

Seoul National University

M1586.001500

Engineering Solutions for Water Pollution

FINAL EXAMINATION - SOLUTIONS

TIME ALLOWED: 75 MINUTES

May 27, 2021

-
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. 풀이를 위하여 세운 가정이 있으면 그 가정을 반드시 검증하기 바랍니다. 검증 과정을 생략하면 감점을 부여합니다.

1. 다음 명제에 대하여 맞고 틀림을 O/X로 표기하시오.

(주의! 답이 맞으면 +2점, 틀리면, -2점, 기입하지 않으면 0점임)

1) 부탄올(butanol, C_4H_9OH)은 헥사데케인(hexadecane, $C_{16}H_{34}$)보다 물에 잘 녹는다.

답) O

2) 물의 탁도(turbidity)는 시료에 조사한 가시광선의 투과율(transmittance)을 통해 측정한다.

답) X

3) 동일한 최종 BOD (UBOD, ultimate BOD) 값을 가지는 물 시료의 25 °C 조건에서의 BOD_5 값은 15 °C 조건에서의 BOD_5 값보다 크다.

답) O

4) 부탄올의 COD/TOC 비는 헥사데케인의 COD/TOC 비보다 크다.

답) X

5) Multiple-tube fermentation 법은 생존 가능하지만 배양할 수 없는 미생물(viable but nonculturable microorganism)을 포함하여 정량할 수 있는 미생물 계수법이다.

답) X

6) 우리나라 하수도 시설기준 상 하수처리시설의 계획유입수질은 계획1일오염부하량을 계획1일평균오수량으로 나눈 값으로 결정한다.

답) O

7) 하수의 전처리에 사용되는 스크린의 눈 크기(opening size)가 클수록 수두손실(headloss)이 급격히 발생한다.

답) X

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

답) O

9) 과황산염(persulfate)을 이용한 고도산화공정은 황산이온(sulfate, SO_4^{2-}) 등 공정 부산물이 발생하지 않는 환경친화적 화학적 수처리 공정이다.

답) X

- 10) 사상성 세균(filamentous bacteria)은 플록 형성 세균(floc-forming bacteria)에 비해 낮은 용존산소 농도, 낮은 유기물 농도, 낮은 영양염류(질소, 인) 농도 조건에서 경쟁우위를 갖는다.

답) O

2. 다음 물음에 답하시오.

- 1) 중합효소 연쇄반응(polymerase chain reaction, PCR)의 원리를 아래에 제시된 키워드를 활용하여 설명하시오. (8점)

Template DNA (주형 DNA)	PCR primer (PCR 프라이머)
DNA polymerase (DNA 중합효소)	Nucleotides (뉴클레오티드)

답)

‘주형 DNA의 열변성을 통한 이중가닥의 분리 [Denaturization] → 상대적으로 낮은 온도에서 DNA 중합의 시작점이 되는 PCR 프라이머가 주형 DNA에 부착 [Annealing] → 중간 정도의 온도에서 DNA 중합효소의 작용에 의하여 주형 DNA에 DNA 단량체인 뉴클레오티드가 상보적으로 결합하여 새로운 가닥 형성 [Elongation]’의 cycle을 여러 차례 반복하여 시료에 존재하는 DNA의 양을 크게 증폭시켜 정성·정량적 분석을 용이하게 함

- 2) 하수처리시설에 유량조정조(flow equalization)를 둘 때의 장점과 단점을 제시하시오. (6점)

답)

장점: 유량과 오염물질 농도의 시간에 따른 변동을 약화시켜 생물학적 처리, 침전조, 여과지, 화학적 처리조 등 후단 처리공정의 안정성을 향상시키고 약품 투여비, 송풍에 따른 전기료 등 운영비용을 절약

단점: 추가 부지 소요, 악취 발생, 추가 유지관리 소요 발생

3) 입자 침강(particle settling)의 네 가지 유형에 대하여 각각 간략히 설명하시오. (8점)

답)

[유형 I: Discrete particle settling]

입자 하나하나가 독립적으로 침전, 입자 간의 상호작용 없음

[유형 II: Flocculent settling]

입자가 가라앉으면서 서로 뭉쳐(플록화) 크기가 커져 점점 침강속도가 증가

[유형 III: Zone settling]

입자 농도가 상당히 높을 때 발견되는 유형으로 입자 간 상호작용이 침전에 큰 영향을 미침으로써 입자가 개별적으로 침전된다기보다는 입자 밀도가 높은 층과 상등수 층 간에 뚜렷한 경계를 형성하고 그 경계가 점차 내려가는 형태로 침전이 발생

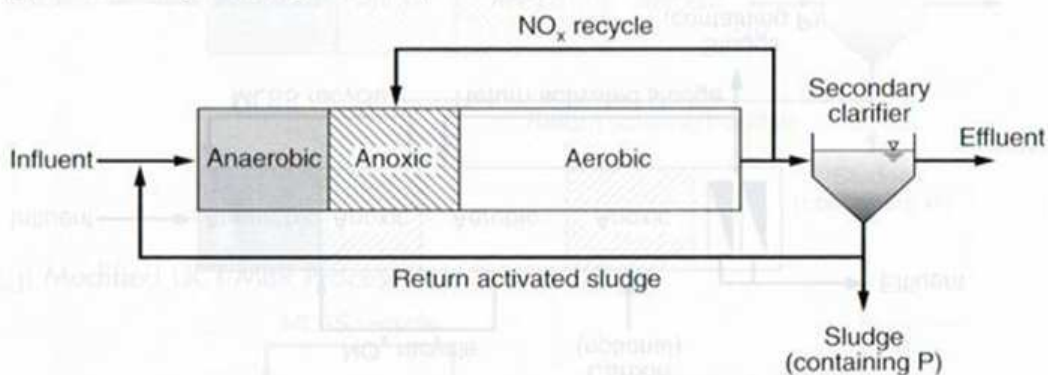
[유형 IV: Compression settling]

유형 III보다 더 입자 농도가 높아져(즉, 입자 간 간격이 좁아져) 입자들로 연결된 구조가 형성되고, 입자층의 중력에 의해 공극수가 빠져나가면서 입자층이 압축되는 형태로 침전 현상이 발생

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 $\text{NH}_4\text{-N}$ 이 $\text{NO}_3\text{-N}$ 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

5) 미생물 연료전지(microbial fuel cell, MFC)의 anode compartment와 cathode compartment에서 일어나는 화학반응에 대하여 설명하시오. (5점)

답)

Anode compartment: 미생물질이 유기물질이 산화, 전자가 전극으로 공급

Cathode compartment: 촉매의 작용으로 산소가 전극에서 공급된 전자를 공급받아 물 (H_2O)로 환원

3. 어떤 물 시료를 분석한 결과가 아래 표와 같을 때 다음 물음에 답하시오.

종류	이온량 또는 분자량	농도 (mg/L)
Ca^{2+}	40.1	119.4
Mg^{2+}	24.3	27.8
Na^+	23.0	8.1
HCO_3^-	61.0	268.0
CO_3^{2-}	60.0	2.0
SO_4^{2-}	96.1	116.0
Cl^-	35.5	61.0
SiO_2 (용존)	60.1	1.5
Total Suspended Solids (TSS)	-	13.5

1) 각 이온의 농도를 mmol/L (mM) 단위와 meq/L 단위로 구하고, 전기적 중성의 법칙을 활용한 경험식으로 이온 분석의 정확성을 검증하시오. (10점)

답)

종류	이온량 또는 분자량	농도		
		(mg/L)	(mmol/L)	(meq/L)
Ca^{2+}	40.1	119.4	2.98	5.96
Mg^{2+}	24.3	27.8	1.14	2.29
Na^+	23.0	8.1	0.35	0.35
HCO_3^-	61.0	268.0	4.39	4.39
CO_3^{2-}	60.0	2.0	0.03	0.07
SO_4^{2-}	96.1	116.0	1.21	2.41
Cl^-	35.5	61.0	1.72	1.72
SiO_2	60.1	1.5	0.02	

$$\Sigma(cation) = (Ca^{2+}) + (Mg^{2+}) + (Na^+) = 5.96 + 2.29 + 0.35 = 8.60$$

$$\Sigma(anion) = (HCO_3^-) + (CO_3^{2-}) + (SO_4^{2-}) + (Cl^-) = 4.39 + 0.07 + 2.41 + 1.72 = 8.59$$

$$\text{경험식 } |\Sigma(anions) - \Sigma(cations)| \leq 0.1065 + 0.0155 \times \Sigma(anions) \quad \text{활용}$$

$$|\Sigma(anions) - \Sigma(cations)| = 0.01$$

$$0.1065 + 0.0155 \times \Sigma(anions) = 0.1065 + 0.0155 \times 8.59 = 0.24$$

분석결과는 주어진 식을 만족하므로 정확성이 검증됨

2) 이 물 시료의 총 고형물 농도(total solids)을 구하시오. (5점)

답)

$TS = TDS + TSS$ 이고 TDS는 제시된 이온 및 용존 SiO_2 농도의 합이므로, 제시된 농도값들을 모두 합하면 총 고형물 농도 TS를 구할 수 있음

$$TS = 119.4 + 27.8 + 8.1 + 268.0 + 2.0 + 116.0 + 61.0 + 1.5 + 13.5 = 617.3 \text{ mg/L}$$

3) 이 물 시료의 탄산염 경도(carbonate hardness)를 mg/L as $CaCO_3$ 단위로 구하시오. (5점)

답)

$$\text{Total hardness, } TH = (Ca^{2+}) + (Mg^{2+}) = 5.96 + 2.29 = 8.25 \text{ meq/L}$$

$$\text{Total alkalinity, } Alk = (HCO_3^-) + (CO_3^{2-}) = 4.39 + 0.07 = 4.46 \text{ meq/L}$$

$$TH > Alk \text{ } \therefore CH = Alk \text{ (CH = carbonate alkalinity)}$$

$$CH = 4.46 \text{ meq/L} \times 50 \text{ mg CaCO}_3/\text{meq} = 223 \text{ mg/L as CaCO}_3$$

4. 편의점에서 판매하는 250 mL들이 “고농도 산소수”를 사서 내부 직경이 8 cm인 원통형 컵에 따랐다. 산소수를 바로 마시려다가 갑자기 친구로부터 연락이 와서 밖에 나갔다 오는 바람에 2시간 동안 그대로 놓아두었다. 이 고농도 산소수의 초기 용존산소 농도가 60 mg/L일 때, 2시간 후 용존산소 농도는 얼마인지 계산하시오. 컵 내부를 완전 혼합형 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

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

$$C_t = (C_0 - C_s)e^{-(K_L a)t} + C_s = (60 - 8.3) \text{ mg/L} \cdot e^{-(0.201 \text{ h}^{-1}) \cdot (2 \text{ h})} + 8.3 \text{ mg/L}$$

$$= 42.9 \text{ mg/L}$$

5. 폭기조(aeration tank)의 부피가 1000 m³인 어떤 활성슬러지 공정이 bsCOD (biodegradable soluble COD) 농도 200 mg/L인 유입수 4000 m³/d를 처리하여 내보내고 있다. 유입수의 VSS (volatile suspended solids) 농도는 무시할 수 있을 정도로 적

으며, 미생물 관련 인자값은 아래와 같을 때, 다음 물음에 답하시오.

$$k = 6.0 \text{ mg COD/mg VSS-d}$$

$$Y = 0.4 \text{ mg VSS/mg COD}$$

$$K_s = 100 \text{ mg COD/L}$$

$$b = 0.05 \text{ d}^{-1}$$

$$f_d = 0.85$$

- 1) 정상 상태(steady state)에서 처리수 bsCOD 농도 10 mg COD/L를 달성하기 위한 SRT 값을 구하시오. (6점)

답)

$$S = \frac{K_s(1+b \cdot SRT)}{SRT(Yk-b)-1} = \frac{100 \text{ mg/L} \cdot (1+0.05 \text{ d}^{-1} \cdot SRT)}{SRT \cdot (0.4 \text{ mg VSS/mg COD} \cdot 6.0 \text{ mg COD/mg VSS-d} - 0.05 \text{ d}^{-1}) - 1}$$

(SRT in d)

주어진 값을 모두 넣으면(편의상 단위생략),

$$10 = \frac{100 + 5SRT}{2.35SRT - 1}$$

$$SRT = 5.95 \text{ d}$$

- 2) 이 공정의 mixed liquor에서 총 VSS 대비 active biomass의 비율 $[X_a/X_v = X_a/(X_a + X_i)]$ 을 구하시오. (5점)

답)

$$X_v = X_a + f_d \cdot b \cdot X_a \cdot SRT \text{ 이므로}$$

$$\frac{X_a}{X_v} = \frac{1}{1 + f_d \cdot b \cdot SRT} = \frac{1}{1 + 0.85 \cdot 0.05 \text{ d}^{-1} \cdot 5.95 \text{ d}} = 0.80$$

- 3) 반송 슬러지 펌프의 고장으로 이 공정의 슬러지 반송과정을 없애고 침전조로부터 발생하는 슬러지는 모두 폐기하는 방식으로 운전하였다. 이 방식의 장기간 운전으로 정

상 상태에 도달하였을 때, 공정 유출수의 bsCOD 농도는 얼마가 될 것인지 예측하시오. (9점)

답)

$SRT = \tau = 0.25 \text{ d}$ 이므로,

$$S = \frac{K_s(1+b \cdot SRT)}{SRT(Yk-b)-1} = \frac{100 \text{ mg/L} \cdot (1+0.05 \text{ d}^{-1} \cdot 0.25 \text{ d})}{0.25 \text{ d} \cdot (0.4 \text{ mg VSS/mg COD} \cdot 6.0 \text{ mg COD/mg VSS} - d - 0.05 \text{ d}^{-1}) - 1}$$

$$= -245 \text{ mg COD/L}$$

이 결과로부터 우리는 $SRT=0.25 \text{ d}$ 는 $SRT_{\min}$ 미만임을 알 수 있음

재차 확인해 보면,

$$\frac{1}{SRT_{\min}} = \frac{YkS^0}{K_s + S^0} - b = \frac{2.4 \text{ d}^{-1} \cdot 200 \text{ mg COD/L}}{(100+200) \text{ mg COD/L}} = 1.6 \text{ d}^{-1}$$

$$SRT_{\min} = 0.625 \text{ d} > SRT$$

따라서 주어진 조건에서 wash-out이 일어나므로 유출수 농도는 유입수 농도와 같은 200 mg COD/L 임