

457.210A.001

환경공학 기말고사 - Solutions

2018. 12. 5.

유의사항:

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 프로그램되어 있으면 안됩니다.
3. 부정행위는 절대 용납하지 않습니다.
4. 해당사항이 있을 경우, 꼭 단위를 기입하고, 정확한 단위를 사용하십시오. 답은 논리적이고 이해하기 쉽게 기재하십시오.
5. 본 시험은 5문항으로 구성되어 있으며, 총점은 100점입니다.

1. 다음 명제에 대하여 옳고 그름을 O/X로 표시하시오. (각 2점)

1) 수처리를 위한 Water softening plant에서 recarbonation 공정은 이산화탄소를 불어넣어 원수의 pH를 높이기 위해 수행된다.

답) X

2) Noncarbonate alkalinity만이 존재하는[즉, 탄산경도(carbonate alkalinity) = 0] 물에 lime 을 투여하였을 경우 칼슘의 침전은 pH 10.3 근방에서 발생한다.

답) X

3) Overflow rate이 작을수록 침전조의 입자 제거효율은 증가한다(단, 침전조에 유입되는 입자의 침강 속도는 overflow rate를 상회하는 값부터 0에 가까운 값까지 다양한 분포를 가진다고 가정).

답) O

4) 염소 투여량이 동일할 경우 염소 소독의 효과는 약알칼리성보다 약산성의 물에서 더 크게 나타난다.

답) O

5) 활성슬러지(activated sludge) 공정의 solids retention time이 높을수록 미생물의 순 비생장률(net specific growth rate)*이 높다.

$$* \text{ net specific growth rate} = \frac{1}{X} \frac{dX}{dt} = \frac{1}{X} \frac{dX}{dt} \Big|_{\text{growth}} + \frac{1}{X} \frac{dX}{dt} \Big|_{\text{decay}} = \mu_m \left(\frac{S}{K_s + S} \right) - k_d$$

X = biomass concentration; μ_m = maximum specific growth rate;

S = substrate concentration; K_s = half saturation constant; k_d = decay rate constant

답) X

6) 산성비는 토양 내 알루미늄의 수계 용출을 촉진하여 수생태계에 독성 영향을 유발한다.

답) O

7) 폐기물 매립지에서 발생하는 메탄가스(CH₄)를 차집, 연소시켜 이산화탄소(CO₂)로 배출할 경우 매립지의 지구온난화 기여도를 저감할 수 있다.

답) O

8) 퇴비화(composting)는 완전 혐기성 프로세스이다.

답) X

9) Soil vapor extraction (SVE)는 투수성이 낮은 불포화대가 휘발성 유기화합물로 오염되었을 경우 높은 적용성을 가지는 토양 정화기술이다.

답) X

10) 50 dB인 음원에서 방출되는 시간 당 소리에너지 크기는 30 dB인 음원에서 방출되는 시간 당 소리에너지 크기의 100배이다.

답) O

2. 다음 물음에 답하시오.

1) 총대장균군(total coliforms)을 물 시료의 병원균 존재량을 평가하는 지표(indicator)로 활용하는 이유에 대하여 설명하시오. (4점)

답)

- 인간 및 포유류의 장내에 서식하므로 대부분 장으로부터 유래하는 병원균과 동일한 source를 가짐
- 개체 내 존재량이 많아 검출이 용이함
- 병원균에 비해 상대적으로 자연수계에서 오래 생존하므로 false negative 결과를 나타낼 우려가 적고, 자연수계에서 생장을 하지는 않으므로 과도한 false positive 결과를 나타낼 우려도 적음
- 검출법이 비교적 간단함

2) 염화제이철($FeCl_3$)이 응집제로서 지니는 장점을 세 가지 이상 제시하시오. (4점)

답)

- 물에 녹아 응집 효율이 좋은 3가 양이온(Fe^{3+})을 냄
- 독성이 높지 않음

- 비교적 저렴

- Fe^{3+} 는 수산화물 등을 생성함으로써 궁극적인 물에 대한 용해도가 매우 낮음

3) 하수 슬러지의 처리과정 중 stabilization process의 목적에 대하여 기술하시오. (3점)

답)

- 생분해성 유기물질을 안정한 형태로 변환하여 슬러지 처분 시 부패, 악취 및 유해물질 생성 등이 이루어지지 않게 함

- 슬러지 내 존재하는 병원균을 불활성화

4) 대기오염물질인 일산화탄소(carbon monoxide, CO)가 primary pollutant와 secondary pollutant로서 발생할 수 있는 경로를 각각 기술하시오. (4점)

답)

Primary pollutant: 화석 연료의 연소나 고형폐기물 또는 바이오매스의 소각 과정에서 불완전연소에 의하여 발생

Secondary pollutant: 대기 중으로 배출된 메탄(methane)의 산화로 발생

5) 다음과 관련된 국제 협정 또는 협약을 각각 제시하시오. (3점)

A. 온실가스 배출저감

B. 오존층 파괴물질 배출저감

C. 육상폐기물 해양투기 금지

답)

A. 교토의정서(Kyoto Protocol), 파리협정(Paris Agreement)

B. 몬트리얼의정서(Montreal Protocol)

C. 런던협약(London Protocol)

- 6) 정유공장 내 부지에서 휘발유 유출 사고가 발생하여 표층부터 지하 3 m까지의 토양이 오염되었다(지하수위: 5 m). 이 토양을 정화하는 데 적합한 정화기술을 하나 선정하고, 선정된 근거를 기술하시오. (6점)

답)

Soil vapor extraction, in-situ bioremediation, landfarming, soil washing, thermal desorption 등 휘발성, 유기화학, 또는 생분해성 물질에 적용 가능한 방법을 선정하고, 그 합리적인 이유를 기술하면 됨.

* 가능한 방법들로부터 *in situ/ex situ* 기술을 선정할 근거(예: *in situ* - 공장 부지를 그대로 사용할 수 있으므로, *ex situ* - 보다 빠른 시일 내에 정화가 가능하므로 등), 물질 특성에 근거하여 해당하는 물리적/화학적/생물학적 방법을 선정할 근거(예: 휘발성 물질이므로, 생분해가 비교적 용이하므로 등) 제시필요

- 7) 유기성 폐자원으로부터 유용한 자원 또는 에너지를 생산할 수 있는 방법을 네 가지 이상 제시하시오. (6점)

답)

i) 혐기성 소화를 통한 바이오가스(CH_4) 생산

ii) 미생물 연료전지(*microbial fuel cell; MFC*)를 이용한 전기에너지 생산

iii) 퇴비화를 통한 퇴비 생산

iv) 열분해를 통한 *bio-oil* 생산

v) 열분해를 통한 *biochar* 생산

vi) 미세조류 배양을 통한 *bio-oil* 생산

vii) 특정 성장 조건에서 미생물의 폴리머 합성 기능을 이용한 *bioplastic* 생산

...

3. 다음 평형관계와 가정을 이용하여 총 carbonate species 농도 $C_T = [H_2CO_3^*] + [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}] = 2 \text{ mM}$ 이고 $pH=7.5$ 인 $CaCO_3$ 포화용액의 총 경도(total hardness)를 구하시오(단위: mg/L as $CaCO_3$).

<평형관계>

- i) $CaCO_3$ dissolution/precipitation: $CaCO_3(s) = Ca^{2+} + CO_3^{2-}$ $K_s = 10^{-8.34}$
- ii) Carbonic acid dissociation: $H_2CO_3^* = H^+ + HCO_3^-$, $K_{a1} = 10^{-6.35}$
 $HCO_3^- = H^+ + CO_3^{2-}$, $K_{a2} = 10^{-10.33}$

<가정>

- i) molarity = activity
 ii) 경도유발물질은 Ca^{2+} 가 유일

(15점)

답)

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

$$[H_2CO_3^*] = \frac{[HCO_3^-][H^+]}{K_{a1}} = [HCO_3^-] \frac{10^{-7.5}}{10^{-6.35}} = 0.0708[HCO_3^-]$$

$pH=7.5$ 에서 $[CO_3^{2-}]$ 는 무시할 수 있을만큼 작다($pK_{a2}=10.33$).

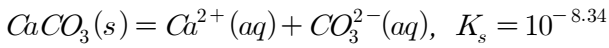
따라서,

$$C_T = [H_2CO_3^*] + [HCO_3^-] = 1.0708[HCO_3^-] = 0.002 \text{ M}$$

$$[HCO_3^-] = 1.87 \times 10^{-3} \text{ M}$$

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

$$[CO_3^{2-}] = \frac{K_{a2}[HCO_3^-]}{[H^+]} = \frac{10^{-10.33} \cdot 1.87 \times 10^{-3} \text{ M}}{10^{-7.5} \text{ M}} = 2.77 \times 10^{-6} \text{ M}$$



$$[Ca^{2+}][CO_3^{2-}] = 10^{-8.34}$$

$$[Ca^{2+}] = 1.65 \times 10^{-3} M = 1.65 mM$$

따라서,

$$TH = 2 \text{ meq/mmole} \times 1.65 \text{ mmole/L} = 3.30 \text{ meq/L} = 165 \text{ mg/L as } CaCO_3$$

4. 용존 BOD₅가 200 mg/L인 유입수 20000 m³/day를 처리하여 용존 BOD₅ 농도가 5.0 mg/L인 유출수를 내보내는 아래 그림과 같은 활성슬러지 공정이 있다. 이 공정의 폭기조(aeration tank) 유효부피가 4000 m³일 때, 다음의 미생물 성장 인자를 사용하여 물음에 답하시오.

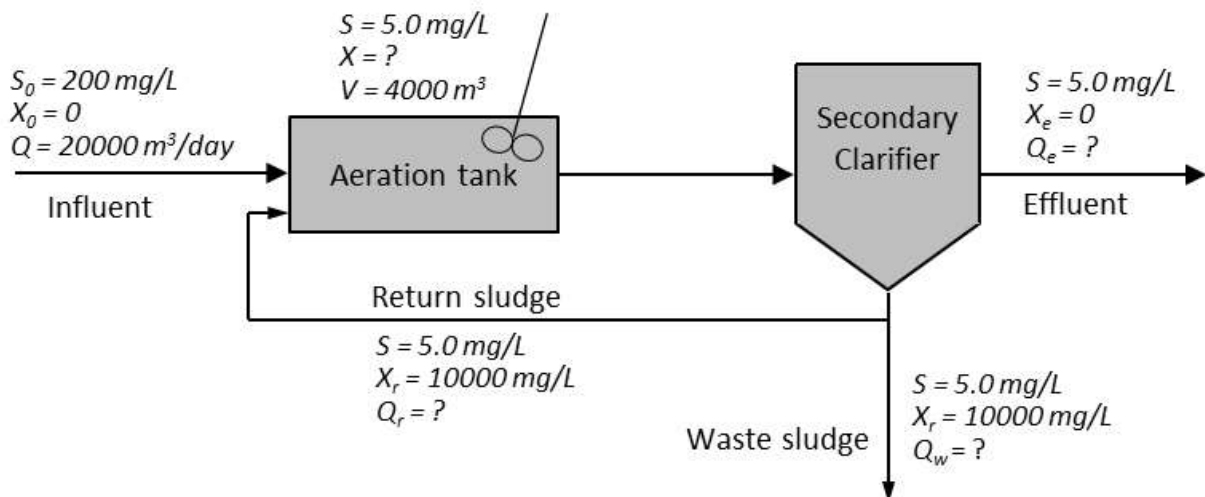
$$K_s = 30 \text{ mg/L BOD}_5;$$

$$\mu_m = 2.5 \text{ day}^{-1}$$

$$k_d = 0.05 \text{ day}^{-1};$$

$$Y = 0.50 \text{ mg VSS/mg BOD}_5$$

단, 유입수 및 유출수 내의 미생물 농도는 무시할 만큼 작다고 가정하시오.



1) 이 활성슬러지 공정의 solids retention time (SRT)을 구하시오. (5점)

답)

$$S = \frac{K_s(1 + k_d\theta_c)}{\theta_c(\mu_m - k_d) - 1} = \frac{30 \text{ mg/L} \cdot (1 + 0.05 \text{ day}^{-1} \cdot \theta_c)}{\theta_c \cdot (2.5 \text{ day}^{-1} - 0.05 \text{ day}^{-1}) - 1} = 5.0 \text{ mg BOD}_5/\text{L}$$

$$30 + 1.5\theta_c = 5 \cdot (2.45\theta_c - 1)$$

$$10.75\theta_c = 35$$

$$\theta_c = 3.26 \text{ d}$$

2) 이 활성슬러지 공정의 폭기조 내 미생물 농도를 구하시오. (5점)

답)

$$X = \frac{\theta_c}{t_0} \frac{Y(S_0 - S)}{1 + k_d\theta_c}$$

$$t_0 = \frac{V}{Q} = \frac{4000 \text{ m}^3}{20000 \text{ m}^3/\text{day}} = 0.2 \text{ day}$$

$$X = \frac{3.26 \text{ day}}{0.2 \text{ day}} \frac{0.5 \cdot (200 - 5.0) \text{ mg BOD}_5/\text{L}}{1 + 0.05 \text{ day}^{-1} \cdot 3.26 \text{ day}} = 1370 \text{ mg VSS/L}$$

3) 이 공정의 침전조(secondary clarifier)에서 발생하는 슬러지의 미생물 농도 X_r 은 10000 mg VSS/L라고 한다. 위에서 도출한 SRT를 유지하기 위하여 공정으로부터 배출되어야 하는 잉여슬러지(waste sludge)의 유량 Q_w 와 폭기조로 반송되어야 하는 반송슬러지(return sludge)의 유량 Q_r 을 구하시오. (10점)

답)

$$\theta_c = \frac{VX}{Q_w X_r} \quad \text{이므로,}$$

$$Q_w = \frac{V}{\theta_c} \cdot \frac{X}{X_r} = \frac{4000 \text{ m}^3}{3.26 \text{ day}} \cdot \frac{1370 \text{ mg VSS/L}}{10000 \text{ mg VSS/L}} = 168 \text{ m}^3/\text{day}$$

이제, secondary clarifier의 microorganism mass balance를 이용하면,

$$(Q + Q_r)X = Q_w X_r + Q_r X_r$$

$$Q_r = \frac{QX - Q_w X_r}{X_r - X} = \frac{20000 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 1370 \text{ mg VSS/L} - 168 \text{ m}^3/\text{day} \cdot 10000 \text{ mg VSS/L}}{(10000 - 1370) \text{ mg VSS/L}}$$

$$= 2980 \text{ m}^3/\text{d}$$

5. 구름이 잔뜩 낀 어느 날 밤 고층건물에 화재가 발생하여 일산화탄소가 배출되고 있다. 이 화재는 effective stack height이 60 m인 일산화탄소 배출원으로 볼 수 있으며 일산화탄소에 대하여 no reflection 가정이 가능하다고 할 때, 다음 중 일산화탄소 농도가 가장 높은 지점은 어디인가? (근거 또는 풀이과정을 반드시 제시하고, 필요시 아래 표와 공식을 이용할 것)

- A. 화재지점에서부터 바람방향으로 3 km, 바람 직각방향으로 0 m 떨어진 고도 30 m 지점
- B. 화재지점에서부터 바람방향으로 3 km, 바람 직각방향으로 100 m 떨어진 고도 30 m 지점
- C. 화재지점에서부터 바람방향으로 3 km, 바람 직각방향으로 0 m 떨어진 고도 60 m 지점
- D. 화재지점에서부터 바람방향으로 3 km, 바람 직각방향으로 100 m 떨어진 고도 60 m 지점
- E. 화재지점에서부터 바람방향으로 5 km, 바람 직각방향으로 0 m 떨어진 고도 60 m 지점
- F. 화재지점에서부터 바람방향으로 2 km, 바람 직각방향으로 0 m 떨어진 고도 30 m 지점

(20점)

$$\sigma_y = ax^{0.894}, \sigma_z = cx^d + f$$

Key to stability categories					
Surface wind speed (at 10 m) (m/s)	Day ^a			Night ^a	
	Incoming solar radiation			Thinly overcast or	
	Strong	Moderate	Slight	≥ 1/2 Low cloud	≤ 3/8 Cloud
<2	A	A-B	B	—	—
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

^aThe neutral class, D, should be assumed for overcast conditions during day or night. Note that “thinly overcast” is not equivalent to “overcast.”

Notes: Class A is the most unstable and class F is the most stable class considered here. Night refers to the period from one hour before sunset to one hour after sunrise. Note that the neutral class, D, can be assumed for overcast conditions during day or night, regardless of wind speed.

“Strong” incoming solar radiation corresponds to a solar altitude greater than 60° with clear skies; “slight” insolation corresponds to a solar altitude from 15° to 35° with clear skies. Table 170, Solar Altitude and Azimuth, in the Smithsonian Meteorological Tables, can be used in determining solar radiation. Incoming radiation that would be strong with clear skies can be expected to be reduced to moderate with broken (5/8 to 7/8 cloud cover) middle clouds and to slight with broken low clouds.

(Source: Turner, 1967.)

Values of $a, c, d,$ and f for calculating σ_y and σ_z

Stability class	a	$x \leq 1 \text{ km}$			$x > 1 \text{ km}$		
		c	d	f	c	d	f
A	213	440.8	1.941	9.27	459.7	2.094	-9.6
B	156	100.6	1.149	3.3	108.2	1.098	2
C	104	61	0.911	0	61	0.911	0
D	68	33.2	0.725	-1.7	44.5	0.516	-13.0
E	50.5	22.8	0.678	-1.3	55.4	0.305	-34.0
F	34	14.35	0.74.0	-0.35	62.6	0.18	-48.6

(Source: Martin, 1976.)

답)

바람방향으로 같은 거리에 있는 지점 중 가장 농도가 높은 지점은 바람 직각방향으로 떨어짐이 없고 배출원과 높이가 동일한 지점이며(즉 $y=0, z=H$), $y=0, z=H$ 인 직선에서 배출원으로부터의 거리가 멀어질수록(x 가 증가할수록) 농도가 줄어든다.

따라서, A, B, D, E의 농도는 C보다 높을 수 없음.

C와 F만 계산을 통하여 비교하면 된다.

$$C = \left(\frac{E}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \right) \left[\exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2} \right) \right] \left[\exp\left(\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2} \right) \right]$$

여기서 C와 F는 모두 $y=0$ 이므로 $\frac{\exp(-(z-H)^2/2\sigma_z^2)}{\sigma_y \sigma_z}$ 만 비교하면 됨

Stability class는 구름이 잔뜩 낀(overcast) 조건이므로, stability 표의 각주 a에 따라 D이고, 이 때 $x > 1 \text{ km}$ 조건의 계수 값은

$a=68, c=44.5, d=0.516, f=-13.0$ 임.

C: $x=3 \text{ km}, y=0, z=60 \text{ m}$

$$\sigma_y = 181.6 \text{ m}, \quad \sigma_z = 65.4 \text{ m}$$

$$\frac{\exp(-(z-H)^2/2\sigma_z^2)}{\sigma_y\sigma_z} = \frac{1}{181.6 \text{ m} \cdot 65.4 \text{ m}} = 8.42 \times 10^{-5} \text{ m}^{-2}$$

$$F: x=2 \text{ km}, y=0, z=30 \text{ m}$$

$$\sigma_y = 126.4 \text{ m}, \quad \sigma_z = 50.6 \text{ m}$$

$$\frac{\exp(-(z-H)^2/2\sigma_z^2)}{\sigma_y\sigma_z} = \frac{\exp(-(30-60)^2/(2 \cdot 50.6^2))}{126.4 \text{ m} \cdot 50.6 \text{ m}} = 1.31 \times 10^{-4} \text{ m}^{-2}$$

F의 농도가 C의 농도보다 높으므로, F는 모든 선택지 중 농도가 가장 높은 지점임