

Seoul National University

M1586.001500

Water Pollution Control

MIDTERM EXAMINATION - SOLUTIONS

TIME ALLOWED: 75 MINUTES

April 23, 2018

-
1. 앞뒷면 모두를 사용하여 A4 용지 한 장에 필요한 내용을 적어 시험에 사용할 수 있습니다. 다만, 컴퓨터로 출력하거나 복사한 것은 불가합니다.
 2. 계산기를 사용하되, 수업과 관련된 공식이 내장되어 있으면 안됩니다.
 3. 부정행위는 절대 용납하지 않습니다.
 4. 해당사항이 있을 경우, 꼭 단위를 기입하고, 정확한 단위를 사용하십시오. 답은 논리적이고 이해하기 쉽게 기재하십시오.
 5. 풀이과정을 반드시 보이십시오. 풀이과정을 명확히 확인할 수 없는 오답에는 부분 점수를 부여하지 않습니다. 풀이를 위하여 세운 가정이 있으면 그 가정을 반드시 검증하기 바랍니다. 검증 과정을 생략하면 감점을 부여합니다.
 6. 본 시험은 5 문항으로 구성되어 있으며, 총점은 100점입니다.

1. 다음 명제에 대하여 맞고 틀림을 O/X로 표기하시오(각 2점).

1) 일반적으로 물질의 분자 크기가 클수록, 극성이 작을수록 물에 대한 용해도가 낮다.

Answer) O

2) 증류수에 0.1 mole NH_4Cl 을 녹여 1.0 L로 만든 용액의 질소 농도는 1.8 g-N/L이다.

Answer) X

3) Sodium adsorption ratio(SAR)이 높은 물을 관개용수로 사용하면 토양의 투수성 증가로 인한 수분 손실로 작물 생산량의 감소가 우려된다.

Answer) X

4) 에탄올($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)의 COD/TOC 비는 에탄(C_2H_6)의 COD/TOC 비보다 낮다.

Answer) O

5) 순수한 물에 Na_2HPO_4 10^{-3} M을 녹인 용액의 pH는 7.0보다 높다.

Answer) O

6) 박테리아의 plasmid는 유전정보를 보유하고 있으나 그 정보가 단백질 합성에 이용되지는 않는다.

Answer) X

7) *Cryptosporidium parvum*의 성체는 소독에 대한 저항성이 매우 높아 상수원에 증식 시 수돗물의 건강성을 크게 위협하는 요인이 된다.

Answer) X

8) 어떤 물질의 분해반응이 그 물질의 농도에 대한 2차반응이면, 동일한 수리학적체류시간(hydraulic retention time; HRT)을 지나는 반응조에 대하여 그 물질의 처리효율은 CSTR(continuously stirred tank reactor)보다 PFR(plug flow reactor)에서 더 높다.

Answer) O

9) 일반적으로 하수처리장 유입수량 일변화에 대한 peaking factor(PF_{day})는 하수 수집구역이 넓어질수록 줄어든다.

Answer) O

10) Pneumatic mixing은 질소 제거를 목적으로 하는 하수처리의 2차처리(secondary treatment) 공정 중 Anoxic tank(무산소조)의 교반에 일반적으로 사용되는 방법이다.

Answer) X

2. 다음 물음에 답하시오.

1) 수질인자인 TDS(Total Dissolved Solids)의 측정 시 물 샘플을 채취, 여과 후 건조하여 중량을 측정하는 방식 대신 Electrical Conductivity(EC)를 측정 후 변환하는 방법으로 대체했을 때의 장단점에 대하여 서술하시오. (5점)

Answer)

장점: real-time, on-line 분석이 가능, 따라서 모니터링의 자동화 및 실시간 대응 가능

단점: EC와 TDS의 변환계수는 이온 조성에 따라 달라지므로 EC를 통하여 TDS를 추정하는 데에는 오차가 있음

2) 킬달(Kjeldahl) 법에 의하여 물 속의 유기질소(organic-N) 농도를 측정하는 방법을 간략히 설명하시오. (4점)

Answer)

우선 물 시료를 가열하여 암모니아성 질소($\text{NH}_4\text{-N}$)를 NH_3 로 배출하고, 산 주입 후 가열하여 유기질소를 암모니아성 질소로 변환한 후 발색법 등으로 측정

3) *Nitrobacter*는 산소를 electron acceptor로 사용하여 아질산(nitrite; NO_2^-)을 질산(nitrate; NO_3^-)으로 산화시킴으로써 에너지를 얻는 박테리아로, 이산화탄소를 탄소원으로 사용한다. 이 박테리아를 탄소원(heterotroph/autotroph), 에너지원(phototroph/chemotroph), 산소 존재에 따른 생장 및 생존여부(aerobe/anaerobe)에 따라 각각 분류하시오. (4점)

Answer)

autotroph, chemotroph, aerobe

- 4) 방글라데시에서 El Tor 유형의 콜레라균(*Vibrio cholerae*)에 의한 콜레라 유행이 집중강우 후기(post-monsoon)인 10월~12월 사이에 주로 발생하게 되는 원인을 설명하시오. (8점)

Answer)

집중강우 시기에 질소 비료가 표면유출에 의해 하천으로 대량 유출되고, 그 이후 시기에 태양광에 의해 조류의 과다증식이 발생하면, 조류에 부착하여 El Tor 유형의 콜레라균이 대량 번식함. 조류를 먹이로 소형 갑각류인 copepod가 대량 증식하고, 이 콜레라균은 copepod가 보유한 키틴(chitin)을 영양분으로 하여 보다 대량 번식함. 하천수에 충분한 콜레라균 개체수가 확보되면 이 물을 사용하는 주민에게 콜레라가 발생하게 되며, 이후 현 지인 수상가옥의 생활습관(수상 화장실 등) 등으로 인해 교차감염이 활발히 일어나 콜레라 유행.

- 5) In-line 방식과 off-line 방식 유량조정(flow equalization)의 장점을 각각 제시하시오. (4점)

Answer)

In-line: 유량조정 뿐 아니라 하수농도의 균일화 또한 어느 정도 달성 가능함

Off-line: 상대적으로 작은 유량조정조 및 펌프 용량 사용이 가능함

- 6) 1995년 합류식 관거가 설치된 어떤 지역에 계획목표년도를 20년으로 하고, 계획인구수를 연평균 인구증가율 1.5%를 적용하여 예측한 후 이에 맞춰 하수처리장 용량을 결정하고, 합류식관거 월류위어¹를 설계하였다. 이 지역의 도시개발이 예상보다 활발하게 이루어져 1995-2015년 기간 동안 연평균 인구증가율이 5.0%에 달하였다고 할 때, 발생 가능한 문제점을 지적하시오. (5점)

¹합류식관거 월류위어: 합류식 관거에서 하수+우수가 하수처리장의 용량을 초과할 시 초과량(즉, CSO - combined sewer overflow)을 하천에 방류하는 시설

Answer)

강우 시 CSO의 과다발생으로 과량의 오염물질이 자연수계로 유출됨. 설계유량보다 실제 유량이 상당한 수준으로 높은 경우 미강우시에도 CSO가 발생하여 희석되지 않은 하수가

그대로 자연수계로 방류될 우려 있음(즉, CSO의 상시 방류 - 이를 permanent CSO라 함)

3. 대기 중 CO_2 분압을 $10^{-3.5}$ atm으로 가정하였을 때, 이와 평형을 이루는 빗물의 pH는 약 5.65이다. 그러나 산업활동에 의한 이산화탄소 배출로 인하여 대기 중 CO_2 분압은 계속 증가하고 있다. 한 예측 시나리오에서는 2100년 대기 중 CO_2 분압이 $10^{-3.0}$ atm까지 증가할 것으로 추정하였다. 이 시나리오에 따르면, 2100년에 대기과 평형을 이루는 빗물의 pH는 얼마이겠는가? 온도를 25°C 로 가능하고, 수학적 계산법을 이용하시오. (H_2CO_3 $\text{pK}_{a1} = 6.3$, $\text{pK}_{a2} = 10.3$, CO_2 용해에 대한 헨리상수 $K_H = 10^{-1.5}$ M/atm) (20점)

Answer)

Henry의 법칙:

$$P_{\text{CO}_2} = 10^{-3.0} \text{ atm}$$

$$[\text{H}_2\text{CO}_3^*] = K_H P_{\text{CO}_2} = 10^{-1.5} \text{ M/atm} \cdot 10^{-3.0} \text{ atm} = 10^{-4.5} \text{ M}$$

물의 이온화 상수:

$$K_w = 10^{-14} = [\text{H}^+][\text{OH}^-]$$

산의 해리상수:

$$K_{a1} = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{H}^+]}{[\text{H}_2\text{CO}_3^*]}, \quad K_{a2} = \frac{[\text{CO}_3^{2-}][\text{H}^+]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

$$\text{Charge balance: } [\text{H}^+] = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-]$$

2010년의 빗물은 대기 중 CO_2 분압 증가에 따라 더 많은 H_2CO_3^* (약산)이 빗물에 녹아들어 pH가 5.6 이하일 것으로 예상되므로,

$$[\text{HCO}_3^-] \gg [\text{CO}_3^{2-}] \quad (\text{pH} < \text{pK}_{a1} \text{ 에 따라})$$

$$[\text{H}^+] \gg [\text{OH}^-]$$

따라서 charge balance로부터 다음 식이 성립함을 가정 가능:

$$[\text{H}^+] = [\text{HCO}_3^-]$$

$$K_{a1} = \frac{[HCO_3^-][H^+]}{[H_2CO_3^*]} \text{로부터}$$

$$K_{a1} = 10^{-6.3} = \frac{[H^+]^2}{10^{-4.5} M}$$

$$[H^+] = 3.98 \times 10^{-6} M$$

$$[OH^-] = \frac{K_w}{[H^+]} = \frac{10^{-14}}{3.98 \times 10^{-6} M} = 2.51 \times 10^{-9} M \ll [H^+] \text{ (가정 성립)}$$

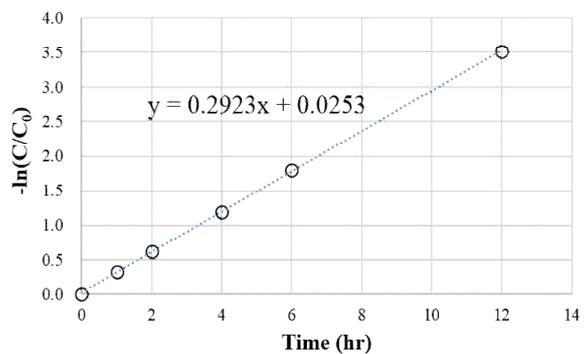
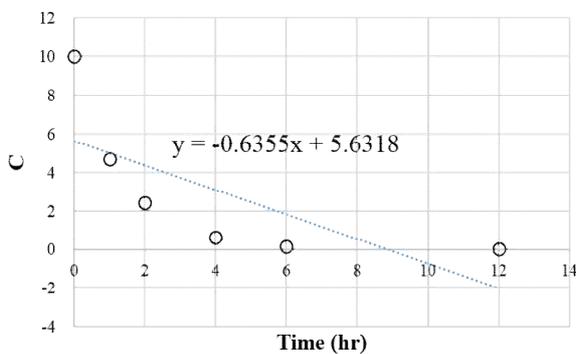
$$K_{a2} = 10^{-10.3} = \frac{[CO_3^{2-}][H^+]}{[HCO_3^-]} \text{로부터}$$

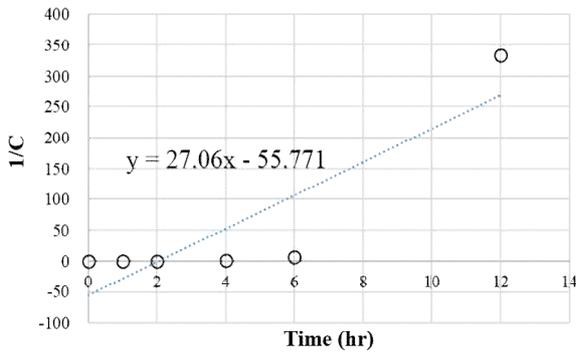
$$[CO_3^{2-}] = \frac{K_{a2}[HCO_3^-]}{[H^+]} = 10^{-10.3} M \ll [HCO_3^-] \text{ (가정 성립)}$$

따라서, $pH = -\log(3.98 \times 10^{-6}) = 5.40$

CO₂ 분압 증가에 따라 빗물의 pH가 5.65에서 5.40으로 0.25만큼 내려감을 확인할 수 있음

4. Batch reactor에서 어떤 물질 A의 시간에 따른 분해양상을 관찰하여 다음의 세 그래프를 얻었다(C: 농도, C₀: 초기농도, 단위: mg/L). 그래프에 표기된 수식은 직선 회귀식을 의미한다. 이 때, 다음 물음에 답하시오.





- 1) 이 분해반응의 차수는 어떻게 판단되는가? 분해반응 상수는 얼마인가? (단위 포함) (5점)

Answer)

시간과 $-\ln(C/C_0)$ 의 관계가 선형에 가장 가까우므로 1차반응으로 판단됨. t vs. $-\ln(C/C_0)$ 의 직선회귀식의 기울기가 1차반응상수임. 따라서,

$$k = 0.292 \text{ hr}^{-1}$$

- 2) 어떤 공장에서 물질 A가 함유된 폐수가 $20 \text{ m}^3/\text{hr}$ 의 유량으로 발생하고 있다. 이 폐수에 대하여 물질 A의 제거효율 90%를 달성하기 위한 PFR 형태와 steady-state CSTR 형태 반응조의 부피를 각각 구하시오. (10점)

Answer)

PFR:

$$\frac{C_e}{C_0} = e^{-k\tau}$$

$$\tau = \frac{V}{Q} = -\frac{1}{k} \ln \frac{C_e}{C_0}$$

$$V = -\frac{Q}{k} \ln \frac{C_e}{C_0} = -\frac{20 \text{ m}^3/\text{hr}}{0.292 \text{ hr}^{-1}} \ln 0.1 = 158 \text{ m}^3$$

CSTR:

$$\frac{C_e}{C_0} = \frac{1}{1+k\tau}$$

$$\tau = \frac{V}{Q} = \frac{1}{k} \left(\frac{C_0}{C_e} - 1 \right)$$

$$V = \frac{Q}{k} \left(\frac{C_0}{C_e} - 1 \right) = \frac{20 \text{ m}^3/\text{hr}}{0.292 \text{ hr}^{-1}} (10 - 1) = 616 \text{ m}^3$$

5. 어떤 폐수에 밀도 2000 kg/m^3 , 크기 $50 \text{ }\mu\text{m}$ 의 구형 입자들이 부유해 있다. 유량 $10 \text{ m}^3/\text{hr}$ 으로 발생하는 이 폐수로부터 입자를 제거하기 위한 침전조를 설계하고자 한다. Class I settling(discrete particle settling)을 가정하여 다음 물음에 답하시오.

1) 이 입자의 terminal setting velocity를 구하시오. 단, 20°C 에서 물의 밀도 998 kg/m^3 , 점성계수(viscosity) $1.00 \times 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$ 를 사용하시오. (8점)

Answer)

Laminar region을 가정하여 Stoke's law를 적용하면,

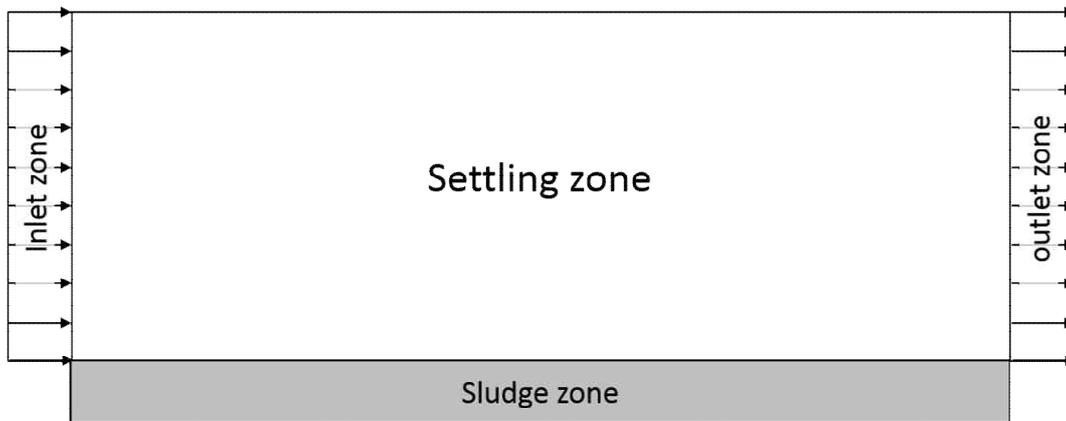
$$v_{p(t)} = \frac{g(\rho_p - \rho_w)d_p^2}{18\mu} = \frac{9.81 \text{ m}^2/\text{s} \cdot (2000 - 998) \text{ kg/m}^3 \cdot (5 \times 10^{-5} \text{ m})^2}{18 \cdot (1.00 \times 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{s/m}^2)} = 1.37 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

Reynolds number를 구해보면,

$$N_R = \frac{v_p d_p \rho_w}{\mu} = \frac{(1.37 \times 10^{-3} \text{ m/s}) \cdot (5 \times 10^{-5} \text{ m}) \cdot (998 \text{ kg/m}^3)}{1.00 \times 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{s/m}^2} = 0.068 \ll 1 \text{ (가정 확인)}$$

2) 다음 그림과 같은 단순한 장방형(rectangular)의 침전조를 사용하여 입자 제거효율 90% 이상을 달성하고자 한다. 침전조의 너비를 2 m로 한다면 길이는 얼마 이상이어야 하는가? (7점)

<Side view>



Answer)

$$\frac{v_p(t)}{v_o} \geq 0.9$$

$$v_o = \frac{Q}{WL} \leq \frac{v_p(t)}{0.9}$$

$$L \geq \frac{0.9Q}{W} \cdot \frac{1}{v_p(t)} = \frac{0.9 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{hr}}{2 \text{ m}} \cdot \frac{1}{1.37 \times 10^{-3} \text{ m/s}} \cdot \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ s}} = 91.2 \text{ m}$$