

## 중 간 고 사

(각 문항 20점)

1. 오염지역을 복원하기 위한 조사방법 (절차)를 Phase I, II로 나누어 설명하시오.

Sol&gt;

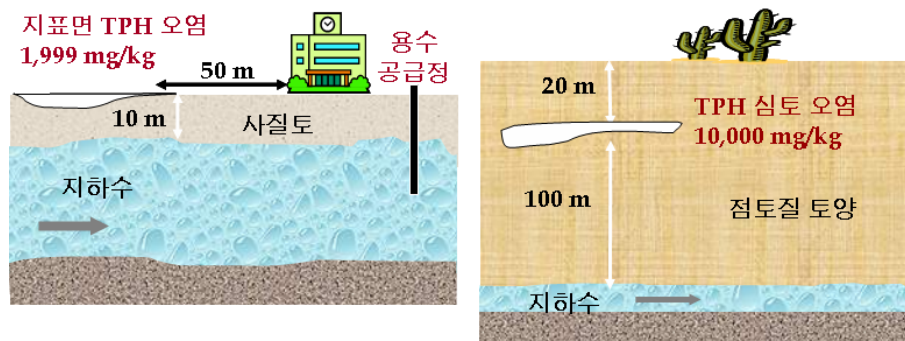
- Phase I

1. Paper research - Chemical inventory evaluation, 현재 살고 있는, 앞서 살았던 사람들에 대한 interview, 관련 규제 기관에서의 기록조사 및 interview, 소유자들에 관한 기록 review, 신문이나 공식기록에 safety violation은 없는지 조사
2. On-site inspection
3. 앞으로의 조사를 위한 기초자료를 제공하는 단계. site 오염물질의 종류, 농도 등을 샘플링을 통하여 규명하는 단계가 아님.

- Phase II

1. Site에 유해한 물질의 존재 여부를 확인하는 단계.
2. Phase I에서 완료하지 못한 record research 완료.
3. Pathway와 Potential receptor에 관한 조사를 한다. Sampling을 통해 오염물질 확인.

2. "Source-Pathway-Receptor Analysis"의 개념을 다음 그림으로 설명하시오.



Sol&gt;

지표면이 오염된 지역의 TPH 농도는 1,999ppm으로 우리나라 법적기준상 처리하지 않아도 되는 농도이다. 반면, 심토 지역은 10,000ppm으로 즉시 정화·복원해야 한다. 하지만 이같이 단순히 오염물질의 농도만을 기준으로 삼는 것은 수용체 보호라는 측면에서는 바람직한 것은 아니다. Source-Pathway-Receptor Analysis를 통해 Risk assessment를 해야 한다.

1. 지표면이 오염된 경우

- a. 표토에서 직접 노출되는 경우. 토양섭취, 흡수를 통해 직접적으로 receptor에 흡수된다.

b. 표토가 오염된 후 바람에 의해 분산이 일어나 공기흡입을 통해 receptor에 흡수된다.

c. Site가 흡착이 잘 되지 않는 사질토이고 지붕과 10m 아래에 지하수층이 있기 때문에 지하수로 용출되어 음용수설취에 의해 receptor에 흡수된다.

## 2. 심토가 오염된 경우

a. Potential receptor가 없는 사막지역이다. 인간과 동·식물이 잘 살지 않음.

b. 심토가 오염되었으므로 토양의 직접노출이나 바람에 의한 노출이 극히 적다.

c. 점토질이기 때문에 흡착이 잘 되고 증발의 정도가 낮다.

d. 지하수층이 100m 아래에 있어 지하수 용출에 의한 노출도 매우 낮다고 할 수 있다.

위의 두 경우를 비교해 보면 지표면 지역이 오염된 농도는 낮지만 exposure 정도가 심토 지역이 오염된 경우보다 훨씬 높기 때문에 Risk가 매우 높다는 것을 알 수 있다. 따라서 이 지역(왼쪽)을 보다 비중 있고 깨끗하게 정화해야 한다.

## 3. As와 Cr이 오염된 지하수를 다음의 방법으로 처리하려면 각각 어떻게 해야 하겠는가?

### (1) 독성 감소 (2) 물리적 제거

Sol>

#### (1) 독성 감소

1. Arsenic: 주로  $As^{3+}$  ( $AsO_3^{3-}$ , arsenite),  $As^{5+}$  ( $AsO_4^{3-}$ , arsenate)의 형태.

arsenite의 독성이 arsenate의 독성보다 크다. 따라서 독성을 감소시키려면, arsenite를 산화시켜 arsenate로 만든다.

2. Chromium: 주로  $Cr^{6+}$  ( $Cr_2O_7^{2-}$ ,  $CrO_4^{2-}$ ),  $Cr^{3+}$ 의 형태.  $Cr_2O_7^{2-}$ 의 독성이 매우 높으며,  $Cr^{3+}$ 는 이동성과 독성이 낮다. 독성을 감소시키기 위해서는  $Cr^{6+}$ 를 환원시켜  $Cr^{3+}$ 로 만든다.

#### (2) 물리적 제거

Ion exchange 등과 같은 방법을 이용한 흡착을 통해 제거한다. As와 Cr은 다른 hazardous metal과는 달리 물에서 anion 상태이기 때문에 (+) resin을 이용해야 한다.

## 4. 유기오염물질이 환경매질 (토양 등)에 흡착 (sorption)하는 기작들을 엔트로피 와 엔탈피 변화에 기인하는 것으로 나누어 설명하시오.

Sol>

1.  $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$  ( $\Delta H$  : 엔탈피 변화량,  $\Delta S$  : 엔트로피 변화량, T : 온도)에서  $\Delta G$ 의 값이 (-)값이면 흡착이 일어난다.

#### 2. enthalpy-driven

a. electrostatic mechanism: sorbate와 sorbent간의 전자 인력에 의한 흡착.

b. Physical mechanism: 분자 간 인력에 의한 약한 결합에 의한 흡착.

c. chemisorption: 공유 결합과 같은 강하고 오래 지속되는 결합에 의한 흡착.

#### 3. entropy-driven

hydrophobic sorption. 대부분의 nonionic hydrophobic organic

contaminants가 흡착되는 mechanism.

sorbate-solvent interaction << sorbate-sorbent interaction 인 경우.

5. 유기오염물질의 토양 흡착에 큰 영향을 미치는 환경요소들을 오염물질의 이동 지연현상 (retardation)과 관련지어 설명하시오.

Sol>

1. Retardation: 오염물질이 매질을 통과하는 경우 토양입자에 흡착되어 이동속도가 감소하는 것.
2. 흡착이 선형으로 일어난다고 가정하면 Retardation Factor는 다음과 같다 .

$$R_f = 1 + \frac{\rho_b}{n} k_d$$

( $\rho_b$ : bulk density,  $n$ : porosity,  $k_d$ : soil distribution coefficient)

토양 흡착에 영향을 미치는 환경요소는 위의 식에서 알 수 있듯이 공극률과, 토양분배계수, bulk density이다. bulk density와 토양분배계수에 비례하고 공극률에 반비례한다. 토양분배계수가 높을수록 토양의 흡착능이 높고 공극률이 낮으면 그만큼의 surface area가 줄어들기 때문에 흡착능이 떨어진다.

6.  $K_{ow}$ ,  $K_d$ ,  $K_{oc}$ 에 대해 설명하시오.

Sol>

1.  $K_{ow}$ : octanol-water의 분리계수. 오염물질의 소수성을 알아보는 데 중요한 지표. water solubility에 반비례. 오염물질의 behavior를 알아보기에 좋은 기준.

$$k_{ow} = \frac{C_{octanol}}{C_{water}}$$

2.  $K_d$ : soil distribution coefficient. 토양의 흡착정도를 나타내는 정확한 척도.

$$k_d = \frac{C_{soil}}{C_{water}}$$

3.  $K_{oc}$ : soil adsorption coefficient. organic carbon에 대한 토양흡착계수를 나타낸다. organic carbon의 함량만 고려할 뿐, quality는 고려하지 않는다.  $K_w$ 로부터 경험식을 이용해 얻을 수 있다. 또한,  $K_d$ 와 다음과 같은 관계가 있다.  
 $k_d = k_{oc} \cdot f_{oc}$  여기서  $f_{oc}$ 는 soil organic carbon의 함량을 나타낸다.  $K_{oc}$ 는 특정물질에 대한 상수값 이다.

7. 대표적인 clay minerals 두 종류와 각각의 특성 및 흡착능에 대해 설명하시오.

Sol>

1. Kaolinite

- a. 구성: 규소사면체 층과 알루미늄팔면체 층이 1:1 결합
- b. 특성: 다른 clay mineral에 비해 비표면적이 작고 물과의 친화성이 작아 비소성적이

며 투수계수가 크다. 화학적으로 안정된 상태이기 때문에 non-expandable clay며 반응성이 낮은 편이다. 표면적이 작으므로 흡착능이 떨어진다.

## 2. Smectite 계열

- a. 구성: 규소사면체층 사이에 알루미늄팔면체층이 있는 2:1 결합
- b. 특성: 광물 격자 간 계면에서 규소사면체의 산소 입자가 이웃하여 수소결합을 형성하지 않고 상호반발을 일으킨다. 이 때문에 물과 같은 극성액체에 의해 쉽게 분리되어 팽창하게 된다. expandable clay로 표면적이 매우 커지므로 흡착능이 높다.

## 8. Humic substances란 어떤 물질이며 각 구성 성분을 분리하는 방법에 대해 간단히 기술하시오.

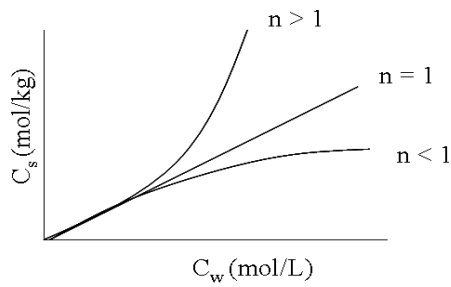
Sol>

1. Humic substance: soil organic matter 중 완전히 부패된 유기물. 토양과 흡착. yellow to dark brown. polymer-like form.
2. 구성 성분
  - a. Humin: insoluble in alkali solution
  - b. Humic acid: soluble in alkali and insoluble in acid solution
  - c. fulvic acid: soluble both in acid and alkali solutions
3. 분리 방법
  - Step 1. Humic substance에 NaOH soln.을 넣는다. soil-organic mixture와 dark brown soln.이 생겨난다. soil-organic mixture는 humin으로 non extract 상태로 존재하는 것이며 dark brown soln.은 fulvic+humic acid가 혼합되어진 상태로 extract되어 있다.
  - Step 2. Dark brown soln.만 빼내어 HCl soln.을 넣는다. Yellow와 brown층으로 나뉘는데 yellow층은 fulvic acid이고, brown층 humic acid이다.
  - Step 3. Humin을 soil-organic mixture에서 extraction 한다.

## 9. 등온흡착곡선 (sorption isotherm)이란 무엇이며 가장 대표적인 두 종류는 어떤 것이 있는지를 흡착기작과 관련지어 설명하시오.

Sol>

1. Sorption Isotherm: 물질이 등온+equilibrium 상태에서 흡착되는 정도를 graph로 나타낸 것.
2. Freundlich Isotherm
$$C_s = K_F C_w^n$$
n: 직선 정도를 나타냄  
일반적인 흡착을 설명하기 위해 실험을 통해 얻은 경험적 model
  - n>1: sorbate가 multilayer 상태
  - n=1: ideal case (indication of partitioning)
  - n<1: 대부분의 자연 상태 (partitioning+adsorption)



### 3. Langmuir Isotherm

$C_s \frac{ab}{1 + bC_w}$ . gas molecules의 표면흡착을 설명하기 위

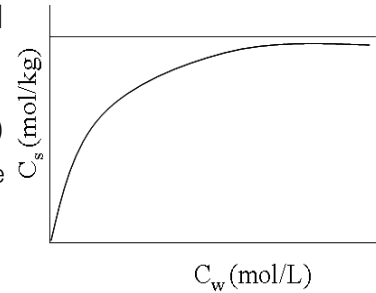
해 만든 이론적 model. 실제 자연 현상과 다를 수 있다.

몇 가지 가정을 하였음. 1) monolayer coverage 2)

sorbate는 하나의 sorption site에 흡착 3) sorption site

의 특성은 모두 동일

=> 포화 되어 질 수 있음을 가정.



10. 어떤 오염물질이 순수한 물에 존재할 때의 Henry's law constant와 토양에 오염되어 있을 때 그 물질이 휘발되는 정도(volatilization rate)는 다르다. 그 이유를 오염물질과 토양의 특성을 나타내는 parameter를 이용하여 설명하시오.

Sol>

#### 1. Henry's law constant

$$H = \frac{VP}{S_w} \quad \text{vp: vapor pressure, } S_w: \text{water solubility}$$

포화증기압이 아무리 높아도 용해도가 높으며 H는 그리 크지 않음. 포화증기압이 높고 용해도가 낮으면 H가 높은 값을 가지며 온도에 따라 증가한다.

#### 2. volatilization rate

volatilization rate factor는 다음과 같다.

$$k_v = 4.4 \times 10^7 \frac{VP}{k_{oc} \cdot S_w} \quad k_{oc}: \text{토양 흡착 계수}$$

#### 3. 다른 이유

volatilization rate factor에서  $\frac{VP}{S_w}$ 는 H이다. 따라서 순수한 물에서와 토양에서의 휘발

되는 정도가 다른 이유는  $k_{oc}$ 에 의한 것이다.  $k_{oc}$ 는 오염물질이 토양 내 organic carbon에 흡착되는 정도를 나타낸다. 이 값이 높을수록 흡착이 잘 되는 토양이므로 휘발이 일어나기 어렵다.

(보너스 문제: 각 5점)

1) 토목, 건설산업이 환경에 미치는 부정적 영향과 이를 극복하고 지속가능한 발전 (ESSD)을 달성하기 위한 방안에 대해 각자의 생각을 서술하시오.

Sol>

토목·건설 사업을 하면 건설 지역의 생태계파괴가 심각해진다. 또한 건설 재료 중 골재를 얻는 과정에서도 환경파괴가 일어나며 기타 여러 가지 재료를 만들고 공사를 하는 과정에서도 환경에 부정적 영향을 미친다. 또한 건설폐기물이 발생하고 이를 처리하는 과정에서도 오염이 발생할 수 있다. 건설이 완료된 후에도 이를 유지하기 위한 냉·난방 보수 과정에서 생태계에 영향을 미칠 것이다. 이를 극복하기 위해선 우선적으로 자원순환형 사회를 실현해야 한다. 건설폐기물을 골재로 재활용하여 폐기물의 양도 줄이고 골재 생산과정 중의 오염도 줄인다. 그리고 ecological engineering을 통해 자연친화적인 설계 및 건설을 하고 사후관리를 해야 할 것이다. 마지막으로 Life Cycle Assessment를 통해 시설물이 폐기되거나 재건축 될 때의 활용 방안도 생각해보아야 할 것이다.

2) 오염지역 정화에 있어 “How clean is clean?”이란 문장의 의미는?

Sol>

오염물질의 법적규제기준과 실질적인 위해성사이에서 균형적이고 과학적인 판단을 하여 정화계획을 세우는 것을 의미한다. 즉, Receptor가 노출되는 정도를 고려하여 clean up level을 정하는 것 등 이다. 오염물질의 농도를 기준으로 정화하는 것이 아니라 Risk를 기준으로 하여 판단하고 정화하는 것을 말한다. 법적 기준을 초과하지 않는 지역이라도 수용체로의 노출정도가 높으면 즉각적인 정화를 실시하고, 법적기준을 초과하는 지역이라도 위해성평가 등의 과학적 과정을 거쳐 수용체로의 직접적인 위해성이 없다면 다른 우선순위 지역을 먼저 정화하는 등의 유연성을 가지는 정화전략이라 할 수 있다.