

# Control Valve의 개요 및 구조

## 1. Valve의 정의 및 기원

배관 또는 압력용기에 장치되어 그 회로 안에 흐르는 유체를 개폐하거나 유량 및 압력을 조절하는 기기를 지칭한다.

Valve는 BC3000년경 에게문명에서 목재 코크를 사용한 것이 시초이며, 이후 BC25년경 Gavri Island의 Sibelius Palace에서 수도관에 청동제 코크를 사용하였고, AD12년경 로마해군의 군함에서 식수탱크의 청동제 코크를 사용하였다고 기록되어 있다.

문명의 초기에는 Pipe의 재료로 흙·돌·나무·가죽 등이 사용되었고, 청동기 시대부터는 다루기 쉬운 납이나 구리 등이 주된 재료가 되었다. 16세기 영국의 월킨스가 연관을 대량으로 생산할 수 있는 조관기를 발명함으로써 Pipe와 Valve의 대량 사용시대를 맞이하였고, 17세기에는 증기보일러를 사용하면서 최초로 압력용기의 과압으로부터 용기를 보호하는 장치인 안전Valve를 발명하였다.

그 이후에는 Plug, Check Valve 등도 개발되었고, 18세기에는 Gate Valve, Stop Valve 및 현대적인 Plug Valve 등이 개발되었고, 1930년경 Ball Valve가 개발되었으며, 2차 세계대전 전후 무렵 자동제어 Valve가 개발되었다.

## 2. Valve 기능의 Trends

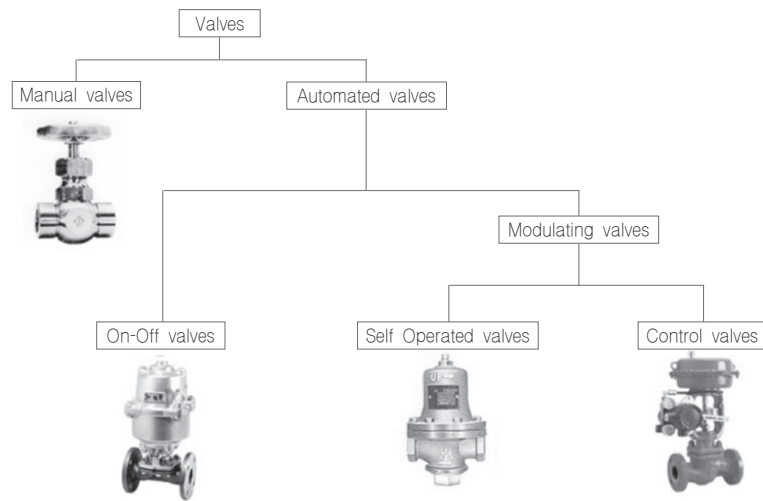
고대에는 Steam의 흐름을 유지하는 것을 목적으로 하였으나, 산업혁명 시기에는 Steam 엔진의 발명으로 압력을 유지하는 기능의 필요성이 대두되면서 고압의 유지나, Anti-cavitation, Anti-erosion 등 새로운 기술적 문제가 야기되었다.



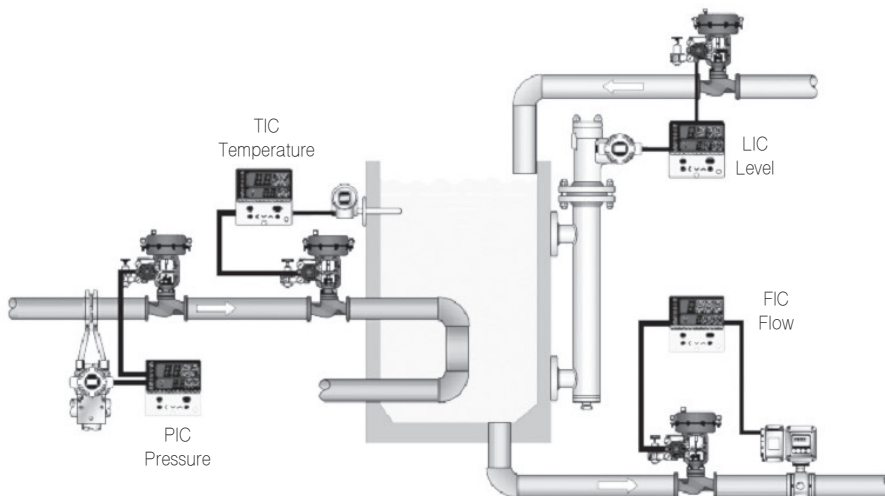
## Control Valve의 개요 및 구조

또한 재료공학, 금속공학, 유체역학, 주조공학 등을 토대로 점차 개선해 나가고 있으며, 에너지 절감, 안전성, 유지보수 및 고효율성을 요구하고 있는 추세다.

### 3. Valve의 분류



### 4. Control Valve의 기능

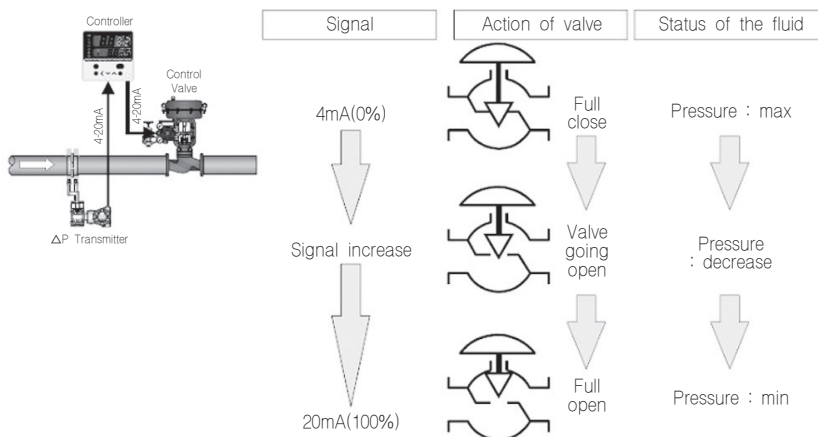


## 컨트롤 밸브의 기술동향과 적용

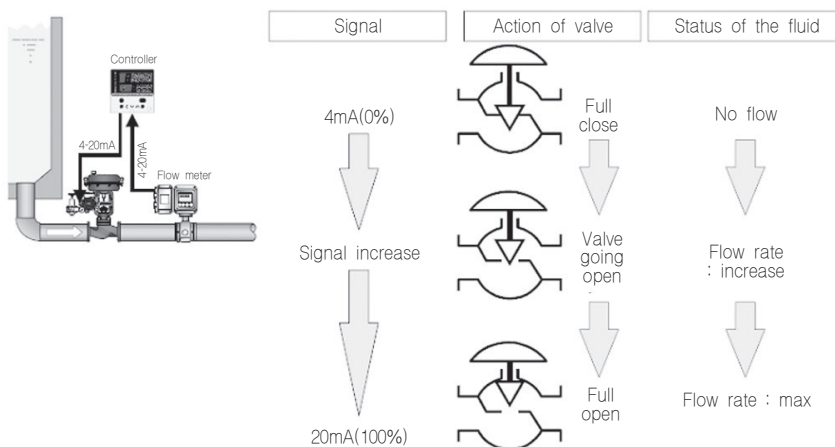
- Controller의 신호에 의해 Process의 유량, 압력, 높이, 온도와 같은 변수들의 조절한다.
  - 압력 vessel 기능
  - Air fail safe 기능
- (비정상적인 상황에서 안전하게 Plant를 정지시키기 위해 Full close 또는 Full open한다.)

### 5. Process control의 예

#### ① Pressure control

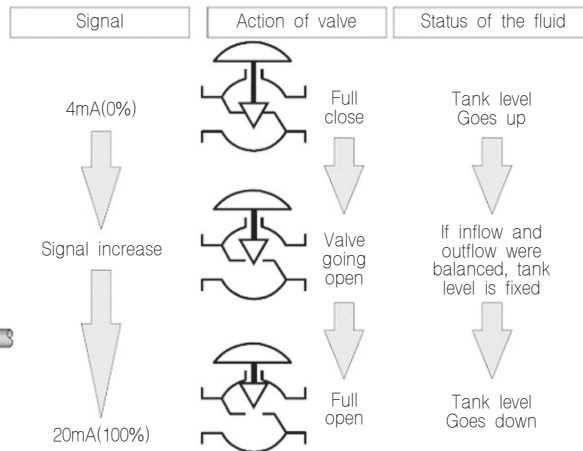
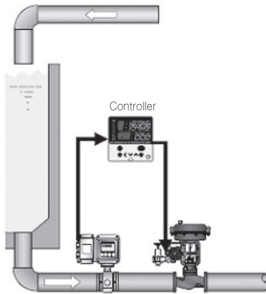
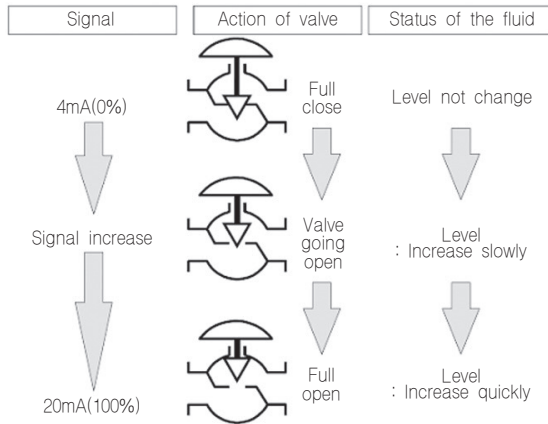
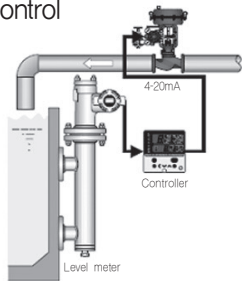


#### ② Flow control

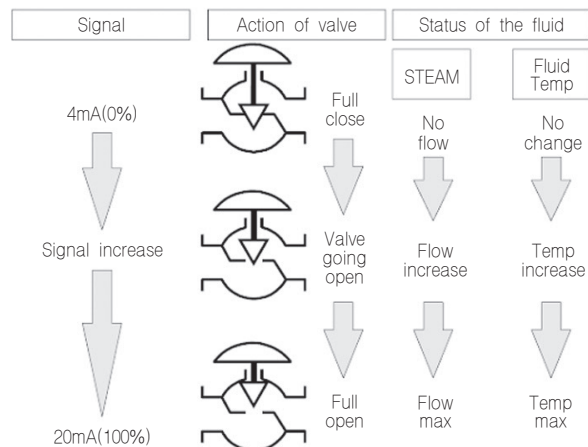
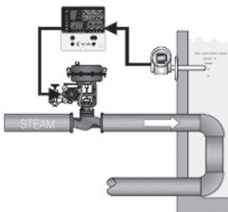


## Control Valve의 개요 및 구조

### ③ Level control

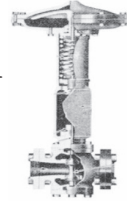


### ④ Temperature control



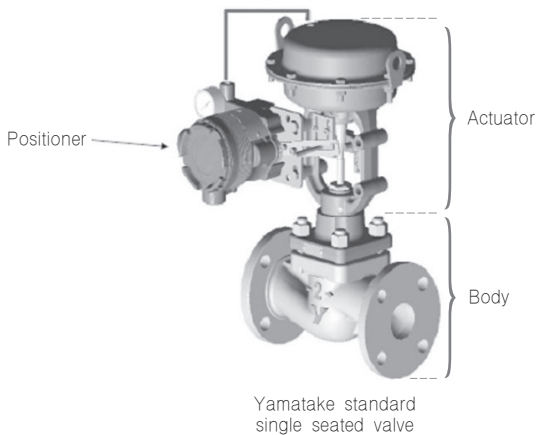
#### Azbil(Yamatake) Control Valve

- Azbil(Yamatake)은 1936년 일본 최초로 자국 생산을 시작
- 창시자인 Yamaguchi Takehiko의 초성을 조합하여 Yamatake의 상호를 사용



## 6. Control Valve의 구조

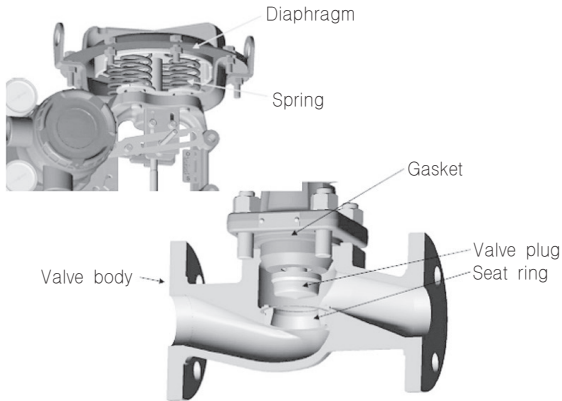
### ① 주요 Parts



- Actuator : 전기, 유압, 압축공기 등을 이용하여 전달된 힘을 운동에너지로 변환하여 Valve를 구동시키는 역할을 한다.
- Positioner : 전기 및 공기신호를 공기 신호로 변환하여 Actuator로 전달하는 역할을 한다. 가동부의 마찰, 조작부의 히스테리시스(Hysteresis) 및 밸브 플러그가 유체로 받는 불평형력의 영향에 관계없이, 조절 밸브에의 입력 신호에 대하여 밸브 플러그의 위치를 항상 정확하게 비례시키는 역할을 한다.
- Body : 실질적으로 유체가 흐르는 부분이며, Actuator에서 전달된 힘을 통하여 유체의 흐름을 개폐한다.

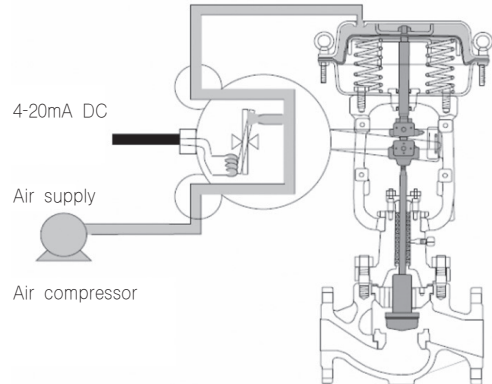
## Control Valve의 개요 및 구조

### ② Actuator와 Valve body의 구조



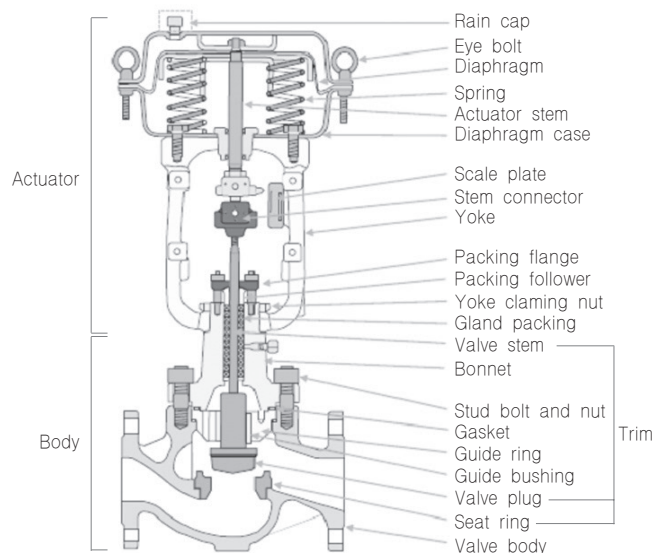
- Gasket : Body와 Bonnet 사이의 공간을 밀봉하여 Leakage를 방지한다.
- Valve plug : 밸브 내에 유량을 개폐하거나 조절하는 Stem에 붙어 움직이며, 유체를 개폐하거나 유량을 조절하는 역할을 하는 것으로, Globe Valve 및 Angle Valve에서는 Plug(Port)라 부르고, Gate 및 Check Valve에서는 Disc, Ball Valve or Butterfly Valve에서는 Disc 또는 Vane이라 부른다.
- Seat ring : Plug, Disc, Ball과 접촉하는 부위로서 Globe Valve일 경우에는 Single seat와 Double seat가 있다. 재질에 따라서 Soft seat와 Metal seat로 구분되고, Control Valve에서 누수는 자동밸브 전후에 수동밸브가 대부분 있기 때문에 별문제가 없으나 꼭 밀폐가 필요한 경우는 Soft seat를 사용한다. 단 고온, 고압에는 사용에 제한이 있으므로 주의해야 한다.

### ③ Control Valve의 작동



Air가 Compressor에서 공급을 받고 있는 상태에서 전기신호 또는 공기신호를 전달 받아 Positioner를 통하여 Actuator에 Air를 공급함으로써 전달된 힘을 이용하여 Valve의 개폐를 작동시킨다.

### ④ Control Valve의 Parts



## 컨트롤 밸브의 기술동향과 적용

- Rain cap : Actuator 내부에 우수 및 이물질침투의 방지 목적으로 사용되며, 역작동(Reverse action) 시에는 Air piping이 연결되기 때문에 제외된다.
- Eye bolt : Diaphragm case 사이에 체결되는 Diaphragm을 조이는 역할을 하며, Maintenance 시 Hook로 걸어 사용한다.
- Diaphragm : 보통 고무재질로 사용하고, 압축된 공기에 의하여 상하운동을 하며, Spring에 힘을 전달한다.
- Spring : 전달된 압축 공기에 의하여 수축하고, 공기가 차단되었을 때 원상태로 회복한다.
- Actuator stem : 수축작용에 의하여 변동된 변위를 Valve stem에 전달하는 역할을 한다.
- Scale plate : 밸브의 개도를 0~100%로 나타낸다.
- Stem connector : Actuator stem과 Body stem을 연결해준다.
- Gland packing : Process 유체를 외부에 누출시키지 않기 위해서 충분한 Seal성과 동시에 Valve stem의 움직임에 대해서 마찰이 적은 것이 요구된다. Process 유체의 성질, 온도, 압력을 충분히 고려해서 적절한 재질선정과 합리적 사용방법이 필요하다.

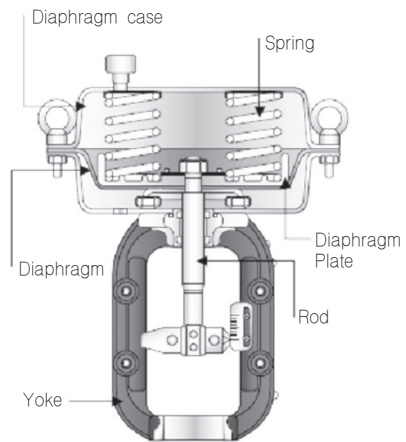
공정제어에서 사용되는 Actuator는 신뢰성이 높고, 조작이 간단하며, 효율이 경제적인 Pneumatic type이 90% 이상 사용되고, 나머지 일부분 Motorized type과 Hydraulic type이 사용되고 있다.

### ► Pneumatic type Actuator

내부구조에 따라 다음과 같이 분류된다.

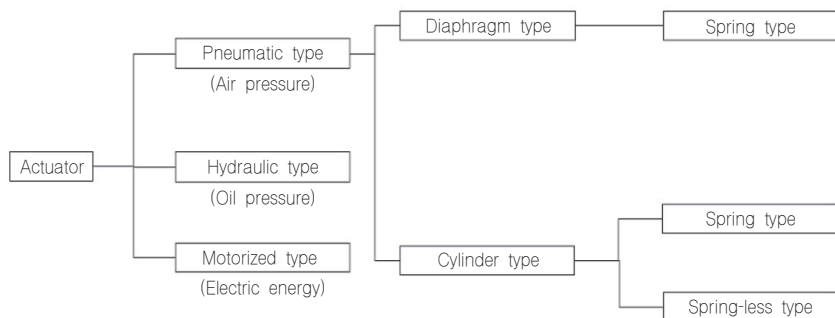
#### 1. Diaphragm type

- Diaphragm case, Diaphragm, Diaphragm plate, Springs Rod(Actuator stem), Yoke로 구성된다.



## 7. Control Valve의 종류

### ① Actuator의 종류





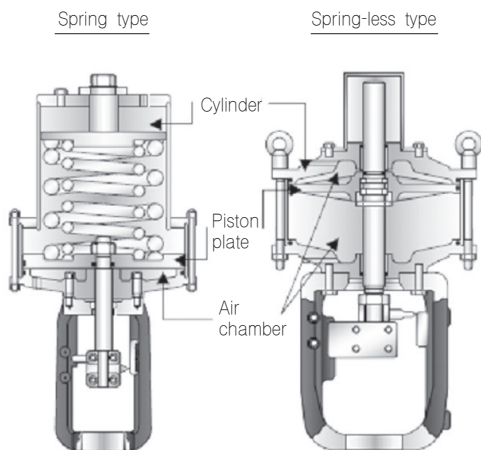
Supply air를 Actuator 내부의 Diaphragm에 공급해서 Rod를 통하여 직선운동으로 전환한다.

Supply air가 공급이 차단되었을 때는 Spring의 탄성에 의하여 원위치로 오게 된다. 가격이 상대적으로 저렴하고 구조가 간단하여 유지보수가 쉽고 Modulating 특성이 좋으며, Diaphragm을 사용함으로써 Cylinder (Piston)과 같은 저항마찰력이 생기지 않는다. 하지만, Diaphragm의 내구력으로 인하여 수명이 짧고, Air 압력을 제한적으로 사용하기 때문에 Power가 크지 않다.

Single-acting 사용 시 Spring의 탄성 때문에 10% 미만과 90% 이상에서의 제어성이 나빠지며, Stem의 비틀림 동작 발생시 쉽게 파손되고, 적용 Lift에 제한이 있다.

### 2. Cylinder(Piston) type

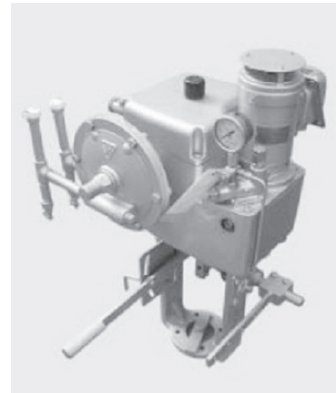
Supply air를 Actuator 내부의 Cylinder 상하부에 공급해서 Rod를 통하여 직선운동으로 전환한다.



Double acting이 기본이며, Single acting을 만들기 위하여 Cylinder 상부에 Spring을 사용한다.

내구력이 우수하고 Power가 크며, Double acting 사용 시 Position 유지가 견고하여 10% 미만의 저개도 운전 시 제어성이 매우 좋다. 또한 진동 및 축 비틀림에도 강하고 적용 Lift에 제한이 없고 동작 속도가 빠르다. 하지만 Cylinder 내벽 등 정밀가공이 필요한 부분이 많아 가격이 비싸고 유지보수가 불편하며, Piston의 움직이는 부분이 Viton 등 연질 O-ring으로 되어 있어 장기적으로 움직이는 제어용으로는 Diaphragm보다는 수명이 짧고, 마모된 O-ring을 주기적으로 교체해야 된다. 압력이 높은 Air를 사용하기 때문에 구동부의 정확도나 안정성이 Diaphragm보다는 떨어진다.

### ▶ Hydraulic type



압축된 Oil이나 고압을 작동 Energy로 사용하기 때문에 조작력이 크고, 동작속도가 빠르다.

구조가 매우 강하게 설계되었기 때문에 고장이 적으며, 장시간 사용할 수 있다. 장시간 사용하기 위해서는 압축 Oil의 교환이 필요하며, Maintenance가 힘들다는 단점이 있다.



## ▶ Motorized type



전기식 Actuator는 전기모터에 특별한 장치를 하여 밸브축을 움직이도록 되어 있는 것으로서 근래에 와서는 조절 계기의 조작량 신호가 전기식으로 바뀔에 따

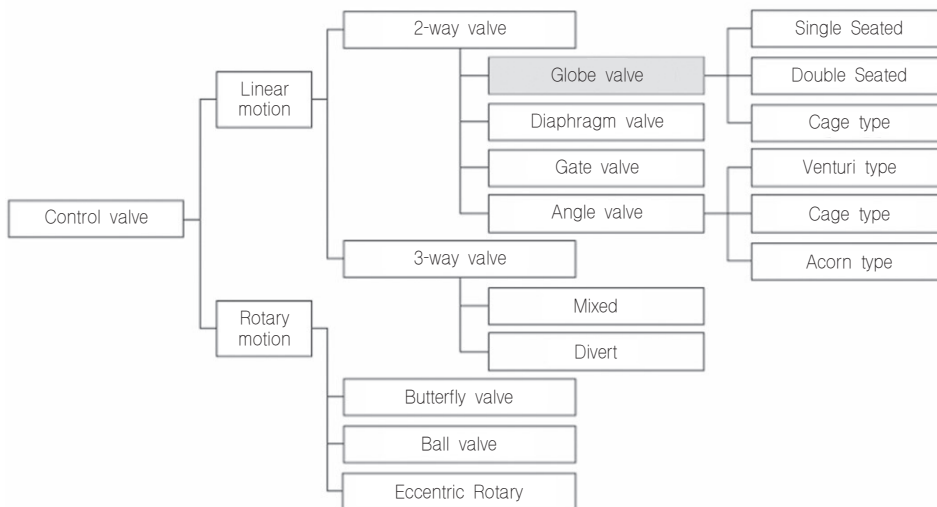
라, 계기 신호를 모터에 직접주어 움직이게 함으로서 사용이 증가 추세에 있다.

전기식 Actuator의 단점은 가격이 다른 Actuator에 비해 비싸고, 동작 속도가 Pneumatic에 비해 늦고 기계적인 기어박스 및 전기적인 배선 등이 복잡하여 고장이 Pneumatic에 비해 많고 수리 시 많은 비용과 시간이 필요할 뿐만 아니라 방폭 지역에서는 가격이 비싼 방폭형 Actuator를 사용해야 한다.

안전상태는 아직도 Pneumatic Actuator에 비하여 떨어진다. 장점으로는 계기 또는 컴퓨터에서 나오는 신호를 직접 받아 동작할 수 있으며, 제어하고자 하는 곳에 다른 외부 에너지(공기 또는 유압) 없이도 전기 배선만으로 설치할 수 있어 단독으로 멀리 떨어져 있어도 설치 사용할 수 있다는 점이다.

전기모터 Actuator는 전기모터 관성상 미세한 제어는 공기식이나 유압식에 비해 떨어진다. 따라서 대개의 전기 Actuator는 밸브 개폐용으로 사용하며, 제어용으로 사용시는 특별한 모터를 채용해야만 한다.

## ② Control Valve의 종류

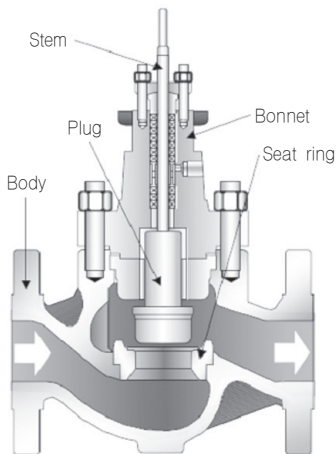


### ▶ Globe Valve - Single seated type

Plug와 Seat를 1개씩 가지고 있다.

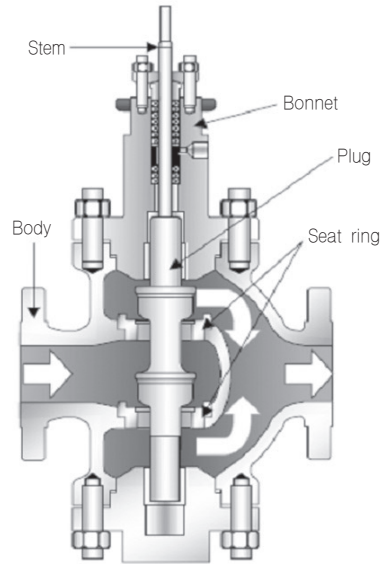
가장 기본적인 형식의 Control Valve로, 차단성능이 우수하고 허용 누설량(Seat leakage rate)이 정격 Cv값의 0.01% 이하이며, Soft-seat 사용시 완전차단에 가깝게 할 수 있다.

1개의 Valve plug에 전 차압을 받기 때문에 대구경이나 고차압의 경우 요구되는 Actuator가 커지게 된다. 때문에 주로 소구경 Valve에 사용되며, 차단성능이 우수하여 Shut-off Valve나 On-off Valve로 사용된다.



### ▶ Globe Valve - Double seated type

유체의 흐름을 개폐 또는 조절하는 Seat가 두 개로 구성되어 있다. Valve plug의 Top측과 Bottom측 두



곳에서 Guide하고 있는 구조이므로 Top and bottom guided control valve라고도 한다.

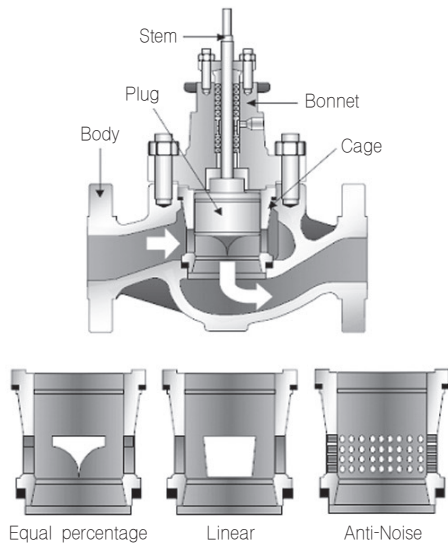
Inlet으로 유입된 유체의 압력이 두 개의 Plug로 분산되어 Actuator에 받는 힘이 작기 때문에 Single seated Control valve의 약점인 대구경이나 고차압인 경우에 사용된다. 하지만, 두 개의 Seat를 동시에 접촉시키는 것이 어려우므로 Single seat Control valve보다 Seat부의 누설량이 많다.

### ▶ Globe Valve - Cage type

Cage 내에 승동하는 Plug를 설치한 Control Valve로서 Cage가 Plug를 직접 Guide하고, Guide 면적이 크기 때문에 Plug의 진동이 억제되어 고차압에 대해서도 안정적인 동작이 얻어진다.

한편, 불순물을 포함하는 유체에는 적합하지 않다. 유량 특성은 원통 모양인 Cage의 창 형상을 바꿈으로써 임의의 특성을 갖게 할 수 있으며, Unbalance type과 Balance type이 있다.

## 컨트롤 밸브의 기술동향과 적용

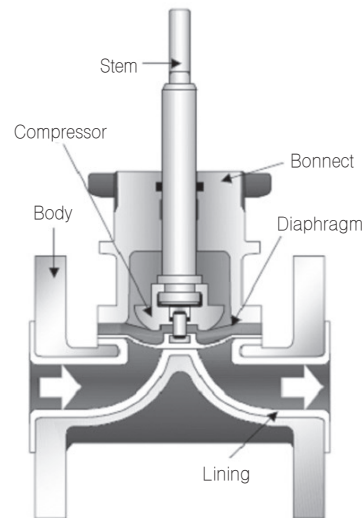


Unbalance type은 Single seated Valve, Balance type은 Single seated valve 형식을 채택하는 수가 많다. 저압에서 고압까지 사용이 가능하며, 점도가 많거나 고체 제어용으로는 좋지 않다.

일반적으로 점도는 200cP까지 무방하고, Port 위에 구멍이 있어 유체압력의 균형을 이루어주는 Balance Cage, 구멍이 없는 Unbalance cage, Port 수에 따라 Single 또는 Double port가 있다.

### ▶ Diaphragm Valve

Valve 본체의 중앙에 Weir를 두고 Diaphragm에 의해 유로를 개폐한다. 선더스 밸브(Thunders Valve)라고도 한다. 유로가 단순하기 때문에 본체 내면으로의 라이닝이 용이하고 내식성을 쉽게 얻을 수 있고, Slurry유체 · 점성유체 등에도 적합하며, 동일한 Globe Valve의 Size보다 Cv Value가 크다.



유량 특성은 Linear에 가깝다. 낮은 개도의 제어성은 좋지 않아 Range ability는 10~15:1 정도이다. 따라서 유체가 점액이거나 유체 속에 고형물질 또는 덩어리 등이 들어 있는 유체를 제어하는데, Diaphragm Valve를 사용한다.

### ▶ Gate Valve

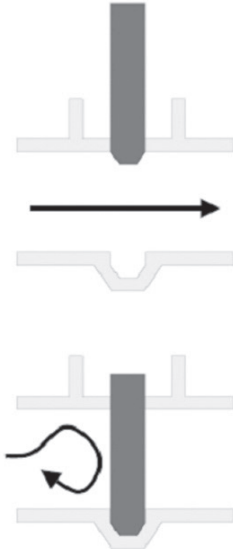
Disc가 유로를 수직으로 칸막이를 하여 개폐하는 형식의 Valve이다.

이 Valve는 전개 시 개구부가 배관 안지름과 거의 같기 때문에 압력 손실이 작고, 또한 높은 차단 능력을 가지고 있으므로 차단 Valve로 사용하는 경우가 많다. Control Valve로 사용될 경우에는 Seat-ring을 V형 Orifice로 하여 특성 및 Range ability의 개선을 도모하는 연구가 진행되고 있다.

Gate Valve는 유량 조절용으로는 사용하지 않으며,

## Control Valve의 개요 및 구조

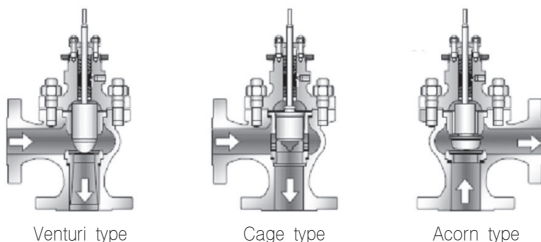
차단 Valve로 고온 고압의 여러 종류의 유체에 사용되지만, Slurry나 고점도의 유체에는 사용되지 못한다. 따라서 완전히 열렸을 때 압력 강하가 적고, 외관상 On-off 식별이 용이하며, Material 선정폭이 넓다. 단점으로는 열리기 전에 진동이 생기기 쉽고, Seat와 Disc 마모가 생기고 열릴 때 큰 힘이 필요하며, 미세한



유체 Leak가 발생된다. Gate Valve의 종류로는 일반적으로 사용되는 것으로 Disc가 썸brero모양인 Wedge type, 두 개의 다공관으로 되어 있어 열팽창과 압력변화의 영향을 최소한으로 줄일 수 있어 가스, 증기 액체의량을 조절하는데 사용되는 Parallel slide type과 Gate의 Disc 끝이 칼날과 같이 날카로우며 점도가 높은 물질이나 구형과 같은 고체, 고형 물질이 포함된 유체에 좋은 Knife gate type이 있다.

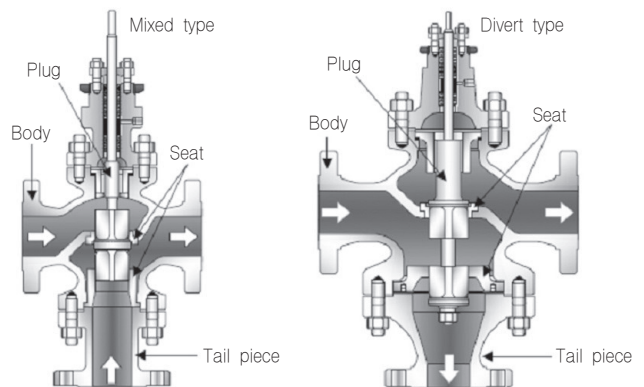
### ▶ Angle Valve

Valve 본체의 입구와 출구의 중심선이 직각이어서 유체의 흐름방향이 직각으로 변하는 형식의 Control Valve이다. 보통 유체를 옆으로부터 아래로 90도 방



향 전환하며, Slurry유체 · 점성유체 등이 쉽게 흐르게 하는 것을 목적으로 하는 용도에 사용 또는 출구 측에 Drain이 허용되지 않는 경우에 사용한다. 내부구조는 Globe Valve와 거의 같고 Single seated type, Cage type이 있으며, Globe Valve에 비하여 외류현상과 압력 손실이 적다. 따라서 유체 압력 차가 큰 곳에 사용한다.

### ▶ 3-Way Valve



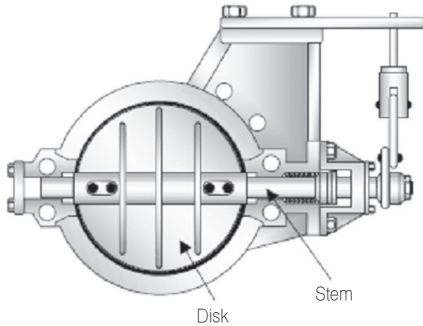
재질 및 구조는 일반 Ball Valve와 거의 같으나, 유체 흐름의 길을 바꿀 수 있는 구조의 밸브이다.

3-Way Valve는 유체 출입구가 3개 있는 형식의 Control Valve로서 두 가지 종류가 있는데, 유체를 혼합 시 사용되는 T 형태는 2가지의 유체를 혼합 후 한 방향으로 보내거나, 한 방향의 유체를 2방향으로 나눠 보낼 수 있다. L 형태는 유체의 방향을 어느 한쪽으로 바꾸는데 사용된다.

4개 Seat 디자인은 Inlet을 어느 쪽이나 쓸 수 있는 반면, 2개 Seat 디자인은 Seat가 2개로서 Seat가 없는 쪽이 언제나 유체의 입구 측이 된다.

유량 특성은 그 목적이 일정 유량을 혼합 또는 분류하는 것이어서 보통 Linear 특성으로 하며, 어떤 개도에서나 합계유량이 동일하게 되도록 한다.

### ▶ Butterfly Valve



Valve 본체 내에서 Disc가 회전하여 개폐하는 형식의 대표적인 Valve다. 비교적 얇기이며 대구경, 낮은 차압에 적합하다. 유체압력에 의하여 움직이는 Torque는 70도 부근에서 최대가 되며, 그 위치를 초과하면 급격히 감소한다.

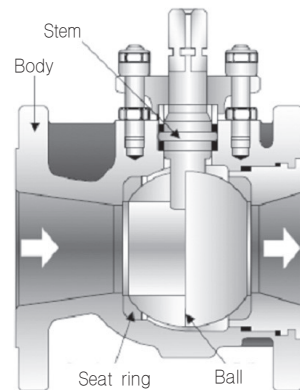
따라서, Control Valve로 사용할 경우에는 0도에서 60도 사이에 사용하는 것이 일반적이다. 유량 특성은 Equal Percent 특성에 가깝고, Range ability는 20~30:1 정도이다. 보통의 Butterfly Valve는 Seat가 없고 전폐시의 누설량은 1~3%이지만, 누설량을 감소시키기 위해 여러 종류의 Seal 방식이 채택되고 있다.

누설을 막는 방법으로 고무, Teflon 등을 사용하면 누수를 막을 수는 있으나, 고온에는 견디지 못하여 저온에서 사용한다. 그러나 Metal seat가 개발되어 고온에도 사용되나, 고압에는 적합하지 않는 문제점이 있다. 또 구조적 특성으로 인해 2"(50A) 이하의 작은 Valve에는 설계 제도가 곤란한 단점이 있다.

Butterfly Valve는 유량조절 또는 On-Off용으로 사용할 수 있으며, On-Off일 때는 90도, 유량조절일 경우에는 60도 회전변을 사용하는데, 60도 이상이 되면은 유체 증가가 기하 급수적으로 변하고 많은 힘이 필요하

며, 70도 이상에서는 유량조절로는 적합하지 않다. 이 Valve의 장점은 대구경일 때 다른 Valve에 비하여 가격이 저렴하고 설치하기가 좋고 유량조절이 가능하다.

### ▶ Ball Valve



Valve 본체 내에 유로로서 관통 구멍을 가진 Ball을 넣고 회전시키는 형식의 Valve이다. 차단 성능은 Soft Seat의 경우는 대단히 양호하며, 완전 차단이 가능하다. Metal seat는 내열성이 우수하지만 차단성능은 Soft Seat에 비해 떨어진다. 제어용으로 사용하는 Ball Valve는 V-Notch를 넣은 부분을 구체로 하여 특성 개선을 도모하고 있다.

이러한 형식에서의 유량 특성은 Equal Percent 특성에 가까우며, Range ability는 100~300:1 정도로서 온도, 압력 등 사용조건이 완전한 범위에서 사용되고 Slurry 유체에 적합하다.

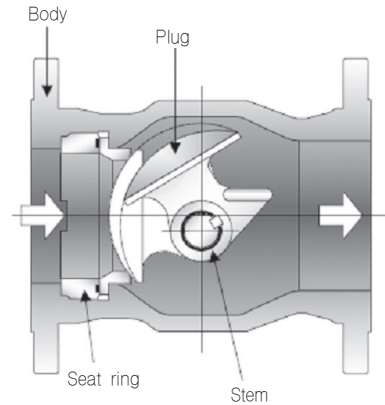
Ball Valve는 점점 Control Valve로 사용되는 추세에 있는데, 지금까지 문제는 Seat의 재질 때문에 고온 고압에 사용이 제한이 왔으며, Ball과 Stem이 분리되

## Control Valve의 개요 및 구조

어 Actuator와의 동력 전달이 미세한 부분에서는 잘 조절되지 않는 Dead band zone이 있었으나, Seat 재질을 향상시켜 Metal seat가 개발되고 Ball도 Seat와 같이 붙여 있는 One piece Ball이 나와 Globe Valve보다 가격이 저렴하고 Range ability가 큰 유리한 점들이 많아 Control Valve로 사용되고 있다. 단지 Ball은 회전각도에 따라 심하게 유량이 변하여 미세한 유량과 압력제어에는 적합하지 않다. 또한 Valve를 통과하는 유체의 손실계수인 Valve 회복계수가 낮아 Control Valve로 사용시 와류 현상이 일어나고 소음이 심하게 발생한다.

### ▶ Eccentric rotary valve

Eccentric rotary valve는 Plug가 편심축을 중심으로 회전되어 개폐하는 Valve다. 구조적으로는 제어용 Ball Valve와 비슷하지만 편심축으로 되어 있다는 점이 특징이다. 편심축으로 되어있기 때문에 Seat와



Plug가 차단시 외에는 접촉되지 않아 Torque의 감소와 차단 성능의 향상이 도모되고 있다.

유량 특성은 Linear 특성에 가깝고, Range ability는 100:1로 크다.