

폐슬러지를 이용한 중금속 생체흡착과 가압부상(DAF)에 의한 분리

이창환*, 안대명¹, 김성수², 조석호², 안갑환²
 삼환이엔씨(주), ¹부산대학교 화학공학과, ²부산가톨릭대학교 환경과학부
 (mawang01@hanmail.net*)

Biosorption of heavy metal using waste sludge and separation by DAF

Chang Han Lee*, Dae Myung An¹, Seong Soo Kim², Seok Ho Cho², Kab Hwan Ahn²
 SAMHWAN E&C Co., Ltd.,
¹Dept. of Chemical Engineering, Pusan National University,
²School of Environmental Science, Catholic University of Pusan
 (mawang01@hanmail.net*)

서론

각종 공단지역에서 발생하는 중금속함유 폐수의 친환경적 처리기술 확보에 많은 관심이 이루어지고 있다. 중금속 함유 폐수의 처리방법은 침전, 이온교환, 활성탄 흡착, 생물학적 처리 및 계면활성제나 응집제를 사용하는 분리공정법 등이 이용되고 있다[1]. 이들 공정은 전처리 혹은 후처리가 필요하며, 저농도의 중금속이 존재할 경우 처리효율이 감소하는 등의 단점이 있다. 최근 생물체 표면이나 내부로 물리·화학 및 생물학적 상호작용을 응용하여 유해 중금속을 흡착분리 제거하는 생체흡착제(biosorption)에 관한 관심이 높아지고 있다. 생체흡착제로는 식물, 해조류, 효모 및 박테리아 등이 있다[2]. 이들 중 활성슬러지에서 발생하는 폐슬러지는 대부분 미생물들로 구성되어 있어 생체흡착제로 이용이 가능하다[3]. 폐슬러지는 일반 미생물류 보다 취급이 쉽고, 양도 풍부하여 구하기 쉽고, 하수 발생 폐기물을 재활용한다는 측면에서 경제적 효용성을 가지고 있다.

본 연구에서는 하수처리장의 활성슬러지 공정에서 발생하는 폐슬러지를 이용하여 Pb^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{2+} , 및 Cd^{2+} 의 흡착성능을 알아보고 폐슬러지의 농도 증가에 따른 흡착량의 변화를 조사하였다. 흡착된 폐슬러지를 효율적으로 분리하기 위해서 가압 용존부상법(DAF ; Dissolved Air Flotation)을 사용하여 중금속 농도 변화에 따른 분리효율과 폐슬러지 농도 증가에 따른 분리효율 실험을 수행하였다.

본론

1. 실험 및 방법

1.1 중금속 흡착 실험

중금속 흡착에 사용된 흡착제는 활성슬러지 공정의 2차 침전지에서 발생하는 폐슬러지로서 생체흡착 실험전에 탈이온수로 3회 세척하여 실험에 이용하였다. 폐슬러지 농도는 건조중량을 사용하여 측정하였다. 중금속 용액은 시약급 $Pb(NO_3)_2$, $Cu(NO_3)_2$, $Cr(NO_3)_2$, 및 $Cd(NO_3)_2$ 를 일정한 농도의 용액으로 제조하여 사용하였다. 흡착 실험은 폐 슬러지 현탁액(50mL)과 중금속용액(50mL)를 각각 원하는 농도의 2배가 되도록 준비하여 300mL의 삼각 플라스크에서 부피비로 혼합한 후 진탕배양기에서 100rpm으로 교반하면서 일정시간마다 적당량의 시료를 채취하여 3000rpm에서 5분간 원심분리하여 상등액을 채취한 후 희석하여 원자흡광광도계(Shimadzu AA-670)로서 중금속 농도를 측정하였다.

30 °C에서 중금속과 폐슬러지 농도는 각각 250 ~ 2500 mg/L와 500 ~ 2500 mg biomass/L로 농도를 변화시키면서 생체흡착실험을 수행하였다.

1.2 폐슬러지 가압부상분리 실험

폐슬러지의 가압부상분리 실험은 DAF-jar tester(ECE engineering Co., Ltd)를 사용하여 회분식으로 수행하였다. 중금속이 흡착된 폐슬러지는 중금속 혼합용액 1L에 가압수를 0.2L 주입하여 가압부상분리하였다. 가압부상조건은 실온에서 교반강도 182.6 sec⁻¹인 조건에서 5분동안 생체흡착을 시켰다. 중금속이 흡착된 폐슬러지는 5 ~ 6 kg_t/cm³로 가압된 가압수를 주입하여 10분동안 부상시켰다. 폐슬러지와 용액이 분리된 것을 확인한 후 부상조 하부에서 시료를 채취하여 UV/VIS spectrophotometer와 원자흡광광도계를 사용하여 폐슬러지와 중금속 농도를 측정하였다.

2. 결과 및 고찰

2.1 중금속 생체흡착

Fig. 1은 흡착시간에 따른 Pb²⁺, Cu²⁺, Cr²⁺, 및 Cd²⁺의 생체흡착량 변화를 나타낸 것이다. 초기 중금속과 폐슬러지 농도는 각각 500 mg/L와 1000 mg/L로 하였다. 폐슬러지와 중금속의 흡착은 반응초기에 빠르게 일어났다. Pb²⁺와 Cd²⁺의 흡착평형 시간은 약 20분이었으며, Cu²⁺와 Cr²⁺은 약 40분이었다. Pb²⁺, Cu²⁺, Cr²⁺, 및 Cd²⁺의 평형흡착량은 각각 170 mg Pb/g biomass, 77.9 mg Cu/g biomass, 56.3 mg Cu/g biomass, 및 163.5 mg Cd/g biomass이었다. 폐슬러지의 생체흡착량은 약 40분이 경과 후 평형상태에 도달하였으나 시간에 따라 다소 흡착량이 변하는 경향을 보였다. 이는 폐슬러지의 생화학적 구조적인 특성 때문인 것으로 사료되는데 Bruus 등 [4]은 활성슬러지 플록의 구조가 2가 양이온과 체외고분자물질 및 세포벽의 관능기가 가교를 이루어 생체플록을 형성하고 있어 생체표면상의 중금속 흡착과 이온교환이 동시에 이루어지기 때문에 흡착평형에 도달한 후에도 흡착량이 다소 변화될 수 있다고 보고하였다.

Fig. 2는 폐슬러지의 농도 증가에 따른 중금속 흡착량을 나타낸 것으로 활성슬러지의 농도가 증가하면 생체흡착제당 중금속 흡착량이 감소함을 보여준다. 이러한 경향에 대하여 안[5] 등은 용액내의 생체

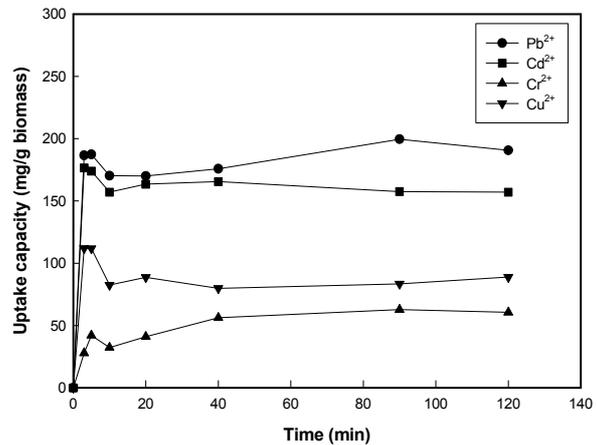


Fig. 1. Time course of uptake capacity of Pb²⁺, Cd²⁺, Cr²⁺, and Cu²⁺ by waste sludge (initial metal conc. : 500 mg/L).

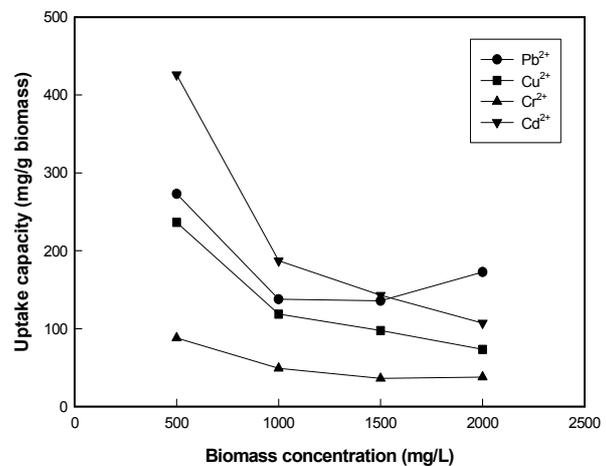


Fig. 2. Biosorption isotherm of Pb²⁺, Cu²⁺, Cr²⁺, and Cd²⁺ by waste sludge.

흡착제가 증가함에 따라 중금속의 대부분 흡착되어 미흡착된 site가 존재하기 때문으로 보고하고 있다. 본 실험에서 Pb^{2+} 와 Cd^{2+} 의 경우 0.5 g/L의 생체흡착제로 60분이 경과하였을 때 잔류 평형농도는 각각 363.5 mg/L와 287.0 mg/L가 되어 273.0 mg Pb/g biomass와 426.0 mg Cd/g biomass의 흡착량을 보였으며, Cu^{2+} 와 Cd^{2+} 의 경우 잔류 평형농도는 각각 381.8 mg/L와 455.9 mg/L가 되어 236.5 mg Pb/g biomass와 88.2 mg Cd/g biomass의 흡착량을 보였다. Pb^{2+} 와 Cd^{2+} 의 경우 2.0g/L에서 잔류 평형농도는 각각 154.6 mg/L와 285.5 mg/L로 흡착량은 172.7 mg Pb/g biomass와 107.3 mg Pb/g biomass이었으며, Cu^{2+} 와 Cr^{2+} 의 경우 2.0g/L에서 잔류 평형농도는 각각 353.0 mg/L와 424.3 mg/L로 흡착량은 73.5 mg Cu/g biomass와 37.9 mg Pb/g biomass이었다. 4종의 중금속에서 모두 생체흡착제의 농도가 증가함에 따라 단위생체흡착제당 중금속흡착량은 감소하는 경향을 보였다. 이는 생체흡착의 농도가 높은 경우 흡착할 수 있는 site가 남아 있더라도 세포벽과의 정전기적 인력, 흡착강도, 중금속의 이온반경, 흡착제 과다로 인한 충돌, 슬러지 플록 내의 양이온과의 이온교환 등과 같은 여러 가지 요인 때문에 미흡착 부위가 남아 있는 것으로 사료되었다[6].

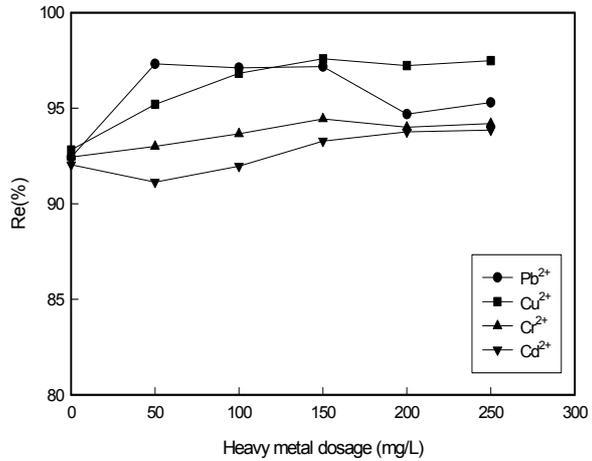


Fig. 3. Influence of heavy metal dosage on biosorptive flotation (sludge concentration : 1000 mg/L).

2.2 폐슬러지 가압부상 분리

활성슬러지 공정에서 배출된 폐슬러지는 대부분 미세한 미생물들로 구성되어 있어 침전법과 같은 재래식 분리공정으로는 처리의 한계를 가지고 있다. 가압부상분리법은 수중의 미세입자를 분리제거하는 공정으로 오래전부터 알려져 오고 있다[7].

중금속의 주입량에 따른 가압부상의 폐슬러지 분리효율을 Fig. 3에 나타내었다. 운전조건은 Fig. 1의 결과로부터 중금속이 흡착평형에 도달하는 시간을 기준으로 하여 흡착과 부상시간을 약 20분으로 조절하고, 다른 가압부상조건은 일정하게 하였다. 가압용존공기부상(DAF)에 의한 폐슬러지 부상효율은 중금속이 주입되지 않은 조건에서도 약 92%로 높게 나타났다. Pb^{2+} 와 Cu^{2+} 농도, 100~150 mg/L을 주입하였을 때 약 97%의 높은 분리효율을 나타내었다. 그러나 Pb^{2+} 의 경우는 200 mg/L 이상을 주입하게 되면 분리효율이 다소 감소되는 경향을 보였다. Cr^{2+} 와 Cd^{2+} 는 중금속의 주입량에 따라 슬러지 분리효율이 약간 증가하였으나 Pb^{2+} 와 Cu^{2+} 에 비해 미미하였다. 중금속의 종류에 따라 분리효율이 달라지는 것은 수중에 존재할 때 각 중금

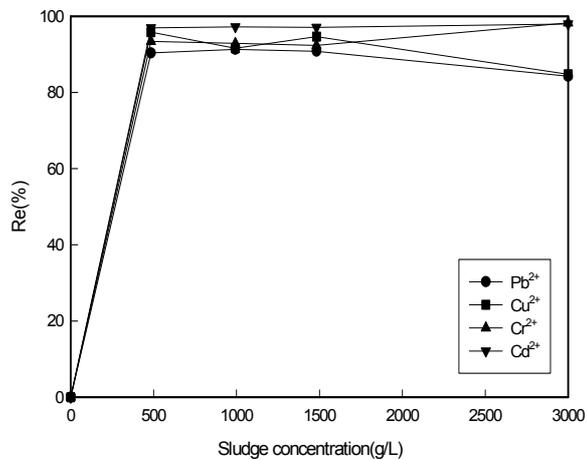


Fig. 4. Influence of sludge concentration on biosorptive flotation (metal dosage : 150mg/L).

속의 정전기적인 인력과 슬러지 내의 양이온과의 이온교환 능력에 따라 차이를 보인 것으로 사료된다.

Fig. 4는 폐슬러지 농도에 따른 폐슬러지 분리효율을 나타낸 것이다. 중금속 농도, 150 mg/L에서 폐슬러지 농도, 0.0~3.0 g/L로 변화시켰다. 폐슬러지 농도가 0.5 g/L이었을 때 Pb^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{2+} , 및 Cd^{2+} 의 중금속 주입에 따른 폐슬러지의 분리효율은 90.4%, 95.8%, 93.4%, 및 96.9%으로 나타나, 90%이상의 분리효율을 보였고, 슬러지 농도, 2.0 g/L까지는 거의 일정한 분리효율을 보였다. 그러나 슬러지 농도가 3.0 g/L에서는 Cr^{2+} 와 Cd^{2+} 는 거의 일정한 부상효율을 나타내지만, Pb^{2+} 와 Cu^{2+} 는 약 84%로 분리효율이 감소하였다. 폐슬러지의 농도 증가에 따른 분리효율의 감소는 부상분리조에서 발생된 기포의 농도에 비하여 폐슬러지의 농도가 높아졌기 때문으로 사료되었다.

결론

폐슬러지를 생체흡착제로 이용한 중금속 흡착 및 가압부상 분리 실험으로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. Pb^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} 및 Cr^{2+} 의 생체흡착량은 각각 170 mg Pb/g biomass, 77.9 mg Cu/g biomass, 56.3 mg Cu/g biomass, 및 163.5 mg Cd/g biomass이었다.
2. 생체흡착제의 농도가 증가함에 따라 단위생체흡착제당 Pb^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{2+} , Cd^{2+} 의 중금속 흡착량은 감소하는 경향을 보였다.
3. 생체흡착된 폐슬러지 농도 변화에 따른 폐슬러지의 분리효율은 90%이상 높게 나타났다.

참고문헌

1. N. S. Wei, "Removal of heavy metals from wastewaters", B&L Information Services, Toronto, pp. 4(1980).
2. Leusch A. et al., "Solution and particles effects on the biosorption of heavy metals by seaweed biomass", Appl. Biochem. & Biotech., Vol. 61, pp. 231-249(1996).
3. John N. Lester, "Heavy metals in wastewater and sludge treatment processes", CRC press, pp. 41-68(2000).
4. Bruus J. H. et al., "On the stability of activated sludge flocs with to dewatering", Wat. Res., Vol. 26, pp. 1597-1604(1992).
5. 안갑환과 서근학, "Saccharomyces cerevisiae에 의한 Pb 생체흡착", 한국생물공학회, 11, 2, pp. 173-180(1996).
6. Eric F. and R. Jean-Claude, "Heavy biosorption by fungal mycelial by-products : mechanisms and influence of pH", Appl. Microbiol. & Biotech., Vol. 37, pp. 399-403(1992).
7. Rich, L.G, "Flotation Processes: Environmental Systems Engineering", McGraw-Hill, International Student ed., pp. 346-351(1973).