

# 상수도공학

## Chapter 5.

### 도수 및 송수시설

# 1) 도수 및 송수방식, 노선선정

## 5.1.1 도수와 송수

### 도수

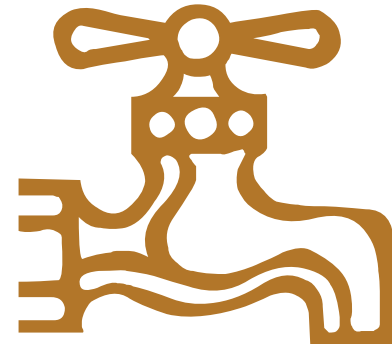
- 수원에서 취수한 물을 정수장까지 보내는 경우

### 송수

- 정수장으로부터 정수된 물을 배수지까지 보내는 경우

### 차이점

- 도수는 정수되지 않은 원수 수송
- 송수는 정수를 수송



# 1) 도수 및 송수방식, 노선선정

## 5.1.2 도수 및 송수 방식 (유수방식)

- 1) 노선의 시점과 종점 지반의 고저차에 의하여 자연유하식과 펌프압송식으로 분류됨
- 2) 상수도의 모든시설은 가능한 펌프압송식보다 자연유하식이 되도록 설계하는 것이 원칙

### (1) 자연유하식

- 수리학적으로 개수로식과 관수로식으로 분류된다.

### (2) 펌프압송식

- 수리학적으로 전부 관수로식이다.

# 1) 도수 및 송수방식, 노선선정

## 5.1.2 도수 및 송수 방식

### 자연유하식과 펌프압송식의 비교

| 자연유하식                                                                                                                                                                                                                     | 펌프압송식 (가압식)                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>① 수원의 위치가 높고 도수로가 길 때 적당</li><li>② 도수, 송수가 안전하고 확실함</li><li>③ 유지관리가 용이, 관리비가 적게 소요됨</li><li>④ 수로가 길어지면 건설비가 많이 소요됨</li><li>⑤ 급수구역을 자유롭게 선택할 수 없음</li><li>⑥ 오수가 침입할 염려가 있음</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>① 수원이 급수지역과 가까운 곳에 있을 경우에 적당함</li><li>② 수로를 짧게 할 수 있어 건설비의 절감이 가능</li><li>③ 자연유하식에 비해 전력비 등 유지관리비가 많이 듦</li><li>④ 펌프고장 등으로 도수 및 송수의 안정성과 확실성이 부족함</li><li>⑤ 관수로에만 이용할 수 있고, 수압으로 인한 누수의 위험이 존재</li><li>⑥ 지하수가 수원일 경우 적당함</li></ul> |

# 1) 도수 및 송수방식, 노선선정

## 5.1.2 도수 및 송수 방식

### 관로의 종류

| 개수로                                                                                                                                            | 관수로                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>① 수면이 대기압과 접하고 경사로 인한 중력작용으로 유하하며 자유수면을 가짐</li><li>② 개수로 내의 흐름을 지배하는 힘과 흐름을 지속시키는 요소는 중력과 관성력임</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>① 관이 항상 만수로 되어 압력에 의해 흐르는 수로를 말함</li><li>② 관수로 내의 흐름을 지배하는 힘과 흐름을 지속시키는 요소는 점성력과 두 단면의 압력차</li></ul> |

※ 개수로와 관수로의 근본적인 차이점은? 자유수면의 유무

# 1) 도수 및 송수방식, 노선선정

## 5.1.2 도수 및 송수 방식

### 자연유하식 결정시 고려사항

- 1) 개수로식은 수면경사와 같은 경사로 수로를 만들어야 하므로 지형을 고려하여 장애 극복방안을 강구하여야 하지만, 관수로는 경사의 상하 굴곡차에 영향을 받지 않아 수로 길이가 짧아진다.
- 2) 개수로식은 유량이 많으므로 관수로식 일 때 비용이 과다할 경우나 도수구간의 손실수두를 작게 할 때 적합하다.
- 3) 구조는 관수로식은 내압강도를 유지하는 관을 사용할 필요가 있으나 개수로식은 간단한 구조로 가능하다.
- 4) 관수로가 오염 측면에서 유리하며 개수로식은 덮개 등으로 대책을 강구하여야 한다.

- 손실수두: 유체가 관을 통하여 이동할 때 관내 마찰이나 굴곡 또는 위치차이로 인하여 손실되는 에너지를 물의 위치에너지로 바꾸어 나타낸 것

# 1) 도수 및 송수방식, 노선선정

## 5.1.2 도수 및 송수 방식

### 펌프압송식 결정시 고려사항

- 1) 정전을 대비한 예비동력 설치해야 함
- 2) 수압으로 인한 누수를 대비한 안전장치 설치해야 함
- 3) 고저차가 심하고 관로 연장이 길 때는 배기와 드레인 장치 등을 고려해야 함



# 1) 도수 및 송수방식, 노선선정



## 5.1.3 노선의 연장

- (1) 자연유하나 펌프압송 중 어떠한 방식에 있어서든 마찰손실수두가 최소가 되도록 노선 연장은 가능한 짧게 한다.
- (2) 수평 또는 수직방향의 급격한 굴곡( $45^\circ$  이상)을 피해 관거에 급격한 수압변화가 발생하지 않도록 한다.
- (3) 지반이 불안정한 장소나 비탈 등 붕괴우려가 있는 지점은 피한다.
- (4) 관수로의 경우 낮은 장소에 있어서 관 내면에 작용하는 최대정수두가 관의 최대사용정수두 (최대사용압력) 이하로 되어야 한다.
- (5) 가능한 한 노선은 공공도로를 이용하는 것이 좋다.
- (6) 하천, 도로, 철도를 횡단하는 경우 유리한 지점을 선정한다.
- (7) 노선연장이 길 경우 관로에 안전밸브 또는 압력조정밸브를 설치해서 수격작용에 대비해야 한다.

※ 정수두: 정지한 물 속의 임의의 한 점에 작용하는 물의 압력을 물의 높이로 나타낸 값  
= 압력수두 + 위치수두 + (속도수두)

# 1) 도수 및 송수방식, 노선선정



## 5.1.3 노선의 연장

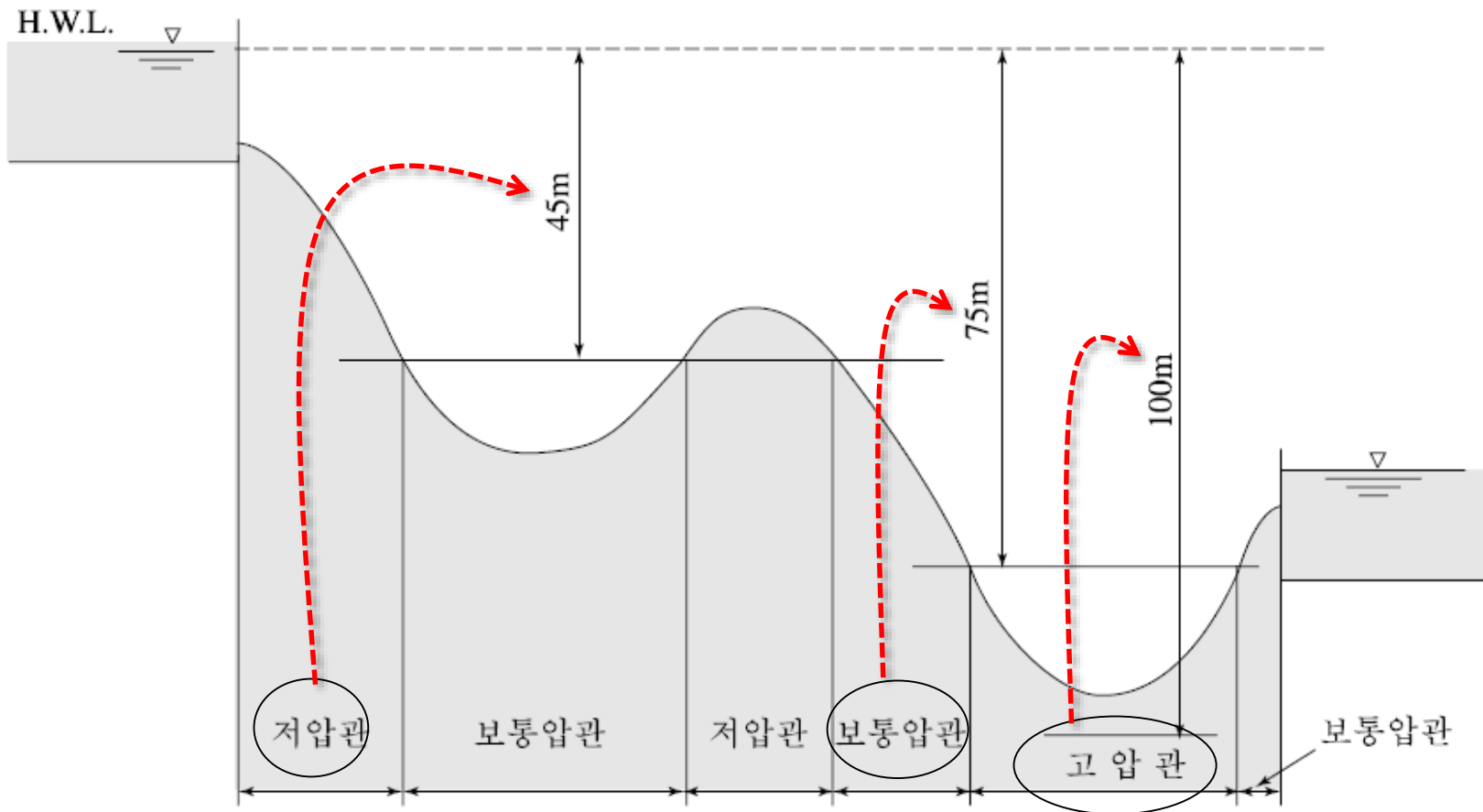
<최대사용정수두, 단위:m>

| 관종 \ 압력 관종별 | 고압관 | 보통압관 | 저압관 |
|-------------|-----|------|-----|
| 입형주철관       | —   | 75   | 45  |
| 원심력 사형주철관   | 100 | 75   | 45  |
| 원심력 금형주철관   | 100 | 75   | —   |
| 주철이형관       | 100 | 75   | —   |
| 강관          | 100 | —    | —   |
| 경질염화비닐관     | —   | 75   | —   |
| 석면시멘트관      | —   | —    | —   |
|             | 100 | 75   | 45  |

# 1) 도수 및 송수방식, 노선선정



## 5.1.3 노선의 연장



☞ 각 지점의 최대사용정수두에 따라 저압관, 보통압관, 고압관을 선택

# 1) 도수 및 송수방식, 노선선정

## 5.1.3 노선의 연장

### 1) 수격작용(water hammering)이란?

☞ 관 속에 유체가 꼭 찬 상태로 흐를 때 관 속 액체의 속도를 급격하게 변화시키면 액체에 압력변화가 생겨 관 내에 순간적인 충격압과 진동이 발생하는 현상을 말함

### 2) 수격작용의 피해

- ① 진동 및 소음을 유발
- ② 배관의 크랙
- ③ 부품이나 펌프의 고장 유발

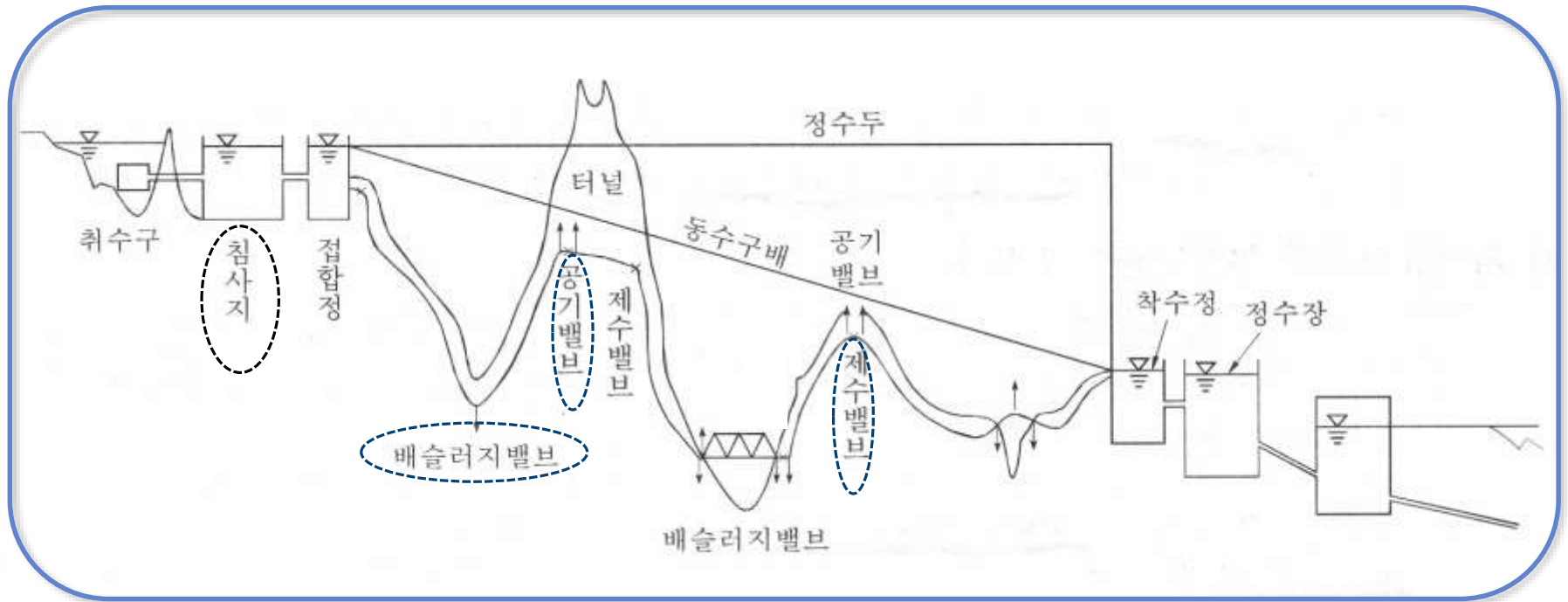
### 3) 방지책

☞ 밸브 폐쇄 시간의 조절, 안전밸브 등을 설치함

# 1) 도수 및 송수방식, 노선선정

## 5.1.3 노선의 연장

### 도수관로



- 개수로식은 수면경사( $1/1000 \sim 1/3000$ )와 같은 경사로 수로를 만들어야 함
- 관수로는 동수경사선(동수구배)이하로 배관하게 되면 경사의 상하 굴곡차에 구애받지 않음
- ∴ 관수로의 경우 수로의 길이를 짧게 설계 가능함

# 1) 도수 및 송수방식, 노선선정

## 5.1.4 도 · 송수로의 구조

- 관의 종류: 외압에 대해 강도 높은 자재를 사용해야 하며 내마모성이 커야 함
- ① 주철관: 내부식성이 크지만 장기간 사용하면 내면에 녹이 생겨 이것을 방지하기 위해 시멘트 모르타르로 라이닝을 실시해서 사용함 , 상수도에 많이 사용됨
- ② 강관: 인장강도가 매우 높고, 관의 두께를 얇게 할 수 있어 상수도에 많이 사용됨
- ③ 원심력 철근콘크리트관 (hume 관): 모양을 만드는 관을 관축을 중심으로 고속 회전시켜 만듦, 외압에 강하지만 내압에는 비교적 약함
- ④ 경질염화비닐(PVC)관: 최근에 적용되는 관 재질로 부식되지 않고 가볍고 가공도 쉽지만, 열이나 자외선에 약함

# 1) 도수 및 송수방식, 노선선정

## 5.1.4 도 · 송수로의 구조

- 강관의 두께: AWWA에 의한 상수도용 관의 두께 결정방법은 대략 다음과 같다.

<관 내 수압에 의한 관두께 결정>

$$t = \frac{p \cdot d}{2 \cdot \sigma_w}$$

여기서, t: 관두께(mm), d: 관내경(mm),

p: 관 내 수압(kg/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_w$ : 관의 허용응력(kg/cm<sup>2</sup>), 통상 항복점 응력의 60%

<리포트> 내경 500mm인 원형 주철관에 20 kg/cm<sup>2</sup> 의 수압이 작용하고 주철관의 허용인장응력이  $\sigma_w = 120$  kg/cm<sup>2</sup> 일 때, 관의 소요두께는?

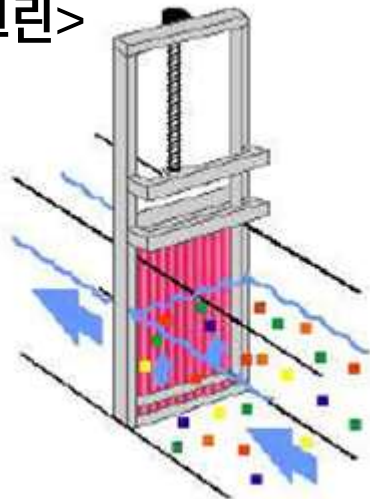
# 1) 도수 및 송수방식, 노선선정

## 5.1.4 도 · 송수로의 구조

### • 개수로의 부속설비

- ① 스크린: 낙엽 등의 유입을 방지하기 위해 수로의 도중에 설치함
- ② 여수토구: 정수장 등의 사고에 의해 급히 물의 흐름을 차단해야 할 필요가 있을 때 수로 도중에 물을 배수하기 위해 하천 등의 적당한 위치에 설치함

<스크린>



<토구>



# 1) 도수 및 송수방식, 노선선정

## 5.1.4 도 · 송수로의 구조

### • 관수로의 부속설비

- ① **제수밸브**: 유지관리 및 사고시에 있어서 통수량을 조절하는 장치
- ② **공기밸브**: 관내의 공기를 자동적으로 배출하는 밸브
- ③ **체크밸브**: 물의 역류를 방지하기 위한 밸브
- ④ **안전밸브**: 이상수압이 발생했을 때 관의 파열을 막기 위하여 자동적으로 물을 배출하여 안전을 확보하기 위한 밸브,  
수격작용이 일어나기 쉬운 곳에 설치
- ⑤ **배슬러지밸브(니토크)**: 관로 내 퇴적된 찌꺼기나 토사를 배출하고 유지관리를 위해 관내를 청소하거나 정체수를 배출하기 위한 밸브
- ⑥ **감압밸브**: 상류수의 고압수를 저압으로 변화시켜 하류로 보내는 밸브

# 1) 도수 및 송수방식, 노선선정

## 5.1.5 침사지

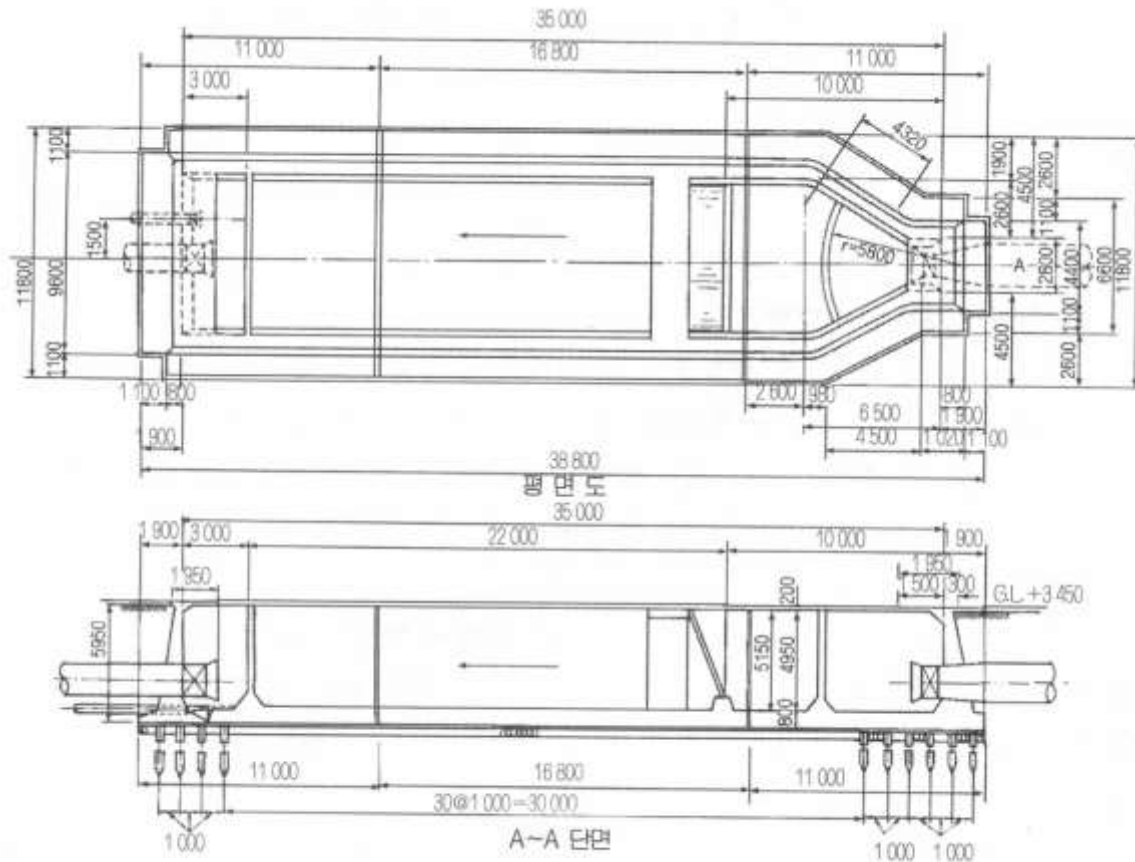
- 원수와 같이 유입된 모래를 침강 제거시키는 시설
- 하천표류수를 수원으로 하는 경우 모래 유입의 우려로 도수시설에 침사지를 설치하여 과다한 유사를 침전 제거하는 것이 좋음
- 일반적으로 장방형의 철근콘크리트 구조로 설치함



# 1) 도수 및 송수방식, 노선선정

## 5.1.5 침사지

### 침사지 구조도



## 2) 관로의 설계

### 5.2.1 관로의 계획용량 및 설계

※ 계획유량: **계획1일 최대급수량**을 기준으로 하고 적절한 여유를 가산하여 결정함

$$Q = \text{계획1일 최대 급수량} \times (1+\alpha) \text{ (m}^3 \text{ /d)}$$

$\alpha = 0.05 \sim 0.1$  (도수시설의 누수, 정수장에서 세척수량과 여과, 펌프시동 등의 작업용수를 포함한 손실수량에 대한 여유율)

#### <도·송수관의 평균 유속 최대치>

| 수로내면의 상태           | 평균유속의 최대한도(m/s) |
|--------------------|-----------------|
| 모르타르 또는 콘크리트관      | 3.0             |
| 모르타르 라이닝 실크관       | 5.0             |
| 강관 또는 주철관, 경질염화비닐관 | 6.0             |

\* 평균유속의 최소한도는 모래입자 등의 침전을 방지하기 위해 0.3m/s이상이어야 한다.

## 2) 관로의 설계

### 5.2.1 관로의 계획용량 및 설계

#### 관의 설치시 유의사항

- 1) 관로에는 필요한 위치에 따라 감압밸브, 제수밸브, 공기밸브 등을 설치해야 한다.
- 2) 관로의 분기점, 주요교량, 철도, 하천 등을 횡단할 때는 제수밸브를 설치하는 것이 좋다.
- 3) 매설깊이는 관경 900mm이하는 120cm이상, 관경 1,000mm 이상은 150cm 이상으로 해야 한다. (흙덮기)
- 4) 한랭지에서의 매설깊이는 동결심도 보다 깊게 해야 한다.
- 5) 강관을 사용할 때는 특히 신축관을 고려하여 설계하여야 한다.
- 6) 매설깊이를 매우 얇게 하여야 할 때에는 관에 보호공을 실시한다.
- 7) **관구경**을 결정할 때는 상기 각종 사항을 참고하여 **관로의 평균 유속 공식**에 의하여 필요한 관경을 결정한다.

## 2) 관로의 설계

### 5.2.2 개수로의 평균유속 공식

#### 1. Manning 공식

☞ 개수로, 관수로에 모두 이용

$$Q = A \times V$$

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

Q : 유량 (m<sup>3</sup>/s)

V : 유속 (m/s)

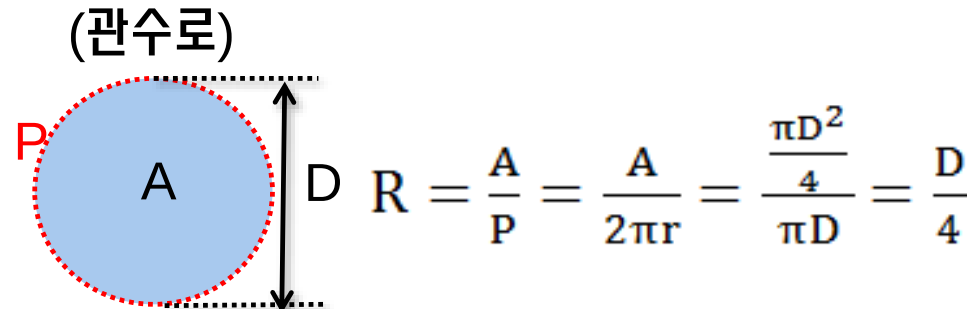
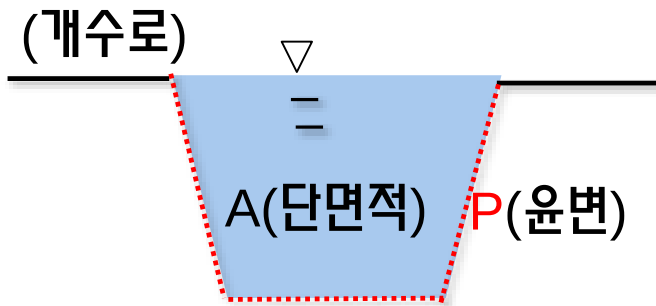
R : 경심 (A/P)

n : 조도계수 (관내의 거친정도)

A : 수로단면적 (m<sup>2</sup>)

P : 수로의 윤변 (m)

I : 동수경사 ( $\Delta h/L$ )



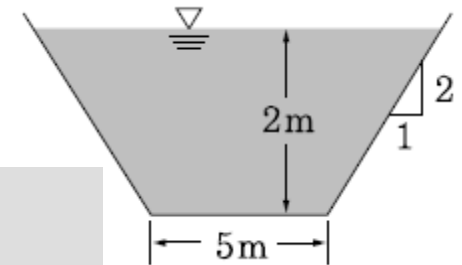
## 2) 관로의 설계

### 5.2.2 개수로의 평균유속 공식

#### 1. Manning 공식

그림과 같이 밑바닥이 5 m, 양측벽면 경사가 1 : 2, 수심이 2 m, 수로구배가 1/3,000인 사다리꼴 콘크리트 수로의 유량( $\text{m}^3/\text{sec}$ )을 구하시오.

( 단,  $v = \frac{1}{n} R^{2/3} \cdot I^{1/2}$ , 조도계수 = 0.013 )



Manning 공식 :  $v = \frac{1}{n} R^{2/3} \cdot I^{1/2}$ 에서

$$R = \frac{A}{P}$$

$$A = \frac{1}{2} (5 + 7) \times 2 = 12 \text{ m}^2$$

$$P = 5 + 2 \times \sqrt{1^2 + 2^2} = 9.472 \text{ m}$$

$$v = \frac{1}{0.013} \times \left( \frac{12}{9.472} \right)^{2/3} \times \left( \frac{1}{3,000} \right)^{1/2} = 1.644 \text{ m/sec}$$

$$\therefore Q = Av = 12 \text{ m}^2 \times 1.644 \text{ m/s} = 19.73 \text{ m}^3/\text{sec}$$

## 2) 관로의 설계

### 5.2.2 개수로의 평균유속 공식

#### 2. Ganguillet-Kutter (강귀에-쿠퍼)공식

$$Q = A \times V$$

$$V = C\sqrt{RI} \quad (\rightarrow \text{Chezy's equ.})$$

$$V = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{I}}{1 + (23 + \frac{0.00155}{I}) \frac{n}{\sqrt{R}}} \sqrt{RI}$$

|                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| Q : 유량 (m <sup>3</sup> /s) | A : 수로단면적 (m <sup>2</sup> ) |
| V : 유속 (m/s)               | C : 유속계수                    |
| R : 경심 (A/P)               | n : 조도계수                    |
| I : 동수경사 ( $\Delta h/L$ )  |                             |

<G-K 식의 조도계수 n값>

|     |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|
| 주철관 | 0.013 | 콘크리트관 | 0.012 |
| 강관  | 0.013 | 석면관   | 0.012 |

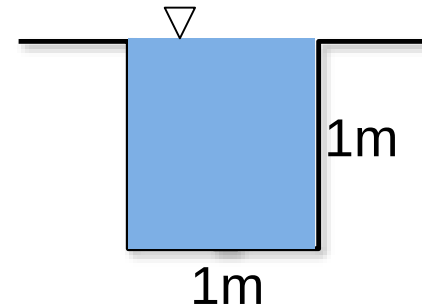
## 2) 관로의 설계

### 5.2.2 개수로의 평균유속 공식

#### 2. Ganguillet-Kutter (강귀에-쿠티어)공식

<예제 5-1> 폭과 깊이가 각각 1m인 개수로의 유량을 구하시오.

(단,  $I=5/1000(5\%)$ ,  $n=0.013$ )



$$V = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{I}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{I}\right) \times \frac{n}{\sqrt{R}}} \times \sqrt{RI}$$

$$V = \frac{23 + \frac{1}{0.0013} + \frac{0.00155}{\frac{5}{1000}}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{\frac{5}{1000}}\right) \times \frac{0.013}{\sqrt{\frac{1}{3}}}} \times \sqrt{\frac{1}{3} \times \frac{5}{1000}}$$

24

## 2) 관로의 설계

### 5.2.2 개수로의 평균유속 공식

#### 2. Ganguillet-Kutter (강귀에-쿠티어)공식

$$V = \frac{23 + 76.923 + 0.31}{1 + (23 + 0.31) \times 0.023} \times 0.041$$

$$= \frac{100.233}{1.536} \times 0.041 = 2.68 \text{m/s}$$

$$\therefore Q = A \times V = 1 \text{m}^2 \times 2.68 \text{m/s} = 2.68 \text{m}^3/\text{s} = 231,552 \text{m}^3/\text{d}$$

## 2) 관로의 설계

### 5.2.3 관수로의 평균유속공식

#### 3. Hazen-Williams 공식 배수관 수리계산에 가장 많이 이용

$$V = 0.84935 \times C \times R^{0.63} \times I^{0.54}$$

공식 사용 용이하도록 변형

$$Q = 0.27853 \times C \times D^{2.63} \times I^{0.54}$$

|                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| Q : 유량 (m <sup>3</sup> /s) | A : 수로단면적 (m <sup>2</sup> ) |
| V : 유속 (m/s)               | C : 유속계수                    |
| R : 경심 (A/P)               | I : 동수경사 ( $\Delta h/L$ )   |

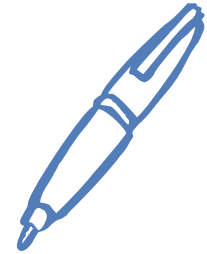
<예제 5-2> 관경이 300mm,  $I=0.004$ ,  $C=100$ 인 주철관의 유량을 구하시오.

$$\begin{aligned} Q &= 0.27853 \times C \times D^{2.63} \times I^{0.54} \\ &= 0.27853 \times 100 \times 0.3^{2.63} \times 0.004^{0.54} \\ &= 0.27853 \times 100 \times 0.042 \times 0.051 \\ &= 0.05954 \dots \dots = 0.06 \text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

## 2) 관로의 설계

### 5.2.3 관수로의 평균유속공식

### 3. Hazen-Williams 공식



<William-Hazen 공식의 C 치(미국수도협회)>

| 관종           | C 값 | 비고                              |
|--------------|-----|---------------------------------|
| 주철관          | 100 | 20년 후를 고려한 값                    |
| 강관           | 100 |                                 |
| 모르타르라이닝 주철관  | 130 |                                 |
| 프리스트레스 콘크리트관 | 130 |                                 |
| 원심력 철근콘크리트관  | 130 | 굴곡 손실 등을 고려해서<br>C=110 정도가 안전하다 |
| 경질염화비닐관      | 130 |                                 |
| 목관           | 120 |                                 |

☆ 철관이나 강관의 경우 녹이 생겨 통수능력이 점차 작아지므로 C값을 작게 설정

## 2) 관로의 설계

### 5.2.3 관수로의 평균유속공식



## 2) 관로의 설계

### 5.2.3 관수로의 마찰손실수두 공식

#### Darcy-Weibach (다시- 바이스바하) 공식

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

여기서,  $h_L$  : 수두손실(m)

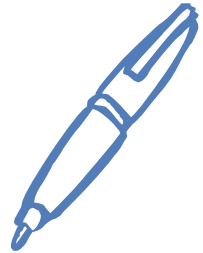
$f$  : 마찰계수

$L$  : 관 길이(m) = 구간거리

$D$  : 관경(m)

$v$  : 유속(m/s)

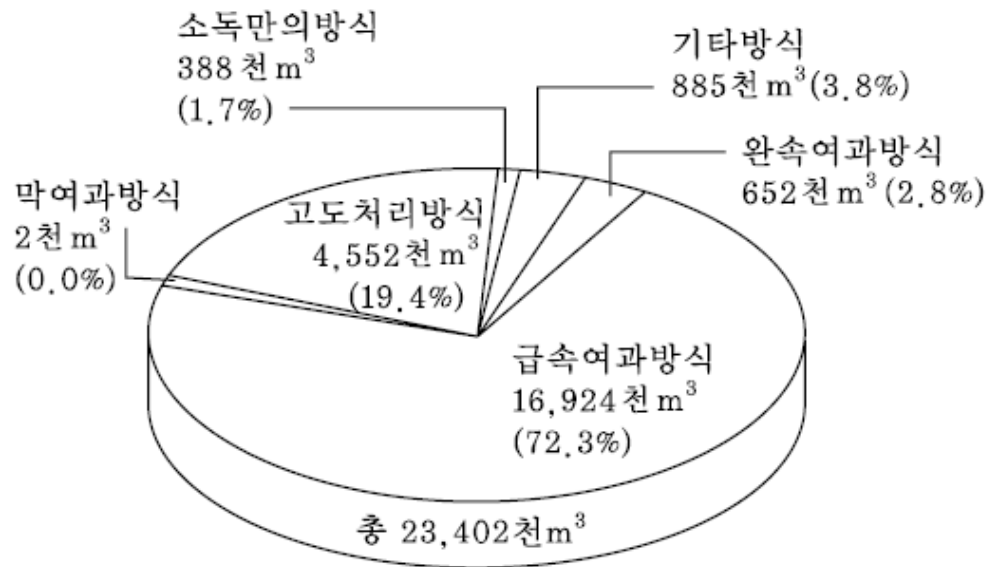
$g$  : 중력가속도(9.8 m/s<sup>2</sup>)



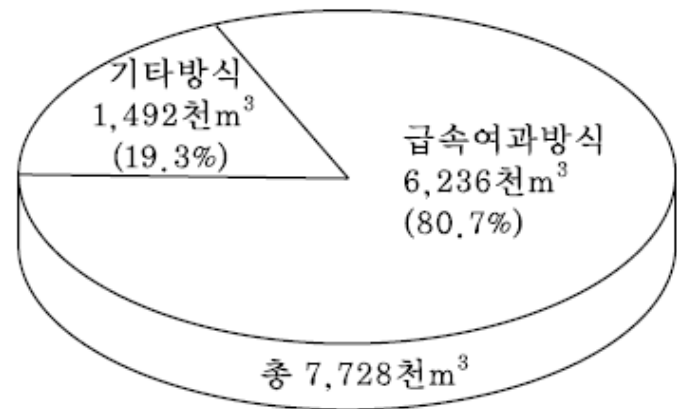
<리포트> 300m 구간거리에 10cm 관경을 통하여 물을 송수했을 때 손실수두가 79.4m로 나타났다. 마찰손실계수  $f=0.023$  이라 할 때 유량은?

# 정수처리

정수처리방식별 시설용량(지방상수도)



정수처리방식별 시설용량(광역상수도)



- 정수시설 설계용량: 계획 1일 최대급수량
- 통상 사용되고 있는 정수과정: 응집 ➡ 침전 ➡ 여과 ➡ 소독

# 정수처리

- 정수처리의 대상

- ① **부유물질**: 보통 수처리에서 문제가 되는 것은  $10\mu\text{m}$  이하의 미세한 물질  
보통침전 → 완속모래여과  
약품침전 → 급속모래여과  
부유물질은 거의 100%에 가깝게 제거 됨
- ② **용해성물질**: 침전 및 여과로 제거할 수 없어, 화학반응에 의해 불용성물질로 바꾸거나, 화학반응을 일으키지 않는 물질은 흡착제를 이용하여 제거함
- ③ **세균 및 미생물**: 일종의 부유물이기 때문에 침전과 여과에 의해 상당히 제거되지만, 전멸시키려면 살균제로 멸균시켜야 하는데 이 과정이 소독이다.  
보통 염소를 이용하여 염소소독을 해준다. ➡ **소독부산물 (THMs) 문제**