

457.210A.001

환경공학 중간고사 - Solutions

2020. 10. 14

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 100점입니다.

1. 다음 명제에 대하여 옳고 그름을 O/X로 표시하시오.

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

1) 물 분자를 ligand로 하는 착이온(complex ion)의 중앙에 위치한 금속 이온은 Lewis acid이다.

답) O

2) 바닷물에 존재하는 이온성 물질의 활성화 계수(activity coefficient)는 빗물에 존재하는 이온성 물질의 활성화 계수보다 낮다.

답) O

3) 1차반응의 반감기는 초기 농도에 관계없이 일정하다.

답) O

4) 지방(fat)의 단량체(monomer)는 지방산(fatty acid)이다.

답) X

5) 암모니아의 질산화(nitrification)에 관여하는 세균(bacteria)은 chemoorganotroph이다.

답) X

6) 동일한 유량 조건에서 반응조 유입수 내의 오염물질 A를 1차반응 $d[A]/dt = -k[A]$ 으로 90% 제거하는 데 필요한 반응조 부피는 CMFR (completely mixed flow reactor)가 PFR (plug flow reactor)보다 크다.

답) O

7) 광물에서 인(phosphorus)을 효율적으로 추출할 수 있는 Haber-Bosch process가 개발되면서 작물 생산량이 획기적으로 증가한 반면, 부영양화의 문제가 대두되었다.

답) X

8) 기온이 연중 20 °C 이상으로 온난한 기후가 유지되는 아열대지방에서는 호수의 turnover가 발생하지 않는다.

답) O

9) 발암물질의 독성은 slope factor (SF) 값이 클수록 낮다.

답) X

10) 일반적으로 점토의 공극률(porosity)이 모래의 공극률보다 크므로, 점토층의 투수계수 (hydraulic conductivity) 또한 모래층의 투수계수보다 일반적으로 크다.

답) X

2. 다음 물음에 대하여 답하시오.

1) 세포막(cell membrane)의 기능에 대하여 간단히 설명하시오. (4점)

답) 세포 내 물질과 기관을 세포 외부로부터 구분하는 경계가 되고, 세포 내부와 외부 간 물질 이동의 선택성을 부여하여 세포의 항상성 유지와 기능 수행을 가능하게 함

2) 어떤 물질에 대한 독성실험을 통해 도출한 용량(dose)과 사망률(mortality) 간의 관계에서 LD₅₀ 값과 NOAEL 값이 의미하는 바는 각각 무엇인지 간략히 기술하시오. (6점)

답)

LD₅₀: 50%의 대상군이 사망하게 되는 용량

NOAEL: 사망률이 0%를 나타내는 최대 용량

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

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 문제가 발생할 수 있음)

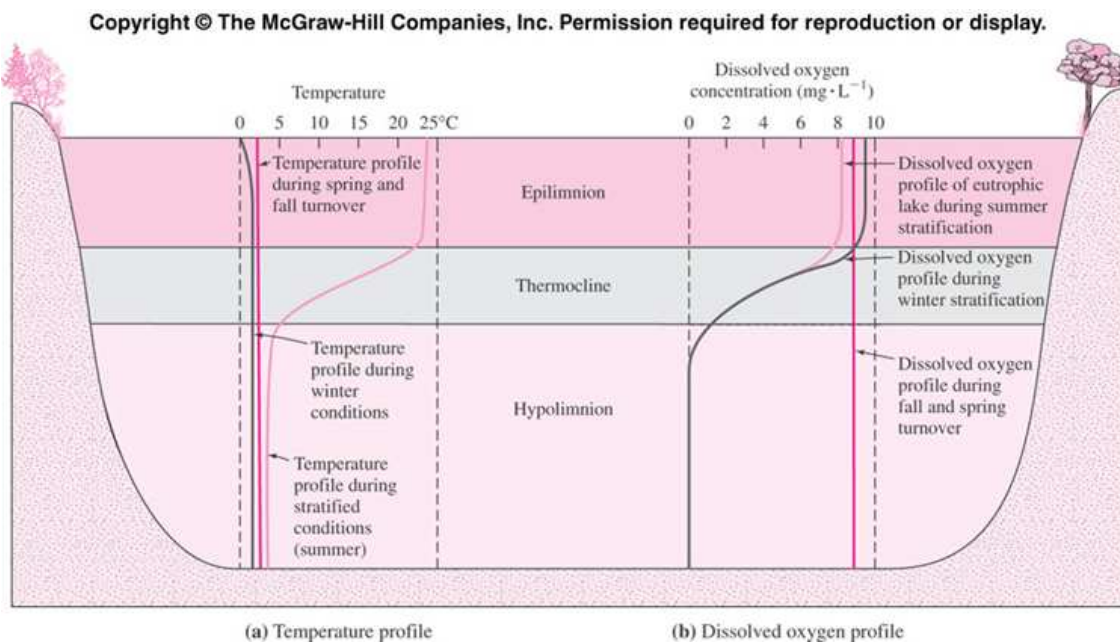
4) 택지개발로 인해 어떤 집수구역의 불투수면적이 증가하였을 때, 이로 인하여 강우시 이 집수구역의 시간에 따른 배수 유량이 어떻게 변화하는지 간략히 기술하시오. (5점)

답) 첨두유량(peak flowrate)에 도달하는 시간이 짧아지고, 첨두유량의 크기가 커진다.

3. 온대 지방의 여름철에 층상 구조(stratification)가 만들어지는 원인을 서술하고, 온대 지방 여름철 부영양 호수(eutrophic lake)의 깊이에 따른 온도분포와 용존산소농도(dissolved oxygen concentration) 분포를 그리시오. (12점)

답)

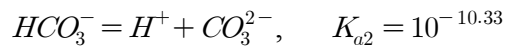
여름철 호수의 상부는 따뜻한 공기로 말미암아 가열, 비교적 높은 온도를 유지하며 바람의 영향으로 어느 정도 깊이까지 혼합이 일어나므로 깊이에 따라 그 깊이까지 일정한 수온을 갖게 된다. 바람의 영향이 미치지 않는 하부로 내려가면 깊이에 따라 수온이 내려가게 되며, 수온이 내려갈수록 밀도가 증가하므로 이 층에서는 혼합이 거의 발생하지 않는다. 더 하부로 내려가 수온이 4°C에 가까이 도달하면 이때 물의 밀도가 최대가 되며, 수온이 이보다 더 내려간 물은 밀도차에 의하여 상부로 이동, 가열되는 프로세스로 지속적인 혼합이 일어나므로 이 층에서의 온도는 4°C 부근으로 일정하게 유지된다.



4. 천층의 해수는 대기 중의 CO_2 와 평형을 이루고 있으며, 일반적인 해수의 HCO_3^- 농도는 140 mg/L 정도로 알려져 있다. 지구 온난화에 의해서 최근 100년 사이 대기 중 CO_2 농도는 약 280 ppm ($= 2.8 \times 10^{-4} \text{ atm}$)에서 400 ppm ($= 4.0 \times 10^{-4} \text{ atm}$)으로 증가하였다. 최근 100년 사이 해수의 HCO_3^- 농도는 140 mg/L로 일정하다고 가정하고, 다음 물음에 답하시오. (단, 계산의 편의상 activity=molarity로 가정)

1) 다음 평형관계를 이용하여 대기 중 CO_2 농도의 증가로 천층 해수의 pH는 어떻게 변화하는지 계산을 통해 보이시오. (탄소, 산소 및 수소의 원자량은 각각 12, 16, 1을 사용)

$$\text{Henry's law constant of } \text{CO}_2: \quad K_H = 3.4 \times 10^{-2} \text{ M/atm}$$



(12점)

답)

$$[\text{HCO}_3^-] = \frac{140 \text{ mg/L} \cdot 10^{-3} \text{ g/mg}}{61 \text{ g/mole}} = 2.30 \times 10^{-3} \text{ M}$$

i) CO_2 농도 = 280 ppm

$$[\text{H}_2\text{CO}_3^*] = K_H \cdot P_{\text{CO}_2} = 3.4 \times 10^{-2} \text{ M/atm} \cdot 2.8 \times 10^{-4} \text{ atm} = 9.52 \times 10^{-6} \text{ M}$$

$$\frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3^*]} = K_{a1}, \quad [\text{H}^+] = K_{a1} \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3^*]}{[\text{HCO}_3^-]} = 10^{-6.35} \cdot \frac{9.52 \times 10^{-6} \text{ M}}{2.30 \times 10^{-3} \text{ M}} = 1.85 \times 10^{-9} \text{ M}$$

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log(1.85 \times 10^{-9} \text{ M}) = 8.73$$

ii) CO_2 농도 = 400 ppm

$$[\text{H}_2\text{CO}_3^*] = K_H \cdot P_{\text{CO}_2} = 3.4 \times 10^{-2} \text{ M/atm} \cdot 4.0 \times 10^{-4} \text{ atm} = 1.36 \times 10^{-5} \text{ M}$$

$$[H^+] = K_{a1} \frac{[H_2CO_3^*]}{[HCO_3^-]} = 10^{-6.35} \cdot \frac{1.36 \times 10^{-5} M}{2.30 \times 10^{-3} M} = 2.64 \times 10^{-9} M$$

$$pH = -\log [H^+] = -\log(2.64 \times 10^{-9} M) = 8.58$$

∴ pH 약 0.15 감소

2) CO₂ 농도가 400 ppm일 때 천층 해수의 carbonate alkalinity를 mg/L as CaCO₃ 단위로 구하시오. (5점)

답)

$$\frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} = K_{a2}, [CO_3^{2-}] = K_{a2} \frac{[HCO_3^-]}{[H^+]} = 10^{-10.33} \cdot \frac{2.30 \times 10^{-3} M}{2.64 \times 10^{-9} M} = 4.09 \times 10^{-5} M$$

$$C- Alk = [HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] = 2.30 \times 10^{-3} + 2 \times 4.09 \times 10^{-5} = 2.38 \times 10^{-3} eq/L$$

$$= 2.38 \times 10^{-3} eq/L \cdot 5 \times 10^4 mg CaCO_3/eq = 119 mg/L as CaCO_3$$

5. 병원균인 *E. coli* O157:H7은 염소소독 시 1차반응에 따라 제거되는 것으로 알려져 있다. 실험실 실험을 통해 염소소독 시 이 병원균의 반감기를 구했더니 2.5분이었다. 이 때, 다음 물음에 답하시오.

1) 이 병원균 제거반응의 1차반응상수(first-order reaction constant)를 구하시오. (3점)

답)

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

$$k = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{\ln 2}{2.5 \text{ min}} = 0.277 \text{ min}^{-1}$$

- 2) 이 반응을 이용하여 원수의 *E. coli* O157:H7를 99.9% 제거하는 반응조를 설계하려고 한다. 반응조가 PFR일 때와 steady-state CMFR일 때 각각에 대하여 요구되는 체류시간(retention time; 단위: 분)을 구하시오. (8점)

답)

PFR:

$$\frac{C_{out}}{C_{in}} = e^{-kt_0}$$

$$t_0 = -\frac{1}{k} \ln \frac{C_{out}}{C_{in}} = -\frac{1}{0.277 \text{ min}^{-1}} \ln 0.001 = 24.9 \text{ min}$$

Steady-state CMFR:

$$\frac{C_{out}}{C_{in}} = \frac{1}{1 + kt_0}$$

$$t_0 = \frac{1}{k} \cdot \left(\frac{C_{in}}{C_{out}} - 1 \right) = \frac{1}{0.277 \text{ min}^{-1}} \cdot (1000 - 1) = 3606 \text{ min}$$

- 3) 위 2)번의 PFR과 steady-state CMFR에 대하여 원수의 유입속도가 $10^4 \text{ m}^3/\text{hr}$ 일 때 필요한 반응조의 부피를 각각 구하시오. (4점)

답)

$$\text{PFR: } V = Q \cdot t_0 = 10^4 \text{ m}^3/\text{hr} \cdot 24.9 \text{ min} \cdot \frac{1}{60 \text{ min}/\text{hr}} = 4150 \text{ m}^3$$

$$\text{Steady-state CMFR: } V = Q \cdot t_0 = 10^4 \text{ m}^3/\text{hr} \cdot 3606 \text{ min} \cdot \frac{1}{60 \text{ min}/\text{hr}} = 6.01 \times 10^5 \text{ m}^3$$

6. 어떤 과학자가 실험실에서 벤젠을 이용한 실험을 20년 동안 진행하였다. 만 20년째 실험하던 날 이 과학자는 실험실의 벤젠 농도가 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이라는 것을 알고 즉시 실험실 출입을 중단하고 은퇴를 선언하였다. 이 과학자가 벤젠 농도 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 실험실에서 20년 동안 하루에 8시간씩 주 5회, 연간 45주를 근무하였다고 가정할 때, 아래 정보를 활용하여 물음에 답하시오.

$$\text{Averaging time} = 75 \text{ years} \times 365 \text{ days} = 27375 \text{ days}$$

$$\text{과학자의 체중} = 75 \text{ kg}$$

$$\text{과학자의 일일 공기 흡입량} = 11.3 \text{ m}^3/\text{day}$$

$$\text{벤젠의 흡입에 의한 cancer slope factor} = 0.029 \text{ kg-day/mg}$$

- 1) 이 과학자의 공기 내 벤젠 흡입으로 인한 발암 위해도는 얼마인가? (10점)

답)

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

$$C = 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

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

$$EFD = EF \times ED = 8 \text{ hr}/\text{day} \cdot 5 \text{ days}/\text{week} \cdot 45 \text{ weeks}/\text{year} \times 20 \text{ years} = 36000 \text{ hrs} = 1500 \text{ days}$$

$$BW = 75 \text{ kg}$$

$$AT = 27375 \text{ days}$$

$$\therefore CDI = (200 \mu\text{g}/\text{m}^3) \left[\frac{11.3 \text{ m}^3/\text{day} \cdot 1500 \text{ days}}{75 \text{ kg}} \right] \cdot \frac{1}{27375 \text{ days}} = 1.65 \mu\text{g}/\text{kg-day}$$

$$\text{Carcinogenic risk} = 1.65 \mu\text{g}/\text{kg-day} \cdot 0.029 \text{ kg-day}/\text{mg} \cdot 10^{-3} \text{ mg}/\mu\text{g} = 4.8 \times 10^{-5}$$

- 2) 본인이 이 과학자라면 어떠한 판단을 내리겠는가? 계산한 발암 위해도 등 정량적인 값을 본인의 시각(또는 중점을 두는 가치, 인생관)으로 고찰하여 논하시오. (6점)