

## 산성하천수중 비소제거에 관한 연구

고인범, 이용두, 佐藤 學\*, 野池 達也\*

제주대학교 토목환경공학전공, \*일본 동북대학 공학연구과 토목공학전공 (inbeomko@cheju.ac.kr)

### <요약문>

In order to develop a new technique for the removal of arsenic compounds from acidified water, the removal of arsenic compounds by an acidophilic moss, *Jungermannia vulcanicola* Steph. was investigated in this study. The result of vial tests for arsenic removal is dependent on the biological activity of moss. The presence of phosphate inhibited the arsenic removal. And the acclimatization of moss by the media containing arsenic increased its capability of arsenic removal.

**Key words** : acidified water, arsenic, *Jungermannia vulcanicola* Steph., phosphate, moss

### 1. 서론

비소는 자연계의 도처에 존재하며, 모든 생물체에서 찾아 볼 수 있는 물질이다. 비소의 기원으로는 자연발생이 많고, 온천수나 광산 유출수에 고농도로 포함된다. 또한, 목재 방부제, 솜건조제, 제초제, 살충제로서 이용되는 것도 많고, 인위적으로도 대량 환경중에 배출되고 있다. 비소는 생물에 대해서 독성이 강한 물질이고, 암이나 기관지염, 피부에의 색소 침착 등 여러 가지 병을 일으키는 것으로 알려져 있다. 실제, 인도나 방글라데시 등 아시아 지역을 중심으로 하여, 세계 각지에서 음료수에 기인하는 만성 비소 중독이 발생하고 있어, 수많은 사람들이 그 피해에 괴로워하고 있다.

현재, 비소 함유 폐수는 주로 응집 침전법에 의해 처리되고 있다. 응집제로서 철이나 알루미늄 등이 이용되지만, 이들을 이용하여 제거 할 수 있는 것은 5가의 비소뿐이고, 3가의 비소는 거의 제거되지 않는다. 또, pH 4~5이외에서는 효과가 작다고 하는 결점도 있다. 그 외의 처리법으로서 활성탄이나 활성 알루미늄을 이용하는 흡착법도 있지만, 이것은 최적 pH의 영역이 좁고, 흡착량도 미미하다. 역삼투법은 높은 처리 능력을 나타내지만, 비용이 비싼 것이 문제이다<sup>1)</sup>.

인류의 건강을 지키기 위해서 3값의 비소에도 대응 할 수 있고, pH 4 이하의 낮은 pH영역에서도 유효하고, 게다가 비용의 낮은 비소 제거법의 개발이 요구되고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 산성 하천에 생식하고 있는 비늘이끼속의 이끼를 이용해 새로운 비소 제거법에 관해서 검토했다.

## 2. 실험 방법

이끼는 산성 온천수가 배출되는 하천에 생식 하고 있는 비늘이끼를 실험 재료로서 이용했다. 현장에서 채취해 온 하천수를 넣은 수조안에서 배양을 행하였다. 이끼가 성장하기 쉽게 수온을 20℃로 유지하고, 800 lux의 빛을 형광등에 의해 조사했다(12시간 점등, 12시간 소등의 사이클을 반복했다). 실험에는, 표 1에 나타낸 모의 하천수 배지를 이용했다. pH는 실험에 사용한 이끼가 생식 하고 있던 하천의 pH값이 되도록 조정했다. 비소는, 거의가 자연 환경중에서 3가 혹은 5가의 무기태로서 존재하고 있지만, 이번 실험에서는 3가의 무기태( $\text{NaAsO}_2$ )를 증류수에 용해 시킨 것을 이용하였다. 120mL 용량의 유리병을 준비해, 배지를 적당량을 넣고, 비소를 적당량 첨가했다. 그곳에 증류수로 3회 정도 세정한 비늘이끼를 투입했다. 배양조의 수온은 20℃로 하였고, 조도 및 진탕수는 각각 800~1000 lux, 50 spm으로 조절하였다.

## 3. 실험 결과와 고찰

### 3.1 As(III)제거에 대한 이끼의 상태의 영향

수중에 존재하는 As(III)를, 비늘이끼의 작용으로 제거 할 수 있는 것을 예비 실험에 의해 미리 확인했다. 여기에서는, 그 제거 기구에 관해서 검토한 결과에 대해서 적는다. 생물에 의한 비소 제거에는 응집, 흡착과 같은 물리화학적 작용과 생물학적 작용이 생각된다. 본 실험에서 이용한 비늘이끼에 의한 비소 제거는, 어느 쪽에 기인하는지에 대하여 이끼의 활성의 대소에 의한 제거량의 차이를 비교했다. 활성의 대소는, 실험시의 온도를 변화시키는 것에 의해 조사되었다. 식물의 성장에 가장 적합한 20℃을 활성대, 거의 효소의 기능이 정지하는 1℃을 활성소라고 정하였다. 본 실험에 있어서, 초기 As(III) 농도가 각각 0.5, 2mgAs/l가 되도록 첨가했다. 이끼는 건조 중량 환산으로 0.14~0.2g 투입하여, 배양실험을 행했다. 단위 건조 중량당의 As(III)의 제거량을 그림 1에 나타냈다.

그림 1에서 보면, 24 시간후의 값을 비교했더니, 초기 As(III)농도 0.5, 2mgAs/l의 실험 계열의 각각의 농도로, 수온 20℃의 활성대의 경우가 높은 값을 나타내었다. 이 때의 활성대와 활성소와의 값 차이가, 비늘이끼의 생명 활동에 의한 As(III)의 제거 능력으로 추측된다. 이러한 결과는 비늘이끼를 냉동 건조 처리한 경우와 아무것도 처리하지 않은 경우를, 동일 조건으로 비교 실험했을 때에, 냉동건조 처리한 경우에서 아주 적은양의 제거된 것으로부터 알 수 있다.

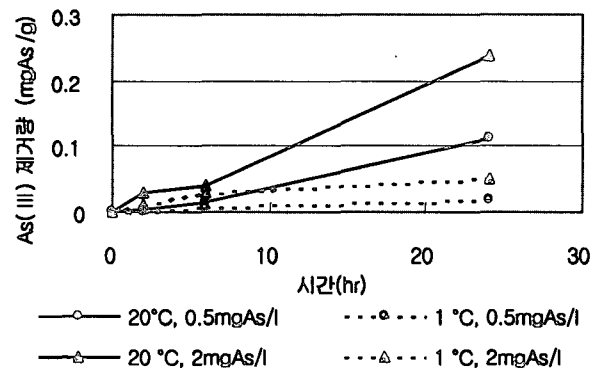


그림 1 단위 건조 중량당 As(III)의 제거량

### 3.2 As(III)제거에 대한 인 성분 공존의 영향

식물의 As(V)제거에는, 인산과의 경합이 알려져 있으며, 인산 섭취 기구에 의해 As(V)가 섭취된다고 일반적으로 생각되어지고 있다. As(III)와 인산염과의 사이에 관계가 있다고 하는 지견은 없으나, 여기에서는 그 관계에 대해서 검토했다.

배지에 As(III)만을 첨가한 것과 As(III)와 인산염을 모두 첨가한 것과의 의한, 수중 비소 농도 변화의 비교를 했다. 초기 As(III) 농도는 10mgAs/l로 하였고,  $\text{PO}_4\text{-P}$ 농도는 60mgP/l로 첨가하였다. 실험 결과

를 그림 2에 나타내었다.

수중에 인산이 공존하지 않는 조건에서는 수중 비소 농도가 크게 감소했지만, 인산이 공존하는 경우에는, 거의 감소하지 않았다. 본 실험에 이용된  $PO_4\text{-P}$ 의 농도는 이끼의 배양에 이용되는 농도로, 생육 저해가 생겼다고는 생각되지 않는다. 따라서, As(III)에 관해서도, As(V)와 같이 인산염과의 경합에 의해 As(III)보다 인산이 우선적으로 섭취된다고 추측할 수 있다. 따라서, As(III)도 인산 섭취 기구로 섭취되고 있을 가능성이 높다.

### 3.3 순응에 의한 As(III)제거능 강화

비늘이끼에 의한 As(III)의 제거를 실제의 물처리에 이용하려고 생각할 경우, 그 제거능은 보다 높은 편이 바람직하다. Maeda들은 미생물을 As(V)가 존재하는 환경으로 순응시켰더니, As(V)에 대한 내성을 가지게 되어, As(V) 제거량이 증대했다고 보고하고 있다<sup>2)</sup>. 여기서, 비늘이끼의 As(III) 제거에 있어서도 같은 현상이 일어날까에 대해서 검토했다.

유사 하천수 배지에, 초기 As(III) 농도가 각각 0, 0.1, 1, 10mgAs/l가 되도록 As(III)를 첨가해서 순응시켰다. 순응개시보다 3일 경과한 시점에서, 각각의 순응배지로부터 건조 중량 환산으로 약 0.1g의 이끼를 꺼내, 순수한 물로 세정한 후 실험에 이용했다. 실험은, 초기 As(III) 농도를 1 mgAs/l에 설정한 유사 하천수 배지를 4 계열 준비하여 실험을 개시했다. 이것과 같은 실험을 순응개시후 6, 9, 12일 경과한 시점에서도 행하였다. 3, 6, 12 일째의 이끼를 이용한 실험에 있어서의 수중 비소 농도 변화를 그림 3에 나타냈다.

순응기간이 길어질수록 수중 비소 농도의 감소양이 커졌다. 비늘이끼를 As(III) 공존 환경에서 순응시키는 것으로 As(III) 제거능이 강화되어 As(III)을 제거하는 양이 현저하게 증가하는 것이 시사되었다. 그러나 이 As(III) 제거능 상승이 As(III)에 대한 내성일지 어떨지는, 이 실험만으로는 단정할 수 없다.

### 3.4 연속 실험

지금까지는 회분적인 실험을 행하였으나, 실제의 오염 환경을 고려할 경우, 연속적인 비소 공급에 대해서 적응할 필요가 있다. 본 실험에서는 8~12시간 사이클로 배지에 As(III)를 0.1mgAs/l씩 첨가하는 연속실험을 행하였다. 실험 결과를 그림 4 및 5에 나타내었다.

그림 4에 있어서, 0~40시간에서는 비소 농도의 증가가 관찰되었다. 40~100시간에서는 0.25~0.35mgAs/l의 범위를 나타내었고, 100~200시간에서는 점차 감소해, 그 이후 비소를 투여해도 검출 한계까지 제거되었다. 이것은 3.3으로 나타낸 제거능의 강화에 의하는 것이라고 추측된다. 그림 5에 있어

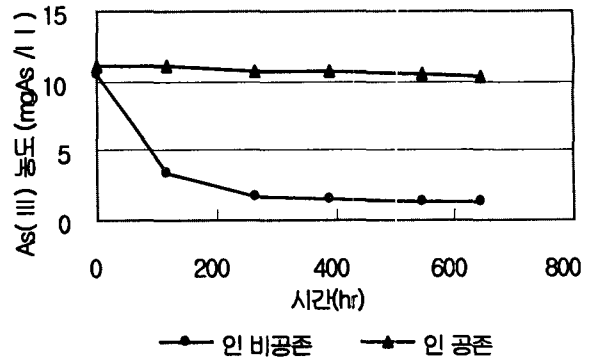


그림 2 수중 비소농도의 경시 변화

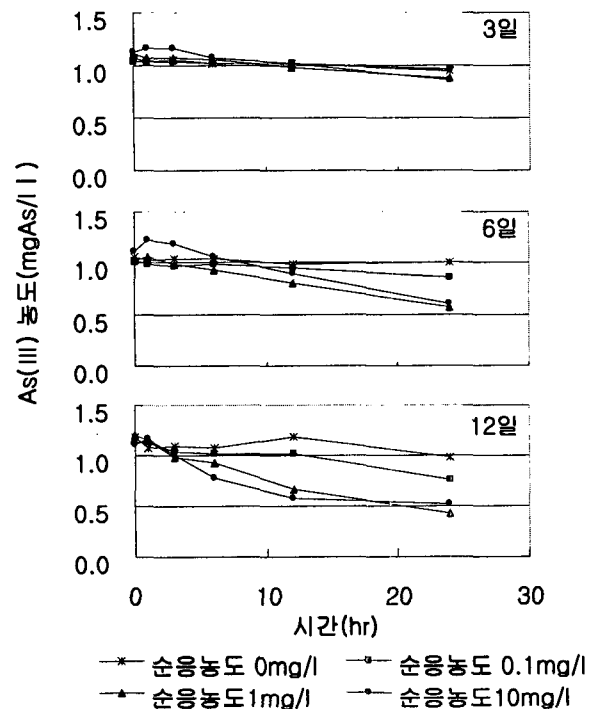


그림 3 각각의 순응농도에서 비소농도의 경시변화

서의 단위 건조 중량당의 As(III) 제거량은, 6mgAs/g를 초과하는 것으로 나타나고 있어, 조건 나쁨에서 는 한층 더 큰 제거량도 가능하리라고 하는 것이 시사된다.

#### 4. 결론

일반적인 비소 제거법으로는, 강산성 조건하, As(III)에 대해서, 모두 곤란하지만, 비늘이끼를 이용하는 것으로 두가지 모두를 해결하는 것이 가능함을 알 수 있었다. 따라서 새로운 비소 제거법으로서 점토의 여지가 충분히 있다고 할 수 있다. 그러나 이끼는 증식이 늦기 때문에, 이끼를 방대하게 사용해야 하는 처리는 곤란하리라고 생각된다. 또, 비소는 형태에 의해 독성이 크게 다르기 때문에, 이끼 체내에서의 비소의 존재 형태를 분명히 할 필요가 있다.

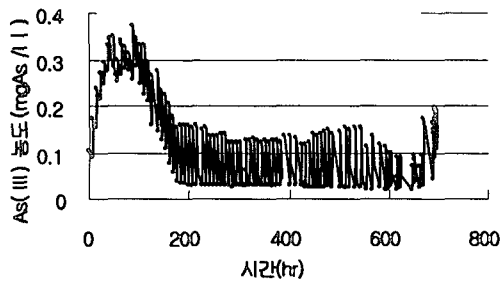


그림 4 연속실험에 있어서 비소농도의 변화

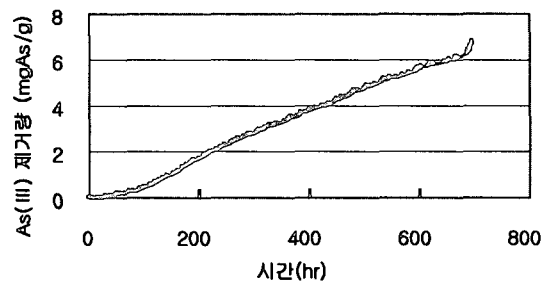


그림 5 연속실험에 건조중량당 비소 제거량

#### 5. 참고문헌

- 1) 徳永修三, 水中からのヒ素の除去技術, 水環境學會誌, 20(7), 452-454, 1997
- 2) S. Maeda; *Sepa. Sci. Tech.*, 20, 153-161, 1985