

과제 #3 - Solutions

제출기한: 11/7 수업시간

*** 과제는 여러분들의 자가학습을 위한 것으로, 정답을 기준으로 채점하지 않고 본인이 직접 문제를 해결했는지 여부로 평가합니다. 문제풀이를 한 노력이 보이면 감점은 전혀 없습니다. 답안 작성을 하지 않았을 경우 해당 문제는 0점, 킨닝의 경우 과제#3에 대하여 수강생 최저점수의 80%를 부여합니다(최저점수가 0점일 경우는 0점).**

1. 문헌조사를 통해 전기 이중층(electrical double layer)에 대한 다음 물음에 답하십시오.

주: 아래 기입한 답안은 각 항목에 대하여 매우 간략한 설명을 기입한 것이며, 각자 과제를 통하여 전기 이중층의 이론에 대하여 보다 상세하게 공부하였기를 바랍니다.

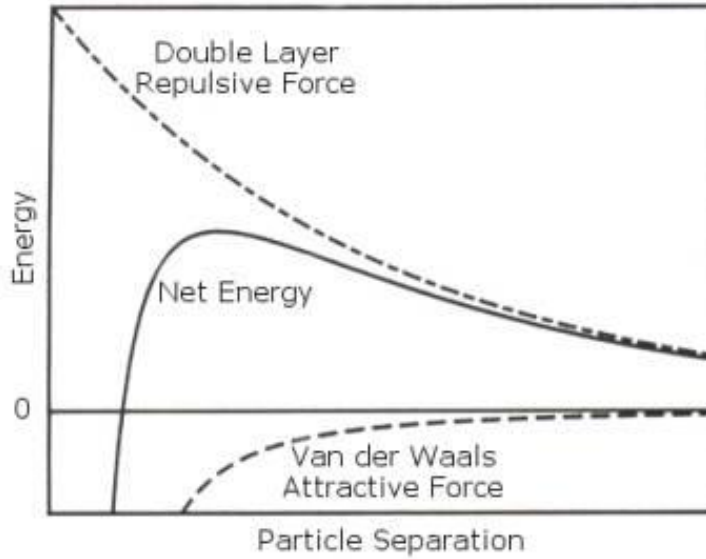
1) 입자상 물질이 존재하는 수용액에서 전하를 띤 입자와 용액 간 작용하는 힘에 대하여 설명하는 이론인 DLVO theory (Derjaguin-Landau-Verwey-Overbeek theory)에 대하여 서술하십시오. (10점)

답)

수용액 내에 전하를 띤 입자에서 입자가 갖는 반데르발스 인력과 입자 전하 및 그 전하와 반대의 전하를 갖는 이온이 형성하는 전기이중층에 의하여 발생하는 정전기적 척력의 합에 의한 에너지를 정량적으로 나타낸 이론임.

2) 음전하를 띤 입자들이 용액에 존재할 때 두 입자 간 i) 정전기적 척력, ii) 반데르발스 힘, iii) 두 힘의 합에 따른 에너지 분포를 입자의 표면에서부터 거리에 대하여 도시하십시오. (7점)

답)



3) 용액의 이온 강도에 따른 전기 이중층의 변화와 그에 따른 입자의 안정성 (stability)의 변화에 대하여 서술하시오. (8점)

답)

이온 강도가 세짐에 따라 전하를 띤 입자 표면에 모이는 반대 전하의 이온 수가 증가, 전기 이중층의 두께가 얇아지며, 이에 따라 입자-입자 간 접근 시 충돌이 발생하기 위해 극복해야 할 에너지 장벽이 낮아져 입자의 안정성이 저하(응집이 보다 용이하게 발생)

2. 어떤 물 시료를 채취하여 분석하였더니 pH가 6.8이었으며, 주요 이온의 농도는 다음과 같았다. 이 시료의 총 경도(total hardness)와 탄산경도(carbonate hardness)를 각각 mg/L as CaCO₃ 단위로 구하시오.

Ion	Ionic weight	Concentration (mg/L)	Ion	Ionic weight	Concentration (mg/L)
Na ⁺	23.0	28.1	Cl ⁻	35.5	8.5
K ⁺	39.1	5.6	HCO ₃ ⁻	61.0	153.1
Ca ²⁺	40.1	38.2	SO ₄ ²⁻	96.1	28.3
Mg ²⁺	24.3	6.5			

(15점)

답)

Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻의 세 이온에 대해서만 고려하면 된다. 아래 표와 같이 계산 가능하다.

Ion	Conc. (mg/L)	Ionic weight	Conc. (mM)	Conc. (meq/L)
Ca ²⁺	38.2	40.0	0.955	1.91
Mg ²⁺	6.5	24.3	0.267	0.535
HCO ₃ ⁻	153.1	61	2.510	2.51

pH=6.8에서 [H⁺] = 10^{-6.8} M, [OH⁻] = 10^{-7.2} M로 매우 미미하고, CO₃²⁻의 농도 또한 pK_{a2}=10.33임을 고려하면 HCO₃⁻에 비하여 매우 미미한 수준임. 따라서,

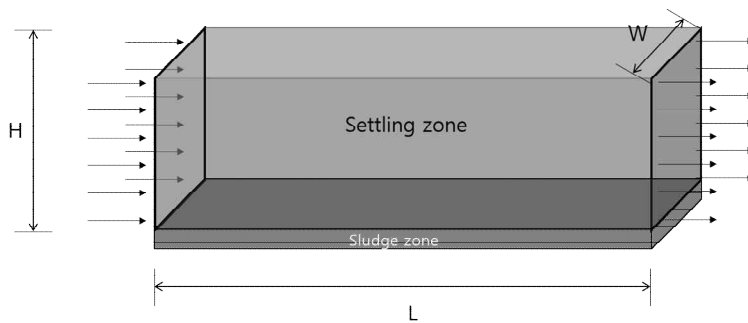
$$\text{Alkalinity} \approx (\text{HCO}_3^-) = 2.51 \text{ meq/L} = 126 \text{ mg/L as CaCO}_3$$

Total hardness < Alkalinity이므로, Carbonate hardness = Total hardness

$$\text{Carbonate hardness} = 122 \text{ mg/L as CaCO}_3$$

3. 다음과 같이 유입수 내 부유물질을 침전, 제거하는 침전조가 있다. 유량 3000 m³/d이 침전조 전면을 통하여 유입, 유출되고, 침전이 일어나는 setting zone의 크기는 길이(L) 50 m, 높이(H) 2 m, 너비(W) 2.5 m이다. 유입수의 부유물질 (suspended solids) 분석을 통하여 네 가지 입자 type에 대하여 아래 표와 같은 침강 속도(settling velocity)를 가지는 것으로 분석되었다. 이 때, 이 침전조의 전체 부유물질 제거효율(%)을 구하시오.

(20점)



<부유물질 침강속도 분석 결과>

입자 type	밀도, g/cm ³	평균입경, mm	침강속도, m/s	전체 부유물질에 대한 중량비, %
A	1.3	2.0	8.0×10^{-4}	20
B	1.3	0.5	3.0×10^{-4}	30
C	1.05	5.0	5.0×10^{-4}	30
D	1.05	1.0	1.0×10^{-4}	20

답)

이 침전조의 overflow rate을 구하면,

$$v_o = \frac{Q}{A_c} = \frac{3000 \text{ m}^3/\text{day}}{50 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}} = 24 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{day} = 2.78 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{s}$$

입자 A, B, C에 대하여서는 $v_s > v_o$ 이므로 100% 제거됨.

입자 D에 대하여서는

$$\frac{v_s}{v_o} = \frac{1.0 \times 10^{-4} \text{ m/s}}{2.78 \times 10^{-4} \text{ m/s}} \times 100 = 36.0\%$$

가 제거됨.

따라서, 전체 입자에 대한 제거효율은

$$20\% + 30\% + 30\% + 20\% \times 0.36 = 87.2\%$$

87.2% 제거.

4. 염소 소독을 실시하는 정수 과정에서 THMs, HAAs 등의 소독 부산물 (disinfection byproducts) 발생을 제어하는 방안에 대하여 기술하시오. (7점)

답)

- i) 수원 관리로 THMs, HAAs의 전구물질인 유기물질과 브롬 이온(Br⁻)의 유입을 최대한 억제
- ii) 처리공정에서 염소소독 이전 유기물질 등의 전구물질을 제거(GAC treatment, nanofiltration 등 이용)
- iii) 과도한 염소 투여 방지
- iv) 발생한 소독 부산물을 GAC treatment, 여과 등으로 제거

5. 본인이 거주하는 지역 또는 고향의 하수를 수집하여 처리하고 있는 시설의 명칭은 무엇인가? 그 시설은 어떠한 하수처리 단위공정이 어떠한 순서로 배치되어 있으며, 3차처리(고도처리)가 이루어지고 있는지 조사하여 기술하시오.

* 주의: 반드시 혼자서 조사하여 기술하기 바랍니다. (25점)

6. 부유상 성장공정인 i) trickling filter(살수여상법)과 ii) rotating biological contactor(회전 생물 접촉법)의 작동원리에 대하여 설명하시오. (8점)

답)

i) trickling filter

하수를 생물막(biofilm)이 형성된 쇄석이나 자갈 등 다공성(porous), 불활성(inert) 매질 위에 살수하면, 하수가 매질을 흘러내리면서 유기물질이 생물막에 부착한 후 분해되거나 흘러내리는 중에 분해되게 된다. 일반적으로 산소 공급을 원활하게 하기 위하여 하부에서 공기를 주입한다.

ii) rotating biological contactor

수평축을 중심으로 다수의 병렬로 배치된 원판을 40~50% 정도 하수 내에 잠기게 배치하고, 원판을 1~5회/분 정도로 회전시킨다. 원판에 형성된 생물막(biofilm)이 하수와 접촉할 때 유기물을 부착하고, 대기 중으로 나올 때 산소를 흡수하여 이를 통하여 부착한 유기물을 분해한다.

7. 1000 m³ 용량의 활성슬러지 공정 폭기조(activated sludge aeration tank)에 BOD₅가 200 mg/L인 유입수가 5000 m³/d의 유량으로 유입되고 있다. 미생물 성장과 관련된 다음의 계수를 이용하여 물음에 답하시오.

yield coefficient, $Y = 0.50 \text{ mg VSS/mg BOD}_5$

maximum specific growth rate, $\mu_m = 2.6 \text{ day}^{-1}$

half saturation constant, $K_s = 50 \text{ mg BOD}_5/L$

decay rate, $k_d = 0.06 \text{ day}^{-1}$

1) 이 공정의 유출수 BOD₅ 농도를 5 mg/L로 유지하기 위한 solids retention time 을 구하시오. (8점)

답)

$$S = \frac{K_s(1 + k_d\theta_c)}{\theta_c(\mu_m - k_d) - 1}$$

각 수치를 대입하면,

$$5 \text{ mg/L} = \frac{50 \text{ mg/L} \times (1 + 0.06 \text{ day}^{-1} \cdot \theta_c)}{\theta_c \times (2.6 - 0.06) \text{ day}^{-1} - 1}$$

$$\theta_c = 5.7 \text{ days}$$

2) 위에서 계산한 solids retention time을 이용하여 이 공정으로부터 슬러지로 배출되는 VSS 양을 kg/day 단위로 구하시오. (12점)

(Hint: $\theta_c = VX/Q_w X_r$ 활용)

답)

$$X = \frac{\theta_c Y(S_0 - S)}{t_0(1 + k_d\theta_c)}$$

$$t_0 = \frac{V}{Q} = \frac{1000 \text{ m}^3}{5000 \text{ m}^3/\text{day}} = 0.2 \text{ day}$$

$$X = \frac{5.7 \text{ days} \times 0.50 \times (200 - 5) \text{ mg/L}}{0.2 \text{ day} \times (1 + 0.06 \text{ day}^{-1} \times 5.7 \text{ days})} = 2070 \text{ mg VSS/L}$$

공정으로부터 배출되는 VSS 양은

$$Q_w X_r = \frac{VX}{\theta_c} = \frac{1000 \text{ m}^3 \times 2070 \text{ mg VSS/L} \times 10^3 \text{ L/m}^3}{5.7 \text{ days}} = 3.63 \times 10^8 \text{ mg VSS/day} = 363 \text{ kg/day}$$