

# 배관계통에 있어서 용도별 밸브의 적용

글/민경화 <한국전력기술(주) 원자력사업단 배관기술부 차장>

밸브는 유체를 최종적으로 제어하는 기기라는 것은 이미 여러번 강조하였다. 유체기계 또는 유체 수송기기(펌프, 압축기, 진공펌프, 송풍기 및 블로워 등)에서 밸브와 같이 유량을 조절 또는 차단하는 제어요소가 없다면 이들 기기가 구성하고 있는 계통은 전혀 쓸모없는 것이 된다. 이들 유체를 수송하는 기기들과 유체의 힘을 이용하며 여러가지 일을 수행하게 하거나, 공정(Process)을 원활하게 하기 위하여 배관계통의 3대 요소인 온도, 압력 및 유량을 적절히 유지시키는 일 등은 모두 밸브에서 조정된다. 따라서 밸브는 유체를 다루는 모든 계통에 있어서 매우 중요한 기기이다.

밸브는 전호에서 언급했듯이 각기 독특한 구조와 유체역학적 특성을 갖는 다양한 형식의 밸브가 실용화되어 있다. 이들 밸브들을 어떻게 선정하여 사용하느냐에 따라 배관계통의 운전을 원활하게 할 수 있는가를 제시하는 것이 용도별 밸브의 적용기술이다. 본장에서는 우선 밸브의 용도별 적용에 대한 정의를 돕기 위하여 밸브의 기능 및 역할에 대하여 설명하고, 다음으로 배관계통의 운전특성을 고려한 밸브 선정의 가이드를 제시하고자 한다. 아울러 밸브의 구매에 있어 참고로 할 만한 기술적 검토사항을 제안한다.

## 1. 밸브의 기능 및 역할

### 1) 밸브의 역할

밸브가 제대로 만들어졌는가를 판단하는 밸브의 조건은 무엇보다도 계통의 원활한 운전과 완벽한 기능을 유지하는데 있다. 밸브는 계통의 운전조건 즉, 밸브의 용도, 수송유체의 종류, 계통제어의 요구조건(온도, 압력, 유량)을 만족하는 제어요소로서 그 역할은 계통설계자의 요구사항과 동일함으로, 이를 역할별로 구

분하여 다음과 같이 밸브의 3대 역할로 정의한다.

① 배관계통의 안정성을 도모하는, 계통에 대한 능동적인 제어요소(Active Component)로써 계통의 일부 또는 전체 계통을 불안정한 운전 또는 사고로부터 완화시키거나 정지시키는 역할

② 배관계통의 안전성을 도모하는, 계통에 대한 기능상의 능력(Functional Capability)으로써 밸브의 설계 또는 사용조건하에서 계통에 수반되는 여러 동적 현상에 견디고 아울러 자체의 치수 안정성을 유지하여 계통 및 계통운전이 안전하도록 정격 계통제어요건을 갖는 역할

③ 밸브자체의 운전성으로 설계 및 사용조건하에서 밸브구조가 안전하고 아울러 규정된 제반 기능을 충족하면서 요구되는 기계적 운동을 원활히 수행하는 역할

이와 같은 밸브의 3대 역할은 결론적으로 계통의 기능을 유지하고 안정스런 운전을 위하여 매우 중요한 의미를 갖는다. 이를 밸브설계측면으로 보면 밸브의 설계조건으로 볼 수 있겠다.

## 2) 밸브의 기능

밸브의 기능은 크게 대별하여 유체수송과 계통제어의 기능과 밸브 자체의 구조적 안정성에 관계되는 기능 등 두가지로 구분한다. 전자는 밸브기능 중 소프트웨어적인 사항이고 후자는 하드웨어측면의 기능을 표현한다. 필자는 이 기능을 밸브에 있어서 1차 기능(Primary function)과 2차 기능(Secondary function)으로 정의하고, 밸브의 응용 및 밸브 설계에 이를 도입하여 설명하고자 한다. 왜냐하면 이들 2개의 기능은 서로 직접적인 상관관계로서 각 배관계통의 운전상황에 따라 적합한 1차 기능과 2차 기능의 조합이 전제되기 때문이다. 우선 밸브가 계통운전에 있어서

## 설비강좌 ●

1차적 기능상실은 계통 설계자의 밸브 선정이 잘못되었거나, 계통의 각종 천이현상으로 인하여 밸브의 기능이 일시적으로 상실되는 경우 또는 밸브의 제어범위를 벗어난 상태에서 밸브를 운전하는 운전자의 미숙함도 1차적 기능상실로 볼 수 있다. 한 예로 배관계통의 유체와 제어특성이 밸브의 제어요소부분인 밸브트림이 유체의 물리적 성상(性狀)인 유체의 온도, 압력, 유량의 3대 요구조건과 밸브 개폐 속도 및 유체 저항의 정도에 따라 생길 수 있는 부조화현상 즉, 캐비테이션, 과도한 소음 및 후라싱 그리고 이에 따른 계통의 진동과 침식현상 등을 대표적인 1차적 기능의 상실로 들 수 있으며 이러한 1차적 기능 상실에 따라 밸브 구조가 손상되는 현상을 2차적 기능 상실로 볼 수 있다. 따라서 1차적 기능에 일시 문제가 있더라도 2차적 기능이 제대로 발휘된다면 밸브를 건전하게 장시간 사용할 수 있는 경제적 이점이 있다. 보다 구체적인 예로써 복수기(Condenser) 복수배관계통의 제어밸브는 비교적 높은 온도의 응축수를 상대적으로 진공상태인 복수기로 보내는 역할을 하기 때문에 후라싱현상을 피할 수 없으며, 따라서 후라싱 서비스에 적합한 구조의 밸브트림 형상과 내마모성이 우수한 재료로 구성되어야 한다. 또한 밸브선행시 만에 하나라도 밸브의 패킹부로부터의 공기 입을 근본적으로 확보할 수 있는 수봉식(水封式)의 스템 밀봉방식을 취하여 공기 유입으로 인한 복수기 효율저하를 방지하여야 할 것이다. 이러한 밸브의 선정은 1차 기능인 계통 이해와 이에 부합되는 밸브 응용 기술이 필요하고 아울러 후라싱 서비스로 인한 밸브계의 진동으로부터 밸브의 1차 기능을 유지하기 위한 2차 기능의 검토도 아울러 같이 수행되어야 한다. 이들 밸브에 대한 운전절차의 수립, 주기적인 밸브 트림의 점검 등도 물론 1차적 기능 유지에 필요한 행위로 볼 수 있다.

2차적 기능 상실은 밸브의 구조적 불안정에서 기인하는 것으로 밸브고유의 기능 수행과는 큰 관계가 없는 듯하나 앞서 언급했듯이 1차적 기능과의 부조화가 직접적인 원인이 된다. 2차적 기능 상실은 밸브의 가장 중요한 역할인 밸브의 능동적인 기능을 상실하는 직접적인 원인이 된다.

일반적으로 밸브를 포함한 배관계통은 그 사용 조건이 혹독해질수록 복잡한 역학적 거동을 갖게 된다. 고

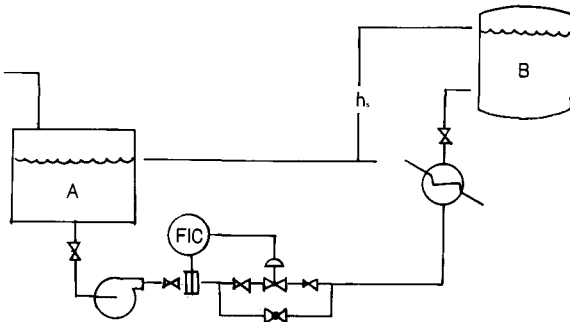
온-고압계통의 밸브는 온도에 의한 밸브 몸체내의 응력 발생(2차 응력)은 물론 고압에 의한 밸브 구조의 강도(1차 응력)가 충분히 유지되어야만 제 기능을 유지할 수 있다. 또한 진동으로 인한 동적하중에 대해서도 밸브 각 부품이 충분한 강도를 유지하고 있어야 한다. 특히 제어밸브나 모터구동밸브와 같은 상대적으로 무거운 밸브 구동부를 갖고 있는 경우 구조적으로 불안정성이 더욱 많기 때문에 제반 하중조건을 조합하여 각 하중 조건별로 적절한 해석적 방법을 사용하여 밸브의 강도가 충분한가를 증명할 필요가 있다. 요즈음의 고온-고압 배관계통은 대부분 컴퓨터 프로그램을 이용하여 배관응력해석을 수행하기 때문에 이들 모터구동밸브와 같은 Top Heavy Valve들의 무게 및 무게 중심의 위치는 배관계통의 구조적 안정성 유지에 중요한 요소이다. 한 예로 물과 증기가 섞인 이상유체(Two Phase Flow)인 증기추출배관인 경우 이 계통에 설치되어 있는 제어밸브는 운전 중 어느 정도의 유체천이로 인한 수격현상(Water Hammer)을 피할 수 없다. 이러한 계통에 설치된 제어밸브가 수격현상과 같은 동적현상으로 인하여 배관계통이 진동할 때 Top Heavy Valve(밸브의 무게 중심이 구동부쪽으로 치우쳐 있는 밸브로서 앵글밸브에 모터구동장치나 공기압구동장치를 부착했을 경우, 전형적인 Top Heavy Valve이다)는 구조적으로 가장 취약한 밸브의 허리부분 즉, 밸브 요크 부위가 절손되는 사례가 일반 화학 플랜트 및 발전 플랜트에서 보고된 바 있다.

## 2. 배관계통의 운전특성 구분

### 1) 유체수송

배관계통에 있어서 유체를 원활하게 수송하기 위해서는 계통설계자는 적어도 다음의 사항을 고려하여야 한다. 유체의 흐름은 에너지의 변화를 요구하고 있기 때문이다. 고려사항으로써 유체제어의 3대 요건인 유체의 온도, 압력 및 유량은 물론이고 유체의 물리적 성상(性狀)인 점도(粘度), 불순물의 개재(介在)정도, 액체중 기포(汽泡)의 함유정도, 응고성, 기화성(氣化性), 침투성, 폭발성 및 건습의 정도, 그리고 화학적 성질인 부식성, 유독성 유무, 온도 조건에 의한 화학적 특성 변화 등을 고려하여 수송매체인 배관

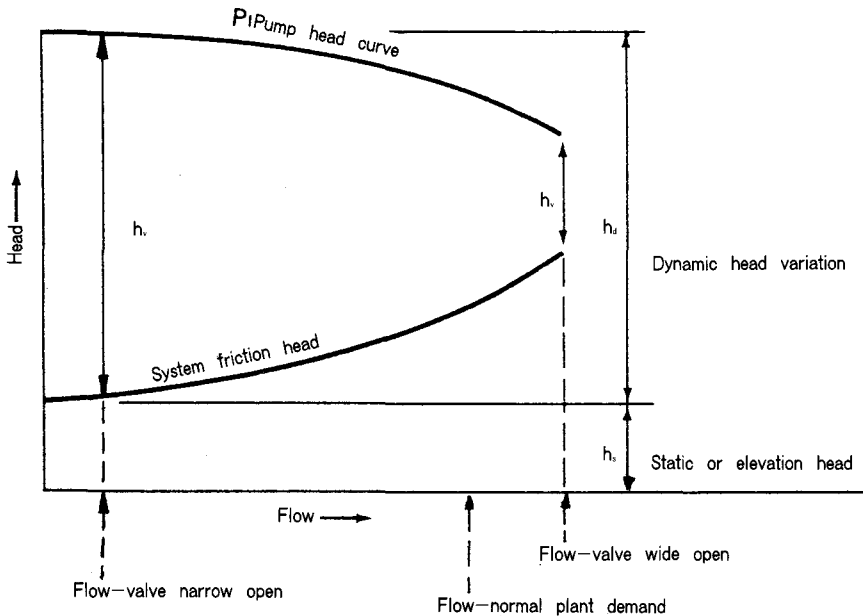
의 금속학적 특성과 배관 배치의 적절성을 확인하여야 할 것이며, 이들 설계자로부터 수송유체에 대한 밸브의 재질 및 구조를 제대로 설계할 수 있다. 따라서 유체수송에 있어서 밸브의 선정은 앞서의 사용유체에 대한 유체의 상태(유체의 물리적, 화학적 성상)와 사용 목적에 따른 밸브 개폐의 조건, 유량 조절의 유무 및 그 정밀도, 밀폐도(Tight Seal), 밸브개폐의 속도와 설치장소가 밸브의 기능과 관련 배관계통의 운전목적과 부합되어 결정된다.



〈그림 1〉 유체수송의 전형적 계통 구성

〈그림 1〉과 같이 A계에서 B계로 유체를 수송하는 계통은 적절한 운전을 하기 위하여 적어도 두가지 종류의 밸브가 선택된다. 즉, A계와 B계를 완전히 차단할 목적으로서의 밸브가 있어야 한다. 이를 밸브의 사용목적이라 하면 개폐조건으로서 차단용 밸브로 밀폐도가 우수하고 개폐속도가 빠른 밸브가 선택되어야 한다. 또한 유량조절의 목적으로서 밸브가 선정되어야 하는데 이는 밸브의 유량 조절의 정밀도가 주된 목적이 된다. 전자의 경우로는 게이트 밸브, 볼밸브, 플러그 밸브, 또는 버터후라이 밸브가 고려될 수 있으며 후자의 경우에는 제어밸브로서 그로브 밸브형식이나 유량 조절용으로 설계·제작된 볼밸브나 플러그 밸브와 같은 QUARTER TURN 밸브가 고려될 수 있다. 또한 원활한 계통운전 및 역류(逆流)의 문제를 고려하여 자력(自力, Self-Actuation) 차단밸브인 체크밸브가 선정된다. 계통의 차단 즉, 밀폐도가 무시될 수 있는 정도의 계통운전이라면 차단용 밸브로서 체크밸브만으로도 계통을 구성할 수 있을 것이다. 유로 조절용의 밸브는 적어도 계통특성으로서,

- A계 및 B계의 압력 허용범위와 A계의 위치에너지



〈그림 2〉 유체수송에 있어서 밸브에서의 에너지 특성

# 설비강좌 ●

지 제한 범위

- 밸브의 제어응답시간(급속 개폐 또는 완만한 개폐, 밸브 조절의 완급정도)
- 밸브에서의 제어 품질 및 허용 정도(완전 밀폐, 일부 내부 누설허용 및 제어의 범위)
- 유량 조절의 범위정도 및 계통 천이에 대한 효과 등을 검토하여야 한다.

〈그림 2〉는 유체수송에 있어서 유량을 조절하면서 계통에 생기는 에너지 특성을 보여주는 그래프로써 일반적으로 계통해석을 배관계통에 생기는 마찰손실과 정상운전시 각종 기기가 요구하는 유량, 압력을 〈그림 1〉과 같이 계산하여 최적의 운전모드를 찾아 펌프 및 밸브의 크기를 결정한다.

## 2) 밸브 형식에 따른 선정

다음의 〈표 1〉은 유체수송에 있어서 밸브 형식에 따른 특징을 간략하게 보여주고 있다. 밸브의 선정에 있어서 고려되어야 할 항목 및 밸브의 사용온도에 따른 밸브 몸체 재질에 대한 사항은 〈표 2〉와 〈표 3〉을 참고한다. 〈그림 3〉은 간단한 밸브 본체의 선정 요령을 도식화한 것이다.

〈표 1〉 밸브 형식에 따른 특징

밸브형식	사용조건		밸브의 크기		기능		특징	비고
	압력 고저	온도 제한	대구경	소구경	중간 개도	C. 대소		
게이트 밸브	고	무	○	△	부	대	유체차단용 압력손실 소	4"~36"
그로브 밸브	고	무	△	○	가	중	범용성 양호	3/4"~12"
버터후라이 밸브	중	무	○	×	가	대	저압 내구형 유량 조절 가능	4"~60"
다이아후람 밸브(금속제)	고	무	×	○	부	소	계기용 외부 누설 전무	3/4"~4"
프러그 밸브	고	유	△	○	부	대	유체 차단용 스토리지 서비스 가능	4"~36"
볼 밸브(고압용)	고	무	△	○	가	대	불형상에 따라 유량 조절 가능	3/4"~12"
볼 밸브(저압용)	저	유	○	○	부	대		3/4"~36"
체크밸브(스텝)	고	무	○	△	-	대		3/4"~36"
체크밸브(리프트)	고	무	×	○	-	소		3/4"~4"

〈표 2〉 밸브의 선정 포인트 및 유의사항

밸브의 선정 포인트	밸브 선정의 유의사항
1. 밸브 사용 목적	1. 밸브에서의 누설 제한 여부
2. 밸브 형식(몸체, 트림형상 등)	2. 밸브의 유량계수
3. 밸브 압력-온도 기준	3. 배수, 배기 밸브의 유-장시간 미사용으로 인한 내부 밸브의 고착문제 등
4. 밸브의 치수, 접속방법 및 구조	4. 밸브 내부 누설에 의한 二相 유체의 혼합 허용 여부
- 밸브의 연간 치수와 접속 방법	5. 밸브의 유량 조절과 개폐특성
- 밸브 몸체와 본네프트 연결구조 및 스텝의 구성 형식	6. 밸브를 포함한 배관 프로세스 계통의 Flushing 중요성
- 조작 방법 및 설치 환경	7. 일상 점검, 정비의 이행 여부
5. 밸브의 중요도-방폭, 방재형 등	8. 밸브 내면의 크리닝과 청결유지 여부
6. 기타	9. 불순물이 함유된 유체의 경우 밸브 형식 선정의 중요성
- 패킹, 가스켓	- Hermetic, Bellows Seal, 다이아후람 등
- 저온형 본네프트	10. 저온 밸브시 Long Bonnet
- 이상 승압현상(Pressure Locking)	11. 이상 승압시 밸런스 또는 Bypass 밸브의 사용 여부
- 대전(帶電) 현상	
- 밸브 내부의 라이닝	
- 밸브 잠금장치	
7. 적용규격-시험방법-검사항목	
8. 사용유체의 물리화학적 특성	
9. 사용유체에 대한 밸브 몸체의 재질	

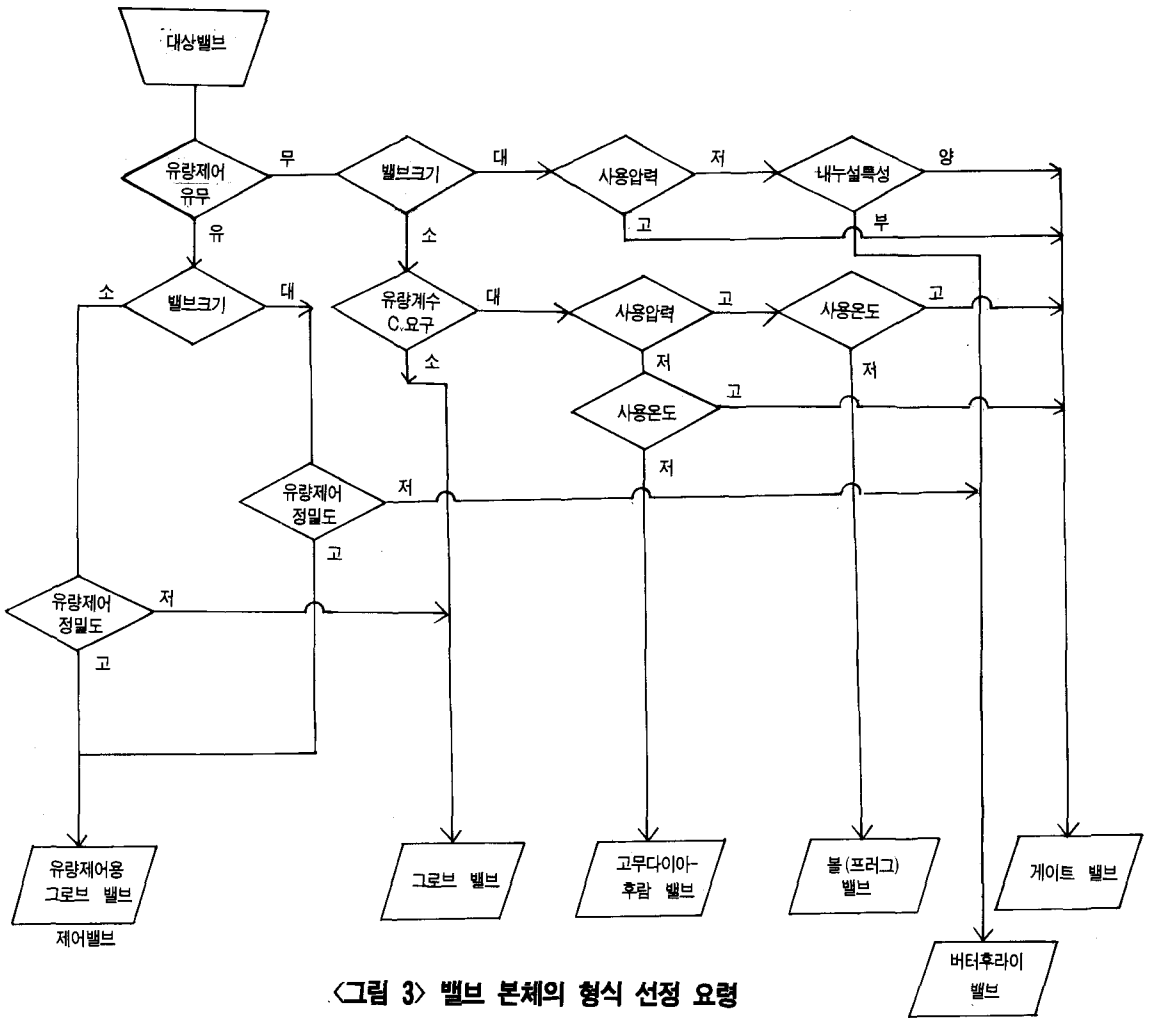
〈표 3〉 밸브의 사용온도에 따른 밸브 재질의 제한

구분	재질구분	사용온도의 범위	비고
밸브 몸체의 재질	스텐레스	-450F~1600F(-268C~870C)	저온용(-20C 이하)의 밸브는 본네프트 부위가 긴(Long Bonnet) 구조로서 그랜드 패킹부의 온도를 낮출 수 있는 한 상온에 가깝게 하고 있다.
	탄소강	-20F~800F(-30C~425C)	
	크롬-몰리브덴	-20F~1100F(-30C~590C)	
	인코넬	-400F~2000F(-240C~1090C)	
	주철	0F~400F(-20C~200C)	
볼트 재질	가단주철	0F~650F(-20C~340C)	
	청동	-450F~400F(-268C~200C)	
	ASTM A193 GrB8	-450F~1600F(-268C~870C)	
패킹	ASTM A193 GrB7	0F~800F(-20C~425C)	
	ASTM A193 GrB16	0F~1100F(-20C~590C)	
	TFE	-400F~400F(-240C~200C)	석면재료는 공공환경상 사용이 금지되어야 할 것임
흑연	-450F~2000F(-268C~1090C)		

## 3) 극저온(極低溫) 밸브

(1) 사용환경

대부분 극저온 설비는 〈그림 4〉와 같이 가스를 액체



〈그림 3〉 밸브 본체의 형식 선정 요령

상태로 취급하기 위한 설비로서 최고사용온도가 액화된 가스의 비등점이며 압력 또한 공기분리장치급에서는 580psig (40기압), 로켓트 관련설비에서는 360-0psig (25기압) 이며 헬륨 관련설비는 약 300psig (20기압) 이다.

(2) 재질

재료의 저온 취성 및 수축문제로 인하여 밸브 재질의 선택은 매우 중요한 요소이다. 금속학적으로 페라이트계 (체심입방정계) 보다는 오스테나이트계 (면심입방정계) 가 저온 취성에 보다 안정적이므로 스텐레스강, 알루미늄 및 구리합금 등이 쓰인다. 〈그림 5〉는 밸브 재질별 사용온도 범위이다.

(3) 밸브 구조

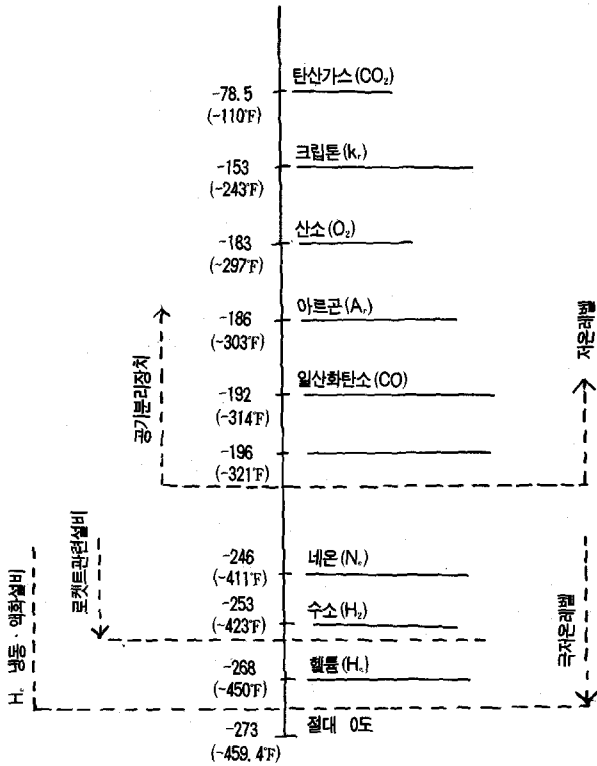
— Long Bonnet 구조

일반적으로 밸브 그랜드 패키징부위에서의 누설은 저온밸브에서는 매우 큰 문제이다. 그랜드 패키징의 재질 및 윤활제의 보급과 단열 등의 문제로 인하여 일반 밸브의 경우, 저온 유체를 수송시 공기중의 수분이 밸브 스템에 얼어붙어 운전 불능에 빠지게 됨으로 밸브의 본넬트 부위를 길게 하여 가능한한 그랜드 패키징부의 온도를 상온으로 높이는 구조로 되어 있다.

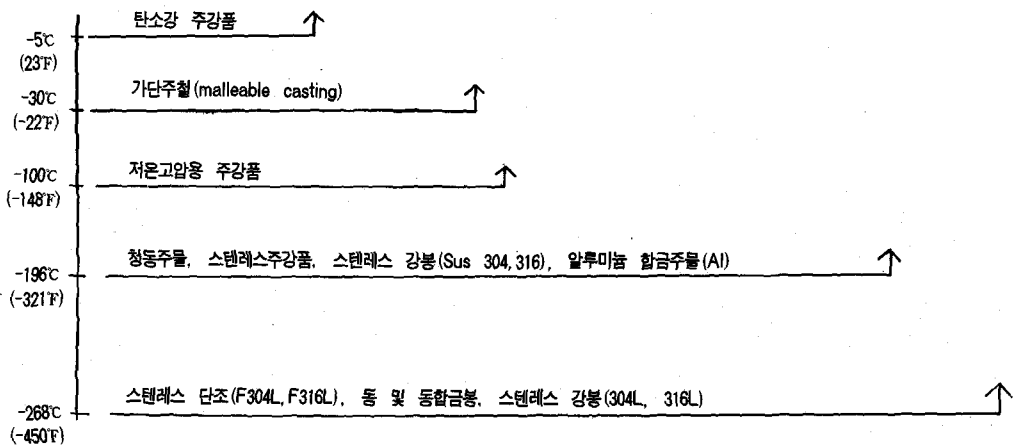
— 본넬트 프랜지

극저온 밸브는 계통 정지시에는 온도 변화와 매

# 설비강좌 ●



〈그림 4〉 액체가스의 비등점



〈그림 5〉 밸브재질별 사용온도의 범위

우 크므로 밸브 구조가 팽창과 수축으로 인한 변형에도 외부 누설이 없도록 본네트 플랜지는 구조적으로 가장 안전한 원형으로 되어 있다.

- 이상 승압에 대한 대책  
극저온 액체가 밸브의 본네트 공동부 (Cavity) 에 잔류하고 있을 때 계통이 정지하면 이 잔류 액체가 기화되어 밸브의 설계압력보다 커지는 경우가 있다. 경우에 따라서 이러한 현상은 밸브의 파손까지 초래하여 대형사고화될 수도 있다. 대책으로는 디스크에 압력 밸런스 구멍을 만들거나, 밸브 외부에 Bypass 밸브를 설치하거나, 본네트부에 릴리프 밸브를 설치하거나 공동부가 작은 밸브를 선택한다.
- 초극저온 (-268°C 이하) 밸브  
일반적으로 2" 이하의 소형밸브이므로 밸브의 하중 및 열에 의한 수축 등의 문제보다는 열손실이 큰 문제가 됨으로 진공 자켓을 밸브 몸통에 설치하고, 열손실을 줄이기 위하여 밸브 스템도 환봉 (丸棒) 보다는 속이 빈 파이프형상의 스템을 쓴다. ■