

Seoul National University

M1586.001500

Engineering Solutions for Water Pollution

FINAL EXAMINATION - SOLUTIONS

TIME ALLOWED: 80 MINUTES

May 31, 2023

-
1. 앞뒷면 모두를 사용하여 A4 용지 두 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.
 6. 전체 문항수는 6개, 총점은 105점입니다.

1. 다음 명제에 대하여 맞고 틀림을 O/X로 표기하시오.

(주의! 답이 맞으면 +1점, 틀리면, -1점, 기입하지 않으면 0점임)

1) 우리나라 공공하수처리시설의 방류수 수질기준은 물환경보전법 시행규칙을 통해 공포한다.

답) X

2) 물 시료의 총고형물량(Total Solids; TS) 값은 i) 휘발성부유고형물량(Volatile Suspended Solids; VSS), ii) 강열잔류부유고형물량(Fixed Suspended Solids; FSS), iii) 휘발성용존고형물량(Volatile Dissolved Solids; VDS), iv) 강열잔류용존고형물량(Fixed Dissolved Solids; FDS)의 합으로 나타낼 수 있다.

답) O

3) 탁도(turbidity)를 통해 총부유고형물량(Total Suspended Solids; TSS) 값을, 전기전도도(electrical conductivity)를 통해 총용존고형물량(Total Dissolved Solids; TDS) 값을 추정할 수 있다.

답) O

4) 물 시료의 유기질소 함량은 총킬달질소함량(Total Kjeldahl Nitrogen; TKN)과 암모니아성 질소(ammonia-N 또는 $\text{NH}_4\text{-N}$) 함량의 차로 구할 수 있다.

답) O

5) 나트륨(sodium, Na^+) 함량이 높은 물을 관개용수로 사용할 경우 토양의 투수성이 지나치게 높아져 작물 생산에 악영향을 끼친다.

답) X

6) 하천에 암모니아가 다량 유입되어 생물학적 질산화(nitrification) 반응이 과다하게 일어날 경우 용존산소 고갈 우려가 있다.

답) O

7) 일반적인 물의 화학적산소요구량(Chemical Oxygen Demand; COD) 값은 총유기탄소량(Total Organic Carbon; TOC) 값과 동일하다.

답) X

8) 원핵세포(prokaryotic) 내에는 염색체가 존재하지 않는다.

답) X

9) 환경시료의 메타게놈(metagenome) 분석은 실험실에서 배양 가능한 미생물의 DNA만 검출 가능하다.

답) X

10) 하수도 시설의 용량을 결정할 때 계획인구수는 계획기간(현재~최종연도) 인구의 평균 값을 사용한다.

답) X

11) 구형 입자의 최종 침강속도는 laminar, transient, turbulent region 모두에서 입자 지름의 제곱근(0.5제곱)에 비례한다.

답) X

12) 정삼투(forward osmosis) 공정에서 물의 흐름은 삼투압이 작용하는 방향과 동일한 방향으로 발생한다.

답) O

13) Coagulation-flocculation 공정에서 응집제(coagulant)를 물에 혼합하는 과정에는 상대적으로 높은 velocity gradient (G) 값이, 전하가 중성화된 입자의 플록화(flocculation) 과정에는 상대적으로 낮은 velocity gradient 값이 적용된다.

답) O

14) Struvite 침전 반응에 참여하는 Mg^{2+} , NH_4^+ , PO_4^{3-} 이온의 몰비는 1 : 1 : 1이다.

답) O

15) 고도산화공정(advanced oxidation process)에서 수산화 라디칼과 반응한 모든 화합물은 무기물화되어 이산화탄소와 물로 분해된다.

답) X

16) 일반적인 활성슬러지 공정 호기조(aeration tank)의 하부에는 기계식 혼합장치(mechanical mixer)가 설치되어 미생물과 하수의 혼합을 촉진한다.

답) X

17) 살수여상(trickling filter)은 일반적으로 후단에 침전조를 두지 않는다.

답) X

18) 혐기성 소화 과정에서 산 생성균(acidogen)과 수소이용 메탄생성균(hydrogenotrophic methanogen)은 서로 공생 관계에 있다.

답) O

19) Anammox 미생물은 전자공여체(electron donor)로 암모니아성 질소(NH₄-N)을, 전자수용체(electron acceptor)로 아질산성 질소(NO₂-N)을 사용하여 성장한다.

답) O

20) 우리나라는 수돗물 공급에 생활하수 직접 음용 재이용(direct potable wastewater reuse)을 활용하고 있다.

답) X

2. 다음 물음에 답하시오.

1) Modified Ludzack-Ettinger (MLE) 공정의 호기조(aeration tank)에서 질산화(nitrification)를 담당하는 주요 미생물과 무산소조(anoxic tank)에서 탈질(denitrification)을 담당하는 주요 미생물을 각각 탄소원(carbon source), 에너지원(energy source), 산소 이용 여부에 따라 분류하시오. (6점)

<답안 예시>

i) 질산화 미생물

(탄소원) heterotroph, autotroph 중 택일

(에너지원) phototroph, chemotroph 중 택일

(산소 이용 여부) obligate aerobe, facultative aerobe, anaerobe 중 택일

ii) 탈질 미생물

(탄소원) heterotroph, autotroph 중 택일

(에너지원) phototroph, chemotroph 중 택일

(산소 이용 여부) obligate aerobe, facultative aerobe, anaerobe 중 택일

답)

i) 질산화 미생물

(탄소원) autotroph

(에너지원) chemotroph

(산소 이용 여부) obligate aerobe

ii) 탈질 미생물

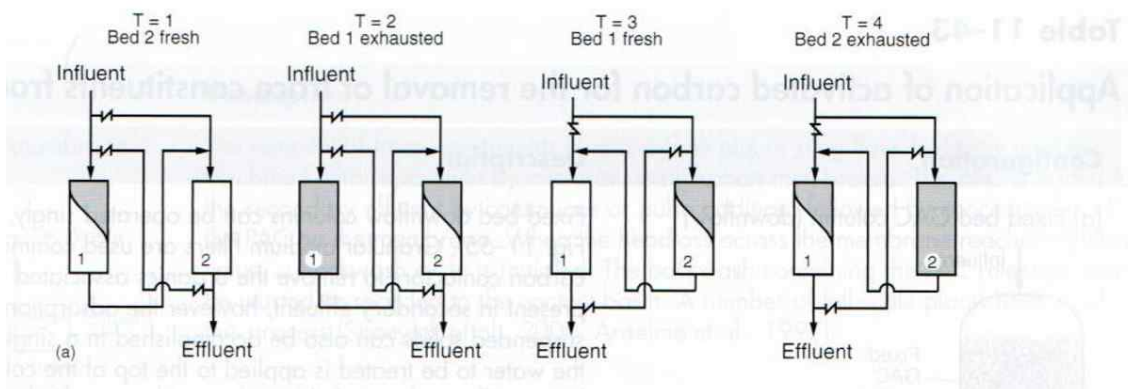
(탄소원) heterotroph

(에너지원) chemotroph

(산소 이용 여부) facultative aerobe

2) 입상활성탄(granular activated carbon; GAC) column (bed)을 두 개를 직렬로 연결하여 충분한 수질의 유출수를 지속적으로 얻으면서 입상활성탄을 포화 조건까지 경제적으로 사용할 수 있는 방안을 설명하시오. (7점)

답)



위 그림과 같이 직렬로 두 column (bed)을 직렬로 연결하여 첫 번째 column이 포화될 때까지 가동하면, 두 번째 column의 유출수는 여전히 오염물질의 거의 완전히 제거된 상태로 발생하므로 좋은 수질의 방류수를 얻을 수 있음. 이후 첫 번째 column을 신탄으로 교체하고, 두 번째 column의 유출수를 첫 번째 column에 유입시켜 첫 번째 column의 유출수를 최종 방류하면 여전히 좋은 수질의 방류수가 발생함. 두 번째 column이 포화되면

다시 이것을 신탄으로 교체하고 첫 번째 column의 유출수를 두 번째 column으로 유입시켜 두 번째 column의 유출수를 최종 방류함. 이러한 방식으로 연속적으로 좋은 수질의 방류수를 얻으면서 모든 입상활성탄을 포화 상태까지 활용할 수 있음

3) Coagulation-flocculation 공정에서 양이온계 응집제(coagulant) 투입을 통해 본래 표면이 음전하로 하전된 콜로이드 입자들 간의 에너지 장벽을 해소하는 두 가지 원리를 간략하게 설명하시오. (4점)

답)

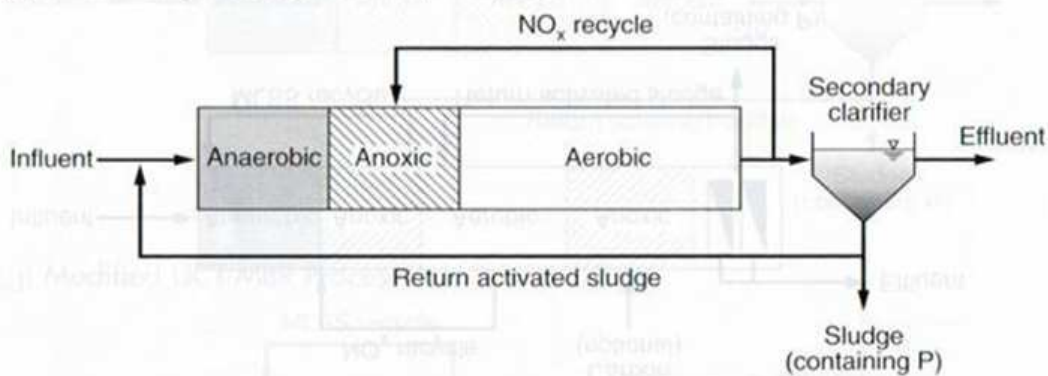
표면 전하의 중성화로 정전기적 척력 감소

전기 이중층 압축으로 정전기적 척력 감소

4) A²O 공정의 공정도를 그리고, 이 공정에서 질소와 인 제거가 일어나는 원리를 설명하시오. (8점)

답)

(b) Anaerobic/Anoxic/Aerobic (A²O) Process



질소 제거: 호기조 (aerobic tank)에서 질산화 발생으로 NH₄-N이 NO₃-N으로 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

3. 하수도 시설기준에 의하여 신도시에 하수처리 시설을 설계하고자 한다. 이 지역에는 분류식 관거(separate sewer)가 설치되어 있다. 이 도시의 계획인구수는 300,000명, 상수도계획 상의 1인1일최대급수량은 360 L/인-일이다. 이 하수처리 시설은 주거지역에서 발생하는 생활오수와 도시 내 공업단지에서 발생하는 폐수를 병합처리하며, 이 폐수의 유량은 10,000 m³/일이며, BOD 농도는 60 mg/L이다. 이때, 다음 물음에 답하시오.

1) 이 하수처리시설의 계획1일평균오수량을 구하시오. 생활오수에 대한 PF_{season}은 1.4를 적용하고, 공장폐수는 연중 일정하게 발생한다고 가정하며, 불명수량(I/I)은 없다고 가정하시오. (8점)

답)

생활오수에 대하여,

$$\begin{aligned}(\text{계획1일최대오수량}) &= (\text{1인1일최대오수량}) \times (\text{계획인구수}) \\ &= 360 \text{ L/인-일} \times 300,000 \text{ 인} \\ &= 108,000,000 \text{ L/일} = 108,000 \text{ m}^3/\text{일}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(\text{계획1일평균오수량}) &= (\text{계획1일최대오수량}) / PF_{\text{season}} \\ &= 108,000 \text{ m}^3/\text{일} / 1.4 \\ &= 77,100 \text{ m}^3/\text{일}\end{aligned}$$

여기에 공장폐수 기여분을 더하면,

$$(\text{총 계획1일평균오수량}) = 77,100 \text{ m}^3/\text{일} + 77,100 \text{ m}^3/\text{일} = 87,100 \text{ m}^3/\text{일}$$

2) 이 하수처리시설의 계획유입수질 BOD 값을 구하시오. 생활오수와 공장폐수의 기여분을 모두 고려하고, 생활오수 오염부하량 원단위는 BOD 100 g/인-일을 사용하시오. (7

점)

답)

$$(\text{계획유입수질}) = (\text{계획오염부하량}) / (\text{계획1일평균오수량})$$

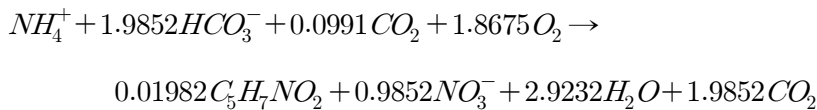
$$(\text{계획오염부하량}) = (\text{생활오수에 의한 부하량}) + (\text{공장폐수에 의한 부하량})$$

$$100 \text{ g/인-일} \times 300,000 \text{ 인} + 10,000 \text{ m}^3/\text{일} \times 60 \text{ g/m}^3$$

$$= 30,000,000 \text{ kg/일} + 600,000 \text{ g/일} = 30,600,000 \text{ g/일}$$

$$(\text{계획유입수질}) = 30,600,000 \text{ g/일} / 87,100 \text{ m}^3/\text{일} = 351 \text{ g/m}^3 = \underline{351 \text{ mg/L}}$$

4. 암모니아 함량이 50 mg NH₄-N/L인 오염수를 생물학적 질산화(nitrification)로 처리하고자 한다. 이 반응을 다음의 화학식으로 표현 가능하다고 할 때, 이 반응을 통해 소모되는 산소량(단위: mg/L)과 알칼리도(단위: mg as CaCO₃/L)를 각각 구하시오. (12점)



답)

암모니아성 질소 1 g 당 소모되는 산소 및 알칼리도를 구하면,

$$\frac{1.8675 \text{ mol O}_2 \times 32 \text{ g O}_2/\text{mol O}_2}{1 \text{ mol NH}_4^+ - \text{N} \times 14 \text{ g NH}_4 - \text{N}/\text{mol NH}_4^+ - \text{N}} = 3.857 \text{ g O}_2/\text{g NH}_4 - \text{N}$$

$$\frac{1.9852 \text{ eq Alk} \times 50 \text{ g Alk as CaCO}_3/\text{eq Alk}}{1 \text{ mol NH}_4 - \text{N} \times 14 \text{ g NH}_4 - \text{N}/\text{mol NH}_4 - \text{N}} = 7.09 \text{ g Alk as CaCO}_3/\text{g NH}_4 - \text{N}$$

이를 바탕으로 농도 50 mg NH₄-N/L인 오염수에서 소모량을 구하면,

$$50 \text{ mg NH}_4 - \text{N} \times 3.857 \text{ mg O}_2/\text{mg NH}_4 - \text{N} = 193 \text{ mg O}_2/\text{L}$$

$$50 \text{ mg NH}_4 - \text{N} \times 7.09 \text{ mg as CaCO}_3/\text{mg NH}_4 - \text{N} = 355 \text{ mg as CaCO}_3/\text{L}$$

5. 편의점에서 판매하는 250 mL 들이 “고농도 산소수”를 사서 내부 직경이 8 cm인 원통형 컵에 따랐다. 이 고농도 산소수의 초기 용존산소 농도가 60 mg/L일 때, 산소수의 농도가 20 mg/L가 될 때까지 걸리는 시간을 계산하시오. 컵 내부를 완전혼합형 batch reactor로 가정하고, 포화용존산소농도(saturated dissolved oxygen concentration)로 8.3 mg/L, 총괄물질전달계수(overall mass transfer coefficient)로 1.00×10^{-2} m/h를 사용하시오. (15점)

답)

$$a = \frac{A}{V} = \frac{\pi d^2/4}{V} = \frac{\pi \cdot (8 \text{ cm})^2/4}{250 \text{ cm}^3} = 0.201 \text{ cm}^{-1}$$

$$K_L a = 1.00 \times 10^{-2} \text{ m/h} \cdot 100 \text{ cm/m} \cdot 0.251 \text{ cm}^{-1} = 0.201 \text{ h}^{-1}$$

“Desorption of gas in a batch reactor” 조건이므로

$$\frac{C_t - C_s}{C_0 - C_s} = e^{-(K_L a)t}$$

$$t = -\frac{1}{K_L a} \ln\left(\frac{C_t - C_s}{C_0 - C_s}\right) = \frac{1}{0.201 \text{ h}^{-1}} \ln\left(\frac{20 - 8.3}{60 - 8.3}\right) = 7.39 \text{ h}$$

6. 호기조(aeration tank)의 부피가 1000 m³인 어떤 완전혼합형 활성슬러지 공정이 bsCOD (biodegradable soluble COD) 농도 200 mg/L, nbVSS (non-biodegradable VSS) 농도 15 mg/L인 유입수 4000 m³/d를 처리하여 내보내고 있다. 이 공정은 solids retention time (SRT) 10 d로 운전되고 있으며, 미생물 관련 인자값이 아래와 같을 때, 다음 물음에 답하시오.

$$\mu_m = 6.0 \text{ d}^{-1}$$

$$K_s = 8.0 \text{ g/m}^3$$

$$Y = 0.45 \text{ g VSS/g bCOD}$$

$$b = 0.12 \text{ d}^{-1}$$

$$f_d = 0.15$$

- 1) 호기조 내 mixed liquor volatile suspended solids (MLVSS) 농도를 구하시오. SRT 값이

충분히 크므로, 계산의 편의를 위해 유입수의 bsCOD 농도는 유출수의 bsCOD 농도보다 충분히 크다고 가정하시오(즉, $S_0 \gg S$). (10점)

답)

$$X_a = \frac{SRT}{\tau} \cdot \frac{Y(S_0 - S)}{1 + b \cdot SRT} \approx \frac{SRT}{\tau} \cdot \frac{YS_0}{1 + b \cdot SRT}$$

$$= \frac{10}{6/24} \cdot \frac{0.45 \cdot 200}{1 + 0.12 \cdot 10} = 1640 \text{ mg/L}$$

$$X_{VSS} = X_a + f_d \cdot b \cdot X_a \cdot SRT + \frac{X_i^0 \cdot SRT}{\tau}$$

$$= 1640(1 + 0.15 \cdot 0.12 \cdot 10) + \frac{15 \cdot 10}{6/24} = 1935.2 + 600 = 2540 \text{ mg/L}$$

2) 이 공정에서 발생하는 총 고형물(total suspended solids; TSS) 양을 g/day 단위로 구하시오. 미생물의 VSS/TSS 비율을 0.85로 가정하시오(active biomass, inert biomass 모두). (8점)

답)

$$X_{TSS} = \frac{X_a}{0.85} (1 + f_d \cdot b \cdot SRT) + \frac{(X_{o,i} + i TSS) \cdot SRT}{\tau}$$

$$= \frac{1935.2}{0.85} + 600 = 2880 \text{ mg/L}$$

$$P_{TSS} = \frac{X_{TSS} V}{SRT} = \frac{2880 \text{ mg/L} \cdot 1000 \text{ m}^3 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mg} \cdot 10^3 \text{ L/m}^3}{10 \text{ d}}$$

$$= 288 \text{ kg/d}$$