

1. 유량의 개념

가. 유량의 개요

유량(Flow rate)이라 함은 유체의 흐름중 일정 면적의 단면을 통과하는 유체의 체적, 질량 또는 중량을 시간에 대한 비율로 표현한 것을 유량이라 칭하며 각각 유체의 체적을 시간에 대한 비율로 표시한 유량을 체적 유량(용적유량), 유체의 질량을 시간에 대한 비율로 표시한 질량유량, 유체를 일정시간 동안 흐르는 량을 표시한 유량을 적산유량이라 칭한다.

① 체적유량 : $Q = A \cdot v$ [m^3/s]

② 질량유량 : $M = Q \cdot \rho = A \cdot v \cdot \rho$ [kg/s]

③ 중량유량 : $W = Q \cdot \rho \cdot g = A \cdot v \cdot \rho \cdot g$ [N/s]

④ 적산유량 : $G = \int Q \cdot \rho = \int A \cdot v \cdot \rho$ [m^3, kg]

A : 단면적 v : 속도 ρ = 밀도

측정 대상인 유체의 분류는 기체, 액체, 증기, 혼합 기체등으로 일반적으로 분류하고 흐름 상태에 따라 층류, 난류, 맥동류등으로, 온도에 따라서 고온도로 부터 극저온, 압력에 따라서 고압력으로 부터 저압력, 점도에 따라 고점도로 부터 저점도, 량에 따라서 대유량으로 부터 극소유량 유체등으로 다양하게 분류한다.

유량측정은 관로의 상태에 따라 개수로, 폐수로(관로) 유량측정으로 크게 나누고, 측정방법에 따라 임의 시간당 흐르는 체적량을 계량하는 직접법과 임의 단면적을 통과하는 유량과의 상관 관계를 이용하여 유속, 전기적인량 등의 변화를 검출, 유량을 측정하는 방식인 간접방식으로 분류한다.

나. 관로내 유체의 흐름

1) 층류와 난류

관로내 흐름에는 층류와 난류가 있고, 층류는 유체가 관로내를 흐를때 층을 유지한채 흐르는 상태를 말하며, 보통 유량이 적은 경우에 나타나는 현상이고, 난류는 흐름중 와 등을 발생시키는 흐름으로 유량이 크거나 압력강하가 적은 경우에 나타난다.

관로중의 일정구간에서 2점의 압력 취출공으로부터 취출된 압력 강하와 유량과의 특성관계를 보면은 압력강하와 유량과 비례하는 범위에서의 흐름을 층류라하고, 유량의 2승에 비례하는 유량이 큰 범위에서의 흐름을 난류라 한다.

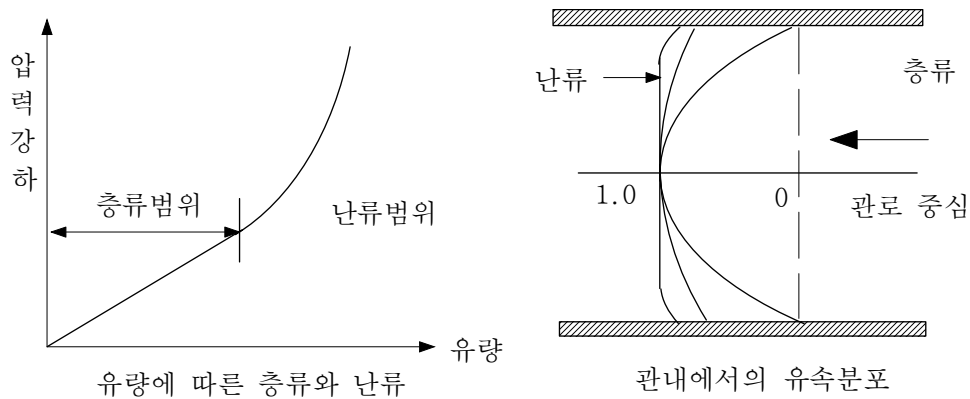


그림 6-1 관로내 유속 분포

실제로 원통형 관내의 유속분포를 측정하여 보면은 점도가 높은 경우 관벽과 유체의 마찰력은 크게 작용함으로 유속분포는 변화한다. 유속이 느릴 때는 점도가 낮은 유체가 흐르는 것과 같은 유속분포를 가진다. 즉, 관로내의 흐름이 층류일때는 관의 단면에서 본 유속은 거의같은 유속분포가 된다. 즉, 유체의 흐름이 층류로부터 난류로 되는 것은 유량의 크기에 의하나 그것은 유체의 점성의 크기에 좌우됨을 알수 있다.

유량의 어떤값을 초과하고, 층류가 난류로 변화되는 한계의 값은 유체의 밀도, 점도, 관로 내경에 의해서 달라지게 된다. 즉 관로내 흐름상태를 수치로 표현한 것이 레이놀즈수이며, 층류 난류로 구분하는 경계치는 2320이다.

$$ReD = \frac{4Q\rho}{\pi D \eta}$$

(Q : 체적유량 ρ : 체적의 밀도 η : 체적의 점도 D : 관로의 직경)

2) 유속분포와 평균유속

유체는 점성이 있으므로 관로내 흐르는 유체중 관로벽과 마찰하며 흐르는 유체는 관벽과의 점성에 의해 유속이 늦어지고 관로의 중심으로 갈수록 유속이 증가하여 관 중심에서는 최대가 되는 것으로 관로내의 유체의 유속은 동일하며, 관로 단면상에 있어서도 위치에 따라 달라진다.

원형 단면을 갖는 관로내의 유속분포는 관내의 유속 분포 그림과 같다. 또한 층류에서는 레이놀즈수가 변화해도 유속분포는 항상 일정하나 난류에서는 레이놀즈수에 따라 유속 분포는 변한다. 주의할 점은 층류나 난류도 앞서 설명한 대로 되는 것은 아니다. 그렇게 되는 조건은 직관부를 흐르는 경우로서, 만일 곡관이나 유속이 빠른 난류에서는 그와 같은 법칙이 성립되지 않으므로 충분한 직관부를 통한 흐름이 요구되는 것이다.

유속 변화의 영향을 받는 유량계에서는 유량계의 전후단에 대해 적당한 길이의 직관부를 필요로 하게 된다.

3) 레이놀즈수

기하학적으로 상이한 몇 개의 물체가 있을때 그 주위의 유체 흐름의 역학적 모양을 비교하는 경우등에 표시되는 중요한 무차원의 수로서 각각의 물체에 있어서 계산된 레이놀즈수가 같을때 그때의 유체의 흐름은 역학적으로 같게 된다.

레이놀즈수를 구하는 방식은 산출 방법에 따라 여러가지가 있다.

가) 유로의 흐름중에 있는 임의 물체의 대표적인 길이를 L 이라 하고, 유체의 유속(관벽으로부터 충분히 떨어진 위치에 있는 유속)을 v , 유체의 η , 밀도는 ρ , 동점도를 ν 라 하면 레이놀즈수 R_d 는 다음과 같다

$$R_d = \frac{L v \rho}{\eta} = \frac{L v}{\nu}$$

나) 관로내의 흐름 등을 비교하는 경우에 대표적인 길이로서 관로의 직경(D)또는 관로 반경(R)을 이용하고, 유체의 평균유속을 v 로 했을때, 관로의 직경을 이용시와 레이놀즈수 R_d 와 반경을 이용했을때, 레이놀즈수 R_R 은 아래와 같고 $R_d = 2R_R$ 이다,

$$R_d = \frac{D v \rho}{\eta} = \frac{D v}{\nu}, \quad R_R = \frac{R v \rho}{\eta} = \frac{R v}{\nu}$$

다) 관로내 차압식 유량 검출소자가 부착되어 있는 경우에 대표적인 길이로서 조리개의 직경 d 를 이용하고, 조리개 부분의 유체 평균 유속을 v 로 했을때 오리피스에 취부되어 있는 레이놀즈수 Re_D 는 다음과 같은 식으로 된다.

$$Re_D = \frac{d v \rho}{\eta} = \frac{d v}{\nu}$$

라) 관로내 관로의 직경(D)를 대표적인 길이로 하고, 평균유속 대신 체적 유량 Q 와의 관계로 부터 구해지는 레이놀즈수 Re_D 는

$$v = \frac{Q}{F} = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad \left(F = \frac{\pi D^2}{4} \right)$$

을 나)에서의 결과식에 대입하고, R_D 를 Re_D 로 바꾸면 다음과 같다.

$$Re_D = \frac{\frac{4Q}{\pi D^2} \cdot D}{v} = \frac{4Q}{\pi D v} = \frac{4Q}{\pi D n}$$

2. 유량계 설치

전통적인 유량측정 방법은 유동 상태의 유체와 유동장내에 설치한 기계 장치가 상호 작용할때 발생하는 유체 역학적 현상을 관찰하는 것으로 이때 기계장치를 유량계 1차기구라 하며, 1차 기구에서 발생한 유량신호를 감지 처리하여 지시하는 부분을 유량계 2차기구라 한다.

대표적인 기계식 유량계중 한 종류인 차압식 유량계는 유체가 파이프에 설치한 조임부를 통과할때 발생하는 차압을 측정하여 통과유량을 결정하고 터빈미터는 유동장내 설치한 임펠러가 유체의 운동에너지 때문에 회전할때 그 회전수를 측정하여 유량을 결정한다.

반면, 최근 개발된 유량계중에는 초음파 빔이 유동장 내부의 미세불순물 입자 혹은 난류와 작용할때 발생하는 주파수 변조신호를 분석하거나 초음파 빔의 통과시간 혹은 도플러 효과정도를 측정하여 평균유속을 결정하는 것들이 있다. 따라서 어떠한 방법에 의하여 유량을 측정하거나 측정결과는 유량계의 물성이나 유동 안정도, 유동속도 분포등 유동특성 영향을 피할수는 없다. 유동특성 변화 때문에 혹은 신호 전달과정에서 발생가능한 오차 요인을 제어하여 유량측정 정확도를 향상시키기 위해 오랜기간 동안에 거쳐 상당한 실험 데이터가 축적된 오리피스, 벤츄리, 노즐과 같은 차압식 유량계의 경우에는 유량계 제작사양은 물론 유량계 설치 방법과 신호 감지 및 전달 방법, 그리고 이상적인 유동조건을 확보하는데 필요한 각종 조치사항을 표준화한 규격이 마련되어 있다,

가. 설치기준

1) 기준배관

유량계가 설치되는 기준 배관은 유동특성에 영향을 미쳐 유량측정 오차 유발이 원인이 되므로 ISO 5167에는 다음과 같은 사항들이 필요조건으로 정해져 있다.

① 직진도와 진원도에 관한 파이프 육안검사

- 파이프 내부표면 육안검사시 내부 녹이 슬어 있지 않고, 퇴적물이 없을것
- 유량검출기 설치시 전단으로 10 D, 후단으로 5 D 이상 직관부 확보

- 육안으로 판단할때 직관이어야 하고, 진원이어야 함

② 파이프 내부표면의 상태조도에 관한 기준

(ISO 5167 :유량계 상류측 , 2D 이내에서 $K/D \leq 10^{-3}$)

③ 평균 파이프 직경 D측정 방법 

④ 유량계 1차기구 상류측의 특정  파이프 부분 진원도

⑤ 상류측 배관 접합부에서의 최대 허용 단층 높이

2) 압력측정 취출구

정압을 측정하기 위한 위치와 크기는 ISO 규격에 따르고, 두개의 압력 측정 구멍의 직경은 같아야 하고, 구멍끝 표면은 매끄러워야 한다. 다음의 표는 AGA 규격에 의한 압력측정용 구멍 크기이다.

AGA 압력측정 구멍크기에 대한 규격 (단위:인치)

파이프 내경	권고 구멍 직경	최대 구멍 직경	최소 구멍 직경
2 이하	1/4	1/4	1/4
2, 3	3/8	3/8	1/4
4 이상	1/2	1/2	1/4

3) 스트레이트너(정류장치)

유량계를 설치할 때 소용돌이를 제거하거나 완전히 발달한 이상적 유속 분포를 재생할 수 있는 충분한 직관부를 둘 수 없는 경우에 스트레이트너를 부착하게 된다. 수직으로 2개의 엘보우가 연결되었고, 2번째 엘보우로부터 1.5 D에 스트레이트너가 부착된 경우 스트레이트너로부터 1 D와 7.5 D 떨어진 곳에서 속도분포와 소용돌이가 형성된다.

4개의 작은관으로 구성된 스트레이트너를 사용했을때 소용돌이는 효과적으로 제거 될 수는 있으나, 속도 분포는 대칭이 아니었으며, Zanker 혹은 Mitsubishi의 스트레이트너를 사용했을때 소용돌이 제거가 잘 되었을뿐만 아니라 속도분포도 거의 대칭이었다.

현장에서는 값이 싸고 제작하기 쉽고 보수가 간단한 AGA-ASME 관 다발 스트레이트너가 많이 사용된다. 작은관 수는 규정되어 있지 않지만 일반적으로 4개의 관만으로 소용돌이와 2차유동을 많이 제한시킬 수 있지만 변형까지 교정하고자 할 경우에는 19개 이상의 작은관을 사용해야 한다.

소용돌이제거용 스트레이트너는 압력손실은 작지만 압력손실이 큰 스트레이트너 보다 더 긴 직관부가 필요하다. 압력손실 H는 아래와 같다.

$$H = k \frac{v^2}{2g}$$

나. 유량계 설치공사

1) 설치전 관내경 측정

오리피스 상하류에 접속되는 관내경을 정밀히 공사전 측정하고, 기록한다. 또 직관부길이를 개략적으로 측정해서 기록유지하며, 만일 이 경우 관의 내경이 설계치와 5 %이상 틀릴 경우에는 공사를 중단하고, 정확한 관경의 관과 교환후 설치공사를 실시한다.

관의 내면이 미끄럽지않는 경우에는 샌드페이퍼등으로 제거하거나 닦아내고, 관 내경은 오리피스 부근과 내경의 2배거리가 되는 위치에서 각 2회(직각으로 방향을 변경해서)측정하고 최대와 최소와의 차가 내경의 0.5 %를 넘는 경우는 더 원형에 가까운 관과 교환한다.

관내경 허용오차

오리피스 비(β)	허용오차 (%)	
	플랜지탭	파이프탭
0.10 ~ 0.25	5.0	3.5
0.25 ~ 0.35	3.0	2.0
0.35 ~ 0.45	2.0	1.0
0.45 ~ 0.55	1.5	0.6
0.55 ~ 0.65	1.0	0.3
0.65 ~ 0.75	0.5	0.2

2) 탭 및 플랜지 설치

오리피스의 상류측면을 기준으로 해서 가스켓, 오리피스의 두께를 생각하여 탭의 위치를 정한다. 용접방법으로는 아답터를 용접한후 1/2B의 도압니플을 넣어 작업한다.

플랜지 설치는 나사형 용접, 소켓형 및 슬립온형이 있다. 소켓형과 슬립온형은 용접형의 일종이지만 관에다 넣어놓고 용접하므로써 중심에서 벗어날 염려가 없으므로 작업이 편리하다. 특히 슬립온형은 관경 오차가 조금 있어도 설치 하는데는 영향이 없기 때문에 널리 사용되고 있다.