

과제 #3 - Solutions

제출일시: 11/09 23:59

*** 과제는 여러분들의 자가학습을 위한 것으로, 정답을 기준으로 채점하지 않고 본인이 직접 문제를 해결했는지 여부로 평가합니다. 문제풀이를 한 노력이 보이면 감점은 전혀 없습니다. 답안 작성을 하지 않았을 경우 해당 문제를 0점, 한 문제라도 다른 이의 답안을 그대로 활용한 것이 분명할 경우 해당 과제 전체를 0점 처리합니다.**

1. 신종 오염물질(emerging contaminants, contaminants of emerging concern)에 대한 다음 물음에 답하시오.

1) 신종 오염물질을 정의를 제시하시오. (5점)

답)

기존에 인간이 생산하거나 자연계에 존재하지 않았던 물질로서 인체 또는 생태계에 대한 악영향이 우려되는 물질과 기존에 존재했던 물질로서 인체 또는 생태계에 대한 악영향 우려가 새롭게 발견된 물질의 총칭.

일반적으로는 생물 실험 등으로 그 독성이 보고된 바 있으나 아직 대부분의 국가/주에서 규제되지 않고 있는 물질을 칭함

2) 본인이 일상 속에서 직접적으로 접촉하는 화학공업 제품(샴푸, 린스, 화장품, 치약, 선크림 등)의 성분표를 보고, 이 중 신종오염물질에 속하는 물질이 포함된 제품을 찾아 그 제품의 성분표를 제시하시오. 성분표 중 신종오염물질은 무엇인지와 그 용도를 적으시오. (15점)

답)

일반적으로 일상생활용품에 많이 사용되는 신종오염물질은 triclosan (용도: 항균제), triclocarban (용도: 항균제), N,N-diethyl-meta-toluamide (DEET; 용도: 방충제), 프탈레이트 계열 물질 (phthalates; 용도: 플라스틱 가소제, 유화제 등), 파라벤 계열 물질 (parabens; 용도: 방부제) 등이 있음

2. 잔류성 유기오염물질(persistent organic pollutants, POPs)에 대한 다음 물음에 답하시오.

1) 잔류성 유기오염물질의 정의를 제시하시오. (3점)

답)

독성, 잔류성, 생물농축성 및 장거리 이동성 등의 특성을 지니고 있어 사람과 생태계를 위협하게 하는 유기물질

2) 잔류성 유기오염물질에 대한 스톡홀름 협약(Stockholm Convention)에 대하여 한 문단 이내로 간단히 설명하시오. (7점)

답)

2001년 채택되고 2004년 발효된 국제협약임. 잔류성 유기오염물질의 독성, 잔류성, 생물농축성, 장거리 이동성 등의 특징으로 말미암아 그것이 미치는 인체 건강 및 환경에 대한 악영향을 한 국가의 노력만으로 달성할 수 없다는 것에 회원국들이 공감하고, 이에 전지구적인 차원에서 잔류성 유기오염물질로부터 인체 건강 및 환경을 보호하려는 행동을 취하고자 제정하였음. Annex A에 속하는 물질들은 생산과 취급을 금지하고, Annex B에 속하는 물질들은 이를 제한하며, Annex C에 속하는 물질들은 비의도적 발생을 저감하여야 한다. 최초에 12종의 화합물이 규제 대상으로 선정되었으며, 이후 16종이 추가되었음

3) 스톡홀름 협약의 규제 대상 물질 중 본인이 우리 나이로 10세 되던 해 이후에 포함된 것을 모두 열거하고, 각각의 용도를 간단히 제시하시오. (15점)

답)

추가 연도	물질	용도
2009	α -hexachlorocyclohexane	살충제
	β -hexachlorocyclohexane	살충제
	chlordecone	농약
	hexabromobiphenyl	난연제
	lindane	살충제
	pentachlorobenzene	염료 용제, 곰팡이 방지약, 난연제, 다른 화합물 생산을 위한 화학공정의 중간물질 등
	perfluorooctane sulfonic acid (PFOS), its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride	발수/발유 코팅, 특수 소화제 등
	tetrabromodiphenyl ether and pentabromodiphenyl ether	난연제
2011	endosulfan	살충제, 나무제품 방부제
2013	hexabromocyclododecane	난연제
2015	hexachlorobutadiene	사염화탄소, tetrachloroethylene 등 생산 공정의 중간물질)
	pentachlorophenol and its salts and esters	농약, 소독제, 방오도료 등
	polychlorinated naphthalenes	절연 코팅, 나무제품 방부제 등
2017	decabromodiphenyl ether	난연제
	short-chain chlorinated paraffins	플라스틱 가소제, 페인트, 접착제, 난연제, 윤활유 등
2019	dicofol	진드기 방지용 농약
	perfluorooctanoic acid (PFOA), its salts and PFOA-related compounds	불소계 폴리머 생산, 발수/발유 코팅, 식품 포장 등

4. 어떤 두 샘플의 BOD₅ 값이 20°C에서 130 mg/L로 동일하게 나왔다. 각 샘플의 1차반응계수 k 가 20°C에서 각각 0.38 day⁻¹과 0.24 day⁻¹ 일 때, 다음 물음에 답하시오.

1) 두 샘플의 ultimate BOD를 각각 구하시오. (6점)

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°C에서 두 샘플의 BOD₅ 값을 각각 구하시오. (9점)

답)

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

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

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

두 샘플의 BOD₅는

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

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

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

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

5. 반포대교 앞에 나가 한강의 물을 채취하여 분석하였더니 최종 BOD(ultimate BOD) 값이 6.0 mg/L, 용존산소량(DO) 값이 5.5 mg/L로 나왔다. 한강의 유속이 0.8 m/s, 수온이 25°C, 이 때 포화용존산소량(saturation DO) 값이 8.2 mg/L, first-order deoxygenation rate constant k_d 가 0.16 day⁻¹, reaeration coefficient k_r 이 0.18 day⁻¹일 때, 반포대교에서 서해에 도달하기까지 70 km 동안 한강의 물은 3급수 기준인 DO 5.0 mg/L 이하로 떨어지겠는가? (풀이과정을 반드시 보일 것) (15점)

답)

서해에 도달할 때까지 걸리는 시간은

$$t = \frac{70000 \text{ m}}{0.8 \text{ m/s} \cdot 86400 \text{ s/day}} = 1.01 \text{ day}$$

Critical time을 구하면

$$D_a = 8.2 - 5.5 = 2.7 \text{ mg/L}$$

$$t_c = \frac{1}{k_r - k_d} \ln \left[\frac{k_r}{k_d} \left(1 - D_a \frac{k_r - k_d}{k_d L_a} \right) \right]$$

$$= \frac{1}{(0.18 - 0.16) \text{ day}^{-1}} \ln \left[\frac{0.18 \text{ day}^{-1}}{0.16 \text{ day}^{-1}} \left(1 - 2.7 \text{ mg/L} \frac{(0.18 - 0.16) \text{ day}^{-1}}{0.16 \text{ day}^{-1} \cdot 6.0 \text{ mg/L}} \right) \right]$$

$$= 3.0 \text{ day}$$

따라서, 서해에 도달할 때까지 critical time에 다다르지 않으며, DO는 계속 감소추세임.
즉, 서해에 도달하는 지점에서 DO는 최소가 됨. 이 때의 DO를 구하면,

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

$$= \frac{0.18 \text{ day}^{-1} \cdot 6.0 \text{ mg/L}}{(0.18 - 0.16) \text{ mg/L}} [\exp(-0.16 \text{ day}^{-1} \cdot 1.01 \text{ day}) - \exp(-0.18 \text{ day}^{-1} \cdot 1.01 \text{ day})]$$

$$+ 2.7 \text{ mg/L} \cdot \exp(-0.18 \text{ day}^{-1} \cdot 1.01 \text{ day})$$

$$= 3.1 \text{ mg/L}$$

$$DO_t = 8.2 - 3.1 = 5.2 \text{ mg/L}$$

따라서, DO는 3급수 기준인 5.0 mg/L 이하로 떨어지지 않음.

6. 문헌조사를 통해 전기 이중층(electrical double layer)에 대한 다음 물음에 답하시오.

주: 아래 기입한 답안은 각 항목에 대하여 매우 간략한 설명을 기입한 것이며, 각자 과제를 통하여 전기 이중층의 이론에 대하여 보다 상세하게 공부하였기를 바랍니다.

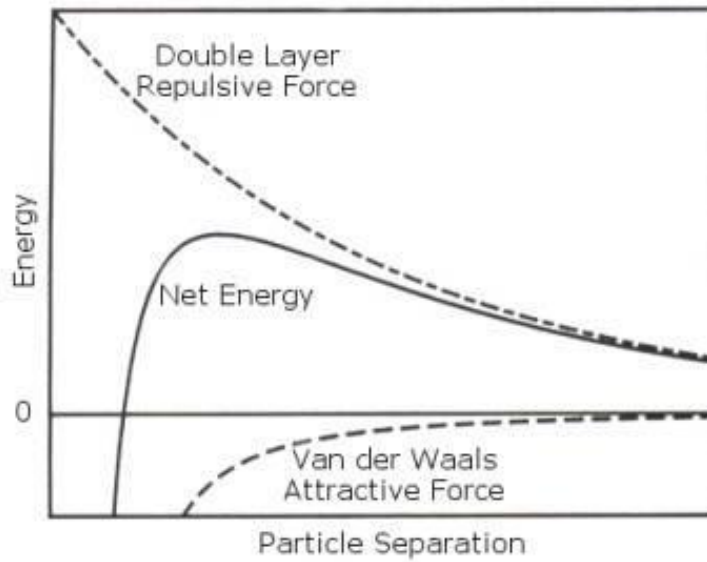
- 1) 입자상 물질이 존재하는 수용액에서 전하를 띤 입자와 용액 간 작용하는 힘에 대하여 설명하는 이론인 DLVO theory (Derjaguin-Landau-Verwey-Overbeek theory)에 대하여 서술하시오. (7점)

답)

수용액 내에 전하를 띤 입자에서 입자가 갖는 반데르발스 인력과 입자 전하 및 그 전하와 반대의 전하를 갖는 이온이 형성하는 전기이중층에 의하여 발생하는 정전기적 척력의 합에 의한 에너지를 정량적으로 나타낸 이론임.

- 2) 음전하를 띤 입자들이 용액에 존재할 때 i) 정전기적 척력, ii) 반데르발스 힘, iii) 두 힘의 합에 따른 에너지 분포를 입자의 표면에서부터 거리에 대하여 도시하시오. (7점)

답)



3) 용액의 이온 강도에 따른 전기 이중층의 변화와 그에 따른 입자의 안정성(stability)의 변화에 대하여 서술하시오. (6점)

답)

이온 강도가 세짐에 따라 전하를 띤 입자 표면에 모이는 반대 전하의 이온 수가 증가, 전기 이중층의 두께가 얇아지며, 이에 따라 입자-입자 간 접근 시 충돌이 발생하기 위해 극복해야 할 에너지 장벽이 낮아져 입자의 안정성이 저하(응집이 보다 용이하게 발생)

7. pH가 7.2인 지하수 시료를 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 이 시료의 총 경도(total hardness)와 탄산경도(carbonate hardness)를 각각 mg/L as CaCO₃ 단위로 구하시오.

Ion	Concentration (mg/L)	Ion	Concentration (mg/L)
F ⁻	1.1	HCO ₃ ⁻	318.0
Cl ⁻	4.0	SO ₄ ²⁻	52.0
NO ₃ ⁻	0.0	Fe ²⁺	0.5
Na ⁺	14.0	Mn ²⁺	0.07
K ⁺	1.6	Zn ²⁺	0.27
Ca ²⁺	96.8	Ba ²⁺	0.2
Mg ²⁺	30.4		

(15점)

답)

2가 이상인 각 양이온에 의한 경도 기여도와 HCO₃⁻에 의한 알칼리도 기여도를 계산하면 다음과 같다.

Ion	Conc. (mg/L)	Molecular weight	Conc. (mM)	Hardness (or alkalinity)	
				in meq/L	in mg/L as CaCO ₃
Ca ²⁺	96.8	40.1	2.41	4.82	241
Mg ²⁺	30.4	24.3	1.25	2.50	125
Fe ²⁺	0.5	55.8	8.96×10 ⁻³	1.79×10 ⁻²	0.896
Mn ²⁺	0.07	54.9	1.28×10 ⁻³	2.56×10 ⁻³	0.128
Zn ²⁺	0.27	65.4	4.13×10 ⁻³	8.26×10 ⁻³	0.413
Ba ²⁺	0.2	137.3	1.46×10 ⁻³	1.92×10 ⁻³	0.146
HCO ₃ ⁻	318.0	61.0	5.21	5.21	261

총 경도는 모든 2가 이상 양이온이 기여하는 경도의 합이나, 위 표에서 확인할 수 있는 바와 같이, Ca²⁺와 Mg²⁺의 기여량 이외에는 매우 미미함. 따라서,

$$\text{Total hardness} \approx (\text{Ca}^{2+}) + (\text{Mg}^{2+}) = 241 + 125 = 366 \text{ mg/L as CaCO}_3$$

한편, pH가 7.2이므로, 알칼리도에 영향을 미치는 species 중 H⁺, OH⁻, CO₃²⁻의 영향은 매우 미미함. 따라서,

$$\text{Alkalinity} \approx (\text{HCO}_3^-) = 261 \text{ mg/L as CaCO}_3$$

Total hardness > Alkalinity이므로,

$$\text{Carbonate hardness} = \text{Alkalinity} = 261 \text{ mg/L as CaCO}_3$$

8. 클로라민(chloramine)은 소독 효율이 그리 높지 않아 주 소독제로서의 활용성은 크지 않으나, 물에서의 지속성이 높아 배관에서의 병원균 오염 등에 대비한 잔류소독(residual disinfection) 목적으로 자주 사용된다. 클로라민이 포함된 수돗물을 사용할 때 유의해야 할 점을 두 가지 이상 제시하시오. (10점)

답)

- 클로라민은 어류 및 양서류에 대한 독성이 있으므로, 어항 등에 사용하기에 부적절함
- 신장 투석 시 클로라민이 포함된 물을 투석액으로 사용하면 클로라민이 투석막을 통과, 혈액에 유입되어 환자에게 유해할 수 있으므로 반드시 클로라민을 제거한 물을 투석액으로 사용하여야 함
- 맥주 양조 시에 클로라민이 포함된 물을 사용할 경우 효모의 작용에 의해 클로로페놀이 생성되므로 클로라민을 제거한 물을 사용하여야 함

9. 우리나라 먹는물의 수질기준으로부터 trihalomethanes (THMs), haloacetic acids (HAAs), bromate (BrO₃⁻)의 수질기준을 찾아 제시하시오.

(Hint: “먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙”을 참고할 것. 우리나라 법령 및 규칙은 <http://law.go.kr>에서 검색 가능함)

(10점)

답)

우리나라의 법령자료는 다음의 웹페이지에서 찾을 수 있음: <http://www.law.go.kr>.

먹는물관리법 상 먹는물의 수질기준은 다음과 같음:

- i) THMs: total THMs와 THM 각각에 대하여 제시되어 있음(두 기준 모두 만족해야 함)
 - 0.1 mg/L total THMs
 - 0.08 mg/L chloroform
 - 0.03 mg/L bromodichloromethane
 - 0.1 mg/L dibromochloromethane
- ii) HAAs: 3종의 HAA(dichloroacetic acid, trichloroacetic acid, dibromoacetic acid)의 합이 다음 값을 초과해서는 안됨: 0.1 mg/L
- iii) Bromate: 0.01 mg/L

10. 부착 성장공정인 i) trickling filter(살수여상법)과 ii) rotating biological contactor(회전 생물 접촉법)의 작동원리에 대하여 설명하시오. (10점)

답)

i) trickling filter

하수를 생물막(biofilm)이 형성된 쇄석이나 자갈 등 다공성(porous), 불활성(inert) 매질 위에 살수하면, 하수가 매질을 흘러내리면서 유기물질이 생물막에 부착한 후 분해되거나 흘러내리는 중에 분해되게 된다. 일반적으로 산소 공급을 원활하게 하기 위하여 하부에서 공기를 주입한다.

ii) rotating biological contactor

수평축을 중심으로 다수의 병렬로 배치된 원판을 40~50% 정도 하수 내에 잠기게 배치하고, 원판을 1~5회/분 정도로 회전시킨다. 원판에 형성된 생물막(biofilm)이 하수와 접촉할 때 유기물을 부착하고, 대기 중으로 나올 때 산소를 흡수하여 이를 통하여 부착한 유기물을 분해한다.

11. 유입수 유량이 360 m³/hr, BOD₅ 농도가 150 mg/L인 활성 슬러지(activated sludge) 공정이 있다. 2차처리 유출수의 BOD₅ 기준이 10.0 mg/L이고 미생물 성장과 관련된 계수들이 다음과 같을 때, 다음 물음에 답하시오.

$$K_s = 50 \text{ mg BOD}_5/L$$

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

$$k_d = 0.10 \text{ day}^{-1}$$

$$Y = 0.45 \text{ mg VSS/mg BOD}_5$$

1) 유출수 기준을 만족시키기 위한 solids retention time (SRT)을 구하시오. (7점)

답)

$$S = \frac{K_s(1 + k_d\theta_c)}{\theta_c(\mu_m - k_d) - 1}$$

각 수치를 대입하면,

$$10 = \frac{50 \cdot (1 + 0.10\theta_c)}{\theta_c \cdot (2.5 - 0.10) - 1} \quad (\theta_c \text{ in days})$$

$$24\theta_c - 10 = 50 + 5\theta_c$$

$$19.5\theta_c = 110$$

$$\theta_c = 3.16 \text{ day}$$

- 2) 이 활성 슬러지 공정의 SRT를 조절하여 얻을 수 있는 유출수 BOD₅의 최솟값을 구하시오. (5점)

답)

$$\begin{aligned} \min(S) &= \lim_{\theta_c \rightarrow \infty} \frac{K_s(1 + k_d\theta_c)}{\theta_c(\mu_m - k_d) - 1} = \frac{K_s k_d}{\mu_m - k_d} = \frac{50 \text{ mg BOD}_5/L \cdot 0.10 \text{ day}^{-1}}{2.5 \text{ day}^{-1} - 0.10 \text{ day}^{-1}} \\ &= 2.08 \text{ mg BOD}_5/L \end{aligned}$$

<참조>

위 결과를 통하여 이 활성 슬러지 공정의 steady state 상태에서의 유출수 BOD₅ 농도는 2.08 mg/L 미만이 될 수 없다는 것을 확인할 수 있다. 이것은 미생물의 순 성장(net growth)이 substrate(여기서는 BOD) utilization을 통한 성장과 decay를 통한 감소의 두 인자에 의하여 결정되기 때문이다. 어떤 이유로든 반응조 BOD₅ 농도(=유출수 BOD₅ 농도)가 0에 가깝게 낮아졌다고 가정해 보자. 그러면 substrate utilization을 통한 성장보다 decay가 우세하게 되며, 미생물의 순생장이 (-)가 되어 반응조의 미생물 농도가 감소하게 된다. 따라서, 활성 슬러지 공정에서 SRT를 아무리 높이더라도 어느 정도의 반응조 BOD₅ 농도가 있어야 steady state의 유지가 가능하다. 위 계산값은 steady state를 유지하기 위한 반응조 BOD₅ 농도의 최소값을 의미한다. 위 계산값에서 확인할 수 있듯이, 다행히 이 최솟값은 일반적으로 우리가 목표로 하는 활성슬러지 공정의 목표처리수준보다는 충분히 낮다.

- 3) 폭기조(aeration tank)의 MLVSS 농도를 2000 mg/L로 유지시키기 위한 폭기조 부피를 구하시오. (8점)

답)

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

각 수치를 대입하면,

$$2000 = \frac{3.16 \cdot 0.45 \cdot (150 - 10)}{t_0 \cdot (1 + 0.10 \cdot 3.16)}$$

$$t_0 = \frac{3.16 \cdot 0.45 \cdot (150 - 10)}{2000 \cdot (1 + 0.10 \cdot 3.16)} = 0.0756 \text{ day} = 1.82 \text{ hr}$$

$$V = Qt_0 = 360 \text{ m}^3/\text{hr} \cdot 1.82 \text{ hr} = 655 \text{ m}^3$$

12. 활성슬러지 공정을 통하여 용존 BOD₅가 150 mg/L인 1차처리수 유량 4000 m³/day을 처리하고자 한다. 폭기조의 유효부피가 10000 m³이고, 공정의 solids retention time (SRT)을 3.0 day로 유지하였을 때, 아래의 미생물 성장 인자를 사용하여 다음 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, 1차처리수(활성슬러지 공정의 유입수) 및 2차처리수(활성슬러지 공정의 유출수) 내의 VSS 농도는 무시할 만큼 작다고 가정하시오.

- 1) 이 활성슬러지 공정의 유출수 내 용존 BOD₅ 농도와 폭기조 내 VSS 농도를 구하시오.
(10점)

답)

$$S = \frac{K_s(1 + k_d\theta_c)}{\theta_c(\mu_m - k_d) - 1} = \frac{30 \text{ mg/L} \cdot (1 + 0.05 \text{ day}^{-1} \cdot 3.0 \text{ day})}{3.0 \text{ day} \cdot (2.5 \text{ day}^{-1} - 0.05 \text{ day}^{-1}) - 1} = 5.43 \text{ mg BOD}_5/\text{L}$$

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

$$t_0 = \frac{V}{Q} = \frac{10000 \text{ m}^3}{4000 \text{ m}^3/\text{day}} = 2.5 \text{ day}$$

$$X = \frac{3.0 \text{ day}}{2.5 \text{ day}} \frac{0.5 \cdot (150 - 5.43) \text{ mg BOD}_5/\text{L}}{1 + 0.05 \text{ day}^{-1} \cdot 3.0 \text{ day}} = 75.4 \text{ mg VSS/L}$$

- 2) 이 공정에서 waste sludge 형태로 배출되는 MLVSS의 양을 kg/day 단위로 구하시오.
(10점)

답)

Waste sludge 형태로 공정으로부터 배출되는 VSS는 waste sludge 유량이 Q_w , sludge 내 MLVSS 농도가 X_r 이라고 하면 $Q_w X_r$ 로 표현 가능하다. 그런데,

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

$$Q_w X_r = \frac{VX}{\theta_c} = \frac{10000 \text{ m}^3 \cdot 75.4 \text{ mg VSS/L} \cdot 10^3 \text{ L/m}^3 \cdot 10^{-6} \text{ kg/mg}}{3.0 \text{ day}} = 251 \text{ kg/day}$$

- 3) 활성슬러지 공정으로 유입되는 1차처리수의 용존 BOD₅ 농도가 300 mg/L로 높아졌을 경우, 동일한 조건에서 유출수 내 BOD₅ 농도, 폭기조 내 VSS 농도, waste sludge 형태로 배출되는 VSS의 양은 각각 어떻게 변화하는가? 값을 제시할 필요는 없으며, 증가, 감소, 유지 중 하나를 선택하시오. (5점)

답)

BOD₅ 농도: 유지, VSS 농도: 증가, 배출 VSS 양: 증가