

Wellhead Choke Valve

Oil & Gas



Refinery



본인이 SEVERN GLOCON(Control Valve) 한국 지사장 역임 시절, 해외 유수 석유/가스 사업주 및 국내 주요 EPC 엔지니어를 대상으로 2009년부터 2011년까지 세미나 했던 내용으로 플랜트에 종사하는 많은 엔지니어에게 도움을 주고자 정리한 것이다.

박시우 대표(Stanley Park)
기계기술사 (President, P.E.)
S&T International Co.
Mobile : +82(0)10-3840-0721
Tel/ Fax : +82(0)2-400-8039
E-mail : stanley.park@daum.net

최근 더 깊은 심해 wellhead의 개발로 Severe Service Choke valve 적용이 요구된다.

Choke valve general : 기본적으로 원유 및 천연 가스 생산에 적용하고, 대부분 angle type 밸브로 왕왕 수동 작동이다. 그것은 control valve와 다른 개념으로 발전해 왔으며, Wellhead의 유체 및 생산 공정에 사용되어 왔다.

Choke valve의 진화 : 그것은 fixed type→ rotary type→ reciprocating type→ severe service choke로 진화되어 왔다

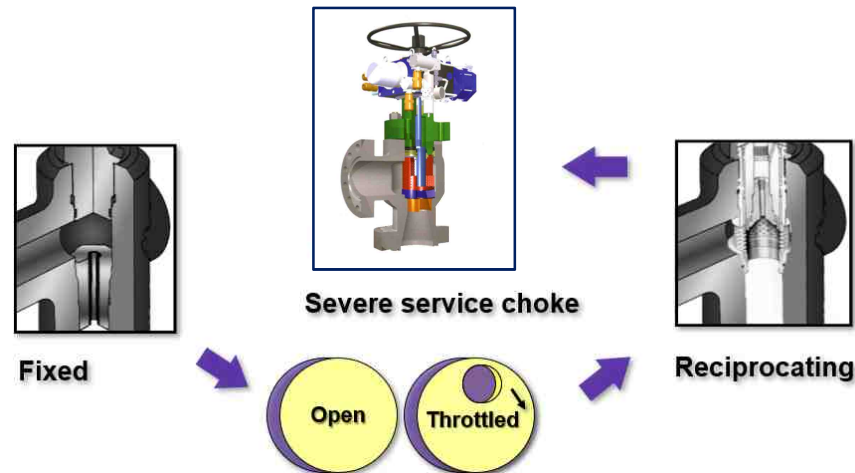
What is a Wellhead Choke Valve?

- ▶ Control Valve for the production & processing of crude oil & natural gas
- ▶ Most of all angle valves
- ▶ Often hand operated
- ▶ Evolved along a different philosophy than control valves
- ▶ Used to control wellhead fluids or process fluids



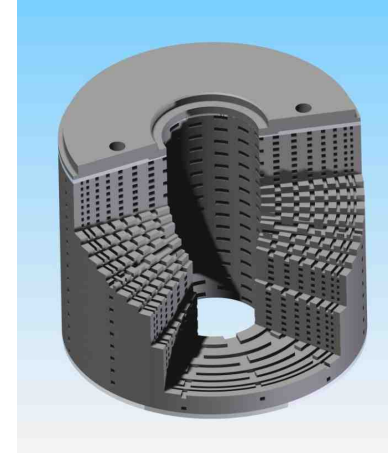
Severn Glocon

Choke Valve Hierarchy



Choke Product Philosophy and Why a Severe Service Choke?

- ▶ Solid Tungsten Carbide unitised stack 1 CC to CCD(Multi-stage) of pressure reduction
- ▶ Designed for General Service & Severe Service erosive flow
- ▶ Production and Injection Choke Valves horizontal 90 deg. turns only
- ▶ Higher wellhead pressures due to deeper, more difficult to produce wells
- ▶ Higher pressure gas wells, much higher velocities through choke trim
- ▶ Increased sand production
- ▶ Demand for more precise, automatic control at the wellhead
- ▶ Requirement to reduce downtime(비가동시간)
- ▶ Advent(출현) of subsea completions
- ▶ Noise control becoming an issue

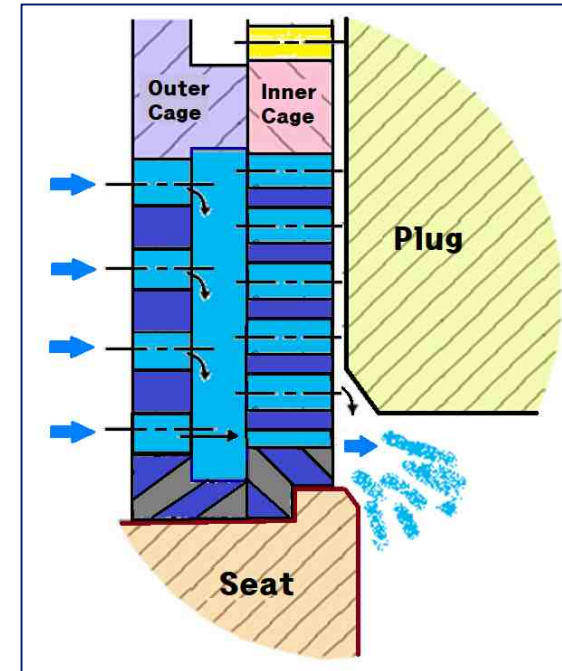


Choke valve Concept : 압력 강하를 위해 1CC에서 Multi-stage/Multi-path trim이 적용되고 재질은 Tungsten carbide로, 그것은 general service 및 severe service의 erosive 유체에 공히 사용이 가능하다. 그리고 주로 가스 및 oil 생산, injection에 사용되고 있으며, 평면 disk에서 90도 각도로 틀도록 설계되어 있다.

Severe Service Choke : Well을 개발하는 데 점점 심해로 가고, 더욱 어려워지고 있다. 따라서 choke valve를 통과하는 압력 및 속도가 높아지고 있고, 특히 모래 함유량이 증가하고 있다. Wellhead에서 좀 더 정교하면서 자동 조절을 요구하고 있으며, 비 가동 시간을 줄이는 요구가 높아지고 있다. LNG/Oil FPSO와 같이 생산품을 해상에서 완성하는 추세이며 severe 조건(high velocity, high sand content)으로 인해 소음 문제가 대두되고 있다. 유체 속도는 침식에 있어서 가장 중요한 요소로, 침식율은 속도의 3승에서 5승에 비례하는 힘의 함수로 다양하다($V^3 \sim V^5$). Wellhead의 압력을 낮추어 주기 위해 Severe Service trim을 적용하며, 이는 재래식 1 stage choke trim에 비해 속도를 1/3 내지 1/4로 감소시켜 주어 erosion을 방지하고, 소음 및 진동은 1/4 내지 1/10정도 밖에 되지 않아 trim 수명을 증가시킨다. 이때 stage 당 대략 400psi (28 bar)의 압력 강하를 만들어 준다.

Fixed Area Cages

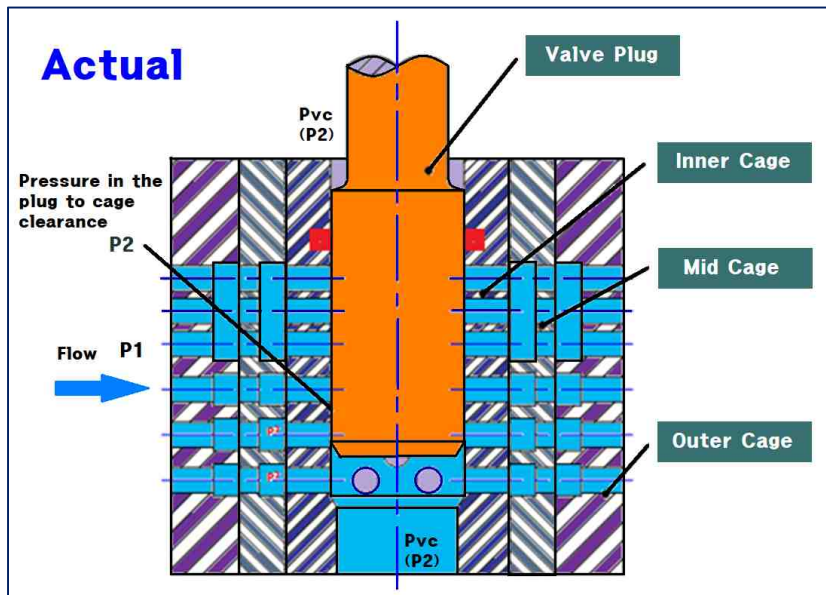
- ▶ Valves sold as multi-stage
- ▶ Area of inner cage varies
- ▶ Area of outer cage fixed
- ▶ Galleries help
- ▶ Most in-efficient at low lifts
- ▶ Well shut in pressure controlled at low lifts



Fixed Area Cages (improved)

- Liquid Multiple Stage Letdown

- ▶ Improved design to provide a more affective staged pressure letdown



고정 Cage 타입의 trim은 낮은 lift (60%~ 70% 이하)에서는 바깥 cage를 통해 들어온 유량 전체가 내부의 cage 아래 부분에서 대부분의 압력이 걸리기 때문에 gallery에 하중이 많이 걸리게 된다. 아주 낮은 lift (10% 이하)의 경우 내부 cage의 구멍을 거의 막아 버리게 되고, 이때의 전체 하중을 gallery가 받게 되어 가장 비 효율적인 설계인 셈이다. 이러한 단점을 보완해 좀 더 효과적인 단계적 압력 강하를 위해 외부 cage의 Cv 값을 제한하는 Liquid multiple stage letdown (multi-stage trim)을 적용한다. 이는 plug lift의 낮은 범위에서도 아주 효율적으로 압력 강하를 하도록 되어 있으며, lift에 따라 단계적으로 압력 강하를 함으로써 gallery에 전혀 무리가 가지 않도록 설계되어 있다.

Balance Seal Failure

- ▶ Small section seals
- ▶ Large clearances
- ▶ Sand embedding of steel surfaces
- ▶ Severe vibration
- ▶ Poor or lost control



Mechanical Failure

- ▶ Poor design
- ▶ High velocity fluid = Vibration
- ▶ Weakness due to erosion
- ▶ Impact
- ▶ System shutdown
- ▶ Uncontrolled blow-by



Balance seal의 접촉 부위가 작기 때문에 이때 생기는 seal과 plug 사이에 모래가 파고 들어와 plug 표면에 박히게 되고, 이로 인해 심한 진동이 발생하고 결국은 control 능력을 상실하게 된다.

기계적 고장은 나쁜 설계로 인해 발생되며, 유체 속도가 높아지고 진동이 발생한다. 또한 erosion으로 인해 trim이 약해 지고 충격을 받게 되면 밸브 고장으로 공장 운전이 shutdown된다. 그리고 control 할 수 없는 유량을 흘러 보내게 되어 vessel을 보호하기 위해 safety valve가 작동하게 된다.

Trim Erosion

- ▶ High velocity flow
- ▶ Erosive particles, e.g. sand
- ▶ Dual phase / droplets
- ▶ Poor or lost control
- ▶ Mechanical failure
- ▶ Excessive downtime(비 가동 시간)



Body Erosion

- ▶ Poor Design
- ▶ High velocity flow
- ▶ Erosive particles, e.g. sand
- ▶ Dual phase / droplets
- ▶ Poor or lost control
- ▶ Mechanical failure
- ▶ Excessive downtime(비 가동 시간)



Trim Erosion은 유체 속에 모래와 같은 erosive 물체나 2상의 유체 및 유체 방울이 이 있을 때, 이때의 빠른 유속은 erosion을 발생시켜, control 능력을 상실케 하고 기계적 고장으로 이어져 결국은 과도한 비 가동 시간이 일어나게 된다.

Body Erosion은 나쁜 설계, 높은 유속 및 유체 속의 모래와 같은 erosive 물체가 있을 경우, 2상의 유체 및 유체 방울로 인해 erosion이 발생되고, 벽체에서의 leakage 혹은 body에서 압력 상실로 인해 대기로 가스가 유출되며 이는 기계적 고장으로 이어져 결국 과도한 비 가동 시간이 일어난다.

Choke Failures

- ▶ Lost production
- ▶ High maintenance
- ▶ High inventory
- ▶ Complicated logistics
- ▶ Safety issues
- ▶ Upgrade & replacement

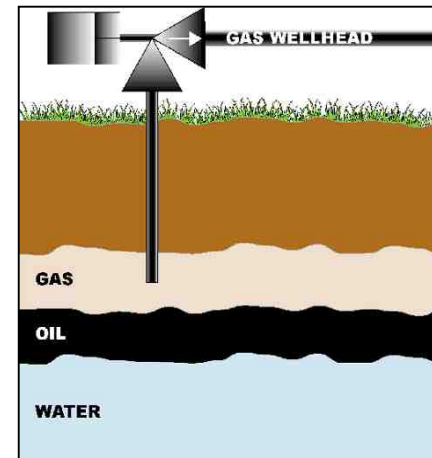


Choke valve의 고장은 생산물의 손실로 이어지고 높은 수리 유지 비용과 부품의 재고를 증가시키게 하고 복잡한 부품 조달을 유발시킨다. 결국은 운전자의 안전 문제와 직결되며 밸브의 내부 trim의 교체나 밸브 전체 교체를 요구한다.

Wellhead Applications - Gas Production

● Gas Wellhead Control

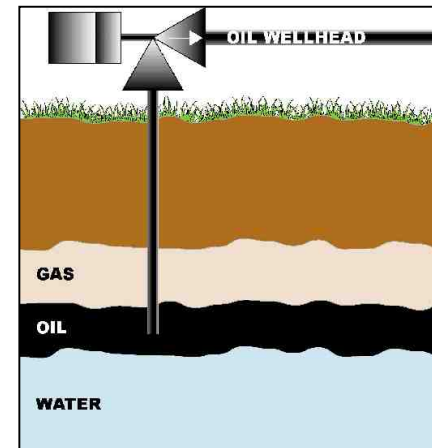
- High pressure drop: Can be >10,000 PSI (700 bar)
- High sand content: Can cause rapid erosion failure at pressure drops much below than 500 PSI (35 bar)
- High noise levels: < 85 dBA is now commonly specified, especially on manned platforms - Often multi-phase fluid



Wellhead Applications - Oil Production

● Oil Wellhead Control

- High pressure drop: Can be > 10,000 psi (700 bar)
- High sand content: Can cause rapid erosion failure at pressure drops much below than 800 psi (55 bar)
- Multi-phase fluid
- Fluids with a high “water cut” may cause cavitation damage



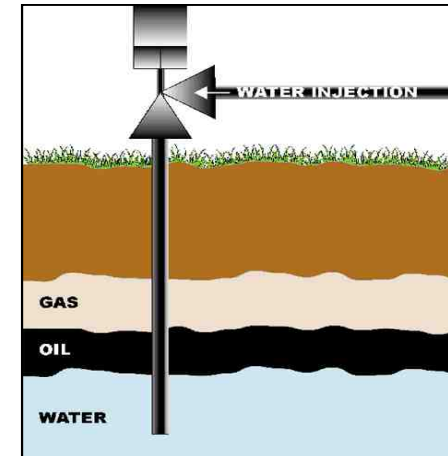
Wellhead Gas 생산 : 가스 wellhead 압력을 control하는 데 delta P가 10,000psi(700bar) 이상일 경우도 왕왕 있으며, 모래 함량이 높을 경우에는 delta P가 500psi(35bar)보다 훨씬 낮은 경우에도 급속한 erosion이 일어난다. 소음은 사람이 platform에 있을 경우에는 통상 85dbA미만이 요구된다. 가끔 multi-phase 유체(多相 = gas/condensate/water, 등)를 다루기도 한다.

Wellhead Oil 생산 : Oil wellhead 압력을 control 하는 데 delta P가 10,000psi(700bar) 이상일 경우도 왕왕 있으며, 모래 함량이 높을 경우에는 delta P가 800psi(55bar) 보다 훨씬 낮은 경우에도 급속한 erosion이 일어난다. 가끔 multi-phase 유체(多相 = gas/condensate/water, 등)를 다루기도 한다. Oil에 water % 함량이 높을 경우 이를 water cut이라 일컫는 데, 이는 cavitation을 일으켜 밸브에 손상을 준다.

Wellhead Applications

● Water Injection

- High pressure drop
- High cavitation potential: Especially at start-up
- High rangeability: Often required
- Tungsten Carbide trim: Often not required

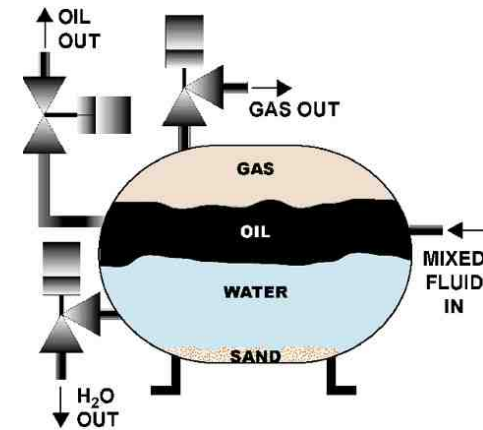


Wellhead로 Water Injection : Oil을 어느 정도 생산을 하면 wellhead 압력이 떨어져 injection pump를 이용해 water를 well에 주입 해 well의 압력을 높인다. 이때 pump의 discharge pressure와 wellhead의 압력 차가 커서, cavitation이 일어나게 된다.

특히 초기 pump 운전 시 cavitation이 일어난다. 초기 주입 시에는 유량은 적고 압력 차는 커서 이때의 Cv 값은 아주 작지만, 밸브를 완전히 full open 했을 때의 압력 차는 작고 유량은 maximum 상태로 이때의 Cv 값은 아주 크게 된다. 혹은 계절적인 수요(겨울에 최대와 여름에 최소: data sheet 상에 통상 여름을 Case 1, 봄을 2, 가을을 Case 3, 겨울을 4로 명기)에 기인한 유량의 차이, 아니면 wellhead가 여러 개 있어 이들 각 wellhead에서의 운전, 생산량을 고려한 운전 개념 같은 것이 high rangeability를 요구한다. 주입되는 water에 모래나 딱딱한 물질이 없을 경우에는 Tungsten carbide trim을 적용할 필요가 없다.

Separator Level Control

- Often sandy service: Separator may collect sand from many wells
- High cavitation potential
- Dissolved gases may flash
- Potentially corrosive



Wellhead platform에서 Separator(일명 slug catcher)로 들어오는 유체는 多相 (multi-phase)일 경우인 데, 여기에 왕왕 모래가 포함되어 있다. 이때 Choke valve를 적용하는 데, Oil 및 water가 함유되어 있어 cavitation을 일어나게 되고, 용해되어 있는 가스는 flash를 일으킬 수 있으며, 산(acid)이 제거되지 않은 상태로 corrosive하다.

Hydrocarbon liquid는 flashing으로 인해 가스로 팽창하게 되고 water와 sand는 그대로 남아 팽창된 가스로 인해 그 속도는 증가해 valve trim 및 body에 심대한 손상을 초래한다. 따라서 delta P가 커 flashing을 일으킬 경우 multi-material(Hydrocarbon liquid, Water, Sand)일 때가 가장 심각한 것으로 밸브 사이징을 할 경우에는 유체에 대해 보다 정확한 정보가 요구된다.

다상의 유체가 (Multi-phase로 Hydrocarbon Gas, Liquid, Moisture, Sand, 등) Well에서 올라올 경우, 초기 운영 단계(Early phase)에서는 Sand 및 Moisture 함량이 아주 미미하지만 후기 운영 단계로 가게 되면 많은 Sand및 Moisture가 유체에 함유되어 나오게 된다.

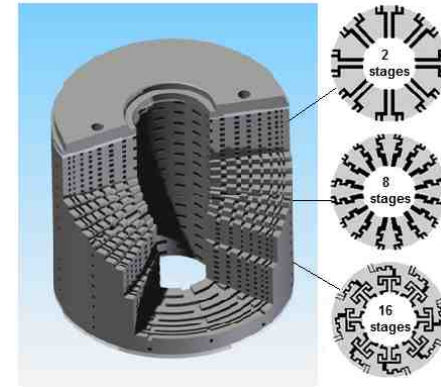
따라서 밸브 trim 재질을 초기에 모래 함량이 거의 없다고 Duplex 같은 재질로 자못 적용할 경우 실제 상업 운전시, 특히 후기 운전 단계에서는 trim 수명이 예상보다 빨리 짧아지는 경우가 있다(Well 압력이 높아 유체가 올라오는 속도가 빠를 경우, Sand로 인해 심지어 일주일 만에 Erosion으로 문제 발생).

따라서 trim 재질 선정에 있어서 Well에서 올라오는 유체에 대한 모래 함량을 면밀히 사전 조사가 이루어져야 한다.

Non-wellhead Applications

- ▶ Gas lift
- ▶ Dump valves: Separator dump valves: K.O. drum dump valves
- ▶ Water injection pump recycle*: Overboard dump*

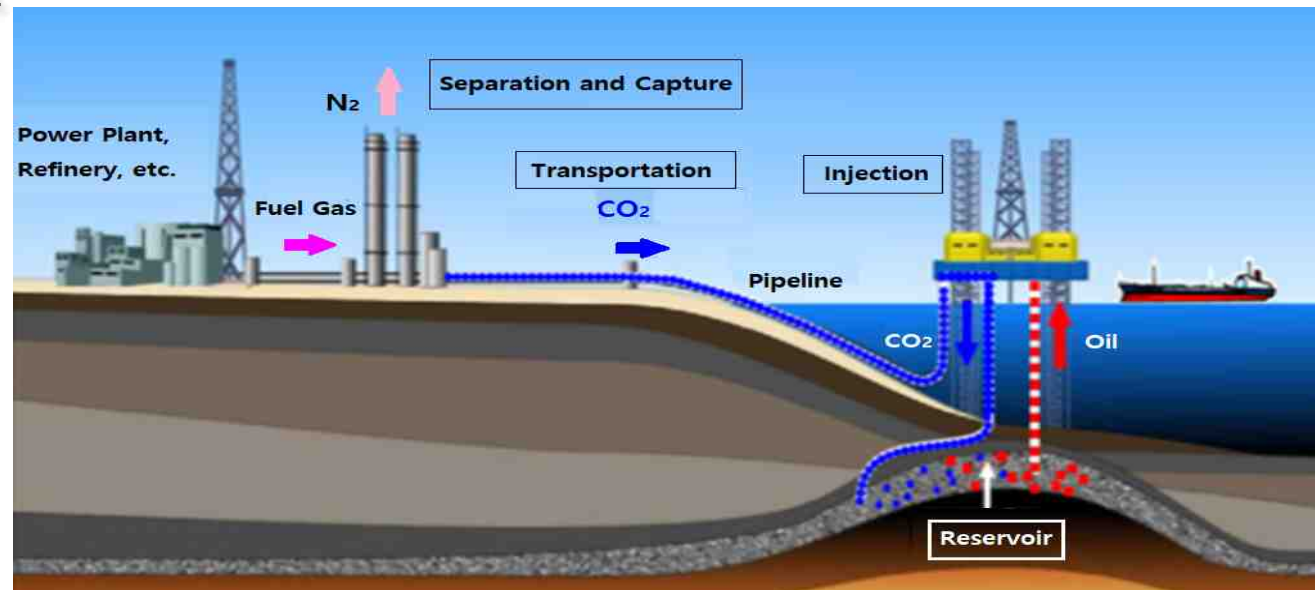
* Usually designated as control valve applications



Combined Disks to solve the problem

- ▶ All disks may not be the same
- ▶ Can provide precise linear flow vs. variable pressure drop over the full range of the valve

- **Choke Valve가 Wellhead 생산용이 아닌 경우:** Well에서 뽑아 올린 생상품 중에 slug catcher에서 CO₂를 분리해서 wellhead 로 다시 주입을 해, wellhead 압력을 높이는 경우이며 이때에는 대기에 CO₂ 배출량을 줄일 수 있어 환경 문제를 동시에 해결할 수 있다(아래 그림).



- **Gas wellhead**에서 모두 뽑아 쓴 후에 비어 있는 이 해저 동굴(cavern)을 통상 가스 저장 탱크로 재 활용하는 데, 이때 가스 주입을 위해 해상 platform에 gas injection compressor가 설치된다. 이때 compressor discharge pressure와 빈 동굴의 압력 차는 아주 크며, 이런 경우 조건은 상당히 severe하다.

초기 주입 시의 아주 낮은 Cv 값(very high delta P, low flow rate)과 어느 정도 가스가 채워 지면서 valve가 full open 될 때의 아주 높은 Cv 값(low delta P, high flow rate) 차이로 high rangeability가 요구된다.

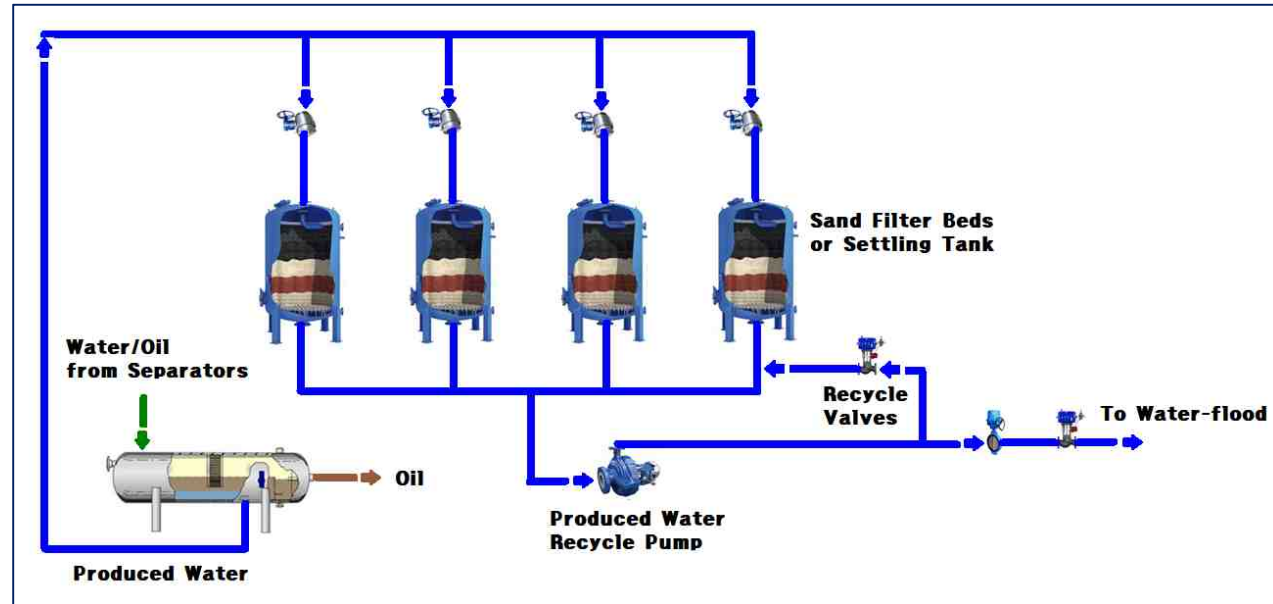
그 외 경우로는 Wellhead에 N₂가스를 주입시키기 위해 Well 압력을 높이기 위해 Gas Injection Compressor에서 가스 압력을 높이는 데 통상 이때 압축 비가 높은 4단의 고압 compressor를 설치한다. 그래서 Anti-surge용 Hot Gas Bypass valve의 pressure rating이 API10000 Angle design이 요구되기도 한다. 하지만, 이 밸브는 실질적으로 Choke 밸브는 아니다.
- **Overboard Dump Valve**의 경우로 이는 delta P 뿐만이 아니라 중력에 의한 Force도 고려한 design이 되어야 한다. 즉, Platform deck나 FPSO deck에서 밸브 downstream pipeline을 통해 물이 바다로 떨어지기 때문에 밸브 자체에서 발생하는 delta P는 trim 설계에만 관련이 있지만 밸브를 통과하고 난 후에 그 유체는 downstream pipeline을 통해 deck 아래 바다로 떨어지기 때문에 중력으로 인한 force 만큼의 진공이 발생하고 이는 Water Hammer로 이어진다.

베르누이 방정식의 위치 head(아래 방정식의 Z 함수)를 고려한 설계가 되어야 한다. - Outlet baffle plate 및 Downstream pipeline상의 Gooseneck 추가 설치.(그림 참조)

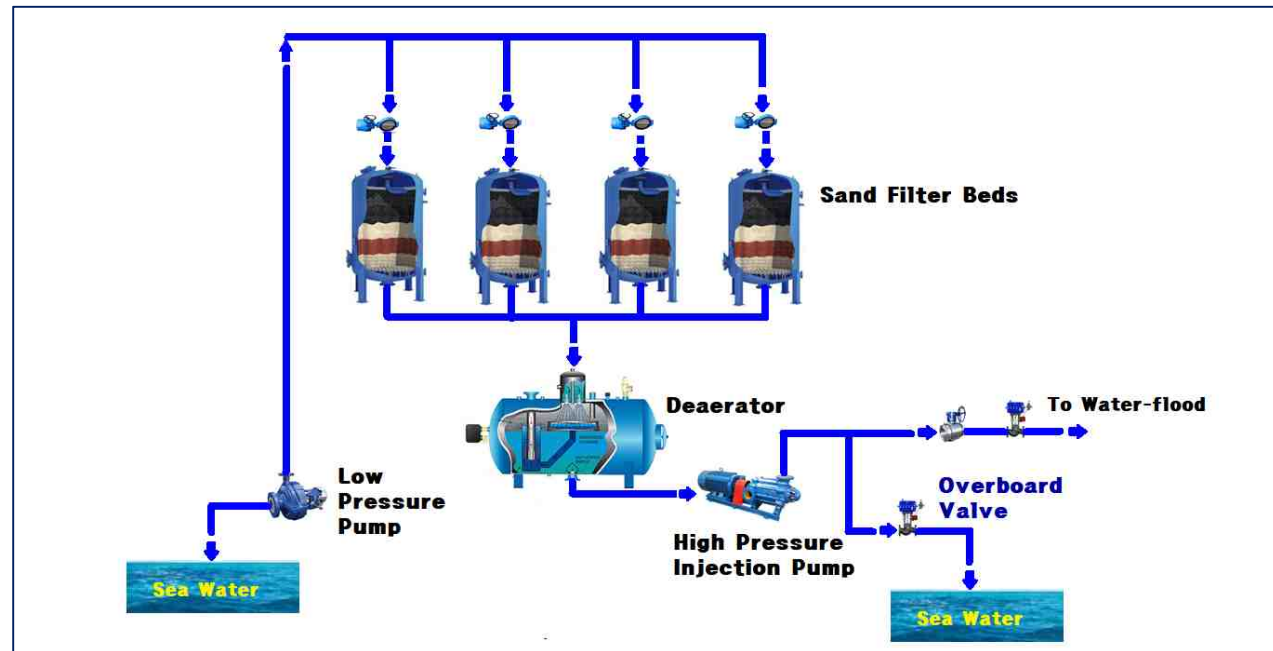
$$\partial Z_1 + P_1 + \partial V_1/2g = \partial Z_2 + P_2 + \partial V^2/2g$$

- **Water Injection Pump**의 minimum flow recirculation이나 overboard dump(pump discharge에서 배 밖, 즉 대기로 방출)로 이때는 통상 control valve로 분류해서 구매한다.

Water Injection



Overboard Dump Valve

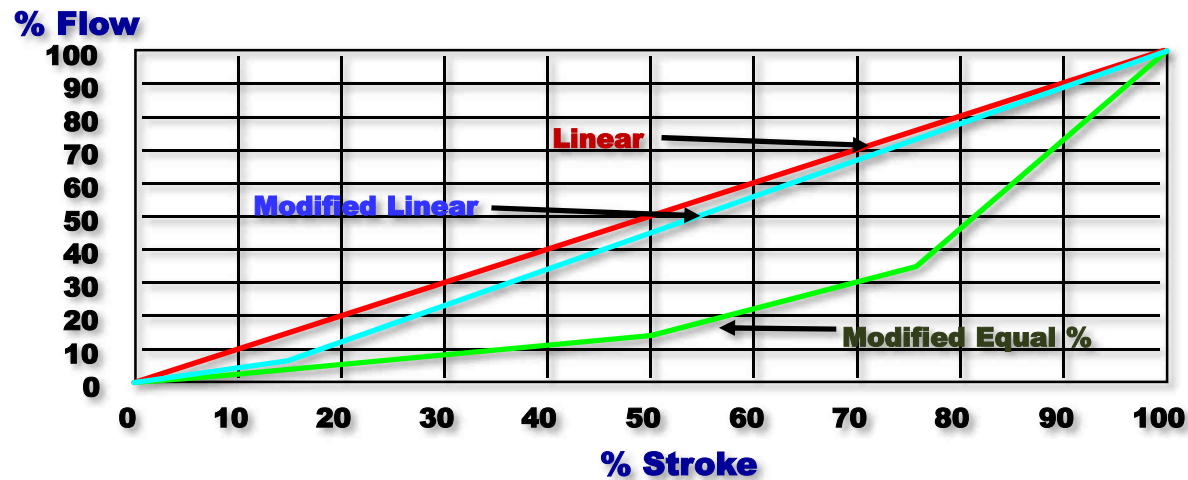


Multi-stage/Multi-path Trim

- Velocity control for specific applications

● Linear stack

- ▶ All disks have the same number of passages, stages & flow area
- ▶ Flow is directly proportional to the valve's stroke at constant differential pressure

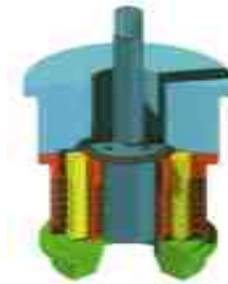


Multi-path, multi-stage trim을 적용할 경우, 운전 조건에 따라 다양한 Linear characteristic curve를 만들어 낼 수가 있는 데, 이때 매 disk의 path 수 및 stage 수, 유량 통과 면적을 동일하게 하면 된다. 물론 각 disk의 path 수와 stage 수를 다르게 제작해서 stack을 만들 경우 modified linear curve도 가능하다.

Trim Design to application guide

● CC (Concentric Cage) Range

- ▶ Low pressure recovery with drilled hole
- ▶ Available for both clean and dirty service
- ▶ Relatively high pressure differential



● MLT (Multi Labyrinth) Disk Stack Range

- ▶ Ultra pressure recovery with multi-path/ multi-stage letdown
- ▶ Available for only clean service(up-down path), not erosive fluid
- ▶ Extremely high pressure differential water injection to well application



(Severn Glocon)

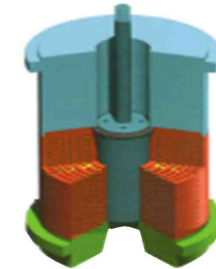
Choke Valve Trim에는 적용에 따라 그 형상이 차이가 있는 데 한 외국 업체의 design을 소개하자면,

CC(Concentric cage) trim : 낮은 압력 회복과 유체가 dirty하거나 clean할 경우, 상대적으로 압력 차가 어느 정도 있을 때 적용한다.

MLT(Multi-Labyrinth Trim) : multi-path, multi-stage letdown으로 압력 회복이 아주 크고, 압력 차가 아주 큰 water injection의 경우에 적용한다. Trim에서의 유체 진로 방향이 up-down 상태로 흘러 모래가 함유되었을 경우, 꺾이는 부위에서 erosion이 발생해 이런 application에는 사용을 않는다.

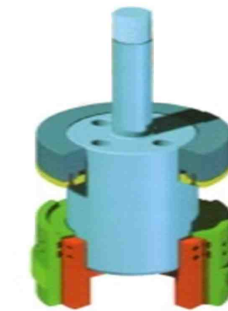
● **CCD Range**

- ▶ Ultra low pressure recovery with multi-path/multi-stage letdown(Horizontal path)
- ▶ Available for both clean and dirty service , and first choice for extremely high differential dirty flow application, particularly erosive fluid with sand



● **MP-CC(Concentric Cage) Range**

- ▶ Low pressure recovery with drilled hole at initial opening
- ▶ Available for both clean and dirty service
- ▶ First choice for low pressure production wells with relatively high TLP (Tube Lock- in Pressure) values

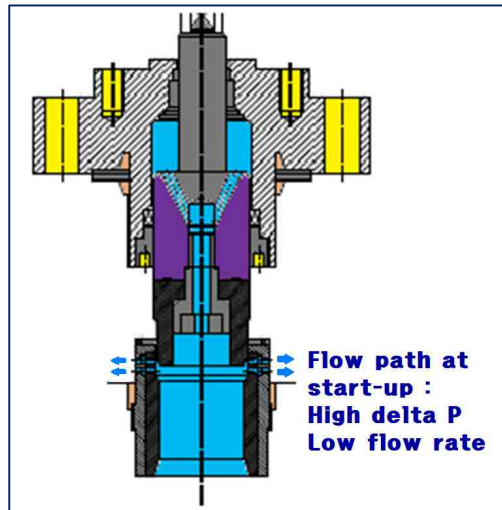


(Severn Glocon)

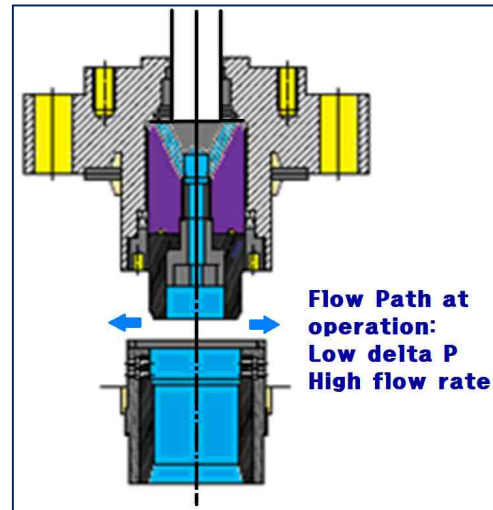
CCD Trim : multi-path, multi-stage letdown으로 압력 회복이 아주 작고 유체가 dirty하거나 clean할 경우에 적용이 가능하나 압력 차가 아주 크고 dirty 유체일 경우에 주로 적용한다. 유체가 trim을 통과 시, horizontal로 꺾여 erosion 발생이 적어 모래가 유체에 함유되었을 경우 대표적으로 이 밸브를 적용한다.

MP- CC Trim : 아래 그림과 같이 start-up 시, 30% 이하의 낮은 lift에서 delta P는 크고 유량은 적은 경우 CC trim을 통과해서 속도를 낮추게 해 소음, 진동 및 erosion을 감소시켜 주며 정상 운전 생산 시에 delta P는 적고 유량이 크게 되고 그림과 같이 contoured cage 형식으로 trim이 설계되어 있다

● **MP-CC(Concentric Cage) Range- Trim Performance**



Start-up/Significant Pressure Drop



During Production (*Severn Glocon*)

MP Choke는 seat bore를 최대로 키우기 위해 seat 부위를 screw thread로 설계되어 있다. Wellhead 압력은 낮으나, 상대적으로 TLP(Tube Lock-in Pressure: 밸브 close 시, wellhead 압력과 밸브 입구까지 간혀 있는 압력)가 클 경우에 적용한다. 초기 start-up시 유량은 작고 delta P가 아주 크고, 정상 운전 시 유량은 크고 delta P는 적다.

Industry Standards

- ▶ ANSI B16.34
- ▶ API 6A
- ▶ ISO 9000/9001
- ▶ Governmental agencies
- ▶ Customer specifications

Project에서 요구하는 각종 standard 및 code, spec. requirement를 만족시켜야 한다.