



Piping Hydraulic Design Guide.

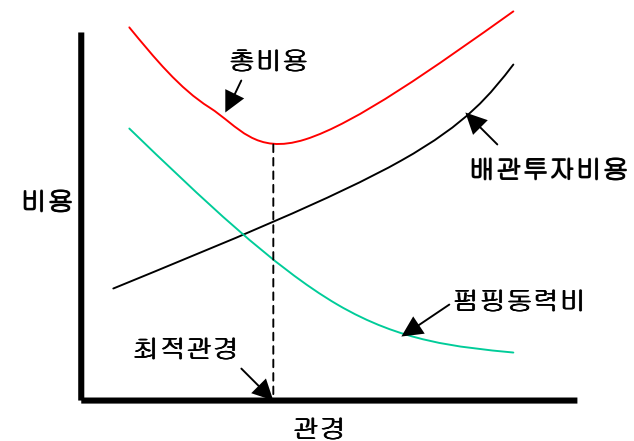
Process Div.

Piping Hydraulic Design Guide.

Hydraulic Calculation의 정의.

배관 내에서 유동하는 유체의 특성을 파악하고 이의 특성을 기준으로 관 내에서 최적조건, 즉 경제성과 운전성, 을 고려하여 관의 크기를 결정 하는 것을 관 경 선정(Hydraulic Calculation) 이라 한다.

최적화된 관 경은 에너지 비용과 배관 자재 비용의 합을 최소화 하도록 하여 결정 하고 또한 부식과 침식으로 인한 영향을 고려하여 결정한다.



Piping Hydraulic Design Guide.- Pressure Drop Calculation

1. Non-Compressible flow.(액체)

각각의 **System**에 대한 압력 손실을 계산하는 식은 여러 가지가 있으며, 대표적으로 사용되는 것에 대하여 서술한다.

압력손실을 계산시 배관의 재질과 형태에 따라 거칠기 상수가 다르기 때문에 이를 정립한 **Moody Chart** 를 사용한다. (통상 카본스틸 배관의 경우, **Roughness factor**는 **0.0001524m**)

Darcy-Weisbach Equation

$$h_f = f_m \times (L/D) \times (V^2/2g)$$

h_f : friction loss, m

L : 배관 길이, m

D : 배관 내경, m

V : 배관내 평균 유속, m/sec

g : 중력가속도 (9.8 m/sec²)

f_m : Moody friction factor.

Fanning Equation

$$\Delta P = 4fL/D \times (\rho V^2/gc)$$

f : friction factor,

L : 배관 길이, m

D : 배관 내경, m

V : 배관내 평균 유속, m/sec

ρ : 밀도, kg/m³

gc : 중력가속도 (9.8 m/sec²)

Chen Equation

$$1/\Gamma f_m = -2\log [(K/D)/3.7065 - (5.0452/Re)\log A_4.$$

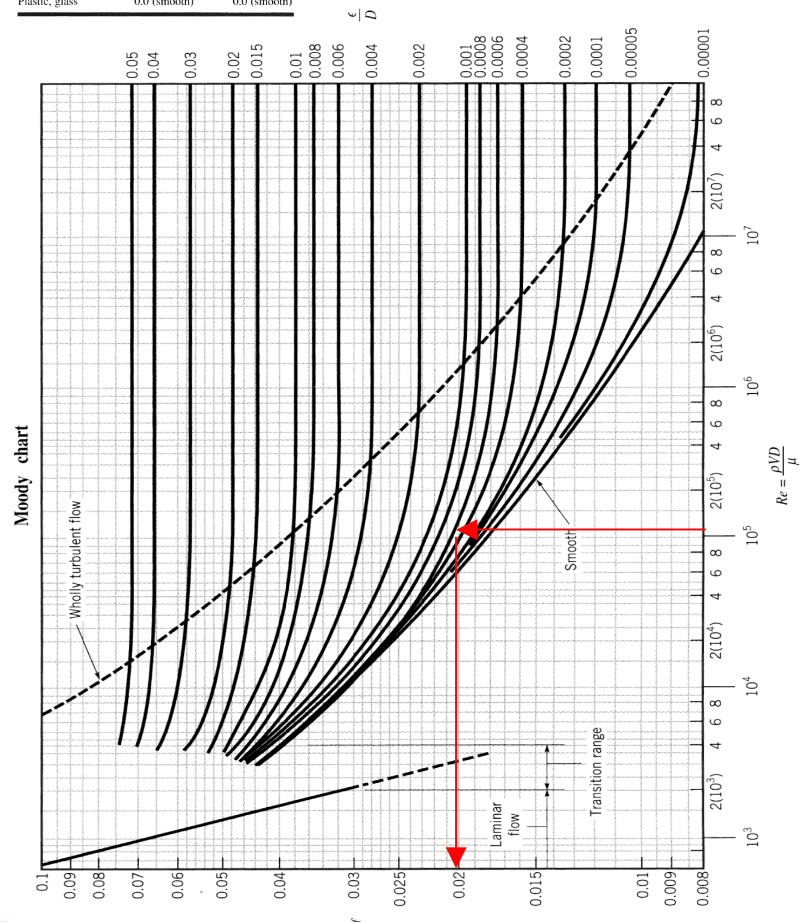
$$A_4 = (K/D)^{1.1098} / 2.8257 + 7.149/Re)^{0.898}$$

k : Absolute pipe roughness, m

Piping Hydraulic Design Guide.- Pressure Drop Calculation

Equivalent Roughness for New Pipes

Pipe	Equivalent Roughness, ϵ	
	Feet	Millimeters
Riveted steel	0.003-0.03	0.9-9.0
Concrete	0.001-0.01	0.3-3.0
Wood stave	0.0006-0.003	0.18-0.9
Cast iron	0.00085	0.26
Galvanized iron	0.0005	0.15
Commercial steel or wrought iron	0.00015	0.045
Drawn tubing	0.000005	0.0015
Plastic, glass	0.0 (smooth)	0.0 (smooth)



Friction factor as a function of Reynolds number and relative roughness for round pipes.

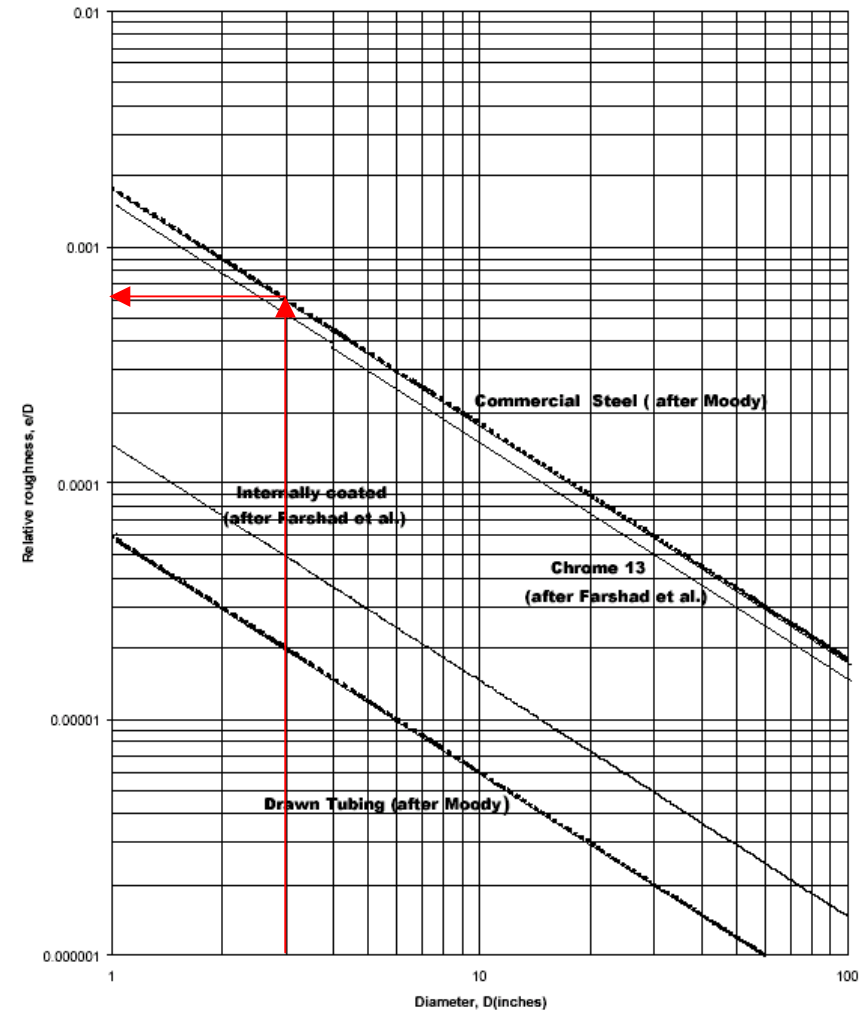


Figure 4. Comparison of relative roughness plots for internally coated pipes, commercial steel, and drawn tubing

Piping Hydraulic Design Guide.- Pressure Drop Calculation

2. Compressible flow.

기체와 같이 온도와 압력 변화에 의해 밀도의 변화가 큰 유체를 압축성 유체라 함.
실제특성은 **Isothermal**(등온)과 **Adiabatic**(단열) **Flow type**의 중간에서 이루어 지며 기체의 압력 손실 계산 시 **Isothermal** 로 하는 것이 안전 하다.

3. Two-Phase 압력 손실.

기체와 액체의 2개의 상이 존재 할 때 압력 손실의 계산은 많은 시행 착오의 반복 계산이 필요하며 최적 **Design**을 위하여 **Min, Nor, Max flow**때의 특성들에 대하여 정확한 **Hydraulic**을 계산 하여야 한다
또한 이러한 **Pattern**의 흐름이 있는 구간에는 **P&ID**에 명시하여야 한다.

-Flow Pattern.

1) Dispersed Flow.

Dispersed flow는 **Overhead condenser**나 **Reboiler return** 배관에서 발생 할 수 있는 흐름이며 보통 증기의 유량이 전체 **Flow rate**의 **30%** 이상으로 존재 할 때 이러한 **Pattern**을 현성 한다.

2) Bubble Flow

증기가 액체 안에서 액체와 같은 속도로 이동하며 유동 하는 **Flow**를 말하며 보통 증기의 유량이 전체 **Flow rate**의 **30%** 이하로 존재 할 때 이러한 **Pattern**을 형성 한다 **Sizing** 방법은 **Dispersed Flow**와 같은 방법으로 실행한다.

Piping Hydraulic Design Guide.- Pressure Drop Calculation

3) Slug Flow

작은 유속의 **Pocket** 배관에서 부분적으로 발생하는 현상이며 공정 배관에서는 **Slug Flow**의 **Pattern**이 발생하는 것은 억제 하여야 한다.

- **Slug Flow**을 방지 하는 방법은 주어진 압력손실에서 작은 배관으로 설계
- 압력손실에 여유가 없을 경우 2개의 배관 으로 **Parallel** 로 구성.
- **Parallel** 배관에서 **Valve**에 의한 **Flow** 조절.
- **Low Point**에서 충분한 **Drain**이나 **By-pass** 로 운전.
- **Gravity flow**

위와 같이 **Slug Flow**의 **Pattern**을 없애야 하며 최근 ??화학의 **Steam Condensate** 배관에서 이와 같은 **Flow Pattern**이 발생하여 문제가 되었으며 현재 많은량을 **Drain** 하여 운전 하고 있는 사례가 있어 이를 개선함.

4) Stratified Flow.

수평한 배관 하에서 액체의 흐름이 배관의 하부를 흐르는 경우를 말하며 배관의 크기가 커질 경우 **Slug Flow**로 변경될 수 있다.

5) Annular Flow

배관의 벽면을 **Film** 이나 **Ring**과 같이 액체가 둘러싸여 흐르는 경우이며 기체의 유속이 빠를 경우에 발생하는 **Flow Pattern**이다. 응축 수 배관의 흐름은 **Annular Flow**의 **Pattern**이 가장 좋은 것으로 나타나 있다.

Piping Hydraulic Design Guide.- Pressure Drop Calculation

Flow Pattern	Microgravity ,무중력 상태	Normal Gravity
Bubbly		
Slug		
Annular		

Hydraulic Calculation Example

Piping Hydraulic Design Guide.

4. 펌프의 흡입관

일반적으로 펌프 흡입 관에서의 압력강하는 포화상태의 액체인 경우에는 $0.05 \text{ kg/cm}^2 / 100\text{m}$, 포화 상태가 아닌 액체의 경우 $0.1 \text{ kg/cm}^2 / 100\text{m}$ 이하로 선정한다.

5. 펌프의 분출관.

일반적으로 펌프 분출 관에서의 압력강하는 $1.0 \text{ kg/cm}^2 / 100\text{m}$ 로 선정하며 오리피스 또 Integral 형식의 유량계가 있을 경우는 0.25 kg/cm^2 의 압력 강하를 고려 한다.

$$\Delta P = \Delta P_{\text{line}} + \Delta P_{\text{H/E}} + \Delta P_{\text{cv}} + \Delta P_{\text{others}}$$

ΔP_{line} : 펌프 토출 에서 목적지까지의 압력손실(kg/cm^2)

$\Delta P_{\text{H/E}}$: 열 교환기에서 압력손실

ΔP_{cv} : Control 밸브 에서 압력손실.(전체 압손의 50%(CV 제외),전체압손의 1/3(CV 포함))

ΔP_{OTHERS} : 유량계등의 압력손실.

Piping Hydraulic Design Guide.

6. 침식을 방지 하기 위한 속도 제한치.

관내를 통하여 유체가 유동할경우 과도한 유속을 가지고 있다면 이는 **Fitting**류 등에 **Erosion**을 유발 할 수 있음.

Erosional velocity , V_c (ft/sec) = $C / \rho^{0.5}$

C ; Erosional velocity coefficient.(100: Continuous, ~ 125 : Non-continuous, Max 200)

ρ : Density of fluid, lb/ft³

Example) Water Continuous Service.

$$V_c = 100 / 62.4^{0.5} = 12.66 \text{ ft/sec} = 3.86 \text{ m/sec.}$$

유체 중에 고형물이 포함 되어 있거나 유체의 흐름이 **2 Phase**, 무기물(황산, 염산등)의 경우에는 이에 대한 사항을 고려 하여야 함.

Piping Hydraulic Design Guide.

7. 음속 속도로 인한 제한치

최대 속도는 **Critical** 속도의 ½ 이하로 제한을 두어야 한다.
이상 기체의 경우 다음식에 의해 **Critical** 속도를 계산 한다.

$$V_{\text{crit}} = \Gamma g_c kRT/M = 223 \times (RT/M)^{0.5}$$

Vcrit : 임계속도(m/sec)

gc : 중력환산 계수(4.45kg.m/sec²)

k : 비열비 (Cp/Cv)

R : 기체 상수(0.08205 m³.atm/kg.mol.K)

T : 온도. (°K)

M : 분자량 (kg/kg-mole)

Gas, vapor, superheated steam > 17.2 kg/cm²G sonic velocity 50%

Gas, vapor, superheated steam < 17.2 kg/cm²G 30.5 (d)²

- Saturated steam = 61 m/sec,

- Superheated steam = 76 m/sec.

Sonic or acoustic velocity = 91.2 (KT / MW)^{0.5} m/sec

Piping Hydraulic Design Guide.

8. 응축수 배관.

어떠한 장치로 부터 스팀 트랩 또는 **Control V/V** 까지의 배관 이며 압력 강하는 응축물이 기화 되지 않도록 일반적으로 **0.1 kg/cm² /100m** 보다 작아야 한다.

스팀 트랩에서 회수 **Vessel** 까지의 배관은 과도한 압력 손실이 발생 하지 않도록 **Design** 하여야 하며 응축수의 재 증발증기의 유속은 **Erosion**을 방지 하기 위하여 유체의 속도는 **25.4 m/sec** 로 제한 된다.

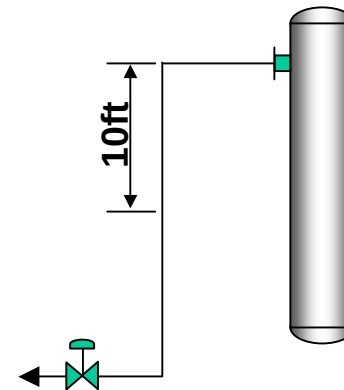
Piping Hydraulic Design Guide.

9. 낮은 중력 - Side cut draw-off 음속 속도로 인한 제한치

Liquid draw-off tray 에서 액체 수위에 대한 컨트롤러가 제공되지 않는다면, 수직관의 **첫 10ft**에서의 유체속도는 **0.762 m/sec** 이하여야 한다.

이 값은 대기압 하에서의 증류탑에서 **Particle Size**가 **200 μ** 인 물질이 기액 분리가 잘 일어날수 있는 값이다

10ft 이후의 배관은 일반적인 압력 손실계산에 의해 결정 되며 **Column**의 운전 압력이 낮은 경우는 **Control V/V**의 압손을 충분히 극복할 수 있는 수직 높이를 주어야 한다.



Piping Hydraulic Design Guide.

10. 낮은 중력 - 포화상태의 액체 성분이 콘트롤 밸브로 들어 갈 때의 Line Size 결정.

Static head와 Liquid level 에서부터 콘트롤 밸브까지의 배관라인에서 걸리는 압력손실을 감안하여, 콘트롤 밸브의 입구 측에서 증발화가 일어나지 않도록 관 경을 결정 한다.

이 경우에는 는 다음식을 만족 시켜야 한다.

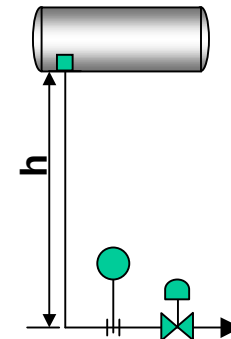
$$0.1\rho h > \Delta P_{\text{flowmeter}} + \Delta P_{\text{line friction}}$$

ρ : Specific gravity

h : Static head

$\Delta P_{\text{flowmeter}}$: flowmeter에서 압손실.

$\Delta P_{\text{line friction}}$: line 압손실.



Piping Hydraulic Design Guide.

11. Vacuum Tower Overhead Line

진공 하에서 운전 되는 유체는 유체의 부피가 고 진공으로 갈수록 상당한 크기에 해당하므로 주의를 기우려야 한다.

때문에 관 비용과 **Utility** 소모량(스팀, 냉각수 등의 소요량)을 계산 하여, 총 비용이 최소 한으로 될 수 있도록 하여 **Line Size**를 결정하다.

Pre-Condenser 에서의 압력 손실은 **4mmHg** 이하가 되도록 설계 한다.

12. 소음 예방을 위한 한계 속도.

기체 및 증기 배관에서의 소음 한 계치 을 위한 최대 속도는 다음과 같다.

Normal Background Sound Pressure , dB(A)	Maximum fluid velocity to prevent noise, m/sec
60	30
80	40
90	50

Piping Hydraulic Design Guide.- Pressure Drop Calculation

13. Water flow

물의 경우 압력 강하 계산은 **William and Hazen's Formula**에 의해 계산 된다.

$$h_f = [(10.665 \times L) / (C^{1.852} \times D^{4.871})] \times Q^{1.852}$$

h_f ; Friction head loss in mH₂O.

L : Pipe length in m.

D : Pipe diameter in m.

Q : Pipe flow rate in m³/s.

C :- Hazen – Williams roughness coefficient, dimensionless.

Its value depends on the pipe material and table (1) lists general range of this coefficient for different types of new pipe materials:

>> Table (1) <<	
Pipe Material	Hazen-William roughness coefficient range C
Cast Iron	130 – 140
Concrete	120 – 140
Galvanized Iron	120
Plastic	140 – 150
Steel	110

Piping Hydraulic Design Guide.- Criteria.

최적화된 배관 경을 구하기 위해서는 **Operating Cost**와 **Fixed Cost**의 합이 최소가 되는 **Size**로서 **Design** 되어야 한다. 그러나 이와 같은 방법은 경제성 검토와 사용빈도수 등을 확인 하는 과정들이 포함되어 있어 많은 시간과 노력이 필요하다. 설계 단계에서는 많은 자료와 과거의 경험 값을 기준으로 행한다.

아래의 **Data**와 첨부 자료는 경험과 경제성 등을 기준으로 보고된 자료이다.

Service Utilities	ΔP 의 최대치, kg/cm ² /100m		최대 속도, m/sec	
	Header	Branch	Header	Branch
냉각수 공급과 순환	0.10	0.40	3.5	3.5
냉장수 공급과 순환	0.15	0.60	3.5	3.5
플랜트와 식수	0.15	0.40	3.5	3.5
보일러 급수	0.20	0.50	3.5	3.5
연료의 공급과 순환	0.15	0.40	3.5	3.5
빗물 배수 Line	0.0025	0.01	1.2	0.9
H/E에서의 증기 응축	-	0.05	-	0.9

Piping Hydraulic Design Guide.- Criteria.

Service Utilities	Operating Kg/cm ² g	ΔP 의 최대치, kg/cm ² /100m		최대 속도, m/sec	
		Header	Branch	Header	Branch
스팀	0~5	0.03~0.08	0.08~0.20	50	30
	5~15	0.08~0.14	0.20~0.34	60	40
	15~40	0.14~0.23	0.34~0.58	60	40
	40~100	0.23~0.38	0.58~0.94	60	40
Instrument Air	0~10	0.10	0.25	50	40
Plant Air	Over 10	0.15	0.40	40	30
	0~10	0.10	0.25	50	-
Nitrogen	Over 10	0.15	0.40	50	-
	0~5	0.019~0.05	0.05~0.15	60	40
Fuel gas	5~15	0.05~0.086	0.12~0.21	60	40
	15~40	0.086~0.14	0.21~0.35	60	30

Piping Hydraulic Design Guide.- Criteria.

Utility two-phase line sizing

Service Utilities	Two-phase Average density	ΔP 의 최대치, kg/cm ² /100m		최대 속도, m/sec	
		Header	Branch	Header	Branch
스팀	1 ~ 3	Total 압력손실 = $\Delta P(\text{max.25\%}) + \text{Branch } \Delta P (\text{Max. 50\%}) +$ Trap $\Delta P (\text{min.25\%})$		18 ~ 25	30 ~ 40
	3 ~ 10			13 ~ 18	20 ~ 30
	10 ~ 30			9 ~ 13	14 ~ 20
	30 ~ 100			6 ~ 9	10 ~ 14

Piping Hydraulic Design Guide.- Criteria.

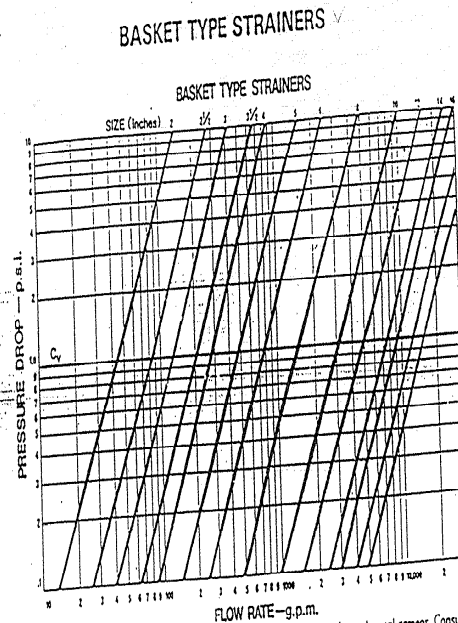
Max Velocity For Corrosive Or Erosive Services

Service	Definition	Piping Material	Max.Velocity (ft/sec)
Caustic	Solutions involving NaOH, KOH & water mixtures of these solutions and hydrocarbons in which the caustic is more than 5% of the mixture by volume	Carbon steel	4
Concentrated H ₂ SO ₄	Water solutions of 80% to 100% concentration by weight & mixtures of these solutions with hydrocarbons in which the acid is 5% or more of the mixture by volume		4
Phenoilc water	Solutions of 1% or more by volume		3
Wet phenolic vapor	Carbolic acid		60
Aqueous amine solution	MEA, DEA		6
Salt water	Includes brackish waters (>1000 ppm chlorides)		6
CO2-rich amine liquid		Stainless steel	10
Salt water		Cement pipe or coal tar enamel-lined	15
Liquids in general		Plastic pipe or	10
Liquids with suspended solids		rubber-lined	min.3

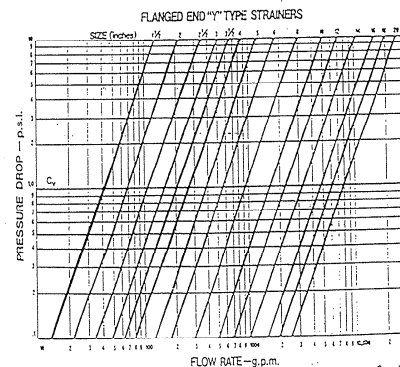
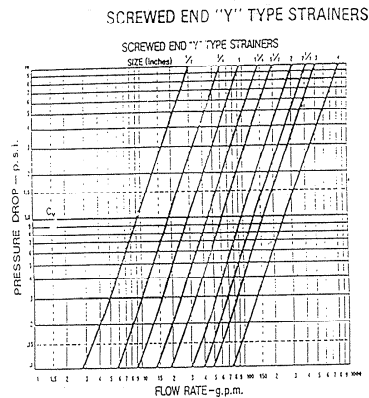
Piping Hydraulic Design Guide.- Criteria.

배관 Hydraulic 계산 Criteria.

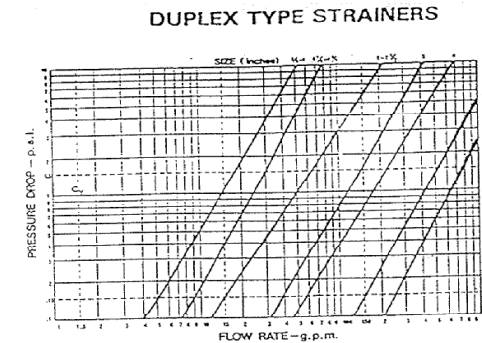
1. Hydraulic Calculation시 정확한 위치의 높이차이를 인식하고 각각의 높이에 대한 사항을 인지 한다.
2. 배관에 위치 하는 각종 Instrument 및 Equipment에 대하여 정확한 압력 손실을 확인 한다.
3. Gauge 압력과 절대 압력에 대하여 정확한 Define이 필요하다.
4. Strainer의 압력 손실 Charts



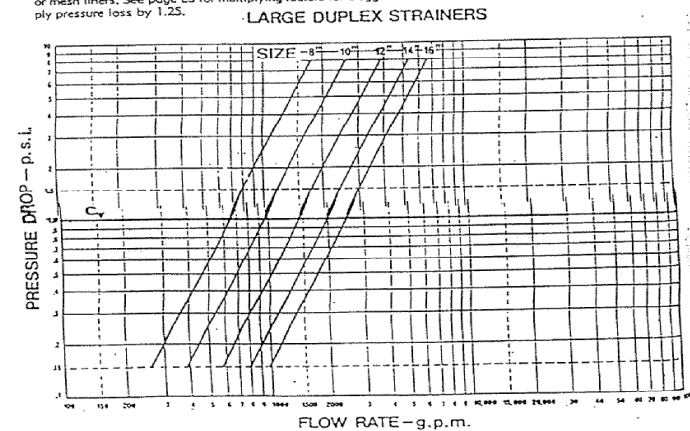
This chart is based on the flow of clean water through .033" - .114" inch perforated metal screens. Consult our Engineering Department for pressure drop information on steam, gases or viscous fluids. For mesh lined perforated baskets, multiply pressure loss by 1.25.



These charts are based on the flow of clean water through .033" - .114" inch perforated metal screens. Consult our Engineering Department for pressure drop information on steam, gases or viscous fluids. See back of this page for multiplying factors for clogged screens. For mesh lined perforated screens, multiply pressure loss by 1.25.



These charts are based on flow of clean water through .125" perforated baskets. Consult factory for viscous flow or mesh liners. See page E3 for multiplying factors for clogged screens. For mesh lined perforated basket, multiply pressure loss by 1.25.



Piping Hydraulic Design Guide.- Viscosity

액체가 흐를 때 그에 대해 저항하는 내부마찰력.

이론적으로 절대점도와 동점도가 있으며 상호관계

$t^{\circ}\text{C}$ 온도에서의 동점도 = $t^{\circ}\text{C}$ 온도에서의 절대점도 $\div$ $t^{\circ}\text{C}$ 온도에서의 밀도

* 일반적으로 석유제품에 관해 점도라 하면 동점도를 말함.

1. cSt(Kinetic Viscosity)

: 동점도를 C.G.S단위로 표시한 것을 **Stoke**라 하며 그 1/100을 취하여 **Centistokes(cSt)**로 나타내며 측정온도는 **I.S.O(International Organization for Standards)**점도 분류에 의해 40℃, 100℃이며 세계공용.

2. E° (Engler Viscosity)

: 200cc Sample의 유출시간을 20℃의 물의 유출 시간의 비로 나눈 값. 측정온도는 20℃, 50℃, 100℃로서 주로 유럽쪽에서 사용.

3. SUS or SSU(Saybolt Universal Viscosity)

: 60cc의 윤활유 Sample이 유출하는 시간(초)을 측정. 측정온도는 100°F, 130°F, 210°F로서 미국에서 사용.

4. Redwood Viscosity

- Redwood #1 : 50cc의 Sample이 유출하는 시간을 말하며 측정온도는 일본에선 30℃, 50℃, 80℃, 100℃이고 영국에선 70°F(21℃), 140°F(60℃), 212°F(100℃)임.

- Redwood #2 : 50cc의 Sample이 0℃에서 유출하는 시간을 측정.

Piping Hydraulic Design Guide.- NPSH

Net Positive Suction Head.

액체는 일정한 에너지와 상태 조건에 따라 기체와 액체상이 쉽게 변환 될수 있다. 원심 펌프가 액체를 이송 할 때 입구 측의 조건에서 액체의 포화 증기압 보다 클 경우 액체는 기체로 변하여 펌핑을 할 수 없게 되며 이를 개선 하기 위하여 즉 펌핑을 할수 있을려면 어느 정도의 수치가 있어야 하는가를 보여 주는 값을 **NPSHa**이라 해석 하면 별 무리가 없을것으로 판단 된다.

펌프의 입구에서 **Impeller eye** 까지 가는 과정에서 발생하는 압력 손실 값을 **NPSHr** 이라 해석.

$$NPSHa > 1.3 \times NPSHr \text{ or } NPSHa > NPSHr + 0.5m.$$

NPSHa 계산식.

$$NPSHa = (P - V_p - \Delta P_f) / (SG_t \times 10) + H.$$

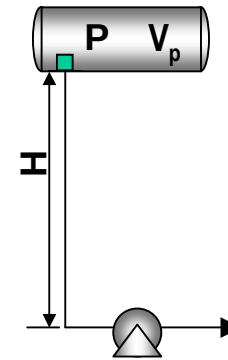
P : 흡입측 Vessel 류에서의 운전 압력.

V_p : 흡입측 조건에서 유체의 증기압.

ΔP_f : 흡입측에서의 전체 압력 손실.

H : 흡입측 Vessel류와 Pump 까지의 높이차이.

SG_t : 흡입측 온도에서의 비중값.



Piping Hydraulic Design Guide.- NPSH

Example for NPSHa

응축수가 2m³ Vessel에 98°C, 대기압 조건하에서 저장 되어 있고 Vessel과 펌프의 높이는 3meter 이다 이를 원심 펌프로 이송 하고자 할때 펌프의 NPSHa 를 계산 하라.

< 계산 >

P (흡입측 Vessel 류에서의 운전 압력.) = 대기압 , 즉 1.0332kg/cm²A.

V_p (흡입측 조건에서 유체의 증기압.) = 98°C 에서 물의 증기압 0.961kg/cm²A

△P_f (흡입측에서의 전체 압력 손실.) = 배관및 Strainer 를 고려 하여 0.1kg/cm² 으로 가정.

H (흡입측 Vessel류와 Pump 까지의 높이차이.) = 3 m.

SG_t : 흡입측 온도에서의 비중값. = 98 'C 에서 물의 비중, 0.958

$$NPSHa = (P - V_p - \Delta P_f) / SG_t) \times 10 + H.$$

$$= (1.0332 - 0.961 - 0.1 / 0.958) \times 10 + 3 = 2.7 \text{ meter}$$

PROMA 2000.- Demo Version

Hydraulic Calculation Site :

http://www.processassociates.com/process/fluid/2faz_xy.htm

www.daijin.co.kr

Example : Water 기준

유량 : 30,000 kg/hr, 밀도 : 998 kg/m³, 배관 경 : 3 inch, Sch40., 거리 : 100m, 점도 : 1 cp. 온도 : 35°C.

- 1) Reynolds No , $Re = \rho U D / \mu = 998 \text{ kg/m}^3 \times 1.75 \text{ m/sec} \times 0.0779 \text{ m} / 0.001 \text{ kg/m} \cdot \text{sec} = 136,052.$
- 2) 상기 Nre 값을 기준으로 f- factor 확인. = 0.02
- 3) 압력 손실 계산. Darcy Equation $h_f = f_m \times (L/D) \times (V^2/2g)$
 $= 0.02 \times 100 \text{ m} / 0.0779 \times (1.75^2 / 2 \times 9.8) = 4.0 \text{ m} \times 998 \text{ kg/m}^2 = 3992 \text{ kg/m}^2 = 0.3992 \text{ kg/cm}^2$