

## 과제 #2 - Solutions

제출일: 10/7 수업시간

1. 탄저균을 5% 페놀 용액으로 제거하기 위한 반응을 관찰한 결과 반감기가 30분인 것을 알았다. 이 때, 다음 물음에 답하시오.

1) 이 반응의 1차반응상수를 구하시오. (3점)

답)

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

$$k = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{\ln 2}{30 \text{ min}} = 2.31 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$$

2) 이 반응을 이용하여 원수의 탄저균을 99.9% 제거하려고 할 때, 반응조가 PFR일 때와 steady-state CMFR일 때 각각에 대하여 요구되는 체류시간(retention time; 단위: 시간)을 구하시오. (12점)

답)

PFR:

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

$$t_0 = -\frac{1}{k} \ln \frac{C_{out}}{C_{in}} = -\frac{1}{2.31 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}} \ln 0.001 = 299 \text{ min} = 4.98 \text{ hr}$$

CMFR:

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

$$t_0 = \frac{1}{k} \cdot \left( \frac{C_{in}}{C_{out}} - 1 \right) = \frac{1}{2.31 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}} \cdot (1000 - 1) = 43247 \text{ min} = 721 \text{ hr}$$

- 3) 위 2)번의 PFR과 CMFR에 대하여 원수의 유입속도가  $10^4 \text{ m}^3/\text{hr}$ 일 때 필요한 반응조의 부피를 구하시오. (5점)

답)

$$\text{PFR: } V = Qt_0 = 1000 \text{ m}^3/\text{hr} \cdot 4.98 \text{ hr} = 4980 \text{ m}^3$$

$$\text{CMFR: } V = Q \cdot t_0 = 1000 \text{ m}^3/\text{hr} \cdot 7.21 \text{ hr} = 7.21 \times 10^5 \text{ m}^3$$

2. 초기 오염물질 농도가  $100 \text{ mg/L}$ , 유량이  $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{hr}$ 인 오염수를 CMFR 형태의 미생물 반응조로 처리하고자 한다. 반응속도는 1차 반응을 따르며 1차반응상수가  $0.5 \text{ hr}^{-1}$ 일 때, 다음 물음에 답하시오 (steady state 가정).

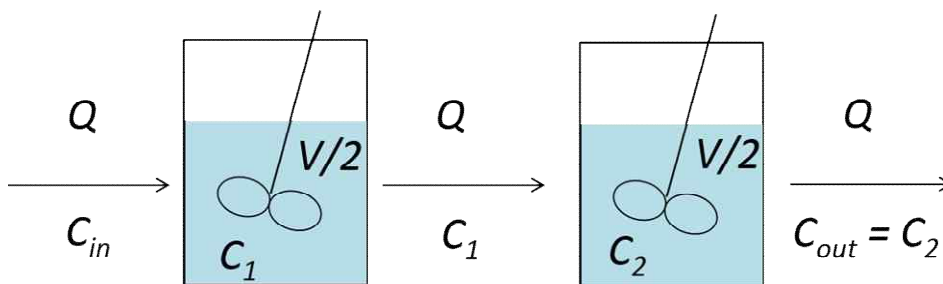
- 1) 유출수 농도  $1 \text{ mg/L}$ 를 달성하기 위한 CMFR의 부피를 구하시오. (5점)

답)

$$t_0 = \frac{1}{k} \cdot \left( \frac{C_{in}}{C_{out}} - 1 \right) = \frac{1}{0.5 \text{ hr}^{-1}} \cdot (100 - 1) = 198 \text{ hr}$$

$$V = Q \cdot t_0 = 5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{hr} \cdot 198 \text{ hr} = 9.90 \times 10^6 \text{ m}^3$$

- 2) CMFR의 효율을 증대시키기 위해 다음 그림과 같이 반응조 부피  $V$ 를 이등분하여 직렬 연결한 시스템을 구성하였다. 이 때 steady state 상태에서의 최종 유출수 농도  $C_{out}$ 을 유입수 농도  $C_{in}$ , 1차반응속도  $k$ , 시스템 전체에 대한 체류시간  $t_0$  ( $=V/Q$ )로 표현하시오. (20점)



답)

먼저 첫 번째 반응조를 control volume으로 설정하여 mass balance를 세우면,

$$0 = QC_{in} - QC_1 - kC_1(V/2)$$

$$C_1 = \frac{C_{in}}{1 + kt_0/2}$$

두 번째 반응조를 control volume으로 설정하여 mass balance를 세우면,

$$0 = QC_1 - QC_2 - kC_2(V/2)$$

$$C_{out} = C_2 = \frac{C_1}{1 + kt_0/2}$$

따라서,

$$C_{out} = \frac{C_{in}}{(1 + kt_0/2)^2}$$

- 3) 위 2)의 직렬 연결 CMFR 시스템에 대하여 유출수 농도 1 mg/L를 달성하기 위한 반응조 전체 부피 V를 구하시오. (5점)

$$t_0 = \frac{2}{k} \cdot [(C_{in}/C_{out})^{1/2} - 1] = \frac{2}{0.5 \text{ hr}^{-1}} \cdot (1000^{1/2} - 1) = 122.5 \text{ hr}$$

$$V = Q \cdot t_0 = 5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{hr} \cdot 122.5 \text{ hr} = 6.13 \times 10^6 \text{ m}^3$$

3. 생태학적 원리를 이용하여 인간사회와 자연환경을 디자인함으로써 양자간의 편익을 획득하고 지속가능성을 향상시키는 것을 목표로 하는 학문 분야인 생태공학(ecological engineering)은 최근 많은 관심을 받고 있다. 환경공학에 있어 생태공학적인 방법론을 접목시키기 위한 시도 또한 점차 활발하게 이루어지고 있다. 호수에 생태섬을 조성하여 영양염류 및 부유물질 제거의 효과를 달성하거나 생태계 순환의 원리를 적용하여 자원순환형 대학 캠퍼스를 조성하는 것 등이 생태공학적인 방법론을 접목시킨 예로 볼 수 있다. 생태공학의 디자인 원리를 소개한 S.D. Bergen, S.M. Bolton, J.L. Fridley의 논문 "Design Principles for Ecological Engineering" (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857401000787>)의 205, 206페이지를 참조하여 생태공학적인 접근법을 위한 생태학적 원리를 3개 이상 제시하시오. (25점)

답)

자가조직(self organization), 복잡성 및 다양성(complexity and diversity), 생태학적 자기회복력(ecological resilience), 물질의 상호교환(network systems), 불안정 상태의 근접점에서 기능 등

4. 우리나라의 대기 중 아황산가스 농도기준은 20 ppb이며(연간 평균값) 이를  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  단위로 환산하면 20°C, 1기압에서 54  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. 어떤 여성이 18세부터 75세까지 우리나라에 거주하면서 20 ppb의 아황산가스에 노출되어 왔다. 이 여성은 매년 주기적으로 20일간 아황산가스 농도가 0 ppb인 청정지역에서 휴가를 보내고 나머지 기간은 전일 우리나라에 거주한다고 가정할 때, 이 여성의 평생 동안의 Chronic Daily Intake(CDI)를 구하시오. (단, 체중 및 대기 흡입량은 미국 EPA 기준을 적용) (15점)

답)

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

$$C = 54 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

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

$$EFD = EF \times ED = 345 \text{ days/year} \times 57 \text{ years} = 19665 \text{ days}$$

$$BW = 65.4 \text{ kg}$$

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

$$CDI = (54 \mu\text{g}/\text{m}^3) \cdot \frac{11.3 \text{ m}^3/\text{day} \cdot 19665 \text{ days}}{65.4 \text{ kg}} \cdot \frac{1}{27375 \text{ days}} = 6.70 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$$

5. 오염된 식수의 섭취로 각각의 물질에 대하여 다음과 같은 Chronic Daily Intake(CDI)이 발생하였을 때 각각에 대한 발암독성(Carcinogenic Risk)을 구하시오. (10점)

Compound	CDI (mg/kg/day)
Tetrachloroethylene	$1.34 \times 10^{-4}$
Arsenic	$1.43 \times 10^{-3}$
Dichloromethane (methylene chloride)	$2.34 \times 10^{-4}$

답)

경구섭취에 의한 각 물질의 SF는,

Tetrachloroethylene:  $0.052 \text{ kg} \cdot \text{day}/\text{mg}$

Arsenic:  $1.5 \text{ kg} \cdot \text{day}/\text{mg}$

Methylene chloride:  $0.0075 \text{ kg} \cdot \text{day}/\text{mg}$

따라서 각각의 발암독성은,

Tetrachloroethylene:  $1.34 \times 10^{-4} \cdot 0.052 \text{ kg} \cdot \text{day}/\text{mg} = 6.97 \times 10^{-6}$

Arsenic:  $1.43 \times 10^{-3} \cdot 1.5 \text{ kg} \cdot \text{day}/\text{mg} = 2.15 \times 10^{-3}$

Methylene chloride:  $2.34 \times 10^{-4} \cdot 0.0075 \text{ kg} \cdot \text{day}/\text{mg} = 1.76 \times 10^{-6}$