클린룸의 자동제어

-목 차-

1. 서 론
2. 자동제어 변천과정
3. SYSTEM 구성
4. DISTRIBUTED DIGITAL CONTROL SYSTEM(DDCS) 개요
5. 실적용 사례
6. 결 론

삼성전자(주) 컴퓨터부문
(BAS영업부)
과 장 조 성 관

1. 서 론

쾌적한 환경여건의 조성을 위한 HVAC 및 UTILITY SYSTEM의 구성으로부터, 현대 산업의 주축을 이루고 있는 최첨단 반도체 산업에 이르기까지, 산업 설비의 변천에 따라 HVAC 및 UTILITY의 자동화 SYSTEM 또한 여러가지 형태로 발전을 거듭하여 왔다.

특히 최근 반도체산업의 발전에 따른 제품의 초소형화, 초경량화, 다기능 고품질화 추세에 따라, 생산설비의 고정도화가 요구되고 있으며, 자동화 SYSTEM 또한 종래 ONE-LOOP CONTROL에 의한 개별제어와 집중화에 의한 감시 등 일반 항온, 항습으로부터, 고정도 CLEAN ROOM제어를 위한 고정도의 제어 SYSTEM으로 각종 MANAGEMENT의 자동화로부터 관련 주변설비의 자동화에 따른 무인화에 이르기가지 복합적인 자동화 SYSTEM의 PACKAGE화가 요구되고 있어 자동화 SYSTEM의 구성이 DDCS(DISTRIBUTED DIGITAL CONTROL SYSTEM)화 추세이며, 더욱이 정보화에 대응한 통합 운용, 관리가 요구되고 있어 DDCS에 의한 자동화 SYSTEM이 더욱 가속화될 전망이다.

2. 자동제어 변천과정

1960년대에 4개의 분야에서 자동제어가 적용되었다.

- Business, Engineering, Operations, Facilities

특히 Operation과 Facilities 분야에서는 Indivisual Local Controller를 씀으로써 Monitoring, Logging과 간단한 Reporting을 하였다.

Operation 분야에서는 주로 대형 Computer로써 Engineering용 Computer로부터 "Min-Hand-Bus" Network을 이용하여 Data 및 Progran을 입력받았다. 그러나 Facilities 분야에서는 단독적 Controller로 현장 Minitoring과 Controlling 외 중앙집중 관리체제는 없었다.

1970년대에 와서는 Operations 분야에서는 한정된 DDCS를 쓰기 시작함으로써 Supervisory Control, Trending, 그리고 초기의 Operator Intefacing이 시작되었다.

Facilities 분야는 1960년대와 같은 추세로 지속되었다.

그러나 두 가지의 큰 변화를 보면,

1) 기술발전에 의하여 Computer와 전자기기의 가격이 낮아지고,
2) 많은 사람들이 그들이 속해 있는 건물 및 공장 등에 항상 기록되어야 하고 감시되어야 할 많은 System이 있다는 것을 깨닫기 시작하였다.

결과는 자동제어 시장의 팽창으로 자동제어 사업이 활발해지고, Proprietary Communication Interfacing이 여러 System과 이루어졌다.

1980년대에는 많은 발전 중에서 Microcomputer 사용의 증가와 통신 Networks의 출현, 그리고 운영 System의 발전과 Standard Networking의 능력이다.

Process Control Standard는 High Speed Communication Network을 이용한 Distributed Control System이 되었다.

그리고 Operations과 Process 시스템의 자동제어 System은 상호 Data 교환 기능이 시작되었다.

1990년대의 자동제어 System은 기기들의 표준화와 Integrated System, 그리고 System의 다국적 이용도에서 발전되었다.

Hardware와 Software는 Business, Engineering, Operation, Facilities의 공동 사용이 가능해졌다.

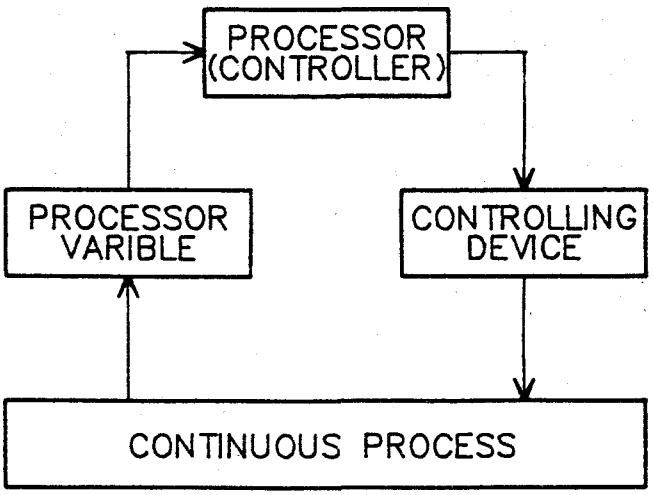
즉 Integrated Information의 관리체계가 이루어진 것이다.

3. SYSTEM 구성

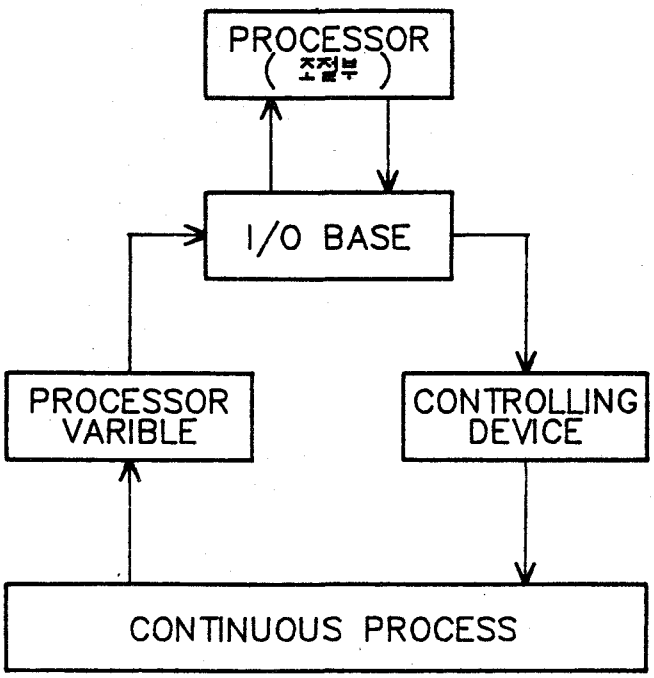
CLEAN ROOM 자동화 SYSTEM의 구성은

- ONE-LOOP CONTROLLER에 의한 CONTROL
- DDCS에 의한 CONTROL

로 대분된다. 〈그림 1〉은 일반적으로 널리 알려져 있고 종래 항온 항습기 계통에


PROCESSOR
(CONTROLLER)
PROCESSOR
VARIBLE
CONTROLLING
DEVICE
CONTINUOUS PROCESS

< 그림1 >


PROCESSOR
(조절부)
I/O BASE
PROCESSOR
VARIBLE
CONTROLLING
DEVICE
CONTINUOUS PROCESS

< 그림2 >

적용되었던 현장지시 및 조절용 ONE-LOOP CONTROLLER(P1 또는 PID 제어)에 의한 CONTROL LOOP의 구성이며, 〈그림 2〉는 DDCS에 의한 CONTROL LOOP의 구성이다. 〈그림 1〉과 〈그림 2〉에서 보는 바와 같이 단지 ONE-LOOP CONTROL에 국한된 구성만으로는 ONE-LOOP CONTROLLER와 DDCS와의 차이점은 알 수 없으나, DDCS에 의한 구성의 경우 ONE-LOOP CONTROLLER에 비해 다음과 같은 장점이 있다.

1) 다양한 SOFTWARE와 응용 PROGRAM에 의한 LOOP의 제어 연산이 자유롭다.
   - CASCADE, AND FEED FORWARD CONTROL
   - LEAD/LAG FUNCTION
   - RAMP/SOAK CAPABILITY
2) CONTROL LOOP 또는 PID ALGORITHM의 복합적인 연결 및 응용과 선택이 용이하여 ADVANCED CONTROL이 가능하다.
   - CONTROL LOOP 및 MODE의 ENABLE/DISABLE
   - CHOICE OF POSITION OR VELOCITY
   - FORM OF THE PID EQUATION
3) MAN-MACHINE INTERFACE(이하 MMI로 표기)의 강화로 PROCESS에 대한 많은 정보의 처리 및 제어를 용이하게 할 수 있다.
4) SUPERVISORY COMPUTER와의 연결에 의한 BUSINESS, ENGINEERING, OPERATION, FACILITIES 등의 INTERGRATION이 가능하다.
5) 자체 시스템의 진단 또는 기능에 의한 조기 문제점 파악 및 비정상운전에 신속히 대처할 수 있다.

다음 〈표 1〉은 DDCS와 ONE-LOOP CONTROLLER와의 간단한 비교표이다.

4. DISTRIBUTED DIGITAL CONTROL SYSTEM(DDCS) 개요

1) DDCS 구성도

컴퓨터는 공정(PROCESS), 제어법(CONTROL LAW) 등 기억장치에 이미 있거나 프로그램된 계측수치를 직접 받아서 조절계수의 값을 계산한다.

이러한 결정들은 공정에 의하여 최종의 제어요소(ELEMENTS) 들 〈VALVES, PUMPS, SWITCHES, ETC〉의 알맞은 변수를 수행한다.

제어결정의 직접적 수행을 일컬어 DISTRIBUTED DIGITAL CONTROL SYSTEM 또는 간략하게 DDCS라 한다.

위의 그림은 DDCS의 대표적 구성도이다.

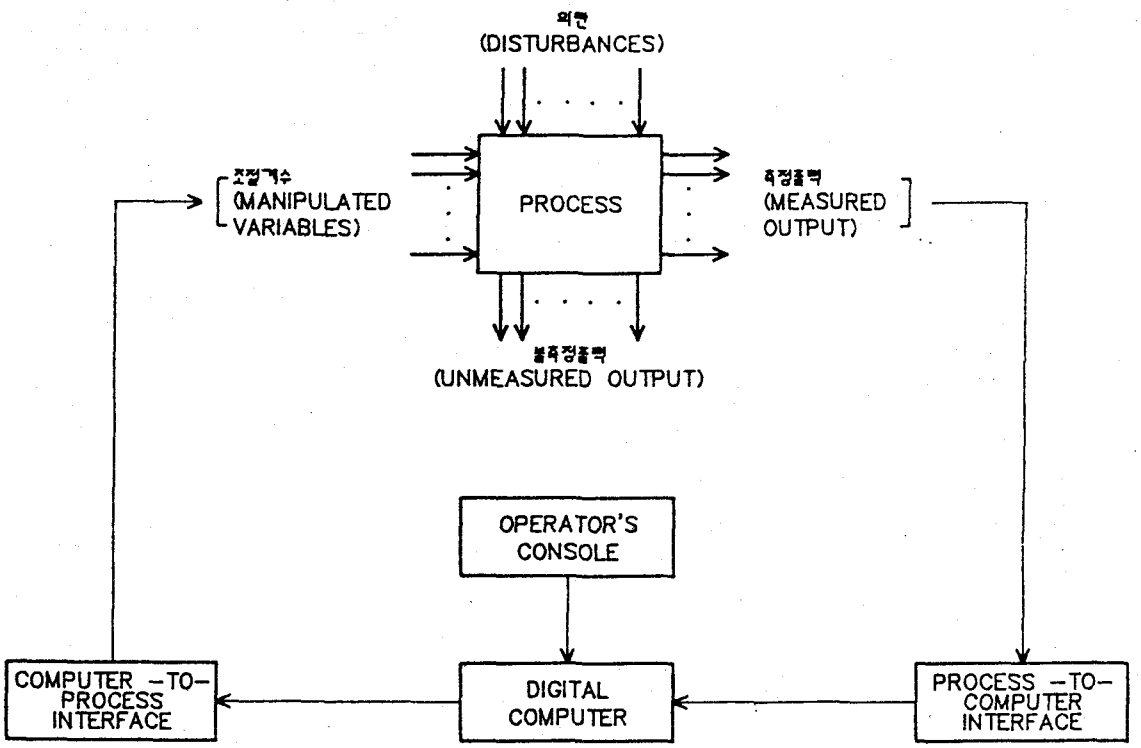
〈표 1〉

항 목		DDCS	ONE-LOOP CONTROLLER
제어기능	특 징	MULTI-LOOP PROCESSING에 의한 자유로운 연산 제어	SINGLE-LOOP PROCESSING에 의한 단순 제어
	SEQUENCE제어	SOFTWARE에 의한 LOGIC구성으로 PID 임의의 제어가능	HARDWARE에 의한 조합으로 P제어만이 가능한 제한된 제어 기능 수행
	제어 PROGRAM	기본 및 응용 PROGRAM에 의한 상황에 대응한 제어가능	표준화된 기본 제어 기능만이 가능
	OVERRIDE 및 SCHEDULE 등 INTERGRATION제어	MMI 및 PROGRAM에 의한 제어 기능 수행	현장에서의 MANUAL에 의한 제어
	PROCESS DATA ACCESS	MMI에 의한 원격 감시	현장감시
	관련 DATA ACCESS	GROUP 또는 GRAPHIC에 의한 동시 전체 감시	개별 감시
	DATA의 저장	필요한 DATA를 목적에 따라 저장, 보관이 가능하며 필요시 항상 재출력할 수 있음	별도의 기록보관 필요
통합관리시스템		NTE-WORK 구성에 의한 통합관리시스템 구성	별도의 SYSTEM 구성 요소

공정(THE PROCESS)은 우리들이 생각할 수 있는 HEATER나, REACTOR, 또는 SEPARATOR 등 어떠한 UNIT일 수도 있다. 컴퓨터 전·후단에 있는 두 개의 INTERFACE들은 HARDWARE ELEMENTS와 컴퓨터와 공정 사이의 통신 양립성을 제공한다.

최종적으로 운전조작자가 컴퓨터 작동과 DDCS의 운영에 변화를 줄 수 있다.

LOCAL CONTROLLER보다 SUPERVISORY COMPUTER CONTROL의 이용 추세가 증가하는 것은 PROCESS CONTROL의 강점 중의 하나인 프랜트의 경제적인 운용의 최적화이다. 많은 시간 동안 운전자는 최저의 운전 비용으로 최대의 운영조건을 찾을 수 있다.



< TYPICAL DDCS CONFIGURATION >

이러한 LOCAL CONTROLLER의 결함은 전 공정에 걸쳐 있는 복잡한 환경 제어 및 공조기 제어 등에 커다란 문제점으로 나타난다.

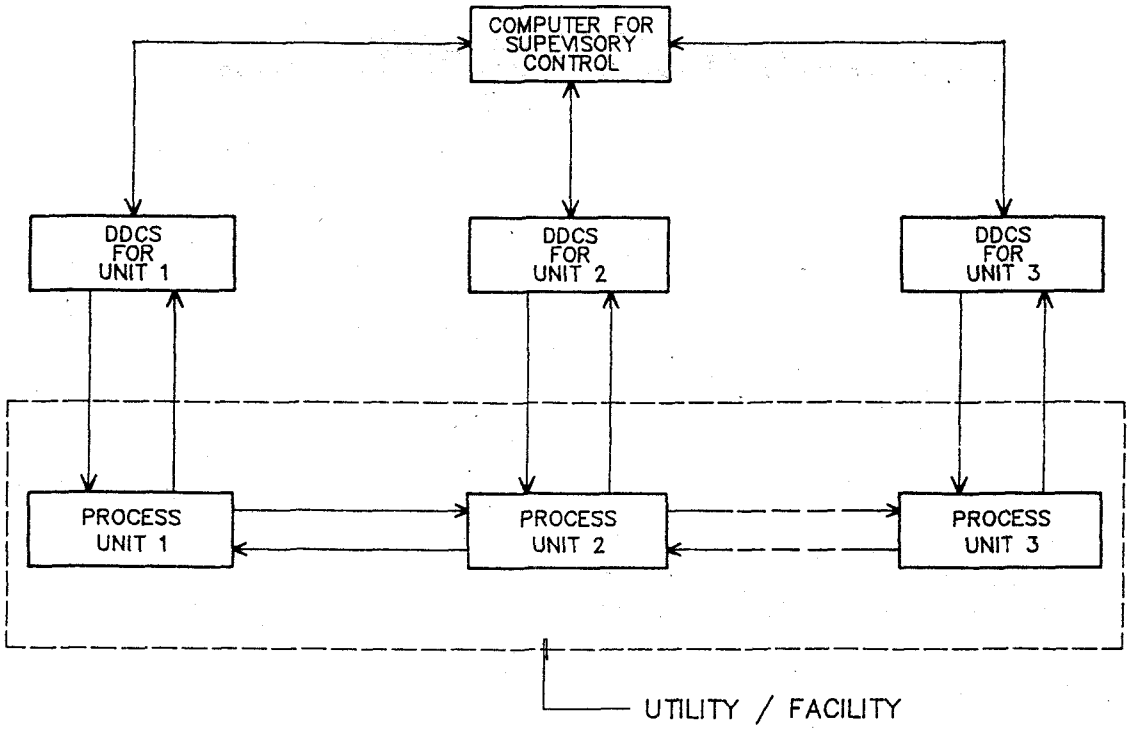
어떠한 경우에 우리는 빠른 속도와 DIGITAL 컴퓨터의 지적인 프로그램으로 상태 분석과 최적의 조건을 맞추어야 한다.

아래 그림은 컴퓨터가 기본적 DDCS LOOP들과의 조화를 표한 것이다.

2) PID ALGORITHM

이미 여러 전문 학술지와 기타 기술지 등에서 DDCS에 대해 많은 이론과 서술이 있으므로 기초적인 인론은 생략하겠다.

PID 제어는 비례-미분-적분(PROPORTIONAL-PLUS-DERIVATION-PLUS-INTEGRATE) 제어동작, 비례제어동작, 미분제어동작, 적분제어동작을 조합한 제어동작을 비례-미분-적분제어동작이며 각 LOOP들은 P, PI, PID제어를 선택할 수 있고, 특히 HVAC 제어에서는 PID사용시 극소의 D값을 주어야 한다.



$$m(t)) = Kpe(t) + KpTd\frac{de(t)}{dt} + \frac{Kp}{Ti}\int_0^t e(t)dt$$

전달함수는 $\frac{M(s)}{E(s)} = Kp(1 + TdS + \frac{1}{Tis})$

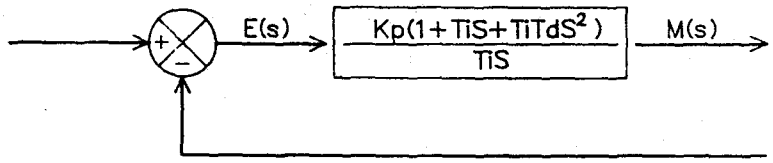
여기서 Kp는 비례감도, Td는 미분시간, Ti는 적분시간을 각각 나타낸다.

PID제어 방식에는 위치형(Position)과 속도형(Velocity)이 있다.

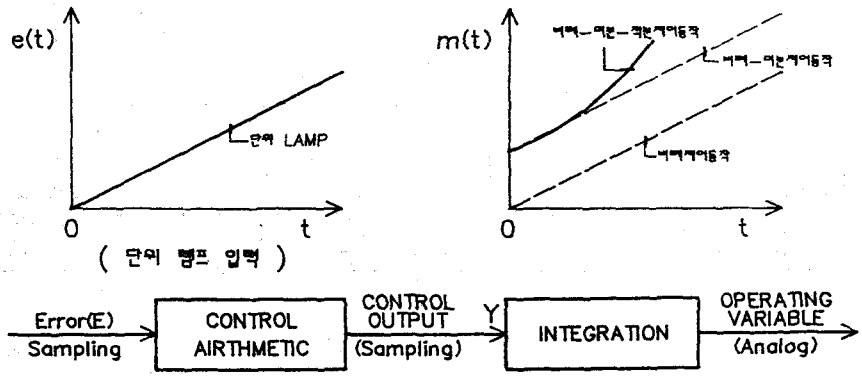
속도형은 컴퓨터 내의 제어연산식이 위치형의 제어연산식을 미분한 형태로 되어 있다.

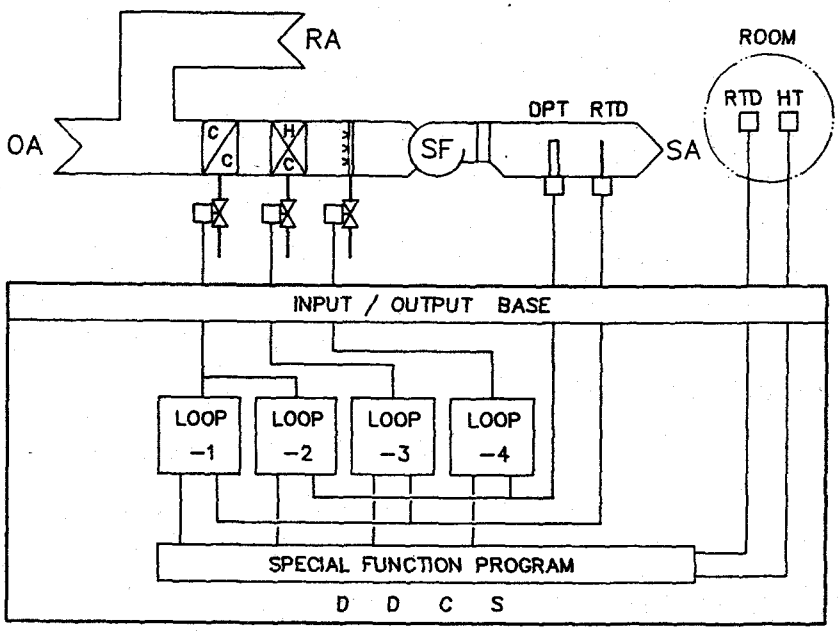
특히 속도형은 과도적인 특성에서 유리한 점이 많다.

콘트롤러는 자동 및 수동조작이 원할이 이루어져야 하므로 수동조작에서 자동으로 절환할 때는 조작부에의 출력이 급변하면 문제가 된다. 이러한 절환시에 출력의 급격 변화를 방지하는 회로를 Bumpless회로라 한다. 위치형은 Bumpless를 위하여 회로를 구성해야 하나, 속도형은 절환자체가 Bumpless이다. 그 이유는 속도형의 출력은 현재의 값을 얼마나 변화시키라는 명령이므로 절환시에 자동은 수동시의 출력을 기준으로 시작하기 때문이다. 그리고 유사시의 안전성에서도 있다. 고장시 출력은 Zero가

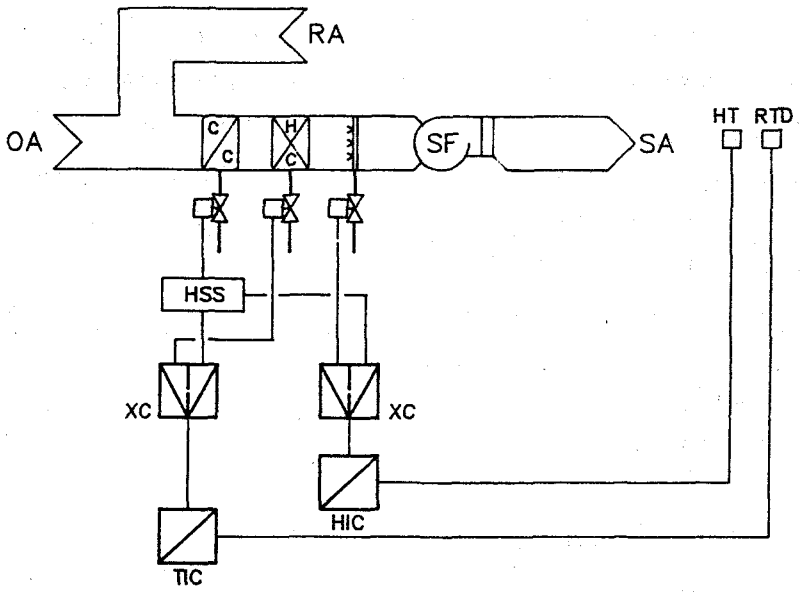


비례 미분—적분제어기의 블럭선도





< 그림3 >



* TIC : TEMPERATURE INDICATING CONTROLLER HSS : HIGH-SIGNAL SELECTOR
HIC : HUMIDITY XC : X 특성 변환기

< 그림4 >

되는 수가 많다.

특히 Power Outage일 때 출력은 Zero가 되므로 위치형인 경우 Computer의 출력이 Zero가 되면 Hold 장치 출력도 Zero가 된다. 이에 반해 속도형은 Computer 출력은 Zero가 되지만 적분기 출력은 Hold되어 고장 직전의 위치를 유지한다. 이러한 장점의 속도형이 위치형보다는 많이 사용된다.

5. 실적용 사례

1) DDCS 구성

〈그림 3, 4〉는 CLEAN ROOM HVAC SCHEMETIC의 한 예이며, 〈그림 3〉은 DDCS로 구성된 CONTROL SCHEME이고, 〈그림 4〉는 ONE-LOOP CONTROLLER로 구성된 CONTROL SCHEME이다.

* LOOP-1 : COOLING MODE
  LOOP-2 : DE-HUMIDITY MODE
  LOOP-3 : HEATING MODE
  LOOP-4 : HUMIDITY MODE

2) LOOP PROCESS CONTROL FUTURE

〈그림 3, 4〉에서 보듯이 CONTROL의 기본 SEQUCNCE는 동일하나 정도에는 큰 차이가 있다.

다음 〈표 2〉는 2가지 방식에 대한 CONTROL FUTURE의 비교이다.

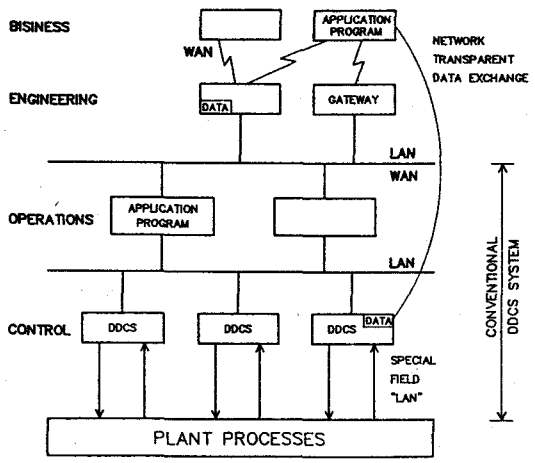
3) 적용 결과

〈표 2〉에서도 언급하였듯이 〈그림 4〉와 같은 ONE-LOOP CONTROLLER에 의한 SEQUENCE 제어에서는 P 제어에 의한

DDCS	ONE-LOOP CONTROLLER
- CONTROL LOOP의 PID ALGORITHM CONTROL - S. F.(SPECIAL FUNCTION) PROGRAM에 의한 CASCADE CONTROL 및 COOLING, HEATING, HUMIDITY, DE-HUMIDITY, ENTHALPHY MODE CONTROL - FEED FORWARD CONTROL에 의한 HIGH-RESPONSE CONTROL	- CONTROL LOGIC의 HARDWARE에 의한 SEQUENCE제어로 P제어만이 제어가 가능함(TIC와 HIC가 PID 기능이 있다 하여도 ID기능은 활용할 수 없음)

OFF-SET과 FREEZE BIAS(출력의 약 50 %)로 정밀제어는 불가하다.

반면 DDCS에 의한 CONTROL SYSTEM을 SF PROGRAM과 SUB ROUTINE에 의한 FEED RORWARD, LEAD/LAG, CASCAED CONTROL 등으로 고정도 CONTROL은 물론 상황에 대응한 CONTROL SYSTEM의 구성이 가능함.

6. 결론

이상에서 살펴 본 바와 같이 산업구조의 변화와 그에 대응하는 CLEAN ROOM과 대형화, 고정도화 추세에 따른 제어, 감시 SYSTEM의 확산에 대비하고 다가오는 정보화 시대에 대응한 통합운영관리 체제와 NETWORK SYSTEM에 대비한 INTEGRATION SYSTEM의 구축을 위하여 CLEAN ROOM 자동화 SYSTEM의 DDCS SYSTEM에 의한 구성과 선호도가 증가할 전망이다.