

활성탄에 의한 Eosin Yellow의 흡착에 대한 평형, 동력학 및 열역학 파라미터에 관한 연구

이종집*

¹공주대학교 화학공학부

Equilibrium Kinetics and Thermodynamic Parameters Studies for Eosin Yellow Adsorption by Activated Carbon

Jong Jib Lee^{1*}

¹Division of Chemical Engineering, Kongju National University

요 약 Eosin yellow는 유용한 염료나 색소로 사용되지만 유해한 독성을 가진 물질이다. 본 연구에서는 활성탄을 사용하여 eosin yellow를 흡착하는데 필요한 흡착평형과 흡착동역학에 대하여 pH, 초기농도, 접촉시간 등을 변수로 하여 조사하였다. 등온흡착평형관계를 검토한 결과 평가된 Langmuir 상수값, $R_L=0.067-0.083$ 과 Freundlich 상수값 $\frac{1}{n} = 0.237 - 0.267$ 로부터 활성탄에 의한 eosin yellow의 흡착조작이 적절한 처리방법이 될 수 있음을 알았고, Temkin 상수값, $B=1.868-2.855$ J/mol과 Dubinin-Radushkevich 식 상수값, $E=5.345-5.735$ kJ/mol로부터 흡착공정이 물리흡착공정임을 알았다. 흡착공정에 대한 동력학적 해석을 통해 반응속도식의 적용결과는 유사이차반응속도식이 유사일차반응속도식에 비해 일치도가 높은 것으로 나타났다. 입자내확산식에 의해 흡착공정은 경계층확산과 입자내확산의 2단계로 진행되는 것을 알았다.

Abstract Eosin yellow is used a dye and colorant but it is harmful toxic substance. In this paper, batch adsorption studies were carried out for equilibrium, kinetics and thermodynamic parameters for eosin yellow adsorption by activated carbon with varying the operating variables like pH, initial concentration, contact time. Equilibrium adsorption data were fitted into Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin-Radushkevich isotherms. By estimated Langmuir constant value, $R_L=0.067-0.083$, and Freundlich constant value, $\frac{1}{n} = 0.237 - 0.267$, this process could be employed as effective treatment for removal of eosin yellow. From calculated Temkin constant, value, $B=1.868-2.855$ J/mol, and Dubinin-Radushkevich constant, value, $E=5.345-5.735$ kJ/mol, this adsorption process is physical adsorption. From kinetic experiments, the adsorption process were found to confirm to the pseudo second order model with good correlation coefficient($r^2=0.995-0.998$). The mechanism of the adsorption process was determined two step like as boundary and intraparticle diffusion.

Key Words : Eosin yellow, Adsorption, Activated carbon, Dye adsorption, Adsorption kinetics

1. 서론

Eosin Yellow(이하 EY)는 황갈색을 띠는 형광염료로 섭취 또는 호흡기로 흡입하거나 피부를 통해 흡수하면 점막독성, 구토, 설사를 비롯한 실명, 생식장애, 경련, 뇌

손상, 신장 손상, 간 손상, 심장 손상 등을 일으키는 유해한 독성물질이다[1,2]. EY는 식용색소와 염료로 사용되며, 섬유염색공정으로부터 방출되는 폐수에 포함되어 착색을 시켜 혐오감을 주거나 햇빛의 투과를 방해하며 독성 때문에 환경과 건강에 나쁜 영향을 준다. 지금까지

*Corresponding Author : Jong Jib Lee(Kongju National Univ.)

Tel: +82-41-521-9357 email: jjlee@kongju.ac.kr

Received January 21, 2014

Revised (1st March 17, 2014, 2nd March 31, 2014)

Accepted May 8, 2014

EY를 제거하기 위해 진행된 연구를 살펴보면, Du 등이 나노입자의 Chitosan을 사용하여 EY를 흡착한 결과, 흡착능은 접촉시간, EY의 농도, pH 및 온도에 영향을 받으며, 최적 pH는 2-6 이고 흡착공정은 흡열반응임을 밝혔다[3]. 그리고 Purkait와 DasGupta는 EY는 물에 녹아서 고독성의 음이온 상태로 되는데, 활성탄에 흡착될 때는 초기염료농도, 접촉시간, pH와 온도의 영향을 받으며 흡착속도는 Pseudo second order kinetic model로서 설명이 가능하며, 계면활성제의 첨가에 의해 사용한 활성탄의 재생능력을 높일 수 있다고 하였다[4]. Chatterjee 등은 Chitosan hydrogel을 사용하여 EY를 흡착했을 때, pH 8 부근에서 최대흡착능력을 나타내며, 흡착공정에 대한 등온선과 동력학에 대하여 검토하여 흡착공정은 Langmuir model에 잘 맞고, 흡착반응은 2차반응속도식을 따른다고 하였다. 특히 기계적물성이나 화학적 물성의 감소가 없이 5회의 반복사용이 가능하다고 보고하였다[5]. Mittal 등은 de-oiled soya를 흡착제로 사용한 EY의 흡착실험을 통해 Langmuir, Freundlich, Temkin 식을 사용하여 흡착평형관계를 고찰하였다. 흡착반응은 유사 이차반응속도식과 잘 맞으며, film diffusion이 지배적이라고 하였다. 자유에너지, 엔탈피, 엔트로피 변화를 구해 흡착공정을 검토하였다[6].

이와 같은 연구에도 불구하고 아직까지 저렴한 흡착제인 입상활성탄을 이용하여 EY를 흡착하는데 필요한 흡착평형, 동력학 및 열역학 파라미터를 규명하여 흡착공정을 해석한 연구는 부족한 실정이다. 본 연구에서는 입상활성탄을 사용하여 EY를 흡착하는 회분식 실험을 통하여 pH의 영향과 등온 흡착평형관계를 규명하여 EY의 흡착처리의 적합성을 평가하고자 하였다. 초기농도별 흡착속도실험으로부터 흡착과정에 대한 해석과 반응속도식의 일치여부를 고찰 해 보고, 온도별 흡착실험을 통하여 활성화 에너지 및 흡착열, 엔트로피, 자유에너지 변화 등의 열역학 파라미터를 계산하여 흡착공정의 특성을 분석하였다.

2. 실험

2.1 흡착제와 염료

흡착제로 Clarimex Co.에서 유연탄으로부터 제조한 입상 활성탄(GAC)을 선택하였다. 실험에 사용하기 전에

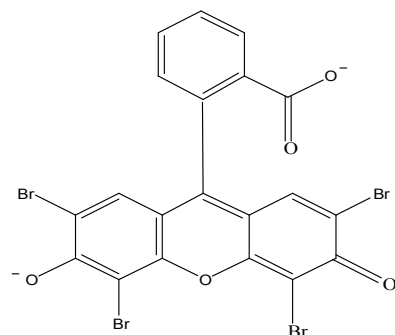
순수로 수회 세척한 후 건조기에서 105±1℃에서 12시간 건조한 것을 필요한 양만큼 취한 후, 100 ℃의 증류수로 2 시간 동안 침지시키는 전처리과정을 거쳐서 사용하였다(이하 침지활성탄). 실험에 사용한 활성탄의 물리적 특성을 Table 1에 나타내었다. EY는 Samchun사의 특급시약을 정제없이 사용하였으며, 순수를 이용하여 10 mg/L의 용액을 제조한 다음 실험에 사용하였다. EY 용액의 농도는 자외선/가시광선 흡수분광계(Shimadzu, UV-160A)를 사용하여 고유최대흡수과장 520 nm에서 검량선에 의한 방법으로 분석하였다. EY의 구조는 Fig. 1에 나타내었고, 특성은 Table 2에 요약하였다[7].

[Table 1] Physical properties of granular activated carbon

Properties	Unit	Value
Average particle size	mm	1.638
Specific surface area	m ² /g	1,735
Density(at 25℃)	(g/mL)	0.48~0.55
Iodine value	mg/g	1,000
Methylene blue value	mL/g	180
ash	%	<10

[Table 2] Identification of eosin yellow

Chemical formular	M.W.	Color index	LD ₅₀ Oral rat
C ₂₀ H ₆ O ₃ Na ₂ Br ₄	477.38	Acid Red 87	2,344 mg/kg



[Fig. 1] Molecular structure of eosin yellow.

2.2 회분식 흡착평형실험

회분식 흡착실험은 pH 변화, 등온 흡착평형, 초기농도별 흡착속도와 온도별 흡착속도 등에 대한 영향을 알아보고자 실시하였다. 일정한 온도에서 100 mL 유리병에

50 mL의 EY 용액과 침지활성탄을 넣고 왕복식 항온진탕기에서 100 rpm의 속도로 교반하였다. 평형에 도달하면 여과한 후 여액을 자외선/가시광선 흡수분광기에서 흡광도를 측정하여 EY의 농도를 결정하였다. pH 변화실험은 EY 용액에 건조기준으로 100mg의 침지활성탄을 넣고 완충용액(pH 3~5 : CH₃COOH- CH₃COONa, pH 6~8 : KH₂PO₄-K₂HPO₄, pH 9~11 : NH₄Cl-NH₄OH)을 첨가하여 24시간 흡착시켰다. 등온흡착평형실험은 흡착온도 298 K에서 최적 pH로 조정된 10 mg/L의 EY 용액 50 mL에 침지활성탄을 10~200 mg (건조기준질량) 범위에서 다르게 투입하여 24시간 항온진탕한 결과를 분석하였다. 초기농도별 흡착속도실험은 298 K에서 각각 10, 20, 30 mg/L의 EY 용액 50 mL를 최적 pH로 조정한 다음 활성탄 100 mg을 넣고 평형에 도달할 때까지 진탕시켰다. 용액 중에 남아있는 미흡착 EY의 농도를 1 시간 간격으로 측정하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

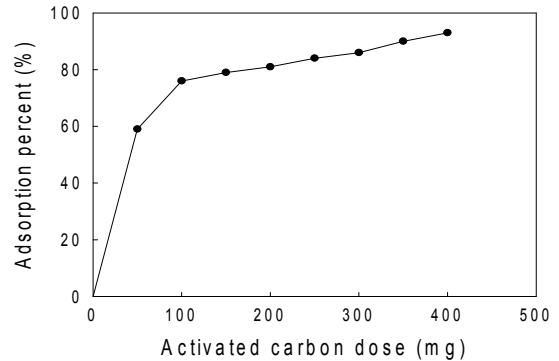
3.1 흡착제의 양 결정

초기농도 10 mg/L의 EY 용액 50 mL에 대하여 침지한 활성탄을 50~300 mg (건조기준질량) 범위에서 50 mg 단위로 다르게 첨가하고 25°C에서 12시간 항온진탕한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 그림을 보면 활성탄의 투입량 증가에 따라 EY의 흡착율도 증가하는데, 활성탄의 투입량이 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 mg일 때 각각 59%, 76%, 79%, 81%, 84%, 86%, 90%, 93%의 제거율을 나타냈다. 실험결과에 의하면 400 mg 투입시의 흡착률이 가장 높기는 하지만 본 실험에서는 100mg 이후에는 흡착률의 증가폭이 완만해지기 때문에 투입된 흡착제의 양 대비 흡착효과가 낮아지는 점과 함께 pH 조절에 의한 흡착량 증가효과를 조사하기 위하여 활성탄의 투입량을 100 mg으로 선정하고 후속실험을 수행하였다.

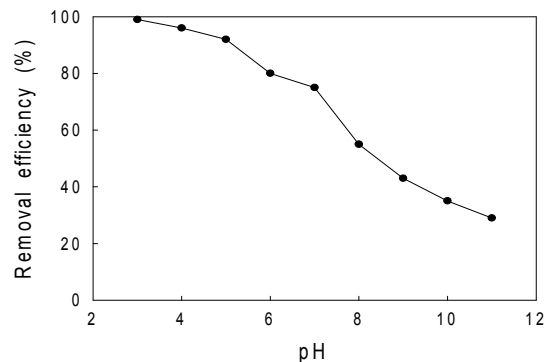
3.2 pH별 흡착평형

용액의 pH 변화에 따른 EY 용액의 흡착특성을 Fig. 3에 나타내었다. pH 3에서 가장 높은 99%의 흡착률을 나타내었으며, pH가 증가할수록 감소하여 알카리영역인 pH 8~11에서는 약 55%~29%의 낮은 제거율을 나타냈다. 이 현상은 음이온계 염료인 EY가 pH가 낮은 산성영

역에서 + 상태로 하진된 활성탄의 표면하전의 영향을 받은 결과이며, pH가 증가할수록 활성탄표면의 양자화된 표면활성기가 감소하면서 EY의 흡착량도 감소하기 때문인 것으로 판단하였다[3].



[Fig. 2] Effect of activated carbon doses for adsorption of eosin yellow.

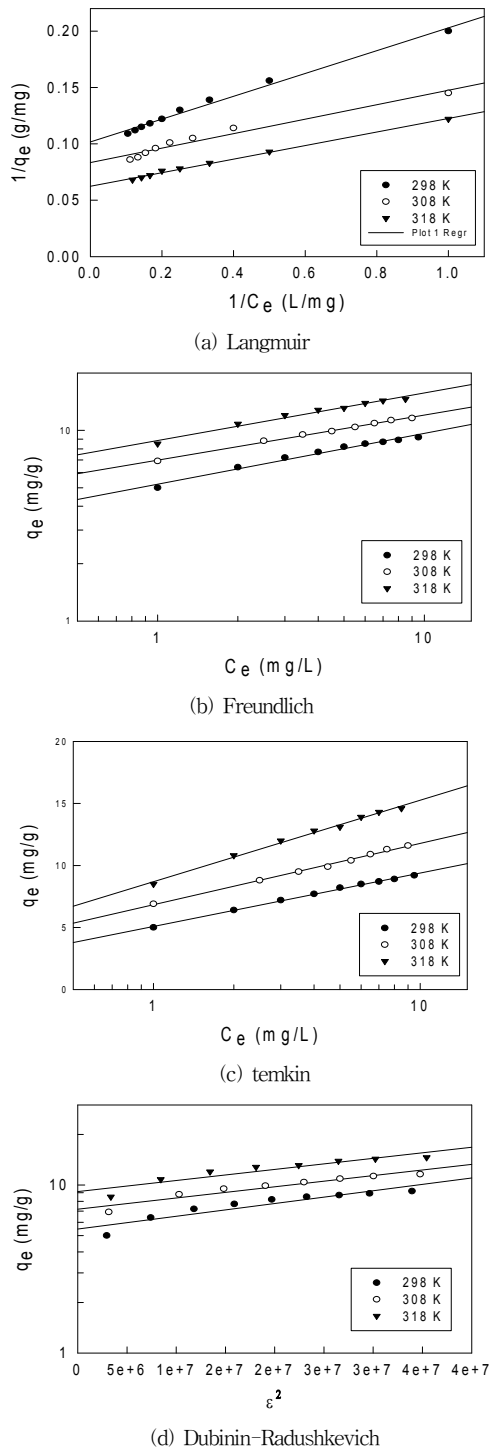


[Fig. 3] Effect of pH on adsorption of eosin yellow by granular activated carbon. (Co=10 mg/L, GAC=100 mg).

결론적으로 76%였던 제거율을 pH 조절에 의해, pH 3에서 23%나 크게 증가한 99%를 제거하는 결과를 얻었다. 차후의 실험은 최적조건인 pH 3으로 조정된 상태에서 수행하였다.

3.3 등온흡착평형 해석

등온흡착평형실험은 298, 308, 318 K에서 각각 실행하였다. EY의 흡착공정에 대한 성질과 메카니즘에 대한 정보를 얻기 위하여 실험값들을 Langmuir, Freundlich, Temkin 및 Dubinin- Radushkevich 식에 적용한 결과는 Fig. 4와 같으며, Table 3에 상수값들을 종합하여 나타냈다.



[Fig. 4] Adsorption isotherms for adsorption of eosin yellow.

[Table 3] Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin-Radushkevich isotherm constants for adsorption of eosin yellow on activated carbon

Isotherms	Parameters	Temperature (K)		
		298	308	318
Langmuir	Q_0 (mg/g)	9.81	15.59	16.70
	K_L (L/mg)	1.01	1.30	1.05
	R_L	0.083	0.067	0.080
	r^2	0.995	0.982	0.999
Freundlich	K_F (mg/g) (L/mg) ^{1/n}	5.217	6.980	8.844
	1/n	0.267	0.237	0.250
	r^2	0.991	0.998	0.989
Temkin	B(J/mol)	1.868	2.151	2.855
	K_T (L/mg)	5.088	6.831	8.693
	r^2	0.999	0.998	0.997
Dubinin-Radushkevich	q_D (mg/g)	5.473	7.186	9.138
	$K_{ad} \times 10^8$ (mol/J) ²	1.750	1.533	1.520
	E(kJ/mol)	5.345	5.711	5.735
	r^2	0.931	0.957	0.929

3.1.1 Langmuir 등온흡착식

Langmuir 등온흡착식은 흡착제의 표면은 균일하며, 흡착질이 흡착제 표면에 있는 한정된 숫자의 흡착부위에 단분자층을 형성하는 것에 의해 흡착이 일어난다고 가정 하였으며 다음과 같은 직선식으로 나타낸다.

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q_0 K_L} \frac{1}{C_e} + \frac{1}{Q_0} \quad (1)$$

여기서 q_e 는 흡착제 단위질량당 흡착된 흡착질의 양 (mg/g), C_e 는 흡착질의 평형농도(mg/L), Q_0 와 K_L 은 이론최대흡착용량과 흡착속도와 관련된 Langmuir 상수이다. Table 3을 보면, 온도가 증가할수록 Q_0 는 9.81<15.59<16.70 mg/g으로 증가하였고, K_L 은 1.01~1.30 L/mg 이었다. r^2 값이 0.982~0.999로 흡착데이터가 Langmuir식에 잘 맞는 것으로 나타났다. Langmuir 식의 특징은 다음 식으로 정의되는 분리계수 또는 평형계수로 부르는 무차원 상수 R_L 의 사용이다.

$$R_L = \frac{1}{1 + (1 + K_L C_0)} \quad (2)$$

만약 $0 < R_L < 1$ 이면 흡착처리공정이 적합하다는 것을 의미한다[8]. 실험으로부터 얻어진 R_L 은 0.067~0.083로 입상활성탄에 의한 EY의 흡착공정이 적합하다는 것을

알 수 있었다.

3.1.2 Freundlich 등온흡착식

Freundlich는 불균일한 흡착제의 표면에 다분자층으로 이루어진 비이상적인 흡착을 묘사한 경험식을 제시하였다.

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (3)$$

여기서 C_e 는 흡착질의 평형농도(mg/L), q_e 는 흡착제의 평형흡착량(mg/g)이고, Freundlich 상수인 K_F 는 흡착제의 흡착용량, n 은 흡착강도를 나타낸다. Table 3으로부터, r^2 값이 0.989~0.998로 식에 대한 일치도가 높은 것을 알 수 있고, K_F 는 온도가 증가할수록 5.217<6.980<8.844 순으로 증가하였다. 흡착조작의 유효성을 판단할 수 있는 분리계수 $1/n$ 값의 범위가 0~1 범위에 있으면 흡착조작이 적합하고, 특히, 0.1~0.5 범위에 있으면 더욱 효과적이라고 하였다[9]. 실험으로 부터 계산한 분리계수 ($1/n$) 값은 0.237~0.267로 아주 효과적인 흡착조작이 가능한 영역에 있음을 알 수 있었다.

3.1.3 Temkin 등온흡착식

이 식은 자유흡착에너지가 표면덮임의 함수로 단순화된 흡착에 바탕을 두고 흡착제와 흡착질 사이의 상호작용을 계산에 고려하고 있다.

$$q_e = B \ln K_T + B \ln C_e \quad (4)$$

여기서 q_e 는 흡착제의 평형흡착량(mg/g)이고, $B=(RT/b_T \text{ J/mol})$ 은 흡착열에 대응하는 상수이며, R 은 기체 상수(8.314 J/mol K), T 는 절대온도(K), b_T 는 Temkin 등온상수, K_T 는 최대결합에너지에 대응하는 평형결합상수(L/g)이다. Table 3을 보면 r^2 값이 0.997~0.999로 식에 대한 일치도가 4가지 등온식 중에서 가장 높다.

흡착열 관련 상수인 B 값이 1.868~2.855 J/mol 로 나타났기 때문에 $B < 20 \text{ J/mol}$ 에 해당한다. 따라서 물리흡착공정인 것으로 판단된다[10].

3.1.4 Dubinin-Radushkevich 등온흡착식

Dubinin-Radushkevich식은 흡착에너지의 불균일도와 흡착제의 기공특성을 추론하기 위해 응용한다. 세공을 채우는 흡착기구를 산정한 반경험식으로 불균일한 표면에 Gaussian 분포를 가지는 흡착기구를 나타내며 다분자층 흡착특성을 가진다[11].

$$\ln q_e = \ln q_D - (K_{DR} \epsilon^2) \quad (5)$$

$$\epsilon = RT \ln \left[1 + \frac{1}{C_e} \right] \quad (6)$$

여기서 q_e 는 흡착제의 평형흡착량(mg/g)이고, q_D 는 이론 포화용량(mg/g), K_{DR} 은 흡착질 1 몰당 평균 흡착자유에너지(mol^2/J^2), ϵ 는 Dubinin-Radushkevich 상수, R 은 기체상수(8.314 J/mol K), T 는 절대온도(K)이다. 흡착에너지(kJ/mol)는 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$E = \frac{1}{\sqrt{2K_{DR}}} \quad (7)$$

Table 3에서 r^2 값이 0.929~0.957로 다른 등온흡착식보다 낮지만 식에 대한 일치도는 비교적 양호하며, 온도 증가에 따라 q_D 가 5.473<7.186<9.138 mg/g으로 증가하는 경향을 나타내고 있다. 흡착에너지 값은 $E=5.345 \sim 5.735 \text{ kJ/mol}$ 을 나타냈는데, 이 값들은 Monika 등이 앞선 연구에서 제시한 $E < 8 \text{ kJ/mol}$ 에 해당하므로 물리흡착공정에 속한다고 할 수 있다[12].

3.4 동력학적 해석

농도별 흡착속도실험은 흡착평형에 도달할 때까지 1 시간 간격으로 농도를 측정하였다. 본 연구에서는 그 결과값을 유사일차반응속도식 (pseudo first order equation), 유사이차반응속도식(pseudo second order equation) 및 입자내부확산식(intraparticle diffusion equation)에 적용하여 활성탄에 대한 EY의 흡착반응기구를 조사하였다.

3.4.1 반응속도식

유사일차와 유사이차 반응속도식은 각각 다음과 같이 주어진다.

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (8)$$

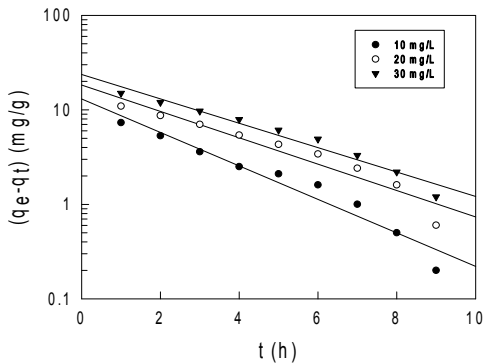
$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (9)$$

여기서 q_e 와 q_t 는 각각 평형상태와 t 시간에서 흡착된 EY의 양(mg/g)이며, k_1 은 유사일차반응속도상수(1/h), k_2 는 유사이차반응속도상수(g/mg h)이다. q_t 는 시간당 흡착량으로 다음 식으로 계산할 수 있다.

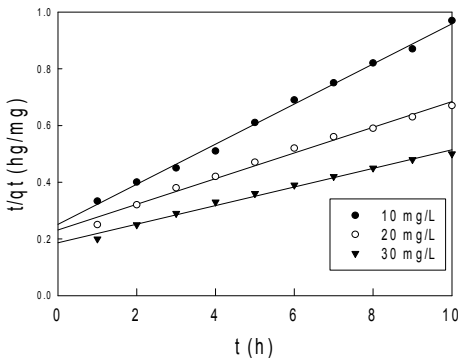
$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)V}{W} \quad (10)$$

q_t 는 흡착시간 t 에서 흡착제의 평형흡착량(mg/g)이고, C_0 는 초기농도(mg/L), C_t 는 t 시간 흡착후의 농도(mg/L), V 는 용액의 부피(L), W 는 흡착제의 양(g)이다. 실험값들을 유사일차 반응속도식에 적용한 결과는 Fig. 5에, 유사이차 반응속도식에 적용한 결과는 Fig. 6에 각각 나타냈다. 속도식의 파라미터 값들을 계산한 결과는 Table 4와 같다.

속도식에 대한 일치도를 나타내는 r^2 값을 보면 유사일차반응속도식(0.9631~0.981)<유사이차반응속도식(0.95~0.998)로 활성탄에 의한 EY의 흡착공정에 대한 적합도는 유사이차반응속도식이 더 좋은 것을 알 수 있었다.



[Fig. 5] Pseudo first order plot for adsorption of eosin yellow at different initial concentrations.



[Fig. 6] Pseudo second order plot for adsorption of eosin yellow at different initial concentrations.

[Table 4] Kinetic parameters for eosin yellow adsorption onto activated carbon at different initial concentration.

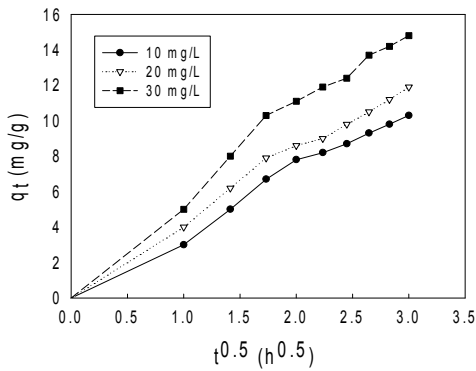
Kinetic model	Parameter	Initial concentration (mg/L)		
		10	20	30
Pseudo first order kinetic model	$Q_{e,cal}$ (mg/g)	13.05	18.30	23.63
	k_1 (h)	0.408	0.321	0.297
	r^2	0.974	0.963	0.981
Pseudo second order kinetic model	$Q_{e,cal}$ (mg/g)	14.14	22.09	30.50
	$k_2 \times 10^2$ (g/mg h)	2.012	0.899	0.576
	r^2	0.998	0.995	0.995

3.4.2 입자내 확산식

흡착공정해석에는 통상적으로 유사일차속도식과 유사이차속도식이 사용되고 있으나, 이들은 흡착공정의 확산기구를 설명해주지 못한다. 일반적으로 흡착제에 흡착질이 흡착되는 과정은 ①경계층확산 ②입자내확산 ③표면흡착과 같은 3단계로 진행된다[13]. 총괄흡착속도는 가장 느린 단계의 흡착속도에 의해 지배받는다. 본 연구에서는 흡착공정의 속도지배단계를 예측하기 위해 다음과 같은 입자내 확산 모델을 사용하였다.

$$q_t = k_m t^{1/2} + C \quad (11)$$

여기서 k_m 은 입자내 확산속도상수(mg/g · min^{1/2})이며, t 는 시간이다. C 는 경계층의 두께와 관련이 있는데 C 값이 커질수록 경계층의 영향이 커지는 것을 의미한다. Fig. 7에 초기농도에 따른 q_t 와 $t^{1/2}$ 의 관계를 나타내었다. 그림을 보면농도에 따른 $t^{1/2}$ 값이 1.75~2.0 부근에서 그래프의 기울기가 달라져서 흡착공정이 2단계로 진행되는 것을 알 수 있다. 본 실험의 결과는 흡착공정이 첫번째 구간인 경계층 확산과 두 번째구간의 입자내확산의 2단계로 나누어 진행되는 것으로 판단된다. 유사한 결과들이 보고된 바가 있다[13,14].



[Fig. 7] Intraparticle diffusion model plots for eosin yellow adsorption onto activated carbon at different initial concentrations.

Table 5를 보면 본 실험에서의 k_m 값은 EY의 초기농도가 증가할수록 3.503<3.698<4.638 와 같이 증가하였는데 이것은 입상활성탄의 세공도가 크고 초기농도 증가할수록 EY의 운동이 활발해졌기 때문으로 해석된다[15].

[Table 5] Intraparticle diffusion parameters for eosin yellow adsorption onto activated carbon at different initial concentration (T=298K)

Parameter	Initial concentration (mg/L)		
	10	20	30
k_m	3.503	3.698	4.638
C	0.131	0.857	1.3181
r^2	0.985	0.991	0.984

3. 결론

입상활성탄을 사용하여 수중에 용해되어 있는 유해한 EY 염료를 흡착하는데 필요한 흡착평형과 흡착동역학 및 열역학 파라미터들에 대하여 조사하였다. EY는 pH 3에서 pH를 조절하지 않았을 때보다 흡착률이 대폭 향상되어 초기농도 10 mg/L의 99%를 흡착할 수 있었다. 등온흡착평형관계를 검토한 결과 Langmuir 상수(R_L)과 Freundlich 상수($1/n$)으로부터 활성탄에 의한 EY의 흡착조각이 적절한 처리방법이 될 수 있다는 것을 알았고, Temkin식의 흡착열상수(B)와 Dubinin-Radushkevich식의 흡착에너지(E)로부터 흡착공정이 물리흡착공정임을 확인하였다. 흡착공정에 대한 동력학적 해석을 통해 반응속도식의 적용결과는 유사이차반응속도식이 유사일차

반응속도식에 비해 일치도가 높은 것으로 나타났으며, 흡착공정은 경계층확산과 입자내확산의 2단계로 일어난다는 것을 알았다. 앞으로 다양한 흡착제에 대하여 흡착평형과 흡착동역학 및 열역학 파라미터들에 대하여 실험할 필요가 있으며, 실제적 적용을 위하여 고정층 흡착탑에 대한 연구를 수행할 계획으로 있다.

References

- [1] Budavari, S., The Merck Index, 11th ed., Merck & Co. Inc., pp.564-565. 1996.
- [2] E. Gurr, "Synthetic dyes in biology, medicine and chemistry, pp.134-165, Academic Press, 1971.
- [3] W. L. Du, Z. R. Xu, X. Y. Han, Y. L. Xu, Z. G. Miao, "Preparation, characterization and adsorption properties of chitosan nanoparticles for eosin Y as a model anionic dye", *J. of Hazard. mater.*, 153, 152-156, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.08.040>
- [4] M. K. Purkait, S. DasGupta, S. DE, "Adsorption of eosin dye on activated carbon and its surfactant based desorption", *J. Environ. Manage.*, 76, 135-142, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.01.012>
- [5] S. Chatterjee, B. P. Chatterjee, Chatterjee, A. R. Das, A. K. Guha, "Adsorption of a model anionic dye, eosin Y, from aqueous solution by chitosan hydrobeads", *J. Colloid. Interf. Sci.*, 288, 30-35, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2005.02.055>
- [6] A. Mittal, D. Jhare, J. Mittal, "Adsorption of hazardous dye eosin yellow from aqueous solution onto waste material de-oiled Soya: Isotherm, kinetics and bulk removal", *J. Mole. Liq.*, 179, 133-140, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2012.11.032>
- [7] Wikipedia, "Eosin", <http://en.wikipedia.org>. 2014
- [8] T. W. Weber, R. K. Chakrabarti, "Pore and solid diffusion kinetics in fixed bed adsorption under constant pattern conditions", *Ind. Chem. Eng. Fund.*, 5, 212-223, 1996.
- [9] I. A. W, Tan, A. L. Ahmad, B. H, Hameed, "Adsorption of basic dye on high-surface-area activated carbon prepared from coconut husk", *J. Hazard. Mater.*, 154, 337-346, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.10.031>
- [10] P. Sivakumar, P. N Palanisamy, "Adsorption studies of basic red 29 by a non conventional activated carbon prepared from euphorbia antiquorum L", *Int. J. Chem.*

Tech. Res., 1(3), 502-510, 2009.

- [11] M. M. Dubinin, E. D. Zaverina L. V. Radushkevich, "Sorption and structure of active carbons", *J. Phys. Chem.*, 21, 1351-1362, 1947.
- [12] J. Monika, V. Garg, d K. Kadirvelu. "Chromium (VI) removal from aqueous solution, using sunflower stem waste", *J. Hazard. Mater.*, 162, 365-372, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.05.048>
- [13] H. Tang, W. Zhou, L. Zhang, "Adsorption isotherms and kinetics studies of malachite green on chitin hydrogels" *J. Harzad. Mater.*, 209, 218-225, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.01.010>
- [14] H. Hameed, M. El-Khaiary, "Kinetics and equilibrium studies of malachite green adsorption on rice straw-derived char," *J. Harzad. Mater.*, 153, 701-708, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.019>
- [15] S. Nethaji, A. Sivasamy, G., Thennarasu, S. Saravanan, "Adsorption of malachite green dye onto activated carbon derived from borassus aethiopum flower biomass", *J. Hazard. Mater.*, 181, 271-280, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.05.008>

이 종 집(Jong Jib Lee)

[정회원]



- 1983년 8월 : 인하대학교 공과대학 원 화학공학과 (공학석사)
- 1987년 8월 : 인하대학교 공과대학 원 화학공학과 (공학박사)
- 1987년 9월 ~ 1990년 2월 : (주) 벤가드 환경시설부 과장
- 1990년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 화학공학부 교수

<관심분야>

청정기술, 화학제품