

공장폐수 및 하수유량
-관(pipe)내의 유량측정방법
Industrial and Municipal Wastewater
-Flow in Pressurized Pipe)

2015

1.0 개요

1.1 목적

공장, 하수 및 폐수 종말처리장 등의 원수, 공정수, 배출수 등의 관내의 유량을 측정하는 데 사용하며, 관 (pipe)내의 유량측정 방법에는 벤튜리미터 (venturi meter), 유량측정용 노즐 (nozzle), 오리피스 (orifice), 피토우 (pitot)관, 자기식 유량측정기 (magnetic flow meter)가 있다.

[주 1] 제시한 유량계의 종류 및 규격이 다를 경우 제조회사의 지침을 따른다.

1.2 적용범위

1.2.1 공장, 하수 및 폐수 종말처리장 등의 원수, 공정수, 배출수 등에서 공장폐수 원수 (raw wastewater), 1차 처리수 (primary effluent), 2차 처리수 (secondary effluent), 1차 슬러지 (primary sludge), 반송슬러지 (return sludge, thickened sludge), 포기액 (mixed liquor), 공정수 (process water)등의 압력 하에 존재하는 관 내의 유량을 측정하는 데 사용한다. 폐수처리 공정에서 유량측정장치의 적용은 표 1과 같다.

표 1. 폐수처리 공정에서 유량측정장치의 적용

장치	공장폐수 원수 (raw wastewater)	1차 처리수 (primary effluent)	2차 처리수 (secondary effluent)	1차 슬러지 (primary sludge)	반송슬러지 (return sludge)	농축슬러지 (thickened sludge)	포기액 (mixed liquor)	공정수 (process water)
벤츄리미터 (venturi meter)	○	○	○	○	○	○	○	
유량측정용 노즐 (nozzle)	○	○	○	○	○	○	○	○
오리피스 (orifice)								○
피토우 (pitot)관								○
자기식 유량측정기 (magnetic flow meter)	○	○	○	○	○	○		○

1.2.2 노즐의 경우 약간의 고형 부유물질이 포함된 폐·하수에도 이용할 수 있고, 피토우관은 부유물질이 많이 흐르는 폐·하수에서는 사용이 곤란하나 부유물질이 적은 대형 관에서는 효율적인 유량측정기이다, 또한 자기식 유량 측정기기의 경우에는 고형물질이 많아 관을 메울 우려가 있는 폐·하수에 이용할 수 있다.

[주 2] 벤츄리미터 설치에 있어 관내의 흐름이 완전히 발달하여 와류에 영향을 받지 않고 실질적으로 직선적인 흐름을 유지해야 한다. 그러므로 벤츄리미터는 난류 발생에 원인이 되는 관로상의 점으로부터 충분히 하류지점에 설치해야하며, 통상 관 직경의 약 30배 ~ 50배 하류에 설치해야 효과적이다.

[주 3] 노즐 출구의 분류는 속도분포가 고르기 때문에 관의 끝에 설치하여 유량계로서가 아닌 목적에도 쓰이고 있다.

1.2.3 레이놀즈수와 직경에 따른 적용범위

벤츄리미터, 유동노즐, 오리피스의 사용에 있어서 레이놀즈수와 직경의 범위가 필요하다. 아래 표 2는 유량계에 따른 각각의 레이놀즈수와 직경에 따른 적용범위를 나타낸 것이다.

$$Re = \frac{\rho V \cdot D}{\mu} \quad (\text{식 1})$$

여기서, Re : 레이놀즈수 (무차원)

ρ : 유체의 밀도 (kg/m^3)

v : 유속 (m/s)

D : 관경(m)

μ : 유체의 점도($\text{kg/m} \cdot \text{s}$)

표 2. 레이놀즈수와 직경에 따른 적용범위

벤츄리미터	유동 노즐	오리피스
$2 \times 10^5 \leq RE \leq 2 \times 10^6$	$10^5 \leq RE \leq 10^6$	$10^5 \leq RE \leq 10^7$
$0.3 \leq \frac{D_2}{D_1} \leq 0.75$	$0.01 \leq \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4 \leq 0.41$	$0.01 \leq \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4 \leq 0.41$
$100 \text{ mm} \leq D_1 \leq 800 \text{ mm}$	$50 \text{ mm} \leq D_1 \leq 1000 \text{ mm}$	$50 \text{ mm} \leq D_1 \leq 1000 \text{ mm}$

D_1 : 유입부 직경

D_2 : 목부 직경

2.0 용어정의

2.1 레이놀즈 수

유체 역학에서, 흐름의 관성력과 점성력의 비 (比). 유체의 밀도, 흐름의 속도, 흐름 속에 둔 물체의 길이에 비례하고 유체의 점성률에 반비례한다.

3.0 정밀도 및 정확도

벤츄리미터와 유량측정노즐, 오리피스는 최대유속과 최소유속의 비율이 4 : 1이어야 하며 피토우관은 3 : 1 자기식 유량측정기는 10 : 1 이다.

정확도는 유량측정기기로 측정 한 것은 실제 적으로 $\pm (0.3 \sim 3) \%$ 정도의 차이를 갖는다. 정밀도의 경우(최대유량일 때) $\pm (0.5 \sim 1) \%$ 의 차이를 보이는 것으로 보아 거의 정확하다고 볼 수 있다(표 3).

표 3. 유량계에 따른 정밀/정확도 및 최대유속과 최소유속의 비율

유량계	범위 (최대유량: 최소유량)	정확도, (실제유량에 대한, %)	정밀도 (최대유량에 대한, %)
벤튜리미터 (venturi meter)	4 : 1	± 1	± 0.5
유량측정용 노즐 (nozzle)	4 : 1	± 0.3	± 0.5
오리피스 (orifice)	4 : 1	± 1	± 1
피토우 (pitot)관	3 : 1	± 3	± 1
자기식 유량측정기 (magnetic flow meter)	10 : 1	$\pm 1 \sim 2$	± 0.5

4.0 유량계 종류 및 특성

4.1 벤튜리미터(venturi meter) 특성 및 구조

벤튜리미터 (venturi meter)는 긴 관의 일부로써 단면이 작은 목 (throat)부분과 점점 축소, 점점 확대되는 단면을 가진 관으로 축소부분에서 정력학적 수두의 일부는 속도수두로 변하게 되어 관의 목 (throat)부분의 정력학적 수두보다 적게 된다. 이러한 수두의 차에 의해 직접적으로 유량을 계산할 수 있다(그림1).

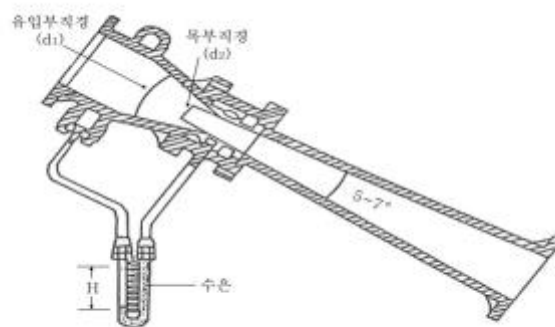


그림 1. 벤튜리미터

4.2 유량측정용 노즐 (nozzle) 특성 및 구조

유량측정용 노즐은 수두와 설치비용 이외에도 벤튜리미터와 오리피스 간의 특성을 고려하여 만든 유량측정용 기구로서 측정원리의 기본은 정수압이 유속으로 변화하는 원리를 이용한 것이다.

그러므로 벤튜리미터의 유량 공식을 노즐에도 이용할 수 있다(그림 2).

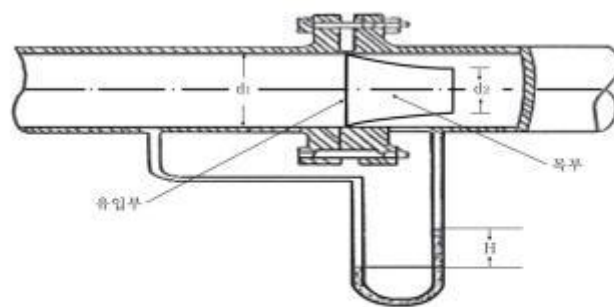


그림 2. 유량측정용 노즐

4.3 오리피스 (orifice) 특성 및 구조

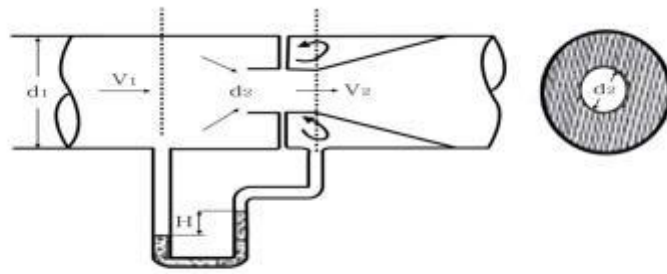
오리피스는 설치에 비용이 적게 들고 비교적 유량측정이 정확하여 얇은 판 오리피스가 널리 이용되고 있으며 흐름의 수로 내에 설치한다. 오리피스를 사용하는 방법은 노즐(nozzle)과 벤튜리미터와 같다.

오리피스의 장점은 단면이 축소되는 목 (throat)부분을 조절함으로써 유량이 조절된다는 점이며, 단점은 오리피스 (orifice) 단면에서 커다란 수두손실이 일어난다는 점이다(그림 3).

그림 3. 오리피스

4.4 피토우 (pitot)관 특성 및 구조

피토우관의 유속은 마노미터에 나타나는 수두 차에 의하여 계산한다. 왼쪽의 관은 정수압을 측정하고 오른쪽관은 유속이 0인 상태인 정체압력 (stagnation pressure)



을 측정한다.

피토우관으로 측정할 때는 반드시 일직선상의 관에서 이루어져야 하며, 관의 설치 장소는 엘보우 (elbow), 티 (tee)등 관이 변화하는 지점으로부터 최소한 관 지름의 15배 ~ 50배 정도 떨어진 지점이어야 한다(그림 4).

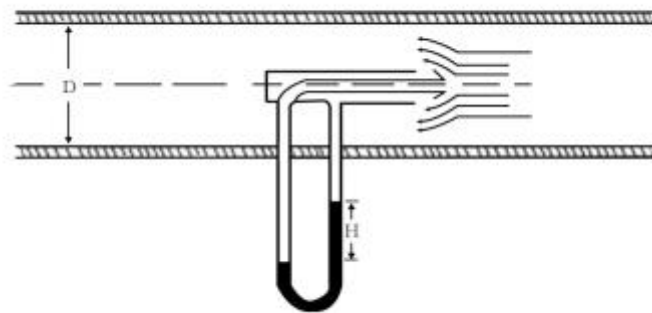


그림 4. 피토우 (Pitot) 관

4.5 자기식 유량측정기 (magnetic flow meter) 특성 및 구조

측정원리는 패러데이 (faraday)의 법칙을 이용하여 자장의 직각에서 전도체를 이동시킬 때 유발되는 전압은 전도체의 속도에 비례한다는 원리를 이용한 것으로 이 경우 전도체는 폐·하수가 되며, 전도체의 속도는 유속이 된다. 이때 발생한 전압은 유량계 전극을 통하여 조절변류기로 전달된다.

이 측정기는 전압이 활성화도, 탁도, 점성, 온도의 영향을 받지 않고 다만 유체(폐·하수)의 유속에 의하여 결정되며 수두손실이 적다(그림 5).

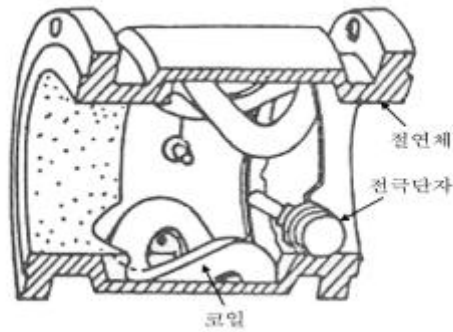


그림 5. 자기식 유량측정기

5.0 결과보고

5.1 벤투리미터, 유량측정 노즐, 오리피스 측정공식

벤투리미터, 유량측정 노즐, 오리피스는 측정원리가 같으므로 공통된 공식을 적용한다.

$$Q = \frac{CA}{\sqrt{1 - \left[\frac{d_2}{d_1}\right]^4}} \sqrt{2 gH} \quad (\text{식 } 2)$$

여기서, Q : 유량 (cm³/s)

C : 유량계수

A : 목 (throat)부분의 단면적 (cm²) $\left[= \frac{\pi d_2^2}{4} \right]$

H : H₁ - H₂ (수두차 : cm)

H₁ : 유입부 관 중심부에서의 수두 (cm)

H₂ : 목 (throat)부의 수두(cm)

g : 중력가속도 (980 cm/s²)

d₁ : 유입부의 직경 (cm)

d₂ : 목 (throat)부 직경 (cm)

5.2 피토우 (pitot)관 측정공식

$$Q = C \cdot A \cdot V \quad (\text{식 3})$$

여기서, Q : 유량 (cm³/s)

C : 유량계수

A : 관의 유수단면적 (cm²) [$= \frac{\pi D^2}{4}$]

V : $\sqrt{2 gH}$ (cm/s)

H : H_S - H_O (수두차 : cm)

g : 중력가속도 (980 cm/s²)

H_S : 정체압력 수두 (cm)

H_O : 정수압 수두 (cm)

D : 관의 직경 (cm)

5.3 자기식 유량측정기 (magnetic flow meter) 측정공식

연속 방정식을 이용하여 유량을 측정한다.

$$Q = C \cdot A \cdot V \quad (\text{식 4})$$

여기서, C : 유량계수

V : 유속 [$= \frac{E}{B \cdot D} 10^6$] (m/s)

A : 관의 유수단면적 (m²)

E : 기전력

B : 자속밀도 (GAUSS)

D : 관경 (m)

6.0 유량의 측정조건 및 측정값의 정리와 표시

6.1 폐하수의 유량조사에 있어서는 배출시설(공장, 사업장 등)의 조업기간 중에 있어서 가능한 한 처리량, 운전시간, 설비가동상태에 이상이 없는 날을 택하여 조사한다. 1일 조업시간을 1단위로 한다.

6.2 조사당일은 그날의 조업개시 시간부터 원칙적으로 10분 또는 15분마다 반드시 일정간격으로 폐하수량을 측정하며, 당일의 조업이 끝나고 다음날 (翌日)조업이 시작될 때까지, 혹은 당일의 조업이 끝나고 다음 조업이 시작될 때까지 폐하수가 흐르는 경우에는 폐하수의 방류가 종료될 때까지 측정을 계속한다.
다만, 유량에 변화가 없을 경우에는, 상기의 시간간격을 적의 연장하여도 무방하다.

6.3 한 조사단위에 있어서 동일 간격으로 측정한 유량 측정값은 다음 3개항에 해당 배수량을 나타낸다.

6.3.1 그래프에 조업시간과 유량과의 관계를 표시한다.

6.3.2 측정값의 산술평균값을 계산하여 평균유량으로 한다.

6.3.3 측정값의 최대값을 가지고 최대유량 측정값으로 한다.

6.4 측정을 계속하는 중에 배출시설(공장, 사업장 등)의 조업상태가 나쁘거나 다른 이상이 있거나 폐하수의 유량에 유의한 변화가 있어 측정값에 영향이 있을 경우에는 재측정을 한다.

7.0 참고자료

7.1 George Tchobanoglous, Franklin Burton, "Wastewater Engineering", (1991).

7.2 US EPA SESDPROC-109-R2, "wastewater flow measurement", EPA, (2008).

7.3 US EPA 305-X-04-001, "NPDES Compliance Inspection Manual, Chapter 6-flow measurement", EPA, (2004).