

과제 #3 - Solutions

제출일: 10/19 수업시간

1. 총 면적 30 km²의 호수가 있다. 2014년에 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, 침투량(seepage)이 615 mm이다. 이 때, 이 호수의 2014년 동안 storage의 변화량을 m³과 mm 단위로 구하시오. (15 점)

답)

$$\begin{aligned} \frac{\Delta S}{\Delta t} &= (3.26 - 3.15) \text{ m}^3/\text{s} \cdot (86400 \times 365) \text{ s/year} \\ &+ (1250 - 720 - 615) \text{ mm/year} \cdot 10^{-3} \text{ m/mm} \cdot 30 \text{ km}^2 \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{km}^2 \\ &= 9.19 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{year} \\ &= \frac{9.19 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{year}}{30 \text{ km}^2 \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{km}^2} \times 10^3 \text{ mm/m} = 30.6 \text{ mm/year} \end{aligned}$$

따라서, $9.19 \times 10^5 \text{ m}^3$, 30.6 mm

2. 두 개의 피에조미터(piezometer)가 25.0 m 두께의 confined aquifer의 지하수 흐름 방향으로 설치되어 있다. 두 피에조미터의 간격이 150 m이고, 내압수두(piezometric head)의 차이가 0.75 m이다. Aquifer의 hydraulic conductivity가 28 m/day, porosity가 0.33일 때, 두 피에조미터 사이를 이동하는 지하수의 이동 시간을 구하시오 (단위: days). (15점)

답)

$$\text{Darcy's velocity, } v = 28 \text{ m/day} \cdot \frac{0.75 \text{ m}}{150 \text{ m}} = 0.14 \text{ m/day}$$

$$\text{Seepage velocity, } v' = \frac{0.14 \text{ m/day}}{0.33} = 0.42 \text{ m/day}$$

$$\text{이동 시간, } t = \frac{L}{v'} = \frac{150 \text{ m}}{0.42 \text{ m/day}} = 357 \text{ days}$$

3. 관련 서적 또는 웹 자료를 참조하여 다음 물음에 답하시오.

1) 병원균으로 작용하는 바이러스, 박테리아, 원생동물을 각 2종씩 열거하고, 각 병원균에 감염되었을 때 사람에게 나타나는 증상 또는 병명을 말하시오. (7점)

답)

a) 대표적 바이러스 병원균

coronavirus: 감기. Coronavirus에 속하는 아종(strain) 중 하나는 SARS(severe acute respiratory syndrome)을 일으키는 것으로 알려져 있음.

rhabdovirus: 이에 속하는 종 중 하나가 광견병을 일으킴

orthomyxoviridae: 인플루엔자

novovirus: 위장염

hepatitis A-E; 바이러스성 간염

b) 대표적 박테리아 병원균

salmonella: 장티푸스, 식중독

Escherichia coli O157:H7: 출혈성 설사, 신장 질환

Shigella: 이질

Campylobacter jejuni: 식중독

Vibrio cholerae: 콜레라

Helicobacter pylori: 위염, 구토, 소화성 궤양, 위암

c) 대표적 원생동물 병원균

Giardia lamblia: 설사, 불안증, 지방 변증

Cryptosporidium parvum: 설사, 거식증, 구토

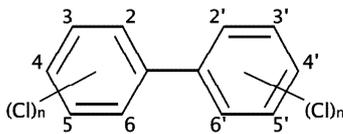
Entamoeba histolytica: 이질, 간 농양

2) 내분비계교란물질(Endocrine disrupting chemicals; EDCs)을 최소 5가지 열거하고, 각 물질의 화학구조를 그리시오. (7점)

답)

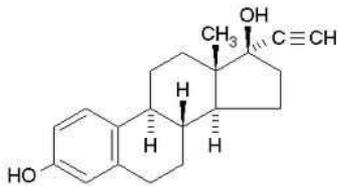
대표적 내분비계교란물질

Polychlorinated biphenyls (PCBs)

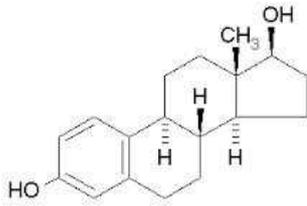


주: PCBs는 단일 화합물이 아닌, biphenyl을 뼈대로 하여 염소가 1개~10개 치환된 화합물을 칭하는 것으로, 염소의 개수 및 치환된 위치에 따라 총 209개의 다른 화합물이 있음.

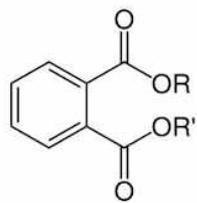
17-α ethynylestradiol (EE2)



17-β estradiol (E2)

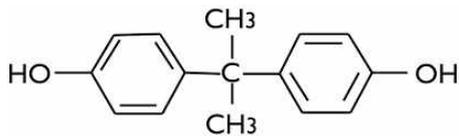


Phthalates

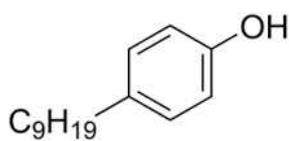


주: Phthalates 역시 단일 화합물이 아닌, 유사한 구조를 갖는 화합물의 총칭으로 위 뼈대에 R과 R'이 해당하는 부분에 다양한 organic functional group이 부착될 수 있음.

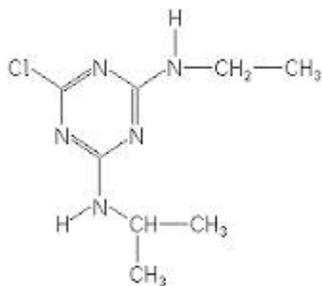
Bisphenol A



Nonylphenol



Atrazine



3) Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs)로 분류될 수 있는 화합물을 최소 5가지 열거하고, 각 화합물의 용도를 간단히 설명하시오. (6점)

답)

매우 다양한 PPCPs가 존재하며, 아래에는 몇 가지 예만 제시하였음:

caffeine: 커피 또는 탄산음료의 첨가물

ibuprofen: 진통제, 해열제

triclosan: 비누, 샴푸, 데오드란트, 치약

carbamazepine: 진정제

acetaminophen: 진통제, 해열제

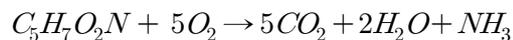
codeine: 진통제

17- α ethynylestradiol: 피임약

triclocarbon: 항균제

4. 박테리아 세포는 일반적으로 화학식 $C_5H_7O_2N$ 으로 표현한다. 이 때, 다음 물음에 답하시오.

1) 다음의 반응식을 참고하여 박테리아 1 g의 theoretical oxygen demand (ThOD)를 계산하시오.



(8점)

답)

박테리아 세포의 화학식량은 $5 \times 12 + 1 \times 7 + 16 \times 2 + 14 = 113 \text{ g/mole}$

따라서, ThOD는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \text{ThOD} &= \frac{(5 \text{ moles } O_2 / 1 \text{ mole bacterial cells}) \times (32 \text{ g } O_2 / \text{mole } O_2)}{113 \text{ g bacterial cells/mole bacterial cells}} \\ &= 1.42 \text{ g } O_2 / \text{g bacterial cells} \end{aligned}$$

- 2) 위 반응식에 추가로 NH_3 를 다음의 반응식에 따른 산소요구량을 추가하여 박테리아 1 g의 theoretical oxygen demand (ThOD)를 다시 계산하시오.



(5점)

답)

$$\begin{aligned} ThOD &= \frac{\{(5+2) \text{ moles } O_2 / 1 \text{ mole bacterial cells}\} \times (32 \text{ g } O_2 / \text{mole } O_2)}{113 \text{ g bacterial cells / mole bacterial cells}} \\ &= 1.98 \text{ g } O_2 / \text{g bacterial cells} \end{aligned}$$

5. 어떤 두 샘플의 BOD_5 값이 $20^\circ C$ 에서 130 mg/L 로 동일하게 나왔다. 각 샘플의 1차반응계수 k 가 $20^\circ C$ 에서 각각 0.38 day^{-1} 과 0.24 day^{-1} 일 때, 다음 물음에 답하시오.

- 1) 두 샘플의 ultimate BOD를 각각 구하시오. (7점)

답)

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

따라서, 각각의 ultimate BOD는,

$$k=0.38 \text{ day}^{-1}: L_0 = \frac{130 \text{ mg/L}}{1 - \exp(-0.38 \text{ day}^{-1} \cdot 5 \text{ days})} = 153 \text{ mg/L}$$

$$k=0.24 \text{ day}^{-1}: L_0 = \frac{130 \text{ mg/L}}{1 - \exp(-0.24 \text{ day}^{-1} \cdot 5 \text{ days})} = 186 \text{ mg/L}$$

- 2) $25^\circ C$ 에서 두 샘플의 BOD_5 값을 각각 구하시오. (5점)

답)

$$k_T = k_{20} \theta^{T-20}, \quad \theta = 1.056 \text{ for } 20-30^\circ C$$

$$k=0.38 \text{ day}^{-1} @ 20^{\circ}\text{C}: k_{25} = (0.38 \text{ day}^{-1}) \cdot 1.056^{25-20} = 0.50 \text{ day}^{-1}$$

$$k=0.24 \text{ day}^{-1} @ 20^{\circ}\text{C}: k_{25} = (0.24 \text{ day}^{-1}) \cdot 1.056^{25-20} = 0.32 \text{ day}^{-1}$$

두 샘플의 BOD₅는

$$k=0.38 \text{ day}^{-1} @ 20^{\circ}\text{C}:$$

$$BOD_5 = (153 \text{ mg/L}) \times \{1 - \exp(-0.50 \text{ day}^{-1} \cdot 5 \text{ days})\} = 140 \text{ mg/L}$$

$$k=0.24 \text{ day}^{-1} @ 20^{\circ}\text{C}:$$

$$BOD_5 = (186 \text{ mg/L}) \times \{1 - \exp(-0.32 \text{ day}^{-1} \cdot 5 \text{ days})\} = 148 \text{ mg/L}$$

6. 어떤 강 A로 하수수집시설 B의 방류수가 유입되고 있다. 합류 수 강 A의 유속은 0.40 m/s이고, 수심은 3 m이다. 각각의 수량 및 수질에 대한 정보가 아래 표와 같고 BOD 제거에 대한 1차반응상수가 20°C에서 **0.25** day⁻¹일 때, 다음 물음에 답하시오.

수량 및 수질 정보	강 A	하수수집시설 B
Flowrate (m ³ /s)	1.08	0.15
Ultimate BOD (mg/L)	11	120
DO (mg/L)	7.8	1.5
Temperature	28	28

* 28°C에서 포화용존산소 (saturation DO) 농도 = 7.92 mg/L

※ 강의자료에 제시한 reaeration coefficient 구하는 공식에 오류가 있었습니다:

$$k_r = 3.9 \frac{u^{1/2}}{h^{2/3}} \quad (\text{X})$$

$$k_r = 3.9 \frac{u^{1/2}}{h^{3/2}} \quad (\text{O})$$

정정한 공식에 맞추기 위하여 문제에서 제시한 20°C에서의 BOD 제거 1차반응상수도 0.25 day⁻¹로 정정하여 답안을 제시하니, 참고하기 바랍니다.

1) 강 A와 하수수집시설 B의 방류수가 합류하는 지점의 ultimate BOD와 oxygen

deficit을 구하시오. (5점)

답)

$$L_a = \frac{Q_w L_w + Q_r L_r}{Q_w + Q_r} = \frac{0.15 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 120 \text{ mg/L} + 1.08 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 11 \text{ mg/L}}{(0.15 + 1.08) \text{ m}^3/\text{s}} = 24.3 \text{ mg/L}$$

$$D_a = DO_s - \frac{Q_w DO_w + Q_r DO_r}{Q_w + Q_r} = 7.92 \text{ mg/L} - \frac{0.15 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1.5 \text{ mg/L} + 1.08 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 7.8 \text{ mg/L}}{(0.15 + 1.08) \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$= 0.89 \text{ mg/L}$$

2) 합류 후 수온에 대한 reaeration coefficient와 deoxygenation rate constant를 구하시오. (5점)

답)

$$k_{r,20} = 3.9 \frac{u^{1/2}}{h^{3/2}} = 3.9 \cdot \frac{(0.4 \text{ m/s})^{1/2}}{(3 \text{ m})^{3/2}} = 0.475 \text{ day}^{-1}$$

$$k_{r,28} = k_{r,20} \theta^{28-20} = 1.19 \text{ day}^{-1} \cdot 1.024^{28-20} = 0.57 \text{ day}^{-1}$$

$$k_{d,28} = k_{d,20} \theta^{28-20} = 0.25 \text{ day}^{-1} \cdot 1.056^{28-20} = 0.39 \text{ day}^{-1}$$

3) 합류 후 하류 10 km 지점에서 DO를 구하시오. (9점)

답)

$$t = \frac{10000 \text{ m}}{0.40 \text{ m/s} \cdot 86400 \text{ s/day}} = 0.29 \text{ day}$$

$$D_t = \frac{k_d L_a}{k_r - k_d} (e^{-k_d t} - e^{-k_r t}) + D_a (e^{-k_r t})$$

$$= \frac{0.39 \text{ day}^{-1} \cdot 24.3 \text{ mg/L}}{(0.57 - 0.39) \text{ day}^{-1}} \{ \exp(-0.39 \text{ day}^{-1} \cdot 0.29 \text{ day}) - \exp(-0.57 \text{ day}^{-1} \cdot 0.29 \text{ day}) \}$$

$$+ 0.89 \text{ mg/L} \cdot \exp(-0.57 \text{ day}^{-1} \cdot 0.29 \text{ day})$$

$$= 3.15 \text{ mg/L}$$

$$DO_t = DO_s - D_t = 7.92 \text{ mg/L} - 4.56 \text{ mg/L} = 4.77 \text{ mg/L}$$

4) 합류 후 강 A에서 DO가 최소가 되는 지점과 이때의 DO를 구하시오. (6점)

답)

$$\begin{aligned} t_c &= \frac{1}{k_r - k_d} \ln \left[\frac{k_r}{k_d} \left(1 - D_a \frac{k_r - k_d}{k_d L_a} \right) \right] \\ &= \frac{1}{(0.57 - 0.39) \text{ day}^{-1}} \ln \left[\frac{0.57 \text{ day}^{-1}}{0.39 \text{ day}^{-1}} \left(1 - 0.89 \text{ mg/L} \frac{(0.57 - 0.39) \text{ day}^{-1}}{0.39 \text{ day}^{-1} \cdot 24.3 \text{ mg/L}} \right) \right] \\ &= 2.01 \text{ day} \end{aligned}$$

$$L_c = u \cdot t_c = 0.40 \text{ m/s} \cdot 2.01 \text{ day} \cdot 86400 \text{ s/day} = 6.95 \times 10^4 \text{ m} = 69.5 \text{ km}$$

$$\begin{aligned} D_c &= \frac{k_d L_a}{k_r - k_d} (e^{-k_d t_c} - e^{-k_r t_c}) + D_a (e^{-k_r t_c}) \\ &= \frac{0.39 \text{ day}^{-1} \cdot 24.3 \text{ mg/L}}{(0.57 - 0.39) \text{ day}^{-1}} \{ \exp(-0.39 \text{ day}^{-1} \cdot 2.01 \text{ day}) - \exp(-0.57 \text{ day}^{-1} \cdot 2.01 \text{ day}) \} \\ &\quad + 0.89 \text{ mg/L} \cdot \exp(-0.57 \text{ day}^{-1} \cdot 2.01 \text{ day}) \\ &= 7.58 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$DO_c = DO_s - D_c = 7.92 \text{ mg/L} - 7.58 \text{ mg/L} = 0.34 \text{ mg/L}$$