

457.210A.001

환경공학 중간고사 - Solutions

2018. 10. 17.

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 7문항으로 구성되어 있으며, 총점은 115점입니다.

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

1) 우리나라 최초의 하수처리장은 1990년 건설되었다.

답) X

2) 염화제이철(FeCl₃)의 용해도는 증류수보다 1 M NaCl 용액에서 더 높다(mg/L 기준).

답) X

(common ion effect에 의해 용해도 감소. O/X에 관계없이 정답처리)

3) 착이온(complex ion)의 중심 금속이온은 Lewis acid로 작용한다.

답) O

4) 어떤 물질 A의 반응이 2차반응 $\frac{d[A]}{dt} = -k[A]^2$ 으로 표현될 때, CMBR(Completely mixed batch reactor)에서 초기농도 $[A]_0 = 100 \text{ mg/L}$ 가 90% 감소하여 10 mg/L로 되는 시간은 초기농도 $[A]_0 = 10 \text{ mg/L}$ 가 90% 감소하여 1 mg/L로 되는 시간보다 짧다.

답) O

5) 어떤 물질 A의 반응이 1차반응 $\frac{d[A]}{dt} = -k[A]$ 으로 표현될 때, CMBR(Completely mixed batch reactor)에서 초기농도 $[A]_0 = 100 \text{ mg/L}$ 가 90% 감소하여 10 mg/L로 되는 시간은 초기농도 $[A]_0 = 10 \text{ mg/L}$ 가 90% 감소하여 1 mg/L로 되는 시간보다 짧다.

답) X

6) 지질(lipid)은 생물 체내의 고분자물질 중 친수성이 상대적으로 높은 물질이다.

답) X

7) 동일한 유량으로 유입되는 물질 A를 1차반응 $\frac{d[A]}{dt} = -k[A]$ 으로 90% 제거하는 데 필요한 반응조 부피는 CMFR(completely mixed flow reactor)가 PFR(plug flow reactor)보다 크다.

답) O

8) 어떤 배수지역에서 불투수면이 늘어나면 강우 시 배수관에서 첨두유량(peak flowrate)

에 도달하는 시간이 짧아진다.

답) O

9) 점토(clay)로 이루어진 지역은 지하수 개발에 매우 유리하다.

답) X

10) 생활하수 내 염분 농도는 일반적으로 하천의 염분 농도보다 높다.

답) O

2. 다음 물음에 답하시오.

1) DNA와 RNA의 차이를 그 화학적 구조와 기능의 측면에서 각각 설명하시오. (4점)

답)

화학적 구조의 차이:

DNA: 이중가닥, 당 부분이 2-deoxyribose, 염기가 adenine, thymine, guanine, cytosine

RNA: 단일가닥, 당 부분이 ribose, 염기가 adenine, uracil, guanine, cytosine

기능의 차이:

DNA: 유전정보를 저장, 다음 세대에 전달

RNA: DNA가 가진 유전정보를 ribosome에 전달하여 단백질(효소) 합성

2) 질소 순환에 기여하는 주요한 생물학적 프로세스인 질산화(nitrification)과 탈질(denitrification)에 대하여 간단히 설명하시오. (6점)

답)

질산화: 미생물이 암모니아성 질소(NH₃-N; NH₄⁺/NH₃)를 호기적 조건(electron acceptor=O₂)에서 산화시켜 질산염(NO₃⁻)을 생성하는 과정

탈질: 미생물이 유기물 등을 산화, 에너지를 얻는 과정에서 질산염(NO₃⁻)을 electron acceptor로 사용, 이를 질소 가스(N₂)로 환원하는 과정

3) 온대 지방의 호수에서 늦가을에 발생하는 전도현상(turnover)에 대하여 그 발생원리를 위주로 간단히 설명하시오. (6점)

답)

여름에 표층의 바람에 의한 혼합과 바람 영향을 받지 않는 하부층의 수온에 따른 밀도차에 따라 표수층(epilimnion), 수온약층(thermocline), 심수층(hypolimnion)의 성층을 이루다가 늦가을이 되면 표수층의 온도가 4°C 이하로 하강, 그 밀도가 하부의 물보다 높게 되어 물의 수직적 이동이 발생, 성층이 사라지는 현상

4) 인체 위해성평가에서 비발암물질의 독성 기준값인 Reference Dose (RfD)를 결정하기 위하여서는 동물실험을 통한 결과값인 NOAEL을 획득하고, 획득한 NOAEL을 적절한 안전율(safety factor)로 나누어 주어야 한다. 동물실험의 결과를 사람에게 적용하는 데 이 safety factor가 필요한 이유에 대하여 두 가지 이상 제시하시오. (5점)

답)

- 동물-사람의 종간 차이(inter-species variation)
- 서로 다른 사람 간의 독성 물질에 대한 민감도 차이(intra-species variation)
- 단기간에 걸친 독성영향을 평가하는 동물실험에 비하여 실제 대상으로 하는 인간의 오염물질 노출에 따른 악영향은 훨씬 장기간에 걸쳐 일어나는 점에 따른 차이(악영향 관측 기간의 차이)

5) 수자원의 측면에서 지표수와 지하수가 가지는 각각의 약점을 간단히 설명하시오. (4점)

답)

지표수: 강우량에 크게 좌우되므로 계절별 편차 심함(+이를 보완하기 위한 댐·저수지 건설은 환경파괴, 수질악화 등의 우려가 있음)

지하수: 체류시간(residence time)이 상대적으로 길기 때문에 고갈될 경우 회복에 오랜 시간이 걸림(+지하수의 과도한 사용으로 지하수위가 저하될 경우 지반침하, 싱크홀 등의 문

제가 발생할 수 있음)

6) 호소 및 하천 부영양화의 주요 요인인 인(phosphorus)의 주요 유입원(source)를 점오염원(point source)와 비점오염원(non-point source)로 구분하여 제시하시오. (5점)

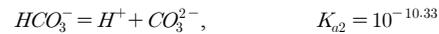
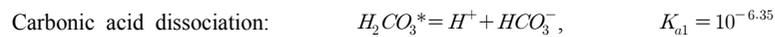
답)

점오염원: 생활하수 및 산업폐수 유입 - 배설물, 음식물류, 세제 등으로부터 인이 생활하수에 유입되며, 식료품 산업 등에서 인 농도가 높은 폐수가 발생, 그로부터 존재하는 하폐수 내 인이 충분히 제거되지 않은 채 처리장에서 배출

비점오염원: 농경지(비료 등), 축산단지(동물 배설물) 등에서 발생하는 표면유출수에 인이 다량 함유된 채 하천 및 호소로 유입

3. 석회석(CaCO₃)과 평형을 이루고 있는 지하수를 양수하여 즉시 분석하였더니 온도가 25 °C, pH가 8.5, Ca²⁺ 농도가 1 mM 이었다. 이 지하수를 묽은 용액으로 가정하고, 다음 물음에 답하시오.

(참고)



1) 이 지하수의 carbonate species 총 농도 C_T (= [H₂CO₃*] + [HCO₃⁻] + [CO₃²⁻])를 구하시오. (10점)

답)

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

$[CO_3^{2-}] = \frac{10^{-8.34}}{[Ca^{2+}]} = \frac{10^{-8.34}}{10^{-3}} = 4.57 \times 10^{-6} M$

$10^{-10.33} = \frac{[CO_3^{2-}][H^+]}{[HCO_3^-]}$

$[H^+] = 10^{-8.5} M$

$[HCO_3^-] = \frac{[CO_3^{2-}][H^+]}{10^{-10.33}} = \frac{4.57 \times 10^{-6} \cdot 10^{-8.5}}{10^{-10.33}} = 3.09 \times 10^{-4} M$

pH가 pK_{a1}보다 2 unit 이상 높으므로, [H₂CO₃*]는 [HCO₃⁻]의 1% 미만임. 따라서 계산 생략 가능.

* 굳이 계산하면: $[H_2CO_3^*] = \frac{[HCO_3^-][H^+]}{10^{-6.35}} = \frac{3.09 \times 10^{-4} \cdot 10^{-8.5}}{10^{-6.35}} = 2.19 \times 10^{-6} M$

* 근거가 명확하면(예: 5% 미만 오차는 인정 + pH-pK_{a2} 차이 1.8 unit 이상), [CO₃²⁻] 또한 생략 가능.

따라서,

$C_T = 3.09 \times 10^{-4} M + 4.57 \times 10^{-6} M = 3.14 \times 10^{-4} M$

(H₂CO₃* 포함시 3.16×10⁻⁴ M, H₂CO₃*/CO₃²⁻ 모두 불포함시 3.09×10⁻⁴ M)

2) 이 지하수의 alkalinity를 mg/L as CaCO₃ 단위로 구하시오. (5점)

답)

pH=8.5이므로, H⁺, OH⁻의 농도는 무시 가능. 근거가 명확하면 CO₃²⁻도 무시 가능.

$Alk = [HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] = 3.09 \times 10^{-4} + 2 \times 4.57 \times 10^{-6} M = 3.18 \times 10^{-4} eq/L = 0.318 meq/L$
 $= 15.9 mg/L as CaCO_3$

4. 자취방에서 흡연을 막 마치려던 차에 집주인이 방문하고 싶다는 연락을 받았다. 집주인에게 자취방에서 흡연하는 것을 들키고 싶지 않아 속히 창문을 열어 환기를 시키고 자 하였다. 연락 시점의 자취방 내 담배연기 농도는 100 mg/m³, 자취방의 총 공기부피

가 50 m³이고, 창문을 열었을 때 방 내부 공기의 외부 공기와의 치환 속도는 1 m³/min이며, 자취방 내부의 공기는 완전혼합(completely mixed)된다고 가정하자. 담배연기 농도가 1 mg/m³ 미만이어야 냄새를 느낄 수 없다고 한다면, 집주인이 몇 시간 이후에 방문하여야 흡연을 들키지 않을 수 있겠는가? (단, 외부 공기에는 담배연기가 전혀 없다고 가정)

(15점)

답)

별도로 일어나는 반응은 없으므로, CMFR solution 중 반응이 없는 케이스에 대한 다음의 식 활용

$$C_{out,t} = C_o \left[\exp\left(-\frac{t}{t_o}\right) \right] + C_m \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{t_o}\right) \right]$$

여기서, 외부로부터 들어오는 공기의 농도 C_m은 0이므로

$$C_{out,t} = C_o \left[\exp\left(-\frac{t}{t_o}\right) \right]$$

$$t = t_o \cdot \ln \frac{C_o}{C_{out,t}}$$

$$t_o = \frac{V}{Q} = \frac{50 \text{ m}^3}{1 \text{ m}^3/\text{min}} = 50 \text{ min}$$

$$t = 50 \text{ min} \cdot \ln \frac{100}{1} = 230 \text{ min} = 3.83 \text{ hr}$$

5. 총 면적 30 km²의 호수가 있다. 2017년에 이 호수로 유입되는 하천의 평균 유량이 3.26 m³/s, 유출되는 하천의 평균 유량이 3.15 m³/s, 해당 지역 강수량이 1250 mm, 증발량(evaporation)이 720 mm, 호수 바닥면에서 지하로의 침투량(seepage)이 615 mm이다. 이 때, 이 호수의 2017년 동안 storage의 변화량을 m³ 단위로 구하시오. (10점)

답)

$$\begin{aligned} \frac{\Delta S}{\Delta t} &= (3.26 - 3.15) \text{ m}^3/\text{s} \cdot (86400 \times 365) \text{ s/year} \\ &+ (1250 - 720 - 615) \text{ mm/year} \cdot 10^{-3} \text{ m/mm} \cdot 30 \text{ km}^2 \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{km}^2 \\ &= 9.19 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{year} \end{aligned}$$

따라서, 9.19×10⁵ m³

6. 우리나라의 대기 중 아황산가스 농도기준은 20 ppb이며(연간 평균값) 이를 μg/m³ 단위로 환산하면 20°C, 1기압에서 54 μg/m³이다. 어떤 여성이 18세부터 75세까지 우리나라에 거주하면서 20 ppb의 아황산가스에 노출되어 왔다. 이 여성은 매년 주기적으로 20 일간 아황산가스 농도가 0 ppb인 청정지역에서 휴가를 보내고 나머지 기간은 전일 우리나라에 거주한다고 가정할 때, 이 여성의 평생 동안의 Chronic Daily Intake(CDI)를 구하시오. (단, 체중은 60 kg, 대기 흡입량은 11.3 m³/day, averaging time(AT)는 노출기간과 동일한 57 years = 20805 days 사용) (15점)

답)

$$CDI = C \left[\frac{(CR)(EFD)}{BW} \right] \left(\frac{1}{AT} \right)$$

$$C = 54 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$CR = 11.3 \text{ m}^3/\text{day}$$

$$EFD = EF \times ED = 345 \text{ days/year} \times 57 \text{ years} = 19665 \text{ days}$$

$$BW = 60 \text{ kg}$$

$$AT = 20805 \text{ days}$$

$$CDI = (54 \mu\text{g}/\text{m}^3) \cdot \frac{11.3 \text{ m}^3/\text{day} \cdot 19665 \text{ days}}{60 \text{ kg}} \cdot \frac{1}{20805 \text{ days}} = 9.61 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$$

7. 어떤 하천의 A지점에서 하천수를 채취하여 분석한 결과 BOD₅는 4.0 mg/L, DO는 7.0

mg/L가 나왔다. BOD에 대한 1차반응상수(first-order reaction constant)는 0.18 day^{-1} 이고, 이는 하천에서의 deoxygenation rate constant k_d 와 동일하다. 또한, 해당 하천의 reaeration coefficient k_r 은 0.25 day^{-1} 이며, 유속은 0.5 m/s 이다. 이 때, 다음 물음에 답하시오.

1) 하천수의 최종 BOD(ultimate BOD) 값을 구하시오. (5점)

답)

$$BOD_t = L_0(1 - e^{-kt})$$

$$L_0 = \frac{BOD_t}{1 - e^{-kt}} = \frac{4 \text{ mg/L}}{1 - e^{-0.18 \cdot 5}} = 6.7 \text{ mg/L}$$

2) A지점으로부터 100 km 하류에 위치한 B지점에서의 DO 농도를 구하시오. 단, A와 B 지점 사이에 오염물질 유입은 없으며, 포화산소농도(saturation DO) 값은 9.0 mg/L 를 사용하시오. (10점)

답)

우선 하천수가 A지점에서 B지점에 도달하는 시간을 계산하면,

$$t = \frac{L}{u} = \frac{100 \text{ km} \times 10^3 \text{ m/km}}{0.5 \text{ m/s}} = 2 \times 10^5 \text{ s} = 2.31 \text{ days}$$

A지점에서의 oxygen deficit은

$$D_a = 9.0 - 7.0 = 2.0 \text{ mg/L}$$

$$DO = DO_s - D = DO_s - \left[\frac{k_d L_a}{k_r - k_d} (e^{-k_d t} - e^{-k_r t}) + D_a (e^{-k_r t}) \right]$$

$$= 9.0 \text{ mg/L} - \left[\frac{0.18}{0.25 - 0.18} \times 6.7 \text{ mg/L} \times (e^{-0.18 \cdot 2.31} - e^{-0.25 \cdot 2.31}) + 2.0 \text{ mg/L} \times e^{-0.25 \cdot 2.31} \right]$$

$$= 6.2 \text{ mg/L}$$