

과제 #1 - 답안

제출기한: 2020. 04. 01 (목), 14:00

1. 국내에서 비교적 최근(2000년~현재) 발생하여 사회적 관심을 불러일으킨 수질 관련 사건 중 하나를 제시하고, 사건의 개요를 발생원인, 관련된 오염물질, 인간 또는 생태계에 대한 영향, 적용된 해결방안(만약 적용된 것이 있다면) 등을 포함하여 간략하게 기술하시오 (3문단 이하). (20점)
2. 현재 시판되는 처음처럼 FLEX의 도수는 16.7%이다. 이 소주가 순수한 물과 에탄올을 혼합한 용액이라고 가정하고, 물과 에탄올의 혼합 시 총 부피는 변화하지 않는다고 가정하자(즉, 처음처럼 FLEX 1 L는 물(H₂O) 833 mL와 에탄올(C₂H₅OH) 167 mL로 구성). 다음 밀도값을 이용하여 물음에 답하시오.

$$\text{density of C}_2\text{H}_5\text{OH} = 0.78 \text{ kg/L}$$

$$\text{density of H}_2\text{O} = 1.00 \text{ kg/L}$$

- 1) 처음처럼 FLEX의 에탄올 농도를 mass concentration (in g/L) 단위, 몰농도 (molarity, M) 단위, 몰분율(mole fraction) 단위로 각각 구하시오. (10점)

답)

$$MW \text{ of ethanol (C}_2\text{H}_5\text{OH)} = 2 \times 12 + 1 \times 6 + 16 \times 1 = 46 \text{ g/mole}$$

i) mass concentration

$$0.167 \text{ L ethanol/L solution} \times 0.78 \text{ kg ethanol/L ethanol} \times 10^3 \text{ g/kg} = 130.26 \text{ g/L}$$

ii) molarity

$$\frac{130.26 \text{ g ethanol/L solution}}{46 \text{ g ethanol/mole ethanol}} = 2.83 \text{ M}$$

iii) mole fraction

Moles of water in 1 L solution =

$$\frac{0.833 \text{ L water/L solution} \times 1.00 \text{ kg water/L water} \times 10^3 \text{ g/kg}}{18 \text{ g/mole}} = 46.28 \text{ moles/L}$$

$$\text{mole fraction(ethanol)} = \frac{2.83 \text{ mole/L}}{(2.83 + 46.28) \text{ mole/L}} = 0.0576$$

2) 에탄올의 사람에게 대한 치사량(lethal dose for 50% of the population, LD₅₀)은 12 g/kg body weight (체중량)으로 알려져 있다. 처음처럼 FLEX 한 병에 400 mL임을 고려했을 때, 70 kg인 사람에게는 몇 병이 에탄올 치사량에 해당하는가? (5점)

※ 주의: 여기서 제시된 LD₅₀ 값은 치사율 50%에 해당하는 복용량입니다. 사람 간 편차, 안전율 등을 고려했을 때 한 자리에서 죽음에 이르지 않을 정도로 안전하게 섭취할 수 있는 술의 양은 이보다 훨씬 적을 것입니다.

답)

$$\text{한 병에 들어 있는 에탄올 양} = 0.4 \text{ L/bottle} \times 130.26 \text{ g/L} = 52.1 \text{ g/bottle}$$

$$\text{치사량에 해당하는 병 수} = \frac{12 \text{ g/kg BW} \times 70 \text{ kg BW}}{52.1 \text{ g/bottle}} = 16.1 \text{ bottles}$$

3. 어떤 물 시료를 채취하여 수질분석을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 이때, 다음 물음에 답하시오. 단, 시료의 수온은 25 °C이고, 묽은 용액(몰농도=활성도) 가정이 성립한다고 가정하시오.

항목	결과	항목	결과
Ca ²⁺	60.0 mg/L	Cl ⁻	42.7 mg/L
Mg ²⁺	15.2 mg/L	NO ₃ ⁻	2.48 mg/L
Na ⁺	1.86 mg/L	pH	7.0
K ⁺	4.3 mg/L	Alkalinity	128.6 mg/L as CaCO ₃

1) 이 시료의 탄산염 경도(carbonate hardness)를 mg/L as CaCO₃ 단위로 구하시오. (7점)

답)

분석한 양이온 중 경도에 기여하는 물질은 Ca^{2+} 와 Mg^{2+} 두 종이므로, 이들에 대하여 그 농도를 mM (=mmole/L), meq/L, mg/L as $CaCO_3$ 단위로 환산하면,

양이온	이온량 (Ion weight) (g/mole)	in mM	in meq/L	in mg/L as $CaCO_3$ ¹⁾
Ca^{2+}	40.1	1.496	2.993	149.6
Mg^{2+}	24.3	0.626	1.251	62.6
계			4.244	232.2

¹⁾ $Alk \text{ (in mg/L as } CaCO_3) = Alk \text{ (in meq/L)} \times 50 \text{ mg } CaCO_3/meq$

따라서 총 경도(total hardness)는 232.2 mg/L as $CaCO_3$ 이며, 총 경도 > 알칼리도이므로, 탄산염 경도 = 알칼리도 = 128.6 mg/L as $CaCO_3$

- 2) 수질분석으로 도출한 물속의 주요 이온 측정결과가 수용 가능한 범위인지 전기적 중성의 법칙(electroneutrality principle)에 입각한 경험식을 이용하여 판단하시오. 이 물 시료의 알칼리도는 탄산 알칼리도(carbonate alkalinity)로 근사할 수 있음을 가정하시오. (10점)

답)

각 시료의 양이온 및 음이온에 대해서, 그 농도를 mM (=mmole/L) 및 meq/L 단위로 환산하면,

양이온	이온량 (Ion weight) (g/mole)	in mM	in meq/L
Ca^{2+}	40.1	1.496	2.993
Mg^{2+}	24.3	0.626	1.251
Na^+	23.0	0.081	0.081
K^+	39.1	0.110	0.110
계			4.435

음이온	이온량 (Ion weight) (g/mole)	in mM	in meq/L
Cl^-	35.5	1.203	1.203
NO_3^-	62.0	0.040	0.040
HCO_3^- ²⁾			2.572
계			3.815

- 2) 물 시료의 pH가 7.0이고, 약산 HCO_3^- 의 해리반응 $\text{HCO}_3^- = \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$ 의 이온화 상수 값은 25 °C에서 $10^{-10.33}$ 이므로(다시 말하면, 탄산(H_2CO_3)의 pK_{a2} 값은 10.33), $\text{pH} \ll pK_{a2}$ 관계에 따라 HCO_3^- 농도에 비해 CO_3^{2-} 농도는 무시할 만함. 따라서 CO_3^{2-} 는 음이온 리스트에서 배제함

$$|\Sigma(\text{anions}) - \Sigma(\text{cations})| = |3.815 - 4.435| = 0.620$$

$$0.1065 + 0.0155 \times \Sigma(\text{anions}) = 0.1065 + 0.0155 \times 3.815 = 0.166$$

따라서, 이 시료의 분석 결과는 다음의 경험식을 만족하지 못하므로

$$|\Sigma(\text{anions}) - \Sigma(\text{cations})| \leq 0.1065 + 0.0155 \times \Sigma(\text{anions})$$

정확도는 수용 불가능한 범위임.

※ 양이온과 음이온의 상대적인 *equivalent* 차 등을 고려하면 분석 결과에 큰 문제가 있음을 알 수 있음. 만약 각 이온의 분석에 큰 문제가 없었다면, 물속에 존재할 수 있는 주요 이온 중 누락된 것이 있지 않은지 의심해 볼 필요가 있음. 그리고 그 고찰을 통해 일반적인 자연수에 주요 음이온으로 존재하는 황산 이온(SO_4^{2-})이 누락되었음을 확인할 수 있음

- 3) 이 물 시료에서 전기적 중성의 법칙이 완전히 성립한다고 가정하여 이 물 시료의 황산 이온(SO_4^{2-})의 농도를 mg/L 단위로 추정하시오. 표에 제시된 물질(탄산 알칼리도에 관계된 물질들 포함)과 황산 이온 이외에 이 물 시료에 존재하는 이온들의 농도는 모두 무시할 만하다고 가정하시오. (8점)

답)

리스트에 있는 이온들로 전기적 중성의 법칙을 만족하려면(양이온의 *equivalent* = 음이온의 *equivalent*), SO_4^{2-} 의 농도는 meq/L 단위로 다음과 같아야 함

$$(\text{SO}_4^{2-}) = 4.435 - 3.815 = 0.620 \text{ meq/L}$$

$$\text{SO}_4^{2-} \text{ equivalent mass} = \frac{96.1 \text{ g}}{2 \text{ eq}} = 48.1 \text{ g/eq} = 48.1 \text{ mg/meq}$$

$$\text{SO}_4^{2-} \text{ concentration in mg/L} = 0.620 \text{ meq/L} \times 48.1 \text{ mg/meq} = 29.8 \text{ mg/L}$$

4. 어떤 폐수처리장으로 유입되고 그로부터 유출되는 물속에 존재하는 유기물질은 화학식 $C_{10}H_{19}O_3N$ 으로 표현되며, 모두 COD 법에서 사용하는 산화제에 의하여 산화된다고 가정하자. 이 폐수처리장 입장에서 2020년 1월 1일에 이루어진 수질오염물질 배출허용기준의 변화(COD 기반 기준에서 TOC 기반 기준으로의 변화)는 처리부담을 가중시킨 것인가, 아니면 완화시킨 것인가? 물환경보전법 시행규칙 [별표 13] 수질오염물질의 배출허용기준을 참고하고, 이 폐수처리장의 1일 폐수배출량은 3000 m^3 이며, “가지역”에 설치되어 있음을 가정하시오.

(Hint 1) 다음 반응식을 이용하시오.



(Hint 2) 우리나라 법령정보는 <https://law.go.kr/>에서 찾아볼 수 있음

(20점)

답)

먼저 $C_{10}H_{19}O_3N$ 의 COD/TOC ratio를 구하면,

$$\frac{12.5 \times 32 \text{ g COD}}{10 \times 12 \text{ g C}} = 3.33 \text{ g COD/g TOC}$$

물환경보전법 시행규칙 [별표 13]을 보면, 2019년 12월 31일까지 적용되는 해당 조건(1일 폐수배출량은 2000 m^3 이상, “가지역”)의 COD 기준은 70 mg/L 이며, 2020년 1월 1일부터 적용되는 해당 조건의 TOC 기준은 40 mg/L 임.

$$\frac{70 \text{ mg COD/L}}{3.33 \text{ g COD/g}} = 21.0 \text{ mg} \text{ 이므로, 이 폐수처리장 입장에서는 오히려 기준이 완화되었음.}$$

※ 폐수처리장에서 유출되는 유기물질 중 상당 부분이 COD 법에 의해 산화되지 않을 경우에는 2020년 1월 1일부터 적용된 TOC 기반 기준이 훨씬 강화된 것임에 유의 바람

하천의 생활환경기준 중 III등급 TOC 기준은 5 mg/L 로, $C_{10}H_{19}O_3N$ 를 가정하여 COD로 환산하면 16.6 mg/L 임.

III등급 하천의 COD 기준은 7 mg/L 이므로, 만족하지 않음.

5. 환경, 생물반응조 등 여러 종의 미생물이 존재하는 조건에서 최근 자주 활용되는 분자 생물학적 분석법인 메타지노믹스(metagenomics)의 개요와 그 장점에 대하여 간단히(한 문단 내외)로 설명하시오. (15점)

답)

여러 종으로 구성된 미생물 집단(microbial community)이 존재하는 시료에서 바로 유전체(DNA, RNA 등)를 추출하여 그 염기서열을 분석하는 방법임. 미생물의 실험실 배양 후 유전체 분석 시 상당히 많은 종이 배양 불가능한 것으로 알려져 있어 결과에 큰 오류를 발생시킬 우려가 있는데, metagenomics 분석법은 이러한 “존재하나 배양 불가능한(viable but not culturable)” 미생물로 인한 오류를 배제할 수 있다는 장점이 있음. 또한, 분석을 통하여 시료 내의 미생물 집단의 구성, 종 다양성, 특정 종 또는 미생물 부류의 정량적 분포 정도를 파악할 수 있으며, 16S rRNA 외에도 유전체의 다양한 부분을 타겟으로 분석할 수 있어 미생물 집단의 유전적, 기능적 특성을 파악 가능함

6. 다음 병원성 원생동물(protozoa) 및 기생충(helminthes) 중 하나를 선택하여 선택한 생물의 생애주기(life cycle)를 도식화한 그림을 첨부하고, 각 생애주기 단계에 대해 한글로 간략히 설명하시오. (15점)

Pathogenic protozoa	Pathogenic helminthes
<i>Giardia lamblia</i>	<i>Hymenolepis nana</i> (a tapeworm species)
<i>Entamoeba histolytica</i>	<i>Diphyllobothrium latum</i> (a tapeworm species)
Malaria parasites (genus: <i>Plasmodium</i>)	