활성탄소의 특성비교 및 사업장적용(5)

동양탄소(주) 대표 박영태

목 차

1. 서론
2. 활성탄의 흡착특성
 2.1 흡착제의 종류
 2.2 흡착특성
 2.3 흡착등온선(吸着等溫線)
 2.4 흡착질분자의 크기에 따른 흡착특성
 2.5 기상흡착과 액상흡착
 2.6 물리흡착과 화학흡착
 2.7 흡착열
3. 활성탄의 종류 및 제조
 3.1 원료 및 제품 종류
 3.2 활성탄의 제조공정
 3.3 활성화 제조장치
4. 활성탄의 응용
 4.1 개요
 4.2 액상에서의 흡착
 4.3 기상(氣相)에서의 흡착
 4.4 촉매 및 촉매담체
 4.5 분석 및 의약
 4.6 환경오염방지
5. 흡착조작의 설계
 5.1 개요
 5.2 흡착장치
 5.3 계산방법
6. 재생 (再生)
 6.1 필요성
 6.2 재생 효과
 6.3 재생 방법
7. 활성탄 품질규격 및 분석방법
 7.1 공업 규격
 7.2 물리적 특성 시험방법 (KSM 1802-1993)
 7.3 흡착 특성 시험방법 (KSM 1802-1985)
 7.4 세공 구조 특성 시험방법
8. 결론 및 장래성
 8.1 결론
 8.2 장래성

5.3 계산방법

예제 1)

생물학적 처리수의 COD가 배출허용기준을 초과하여 활성탄 흡착법으로 이를 낮추고자 한다. COD가 56mg/ℓ인 폐수 1ℓ에 활성탄을 20mg 첨가하였더니 COD가 16mg/ℓ로 되었고, 동일한 원폐수 1ℓ에 활성탄을 52mg 첨가하였더니 COD가 4mg/ℓ로 되었다.

처리된 물의 COD를 6mg/ℓ으로 하기 위해서 첨가해야 할 활성탄의 량은?

해) FREUNDLICH식을 이용하면

$$Q = \frac{V(Co - C)}{W} = KC \exp 1/n$$

- K와 1/n : 경험상수 또는 흡착지수
- V : 검수량(ℓ)
- Co : 액의 초기농도(mg/ℓ)
- C : 평형시의 농도(mg/ℓ)
- Q : 활성탄의 흡착량(mg/mg)
- W : 활성탄 첨가량(mg)

먼저 K와 1/n을 구한다.

$$\frac{1\times(56-16)}{20} = K16 \exp \frac{1}{n} \qquad \frac{1\times(56-4)}{52} = K4 \exp \frac{1}{n}$$

즉, $2 = K16 \exp \frac{1}{n}$ ---(1) $\qquad 1 = K4 \exp \frac{1}{n}$ ---(2)

(1)식을 (2)식을 나누면 $2 = 4\ exp\frac{1}{n}$

$$\log 2 = \frac{1}{n}\log 4, \quad \frac{1}{n} = \frac{\log 2}{\log 4}, \quad n = \frac{\log 4}{\log 2}$$

$$\therefore n = 2 \quad ----(3)$$

(3)식을 (1)식에 대입하면 $K = 1/2$

$$\therefore \frac{(56-6)}{w} = \frac{1}{2} \times 6\ exp\ 1/2, \quad w = 40.82 mg/\ell$$

즉, 원폐수 1 ℓ 에 활성탄 40.82mg을 투입해야 한다.

예제 2)

어는 화학공장에서 COD 30mg/ℓ 인 폐수를 매시 50m³ 방류하고 있다. 이 폐수를 활성탄 처리하여 COD를 3mg/ℓ 까지 감소시켜서 공업용수로 재이용하려고 한다.

이 폐수를 1 ℓ 씩 비이커에 넣은것을 6개 준비하고 흡착 실험한 결과 평형시의 액 농도와 활성탄 첨가량과 사이에 다음 표와 같은 관계를 얻었을 때 아래 질문에 답하라.

평형시험 결과

활성탄 첨가량(mg)	50	100	150	200	250	500
잔류농도COD농도(mg/ℓ)	18	11	7.5	5.0	3.5	1.0

문 1) 흡착 등온식을 작성하고 액 농도와 흡착량과의 관계를 구하라.

해)

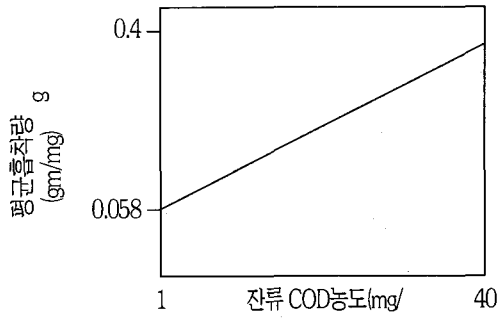
$$\text{평형흡착량(mg/mg)} = \frac{V(Co-C)}{W} = KCexp\ 1/n$$

- Co : 원수 COD의 농도(mg/ℓ)
- C : 처리수 COD의 농도(mg/ℓ)
- W : 활성탄 첨가량 (mg)
- V : 검수량(ℓ)

잔류 COD 농도(mg/ℓ)	평형 흡착량(mg/mg)
18	0.24
11	0.19
7.5	0.15
5.0	0.125
3.5	0.106
1.0	0.058

이것을 양대수 그래프에 나타내면 그림과 같이 직선이 얻어진다.

흡착등온선



예제 1과 같이 계산하여 $\frac{1}{n}$ 과 K를 구하면

$$\frac{1(30-18)}{50} = K \cdot 18 \cdot exp\frac{1}{n} \quad ------(1)$$

$$\frac{1(30-1.0)}{500} = K \cdot 1 \cdot exp\ \frac{1}{n} \quad ------(2)$$

식(1)을 식(2)로 나누면 $\frac{0.240}{0.058} = 18^{\frac{1}{n}}$, $\log 4.14 = \frac{1}{n}\log 18$,

$\frac{1}{n} = \frac{\log 4.14}{\log 18} \fallingdotseq 0.49$, 이를 (1)식에 대입하면 $0.24 = K\ 18^{0.49}$

$$K = \frac{0.240}{18^{0.49}} = \frac{0.24}{4.12} = 0.058 \qquad \therefore K = 0.058$$

다음의 FREUNLICH식으로 나타낼 수 있다.

문 2) 1단의 교반탑 흡착장치에서 분말 활성탄으로 처리하여 COD 3.0mg/ℓ로 방류하고자 할 때 활성탄 첨가량을 구하라.

해) 방류수 COD 3.0mg/ℓ일 때 흡착등온선을 양대수 그래프로 나타내면 평형흡착량(Q)은 0.1mg-COD/mg-활성탄이 되므로 활성탄농도 W/V(mg/ℓ)는

$$\frac{W}{V} = \frac{Co-C}{Q} \quad \text{--------(4)}$$

$$\frac{30-3}{0.1} = 270(mg/\ell)$$

∴ 활성탄 첨가량 270(mg/ℓ)

문 3) 고정층 흡착장치로 처리할 경우에는 처리수 COD가 3.0mg/ℓ를 넘는 시점에서 통수를 정지하고, 폐 입상활성탄을 전량 배출하여 신활성탄과 교환한다.
1사이클의 통과시간을 1,000시간으로 하면 활성탄 충전량은 몇 톤이 필요한가?
COLUMN의 선속도를 12.5m/hr로 설정할 때 흡착탑의 크기를 구하여라.
(단, 활성탄의 충전밀도는 0.4g/cc 로 한다.)

해)

조건 : 흡착대 높이를 1.0m로 가정하면

$$Z = \frac{Za}{2} + \frac{UCo}{\rho Q} \times T$$

- Z : 활성탄 높이(m)
- Za : 흡착대의 높이(m)=1m
- U : 선속도(m/hr)=12.5/hr
- Co : 원수의 농도(mg/ℓ)=30mg/ℓ
- ρ : 활성탄의 충전밀도(g/cc)=0.4g/cc
- Q : 활성탄 흡착량(mg/mg) : Q=0.058(30)exp 0.49=0.307
- T : 사용시간(hr)

$$Z = \frac{1m}{2} + \frac{12.5m}{hr} \left| \frac{30mg}{\ell} \right| \frac{cc}{0.4g} \left| \frac{}{0.307} \right| \frac{1,000hr}{} \left| \frac{1\ell}{1,000cc} \right| \frac{1g}{1,000mg} = 3.55m$$

$$\text{흡착탑 단면적} = \frac{\text{처리량}}{\text{선속도}} \left| \frac{50m^3}{hr} \right| \frac{hr}{12.5} = 4m^2$$

흡착탑 충전용적 = 단면적×높이=$4m^2$×3.55m=$14.2m^3$
활성탄 충전중량 = 충전용적×충전밀도
=$14.2m^3$×0.4Ton/m^3=5.7Ton

$$\text{SPACE VELOCITY(SV)} = \frac{\text{선속도}}{\text{활성탄높이}} = \frac{12.5m}{hr} \times \frac{1}{3.55m}$$

$$= 3.52(1/hr)$$

탑 단면적이 $4m^2$이고 $A = \frac{\pi D^2}{4}$ 이므로 탑직경 D는 2.26m이다

역세척시의 활성탄층 팽창을 고려하여 여유고(FREE BOARD)를 흡착탑 높이의 40%로 하면 흡착탑 용적은 14.2×1.4≒$20m^3$이 되어야 한다.

따라서 $20m^3 = \frac{\pi(2.26)^2}{4} \times H$ 이므로 충전탑 크기는 ϕ 2.26m×H5.0m가 된다.

문 4) 분말활성탄의 단가를 1,200원/kg(수분 10%이하 기준), 입상활성탄의 단가를 1,500원/kg, 재생탄 가격을 800원/kg으로 하고, 분말활성탄은 1회용이나 입상활성탄의 재생수율을 90%라고 할 때 활성탄의 경비만 고려하여 년간 경제성을 비교하라.
(단, 재생탄 혼합 사용시 사용시간은 900hr으로 간주함)

해)

문 2로부터 분말활성탄 1회 첨가량이 270mg/ℓ(0.270kg/m^3)이고 문 3으로부터 입상활성탄의 사용시간 1,000hr, 사용량 5.7Ton이므로

(1) 분말활성탄 가격

$$\frac{0.270kg}{m^3-폐수} \left| \frac{1,200원}{kg} \right. = 324원/m^3-폐수$$

(2) 입상활성탄 가격

$$◎신탄구입시 = \frac{5.7톤 \times 1,000kg/톤 \times 1,500원/kg}{50m^3/hr \times 1,000hr} = 168원/m^3$$

◎1회 재생 입상 활성탄 단가

$$= \frac{\{(5.7ton \times 0.9(수율) \times 600원/kg) + (5.7ton \times 0.1(수율) \times 1,500원/kg)\} \times 1,000kg/ton}{50m^3/hr \times 900hr}$$

$= 87원/m^3$

따라서 분말 활성탄의 폐기물 처리비를 고려하지 않고 新입상활성탄만 사용시에도 324-171이므로 153원/m^3 이익이고 1회 재생하여 사용할 경우에는 324-87=237원/m^3 이익이 있으므로 크게 경제적이다. 결국 재생활성탄 혼합 사용시에는 분말활성탄만 사용할 때 보다 년간 절감액은 (324-87)원/m^3×50m^3/hr×24hr×300day=₩85,320,000년 이익이다.

예제 3)

어떤 공장에서 악취성 배출가스인 황화수소가 아래 조건과 같이 발생되는데 이를 산성가스 제거용 첨착활성탄으로 제거하고자 할 때 필요할 때 필요한 활성탄량을 산출하라.

[조건]

1) 풍량 : 2m^3/min(25℃)

2) 오염물질(산성가스)

황화수소(H2S) 농도 : 1,000ppm(1.5×10-3kg/m^3)

3) 오염물질 분자량(H^2S) : 34.08

4) 활성탄 교체주기 : 100day

5) 사용활성탄

산성가스 제거용 첨착활성탄(H2S, CH3SH)[4X8Me sh, 파쇄상, 동양 IGA]

6) 제거율

H2S : 0.3gH2S/gAC(1,000pppm기준, 동양 IGA 사용기준)

해)

활성탄 사용량 산출

1) 활성탄 교체주기(t) $t = \frac{W \cdot S}{E \cdot Q \cdot C}$ 에서

(단 t : 활성탄 교체주기 W : 흡착제 질량
S : 활성탄의 흡착량 E : 활성탄 사용효율
Q : 처리가스량 C : 오염물질농도)

이므로 $W = \frac{t \cdot E \cdot Q \cdot C}{S}$ 이다.

2) 활성탄 사용효율(E) : 0.9(90%)

3) 오염물질 농도(C)

1mol의 부피는 0℃에서 22.4 ℓ 이므로, 기체 25℃의 에서는

$$22.4\ell \times \frac{(273+25)}{273} = 24.45\ell$$ 이고

$$C = \frac{(1,000ppm)}{1m3} \times \frac{34.08g}{24.45\ell} \times \frac{1\ell}{1,000m\ell} = 1.394g/m^3$$

$\therefore C = 1.394g/m^3$

4) 활성탄 교체주기(t) : 100day(144,000min)

5) 활성탄 사용량

$$W = \frac{t \cdot E \cdot Q \cdot C}{S} = \frac{144,000min \times 0.9 \times 2m^3/min \times 1.394gH_2S/m^3}{00.3gH_2S/gAC}$$

≒ 1,204kgAC = 1.2MT (∴B.D 0.48 g/cc일 경우 2.5m^3)

예제 4)

어떤 공장에서 염기성가스와 산성가스가 아래와 같은

조건으로 발생할 때 1년동안 필요한 첨착활성탄량을 각각 산출하라.

[조건]

1) 풍량 : 150m³/min(25℃)

2) 오염물질

① 염기성 가스

암모니아(NH_3)농도 : $1.06\times10^{-6}kg/m^3$

Trimethylamine [$(CH_3)3N$] 농도 : $5.27\times10^{-7}kg/m^3$

② 산성가스

황화수소(H_2S)농도 : $4.69\times10^{-6}kg/m^3$

Methylmercaptane(CH_3SH)농도 : $1.5\times10^{-7}kg/m^3$

3) 오염물질 분자량

① 염기성 가스

암모니아(NH_3) : 17.03

Trimethylamine [$(CH_3)3N$] : 59.11

② 산성가스

황화수소(H_2S) : 34.08

Methylmercaptane(CH_3SH) : 48.10

4) 활성탄 교체주기 : 365day[525,600min]

5) 사용 활성탄

① 염기성 가스 제거용 첨착활성탄 [4×8 Mesh, 파쇄상, 동양 IGB]

② 산성가스 제거용 첨착활성탄 [4×8 Mesh, 파쇄상, 동양 IGA]

6) 제거율

H_2S : 0.3g H_2S/gAC(1,000pppm기준, 동양 IGA 사용기준)

NH_3 : 0.04g NH_3/gAC(1ppm기준, 동양 IGB 사용기준)

CH_3SH : 0.03g CH_3SH/gAC(1ppm기준, 동양 IGA 사용기준)

$(CH_3)3N$: 0.08g $(CH_3)3N$/gAC(1pppm기준, 동양 IGB 사용기준)

해)

활성탄 사용량 산출

1) 활성탄 사용효율(E) : 0.9(90%)

2) 활성탄 교체주기(t) : 525,600min(365day)

3) 활성탄의 흡착량

① 염기성가스

(0.04gNH/gAC+0.08g$(CH_3)3N$/gAC)÷2=0.06g/gAC

② 산성가스

(0.3gH_2S/gAC+Methylmercaptane 0.03gCH_3SH/gAC)÷2=0.165g/gAC

4) 활성탄 사용량

① 염기성가스

$$W=\frac{t\cdot E\cdot Q\cdot C}{S}$$

$$=\frac{525{,}600min\times0.9\times150m^3/min\times[1.06\times10^{-3}gNH_3/m^3+5.27\times10^{-3}g(CH_3)_3N/m^3]}{0.06gNH_3/gAC}$$

$$\fallingdotseq 1.316kgAC$$

② 산성가스

$$W=\frac{t\cdot E\cdot Q\cdot C}{S}$$

$$=\frac{525{,}600min\times0.9\times150m^3/min\times[4.69\times10^{-3}gNH_3/m^3+1.5\times10^{-4}gCH_3SH/m^3]}{0.165g/gAC}$$

$$\fallingdotseq 2.082kgAC$$

∴ 총 활성탄 사용량 : 염기성가스 제거용 1.316kg[2,742m³]

산성가스 제거용 2,082kg[4,338m³]

계 3,316kg[7,080m³]

예제 5)

가스상 황화합물을 발생하고 있는 어떤 공장에서 황화물의 발생량이 0.1kg/hr인데 그 중 95%는 배기에 의해 제거되고 나머지 5%가 실내를 오염시키고 있다. 실내 황화물 농도를 0.2ppm 이하로 하려고 한다. 활성탄의 사용량은 풍량 1,000m3/hr에 대해 13kg, 활성탄 흡착성능 12%, 황화물 평균분자량 34일 때 활성탄의 교체주

기를 구하라.
(단, 건물의 배기되는 공기량 1,500m³/hr, 공기정화장치 운전성능 : 90%)

해)

$$Qr = \frac{(Qd - Qi)}{\eta} \quad \text{----------} (1)$$

$$Qd = \frac{G}{Cw} = \frac{22.4 \times G}{Cv \times M} \quad \text{----------} (2)$$

왜냐하면 Cw $\frac{Cv \times M}{22.4}$

(1), (2)식에서

$$Qr = \frac{\frac{22.4 \times G}{Cv \times M} - Qi}{\eta} \quad \text{----------} (3)$$

$$Tb = \frac{S \times W}{\eta \times Qr \times Cw} = \frac{22.4 \times S \times W}{\eta \times Qr \times Cv \times M} \quad \text{------} (4)$$

- Qd : 희석된 총 공기량(m³/hr)
- Qi : 배기되는 공기량(m³/hr)
- Qr : 정화해야 할 공기량(m³/hr)
- G : 오염가스의 발생량(kg/hr)
- Cv : 오염물질 농도(용량기준, m³/m³)
- Cw : 오염물질 농도(중량기준, kg/m³)
- η : 장치의 운전효율(%)
- S : 활성탄의 흡착성능(%)
- W : 정화에 필요한 활성탄 중량(kg)
- Tb : 교체주기(LIFE TIME)

문제에서

- G : 0.1×0.05=0.005(kg/hr)
- Qi : 1,500(m³/hr)
- Cv : 0.2×10−6(m³/m³)
- M : 34이므로

○ 희석된 총 공기량

$$Qd = \frac{22.4 \times 0.005}{0.2 \times 10^{-6} \times 34} = 16{,}470(m^3/hr)$$

○ 정화해야 할 공기량

$$Qr = \frac{(16{,}470 - 1{,}500)}{0.9} = 16{,}600(m^3/hr)$$

○ 정화에 필요한 활성탄 중량

$$W = \frac{13 \times 16{,}600}{1{,}000} = 216(kg)$$

○ 교체주기

$$Tb = \frac{22.4 \times 0.12 \times 216}{0.9 \times 16{,}600 \times 0.2 \times 10^{-6} \times 34} = 5{,}715(hr)$$

다음호에 계속