



분산제어 시스템의 이론과 실제(I)

글/최 병 옥(금성산전 연구소 선임연구원)

1. 서 론

1.1 자동화와 분산제어 시스템

분산제어 시스템 분야는 10여년전에 시작된 제어 이론으로서 1970년대에 저가의 마이크로 컴퓨터의 등장으로 탄생되었다. 이후 분산제어 시스템을 이용한 제어는 계속적으로 발전을 거듭하였으며 공정 제어의 전문분야에 널리 응용되고 있다. 분산제어의 응용분야는 화학공정, 정유시설, 철강산업, 시멘트공정, 펄프 및 종이 제조, 발전소, 폐수처리 및 가스공정 등에 광범위하게 사용되고 있다. 이러한 발전은 시스템 엔지니어링 분야에 있어서 기술과 이론의 발전에 따른 것이며 공정 및 제조 제어 문제를 해결하는 방법론으로 뿐만 아니라 이와 관련된 재정적, 구조적 문제를 해결하는 유용한 방법으로 사용된다. 따라서 최근에 건설되는 공정제어 플랜트에는 분산제어 시스템이 일반적으로 사용되고 있다.

분산제어 분야는 공정제어 기술자에게는 플랜트 생산성 향상, 향상된 제품의 품질 그리고 개선된 신뢰성과 안전성의 확보 및 조작의 유연성이라는 측면에서 기여하였고, 컴퓨터나 제어 기술자에게는 최근에 급속히 발달하는 컴퓨터 통신 및 제어이론의 응용을 현실화 시킬 수 있는 분야로 인식되고 있다. 이러한 이유로 분산제어 시스템 분야는 산업자동화로 안내하는 하나의 도구로 인식된다. 분산제어 시스템은 짧은 역사에도 불구하고 현재 통합된 정보 및 제어시스템을 제공하는 2세대에 들어서고 있다.

이와 같은 발전의 기본 요소는 방대하겠으나 크게 보아서

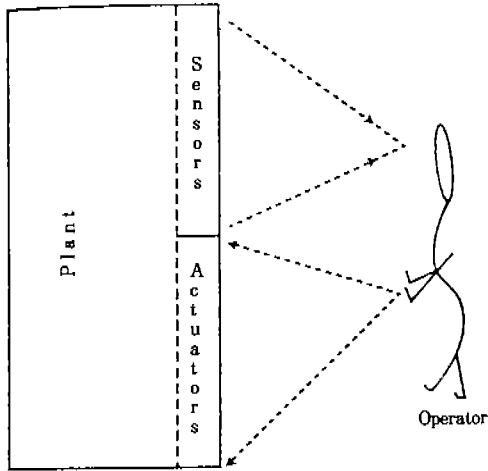
- 마이크로 프로세서, 메모리 및 관련 VLSI기술의 발전
- 지능적인 반도체 및 광학 센서의 개발
- 프로그램이 가능한 제어기의 등장
- 하드웨어 및 소프트웨어의 표준화
- 컴퓨터 기술의 발전
- 사용자 편의를 위한 대화적인 그래픽의 등장
- 데이터 통신 및 네트워크의 표준화
- 현대 제어 이론 및 시스템 이론의 정립
- 인공지능 및 인지 과학의 발달

등으로 볼 수 있다.

산업공정을 결정짓는 세가지 요소로는 물질, 에너지 및 정보로 볼 수 있다. 산업자동화는 정보의 흐름을 규명하고 원하는 목적에 맞추어서 최적의 방법으로 공정의 물질과 에너지 흐름을 조작하는 것이다. 이와 같은 자동화의 목적은 가용된 자원의 최적화, 제품 생산성 및 품질개선 그리고 나아가 플랜트의 안전성 확보 등에 있다. 이러한 생산자동화의 경제적 측면 뿐만 아니라 인간과 환경과 관련된 측면이 있는데 인간의 측면에서 보면 작업장의 인간화와 위험한 환경에서의 작업을 안전한 위치에서 조작만으로도 가능케 하여야 한다. 환경적 측면에서 자동화는 공기 및 수자원의 오염을 방지하여야 한다.

1.2 플랜트 자동화의 고전적 방법

초기의 산업 플랜트는 사람에 의하여 관제 및 제



<그림 1-1> 사람에 의한 직접적인 공정 제어

어가 이루어 졌다. 그림 1-1과 같이 국부적인 계속 장치에 의한 출력을 플랜트 근처에 위치한 사람에 의하여 제어가 이루어진다.

제어이론의 측면에서 본다면 20년대에는 대부분의 제어가 on-off에 기초하였다. 20년대 후반기에 비례제어가 사용되기 시작했으며, 30년대에 들어서 PID제어가 일반화 되었다. 그러나 제어기의 설계 및 제어 변수는 단지 직관에 의하여 이루어졌다.

제어기의 페루프에서 PID의 제어 변수의 조정 (Tuning) 문제에 대한 인식이 대두되었고 이러한 시작이 현대 제어이론으로 발전하게 되었다. 그러나 이러한 논리 및 순차 제어가 대부분이 릴레이에 기초하였고 60년대에 반도체의 등장 이전까지 제어기의 주종을 이루었다.

1.3 컴퓨터에 기초한 자동화

디지털 제어는 50년대까지의 주된 제어방식인 아날로그 제어를 대체하는 방법으로 등장하게 되었다. 디지털 제어는 데이터를 샘플하여 제어할 수 있다는 생각과 이 시대에 등장한 컴퓨터로 인하여 가능하게 되었으나 아직은 자동화에 사용될 수 있는 정도로 안정화 되지는 못하였다. 그리고 아날로그 회로와 동등한 성능을 갖기 위한 경비가 고가였기 때문에 사용화되지는 못하였다.

이러한 디지털 제어가 50년대 후반에 Texas에 있는 Port Arthur Refinery에서 합성제조공정에 RW-300 컴퓨터를 이용한 온라인 제어가 사용되면서

실용화가 되기 시작한다. 이러한 분야의 선구자로는 TRW와 Texco가 있으며 이 때 비로스 컴퓨터를 이용한 자동화가 생산성의 증가를 가져올 수 있다는 가능성이 보이기 시작하였다.

이 후로 컴퓨터는 괄목할 만한 성장을 이룩하였는데 다음과 같은 단계로 발전을 구분할 수 있겠다.

개척기: 1958-1964

중앙집중 컴퓨터시대: 1965-1970

미니 컴퓨터시대: 1971-1975

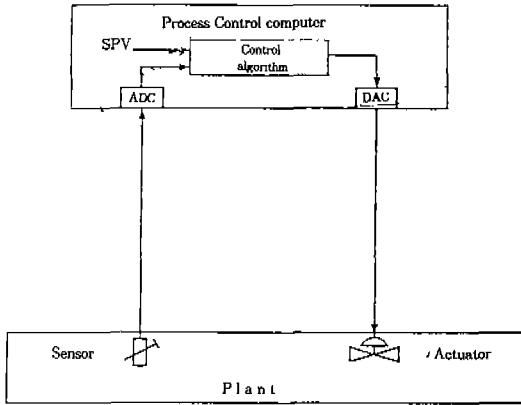
분산제어 시대: 1975이후

1960년대 이후에 디지털 컴퓨터가 Luling에 있는 Monsanto Plant에서 디지털 제어기로 적용되었다. 이 시기에 Ferranti ARGUS 컴퓨터가 영국에 있는 왕립 화학연구소의 모든 아날로그회로를 완전한 디지털 제어기로 변환하였다. 이것이 아날로그에 의한 공정제어를 디지털 제어기로 변환하는 시대의 시작을 예고하였으며 현재는 컴퓨터에 의한 직접적인 제어라는 말을 강조하기 위하여 디지털 직접제어 (Direct Digital Control)라는 용어가 보편화 되었다.

이 시대의 컴퓨터인 IBM 1800, CDC 1700, SDS의 Sigma계열, DEC PDP 등은 고가였으며 Core와 Drum Memory 구조였다. 비록 이러한 컴퓨터가 DDC 및 관제 제어를 하나의 컴퓨터에서 수행할 수 있다고는 하나 프로그램 방법의 어려움으로 인하여 보편화되지 못하였다. 이러한 문제는 60대 후반에 등장한 DDC언어와 다른 프로그래밍 방법의 등장으로 해결되었으나 아직까지는 발전된 제어이론을 수행하지는 못하였다.

디지털 컴퓨터가 신뢰성이나 프로그램 방법에서 여러가지 문제가 있었으나 반도체 기술의 발전과 신뢰성 있는 컴퓨터의 등장으로 점차 보편화되기 시작하였으며, 미니컴퓨터라는 새로운 컴퓨터의 등장으로 DDC는 새로운 시대를 맞이하게 되었다. 초기의 미니 컴퓨터는 DDC로 사용하기에는 용량이 부족하였으나 70년대 초에 발표된 DEC PDP 11는 DDC 응용의 가장 좋은 해결책이 되었다. 이 시기에 미니컴퓨터가 DDC에 적용된 수는 1970년대에 5000대에서 1975에는 50,000으로 급격하게 증대되었다.

DDC의 기본은 다수의 아날로그 제어기를 하나의 컴퓨터내에 구현한 것이다. 그림 1-2와 같이 공정 제어 컴퓨터는 기존의 수많은 아날로그 제어기를 하



<그림 1-2> 기본적인 DDC구조

나의 페루프로 구성하며 센서에 의하여 측정된 공정의 출력을 이용하여 원하는 값(Set Point Value)으로 제어 알고리즘이 수행된다.

DDC는 기존의 아날로그 제어에 비하여 아래와 같은 여러가지의 장점을 제공한다.

- 제어 루프 구성의 용이성 및 재구성성의 편리성
- 제어기 변수의 용이한 자체 적응성
- 고등 제어 이론의 실현 가능성
- 모델에 기초한 최적의 도달치 계산
- 용이한 데이터 수집 및 표현

위와 같은 장점에 비하여 하나의 중앙 집중된 컴퓨터에 의한 제어기는 다음과 같은 단점을 갖고 있다.

- 시스템 고장시의 안전성
- 디지털 제어 루프의 고장으로 인한 컴퓨터의 고장
- 고가의 투자 및 유지비 그리고 프로그래밍을 포함한 개인적 비용
- CPU의 과부하 및 DDC의 공정 자동화를 수행할 경우의 어려움

이러한 단점은 현재 컴퓨터 기술의 발전과 함께 이중화 시스템(Twin Computer Concept, Back Up Computer)의 등장으로 많이 해결되었다.

1.4 분산 컴퓨터 제어

60년대 미니컴퓨터의 응용은 많은 제어 문제에 있어서 너무 고가의 해결책이었다. 특히 그 당시에 릴레이로 구현되었던 논리적 순차제어를 구현하는데 어려움이 있었다. 이러한 문제는 PLC(Programma-

ble Logic Controller)의 등장으로 해결되었는데 이 새로운 제어기는 프로그램이 가능하고 재구성성이 용이하며, 또한 신뢰성이 있고 가격도 저가로 릴레이 시스템을 대체하는데 적격이었다.

최초의 PLC는 1970년에 1024의 I/O와 12K의 메모리를 갖고 있었다. 이 제어기는 후반기에 내부 하드웨어의 변화와 더불어 모든 컴퓨터 명령어가 수행되었으며 따라서 일괄 공정에서의 순차적 논리적 제어뿐 아니라 계산과 작업의 수행을 동시에 만족하게 되었다. 이 후로는 데이터 통신이 급격하게 발전함으로 인해 원격에서의 I/O조작 등이 가능하게 되었고 비로서 통합화된 자동화 시스템을 구성하게 되었다.

분산컴퓨터제어 시스템은 1975년에 Honeywell에서 처음으로 발표되었는데 다수의 마이크로 컴퓨터를 이용한 계층적인 제어구조를 이루고 있다. 응용 사례들은 분산제어 시스템이 제어논리 및 순차회로 성능을 구현하는데 유용한 방법임을 보였다. 80년대에 들어서 하드웨어의 표준화와 소프트웨어의 범용성이 확보됨에 따라 Back Plane 및 네트워크를 이용한 제어회로가 복잡하고 계층적인 시스템을 분산제어 시스템으로 구성하여 자동화 시스템을 확보할 수 있었다. 이와 함께 하드웨어 및 소프트웨어의 모듈화 개념의 확산으로 인하여 개발에서의 시간과 비용을 단축하게 되었다. 더욱이 응용 제어 및 신호처리를 위한 소프트웨어의 표준화로 인하여 다양한 응용에의 적응이 용이하게 되었다. 표준화된 소프트웨어의 기능으로는

- 입력신호 조건 처리
- 유용성 확인
- 단위적인 변환
- 선형화
- 디지털 필터 기술
- 평균화 및 인터플레이션
- 최대치 서치 및 추적
- 펄스 및 디지털 신호처리
- 한계치 확인 및 경고기능
- 경향확인 및 모니터링
- 개회로 및 폐회로 제어
- 데이터 처리

등이 있다. 이러한 소프트웨어는 라이브러리 및 함수로서 많은 응용분야에 사용되고 있다.

소프트웨어의 발전과 더불어 분산제어 시스템의 응용이 가능하게 된 주된 요인은 반도체의 발전으로 볼 수 있다. 반도체의 발전은 목적에 맞는 최적의 회로를 설계할 수 있게 되었으며 고기능은 실시간 제어 언어의 구현이 가능하게 하였다. 현재 분산제어 시스템은 거의 모든 자동화 시스템에 응용되고 있으며 상용화되고 있는 대표적인 시스템을 소개하면 다음과 같다.

- ASEA MASTER : ASES
- CENTUM : Yokogawa
- CONTRONIC P : Hartman and Braun
- DCI 4000 : Fischer and Porter
- HIACS 3000 : Hitachi
- LOGISTAT CP 80 : AEG
- MAX I : Leeds & Northrup
- MICON MDC 200 : VDO
- MOD 300 : Taylor Instruments
- NETWORK 90 : Bailey Controls
- P 4000 : Kent
- PCS 8000 : Philips
- PLS 80 : Eckardt
- PMS : Ferranti
- PROCONTROL I : BBC
- PROVOX : Fisger Controls
- SPECTRUM : Foxboro
- SYSTEM 6000 : Turnbull Control Systems
- SYSTEM R33 : Rosemount Engineering
- TDC 3000 : Honeywell
- TELEPERM M : Siemens
- TOSDIC : Toshiba

이러한 응용 예는 다음에 자세히 소개하겠으며 국내에서도 금성산전, 삼성데이터시스템 등에서 분산제어 시스템 제품을 출시하고 있다. 또한 학교에서도 많은 연구가 진행되고 있으며 발전소 시스템 등에 응용되는 연구가 산학협동으로 수행되는 실정이다.

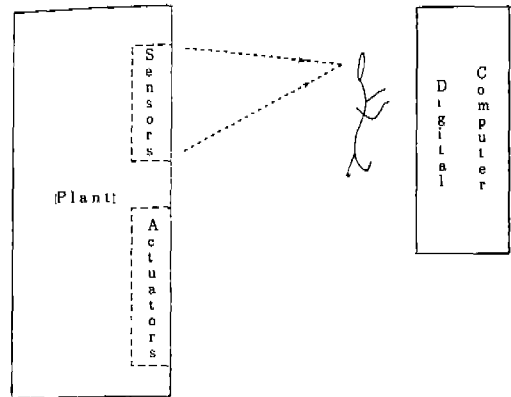
2. 시스템 구조

시스템 구조(System Architecture, System Structure)는 시스템이 어떻게 구성되어 있는나 하는 것이다. 시스템 구성이라고 하는 것은 자동화의 제어를 어떠한 개념에서 구현하느냐 하는 관점에서 관찰될 수 있으며 시스템 소프트웨어와 하드웨어로

구성된다.

2.1 계층적 시스템 구조의 발전

디지털 컴퓨터는 공정제어에 사용되기 이전에는 단지 플랜트나 실험실의 데이터를 수집하고 처리하는 용으로 사용되었다. 초기의 컴퓨터에 기초한 자동화에서 사람은 공전의 계기로부터 관찰한 데이터에 의하여 필요한 입력을 카드나 테이프를 이용하여 컴퓨터에 입력을 하여야 했다. 이러한 자동화를 온라인이라고 일컬으며 그림 2·1에 있는 것과 같이 최적화나 원하는 값의 처리 또는 액추에이터로의 필요한 출력은 불가능하였다. 이런 의미에서 초기의 컴퓨터에 기초한 자동화 응용사례를 off-line, open-loop 응용이라고 부른다.



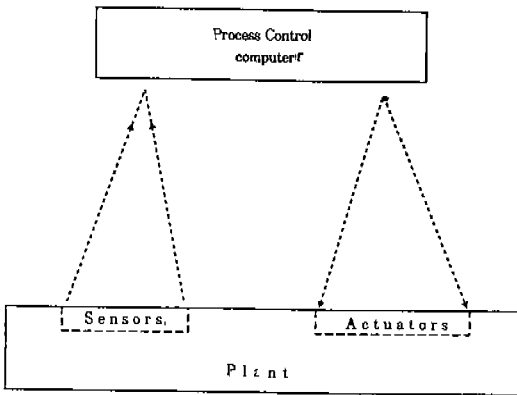
<그림 2·1> Off-line, Open-loop 컴퓨터 응용

공정 자동화의 다음 단계는 아날로그 제어기의 원하는 값의 계산이나 플랜트 액추에이터의 값을 계산하는 도구로 확장되었다. 그러나 이 단계에서도 계산된 값은 사람에 의하여 제어기에 입력되었고 off-loop가 사람에 의하여 이루어지기 때문에 이러한 구조를 off-line, closed-loop 제어기라고 칭한다. 이와 같은 off-line 방식에서는 얻어진 데이터를 이용하여 필요한 입력값을 계산하는데 시간이 필요하게 되며 실시간의 처리가 필요하지 않는 공정제어에 응용되었다. 현재는 off-line, closed-loop 구조의 제어기는 컴퓨터 응용으로 계획되지는 않는다.

50년대 후반에 이르러 컴퓨터는 제어기의 인터페이스, 즉 데이터 수집이나 처리용으로 사용되기 시

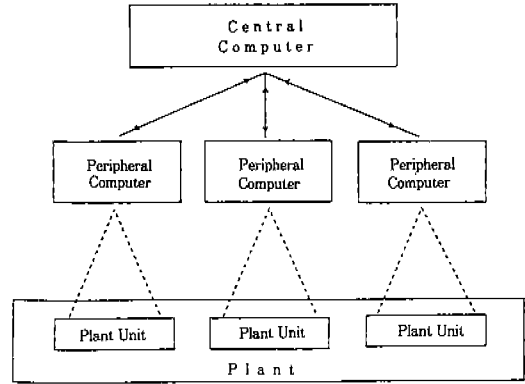
작했으나 아직은 얻어진 데이터를 이용하여 필요한 액추에이터 출력은 조작자에 의존하는 단계에 있었다. 이러한 제어계를 on-line, open-loop 구조이며 데이터 수집이나 플랜트 관리 및 모니터링으로 컴퓨터가 사용되었다. 여기서의 on-line의 개념은 단지 데이터 수집의 의미이며 이러한 구조는 단지 플랜트의 측정 장비와 컴퓨터를 물리적으로 연결한 것에 불과하다. 그러나 후반기에 비로서 플랜트 측정의 최종 기구인 센서 및 액추에이터와 컴퓨터의 접속이 시도되었다. 결과적으로 시스템 구조는 그림 2·2와 같은 on-line, closed-loop를 형성하게 되었다. 이러한 구조가 현재까지 DDC 및 관계제어에 이르는 모든 컴퓨터 응용의 보편적인 구조가 되었다.

SYSTEM ARCHITECTURE



<그림 2·2> On-line, closed-loop 제어기

플랜트 제어에 응용되는 컴퓨터가 특별한 용도 및 명확하게 지정된 문제(data acquisition, data processing, process monitoring, supervisory or direct digital control)에 사용될 경우의 컴퓨터를 전용화된 컴퓨터(dedicated computer)라고 하며 플랜트 내에서 각각의 작업에 할당된다. 그런데 이 시기에 있어서 각각의 컴퓨터 간에 데이터 전송은 이루어지지 않았다. 이와 같은 컴퓨터 간의 데이터 전송은 중앙 집중화된 컴퓨터의 보편화와 더불어 자동화 시스템의 가장 보편화된 구조가 되었다. 따라서 컴퓨터간의 전송은 중앙 컴퓨터에 의해서만 가능한 구조를 이루고 있다.



<그림 2·3> 전용 컴퓨터의 중앙 집중화

중앙 컴퓨터는 대부분의 공장에서 컴퓨터실에 위치하며 다음과 같은 작업을 수행하게 된다.

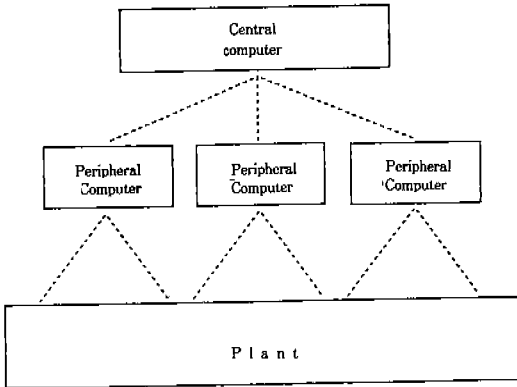
- process monitoring
- data acquisition
- alarming and logging
- data processing
- data archivation
- process control

때로는 작업공정의 계획 및 관리도 동시에 수행하며 70년대 후반 이후 가장 보편화된 구조를 이루고 있다. 중앙 집중화된 컴퓨터 시스템을 산업 자동화에 사용하는데 있어서 가장 중요한 문제점은 계산 속도와 신뢰성 문제이다. 또한 플랜트에 있는 모든 장치들이 기존의 제어기와 마찬가지로 모두 컴퓨터로 연결되어야만 한다. 따라서 수 많은 연결선이 플랜트와 컴퓨터간에 필요하게 된다. 이러한 필요성에 의하여 설비의 경비와 함께 기능의 집중화로 인하여 컴퓨터의 고장으로 인한 전체 시스템의 장애는 커다란 문제점이 된다. 따라서 시스템 엔지니어들은 이러한 문제점을 해결하기 위한 여러가지 방법에 대하여 연구하게 되었으며 두가지의 방법이 있는데

- 신뢰성이 매우 높은 컴퓨터의 생산
- 효과적인 백업 시스템에 의한 신뢰성 확보에 많은 노력이 기울여져 왔다.

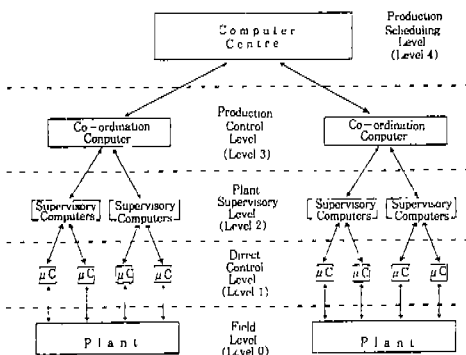
70년대 이후 컴퓨터는 상당한 수준의 신뢰성과 저가의 제조비에 의하여 공급되었으나 중앙 컴퓨터 이외에는 중간 레벨의 컴퓨터는 자동화에 충분히 대응하게 됨으로써 그림 2·4와 같은 계층적 구조의 제어

시스템 구조가 등장하게 되었다. 이러한 구조는 비 집중화된 컴퓨터 구조로서 다중 컴퓨터에 의하여 구성된다. 다중 컴퓨터 구조는 비교적 규모가 적은 자동화 시스템에 적합하는데 이는 중앙 컴퓨터에 과중한 부하가 집중되기 때문이다.



<그림 2-4> 비집중화된 컴퓨터 시스템

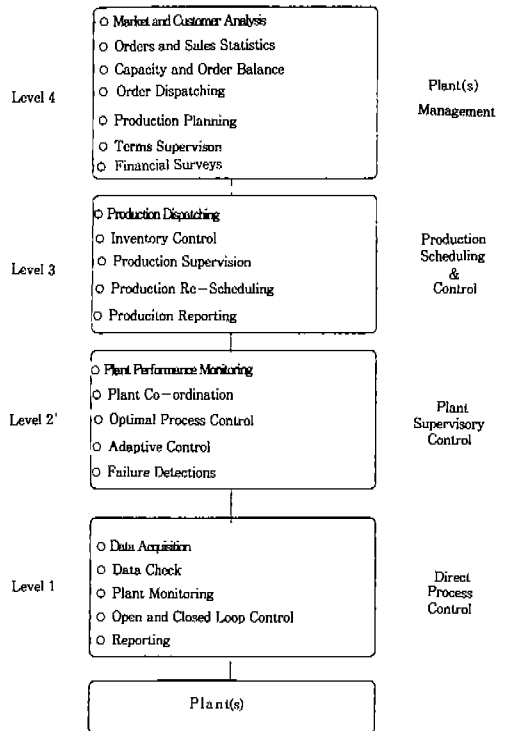
계층적 구조의 제어시스템은 레벨의 구성에 따라 여러가지로 변화할 수 있으며 일반적으로 그림 2-5에서 보면 5단계로 구분할 수 있다. 플랜트 자동화에 대한 다중 컴퓨터시스템의 등장은 70년대 후반에 들어서 계층적 분산시스템 구조로 발전되었다. 기능적 계층인 레벨 1에서 직접적인 플랜트와의 접속이 이루어지며 최고의 계층은 공장의 중앙 컴퓨터에서 이루어진다. 각각의 레벨에서의 기능은 다음장에서 자세히 살펴보기로 한다.



<그림 2-5> 계층적 시스템 레벨

2.2. 계층별 기능

비집중화되고 계층적인 구조를 갖는 컴퓨터 시스템 구조는 개별적인 기능별 계층으로 분류될 수 있다. 계층별 구조를 그림 2-6과 같이 나타낼 수 있는데 직접적인 공정제어와 관계제어 그리고 계획 및 관리의 계층으로 분류가 가능하다. 각 계층에서의 제어 수행은 상위 계층에 의하여 통제된다. 예를 들면 가장 하위 계층인 DDC 계층에서 센서 및 액추에이터와의 제어관리는 규정된 제어 개념이 구현된 상층 레벨에 의하여 제어가 이루어진다. 즉 최적의 목적치는 바로 위의 계층인 관계제어 계층에서 관리되며 이 계층에서 최적화 방침이 구현되었다.



<그림 2-6> 시스템 계층의 자동화 기능

비록 시스템 계층의 분리는 여러가지의 기능별 분류가 가능하겠지만 그림과 같은 4계층으로 분리한다.

- 계층 1: Direct process control
- 계층 2: Plant supervisory control
- 계층 3: Production scheduling and control
- 계층 4: Plant Management

2.2.1. 직접적인 프로세스 제어 계층

이 계층은 자동화의 최하위 계층으로서 프로세스와 직접적인 관계에 의하여 최종적인 제어를 수행하는데 기능을 보며

- 각 프로세스 변수의 순시적인 값과 플랜트 제어 기구(valves, pumps, motors, etc.)상태의 정보수집
- 플랜트의 모니터링 및 시스템 진단기능을 수행
- 데이터의 처리 및 필요한 추론의 결정 그리고 데이터의 적합성 판단
- 상위 계층에서 지시된 off-loop 또는 open-off의 제어를 수행한다.

2.2.2. 데이터 계층

관제제어계층(supervisory control level)에서는 최적의 플랜트 작업조건을 결정하며 이에 필요한 지시를 하위 계층에 전달한다. 이 계층에서는 다음과 같은 작업을 수행한다.

- 주어진 프로세스의 모델 및 원하는 제어목적에 맞추어 최적의 프로세스 제어수행
- 직접적인 프로세스 제어계층과의 통신을 통하여 디지털 제어기의 최적치에 부합하는 적응제어 수행
- 플랜트 생산성, 자재, 에너지 등에 기초하여 최적의 판단기준을 이루기 위한 플랜트간 협조실시
- 플랜트 성능 모니터링, 고장의 관리 및 보고 그리고 하위 계층의 지원

2.2.3. 생산 계획 및 계층

생산계획 및 제어계층(Production Scheduling and Control Level)에서는 시스템 및 제어 엔지니어 보다는 OR(Operational Research)분야에 가까운 작업을 수행한다. 자동화에서 수요자의 요구, 공장상황, 에너지 수요 및 제한요건 등을 고려하여 각각의 플랜트에 최적의 생산계획을 수행한다. 또한 상황에 적합하게 재 계획 및 유연한 생산의 변화 등으로 플랜트 자동화의 기능을 최대화 한다. 생산계획은 수요자의 요구 변화나 예기치 않은 상황의 발생 등으로 인하여 변경이 불가피한 경우가 발생하며 이러한 목적을 위하여 매우 복잡한 기능의 제어 알고리즘이 이 계층에 구현되어야 한다. 또한 생산성의 모니터링 및 보고 등이 수행되며 가장 높은 수준의 신뢰성과 시스템이 요구되기도 한다. 규모가 작은 시스템에서는 이 계층이 최상위의 제어계층이 된다.

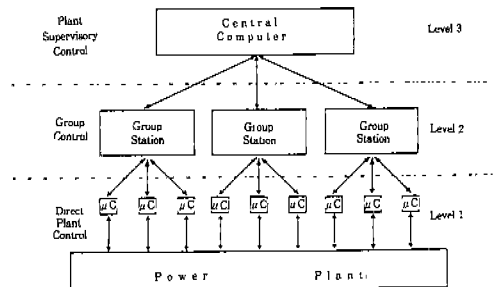
2.2.4. 플랜트 관리 계층

계층적 자동화 시스템 최상위 계층으로서 다양한

조건변화에 대하여 경제적 인적자원 등과 관련하여 생산성에 관한 복잡한 소프트웨어가 구현된다. 이 계층에서 회사의 관리, 판매 및 플랜트 조건에 비추어서 최적의 생산성을 유지하기 위한 방침을 결정한다. 가장 대표적인 기능으로는

- 시장 분석
- 수요자의 정보수집
- 주문관리
- 판매 및 생산계획
- 계약판매
- 주문수주 및 계약기간 관리
- 생산공장간의 조절
- 가격계산 및 결정
- 생산능력과 주문의 균형유지
- 생산 및 납기기간 관리
- 생산, 주문 및 계약보고
- 생산성, 수익률 및 재정적 관련 자료 보고

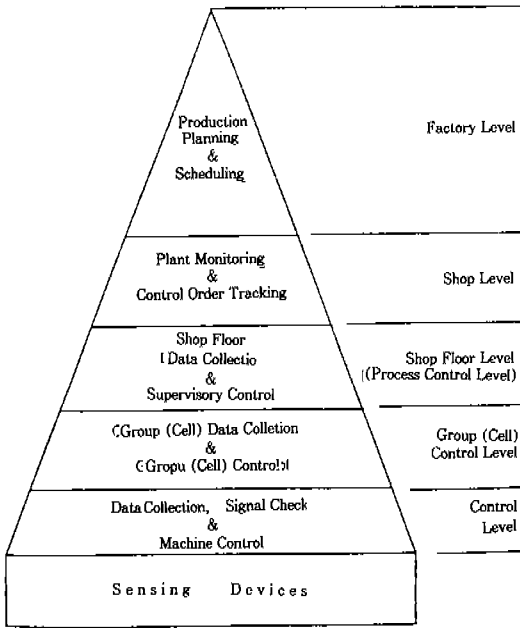
지금까지 살펴본 계층적 시스템 구조는 응용에 따라 다른 모습을 가질 수 있는데 대표적으로 발전소와 제조 공정의 자동화 사례를 살펴본다. 발전소에서는 DDC 계층과 공장의 관제제어 계층의 중간에 군 제어(Group Control) 계층이 존재한다. 이와 같은 발전소에서의 자동화 계층 구조를 그림 2·7에 나타내었다.



<그림 2·7> 군제어 계층의 위치

제조산업에 있어서 자동화 시스템의 구조는 발전소 시스템과 유사한데 상위계층은 상당한 차이를 나타낸다. 그림 2·8에서 통합화된 자동화 시스템의 특징은 상절 계층이 존재한다는 것이다. 이와 같은 자동화 시스템의 계층구조를 고찰함으로써 필요한 응용에 적합한 시스템 구조를 결정지을 수 있다. 현대

에 있어서 자동화의 가장 큰 관건은 효율적이고 생산성 향상을 위한 적절한 기능의 분배가 조화를 이룬 시스템 구조를 결정짓는 것이다.

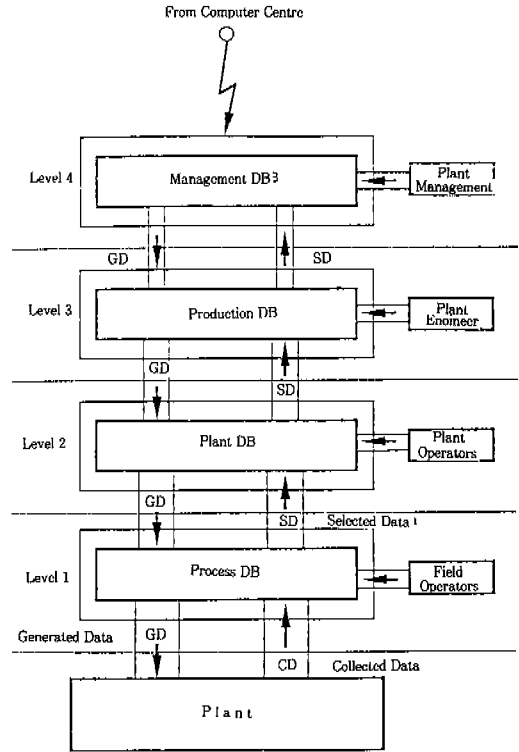


<그림 2-8> 제조 자동화의 계층적 구조

2.3. 데이터 베이스 구조

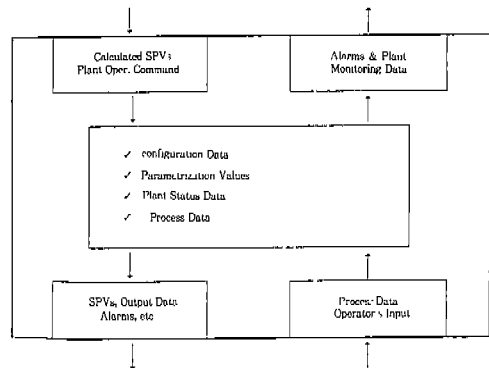
지금까지 시스템 구조에 대하여 살펴보았다. 그러면 각 시스템 구조에서 필요한 데이터 베이스의 구성에 대하여 논의하도록 한다. 계층적 구조에서 이웃하는 계층간에는 필요한 정보의 교환이 이루어져야 하며 또한 각 계층에서 필요한 정보를 외부로부터 입력받아야만 된다. 또한 각 계층에서는 단기적이든 장기적이든 간에 필요한 정보의 데이터가 필요하게 된다. 계층별 데이터 베이스 구조를 그림 2-9에 나타내었다. 데이터 베이스는 화일의 형태로 보관되며 데이터 구조, 외부 및 내부 변수의 구성 그리고 각 데이터의 관계 및 데이터의 생성, 수집의 관계는 다음에 살펴 보기로 한다.

계층에서의 데이터 베이스에서 수집된 데이터나 생성된 데이터는 구현된 기능에 적합하게 동작하여야 하며 상위계층으로는 플랜트의 상태 정보나 제어 변수의 값을 전달하여야 하며 반대방향으로는 제어에 필요한 결정이 지지되어야 한다. 그리고 그림 2-10에 있는 프로세스 제어 계층에서 데이터 베이스는

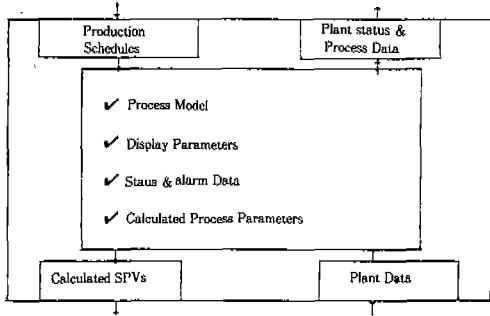


<그림 2-9> 계층별 데이터 베이스 구조

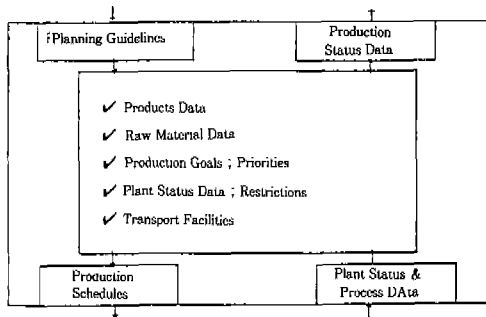
실시간을 요구하는 경우가 종종 있다. 따라서 데이터 베이스는 단기적인 내용이 ROM(Random Access Memory)을 이용하게 되며 장기적으로 항상 유지되어야 할 정보는 ROM(Read Only Memory)에 저장되게 된다. 여기서는 각 계층별로 필요한 데이터 베이스의 내용을 소개하도록 하겠으며 자세한 설명은 생략하기로 한다.



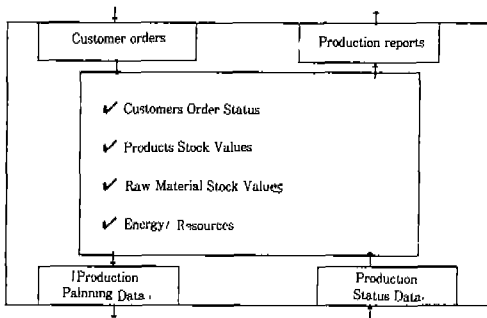
<그림 2-10> 프로세스 제어 계층의 데이터 베이스



<그림 2-11> 관제제어계층의 데이터 베이스



<그림 2-12> 생산 계획 및 제어계층의 데이터 베이스



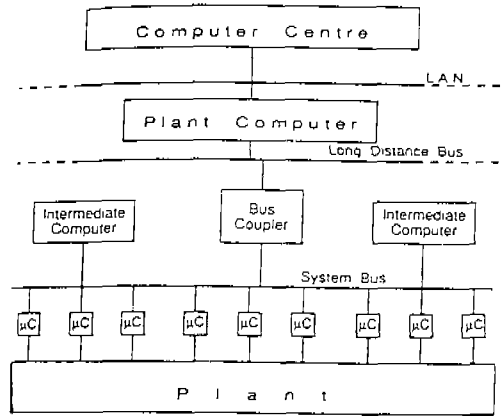
<그림 2-13> 관리계층의 데이터 베이스

2.4. 시스템 구현 방법

분산되고 계층적으로 구성된 자동화 시스템은 본질적으로 복잡하며 구성이 다양하게 나타난다. 이러한 목적에 맞추어서 구성된 시스템은 여러 컴퓨터를 사용하게 되는데 여기에는 하드웨어 인터페이스와 소프트웨어의 호환성이 중요한 문제로 대두된다. 근래에 이르러서는 하나의 시스템으로 컴퓨터가 고조

화되어 판매가 되기도하나 이러한 경우 경제적인 문제와 응용예에의 적합성이 역시 문제로 대두된다. 따라서 시스템 엔지니어는 필요한 목적에 맞추어 시스템을 구현하여야 하는데 여기서는 주로 시스템간의 통신 및 인터페이스 관점에서 간략히 소개하기로 한다.

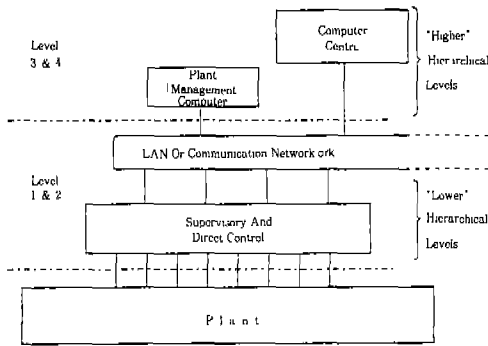
시스템 구성은 앞에서 논의하였는데 계층적 구조의 분산제어 시스템의 4계층을 구현하는 방법으로 가장 보편화된 2가지 방법은 Bus에 기초한 방법과 Network에 기초한 방법이 있겠다. 이는 컴퓨터간을 직접적으로 연결하는 방법이며 물론 여기서 소개하는 방법이 유일한 방법은 아니며 적절한 조합에 의하여 구현된다. 그림 2-15에 70년대 후반부터 일반화된 단거리 및 장거리 구조를 이용한 시스템 구현 방법을 나타내었다. 이러한 Bus구조는 다중 컴퓨터 시스템을 이용하여 자동화 시스템을 구현하는 유용한 방법으로 사용되고 있으며 이러한 이유로 가장 일반화된 구조로 볼 수 있다.



<그림 2-14> Bus를 이용한 계층적 시스템

비교적 작은 규모의 자동화 시스템은 계층구조를 2개만 이용하여도 구현이 가능한데 하나는 직접적인 프로세스 제어계층이며 하나는 생산계획과 관리를 통합화한 계층으로 구성된다. 물론 생산계획 및 관리는 컴퓨터 센터에 위치한 다른 컴퓨터를 이용하여서도 구현이 가능하다. LAN이나 일반화된 네트워크 시스템에 기초한 시스템(MOD 300, HIACS-3000, PRO-CONTROL I, TELETERM M ect.)에서 완전한 제어 시스템은 컴퓨터 네트워크에 의하여

구분된다. 그림 2-15는 계층을 통합화한 자동화 시스템을 나타내며 상위 계층의 컴퓨터는 외부의 컴퓨터와 네트워크로 연결이 가능하다. 이와 비슷한 시스템으로 DCI 5000(Fischer and Porter), TDC 3000(Honeywell) 및 PLS 80(Eckardt) 등이 있다.



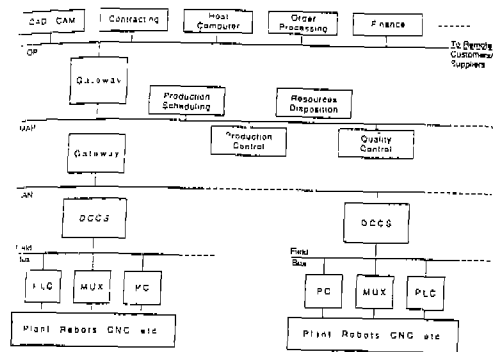
<그림 2-15> LAN 또는 통신 네트워크에 기초한 계층 구조 시스템

데이터 통신 및 컴퓨터 네트워크 분야는 현재 통합정보시스템(Integrated Information System)으로 향하고 있으며 프로세스나 플랜트 등이 통합화된 자동화 시스템으로 구성돼 가고 있다. 이와 같은 산업 자동화의 네트워크 방법은 여러가지가 있으나 IBM에서 제창하는 IBM Token Ring 및 IBM PC 네트워크 그리고 LAN이 있으며 산업 자동화의 해결방법으로 현재 활발히 연구되고 표준화되는 MAP(Manufacturing Automation Protocol)이 공정 자동화의 통신 프로토콜로 자리잡고 있다. 따라서 향후 CIM(Computer Integrated Manufacturing) 및 ICAM(Integrated Computer Aided Manufacturing)이 제조공정의 자동화 시스템으로 보편화될 것이다. 이러한 자동화 시스템의 가장 보편화된 일례를 그림 2-16에 나타내었다.

CIM의 개념을 다음과 같은 구조적인 특징을 갖고 있다.

- 제조 공정의 기능적 세분화
- 생산제품의 변화에 대한 유연한 대처능력 보유
- 생산과 수용자 및 자원의 효율에 대한 적절한 대처능력 보유

따라서 매우 유연한 자동화 구조를 이루며 생산, 판매, 제조 및 관리가 통합적으로 이루어지는 시스



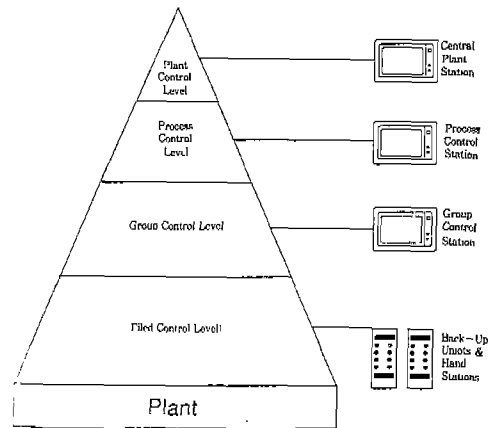
<그림 2-16> ICAM(Integrated Computer Aided Manufacturing)

템을 말한다.

2.5. Human Interface

현대 자동화 시스템에 있어서 컴퓨터 시스템과 자동화 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어를 조작자가 쉽게 조작하고 관리하는 조작자간의 인터페이스가 매우 중요하게 된다. 이러한 개념을 Man-Machine Interface라고 하며 주로 다음과 같은 기능을 구현하여야 한다.

- Computer-Operator Interface
- Plant Operator Interface
- Production Monitoring Interface
- External Planning Interface
- External Interface



<그림 2-17> 모니터링 기능의 계층적 구조

계층적 시스템 구조에 있어서 모니터링 시스템도 플랜트내에 분산되어 있으며 계층에 적합한 기능을 수행하게 된다. 이들은 서로 다른 자동화 계층에 있으며 자기가 위치한 계층에 적합한 관리를 수행하게 된다. 각 계층에서의 기능은 전장에서 설명하였으며 모니터링 기능의 계층적 구조는 그림 2.17과 같다.

3. 시스템 구성요소

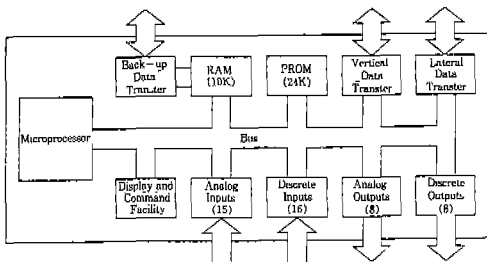
자동화 시스템의 구성요소는 일반화가 되어 있지 않으며 일률적으로 분류한다는 것이 불가능하다. 따라서 상업화되고 있는 분산제어 시스템을 비교 분석함으로써 구성 요소를 가능한한 분리할 수 있다. 여기서는 계층별로 비교 분석을 하도록 한다.

3.1. 필드 스테이션(Field Stations)

분산제어 시스템에서 최하층에 위치하여 플랜트와 직접적인 제어를 수행하는 계층으로 가장 자동화가 필요한 계층이며 주로 외부와의 연결 점수와 제어 방법에 의하여 구분이 된다. 플랜트와의 접속을 위하여 모듈구조를 이루며 주로 Bus에 의하여 모듈간의 통신이 이루어지고 다른 한편으로는 시스템과 연결돼 있다. 주된 기능으로는

- 아날로그 및 디지털 신호의 수집 및 처리
- 경고 메시지의 기록 및 모니터
- 제어기능의 수행

이러한 목적을 위하여 모듈화된 내부 Bus 구조를 가지며 CPU에 기초한 자동화 시스템임을 그림 3.1을 통하여 알 수 있다.



<그림 3.1> MICON P-200(VDO)의 내부 구조

그림에 보인 Field Station은 CPU에 기초한 구조로 프로세스 입출력에 의하여 앞에서 언급한 기능을 수행한다. 내부에는 메모리 구조가 존재하며 이러한 입출력과 메모리 그리고 CPU는 시스템 버스에 의하

여 연결돼 있다. 그리고 외부와 또다른 버스에 의하여 데이터를 전송할 수 있는 구조를 갖는다. 이러한 Field Station은 응용에 따라서 다양한 구조를 가지며 현재 상용화되고 있는 제품들은 일정한 범위의 입출력 제어 능력을 가지고 있기 때문에 필요한 목적에 맞추어서 사용할 수 있다.

Field Station에서의 아날로그 입출력을 보면 통상적으로 4,8,16,48 또는 64점이며 128(RS-3, TDC 3000)과 (Centrum, PDPF, MOD 300, AS 215, P 4000), 1024(AS 220, AS 230, ASEA MASTER) 그리고 1024가 넘는 입출력을 갖는 (Procontrol I, A 500) 등도 있다. 그리고 디지털 입출력으로는 통상적으로는 2,4,8,16 및 256의 입출력을 가지나 512(WDPF, Centum, Asea Mater, Network 90)의 입출력을 갖는 시스템과 1024이상의 입출력을 갖고 있는 시스템(AS 230:50240/3360, A 500:4096)도 있다. 이와 같은 통상적인 아날로그 및 디지털 입출력외에 특별한 목적, 즉 타이머, 카운터, 모터제어, 모터출력 등을 수행하기 위한 특별한 목적의 디지털 입출력을 갖는 시스템도 있다.

언급한 바와 같이 Field Station은 프로세스와 직접적인 제어와 데이터 수집을 수행하는 가장 낮은 계층에 존재한다. 이러한 DCS는 분산제어 시스템에서는 다수가 존재하는데 통상적으로는 32개를 넘지는 않는다. 그러나 대형 시스템에서는 250개까지도 있다. 따라서 각 시스템을 통합하여 상위계층으로의 데이터 전송방법이 시스템의 성능이나 구성을 특징 지을 수 있는데 현재 가장 보편적인 통신 방법을 기존의 제품을 이용하여 설명한다.

V.24(PC-80, ASEA MASTER, TDC 3000, RS-3, AS 215)

RS 232 C (NETWORK 90, PLS 80, TDC 3000, WDPF, CENTUM, etc.)

RS 485(P 4000, RS-3, WDPF)

IEE 488(NETWORK 90, PLS 80)

BITBUS (A 500)

MODBUS (ASEA MASTER, PLS 80, TDC 3000, RS-3, MOD 300, MICON)

MAP/ETHERNET (ASEA MASTER, RS-3, MOD 300, WDPF)

이외에 여러가지의 분산제어 시스템이 있으며 주

로 입출력의 구성이나 통신 방법 등에 있어서 변화가 존재하고 있다. 그러나 디지털 시스템의 기본적인 시스템 블록은 거의 유사하다.

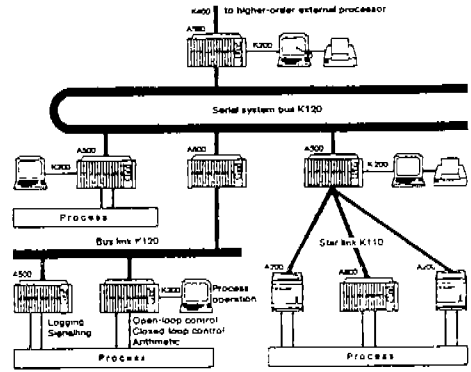
3.2. 중간 스테이션(Intermediate Station)

계층적인 분산제어 시스템에서 최상위 계층과 최하위 계층의 중간에 위치하는 계층으로서 중계적인 기능을 수행하며 일반적으로 관제 스테이션(Supervisory Station) 또는 그룹 스테이션(Group Station)으로 불린다. 그룹 스테이션이라는 용어는 자동화가 발전소에 적용되면서 나온 용어이며, 이전에는 관제 스테이션이라는 용어가 보편화 되었었다. 측정된 데이터를 기준으로 플랜트의 성능 등을 관제하는 기능적인 측면으로 보면 관제 스테이션이라는 용어가 적절하겠다. 계층적 구조에서 중간에 위치하면서 하는 기능은

- 프로세스 변수의 상태 관측
- 하위계층에서의 제어를 위한 기준치의 계산
- 자원과 에너지의 균형 유지를 위한 관측
- 효율해석
- 성능 및 상태보고
- 상위 계층과의 데이터 교환

등으로 요약할 수 있다.

분산제어 시스템에 있어서 이러한 제어를 위하여 하위나 상위계층과 다른 구조를 구현하는 것은 아니며 다만 구현된 하드웨어와 소프트웨어의 기능에 의하여 이와 같은 분류가 가능한 것이다. 그림 3·2의 LOGISTAT CP 80에서 A 500이 이와 같은 기능을 수행한다. 그림은 3개의 계층으로 분리되는데 A 500시스템을 필드 스테이션으로 중간 스테이션으로 그리고 중앙 컴퓨터로 사용된다. 중간계층에 위치한 A 500은 문자나 데이터 처리, 프로세스간의 조화제어 등을 수행한다. A 500은 관제제어용으로 디스플레이, 데이터 보관, 플랜트 모니터링 그리고 프로세스 변수 조작 등 여러가지 기능을 수행한다. 다른 여러가지의 분산제어 시스템에서도 이와 같은 중간 스테이션이 존재하면 CONTRONICS P (Hartmann and Broun)에서는 중간계층으로서 특별한 목적을 위한 코디네이팅 스테이션(Coordination Stating)이 존재하며 배치 프로세스(Batch Process)를 수행하는데 필드 스테이션이나 그룹 스테이션의 공조 체제를 유지하여 자동화를 구현하는 제어기로 사용된다.



<그림 3-2> LOGISTAT CP 80의 A 500

3.3. 중앙 컴퓨터 스테이션(Central Computer Station)

자동화 시스템에서 중앙 컴퓨터는 집중화된 플랜트 관리와 플랜트 장비에 직접적인 조작을 가능하게 한다. 그리고 중요한 프로그램의 생성이나 시스템 진단 관리를 수행한다. 중앙 컴퓨터는 시스템 버스, 네트워크 또는 게이트웨이(Gateway) 등으로 다른 시스템과 연결되어 있다. 또한 일반 대형 컴퓨터와도 연결되어 있다. 기능을 살펴 보면 플랜트와 관련된 부분과 일반적인 응용으로 분리할 수 있는데 플랜트와 관련된 부분으로

- 프로세스 디스플레이 및 제어
- 플랜트 데이터 수집 및 회복
- 중계적 통신 기능
- 시스템 진단 및 관리
- 시스템 구성

그리고 일반적인 응용으로는

- 프로그램 작성 및 실험
- 과학적 또는 상업적 계산
- 시스템 시뮬레이션

등이 있다. 이와 같은 중앙 컴퓨터로는 응용에 따라 다르지만 주로 중형 컴퓨터 정도가 사용되고 있다.

3.4 모니터링 및 명령어 수행 장비

분산제어 시스템의 기능적인 두가지 특징을 보면 첫째는 원하는 제어나 데이터 관리를 하는 수많은 알고리즘 및 제어의 용이한 재구성 및 매개변수화의 가능성, 두번째로는 다양하고 유용한 플랜트 모니터

링 및 명령어 수행장비에 의하여 직접적인 플랜트 조작에 의한 관리 제어이다. 이러한 목적을 위하여 MMI(Man Machine Interface)에 의한 모니터링 및 명령어 수행 지원장비가 매우 중요한 위치를 점하게 된다.

모니터링 방법 및 디스플레이 방법은 다양하게 존재하며 가장 보편화된 방법은 화면분리에 의하여 메시지 영역, 개괄적 디스플레이 영역, 주 디스플레이 영역 그리고 오퍼레이터 명령영역 등으로 구분한 것이 있다. 그리고 또 다른 방법으로는 디스플레이를 구조적으로 분리하여 사용자 정의의 모니터와 미리

정해진 스크린 영역으로 분리하기도 한다. 미리 정해진 모니터 기능으로는 플랜트 개괄(Plant Overview), 좀더 자세한 기능의 단위별 또는 영역별 개괄, 프로세스의 수집된 데이터를 일관성 있게 관리하기 위한 그룹 디스플레이 그리고 제어기의 세부를 관측하는 세부 디스플레이가 있다. 여기에 플랜트의 이상 경고를 표시하는 기능도 물론 포함되어야 한다. 그리고 사용자 정의의 디스플레이로는 플랜트의 지도나 배치제어의 흐름도 등이 있다.

<다음호에 계속……>

4월의 문화인물



(1731년 영조 7년~1783년 정조7년)

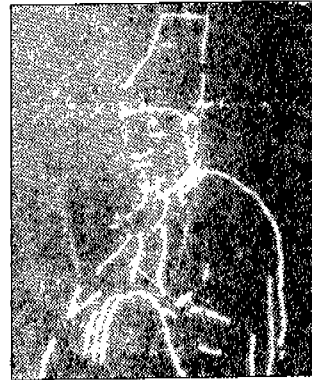
조선후기 실학자이자 과학사상가인 담헌 홍대용(1731~1783년)이 문화체육부가 정하는 「4월의 문화인물」로 선정됐다.

담헌 홍대용은 일찍이 지구의 자전설과 우주의 무한성을 주장한 우리나라 과학기술의 선구자이자 과거 폐지, 농민의 최저생활보장 등 혁신적인 사회 개혁을 주장한 개혁가이다.

북경에 체류하며 진보된 서구문물제도를 연구한 그는 실학자 박지원, 박제가, 이덕무 등과 교류하며 선진과학 기술의 도입을 통해 문물제도와 경제제도를 개혁하려 한 북학파의 기수로 유명하다.

충남 천안 태생인 담헌은 당시 천대받던 학문인 천문학 수학 역산학 병법 등 자연과학에 통달했고 천체의 운행과 그 위치를 측정할 수 있는 혼천의(渾天儀)를 제작하기도 했다.

주요저서로 「담헌서」, 「담헌외서」, 「을병연행록」 등이 있다.



▲업상이 그린 홍대용의 유일한 초상화

◇ 주요행사

- ▲ 세미나 : 22일 하오 2시 KOEX회의실, 「홍대용의 삶과 사상」등 한국과학기술진흥재단 주최
- ▲ 워크숍 : 27일 상오 10시 한국과학재단 회의실, 「홍대용과 한국천문학」 한국표준과학연구원 주최
- ▲ 특별과학강연 : 16일 하오 2시30분 국립서울과학관, 「홍대용의 과학사상」
- ▲ 유품전시 : 1~30일 숭실대 박물관 전시실, 「을병연행록」등