

457.210A.001

환경공학 기말고사 - Solutions

2020. 11. 25

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 6문항으로 구성되어 있으며, 총점은 110점입니다.

1. 다음 명제에 대하여 옳고 그름을 O/X로 표시하시오.

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

1) 같은 날 같은 시간 한강대교 아래 한강의 재폭기 계수(reacration coefficient)는 관악산 계곡의 평균 재폭기 계수보다 클 것이다.

답) X

2) 음전하를 띠는 입자의 Stern layer에서의 전기포텐셜(electrical potential)은 음의 값을 갖는다.

답) O

3) 이중 매질(dual media)로 구성된 여과지의 매질 분포는 밀도가 낮고 크기가 큰 매질을 상부에, 밀도가 높고 크기가 작은 매질을 하부에 배치하여야 한다.

답) O

4) 염소 소독 이전에 물에 존재하는 자연유기물(natural organic matter)을 제거하면 THMs, HAAs 등의 소독부산물 생성량을 저감할 수 있다.

답) O

5) 일반적으로 활성 슬러지(activated sludge) 공정의 수리학적체류시간(hydraulic retention time, HRT)은 산화지(oxidation pond) 공정의 수리학적체류시간보다 크다.

답) X

6) 슬러지 반송(return sludge)이 없는 활성 슬러지(activated sludge) 공정의 고형물체류시간(solids retention time, SRT)은 수리학적체류시간과 같다.

답) O

7) 대기 중 질소와 산소의 광화학 반응은 NO_x 생성의 주요 원인 중 하나이다.

답) X

8) Polychlorinated biphenyls (PCBs)는 biphenyl 탄화수소 뼈대의 수소 원자가 염소 원자로 치환된 총 209개 이성질체(isomer)의 총칭이다.

답) X

9) 다 마신 유리 콜라병을 소매점에서 수거, 공장으로 운반하여 세척한 후 콜라병으로 다

시 사용하는 작업은 closed-loop recycling이다.

답) O

10) Sound power가 2배 차이인 두 소리의 sound power level 차이는 약 0.3 dB이다.

답) X

2. 다음 물음에 대하여 답하시오.

1) 아래 표에 제시된 오염물질과 부정적 영향(또는 질병)을 서로 맞게 짝지으시오. (4점)

오염물질	부정적 영향
Bisphenol A	이타이이타이병
<i>Cryptosporidium</i>	복통 및 설사
Mercury	미나마타병
Cadmium	내분비계 장애

답)

Bisphenol A - 내분비계 장애

Cryptosporidium - 복통 및 설사

Mercury - 미나마타병

Cadmium - 이타이이타이병

2) 산불에 의해 발생할 수 있는 대기오염물질을 3가지 이상 제시하고, 각 대기오염물질을 선정한 이유를 간략히 서술하시오. (6점)

답)

다음이 주요 발생 가능한 대기오염물질임.

- 일산화탄소(CO): 바이오매스의 불완전 연소로부터
- 입자상 물질(particulate matter): 연소 시 발생하는 소각재, 그을음 등과 연소 시 발생한 탄화수소 등이 대기 중에서 응축되어 발생하는 secondary aerosol 등
- 탄화수소(hydrocarbons): 바이오매스의 불완전연소 시 생성
- 황산화물(SO_x): 바이오매스에 황이 포함되어 있으므로 연소 시 발생 가능
- 광화학 산화제(photochemical oxidant): 연소 시 발생한 탄화수소 등이 대기 중에서 광화

학 반응을 일으켜 O₃ 등을 생성

- Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): 바이오매스의 불완전연소 시 생성 가능
- 질소산화물(NO_x): 제한적이기는 하나 연소 시 온도가 매우 높게 올라가면 발생 가능

3) 아래 표에 제시된 국제협약과 국제 환경문제를 서로 맞게 짝지으시오. (4점)

국제협약	국제 환경문제
파리협정(Paris Agreement)	잔류성 유기오염물질의 확산과 축적
몬트리얼의정서(Montreal Protocol)	폐기물 해양투기
런던협약(London Convention)	오존층 파괴
스톡홀름협약(Stockholm Convention)	지구 온난화

답)

- 파리협정 - 지구 온난화
- 몬트리얼의정서 - 오존층 파괴
- 런던협약 - 폐기물 해양투기
- 스톡홀름협약 - 잔류성 유기오염물질의 확산과 축적

4) 아래 제시된 토양 및 지하수 정화기술을 in-situ / ex-situ, 물리화학적 / 생물학적 정화 기술로 분류하시오. (6점)

토양 및 지하수 정화기술	in situ / ex situ	물리화학적 / 생물학적
Soil vapor extraction	()	()
Thermal desorption	()	()
Landfarming	()	()
Soil washing	()	()
Phytoremediation	()	()
Permeable reactive barrier (Reactive material: zeolite)	()	()

답)

토양 및 정화수 정화기술	in situ / ex situ	물리화학적 / 생물학적
Soil vapor extraction	in situ	물리화학적
Thermal desorption	ex situ	물리화학적
Landfarming	ex situ	생물학적
Soil washing	ex situ	물리화학적
Phytoremediation	in situ	생물학적
Permeable reactive barrier (Reactive material: zeolite)	in situ	물리화학적

3. 다음 간단한 계산 문제에 답하시오.

- 1) 어떤 하수 시료를 채취하여 25 °C에서 3일간 BOD 실험을 진행하여 4.0 mg/L의 결과 값을 얻었다. 실험 결과와 20 °C에서 하수의 일반적인 BOD rate constant (k) 0.12 day⁻¹를 이용하여 20°C에서의 BOD₅ 값을 추정하시오. (temperature coefficient $\theta = 1.056$ 사용) (6점)

답)

$$BOD_t = L_0(1 - e^{-kt}) \quad , \quad L_0 = \frac{BOD_t}{1 - e^{-kt}}$$

25 °C에서의 BOD rate constant를 구해야 하므로,

$$k_T = k_{20}\theta^{T-20}$$

$$k_{25} = 0.12 \text{ day}^{-1} \cdot 1.056^{25-20} = 0.158 \text{ day}^{-1}$$

$$L_0 = \frac{4.0 \text{ mg/L}}{1 - e^{-0.158 \text{ day}^{-1} \times 3 \text{ days}}} = 10.6 \text{ mg/L}$$

$$BOD_5 = L_0(1 - e^{-kt}) = 10.6 \text{ mg/L} \cdot (1 - e^{-0.12 \text{ day}^{-1} \times 5 \text{ days}}) = 4.8 \text{ mg/L}$$

- 2) 어떤 물 시료를 채취하여 분석하였더니 pH가 6.8이었으며, 주요 이온의 농도는 다음과 같았다. 이 시료의 총 경도(total hardness)와 탄산경도(carbonate hardness)를 각각 mg/L as CaCO₃ 단위로 구하시오. (9점)

Ion	Ionic weight	Concentration (mg/L)	Ion	Ionic weight	Concentration (mg/L)
Na ⁺	23.0	28.1	Cl ⁻	35.5	8.5
K ⁺	39.1	5.6	HCO ₃ ⁻	61.0	153.1
Ca ²⁺	40.1	38.2	SO ₄ ²⁻	96.1	28.3
Mg ²⁺	24.3	6.5			

답)

Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻의 세 이온에 대해서만 고려하면 된다. 아래 표와 같이 계산 가능함.

Ion	Conc. (mg/L)	Ionic weight	Conc. (mM)	Conc. (meq/L)
Ca ²⁺	38.2	40.0	0.955	1.91
Mg ²⁺	6.5	24.3	0.267	0.535
HCO ₃ ⁻	153.1	61	2.510	2.51

pH = 6.8에서 [H⁺] = 10^{-6.8} M, [OH⁻] = 10^{-7.2} M로 매우 미미하고, CO₃²⁻의 농도 또한 pK_{a2} = 10.33임을 고려하면 HCO₃⁻에 비하여 매우 미미한 수준임. 따라서,

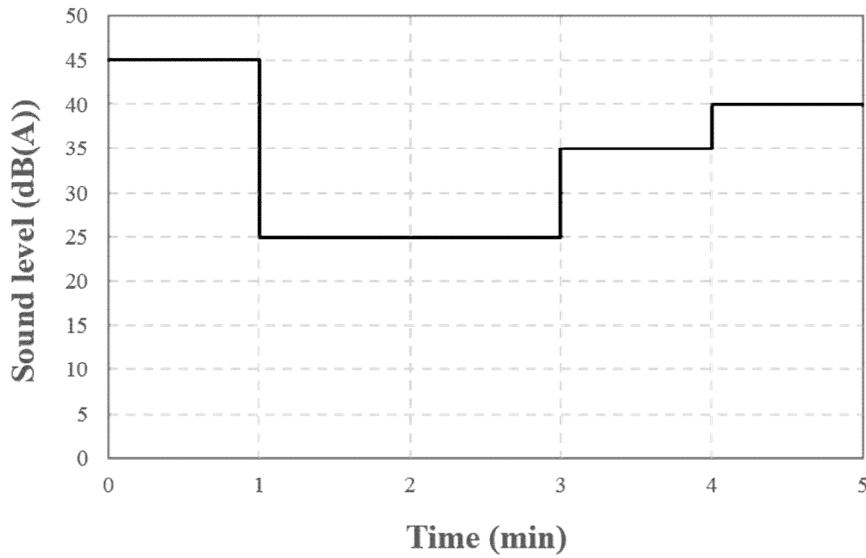
$$\text{Alkalinity} \approx (\text{HCO}_3^-) = 2.51 \text{ meq/L} = 126 \text{ mg/L as CaCO}_3$$

$$\text{Total hardness} \approx (\text{Ca}^{2+}) + (\text{Mg}^{2+}) = 1.91 \text{ meq/L} + 0.535 \text{ meq/L} = 2.45 \text{ meq/L} = 122 \text{ mg/L as CaCO}_3$$

Total hardness < Alkalinity이므로, Carbonate hardness = Total hardness

$$\text{Carbonate hardness} = 122 \text{ mg/L as CaCO}_3$$

3) 아래 소리 측정결과를 바탕으로 5분간의 L_{eq} 값을 구하시오. (5점)



답)

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \cdot t_i \right]$$

$$= 10 \log_{10} \left(10^{45/10} \cdot \frac{1}{5} + 10^{25/10} \cdot \frac{2}{5} + 10^{35/10} \cdot \frac{1}{5} + 10^{40/10} \cdot \frac{1}{5} \right)$$

$$= 39.6 \text{ dB(A)}$$

4. 유효부피 1000 m³ 활성슬러지 폭기조(aeration tank)를 이용하여 용존 BOD₅가 150 mg/L인 1차처리수 8000 m³/d를 처리하고자 한다. 활성슬러지 공정 유출수의 용존 BOD₅는 10 mg/L를 유지하고자 한다. 이 때, 다음 미생물 성장 인자를 이용하여 물음에 답하시오.

yield coefficient = 0.50 maximum specific growth rate = 2.5 day⁻¹
 decay rate = 0.05 day⁻¹ half saturation constant = 100 mg/L

단, 유입수와 유출수의 SS 농도는 무시할 수 있을 정도로 낮다고 가정하시오.

1) 목표한 유출수 수질을 달성하기 위한 solids retention time을 구하시오. (6점)

답)

$$S = \frac{K_s(1 + k_d\theta_c)}{\theta_c(\mu_m - k_d) - 1} = \frac{100 \text{ mg/L} \cdot (1 + 0.05 \text{ day}^{-1} \cdot \theta_c)}{\theta_c(2.5 \text{ day}^{-1} - 0.05 \text{ day}^{-1}) - 1} = \frac{100 + 5\theta_c}{2.45\theta_c - 1} \text{ mg/L} \quad (\theta_c \text{ in days})$$

$$10 = \frac{100 + 5\theta_c}{2.45\theta_c - 1}$$

$$19.5\theta_c = 110$$

$$\theta_c = 5.64 \text{ days}$$

2) 목표한 유출수 수질이 달성되었을 때 폭기조의 미생물 농도를 구하시오. (5점)

답)

Hydraulic retention time, t_0 은

$$t_0 = \frac{V}{Q} = \frac{1000 \text{ m}^3}{8000 \text{ m}^3/\text{d}} = 0.125 \text{ day} = 3 \text{ hr}$$

폭기조 내 미생물 농도, X 는

$$X = \frac{\theta_c(Y)(S_0 - S)}{t_0(1 + k_d\theta_c)} = \frac{5.64 \text{ days} \cdot 0.50 \cdot (150 - 10) \text{ mg/L}}{0.125 \text{ day} \cdot (1 + 0.05 \text{ day}^{-1} \cdot 5.64 \text{ days})} = 2460 \text{ mg/L}$$

3) 이 공정의 2차 침전조에서는 MLVSS 농도 8000 mg/L인 슬러지가 배출된다고 한다. 목표한 유출수 수질이 달성되었을 때 이 공정에서 배출되는 잉여 슬러지(waste sludge)의 유량을 구하시오. (4점)

답)

해당 조건에서 SRT는 다음과 같이 나타낼 수 있음.

$$\theta_c = \frac{VX}{Q_w X_r}$$

$$Q_w = \frac{VX}{\theta_c X_r} = \frac{1000 \text{ m}^3 \cdot 2460 \text{ mg/L}}{5.64 \text{ day} \cdot 8000 \text{ mg/L}} = 54.5 \text{ m}^3/\text{d}$$

5. 구름이 잔뜩 낀 어느 날 밤 화력발전소 탈황설비에 고장이 나 굴뚝에서 높은 농도의

이산화황(SO₂) 가스가 밤새 굴뚝으로 배출되었다. 이 화력발전소 굴뚝의 effective stack height은 100 m이고, 이산화황에 대하여 no reflection 가정이 가능하다고 할 때, 다음 중 밤새 이산화황 농도가 가장 높았던 지점은 어디인가? (근거 또는 풀이과정을 반드시 제시할 것)

- A. 굴뚝으로부터 바람방향으로 1.5 km, 바람 직각방향으로 0 m 떨어진 고도 50 m 지점
- B. 굴뚝으로부터 바람방향으로 1.5 km, 바람 직각방향으로 50 m 떨어진 고도 50 m 지점
- C. 굴뚝으로부터 바람방향으로 1.5 km, 바람 직각방향으로 0 m 떨어진 고도 0 m 지점
- D. 굴뚝으로부터 바람방향으로 1.5 km, 바람 직각방향으로 50 m 떨어진 고도 0 m 지점
- E. 굴뚝으로부터 바람방향으로 3.0 km, 바람 직각방향으로 0 m 떨어진 고도 50 m 지점
- F. 굴뚝으로부터 바람방향으로 3.0 km, 바람 직각방향으로 50 m 떨어진 고도 50 m 지점
- G. 굴뚝으로부터 바람방향으로 3.0 km, 바람 직각방향으로 0 m 떨어진 고도 0 m 지점
- H. 굴뚝으로부터 바람방향으로 3.0 km, 바람 직각방향으로 50 m 떨어진 고도 0 m 지점

(20점)

답)

바람방향 거리가 같은 평면에서 바람 직각방향(y)으로 $y = 0$ 인 지점 중심으로, 연직방향(z)으로 $z = 100$ m인 지점 중심으로 Gaussian distribution이 성립하므로, 바람방향으로 1.5 km인 지점 중 농도가 가장 높은 지점은 A, 바람방향으로 3.0 km인 지점 중 농도가 가장 높은 지점은 E임. 따라서 A와 E의 농도만 계산을 통해 비교하면 됨.

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

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 $x > 1$ km 조건의 계수 값은 $a=68$, $c=44.5$, $d=0.516$, $f=-13.0$ 임.

$$A: x = 1.5 \text{ km}, y = 0, z = 50 \text{ m}$$

$$\sigma_y = ax^{0.894} = 68 \cdot 1.5^{0.894} = 97.7 \text{ m}$$

$$\sigma_z = cx^d + f = 44.5 \cdot 1.5^{0.516} - 13.0 = 41.9 \text{ m}$$

$$\frac{\exp(-(z-H)^2/2\sigma_z^2)}{\sigma_y \sigma_z} = \frac{\exp(-(50-100)^2/(2 \cdot 41.9^2))}{97.7 \text{ m} \cdot 41.9 \text{ m}} = 1.20 \times 10^{-4} \text{ m}^{-2}$$

$$E: x = 3.0 \text{ km}, y = 0, z = 50 \text{ m}$$

$$\sigma_y = ax^{0.894} = 68 \cdot 3.0^{0.894} = 181.6 \text{ m}$$

$$\sigma_z = cx^d + f = 44.5 \cdot 3.0^{0.516} - 13.0 = 65.4 \text{ m}$$

$$\frac{\exp(-(z-H)^2/2\sigma_z^2)}{\sigma_y\sigma_z} = \frac{\exp(-(50-100)^2/(2 \cdot 65.4^2))}{181.6 \text{ m} \cdot 65.4 \text{ m}} = 6.29 \times 10^{-5} \text{ m}^{-2}$$

A의 농도가 E의 농도보다 높으므로, A는 모든 선택지 중 농도가 가장 높은 지점임

6. 페놀이 함유된 폐기물을 매립하는 지정폐기물 매립장이 운영되고 있다. 이 매립장 하부의 liner는 폐기물관리법 시행규칙에 제시된 바에 딱 맞추어 투수계수 10^{-7} cm/s , 두께 1.5 m의 점토층으로 이루어져 있다. 이 점토층 사이의 동수경사가 1.0 m/m이고, 점토층의 유기탄소 함량(f_{oc})은 0.01 g/g, 공극률은 0.30, bulk density는 1.50 g/cm^3 , 페놀의 K_{oc} (sorption coefficient to the organic carbon fraction of soil) 값은 $20 \text{ cm}^3/\text{g}$ 일 때, 페놀이 점토층을 통과하는 데 걸리는 시간을 구하시오. (15점)

답)

$$v'_{water} = \frac{K \cdot i}{\eta} = \frac{10^{-7} \text{ cm/s} \cdot 1.0 \text{ m/m}}{0.30} = 3.33 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$$

$$R = 1 + \left(\frac{\rho_b}{\eta} \right) \cdot f_{oc} \cdot K_{oc} = 1 + \left(\frac{1.5 \text{ g/cm}^3}{0.30} \right) \cdot 0.01 \cdot 20 \text{ cm}^3/\text{g} = 2.0$$

$$v'_{cont} = \frac{v'_{water}}{R} = \frac{3.33 \times 10^{-7} \text{ cm/s}}{2.0} = 1.67 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$$

$$t_{cont} = \frac{L}{v'_{cont}} = \frac{150 \text{ cm}}{1.67 \times 10^{-7} \text{ cm/s}} = 9.0 \times 10^6 \text{ s} = 10417 \text{ days} = 28.5 \text{ years}$$

<참고자료: 대기 안정도 관련>

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.)

<참고자료: 대기오염물질 확산모델의 표준편차 값 관련>

산정식:

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

x = 굴뚝으로부터 바람방향으로의 거리(단위: km)

σ_y = 바람 직각방향(y)의 분포 표준편차(단위: m)

σ_z = 연직방향(z)의 분포 표준편차(단위: m)

Values of $a, c, d,$ and f for calculating σ_y and σ_z							
Stability class	a	$x \leq 1$ km			$x > 1$ 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.)