

# 유류오염토양에서 분리한 미생물의 중금속 생체흡착특성

김상호<sup>1)\*</sup> · 이종운<sup>2)</sup> · 전효택<sup>1)</sup> · 이진수<sup>3)</sup>

## 1. 서 론

공업화와 산업화 과정에서 배출되는 유해한 중금속에 의한 환경오염이 심각해지고 있다. Pb, Cd, Cr, Hg 등과 같은 중금속들은 토양에서 수계로 이동하여 생태계를 파괴하고, 여러 경로를 통해 인체에 축적되며 장기간 신체에 잔류하여 치명적인 질병을 일으키고 있다. 이러한 중금속을 처리하는 방법에는 산화, 환원, 침전, 여과, 수분증발, 이온교환수지 이용 등의 물리화학적 방법이 이용되고 있으나 이러한 방법은 고비용과 저효율의 문제점이 있다.

최근 중금속의 물리화학적 처리방법을 대체할 수 있는 방법으로 생물학적 처리 방법이 대두되고 있다. 생물학적 처리방법 중 생체흡착은 다당류, 단백질 및 지방질로 구성된 미생물 표면에 존재하는 carboxyl, amino, phosphate, sulfate 및 hydroxyl 등의 작용기에 중금속이 흡착되는 현상을 말한다. 중금속은 음전하를 지닌 세포벽 성분에 흡착될 뿐만 아니라, 세포내 단백질과의 화합물을 형성하거나 세포내 효소에 의해 불용성 물질로 변화(산화, 환원, 메틸화)하기도 하며, 생체물질 자체가 가지고 있는 Ca, Mg, K 및 Na 등의 금속들과 중금속간의 이온교환에 의해서도 제거될 수 있다. 생체흡착 방법은 100 mg/L 이하의 저농도로 존재하는 중금속 제거시 매우 효과적이며, 자연계에서 흔한 이온(Na, Ca, K 등)에 친화력이 약하여 중금속만을 선택적으로 제거할 수 있고 넓은 범위의 pH(pH 3 - 9)에서도 사용할 수 있다. 또한, 흡착이 1시간 이내로 빨리 진행되어 다량의 중금속 이온을 동시에 제거할 수 있고, 상온에서 반응이 이루어지므로 비용이 절약되는 장점을 가지고 있다(Gavrilescu, 2004).

생체흡착 처리 기술은 미생물의 특성, 오염물의 성질 및 환경적 요인들에 의해 영향을 받는다. 미생물의 특성을 결정하는 요인으로 미생물의 균체량, 종류, 성장단계, 오염 환경에 대한 순응력 등이 있으며, 오염물의 성질은 오염물질의 양, 오염물질의 상태에 의해 좌우된다. 환경적 요인으로 미생물의 성장과 중금속의 형태에 영향을 미칠 수 있는 인자들이 포함되는데 온도, pH, 산소, 물, 영양분, 토양의 특성 등이 이에 해당한다.

이 연구에서는 중금속에 내성을 갖고 흡착에 활성을 나타내는 미생물을 분리하여, 분리한 토착미생물의 흡착특성과 성장단계, 흡착시간, 초기 농도, pH, 온도가 중금속 흡착에 미치는 영향을 파악하기 위한 실험을 실시하였다.

## 2. 실험 방법

실험에 사용된 중금속에 내성을 갖는 미생물은 Pb와 Cd가 각각 100 mg/L를 포함한 LB agar 배지에 유류오염토양 5 g과 증류수 50 mL 혼합용액을 주입하여 분리하였다. Pb와 Cd 용액 제

---

주요어 : 생체흡착, 중금속 제거, 토착미생물

- 1) 서울대학교 에너지시스템공학부 (gubook35@snu.ac.kr)
- 2) 전남대학교 건설지구환경공학부 (jongun@chonnam.ac.kr)
- 3) 광해방지사업단 기술연구센터 (jslee@kmrc.or.kr)

조는  $PbCl_2$ 와  $CdCl_2$ 를 사용하였다. 분리된 미생물을 LB broth배지에서 대량 배양하였으며, 배양하는 동안 두 시간마다 배양액을 채취하여 600 nm의 파장에서 흡광도를 측정하여 미생물의 성장단계를 확인하였다. 측정된 성장단계 중에서 초기, 중기, 말기의 성장단계의 미생물 배양액을 채취하여 증류수로 두 번 씻은 후 1 g/L로 제조하였다. 각 성장 단계의 배양액 100 mL와 100 mg/L의 Pb와 Cd 용액 100 mL를 혼합하여 흡착되는 효율을 10 분마다 총 1 시간 동안 측정하였다. 흡착 반응이 종료된 후에 5000 rpm, 10 분간 원심 분리하여 상등액을 취해 AAS로 용액 중 남아있는 Pb와 Cd의 농도를 측정하여 흡착효율을 평가하였다. 흡착에 미치는 pH의 영향을 알아보기 위해 NaOH와  $HNO_3$ 로 pH를 3, 5, 7, 9로 맞춘 100 mg/L의 Pb와 Cd 용액 각각 100 mL와 미생물 1 g/L 용액 100 mL를 혼합하여 용액중의 중금속 농도를 측정하였다. 중금속 농도에 따른 흡착효율 측정을 위해 Pb와 Cd 농도를 5 - 800 mg/L로 조절된 용액에 미생물 1 g/L 용액을 접종하였고, 온도에 따른 흡착효율 파악을 위해 용액의 온도를 25 °C와 35 °C로 맞추어 동일한 과정으로 실험을 실시하였다. 미생물의 특성과 환경적 요인에 의한 생체 흡착 특성 파악에 변화되는 요인을 제외한 실험 조건은 통제하였다. 즉, 미생물과 중금속을 포함한 용액은 최종부피 200 mL, 미생물 농도 1 g/L, Pb와 Cd 농도 100 mg/L, pH 7, 25 °C로 각각 조절하여 10분 간격으로 잔류 중금속 농도를 측정하였다.

### 3. 결과 및 토의

분리한 미생물은 동정한 결과 *Bacillus thuringiensis*로 나타났다. 성장단계별로 미생물의 대사 과정은 달라지므로 성장단계에 따라 중금속을 흡착하는 정도가 다르게 나타날 수 있다. 분리된 미생물의 성장 곡선을 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 실험 결과 정체기인 24시간에서 가장 높은 Pb흡착률을 보였으며 성장단계가 증가할수록 Pb 흡착 효율은 증가하였고, 이는 Cd에서도 같은 결과를 나타내었다.

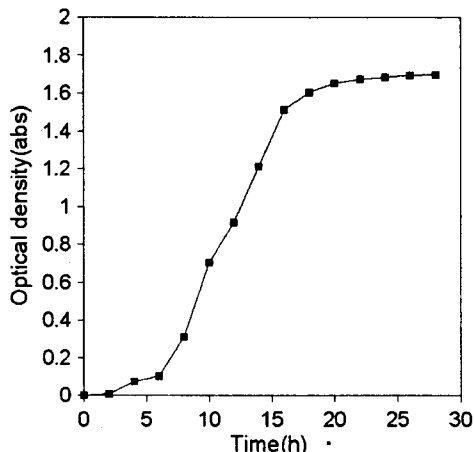


Fig 1. Growth curve of bacteria

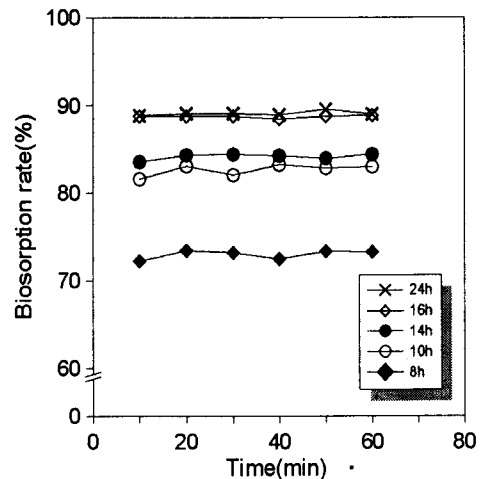


Fig. 2. Effect of culture age on Pb biosorption

중금속의 초기농도에 따른 생체 흡착율을 Fig. 3에 나타내었다. Pb 농도가 50, 100 mg/L인 경우에 약 90 %의 높은 Pb제거 효율을 보여주고 있으나, 100 mg/L를 초과하는 200, 400, 800 mg/L인 경우에는 그 효율이 15 % 정도 낮아졌다. Cd는 10 mg/L이하의 저농도에서 60 - 80 %의 흡착률을 보였고, 400 mg/L 이상의 농도에서는 30 %만이 흡착되는 결과를 나타내었다. pH에 따른 Pb의 흡착 변화 및 최적 pH를 조사하기 위해 실험한 결과 Fig. 4에서 보는 바와 같이 용액 내 초기 pH에 따른 Pb 흡착량은 pH가 5 - 9 인 경우가 높게 나왔으며, pH가 3에서 가장 낮았다. pH가 3이하인 산성조건에서는 미생물의 흡착 사이트에 결합하는 Pb 및 Cd 양이온과

H<sup>+</sup> 이온 간의 경쟁으로 인해 중금속 이온의 탈착현상이 일어나 낮은 흡착률을 보였다. 반대로 pH가 너무 높으면 많은 functional group들이 세포벽에 음전하가 달라붙는 것을 방해하며 metal hydroxide 형태의 침전이 형성되어 양이온의 흡착이 저해되는 것으로 알려져 있으나, 이번 실험에서는 상대적으로 높은 pH(pH 9이상)에서도 Pb는 90 %, Cd는 70 %의 높은 흡착률을 보였다. 온도에 따른 흡착 효율은 Pb와 Cd의 최적 흡착 온도가 25℃에서 와 35℃로 상이하였다. (Tunali et al., 2006)

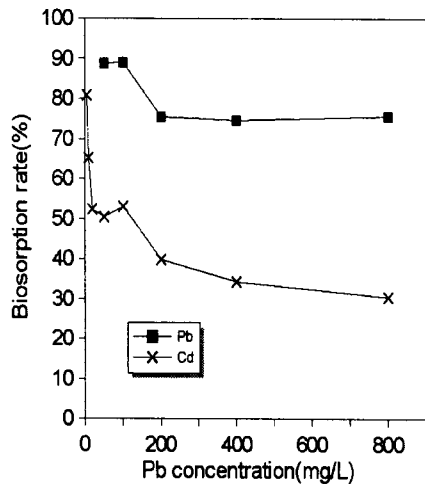


Fig. 3. Effect of metal concentration on biosorption

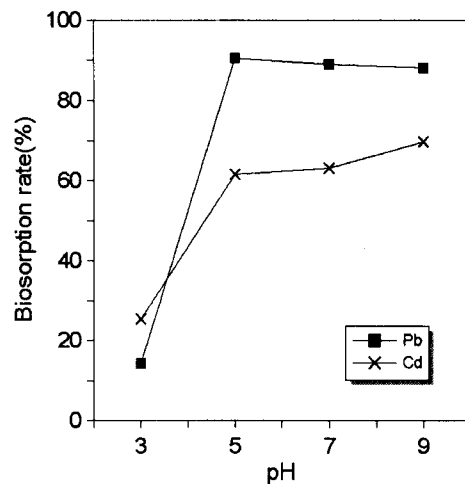


Fig. 4. Effect of pH on biosorption

#### 4. 결 론

유류오염토양에서 분리한 중금속에 내성을 갖는 미생물에 의한 생체흡착은 100 mg/L 이하의 농도에서 높은 제거효율을 보이거나 중금속마다 다른 흡착효율을 가지며, 흡착은 1시간 이내에 완료되었다. 미생물은 말기 성장단계의 흡착효율이 가장 우수하였고, Pb의 농도가 100 mg/L 이상 일 때 흡착효율은 75 %로 떨어졌고, Cd의 농도가 10 mg/L 이상 일 때 흡착효율은 60 % 이하로 급격히 감소하였다. 미생물에 의한 Pb 및 Cd의 흡착은 pH 5 - 9에서 최적의 효율을 나타내었고, Pb 및 Cd 생체흡착 적용시 25 - 35 ℃ 온도에서의 영향은 미미하였다. 이러한 연구 결과는 토양 및 지하수의 중금속(Pb, Cd) 생체흡착 처리 기술에 활용 가능성을 보여주었다.

#### 5. 참고문헌

- Tunali, S., Cabuk, A. and Akar, T., 2006, Removal of lead and copper ions from aqueous solutions by bacterial strain isolated from soil: *Chemical Engineering Journal*, vol. 115, pp. 203-211.
- Gavrilescu, M., 2004, Removal of Heavy metals from the environment by biosorption: *Engineering in Life Sciences*, vol. 4, pp. 219-232.