

공장폐수 및 하수유량

2014

-측정용 수로 및 기타 유량측정방법

Industrial and Municipal Wastewater

-Flow in flume and so on)

1.0 개요

1.1 목적

공장, 하수 및 폐수 종말처리장 등의 원수, 공정수, 배출수 등의 개수로의 유량을 측정하는 데 사용한다.

[주 1] 제시된 유량계의 종류 및 규격과 다를 경우 제조회사의 지침을 따른다.

1.2 적용범위

1.2.1 관내의 압력이 필요하지 않은 측정용 수로에서 유량을 측정하는데 적용한다.

1.2.2 공장, 하수 및 폐수 종말처리장 등의 원수, 공정수 배출수 등에서 공장폐수 원수 (raw wastewater), 1차 처리수 (primary effluent), 2차 처리수 (secondary effluent), 공정수 (process water) 등의 측정용 수로 유량을 측정하는 데 사용한다. 폐수처리 공정에서 유량측정장치의 적용은 표 1과 같다.

표 1. 폐수처리 공정에서 유량측정장치의 적용

	공장폐수 원수 (raw wastewater)	1차처리수 (primary effluent)	2차처리수 (secondary effluent)	1차슬러지 (primary sludge)	반송슬러지 (return sludge)	농축슬러지 (thickened sludge)	포기액 (mixed liquor)	공정수 (process water)
웨어 (weir)		○	○					○
플룸 (flume)	○	○	○					○

1.2.3 삼각웨어와 사각웨어를 사용하는데 있어서 적용되는 폭과 수두와 유량에 관

한 측정 적용 범위는 표 2와 같다.

표 2. 각종 웨어와 수량 측정 범위

웨어 형식	폭 (m)	수두의 범위 (H mm)	수량의 범위 (Q m ³ /min)
60° 삼각웨어	0.45	40 ~ 120	0.018 ~ 0.26
90° 삼각웨어	0.60	70 ~ 200	0.11 ~ 1.5
90° 삼각웨어	0.80	70 ~ 260	0.11 ~ 2.9
사각웨어	0.9 × 0.36	30 ~ 270	0.21 ~ 5.5
사각웨어	1.2 × 0.48	30 ~ 312	0.28 ~ 8.0

2.0 용어정의

2.1 수두

웨어의 상류측 수두측정 부분의 수위와 절단 하부점(직각 3각 웨어) 또는 절단 하부 모서리의 중앙(4각 웨어)과의 수직거리를 말한다.

3.0 정밀도 및 정확도

3.1 웨어는 최대유속과 최소유속의 비가 500 : 1에 해당한다.

3.2 파살수로는 최대유속과 최소유속의 비가 10 : 1 ~ 75 : 1에 해당하며 이 수치는 파살수로의 종류에 따라 수치가 변한다.

3.3 정확도는 ± 5 정도의 차이를 보이고 정밀도의 경우 역시 ± 0.5의 차이를 보인다.

표3. 유량계에 따른 정밀/정확도 및 최대유속과 최소유속의 비율

유량계	범위 (최대유량 : 최소유량)	정확도 (실제유량에 대한, %)	정밀도 (최대유량에 대한, %)
웨어 (weir)	500 : 1	± 5	± 0.5
파살수로 (flume)	10 : 1 ~ 75 : 1	± 5	± 0.5

4.0 유량계의 종류 및 특성

4.1 웨어 (weir)

4.1.1 웨어의 종류 및 구조

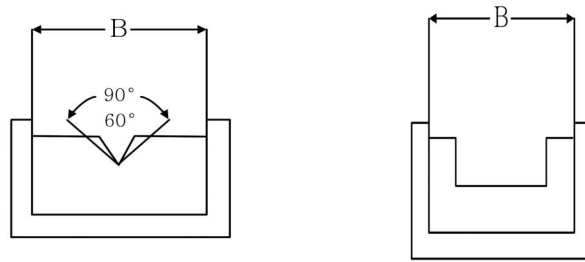


그림 1. 웨어의 구조

4.1.2 수로

4.1.2.1 수로는 목재, 철판, PVC판, FRP 등을 이용하여 만들며 부식성을 고려하여 내구성이 강한 재질을 선택한다.

4.1.2.2 수로의 크기는 수로의 내부치수로 정하되 폐수량에 따라 적절하게 결정한다.

4.1.2.3 수로는 바닥면을 수평으로 하며 수위를 읽는데 오차가 생기지 않도록 한다.

4.1.2.4 수로의 측면과 바닥면은 안측이 직각으로 접하게 하고, 누수가 없도록 하여야 한다.

4.1.2.5 웨어판에 다가오는 흐름을 고르게 하여 수면의 파동이 없게 하기 위하여 웨어의 상류에 체(눈금의 간격 10 mm ~ 20 mm 철판의 체를 사용하여도 좋다) 혹은 적당한 다공 판으로 만든 정류 장치를 마련하며, 그 위치는 따로 정한다.

4.1.2.6 웨어의 수로는 웨어로 부터 상류로 향하여 수위측정부분 (L_1), 정류부분

(L_2), 유수도입부분 (L_3)으로 되어 있으며 정류장치의 다공판은 2매 이상, 가능한 한 4매로 하고 정류부분에 같은 간격으로 유수에 직각 또는 수직으로 붙인다(그림 2).

4.1.2.7 유수의 도입부분은 상류 측의 수로가 웨어의 수로 폭과 깊이보다 클 경우에는 없어도 좋다. 저수량은 될수록 큰 편이 좋다.

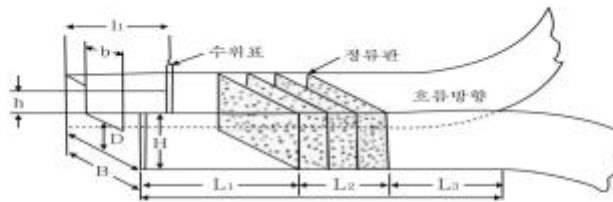


그림 2. 웨어의 수로(입체도)

4.1.3 웨어판

4.1.3.1 웨어판의 재료는 3 mm이상의 두께를 갖는 내구성이 강한 철판으로 한다.

4.1.3.2 웨어판의 가장자리는 그림 3과 같이 웨어판의 안측으로부터 약 2 mm의 사이는 웨어판의 양측 면에 직각인 평면을 이루고, 그것으로부터 바깥쪽으로 향하여 약 45°의 경사면을 이루는 것으로 한다.

4.1.3.3 웨어판 안측의 가장자리는 직선이어야 하며, 그 귀퉁이는 날카롭거나 둥글지 않게 줄로 다듬는다.

4.1.3.4 웨어판의 내면은 평면이어야 하며, 특히 가장자리로 부터 100 mm 이내는 될수록 매끄럽게 다듬는다.

4.1.3.5 웨어판은 유수의 수압에 의하여 바깥쪽으로 굽지 않도록 웨어판 바깥면의 절단 하부점(직각 3각 웨어), 절단 하부 모서리(4각 웨어)로 부터 30 cm이상 떨어져서 그림 4와 같이 보강재를 붙인다.

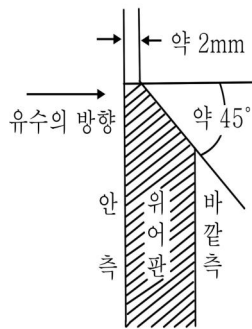


그림 3. 웨어판의 가장자리

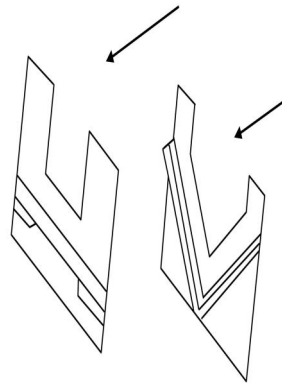


그림 4. 웨어판의 보강

4.1.3.6 웨어판은 수로의 장측에 직각 또는 수직으로 하여 말단의 바깥틀에 누수가 없도록 고정한다.

4.1.3.7 웨어판의 크기는 수로의 붙인 틀의 크기에 맞추며 절단의 크기는 따로 정한다.

4.1.3.8 직각 3각 웨어의 절단은 그림 5에 표시하는 것과 같이 절단각도를 90°로 하고 그 2등분선은 수직이며, 또한 수로 폭의 중앙에 위치하도록 붙인다.

4.1.3.9 4각 웨어의 절단은 그림 6에 표시하는 것과 같이 하부귀통이와 양귀통이는 각각 직각을 이루는 것으로 한다.

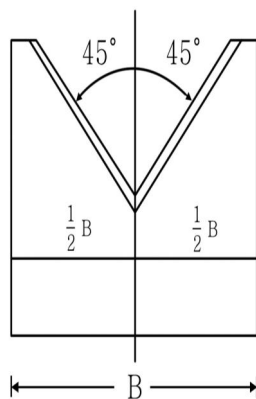


그림 5. 직각 3각웨어의 절단

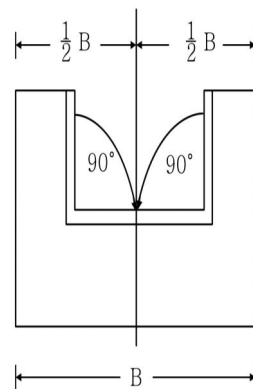


그림 6. 4각웨어의 절단

4.1.3.10 웨어판은 절단 하부 귀통이의 2등분선이 수로의 중앙에 위치하며 또 그 하부 귀통이가 수로 밑면과 수평이며, 또한 평행하게 되도록 붙인다.

4.1.3.11 웨어를 만들 때의 주요 크기는 다음과 같이 한다(그림 7 및 그림 8).

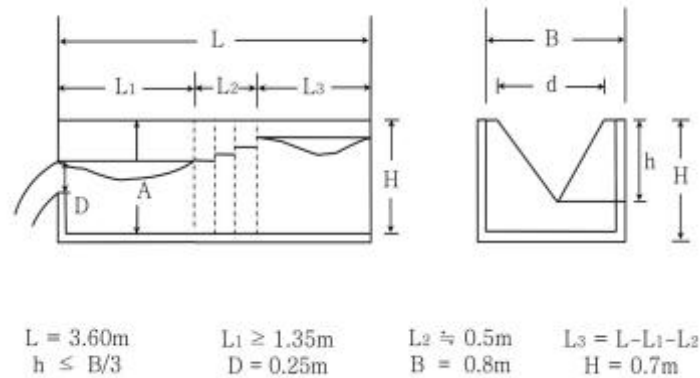


그림 7. 직각 3각 웨어의 구조 및 치수

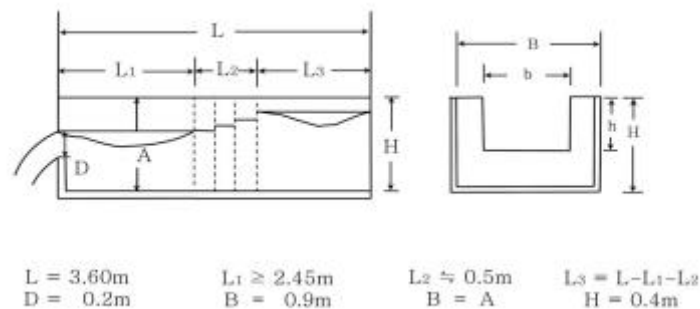


그림 8. 4각 웨어의 구조 및 치수

4.1.4 수두의 측정방법

4.1.4.1 수두의 측정 장소는 웨어판 내면으로부터 300 mm상류인 곳으로 하고 그 위치를 표시하기 위하여 적당한 철제 기구를 사용하여 수로의 측벽 윗면에 고정하여 표시한다.

4.1.4.2 그림 9는 그 상면에 측정위치를 표시하는 기선을 유수방향의 직각으로 새겨 유수에 면(面)한 측변은 자의 눈금을 읽기 쉽도록 예각(銳角)으로 하여 그 능선을 수위측정기선(水位測定基線)으로 한다.

4.1.4.3 수두측정선의 기선이 되는 0점은 수로의 물이 웨어의 절단 하부점(직각 3각 웨어) 또는 절단 하부 귀통이의 중앙(4각 웨어)에 접하는 상태일 때, 그 수면과 측정 장소 표시의 수두 측정 점으로부터 수직으로 내린 선이 접하는 점을 말하며, 그 수직거리(그림 9)를 mm로 재어서 이것을 0점 측정치로 한다.

4.1.4.4 유량측정에 있어서 수위측정은 0점 측정일 때와 마찬가지로 수위 측정 점과 흐름의 수면과 수직거리(그림 10)를 mm 단위로 측정하여 이것을 흐름의 수위측정치로 한다.

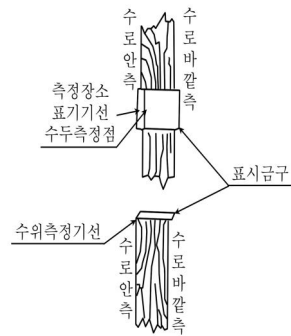


그림 9. 수두의 측정장소

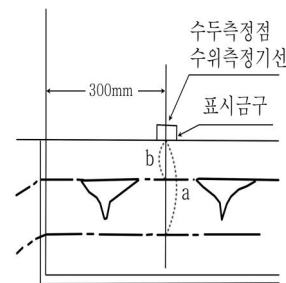


그림 10. 수위측정위치

4.1.4.5 유량산출의 기초가 되는 수두 측정 장치는 $a - b$ 즉 영점수위 측정치 (mm) $\sim$ 흐름의 수위측정치 (mm) = 측정수두 (mm)로 한다.

4.1.4.6 0점 수위는 유량측정조사를 시작하기 전에 한번 측정하였으면 측정할 때 마다 할 필요는 없으나 수로가 조금이라도 움직여서 바뀌는 때에는 조사기간 중에도 적당한 때에 측정한다.

4.1.4.7 수두의 측정은 웨어를 넘어서 흘러내리는 물이 웨어판 바깥 측에 닿지 않는 상태로 행한다.

4.1.5 유량의 산출 방법

수로를 흐르는 폐수의 유량은 다음 공식에 의하여 산출한다. 다만, 폐·하수 측정방법으로서 앞에서 정한 규정의 수로 및 웨어판을 만들어서 측정한 경우에는 그림 11

의 그래프를 사용하여 측정유량으로 하여도 된다.

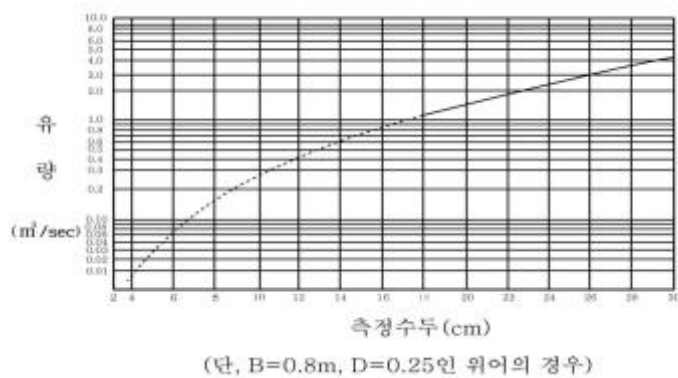


그림 11. 직각 3각 웨어의 수두와 유량

4.1.5.1 직각 3각 웨어

$$Q = K \cdot h^{5/2} \quad (\text{식 1})$$

여기서, Q : 유량 (m³/분)

$$K : \text{유량계수} = 81.2 + \frac{0.24}{h} + \left[8.4 + \frac{12}{\sqrt{D}} \right] \times \left[\frac{h}{B} - 0.09 \right]^2$$

B : 수로의 폭 (m)

D : 수로의 밑면으로부터 절단 하부 점까지의 높이 (m)

h : 웨어의 수두 (m)

이 계산식의 적용범위는 아래와 같다.

$$B : 0.5 \text{ m} \sim 1.2 \text{ m} \quad D : 0.1 \text{ m} \sim 0.75 \text{ m} \quad h : 0.07 \text{ m} \sim 0.26 \text{ m} < \frac{B}{3}$$

그림 7의 크기대로 만들었을 경우에는 그림 11에 측정수두와 유량의 관계를 그래프로 표시하였으므로 이 그래프로부터 유효숫자 2자리(3자리 짤을 사사오입)까지 측정수두에 대한 유량을 읽어 이것을 측정 유량으로 한다.

4.1.5.2 4각 웨어

$$Q = K \cdot b \cdot h^{3/2} \quad (\text{식 2})$$

여기서, Q : 유량 (m³/분)

$$K : \text{유량계수} = 107.1 + \frac{0.177}{h} + 14.2 \frac{h}{D} - 25.7 \times \sqrt{\frac{(B-b)h}{D \cdot B}} + 2.04 \sqrt{\frac{B}{D}}$$

D : 수로의 밑면으로부터 절단 하부 모서리까지의 높이 (m)

B : 수로의 폭 (m)

b : 절단의 폭 (m)

h : 웨어의 수두 (m)

이 계산식의 적용범위는 아래와 같다.

B : 0.5 m ~ 6.3 m b : 0.15 m ~ 5 m D : 0.15 m ~ 3.5 m

$\frac{6D}{B^2} = 0.06 \text{ m 이상}$ $h = 0.03 \sqrt{b} \text{ m} \sim 0.45 \sqrt{b} \text{ m}$

그림 8 크기대로 만들었을 경우에는 그림 12에 측정수두와 유량의 관계를 그래프로 표시하였으므로 이 그래프로부터 유효숫자 2자리(3자리 째를 사사오입)까지 측정수두에 대한 유량을 읽어 이것을 측정유량으로 한다.

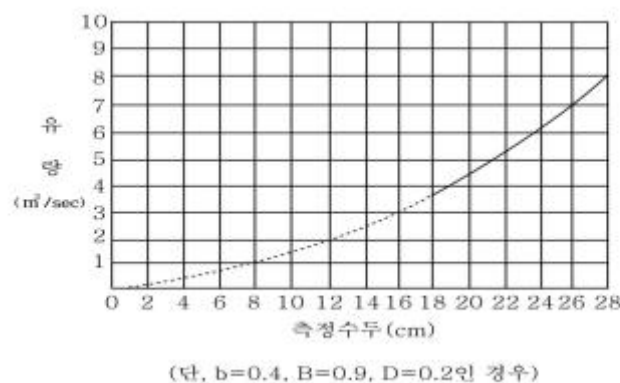


그림 12. 4각 웨어의 수두와 유량

4.2 파살수로 (parshall flume)

4.2.1 특성

수두차가 작아도 유량측정의 정확도가 양호하며 측정하려는 폐하수중에 부유물질 또는 토사등이 많이 섞여 있는 경우에도 목 (throat)부분에서의 유속이 상당히 빠르므로 부유물질의 침전이 적고 자연유하가 가능하다(그림 13).

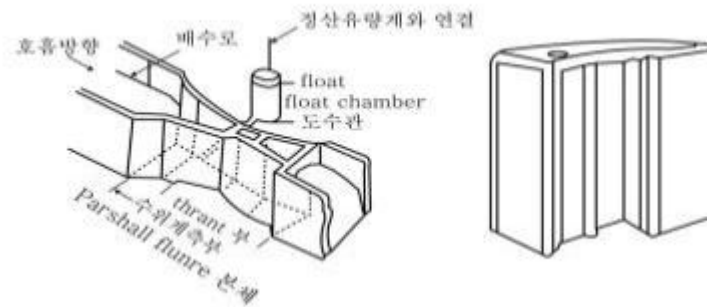


그림 13. 파살수로의 개략도

4.2.2 구조 및 유형

구조 및 유형은 그림 14와 같으며 치수는 표 4와 같다.

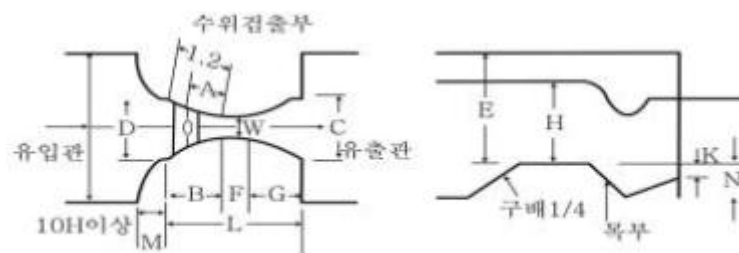


그림 14. 파살수로의 구조 및 유형

표 4. 파살수로의 치수

(단위 : mm)

수로 폭 W	in/ft mm	2in 50.8	3in 76.2	6in 152.4	9in 228.6	1ft 304.8	1½ft 457.2	2ft 609.4	3ft 914.4	4ft 1219.2	5ft 1524.0	6ft 1828.0	7ft 2133.6	8ft 2433.4
유량 범위	최소 m³/h	2	3	5	9	11	15	43	62	133	163	256	306	357
	최대 m³/h	100	194	398	907	1,641	2,508	3,375	5,138	6,923	8,723	10,550	12,380	14,220
A		245	311	414	587	914	965	1,016	1,118	1,219	1,321	1,422	1,524	1,626
B		360	457	610	864	1,343	1,419	1,496	1,645	1,794	1,943	2,092	2,241	2,391
C		118	178	394	381	610	762	914	1,219	1,524	1,829	2,134	2,438	2,743
D		196	259	397	575	845	1,026	1,207	1,572	1,937	2,302	2,667	3,032	3,397
E		440	610	610	762	914	914	914	914	914	914	914	914	914
F		120	152	305	305	610	610	610	610	610	610	610	610	610
G		200	305	610	457	914	914	914	914	914	914	914	914	914
K		25	25	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
N		57	57	114	114	229	229	229	229	229	229	229	229	229
R		240	406	406	406	508	508	508	508	610	610	610	610	610
M		180	305	305	305	381	381	381	381	457	457	457	457	457
P		500	768	900	1,080	1,482	1,676	1,954	2,223	2,711	3,086	3,442	3,810	4,172
L		680	914	1,525	1,626	2,867	2,943	3,019	3,169	3,318	3,467	3,616	3,765	3,915

4.2.3 재질

부식에 대한 내구성이 강한 스테인레스 강판, 염화비닐합성수지, 섬유유리, 강철판, 콘크리트 등을 이용하여 설치하되 먼처리는 매끄럽게 처리하여 가급적 마찰로 인한 수두 손실을 적게 한다.

4.2.4 유량측정

그림 15에서와 같이 상류측 관측점 수위 (H_a)와 하류측 관측점 수위 (H_b)를 측정, 다음의 표에 있는 경험식을 이용하여 표 5의 공식에 대입하여 계산한다.

그러나 파살수로 내의 흐름이 정부(頂部)에서 사류(射流) 혹은 잠긴 수로의 상태가 되면 유량계산은 매우 복잡해지므로 항상 자유흐름이 발생되도록 플루움을 설치하여야 한다. 이렇게 하기 위해 상류 측 측정 수심 H_a 에 대한 하류 측정수심 H_b 의 비 (H_b/H_a)가 최소한 95 %이하이어야 한다.

이러한 흐름조건에서 목 부분의 여러 가지 치수 (W)에 대한 유량측정 그래프는 그림 15와 같다.

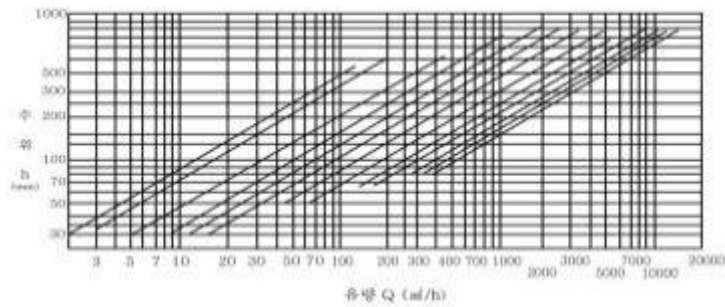


그림 15. 수위, 유량 환산그래프

표 5. 유량측정 공식 (경험식)

목 (throat) 폭	적 용 공 식
W= 7.6 cm	$q = 0.143 Ha^{1.55}$ (L/s)
W= 15.2 cm	$q = 0.264 Ha^{1.58}$ (L/s)
W= 22.86 cm	$q = 0.466 Ha^{1.53}$ (L/s)
W= 30.48 cm ~ 243.84 cm	$q = 0.964 Ha^{1.52}$ (L/s)

Ha : 상류부의 수위(cm)

q : l/s

4.3 용기에 의한 측정

4.3.1 최대 유량이 1 m³/분 미만인 경우

4.3.1.1 유수를 용기에 받아서 측정한다.

4.3.1.2 용기는 용량 100 L ~ 200 L인 것을 사용하여 유수를 채우는 데에 요하는 시간을 스톱워치 (stop watch)로 잰다. 용기에 물을 받아 넣는 시간을 20초 이상이 되도록 용량을 결정한다.

4.3.1.3 다음 계산식에 의하여 그 유량을 구한다.

$$Q = 60 \frac{V}{t} \quad (\text{식 1})$$

여기서, Q : 유량 (m^3/min)

V : 측정용기의 용량 (m^3)

t : 유수가 용량 V 를 채우는 데에 걸린 시간 (s)

4.3.2 최대유량 $1 \text{ m}^3/\text{분}$ 이상인 경우

이 경우는 침전지, 저수지 기타 적당한 수조 (水槽)를 이용한다.

4.3.2.1 수조가 작은 경우는 한번 수조를 비우고서 유수가 수조를 채우는 데 걸리는 시간으로부터 최대유량이 $1 \text{ m}^3/\text{분}$ 미만인 경우와 동일한 방법으로 유량을 구한다.

4.3.2.2 수조가 큰 경우는 유입시간에 있어서 유수의 부피는 상승한 수위와 상승수면의 평균표면적 (平均表面積)의 계측에 의하여 유량을 산출한다. 이 경우 측정시간은 5분 정도, 수위의 상승속도는 적어도 매분 1 cm 이상이어야 한다.

4.4 개수로에 의한 측정

4.4.1 수로의 구성재질과 수로 단면의 형상이 일정하고 수로의 길이가 적어도 10 m 까지 똑바른 경우

4.4.1.1 직선 수로의 구배와 횡단면을 측정하고 이어서 자 (尺)등으로 수로폭간의 수위를 측정한다.

4.4.1.2 다음의 식을 사용하여 유량을 계산한다. 평균유속은 케이지 (Chezy)의 유속공식에 의한다.

$$Q = 60 \cdot V \cdot A \quad (\text{식 } 2)$$

여기서, Q : 유량 ($\text{m}^3/\text{분}$)

V : 평균유속 ($= C \sqrt{Ri}$) (m/s)

A : 유수단면적 (m^2)

i : 홈 바닥의 구배 (비율)

C : 유속계수 (*Bazin*의 공식)

$$C = \frac{87}{1 + \frac{r}{\sqrt{R}}} (m/s)$$

R : 경심 유수 단면적 A를 윤편 S로 나눈 것(m)

경심 R은 다음 식에 의하여 구한다.

R = A/S로 하여서 그림 16으로부터

장방형일 때

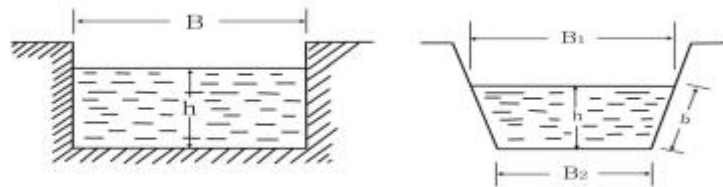
$$A = B \cdot h$$

$$S = B + 2h$$

제형일 때

$$A = \frac{h (B_1 + B_2)}{2}$$

$$S = B_2 + 2b$$



$$R = \frac{B h}{B + 2h}$$

$$R = \frac{h (B_1 + B_2)}{2 (B_2 + 2b)}$$

그림 16. 개수로의 형태

단, r은 수로의 매끄러운 정도를 나타내는 상수로서 표 6과 같다.

표 6. 배진 (Bazin)의 조도 (組度)상수 r의 값

수로의 특성	r
모르타르 (mortar)의 바름, 대패로 민 목재판, 기타 곱게 시공을 했거나 매끄러운 면	0.06
곱게 다듬은 판바름, 절석공 (切石工) 또는 연화공 등의 매끄러운 면	0.16
콘크리이트로 만든 수로	0.30
보통 다듬돌로 쌓은 수로, 거치른 콘크리이트 등의 조잡한 면	0.46
정규의 단면으로 장석을 쌓은 수로	0.85
단면이 비교적 정돈된 보통의 하천	1.30

4.4.2 수로의 구성, 재질, 수로단면의 형상, 구배 등이 일정하지 않은 개수로의 경우

4.4.2.1 수로는 될수록 직선적이며, 수면이 물결치지 않는 곳을 고른다.

4.4.2.2 10 m를 측정구간으로 하여 2 m마다 유수의 횡단면적을 측정하고, 산술 평균값을 구하여 유수의 평균 단면적으로 한다.

4.4.2.3 유속의 측정은 부표를 사용하여 10 m구간을 흐르는데 걸리는 시간을 스톱워치 (stop watch)로 재며 이때 실측유속을 표면 최대유속으로 한다.

4.4.2.4 수로의 수량은 다음 식을 사용하여 계산한다.

$$V = 0.75 V_e \quad (\text{식 3})$$

여기서, V : 총평균 유속 (m/s)

V_e : 표면 최대유속 (m/s)

$$Q = 60 V \cdot A \quad (\text{식 4})$$

여기서, Q : 유량 ($\text{m}^3/\text{분}$)

V : 총평균 유속 (m/s)

A : 측정구간의 유수의 평균단면적 (m^2)

5.0 유량의 측정조건 및 측정값의 정리와 표시

5.1 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.

5.2 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.
단, 유량에 변화가 없을 경우에는, 상기의 시간간격을 적의 연장하여도 무방하다.

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

5.3.1 그래프에 조업시간과 유량과의 관계를 표시한다.

5.3.2 측정값의 산술평균값을 계산하여 평균유량으로 한다.

5.3.3 측정값의 최대값을 가지고 최대유량 측정값으로 한다.

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

6.0 참고자료

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

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

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