

입상 활성탄에 의한 Quinoline Yellow의 제거

이종집, 이창용^{†*}

공주대학교 화학공학부, [†]환경공학과
331-717 충청남도 천안시 서북구 부대동 275

(2010년 8월 4일 접수; 2010년 8월 27일 1차 수정본 접수;
2010년 8월 31일 2차 수정본 접수; 2010년 8월 31일 채택)

Removal of Quinoline Yellow by Granular Activated Carbon

Jong-Jib Lee and Chang Yong Lee^{†*}

School of Chemical Engineering and [†]Dept. of Environmental Engineering,
Kongju National University
275 Budae-dong, Seobuk-gu, Cheonan City, Chungnam 331-717, Korea

(Received for review August 4, 2010; 1st Revision received August 27, 2010;
2nd Revision received August 31, Accepted August 31, 2010)

요 약

본 연구에서는 입상활성탄에 의한 quinoline yellow의 흡착특성을 회분식 흡착과 충전층 흡착을 통해 조사하였다. Quinoline yellow에 대한 활성탄의 흡착능은 산성 pH영역과 보다 높은 흡착온도에 의해 크게 증가하였으며, 60°C, pH 3에서 초기농도(10 mg/L)의 97%를 제거할 수 있었다. 입상활성탄에 대한 quinoline yellow의 흡착평형은 25~60°C범위에서 Freundlich의 흡착등온식에 잘 맞았다. 흡착등온식으로부터 평가된 k와 β 값은 각각 38.71~166.60과 0.380~0.490이었다. 활성탄 충전층에서의 과과곡선은 초기농도, 충전층의 높이, 유입속도 등과 같은 설계변수의 영향을 받았다.

주제어 : 퀴놀린 옐로우, 활성탄, 흡착, 염료흡착, 타르색소

Abstract : The adsorption characteristics of quinoline yellow by granular activated carbon were investigated experimentally in the batch adsorber and packed column. The adsorptivity of activated carbon for quinoline yellow were largely improved by acidic pH and higher temperature. When the pH was 3 at 60°C, quinoline yellow could be removed 97 percent of initial concentration(10 mg/L). It was established that the adsorption equilibrium of quinoline yellow on granular activated carbon was successfully fitted by Freundlich isotherm equation in the temperature range from 25°C to 60°C. The estimated values of k and β are 38.71~166.60, 0.380~0.490, respectively. The breakthrough curve of activated carbon-packed column depends on the design variables such as initial concentration, bed height, and flow rate.

Keywords : Quinoline yellow, Activated carbon, Adsorption, Dye adsorption, Tar colorant

1. 서 론

Quinoline yellow는 노란색의 합성염료로 원래 섬유류의 착

색을 목적으로 개발된 것이지만 식품 및 화장품 등의 착색에도 사용되어 왔다. 우리나라에서는 식용색소로 사용을 허가하고 있으나, 쥐에 대한 경구투여 치사량(LD₅₀)이 2000 mg/kg인 유해한 물질로서 소화효소의 작용을 저해하고 간이나 위에 장해

* To whom correspondence should be addressed
E-mail: cylee@kongju.ac.kr

Table 1. Physical properties of granular activated carbon

Properties	Unit	Value
Particle size	mesh	8 × 30
Average particle size	mm	1.6385
Specific surface area	m ² /g	1,520
Density(at 25 °C)	g/mL	0.48-0.55
Iodine adsorption	mg/g	1,000
Methylene blue adsorption	mL/g	180
Ash	%	<10
Hardness	%	90 min.

Table 2. Physical properties of quinoline yellow[9]

Properties	Value
Class	Xanthene
Appearance	Yellow powder/ Granules
Molecular weight	477.38
Solubility in water (20°C)	120 g/L
Wavelength	420 nm
CAS number	8004-92-0
Color index number	47005

를 일으키며, 두드러기나 발진 및 피부염이 발생할 수 있어 일부 국가에서는 사용을 금지하고 있다[1, 2].

또한 quinoline yellow와 같은 타르색소 식품첨가제의 각테 일효과에 의해 어린이에게 주의력결핍 과잉행동장애 (Attention Deficit Hyperactivity Disorder, ADHD)를 유발할 수 있다고 하였다. ADHD는 소아정신과를 찾는 아동의 30~50%를 차지할 정도로 소아정신과에서 가장 흔한 질환으로 꼽히며 주의력 결핍, 과잉행동, 충동성 등의 증상과 함께 학습장애, 반항장애, 우울증, 수면장애 등의 질환을 동반하여 학교생활과 가정 생활에 큰 지장을 초래하는 일종의 장애이다. 더욱 문제가 되는 것은 아이가 성장하면서 증상이 사라지는 게 아니라 이런 아동의 30~40%는 성인까지 증상이 계속돼 직장생활과 대인관계에 어려움을 겪게 된다[3, 4].

이와 같이 유해작용이 있는 색소류 제거에 대한 선행연구로 Jain 등[5]이 저가의 흡착제인 charcoal과 왕겨를 이용하여 indigocarmin을 흡착 제거하는 실험을 통하여 온전변수인 흡착제의 양과 흡착질의 농도, 입자크기와 pH 및 접촉시간과 온도의 영향에 대하여 조사한 바가 있으며, Sivakumar와 Palanisamy[6]는 Euphorbia antiquorum wood로부터 제조한 활성탄을 이용하여 Basic Red 29에 대한 흡착 평형관계를 Langmuir, Freundlich, Tempkin 등의 흡착등온식에 적용하여 보았으며, Zhang 등[7]은 Mn 침착활성탄을 이용하여 Neutral Red를 흡착제거하는 실험을 통해 흡착동력학적 해석을 시도하였다. Gupta 등[8]은 bottom-ash와 deoiled soya를 흡착제로 사용하여 quinoline yellow와 수용성 염료에 대한 흡착특성을 조사하여 pH, 흡착질의 농도, 체눈크기, 흡착제량, 접촉시간 및 온도 등의 영향에 대해 조사하였다. 그럼에도 불구하고 아직까지 저렴한 흡착제인 활성탄을 이용하여 quinoline yellow를 흡착제거에 관한 연구는 부족한 실정이다.

본 연구에서는 quinoline yellow의 흡착제거에 입상활성탄의 적합성을 평가하고자 하였다. 평가는 회분식 흡착실험을 통한 pH의 영향, 흡착등온선, 흡착 속도 결과와 연속식 충전층 실험을 통한 파괴특성 자료를 분석하였다.

2. 실험

2.1. 활성탄

본 실험에 사용된 활성탄은 야자각을 원료로 하여 수증기활

성화법으로 제조한 D사의 8×30 mesh(평균입경 1.638 mm) 크기의 입상활성탄이다. 실험에 사용하기 전에 순수로 수회 세척한 후 건조기에서 105±1°C에서 12시간 건조하여 사용하였으며, 실험에 사용한 활성탄의 물리적 특성을 Table 1에 나타내었다.

2.2. Quinoline Yellow

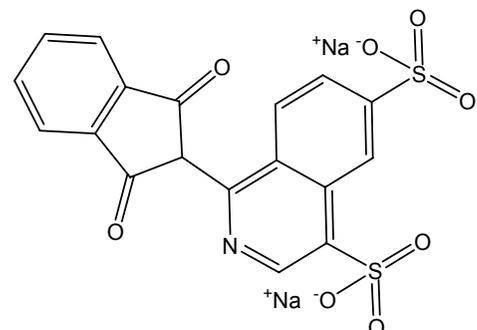
실험대상으로 선정된 quinoline yellow는 Sigma Aldrich사의 특급시약을 사용하였으며, Figure 1에 나타난 바와 같이 C₁₈H₈NNa₂O₁₁S₃의 분자식을 갖는 방향족 잔텐(Xanthene)계 화합물로, Food Yellow 13, FD & C Yellow No. 10, azobulin 등으로도 불리며, 주로 황색의 식품색소로 사용된다[9]. Quinoline yellow의 물리적 특성을 Table 2에 요약하였다.

2.3. Quinoline Yellow의 농도분석

흡착질인 quinoline yellow의 용액의 농도분석은 UV-Visible spectrophotometer (Shimadzu, UV-160A)를 사용하여 고유 흡수파장 420 nm에서 검량선을 구하여 분석하였다.

2.4. 흡착제의 양 결정 실험

초기농도 10 mg/L인 quinoline yellow 용액 50 mL에 대하여 70°C의 순수로 12시간 침지한 활성탄을 0.1~1 g (건조기준 질량) 범위에서 소정의 비율로 각각 다르게 PE병에 넣고, 25°C의 항온진탕기(Jeio Tek, BS-21)에서 진탕속도를 100 rpm으로 하여 24시간 동안 흡착시킨 후 잔류 농도를 분석하

**Figure 1. Molecular structure of quinoline yellow[9].**

여 활성탄의 투입량을 결정하였다.

2.5. 흡착평형속도실험

100 mL PE병에 초기농도 10 mg/L의 quinoline yellow 용액 50 mL를 넣고, 흡착제의 양 결정 실험을 통해 얻은 소정량의 침지된 활성탄을 첨가하고 25℃에서 항온진탕기로 진탕하였다. 진탕속도를 60~100 rpm범위에서 10 rpm의 간격으로 서로 다르게 진탕하면서 용액내의 농도를 시간별로 분석하여 물질이동이 무시될 수 있는 흡착속도와 흡착평형이 이루어지는 시간을 조사하였다.

2.6. pH별 흡착능실험

100 mL PE병에 초기농도 10 mg/L인 quinoline yellow 용액 50 mL과 예비흡착실험에서 결정된 소정의 침지된 활성탄을 넣고, 완충용액을 사용하여 pH를 3~11까지 조정후 25℃에서 항온진탕기에서 100 rpm으로 12시간 진탕하여 흡착평형에 도달했을 때 용액을 여과, 분리하여 여액 중에 남아있는 quinoline yellow의 농도를 측정하여 흡착제거율[100 - (잔존농도/초기농도) × 100]을 구하였다.

2.7. 흡착온도별 등온흡착평형실험

초기농도 10 mg/L의 quinoline yellow 용액 50 mL에 침지된 활성탄을 100~300 mg 범위에서 서로 다르게 첨가한 후 항온진탕기에서 25, 40, 50, 60℃로 흡착온도를 달리하여 100 rpm의 속도로 12시간 진탕하였다. 흡착평형에 도달했을 때 용액을 여과, 분리하여 여액 중에 남아있는 quinoline yellow의 농도를 측정하여 흡착온도별로 흡착등온선을 분석하였다.

2.8. 충전층 흡착실험

Figure 2와 같이 내경 10 mm의 이중 jacket식 유리관에 활성탄을 10~30 cm의 높이로 채운 다음 초기농도 500, 1000, 1500 mg/L인 quinoline yellow 용액을 각각 유리관 상부로부터 흘려 내려 보냈다. 시료용액의 유출속도는 peristaltic pump (EYELA, MP-A)을 사용하여 1~5 cm³/min으로 조정하였으며,

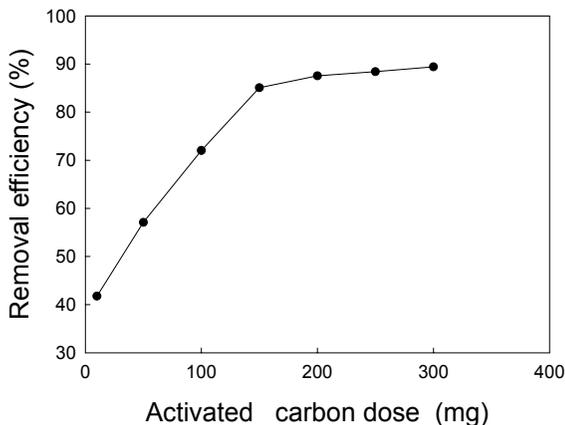


Figure 2. Effect of activated carbon doses.

fraction collector (Toyo, SF-100K)로 10 mL씩 나누어 채취한 유출용액의 농도를 분석하여 과과시간(breakthrough time) 및 과과곡선(breakthrough curve)을 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 흡착제 양의 결정

Quinoline yellow의 초기농도는 흡착 대상이 음료수인지 공업용수인지에 따라 달라질 수 있는데, 본 실험에서는 식품 및 염색폐수에서 발생 가능한 농도와 2차, 3차 처리시 대상이 되는 농도를 감안하여 10 mg/L로 하였다. 초기농도 10 mg/L인 quinoline yellow 용액 50 mL에 대하여 100℃의 순수로 2시간 침지한 활성탄을 0.01~0.3 g (건조 기준 질량) 범위에서 다르게 첨가하고, 25℃에서 12시간 항온진탕한 결과를 Figure 2에 나타냈다. 그림을 보면 pH의 조절이 없는 상태에서 시료용액의 pH는 7이었고, 활성탄 투입량 100 mg으로 시료용액중에 포함된 quinoline yellow의 72%를 제거하는 것으로 나타났다. 본 실험에서는 활성탄 투입량 100 mg이 pH, 온도, 교반속도 등의 변화에 따른 흡착제거율의 증가폭을 알기에 적합하다고 판단하여 기준흡착제 양으로 선정하였다.

3.2 흡착평형속도

활성탄을 100 mg을 투입한 상태에서 항온진탕조의 왕복운동속도를 각각 60, 70, 80, 90, 100 rpm으로 다르게 하여 실험한 결과를 Figure 3에 나타내었다. 활성탄에 대한 흡착에 있어서 흡착질의 물질이동저항이 큰 영향을 미치는데, 교반속도가 느리면 물질이동저항이 작용하여 총괄물질이동계수와 입자 내 확산계수 등이 작아지므로 흡착량의 감소가 일어난다. 본 실험의 결과를 보면 진탕속도가 90 rpm이 되면 흡착속도 곡선이 거의 일치하고 있다. 따라서 90 rpm이상의 조건에서는 물질이동저항에 의한 흡착량 감소가 무시될 수 있는 조건으로 생각할 수 있다[10]. 후속실험에서는 여유를 생각해서 진탕속도 100 rpm의 조건에서 회분식 실험을 실행하였으며, 흡

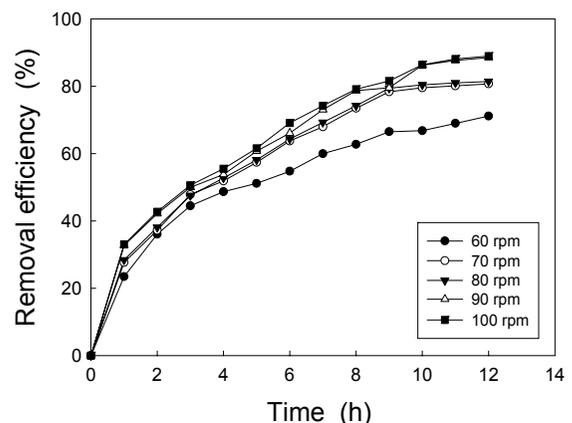


Figure 3. Effect of agitation speed on adsorption of quinoline yellow.

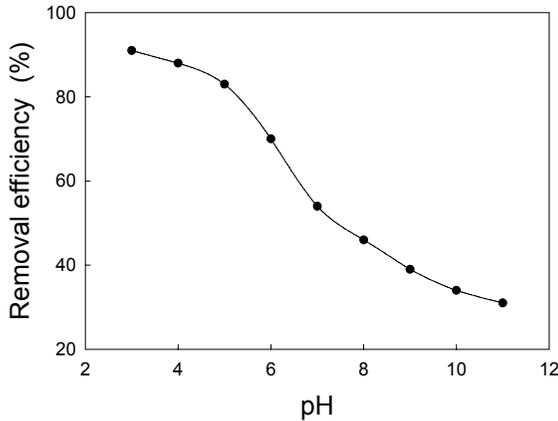


Figure 4. Effect of solution pH on removal efficiency. (initial concentration; 10 mg/L, GAC: 100 mg).

착시간도 11시간 이후에 흡착평형에 거의 도달하는 것을 고려하여 진탕시간을 12시간으로 하였다.

3.3 pH별 흡착평형

용액의 pH 변화에 따른 quinoline yellow 용액의 흡착특성을 조사한 결과를 Figure 4에 표시하였다. 입상 활성탄(GAC)은 pH 3에서 약 91%의 제거율을 나타내다가 pH가 증가할수록 감소하여 pH 11에서는 가장 낮은 약 31%의 제거율을 보이고 있다.

이러한 결과는 Figure 1에서 알 수 있듯이 흡착질인 quinoline yellow가 수중에서 해리되면 $-SO_3^-$ 기 때문에 음전하를 띠게 되는데 반해, pH 3과 같은 산성영역에서는 활성탄 표면이 양전하를 띠게 되므로 둘 사이의 전기적 인력에 의해 높은 흡착성을 나타내는 것으로 판단된다. 또한 pH조절이 없었을 때 72%이었던 흡착제거율이 pH 3에서는 91%로 상승하는 것을 볼 때 활성탄과 quinoline yellow사이의 흡착에서 pH에 의한 활성탄의 표면하전, quinoline yellow의 해리상태 등이 흡착에 상당한 영향을 미치는 것으로 해석할 수 있다[11].

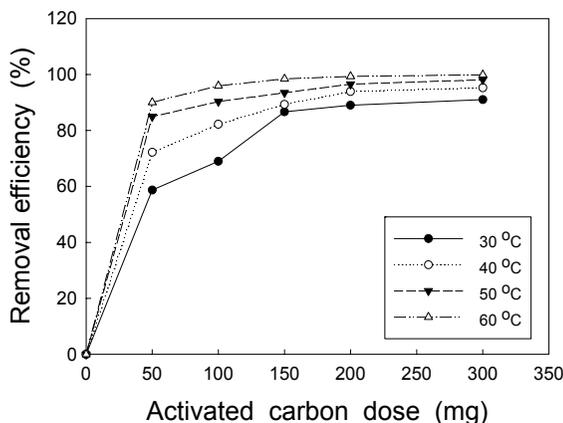


Figure 5. Effect of operating temperature and GAC dose on adsorption equilibrium isotherm. (initial concentration; 100 mg/L, GAC: 50~300 mg).

Table 3. Freundlich constants for quinoline yellow adsorption

Freundlich Constant	Value			
	25 °C	40 °C	50 °C	60 °C
k	38.71	81.64	114.61	166.60
β	0.380	0.396	0.437	0.490
r	0.985	0.980	0.988	0.990

3.4. 흡착온도별 등온흡착평형 실험

흡착온도가 활성탄에 대한 quinoline yellow의 흡착에 미치는 영향을 조사하고자 pH 3에서 25~60°C 범위에서 10°C 간격으로 입상 활성탄에 대한 quinoline yellow의 등온흡착실험을 수행한 결과는 Figure 5와 같다. 25°C에서는 300 mg의 활성탄을 넣었을 때 약 91%의 제거율을 보이는데 반해 60°C에서는 50 mg을 넣었을 때 약 90%, 100 mg을 넣었을 때 약 97%의 제거율을 나타내었다. 따라서 온도에 따라 흡착능이 현저하게 증가하는 것을 알 수가 있다.

그러나 높은 온도에서 적은 양의 흡착제로 높은 제거율을 얻을 수 있기는 하지만 온도가 증가할수록 흡착량의 증가폭은 적어지고 있고, 같은 온도에서도 활성탄의 첨가량이 150 mg 이상이 되면 흡착량의 증가폭이 아주 미미하다. 따라서 효과적으로 quinoline yellow를 흡착처리하려면 흡착온도, 활성탄의 첨가량 등을 동시에 고려해 주어야 할 것으로 판단된다.

등온흡착실험 결과를 가지고 흡착처리의 효과성을 평가해 보고자 Freundlich 흡착등온식을 적용해 보았다. 흡착제와 흡착질 사이의 흡착평형관계를 나타내는 Freundlich 등온선은 다음의 식(1)로 표현된다[12].

$$q = k C^\beta \tag{1}$$

여기서 q는 흡착제 단위질량당 흡착된 양(mg/g), C는 흡착질의 평형농도(mg/L), k와 β 는 흡착능력과 강도를 나타내는 상수이다. 식(1)을 직선식으로 표현하면 다음과 같은 식이 된다.

$$\log q = \log k + \beta \log C \tag{2}$$

Figure 5의 실험결과를 Freundlich 식 (2)에 적용하여 대수 좌표로 나타낸 것이 Figure 6이다. 또한 실험결과 값을 가지고 (2)식으로부터 지수회귀법을 사용하여 구한 Freundlich 식에 대한 상관계수 값들은 Table 3과 같다.

식에 대한 적합성을 판단하는 상관계수 값들은 r=0.980~0.990으로 Freundlich 식에 비교적 잘 맞는 것을 볼 수가 있다. Kitakawa[12]가 발표한 자료에 의하면 흡착등온선이 Freundlich 식을 따를 경우 활성탄에 의한 흡착처리에 있어서 k 값은 클수록 좋으며, β 값이 0.1~0.5에 있어야 효과적 처리가 가능한 영역이며 이 범위를 벗어나면 흡착제의 양이 늘어나도 흡착질의 농도가 잘 줄어들지 않기 때문에 흡착조작이 비효과적이라고 하였다.

이러한 관점에서 실험결과를 분석해 보면 흡착온도 25~60°C

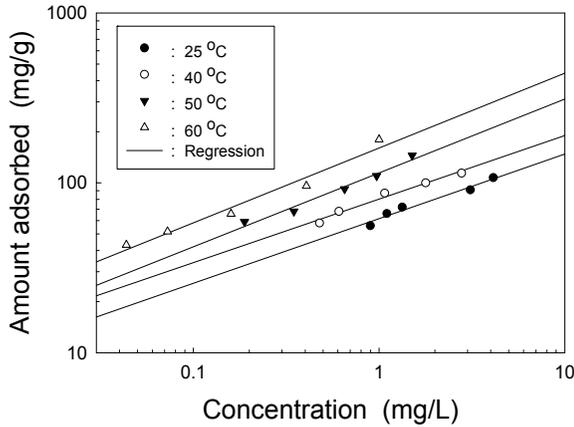


Figure 6. Adsorption isotherms of quinoline yellow. (initial concentration; 100 mg/L, GAC : 50-300 mg).

범위에서 전체적으로 흡착등온선의 기울기가 0.380~0.490이므로 활성탄에 의한 quinoline yellow의 흡착처리가 효과적일 수 있음을 알 수 있다. 활성탄과 quinoline yellow 사이의 상호작용의 크기를 나타내는 k 값은 흡착온도가 25°C에서 60°C로 상승함에 따라 8.71<81.61<114.61<166.60으로 커지기 때문에 60°C가 효과적인 영역으로 생각할 수 있다. 그러나 활성탄 양의 증가에 따른 흡착질의 농도감소를 나타내는 기울기(β)는 오히려 흡착온도가 낮아질수록 0.380<0.397<0.437 <0.490과 같이 작아짐으로 낮은 온도에서의 흡착이 더 효과적일 수 있음을 알 수 있다. 따라서 실제 흡착처리공정에서는 k와 β 값 및 에너지비용 등을 적절히 감안해야 할 필요성이 있다고 판단된다.

이러한 결과를 바탕으로 볼 때 활성탄의 첨가량과 pH 및 흡착온도 등을 조절하는 것을 경제적 관점에서 접근한다면 quinoline yellow의 효과적인 흡착처리에 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

3.5 충전층 흡착실험

본 연구에서는 회분식 실험결과에서 얻은 최적조건을 토대로

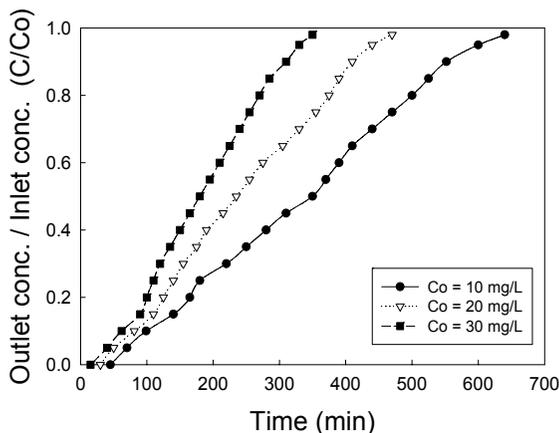


Figure 7. Effect of initial concentration on breakthrough curve of quinoline yellow.(Z = 1 cm, Q = 1 cm³/s)

Table 4. Break times and Adsorption zone lengths

		Break time (min)	Adsorption zone length (min)	Fixed variables
Packed height (cm)	1	99	461	Initial conc. = 10mg/L Inlet flow rate = 1cm ³ /s
	2	196	484	
	3	300	455	
Inlet flow rate (cm ³ /s)	1	99	461	Packed height = 1cm Initial conc. = 10mg/L
	2	80	370	
	3	65	285	
Initial conc. (mg/L)	10	99	461	Packed height = 1cm Inlet flow rate = 1cm ³ /s
	20	81	329	
	30	62	248	

하여, 실제로 폐하수의 처리에 많이 사용되고 있는 충전층 흡착탑의 운전과 설계에 필요한 기초자료를 얻고자 충전층 흡착실험을 수행하여 그 결과를 Figures 7~9 및 Table 4에 나타내었다.

Figure 7은 이중관식 유리컬럼에 활성탄의 충전높이(z)를 1 cm로, 유량은 1 cm³/s로 고정된 상태에서 quinoline yellow 용액의 초기유입농도를 각각 10, 20, 30 mg/L로 변화시켰을 때 파과곡선의 경향을 조사한 결과를 나타낸 것이다.

유출농도가 초기유입농도의 10%에 도달하는 시간을 파과시간으로 하면 초기유입농도가 10, 20, 30 mg/L일 때 파과시간은 각각 99분>81분>62분으로 단축되는 것을 알 수 있다. 이것은 농도가 클수록 활성탄에 대한 흡착속도가 증가되는 것과 같은 효과가 일어나 흡착이 빨리 진행되어 활성탄이 포화상태에 도달하는 시간이 단축되기 때문으로 판단된다.

또 흡착대(adsorption band)는 흡착장치의 설계와 운전에 중요한 변수 중의 하나인데, 유출농도가 초기유입농도의 90%에 도달하는 시간에서 파과시간(breakthrough time)을 빼 준 것이다. Table 4를 보면 고정층 활성탄 흡착탑에 유입되는 quinoline yellow의 초기농도가 10 mg/L에서 30 mg/L로 높아질수록 흡착대가 각각 461분>329분>248분의 순으로 짧아

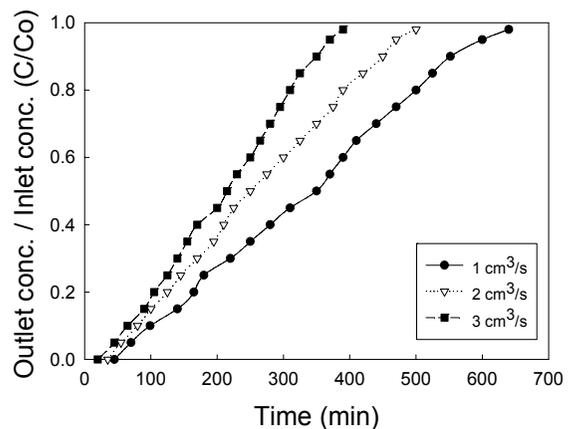


Figure 8. Effect of inlet flow rate on breakthrough curve of quinoline yellow.(Co = 10 mg/L, Z = 1 cm)

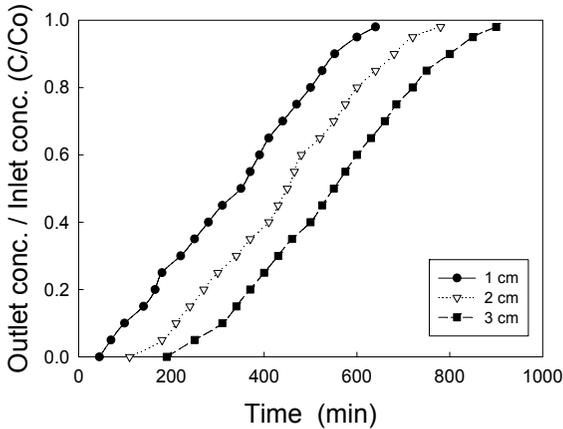


Figure 9. Effect of packed-bed height on breakthrough curve of quinoline yellow. (Co = 10 mg/L, Q = 1 cm³/s)

졌는데, 이것으로부터도 역시 농도가 높을수록 흡착포화상태에 빨리 도달하는 것을 알 수 있다.

Figure 8은 활성탄의 충전높이를 1 cm, quinoline yellow의 초기유입농도를 10 mg/L로 고정한 상태에서 유입속도를 각각 1, 2, 3 cm³/s로 변화를 주었을 때의 파과곡선을 조사한 것이다. 그림을 보면 유량이 커질수록 흡착질의 출현시간이 빨라져서 유입속도가 클수록 파과시간이 99분>80분>65분으로 짧아지고, 흡착대도 461분>370분>285분으로 줄어들고 있다. 즉 유입속도가 빨라지면 충전층에 도입되는 quinoline yellow의 절대량이 많아져서 활성탄이 흡착포화 상태에 빨리 도달하는 것으로 해석할 수 있다.

Figure 9는 quinoline yellow의 초기유입농도 10 mg/L, 유입속도 1 cm³/s로 고정한 상태에서 충전층의 높이를 각각 1, 2, 3 cm로 다르게 했을 때의 파과곡선을 조사한 것이다. 그림과 Table 4를 보면 파과시간은 각각 99분, 196분, 300분으로 충전높이가 1 cm 높아짐에 따라 파과시간이 거의 일정한 간격으로 늘어남을 알 수 있다. 또 흡착대의 길이도 461분>484분>455분으로 거의 같다. 이 결과는 단위활성탄 양 대비 흡착되는 quinoline yellow의 양이 일정하여 다른 조건이 같다면 충전층의 높이에 의해 충전층의 흡착양상(adsorption pattern)이 특별히 달라지는 것은 없다는 것을 나타는 것으로 실제조작에서 충전층의 높이에 의해 흡착탑의 흡착용량을 조절하는 것이 가능하다는 것을 알 수 있다[13].

이상의 결과를 종합하면 충전층에 유입되는 흡착질의 농도가 높거나 유입속도가 빨라지면 파과시간이 빨라지며, 흡착대가 짧아지는 현상이 나타나므로 실제 흡착조작 시에는 이들을 운전변수로 고려해 줄 필요가 있으며, 충전층의 높이는 흡착용량을 결정하는데 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 유해한 타르색소로서 식용색소와 염료로 사용되고 있는 방향족 잔텐화합물인 quinoline yellow (Food

Yellow 13)를 효과적으로 제거하기 위해 입상 활성탄으로 회분식 및 충전층 흡착실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) pH를 조절하는 것에 의해 활성탄에 대한 quinoline yellow의 흡착량을 높일 수 있었는데, 음전하 상태로 해리된 quinoline yellow는 활성탄 표면이 양전하로 되는 pH 3에서 100 mg의 활성탄으로 초기농도 10 mg/L의 quinoline yellow용액에 대해 pH를 조절하지 않았을 때의 약 72% 제거율보다 크게 향상된 약 91% 제거율을 나타내었다.
- 2) 흡착온도별 등온흡착실험 결과 흡착평형관계는 Freundlich 식에서 상관계수 $r \geq 0.980$ 로 비교적 잘 맞았다. 흡착온도가 높아질수록 quinoline yellow의 흡착량이 증가하였는데, 60°C, pH 3에서 초기농도 10 mg/L의 97%를 제거하였다. 그러나 활성탄의 흡착능력을 나타내는 k값은 흡착온도가 25°C에서 60°C로 상승함에 따라 $38.71 < 81.61 < 114.61 < 166.60$ 으로 커졌으나 활성탄 양의 증가에 따른 흡착질의 농도 감소를 나타내는 기울기(β)는 오히려 흡착온도가 낮아질수록 $0.490 > 0.437 > 0.397 > 0.380$ 과 같이 작아졌기 때문에 실제적 흡착처리에서는 k와 β 값 및 에너지비용 등을 적절히 감안해서 효과적인 영역을 선택할 필요성이 있다고 판단되었다.
- 3) 고정층 흡착실험 결과로부터 흡착탑에 유입되는 quinoline yellow의 농도가 높거나 유입속도가 빨라지면 파과시간이 빨라지고, 파과곡선의 흡착대가 짧아지는 현상이 나타나며, 충전층의 높이는 흡착대의 크기에 변화가 거의 없이 일정한 폭으로 파과시간이 증가하였기 때문에 실제 흡착조작 시에는 이들을 설계 및 운전인자로 잘 고려할 필요가 있음을 알았다.

참고문헌

1. Korea Food & Drug Administration, Food Additives Code, Dongwon Publisher, 2002, pp.182-212.
2. Ha, S. D., Park, K. H., Moon E. S., Ko, M. H., Ryu, K., and Cho Y. H., "Blind Side of Colorant," *Food Sci. Ind.*, **38**(4), 105-112 (2005).
3. Consumer Safety Inspection Division Tests, Food Microbiology Team "Children's Favorite Food of Food Additives (Synthetic Artificial Color), the Safety Status," Consumer Safety Center, 2009, pp.2-17.
4. Nair, J., Ehimare, U., Beitman, B. D., Nair, S. S., and Lavin, A., "Clinical Review: Evidence-based Diagnosis and Treatment of ADHD in Children," *Mol. Med.*, **103**(6), 617-21 (2006).
5. Rajeev J., Mathur, M., and Sikarwar, S., "Removal of Indigocarmin from Industrial Effluents using Low Cost Adsorbent," *J. Sci. Ind. Res.*, **65**, 258-263 (2006).
6. Sivakumar, P., and Palanisamy, P. N., "Adsorption Studies of Basic Red 29 by a Non-conventional Activated Carbon Prepared from Euphobia Antiquorum L", *Int'l J. Chem.*

- Tech. Res.*, **1**(3), 502-510 (2009).
7. Zhang, J., Shi, Q., Zhang, C., Xu, J., Zhai, B., and Zhang, B., "Adsorption of Neutral Red onto Mn-impregnated Activated Carbons Prepared from Typha Orientals", *Biosour. Technol.*, **99**, 8974-8980 (2008).
 8. Gupta, V. K., Mittal, A., and Gajbi, V., "Adsorption and Desorption Studies of a Water Soluble Dye, Quinoline Yellow, using Waste Materials", *J. Colloid Interf.*, **284**, 89-98 (2005).
 9. Budavari, S., The Merck Index, 11th ed., Merck & Co. Inc., 1983, p.1268.
 10. Lee J. J., and Yoo Y. H., "Study on Adsorption Characteristics of Tharonyl on Activated Carbon Fixed Bed," *J. Korean Soc. Safety*, **17**(1), 54-62 (2002).
 11. Hiroshi, Y., Adsorption Engineering Critical Theory, Kyoritzu Publisher, 1977, pp.25-60.
 12. Fukukawa, B. H., Activated Carbon Water Treatment Technology and Management, Donghwa Technology, 2003, p.69.
 13. Pelech, R., Milchert, E. and Bartkowiak, M., "Fixed-bed Adsorption of Chlorinated Hydrocarbons from Multicomponent Aqueous Solution onto Activated Carbon: Equilibrium Column Model," *J. Colloid Interf. Sci.*, **296**, 458-464 (2006).