

과제 #3

제출일: 11/16 수업시간

* 과제는 여러분들의 자가학습을 위한 것으로, ABEEK 관련 증빙을 위하여 선별된 6개를 제외하고는 채점하지 않을 계획입니다. 그러나 답안 작성과 킨닝 여부는 점검하니, 반드시 본인이 직접 풀기 바랍니다. 문제풀이를 한 노력이 보이면 감점은 전혀 없습니다. 답안 작성을 하지 않았을 경우 해당 문제는 0점, 킨닝하였을 경우 과제#3에 대하여 수강생 최저점수의 80%를 부여합니다.

- 어떤 강 A로 하수수집시설 B의 방류수가 유입되고 있다. 합류 후 강 A의 유속은 0.12 m/s 이고, 수심은 3.5 m 이다. 각각의 수량 및 수질에 대한 정보가 아래 표와 같고 BOD 제거에 대한 1차반응상수가 20°C 에서 0.20 day^{-1} 일 때, 다음 물음에 답하시오.

수량 및 수질 정보	강 A	하수수집시설 B
Flowrate (m^3/s)	1.05	0.15
Ultimate BOD (mg/L)	3.5	18
DO (mg/L)	6.4	1.5
Temperature	18	26

* 각 수온에서의 포화용존산소 (saturation DO) 농도

수온 ($^\circ\text{C}$)	포화 DO농도 (mg/L)	수온 ($^\circ\text{C}$)	포화 DO농도 (mg/L)
18	9.45	23	8.56
19	9.26	24	8.40
20	9.07	25	8.24
21	8.90	26	8.09
22	8.72		

- 강 A와 하수수집시설 B의 방류수가 합류하는 지점의 ultimate BOD와 oxygen deficit을 구하시오. (5점)
- 합류 후 수온에 대한 reaeration coefficient와 deoxygenation rate constant를 구하시오. (5점)
- 합류 후 하류 10 km 지점에서 DO를 구하시오. (10점)
- 합류 후 강 A에서 DO가 최소가 되는 지점과 이때의 DO를 구하시오. (10점)

2. [수질 및 수생태계 보전에 관한 법률]의 시행규칙에서 규정하는 53개 수질오염물질 중 세 가지를 골라 각각의 발생원과 하천으로 유입되는 경로에 대하여 간단히 서술하시오. (15점)

(Hint: 국가법령정보센터 <http://www.law.go.kr>에 접속하면 각 법률, 시행령, 시행규칙을 확인할 수 있음.)

3. 다음 물음에 간단히 답하시오.

- 1) 응집(coagulation-flocculation) 과정에서 발생하는 표면전하 역전(surface charge reversal) 현상에 대하여 간단히 설명하시오. (8점)
- 2) 다이옥신(polychlorinated dibenzo-p-dioxins; PCDDs)의 발생원을 조사하여 세 가지 이상 제시하시오. (8점)
- 3) 염소 소독을 실시하는 정수 과정에서 THMs, HAAs 등의 소독 부산물(disinfection byproducts)을 제어하는 방안에 대하여 기술하시오. (9점)

4. 지난 중간고사의 3번 문항(solution eTL에 업로드)에서는 석회석과 평형을 이루고 있는 pH=8.0, Ca^{2+} 농도 80 mg/L인 지하수의 알칼리도를 구한 바 있다. 지하수에 Ca^{2+} 를 제외한 2가 이상의 양이온이 존재하지 않는다고 가정하고 다음 물음에 답하시오.

- 1) 이 지하수의 총 경도(Total Hardness)와 탄산 경도(Carbonate Hardness)를 mg/L as CaCO_3 단위로 구하시오. (10점)
- 2) 이 지하수에 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 첨가, pH를 10.3까지 높여 총 경도를 제거하고자 한다. $\text{Na}_2(\text{HCO}_3)_2$ 를 첨가하여 CaCO_3 침전에 의한 용액 내 CO_3^{2-} 이온의 제거에도 불구하고, 용액의 $C_T(=[\text{H}_2\text{CO}_3^*]+[\text{HCO}_3^-]+[\text{CO}_3^{2-}])$ 값이 일정하게 되도록 유지시켰다고 할 때, CaCO_3 침전 반응에 의하여 pH=10.3에서 경도는 얼마나 낮아지는가? 다음 반응을 참조하시오.



(20점)

과제 #3 - Solutions

제출일: 11/16 수업시간

* 과제는 여러분들의 자가학습을 위한 것으로, ABEEK 관련 증빙을 위하여 선별된 6개를 제외하고는 채점하지 않을 계획입니다. 그러나 답안 작성과 킨닝 여부는 점검하니, 반드시 본인이 직접 풀기 바랍니다. 문제풀이를 한 노력이 보이면 감점은 전혀 없습니다. 답안 작성을 하지 않았을 경우 해당 문제는 0점, 킨닝하였을 경우 과제#3에 대하여 수강생 최저점수의 80%를 부여합니다.

1. 어떤 강 A로 하수수집시설 B의 방류수가 유입되고 있다. 합류 후 강 A의 유속은 0.12 m/s이고, 수심은 3.5 m이다. 각각의 수량 및 수질에 대한 정보가 아래 표와 같고 BOD 제거에 대한 1차반응상수가 20°C에서 0.20 day⁻¹일 때, 다음 물음에 답하시오.

수량 및 수질 정보	강 A	하수수집시설 B
Flowrate (m ³ /s)	1.05	0.15
Ultimate BOD (mg/L)	3.5	18
DO (mg/L)	6.4	1.5
Temperature	18	26

* 각 수온에서의 포화용존산소 (saturation DO) 농도

수온 (°C)	포화 DO농도 (mg/L)	수온 (°C)	포화 DO농도 (mg/L)
18	9.45	23	8.56
19	9.26	24	8.40
20	9.07	25	8.24
21	8.90	26	8.09
22	8.72		

- 1) 강 A와 하수수집시설 B의 방류수가 합류하는 지점의 ultimate BOD와 oxygen deficit을 구하시오. (5점)

답)

$$L_a = \frac{Q_w L_w + Q_r L_r}{Q_w + Q_r} = \frac{0.15 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 18 \text{ mg/L} + 1.05 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 3.5 \text{ mg/L}}{(0.15 + 1.05) \text{ m}^3/\text{s}} = 5.31 \text{ mg/L}$$

$$DO_a = \frac{Q_w DO_w + Q_r DO_r}{Q_w + Q_r} = \frac{0.15 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1.5 \text{ mg/L} + 1.05 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 6.4 \text{ mg/L}}{(0.15 + 1.05) \text{ m}^3/\text{s}} = 5.79 \text{ mg/L}$$

$$T_a = \frac{Q_w T_w + Q_r T_r}{Q_w + Q_r} = \frac{0.15 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 299 \text{ K} + 1.05 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 291 \text{ K}}{(0.15 + 1.05) \text{ m}^3/\text{s}} = 292 \text{ K} = 19^\circ \text{C}$$

$$D_a = DO_s - DO_a = 9.26 \text{ mg/L} - 5.79 \text{ mg/L} = 3.47 \text{ mg/L}$$

2) 합류 후 수온에 대한 reaeration coefficient와 deoxygenation rate constant를 구하시오. (5점)

답)

$$k_{r,20} = 3.9 \frac{u^{1/2}}{h^{3/2}} = 3.9 \cdot \frac{(0.12 \text{ m/s})^{1/2}}{(3.5 \text{ m})^{3/2}} = 0.206 \text{ day}^{-1}$$

$$k_{r,19} = k_{r,20} \theta^{19-20} = 0.206 \text{ day}^{-1} \cdot 1.024^{19-20} = 0.20 \text{ day}^{-1}$$

$$k_{d,19} = k_{d,20} \theta^{19-20} = 0.20 \text{ day}^{-1} \cdot 1.135^{19-20} = 0.18 \text{ day}^{-1}$$

3) 합류 후 하류 10 km 지점에서 DO를 구하시오. (10점)

답)

$$t = \frac{10000 \text{ m}}{0.12 \text{ m/s} \cdot 86400 \text{ s/day}} = 0.96 \text{ day}$$

$$D_t = \frac{k_d L_a}{k_r - k_d} (e^{-k_d t} - e^{-k_r t}) + D_a (e^{-k_r t})$$

$$= \frac{0.18 \text{ day}^{-1} \cdot 5.31 \text{ mg/L}}{(0.20 - 0.18) \text{ day}^{-1}} \{ \exp(-0.18 \text{ day}^{-1} \cdot 0.96 \text{ day}) - \exp(-0.20 \text{ day}^{-1} \cdot 0.96 \text{ day}) \}$$

$$+ 3.47 \text{ mg/L} \cdot \exp(-0.20 \text{ day}^{-1} \cdot 0.96 \text{ day})$$

$$= 3.63 \text{ mg/L}$$

$$DO_t = DO_s - D_t = 9.26 \text{ mg/L} - 3.72 \text{ mg/L} = 5.63 \text{ mg/L}$$

4) 합류 후 강 A에서 DO가 최소가 되는 지점과 이때의 DO를 구하시오. (10점)

답)

$$\begin{aligned}
 t_c &= \frac{1}{k_r - k_d} \ln \left[\frac{k_r}{k_d} \left(1 - D_a \frac{k_r - k_d}{k_d L_a} \right) \right] \\
 &= \frac{1}{(0.20 - 0.18) \text{ day}^{-1}} \ln \left[\frac{0.20 \text{ day}^{-1}}{0.18 \text{ day}^{-1}} \left(1 - 3.47 \text{ mg/L} \frac{(0.20 - 0.18) \text{ day}^{-1}}{0.18 \text{ day}^{-1} \cdot 5.31 \text{ mg/L}} \right) \right] \\
 &= 1.50 \text{ day}
 \end{aligned}$$

$$L_c = u \cdot t_c = 0.12 \text{ m/s} \cdot 1.50 \text{ day} \cdot 86400 \text{ s/day} = 1.55 \times 10^4 \text{ m} = 15.5 \text{ km}$$

$$\begin{aligned}
 D_c &= \frac{k_d L_a}{k_r - k_d} (e^{-k_d t_c} - e^{-k_r t_c}) + D_a (e^{-k_r t_c}) \\
 &= \frac{0.18 \text{ day}^{-1} \cdot 5.31 \text{ mg/L}}{(0.20 - 0.18) \text{ day}^{-1}} \{ \exp(-0.18 \text{ day}^{-1} \cdot 1.50 \text{ day}) - \exp(-0.20 \text{ day}^{-1} \cdot 1.50 \text{ day}) \} \\
 &\quad + 3.47 \text{ mg/L} \cdot \exp(-0.20 \text{ day}^{-1} \cdot 1.50 \text{ day}) \\
 &= 3.65 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$DO_c = DO_s - D_c = 9.26 \text{ mg/L} - 3.65 \text{ mg/L} = 5.61 \text{ mg/L}$$

2. [수질 및 수생태계 보전에 관한 법률]의 시행규칙에서 규정하는 53개 수질오염물질 중 세 가지를 골라 각각의 발생원과 하천으로 유입되는 경로에 대하여 간단히 서술하시오. (15점)

(Hint: 국가법령정보센터 <http://www.law.go.kr>에 접속하면 각 법률, 시행령, 시행규칙을 확인할 수 있음.)

3. 다음 물음에 간단히 답하시오.

- 1) 응집(coagulation-flocculation) 과정에서 발생하는 표면전하 역전(surface charge reversal) 현상에 대하여 간단히 설명하시오. (8점)

답)

응집 과정에서 (-)로 하전된 콜로이드를 응집하기 위한 양이온성 응집제를 과다투여하면 표면 전하가 (+)로 역전되어 오히려 응집이 발생하지 못하고 콜로이드가 재안정화되는 현상이 발생하며, 이를 표면전하 역전이라 함.

- 2) 다이옥신(polychlorinated dibenzo-p-dioxins; PCDDs)의 발생원을 조사하여 세 가지 이상 제시하시오. (8점)

답)

- i) 소각장에서의 폐기물 소각
- ii) 산불, 가정소각 등 제어되지 않은 상태에서 폐기물 소각
- iii) 제련 공정
- iv) 염소계 농약 등 화합물 제조공정
- v) 표백제를 사용하는 펄프, 제지 공정

...

- 3) 염소 소독을 실시하는 정수 과정에서 THMs, HAAs 등의 소독 부산물(disinfection byproducts)을 제어하는 방안에 대하여 기술하시오. (9점)

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) 과다한 염소 투여 방지
- iv) 발생한 소독 부산물을 GAC treatment, 여과 등으로 제거

4. 지난 중간고사의 3번 문항(solution eTL에 업로드)에서는 석회석과 평형을 이루고 있는 pH=8.0, Ca^{2+} 농도 80 mg/L인 지하수의 알칼리도를 구한 바 있다. 지하수에 Ca^{2+} 를 제외한 2가 이상의 양이온이 존재하지 않는다고 가정하고 다음 물음에 답하시오.

- 1) 이 지하수의 총 경도(Total Hardness)와 탄산 경도(Carbonate Hardness)를 mg/L as CaCO_3 단위로 구하시오. (10점)

답)

$$TH = (\text{Ca}^{2+}) = 2 \text{ eq/mole} \times (2.00 \times 10^{-3} \text{ mole/L}) = 4.00 \times 10^{-3} \text{ eq/L}$$

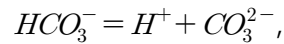
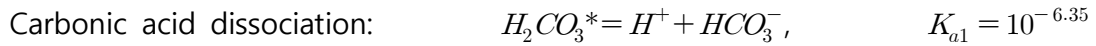
$$TH = 4.00 \times 10^{-3} \text{ eq/L} \times (50 \times 10^3 \text{ mg/eq}) = 200 \text{ mg/L as } \text{CaCO}_3$$

Solution에 주어진 대로 $Alk = 24.8 \text{ mg/L as } \text{CaCO}_3$

TH > Alk이므로,

$$CH = 24.8 \text{ mg/L as } \text{CaCO}_3$$

- 2) 이 지하수에 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 첨가, pH를 10.3까지 높여 총 경도를 제거하고자 한다. $\text{Na}_2(\text{HCO}_3)_2$ 를 첨가하여 CaCO_3 침전에 의한 용액 내 CO_3^{2-} 이온의 제거에도 불구하고, 용액의 $C_T(=[\text{H}_2\text{CO}_3^*]+[\text{HCO}_3^-]+[\text{CO}_3^{2-}])$ 값이 일정하게 되도록 유지시켰다고 할 때, CaCO_3 침전 반응에 의하여 pH=10.3에서 경도는 얼마나 낮아지는가? 다음 반응을 참조하시오.



$$K_{a2} = 10^{-10.33}$$

(20점)

답)

먼저 pH=8.0일 때 C_T 를 구하여야 한다.

$$K_{a1} = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3^*]}$$

$$[\text{H}_2\text{CO}_3^*] = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{K_{a1}} = \frac{10^{-8.0} \text{ M} \cdot 4.90 \times 10^{-4} \text{ M}}{10^{-6.35}} = 1.10 \times 10^{-5} \text{ M}$$

$$C_T = [\text{H}_2\text{CO}_3^*] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] = 1.10 \times 10^{-5} + 4.90 \times 10^{-4} + 2.29 \times 10^{-6} = 5.03 \times 10^{-4} \text{ M}$$

Carbonate system에서

$$[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{K_{a1}K_{a2}}{[\text{H}^+]^2} [\text{H}_2\text{CO}_3^*] = \frac{K_{a1}K_{a2}}{[\text{H}^+]^2} \cdot C_T \cdot \left(1 + \frac{K_{a1}}{[\text{H}^+]} + \frac{K_{a1}K_{a2}}{[\text{H}^+]^2}\right)^{-1}$$

$$= C_T \cdot \left(1 + \frac{[\text{H}^+]}{K_{a2}} + \frac{[\text{H}^+]^2}{K_{a1}K_{a2}}\right)^{-1}$$

따라서, pH=10.3일 때의 CO_3^{2-} 농도는

$$[\text{CO}_3^{2-}] = 5.03 \times 10^{-4} \text{ M} \cdot \left(1 + \frac{10^{-10.3}}{10^{-10.33}} + \frac{(10^{-10.3})^2}{10^{-6.35} \cdot 10^{-10.33}}\right)^{-1} = 2.43 \times 10^{-4} \text{ M}$$

$$K_s = [\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}]$$

$$[Ca^{2+}] = \frac{K_s}{[CO_3^{2-}]} = \frac{10^{-8.4}}{2.43 \times 10^{-4}} = 1.64 \times 10^{-5} M$$

$$TH = (Ca^{2+}) = 2 \text{ eq/mole} \times (1.64 \times 10^{-5} \text{ mole/L}) = 3.28 \times 10^{-5} \text{ eq/L}$$

$$TH = 3.28 \times 10^{-5} \text{ eq/L} \times (50 \times 10^3 \text{ mg/eq}) = 1.64 \text{ mg/L as } CaCO_3$$