

## Sargassum horneri를 이용한 Pb<sup>2+</sup> 및 Cr<sup>3+</sup> 생체흡착

서근학·안갑환·조문철  
부경대학교 화학공학과·지산대학 환경공학과  
(1999년 3월 10일 접수)

### Biosorption of Pb<sup>2+</sup> and Cr<sup>3+</sup> by using *Sargassum hornei*

Kuen-Hack Suh, Kab-Hwan Ahn, and Moon-Chul Cho  
Dept. of Chemical Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea  
Dept. of Environmental Engineering, Jisan College, Pusan 607-323, Korea  
(Manuscript received 10 March, 1999)

Pb<sup>2+</sup> and Cr<sup>3+</sup> uptake capacity by *Sargassum horneri* was 185.5 mg Pb<sup>2+</sup>/g biomass and 102.6 mg Cr<sup>3+</sup>/g biomass, respectively. An adsorption equilibria were reached within about 0.5 hr for Pb<sup>2+</sup> and 1 hr for Cr<sup>3+</sup>. The adsorption parameters for Pb<sup>2+</sup> and Cr<sup>3+</sup> were determined according to Langmuir and Freundlich model. With an increase in pH values of 2 to 5, Pb<sup>2+</sup> uptake was increased, however Cr<sup>3+</sup> uptake was constant. The selectivity of mixture solution showed the uptake order of Pb<sup>2+</sup>>Cu<sup>2+</sup>>Cr<sup>3+</sup>>Cd<sup>2+</sup>. Pb<sup>2+</sup> and Cr<sup>3+</sup> adsorbed by *S. horneri* could be recovered from 0.1M HCl, 0.1M HNO<sub>3</sub> and 0.1M EDTA by desorption process, and the efficiency of Pb<sup>2+</sup> desorption was above 98%, whereas the efficiency of Cr<sup>3+</sup> desorption was below 34%.

Key words : biosorption, *Sargassum horneri*, heavy metal, selectivity

#### 1. 서론

자동차용 납축전지, 페인트, 인쇄 잉크 및 플라스틱의 착색 등에 사용되는 Pb와 촉매 공업, 금속의 도금 및 합금에 주로 사용되는 Cr은 인체에 매우 유해한 중금속들로서, 수계에 배출될 경우 환경을 파괴하고 결국은 생물학적 순환에 의하여 인체에 치명적인 영향을 미치는 등 사회적 문제가 되고 있다.<sup>1)</sup> 따라서 각종 산업체에서 발생하는 중금속 함유 폐수에서 중금속을 제거 또는 회수하기 위한 합리적이고 효과적인 기술이 환경오염 방지와 부존 자원을 재활용한다는 측면에서 절실히 요구되고 있다.

폐수 내 중금속을 제거하는 방법으로는 해조류나 미생물 등의 생물체 표면이나 내부로 물리적, 화학적 및 생물학적 상호 작용에 의해 중금속을 흡착시켜 제거하는 생체흡착법(biosorption)에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다.<sup>2)</sup> 생체흡착법은 낮은 농도의 중금속을 처리하는데 매우 효과적이고, Na, K, Ca 및 Mg 등의 경금속들이 함께 존재하여도 중금속만을 선택적으로 제거하는 것이 가능하며, 넓은 범위의 pH에서도 사용 가능하여 기존의 중금속 제거 방법인 침전법이나 이온교환 처리법의 대체 기술로 각광을 받고 있다.<sup>3,4)</sup>

생체흡착에 사용하는 생체흡착체는 중금속 흡착 성능이 우수해야 하고, 양이 풍부하고 구하기가 쉽고 가격이 저렴해야 한다. 또한 흡착 후에 탈착을 통한 재생이 가

능하여 연속적인 사용이 가능하여야 한다. 이러한 조건을 만족하는 생체흡착제로는 박테리아, 균류 및 해조류 등이 있다. 박테리아나 균류의 경우 생물과정에 금속 이온이 영양원으로 필요하여 생물체의 수동적인 흡착과 착화합물 형성 등의 과정을 통해 금속이온은 제거 가능하다. 그러나 이들 미생물은 생물체가 유독한 중금속에 직접적으로 노출이 되어 독성 범위보다 낮은 농도의 금속 이온 농도에서만 적용할 수 있으므로 현장 적용시 운전 범위가 제한적이며 미생물의 성장에 필요한 영양분이 필요하므로 유지비용이 높은 단점이 있다. 반면에 해조류는 세균보다는 취급이 용이하고 많은 종들이 다량 자생하고 있으며 가격이 저렴할 뿐 아니라, 각각의 종(species)들은 중금속의 흡착 성능이나 선택성이 모두 다르며<sup>5)</sup> 특정 중금속의 제거 또는 회수가 가능한 장점이 있어 생체흡착제로의 연구가 많이 이루어지고 있다.<sup>6)</sup>

본 연구에서는 우리나라 전역에 걸쳐 자생하는 해조류인 팽생이 모자반(*Sargassum horneri*)를 이용하여 Pb<sup>2+</sup> 및 Cr<sup>3+</sup>의 생체 흡착 실험을 수행하였다. 흡착 시간 및 중금속 농도에 따른 흡착 평형을 조사하였고, 팽생이 모자반의 중금속 흡착시 pH 및 혼합 용액에서의 중금속 선택성 등을 조사하였다. 또한 Pb<sup>2+</sup> 및 Cr<sup>3+</sup>의 회수 가능성을 알아보기 위해 HCl, HNO<sub>3</sub>, EDTA 및 NaOH를 탈착 용액으로 사용하여 Pb<sup>2+</sup> 및 Cr<sup>3+</sup>의 탈착 실험을 수행하였다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1. 생체흡착제 및 중금속 시약

본 연구에 사용한 생체흡착제는 갈조류에 속하는 팽생이 모자반(*Sargassum horneri*)으로, 전장은 보통 3~5 m 이고 줄기의 중앙부와 상부는 원상이며, 하부와 가지에는 가시가 있으며, 우리 나라 전 연안에 가장 흔한 종의 하나이다.<sup>7)</sup> 팽생이 모자반을 채취하여 흐르는 수돗물로 세척후 음지에서 일주일간 건조후 -20 °C로 보관하였다. 실험에 사용할 때는 건조 후에 분쇄하여 표준체를 이용하여 0.355 mm이하의 크기만을 선별하여 사용하였다.

본 연구에 사용한 중금속 시약들은 모두 특급시약으로 Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Cr(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·9H<sub>2</sub>O, Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·3H<sub>2</sub>O 및 Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O를 사용하였으며, 실험시 탈이온수에 녹여 필요한 농도로 제조하였다. 중금속의 농도 분석에는 원자흡수 분광광도계(Shimadzu AA-670)를 사용하였고, 중금속 농도를 분석하기 위한 검량선 작성시에는 표준용액(1,000 mg/L)을 사용하였다.

2.2. 실험 방법

팽생이 모자반을 이용한 Pb<sup>2+</sup> 및 Cr<sup>3+</sup> 흡착시 흡착에 필요한 시간을 결정하기 위해 초기 중금속 농도 1000 mg/L 인 Pb<sup>2+</sup> 및 Cr<sup>3+</sup> 용액 100 mL와 팽생이 모자반 0.1 g을 300 mL 삼각 플라스크에 넣고 shaking incubator에서 30°C, 150 rpm으로 교반시키면서 일정 시간마다 1 mL의 시료를 채취하였다. 채취한 시료는 10,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 상징액을 적절히 희석한 후 원자흡수 분광광도계로 그 농도를 측정하였다. 중금속 농도와 pH 변화에 따른 흡착량 및 혼합 중금속 용액에서의 선택성 등의 실험은 상기 실험 방법과 동일하게 수행하였으며, pH 조절에는 0.1 M HCl과 0.1 M NaOH를 사용하였다.

팽생이 모자반에 흡착된 Pb<sup>2+</sup> 및 Cr<sup>3+</sup>의 탈착을 통한 회수 가능성과 팽생이 모자반의 재생성을 알아보기 위해 0.1 M HCl, 0.1 M HNO<sub>3</sub>, 0.1 M EDTA 및 0.1 M NaOH를 이용한 탈착 실험을 수행하였다. 1,000 mg/L Pb<sup>2+</sup> 및 Cr<sup>3+</sup> 용액에 팽생이 모자반을 1 g/L가 되도록 하여 50 mL 원심분리관에 넣고 30°C에서 1시간 동안 흡착시킨 후 10,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 흡착제와 Pb<sup>2+</sup> 및 Cr<sup>3+</sup> 용액을 완전히 분리하였다. 상징액 농도를 분석하여 중금속 흡착량을 결정하였고, 중금속 용액으로부터 분리된 흡착제는 각각의 탈착 용액으로 30분간 30°C, 150 rpm에서 탈착시켜 각 용액에 따른 탈착율을 비교하여 팽생이 모자반의 재생성 및 전체 흡착량을 확인하고 가장 효과적인 탈착 용액을 선별하였다. 중금속의 흡착량은  $q = \frac{V(C_i - C_f)}{M}$  를 이용하여 나타내었다. 여기서 q는 중금속의 흡착량(mg/g biomass), V는 용액의 부피(L), C<sub>i</sub>와 C<sub>f</sub>는 각각 초기와 최종 중금속 농도(mg/L), M은 해조류의 건조 무게(g biomass)이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. Pb<sup>2+</sup> 및 Cr<sup>3+</sup> 흡착 평형

팽생이 모자반의 Pb<sup>2+</sup> 및 Cr<sup>3+</sup> 흡착 평형 도달 시간을

알아보기 위해 초기 중금속 농도 1,000 mg/L에서 시간에 따른 중금속 흡착량을 측정한 결과는 Fig. 1과 같다. Pb<sup>2+</sup>의 경우에는 30분 정도의 비교적 빠른 시간내에 흡착 평형에 도달하였으나, Cr<sup>3+</sup>은 약 1시간 후에 흡착평형에 도달하였다. 따라서 이후의 흡착 실험에서는 흡착 실험을 1시간 동안 수행하였다. 중금속 농도 변화에 따른 팽생이 모자반의 흡착량을 알아보기 위해 초기 중금속 농도를 변화시키면서 흡착실험을 수행한 결과는 Fig. 2와 같다. 두 중금속 모두 1,000 mg/L 이상에서 흡착 평형에 도달하였고, 각각 185.5 mg Pb<sup>2+</sup>/g biomass 및 102.6 mg Cr<sup>3+</sup>/g biomass를 흡착하여 Cr<sup>3+</sup>보다는 Pb<sup>2+</sup>의 흡착량이 약 2배 높은 것으로 나타났다.

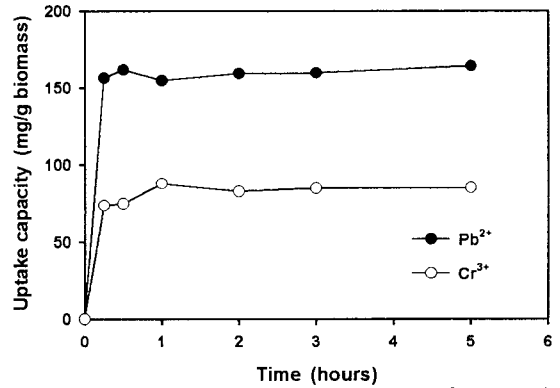


Fig. 1. Time course of uptake capacity of Pb<sup>2+</sup> and Cr<sup>3+</sup> by *S. horneri*(initial metal conc. : 1000 mg/L).

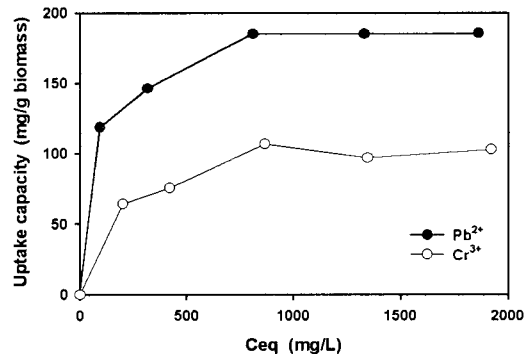


Fig. 2. Biosorption isotherm of Pb<sup>2+</sup> and Cr<sup>3+</sup> by *S. horneri*.

팽생이 모자반에 Pb<sup>2+</sup> 및 Cr<sup>3+</sup>을 흡착시켜 흡착 평형에 도달하면 흡착제 단위 무게당 흡착량은 잔류 중금속 이온의 평형농도 함수로서 Freundlich 또는 Langmuir 흡착등온식을 따르는 것이 보통이다. Freundlich 흡착등온식은 실험식으로 다음과 같이 표현된다.

$$q = K \cdot C_{eq}^{1/n}$$

여기서 q는 흡착제 무게당 흡착된 중금속이온의 질량(mg/g biomass), C<sub>eq</sub>는 잔류 중금속 이온의 평형농도(mg/L), K와 1/n은 Freundlich 상수로서 흡착제의 특성에

따라 결정되는 매개변수이다. 매개변수를 구하기 위하여 상기식을 선형화시키면 아래와 같이 선형화 할 수 있다.

$$\ln q = (1/n)\ln C_{eq} + \ln K$$

Langmuir 흡착등온식은 단분자 흡착을 전제하여 얻어진 식으로  $q = \frac{bQ_{max}C_{eq}}{1 + bC_{eq}}$ 로 나타낸다. 여기서 q는 흡착용량(mg/g biomass), b는 흡착으로 인한 자유도 감소와 에너지 상태의 차이를 반영하는 평형상수, Q<sub>max</sub>는 최대 흡착량(mg/g biomass), C<sub>eq</sub>는 용액의 평형 농도(mg/L)이다. 이 식을 선형화시켜 보면 아래식과 같다.

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{bQ_{max}} \frac{1}{C_{eq}} + \frac{1}{Q_{max}}$$

본 연구의 결과를 Langmuir 및 Freundlich 모델에 적용하여 Fig. 3 과 4에 나타내었다. Fig. 3 과 4에서와 같이 Langmuir 흡착등온식과 Freundlich 흡착등온식은 둘 다 비슷한 직선관계가 얻어 졌다. 상기 실험 결과를 Langmuir 모델과 Freundlich 모델에 적용시켜 구한 상수 값을 Table 1과 Table 2에 각각 나타내었다.

Table 1과 Table 2에서와 같이 Pb<sup>2+</sup>는 두 모델에 대해 상관 계수 r<sup>2</sup>값이 0.94로 같게 나타나 두 식에 모두 적용 가능하였고, Cr<sup>3+</sup>의 흡착은 Langmuir 모델에 적용이 잘 되는 것을 알 수 있었다. Langmuir 모델에서 Q<sub>max</sub>를 보면 Pb<sup>2+</sup>는 188.7 mg/g biomass로서 실험치 185.5 mg/g biomass와 거의 같게 나타났으나, Cr<sup>3+</sup>은 110.9 mg/g biomass으로 실험치 102.6 mg/g biomass 보다 약간 높게 나타났다. Table 2에서 흡착용량 K를 보면 Pb<sup>2+</sup>가 Cr<sup>3+</sup>에 비해 약 2.9배 높았으나 흡착강도 1/n 은 1.4배정도 낮게 나타났다.

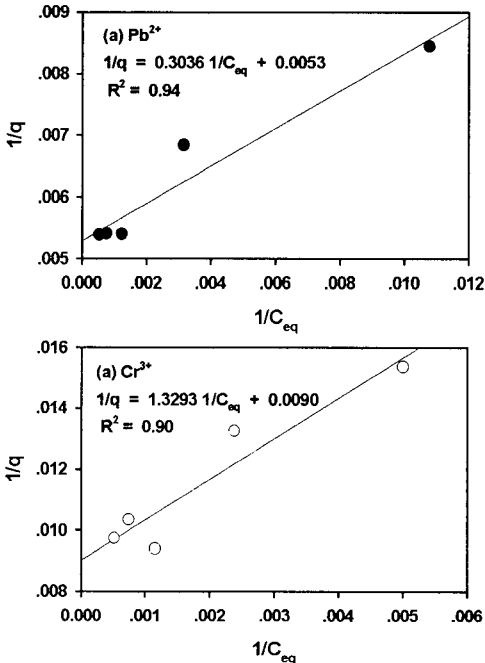


Fig. 3. Langmuir model fitting of Pb<sup>2+</sup> and Cr<sup>3+</sup> uptake by *S. horneri*.

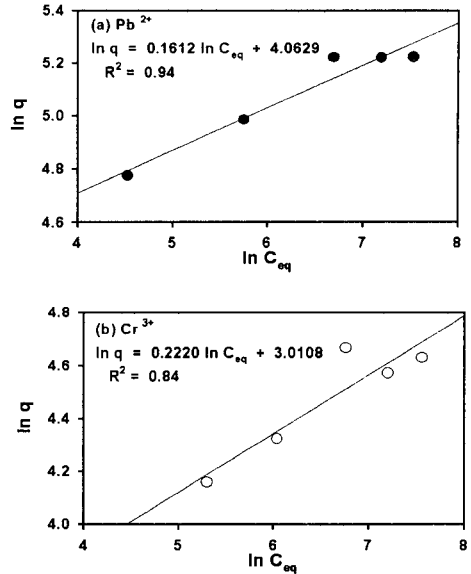


Fig. 4. Freundlich model fitting of Pb<sup>2+</sup> and Cr<sup>3+</sup> uptake by *S. horneri*.

Table 1. Langmuir model parameters on uptake capacity of Pb<sup>2+</sup> and Cr<sup>3+</sup> by *S. horneri*

Heavy metals	Q <sub>max</sub>	b	r <sup>2</sup>
Pb <sup>2+</sup>	188.7	0.01700	0.94
Cr <sup>3+</sup>	110.9	0.00678	0.90

Table 2. Freundlich model parameters on uptake capacity of Pb<sup>2+</sup> and Cr<sup>3+</sup> by *S. horneri*

Heavy metals	K	1/n	r <sup>2</sup>
Pb <sup>2+</sup>	58.14	0.1612	0.94
Cr <sup>3+</sup>	20.30	0.2219	0.84

### 3.2. pH 영향

pH의 변화에 따른 팽생이 모자반의 Pb<sup>2+</sup> 및 Cr<sup>3+</sup> 흡착량 변화를 알아보기 위해서 초기 농도 1,000 mg/L의 중금속 용액을 0.1 M HCl과 0.1 M NaOH로 pH를 2~5 까지 단계적으로 조정하여 흡착실험을 수행한 결과는 Fig. 5와 같다. 본 실험에서 pH 5 이상에서는 Pb<sup>2+</sup>가 흰색의 수산화물 침전이 형성되어, 그 이상의 pH에서는 침전과 흡착의 구별이 어려워 실험을 수행하지 않았다. Fig. 5에서와 같이 Pb<sup>2+</sup>의 경우 pH가 낮을 때 흡착량이 감소하였고 pH가 증가할수록 흡착량도 증가하였으나, Cr<sup>3+</sup>은 pH 변화에 대해 흡착량의 변화가 없는 것으로 나타났다. pH가 낮을 경우 Pb<sup>2+</sup>의 흡착량이 감소하는 것은 용액 내 존재하는 다량의 수소 이온 때문에 중금속 흡착 시 저해 작용을 일으키고, 강산의 조건에서 중금속이 흡착할 수 있는 작용기가 파괴되어 흡착량이 감소하기 때문이다.<sup>8)</sup> Cr<sup>3+</sup>의 경우에는 Pb<sup>2+</sup>와는 다르게 낮은 pH에서

도 흡착량이 일정하게 유지되었는데, 이는 Cr<sup>3+</sup>의 결합력이 매우 강해 수소 이온의 영향을 받지 않는 것으로 사료된다.

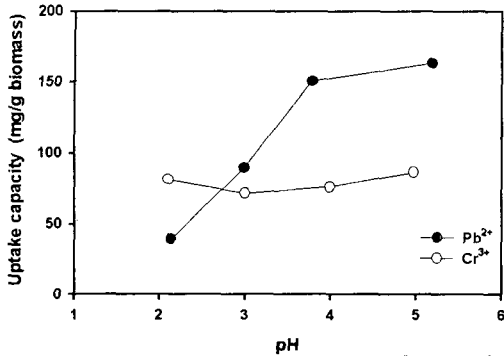


Fig. 5. Effect of pH on uptake capacity of Pb<sup>2+</sup> and Cr<sup>3+</sup> by *S. horneri*.

### 3.3. 선택적 중금속 흡착

Fig. 6 (a) 및 (b)는 Pb<sup>2+</sup>와 Cr<sup>3+</sup> 혼합 용액에서 중금속 부하량을 같게 하여 팽생이 모자반의 중금속 선택성을 보다 확실하게 규명하기 위해 Pb<sup>2+</sup>와 Cr<sup>3+</sup>의 초기 중금속 이온의 수(mol)를 일정하게 유지하여 실험한 결과이다. Fig. 6 (a)는 Pb<sup>2+</sup>의 초기 농도를 500 mg/L인 2.4 mM로 일정하게 하고 Cr<sup>3+</sup>의 농도를 변화시킨 경우이고, Fig. 6 (b)는 Cr<sup>3+</sup>의 초기 농도를 Pb<sup>2+</sup>의 초기농도와 비슷하게 2.2 mM로 일정하게 하고 Pb<sup>2+</sup>의 농도를 변화시킨 경우이다. Pb<sup>2+</sup>와 Cr<sup>3+</sup> 혼합 용액에서 두 중금속의 농도가 비슷할 때는 두 중금속의 흡착량 또한 비슷하여 팽생이 모자반에 흡착되는 Pb<sup>2+</sup>와 Cr<sup>3+</sup>의 수가 거의 같은 것으로 나타났다. 그러나 Fig. 6 (a)에서와 같이 Pb<sup>2+</sup>가 2.4 mM의 고농도로 존재할 때 Cr<sup>3+</sup>의 농도를 증가시켰을 경우 Cr<sup>3+</sup>의 흡착량이 서서히 증가하였고, Fig. 6(b)에서 Cr<sup>3+</sup>이 2.2 mM로 존재할 때 Pb<sup>2+</sup>의 농도를 증가시키면 저농도의 Pb<sup>2+</sup>만 존재하여도 Pb<sup>2+</sup>의 흡착량은 전체 흡착량의 반 정도까지 흡착되어, Cr<sup>3+</sup>보다는 Pb<sup>2+</sup>에 대한 선택성이 높은 것으로 사료되었다. 이러한 현상은 Table 2에서 흡착용량 K를 보면 Pb<sup>2+</sup>가 Cr<sup>3+</sup>에 비하여 약 2.9배 높은 사실과 일치한다.

중금속이 혼합된 용액에서 팽생이 모자반의 중금속 흡착과 선택성을 조사하기 위하여 Pb<sup>2+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, Cu<sup>2+</sup> 및 Cd<sup>2+</sup>이 500 mg/L 씩 혼합된 용액에서 흡착 실험을 수행한 결과는 Fig. 7과 같다. 팽생이 모자반은 Pb<sup>2+</sup>>Cu<sup>2+</sup>>Cr<sup>3+</sup>>Cd<sup>2+</sup> 순으로 흡착이 이루어져 타 중금속에 비해 Pb<sup>2+</sup>에 대한 선택성이 있는 것으로 나타났으나, 그 흡착량이 단일 용액으로 존재할 때보다 50%정도 감소하였고, Cd<sup>2+</sup>는 전혀 흡착이 이루어지지 않았다.

### 3.4. Pb<sup>2+</sup> 및 Cr<sup>3+</sup> 회수

Pb<sup>2+</sup> 및 Cr<sup>3+</sup>가 흡착된 팽생이 모자반을 3종류의 탈착 용액으로 Pb<sup>2+</sup> 회수 실험을 수행하여 팽생이 모자반의 재생 정도를 확인하였다. 먼저 Pb<sup>2+</sup> 및 Cr<sup>3+</sup>이 흡착된 팽

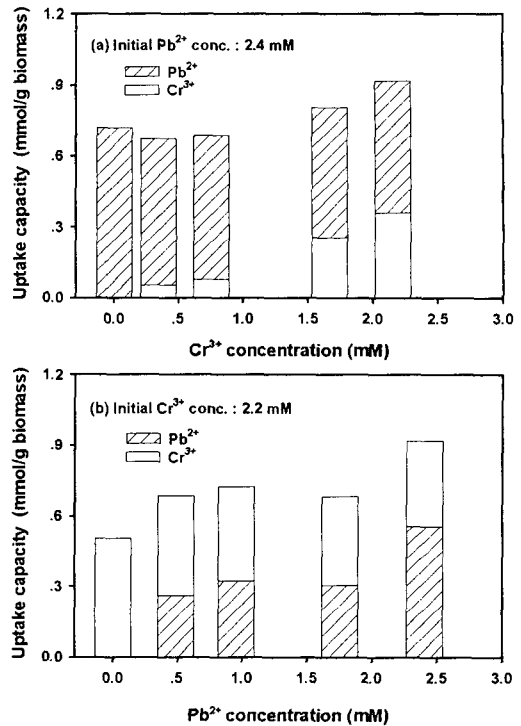


Fig. 6. Selective uptake capacity of Pb<sup>2+</sup> and Cr<sup>3+</sup> by *S. horneri*.

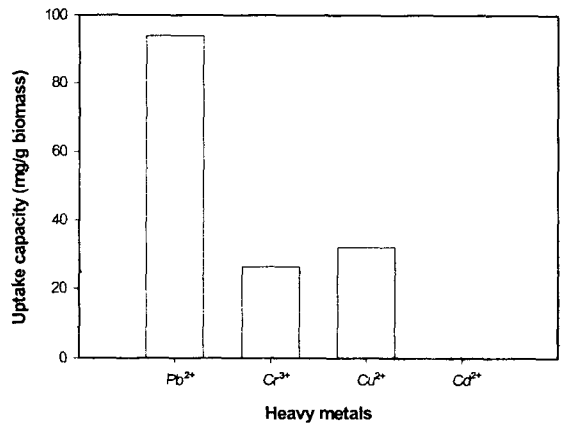


Fig. 7. Selective uptake capacity of heavy metals by *S. horneri*.

생이 모자반의 회수율을 알아보기 위하여 1,000 mg/L Pb<sup>2+</sup> 및 Cr<sup>3+</sup> 용액으로 흡착시킨 팽생이 모자반에 0.1 M HCl, 0.1 M HNO<sub>3</sub> 및 0.1 M EDTA를 이용하여 탈착 실험을 수행한 결과는 Fig. 8과 같다. 흡착된 Pb<sup>2+</sup>는 140±20 mg/g biomass 였다. 팽생이 모자반의 Pb<sup>2+</sup> 탈착율은 EDTA를 이용하였을 때 93.1%였고, HCl 및 HNO<sub>3</sub>의 산으로 탈착시켰을 때 98.8% 및 99.8%로 매우 높은 탈착율을 나타내었다. EDTA를 이용한 탈착에서는 EDTA가 강한 착물을 형성하기 때문에 흡착되어 있는 Pb<sup>2+</sup>와 착

물을 형성하여 펙셀이 모자반으로부터 탈착시키는 것으로 사료되었으며,<sup>9)</sup> HCl 및 HNO<sub>3</sub> 등의 산으로 탈착시켰을 때 탈착율이 높은 것은 수소 양이온의 농도가 높아져 생체흡착제 표면의 수산화기, 카르복시기 및 인산기 등의 작용기에 흡착되어 있는 Pb<sup>2+</sup> 이온을 떼어내기 때문인 것으로 사료되었다.

Fig. 8에서 흡착된 Cr<sup>3+</sup>는 87±5 mg/g biomass 였다. 펙셀이 모자반의 Cr<sup>3+</sup> 탈착율은 EDTA를 이용하였을 때 34.01%였고, HCl 및 HNO<sub>3</sub>의 산으로 탈착시켰을 때 29% 및 31%로 Pb<sup>2+</sup>에 비하여 매우 낮은 탈착율을 나타내었다. 이러한 현상은 Cr<sup>3+</sup>의 경우에는 펙셀이 모자반과의 결합력이 매우 강하기 때문에 강산의 조건에서도 Pb<sup>2+</sup>보다 영향을 작게 받아 흡착이 계속되어 탈착율이 적은 것으로 생각되며, 이러한 현상은 pH 영향 실험에서 Cr<sup>3+</sup>의 경우 펙셀이 모자반과의 결합력이 강하여 흡착량에 대한 pH 영향을 Pb<sup>2+</sup>에 비하여 적게 받는 것과 일치하였다.<sup>10)</sup>

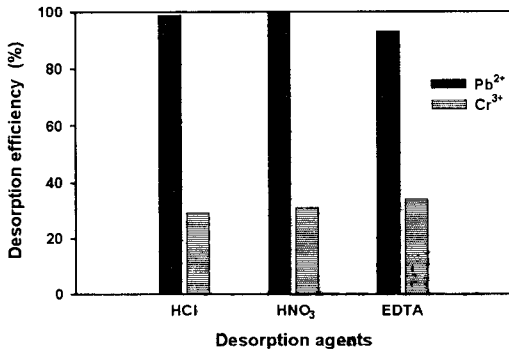


Fig. 8. Desorption efficiency of Pb<sup>2+</sup> and Cr<sup>3+</sup> by *S. horneri*.

#### 4. 결 론

Pb<sup>2+</sup> 와 Cr<sup>3+</sup>의 흡착 평형은 30분 및 1시간 안에 도달하였고, 평형 흡착량은 각각 185.5 mg Pb<sup>2+</sup>/g biomass, 102.6 mg Cr<sup>3+</sup>/g biomass이었다. pH가 감소할수록 Pb<sup>2+</sup>는 흡착량이 현저히 감소하였으나, Cr<sup>3+</sup>은 pH에 큰 영향을 받지 않고 흡착이 잘 이루어졌다. Pb<sup>2+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, Cu<sup>2+</sup> 및 Cd<sup>2+</sup> 혼합용액에서는 Pb<sup>2+</sup>>Cu<sup>2+</sup>>Cr<sup>3+</sup>>Cd<sup>2+</sup> 순으로 흡착이 잘 이루어졌고, Pb<sup>2+</sup> 및 Cr<sup>3+</sup> 이온이 동량 존재하는 용액에서의 흡착은 거의 1:1로 흡착이 이루어졌다. Pb<sup>2+</sup> 흡착 후에 0.1 M HCl, 0.1 M HNO<sub>3</sub>, 0.1 M EDTA 및 0.1 M NaOH를 이용하여 회수 실험을 수행한 결과, HCl를 이용한 경우에 흡착된 Pb<sup>2+</sup>의 회수에 있어 매우 효과적인 것으로 나타났다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 이영환, 정문호, 1993, 금속과 사람, 신광출판사(한국 학술진흥재단 번역총서 167).
- 2) Volesky, B., 1990, Biosorption of Heavy metals, CRC Press.
- 3) Suh, J. H., 1997, Biosorption of Lead to *Saccharomyces cerevisiae* and *Aureobasidium pullulans*, Ph. D. Thesis, Dept. of Chem. Eng., Pusan Nat. Univ., Pusan.
- 4) Suh, K. H., K. H. Ahn, M. C. Cho, B. J. Kim, H. J. Jin and Y. K. Hong, 1998, Biosorption of Pb and Cu by Marine Algae, Korean J. Biotechnol. Bioeng., 13(4), 444-448.
- 5) Park, K. H., B. O. Jun, H. S. Kim, and Y. H. Kim, 1996, Adsorption and Recovery of Cu(II) and Zn(II) Ions by Algal Biomass, Analytical Science & Technology, 9(4), 373-381.
- 6) Kuyucak, N. and B. Volesky, 1989, Accumulation of Cobalt by Marine Alga, Biotechnology and Bio-engineering, 33, 809-814.
- 7) 강제원, 1970, 한국 동식물 도감 제 7권 - 식물편(해조류), 문교부, 삼화출판사.
- 8) Fourest, E. and J. C. Roux, 1992, Heavy metal biosorption by fungal mycelial by-products: mechanism and influence of pH, Appl. Microbiol. Biotechnol., 37, 399-403.
- 9) Guibal, E., C. Roulph, and P. L. Cloirec, 1992, Uranium Biosorption by a Filamentous Fungus *Mucor Miehei* : pH Effect on Mechanisms and Performances of Uptake, Wat. Res. 26, 1139-1145.
- 10) Lee, H. S., 1997, Biosorption of Cr, Cu and Al by *Sargassum* Biomass, Korean J. Biotechnol. Bioeng., 12(4), 424-429.