년대 초반부터 출현된 마이크로 프로세서를 비롯하여 메모리 및 그 주변 인터페이스 장치들의 급속한 발달은 공정 제어 장치의 혁신적인 변화를 초래하였다. 마이크로 프로세서를 기초로 하여 구성된 공정 제어 시스템은 이전의 아날로그 제어 시스템의 기능들을 훨씬 적은 규모의 시스템으로 경제적으로 구현할 수 있을 뿐 아니라, 다양한 프로그래밍 및 연산기능, 높은 계산 능력, 고 신뢰성, 보수 유지의 간편화, 저렴한 가격, 하드웨어의 표준화 및 다른 컴퓨터 제어 장치와의 연결 용이성 등 적용면에 매우 큰 장점을 갖는다. 이렇듯 우수한 기능을 갖는 마이크로 프로세서를 기초로 한 공정 제어 시스템은 전력 플랜트와 같은 대규모 공정 제어에 매우 적합하여, 1980년대에 들어와서는 거의 모든 전력 플랜트 제어 시스템에 마이크로 프로세서를 이용한 컴퓨터 제어 방식이 사용되고 있다.

그러나, 현재 우리나라에 설치 운전중인 전력 플랜트에서의 제어 시스템은 대부분 1970년대 기술인 아날로그 제어 방식을 사용하고 있어, 규모가 매우 크고 복잡할 뿐 아니라, 보수 유지시 부품 수급에 상당한 어려움이 있다. 이러한 기존의 제어 시스템을 컴퓨터 제어 방식으로 대체할 경우, 턴키 베이스로 시스템을 도입하여 사용해야 하므로 설치는 물론 보수 유지 비용이 엄청나게 크며, 기술 이전에 어려움이 많다. 따라서, 전력플랜트를 위한 컴퓨터 제어 시스템의 국산화 및 표준화는 그 필요성과 의의가 매우 크며, 이를 해결하기 위한 국내 기술 능력도 상당한 수준에 이르렀다고 판단되므로, 이에 대한 집중 투자로 비용절감 및 국내 기술 축적을 이룩해야 할 시기라 사료된다.

본 고는 대규모 산업 공정인 전력 플랜트를 대상으로 한 컴퓨터 제어 시스템의 현황을 점검하고, 그 중 보일러 제어를 위한 다중 루프 제어 시스템의 구성 방안에 대해 기술하고자 한다.

2. 전력 플랜트를 위한 컴퓨터 제어 방식

마이크로 프로세서가 등장할 당시의 공정제어는 집중제어 방식이 사용되었다. 그러나, 컴퓨터 네트워크 기술의 발달과 신뢰성있는 시스템 구현에 대한 요구등은 시스템 구성에 있어 컴퓨터 하드웨어 및 소프트웨어의 분산화를 추구하도록 하여[1], 현재에는 이른바 3C(Command, Communication, Control)의 개념을 도입한 계층 구조의 분산 제어방식이 공정 제어 시스템에 이용되고 있다. 이러한 분산 컴퓨터 제어 방식은 대부분의 상용화된 공정 제어 시스템에 채택되어 사용되고 있으나, 많은 경우 특정 적용 대상에만 맞춘 설계로 이 방식의

장점인 내고장성(fault tolerance), 신뢰성, 유용성, 모듈화, 확장성, 설계와 구현 및 보수의 편이성 등을 제대로 갖추지 못하고 있다[2]. 따라서, 이러한 장점들을 모두 살린 신중하고 적절한 설계가 전력 플랜트와 같이 고 신뢰도를 요구하는 대규모 공정의 분산 컴퓨터 제어 시스템에 특히 요구되는 사항이다.

전력 플랜트에 적용되는 제어 방식은 크게 순차 제어(Sequence Control)와 궤환제어(Feedback Control)의 두가지로 나누어 볼 수 있다. 순차 제어는 여러가지의 ON / OFF 신호를 요구 조건에 따라 순차적으로 입출력하는 것으로 발전소의 기동이나 정지시에 주로 사용되는 제어 방식이다. 전력 플랜트에는 이러한 순차 제어용 ON / OFF 신호들이 수백개 가량되어 처리 속도가 늦어지므로, 최근에는 Logic processor 및 다중 CPU의 도입으로 Scan time의 고속화를 추구하고 있다[3].

궤환 제어는 발전소의 운전중에 주로 사용되는 제어 방식으로 전력 플랜트의 부하를 적절히 맞추어 줄 수 있도록 여러가지 센서 및 변환기로부터 아날로그 신호의 측정치를 받아 PID 제어와 같은 제어 알고리즘을 사용하여 적절한 조작치를 밸브나 펌프와 같은 구동기에 내려주는 역할을 한다. 궤환 제어기는 제어 알고리즘이 루프를 형성하게 되므로 루프 제어기라고도 불리워지는데, 전력 플랜트의 경우는 다중 루프를 형성하므로 보통의 단일 루프 제어기를 여러개 사용하면 규모가 커지고 비용 손실도 많아지며, 루프간의 interaction을 해결하기 곤란하다. 따라서, 하나의 다중 루프 제어 시스템을 구성하여 전력플랜트에 적용하면 적은 규모와 비용으로 보다 개선된 제어 성능을 발휘할 수 있다.

전력플랜트에 사용되는 다중 루프 제어 시스템에서 특히 강조되는 것은 고신뢰성과 보수 유지의 편이성이다. 예를 들어, 다중 루프 제어 시스템의 일부 소자에서 고장이 발생할 경우, 잘못된 제어 출력이 내부에 연결된 모든 플랜트에 영향을 미치므로 전체 시스템이 shutdown 되어 엄청난 사회적 경제적 손실을 초래할 우려가 있다. 따라서, 전력플랜트에 적용되는 다중 루프 제어 시스템에서는 통상 전술한 바의 계층 구조를 갖는 분산 제어 방식이 사용되어 한 서브시스템에서의 고장이 다른 서브시스템으로 파급되는 것을 방지하고 있으며, 한 서브시스템 내에서도 계층별로 back-up 장치를 갖고 있어 전체적으로 내 고장성 제어 시스템(Fault Tolerant Control System)을 구성하고 있다.

3. 전력플랜트에 적용되는 다중 루프 제어 시스템의 현황

3.1 시스템의 일반적인 구성

전력 플랜트와 같은 대규모 공정을 위한 다중 루프 제어 시스템은 그림 1과 같이 계층구조와 분산 제어 시스템의 형태를 취한다. 그림 1에서 나타난 바와 같이 전체 시스템은, 여러개의 제어 루프를 동시에 담당하는 여러대의 local controller와 정해진 프로토콜을 갖는 data link와, 적어도 한대 이상의 Coordinating controller 및 information display unit로 구성되어 있다[4]. 각 구성요소들에 대한 기능을 기술하면 다음과 같다.

(1) Local Controller

이 부분은 다중 루프 제어의 가장 중요한 역할로 제어 시스템의 계층 구조상 하단에 위치하여, 프로세스로부터 아날로그 및 디지탈 신호를 받아 다중 루프 제어 알고리즘을 수행하고 적당한 제어 출력을 보내는 것을 주요 기능으로 하고, 그 외에 상단의 Coordination Controller 로부터 명령을 받아들이거나 프로세스의 상태 정보를 Coordinating Controller로 전달하는 기능과, local로 디스플레이하거나 운전자 명령을 받아들이는 local panel의 기능도 추가로 갖고 있다.

이러한 Local controller를 설계하거나 사용할 때 다음과 같은 사항들이 충분히 고려되어야 한다[4].

- -. 사용 가능한 최대 제어 루프의 갯수
- -. 최대로 가능한 샘플 주기(통상 0.25초 내외의 샘플 주기를 갖는다.)
- -. 입출력 신호들의 형태 및 신호 레벨
- -. local controller의 자율성
- -. local panel 기능
- -. 자기 진단 및 고장 회복 능력이나 redundancy 정도

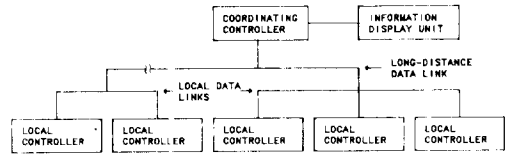

그림 1. 다중 루프제어 시스템의 일반적인 구조

-. 표준화 및 모듈화의 정도

(2) Data Links

실제적으로 데이타 링크는 수 킬로미터의 길이로 고속 디지탈 데이타 통신이 가능한 serial twisted-pair cable, coaxial cable, 또는 optical fiber로 구성된다. 실제 다중 루프제어시스템에 적용되는 가장 일반적인 데이타 링크의 구조는 그림2와 같은 data highway(또는 multi-drop system라고도 부른다) 구조이다. 이는 일종의 time sharing communication system으로 어느 한 시간 동안 하나의 device만 데이타를 전송할 수 있는 권리를 부여하여 여러개의 device간에 데이타 통신을 수행할 수 있는 구조를 갖는다.

이와같이 많은 device가 공통의 데이타 링크를 통해 상호 데이타 교환을 필요로 할 때, 정보의 우선 순위와 속도 및 정확도를 고려하여 충돌없이 데이타 교환이 가능하도록 해 주는 통신 법칙(프로토콜)이 필요하다. 이에 대한 표준화는 GM에서 주관하여 정한 ISO, OSI Compatible 한 MAP(Manufacturing Automation Protocol)에서 정해져 있지만, 상용화된 전력 플랜트용 컴퓨터 제어 시스템에서는 일정한 표준 규약이 없다.

(3) Coordinating controller

Coordinating controller는 계층 구조상 Local controller의 상부에 위치하여 Local controller들에 대한 종합조정(Coordination)과 관리(Supervision)역할을 수행한다. Local controller와 데이타 링크를 통해 통신하면서 데이타들을 취합 관리하거나 Local controller의 프로그래밍 정보나 명령을 전달하는 것을 주요 기능으로 하며, Color graphic display, 키보드나 mouse, trackball 등을 man / machine 인터페이스 장치로 갖는다.

(4) Central Information Display Unit

대부분의 컴퓨터 제어 시스템에서는, 한 위치의 모든 가시적 정보를 나타내는 display unit 여러개를 집중화시켜 central information display unit를 구성한다. 이

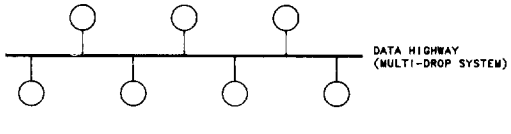

그림 2. 데이타 하이웨이 구조

때, 디스플레이의 종류는 사용자의 요구에 따라 on-line으로 변경가능하고 통상 효과적인 칼라 그래픽 디스플레이를 사용하므로, 사용자가 쉽게 제어 시스템과 프로세스의 상태를 모니터링 할 수 있다.

3.2 국내외 기술 현황

현재 국내에서는 전력플랜트에 적용가능한 다중 루프 제어 시스템이 생산되고 있지 않으며, 이에 대한 연구도 아직 발표된 예가 없다. 다만, 순차제어를 위한 PLC(-Programmable Logic Controller)와 PID 알고리즘을 내장한 중형 또는 대형 PC(Programmable Controller)가 몇몇 업체에서 외국의 PC 전문업계와 기술 제휴로 상용화되어 있기는 하지만[5], 전력플랜트에 적용하기에는 고 신뢰성 및 다양한 프로그래밍 기능 등 더 고려해야 할 점이 많다. 국내의 몇몇 발전소에는 실제 다중 루프 디지탈 제어 시스템이 설치 운전중에 있으나, 모두 턴키베이스로 도입된 것이고, 발전소마다 거의 기종이 다르므로, 기술이전에 어려움이 있다.

전력플랜트에 적용되는 다중 루프 제어 시스템의 국외 생산업체는 미국의 Bailey Control과 Westing House 및 Taylor Instrument, 독일의 Giemens와 Hartmann & Braun, 일본의 Hitachi와 Toshiba 등 여러 업체가 있으나, 서로 거의 비슷한 개념으로 설계되어 있으므로, 본 고에서는 특히 국내 전력플랜트에 가장 많이 설치된 Bailey Control사의 Bailey Network 90을 위주로 다중 루프 제어 시스템의 현황을 소개하고자 한다.

(1) Bailey Network 90 시스템 구조

대규모 공정제어를 위한 Bailey Control 사의 계장제어 시스템은 그림3과 같이 계층적 구조를 갖는다. 그림3에서 프로세스는 플랜트, Actuator와 센서 및 Transmitter 를 포함한 것으로 Process Control Unit를 통하여 표준화된 신호를 전달하거나 받아들인다. Process Control Unit는 제어 연산을 위한 마이크로 컴퓨터 Board와 신호 입출력 장치 및 Plant Communication Loop의 인터페이스 카드를 내장하고 있고, 부분적인 Man-machine 인터페이스 수단으로 Local Panel을 사용한다. 전체 시스템의 관리 통제를 담당하는 Process Computer는 칼라 Video CRT와 Mass Storage 및 프린터 등을 사용함으로써 Plant Communication Loop를 통해 전달된 정보를 디스플레이하거나 저장하고, 각 Process Con-

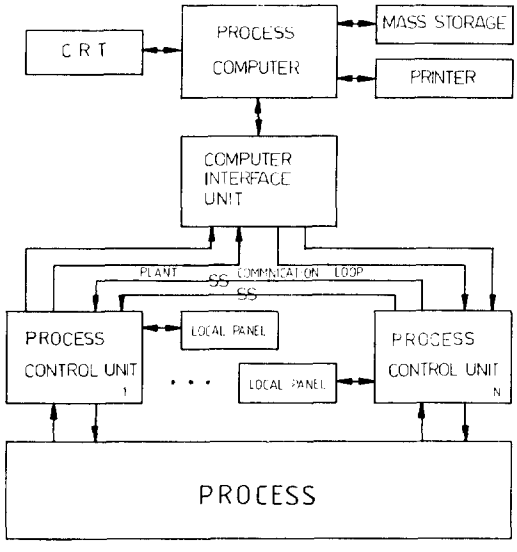

그림 3. Baily Control사의 계장 제어시스템의 구조

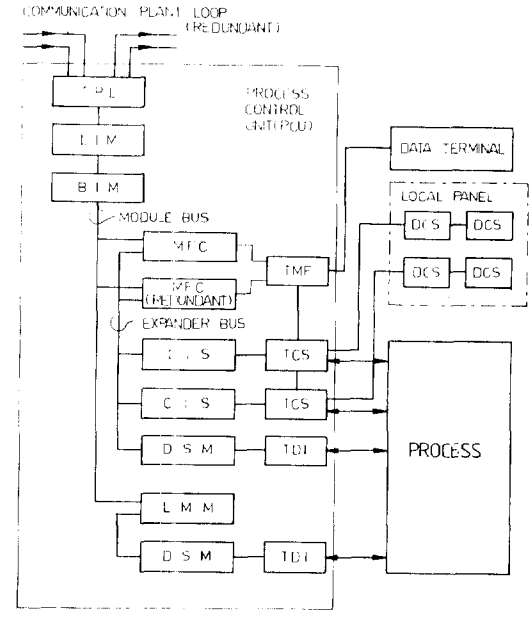

그림 4. Baily Process Control Unit의 구성

trol Unit에서 필요로 하는 데이타를 Plant Communication Loop를 통해 전달한다. 이때 Plant Communication Loop는 신뢰도 향상을 위해 Redundant Bus를 채용한다.

(2) 공정 제어 유닛(PCU : Process Control Unit)

Bailey Network 90의 PCU는 3.1에서 기술한 바 있는 Local Controller에 해당되는 부분으로 Master 모듈과 Slave 모듈 및 Station모듈로 구성되어 있다.

Master모듈은 내부에 마이크로 프로세서가 내장되어 다양한 제어연산이나 통신을 담당하는 모듈들로 그림4에서 MFC, BIM, LMM으로 표시된 것과 그 이외에 AMM(Analog Master Module), AOM(Analog Output Module), COM(Controller Module), CTM(Configuration & Tuning Module)이 포함된다. MFC는 16비트 CPU와 메모리 및 입출력 포트로 구성되어, 다중 루프 PID 제어와 Sequence 제어를 포함한 다양한 연산 기능을 가지며, Module Bus를 통해 Redundant MFC와의 Switch Over 기능도 갖고 있다. BIM은 LIM(Loop Interface Module)과 인터페이스되는 CPU 모듈로 상위 계층의 프로세스 컴퓨터나 동등 계층의 PCU와 상호 데이타 교환을 담당한다. 이외의 Master Module로서, LMM은 Sequence 제어 연산 기능을, COM은 단일 루프의 제어 연산기능을, AMM은 ASM(Analog Slave Module)을 통한 64채널까지의 아날로그 신호 처리를, AOM은 지시계나 기록계에 제공하는 8개의 아날로그 신호 출력을 각각 담당하며, CTM은 16개의 키보드 조합으로 Module Bus에 인터페이스되는 Master 모듈들의 Configuration과 Tuning 및 모니터링 기능을 수행한다. 이때, 한 PCU당 부착할 수 있는 Master 모듈의 최대 갯수는 32개이다.

Slave 모듈은 Master 모듈을 위해 제공되는 인터페이스 하드웨어로서, 모두 Expander Bus를 사용하며, 그림4에서 LIM, CIS, DSM, ASM(Analog Slave Module)에 해당되는 부분이다. LIM은 Data highway 구조의 통신 인터페이스 장치로 최대 500K Baud의 전송속도와 2Km의 전송 거리까지 데이타 통신이 가능하며, BIM과 LIM 한쌍으로 Redundancy를 제공할 수 있다. CIS

는 MFC가 PID 루프제어나 Sequence 제어를 할 수 있도록 신호 입출력을 제공해 주는 인터페이스 하드웨어로, 한 모듈당 담당하는 입출력은 4-20mA / 1-5V 아날로그 입력 4 채널 및 출력 2 채널, 0-24V DC 디지탈 입력 3채널 및 출력 4채널이다. 이외에 DSM은 Sequence 제어를 위한 8 또는 16 채널의 디지탈 입출력을 담당하고, ASM는 8 또는 16채널의 아날로그 레벨 신호나 RTD 신호의 입력을 담당한다.

Station 모듈은 Local panel 기능을 위한 장치로서, 단일 루프의 Bar 디스플레이와 자동/수동 절환 및 수동 조절을 위한 DCS와 Sequence 제어의 모니터링 및 조절을 위한 DLS 및 각종 지시계를 포함한 DIS 등이 있다.

(3) 소프트웨어 Configuration 및 프로세스 모니터링

PCU의 Software Configuration은 Local로 CTM의 key 조합을 통해 하는 방법과, MFC에 제공되는 Terminal 에 의해 BASIC Language를 사용하는 방법 및 Engineering Workstation(EWS)에서 High-level C Language 나 메뉴 드라이브 방식의 소프트웨어를 이용하여 작성된 Code를 PCU로 download 하는 방법 등 3가지가 있다.

또한 프로세스의 모니터링은 Plant Communication Loop를 통해 CIU(Communication Interface Unit)에 저장된 정보를 프로세스 컴퓨터가 접근하여 칼라 그래

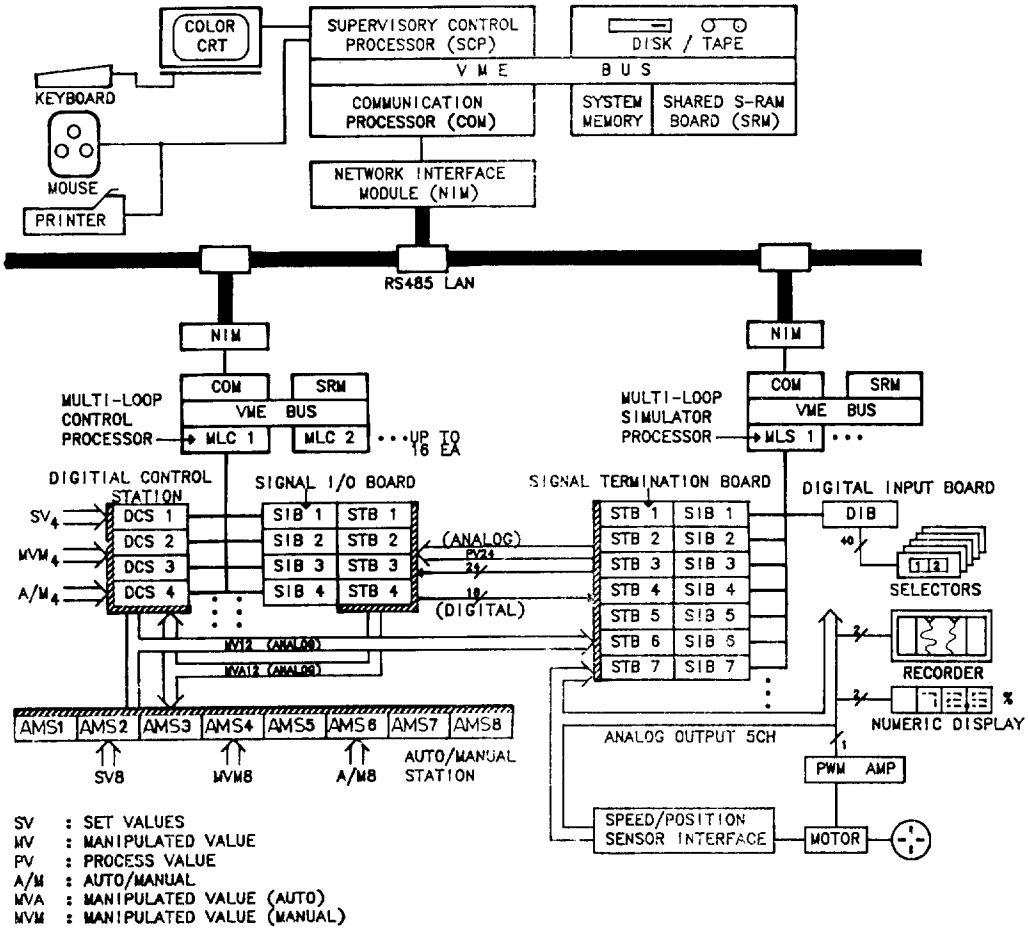

그림 5. 보일러 제어용 다중 루프 제어 시스템의 구성

픽 디스플레이하거나 데이타 Logging하는 방법을 취한다.

4. 발전소 보일러 제어용 다중 루프 제어 시스템의 구성 방안

발전소에서 보일러 시스템은 다중 루프 제어의 전형적인 응용예로서 통상 수십개의 feedback 제어 루프를 형성하는 대규모 시스템이므로, 이를 위한 제어 시스템은 계층구조를 갖는 분산 제어 시스템의 형태를 취하는 것이 바람직하다. 본 고에서는 발전소 보일러 제어를 위한 범용 다중 루프제어 시스템을 설계 구성하는 한 방안으로, 전체 제어시스템을 관리제어 서브시스템과 통신 서브시스템 및 공정제어 서브시스템의 3단계 계층으로 나누고, 각 서브시스템별로 확장성 및 신뢰성을 고려하여 그림5와 같은 다중 루프제어시스템을 제안한다. 그림5에 대해 계층적으로 기술해 보면 다음과 같다.

4.1 관리 제어 서브시스템(SCS : Supervisory Control Subsystem)

관리 제어 서브 시스템은 보일러의 다중 루프 제어 알고리즘을 구성하고 제어변수를 설정하는 Configuraton 기능, 제어 알고리즘의 실시간 파라미터 변경 기능, 칼라 그래픽 디스플레이를 통한 보일러 전체 제어 시스템의 운전 감시와 경보 및 Logging 기능 등의 관리 제어를 담당한다. 이러한 제반 기능을 수행하기 위한 하드웨어로 마이크로 컴퓨터 시스템과 디스크 / Tape 등의 보조 기억 장치 및 Color CRT / Keyboard / Mouse / Printer 등의 Man-machine 인터페이스 장치를 갖는다.

4.2 통신 서브시스템(CMS : Communication Subsystem)

통신 서브시스템은 관리 제어 서브시스템과 여러대의 공정 제어 서브시스템과의 사이에서 상호 데이타 교환 기능을 수행하며, 각 서브시스템당 NIM(Network Interface Module)과 COM(Communication Processor Module) 및 SRM(Shared RAM Module)의 하드웨어로 구성된다. 통신의 물리층은 RS-485 Multi-drop Bus를 채택하는데 최대 64K baud rate의 속도와 1200m의 거리까지 가능하도록 NIM에 인터페이스 하드웨어가 구성된다. 통신용 소프트웨어는 16비트 CPU 모듈인 COM 에 Tocken-passing 프로토콜로 구현되고, 통신용 데이타 베이스는 SRM에 저장되는데 일부의 데이타 보존을 위해 Battery Backup 장치를 사용한다.

4.3 공정제어 서브시스템(PCS : Process Control Subsystem)

공정제어 서브시스템은 실제 보일러 시스템의 다중 루프 제어를 직접 담당하는 부분으로, 다중 루프 제어 연산 및 주변 입출력 장치의 관리를 담당하는 MLC(-Multi- Loop Control Processor)와, 공정에 직면한 제반 신호의 입출력 하드웨어인 PIM(Process Interface Module) 및 Local panel 기능의 DCS(Digital Control Station)와 AMS(Auto / Manual Station)로 구성된다.

MLC는 MC68000을 CPU로 하고, 32KB / 64KB의 RAM, 32KB / 64KB의 NVM(Non Volatile Memory) 또는 EEROM, 64KB / 128KB의 EPROM을 내장하고 있으며, VMEbus를 Global Bus로 채택하여 최대 16개의 COM 및 SRM과 인터페이스된다. 또한 Local Bus를 통해 최대 16개의 PIM 및 DCS와 인터페이스되어 모듈들을 관장하고, Redundant MLC를 추가하여 고장시 Backup을 통하여 고 신뢰화된 시스템 구성이 가능하다. MLC의 EEROM에는 관리 제어 서브시스템으로부터 Configuration된 제어 알고리즘의 Function Code 배열 및 파라미터가 내장되고, EPROM에는 PID를 포함한 여러가지 제어 연산 및 신호 입출력 등의 기능을 갖는 Function Code Interpreter가 내장된다.

프로세스와의 신호 인터페이스를 담당하는 PIM은 SIB(Signal I / O Board)와 STB(Signal Termination Board)의 한쌍으로 이루어져, 한 모듈당 최대 4개 Loop를 담당하도록 아날로그 입력 12개와 출력 4개, 디지탈 입력 12개와 출력 4개가 할당된다. 이때 아날로그 신호는 4-20 mA / 1-5V, 디지탈 신호는 0-24V의 신호 Level을 갖는다. 특히, 다중 루프 제어에 있어 입출력 보드의 신뢰도가 매우 중요하므로 Local bus상에 한개의 Redundant SIB를 갖는다.

DCS와 AMS의 주요 기능은 Local panel 상에서의 자동 / 수동 절환 및 수동조작 기능인데, 특히 DCS의

경우는 설정치, 측정치, 조작치의 Bar graph 및 숫자 표시 기능을 추가하여 주요 루프에 대한 국부적인 모니터링 기능을 부여한다. DCS/AMS에서는 루프제어기의 신뢰도 개선을 위하여 제어 시스템 고장 발생시 자동 수동 절환 및 경보 기능과 Bumpless Transfer 기능이 내장된다.

제안된 다중 루프 제어 시스템에는 다중 루프 시뮬레이션 기능이 포함되어 있는데, 이는 MLC와 같은 하드웨어를 가지나 기능이 다른 MLS(Multi-Loop Simulator Processor)를 중심으로 SIB와 STB 및 통신용 하드웨어를 통해 다중 루프 시뮬레이션 알고리즘을 구성한다. 신호의 타당성 확인을 위하여 2 digit 신호 선택기와, 숫자 표시기, 2-pen Recorder, DC motor driver를 사용하는데, DC motor는 신호의 종류에 따라 밸브 또는 펌프의 모사로서 위치/속도 제어가 가능하다.

5. 결 론

현재 우리나라의 산업 발달의 추세에 발맞추어 전력 요구량도 크게 늘어나고 있어 전력플랜트의 풀 가동 및 증설이 필연적이나, 부가가치가 매우 높은 전력플랜트의 제어시스템은 거의 대부분 현재로서는 부품 수급이 어려운 아날로그식 제어 모듈을 사용하고 있고, 일부 디지탈 제어 방식을 사용하는 곳에서는 제어 시스템 전체가 턴 키 베이스로 도입된 것으로 보수 유지 및 기술 이전이 어렵다. 반면에 국내에서 개발중인 산업용 제어시스템은 주로 소규모 공정의 디지탈 Sequence 제어기와 일부의 아날로그 전자식 모듈이다. 따라서, 현 시점에서 전력플랜트용 디지탈 계장 제어 시스템의 개발에 대한 관심있는 연구와 투자는 매우 시급하고 중요한 일이다. 특히, 본 고에서 다룬 다중 루프제어 시스템은 주로 전력플랜트의 부하 운전 상태를 담당하므로 이에 대한 연구가 디지탈 계장 제어 시스템 개발의 첫 단계로 매우 가치있는 일이라 사료된다.

그러나 본 연구를 진행하기 위한 요소 기술들은 모두 국내기술로 충당하기에 부족하고 해당 연구에 대한 투자도 활발하지 못했기 때문에, 부분적으로 외국의 부품을 도입해야 할 필요가 있다. 또한 연구 개발품의 성능을 분석을 위해서는 발전소를 정확히 모사한 시뮬레이터의 사용이 불가피하나, 현재 국내 발전소 운전 자료만으로는 정확히 모델링이 어렵고, 사용 가능한 발전소 모델링 결과도 거의 전무한 상태이다. 외국에서 도입해야 하는 CPU Board 및 Bus 인터페이스 Board 등의 요소 기술은 그리 기술적인 어려움이 있는 것이 아니므로 해당 분야에 대한 투자의 활성화로 극복될 수 있고, 발전소의 정확한 모델링은 제어기의 성능 개선을 위해 필수적인 것이므로 발전소의 운전자료 보강 및 해당분야의 지속적인 연구가 필요하다고 본다.

참 고 문 헌

1) T.J.Williams, "The Development of Reliability in Industrial Control System," IEEE Micro, Dec. 1984, pp.66-80.
2) M.R.Buchner and I.Lefkowitz, "Distributed Computer Control for Industrial Process Systems : Characteristics, Attributes, and an Experimental Facility," IEEE Control Systems Magazine, Mar. 1982, pp.8-14.
3) 권욱현, 변대규, "프로그래머블 콘트롤러", 전기학회지 37권 4호, 1988년 4월, pp.29-40.
4) J.R.Leigh, Applied Digital Control, Prentice-Hall International, UK, LTD, 1985.
5) 자동화 기술 특집 "자동화의 핵심 PLC와 그 업계", 첨단(주), 1988년 1월호
6) 이창구, 김성중, "컴퓨터 공정제어", 전기학회지 35권 12호, 1986년 12월.
7) J.D.Schoeffler, "Distributed Computer Systems for Industrial Process Control", IEEE Computer, Feb. 1984, pp.11-18.
8) B.W.Weide, M.E.Brown, J.Ramanathan, K.Schwan, "Process Control : Integration and Design Methodology Support", IEEE Computer, Feb. 1984.
9) Bailey Network 90 : Short Specification, Baily Japan Co., Ltd., Feb. 1986.
10) A.Veith, H.Weskerink, "Instrumentation and Control in Utility Power Stations and Industrial Power Plants", German Technology Transfer Symposium, Seoul, 1986.
11) Hartmann & Braun, Contronic-3 Information System, Minden, Dec. 1986.