

필터시스템을 이용한 비소처리흡착제의 성능비교분석

방선백, 김주용, 김경웅

광주과학기술원, 환경공학과

(e-mail: sbang@gist.ac.kr)

요 약 문

Laboratory and field experiments were conducted to study the effectiveness of five adsorbents for the removal of arsenic. The adsorbents included activated alumina (AA), iron coated AA (ICAA), and granular ferric hydroxide (GFH), granular ferric oxide (GFO), and granular titanium dioxide (GTD). Laboratory experiments were conducted to investigate arsenic removal using challenge water prepared in accordance with NSF International Standards 53 (ANSI/NSF 53-2001). Field experiments were conducted using arsenic-contaminated groundwater. In laboratory experiment, the treatment capacity decreased in the following order GTD > GFO > GFH. In contrast, the treatment capacity decreased in the following order GFO > GTD > GFH > ICAA > AA in field experiments.

Key word : Arsenic, Adsorption, Adsorbent, Treatment

1. 서론

자연적으로 발생한 비소에 의한 지하수의 오염은 세계의 많은 지역에서 발견되고 있다. 특히 오염된 비소가 식수로 사용되면서 인체에 많은 문제를 발생시켜오고 있다. 1950 년대에 대만에서 절정에 달했던 blackfoot disease의 원인이 비소로 오염된 지하수에 있다는 것은 잘 알려져 있다. 또한 1990년대에는 인도의 West Bengal에서 비소로 오염된 지하수를 식수로 사용한 20만 명 이상의 사람들이 비소와 관련된 질병을 가진 것으로 보고되었고 방글라데시에서도 현재 40만 명 이상이 비소로 오염된 지하수를 식수로 사용하고 있다. 미국에서도 비소로 오염된 지하수가 뉴멕시코주와 캘리포니아주를 비롯하여 미전역에서 많이 발견되고 있다. 2001년에 제정된 비소에 대한 음용수기준 ($10 \mu\text{g/L}$)이 2006년부터 적용되게 되는데, 지하수를 이용하여 수도수를 공급하는 3000 여개의 수도공급시설이 새로운 기준에 부적합한 것으로 조사되었다¹⁾. 더 문제가 되고 있는 것은 약 420만 명이 수도수를 이용하지 않고 지하수를 이용하여 식수를 공급한다는 데 있다²⁾. 비소처리를 위해서 가장 많이 사용하는 방법은 철염을 이용하여 비소를 응집 및 여과하는 방법이다³⁾. 그러나 많은 양을 경제적이고 효과적으로 처리할 수는 있지만 전문적인 운전자가 필요하고 또한 가정용으로 적합하지 않다. 그러나 흡착제를 이용한 비소처리시스템은 가정에서 쉽게 설치가 가능하고 유지 보수도 쉽고 운전도 간단하여 미국에서 가정용으로 점차 사용되고 있다. 비소처리를 위한 여러 종류의 흡착제가 상용화되어 있는데 그 중에서 5가지를 선택해서 비소처리의 성능을 비교분석하였다.

2. 본론

실험실 실험에서는 3가지 흡착제 (GFH, GFO, GTD)를 이용하여 challenge water에서 비소를 제거하는 실험을 통해서 제거성능을 비교하였다. Challenge water의 특성은 Table 1에 정리하였다. NSF international Standards 53에 따르면 Challenge water은 매일 DI water를 이용하여 실험하기 전에 만들어주도록 하고 있다. NSF international Standards 53은 각기 다른 흡착제의 성능을 비교하기 위하여 만든 기준이다. 특징은 운전 시 빠른 유속을 요구한다는 것과 30분간의 사이클로 필터시스템을 on/off모드로 16시간동안 반복하고 나머지 8시간동안은 off 모드로 하여 필터시스템을 운영하는데 있다. 이는 POU (Point-of-Usage) 필터시스템이 실제로 가정집에서 사용되는 것으로 가정하여 실험을 하는 것이다. 30분마다 on/off를 16시간 반복하게 하는 것은 가정집에서 물을 사용하기 위해서 밸브를 열고 닫는 것을 시뮬레이션 한 것이고 그 후 8 시간을 off 모드로 놓는 것은 취침 중 물을 사용하지 않는 것을 시뮬레이션 한 것이다. 또한 pH를 6.5와 8.5로 고정시켜 실험을 하게 하여서 각각의 흡착제가 pH와 처리수의 성분에 따라 처리효율이 변할 수 있는 요소를 감소시켜 흡착제의 성능을 확인할 수 있는 방법이다. 35 cm³ 부피만큼의 흡착제를 넣은 직경이 2.54 cm인 필터시스템을 140 ml/min의 유속으로 challenge water를 흘려보내주었다. 처리수의 비소농도가 10 µg/L이 될 때까지 필터시스템을 운영하였다. 유입수의 pH를 6.5로 고정했을 때 GFH는 315 L를 처리했고 GFO는 560 L, GTD는 1050 L를 처리되었다. 유입수의 pH를 8.5 으로 높였을 때에는 GFH는 102 L, GFO는 266 L, GTD는 270 L를 처리했다. 유입수의 pH가 낮았을 때에 모든 흡착제에서 비소처리효과가 증대되었고, GTD > GFO > GFH의 순으로 비소흡착성능은 감소하는 것으로 평가되었다.

Table 1. Characteristics of challenge water.

	pH 6.5	pH 8.5
Mg ²⁺	12 mg/L	12 mg/L
SO ₄ ²⁻	50 mg/L	50 mg/L
NO ₃ -N	2 mg/L	2 mg/L
F ⁻	1 mg/L	1 mg/L
SiO ₂	20 mg/L	20 mg/L
PO ₄ ⁻	0.04 mg/L	0.04 mg/L
Ca ²⁺	40 mg/L	40 mg/L
As(V)	50 µg/L	50 µg/L
Temperature	20°C ± 2.5°C	20°C ± 2.5°C
Total Chlorine	0.25-0.75 mg/L	0.25-0.75 mg/L
Turbidity	< 1 NTU	< 1 NTU

현장실험에서는 비소로 오염된 지하수를 이용하여 4000 cm³ 정도의 부피를 가진 5개의 필터 시스템에 3000 cm³ 정도의 부피만큼 5가지 흡착제를 넣어서 비소제거성능을 비교하였다. Table 2에 비소로 오염된 지하수의 특성을 정리하였다. 지하수와 challenge water를 비교하면, 오염된 지하수의 비소와 칼슘과 마그네슘, 및 실리카의 농도는 challenge water와 비슷하였고 challenge water에서는 질소 2 mg/L, 불소 1 mg/L, 인 0.04 mg/L이 지하수보다도 더 많이 들어있었다. 현장에서 사용한 필터시스템의 직경은 11.4 cm 였고 유속은 3 L/min으로 연속적으로 지하수를 필터시스템으로 흘려보내 주었다. 처리수의 비소농도가 10 µg/L이 될 때까지 운전한 결과에 따르면, 3000 cm³ 정도부피의 흡착제가 처리한 유량은 AA 6 m³, ICAA 21.9 m³, GFH 62.7 m³, GFO 174 m³, GTD 124.5 m³로 비소

로 오염된 지하수를 처리시에는 GFO > GTD > GFH > ICAA > AA의 순으로 비소흡착성능이 감소하였다. 유입수의 pH는 7.9로 유입수와 처리수의 pH 변화는 거의 없었다. Challenge water와는 달리 지하수에서는 GFO의 비소흡착성능이 GTD보다 더 높았다. 이는 GFO가 비소를 흡착하는데 있어서, challenge water에서는 있고 지하수에서는 없는 다른 이온들의 영향을 받지 않은 것으로 추측한다. 또한 유입수의 pH가 높은 것도 GTD의 성능을 저하시키는 것으로 판단되어진다. 실험실 실험에서 pH 6.5 일 때의 GTD 흡착성능은 pH 8.5 일 때보다 3.9 배정도 더 높았으나 GFO의 흡착성능은 pH 6.5 보다 pH 8.5 일 때 단지 2.1 배 더 높았기 때문이다. 비소로 오염된 지하수를 사용한 현장실험에서의 비소흡착성능은 GFO가 가장 높은 것으로 평가되었다.

Table 2. Characteristics of arsenic-contaminated groundwater.

	Raw water
Alkalinity	130 mg CaCO ₃ /L
Aluminum	<2.0 mg/L
Arsenic	49 mg/L
Calcium	40 mg/L
Chloride	8.3 mg/L
Conductivity	42 mS/m
Dissolved oxygen	0 mg/L
Fluoride	<0.1 mg/L
Hardness, Total	140 mg/L
Iron	<0.02 mg/L
Magnesium	12 mg/L
Manganese	<2.0 mg/L
pH	7.9
ORP	243 mV
Silica, Total	20 mg/L
Sulfate	62 mg/L
Temperature	12.9 °C
Total Dissolved Solid	0.26 mg/L
Turbidity	0.16 NTU

4. 결론

Challenge water를 이용한 실험실 실험에서는 GTD > GFO > GFH 순으로, 비소로 오염된 지하수를 이용한 현장실험에서는 GFO > GTD > GFH > ICAA > AA 순으로 비소흡착성능이 감소되는 것으로 평가하였다. 그러나 GFO와 GTD 흡착제의 비소흡착성능은 GFH, ICAA, AA보다 월등히 높았다. 전처리 과정으로 유입수의 pH를 약산성이나 중성으로 낮추어서 비소로 오염된 지하수를 처리한다면 GFO와 GTD 흡착제의 비소흡착성능을 더 증대할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 참고문헌

1. U.S. Environmental Protection Agency (2000) *Technologies and Costs for Removal of Arsenic from Drinking Water*, EPA 815-R-00-028, U.S. EPA, Washington DC.
2. Solley, W.B., Pierce, R.R., Perlman, H.A., (1998) *Estimated Use of Water in the United States in 1995*. U.S. Geological Survey Circular 1200, Denver, Colorado.
3. Meng, X., Bang, S., Korfiatis, G.P., (2000) Effects of silicate, sulfate, and carbonate on arsenic removal by ferric chloride. *Water Res.* 34, 1255-1261.