

안갑환¹, 박영식¹, 조문철¹부산가톨릭대학교 산업환경시스템학부, ¹서봉 리사이클링(주)

1. 서론

국내 휴·폐광산은 그 수가 2,000여개 이상으로, 이들 광산 지역은 광산 활동 중에 발생한 다량의 폐광재 및 갱내수 등에 의해 인근의 토양 및 수질이 중금속에 오염되어 있다(김경웅, 1996). 그러나 광산보안법상 광업자의 오염방지 의무기한이 3년으로 이 기간이 경과한 광산의 경우 오염 원인이자 오염방지에 대해 법적으로 책임을 지지 않아도 된다. 또한 중금속 오염농도가 농작물재배 제한기준을 초과하는 휴·폐 금속광산 주변 농경지에 대해서는 작물재배를 제한하고 대책사업을 강구해야 하나 정부 부처간 협조 미흡으로 대책마련이 지연되고 있어, 광산 지역에서 발생하는 중금속을 제거하여 오염을 막을 수 있도록 대책 마련이 시급한 실정이다.

본 연구에서는 휴·폐광산에서 배출되는 침출수나 갱내수의 중금속을 식물을 이용한 생체흡착법으로 제거하기 위한 기초실험으로 부산광역시 온천천 부근 소하천변에서 채취한 고마리(*Persicaria chinensis*), 경남 양산에서 채취한 미나리(*Oenanthe javanica*) 및 경남 우포늪에서 채취한 생이가래(*Salvinia natans*) 등의 식물들을 이용하여 Pb에 대한 생체흡착 실험을 수행하였다.

2. 재료 및 방법

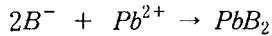
본 연구에 사용한 생체흡착체는 길이 1m내외로 하천가 수로를 따라 물이 흐르는 습한 곳에서 자생하는 1년생 식물인 고마리, 줄기가 30~70cm이고 속이 비어 있으며 논이나 밭둑에서 자라는 다년생 식물인 미나리 및 4~10cm의 줄기에 타원형인 잎이 2열로 배열되어있는 다년생 수생식물인 생이가래를 사용하였는데, 각 식물의 잎을 채취하여 건조 후 분쇄하여 사용하였고, 중금속 용액은 특급시약인 $Pb(NO_3)_2$ 으로 필요한 농도로 제조하여 사용하였다.

흡착실험은 원하는 농도의 중금속 용액 100mL와 생체흡착제 0.1g을 300mL 삼각 플라스크에 넣고 shaking incubator에서 30℃, 180rpm으로 교반시키면서 일정 시간마다 3mL의 시료를 채취하였다. 채취한 시료는 10,000rpm에서 10분간 원심분리하여 상등액을 적절히 희석한 후 원자흡수 분광계로 Pb 농도를 측정하였다. Pb 흡착량은

$q = \frac{V(C_i - C_f)}{M}$ 로 나타내었다. 여기서, q는 Pb 흡착량(mg/g biomass), V는 Pb 용액의 부피(L), C_i 와 C_f 는 각각 초기와 최종 Pb 농도(mg/L), M은 생체흡착제의 건조 무게(g biomass)이다.

3. 결과 및 고찰

시간변화에 따른 고마리, 미나리 및 생이가래의 Pb 흡착실험을 수행하여 Fig. 1에 도시하였다. Fig. 1에서 보듯이 세 식물 모두 1시간 내에 흡착 평형에 도달하였으나 흡착량은 약간 차이가 있는 것으로 나타났다. Pb는 2가 양이온으로서 생체흡착체에 음이온으로 존재하는 carboxyl, amino, phosphate, sulfate 및 hydroxyl 등의 작용기와 화학적 결합을 하게 되며, 비가역 3차 기초반응으로 가정하여 속도식을 표현하면 아래와 같다.



여기서, B : 생체흡착제 내 흡착 site

$$\frac{d(B)}{dt} = -k'[B]^2[Pb]$$

여기서, k' : 반응속도 상수, [B] : 생체흡착제 내 흡착할 수 있는 site 수, [Pb] : Pb 이온 수

Pb의 흡착과정에서 생체흡착제 내 흡착 site는 Pb 이온 수에 비해 매우 작아 시간변화에 따른 농도 변화를 무시할 수 있다. 상기식을 적분하여 정리하면 아래와 같다.

$$\therefore \frac{t}{q_t} = \frac{1}{r_i} + \frac{1}{q_e} t$$

여기서, k : 반응속도 상수, q_e : 생체흡착제 내 평형 흡착 용량 (mg/g biomass), q_t : t 시간 후 흡착 용량 (mg/g biomass), r_i : 초기 흡착 속도 ($r_i = kq_e^2$)

Fig. 1에서의 결과를 식으로 선형화하여 Fig. 2에 도시하였고, 그 상수값은 Table 1에 나타내었다. Fig. 2와 Table 1에서와 같이 세 종류의 식물 모두 상관계수, r^2 가 0.996 이상으로 나타나 가정한 유사 2차 비가역 반응식에 잘 부합되었으며, 식에 의해 예측된 평형 흡착용량과 Fig. 1에서의 결과가 비슷한 값을 나타내어 생이가래에 대한 Pb 흡착용량이 가장 높은 것으로 나타났다. 그러나 반응 초기 속도, r_i 를 보면 미나리가 2000 mg/g biomass · hr으로 가장 빨리 흡착이 이루어짐을 알 수 있었으며, 생이가래와 고마리가 각각 1250 및 588 mg/g biomass · hr의 속도로 흡착이 이루어졌다.

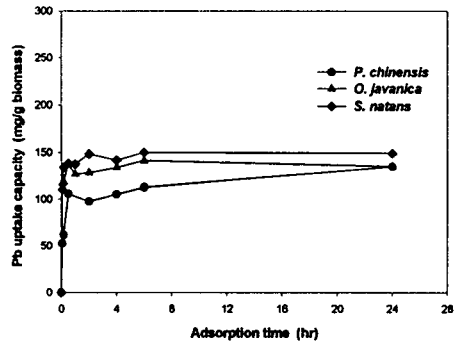


Fig. 1. Time course on uptake capacity of Pb by plants

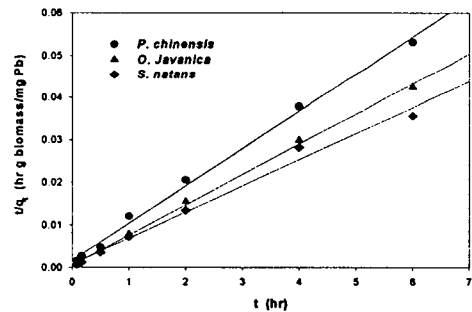


Fig. 2. Uptake capacity versus time for effect of metal ions on the sorption kinetics of metal ions onto plants.

Table 1. Empirical parameters for predicted q_e , k , r_i and r^2 from plants.

	q_e (mg/g)	r_i (mg/g · hr)	k (g/mg · hr)	r^2
<i>P. chinensis</i>	113.6	588	0.0456	0.996
<i>O. javanica</i>	140.8	2000	0.1008	0.998
<i>S. natans</i>	163.9	1250	0.0465	0.989