

# 키토산과 활성탄이 혼합된 CAC 비드를 이용한 유기물과 무기물의 흡착

김미희 · 허준섭 · 김태영 · 문 희<sup>\*†</sup> · 양재호

전남대학교 화학공학과, \*응용화학부  
(2001년 8월 20일 접수, 2001년 11월 3일 채택)

## The Adsorption of Organic and Inorganic Compounds Using the CAC Beads Combined with Chitosan and Activated Carbon

Mi Hee Kim, Jun Sub Hur, Tae Young Kim, Hee Moon<sup>\*†</sup> and Jai Ho Yang

Department of Chemical Engineering, \*Faculty of Applied Chemistry, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea  
(Received 20 August 2001; accepted 3 November 2001)

### 요 약

평균분자량이  $4.5 \times 10^5$ , 탈아세틸화도가 91%인 키토산과 PAC(powder activated-carbon)를 혼합하여 이를 2 wt% 초산수용액에 용해시킨 후 CAC(mixed chitosan with powder activated-carbon) Beads를 제조하였다. 유기물과 무기물을 동시에 제거하기 위하여 CAC Beads의 흡착 효율에 대하여 조사하였다. CAC Beads에 의한 구리와 페놀의 흡착평형은 Sips식으로 잘 묘사할 수 있었으며, Beads 내부에서의 확산과정은 세공확산모델로 설명할 수 있었다. 결과적으로, CAC Beads는 폐수로부터 유기물과 무기물을 동시에 제거할 수 있는 새로운 흡착제로 사용될 수 있을 것이다.

**Abstract** – Simultaneous adsorption of phenol and copper ions on CAC beads were investigated. The chitosan solution was prepared by dissolving chitosan power and PAC into 2 wt% aqueous acetic acid solution. Then CAC beads were made by this chitosan solution. The average molecular weight and the degree of deacetylation of the chitosan used here were determined to be  $4.5 \times 10^5$  and 91%, respectively. Adsorption equilibrium of copper ions and phenol on CAC beads could be represented by Sips equation. The diffusion mechanism could be explained by pore diffusion model. Consequently, CAC beads could be used as a adsorbent for simultaneous removal and separation of phenol and copper ions from aqueous effluents.

Key words: Chitosan, CAC(Mixed Chitosan with Activated-Carbon) Beads, Deacetylation, Adsorption

### 1. 서 론

물은 모든 생명체의 근원이며, 생존을 위한 필수적인 자원으로 물 없이는 어떤 동식물도 생존을 유지할 수 없다. 그러나, 현재 배출되고 있는 오염물은 자연계 스스로의 자정 한계를 넘어 인간과 동·식물의 생존 자체를 위협하고 있는 실정이다. 이런 영향으로 오염된 환경을 정화하기 위한 인간의 노력이 계속되고 있다[1]. 환경오염은 크게 대기오염, 토양오염, 수질오염으로 나눌 수 있으며, 그 중 수질오염은 공장폐수와 생활하수가 그 주범이 되고 있다. 폐수처리의 한 방법으로 소개된 흡착 기술은 다른 방법과 마찬가지로 여러 방면에서 다양하게 이용되고 있으며 흡착능이 우수한 흡착제를 개발하고 발전시키기 위한 노력이 계속 진행되고 있다[2].

수질오염을 일으키는 독성물질은 크게 중금속과 유기염소계 화합물로 나눌 수 있다. 수은, 구리, 납, 카드뮴, 코발트, 망간, 아연 등과 같은 중금속은 소량으로도 인체에 독성을 나타내며, 분해되지 않아 심각한 환경문제를 일으킨다. 특히 이들 중금속 중 구리, 코발트, 아연, 카드뮴

등은 널리 이용되고 있어 2차적 환경오염이 크게 우려되는 물질이다. 따라서 이러한 독성 금속이온을 제거하기 위해 수많은 기술들이 개발되어 왔으며, 폐수중의 중금속 이온을 회수할 수 있는 새로운 흡착제를 이용한 분리기술이 필요하다.

페놀은 특유한 냄새를 갖는 무색의 결정으로 페놀수지와 나일론 등 섬유를 제조하는데 원료로 사용되며, 살균력이 좋기 때문에 병원에서 소독제로 널리 사용되고 있다. 페놀이 수중에 1 mg/l 이상 함유되어 있으면 특이한 맛과 냄새를 유발하며, 특히 염소와 반응하여 염화 페놀류가 생성되어 매우 심각한 악취를 유발한다. 또한 매우 강한 독성을 가지고 있으며 이 중에서 trichlorophenol은 발암성 물질인 것으로 알려져 있다. 상수원수가 페놀로 오염되어 있으면 정수과정에서 염소소독에 의해 염화페놀류가 생성되며 chlorophenol이 1 µg/l 이상 함유된 수돗물은 특이한 악취와 맛을 나타내므로 음용할 수 없다[4, 5].

자연계에 풍부하게 존재하는 키틴[poly(β-(1-4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucopyranose)]를 부분적으로 탈아세틸화한 키토산[poly(β-(1-4)-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose)]은 N-acetyl-D-glucosamine과 D-glucosamine의 임의의 형태인 공중합체이다. 키토산은 내알칼리성이 우수하여 친수성화나 소수성화가 용이하고 전이금속에 대한 흡착력이 뛰어나고, 여러 금속 이온과 킬레이트를 선택적으로 형성하여 친화력이 있어 폐수중의

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
E-mail: hmoon@chonnam.ac.kr

Table 1. Various isotherm models for single component

Isotherm	Equation	Parameters
Langmuir	$q = \frac{q_m bc}{1 + bc}$	$q_m, b$
Freundlich	$q = kc^{1/n}$	$k, n$
Sips	$q = \frac{q_m bc^{1/n}}{1 + bc^{1/n}}$	$q_m, b, n$

중금속 흡착 제거에 매우 효과가 높다. 반면에, 큰 비표면적을 가진 활성탄은 값이 싸고, 흡착능력이 뛰어나 각종 물질들의 흡착제나 탈취제 등으로 널리 사용되는데 중금속, 방사성 물질 및 단백질 등과 같은 물질의 흡착 능력에는 한계가 있다[6-10].

본 연구에서는 두 흡착제의 장점을 이용하여 폐액으로부터 동시에 유기물과 무기물을 제거하기 위해 활성탄의 비율에 따라 CAC Beads를 제조하였다. 이 CAC Beads를 사용해 구리와 폐놀에 대한 흡착등온 및 흡착속도 실험을 통하여 흡착특성을 조사하고 흡착공정에 대한 기초 자료를 얻고자 한다.

## 2. 이 론

### 2-1. 흡착등온선

단일성분의 흡착평형을 나타내는 흡착등온선은 일반적으로 Table 1에 나타낸 간단한 흡착등온선이 널리 사용되고 있다.  $q_m$ 은 단분자층을 형성하는 포화 흡착량을 나타내며  $b, k, n$ 은 흡착 파라미터들이다. Langmuir 등온식은 흡착표면의 에너지 분포가 비교적 균일한 비기능성 고분자 흡착제에 의한 흡착이 가장 적절하다고 보고되고 있으며, 반면에 활성탄과 같이 흡착표면의 에너지가 불균일하게 분포되었을 경우 Freundlich 등온식이 적합한 것으로 알려져 있다. Freundlich 등온식은 간단하고 편리하지만 폭넓은 농도 범위에서 항상 정확하지는 않다. Sips등온식은 Langmuir와 Freundlich식을 조합한 흡착등온식으로, 비교적 넓은 농도 범위에 걸쳐 흡착평형을 잘 예측할 수 있다.

### 2-2. 회분식 흡착

다공성 물질에 의한 흡착은 3단계, 즉 입자의부표면의 유체경막에서의 물질전달, 입자내부확산, 입자내부표면에서의 흡착 순으로 이루어진다. 위의 3단계 중에서 속도가 가장 느린 단계가 전체의 흡착속도를 지배하게 된다. 흡착제에 의한 물질의 분리과정은 입자내부에서의 확산과정이 율속단계가 되며 확산계수를 결정하는 방법에는 여러 가지 방법이 제시되고 있으나, 일반적으로 확산모델에 의해 제시된 농도곡선과 실험에 의해 구한 농도곡선을 비교하여 결정한다. 그러므로 확산계수는 흡착제가 갖는 고유한 확산계수라기보다는 여러 가지 요인 즉, 입자내부에서의 물질의 이동에 관여하는 세공확산, 표면확산 등 종합적인 영향을 나타내는 유효확산계수가 된다[11-13].

#### 2-2-1. 경막물질전달계수( $k_p$ )

흡착초기에는 입자내부의 저항이 무시될 수 있고, 표면에서의 농도가 거의 0에 가깝기 때문에 다음과 같은 물질수지식을 세워 물질전달계수( $k_p$ )를 구할 수 있다.

$$V \left( \frac{dC_b}{dt} \right) = -k_p a (C_b - C_s) = -k_p a C_b \quad (1)$$

$$C_b = C_{bo} \quad \text{at } t = 0 \quad (2)$$

여기서  $V$ 는 용액의 부피( $m^3$ ),  $a$ 는 흡착제의 표면적( $m^2$ )을 나타낸다. 위의 식의 해는 다음과 같다.

$$\ln \left( \frac{C_b}{C_{bo}} \right) = - \frac{k_p a}{V} \cdot t \quad (3)$$

식 (3)에서  $\ln(C_b/C_{bo})$  vs.  $t$ 를 plot하여 기울기로부터 물질전달계수( $k_p$ )를 구할 수 있다.

#### 2-2-2. 세공확산모델(Pore Diffusion Model)

세공확산모델은 세공내의 흡착 site에서 일어난다. 세공확산은 물질전달속도를 지배하며, 흡착 site의 에너지가 낮은 경우에만 표면확산이 흡착속도에 영향을 미친다. 흡착제의 입자는 구형이고 용액은 묽은 희박 용액일 때 구부평형이라는 가정 아래, 다음과 같은 흡착물질의 물질수지식을 구할 수 있다[14, 15].

$$\epsilon_p \frac{\partial C_p}{\partial t} + \rho_p \frac{\partial q}{\partial t} = \frac{\epsilon_p}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 D_p \frac{\partial C_p}{\partial r} \right) \quad (4)$$

$$k_f(C - C_s) = \epsilon_p D_p \frac{\partial C_p}{\partial t} \quad \text{at } r=R_p \quad (5)$$

$$\frac{\partial C_p}{\partial t} = 0 \quad \text{at } r=0 \quad (6)$$

$$C_p = C_{po}, \quad q = q_o \quad \text{at } t=0 \quad (7)$$

## 3. 실험재료 및 실험방법

### 3-1. 실험재료 및 기기

평균분자량이  $4.35 \times 10^5$ , 탈아세틸화도가 91%인 키토산을 jar mill을 이용해 1주일 이상 분쇄하여 키토산 분말을 만들었다. 이러한 키토산 분말을 체(sieve)를 사용해 200 mesh를 통과하여 실험 시료로 사용하였다. 또한 Calgon Co.의 F400 활성탄은 분쇄하여 200 mesh를 통과한 PAC(powder activated-carbon)를 이용하였다. 각 Beads 제조에 사용된 초산과 젤화제인 NaOH는 덕산제품의 1급 시약을 사용하였다. 피흡착제로 사용된 구리는 Orion Cat. No. 942906( $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ )이며 폐놀은 Aldrich Co.의 98%의 제품을 희석하여 사용하였다.

구리의 농도분석은 Orion Cat. No. 940011 ISA(ion strength adjuster)를 100:2의 비율로 혼합하여 ion meter를 이용하여 분석하였고, 폐놀수용액은 UV-visible spectrophotometer(Shimadzu, model UV-1601)를 이용하여 270 nm에서 측정하였다. 실험에 사용된 증류수는 Milli-Q RG로부터 얻어진 2차 증류수를 사용하였다.

### 3-2. 실험장치

실험에 사용된 장치를 Fig. 1에 도시하였다. 이중 원통형 실험장치를 사용하여 Carberry형 흡착조에서 내부에는 시료를 외부에는 항온수조를 연결하여 시료의 온도를 25 °C로 일정하게 유지시켰다.

### 3-3. 실험방법

#### 3-3-1. 흡착평형실험

CAC Beads에 대한 구리와 폐놀의 흡착등온식과 흡착효율을 알아보기 위하여 4개의 흡착제(Chitosan Beads, 활성탄, 0.5 wt% CAC Beads, 1.0 wt% CAC Beads)로 평형실험을 하였다. 300 ml 용량의 삼각플라스크에 구리와 폐놀의 초기농도가 1.57, 1.06 mol/ $m^3$ 인 용액 200 ml를 취하고 여기에 일정량의 흡착제를 넣은 후 항온(25 °C)이 유지되는 shaker(model K.M.C-8380S)에서 1주일간 교반한 후 용액중의 잔류 농도를 ISE와 UV로 분석하여 흡착평형량을 구하였다.

#### 3-3-2. 회분식 흡착실험

CAC Beads에 대한 구리와 폐놀의 흡착속도와 율속단계를 고찰하기 위해 회분식 흡착실험을 행하였다. 시료원액(구리, 폐놀 100 ppm, 500 ml)에 1.0 g/l의 흡착제를 넣은 후 실험하였다. 교반속도는 50, 200, 400, 500 rpm

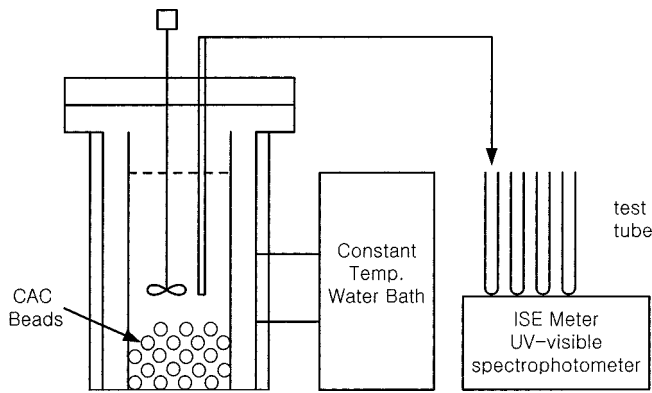


Fig. 1. Schematic diagram of experimental batch separator.

에 따라 구리와 페놀의 잔류농도를 ISE와 UV로 측정하였다. 농도측정은 약 7시간 전후까지 하였으며, 흡착초기에는 자주 그리고 흡착후기에는 긴 간격을 두고 측정하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4-1. 키토산 Beads 제조

3 wt% 키토산 Beads를 제조하기 위해 키토산 분말(15g)을 2 wt% 초산 수용액(485 ml)에 용해시켜 키토산 colloid용액을 준비하였다. Fig. 2는 syringe pump(Orion model 362)를 사용해서 충분히 교반되고 있는 2N NaOH 수용액에 위의 키토산 colloid용액을 떨어뜨려 질소 가스를 이용한 구형 키토산 Beads의 제조 방법을 보여주고 있다. 질소 가스의 유속에 따라 키토산 Beads의 크기가 달라지는데 여기서는 1 N<sub>2</sub> /min 유속으로 구형 키토산 Beads를 제조하였다. 키토산 Beads의 평균크기는 16-20 mesh의 체(sieve)를 통과한 평균직경 1.4 mm를 실험 시료로 사용하였다.

##### 4-2. CAC Beads제조

CAC Beads제조는 Fig. 3에 나타난 바와 같이, jar mill을 이용해 키토산과 활성탄(Calgon F-400)을 각각 분쇄한 후 체(sieve)를 사용해 200 mesh를 통과한 것을 실험 시료로 사용하였다. 키토산 분말(15g)에 비율을 달리한 PAC(7.5 g, 15 g)을 혼합한 후 2 wt% 초산수용액(477.5 ml, 470 ml)에 넣고 충분히 교반한 후 CAC colloid용액을 제조하였다. 이 CAC colloid용액을 주사기에 주입한 후 실린지 펌프를 사용해 충분히 교반되고 있는 겔화제인 2N NaOH에 적하하여 0.5 wt% CAC Beads와 1.0 wt% CAC Beads를 제조하였다. 이 CAC Beads를 pH가 중성이 될 때까지 증류수를 이용해 세척하였다.

Beads 내부에 많은 pore를 형성시키기 위해 95% 에탄올에 하루정도 교반한 후 증류수로 수회 세척한 뒤 물성치를 측정하기 위해 동결건조기(UNI-TRAP, model 10-100)로 건조시켰다. Table 2는 본 연구에 사용

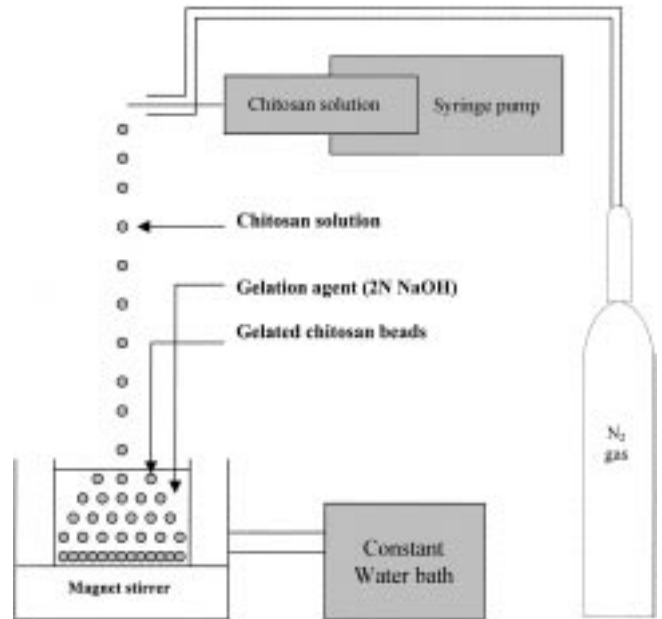


Fig. 2. Schematic diagram of Beads manufacturing process.

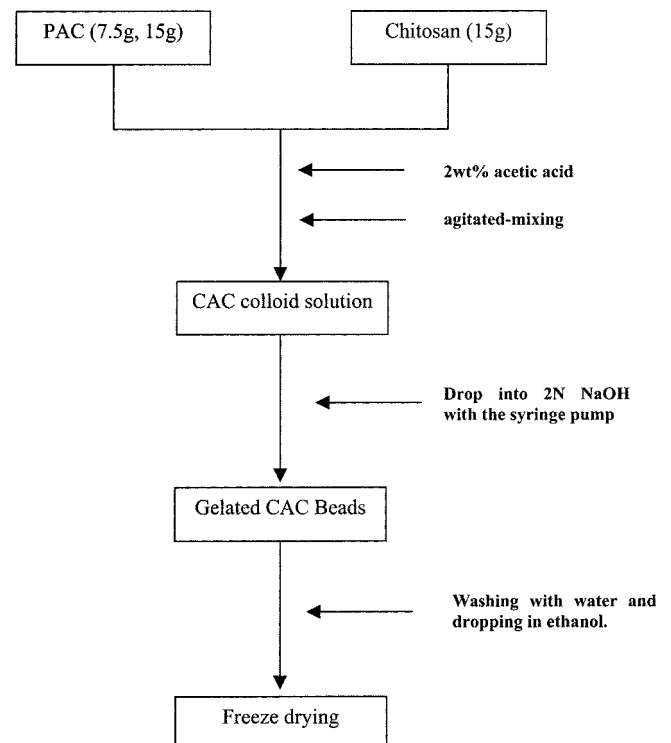


Fig. 3. Flow diagram of CAC Beads manufacturing.

Table 2. Physical properties of Chitosan Beads, Activated-carbon and CAC Beads

Property	Chitosan bead	Activated carbon	0.5 wt% CAC bead	1.0 wt% CAC bead
Trade name	Chitosan	Calgon F-400	-	-
Sieve no.	16-20 mesh	16-20 mesh	-	-
Mean diameter [mm]	1.4	1.4	2.92	2.92
BET surface area [m <sup>2</sup> /g]	258	1114	516	640
Porosity [%]	27.54	56.12	36.93	62.00
Pore radius [Å]	27.32	54.17	15.4	12.82
Pore volume [cm <sup>3</sup> /g]	0.352	3.017	0.397	0.396

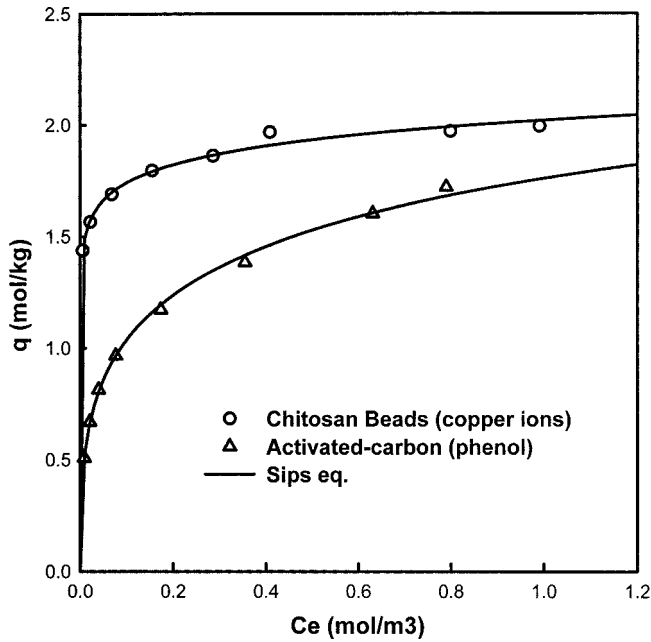


Fig. 4. Adsorption isotherm of copper ions and phenol on the other adsorbents.

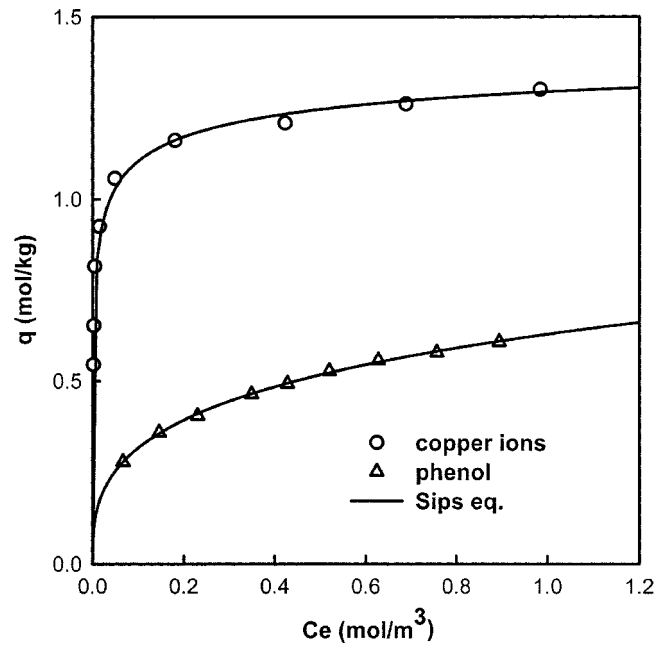


Fig. 5. Adsorption isotherm of copper ions and phenol on 0.5 wt% CAC Beads.

된 키토산 Beads, 활성탄(activated-carbon), CAC Beads의 특성을 나타내었다. 습윤 상태의 CAC Beads의 평균크기는 비드 50개를 버니어캘리퍼스로 측정하여 평균한 결과 2.92 mm였다.

#### 4.3. 흡착등온선

Fig. 4는 3 wt% 키토산 Beads와 활성탄에 의한 구리와 페놀의 단일성분에 대한 흡착평형 data를 이용하여 흡착등온식을 결정하였다. 흡착등온식의 파라미터들은 최소자승법으로 구하였으며, 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 이 흡착등온식은 구리와 페놀의 잔류농도와 키토산 Beads, 활성탄의 표면에서 농도가 평형에 도달하였을 때 흡착량과 용액의 농도사이의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 5는 0.5 wt% CAC Beads에 대한 구리와 페놀의 단일성분에 대한 흡착평형 data를 이용하여 흡착등온식을 결정하였다. 25 °C에서 실험으로부터 얻은 단일성분 흡착평형 결과를 Sips흡착등온식에 적용하여 구한 파라미터들을 Table 3에 정리하였다. Fig. 6과 7은 키토산에 대한 활성탄의 비율에 따라 구리와 페놀에 대한 흡착평형 data를 Sips eq.에 의해 나타낸 것이다. Fig. 6에서 보여주듯이 활성탄의 비율이 증가함에 따라 전이금속에 대한 높은 선택성을 나타내는 키토산의 유효아민함량( $-NH_2$ )이 감소하기 때문에 구리이온에 대한 흡착용량이 감소함을 알 수 있다. Fig. 7에서는 활성탄의 비율이 증가함에 따라 페놀에 대한 흡착량이 증가함을 알 수 있다. 왜냐하면 활성탄이 페놀에 대한 높은 선택성을 가지고 있기 때문에 Beads내에 존재하는 활성탄의 비율이 증가함에 따라 페놀의 흡착용량이 증가하는 것

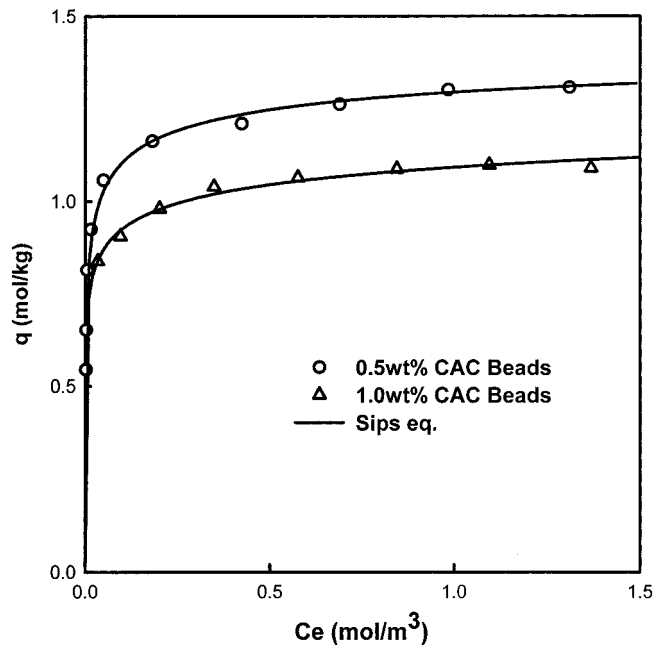


Fig. 6. Adsorption isotherm of copper ions on CAC Beads with ratio of powder activated-carbon at 25 °C.

Table 3. Adsorption equilibrium isotherms of copper ions and phenol on other adsorbents

Adsorbents	Adsorbates	Sips eq.			
		$q_m$	b	n	E(%)
Chitosan Beads	Copper ions	7.815	0.349	11.756	0.8253
Activated carbon	Phenol	3.647	0.933	2.695	1.0983
0.5 wt% CAC Beads	Copper ions	1.50	6.266	2.851	3.7283
0.5 wt% CAC Beads	Phenol	2.651	0.310	2.785	0.6045

$$E(\%) = \frac{100}{N} \sum_{k=1}^N \left( \frac{|q_{exp,k} - q_{calc,k}|}{q_{exp,k}} \right)$$

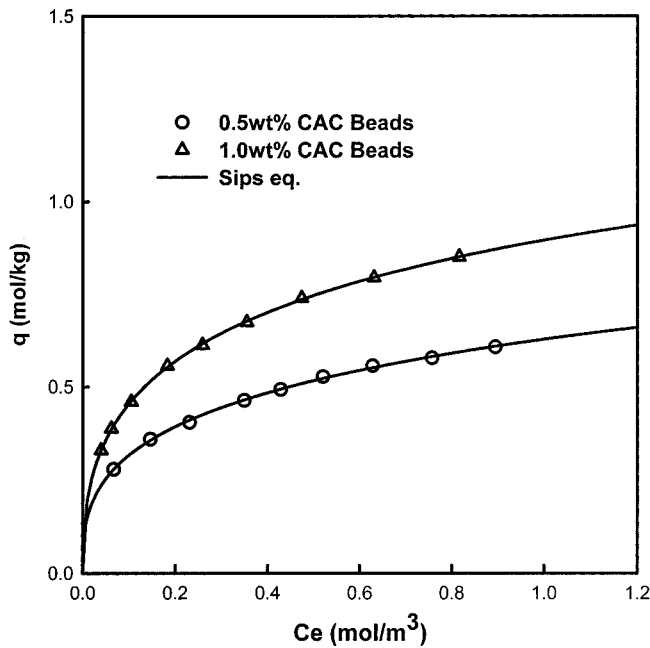


Fig. 7. Adsorption isotherm of phenol on CAC Beads with ratio of powder activated-carbon at 25 °C.

을 알 수 있으며, 그 결과를 Table 4에 나타내었다.

흡착등온식으로 보아 흡착은 매우 favourable하다고 볼 수 있으며, 세 종류의 흡착을 이용하여 구리이온에 대한 흡착용량은 Chitosan Beads >0.5 wt% CAC Beads >1.0 wt% CAC Beads 순이었으며, 반면에 페놀에 대한 흡착 용량은 Activated-carbon(F-400) >1.0 wt% CAC Beads >0.5 wt% CAC Beads였다. 이러한 결과들은 폐수중에 중금속과 유기물이 동시에 존재할 경우 유기물과 중금속의 농도에 따라 적절히 대처할 수 있는 새로운 흡착제로 사용 가능할 것이다.

#### 4.4. 회분식 흡착

일반적으로 흡착제 외벽에서 경막물질전달 저항은 확산저항에 비하여 무시될 수 있으나 정량적인 해석을 위하여는 그 크기를 결정하여야 할 필요가 있다. 회분식 흡착조 내에서 입자-용액간 물질전달계수를 구할 수 있는 상관식은 문헌에 다수 제시되어 있다[16]. 본 연구에서는 흡착개시 후 확산에 대한 저항이 적은 300초 이내의 초기 농도 변화로부터 위의 식 (3)을 이용하여 물질전달계수  $k_f$ 를 구하였다[17]. 위의 식 (4)의 세공확산모델과 물질전달계수를 이용하여 회분식 실험의 이론치를 구하고 이 결과를 실험치와 비교하였다. Fig. 8은 3 wt% 키토산 Beads와 활성탄을 이용하여 구리이온과 페놀에 대한 회분식 흡착실험결과이다. 세공확산모델을 이용하여 구한 이론치와 비교한 그림으로 실험치와 이론치의 평균편차가 2%이내로 잘 일치함을 보여 주고 있다. 또한 본 연구에서는 위의 세공확산모델에 대한 이론치와 실험치를 이용하여 유

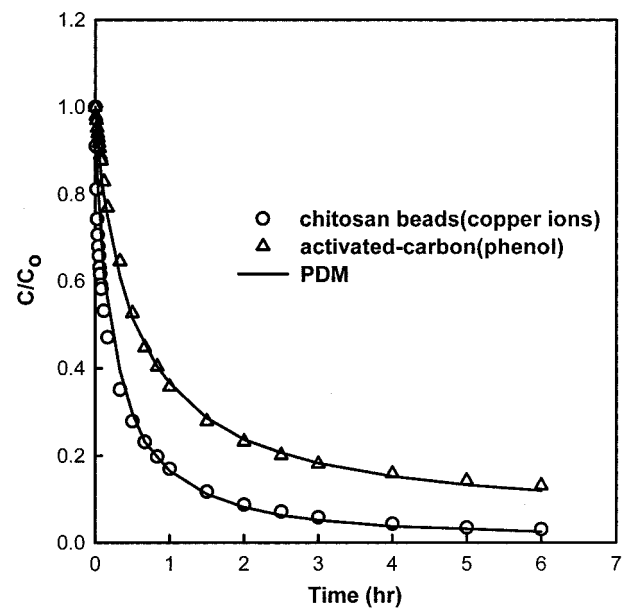


Fig. 8. Single component batch adsorption of copper ions and phenol on the other adsorbents.

Table 5. Effective diffusion coefficient and film mass transfer coefficient estimated for other adsorbents(RPM=400)

Adsorbents	Adsorbates	$k_f \times 10^4$ [m/s]	$D_p \times 10^8$ [m²/s]
Chitosan Beads	Copper ion	16.3	6.67
Activated-carbon	Phenol	0.92	0.47
0.5 wt% CAC Beads	Copper ion	3.48	1.48
0.5 wt% CAC Beads	Phenol	1.69	1.27

효확산계수를 구하였으며, 그 결과를 Table 5에 도시하였다. Table 5에서 보듯이 키토산 Beads와 활성탄을 이용한 구리이온과 페놀의 흡착은 세공확산이 이루어지고 있으나 이 값은 물질전달계수의 값과 비교하여 매우 작은 값이기 때문에 입자 내부의 확산이 전체 흡착 공정의 율속단계인 것으로 생각된다. Fig. 9는 0.5 wt% CAC Beads를 이용하여 구리와 페놀에 대한 실험결과이다. 그림에서 보듯이 구리이온에 대한 초기 흡착속도가 페놀보다 빠르게 진행되고 있음을 알 수 있었다. 이는 키토산은 중금속에 비하여 유기물에 대한 흡착용량이 작고, 반면에 활성탄은 중금속에 비해 유기물에 대한 흡착 용량이 크기 때문에 이런 결과가 나왔다.

Fig. 10은 회분식 실험을 행할 때 중요한 요소인 교반기의 교반속도의 변화에 따른 경막물질전달계수의 영향을 고려한 것이다[18]. 일반적으로 약 500 rpm 이상이면 물질전달 저항에 있어 충분한 속도이지만 본 연구에서는 그림에서 보듯이 0.5 wt% CAC Beads에 대한 흡착속도 실

Table 4. Adsorption equilibrium isotherms of copper ions and phenol with ratio of powder activated-carbon

Adsorbents	Adsorbates	Sips eq.			
		$q_m$	b	n	E(%)
0.5 wt% CAC Beads	Copper ions	1.500	6.266	2.851	3.728
1.0 wt% CAC Beads	Copper ions	1.281	5.680	3.003	0.945
0.5 wt% CAC Beads	Phenol	2.651	0.310	2.785	0.605
1.0 wt% CAC Beads	Phenol	2.222	0.677	2.380	0.366

$$E(\%) = \frac{100}{N} \sum_{k=1}^{\infty} \left( \frac{q_{exp,k} - q_{cal,k}}{q_{exp,k}} \right)$$

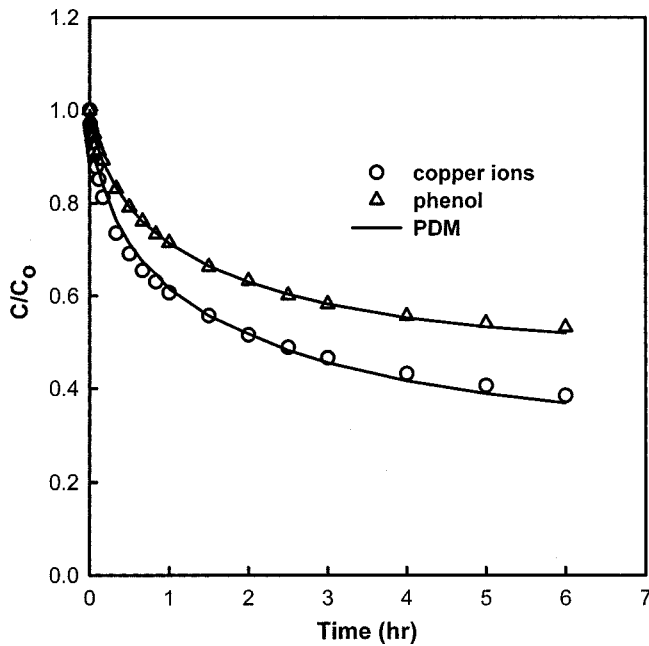


Fig. 9. Single component batch adsorption of copper ions and phenol on 0.5 wt% CAC Beads.

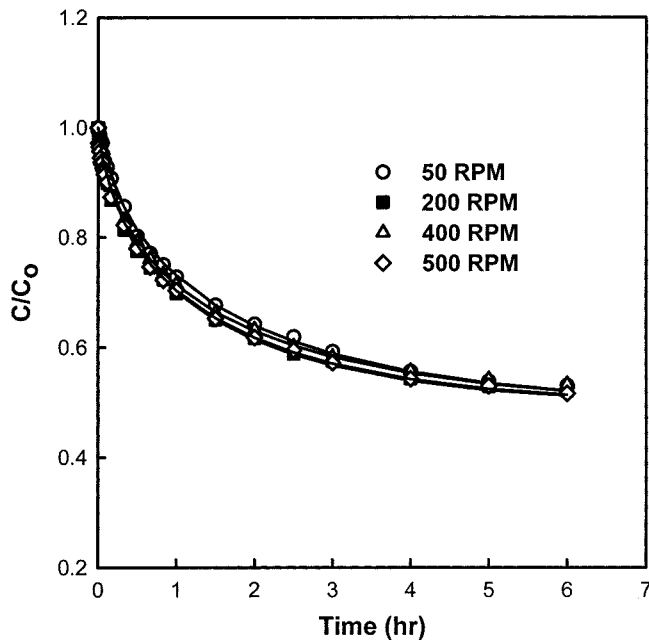


Fig. 10. Effective of RPM on batch adsorption of phenol on 0.5 wt% CAC Beads at 25 °C ( $C_0=1.06 \text{ mol/m}^3$ ).

험은 교반속도에 많은 영향을 받지 않으며 200 rpm 이상이면 흡착속도는 거의 일정하다는 것을 실험적으로 확인할 수 있었다[19-20]. 그 결과를 Table 6에 정리하였다.

## 5. 결 론

Jar mill을 이용해 활성탄(Calgon F-400)과 키토산을 분쇄한 후 키토산(15 g)과 PAC(7.5 g, 15 g)를 넣고 혼합한 후 2 wt% 초산수용액에 용해시켜 각각 0.5 wt%, 1.0 wt% CAC Beads를 제조하였다. 단일성분의

Table 6. Effective diffusion coefficient and film mass transfer coefficient estimated for phenol in terms of RPM

Weight of 0.5 wt% CAC Beads $\times 10^4$ [kg]	RPM	$k_f \times 10^4$ [m/s]	$D_p \times 10^8$ [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]
5.0	50	1.03	1.36
	200	1.54	1.54
	400	1.69	1.27
	500	1.61	1.47

구리와 페놀에 대한 흡착등온식은 Sips식으로 잘 묘사할 수 있었으며, CAC Beads에 대한 구리의 흡착 친화도가 페놀보다 더 큼을 알 수 있다. 교반속도의 변화에 따른 CAC Beads의 페놀에 대한 경막물질전달 계수(film mass transfer)의 영향에서 교반속도에는 큰 영향이 없고 물질 전달계수의 값이 ( $1.03\text{--}1.61 \times 10^{-4}$ )로 거의 일정함을 알 수 있다. CAC Beads를 이용하여 페놀에 대한 회분식 실험결과와 세공확산모델을 이용하여 얻은 이론치가 잘 일치함을 알 수 있다. CAC Beads에 대한 구리와 페놀의 흡착평형과 회분식 실험결과로부터, CAC Beads는 키토산과 활성탄의 비율에 따라 폐수로부터 유기물과 무기물을 동시에 제거할 수 있는 새로운 흡착제로 생각된다.

## 사용기호

- a : surface area of sorbent particle [ $\text{m}^2$ ]
- b : adsorption parameter
- CAC : mixed chitosan with activated-carbon
- $C_b$  : concentration on the fluid phase [ $\text{mol/m}^3$ ]
- $C_{b0}$  : initial concentration in the fluid phase [ $\text{mol/m}^3$ ]
- $D_p$  : effective pore diffusion coefficient [ $\text{m}^2/\text{sec}$ ]
- $D_s$  : effective surface diffusion coefficient [ $\text{m}^2/\text{sec}$ ]
- k : Freundlich constant
- $k_f$  : film mass transfer coefficient [ $\text{m/sec}$ ]
- n : Freundlich constant
- $q_m$  : amount adsorbed for monolayer [ $\text{mol/kg}$ ]
- t : time, sec or [hr]

## 참고문헌

1. Park, W. H.: "Challenges in Chemical Engineering of Korea," Seoul, 132(1997).
2. Ruthven, D. M.: "Principle of Adsorption and Process," Wiley-Interscience(1994).
3. Do, G. S. and Kim, Y. W.: "Water Treatment Process and Application," Dong Hwa Technology Publishing Co., Seoul(1984).
4. Registry of toxic effect of chemical substances, Toxiline on Silver Platter(1994).
5. 국립환경연구원, 유기염소계용제의 환경오염도 조사(1991).
6. Roberts, G. A. F.: "Chitin Chemistry," Macmillan Press LTD, London, 1(1992).
7. Mi, F. L., Shyu, S. S., Lee, S. T. and Wong, T. B.: *J. Polym. Sci.*, **37**, 1551(1999).
8. Roberts, G. L. and Hsien, T. Y.: *Ind. Eng. Chem. Res.*, 32(1993).
9. Park, P. W., Yun, Y. S., Kweon, O. S., Cho, T. J. and Jeong, Y. O.: *HWAHAK KONGHAK*, **32**, 103(1994).
10. Park, P. W., Kim, I. S., Cho, T. J. and Jeong, Y. O.: *HWAHAK KONG-*

- HAK, **30**, 594(1992).
11. Goto, M., Hayashi, N. and Goto, S.: *Environ. Sci. Technol.*, **20**(5), 463(1986).
  12. Ho, Y. S. and McKay, G.: *Trans. Inst. ChemEng.*, **76B**, 332(1998).
  13. Weber, W. J. Jr. and Smith, E. H.: *Environ. Sci. Technol.*, **21**(11), 1040(1987).
  14. Yun, Y. S., Kweon, S. H., Byun, Y. S., Kim, I. S., Park, P. W. and Jeong, Y. O.: *HWAHAK KONGHAK*, **35**, 705(1997).
  15. Crittenden, J. C., Sontheimer, H. and Summer, R. S.: "Activated Carbon for Water Treatment," 2nd Eds., DVGW-Forschungsstelle Engler-Bunte-Institute University Karlsruhe, 362(1988).
  16. Misic, D. M., Sudo, Y., Suzuki, M. and Kawazoe, K.: *J. Chem. Engng Japan*, **15**, 67(1982).
  17. Peel, R. G., Benedek, A. and Crowe, C. M.: *AIChE J.*, **27**, 26(1981).
  18. Weber, W. J. Jr. and Pirbazari, M.: "Treatment of Water by Granular Activated Carbon, Advances in Chemistry Series 202," Amer. Chem. Soc., Washington, D.C.(1983).
  19. Kim, T. Y.: "Preparation of Porous Chitosan Beads and Adsorption of Heavy Metal Ions,"(1999).
  20. Teshima, H. and Ohashi, Y.: *J. Chem. Eng. Japan*, **10**, 70(1977).