

과제 #2 - 답안

제출기한: 2021. 04. 27 (화), 14:00

1. 하수도 시설기준에 의하여 주거지역만으로 이루어진 국내 어떤 도시의 하수처리 시설을 설계하고자 한다(즉, 공장폐수, 영업오수 및 관광오수 제외). 이 지역에는 분류식 관거(separate sewer)가 설치되어 있다. 도시의 10년전 인구수는 80,000명, 현재 인구수는 100,000명이며, 상수도계획 상의 1인1일최대급수량은 380 L/인-일이다. 다음 물음에 답하시오.

1) 계획목표년도를 20년으로 할 때, 등비급수법을 이용하여 이 도시의 계획인구수를 계산하시오. (5점)

답)

$$\gamma = (P_0/P_t)^{1/t} - 1 = (100,000/80,000)^{1/10} - 1 = 0.0226$$

$$P_N = P_0(1 + \gamma)^N = 100,000 \cdot (1 + 0.0226)^{20} = 156,356$$

156,356명

2) 불명수량(I/I)을 1일최대오수량의 15%로 가정하여 계획1일최대오수량을 구하시오. (5점)

답)

$$\begin{aligned} (\text{계획1일최대오수량}) &= (\text{1인1일최대오수량}) \times (\text{계획인구수}) + (\text{지하수량}) \\ &= (380 \text{ L/인-일} \times 156,356 \text{ 인}) \times 1.15 \\ &= 68,327,572 \text{ L/일} = \underline{68,328 \text{ m}^3/\text{일}} \end{aligned}$$

3) 계획1일평균오수량 및 계획시간최대오수량을 구하시오. 단, $PF_{\text{season}} = 1.4$, $PF_{\text{day}} = 1.7$. (7점)

답)

$$\begin{aligned} (\text{계획1 일평균오수량}) &= (\text{계획1 일최대오수량}) / PF_{\text{season}} \\ &= 68,328 \text{ m}^3/\text{일} / 1.4 = \underline{48,806 \text{ m}^3/\text{일}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\text{계획시간최대오수량}) &= (\text{계획1 일최대오수량}) \times PF_{\text{day}} \\ &= 68,328 \text{ m}^3/\text{일} \times 1.7 = \underline{116,158 \text{ m}^3/\text{일}} \end{aligned}$$

4) 이 도시의 생활오수 오염부하량 원단위는 BOD 100 g/인-일, SS 80 g/인-일이다. 이 때, 하수처리시설의 계획오염부하량 및 계획유입수질을 계산하시오. (8점)

답)

$$(\text{계획오염부하량}) = (\text{오염부하량 원단위}) \times (\text{계획인구수})$$

$$BOD: 100 \text{ g/인-일} \times 156,356 \text{ 인} \times 10^{-3} \text{ kg/g} = \underline{15,636 \text{ kg/일}}$$

$$SS: 80 \text{ g/인-일} \times 156,356 \text{ 인} \times 10^{-3} \text{ kg/g} = \underline{12,508 \text{ kg/일}}$$

$$(\text{계획유입수질}) = (\text{계획오염부하량}) / (\text{계획1 일평균오수량})$$

$$BOD: 15,636 \text{ kg/일} / 48,806 \text{ m}^3/\text{일} = 0.320 \text{ kg/m}^3 = \underline{320 \text{ mg/L}}$$

$$SS: 12,508 \text{ kg/일} / 48,806 \text{ m}^3/\text{일} = 0.256 \text{ kg/m}^3 = \underline{256 \text{ mg/L}}$$

2. 완전 혼합된 batch reactor에서의 실험실 실험을 통해 물질 A의 반응에 따른 시간 별 농도값(C_A)을 다음 표와 같이 얻었다. 이때, 다음 문제에 답하시오.

Time (hr)	C_A (g/m ³)
0	10.0
0.5	3.00
1	2.00
2	1.00
4	0.60
8	0.30
16	0.15

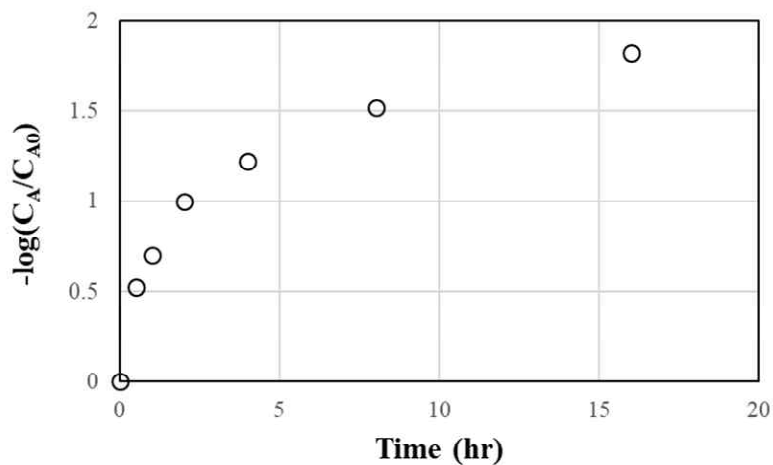
1) 이 반응의 반응차수(reactor order)와 반응속도계수(reaction rate constant)를 구하시오.
반응속도계수의 단위를 정확히 표기해야 함에 유의하시오. (15점)

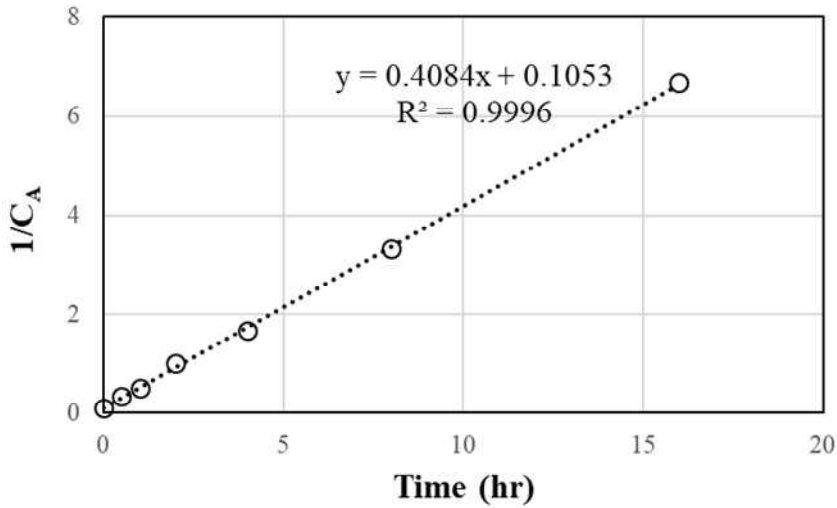
답)

농도 변화 패턴으로 보았을 때 이 반응은 1차 혹은 2차반응일 것으로 우선 예상할 수 있음. 두 경우에 대해 선형화를 하기 위해 주어진 자료를 다음과 같이 변환할 수 있음

Time (hr)	C_A (g/m ³)	$-\log(C_A/C_{A0})$	$1/C_A$
0	10.0	0.00	0.10
0.5	3.00	0.52	0.33
1	2.00	0.70	0.50
2	1.00	1.00	1.00
4	0.60	1.22	1.67
8	0.30	1.52	3.33
16	0.15	1.82	6.67

각각의 변환값을 시간에 따라 도시하면,





선형화 결과, 이 반응은 물질 A에 대한 2차반응인 것이 분명함. 2차반응 선형화 식의 기울기는 바로 2차반응계수이고, 사용한 시간단위는 hr, 농도단위는 g/m³이므로, 2차반응계수는 0.408 m³/g-hr 임.

2) 이제 이 반응을 이용한 CSTR을 설계하고자 한다. 유입수의 A 농도는 20.0 g/m³, 유량은 10 m³/hr일 때, 정상 상태(steady state)를 가정하여 A의 제거효율 90%을 얻기 위해 필요한 CSTR의 부피를 구하시오. (10점)

답)

강의에서 2차반응을 따르는 물질의 정상 상태 CSTR에서의 제거효율을 도출한 적이 없으므로, 먼저 반응조 해석법을 응용하여 제거효율 식을 도출하자.

CSTR 반응조 전체를 CV로 보면,

$$V \frac{dC_A}{dt} = QC_{A0} - QC_A - kC_A^2 V = 0 \quad (\text{정상 상태})$$

양변을 유량 Q로 나누면

$$(C_{A0} - C_A) = kC_A^2 \tau \quad (\tau = \text{HRT})$$

$$\tau = \frac{V}{Q} = \frac{C_{A0} - C_A}{kC_A^2}$$

$$V = Q \times \frac{C_{A0} - C_A}{kC_A^2} = 10 \text{ m}^3/\text{hr} \times \frac{0.9 \times 20 \text{ g/m}^3}{0.408 \text{ m}^3/\text{g-hr} \times (2 \text{ g/m}^3)^2} = 110 \text{ m}^3$$

3. 컴퓨터 소프트웨어 혹은 프로그래밍 언어를 이용하여 침강 조건이 transient region일 때 주어진 구형 입자의 밀도와 직경, 그리고 물의 밀도와 동점성계수(dynamic viscosity)를 이용하여 입자의 최종침강속도(terminal settling velocity)를 구하는 간단한 프로그램을 만드시오. 이 프로그램을 이용하여 직경이 i) 0.5 mm, ii) 1.0 mm이고, 밀도는 $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 으로 동일한 두 구형 입자의 최종침강속도를 m/s 단위로 구하시오. 물의 밀도는 $1.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 동점성계수는 $1.00 \times 10^{-3} \text{ N-s/m}^2$ 를 사용하시오. 작성한 프로그램 파일을 답안과 별도로 제출하시오. (30점)

답)

Excel을 사용할 경우 다음과 같은 방법으로 침강속도의 가정값으로부터 Reynolds number (N_R)을 도출하고, 이를 이용해서 drag coefficient (C_D)를 계산하며, 다시 이를 이용하여 침강속도 계산값을 내는 과정을 자동화하고, 가정값과 계산값의 오차 절대값이 최소화되도록(또는 오차의 제곱이 최소화되도록) 하는 “해찾기” 기능을 활용하면 쉽게 직경 별 침강속도를 구해낼 수 있음

	A	B	C	D	E
1	Calculating settling velocities at transient region				
2					
3		$d_p = 0.5 \text{ mm}$	$d_p = 1 \text{ mm}$		
4	Input parameters				
5	gravity acceration, $g \text{ (m/s}^2\text{)}$	9.81	9.81		
6	particle density, $\rho_p \text{ (kg/m}^3\text{)}$	2650	2650		
7	water density, $\rho_w \text{ (kg/m}^3\text{)}$	1000	1000		
8	particle diameter, $d_p \text{ (m)}$	0.0005	0.001		
9	dynamic viscosity, $\mu \text{ (N-s/m}^2\text{)}$	0.001	0.001		
10					
11					
12	Assumed settling velocity, $v_p \text{ (m/s)}$	9.1E-02	1.8E-01		
13					
14	N_R with assumed v_p	45.3	175.1		
15	C_d with assumed v_p	1.32	0.70		
16					
17	Calculated settling velocity, $v_p \text{ (m/s)}$	9.1E-02	1.8E-01		
18	Square error	5.51E-18	2.75E-23		
19					
20					

그림에서 볼 수 있듯이, 0.5 mm 입자의 최종침강속도는 0.091 m/s, 1.0 mm 입자의 최종 침강속도는 0.18 m/s 임

4. Overflow rate가 2.5 m/h인 침전조(sedimentation basin)의 입자 제거효율을 다음 자료를 이용하여 구하시오. 유입수와 유출수의 입도별 농도 분포를 히스토그램으로 그려 비교하시오. (20점)

* 본 문제에서 구하는 입자 제거효율은 유입된 전체 입자농도 대비 침전으로 제거된 입자 농도를 %로 환산한 것임

settling velocity, m/h	number concentration of particles, #/L
0.0-0.5	10
0.5-1.0	29
1.0-1.5	47
1.5-2.0	65
2.0-2.5	74
2.5-3.0	60
3.0-3.5	28
3.5-4.0	13
4.0-4.5	5

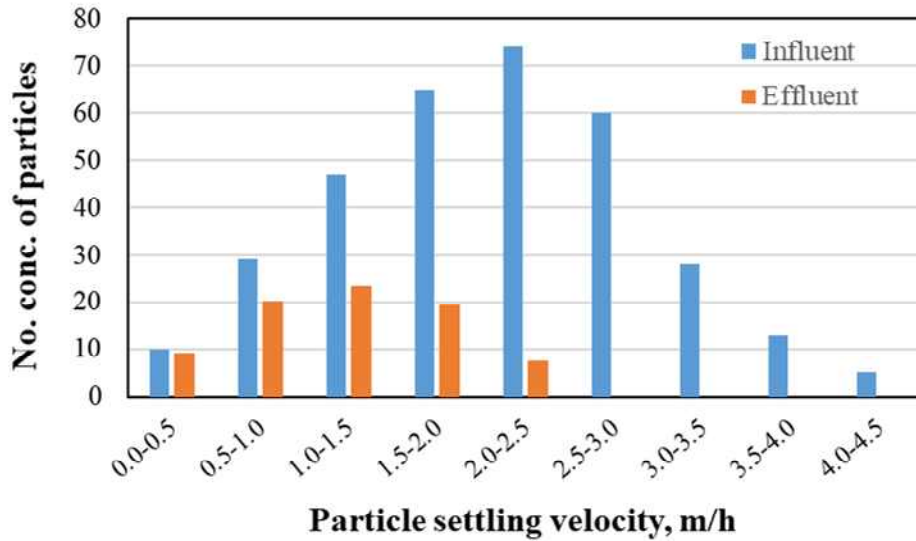
답)

주어진 데이터와 overflow rate를 이용하여 다음과 같은 표를 작성함

Avg. settling vel., m/h	# conc.	Fraction removed	# conc. removed	# conc. in effluent
0.25	10	0.1	1	9
0.75	29	0.3	8.7	20.3
1.25	47	0.5	23.5	23.5
1.75	65	0.7	45.5	19.5
2.25	74	0.9	66.6	7.4
2.75	60	1.0	60	0
3.25	28	1.0	28	0
3.75	13	1.0	13	0
4.25	5	1.0	5	0
Total	331		251.3	79.7

$$\text{Total fraction removed} = \frac{251.3}{331} \times 100(\%) = 75.9\%$$

이를 히스토그램으로 그리면 다음과 같음



5. 연구를 통해 개발한 폭기장치(aerator)의 성능을 batch reactor로 평가하고자 한다. 시간에 따른 용존산소농도 [DO]를 측정된 결과가 아래와 같을 때, 이 폭기장치의 K_La 값과 포화용존산소농도 $[DO]_s$ 를 구하시오. (20점)

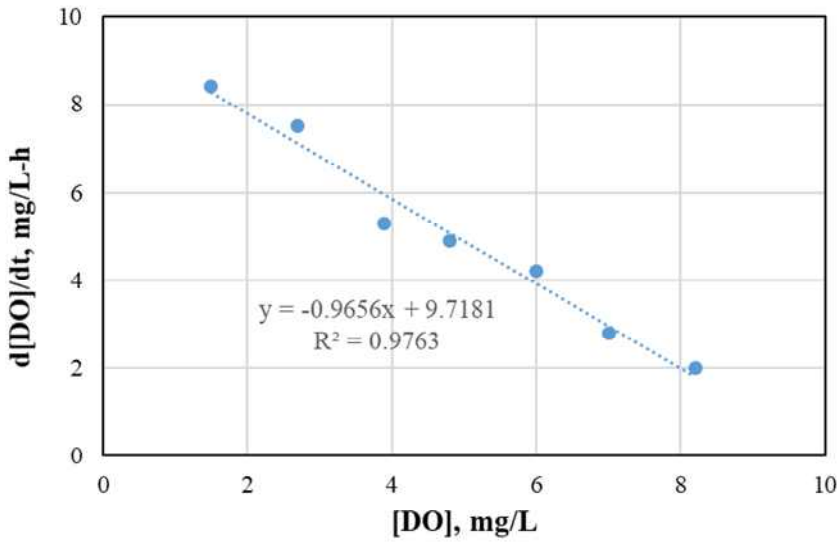
DO concentration, [DO], mg/L	$d[DO]/dt$, mg/L-h
1.5	8.4
2.7	7.5
3.9	5.3
4.8	4.9
6.0	4.2
7.0	2.8
8.2	2.0

답)

Batch reactor에서 산소 용해(gas absorption)는 다음 식으로 표현됨

$$\frac{d[DO]}{dt} = K_La([DO]_s - [DO]) = K_La[DO]_s - K_La[DO]$$

[DO]와 $d[DO]/dt$ 를 도시하고, 선형회귀식을 구하면:



따라서,

$$K_L a = 0.966 \text{ h}^{-1}$$

$$[DO]_s = \frac{9.718 \text{ mg/L-h}}{0.966 \text{ hr}^{-1}} = 10.1 \text{ mg/L}$$

6. 역삼투법(reverse osmosis, RO)의 에너지 효율을 향상시킬 수 있는 방안을 문헌조사를 통해 기술하시오. (10점)

답) 역삼투막의 물 투과성능(flux) 향상, 역삼투 공정 에너지 회수효율 증대, 고압펌프의 에너지 효율 향상, 향상된 파울링 제어기술 적용으로 flux 저감 방지, 적절한 전처리 (MF, UF 등)을 통한 파울링 제어 등