

Iron Oxide Coated Sand(ICS)의 중금속 흡착제거 특성

최형진, 양재규,* 장운영

광운대학교 환경공학과 · *LG 환경안전연구원 (yychang@daisy.kw.ac.kr)

<요약문>

Metal sorption onto the ICS (Iron oxide coated sand) was studied in batch experiments. Heavy metal cations such as Cd, Pb, and Cu, and a metal anion, As, which sporadically exist in mine sites, were tested for the sorptive removal by ICS. In low pH conditions As showed the highest removal efficiency compared to the other metal cations. And the sorption removal of As was apparently pH-independent reaction. However, removal of metal cations increased with pH and above pH 7 most metal cations showed very low soluble concentrations after treatment. Such a high removal ratio of metal cations above the neutral pH appeared predominantly due to precipitation.

key word : heavy metal, ICS, sorption, precipitation, mine site.

1. 서 론

최근 환경부의 중금속 오염에 대한 법적조치 강화로 폐광산 등과 같은 대규모 중금속 오염지역에 대한 관심이 부각되고 있으며 관련 복원기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 국내 여러 연구조사에 따르면 폐광산등지에서 발견되는 대표적인 중금속 오염물질로는 Pb, Cd, Cu, 그리고 As 등이 제시되고 있으며 이들 물질들은 높은 농도로 토양에 잔류하고 있어 용출에 의한 주변 확산 가능성이 높은 것으로 알려져 있다. 토양중에 존재하는 여러 가지 형태의 광물질들은 지하 환경에서 중금속의 거동에 여러 가지 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며, 특히 일반적인 토양에서 흔히 발견되는 산화철은 양이온이나 음이온 모든 형태의 금속물질에 대해서 높은 흡착특성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 이러한 흡착 반응은 주로 토양의 pH에 의해 좌우되는 것으로 알려져 있다. 최근에 경제성과 제거성능에서 높은 관심을 받고 있는 산화광물에 대한 연구 가운데 인공적으로 제조한 ICS의 중금속 흡착 연구가 큰 주목을 받고 있다. 이 분야에 대한 연구는 주로 ICS의 제조방법과 그에 따른 흡착성능과 대상 오염물질별 흡착 반응의 특성 등이며 현장적용을 위한 고무적인 연구결과들이 발표되고 있다. 본 연구에서는 금속 양이온과 음이온 오염물질들을 대상으로 실험실에서 모래표면에 산화철을 피복한 ICS (Iron oxide coated sand) 흡착제를 이용하여 회분식 반응조건에서 pH 변화에 따른 각 물질별 흡착제거 특성을 알아보았다.

2. 본 론

실험에 사용한 모래는 입경이 0.5-1.0 mm의 주문진 여과사로 일차적으로 증류수로 세척한 후 건조하여

실험에 사용하였다. ICS 제조는 먼저 FeCl_3 과 증류수를 사용하여 제조한 Fe(III) 용액을 모래가 담겨진 용기에 일정량을 주입하고 초기 pH를 6N NaOH를 사용하여 12로 조절한 후 일정한 온도조건과 회전혼합이 이루어질 수 있는 진공 회전증발기를 이용하여 혼합시료가 완전히 건조될때까지 약 15분간 수분을 증발시켰다. 건조된 시료를 다시 105°C 에서 24시간 건조한 후 증류수를 사용하여 충분히 코팅되지 않은 철 성분이 완전히 제거될 때까지 씻어주고 다시 수분을 제거한 후 얻어진 ICS를 실험에 사용하였다. 실험에 사용한 인공 오염수는 각 물질별 원자흡광분석용 표준용액 (Kanto Chemical Co.)을 일정농도로 희석하여 제조하였다. 중금속 흡착반응 실험은 PP 재질의 50mL 원심분리용 바이얼에 pH를 조절한 인공 오염수 30mL와 0.5g의 ICS를 주입한 후 Rotary extractor를 사용하여 30rpm 회전조건에서 반응을 진행하였다. 각 시간별 시료채취는 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 12, 24 시간 간격으로 이루어졌으며, control 값과 비교하여 각 대상물질의 제거된 양을 측정하였다.

수용액중의 중금속 농도는 시간별 채취한 반응시료를 $0.45\mu\text{m}$ membrane filter syringe를 사용하여 여과한 후 Perkin Elmer사의 ICPOES를 사용하여 측정하였다.

실험결과

초기 pH를 각각 3.5와 4.5로 조절한 인공 오염수를 ICS를 첨가하여 24시간 흡착반응을 진행한 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 먼저 초기 pH를 3.5로 조절한 반응결과를 보면, 반응 pH의 경우에 시간에 따른 변화는 크게 나타나지 않았다. 이때 수용액중의 각 중금속의 농도감소는 As의 경우에 가장 크게 나타났으며 다음으로 Pb의 경우였다. Cd과 Cu의 농도는 초기값과 큰 차이가 없었다. 각 중금속의 농도변화는 초기 5시간 이내에 대부분 진행되었으며 24시간 이후의 농도 변화는 외관상 관측되지 않았다. 초기 pH를 4.5로 고정한 반응에서는 As의 경우에는 pH 3.5의 경우와 큰 차이가 없었으나 나머지 중금속의 경우에는 반응시작 후 바로 매우 높은 농도 감소율을 나타내었다. 이때 pH의 변화를 보면 반응초기에 초기 4.5에서 7-8 범위의 중성 pH 값으로 빠르게 증가하였다.

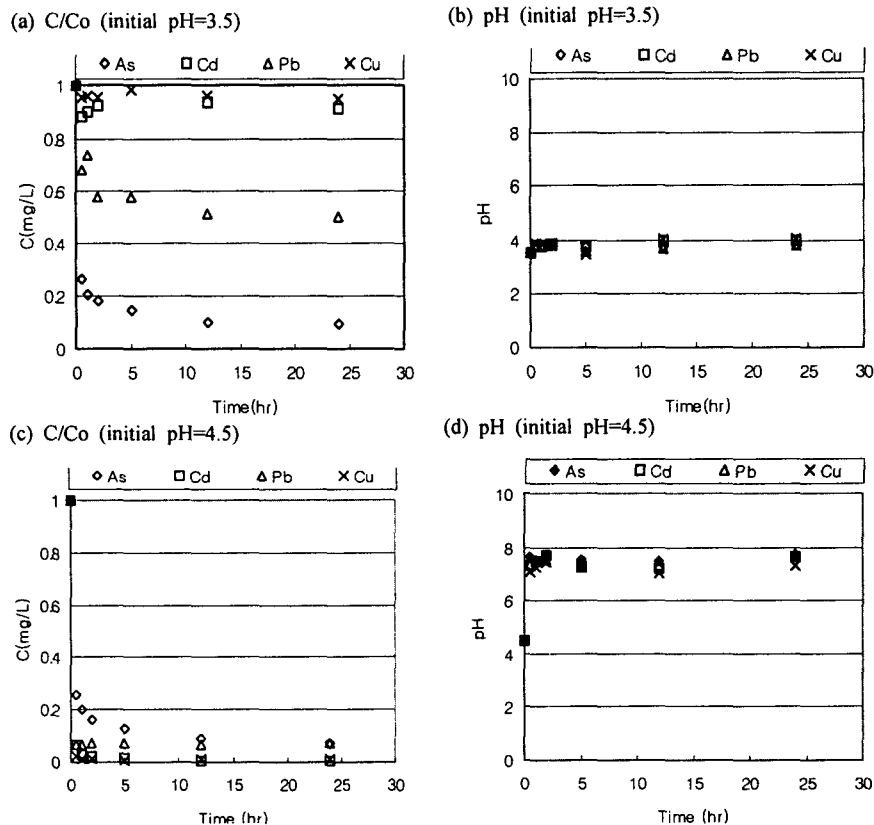


Fig. 1 Reduction of metal ions (As, Cd, Pb, and Cu) and pH change during the sorptive reactions with ICSs for initial pH 3.5 and 4.5 (0.5g ICSs/30mL solution)

이와 같은 pH 증가에 따른 Cd, Pb, Cu의 높은 제거율을 좀 더 알아보기 위하여 ICS를 주입하지 않은 조건에서 1 mg/L 중금속 용액의 초기 pH를 변화하여 24시간 교반 후 측정된 중금속 농도 결과를 Fig. 2에 나타내었다. As를 제외한 모든 중금속의 농도가 pH 6이상에서 점차 감소하였으며 중성이상의 pH에서는 특히 Pb와 Cu의 경우에 대부분 침전반응에 의해 제거됨을 알 수 있었다. 따라서 초기 pH를 4,5로 조절한 반응에서 AS의 경우에는 대부분의 농도감소가 ICS의 흡착반응에 의해서 제거된 반면에 다른 중금속의 경우에는 농도감소가 흡착반응뿐 아니라 침전반응에 의해서 크게 좌우되었음을 알 수 있었다. Fig. 3은 As의 초기 pH를 각각 3.5와 4.5조건에서 반응시킨 후 평형조건에서 얻어진 adsorption isotherm을 나타낸 것이다. As의 ICS 흡착은 주어진 pH의 범위에서 pH의 영향을 크게 받지 않는 것으로 나타났으며 As의 흡착 평형식은 pH 값에 상관없이 Langmuir 등온흡착식으로 잘 나타내짐을 알 수 있었다.(본 논문에는 상관 그래프를 생략하였음)

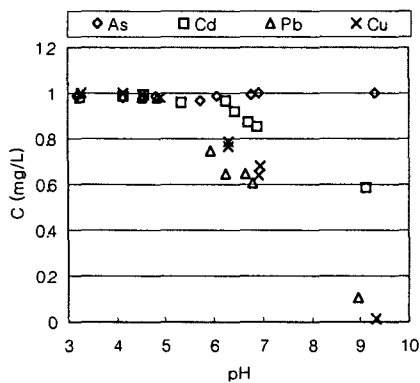


Fig. 2 Equilibrium concentrations of each metal ion at different pH conditions (Co=1mg/L)

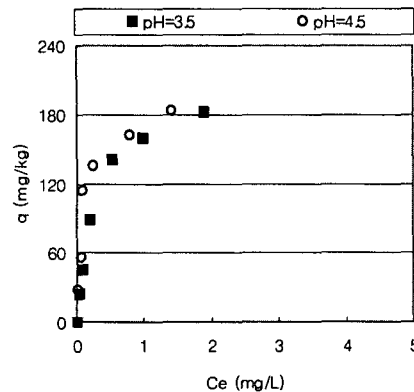


Fig 3. Adsorption isotherms of As (q= mg adsorbed As/kg ICSs, Ce = equilibrium conc. in solution)

감사의 글

본 연구는 환경부 차세대 핵심환경기술개발사업의 연구과제로 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

3. 참고문헌

1. 김명진, 안규홍, 정예진, "폐광산 광미에서의 비소분리 및 중금속 특성에 관한 연구", 대한환경공학회지, vol.23, no.10, pp.1711-1719, 2001.
2. Benjamin, Mark M.; Sletten, Ronald s.; Bailey, Robert P.; Bennett, Thmas, "Sorption and filtration of metals using iron-oxide-coated sand", Water Research, vol.30, no. 11, pp. 2609-2620, 1996.
3. Joshi, Arun; Chaudhuri, Malay, "Removal of aresnic from ground water by iron oxide-coated sand", J. Environ Eng-ASCE, vol.122, no.8, pp.769-771, 1996.