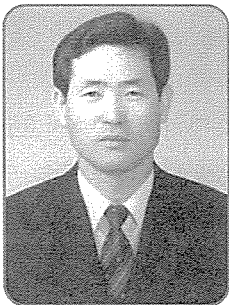


(2) 현재 추진중인 업체

산업단지명		여 천	군 산	울산·미포	시 화	계	
사업주체		호남석유화학(주)	사이스개발(유)	대한알루미늄(주)	서해에너지(주)		
투자비(억원)		520	1,186	4,038	6,621	12,365	
공사기간		01.5~02.12	01.11~04.2	미정	99.10~2002.5	-	
발전기 가동년도		-	-	-	-	-	
설 비	발전용 보일러 (t/h×댓수)	계	77	450	1,200	1,440	3,167
		내역	77 1 (HRSG)	225×2 (유연탄)	1,200	720×2 (유연탄)	-
	보조 보일러 (t/h×댓수)	계	409.2	195	180	-	784.2
		내역	140×2 129.2(열분해로)	195×1	180 (유류)	-	-
	발전기 (MW×댓수)	계	60.7	53	300	300	713.7
		STG	18.5	53	300	150 2	-
		GTG	42.2	-	-	-	-
	증기배관길이(km)		4.65	증기 : 9.8	54.7	31.7	-
	비 고		- 2001.10 공사계획승인	공사계획신청 전단계임	사업추진 보류	사업추진 지연	-

발전소 제어시스템 (III- I)



**한국전력공사 전력연구원
발전연구실 I & C 그룹
책임연구원 김호열/공학박사
Tel : (042)865-5270**

1. 제어 시스템

가. 복합화력 제어시스템

공기식 제어기는 노즐 플래퍼, 벨로우즈, 파일럿밸

브 등에 의한 공기압 연산으로 제어가 동작되며, 1970년대까지 발전소의 주제어장치로 사용되었으나 현대의 복합발전소에서는 현장제어기에 일부 사용되는 정도이다. 표준신호로써 3~15 psi 공기압을 사용하는 아날로그 제어시스템이다.

전자식 제어기는 트랜지스터나 연산증폭기 등에 의한 연산으로 제어하며 1970년대 말에서 1980년대 중반에 주제어 장치로 사용되다가 현재는 디지털제어기에 그 자리를 내어 주었다. 표준 신호는 -10~+10V, 0~10V, 0~5V 등을 사용하며 공기식에 비해 제어의 정도(精度)가 향상되었고 유지정비가 용이하다.

디지털 제어기는 하드웨어로써 마이크로프로세서(CPU)와 메모리 소자 등을 사용하며, 소프트웨어에

의해 제어 연산을 수행하는 시스템으로 베일리사의 Network 90, Infi90, Symphony, 히타치사의 HIACS 2000, 미쓰비시사의 MIDAS, 웨스팅하우스의 WDPF 등의 제품이 사용되며, 1980년대 중반 이후 발전소의 주제어 장치로 사용되기 시작하였으며, 복합화력의 주제어장치로 사용되고 있다.

디지털제어기 내부에서는 실수를 사용하는 연산에 의한 제어가 이루어지며, 초기에는 아날로그 제어를 대체하는 정도였으나, 새로운 제어 알고리즘의 적용이 진행되고 있다. 디지털 제어를 사용하는 제어 설비를 보통 DCS(Digital Control System, Distributed Control System)라 부른다.

나. 제어 시스템 하드웨어

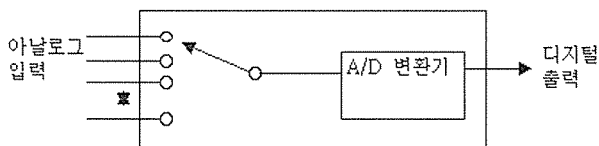
(1) 제어 모듈

아날로그 제어기나 디지털제어기가 사용된다. 현재는 아날로그 대신 대부분 디지털 제어기가 사용되고 있는데 복잡한 제어 로직의 설계나 변경이 용이하며 여러 가지 장점을 가지고 있다. 사용자가 제어 및 연산을 위한 각종 기능 블록을 보통 수 천개 이상 조합하여 제어로직을 구성하여 사용할 수 있으므로 하나의 마스터 모듈에 의해 다수의 루프를 감당할 수 있다.

표준화된 수십개 이상의 연산 및 제어기능(Function Code)이 라이브러리화 되어 있으며, 사용자 로직에서 이를 호출하여 프로세스를 제어된다. 컴퓨터 언어를 숙지하지 않은 사람도 쉽게 로직을 구성할 수 있도록 제작사마다 소프트웨어 툴을 제공하고 있다.

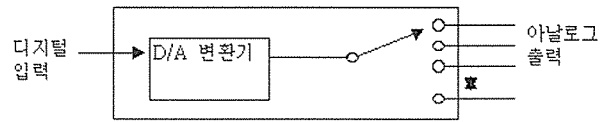
(2) 입출력 모듈

하나의 마스터 모듈이 많은 로직을 수용할 수 있기 때문에 많은 신호의 입출력이 필요하다. 하나의 입력 모듈에는 아날로그를 디지털 값으로 변환하는 A/D 변환기 및 여러 신호를 시분할로 선택하여 입력하는 절환장치(Multiplexor)가 내장되어 있다.



<그림 1> 입력 모듈(Input Slave) 기능

출력 모듈에는 제어기로부터의 디지털 값을 표준 아날로그 신호로 변환하는 D/A 변환기 및 이것을 시분할하여 선택 출력하는 절환장치(Multiplexor)가 내장되어 있다.



<그림 2> 출력 모듈(Output Slave) 기능

입출력 모듈은 연결되는 아날로그 신호 종류(V, mA, 열전대 등) 및 신호범위에 따라 많은 종류가 사용되며, 최근에는 여러 가지 신호를 한꺼번에 처리하는 것들도 제작된다. 하나의 입출력 모듈로 수 개 내지 십여 개의 신호를 입출력한다.

(3) 통신 모듈과 네트워크

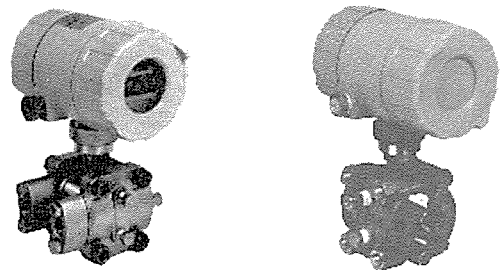
DCS는 통신을 통하여 계층적인 구조를 가지게 되는데, 전체 제어루프의 규모에 따라 필요한 만큼 제어모듈을 설치하게 되는데 단위 캐비닛 내에서 모듈 간의 상호신호 전송을 위해 통신버스가 구성되어 있다. 또 보다 상위의 레벨에서 캐비닛간의 데이터 전송을 위한 네트워크가 사용된다.

통신모듈은 제어 캐비닛 상호 간 및 운전조작/감시 반과의 데이터 전송을 위한 것이며 네트워크(또는 Data Highway)을 통하여 전체 플랜트가 감시되고 운전조작 지령이 제어시스템으로 전달된다.

모듈 버스, 통신 모듈 및 네트워크는 제작사마다 하드웨어 및 운용 방법이 다르다.

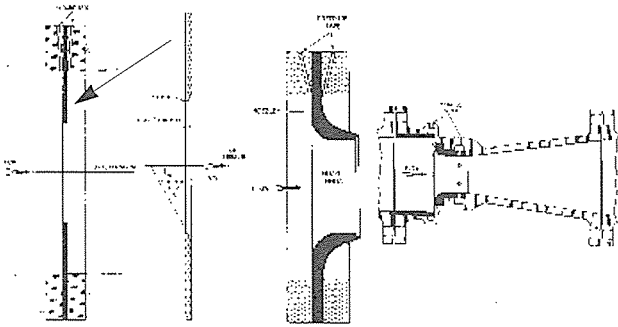
(4) 신호 전송기

신호전송기는 프로세스 량을 측정하여 표준신호로 변환하여 제어시스템 내부로 전송한다. 프로세스 종류(압력, 유량, 수위 등)에 따라 다른 신호전송기가 사용된다.



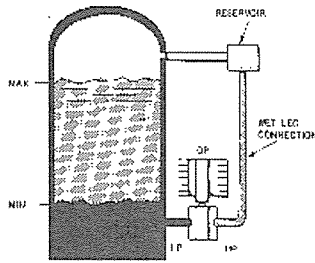
<그림 3> 차압전송기 및 압력전송기

측정 소자로 플로우 노즐, 혹은 오리피스 등을 설치하고, 전후단의 차압을 차압 전송기로 검출하여 유량을 측정하는 경우는 비직선 특성을 가진다.



<그림 4> 오리피스, 플로우 노즐 및 벤투리 튜브

오리피스 및 플로우 노즐에서 검출된 차압은 유량의 제곱에 비례하므로 전송기 내부나 제어 모듈에서 개평 연산기 (Square Root Extractor)를 사용하여 정확한 유량을 구한다.



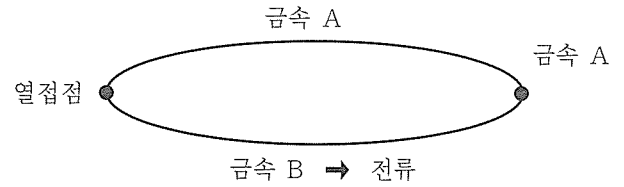
<그림 5> 밀폐 탱크 수위측정

차압전송기를 사용하여 밀폐용기의 수위를 측정하는 경우에는 그림과 같이 Wet Leg를 기준수두로 하여 측정한다. 탱크의 압력은 고압 및 저압측에 동일하게 작용하며, Wet Leg에 채워진 고압측의 수두와 탱크 내부 수위에 따라 변하는 저압측의 수두 차를 측정하여 수위를 구하게 되는 데, 온도에 따라 변하게 되는 내외부 액체의 밀도를 보정하여야 올바른 수위가 계산된다. 예를 들어 169kg/cm³ 압력으로 포화된 증기드럼의 경우 차압은 수위의 약 0.45배 만큼 측정된다.

2선식, 4~20mA 신호 전송기를 보통 사용하며 현재는 디지털 인터페이스 및 자기진단이 가능한 지능형(Smart) 신호 전송기가 주류를 이루지만 발전소 이외의 분야에서는 경제성 때문에 아날로그 전송 대신 펄드버스를 사용하는 사례가 점차 증가되고 있다.

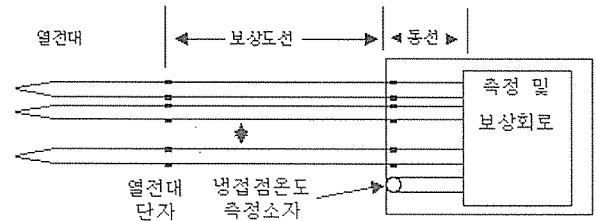
(5) 온도 측정소자

복합발전소에서도 온도를 측정하는 소자로서는 열전대(Thermocouple)와 저항온도소자(RTD : Resistance Thermo Detector)가 주로 사용된다.



<그림 6> 열전대의 원리

열전대는 이종금속으로 이루어진 루프의 양단에 온도차가 생기는 경우에 기전력이 발생하는 원리를 이용한 것으로서, 열기전력의 크기는 열접점과 냉접점의 온도차의 증가에 따라 증가하며, 이종금속의 재질에 따라 달라진다. 열기전력과 온도차는 거의 비례하지만 약간의 비직선성이 존재하므로 측정장치 내부에서 이것을 보정하여 정확한 온도를 측정하며, 또한 냉접점이 주위온도가 되므로 냉접점 온도보상도 이루어진다.



<그림 7> 열전대를 사용한 온도 측정장치의 구성

열전대 신호선으로 동선을 사용하는 경우, 동선과의 접합점이 냉접점이 되므로 그 경계점의 온도를 냉접점으로하여 보상하여야 정확한 열전대의 온도가 구해진다. 따라서, 열전대 신호선으로써 보상도선을 사용하여 시스템에 연결하고 그곳에서 주위온도를 보상하는 방법을 일반적으로 적용한다. 보상도선은 열전대 금속재질과 열기전력 특성이 비슷한 값싼 재료로 만들어진다.

복합발전소에서 사용되는 열전대의 종류에 따른 금속의 종류와 기전력의 크기, 사용가능 온도범위는 다음과 같다.

저항온도소자(RTD)는 금속의 저항이 온도에 따라 증가하는 특성을 이용한 것이다. 주로 사용되는 것은 백금(Pt)선을 감은 것이며 고온에 사용가능하고 전기적인 특성이 우수하며 온도변화에 따른 저항치 변화가 큰 편이다.

<표 1> 열전대의 종류 및 특성

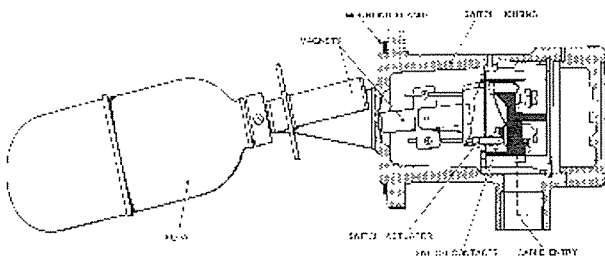
Type 코드	금 속		열기전력($\mu V/^{\circ}C$)			연속 사용 온도($^{\circ}C$)
	양(+)	음(-)	100 $^{\circ}C$	500 $^{\circ}C$	1000 $^{\circ}C$	
T	동	동-니켈 (Constantan)	46	-	-	-185 ~ +300
J	철	동-니켈 (Constantan)	46	56	59	+20 ~ +700
E	니켈-크롬 (Chromel)	동-니켈 (Constantan)	68	81	-	0 ~ +800
K	니켈-크롬 (Chromel)	니켈-알미늄 (Alumel)	42	43	39	0 ~ +1100
R	백금-13%로듐	백금	8	10	13	0 ~ +1600
S	백금-10%로듐	백금	8	9	11	0~+1550

다음으로 많이 사용되는 것은 동(Cu)이다. 이것은 재료의 값이 싸고, 전동기 등의 내부에 넣어 권선 온도 등을 측정하는 데 많이 사용되지만 프로세스 온도 측정에는 일반적으로 사용하지 않는다.

(6) 프로세스 스위치

압력, 온도, 유량, 수위 등을 감시하여 미리 설정된 값에 도달하면 스위치를 동작시키는 검출기의 일종이다. 프로세스 종류에 따라 이를 검출하기 용이한 구조로 되어 있으며,

수위 검출에 사용되는 레벨 스위치는 내부가 빈 플로트를 사용하며 가동부분의 밀폐를 위하여 영구자석을 사용하는 경우가 있으며, 그 구조는 그림과 같다.



<그림 8> 레벨 스위치 구조

압력스위치는 벨로우즈나 버든튜브 등의 압력검출 소자에 나타나는 변위를 기계적인 전기접점으로 검출하여 압력을 감시한다.

(7) 조작부

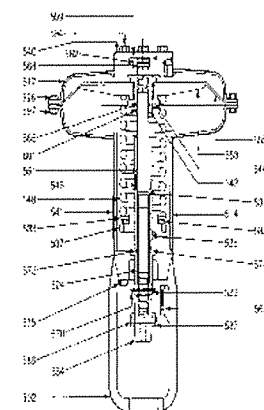
발전소에서 가장 많이 사용하는 조작부는 제어밸브와 댐퍼 드라이브이다. 제어밸브는 배관의 유량을 조정하여 압력, 온도, 수위 등을 제어하는 데 사용된다. 공기식 제어밸브가 가장 일반적으로 사용된다.

공기식 제어밸브나 댐퍼 드라이브를 사용하는 경우에는 출력모듈을 통하여 제어모듈에서 나오는 전류 신호를 공기압으로 변환하여 밸브개도를 조정하는 I/P Positioner¹⁾를 사용되어 입력에 비례하는 밸브개도로 조정한다.

공기식 제어밸브의 작동기에는 직동형(Direct Action)과 역동형(Reverse Action)이 있으며, 이것은 공기 공급이 차단되었을 경우 프로세스가 안전한 위치로 밸브개도를 조정하기 위한 것이다. 직동형에서는 공기 공급이 중단되면 밸브 Stem은 위로 올라가는데, 이 Actuator를 보통의 밸브트림과 같이 사용하는 경우라면 공기 상실시 밸브가 열리게 된다. 원심 펌프의 최소유량 제어밸브(Minimum Flow Control Valve)등에는 이 형식을 사용하는 것이 일반적이다.

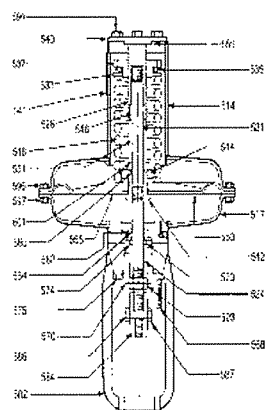
역동형은 이와 반대로 작동하는 데 유량제어에 사용되는 밸브들은 보통 공기 상실시 닫히는 방향으로 동작하게 설계한다.

Fig. 1 Assembled for Direct Action



<그림 9> Direct Action

Fig. 2 Assembled for Reverse Action



<그림 10> Reverse Action

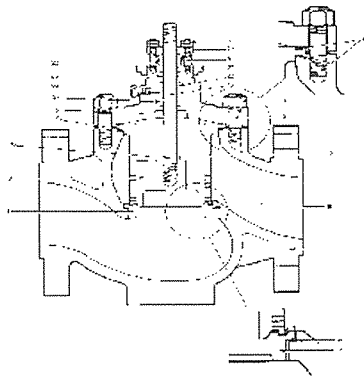
1) I/P(Electric/Pneumatic) Positioner : 전류 신호를 공기압으로 변환하여 밸브 또는 드라이브의 개도를 제어하는 장치

특별한 경우에는 공기상실 잠금장치(Air Fail Lock Device)를 부착하게 되는 데, 이 경우 공기압력이 설정치보다 낮아지면 다이어프램으로 연결된 잠금 밸브가 닫혀서 Actuator의 개도가 변하지 않도록 다이어프램의 공기를 잠근다.

또, 밸브 작동기에는 비상시 수동조작이 가능하도록 수동조작 기구 및 핸들을 부착하는 경우가 많다.

제어밸브에서 실제로 유량을 제어하는 부분을 트림(Trim)이라고 부르는 데, 과거에는 플러그와 시트를 사용하는 글로브밸브가 주로 사용되었으나, 현재는 케이지 제어밸브를 많이 사용한다. 그림과 같은 케이지 밸브는 케이지 상의 구멍 크기와 분포를 잘 설계하여 필요한 유량특성을 얻을 수 있으며, 저진동, 저소음밸브를 제작하기 용이하다.

고차압에 프로세스에 사용되는 밸브는 진동과 마모를 유발시키게 되는 데, 일반적으로 다단형(Multistage) 트림을 선택하여 유량제어 성능을 유지하고 마모수준을 경감시킨다.



<그림 11> Cage형 Trim

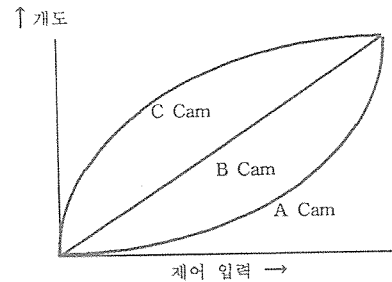
댐퍼 드라이브는 제어밸브 조작부와 유사하지만, 제어밸브가 직선적인 변위를 제어하는 데 비해, 드라이브의 출력은 축의 회전각이다. 댐퍼 드라이브는 공기 실린더의 양쪽에 공급되는 공기압을 Positioner로 조정함으로써 변위를 제어하는 데, 실린더의 직선운동을 축의 회전운동으로 바꾸는 Arm이 내부에 있다.

조작부를 통하여 프로세스를 조정하는 데에는 시스템 구성요소의 직선성(Linearity)이 중요하다. 예를 들어 저부하나 고부하에서의 유량특성(기울기)이 크게 차이가 나면 고르게 제어하기가 어렵거나 사이클링 등의 부작용이 생기게 된다.

밸브나 댐퍼의 유량 비직선성을 직선적으로 되도록

보상하기 위해 조작부의 개도제어 곡선이 밸브나 댐퍼의 유량곡선과 반대가 되도록 캠을 사용한다.

즉 유량이 직선적이려면 포지셔너의 캠도 직선 특성인 B캠을 사용하지만 보통의 경우처럼 밸브의 유량이 낮은 개도에서는 급격하게 증가하다가 중간 이후부터 완만하게 증가하는 특성을 가진 경우 밸브 포지셔너에는 A 캠을 사용한다.



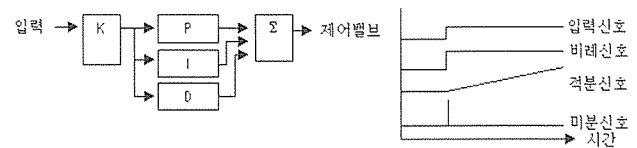
<그림 12> 캠 특성

캠은 Positioner에 내장되어 있어 입력(mA, 또는 공기압)과 출력(Stem 개도 또는 댐퍼 회전각)의 특성을 그림과 같이 바꾸어 준다. 보통 직선적인 유량특성을 위하여 A 캠을 사용하는 경우가 많다.

다. 피드백 제어와 시퀀스 제어

(1) 피드백 제어

이날로그제어기에서와 마찬가지로 디지털제어기에서도 대표적인 피드백제어기로서 PID²⁾ 제어기를 사용한다. 그 입력은 설정치와 측정치와의 편차인데, 이 편차 신호의 변화를 비례, 적분, 미분에 의해 연산하여 제어출력을 발생시킴으로써, 편차가 0이 되도록(즉 측정치가 설정치와 같아지도록) 동작한다.



<그림 13> PID 제어기

피드백 제어(폐루프 제어) 시스템은 프로세스 량(압력, 온도 등)을 측정하여 신호로 받아들이는 검출부, 제어신호를 발생하는 조절부, 제어신호를 프로세

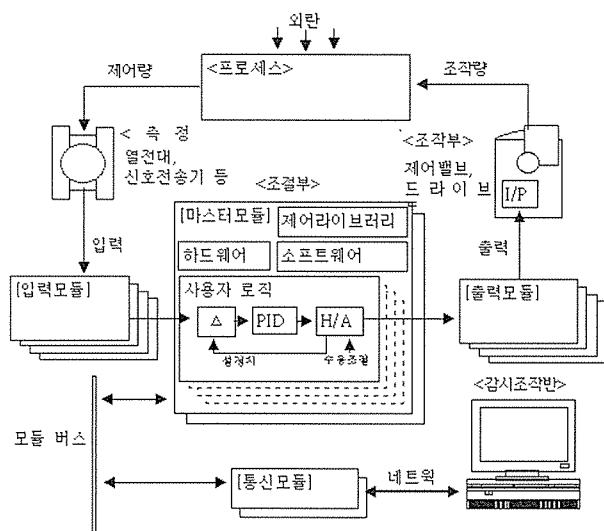
2) PID(Proportional plus Integral plus Derivative): 비례, 적분, 미분 제어

스에 내보내는 조작부로 구성되어 있으며, 디지털 제어시스템에서는 주로 조절부 부분이 디지털화 되어 있다.

측정부는 프로세스에 따라 여러 가지의 센서 또는 신호 전송기가 사용되며, 그 측정값을 표준신호로 변환하여 제어부로 보낸다. 제어기는 일반적으로 설정치와 측정값을 비교한 제어편차를 이용하여 제어신호를 만든다. 제어기의 신호는 최종적으로 펌프 드라이브 또는 제어밸브와 같은 조작부(Actuator)를 통하여 프로세스를 제어하게 된다.

위와 같은 제어 시스템에서 제어기가 자동 운전 모드에 있는 경우 그림과 같은 방향으로 신호가 전달되며 결국 설정치와 같은 제어량을 유지하도록 피드백 제어가 이루어진다.

디지털 제어시스템의 PID는 우수한 성능을 위해서 여러 가지 부가기능 조합하여 구성하고 있다. 수동/자동 모드간의 안정 전환을 위한 추종회로(Tracking), 발전기 출력에 대응하는 프로그램 제어 등이 그 예이다.



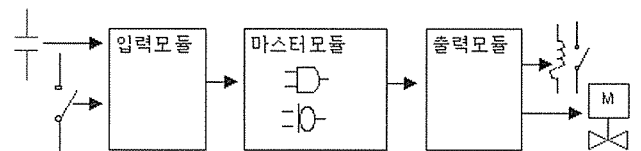
<그림 14> 피드백 제어시스템

제어하기 어려운 프로세스를 위하여 PID보다 더 우수한 성능을 가지는 제어 알고리즘들이 개발되어 있지만, 복합발전소의 경우에는 아직 미미하다.

하드웨어가 디지털제어기로 되어있는 경우 이러한 제어로직은 마스터 제어모듈에서 동작되며 로직은 모듈내부의 불휘발성 메모리 소자에 저장되어 전원이 차단된 상태에서도 휘발하지 않는다.

(2) 시퀀스 제어

시퀀스제어는 제어대상을 On/Off, 기동/정지하는 것처럼 단지 2위치 제어동작을 출력하는 것으로서 개루프 제어라고도 한다. 보통 정해진 조건이나 시간 또는 프로그램에 의해 대상을 제어한다. 과거에는 전자(電磁) 릴레이에 의해 구성되었으나, 디지털 제어설비에서는 소프트웨어 제어로직으로 대체되었다. 캐스터빈이나 플랜트 기동정지 등에는 피드백제어보다는 시퀀스제어가 대규모로 사용되고 있다.

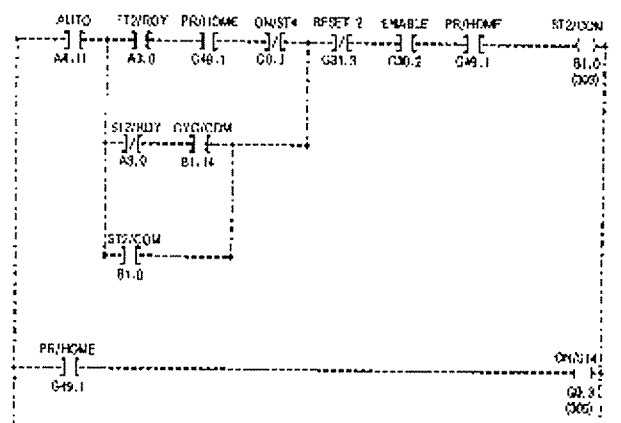


<그림 15> 시퀀스 제어 시스템

DCS에는 릴레이로 구현하기 어려운 복잡하고 편리한 시퀀스 제어용 기능코드가 많이 내장되어 있는데, 피드백 제어와 동일한 마스터 모듈을 사용하는 것이 일반적이다. 시퀀스제어의 입출력 신호는 1과 0의 논리를 다루는 슬레이브 모듈을 사용한다.

입력 신호는 조작 스위치(CS), 릴레이 접점, 각종 프로세스 스위치(유량, 압력, 온도 스위치 등) 등이며 출력 신호는 전동밸브, 솔레노이드 밸브, 전자 릴레이 등을 구동한다.

소프트웨어 틀에 의해 사다리형 도면(Ladder Diagram), 또는 논리 게이트의 기능블록(Function Block) 형태로 로직을 작성하고 입력할 수 있다.



<그림 16> 래더 다이어그램