

ICS(Iron oxide Coated Sand)를 이용한 비소 제거

최형진 · 장운영 · 양재규*
광운대학교 환경공학과
*LG 안전환경연구원
driverchoi@hanmail.net

ABSTRACT

The overall objective of the adsorption study of arsenic was to elucidate the ability of iron coated sand(ICS), synthesized in the laboratory, to remove arsenic from polluted waters. Batch tests were conducted to provide a relation between arsenic removal and iron content of ICSs. The ICS, developed in the laboratory by coating iron onto the surface of ordinary sand by a simple and easy process has proved as an effective medium for use in removal of arsenic from waters over a wide range of particle sizes of ICS. The composite media is inexpensive to prepare and could serve as the basis of a useful arsenic removal process in variety settings.

Key words : arsenic, ICS, adsorption, composite media

1. 서 론

최근 심각한 환경문제의 하나로서 광산개발 당시부터 노출된 폐석, 광미사 등이 방치되어 있는 휴·폐광지역에는 다량의 독성 중금속들이 주변 환경과 생태계를 파괴하고 있다. 이러한 환경문제는 폐석과 폐광미 등에 존재하는 중금속들이 산성비나 산성수에 의해 용출되기 때문인 것으로 알려져 있다. 환경부 조사결과에 따르면 폐광산 지역 주변에 높은 농도로 존재하는 중금속들은 주로 As, Cd, Cu, Hg, Pb, Cr⁶⁺ 등인 것으로 보고되고 있으며, 이들 중금속들이 지하수나 지표수의 이동경로를 통해 주변 환경으로의 확산이 우려되고 있다. 특히 토양 및 지하수 중의 비소농도가 환경부 오염기준농도를 크게 상회하고 있어 심각한 환경오염이 우려되고 있다.

비소는 주변조건에 따라 다양한 형태의 산화상태(+5, +3, 0, -3)를 나타내며 자연조건에서는 일반적으로 As(III)와 As(V)로 존재하는데 그 비율은 산화환원전위에 따라 결정된다. As(V)는 산화조건이 지배적인 환경 하에서 pH에 따라 $H_2AsO_4^-$, $HAsO_4^{2-}$, AsO_4^{3-} 등과 같은 deprotonated oxyanions으로 존재하지만 약한 환원조건(산화환원전위 > 100mV)에서는 As(V)에 비해 독성이 큰 As(III)가 열역학적으로 안정하여 pH에 따라 $H_3AsO_3^0$, $H_2AsO_3^-$ 및 $HAsO_3^{2-}$ 등으로 존재한다. 그렇지만 지하수와 함께 유동하는 과정에서 산화환원 환경의 변화와 지하 매질과의 수리지구화학적인 반응에 따라서 그 독성과 유동성이 변화될 수 있으며 산화수 환경에서도 생물학적 작용에 의해 As(V)가 As(III)로 환원될 수 있음이 보고된 바 있어 혐기성 분위기의 지하수 및 하천 중에 오염된 이들 두 화학종들을 모두 처리할 수 있는 기술이 요구되고 있다. 본 연구에서는 휴·폐광산지역에서 발생하는 산성수와 산성비에 의해 용출된 비소 오염지하수 정화를 위한 방안으로서 표면에 3가 철을 코팅시킨 모래(ICS)를 이용하여 수중의 비소를 흡착제거하기 위한 기

초 실험을 수행하였다.

2. 재료 및 실험방법

실험에 사용한 모래는 일반 골재상에서 쉽게 구입할 수 있는 일반 모래로서 입경별 분류후 약 산으로 세척한 모래를 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 $105^{\circ}C$ 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 비소는 원자흡광분석용 Iron standard solution (Kanto Chemical Co.)를 희석하여 인공오염수로 사용하였다. ICS를 이용한 비소 흡착반응 실험은 130mL 바이얼에 1 mg/L As 용액 100ml와 ICS 5g을 주입하고 rotary extractor를 사용하여 30rpm 회전조건에서 실험을 수행하였다. 각 시간별 시료 채취는 15, 30, 60, 120, 240 분 간격으로 이루어졌으며, blank 값과 비교하여 비소의 제거된 양을 측정하였다.

수질시료중의 비소 농도측정은 미국 Standard Methods에 따라 비화수소 발생장치가 장착된 원자흡광분석기(AA 6401F, Shimadzu Co.)를 이용하여 측정하였으며, 제조한 ICS의 Fe 함량은 미국 EPA Method 3050B에 따라 역시 원자흡광분석기(AA 6401F, Shimadzu co.)를 이용하여 측정하였다. 토양의 CEC(Cation Exchange Capacity) 값은 미국 EPA Method 9081에 따라 sodium acetatedyddor를 사용하여 측정하였다. 모래입경별 Fe coating 효과와 그에 따른 비소흡착성능을 알아보기 위하여 모래 입경을 각각 1.0~1.5, 0.5~1.0, 0.3~0.6, 0.2~0.3 mm 네 가지로 분류하여 실험에 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 ICS 특성

먼저 실험에 사용한 모래의 CEC 값을 산 세척 전후로 측정하여 비교하여 보았다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 산으로 세척한 모래의 경우가 원래의 모래보다 약간 증가된 CEC 값을 나타내었다. 모래 표면에 코팅되는 Fe의 반응경로는 복잡하여 확실하게 규명이 되어있지는 않지만 Fe의 코팅정도는 모래 표면의 특성과 밀접하게 관련이 있다. 이러한 표면특성 중 무기물의 표면 결합과 깊은 관련이 있는 CEC 값을 비교하여 볼때 모래표면의 산 세척으로 모래표면에서의 Fe의 코팅이 향상될 것으로 추정된다. 또한 각 모래입경별 CEC의 값을 비교하여보면 입경이 작은 모래일수록 CEC의 값이 증가되는 것을 볼 수 있다. 따라서 모래 입경이 작아짐에 따라 반응표면적의 증가뿐만 아니라 반응정도에 있어서도 향상된 결과를 예측할 수 있다.

Fig. 2는 산세척한 모래를 사용하여 Fe를 코팅한 결과를 보여주고 있는데 본 연구에서는 모래의 입경분포가 0.5-1.0mm인 모래와 1.0-1.5mm인 모래사이의 Fe 코팅량은 큰 차이가 나지 않았으며 입경이 그 이하(0.3-0.6와 0.2-0.3mm)로 작아질수록 Fe의 코팅량이 증가됨을 알 수 있었다.

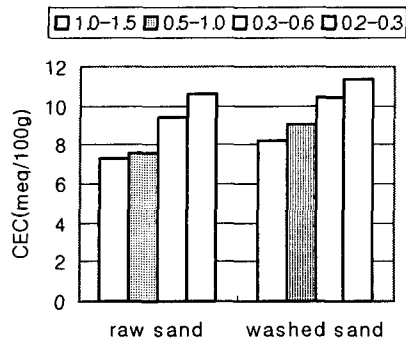


Fig. 1 CECs of acid and non-treated sands of different sizes

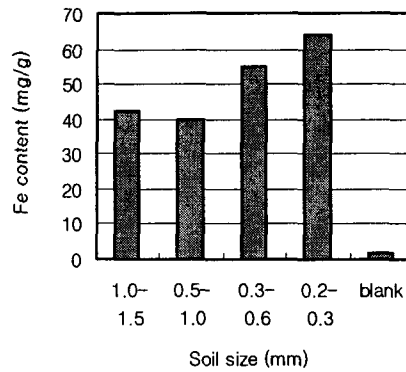


Fig. 2 Fe contents of ICSs of different sizes

3.2 As 흡착특성

Fig. 3에 제조한 ICS를 사용하여 수중의 As를 제거실험한 결과를 나타내었다. 참고로 Fe를 코팅하지 않은 모래를 주입한 경우(uncoated)와 아무 모래도 주입하지 않은 경우(blank)를 함께 비교하였다.

대부분의 반응은 약 60분 이내에 종료됨을 알 수 있었으며 입경이 1.0 mm이하인 ICS의 경우에는 90%의 As 제거가 15분 이내에 이루어졌으며 60분 이후에는 비소의 수질기준 0.05ppm 이하의 값을 나타내었다. ICS 입경별 As의 제거는 작은 입경일수록 높은 제거효율을 보여주었으며, Fe를 코팅하지 않은 모래에서 나타난 매우 낮은 제거율에 비하여 표면을 Fe로 코팅한 모래의 As의 흡착제거성능이 크게 향상되었음을 알 수 있었다.

반응진행에 따른 반응용액의 pH를 Fig. 4에 나타내었다. ICS를 사용한 반응조건에서 반응용액의 초기 중성 pH가 짧은시간내에 알칼리 조건으로 증가됨을 알 수 있었으며 입경이 작을수록 증가폭이 약간 크게 나타남을 알 수 있었다. 이러한 pH 증가는 코팅된 iron oxide의 영향때문인 것으로 추정된다.

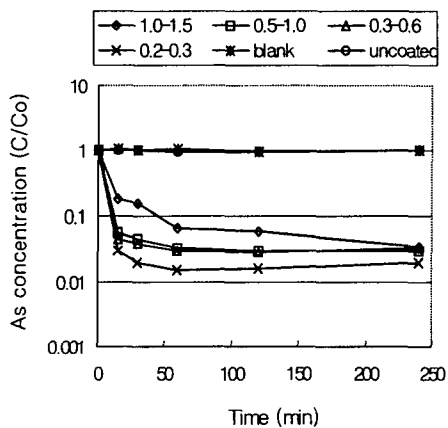


Fig. 3 Adsorptive removal of As by ICSs

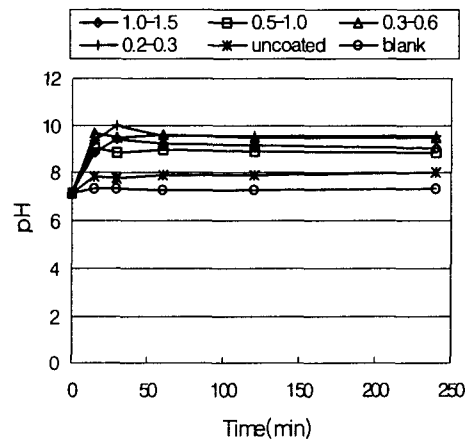


Fig. 4 pH change in the As adsorption reactions using ICSs

감사의 글

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

참고문헌

1. 오종기, 이화영, 김성규, 이재령, 박재구, "산침출에 의한 비소성분의 제거에 관한 연구", 한국토양환경학회지, vol.3, no.3, pp.21-31, 1998.
2. 김명진, 안규홍, 정예진, "폐광산 광미에서의 비소분리 및 중금속 특성에 관한 연구", 대한환경공학회지, vol.23, no.10, pp.1711-1719, 2001.
3. 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.
4. 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.
5. Lo, Shang-Lien; Jeng, Hung-Te; Lai, Chin-Hsing, "Characteristics and adsorption properties of iron-coated sand", Water Sci. and Technol., vol.35, no.7, pp.63-70, 1997.
6. Ngo, H.H.; Vigneswaran,S.; Hu,J.Y.; Thirunavukkarasu, O.; Viraraghavan,T., "A comparison of conventional and non-conventional treatment technologies on arsenic removal from water", Water Sci. and Technol., vol. 2, no. 5-6, pp.119-125, 2002.
7. Viraraghavan,T.; Subramanian, K.S.; Aruldoss. J.A., "Arsenic in drinking water - problems and solutions", Water Sci. and Technol. vol.40, no.2, pp.69-76, 1999.