

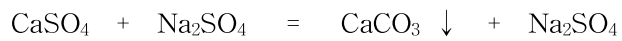
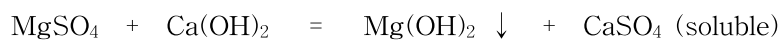
Chapter 4 Engineering System for water purification

4-2 water-treatment process

<Fig 4-1> Typical plant treating hard groundwater

i) Aeration

ii) Softening ... $\text{Ca}^{++}, \text{Mg}^{++}$ removal



iii) Filtration ... "Backwash", sludge 처리가 必要

iv) Disinfection ... Cl_2 gas

v) storage

* Fig 4-2 surface water with organics

<Mixing, flocculation, precipitation>

coagulation (凝集) ~ 응집제 {Alum, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, polymer} 철가루 rapid mixing으로 colloid 응집

flocculation (凝結) ~ slow mixing 더 큰 floc 형성

precipitation ~ 침전



↓

natural alkalinity

i) $\text{Al}(\text{OH})_3$ 의 floc을 형성하기 위하여 alkalinity가 필수

ii) natural alkalinity가 부족하면 Lime을 투입

<adsorption>

~ activated carbon(AC)으로 dissolved organic을 흡착

i) granual AC ... 흡착 column

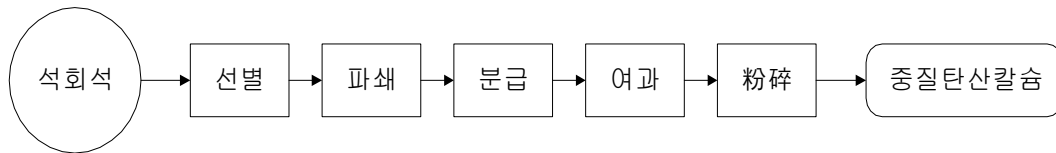
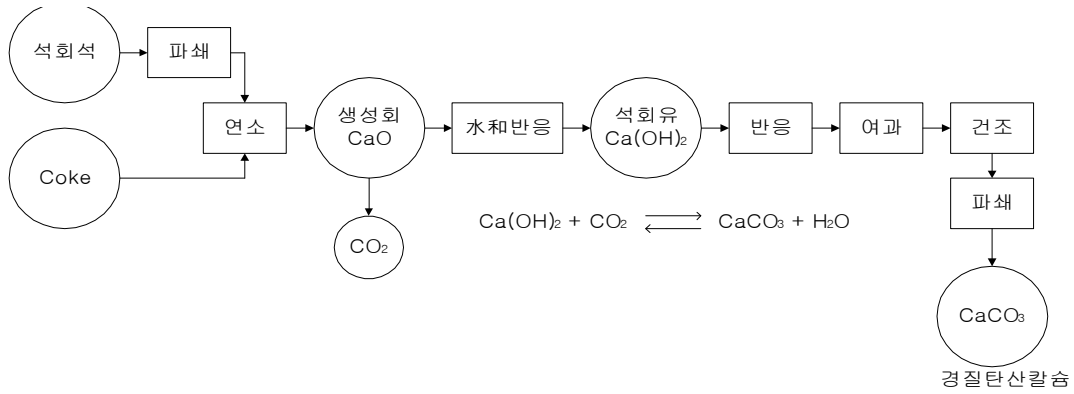
ii) powdered AC ($d < 0.1\text{mm}$)

* Regeneration

- steam

- heat pump

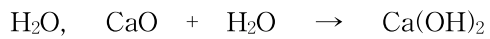
* 석회석 (lime stone) → CaCO₃가 90% 이상



CaCO₃ 용도 : rubber, plastics, paint, pigment, 제지, 비료, 치약, 의약품, 유기합성, 화장품

* 생석회 (Lime, burnt lime ; 산화칼슘) → C매가 90%

· 대기중에 방치하면



용도 ~ 철강, carbide, 製紙· pulp, 농약, 비철금속, 비료 etc

4 - 3 Aeration

i) degasification ~ remove undesirable gas dissolved in water

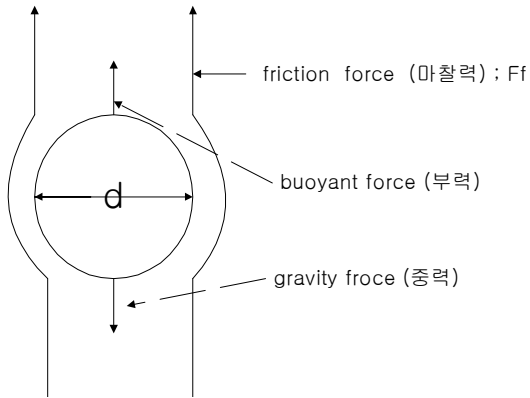
ii) oxidation ~ O₂를 주입하여 undesirable 물질 → more manageable term

* Liquid - gas contact system

	method	Application
water - in - air system	<ul style="list-style-type: none"> • fountain (= spray aerator) • cascade tower • Tray tower <ul style="list-style-type: none"> - Fe⁺⁺, Mn⁺⁺의 oxidation - packing material에 KMnO₄와 같은 산화제로 precoating 	gas desorption
Air - in - water system	<ul style="list-style-type: none"> • sparge를 이용한 포기 	gas adsorption

* Tray ... plate columne (股塔) 內에 설치한 氣-液 접촉用的 수평股

* 중력장에 있어서 球의 침전 (stoke's 법칙)



<가정>

- ① particle을 직경 d 의 구이다.
- ② 밀도 ρ , 점도 μ 인 유체 속에서 球가 u 로 침강한다.
- ③ 유체의 속도는 무시한다.

i) Newton's 2nd law : $F=ma$

$$ma = \rho_p \left(\frac{\pi}{6} \right) D^3 g - \rho_f \left(\frac{\pi}{6} \right) D^3 g - F_d \quad \text{----- ①}$$

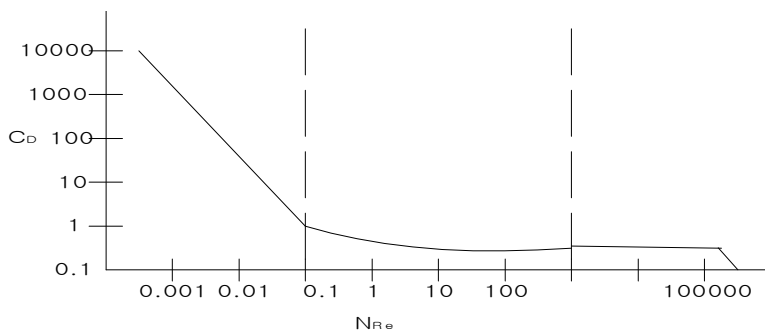
ii) at terminal settling velocity $ma = 0$ ----- ②

iii) by experiment $F_d = \frac{C_D A_p \rho u^2}{2g_c}$ ----- ③

iv) terminal velocity $u = \left(\frac{4}{3} \frac{g}{C_D} \frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_f} D_p \right)^{\frac{1}{2}}$ ----- ④

v) C_D (drag coefficient) = $f(N_{Re})$ ----- ⑤

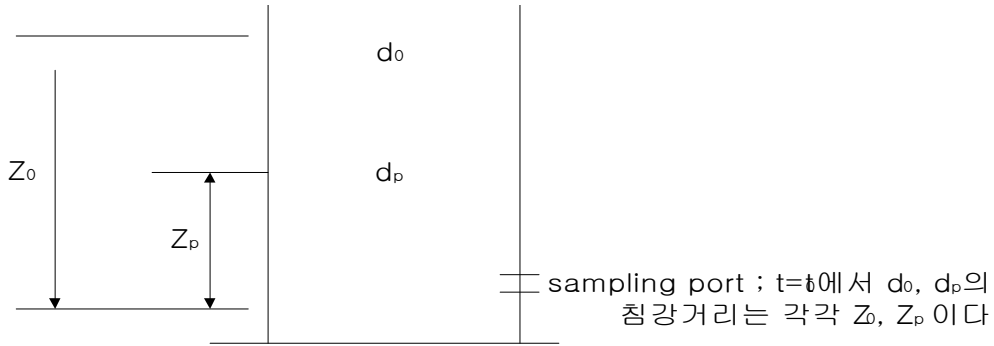
$$N_{Re} = \frac{D_p \rho u}{\mu}$$



vi) $N_{Re} < 0.1$ (stoke's law) from ④⑤

$$u = \frac{g(\rho_p - \rho) D_p^2}{18\mu}$$

* Type-1 settling에 있어서 settling characteristics of suspension



i) particle d_0 의 침강속도 $v_0 = \frac{Z_0}{t_0}$

d_p 의 침강속도 $v_p = \frac{Z_p}{t_0}$

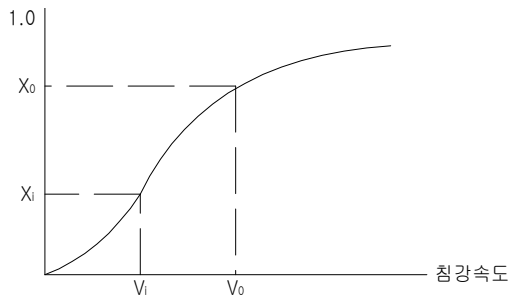
$t_0 = \frac{Z_0}{v_0} = \frac{Z_p}{v_p} \quad (v_0 > v_p)$

㉠ d_0 보다 큰 (즉 v_0 보다 큰 침강속도를 가지는) particle은 $t = t_0$ 에서 모두 침강

㉡ d_p 가 z_p 보다 아래에 있으면 모두 침강

㉢ suspension 상태에서 $t = t_0$ 에서 d_p 입자의 제거율 $= \frac{Z_p}{Z_0} = \frac{v_p}{v_0}$

ii) 체류시간 t_0 , 깊이 z_0 에서 입자의 제거율



㉠ 침강속도 $v_0 = \frac{Z_0}{t_0}$ 보다 큰 입자는 모두 제거

㉡ v_0 보다 적은 침강속도 입자는 $\frac{v_i}{v_0}$ 의 비율로 제거

㉢ $X = ㉠ + ㉡$

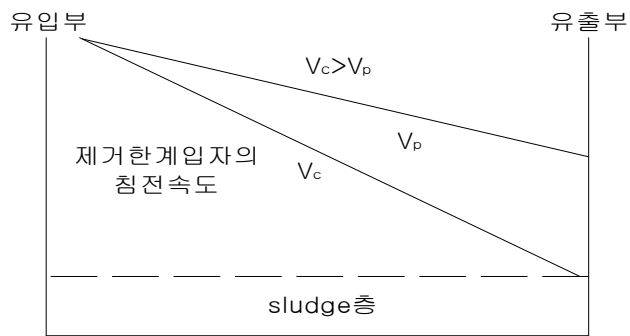
총제거율 $= (1 - X_0) + \int_0^{X_0} \frac{v_i}{v_0} d_x$

$$\text{월류율 (over flow rate)} = Q/A = \left(\frac{\text{유량}}{\text{tank 단면적}} \right) \text{ [m}^3/\text{day} \cdot \text{m}^2\text{]}$$

* 침사지 설계시

월류속도 (V_c) = 최소한 침전시키기 원하는 입자의 침전속도

$$= \frac{\text{깊이}}{\text{체류시간}}$$



<실제로 고려하여야 할 사항>

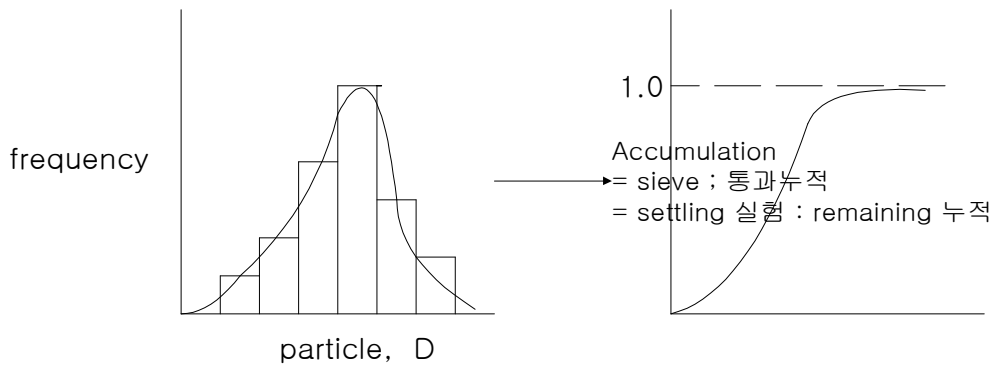
- i) 유입부, 유출부의 유체의 흔들림
- ii) short circuiting (단락류)
- iii) sludge 축적
- iv) 슬러지 제거장치에 의한 속도 경사

유입수가 (여러 크기의 입자) 탱크 전체에 걸쳐 골고루 들어 온다고 가정

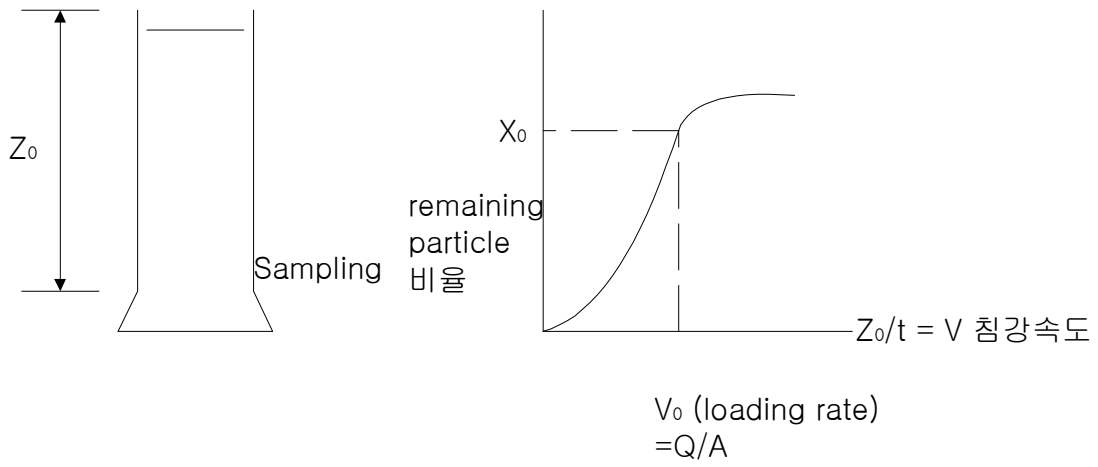
i) 침강속도 V_p 의 입자의 제거율 = $\frac{V_p}{V_c}$

ii) 주어진 overflow rate에서 V_c 보다 빨리 침강하는 입자는 완전히 제거

iii) 남아 있는 입자들은 $\frac{V_p}{V_c}$ 의 비율로 제거



<sttling test>



* 초기농도, C_0 에서의 침강관 실험
 침강깊이, Z_0

시간	농도	남아있는 fraction (χ)	입자의 침강속도 (v_i)
$t = 0$	C_0	$C_0/C_0 = 1$	관에 남아 있다면
$t = t_1$	C_1	C_1/C_0	$v_1 < z_0/t_1$
$t = t_2$	C_2	C_2/C_0	$v_2 < z_0/t_2$

→ 시간에 따른 'C'를 측정함으로써 v_i 對 χ 의 graph를 그릴 수 있다

example 4-2 settling column analysis of type-1 suspension
 column 깊이 = 2m

time (min)	0	60	80	100	130	200	240	420
농도 (mg/l)	300	189	180	168	156	111	78	27

i) loading rate $25 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$

↓

$$\begin{aligned} \text{일류율}(v_0) &= \frac{Q}{A} [\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}] \\ &= \frac{\text{깊이}}{\text{체류시간}} \end{aligned}$$

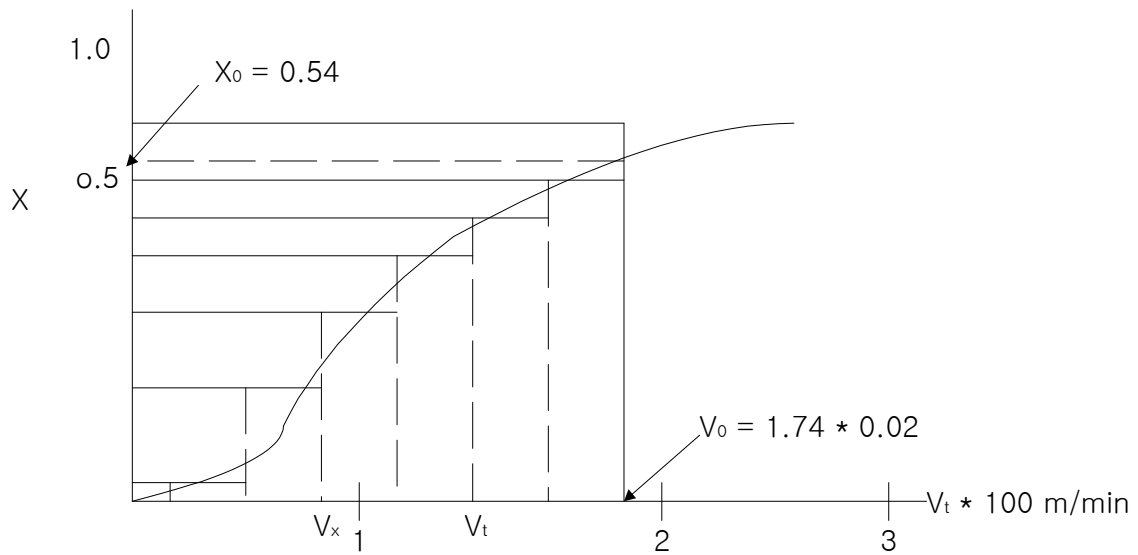
최소한 침전 시키기 원하는 입자의 침강속도

ii) theoretical removal rate 求

<sol>

①

time (min)	60	80	100	130	200	240	420
mass fraction remainig (χ)	$189/300 = 0.63$	$180/300 = 0.6$	0.56	0.52	0.37	0.26	0.09
$v_i \times 10^2$	2m/60min	2m/80min	2.0	1.55	1.0	0.83	0.48



② loading rate (v_0) = $25 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$
 $= 1.74 \times 10^{-2} \text{ m/min}$
 by graph $X_0 = 0.54$

$$\textcircled{3} X = (1 - X_0) + \int_0^{X_0} \frac{v_t}{v_0} dX$$

$$= (1 - X_0) + \frac{1}{v_0} \sum v_k \Delta X$$

ΔX (적당히 나눈다)	$v_x \times 10^2$ (graph에서 읽는다)	$\Delta X \cdot v_x \times 10^2$
0.06	1.5	0.09
0.06	1.22	0.07
0.1	1.00	0.10
0.1	0.85	0.09
0.1	0.70	0.07
0.06	0.48	0.03
0.06	0.16	0.01

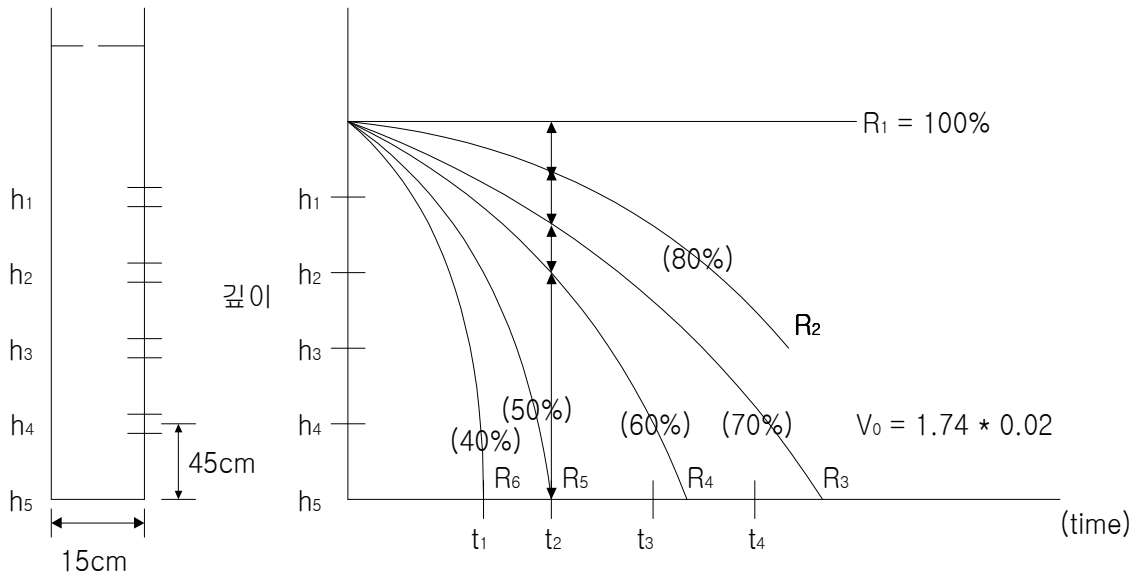
$$\sum \Delta X \cdot v_t = 0.46 \times 10^{-2}$$

$$X = (1 - 0.54) + \frac{0.46 \times 10^{-2}}{1.74 \times 10^{-2}}$$

$$= 0.46 + 0.26$$

$$= 72\%$$

② type - 2 setling ... flocculant의 침전곡선



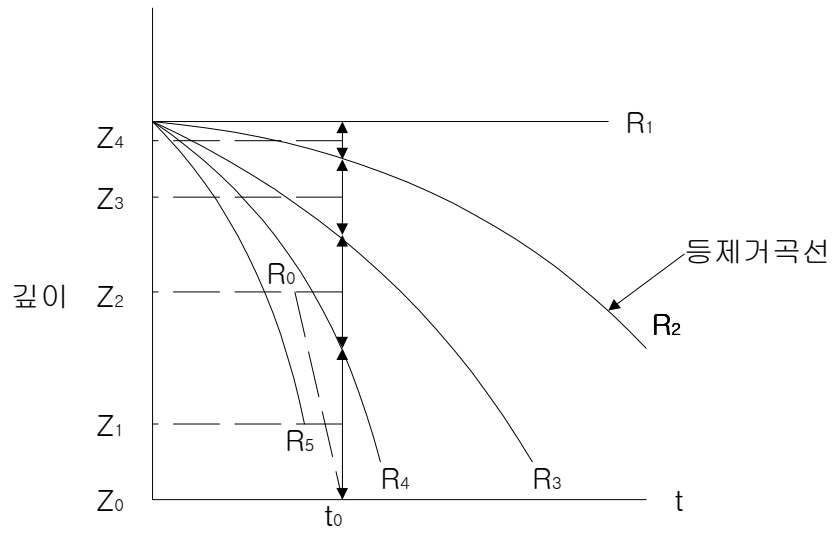
<isoremoval lined from setting analysis>

- i) 실험중 대류상태가 발생하지 않도록 온도 一定유지
- ii) 시간별 각 높이에서 sampling하여 부유물질 농도 측정
- iii) 제거율은 계산하여 깊이 vs time graph 化 → 등제거율 곡선

ex) 체류시간 t_x , 깊이 h_5 에서의 전체 고형물의 제거율

$$\begin{aligned}
 \text{제거율} &= \sum \frac{\Delta h_n}{h_5} \times \frac{R_n + R_{n+1}}{2} \\
 &= \frac{\Delta h_1}{h_5} \times \frac{R_1 + R_2}{2} + \frac{\Delta h_2}{h_5} \times \frac{R_2 + R_3}{2} + \frac{\Delta h_3}{h_5} \times \frac{R_3 + R_4}{2} + \frac{\Delta h_4}{h_5} \times \frac{R_4 + R_5}{2}
 \end{aligned}$$

ex2) isoremoval lime으로 부터의 다른 analysis



t_0, z_0 에서의 총 제거율 求

$$\text{총 제거율} = R_0 + \sum \frac{\Delta r_i z_i}{z_0}$$

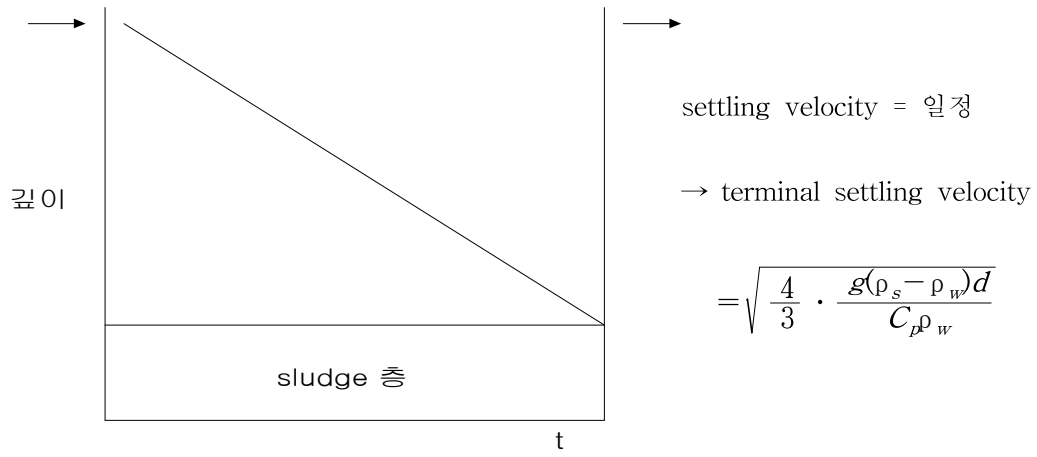
Δr_i : increment of removal
 z_i : depth to the midpoint of these Δr_i

완전히 제거되는
비율

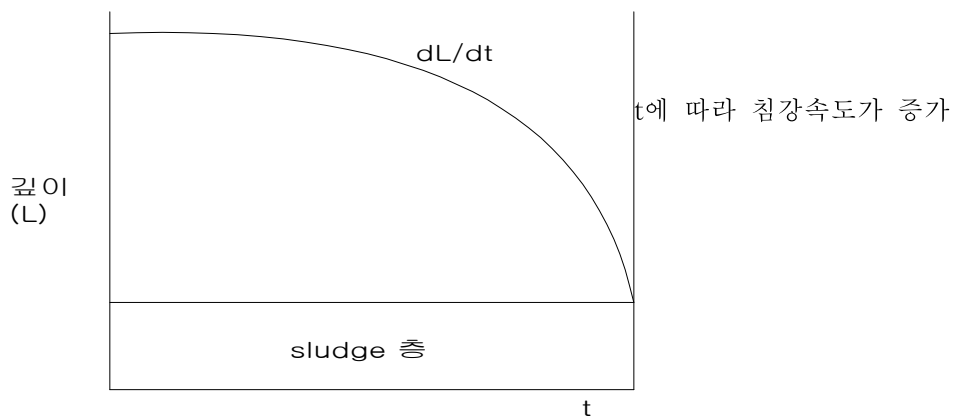
깊이에
따라 제거되는 비율

4 - 4 Solids separation

① type - 1 settling (= Discrete settling)



② flocculant settling (type - 2 settling)



③ Zone settling & compression settling

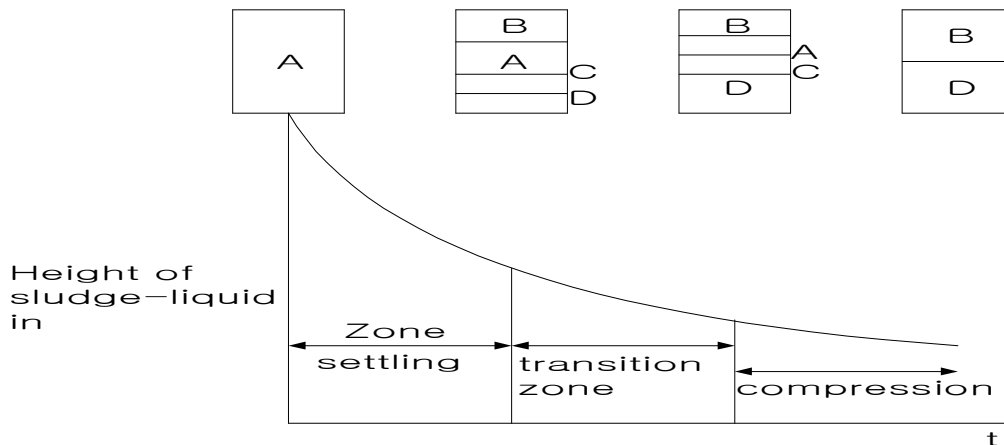


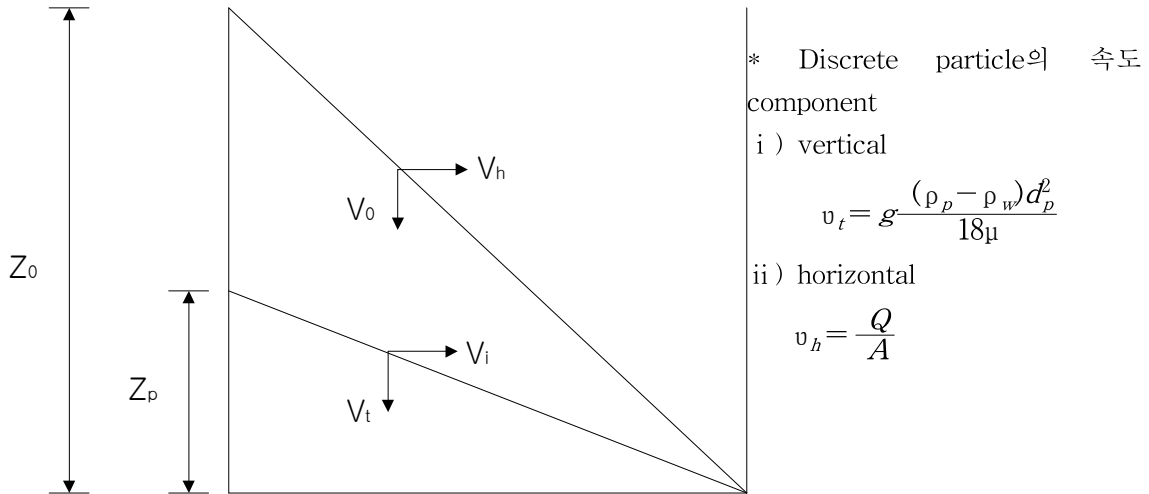
표 3.13 沈澱의 3型式과 그 特性 및 適用

沈澱 型式	特 性	適
單 獨 沈 澱	저농도 懸濁粒子的 沈澱 單獨粒子로서 沈澱하며, 이웃 粒子와의 干涉이 없음.	grit, 土砂등의 沈澱 沈砂池, 上水道등의 보통 침전지
凝 集 沈 澱	저농도 凝集性 粒子的 沈澱 沈澱하면서 凝集하여 沈降速度가 변함.	上水道, 기타의 약품 침전지 하수도의 최초 침전지, 최종 침전지
層 沈 澱	뚜렷한 경계면 형성 層을 이루어 沈澱	下水道 최종 침전지와 汚泥 沈積部
壓 密 沈 澱	汚泥 沈積層의 壓縮과 間降水의 上昇分離	下水道 최종침전지의 汚泥 沈積部

4 - 5 Settling operation

① Long-Rectangular basin

- i) inlet zone ~ baffle로 tank 内の 유입흐름을 horizontal & vertical하게 uniform
- ii) outlet zone ~ weir를 통하여 overflow 시킨다
- iii) sludge zone ~ scraper로 sludge 회수
- iv) settling zone



* retention time (t_0)

$$t_0 = \frac{V}{Q} = \frac{LZ_0W}{Q} \quad \text{----- ①} \quad \begin{array}{l} L : \text{length} \\ Z_0 : \text{depth} \\ W : \text{width} \end{array}$$

$$t_0 = \frac{Z_0}{v_0} = \frac{Z_p}{v_t} \quad \text{----- ②}$$

- i) v_0 보다 침강속도가 큰 입자는 모두 침전
- ii) v_0 보다 침강속도가 작은 입자는 $\frac{v_t}{v_0}$ 의 비율로 침전

iii) from ① ②

$$\frac{Z_0}{v_0} = \frac{LZ_0W}{Q}, \quad v_0 = \frac{Q}{LW} = \frac{Q}{A_s} \quad \text{tank surface Area}$$

overflow rate (g_0) [$\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$]

- discrete particle = 1.0 ~ 2.5 m/h
- flocculation suspension = 0.6 ~ 1.0 m/h

표 5-5 1차 침강 탱크 설계 지표

파라미터	값
	범위
체류 시간, h	1.5 ~ 2.5
일류 속도, $m^3/m^2 \cdot d$	
평균 유량	32 ~ 48
침두 유량	80 ~ 120
위어 부하, $m^3/m \cdot d$	125 ~ 500
치수, m	
장방형	
깊이	3 ~ 5
길이	15 ~ 90
폭*	3 ~ 24
슬러지 스크레이퍼 속도, m/min	0.6 ~ 1.2
원형	
깊이	3 ~ 5
지름	3.6 ~ 60
바닥 기울기, mm/m	60 ~ 160
슬러지 스크레이퍼 속도, r/min	0.02 ~ 0.05

* 기계적 슬러지 제거 장치에서는 폭이 6.0m이내인 베이(bay)로 나누어야 한다

자료 : Metcalf & Eddy, Inc. [5 - 36]

ex) 4.4 $Q = 15000 \text{ m}^3/\text{d}$

by flocculating particle의 column analysis

· overflow rate ($g_0 = v_0$) = 20 m/d

· depth for satisfactory removal = 3.5 m

→ settling tank size 求?

<sol>

i) two tank로 나눈다

$$Q = g_0 A \quad A_s = \frac{7500 \text{ m}^3/\text{d}}{20 \text{ m}/\text{d}} = 375 \text{ m}^2$$

ii) selecting, length : width = 3w : w

$$w \times 3w = 375 \text{ m}^2$$

$$\text{width} = 11.18 \approx 11 \text{ m} \quad \neg$$

$$\text{length} = 33.54 \approx 34 \text{ m} \quad | \times 2 \text{개}$$

$$\text{depth} = 3.5 \text{ m} \quad \neg$$

iii) check

$$\textcircled{1} \text{ retention time} = \frac{V}{Q} = \frac{(11 \text{ m})(35 \text{ m})(3.5 \text{ m})}{7500 \text{ m}^3/\text{d}} = 4.19 \text{ h}$$

$\textcircled{2}$ horizontal velocity

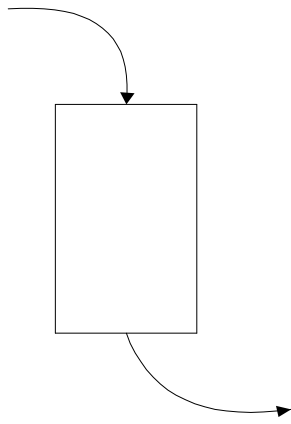
$$= \frac{Q}{A} = \frac{7500 \text{ m}^3/\text{d}}{(11 \text{ m})(3.5 \text{ m})} = 8.1 \text{ m/h}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{3} \text{ weir overflow rate} &= \frac{Q}{\text{weir length}} \\ &= \frac{7500 \text{ m}^3/\text{d}}{11 \text{ m}} \\ &= 28.4 \frac{\text{m}^3}{\text{h} \cdot \text{m}} \end{aligned}$$

* Solid - contact basin

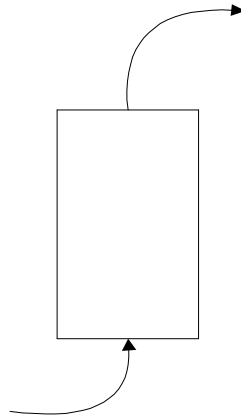
1 Type

down flow



ex) fixed bed

up flow



ex) expended bed
fludized bed

→ back wash가 必要 없다

2. Application : filtration

Activated carbon tower