

활성탄 흡착에 의한 Erythrosine의 제거 특성

Removal Characteristics of Erythrosine by Activated Carbon Adsorption

이종집 · 윤성욱^{†,*}
 Jong Jib Lee · Sung Wook Yoon^{†,*}

공주대학교 화학공학부 · *단국대학교 교육혁신센터
 School of Chemical Engineering, Kongju National University
 *Innovation Center for Engineering Education, Dankook University

(2009년 3월 12일 접수, 2009년 7월 1일 채택)

ABSTRACT : Erythrosine is used a food coloring, ink and dye, etc. but erythrosine is rarely used in United States due to its known hazards. The adsorption characteristics of erythrosine by granular activated carbon were investigated in the batch adsorber and the packed column. The adsorptivity of activated carbon for erythrosine were largely improved by pH control. When the pH was 11 in the sample, the erythrosine could be removed 98% of initial concentration. It was established that the adsorption equilibrium of erythrosine on granular activated carbon was successfully fitted by Freundlich isotherm equation in the concentration range from 10mg/L to 1,000mg/L. The characteristics of breakthrough curve of activated carbon packed column depend on the design variables such as initial concentration, bed height, and flow rate.

Key words : Erythrosine, Food colorant, Freundlich isotherm., Granular activated carbon, Adsorption

요약 : Erythrosine은 식용색소와 염료로 사용되지만 독성 때문에 미국에서는 거의 사용되지 않는 물질이다. 본 연구에서는 입상활성탄에 의한 erythrosine의 흡착특성을 회분식 및 흡착칼럼실험을 통하여 조사하였다. erythrosine에 대한 활성탄의 흡착능은 pH조절에 의해 크게 개선되었으며 pH 11에서 초기농도 1,000 mg/L의 98%를 제거할 수 있었다. 회분식흡착실험을 통해 흡착등온선을 구한 결과 erythrosine의 평형흡착관계는 10~1,000 mg/L의 농도범위에서 Freundlich식이 잘 적용되었다. 고정층 실험을 통하여 얻은 파과곡선으로부터 초기유입농도, 유입속도, 충전층의 높이가 흡착탑 운전에서 중요한 설계변수가 될 수 있음을 알았다.

주제어 : 에리스로신, 식용색소, Freundlich 등온흡착, 입상활성탄, 흡착

1. 서론

착색제는 식품과 화장품 및 염색산업 등에서 경구와 외용제제를 비롯한 다양한 형태로 사용되고 있다. 1938년의 식품의약품화장품법(Food, Drug, and Comestic Act)은 식품, 의약품 및 화장품에 사용되는 색소에 대해서 판매전에 순도와 규격을 검사하고 이를 증명하는 제도를 도입한 이래로 이들에 대한 독성학 연구는 EC, FDA, WHO와 같은 기관에 의해 기본적으로 진행되어 왔으나, 색소에 대한 규제는 국가마다 여건이 상이하다. 예를 들면 적색 2호로 알려진 amarant에 대해 미국의 식품의약안전청(FDA)에서는 1976년에 암유발에 대한 안전성이 입증되지 않았다는 이유로 사용을 금지시켰지만 우리나라의 식품의약안전청(KFDA)에서는 2004년에 사용자제를 요청했을 뿐이고 사용금지 조치는 취하지 않았다.¹⁾

국내에서 사용을 허가하고 있는 식용색소 중에서 적색 3호(FD & C Red No.3)로 알려진 erythrosine은 식품뿐만 아니라 직물의 염색에도 매우 많이 사용되고 있는 타르계 색소의 일종이다. Erythrosine은 serotonin의 분비에 장애를 일으켜 자율신경계에 영향을 주며 우울증, 성격장애 등과 같은 문제를 일으킨다.²⁾ 단일성분일 때의 치사량(LD50)은 6.7~7.4 g/kg으로 낮은 듯하지만 최근에 와서 밝혀진 것처럼 erythrosine과 같은 타르계 색소는 각테일 효과에 의해 예상치 못한 유해성이 발생되는 것이 밝혀졌다.^{3,4)} 또한 장기간 섭취시에는 인체 내에 흡수되어 erythrosine 구성성분 중의 요오드가 생체 내에서 떨어져 나가 이것이 갑상선의 기능에 이상을 주어 갑상선암을 일으키며, 간암발생도 우려되는 유해물질이다.⁵⁾

이와 같은 유해성에도 불구하고 식품 및 염색폐수 중의 erythrosine을 효과적으로 제거하기 위한 연구는 닭날개를

[†] Corresponding author : E-mail : swyoon@dankook.ac.kr Tel : 041-550-1588 Fax : 041-550-1589

이용한 흡착특성조사 외에는 전무한 실정이다.⁶⁾ 본 연구에서는 이러한 erythrosine을 입상활성탄에 의해 흡착제거하는 실험을 수행함으로써 erythrosine의 물성과 활성탄사이의 상관관계를 알아보고, 등온흡착 및 흡착속도 실험을 통해 얻은 회분식 흡착평형자료로부터 활성탄에 의한 흡착처리의 타당성을 검토하였으며, 실제로 식품폐수 및 염색폐수에 포함된 erythrosine을 흡착처리하는데 필요한 기초자료를 얻고자 회분식실험을 통해 얻은 최적조건을 바탕으로 흡착칼럼 실험을 수행하여 초기농도, 충전층의 높이, 유입속도 등과 같은 운전변수들에 대해 알아보았다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 실험재료

2.1.1. 활성탄

본 실험에 사용된 활성탄은 아자각을 원료로 하여 수증기활성화법으로 제조한 8×30 mesh (평균입경 1.638 mm) 크기의 입상활성탄(동양탄소 제품)이다. 실험에 사용하기 전에 순수물로 수회 세척한 후 건조기에서 105±1℃에서 12시간 건조하여 사용하였으며, 실험에 사용한 활성탄의 물리적 특성을 Table 1에 나타내었다.

2.1.2. Erythrosine

Erythrosine은 Sigma Aldrich사의 특급시약을 사용하였으며, 순수물을 이용하여 1,000 mg/L의 용액을 제조한 다음 실험에 사용하였다. Erythrosine은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 C₂₀H₆I₄Na₂O₅의 분자식을 갖는 방향족 잔텐(Xanthene) 화합물로 Food Red No.3, FD & C Red Dye No.3, Ideosin B, Pyrisine B 등으로도 불리며, 주로 적색의 식품색소와 직물염료로 사용된다. 참고로 Erythrosine의 특성을 Table 2에 요약 정리하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 활성탄 투입량 결정 실험

초기농도 1,000 mg/L인 erythrosine 용액 50 mL에 대하여 70℃의 순수물로 12시간 침지한 활성탄을 0.1~1 g (건조기준질량) 범위에서 소정의 비율로 각각 다르게 PE 병에 넣고 20℃의 왕복식 항온진탕기(JEIO TEK, BS-21)에서 24시간 동안 100회/min의 속도로 진탕한 후 잔존농도를 분석하여 활성탄의 양을 결정하였다.

2.2.2. 흡착동역학 실험

활성탄 투입량 결정실험에서 얻은 최적 활성탄 양을 초기농도 1,000 mg/L의 erythrosine 용액 50 mL에 넣고, 20

Table 1. Physical properties of granular activated carbon

Properties	Unit	Value
Particle size	mesh	8 × 30
Average particle size	mm	1.638S
pecific surface area	m ² /g	1,520
Density(at 25℃)	(g/mL)	0.48~0.55
Iodine adsorption value	mg/g	1,000
Methylene blue adsorption value	mL/g	180
ash	%	<10
Hardness	%	90 Min.

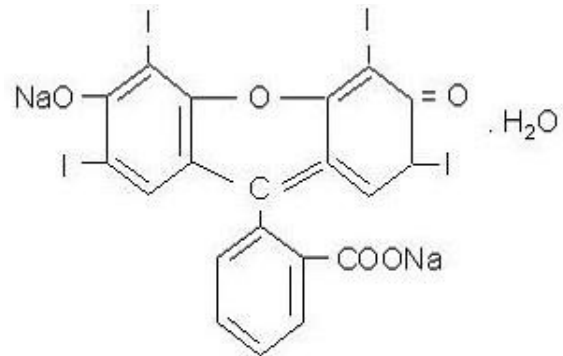


Fig. 1. Physical properties of erythrosine⁶⁾.

Table 2. Physical properties of granular activated carbon

Properties	Value
UPAC name	2-(6-hydroxy-2,4,5,7-tetraiodo-3-oxo-xanthen-9-yl)benzoic acid
Appearance	Red brown solid or powder
Molecular formular	C ₂₀ H ₆ I ₄ Na ₂ O ₅
Molecular weight	879.86 g/mol
Water solubility at 20℃	80 g/L
Maximum wave length	530 nm
CAS number	16423-68-0
Color index number	45430

℃에서 왕복식 항온진탕기로 진탕속도를 60~100 rpm 범위에서 10 rpm의 간격으로 서로 다르게 진탕하면서 용액 내의 농도를 시간별로 분석하여 물질이동이 무시될 수 있는 교반속도와 흡착평형이 이루어지는 시간을 평가하였다.

2.2.3. pH별 흡착능실험

100 mL PE병에 초기농도 1,000 mg/L인 erythrosine 용액 50 mL과 활성탄 투입량 실험에서 결정된 최적 활성탄을 넣고 완충용액을 사용하여 pH를 6~10까지 각각 다르게 조정하였다. 시료를 20℃의 왕복식 항온진탕기에서 100 rpm의 속도로 12시간 진탕하여 흡착평형에 도달했을 때 용액을 여과, 분리하여 여액 중에 남아있는 erythrosine의 농도를 측정하여 흡착제거율을 구하였다. 실험에서 사용한 완충용액은 pH 6~7 범위에서는 KH₂PO₄-NaOH, pH 8~11 범위에서는 NH₄Cl-NaOH

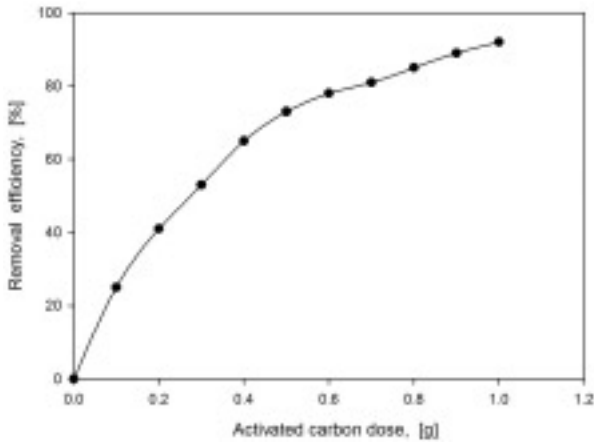


Fig. 2. Effect of activated carbon doses for adsorption of erythrosine.

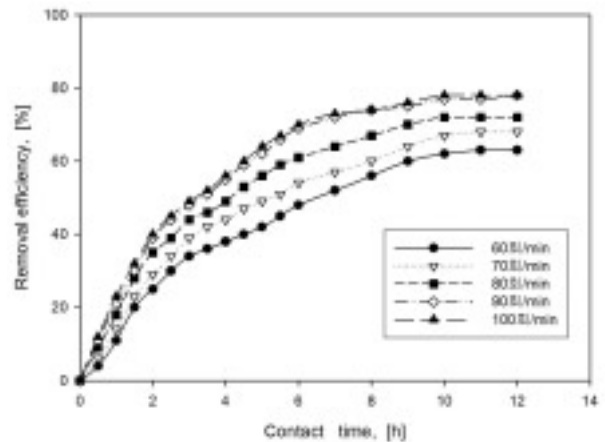


Fig. 3. Effect of agitation for adsorption of erythrosine.

였다.

2.2.4. 등온흡착실험

흡착평형실험으로부터 구한 최적 pH로 조정된 초기농도 1,000 mg/L의 erythrosine 용액 50 mL에 침지된 활성탄을 0.1~1.0 g 범위에서 서로 다르게 첨가한 후, 왕복식 항온진탕기에서 20℃, 100 rpm의 속도로 12시간 진탕하여 흡착평형에 도달했을 때 용액을 여과, 분리하여 여액 중에 남아있는 erythrosine의 농도를 측정하여 이 결과로부터 흡착등온선을 구해 분석하였다.

2.2.5. 컬럼흡착실험

온도조절이 가능하도록 이중 jacket식으로 만든 내경 1 cm, 길이 50 cm의 유리관에 활성탄을 10~40 cm의 높이로 채운 다음 초기농도 500, 1,000, 1,500 mg/L인 erythrosine 용액을 각각 유리관 상부로 부터 흘러내려 보았다. water bath에서 jacket 속으로 물을 유입하여 칼럼내부온도를 일정하게 유지하였다. 시료용액의 유출속도를 균일하게 해주기 위하여 Peristaltic pump(EYELA, MP-A)을 사용하여 2~5 cm³/min으로 조정하였으며, Fraction collector (Toyo, SF-100K)로 10 mL씩 일정하게 나누어 채취한 유출용액의 농도를 분석하여 파과시간 및 파과곡선을 구하였다.

2.3. 분석방법

Erythrosine 용액의 농도는 고유최대흡수파장 530 nm에서 자외선/가시광선 분광광도계(UV-Visible spectrophotometer, Shimadzu, UV-160A)를 사용하여 검량선에 의한 방법으로 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 활성탄 투입량 결정실험

Erythrosine의 초기농도는 흡착대상이 음료수인지 공업용수인지에 따라서 달라질 수 있는데, 본 실험에서는 식품 및 염색폐수에서 발생 가능한 농도를 감안하여 1,000 mg/L로 하였다. Erythrosine 1,000 mg/L용액 50 mL에 대하여 70℃의 순수로 12시간 침지한 활성탄을 0.1~1 g (건조기준질량) 범위에서 0.1 g 단위로 다르게 첨가하고 20℃에서 24시간 항온진탕한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 그림을 보면 활성탄의 투입량 증가에 따라 erythrosine의 흡착율도 증가하는데 pH의 조절이 없이 erythrosine의 시료용액(pH=8.1)에 대한 활성탄의 투입량이 0.5 g일 때 약 74%의 제거율을 나타내며 0.6 g~1.0 g일 때는 80~91%의 제거율을 나타냈다. 실험결과에 의하면 1.0 g을 투입하였을 때가 가장 좋은 제거율을 보였으나, 경제적인 측면을 고려하고 pH 조절에 의한 흡착영향을 조사하고자 Fig. 3의 활성탄 투입량에 따른 제거율곡선의 증가폭이 완만해지기 시작하는 활성탄 투입량 0.5 g을 최적으로 선정하고 후속실험을 수행하였다.

3.2. 흡착동역학 실험

활성탄을 0.5 g 투입한 상태에서 항온진탕조의 왕복운동속도를 각각 60, 70, 80, 90, 100 rpm으로 다르게 하여 실험한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 항온진탕기의 왕복운동속도가 90 rpm이 되면 흡착속도곡선이 거의 일치하고 있다. 활성탄에 대한 흡착질의 흡착은 물질이동저항이 큰 영향을 미치는데, 교반속도가 느리면 물질이동저항이 작용하여 흡착량의 감소가 일어난다. 본 실험의 결과에서는 왕복식 교반기에서 실시한 교반속도가 90 rpm이상이 되면 물질이동저항에 의한 흡착량 감소가 무시될 수 있는 조건

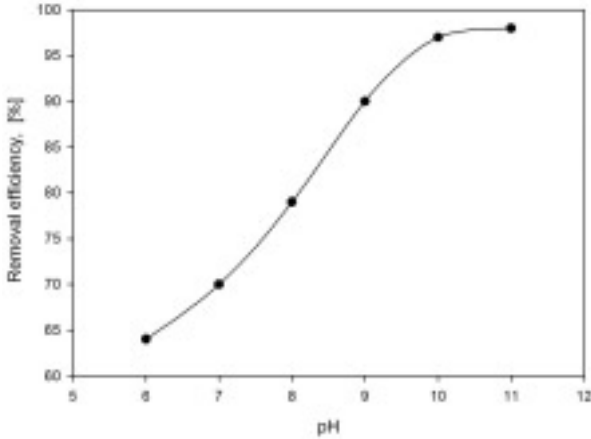


Fig. 4. Adsorption characteristics of erythrosine at pH 6~11 (initial concentration = 1,000 mg/L, GAC = 0.5 g).

으로 생각할 수 있으므로 이후의 실험에서는 진탕속도 100 rpm의 조건에서 회분식 실험을 실행하였으며 이때 흡착시간은 10시간이후에 흡착평형에 거의 도달하는 것을 고려하여 약간의 여유를 둔 12시간을 진탕시간으로 하였다.

3.3. pH변화에 따른 흡착능 실험

용액의 pH변화에 따른 erythrosine용액의 흡착특성을 조사한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 실험결과 erythrosine는 pH 5이하의 영역에서 침전을 발생하였는데, 본 실험에서는 erythrosine에 대한 응집침전에 의한 처리방법이 주목적이 아니라 활성탄에 의한 흡착처리가능성을 주된 연구영역으로 하였고 때문에 실험영역을 pH 6~11로 설정하였다. 그림에서와 같이 입상 활성탄(GAC)은 중성영역인 pH 6, 7에서는 약 64%, 70%의 낮은 제거율을 나타내다가 pH가 증가하여 알카리영역으로 변화될수록 제거율이 높아져서 pH 11에서 가장 높은 약 98%의 제거율을 나타냈다. 따라서 본 실험에서는 알카리영역인 pH 11이 최대의 제거율을 나타내는 최적조건으로 판단되었다. 활성탄에 대한 유기물의 흡착은 활성탄 표면의 활성기, 하전 상태, 흡착질의 해리상수, 착물의 형성, 세공의 분포, 입자 크기, 물리적 상태 및 투입량 등이 변수로 작용하는데,⁸⁾ 본 실험조건에서는 활성탄의 표면하전과 erythrosine의 표면하전이 영향을 미쳤을 수 있고, pH변화에 erythrosine의 해리정도 및 완충용액으로 투입된 KH₂PO₄, NaOH 및 NH₄Cl 등과의 착물형성 여부도 영향을 주었을 것으로 판단된다. 따라서 차후의 실험을 통해 좀 더 세밀한 검토가 필요할 것으로 본다.

결론적으로 pH의 조절이 없었을 때 erythrosine의 흡착제거율이 약74% 였던 것을 pH를 조절함으로써 흡착제거율이 24% 증가한 결과를 얻을 수 있었으며, 이는 erythrosine의 흡착이 활성탄의 투입량과 용액의 pH에 크게

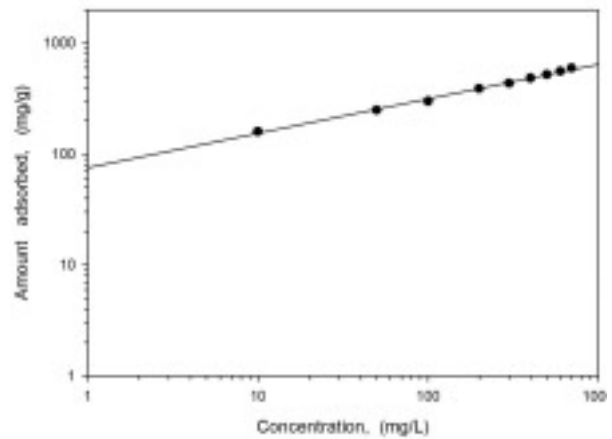


Fig. 5. Adsorption isotherms of erythrosine at pH 11 (initial concentration = 1,000 mg/L, GAC = 0.5 g).

Table 2. Freundlich parameters of erythrosine adsorption by activatedcarbon.

Freundlich parameters	Value
K	103.16
β	0.34
r	0.97

영향을 받으며 교반속도는 흡착평형에 도달하는 시간을 조절하는 변수가 될 수 있음을 알았다.

3.4. 등온흡착실험

pH별 흡착특성을 조사하여 얻은 최적 pH영역인 pH 11에서 입상활성탄에 의한 erythrosine의 등온흡착 실험을 행하였다. 흡착제와 흡착질 사이의 흡착평형관계를 나타내는 Freundlich isotherm은 다음과 같은 직선방정식으로 표현된다.⁹⁾

$$\log q = \log K + \beta \log C \quad (1)$$

여기서 q 는 흡착제 단위질량당 흡착된 양(mg/g), C 는 흡착질의 평형농도(mg/L), K 와 β 는 흡착능력과 강도를 나타내는 상수이다.

실험 결과를 (1)식에 적용하여 대수좌표로 나타낸 것이 Fig. 5이며, 실험결과값으로부터 지수회귀법에 의해 구한 Freundlich parameter값들은 Table 3과 같다. 먼저 식에 대한 일치도를 보는 상관계수값은 $r=0.97$ 로 흡착평형관계가 Freundlich식에 비교적 잘 맞는 것으로 나타났으며, Freundlich parameter중에서 흡착능을 나타내는 K 값은 103.6, 흡착강도를 나타내는 $1/n$ 값은 0.34로 나타났다. Fukukawa⁹⁾가 발표한 자료에 의하면 Freundlich parameter K 값은 클수록 좋으며, β 값이 0.1~0.5에 있어야 활성탄에 의한 흡착처리가 효과적인 영역이며 이 범

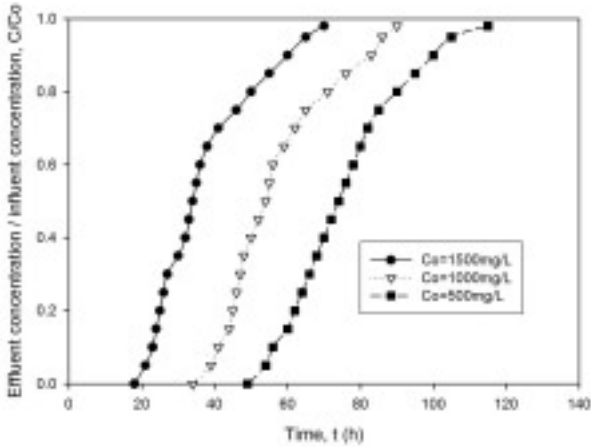


Fig. 6. Effect of initial concentrations for breakthrough curve of erythrosine ($Z = 10 \text{ cm}$, $u = 2 \text{ cm}^3/\text{min}$).

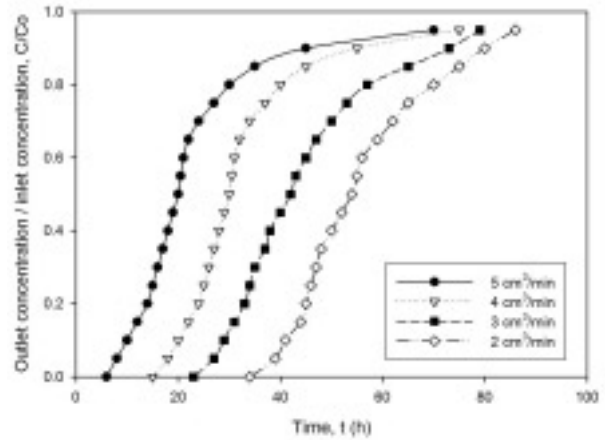


Fig. 8. Effect of volumetric flow rates for breakthrough curve of erythrosine ($C_0 = 1,000 \text{ mg/L}$, $Z = 10 \text{ cm}$).

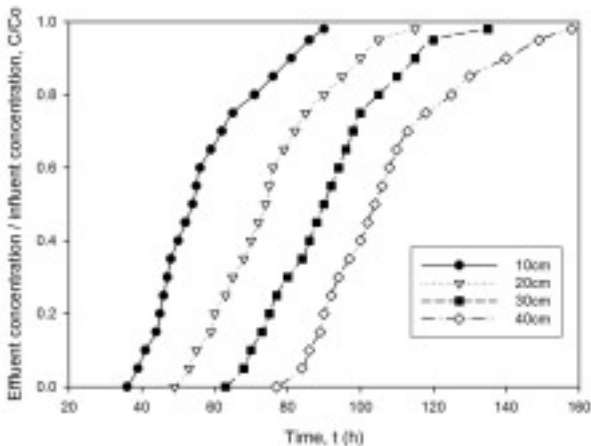


Fig. 7. Effect of packed heights for breakthrough curve of erythrosine ($C_0 = 1,000 \text{ mg/L}$, $u = 2 \text{ cm}^3/\text{min}$).

위를 벗어나면 흡착제의 양이 늘어나도 흡착질의 농도가 잘 줄어들지 않기 때문에 흡착조작이 비효과적이라고 하였다. 따라서 실험결과를 분석해 보면 활성탄에 의한 erythrosine의 흡착에 있어서는 활성탄의 투입양이 늘어나면 이에 비례하여 erythrosine의 흡착량도 증가하기 때문에 활성탄으로 erythrosine을 효과적으로 흡착처리 할 수 있는 가능성이 있다는 것을 알 수 있었다.

3.5. 컬럼흡착실험

고정층 흡착탑은 설비가 간소하고 운전이 용이하며 탈착 조작에 의해 흡착제의 반복사용 및 자원회수 등을 할 수 있는 장점이 있어서 실제로 폐하수의 처리에 많이 사용되는 장치이다. 본 연구에서는 회분식 실험 결과에서 얻은 최적 조건을 토대로 하여, 차후의 고정층 흡착탑의 운전과 설계에 필요한 기초자료를 얻고자 컬럼흡착실험을 수행하였다.

유리제 컬럼에 활성탄의 충전높이(z)를 10 cm로, 유량은 $2 \text{ cm}^3/\text{min}$ 로 고정한 상태에서 erythrosine 용액의 초

기유입농도를 각각 500, 1,000, 1,500 mg/L로 변화시켰을 때 파과곡선(breakthrough curve)의 경향을 조사한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 유출농도가 초기유입농도의 90%에 도달하기까지의 시간에서 10%에 도달하는 시간인 파과시간(breakthrough time)을 빼 준 것이 흡착대(adsorption band)인데, 흡착대의 길이는 흡착장치의 설계와 운전에 중요한 변수 중의 하나이다.⁹⁾ Fig. 6을 보면 고정층 활성탄 흡착탑에 유입되는 erythrosine의 초기농도가 높아질수록 파과곡선에서 흡착질인 erythrosine이 파과되는 시간이 빨라지며 흡착대가 짧아지는 것을 알 수 있다. 이것은 농도가 클수록 활성탄에 대한 흡착속도가 증가되는 것과 같은 효과가 일어나 흡착이 빨리 진행되어 활성탄이 포화 흡착되어 평형에 도달하는 시간이 단축되기 때문으로 판단된다.

Fig. 7은 erythrosine의 초기농도를 1,000 mg/L, 유량을 $2 \text{ cm}^3/\text{min}$ 로 고정한 상태에서 활성탄의 충전높이를 10~40 cm로 변화시켰을 때의 파과곡선을 조사한 결과이다. 유출농도가 초기유입농도의 10%에 도달할 때의 시간을 나타내는 파과시간을 보면 각각 39시간, 53시간, 68시간, 84시간으로 충전높이가 변화됨에 따라 파과시간이 일정한 간격으로 늘어남을 알 수 있다. 이 결과는 단위활성탄 양 대비 흡착되는 erythrosine의 양이 일정하여 다른 조건이 같다면 충전높이에 의해 고정층의 흡착양상(adsorption pattern)이 특별히 달라지는 것은 없다는 것을 나타낸다. 따라서 실제조작에서 충전높이를 조절하는 것에 의해 흡착탑의 흡착용량 조절이 가능하다는 것을 알 수 있다.¹⁰⁾

Fig. 8은 활성탄의 충전높이를 10cm, erythrosine의 유입농도를 1000 mg/L로 고정한 상태에서 흡착질이 고정층에 유입되는 유량을 각각 $2 \sim 5 \text{ cm}^3/\text{min}$ 로 변화를 주었을 때의 파과곡선을 조사한 것이다.

Fig. 8을 보면 유량이 커질수록 흡착질의 출현시간이 빨라지며, 유량이 클수록 유출농도가 급격하게 증가하여 흡착대가 짧아지면서 꼬리끌림 현상(tailing)이 나타나는데, 이것은 유속이 빨라지면 흡착층 내에서의 흡착질의 체류시간이 짧아지므로 erythrosine이 충분히 흡착되지 못하고 유출되는 현상이 일어나는 것으로 판단된다.¹¹⁾

이상의 결과를 종합하면 흡착칼럼에 유입되는 흡착질의 농도가 높거나 유량이 빨라지면 파과시간이 빨라지며, 파과곡선의 흡착대가 짧지는 현상이 나타나므로 실제 흡착 조작 시에는 이들을 운전변수로 고려해 줄 필요가 있으며, 차후 흡착속도인자인 물질이동계수 및 입자내확산계수와 같은 설계인자를 평가하여 흡착탑의 용량과 파과곡선의 예측에 대한 검토가 이루어지면 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결론

식용색소(FD & C Red No.3)이며 염료로도 사용되는 방향족 잔텐 화합물인 erythrosine을 효과적으로 제거하기 위해 입상 활성탄으로 회분식 및 컬럼흡착 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) pH를 조절하는 것에 의해 활성탄에 대한 erythrosine의 흡착율을 높일 수 있었으며, 이 때 erythrosine을 효과적으로 제거할 수 있는 최적 pH는 11이었다. 또한 교반에 의해 물질이동저항에 의한 흡착량감소를 무시할 수 있는 왕복식 교반기의 교반 조건은 교반속도 90 rpm 이었으며 이 조건에서 흡착평형에 도달하는 시간은 10시간이었다. 본 실험에서는 초기농도 1,000 mg/L의 erythrosine 용액 50 mL에 대해 0.5 g의 활성탄을 사용했을 때 최적 조건인 pH 11에서 약 98%의 제거율을 얻을 수 있었다.
- 2) 등온흡착실험결과 흡착평형관계는 상관계수 r 은 0.97로 Freundlich 식에 비교적 잘 맞았다. Freundlich parameter 값을 보면 흡착강도를 나타내는 기울기가 $\beta = 0.34$ 로 활성탄에 의한 erythrosine의 흡착에 있어서는 활성탄의 투입량이 늘어나면 이에 비례하여 erythrosine의 흡착량도 증가하기 때문에 활성탄에 의한 erythrosine의 효과적인 흡착처리가 가능성이 있다는 것을 알 수 있었다.
- 3) 컬럼 흡착실험결과로부터 컬럼에 유입되는 erythrosine의 농도가 높아질수록 활성탄이 포화흡착되어 평형에 도달하는 시간이 단축되어 파과곡선의 흡착대가 짧아졌고, 유량이 커질수록 흡착질의 출현

시간이 빨라지면서 흡착층 내에서의 흡착질의 체류시간이 짧아지기 때문에 erythrosine이 충분히 흡착되지 못하고 유출되는 꼬리끌림 현상(tailing)이 나타났다. 활성탄의 충전높이에 따라 흡착양상이 특별히 달라지는 것은 없었으므로 충전높이를 조절하는 것에 의해 흡착탑의 흡착용량 조절이 가능하다는 것을 알 수 있었다. 따라서 실제조작에서는 이들을 운전 및 설계 변수로 포함시켜 잘 고려할 필요가 있음을 알았다.

KSEE

참고문헌

1. 식품의약품안전청, “식품첨가물공전”, 동원출판사, pp. 182~212(2002).
2. Yankell, S. L. and Loux, J. J., “Acute toxicity testing of erythrosine and sodium fluorescein in mice and rats” *J. Periodont*, **48**, 228~230(1977).
3. Collins, T. F. X., Black T. N., O-Donell M. W. jr., Shackelford M. E. and Bulhack, P., “Teratogenic potential of erythrosine when given in drinking water” *Food. Chem. Toxicol.*, **31**, 161~167(1993).
4. 식약청 미공개연구보고서, 신동아, **590**, pp. 198~205 (2008).
5. 정엽, 권종원, 민신희, “The Interaction of Erythrosine with several Phameceutical Gelatines”, 약제학회지, **14**(1), 50~52 (1984).
6. Vinod, K., Alock, M., Lisha, K. and Jyoti, M., “Adsorption of a hazardous dye, erythrosine, over hen feathers”, *J. Colloidand Interface*, **304**, 52~57(2006)
7. Budavari, S., “The Merck Index”. Merck & Co. Inc., 11th ed., p. 61(1989).
8. Yanai Hiroshi, “흡착공학요론”, 공립출판주식회사, 1st ed., pp. 25~60(1977).
9. Fukukawa 저, 박영태 역 “활성탄 수처리기술과 관리” 동화기술, p. 69(2003).
10. Lee, J. J. and Yoo, Y. H., “Study on Adsoption Characteristics of Tharonil on Activated Carbon Fixed Bed”, *J. Korean Soc. Safety*, **17**(1), 54~62(2002).
11. 이종집, 유용호, “입상활성탄에 의한 BEAM의 흡착특성(II)”, 대한환경공학회지, **20**(4), 509~518(1998).