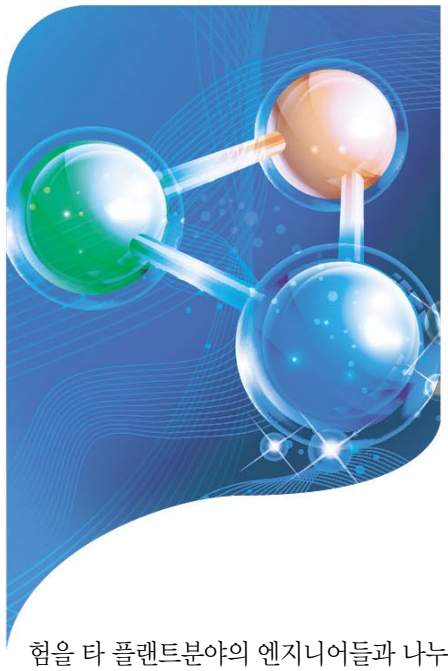
배관 구경 및 두께 선정절차와 배관 설계 시 Piping Specification 의 역할

진 호 원
howonjin@kepco-enc.com
기술사(산업기계설비)/미국 P.E.(Mechanical)
한국전력기술(주) 인재개발교육원 교수



1. 서 론

유체를 경제적으로 이송하는 것은 플랜트설비설계에서의 가장 중요한 부분 중의 하나이다. 케미컬, 정유 및 발전 플랜트에서는 배관 및 배관관련 기기의 비용이 전체 건설비용의 7~8% 정도 차지한다. 따라서 배관 구경 및 두께 선정과정을 결코 가볍게 생각할 수 없는 것이 현실이다. 예를 들어 배관 구경 설계 시 기준보다 작게 선정된 배관 구경뿐만 아니라 크게 선정된 배관 또한 바람직하지 않다.

배관 구경 및 두께 선정절차와 배관 설계 시 Piping specification이 어떤 역할을 하는지에 대해 ASME Code(ASME B31.1, ASME B16.5 등)와 한전기술㈜에서 원자력발전소 BOP(Balance Of Plant)계통설계에 적용하고 있는 설계절차를 중심으로 살펴보면서 그 동안의 설계업무에서 얻어진 경험을 타 플랜트분야의 엔지니어들과 나누고자 한다.

2. 배관 구경 결정 및 배관 두께 계산

2.1 배관 구경 결정 시 고려사항

배관 구경 결정 시에는 여러 인자를 동시에 고려해야 하는데 대표적인 고려사항은 아래와 같다.

- 에너지 비용
- 배관 비용(구매, 설치, 유지보수 등)
- 부식(Corrosion)
- 침식(Erosion)
- 소음(Noise)
- 진동(Vibration)
- 계통 요구조건(펌프 흡입구/토출구 등)
- 압력손실
- 선행 프로젝트 경험

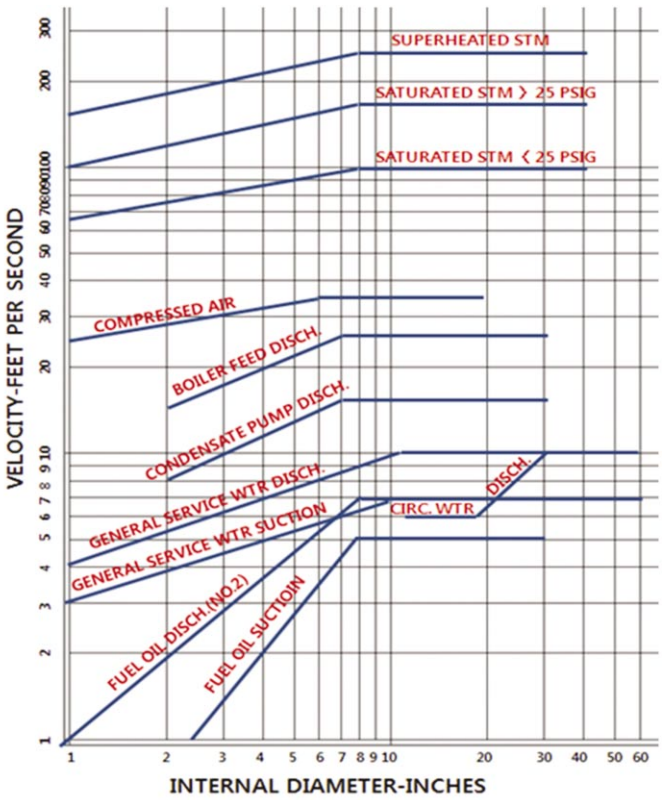
2.2 적정 유속 결정

상기 고려사항 각각을 개별적으로 검토한 후에

배관 구경을 결정하는 데는 많은 노력이 소요된다. 따라서 이런 노력을 최소화하기 위해 대부분의 엔지니어링 회사는 설계지침의 형태로 적정유속기준을 수립하여 설계에 활용하고 있다.

그림 1은 한전기술(주)에서 설계에 적용하고 있는 적정유속기준이다. 짙은 실선으로 보이는 것은 각 설계적용에 따른 최대권고 배관유속(Maximum recommended pipe velocity)을 나타낸다.

한전기술(주)에서는 설계자에게 예비설계(Preliminary design) 단계에서 배관 구경결정에 기준이 되는 적정설계유속에 대한 정보를 제공하기 위해 **그림 1**을 사용하고 있고 최종적으로는 배관배치의 형태, 경제성, 압력손실, 선행프로젝트 경험 등을 포함한 해당 프로젝트의 여건을 고려하여 적정설계유속을 결정한다.



[그림1] 여러 배관계의 설계기준유속

2.3 최소 배관 두께(Minimum required wall thickness) 계산

ASME B31.1(Power Piping)에서 제시하고 있는 최소요구 배관 두께 계산식은 다음과 같다.

$$t_m = \frac{PD_o}{2(SE+Py)} + A$$

t_m=최소요구 배관 두께(Minimum required wall thickness)
P=내부 설계 압력(Internal design pressure)
D_o=배관의 외경(Outside diameter of pipe)
S=최대 허용 응력(Maximum allowable stress)
E=용접 효율(Weld joint efficiency)
y=계수(Coefficient)
A=추가 두께(Additional thickness)

상기 계산식은 두 개의 항으로 나누어져 있는데 첫 번째 항은 내부 설계 압력에 의한 최소요구 두께를 계산하는 부분이고, 두 번째 항은 다음의 이유로 보상이 필요한 추가 두께 「A」이다.

- 나사가공(Threading), 그루빙(Grooving) 등의 이유로 배관 두께가 얇아짐
- 지지대 등에 의한 응력부하를 감당하기 위한 기계적 강도 부여
- 부식 및 침식에 따른 여유

그리고 이 식에서 계산된 최소요구 배관 두께는 배관의 제작공차(Manufacturing tolerance)를 고려하지 않은 값이므로 실제로 필요한 최소요구 배관 두께는 제작공차만큼 두꺼워야 한다. 제작공차 값은 제작방법에 따라 다르나 가장 많이 사용되는 Seamless pipe 및 Welded pipe의 경우 ASTM A999에 따르면 +0 및 -12.5% 이다. 그러므로 최소 배관 두께는 이 식에서 계산된 최소요구 배관 두께에서 배관공차만큼 두꺼운 값인 「tm/(1-0.125)」가 되고 최종적으로 이 값보다 두께가 두꺼운 상용

배관이 선정된다. 그러나 엔지니어링회사는 플랜지 Pressure rating을 기준으로 작성된 Piping specification에 따라 표준화된 배관을 구매하므로 실제로 사용되는 배관의 두께는 상기 식으로 계산된 최소요구 배관 두께에 제작공차를 더한 값, 즉 최소 배관 두께보다 훨씬 두껍게 된다. 따라서 배관 설계 시 Piping specification의 플랜지 Pressure rating에 의한 Class 적용만으로 배관 자재선정이 가능하므로 별도의 내압에 의한 최소요구 배관 두께 계산은 불필요하게 된다.

2.4 배관의 압력등급 분류(Pressure classification)

배관계는 배관과 여러 종류의 배관요소(Piping component) 즉, 엘보우(Elbow), 티(Tee), 리듀서(Reducer), 밸브(Valve) 등으로 이루어져 있다. 따라서 각각의 배관요소에 대해 내부 설계 압력계산을 수행하는 것은 매우 많은 시간과 노력이 든다. 따라서 오래 전부터 배관계 설계에 있어서 압력등급(Pressure class)을 적용하여 각각의 배관요소에 대한 설계 및 구매에 소요되는 설계자의 시간과 노력을 줄이기 위한 시도가 있었다.

여기에서는 발전소를 포함한 플랜트 배관 설계에 적용하고 있는 대표적인 Pressure class인 ASME Pressure classification 에 대해 살펴보고자 한다.

2.4.1 플랜지 Pressure rating

ASME B16.5는 무차원수가 뒤에 붙는 플랜지의 Class를 7등급(Class 150, Class 300, Class 400, Class 600, Class 900, Class 1500, Class 2500)으로 나누고 각 등급의 Pressure-temperature rating을 규정하고 있다. 여기에서 Pressure-temperature rating은 해당재질, Class 및 적용온도에서의 최대 허용 운전압력(Maximum allowable working pressure)을 나타낸다. 그리고 플랜지 Class에 사용되는 무차원수는 단지 rating목적으로만 붙여진 것이고 사용가능 압력을 의미하고 있지 않기 때문에 해당 플랜지의 최대 허용 운전 압력을 확인하기 위해서는 반드시 관련 standard를 참조해야 한다.

2.4.2 배관 Fitting pressure rating

ASME B16.9 등에서 규정하고 있는 배관 fitting류의 종류에 따른 Pressure rating 표시 방법을 요약하면 아래와 같다.

- Factory-made wrought butt-welding fittings (ASME B16.9)
  - 동일 또는 동등한 재질, 동일크기, 동일두께의 pipe와 같거나 커야 함.
  - 위에 기술된 요건은 ASME B16.9에 따라 제작되는 Butt-welding fitting류는 동일한 또는 동등한 재질, 동일크기, 동일두께의 pipe가 견디는 내부압력보다 같거나 높은 내부압력에 견딜 수 있다는 의미로 해석됨.
- Iron fittings(Gray iron threaded and cast iron flanged)
  - Malleable-iron threaded fittings : Class 150 및 300(ASME B16.3)
  - Cast iron flanged fittings : Class 25, 125, 및 250(ASME B16.1)
- Forged fittings, socket-welding and threaded (ASME B16.11)
  - Threaded fittings : Class 2000, 3000, 및 6000

<표 1> Correlation of fittings class with schedule number or wall designation of pipe for calculation of ratings: ASME B16.11 Table 7

Class Designation of Fittng	Type of Fitting	Pipe Used for rating Basix [Note (1)]	
		Schedule No.	Wall Designation
2000	Threaded	80	XS
3000	Threaded	160	···
6000	Threaded	···	XXS
3000	Socket-welding	80	XS
6000	Socket-welding	160	···
9000	Socket-welding	···	XXS

- Socket-welding fittings : Class 3000, 6000, 및 9000
- 각 fitting의 Class에 대응되는 rating 목적의 Pipe schedule은 **표 1**을 참조할 것.
- 위에 기술된 요건은 ASME B16.11에 따라 제작된 Forged fitting은 각 Class에 따라 rating목적의 배관 두께가 규정되어 있어 이 두께의 배관이 견디는 내부압력 이상으로 견딜 수 있다는 의미로 해석됨.

표 1에서 살펴본 바와 같이 ASME Pressure classification에서는 fitting의 Pressure rating을 연결하는 배관의 두께 또는 각각의 Pressure-temperature rating으로 표시하고 있어 결국 플랜지 Pressure rating에 다른 배관요소의 Pressure rating을 대응시킬 수 있도록 만들어져 있음을 알 수 있다. 이 이유는 플랜지 조인트는 배관계의 가장 취약한 부분으로 간주되고 있고 플랜지의 Pressure-temperature rating을 기준으로 배관계 전체를 설계하는 것은 산업계에 널리 통용되고 있는 방법이기 때문이다. 따라서 엔지니어링회사가 자체적으로 작성하여 보유하고 있는 Piping specification도 플랜지의 rating을 기준으로 작성되어야 함은 너무나도 당연하다.

2.5 Piping Specification

2.4절에서 살펴본 바와 같이 배관계는 배관과 여러 종류의 배관요소로 이루어지기 때문에 배관요소의 재질과 등급 그리고 type을 선정하는 일은 매우 어렵다. 따라서 엔지니어링회사는 플랜지의 Pressure rating을 기준으로 하는 고유의 Piping specification을 만들어 이를 설계, 구매 및 설치에 활용하고 있다. Piping specification은 Piping code, 또는 Piping material classification 등 여러 가지 다른 이름으로 불리우고 있으나 한전기술㈜는 이를 Piping Design Table(PDT)이라고 부른다.

일반적으로 Piping specification은 아래의 내용을 담고 있다.

- 해당 Piping specification의 사용온도 및 사용 압력 제한치
- 배관 재질
- fitting의 타입, 재질 및 rating
- 플랜지의 타입, 재질 및 rating
- gasket의 재질과 rating
- 볼트 및 너트의 타입 및 재질
- 수동 밸브의 사양
- note(설계 및 제작에 참조하는 주석)

그림 2는 한전기술㈜에서 사용하고 있는 PDT의 일부분이다. 이 그림 상단의 Piping Design Table 105의 의미는;

1 : Flange pressure rating(Class 150)
0 : Material(Carbon steel(탄소강))
5 : Variation designation(구분 표시)을 의미한다.

2.6 Piping specification 적용 절차

Piping specification을 사용하여 배관계를 설계하는 절차는 아래와 같다.

첫째, 유체의 특성 및 설계조건을 고려하여 배관재질을 결정

둘째, Normal condition 및 Maximum condition을 고려하여 Pressure class를 결정

셋째, Project piping specification에서 적용 가능한 Piping specification을 선정

넷째, 기 선정된 Piping specification의 적정성을 확인하기 위해 설계온도와 설계압력에 근거해 최소 배관 두께를 계산(필요 시)

배관계 설계 시 해당 배관계통의 Normal condition과 Maximum condition을 고려하여 Piping specification을 적용하면 되나, 고온 및 고압의 대구경 배관의 경우, 선정된 Piping specification에서 보여지는 배관의 두께가 설계요건을 만족하기에 부족한 경우가 발생할 수 있으므로 Piping specification 적용의 적합성 확인을 위해 최소 배관 두께 계산을 추가로 수행할 필요가 있다.

PIPING DESIGN TABLE 105

CARBON STEEL
(BUTT JOINTS WITH GTAW)

Quality Group B: 105-B
Quality Group C: 105-C
Quality Group D: 105-D
Quality Group E: 105-E

1. PIPE

1.1 Material :

a. Sizes 30 in. and smaller ..... Seamless, ASTM A 106 Grade B;

b. Sizes larger than 30 in. ..... Welded, ASTM A 672 Grade B60 Class 22;
* and/or ASME SA-672 Grade B60 Class 22

1.2 Wall Thickness :

a. Sizes 2 in. and smaller ..... Schedule 80 except for lines shown in Section 1.2.e

b. Sizes 2-1/2 in. thru 10 in. ..... Schedule 40

c. Sizes 12 in. thru 36 in. ..... 3/8 in.

2. TYPE OF JOINTS

Welded as follows, unless otherwise designated on the design drawings:

2.1 Sizes 2 in. and smaller ..... Socket-weld

2.2 Sizes 2-1/2 in. and larger ..... Butt joints using open root GTAW or with consumable insert

3. FLANGED JOINTS

3.1 Flanges :

a. Material ..... ASTM A 105;
* and/or ASME SA-105

b. Type ..... Class 150, Raised Face (except Note 2 and Note 3) and as follows:

b1. Sizes 2 in. and smaller ..... Socket-weld

b2. Sizes 2-1/2 in. thru 24 in. ... Welding neck

[그림2] Piping specification - example

3. 결 론

상기에서 살펴본 바와 같이 배관과 다양한 배관요소로 구성되어있는 배관계를 효율적으로 설계하기 위해 ASME에서 플랜지 및 배관 fitting의 rating을 규정하는 standard를 개발하였고 엔지니어링회사는 이를 활용하여 Piping specification을 작성하고 설계에 적용하고 있음을 확인하였다.

우리나라 현실에 보다 적합한 Piping specification 개발이 플랜트설비 설계기술을 한 단계 높이 올릴 수 있으리라 믿으며 그 동안 개괄적으로만 생각해 왔던 ASME Pressure classification 및 Piping specification에 대한 경험을 정리하여 다른 플랜트엔지니어들과 공유하고자 하였다.

참고문헌

1. Flow of Fluids Through Valves, Fittings, and Pipe, Crane Technical Paper No. 410 : Crane Co., 2009.
2. Cameron Hydraulic Data, Ingersoll-Rand, 1984.
3. Pipe Velocity Guideline(DS-M-1201), KEPCO-ENC.
4. Pressure Drop(DS-M-1202), KEPCO-ENC.
5. ASME B16.5(Pipe Flanges and Flanged Fittings), ASME, 2009.
6. ASME B16.11(Forged Fittings, Socket-welding and Treaded), ASME, 2009.
7. ASME B31.1(Power Piping), ASME, 2010.
8. ASME B36.10(Welded and Seamless Wrought Steel Pipe), ASME, 2004.