

염색폐수의 전처리 방법에 따른 활성탄 흡착 처리효율에 관한 연구

김 선 희 · 이 상 호
상명대학교 환경공학과
(2006년 2월 8일 접수; 2006년 6월 22일 채택)

Treatment Efficiency of Activated Carbon Adsorption for Dyeing Wastewater Treated by the Different Pre-treatment Methods

Sun-Hee Kim and Sang-Ho Lee

Department of Environmental Engineering, Sangmyung University, Chungnam 330-720, Korea
(Manuscript received 8 February, 2006; accepted 22 June, 2006)

This research aims at applicability of adsorption process in order to satisfy the restricted Effluent Quality Standards for dyeing wastewater. The dyeing wastewater treated by biological process with carrier imbedded microorganisms was directly applied to the activated carbon adsorption in Process A. The dyeing wastewater treated by Fenton oxidation for the effluent of biological process was applied to the adsorption in Process B. It was found that the optimum conditions of adsorption with granular activated carbon are 20°C and 120 minutes for the batch experiment. Langmuir equation was fitted better than Freundlich equation to the experimental data. The breakthrough time of adsorption column was determined by color rather than COD_{Mn} for both Process A and Process B. The results revealed that the breakthrough time of adsorption for two processes was extended by the treatment of Fenton oxidation for dyeing wastewater treated by biological treatment than the direct application of dyeing wastewater treated by the biological treatment. Adsorption process can be applied in order to meet the restricted Effluent Quality Standards for dyeing wastewater.

Key Words : Dyeing wastewater, Activated carbon adsorption, Biological treatment process, Chemical oxidation process

1. 서 론

국가의 산업이 발전함에 따라 생산되는 제품이 다양화하고 있기 때문에 제품 생산과정에서 발생하는 오염물질에 의한 환경오염이 사회적으로 문제가 되고 있다. 염색산업은 대표적인 대량 용수사용 업종으로서 폐수배출 및 발생폐수의 특성 면에서 오염물질 처리대상 사업장으로 부각되고 있다¹⁾.

염색폐수는 염료, 보조약품과 계면활성제를 비롯한 다량의 Terephthalic acid 및 Ethylene Glycol²⁾ 등과 같은 난분해성 물질의 함유농도가 높아서 적정

한 방법에 의하여 처리되지 않고 방류될 경우 생태계의 순환을 저해시켜 심각한 환경오염을 유발시킬 수 있다.

염색폐수에 대한 처리방법으로 응집처리, 활성오니 처리, 흡착처리, 산화처리³⁾ 등 여러 가지 방법이 현재까지 사용되고 있으나 단독 공정으로는 색도 및 난분해성물질의 처리가 곤란하여 대부분 1차적으로 생물학적 처리방법으로 처리한 후 잔류하고 있는 오염물질을 고도처리방법을 이용하여 제거하는 복합공정으로 구성하여 처리하고 있다⁴⁾.

여러 가지 고도처리방법 중 Fenton 산화공정은 제일철염과 과산화수소의 반응으로 발생하는 OH 라디칼을 이용하여 유기물질을 산화하는 방법으로 라디칼 반응의 일종이다⁵⁾. Fenton 산화공정은 생물학적 난분해성인 물질을 생물학적으로 분해 가능한

Corresponding Author : Sang-Ho Lee, Department of Environmental Engineering, Sangmyung University, Chungnam 330-720, Korea
Phone: +82-41-550-5308
E-mail: leesh@smu.ac.kr

물질로 전환하거나 미생물에 악영향을 끼치는 폐수의 독성을 감소시키고 생물학적 처리 후 미생물에 의해 처리되지 않은 물질을 처리하는 등 난분해성 유기물질의 제거에 효율적인 방법으로 폐수의 고도 처리에 이용되고 있는 하나의 공정이다^{8,9)}. 또한 흡착공정은 안전하고 효과적으로 오염원을 제거할 수 있어 널리 사용되고 있는데⁶⁾ 특히 활성탄은 탁월한 흡착능력과 비교적 넓은 흡착 표면적을 갖는 탄소 집합체로서 물리적, 화학적으로 안정성이 우수하여 효과적이고 신뢰성이 높은 처리에 이용되고 있다⁷⁾.

본 연구에서는 국내의 염색단지 및 유럽 등 선진국의 강화된 수질기준도 만족시킬 수 있는 처리수 범위를 구성하고자, 현행 배출수 수질인 COD_{Mn}: 70 mg/L, Color: 300 ADMI(가 지역)¹⁰⁾ 보다 강화된 COD_{Mn}: 20 mg/L, Color: 40 ADMI을 최종 목표수질로 설정하였다.

따라서 본 연구에서는 염색폐수에 대한 법적 배출허용기준보다 강화된 목표수질을 만족하기 위한 방법을 도출하기 위하여 현재 "B"공단 염색폐수의 난분해성 물질에 대한 분해 가능한 미생물 균주가 식재된 담체로 충전시킨 생물학적 처리공정 유출수를 대상으로 Fenton 산화공정 및 색도 유발물질 및 난분해성 물질 제거에 우수한 활성탄 흡착공정을 이용하여 최적의 처리공정을 평가하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

본 연구에서는 두 가지 대상 시료를 이용하여 실험하였다. 첫 번째 시료는 염색폐수 내 난분해성 물질에 적용된 미생물을 고정화한 담체를 충전하여 처리한 생물학적 처리수를 대상 시료로 하였다. 미생물을 고정화한 담체는 Polyethylene Glycol 계통의 합성재질로 직경이 4mm이고 높이가 5mm인 원통형 모양으로 유기물질 제거용으로 개발되어 미생물을 안정적으로 확보할 수 있고 담체를 충전하여 처리한 생물학적 처리수의 체류시간은 18hr이다¹¹⁾.

두 번째 대상 시료는 앞에서 언급한 미생물을 고정화한 담체를 충전하여 처리한 생물학적 처리수에 Fenton 산화 공정을 적용하여 처리한 시료를 사용하였다.

본 실험에서 사용한 입상활성탄은 미국 Calgon사 제품인 F-300을 사용하였고 물성분석치는 Table 1에 나타내었다. 본 연구 결과는 국외 기술 판매 목적으로 수행되었기 때문에 국내에서 생산되는 활성탄은 사용하지 않았다. 평균입경 2mm 크기의 활성탄을 얻기 위해 Sieve number 10인 표준체를 이용하여 체 분리를 실시하였다. 체 분리하여 선별된 2mm 크기의 활성탄은 상등액이 검어지지 않을 때

까지 여러 차례 이온교환수로 수세하여 세공내의 미분을 제거하였고 105±5°C의 drying oven에서 24시간 건조한 후 사용할 때 까지 데시케이터 안에서 보관하였다.

2.2. 실험구성 및 장치

선행 연구에서, 기존의 생물학적 처리공정의 문제점을 보완한 미생물 고정화 담체공정 및 Fenton 산화 공정을 단독, 연계 처리하여 강화된 목표수질을 만족시키는 처리공정을 구성하려 하였으나 목표수질 이내의 수질을 얻지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 염색폐수를 COD_{Mn}: 20mg/L, Color: 40ADMI의 처리수 수질기준 내로 처리하기 위해 생물학적 처리공정, Fenton 산화공정 및 흡착처리공정 이용하여 Fig. 1과 같이 처리공정을 구성하였다.

염색폐수는 1차 처리방법으로 미생물을 고정화 담체에 식재하여 처리한 생물학적 처리방법을 적용하였다¹¹⁾.

Process A는 생물학적 처리공정을 거치고 나온 처리수에 고도처리공정으로 활성탄 흡착공정을 바로 적용하였으며 Process B는 "B"공단 염색폐수 처리시설에서 적용하고 있는 Fenton 산화공정의 시설을 활용하는 것을 전제로 생물학적 처리수에 Fenton 산화공정으로 처리한 후 활성탄 흡착공정을 연계하여 처리하였다.

Process A와 Process B의 입상활성탄 흡착 칼럼은 내경 7.4 cm, 높이 1.2 m의 아크릴 재질로 제작하였으며, GAC는 0.9 m 높이까지 충전하였다. 처리용량은 45.6L/day로 24시간 간격으로 시료를 채수하여 분석하였다. 수류의 흐름은 상향류 방법을 적용하였으며 유입수와 유출수를 정기적으로 분석하여 파과점을 도출하였다. 본 실험에서 적용한 입상활성탄 흡착 칼럼의 설계인자는 Table 2와 같다.

2.3. 실험방법

2.3.1. Fenton 산화

Process B에 해당하는 실험에 사용된 Fenton 시약은 액상 형태의 FeCl₂(Fe²⁺ 함량 = 16%, w/w)와

Table 1. Physical properties of Calgon F-300 Activated carbon

Parameters	Value
Raw materials	Bituminous
Surface area, m ² /g(BET)	950-1050
Apparent density, g/cm ³	0.48
Particle density, g/cm ³	1.3~1.4
Iodine No.	900

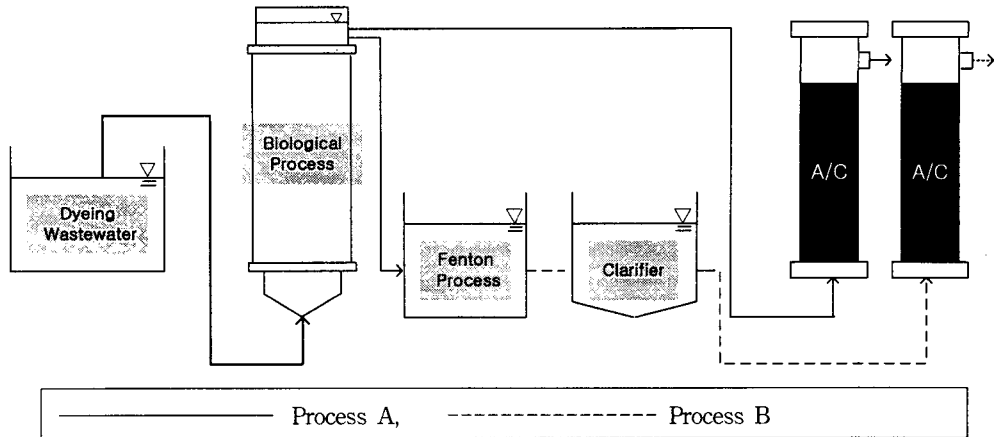


Fig. 1. Schematic diagram of the advanced treatment processes for the dyeing wastewater.

Table 2. Operating conditions of GAC column

Item	Conditions
Column Diameter (cm)	7.4
Column Height (m)	1.2
Packed Height t(m)	0.9
Packed Volume (L)	3.87
Flow Rate (L/hr)	1.9
Hydraulic Retention Time (hr)	2

H₂O₂(35%, v/v)를 사용하였고 대상 시료의 수질을 분석한 다음 가장 적절한 Fenton 시약 주입량을 산정하였다. Fe²⁺와 H₂O의 적정 주입비율은 1mol : 1mol로 반응할 때 최적의 효과를 낸다는 논문^{12,13)}을 참고하여 결정하였다. 본 실험에서 사용한 생물학적으로 처리한 염색폐수의 COD_{Mn}는 75 mg/L이었으며 이에 대한 Fenton 시약 주입량은 Fe²⁺은 84.9 mg/L, H₂O₂는 51 mg/L이었다.

Fenton 실험은 현장에서 적용하고 있는 Fenton 산화공정의 반응 시간 및 pH 조건을 적용하였다. 반응초기에 FeCl₂(Fe²⁺ 함량 16%)를 전량 주입하고 pH를 5.5로 조정하였고 12분에 H₂O₂(35%)를 전량 주입하고 pH를 3.5로 조정하였다. 마지막 29분에는 NaOH 수용액을 소량 투입하여 pH를 5.5로 조정한 후 철 성분을 효율적으로 침전시켰다. pH 조절용 시약으로는 H₂SO₄(97%, v/v)와 NaOH(5.0N)를 사용하였다. 시료와 Fenton 시약의 효율적인 반응을 위하여 Jar-tester를 이용하여 120rpm으로 교반하였다.

2.3.2. 등온흡착 실험

흡착실험에서는 흡착제와 흡착질 간의 최적 조건을 도출하기 위한 회분식 실험과 도출된 조건을 적

용한 등온흡착 실험을 수행하였다. 등온흡착 실험 결과는 흡착현상을 실험식으로 표현하는 Freundlich isotherm과 Langmuir isotherm을 이용하여 표현하였다.

본 연구 대상 시료인 염색폐수에 대한 최적 조건을 도출하기 위한 회분식 실험은 부피가 200mL인 일련의 삼각플라스크에 대상시료 100mL과 활성탄(0-20g)을 주입하고 교반속도를 150rpm으로 일정하게 유지하며 완전평형이 도달하는 120분까지 실험 상태를 유지하였다. 최종 평형 용액을 취하여 1.45 μm GF/C 필터(Whatman)로 여과하였고, 여액에 대해 COD_{Mn}과 Color를 측정하였다.

2.3.3. GAC Column 연속실험

활성탄 흡착탑을 이용한 연속 흡착실험은 활성탄을 칼럼에 충전 할 때 channeling 현상을 방지하기 위하여 칼럼 내부를 증류수로 어느 정도 채우고 활성탄을 충전하였다. 활성탄을 채우는 동안 활성탄을 가라앉히고 갇힌 공기방울을 방출시키기 위해서 주기적으로 칼럼을 흔들고 두드려 칼럼 내부에 공기가 갇히지 않도록 하였으며 활성탄의 부피가 팽창하여 외부로 유출되는 것을 방지하기 위하여 활성탄과 유출수 출구 사이에 1cm 정도의 간격을 두었다. 파과곡선은 연속 흡착실험하여 나타난 시간별 유출수의 농도를 이용하여 표현하였고, 파과시간은 목표수질을 선정하되 COD_{Mn}과 Color 중 한 항목이 목표수질보다 높은 농도로 유출되는 시점을 파과시간으로 결정하였다.

2.4. 분석방법

COD_{Mn}분석은 Reactor Digestion Method에 준하여 COD_{Mn} Vial을 COD reactor(Model 45600, HACH)에서 100°C에서 10분 동안 반응시킨 후 Spectro-

photometer(DR/4000, HACH)로 측정하였고, 색도는 ADMI Weighted Ordinate Method에 준하여 Spectrophotometer (DR/4000, HACH)로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 목표수질 만족 가능성 평가

배출수 목표수질을 만족시키기 위한 최종 처리방안으로 활성탄 흡착공정을 적용할 때, 본 연구에 적합하다고 판단된 흡착제 중 선정된 F-300 활성탄의 최종 목표수질 만족 가능성을 평가하기 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다.

생물학적 처리공정 배출수(Process A)와 이에 Fenton 산화 공정을 적용한 처리수(Process B)를 대상으로 활성탄의 주입량을 0-20g까지 변화시켜 실험한 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

두 가지 대상 시료에 활성탄의 주입량을 변화시켜 실험한 결과, 활성탄 투입량이 증가할수록 흡착면이 증가하여⁷⁾ COD_{Mn}, Color의 유발물질의 흡착능력이 증가하는 것으로 나타났으나 일정량 이상의 활성탄이 주입되어도 흡착효율이 더 이상 증가하지 않는 것으로 나타났다. 이는 활성탄의 미세다공에 물리적으로 흡착되는 COD_{Mn}, Color의 유발물질의 양이 한계가 있기 때문에 많은 양의 활성탄을 넣어도 흡착율이 더 이상 증가하지 않는 것으로 사료된다.

연구 결과 두 가지 대상 시료에 대한 F-300 활성탄의 최종 목표수질 COD_{Mn} 20mg/L와, Color 40 ADMI 만족 가능성을 확인하였으며, 일정량 이상의 활성탄이 주입되면 흡착효율이 더 이상 증가하지 않는 평형상태에 도달하는 것으로 나타났다.

3.2. 흡착실험 최적 조건 도출

활성탄과 대상 시료간의 최적 흡착조건을 찾기 위해 반응시간 및 반응온도를 변화시켜 실험을 수

행하였다.

200mL의 대상 시료에 목표수질을 달성하는데 소요되는 흡착제의 양을 주입하여 반응온도를 20°C, 30°C로 설정하여 실험하였으며 반응시간은 30분 단위로 변화시켜 최대 240분 동안 항온 진탕기에서 150rpm으로 수행하였다.

온도와 반응시간이 활성탄 흡착에 미치는 영향은 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3(a)는 생물학적 처리 후 유출수에 대한 활성탄 흡착결과이고 Fig. 3(b)는 생물학적 처리 유출수를 Fenton 시약으로 처리한 후의 유출수에 대한 흡착결과이다.

Fig. 3을 살펴보면 활성탄의 흡착은 초기단계에서 빠르게 진행되고 점차적으로 감소하는 것으로 나타났고 Color의 흡착효율은 두 가지 온도에서 거의 비슷하게 나타났으나 COD_{Mn}의 흡착효율은 20°C에서 다소 높게 나타났다. 흡착은 발열반응으로, 낮은 온도에서 더 효율적¹⁴⁾이므로 본 연구에서는 20°C를 최적 반응온도로 결정하였다. 활성탄과 대상시료 간의 최적 반응시간은 활성탄의 표면에 최대의 흡착이 일어나는 시간으로¹⁵⁾ 본 연구에서의 최대 흡착이 일어나는 시간은 120분인 것으로 나타났다. 생물학적 처리수와 Fenton 산화 공정 처리수의 COD_{Mn} 유발물질에 대한 활성탄 흡착과정은 점차적으로 평형시간에 도달하는 것으로 나타났으나, 두 대상 시료에 대한 Color 유발물질의 흡착과정은 생물학적 처리수에 비해 Fenton 처리수의 흡착이 빠르게 진행되는 것으로 나타났다. 이는 생물학적 처리 후 유출수에 포함되어 있는 Color 유발물질이 활성탄에 흡착되는 과정은 비교적 긴 접촉시간이 필요하기 때문인 것으로 사료된다. 반면, Fenton 산화공정 처리수에 포함되어 있는 Color 유발물질은 생물학적 처리수에 비하여 적은 양의 흡착되기 쉬운 물질로 존재하기

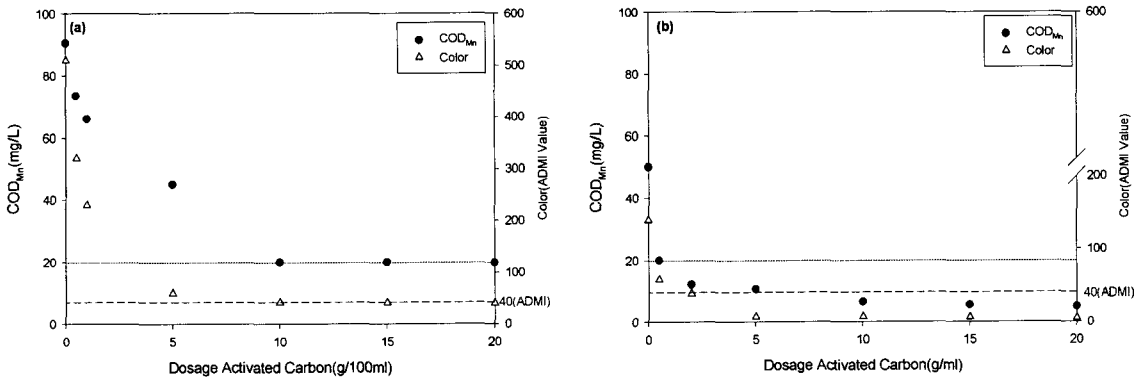


Fig. 2. Effect of GAC dosage on the adsorption of dyeing wastewater treated by biological process(a) and dyeing wastewater treated by Fenton oxidation process(b).

염색폐수의 전처리 방법에 따른 활성탄 흡착 처리효율에 관한 연구

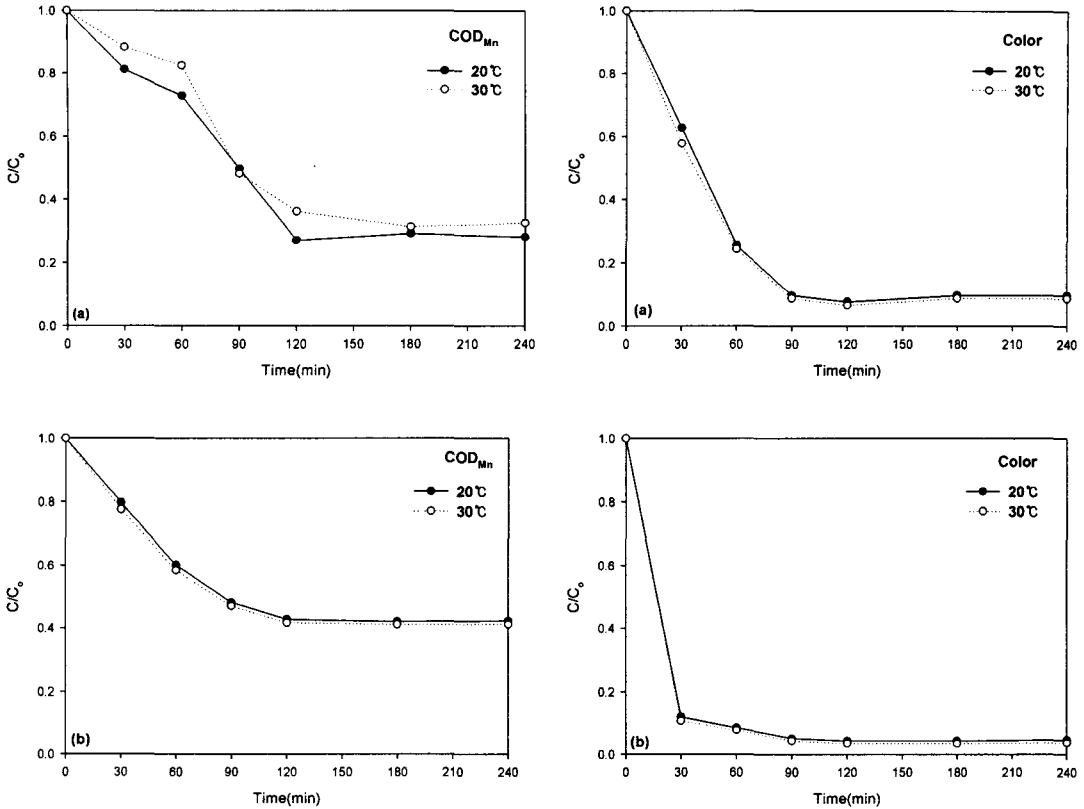


Fig. 3. The effect of contact time and temperature on the GAC adsorption of dyeing wastewater(a) treated by biological process and (b) treated by Fenton oxidation process.

때문에 빠른 시간 내에 흡착이 이루어진 것으로 판단된다.

3.3. 흡착 동역학

흡착과정의 controlling mechanism을 평가하고 실험결과와 모델에 의한 흡착능을 비교하기 위해 pseudo second-order model을 이용하여 실험 데이터를 분석하였다. Pseudo second-order model의 미분 방정식⁶⁾은 아래와 같다.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (1)$$

여기서 q_e 와 q_t 는 평형상태와 각 시간 t 에서의 흡착제의 단위 무게 당 흡착된 용질의 양을 나타내며 k 는 평형상태에서의 속도상수($\text{gmg}^{-1}\text{min}^{-1}$)를 나타낸다.

식(1)의 미분방정식을 적분하여 나타내면 식(2)와 같다.

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

위 식(2)를 재정리하여 나타내면 식(3)과 같이 선형의 형태로 표현된다.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (3)$$

3.4. 등온흡착실험

등온흡착실험은 일정온도에서 흡착제가 평형에 도달하였을 때 두 상간의 용질의 분배비로써 정의되며 분배비는 흡착제의 단위 무게당 흡착된 용질의 양(q_e)을 용액 상에 흡착되지 않고 남아있는 용액의 잔류평형농도의 함수로 표시한다¹⁶⁾.

본 실험에서는 생물학적 처리수와 Fenton 산화공정 처리수에 대하여 본 연구에서 도출된 최적의 반응온도인 20°C와 반응시간 120분을 적용하여 등온흡착실험을 수행하였다.

Freundlich isotherm equation은 식(4)와 같고 기본 식을 변형시킨 Linear model은 식(5)와 같다.

$$\frac{x}{m} = K C_e^{1/n} \quad (4)$$

$$\log\left(\frac{x}{m}\right) = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \quad (5)$$

식(4)에서 $\frac{x}{m}$ 는 단위질량의 흡착제에 흡착된 용질의 양(mg/g)이고 C_e (mg/L)는 흡착 후 대상 시료의 농도이며 K 와 n 은 모델 변수이다. 변수 K 와 n 은 변형시킨 Linear model의 직선과 기울기로부터 결정할 수 있다. 모델 변수 K 는 흡착 용량을 나타내며 $1/n$ 은 흡착의 강도를 나타낸다.

일반적으로 Langmuir isotherm equation은 식(6)으로 표현되나 모델 변수를 결정하기 위하여 Linear model인 식(7)을 적용한다.

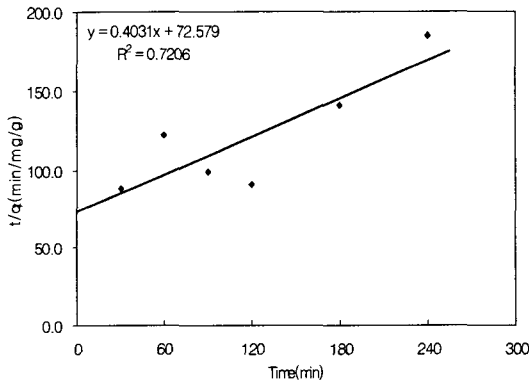
$$\frac{x}{m} = \frac{abC_e}{1 + bC_e} \quad (6)$$

$$\frac{1}{(x/m)} = \frac{1}{b} + \frac{1}{abC_e} \quad (7)$$

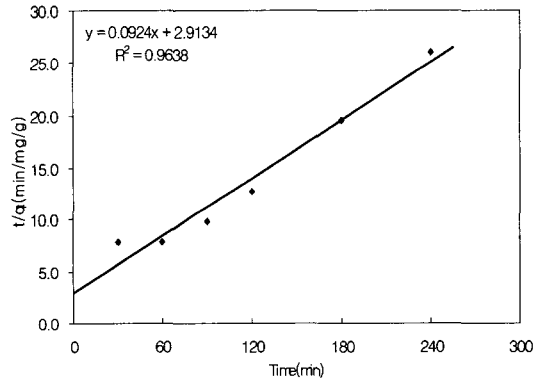
식 (6)에서 $\frac{x}{m}$ 는 단위질량의 흡착제에 흡착된 용질의 양(mg/g)이고 C_e (mg/L)는 흡착 후 대상 시료의 농도이며 a (l/mg)와 b (mg/g)는 모델 변수이다.

평형흡착실험으로부터 얻은 실험결과는 간편하게 사용 할 수 있도록 선형화한 Freundlich isotherm¹⁷⁾ 식(5)와 Langmuir isotherm^{6,15)} 식(7)을 이용하여 단위질량당 흡착된 물질의 양과 평형농도의 관계를 표현하였다. 두 가지의 등온흡착식 중 실험결과와 등온흡착식이 선형에 가장 가깝게 표현되는 등온흡착식을 선정하고 활성탄의 적합성과 흡착정도를 비교하였다. 등온흡착실험은 실험결과의 재현성을 위해 3회 실시하였으며 각각의 실험결과를 등온흡착식에 적용하여 실험 변수를 도출하였다. 각각의 실험으로부터 도출된 실험 변수는 평균값으로 제시하였다.

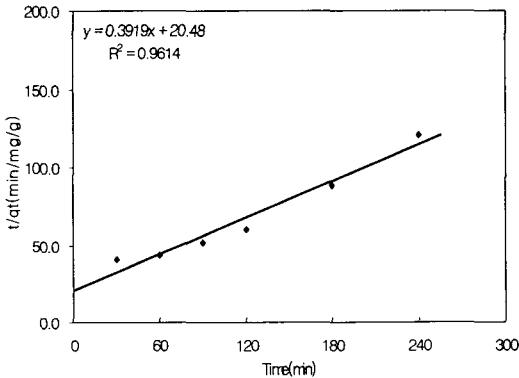
활성탄에 의한 등온흡착 실험 결과를 Fig. 5에 나



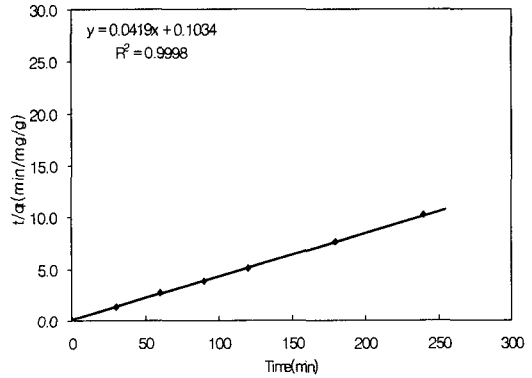
(a) COD_{Mn}



Color



(b) COD_{Mn}



Color

Fig. 4. Pseudo-second-order kinetics for adsorption of dyeing wastewater(a) treated by biological process and (b) treated by Fenton oxidation process on GAC carbon.

Table 3. Pseudo-second-order adsorption rate constants and the calculation and experimental q_e values for adsorption

Materials	Parameter	Organics (COD _{Mn})				Color			
		q_e (exp)	k_2	q_e (cal)	r^2	q_e (exp)	k_2	q_e (cal)	r^2
Wastewater treated by biological process		1.32	0.002	2.4	0.72	9.40	0.003	10.8	0.96
Wastewater treated by Fenton oxidation process		2.00	0.01	2.5	0.96	23.6	0.02	23.8	0.99

타내었다. 실험결과와 Freundlich isotherm과의 관계는 Fig. 4(a)에 나타내었으며 실험결과와 Langmuir isotherm과의 관계는 Fig. 4(b)에 나타내었다. 실험결과와 등온 흡착식 간의 회귀에 의한 절편과 기울기로부터 구한 흡착의 강도와 효율을 나타내는 모델 변수는 Table 3에 나타내었다.

등온흡착식을 적용한 결과 실험 결과가 여러 범위 농도에서 양호한 직선을 보여 두 종류의 등온흡착식의 적용이 가능한 것으로 나타났고 Langmuir isotherm의 R^2 값이 0.94로서 Freundlich isotherm의 R^2 값인 0.89보다 높게 도출되었다.

Freundlich isotherm의 상수를 이용하여 두 시료의 활성탄 흡착능을 평가하면 Process A(생물학적 처리수)의 상수 K는 0.068, 1/n은 0.71로 나타났고 Process B(Fenton 처리수)의 상수 K는 0.115, 1/n은 0.55로 나타나 Process B가 Process A에 비해 흡착의 강도가 크고 흡착으로 제거되는 양이 많은 것으로 나타났다.

로 나타났다.

3.5. GAC Column 실험

실제 현장 설계 시 효과적이고 경제적인 평가기준으로 적용하기 위하여 입상활성탄 흡착 컬럼 실험을 수행한 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

생물학적 처리 후 유출수(Process A)에 대한 활성탄 연속흡착 결과는 Fig. 5(a)에 나타내었고 Fenton 처리 후의 유출수(Process B)에 대한 활성탄 연속흡착 결과는 Fig. 5(b)에 나타내었다. 본 연구의 과파시간은 목표수질 기준으로 결정하되 COD_{Mn}과 Color 중 한 항목이 수질기준 보다 높은 농도로 유출되는 시점으로 설정하였다.

Process A는 연속 흡착실험을 시작한 후 목표수질인 COD_{Mn}; 20mg/L, Color; 40ADMI에 도달하는 시간은 COD_{Mn} 기준으로는 약 20일이었고 Color 기준으로는 15일로 나타났다. Process B는 활성탄

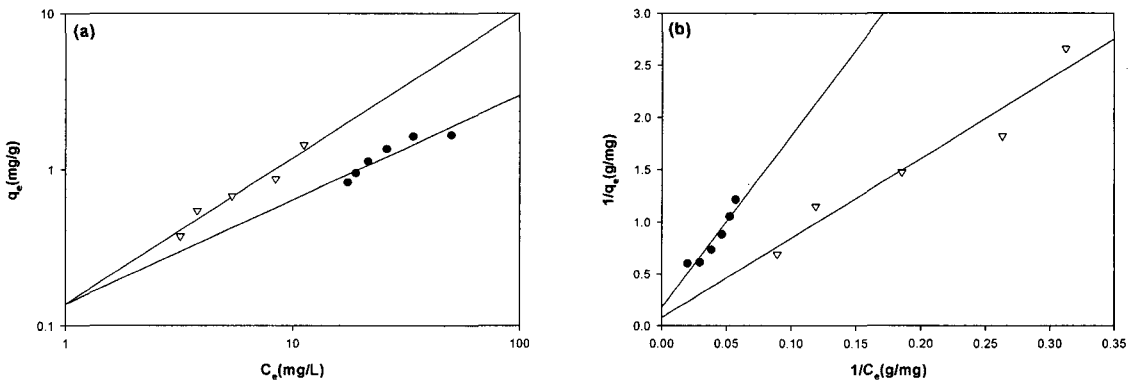


Fig. 5. Freundlich isotherm (a) for the dyeing wastewater treated by biological process and Langmuir isotherm (b) for the dyeing wastewater treated by Fenton oxidation process on GAC. (∇ dyeing wastewater treated by biological process, \bullet dyeing wastewater treated by Fenton oxidation process)

Table 4. Freundlich and Langmuir isotherm constants

Materials	Parameter	Freundlich isotherm			Langmuir isotherm		
		K	1/n	r^2	a	b	r^2
Wastewater treated by biological process		0.068	0.71	0.89	1.234	0.028	0.94
Wastewater treated by Fenton oxidation process		0.115	0.55	0.92	1.332	0.039	0.94

Table 5. Treatment expenditure per cubic meters of wastewater

Items \ Materials	Wastewater treated by biological process	Wastewater treated by Fenton oxidation process
Total expenditure (₩/m ³)	82,000₩/m ³	41,250₩/m ³
GAC	$5.6\text{kg}/0.684\text{m}^3 \times 250,000\text{₩}/25\text{kg} = 82,000\text{₩}/\text{m}^3$	$5.6\text{kg}/1.368\text{m}^3 \times 250,000\text{₩}/25\text{kg} = 41,000\text{₩}/\text{m}^3$
Chemicals	-	Fe ²⁺ = 91₩/m ³ H ₂ O ₂ = 157₩/m ³

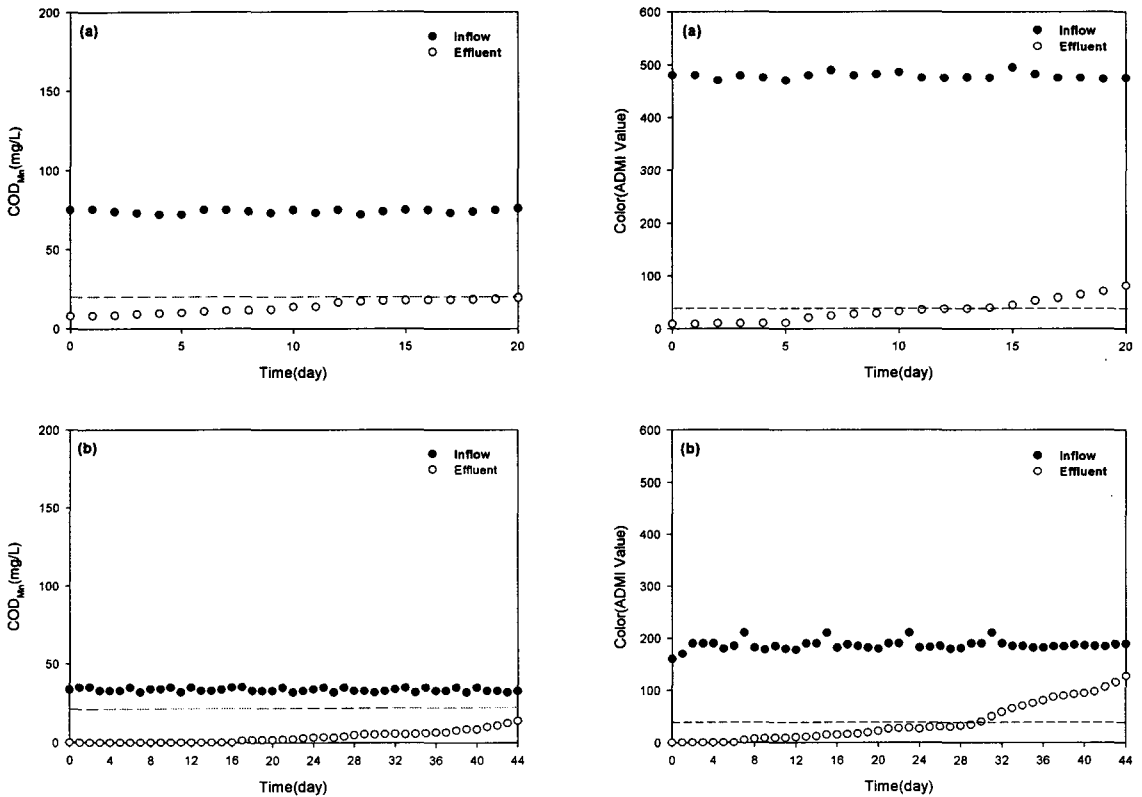


Fig. 6. Breakthrough curves of COD_{Mn} and Color in Process A(a) and Process B(b).
(The symbols are notified as solid circles for wastewater and open circles for the effluent from activated carbon column.)

흡착조의 파과점 농도 도달 시간이 COD_{Mn}은 44일 이상 이었고 Color는 30일에 파과점 농도에 도달하여 Process A의 처리 결과보다 COD_{Mn}은 약 24일 이상, Color는 20일이 더 늦게 나타났으며 연속활성탄 흡착실험의 파과점은 유출수의 Color에 의하여 결정되는 것으로 나타났다.

본 실험에서 사용된 활성탄 양과 하루 처리량, 활성탄 가격 등을 고려하여 파과점으로부터 m³ 당 소요되는 처리비는 고정상 처리수 약 82,000원/m³, 펜

톤처리수는 41,250원/m³으로 산정되었으며 이 결과를 Table 5에 나타내었다.

4. 결 론

강화된 목표수질을 달성하기 위하여 생물학적 처리수와 Fenton 산화공정 처리수의 최종 처리방법으로 활성탄 흡착공정을 적용한 결과는 다음과 같다.

1) 흡착실험을 통한 최종 목표수질 만족 가능성 평가결과 F-300의 활성탄으로 생물학적 처리수와

Fenton 산화공정 처리수에 대한 최종목표수질 만족 가능성을 확인하였다.

2) 회분식 등온흡착실험 결과 생물학적 처리수와 Fenton 산화공정 처리수의 COD_{Mn}과 Color 유발물질은 20°C, 120분에서 효율적으로 흡착되었다.

3) 두 종류의 등온흡착식 적용결과 여러 평형농도 범위에서 양호한 직선을 보여 흡착결과를 표현하는데 적합하였고 Process A(생물학적 처리수)의 Freundlich isotherm 상수 k는 0.068, 1/n은 0.71, Langmuir isotherm 상수 a는 1.234, b는 0.028로 나타났고 Process B(Fenton 처리수)의 Freundlich isotherm 상수 k는 0.115, 1/n은 0.55, Langmuir isotherm 상수 a는 1.332, b는 0.039로 Process B의 상수가 Process A보다 높게 도출되어 Process가 흡착이 용이한 것으로 나타났다.

4) GAC column을 이용한 연속흡착실험결과 목표수질(COD_{Mn} 20mg/L, Color 40 ADMI)까지 흡착 처리할 때 소요되는 파과시간은 Color에 의하여 결정되었으며 Process A에서는 15일, Process B에서는 약 30일인 것으로 나타났다. 처리 비용만으로 판단하면, Process B가 처리 비용이 더 저렴하지만, 선진국 처리수 수준으로 판단하면, Process A만으로는 처리수 기준을 만족할 수 없다.

5) 생물학적 처리 방법인 미생물 고정화 담체를 충전한 처리 방법만으로 최종 목표 수질을 달성하기 어려워 생물학적 처리 후 펜톤 산화공정과 활성탄 흡착을 이용하여 처리한 결과 최종 목표수질(COD_{Mn} : 20mg/L, Color: 40ADMI)을 달성할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 상명대학교 교내연구비 지원에 의하여 수행되었기에 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- 1) 이범훈, 정재윤, 2002, 분산염료 염색 폐수의 처리와 재사용, 한국섬유학회지, 39(6), 731-736.
- 2) Kim, T. H., C. H. Park, J. M. Yang and Y. Kim, 2004, Comparison of disperse and reactive dye removals by chemical coagulation and Fenton oxidation, Journal of Hazardous Materials, B112, 95-103.
- 3) 김홍태, 김규창, 1999, 염색폐수 처리성능에 대한 호기성 고정 및 유동층 생물막공법과 회전매체를 가진 완전혼합 활성슬러지 공법의 비교연구, 한국환경과학회지, 8(4), 525-532.
- 4) 조일형, 박재홍, 김영규, 이홍근, 2003, 반응표면

분석법을 이용한 염색폐수의 광촉매 산화처리 조건의 최적화, 한국물환경학회지, 19(3), 257-270.

- 5) 오동규, 윤태일, 1991, Fenton's Reagent를 이용한 염색폐수의 처리, 대한환경공학회지, 13(2), 123-129.
- 6) Malik, P. K., 2004, Dye removal from wastewater using activated carbon developed from sawdust: adsorption equilibrium and kinetics, Journal of Hazardous Materials, B113, 81-88.
- 7) Feride, N. A., F. Kar and N. Arslan, 2005, Adsorption of dark coloured compounds from peach pulp by using granular activated carbon, Journal of Food Engineering, 68, 409-417.
- 8) Lin, S. H., M. L. Chen, 1997, Purification of textile wastewater effluents by a combined Fenton process and ion exchange, Desalination, 109, 121-130.
- 9) Liljana, M., V. Meshko and V. Noveski, 2001, Adsorption of basic dyes in a fixed bed column, Korean. J. Chem. Eng., 18(2), 190-195.
- 10) 김선희, 2005, 고도산화와 활성탄을 이용한 염색폐수의 최적처리에 관한 연구, 상명대학교 석사학위논문, 40-41.
- 11) 배우근, 이상호, 원호식, 2005, 반월공단 난분해성 염색폐수의 화학적/생물학적 처리공정 기술 개발 최종 보고서, 안산환경기술개발센터, 231-239.
- 12) 이상호, 문혜진, 김유미, 2003, Fenton 산화 방법에 따른 염색폐수 처리 효율 향상에 관한 연구, 대한환경공학회지, 25(1), 87-93.
- 13) 고광범, 2004, 펜톤산화를 이용한 난분해성 염색폐수의 처리에서 산화반응과 응집반응의 기여도 평가, 한양대학교 박사학위 논문, 97-99.
- 14) Weber, W. J. Jr., 1972, Chapter 5, Adsorption in Physicochemical Processes for Water Quality Control, John Wiley and Sons, 199-259.
- 15) Montra, C., S. Rattanaphani, J. B. Bremner and V. Rattanaphani, 2005, An adsorption and kinetic study of lac dyeing on silk, Dyes and Pigments, 64, 231-241.
- 16) 권성현, 강원석, 김인실, 박관욱, 운영삼, 정옥옥, 1997, 수용액에서 입상활성탄에 의한 페놀류의 제거, 한국환경과학회지, 7(4), 541-548.
- 17) 이종집, 유용호, 2002, 활성탄 고정층에 대한 Tharonil의 흡착특성에 관한 연구, 산업안전학회지, 17(1), 54-60.