

Seoul National University

M1586.001500

Water Pollution Control

FINAL EXAMINATION - SOLUTIONS

TIME ALLOWED: 75 MINUTES

June 04, 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.

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

1) Grit chamber에서 회수한 고형물은 농축, 혐기성 소화, 탈수 등의 과정을 거친 후 매립 하여야 한다.

Answer) X

2) 포화용존산소량 (saturated dissolved oxygen) 보다 용존산소량 (dissolved oxygen; DO)이 낮을수록 대기 중 산소의 용해로 인한 용존산소량 증가속도 $d(\text{DO})/dt$ 가 크다.

Answer) O

3) Breakpoint chlorination 법은 물 속의 암모니아를 제거하기 위하여 물에 염소 기체 (Cl_2)나 차아염소산 (HOCl)을 주입, 암모니아를 monochloramine (NH_2Cl) 또는 dichloramine (NHCl_2)로 변환하는 방법이다.

Answer) X

4) 하수의 2차처리 공정에서 제거된 용존 BOD는 전량 미생물의 biomass 형태로 변환된다.

Answer) X

5) 활성슬러지 공정의 SRT를 증가시킬수록 총 MLVSS에서 nbVSS (nonbiodegradable VSS)가 차지하는 비율이 높아진다.

Answer) O

6) 일반적으로 미생물 biomass의 95% 이상은 생물학적 분해가 가능하다.

Answer) X

7) 하수에 존재하는 난분해성 (refractory)이면서 소수성 (hydrophobic)인 오염물질은 대부분 하수에서 제거되지 않고 처리수에 잔류한다.

Answer) X

8) 탈질 (denitrification) 반응은 알칼리도 (alkalinity)가 생성되는 반응이다.

Answer) O

9) 동일한 유량 및 BOD 농도의 하수를 처리하는 데 요구되는 membrane bioreactor

(MBR)의 호기조 (aerobic tank) 크기는 일반적인 활성슬러지 공정이 요구하는 호기조 크기보다 작다.

Answer) O

10) 질산화 세균 (nitrifying bacteria)는 일반적으로 BOD를 제거하는 종속영양세균 (heterotroph)에 비하여 용존산소량에 더 민감하다.

Answer) O

2. 다음 물음에 답하시오.

1) Dissolved air flotation (DAF) 공정의 작동 원리를 설명하시오. (5점)

Answer)

물에 공기를 주입하면서 강한 압력을 가하여 기체를 용해시킨 후 물을 대기압 하로 배출하여 기체가 과포화 상태로 존재하게 함으로써 휘발로 미세기포를 생성, 부유물질에 이 미세기포가 부착하면 밀도가 낮아져 부상하는 원리를 이용하여 물 속의 부유물질을 제거

2) 다음 struvite의 conditional solubility product (P_s) 개념을 활용하여 struvite 침전에 pH, 이온강도, 온도가 미치는 영향을 각각 설명하시오. (6점)

$$P_s = C_{T,Mg} \cdot C_{T,NH_3} \cdot C_{T,PO_4} = \frac{K_s}{\alpha_{Mg^{2+}} \cdot \alpha_{NH_4^+} \cdot \alpha_{PO_4^{3-}} \cdot \gamma_{Mg^{2+}} \cdot \gamma_{NH_4^+} \cdot \gamma_{PO_4^{3-}}}$$

Answer)

pH: pH의 변화에 따라 물 속의 2가 마그네슘, 암모니아, 인산 화학종 중 실제로 침전을 생성하는 Mg^{2+} , NH_4^+ , PO_4^{3-} 의 비율, 즉 α 값이 달라짐

이온강도: 이온강도에 따라 γ 값이 달라짐. α 값 또한 이온강도의 함수임(이온강도에 따라 동일한 pH라도 α 값이 조금씩 다름)

온도: 온도에 따라 평형상수가 변화함. 따라서 온도에 따라 K_s 가 달라질 뿐만 아니라, α 값도 평형상수와 관계되기 때문에 α 값 또한 달라짐

* P_s 는 평형 상태에서 물에 용해된 총 2가 마그네슘 계열, 총 암모니아 계열, 총 인산 계

열 물질 농도의 곱으로, 어떤 물에서의 *struvite* 침전은 특정 pH, 이온강도, 온도에서 결정되는 P_s 값에 이를 때까지 진행될 것임. 따라서 P_s 와 *struvite* 침전은 직접적으로 관련 됨

3) Anammox process의 작동 원리를 설명하시오. (5점)

Answer)

하수에 존재하는 NH_4-N 의 50-60% 가량을 NO_2^- 로 변환하고, NH_4^+ 를 *electron donor*, NO_2^- 를 *electron acceptor*로 사용하는 박테리아를 이용함으로써 혐기성 조건에서 NH_4-N 을 산화하고 NO_2-N 을 환원, N_2 가스를 발생시킴으로써 낮은 에너지 소모로 하수로부터의 질소 제거 달성

4) 혐기성 소화(anaerobic digestion) 공정에서 pH 감소에 의해 공정의 failure가 일어나는 기작을 설명하시오. (5점)

Answer)

기본적으로 *acidogenesis*, *acetogenesis*는 *methanogenesis*에 비해 속도가 빠른 반응임. 또한 *methanogen*은 낮은 pH에서 활성이 현저하게 떨어지는 것에 비하여, *acidogen*, *acetogen*는 그렇지 않음. 따라서 높은 OLR(volumetric organic loading rate) 등으로 소화조 내에 존재하는 *methanogen*의 VFA 분해능력에 비하여 VFA 생성속도가 빠르게 되면, 소화조 내에 VFA가 축적되어 pH가 감소하고, 이에 따라 *methanogen*의 활성이 저해되어 메탄가스 발생이 거의 중지하게 됨

5) 수업시간에 공부한 내용과 현장견학을 통하여 알게 된 내용 등을 바탕으로 하수처리의 에너지 수요를 최소화하기 위한 방법을 세 가지 이상 제시하시오. (6점)

Answer)

- 소화조를 통하여 생산된 바이오가스를 난방, 전기생산(열병합발전 포함) 등에 사용
- 슬러지를 매립 대신 소각하여 소각열을 난방 등에 활용
- 호기조의 수심을 깊게 하거나 고효율 diffuser(생성 기포 크기 감소 등) 사용 등으로 호

기조의 산소전달 효율을 증가

- Heat pump 등을 이용하여 하수 처리수에 존재하는 저열에너지를 회수
등

6) 활성슬러지 공정에서 슬러지 팽화(sludge bulking)가 일어나는 두 가지 주요 양상을 제시 및 설명하고, 각각이 일어나는 데 영향을 미치는 주요 공정운영 인자에 대하여 기술하시오. (6점)

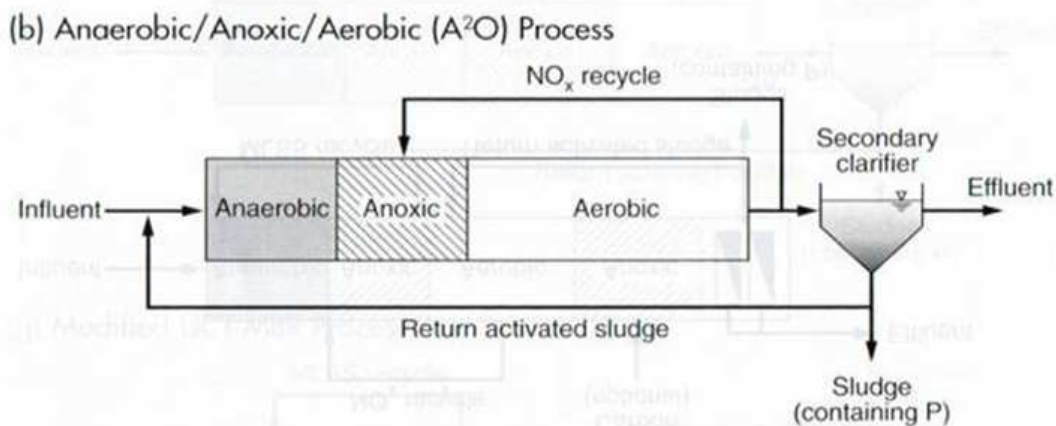
Answer)

Filamentous bulking: filamentous bacteria 증식으로 이들이 floc에서 빠져나온 실 모양의 구조를 형성, floc의 침전성 약화. 낮은 DO, 낮은 유기물질 농도, 낮은 영양분 농도 등에서 filamentous bacteria가 잘 성장하여 filamentous bulking을 야기

Viscous bulking: 미생물이 친수성(hydrophilic)의 biopolymer를 과대 생성하여 floc의 수분 함량을 증가시키고 이에 따라 floc의 밀도를 감소(침전성 감소). 낮은 영양분 농도, 높은 F/M 비 등의 환경에서 주로 발생

7) A²O 공정의 공정도를 그리고, 질소와 인 제거가 일어나는 원리를 간략하게 설명하시오. (6점)

Answer)



질소 제거: 호기조 (aerobic tank)에서 질산화 발생으로 NH_4-N 이 NO_3-N 으로 변환된 후, 이것이 무산소조 (anoxic tank)로 내부반송을 통해서 전달, 탈질이 발생하여 질소가스 형태로 제거

인 제거: 혐기조 (anaerobic tank)를 통하여 PAO (phosphorus accumulating organisms)가 polyphosphate의 phosphate로의 가수분해 반응을 에너지원으로 사용하면서 VFA를 PHA의 형태로 세포에 저장하였다가, 호기조 (aerobic tank)에서 PHA를 분해하면서 폭발적으로 증식, phosphate를 polyphosphate 형태로 다시 세포에 저장하면서 인을 과잉섭취하여 물로부터 인 제거. 축적된 인은 잉여슬러지 (waste sludge)의 형태로 시스템에서 최종 제거

8) 고도산화공정 (advanced oxidation process), 역삼투 공정 (reverse osmosis) 등을 이용하여 생산한 하수 재이용수를 수자원으로 이용함으로써 얻을 수 있는 장점을 세 가지 이상 제시하시오. (6점)

Answer)

- 안정적 수자원 획득 가능 (연중 비교적 일정한 발생량)
- 순도가 높아 산업용수 등으로 활용성 높음
- 해수담수화 등 다른 대체수자원에 비해 비교적 생산단가 낮음
- 도시 물순환 체계 구축

등등

3. A completely mixed activated sludge process is operated at a design SRT of 6.0 d. The influent with a flowrate of $1000 \text{ m}^3/\text{d}$ contains biodegradable COD of $200 \text{ g}/\text{m}^3$. The non-biodegradable VSS concentration in the effluent is negligible. The kinetic coefficients are given below:

$$\mu_m = 5.0 \text{ d}^{-1} \text{ (at } 20^\circ\text{C)}$$

$$K_s = 8.0 \text{ g}/\text{m}^3 \text{ (at all temperatures)}$$

$$b = 0.12 \text{ d}^{-1} \text{ (at } 20^\circ\text{C)}$$

$$f_d = 0.15 \text{ (at all temperatures)}$$

$$Y = 0.45 \text{ g VSS}/\text{g bCOD} \text{ (at all temperatures)}$$

1) Determine the process safety factor, $SF = SRT_{des}/SRT_{min}$ at 20°C . (5점)

Answer)

$$\frac{1}{SRT_{\min}} = \frac{\mu_m S_0}{K_s + S_0} - b = \frac{5.0 \text{ d}^{-1} \cdot 200 \text{ g/m}^3}{(200 + 8.0) \text{ g/m}^3} - 0.12 \text{ d}^{-1} = 4.69 \text{ d}^{-1}$$

$$SF = 6.0 \text{ d} \cdot 4.69 \text{ d}^{-1} = 28.1$$

Or, as $K_s \ll S_0$,

$$\frac{1}{SRT_{\min}} = \mu_m - b = 5.0 \text{ d}^{-1} - 0.12 \text{ d}^{-1} = 4.88 \text{ d}^{-1}$$

$$SF = 6.0 \text{ d} \cdot 4.88 \text{ d}^{-1} = 29.3$$

- 2) Determine the volume of the aeration tank required to achieve the active biomass (X_a) concentration of 2000 g/m^3 in the aeration tank at 20°C . (10점)

Answer)

$$X_a = \left(\frac{SRT}{\tau} \right) \left[\frac{Y(S^0 - S)}{1 + b \cdot SRT} \right]$$

$$S = \frac{K_s(1 + b \cdot SRT)}{SRT(\mu_m - b) - 1} = \frac{8.0 \text{ g/m}^3 \cdot (1 + 0.12 \text{ d}^{-1} \cdot 6.0 \text{ d})}{6.0 \text{ d} \cdot (5.0 \text{ d}^{-1} - 0.12 \text{ d}^{-1}) - 1} = 0.49 \text{ g/m}^3$$

(actually S can be assumed as zero as a sufficient SF is given - you may skip the calculation for S)

$$X_a = \left(\frac{SRT}{\tau} \right) \left[\frac{Y(S^0 - S)}{1 + b \cdot SRT} \right] = \frac{6.0 \text{ d}}{\tau} \cdot \frac{0.45 \cdot (200 - 0.49) \text{ g/m}^3}{1 + 0.12 \text{ d}^{-1} \cdot 6.0 \text{ d}}$$

$$X_a = 2000 \text{ g/m}^3 = \frac{313.2 \text{ g} \cdot \text{d/m}^3}{\tau}$$

$$\tau = 0.157 \text{ d}$$

$$V = Q\tau = 1000 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 0.157 \text{ d} = 157 \text{ m}^3$$

- 3) Determine the nonbiodegradable VSS (nbVSS) to total MLVSS ratio (X_i/X_{VSS}) in the

aerobic tank at 20°C. (5점)

$$X_i = f_d \cdot b \cdot X_a \cdot SRT$$

$$\frac{X_i}{X_{VSS}} = \frac{X_i}{X_a + X_i} = \frac{f_d \cdot b \cdot SRT}{1 + f_d \cdot b \cdot SRT} = \frac{0.15 \cdot 0.12 \text{ d}^{-1} \cdot 6.0 \text{ d}}{1 + 0.15 \cdot 0.12 \text{ d}^{-1} \cdot 6.0 \text{ d}} = 0.097$$

iv) Determine the process safety factor, $SF = SRT_{des} / SRT_{min}$ at 5°C. Use the following temperature correction coefficients. (5점)

for μ_m : $\theta = 1.07$; for b : $\theta = 1.04$

Answer)

Firstly, determine the μ_m and b at 15°C:

$$\mu_{m,15} = \mu_{m,20} 1.07^{5-20} = 1.8 \text{ d}^{-1}$$

$$b_{15} = b_{20} 1.04^{5-20} = 0.067 \text{ d}^{-1}$$

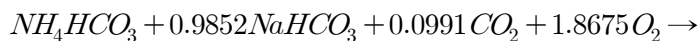
$$\frac{1}{SRT_{min}} = \frac{\mu_m S_0}{K_s + S_0} - b = \frac{1.8 \text{ d}^{-1} \cdot 200 \text{ g/m}^3}{(300 + 8.0) \text{ g/m}^3} - 0.067 \text{ d}^{-1} = 1.10 \text{ d}^{-1}$$

$$SF = 6.0 \text{ d} \cdot 1.10 \text{ d}^{-1} = 6.6$$

$$\text{Or, } \frac{1}{SRT_{min}} = \mu_m - b = 1.8 \text{ d}^{-1} - 0.067 \text{ d}^{-1} = 1.733 \text{ d}^{-1}$$

$$SF = 6.0 \text{ d} \cdot 1.733 \text{ d}^{-1} = 10.4$$

4. Determine the alkalinity consumption (in g/m^3 as CaCO_3) for nitrification of a wastewater containing $60 \text{ g NH}_4\text{-N/m}^3$. Use the following stoichiometry for the nitrification process.



(10점)

Answer)

Per 1 mole of NH₄-N, 1.9852 eq of alkalinity is consumed by nitrification → 1.9852 eq alkalinity consumed / 1 mole NH₄-N

$$1.9852 \text{ eq Alk/mole NH}_4\text{-N} \times \frac{1}{14 \text{ g NH}_4\text{-N/mole}} \times 50 \text{ g CaCO}_3/\text{eq Alk} \times 200 \text{ g NH}_4\text{-N/m}^3$$

$$= 425.4 \text{ g/m}^3 \text{ as CaCO}_3$$