

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

1. 사용조건 검토

프로세스 플랜트에서 취급 사용하는 다양한 종류의 유체와, 온도와 압력에 따른 이들 유체의 물리 화학적 성질은 물론 주위 환경 및 사용목적은 밸브의 재질, 구조, 형식 및 제어방식을 결정하는데 기본이 된다. 이를 세부적으로 논의해 보면,

- 유체가 가진 물리적인 조건, 예로써 사용온도, 압력, 주위 환경은 밸브 재질의 사용범위와 압력 등급(Class)에 영향을 직접적으로 미치며 더불어 밸브의 시팅 구조 등에 영향을 준다. 유체 흐름의 조건(차압, 유속, 온도)상 일어나는 밸브에 케비테이션 또는 후라싱, 소음 등을 완화시키거나 제어하기 위해서는 밸브 트림 구조 및 재질의 선정 및 표면 처리 등에까지 영향을 준다.
- 유체가 가진 화학적인 조건, 예로써 유체 자체가 반응 또는 성질의 변화가 동반되는 경우에는 폭발, 독성, 변색, 오염, 부식 등에 밸브가 직간접적으로 시스템에 영향을 주게 됨으로 밸브의 구성 재질, 구조 및 형식, 제어 방법은 물론 법적인 규제까지 고려하여 밸브를 선정해야 할 것이다. 또한 유체의 성분의 일부 또는 유체 자체가 밸브 재질에 화학적으로 민감하게 반응하는 성질인 경우인 산화 또는 부식, 부식응력클랙(SCC, Stress Corrosion Crack) 등의 현상이 예상된다면, 이에 오랫동안 견딜 수 있는 재질의 선정 또는 코팅과도 같은 추가적인 방안이 마련되어야 한다.
- 사용 조건상 고온, 고압, 초저온, 진공 등의 가혹한 운전 조건이라면, 부식, 침식, 운전환경에서의 기계적 거동, 취성(脆性, Brittle) 등에 강한 재질의 밸브를 선정하여야 한다. 우주 로켓이나, 항공기와 같은 매우 엄중한 운전 조건이라면, 이중 삼중의 신뢰성 높은, 시스템의 최종 제어 요소로서의 완벽한 운전 조건을 가진 밸브이어야 한다.

이와 같이 밸브 사용조건 즉, 밸브의 내외부에서의 사용환경과 밸브의 사용 목적이 잘 맞는가를 검토하는 작업이 밸브의 선정 기준을 정하는데 있어서 핵심사항이다. 따라서 밸브의 구조와 형식, 구성재질, 관련 규격 및 법규상의 제한사항 등은 물론 필요하다면 시스템의 운전목적과 프로세스가 선정하려는 밸브의 사용조건과 맞는가를 검토하는 것도 아울러 필요하다.

2. 몸체 및 트림의 구조

(1) 압력-온도에 따른 밸브 구조

밸브는 사용압력과 온도에 따라 밸브의 압력등급(Pressure Rating)을 결정한다. 밸브는 압력을 건전하게 유지함과 동시에 안전하게 견디도록 설계되어야 함으로, 이에 대하여는 밸브 몸체 재질의 온도에 따른 허용응력을 고려하여 압력 등급을 규정하였다. 미국을 중심으로 하는 미국산업권 국가에서는 미국의 밸브 설계규정인 ASME B16.34(Valves-Flanged, Threaded, and Welding End)가 가장 보편화된 밸브의 재질별 압력등급을 규정한 규격집이고, 유럽산업권인 경우에는 EN 12516 (Industrial Valves – Shell Design Strength)가 있다. 특히 EN 12516 규격은 ASME B16.34 가 테이블 표 형식으로만 설계 파라미터를 정리한 반면에, EN 12516 은 테이블 표 형식(Part 1), 계산식에 의한

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

방식(Part 2), 경험에 의한 방식(Part 3) 및 강재(鋼製) 이외의 금속재 밸브의 강도설계 방식(Part 4)로 세분화 되어 있는 것이 특징이다.

또한 API 6A 와 같은 유정용 밸브 제품은 사용 용도의 특수성으로 인하여 별도의 압력-온도 등급을 가진다. 압력 등급으로는 2000psi, 3000psi, 5000psi, 10000psi, 15000psi 및 20000psi 로 6 단계의 압력 등급이 있으며, 별도로 온도 등급, 재질 등급이 별도로 규정되어 있는 점이 특이하다.

참고로 ASME B16.34 에 의한 압력과 온도에 대한 등급(P/T Rating)의 배경은 세계 2 차대전 중 미군의 군수품의 표준화 대책으로 플랜지에 사용하던 압력 등급을 밸브에 연장한 것으로 1957 년에 플랜지 표준규격(ASA B16.5)에서 분리되어 1977 년에 완전 B16.34-1977 로 분리 독립한 규격으로 ASME B16.5-1973, Steel Flanges, Flanged Valves and Fittings 과 MSS-SP 66, Pressure-Temperature Ratings for Steel Butt-Welding End Valves 를 배경으로 하고 있다. 이를 정리하면, 현재의 ASME B16.34 는

- ASME B16.5 SOURCE FOR B16.34 STANDARD CLASS RATING
- MSS SP-66 SOURCE FOR B16.34 SPECIAL CLASS RATING
- MSS SP-84 SOURCE FOR B16.34 LIMITED CLASS RATING을 배경으로 하고 있다.

표준 규격으로써, 표준화된 P/T Rating은 각각 Class 150, 300, 600, 900, 1500, 2500, 4500으로 하고 이외의 Class는 중간등급(Intermediate Class)라고 정하였다. 이들 P/T Rating, 즉 압력등급을 호칭할 때는 예로 크라스 300 또는 관행적으로 300파운드 (300#)라고 부른다.

반면에 EN 12516 표준은 대폭적으로 미국의 ASME B16.34 를 받아들여 압력등급이 표준등급(Standard Class), 특별등급(Special Class)와 제한등급(Limited Class)는 물론 중간등급까지 거의 동일하나, 보다 세밀하게 압력 등급을 나눈 것이 특징이다. 즉, PN 2.5, PN 6, PN 10, Class 150, PN 16, PN 20, PN 25, PN 40, Class 300, PN 63, PN 100, PN 160, PN 250, PN 320, PN 400, Class 600, Class 800, Class 900, Class 1500, Class 2500 및 Class 4500 으로 사용된다. PN 압력등급은 상온에서 사용할 수 있는 최대압력의 값은 ASME B16.34 와는 다르게 PN 의 값이 bar 로 표시된 것이다. 즉, 밸브재질이 일반적인 배관용 탄소강(P280GH) 밸브의 표준 압력등급이 PN 100 인 경우 상온에서는 100bar 의 압력까지 사용할 수 있는 것이다. 밸브 재질의 강도가 더 높은 것이라도 PN 100 은 밸브 몸체의 재질과 상관없이 상온에서 100bar 의 압력에 견딘다는 뜻이다. 이점이 미국 주도의 ASME 크라스와 크게 다른 것이다.반면에 PN 100 과 비슷한 압력등급인 ASME B16.34 의 A105 탄소강의 크라스 600 의 경우, 상온에서의 최대 사용압력은 102.1bar 가 된다.

압력등급이 높아지면, 밸브 몸체를 구성하는 밸브 바디와 본닛 구조도 밸브 선정 시 중요 포인트가 된다. 예로써, 게이트밸브나 글로브밸브와 같은 구조의 밸브는 동일한 압력등급이라 하여도 온도가 높은 경우와 압력이 높은 경우에 따라 본닛 구조를 달리할 수 있다. 같은 볼트 조인트 본닛(Bolted Bonnet)이라 하더라도 고온/고압인 경우 링조인트와 같은 메탈조인트가 더욱 많이 쓰이고, 1970 년대 이후, 팽창흑연과 같은 높은 탄력성을 유지할 수 있는 가스킷 밀봉재가 보편화되고, 밸브 시트와 디스크와 같은 밸브 트림구조의 신뢰성이 높아지면서 본닛을 유체 시스템 자체의 압력으로 기밀을

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

유지하는 압력밀봉식 본닛(Pressure Seal Bonnet)이 고온고압 밸브를 중심으로 보편화되기 시작하였다.

(2) 온도

초저온의 액화 가스로부터 초고온 상태인 초초임계압 증기용 밸브에 이르기까지 밸브의 사용온도는 밸브 재질의 선택에서부터 밸브 구조의 결정에 이르기까지 높은 과학적 지식을 필요로 한다. 적어도 -160°C이하의 초저온밸브는 주로 오스테나이트 (Austenite) 계열의 스테인레스 강으로 제작하는데, SS304 또는 SS316 를 적용한다. 밸브 구조 또한 밸브 스템이 연장된 롱 본닛(Long Bonnet)이어야 하며, 동결과 팽창 등의 온도에 따른 변화들이 밸브의 기능과 운전에 영향을 미치지 않도록 적합한 구조가 되어야 한다.

고온의 경우에는 고압이 수반되는 경우와 저압인 상태의 고온용 밸브로 구분하여 재질의 선정과 밸브 구조 또는 형태를 달리하여야 한다. 또한 온도가 짧은 시간내에 급격하게 변화하는 열충이 현상이 일어나는 경우에는 밸브 구조의 불연속부에서의 열응력 발생과 이에 따른 피로현상이 유발되므로 밸브 몸체의 내부 구조는 가급적이면 두께의 급격한 변화가 작은 구조로, 열피로가 적게 발생되도록 설계하여야 한다.

온도에 따른 밸브 재질의 선정기준은

- 용접성을 고려한 탄소의 함유량 관계($C < 0.35\%$)와
- 고온에서의 강도 저하(크리이프와 크리이프 럽처 등) 문제, 크리이프 강도 강화 페라이트강(Creep Strength Enhanced Ferrite Steel)의 선택 시 제반 고려사항들,
- 고온에서 장시간 운전할 때에 발생하는 고온 흑연화(Graphite Formation)현상,
- 고온화에 운전에 따르는 산화현상,
- 고온/고압환경에서의 수소 취성의 문제,
- 저온 취성 파괴,
- 온도에 따른 부식 특성의 변화문제,
- 페라이트계 스테인레스 강의 고온 취성화(脆性化)현상 등을

고려하여야 할 것이다. 이에 대한 구체적인 사항은 제 3 장 밸브 재질을 참고한다.

온도에 따른 강종의 선정 기준은 대략적으로 다음 페이지의 표 1 과 같다.

(3) 압력

초진공에서부터 초고압까지 밸브는 시스템의 최종 제어요소로서 온도와 결부하여 구조적 강도를 충분하게 유지하여야 한다. 온도 상승에 따른 금속재료의 취약해지는 현상을 구조적 강도로서 보완해 주어야 하고, 이는 밸브 설계에서 압력-온도 등급(P/T Rating)으로 나뉘어 규정하고 있다.

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

압력은 밸브의 내외부에 대한 구조적인 강도에 직접 영향을 주는 중요 설계입력 데이터이자, 유체의 성상에도 직접적인 영향을 주는 설계 파라미터이다. 유체는 각기 온도와 압력에 따라 특성이 달라지기 때문에, 비압축성 유체와 압축성 유체의 취급에도 큰 차이가 있다. 고압의 가스를 저압의 가스로 급속 팽창을 시킨다면, 고온 고압의 과열증기를 진공상태인 복수기로 방출시킨다면, 급격한 압력변화로 인하여 체적변화가 따르고, 이에 따른 유속의 변화로 인한 진동과 소음의 문제가 시스템에 작용할 것이다.

| 설계온도 범위 | 선택 가능 주요 강종 | 대표적 ASTM 규격 |
|-----------------|---|------------------------------------|
| -180°C 이하 | 오스테나이트 스테인레스 | F304L/316, CF3M/CF8M |
| -180°C ~ -100°C | 오스테나이트 스테인레스, 5% Ni 강, 9% Ni 강 | F304/316, CF8/CF8M |
| -100°C ~ -60°C | 오스테나이트 스테인레스, 2.5% Ni 강, 3.5% Ni 강 | F304, CF8 |
| -60°C ~ -10°C | 알루미늄킬드강으로 저온용 강 | LF2, LCB |
| -10°C ~ 350°C | 연강, Si-Mn 강, Mn-Mo 강, Mn-Mo-Ni 강 | A105, WCB |
| 350°C ~ 450°C | 킬드강, Mn-Mo 강, Mn-Mo-Ni 강 | A105, WCB, WCC |
| 450°C ~ 500°C | C-Mo 강, 1.25Cr-0.5Mo 강, 2.25Cr-1Mo 강 | F1, WC1 |
| 500°C ~ 550°C | 1Cr-0.5Mo 강, 1.25Cr-0.5Mo 강, 2.25Cr-1Mo 강 | F11, F12, WC6 |
| 550°C ~ 600°C | 2.25Cr-1Mo 강, 5Cr-0.5Mo 강, 9Cr-1Mo 강, 9Cr-1Mo-V 강, 오스테나이트 스테인레스 | F5/F9/F91/F22, WC9, C5/9/C12A |
| 600°C 이상 | 오스테나이트 스테인레스, 수퍼알로이 | F316/CF8M, Incoloy, Inconel., etc. |

표 1 밸브 설계온도에 따른 강종의 선택

(4) 유체의 성질

유체의 종류는 워낙 다양하고, 기술의 발전과 더불어 새로운 종류의 유체가 탄생하거나 합성되어지고 있다. 유체는 크게 구분하여 압축성 유체와 비압축성 유체로 대별하고, 유체의 기본적인 물리, 화학적 성질에 따라 다양한 방법으로 분류하기에는 이 책의 관점이 아니다. 압축성 유체인 gas와 같은 경우에는 적어도 다음과 같은 물리적 특성을 논의할 수 있다. 즉, 낮은 밀도(Low Density), 모양이나 부피를 정할 수 없는 것(Indefinite Shape or Volume)이고, 압축/팽창할(Compressibility/Expandability) 수 있으며, 확산(Diffusivity)할 수 있고, 압력(Pressure)가 있다는 것이다. 또한 유체의 흐름 속도가 음속의 0.3 이상으로 흐를 수 있다. 기본적인 gas로는 수소(Hydrogen, H), 질소(Nitrogen, N), 산소(Oxygen, O), 불소(Fluorine, F), 염소(Chlorine, Cl), 헬륨(Helium, He), 네온(Neon, Ne), 아르곤(Argon, Ar), 크립톤(Krypton, Kr), 제논(Xenon, Xe), 라돈(Radon, Rn)가 있으며, 이들 gas가 상온일 경우에는 gas 상태로 존재하지만 압력과 온도에 따라서 액체상태 (주로 저온상태) 또는 고체 상태로 존재할 수도 있다.

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

반면에 비압축성 유체는 높은 밀도를 갖고 있으며, 부피나 모양이 외부 압력에 크게 영향을 받지 않으며, 압축 또는 팽창이 매우 어렵고, 유체 흐름의 속도 또한 0.2 마하를 넘을 수 없다. 이들에 대한 구체적인 열역학적 물성치 등의 자료는 NIST(미국 상무부 소속기관인 National Institute Standards and Technology)의 SRD(Standard Reference Database) Program 을 통하여 약간의 비용으로 구할 수 있다.

밸브의 구조적인 측면에서 보면, 압축성 유체는 밸브의 교축부인 시트를 통과하면서 압력이 저하되며, 동시에 팽창을 하게 된다. 따라서 밸브의 입구측 압력보다 출구측의 압력이 떨어지게 됨으로, 감압되는 정도에 따라서 출구측의 비체적이 증가되어 만약 같은 크기의 배관이라면 유속이 증가된다. 밸브 입출구간 압력차가 큰 경우, 밸브 후단은 유로 단면적을 키워 유속의 증가를 어느정도 제어해야만, 유속 증가로 인한 소음, 진동의 문제를 해결할 수 있다. 많은 제어밸브 회사들이 이들 문제를 고려하여 입구 관경보다 큰 출구 관경의 밸브 몸체를 제시하고 있다. 통상 입구 관경보다 1 단계 또는 2 단계로 큰 사이즈의 밸브 출구부를 가진 밸브 몸체를 제시하고 있으며, 만약 출구 유속이 매우 높은 수준(>0.4~0.5Mach)으로 나온다면 출구측 배관을 추가로 적절하게 키워야 할 것이다.

3. 밸브 구성 재질

밸브의 구성재질은 밸브의 내압력부(Pressure Retaining Parts)인 밸브 몸체와 본닛, 그리고 이를 체결하는 본닛 볼트가 있고, 이들에 대하여는 간략하게 5-2 항에서 재질의 선정기준으로 언급하였다. 밸브는 크게 시스템에 작용하는 프로세스 압력에 충분히 견디어야 하는 내압력부가 있고, 유체 흐름에 있어서 직접 유체와 접촉하면서 유체 흐름을 적절하게 제어하는 부품들인 밸브 트림(Valve Trim)부가 있다. 그리고 밸브의 최종 제어운동을 하게하는 구동부로 크게 구분한다. 밸브의 구동부는 프로세스 유체와는 직접 접촉을 하지 않고, 오직 필요한 구동력을 유지하고 제어하는데 요구되는 힘에 충분하게 튼튼하면 구조적, 재질적인 문제는 없다. 단지 프로세스의 외부 환경에 의한 부식 등의 문제를 고려하면 된다. 여기서는 밸브 트림의 구성 재질, 그리고 기밀을 유지하는데 꼭 필요한 패킹과 가스킷, 그리고 오-링(O-Ring)과 같은 씰링(Sealing Material)재 선정에 대하여 간략하게 논한다. 물론 자세한 사항은 제 3 장 밸브 재질항에 있다.

(1) 밸브 트림

밸브 트림은 밸브 몸체내의 유체와 직접 접촉하면서 유체 제어를 직간접적으로 수행하는 부품으로써, 디스크 또는 플러그, 시트 또는 시트링, 케이지, 스템 및 백시트 등을 말한다. 통상적으로 밸브 몸체와 동등 이상의 재질을 사용하여야 한다. 예를 들면 탄소강재의 밸브 몸체 재질이라면, 트림은 녹 발생이 어려운 13Cr 계의 페라이트 스테인레스강으로 재질을 선택한다. 미국 API 에서는 트림 재질에 대하여 거의 표준화에 가까운 트림번호를 표 2 와 같이 부여하고 있다.

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

| Trim No | Nomin. Trim | Trim Code | Stem & Other Trim Parts | Disc/Wedge | Seat Surface | Trim Material Grade |
|---------|-----------------------|-----------|-----------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------------|
| 1 | 410 | F6 | 410 (13Cr) (200-275 HBN) | F6 (13Cr) (200 HBN) | 410 (13Cr) (250 HBN min) | 13Cr-0.75Ni-1Mn |
| 2 | 304 | 304 | 304 | 304 (18Cr-8Ni) | 304 (18Cr-8Ni) | 19Cr-9.5Ni-2Mn-0.08C |
| 2S | 304 | 304HFS | 304 | 304 (18Cr-8Ni) | 304 (18Cr-8Ni) + St Gr6(Co-Cr Alloy), (350 HBN min) | 19Cr-9.5Ni-2Mn-0.08C |
| 3 | 310 | 310 | (25Cr-20Ni) | 310 (25Cr-20Ni) | 310 (25Cr-20Ni) | 25Cr-20.5Ni-2Mn |
| 4 | 410 - Hard | F6H | 410 (13Cr) (200-275 HBN) | F6 (13Cr) (200-275 HBN) | F6 (13Cr) (275 HBN min) | 13Cr-0.75Ni-1Mn |
| 5 | 410 - Full Hard faced | F6HF | 410 (13Cr) (200-275 HBN) | F6+St Gr6 (CoCr Alloy) (350 HBN min) | 410+St Gr6 (CoCr Alloy) (350 HBN min) | 13Cr-0.5Ni-1Mn/Co-Cr-A |
| 5a | 410 - Full Hard faced | F6HF | 410 (13Cr) (200-275 HBN) | F6+Hardf. NiCr Alloy (350 HBN min) | 410+Hardf. NiCr Alloy (350 HBN min) | 13Cr-0.5Ni-1Mn/Co-Cr-A |
| 6 | 410 and Ni-Cu | F6HFS | 410 (13Cr) (200-275 HBN) | Monel 400® (NiCu Alloy) (250 HBN min) | Monel 400® (NiCu Alloy) (175 HBN min) | 13Cr-0.5Ni-1Mn/Ni-Cu |
| 7 | 410 - Very hard | F6HF + | 410 (13Cr) (200-275 HBN) | F6 (13Cr) (250 HBN min) | F6 (13Cr) (750 HBN) | 13Cr-0.5Ni-1Mo/13Cr-0.5Ni-1Mo |
| 8 | 410 - Hard faced | F6HFS | 410 (13Cr) (200-275 HBN) | 410 (13Cr) (250 HBN min) | 410+St Gr6 (CoCr Alloy) (350 HBN min) | 13Cr-0.75Ni-1Mn/1/2Co-Cr-A |
| 8a | 410 - Hard faced | F6HFS | 410 (13Cr) (200-275 HBN) | F6 (13Cr) (250 HBN min) | 410+Hardf. NiCr Alloy (350 HBN min) | 13Cr-0.75Ni-1Mn/1/2Co-Cr-A |
| 9 | Monel | Monel | Monel® (NiCu Alloy) | Monel 400® (NiCu Alloy) | Monel 400® (NiCu Alloy) | 70Ni-30Cu |
| 10 | 316 | 316 | 316 (18Cr-Ni-Mo) | 316(18Cr-Ni-Mo) | 316 (18Cr-Ni-Mo) | 18Cr-12Ni-2.5Mo-2Mn |
| 11 | Monel - Hard faced | Monel HFS | Monel® (NiCu Alloy) | Monel 400® (NiCu Alloy) | Monel 400®+St Gr6 (350HBN min) | 70Ni-30Cu/1/2Co-Cr-A |
| 11a | Monel - Hard faced | Monel HFS | Monel® (NiCu Alloy) | Monel 400® (NiCu Alloy) | Monel 400®+HF NiCr Alloy (350 HBN min) | 70Ni-30Cu/1/2Co-Cr-A |
| 12 | 316 - Hard faced | 316HFS | 316 (Cr-Ni-Mo) | 316(18Cr-8Ni-Mo) | 316+St Gr6 (350 HBN min) | 18Cr-12Ni-2.5Mo-2Mn1/2Co-Cr-A |
| 12a | 316 - Hard faced | 316HFS | 316 (Cr-Ni-Mo) | 316(18Cr-8Ni-Mo) | 316 Hardf. NiCr Alloy (350 HBN min) | 18Cr-12Ni-2.5Mo-2Mn1/2Co-Cr-A |

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

| | | | | | | |
|---------------|---|-------------|-----------------------|-------------------------------|--|----------------------------------|
| 13 | Alloy 20 | Alloy 20 | Alloy 20 (19Cr-29Ni) | Alloy 20 (19Cr-29Ni) | Alloy 20 (19Cr-29Ni) | 29Ni-19Cr-2.5Mo-0.07C |
| 14 | Alloy 20 - Hard faced | Alloy 20HFS | Alloy 20 (19Cr-29Ni) | Alloy 20 (19Cr-29Ni) | Alloy 20 St Gr6 (350 HBN min) | 29Ni-19Cr-2.5Mo-0.07C/1/2Co-Cr-A |
| 14a | Alloy 20 - Hard faced | Alloy 20HFS | Alloy 20 (19Cr-29Ni) | Alloy 20 (19Cr-29Ni) | Alloy 20 Hardf. NiCr Alloy (350 HBN min) | 29Ni-19Cr-2.5Mo-0.07C/1/2Co-Cr-A |
| 15 | 304 - Full Hard faced | 304-HF | 304 (18Cr-8Ni-Mo) | 304St Gr6 | 304+St Gr6 (350 HBN min) | 19Cr-9.5Ni-2Mn-0.08C/1/2Co-Cr-A |
| 16 | 316 - Full Hard faced | 316-HF | 316 HF (18Cr-8Ni-Mo) | 316+St Gr6 (320 HBN min) | 316+St Gr6 (350 HBN min) | 18Cr-12Ni-2.5Mo-2Mn/Co-Cr-Mo |
| 17 | 347 - Full Hard faced | 347-HF | 347 HF (18Cr-10Ni-Cb) | 347+St Gr6 (350 HBN min) | 347+St Gr6 (350 HBN min) | 18Cr-10Ni-Cb/Co-Cr-A |
| 18 | Alloy 20 - Full Hard faced | Alloy 20HF | Alloy 20 (19Cr-29Ni) | Alloy 20+St Gr6 (350 HBN min) | Alloy 20+St Gr6 (350 HBN min) | 19Cr-29Ni/Co-Cr-A |
| Special | Bronze | Bronze | 410 (CR13) | Bronze | Bronze | |
| Special | Alloy 625 | Alloy 625 | Alloy 625 | Alloy 625 | Alloy 625 | |
| NACE | Specially treated 316 or 410 trim combined optionally with B7M bolts and 2HM nuts to meet NACE MR-01-75 requirements. | | | | | |
| Full Stellite | Full Hardfaced trim, suitable for abrasive & severe services up to 1200°F (650°C). | | | | | |

표 2. API 600 Trim Number Chart

스텔라이트(Stellite)는 하나의 상품명으로써, Co-Cr 합금으로 1912 년에 개발된 것으로 고온에서도 매우 양호한 내산화 특성이 있으며, 강력한 내마모성과 낮은 마찰 특성으로 밸브의 시트 표면을 강화하는 육성 용접(Hardfacing)으로 널리 사용된다. 사양에 따라서 텅스텐이나 몰리브덴을 첨가하여 내마모성을 특별히 강화한 다양한 규격의 Stellite 출시되어 있다. 밸브 산업계에서 비교적 많이 사용하는 스텔라이트는 높은 경도를 요구할 때는 Stellite #12 또는 Stellite #1, 보편화된 재질로는 Stellite #6, 용접성과 접촉 압축응력이 높은 글로브밸브의 시트는 Stellite #21 를 선택 사용한다. 이들에 대한 성분 구성은 다음 페이지의 표 3 과 같다.

(2) 밸브 씬(Seal) 재질

밸브에 적용되는 씬 재질은 밸브 본닛과 밸브 몸체의 조인트, 스템과 밸브 본닛, 볼밸브나 프러그 밸브와 같은 경우, 밸브 시트의 기밀차단 등에 적용하는 가스킷, 패킹, 소프트 시트 등에 사용할 수 있는 씬링 재질을 말한다. 현재 가장 보편적으로 사용되는 재질은 탄소계통인 팽창 흑연을 가장 많이 적용한다. 팽창 흑연은 천연 흑연에 황산과 같은 산성의 화학물질을 넣어 가열시키면 이 때 발생하는 가스로 흑연을 팽창시키게 된다.

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

표 3 COBALT BASE ALLOY CORED WIRE

| ALLOY | NOMINAL ANALYSIS OF UNDILUTED WELD METAL | | | | | | | | Other s | UNS No | ASME/AWS | Hardness (HRC) |
|--------------|--|----|------|---------|------|------|------|------|------------|--------|----------------------|-------------------|
| | Co | Cr | W | C | Ni | Mo | Fe | Si | | | | |
| Stellite #1 | Bal. | 28 | 11.5 | 2.45 | <3.0 | <1.0 | <5.0 | <2.0 | <1.0 | W73031 | (SF)A 5.21 ERCCoCr-C | 50-55 |
| Stellite #6 | Bal. | 30 | 4.5 | 1.2 | <3.0 | <1.0 | <5.0 | <2.0 | <1.0 | W73036 | SFA 5.21 ERCCoCr-A | 38-44 |
| Stellite #12 | Bal. | 29 | 8 | 1.4-1.8 | <3.0 | <1.0 | <5.0 | <2.0 | <1.0 | W73042 | (SF)A 5.21 ERCCoCr-B | 45-50 |
| Stellite #21 | Bal. | 28 | - | 0.25 | 3 | 5.2 | <5.0 | <1.5 | <1.0 | W73041 | (SF)A 5.21 ERCCoCr-E | 28-40 |

팽창된 천연 인상 흑연(Flake Graphite)은 매우 양호한 탄력성과 고온 특성을 갖게 됨으로 밸브와 같은 씰링부가 존재하는 압력 부품에 널리 사용하게 되었다. 다음은 밸브의 씰 재료로 널리 사용되는 소프트 씰 재료들이다.

BUNA-N(NBR) : 니트릴 고무라고 알려져 있으며, NBR(Nitrile Butadiene Rubber)라고도 한다. 기름, 물, 솔벤트 및 유압유에 양호한 내성을 가지고 있으며, 내압축성, 내마모성은 물론 인장강도도 높아 오-링이나 가스킷 씰링 재료로 많이 사용된다. 사용온도 범위는 -20 ~ 110°C 이다. 햇빛과 오존에 대한 내성이 낮아서 밀폐된 환경에서 사용하여야 한다. 종종 네오프렌(Neoprene)과 겹쳐서 사용하기도 하지만 네오프렌의 사용 온도가 80 이내인 것에 대비하여 사용온도가 높다

EDPM : 에틸렌과 프로필렌으로 구성된 폴리머로써, 산과 알칼리에 비교적 강한 특성을 갖고 있으며, 산화나 노화에도 강하다. 특히 용제에 강한 하고 내마모성과 내찢김성이 좋아 버터후라이밸브의 시트 재질로 많이 사용한다. 그러나 가솔린, 경유, 윤활유와 같은 광물성 기름에는 사용을 금한다. 사용온도의 범위는 -30 ~ 120°C 까지 이다.

NeoPrene(CR) : CR 로도 알려져 있으며 네오프렌 고무라고 부른다. 기계적 강도, 내마모성, 탄성 등이 좋으며, 적당한 수준의 내유성, 내약품성, 내열성, 내오존성이 있다.

PTFE(Polytetrafluoroethylene) : 엔지니어링 플라스틱으로 분류하며, 불소와 탄소간의 강력한 화학적 결합으로 매우 안정된 상태를 유지하며, 이는 화학적으로 비활성 및 적절한 수준의 내열성, 비접착성, 매우 우수한 절연특성과 매우 낮은 마찰계수를 지니고 있어 밸브의 스템 패키징은 물론 가스킷 재질로 사용한다. 아울러 밸브 내부를 PTFE 로 코딩하여 사용할 수도 있다. 저온특성도 매우 양호하여 -200°C 이하에서도 사용할 수 있어 초저온용 밸브의 스템 패키징재로 사용한다. 사용온도의

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

범위는 -200 ~ +260°C로 넓다. 그러나 고온에서 노화현상이 좀 더 촉진될 수 있어 상용 온도는 210°C 이내로 하는게 좋다.

RTFE : 테프론에 유리섬유, 카본 또는 흑연, 구리 분말 등을 충전재로 하여 일정 비율로 혼합하여 보강했다는 뜻으로 Reinforced TFE 로 RTFE 로 약칭한다. 유리섬유를 TFE 에 일정 비율(15~25%)로 충전 혼합하면, 강도가 증대됨과 동시에 내마모성과 고온 특성이 강화된다. 버터후라이밸브의 시트 재질로 많이 사용한다. 볼밸브의 시트에는 카본을 25% 충전하여 함침(含浸, Impregnation)한 RTFE 가 있다. 3M 사에서는 15% 카본 함침 제품이 TFM4213, 25% 카본 함침이 TF4215, 15% 유리섬유 함침이 TF4103, 25% 유리섬유 함침이 TFM4105 로 하여 널리 공급되고 있다. 사용온도의 범위는 -200 ~ +260°C 이다.

PEEK(Polyetheretherketone) : PTFE 가 1920 년대 발명된 제품이라면, PEEK 는 1970 년대 후반에 개발된 슈퍼 엔지니어링 플라스틱으로 고성능의 폴리머(polymer, 고분자화합물) 제품이다. 내열성, 내화학성, 내방사선, 내마모성, 자기 윤활성, 고온 내수성(耐水性)이 탁월하며, 고온 증기에서도 물의 흡수율이 매우 낮아서 저압의 증기용 밸브 시트로도 많이 사용한다. PTFE 와 마찬가지로 30%이내로 유리섬유나 카본을 함침한 PEEK 등이 출시되어 있으며, 이들 제품은 보다 강한 기계적 성질을 갖는다. PEEK 는 PTFE 보다 1.5 배 이상의 우수한 기계적 성질을 갖고 있어 압축력에 의해 시트 기밀을 유지하는 볼밸브의 시트로 사용된다. 사용온도의 범위는 최대 -60 ~ +280°C까지 사용 가능하다.

PVDF(Polyvinylidene fluoride) : 불소계 고분자화합물로서, 150°C이하에서는 양호한 기계적 성질을 가지고 있으며, 더불어 내화학성, 내오존성, 내부식성이 우수하다. 또한 PVDF 는 용융하여 원하는 형태로 사출 또는 압축성형이 가능하므로 밸브의 디스크와 같은 부품은 물론 밸브 몸체 자체도 성형할 수 있어 플라스틱밸브 재료로 많이 쓰인다. 사용 온도는 -50 ~ +150°C이다.

4. 규격 및 법규상의 사용제한

고압가스안전관리법에서 지정하는 고압가스 관련 설비 중 밸브에 해당하는 것은 안전밸브, 긴급차단 밸브, 역화방지밸브, 독성가스배관용 밸브 등이 있다. 법에서는 가스의 종류, 성상과 온도-압력에 따라 적합한 재질을 선정하도록 되어 있지만, 실제의 경우에는 사용할 수 있는 재질과 사용을 금지하는 재질을 국가 표준 규격으로 정해 놓기도 한다. 또한 유해물질관리법과 그 시행규칙에서도 유해 화학물질 취급시설 설치 및 관리 기준에서도 밸브에 대한 법적인 규제사항들을 고압가스안전관리법과 유사하게 규제를 하고 있다. 일본의 경우에는 독성가스, 가연성 가스 및 기타 용도의 밸브로 구분하여 특정 재질을 사용하지 못하게 하고 있다. 예로서 다음의 표 4 와 같이 재질의 사용 제한을 하고 있다.

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

| 구 분 | 독성 가스 | 가연성 가스 | 기 타 |
|------------------------------|---|-------------------------|-------------------------|
| JIS G5501 회주철 | 사용불가 | 사용불가 | 2barg 이내, 0~250°C이내 |
| JIS G 5502 구상흑연주철 (1~2 종) | 사용불가 | 16barg 이내 0~250°C이내 | 16barg 이내 0~250°C이내 |
| JIS G 5502 구상흑연주철 (3~6 종) | 사용불가 | 2barg 이내, 0~250°C이내 | 16barg 이내 0~250°C이내 |
| JIS G5702 흑심가단주철 (1~2 종) | 사용불가 | 2barg 이내, 0~250°C이내 | 16barg 이내 0~250°C이내 |
| JIS G5702 흑심가단주철 (3~4 종) | 사용불가 | 16barg 이내 0~250°C이내 | 16barg 이내 0~250°C이내 |
| JIS G5703 백심가단주철 (3~4 종) | 사용불가 | 2barg 이내, 0~250°C이내 | 16barg 이내 0~250°C이내 |
| 닥타일 & Malleable 주철 | 제한적 사용허용 포스겐/시안화수소에 한하여 24barg 이내, 5~350°C이내 | 24barg 이내, 5~350°C이내 | 24barg 이내, 5~350°C이내 |

표 4 가스 구분에 따른 주철제 밸브의 사용제한

5. 밸브 선정과 선정 포인트

프로세스 플랜트에서 사용하는 밸브의 기본적인 형식은 플랜트의 운전 목적과 유지관리 측면을 고려하여 프로세스 설계자에 의해 선정되는게 일반적이다. 프로세스 플랜트에서 사용되는 밸브는 프로세스의 각자 고유의 기능을 적합하게 수행하기 위해서 다양한 종류의 밸브들이 사용된다. 이를 크게 구분하면, 일반 차단용, 조절용과 역류에 의한 시스템의 보호와 발생할 수도 있는 시스템 과압에 의한 안전기능 등이다. 이들 기능들을 프로세스 시스템에서 체계적으로 제어하는 목적으로 밸브를 사용하는 것임으로, 이를 기준으로 배관설계자와 계측제어설계자가 배관시스템과 제어시스템의 설계조건을 고려하여 상세한 구입 기술사양서를 작성한다.

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

(1) 형식의 선정

밸브 형식을 선정하는데 우선적으로 고려해야 할 사항은 밸브의 역할과 기능이다. 즉 밸브의 운전 목적에 부합하는 기능과 역할을 할 수 있는 밸브 형식이 되어야 하는 것이다. 밸브의 사용목적을 구분하여 카테고리 나눈다면, 다음과 같은 3 가지 그룹으로 나눌 수 있다. 즉, 프로세스 시스템 라인밸브(line Valves)와 프로세스 시스템의 제어목적용 제어밸브(Control Valves), 그리고 프로세스 시스템의 과압 보호밸브(Pressure Relief Valves)로 구분할 수 있다.

- 시스템 라인밸브(Line Valves) : 일반적으로 시스템의 원활한 운전을 도모하기 위하여 개폐 또는 간단한 조절기능을 갖는 밸브로써, 역류방지를 위한 체크밸브도 라인밸브에 포함한다.
- 시스템 제어밸브(Control Valves) : 프로세스의 안정을 위한 시스템의 조절기능을 수행한다. 따라서 시스템의 제반 파라미터를 수집하여 이를 바탕으로 프로세스의 안정을 위하여 제어기능을 수행하기 때문에 연속적인 모니터링과 이에 부합하는 조절기능을 함께 갖추고 있어야 하기에 자동제어로 운전한다.
- 시스템 과압 보호밸브(Pressure Relief Valves) : 프로세스 시스템에서 발생할 수 있는 과압에 대하여 시스템을 보호하는 역할을 수행한다. 설정된 압력보다 시스템압력이 높아지면, 자동으로 압력을 방출하여 설정된 압력상태로 유지하여야 하는 기능을 가진 밸브이다. 과압 보호밸브의 대부분은 시스템 자체가 갖고 있는 압력이나 온도 등의 물리적 파라미터이자 에너지를 근거로 자율 동작하는 특성이 있다. 예로써, 체크밸브나 레귤레이팅밸브, 안전밸브 등이 이에 해당한다.

밸브의 기능 및 형식을 구분하면 다음의 그림 1 과 같다.

밸브의 운전 목적과 기능을 보다 확장하여 개폐기능, 조절기능, 과압 방출 기능 외에 급속동작 기능, 유로 방향 전환기능 및 역류방지와 자체 유체 흐름에너지에 의한 자체 조절 기능을 더하여 고전적인 관점에서 주요 밸브 형식별 사용목적별로 구분하면 표 5 과 같이 정리할 수 있다. 표에서 권고되는 밸브 형식이 실제 사용상의 기능을 제대로 수행한다고 하기에는 어렵다. 이는 최근의 프로세스 플랜트의 제어기술의 발전과 더불어 이에 보다 최적화된 밸브가 요구됨에 따라 밸브의 제어구조인 트림은 물론 구동과 제어부분이 제어목적에 부합되도록 더욱 세분화되고 고도화되어 수많은 종류의 밸브 유형이 개발되어 시장에 소개되고 있다. 이들 모두를 구체화하여 그룹화하기에는 어려움이 많아 본 책에서는 일반적인 상식 수준에서 정리한 것이다.

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

밸브 기능과 형식 (Valve Function & Types)

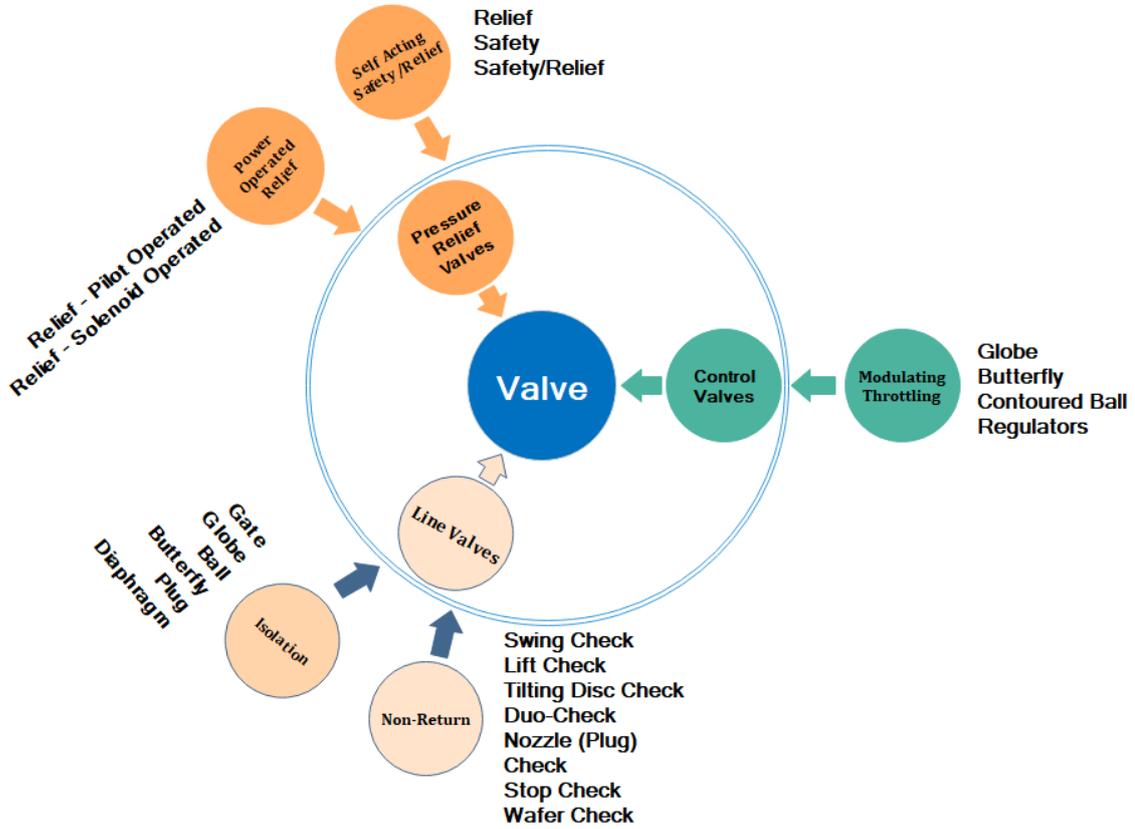


그림 1 밸브 기능과 형식 요약

| | 개폐용 | 급속동작 | 유로전환 | 역류방지 | 유량조절 | 과압보호 |
|--|-----|------|------|------|------|------|
| 게이트밸브 | ◎ | | | | | |
| 글로브밸브 | | ● | ○ | | ◎ | |
| 체크밸브 | | | | ◎ | | |
| 볼밸브 | ◎ | ◎ | ○ | | ● | |
| 프러그밸브 | ◎ | | ○ | | ● | |
| 버터후라이밸브 | ◎ | | | | ● | |
| 다이아후람밸브 | ◎ | | | | ○ | |
| 핀치밸브 | ◎ | | | | ○ | |
| 셀프조절 ⁽¹⁾ /과압방출 ⁽²⁾ | | | | | ◎ | ◎ |
| 유로방향전환/혼합 ⁽³⁾ | | | ◎ | | | |

◎ : 최적선택, ● : 일부 변형하여 적용 가능, ○ ; 조건에 따라 적용(예, Multi-port)

⁽¹⁾ : 셀프조절은 Self Regulating 으로 유체의 자체 에너지와 밸브의 스프링 힘의 균형으로, 자체적으로 압력이나 유량을 설정 값에 맞추어 자체적으로 조절하는 밸브

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

- (2) : 과압 방출밸브로는 밸브에 설정된 힘보다 유로 내의 에너지가 커질 경우 이를 안정 값 수준으로 유지하도록 하는 릴리프밸브와 시스템의 안전을 목적으로 과압이 발생하는 경우 이를 안전한 수준으로 복구시키는 안전밸브 모두를 말한다.
- (3) : 유로방향 전환은 유로방향을 바꿔주는 기능이외에 분배(Diverting)의 목적과 두 개의 유로를 하나의 유로로 묶어주는 혼합(Mixing)의 밸브가 있다.

표 5 주요 밸브 형식별, 사용 목적별 밸브의 적용

다음의 표 6 은 밸브 동작형식을 중심으로 밸브 형식별 밸브 선정 차트이다.

| 밸브운전 동작그룹 | 밸브형식 | 밸브의 기능/목적 | | | 유체의 성질/현상 | | | | |
|--------------------------------|------------------------|-----------|----------|----------|-----------|-------------|------------|-----------|----------|
| | | 개폐 목적 | 조절 목적 | 유로 전환 | 순수 액체 | 비마모성 이물질 | 마모성 이물질 | 고점성 유체 | 위생 유체 |
| 닫힘동작 (Closing Motion) | 글로브 밸브 | | | | | | | | |
| | - Straight Pattern | Y | YY | | YY | | | | |
| | - Angle Pattern | Y | YY | | YY | Special | Special | Special | Special |
| | - Wye(oblique) Pattern | Y | YY | | YY | Special | | | Special |
| | - Multi Port Pattern | | | YY | YY | | | | |
| | - Piston Globe | | | | YY | Special | Special | | |
| 스라이딩 (Sliding Motion) | 게이트 밸브 | | | | | | | | |
| | Parallel Disc Gate | | | | | | | | |
| | - Conventional | YY | | | YY | | | | |
| | - Conduit | YY | | | YY | Y | Special | | |
| | - Knife | YY | Special | | YY | Y | Y | Y | |
| | Wedge Gate | | | | | | | | |
| | - Conventional | YY | | | YY | | | | |
| | - Rubber(Soft) Seat | YY | | | YY | | Y | | |
| 90° 회전 (Rotating motion) | 볼 밸브 | | | | | | | | |
| | - Conventional Ball | YY | | | YY | | | | |
| | - Contoured(Half) Ball | Y | YY | | YY | Special | | | |
| | - Multi-Port Ball | Y | | YY | YY | | | | |
| | 버터후라이 밸브 | | | | | | | | |
| | - Conventional | YY | | | YY | Y | | | Special |
| | - Special Disc | YY | YY | | YY | Y | | | |
| | - Metal Seat | YY | | | YY | | | | |
| | - Soft Seat | YY | | | YY | Y | | | Y |
| | 프러그 밸브 | | | | | | | | |
| - Non-Lubricated | YY | Y | | YY | YY | | | YY | |
| - Lubricated | YY | | | YY | YY | Y | | | |
| - Eccentric Plug | YY | Y | | YY | YY | | YY | | |
| - Multi-Port Plug | YY | | YY | YY | Y | | | | |
| 신축동작 (Flexible Motion) | 다이아후람/핀치밸브 | | | | | | | | |
| | - Weir Type | YY | Y | | YY | Y | | YY | YY |
| | - Straight Type | YY | Y | | YY | Y | | YY | YY |

표 6 밸브 선정 차트

(2) 운전 조건에 의한 선택

밸브는 운전조건 또는 환경에 따라 밸브의 형식, 구조, 재질이 달라진다. 물리적인미에서 운전조건이라 함은 온도와 압력이 주요한 고려 사항이고, 환경적인 요인으로는 진동(또는 지진)이나 방사선 조사와 같은 것이 밸브 형식과 재질 선택에 영향을 준다. 시스템의 유체 특성에 따라 또는

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

운전환경에 따라서 밸브 형식 또한 특수한 설계가 필요한 경우가 많다. 예로써, 독성가스나 강력한 인화성이 있는 환경에서는 밸브의 내외부 누설을 근본적으로 방지할 수 있는 밸브 구조와 재질이 필요하고 고온 운전의 경우, 밸브 재질의 크리이프 영역 이상의 온도에서 운전할 때는 밸브의 구조는 물론 형식도 달라져야 한다. 운전 조건별로 밸브가 갖춰야할 구조와 형식, 재질에 대한 사항을 다음과 같이 정리한다.

a) 저온용 밸브 : 저온용 밸브는 초저온과 저온으로 구분하는데, 그 경계는 뚜렷하게 규정되어 있지 않다. 그러나 통상 -150°C 에서 영상 4°C 까지는 냉동이라고 할 수 있으며, 저온이라고 정하고, 초저온은 -150°C 미만의 온도를 초저온이라고 정한다. 통상 가스는 액체상태로 보관하기 위해서는 가스의 임계압력이상으로 압력을 가하여 액화시키는데, 이 때의 온도가 매우 낮아 이를 초저온 액화가스라고 한다. 모든 밸브의 구성 부품은 각기 다른 재질로 구성되고, 이 재질들은 온도가 내려감에 따라 각기 다른 비율로 수축과 팽창을 하기 때문에 초저온용 밸브는 이들 문제들을 극복해야만, 밸브로서 제 기능을 수행할 수 있다. 더구나 초저온의 액화가스는 주변 환경에서 일어나는 온도 증가로 인하여 끊임없이 격렬하게 기화하려는 물리적 반응을 제어하기 위해서는 단열이 필수적이다. 그러나 완벽한 단열은 매우 어렵기 때문에 결국 초저온 유체의 수송이나 제어 중에는 압력 상승은 극히 정상적인 현상이다. 초저온용 밸브는 이러한 압력 축적 현상을 고려하여 디스크나 공동부(Cavity)내에 도피구(逃避口, Relief Hole)같은 안전장치를 설계에 충분히 반영하여야 한다. 또한 밸브 몸체와 밸브 조작부인 본닛과 스템은 이러한 현상의 경계부에 있기 때문에 스템과 본닛의 축 방향 선형 팽창과 본닛의 원주방향 팽창사이에서 일어나는 문제를 설계에 반영되어야 한다. 따라서 본닛의 크기(높이와 직경)는 너무 커서도 안 되고 작아서도 안 되는 것이다.

초저온 서비스에 있어서 밸브 형식의 선택에 대한 지침은 없다. 밀폐 차단 기능을 보다 완벽하게 하기 위하여 90도 회전방식의 쿼터 턴 방식의 볼이나 버터후라이밸브가 많이 선택된다. 이들 밸브는 밸브 내부에 공동부(Cavity)를 최소화할 수 있기 때문에 초저온 유체의 취급에 유리하다. 단지 구동 토오크의 문제로 인한 본닛과 스템의 구조적 강도가 충분해야 한다. 밸브가 대형이 되는 경우, 볼밸브가 가격적 측면에서 게이트밸브보다 상당히 비싸므로 볼밸브는 소형, 대형인 경우에는 게이트밸브가 초저온 유체의 차단용밸브로 사용된다. 그러나 LNG 선박과 같은 경우, 설치공간의 협소로 인하여 초저온 버터후라이밸브도 널리 사용된다.

초저온용 밸브는 또한 크린밸브(Clean Valve)라고도 할 수 있다. 어떠한 이물질도 허용할 수 없기에 밸브조립 및 검사, 출하 및 포장까지 전과정이 매우 청결한 환경에서 수행되어야 한다. 특히 기름과 같은 유분(油分)은 초저온 서비스에 심각한 문제를 초래할 수 있다. 따라서 초저온용 밸브의 구매 기술사양서에는 청결한 환경에서의 청결한 밸브 조립 및 검사는 물론 포장 출하에 이르기까지, 고객에게 최종 전달될 때까지 엄격한 기술사양서로 기술되어 있다. 다음 페이지 표 7은 초저온용 밸브의 시트로 널리 사용되는 재질의 사용온도 범위이다.

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

| Common used soft seat materials | |
|---------------------------------|----------------------|
| Material | Temperature range |
| TFM | -200°C up to +260°C |
| PCTFE | -230°C up to +175°C |
| Virgin PTFE | -200°C up to +260°C |
| RPTFE - 15 or 25% glass | -200°C up to +260°C |
| DEVLON® | -196°C up to +125°C* |

* James Walker Sealing products & Services Ltd.

표 7 초저온용밸브의 소프트시트 재질별 사용온도 범위

다음의 표 8 은 초저온용 밸브의 트림을 구성하는 대표적인 재질표이다.

| API trim Number | Material | Seat | Disc | Other trim parts |
|-----------------|-------------|----------|----------|------------------|
| 2 | SS304 | SS304 | SS304 | SS304 |
| 5 | SS410 | Stellite | Stellite | SS410 |
| 9 | Monel | Monel | Monel | Monel |
| 10 | SS316 | SS316 | SS316 | SS316 |
| 12 | SS316/HF | Stellite | SS316 | SS316 |
| 13 | Alloy 20 | Alloy 20 | Alloy 20 | Alloy 20 |
| 14 | Alloy 20/HF | Stellite | Alloy 20 | Alloy 20 |
| 15 | SS304/HF | Stellite | Stellite | SS304 |
| 16 | SS316/HF | Stellite | Stellite | SS316 |
| 18 | Alloy 20/HF | Stellite | Stellite | Alloy 20 |

표 8 대표적인 초저온용 밸브의 트림 구성

초저온용 밸브의 몸체는 저온용인 경우 탄소강 등급인 C-Mn-Si 또는 3.5Ni 강을 사용한다. 사용가능한 최저온도는 -68°C. 그 이하의 온도에서는 오스테나이트계열의 스테인레스강을 사용한다. Ni 함량이 많을수록 저온특성이 좋아진다. 특히 가성비 차원에서 가장 널리 사용되는 초저온용 밸브의 몸체 재질은 주로 AISI 304/304L, 316/316L 로 하여 사용한다. 아래 그림은 전형적인 초저온밸브의 롱 본닛으로 스템이 매우 길기 때문에 밸브 하부에 나사 슬리브를 설계하여 스템의 강도를 보완하고 있다.

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

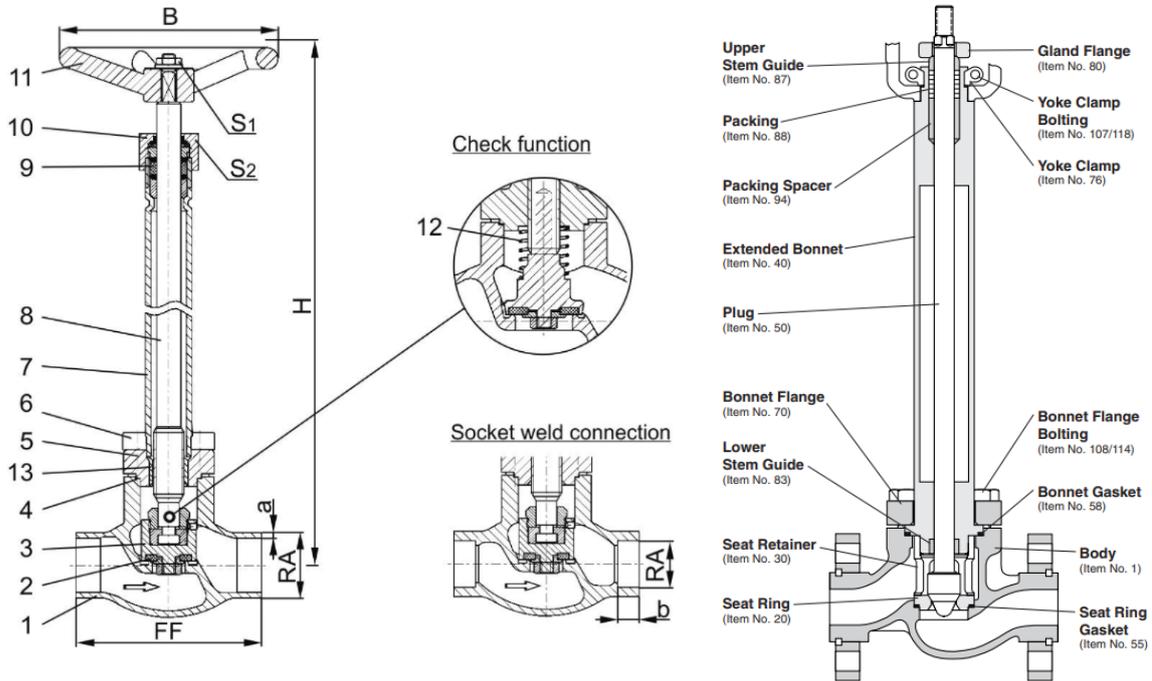


그림 2 전형적인 초저온밸브의 Long Bonnet(Courtesy of Hirose & Valtek)

다음 페이지의 표 9 는 저온용 밸브에 적용하는 재질 일람표이다.

b) 고온용 밸브 : 고온 서비스용 밸브는 앞서 언급하였듯이 밸브 재질이 충분하게 크리이프 강도를 가지고 있으며, 고온에 의한 흑연화 현상에도 강한 재질을 선택하여야 할 것이다. 밸브 형식상으로 보면, 고온 환경하에서 상당한 내압을 받는 밸브 압력유지부는 가능한한 구조적인 불연속부가 적게, 즉 가급적 두께 변화를 최소화함으로 열 천이에 의한 피로응력의 변동을 줄이는 것이 피로에 의한 수명 단축 문제를 해결하는 것이다. 특히 최근의 복합화력 발전과 같이 일일 기동 및 정지 등 빈번한 온도변화 및 압력 변동이 있는 운전인 경우, 주요 밸브의 피로 수명을 일정 기간동안 보장해야 한다. 따라서 주증기 차단밸브와 같은 경우, 요구되는 피로 수명을 달성하기 위해서는 기존의 설계와 제작 방법을 벗어난 새로운 설계와 더불어 고난도의 제작 기술을 요구한다. 한 예로써, 주증기 차단용 게이트밸브의 시트링을 무용접 구조의 몸체 일체형으로, 대표적인 구조적 불연속부인 밸브의 가지부분(입출구와 밸브 목의 분기 부분)을 모나지 않게 부드럽게 가공 처리해야만 고객이 요구하는 피로수명을 보증할 수 있게 된다. 또한 밸브 본닛도 열 손실과 안전을 위하여 충분하게 길게 설계되어야 하며, 패킹에서 고온에 의한 열화현상을 최소화하기 위해서도 본닛은 길게 설계됨이 좋다.

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

| Nominal Designation | Steel grade | ASTM Forging (Casting) | UNS Number |
|--------------------------|--------------|------------------------------|------------|
| C-Mn-Si | Carbon steel | ASTM A350-LF2 (A352-LCB/LCC) | UNS K03011 |
| 3.5Ni | Carbon steel | ASTM A350-LF3 (A352-LC3) | UNS K32025 |
| 18Cr-8Ni | AISI 304 | A182-F304 (A351-CF8) | UNS S30400 |
| 18Cr-8Ni | AISI 304H | A182-F304H (A351-CF10) | UNS S30409 |
| 18Cr-8Ni | AISI 304L | A182-F304L (A351-CF3) | UNS S30403 |
| 25Cr-20Ni | AISI 310 | A182-F310 | UNS S31000 |
| 16Cr-12Ni-2Mo | AISI 316 | A182-F316 (A351-CF8M) | UNS S31600 |
| 16Cr-12Ni-2Mo | AISI 316H | A182-F316H (A351-CF10M) | UNS S31609 |
| 16Cr-12Ni-2Mo | AISI 316L | A182-F316L (A351-CF3M) | UNS S31603 |
| - | AISI 316Ti | A182-F316Ti | UNS S31635 |
| 18Cr-13Ni-3Mo | AISI 317 | A182-F317 (A351-CG8M) | UNS S31700 |
| 18Cr-13Ni-3Mo | AISI 317L | A182-F317L | UNS S31703 |
| 18Cr-10Ni-Ti | AISI 321 | A182-F321 | UNS S32100 |
| 18Cr-10Ni-Ti | AISI 321H | A182-F321H | UNS S32109 |
| 18Cr-10Ni-Cb | AISI 347 | A182-F347 (A351-CF8C) | UNS S34700 |
| 18Cr-10Ni-Cb | AISI 347H | A182-F347H | UNS S34709 |
| 20Cr-18Ni-6Mo Duplex | 254 SMO | A182-F44 (A351-CK3MCuN) | UNS S31254 |
| 22Cr-5Ni-3Mo-N Duplex | AISI 2205 | A182-F51 (A351-CD3MN) | UNS S31803 |
| 35Ni-35Fe-20Cr-Cb | Alloy 20 | Incoloy® 20 (A351-CN7M) | UNS N08020 |
| 99Ni | Alloy 200 | ASTM B564 (Nickel 200) | UNS N02200 |
| 99Ni-Low C | Alloy 201 | ASTM B162 (Nickel 201) | UNS N02201 |
| 67Ni-30Cu | Alloy 400 | Monel® (A494 M35-1) | UNS N04400 |
| - | Alloy K500 | Monel® | UNS N05500 |
| 72Ni-15Cr-8Fe | Alloy 600 | ASTM B564 (Inconel® 600) | UNS N06600 |
| 60Ni-22Cr-9Mo-3.5Cb | Alloy 625 | ASTM B564(Inconel® 625) | UNS N06625 |
| - | Alloy 718 | Inconel® 718 | UNS N07718 |
| - | Alloy X750 | Inconel® X750 | UNS N07750 |
| 33Ni-42Fe-21Cr | Alloy 800 | ASTM B564 (Incoloy® 800) | UNS N08800 |
| 42Ni-2Fe-21Cr | Alloy 800H | ASTM B564 (Incoloy® 800H) | UNS N08810 |
| - | Alloy 800HT | Incoloy® 800HT | UNS N08811 |
| 42Ni-21.5Cr-3Mo-2.3Cu | Alloy 825 | ASTM B564 (Incoloy® 825) | UNS N08825 |
| 64Ni-29.5Mo-2Cr-2Fe-Mn-W | Alloy B3 | ASTM (Hastelloy® B3*) | UNS N10675 |
| 54Ni-16Mo-15Cr | Alloy C276 | ASTM (Hastelloy® C276*) | UNS N10276 |

표 9 저온용 밸브에 사용되는 재질 일람표

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

c) **초고온용 밸브** : 운전온도가 650°C를 초과하는 밸브를 초고온용 서비스밸브라고 이 책에서는 정의한다. 초고온용 밸브의 경우 가장 심각하게 다뤄야 할 사항은 재질이 갖고 있는 고온에서의 강도와 크리이프 강도의 강도의 문제이다. 물론 고온에서 재질의 흑연화 현상, 산화의 문제, 그리고 특정 재질에 있어서 수소에 의한 취화현상 문제도 중요한 문제들이다. 그림 3은 강종별 온도에 따른 크리이프 럽처 그래프이다. 그림 4는 고온용 재질별 100,000시간 크리이프 럽처 강도 비교 그래프이다.

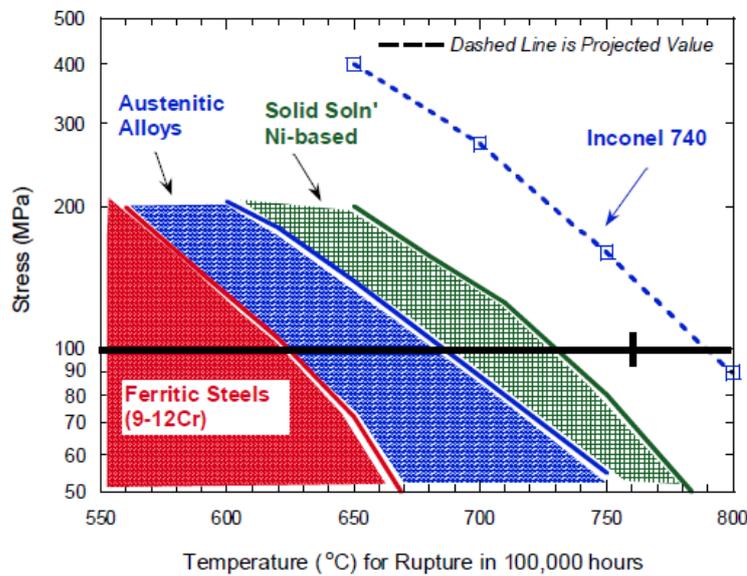


그림 3 강종별 온도별 크리이프 럽처

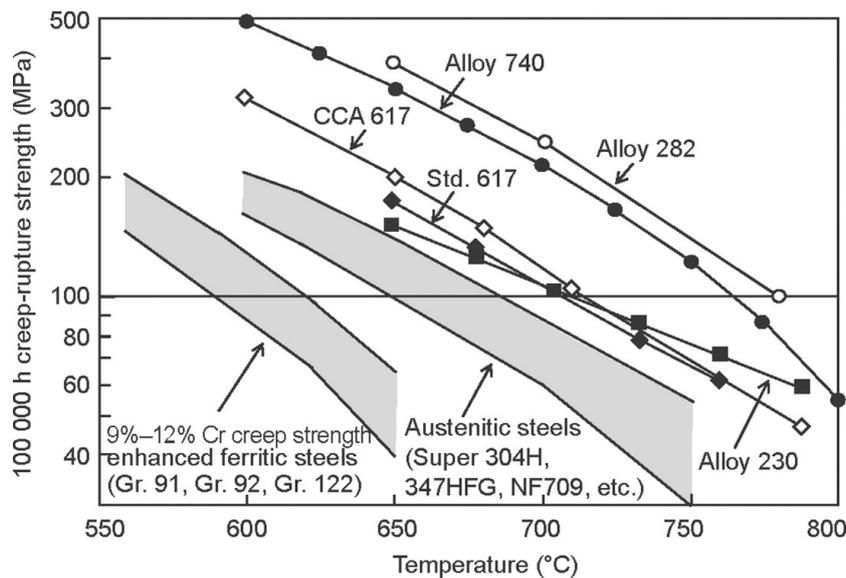


그림 4 고온용 재질별 크리이프 럽처 강도(100,000시간)

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

앞의 두 그래프에서 보는 바와 같이 고온에서 크리이프-러처 강도는 오스테나이트 계열의 합금(SS304H, SS347HFG, NF709)과 Ni-based의 슈퍼합금인 인코넬 (Ni-Cr-Fe)의 대표적인 Inconel 617, 그리고 Alloy 740으로 불리는 인코넬 740순으로 강해지는 것을 알 수 있다.

초고온용 밸브의 형식 또한 고온용 밸브와 같이 열 천이에 의한 피로수명 문제가 더욱 심각하게 대두됨으로 가능한한 구조적인 불연속부가 작게 설계해야 할 것이다. 또한 고강도의 크리이프 러처 강도를 가질수록 슈퍼 알로이 재질은 단조성, 가공성, 용접성 모두가 매우 어렵기 때문에 이들 밸브의 제작은 설계에서부터 가공, 조립시험 및 설치에 이르기까지 각 단계별로 세심하게 다루어야 할 것이다.

d) 진공밸브 : 한국핵융합에너지연구원의 KSTAR 와 같은 핵융합연구에 있어서 1 억도 초고온 플라즈마 20 초 운전의 세계기록 달성에는 핵융합로의 작동의 핵심 요구사항의 하나인 강하고 신뢰할 수 있는 초고진공도 유지가 있다. 이는 태양이 진공으로 둘러싸여 있기 때문이기도 하지만, 초고온 열의 전달을 차단하고, 절연 진공을 만들어서 유지해야 하기 때문이다. 핵융합로 작동의 10^{-8} mbar 수준에 이르는 KSTAR 의 초고진공에서부터 우주 공간을 모의한 지상 훈련시설의 고진공도 유지는 물론, 화학공정에서의 증류 및 식품산업에서의 동결 건조에 이르기까지 진공은 우리 일상생활의 주변으로부터 상상속의 인공 태양 구현까지 전혀 오염이 없는 환경속에서 존재한다.

진공은 일정한 공간이 외부와 차폐되어 있으며, 이 공간내의 압력이 대기압이하의 압력을 유지하는 상태를 진공이라고 하고, 이렇게 차폐된 공간을 진공용기라고 한다. 진공은 진공용기내의 기체를 진공펌프를 통하여 제거하여 만든다. 진공의 상태는 진공용기의 압력상태에 따라서 1~1000mbar (0.75~750 Torr)를 러프진공(Rough Vacuum), $1 \sim 10^{-3}$ mbar($0.75 \sim 7.5^{-4}$ Torr)를 중간진공 (Medium Vacuum), $10^{-3} \sim 10^{-7}$ mbar ($7.5^{-4} \sim 7.5^{-8}$ Torr)를 고진공이라고 한다. 이보다 낮은 진공은 초고진공이라고 한다. 다음 그림 5 는 진공도 구현에 필요한 진공펌프의 종류를 보여준다.

진공밸브는 기밀유지가 가장 중요하므로 고진공으로 갈수록 재질의 선택과 구조 형식의 선택이 중요하다. 특히 밸브 재질의 탈가스 특성(Outgassing Property)이 진공도에 영향을 미친다. 문헌 1에 의하면 은이나 구리와 같은 경우 탈가스의 비율이 10^{-9} mbar 수준이고, 알루미늄이나 스테인레스강인 경우 10^{-8} mbar 수준이다. 밸브의 핵심인 기밀유지 즉, 씰링을 담당하는 소프트시트의 경우에는 불소고무 계열인 FPM, FKM(VITON 이라는 상표로 익숙함)이 10^{-7} mbar 수준으로 가장 탈가스 특성이 좋기 때문에 거의 모든 진공밸브 제작자들은 FKM 를 씰 재질로 선택한다.

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

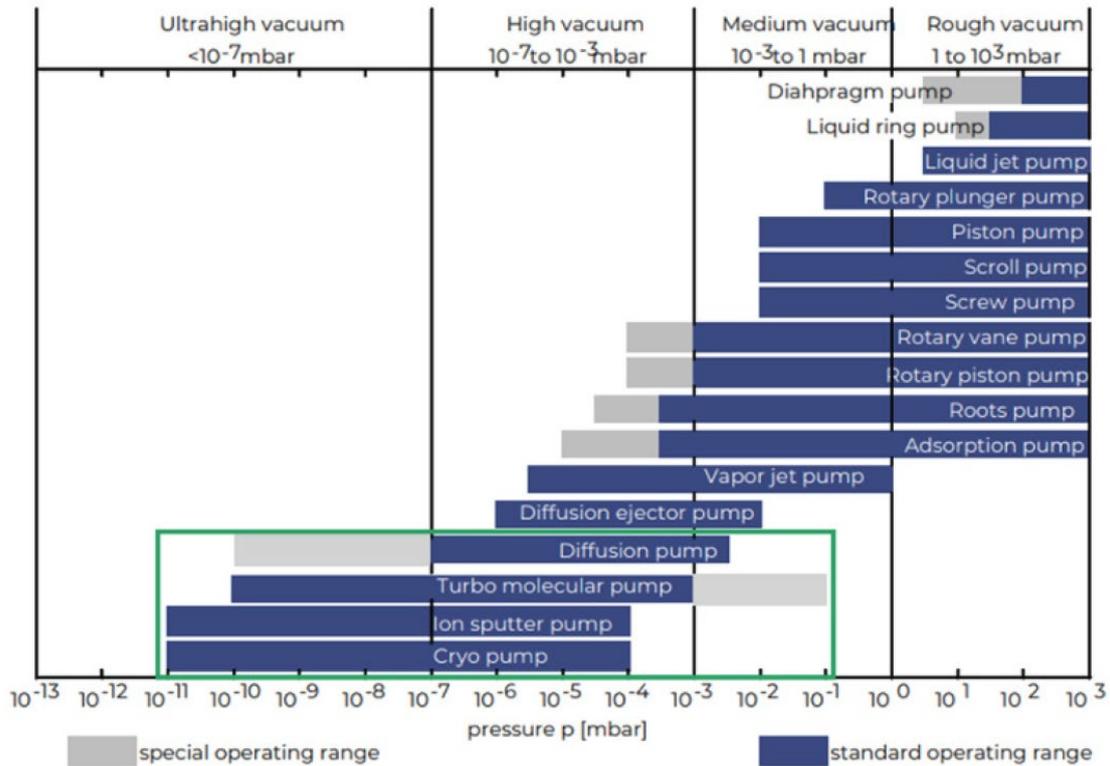


그림 5 진공도에 따른 적용 진공펌프(Courtesy of Vacuum Science World)

진공밸브의 형식은 글로브밸브 형식(주로 앵글/Y-형 밸브로 통상 출시하고 있음)과 게이트밸브, 버터 후라이밸브, 볼밸브가 주로 사용된다. 게이트밸브의 경우 펜듈럼(Pendulum) 구조로 하여 공간을 절약하고, 자동 운전이 용이하게 한 것도 있다. 모두 시트의 기밀유지는 FKM 재질의 오링이나, 씰링구조로 채택하고 있으며, 대형 밸브의 경우, 조작 토크 등의 구조적 동작 특성으로 인하여 게이트밸브가 선정된다. 아울러 밸브는 스템 패키징으로 부터의 누설 가능성을 근본적으로 제거하기 위하여 금속제 밀봉인 벨로우즈 씰을 채택한다.

진공밸브의 진공시스템에서의 역할은 일반 밸브와 거의 같지만, 진공이라는 특수한 환경에 맞아야 한다. 순수하게 차단기능만 할 것인지 제어기능도 가져야 할 것인지를 시스템 측면에서 검토해야 하고, 특히 진공시스템의 특수한 환경인 가능한한 최적의 가장 작은 체적(볼륨, Volume)으로 구성하여야 하므로 사용 공간 즉 설치공간에 많은 제약을 받는다는 특징이 있다. 따라서 진공밸브의 선택에서 검토해야 할 사항은

- 설치 공간
- 밸브의 용도 및 시스템에서 요구하는 기능
- 밸브의 조작방법. 수동인가, 자동인가, 시스템과의 운전 조작에 따른 통신방법 등
- 시스템에서 요구하는 진공도 등급 및 요구(또는 예상)되는 운전 온도
- 작동 유체의 성상 - 밸브 씰링은 물론 진공펌프의 선택에 막대한 영향을 줌

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

다음은 개략적인 진공밸브의 사진을 보여준다.



Pendulum Gate Valve

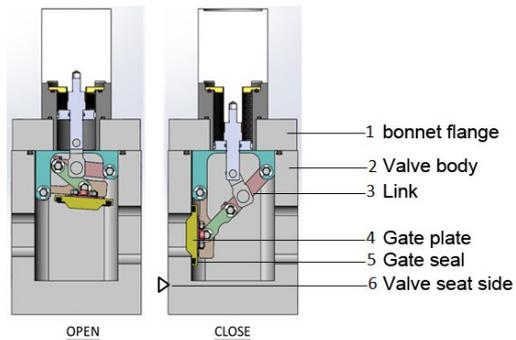


L/B Slide Gate Valve for Vacuum Service



Butterfly Valve

Functional principle



Functional/Operational Principle of Gate Valve

그림 6 진공용 밸브(Courtesy of Pfeiffer Vacuum)

e) 독성가스 밸브 : 독성가스는 고압가스 안전관리법의 적용을 받는 "아크릴로니트릴/ 아크릴 알데히드/아황산가스/암모니아/일산화탄소/이황화 탄소/불소/염소/브롬화메탄/염화메탄/ 염화프렌/ 산화에틸렌/시아나화수소/황화수소/모노메틸아민/디메틸아민/트리메틸아민/벤젠/포스겐/요오드화수소/브롬화수소/염화수소/불화수소/겨자가스/알진/모노실란/디실란/디보레인/세렌화수소/포스핀/ 모노게르만 및 그 밖에 공기중에 일정량이상 존재하는 경우 인체에 유해한 독성을 가진 가스"로서 허용농도(해당가스를 성숙한 흰쥐 집단에게 대기중에서 1 시간동안 계속하여 노출시킨 경우 14 일 이내에그흰쥐의 2분의 1 이상이 죽게 되는 가스의 농도)가 100 만분의 5000 이하인 가스를 말한다. 독성가스의 취급 및 관리는 법으로 엄격하게 규정되어 있으며 물론 밸브 제조의 시설, 기준, 검사 등 일련의 법적인 관리 체계가 확립되어 있다. 한국가스안전공사의 "독성가스배관용 밸브 제조의 시설·기술·검사 기준(KGS AA318)에 따라 독성가스에 쓰이는 볼밸브, 글로브밸브, 게이트밸브, 체크밸브 및 콕에 대하여 적용하도록 고압가스 안전관리법 시행규칙으로 정해져 있다.

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

독성가스용 밸브는 내부 또는 외부로 가스가 누출되면 치명적인 문제가 대두됨에 따라 이에 대한 기준이 밸브의 형식, 적용재질의 규격, 사용금지 재료, 스템 패킹(씰링) 재료에 대해 정해져 있다. 특히 스템 패킹을 통하여 외부 누설을 근본적으로 제거하기 위하여 금속제 벨로우즈를 독성 밸브에는 많이 적용한다.

f) 이물질 이송용 밸브 : 내침식 특성이 좋은 재질과 함께 밸브 구조 또한 국부적으로 유체 유속이 완만하게 되도록 밸브 형상을 설계하여야 한다. 대표적인 밸브 형태가 긴 반경을 가진 엘보우의 스위프 앵글밸브(Sweep Angle Valve)가 있다.



그림 7 이물질 이송용 밸브 몸체 형식 (Courtesy of Valtek & Mitech)

g) 열매체용 밸브 : 열매체 시스템은 열을 전달하는 유체(이하 열유체라 한다)를 이용하는 것과 전기 저항에 의해 발생하는 열을 이용하는 방법 두가지가 있다. 열매체용 밸브라 함은 열유체 시스템에 있어서 고온으로 가열된 열유체를 프로세스 유체의 온도 유지에 사용하기 때문에, 일반적으로 작은 배관 또는 튜브를 통하여 프로세스 배관시스템(밸브 및 펌프 포함)에 적정 열을 전달한다. 이를 히트트레이싱(Heat Tracing) 시스템으로 부르고, 이 시스템에서 제어역할을 하는 밸브를 열매체용 밸브라 한다. 주로 독성이 없는 증기를 사용하거나 또는 유기 열매체(Organic Heat-Transfer Fluid)를 사용한다. 증기를 사용하는 경우에는 열교환 효율을 높이기 위해 증기를 낮은 압력으로 감압하여 기화 잠열을 이용함으로써 프로세스를 빠르게 가열하고 일정한 온도로 응축하여 추가의 펌핑이 없이 사용지점으로 흐르게 할 수 있다. 유기 열매체를 사용하는 경우에는 재가열 및 재순환을 위하여 열교환기를 이용하게 된다. 전통적인 열매체로는 다우섬(Dowtherm)이 널리 보편화되어 있다. 그러나 다우섬의 통상적인 인화점은 200°C 내외이므로 자연 발화점도 300°C 내외이기에 누출 시 화재 발생에 주의하여야 한다.

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

따라서 열매체용 밸브는 외부 누설을 방지하기 위하여 금속제 벨로우즈 씰을 채택한 밸브를 사용함이 권장된다. 열매체를 사용하는 프로세스의 밸브는 자켓형 밸브가 일반적이다. 자켓밸브의 구조는 밸브 몸체 외부에 열매체 유체가 흐르도록 자켓(Jacket)를 설치하는 것이다. 자켓밸브의 예는 그림 8 을 참고한다.



그림 8 열매체용 자켓밸브

(3) 제조방법의 선택

a) 밸브 몸체 및 본닛의 제조

밸브의 압력유지 부품의 제조방법은 크게 구분하여 단조형, 주조형 및 용접형으로 구분할 수 있다. 최근에 고강도 크리이프강(CSEF)인 9Cr-1Mo-V 강인 A182-F91(A217-C12A)의 경우에는 전기 슬래그 재용해법(ESR, Electro-Slag Remelting)에 따라 3D 프린팅 하는 것과 유사하게 주조하는 신공법도 등장했지만, 주조형이라고 구분할 수밖에 없다. 생산 기술적인 관점과 품질(특히 비파괴검사 비용을 포함한 품질 유지비용) 및 제조 원가 측면에서 보면, 제조방법별로 다음과 같이 정리할 수 있다.

- ✓ 단조형 제조방법 :
 - 2 인치(DN50) 이하의 소형밸브류 : 압력 클래스 ASME 300# ~ 4500# 급
 - 2.5 인치(DN65)이상 4 인치(DN100)이하 : 압력 클래스 ASME 2500# ~ 4500#
 - 밸브 재질이 A182-F91 & F92 인 단조밸브 : 압력 클래스 ASME 900# ~ 4500#
- ✓ 주조형 제조방법 :
 - 2.5 인치(DN65)이상 대구경 밸브 : 압력 클래스 ASME 150# ~ 2500#
- ✓ 용접형 제조방법 :
 - 16 인치(DN400)이상의 고압 단조 게이트밸브를 몸체 유로부분과 밸브 목(Neck)부분을 용접하는 2-Piece Body 용접형(주로 900# 이상의 고압밸브 적용)과 밸브 입출구와 밸브 몸체,

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

그리고 밸브 목을 각각 용접하여 만드는 4-Piece Body 용접형(주로 600# 미만의 저압 단조밸브) - 글로브밸브, 볼밸브, 버터후라이밸브 등에는 적용 불가함.

✓ 딥 드로잉(Deep Drawing, 판금성형)형 :

- 압력 클래스 150# 미만의 2 인치(DN50)이하의 소형밸브를 대상으로 스테인레스 판재를 딥 드로잉방식으로 냉간 성형하여 제작하는 밸브로 글로브, 감압밸브 등의 제조 공법으로 비교적 최신의 제조방법



그림 9 Deep Drawing Stainless Steel Plate Valve(Courtesy of Mankenberg)

b) 밸브 스템

밸브를 열고 닫을 때마다 스템은 인장, 압축(좌굴현상을 포함)과 스템의 나사부는 직간접적으로 하중과 모멘트를 받기 때문에 스템의 강도는 이들 하중에 충분하게 견딜 수 있도록 스템의 직경, 길이 형상은 물론 재질에 각별한 주의가 필요하다. 또한 스템 패킹과의 기밀 유지를 위한 높은 압축응력 상태에서 선형 또는 회전마찰로 인한 스템 표면의 스크래치 등의 문제를 예방하기 위한 스템의 표면 경도 강화와 표면 조도 관리가 중요하다. 스템 재질로 주로 사용되는 것은 API 600 트림 차트의 13Cr(SS410)과 오스테나이트 계열의 SS304, SS310, SS316, SS347 이 대부분이지만, 비교적 높은 온도나 증기 서비스용 밸브에서는 SS321, SS316Ti, XM-19 와 17Cr (SS431)도 널리 사용한다. 초합금강 계열로는 Alloy 20, Monel 및 Inconel 617, 625, 718, X750 도 사용된다. 이외에 석출경화강(Precipitation Hardening Steel)인 ASTM A564 Gr.630(일반적 호칭으로 17-4PH)과 고온용으로 A638 Gr. 660 을 사용하기도 한다. Gr. 630 은 비교적 저렴하고 열처리 온도에 따라 강도 조절이 가능하여 주로 400°C이하의 중-저온용으로 사용되나, Gr. 660 은 550°C 까지도 고온 강도가 유지되므로 고온 증기용 밸브의 프리미엄 스템용으로 사용된다. 페라이트 스테인레스 계열의 스템 재질인 13Cr 과 17Cr 은 질화열처리, 고주파열처리 등을 통하여 표면 경도를 API 600 트림차트에서 요구하는 경도 이상으로 올릴 수 있으며, 오스테나이트계열의 스템은 염욕 질화와 같은 특수 열처리 방법으로 요구하는 경도를 얻을 수 있다.

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

(4) 구조상의 선택

a) 밸브 디스크의 운동형식과 스템 동작방식에 의한 : 밸브 디스크의 운동형식과 스템의 동작방식에 따라 밸브 유로의 제어구조를 구분하면 다음의 표 8 과 같다.

| 디스크 운동 | 밸브 형식과 스템 동작방식 | 스템 운전형식 |
|-------------------|---|------------|
| 디스크의 상하 운동 | OS&Y,RS(Outside Screw & Yoke, (non-rotating) Rising Stem - 주로 게이트밸브, 글로브밸브 | 스템 비상승식 |
| | IS&NRS(Inside Screw & Non-Rising Stem) - 주로 물용 저압 게이트밸브, 다이아후람밸브, 핀치밸브 | 스템 비상승식 |
| | IS&RS(Inside Screw & Rising Stem) - 주로 소형 글로브밸브 | 스템 상승식 |
| | Sliding Stem - 주로 공압/유압구동 제어밸브 | 스템 슬라이딩 |
| 디스크의 90° 회전 운동 | 버터후라이밸브, 프러그밸브, 볼밸브 | 스템 1/4 회전형 |
| 디스크의 자력 동작 | 스윙체크밸브, 틸팅디스크체크밸브, 리프트체크밸브, 인라인 체크밸브, 듀오체크밸브, 안전밸브 등 | 자력 동작 |

표 8 밸브 디스크 운동형식과 스템의 동작방식

b) 본닛의 형식과 스템 구성

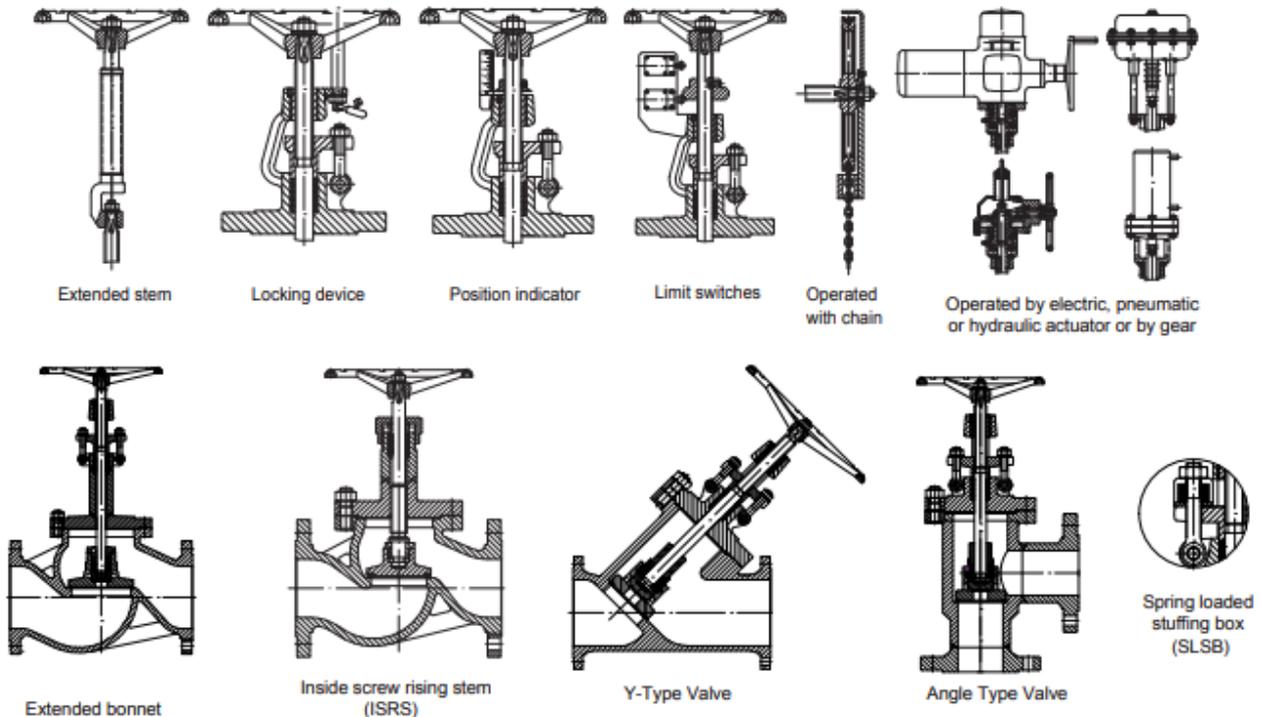


그림 10 일반적인 밸브 볼티드 본닛(Bolted Bonnet) 형식구성

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

밸브의 본닛 구성방식은 그림 10 과 11 과 같으며, 압력 및 온도에 따라 각기 다르게 구성한다.

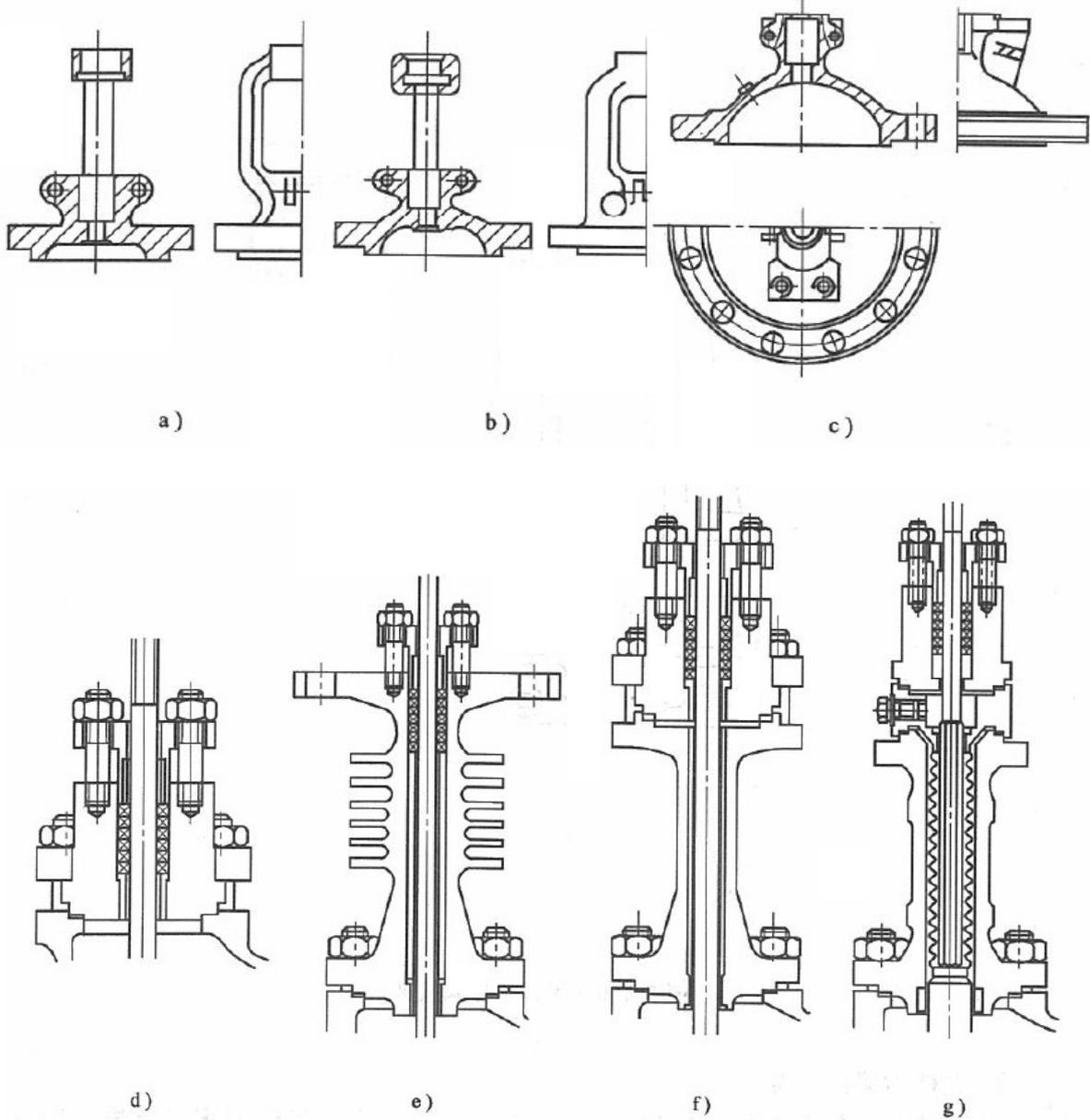


그림 11 일반적인 밸브 본닛 형식

그림 11의 경우는 일반 용도의 밸브 본닛(a, b, c)과 운전온도 350°C내외의 고온용 밸브의 본닛(d)와 방열 핀이 갖춰진 초고온용 본닛(e), 초저온용 밸브의 본닛(f), 그리고 벨로우즈씰이 장착된 롱 본닛(g)을 보여준다. 아울러 밸브 본체와 본닛을 포함한 밸브 작동부의 연결은 밸브의 개폐력 및 시팅력에 충분히 견디는 구조로 연결방식 즉, 조인트 방식은 주로 그림 12와 같이 다섯가지가 대부분이다.

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

ASME 압력 클래스 600#까지는 거의 대부분이 플랜지 조인트(볼티드 본닛)이고, 압력 클래스가 900# 이상이고 3~4 인치를 넘는 대부분의 고압밸브는 압력밀봉방식에 클램프 조인트 방식을 주로 적용한다. 몇몇 제작사는 압력밀봉방식의 본닛에 메카니칼 클램핑방식의 조인트도 많이 채택하고 있다. 3 인치 이하의 소형 고압밸브의 경우에는 나사식 조인트에 씰용접을 하거나 용접형 조인트 방식을 채택한다.

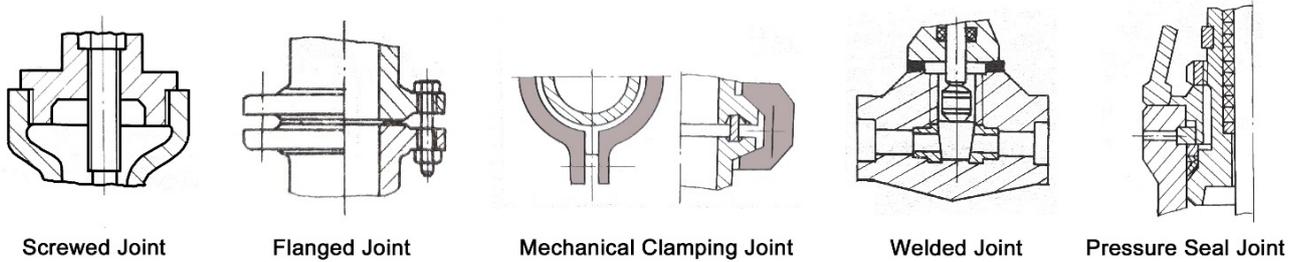


그림 12 일반적인 밸브 본닛과 구동부 연결 조인트 방식

특히 볼티드 본닛 밸브의 기밀유지 방식으로는 가장 널리 사용하는 스파이럴 와운드 가스켓(Spiral Wound Gasket)을 제외하고는 특수한 형태로 다음 그림 13 과 같은 메탈 링을 사용하기도 한다.

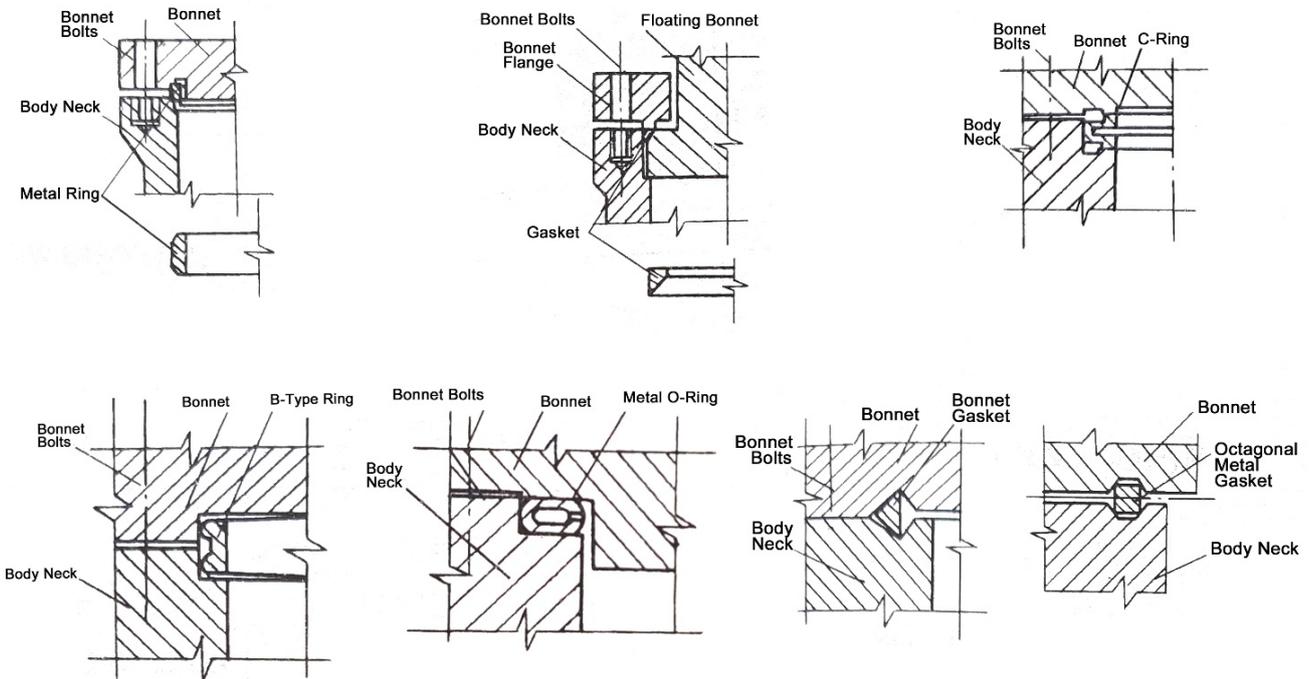


그림 13 볼티드 본닛 조인트에서 기밀 유지의 방식

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

c) 시트 형식에 의한

밸브 시트는 밸브의 형식, 구조, 서비스 조건(압력, 온도) 및 환경(가스, 증기, 부식성 액체, 슬러리 성 액체 등)에 따라 시트형식이 달라진다. 다음의 표 1-5-5-7 은 밸브 형식별로 시트 구조를 보여준다. 게이트밸브와 볼밸브의 시트는 입구와 출구에 각각 있는 2 개의 시트를 갖고 있으며, 유로 방향에 따라 출구측의 시트가 기밀 유지에 중요한 역할을 한다. 볼밸브의 경우에는 제작상의 문제로 시트가 본래부터 분리되는 독립형으로 되어있다. 밸브 시트에서의 기밀유지를 위해서는 시트와 디스크간에 기밀유지에 충분한 접촉압력이 유지되어야 하기 때문에 어떠한 시트를 채택한다 하더라도 기밀 유지면의 가공정밀도(최종 래핑작업을 통하여 기밀면의 표면조도 정밀도를 높임)를 높여 접촉면에 균일한 접촉압력이 가해지도록 해야 한다. 또한 상호 시팅면의 표면 경도를 충분히 높이고, 시트와 디스크간 경도 차이를 두어야 한다.

표 9 밸브 형식별 시트 구조

| 밸브 형식 | 시트 구조 | 특기사항 |
|-------------|--|----------------------------|
| 게이트밸브 | 압입형 - 2 인치 이하 소형단조밸브 용접형 - 대구경 중고압밸브 나사삽입형 - 대구경 저압밸브 일체형 - 초고온 고압밸브-열피로수명 소프트 시트형 - 주로 저압 | Pressing in 무용접 구조 |
| 글로브밸브 | 일체형 - 본체에 시트 재질을 육성 용접 나사형 - 주로 저압 밸브 퀵체인지형(Quick Change) - 주로 제어밸브 | 밸브 크기에 무관 정비 보수성 탁월 |
| 볼밸브 | 독립형 소프트 시트 구조 독립형 메탈 시트 구조 | |
| 버터후라이 밸브 | 일체형 소프트 시트 구조 일체형 메탈 시트 구조 | |
| 안전밸브 | 일체형(조정 링 부착) | |
| 자력식 압력조절밸브류 | 나사삽입형 용접형 | |

d) 포트 직경의 형식에 의한

밸브의 포트(Port)는 시트의 유로 직경을 말하는 것으로 통상적으로 밸브 입구의 유로 직경보다 갖거나 작게 설계된다. 공학적으로 밸브와 연결된 파이프의 내경의 90% 이상의 유로 직경을 가진 밸브 포트를 풀 포트(Full Port)라고 하고, 그 미만의 포트 직경을 가진 밸브를 레듀시드 포트(Reduced Port)라고 한다. 레듀시드 포트라하여도 일반적으로 그 기준은 밸브의 호칭 치수보다 2 단계 낮은 호칭 치수의 풀 포트 보다는 커야 한다는 것이다. 즉 6 인치 밸브의 레듀시드 포트

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

크기는 4 인치 밸브의 풀 포트보다 커야 한다는 것이다. 통산적으로 레듀시드 포트 직경은 ASME B16.34 의 비필수 부록(Nonmandatory Appendix A)에서 정한 밸브 호칭사이즈 내경의 75~90% 사이로 보면 무리가 없다. 이 보다 더 낮은 포트 또는 밸브의 호칭 직경의 75%로 설계한 것이 벤츄리 포트(Venturi Port)라고 하는 데, 벤츄리 포트의 경우에는 밸브에서의 압력 손실을 줄이기 위하여 유로의 입출구를 점진적으로 축소/확대한 구조로 되어있다.

프로세스 플랜트에 있어서 유로 시스템의 각 요소는 시스템의 전체적인 압력 평형을 맞추고, 또한 프로세스 운영의 효율을 높이기 위하여 각 요소의 압력 손실량을 제어한다. 이들 요소들 가운데 압력 손실량을 제어할 수 있는 요소는 밸브가 유일하므로 포트 직경의 결정에는 신중함이 필요하다. 따라서 대부분의 복잡한 프로세스 플랜트의 밸브들은 풀 포트를 사용하는 것이 일반적이지만, 용도에 따라 고유 압력 손실량이 상대적으로 큰 레듀시드 포트 또는 벤츄리 포트를 채용하는 경우도 적지 않다. 예로서 배관 시스템의 벤트(Vent) 및 드레인(Drain)용도의 밸브는 풀 포트 밸브를 사용하지 않아도 된다. 레듀시드 포트 및 벤츄리 포트의 밸브는 밸브의 경량화와 비용 절감이 가능하고 운전 유지와 관리상의 문제가 없는 경우에 널리 사용되지만, 다음과 같은 경우에는 가급적 풀 포트 밸브를 선정함이 좋다.

- 시스템의 압력 손실이 문제가 되는 경우의 배관 시스템
- 자율배수(Self Draining)배관의 수평라인에 설치되는 밸브
- 슬러리 또는 불 용해성 고형물을 포함하는 마모성 유체 시스템의 배관
- 배관 세척을 위한 배관(Pipe for Pigging)
- 펌프 및 압축기의 흡입측 배관 - 특히 수평 배관인 경우

e) 기타

1) 트림

트림은 밸브 종류에 따라 그 구분이 조금씩 다르다. 밸브가 제어적 측면에서는 트림은 밸브 기능을 갖는 가장 중요한 부품들의 구성이다. 트림 선정은 소재의 특성, 가공방법, 열처리 방법, 기밀 유지부의 사상면 조도와 경도 등과 함께 유체의 종류 및 사용조건도 함께 검토해야 한다. 트림은 API 600 에 의하면 다음과 같은 부품들로 구성되어 있다. 즉, 게이트밸브인 경우에는 스템, 몸체 시트 표면, 게이트밸브 시트 표면, 백 시트 또는 부싱, 글로브밸브의 경우에는 스템과 디스크/시트 표면, 백 시트와 디스크 너트가 해당된다. 체크밸브의 경우에는 디스크/시트 표면, 힌지 핀, 디스크 스프링들이 해당된다. 단, 이들 부품들은 유체와 항상 접촉하면서 보수, 정비, 교체가 가능한 부품이어야 한다. 공학적으로 시트와 디스크의 기밀 유지를 위한 접촉면은 경도가 비교적 높고, 내마모성이며, 산화되지 않는 재료로 별도로 만들거나, 이들 재료를 육성 용접하여 사용한다. 스템 또한 웬만한 이물질이 스템과 패킹사이에 침입하여도 손상을 입지 않을 정도의 경도를 가져야 한다. API 에서는 이를 트림 넘버로 하여 약 20 여가지를 분류하고 있다(표 2 참조).

주 제 : 밸브의 선정기준과 선정 포인트

2) 정전기 방지 방법

볼밸브와 프러그밸브와 같이 소프트시트(특히 PTFE)를 채택한 경우, 밸브 몸체에서 디스크와 스템이 전기적으로 절연되어 있는 구조의 밸브는 액체의 마찰에 의한 정전기가 발생하여 디스크와 스템에 방전에 따른 스파크를 일으킬 염려가 있다. 따라서 가연성 액체를 취급하는 밸브는 디스크, 스템 및 밸브 몸체간의 사이를 전도체로 접속시킬 필요가 있다. 즉, 대전방지기구(帶電防止器具, Anti-Static Device)를 갖춰야 한다.

3) 라이닝

주로 부식성 유체 또는 초고온용 밸브에는 방식용 라이닝이나 내열 캐스터블(Castable Refractories) 등으로 밸브 내부를 시공한다. 밸브 라이닝은 침식문제, 밸브 몸체와 라이닝간의 열팽창 차이에 의한 박리 또는 탈락문제 등이 상존하고 있기에 라이닝을 시공하는 경우에는 시공성의 문제에 대하여 심도 높은 검토가 필요하다.

4) 밸브 잠금장치

프로세스 플랜트에 있어서 운전관리 상 중요한 밸브는 오동작을 방지하기 위하여 밸브의 개폐 운전을 엄격하게 관리할 필요가 있다. 즉, 시스템에서 허가된 방법에 의해, 승인된 운전원이 밸브의 개폐조작을 하여야 한다는 것이다. 이를 관리하는 방법으로는 자물쇠를 밸브 핸들에 부착하여 밸브의 개폐상태를 관리하는 것과, 밸브 그 자체를 보호막으로 싸고, 밸브 개폐 조작시에 이 보호막을 열고 조작하는 방법, 또는 밸브 조작 후 밸브 핸드휠을 제거하는 방법 등이 있다. 최근에는 IT 기술의 발달로 비교적 간단하지만 체계적이고 종합적으로 각 밸브의 조작 상태를 관리하는 방안도 제시되고 있다. 즉, 밸브 인식 방법(RFID 이용 등)과 조작 상태를 결합하여 중요밸브의 운전을 중앙제어실 뿐만 아니라 현장 검사원 또는 운전원의 모바일이나 태블릿으로도 종합적인 관리가 가능하다.