

석탄회를 이용한 폐수 내 중금속 제거

오달영 · 조희찬 · 전효택¹⁾

1. 서론

본 연구에서는 석탄회 재활용의 새로운 수요처로 석탄회를 저가의 금속 폐수 흡착제로서 개발하고자 석탄회의 흡착 성능과 특성을 파악하였다. 석탄회는 강알칼리성 물질로서 수용액상에 존재하는 금속이온들에 대하여 침전 또는 표면 전하에 의한 정전기적 흡착을 기대할 수 있다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1. 시료의 특성

본 실험에서 사용된 석탄회는 석탄 화력 발전소에서 채취하였으며, 강열 감량(LOI, Loss of Ignition) 5.7%로 전체 성분의 80%정도를 차지하는 것이 SiO_2 와 Al_2O_3 이며, 그 외 Fe_2O_3 와 CaO 가 11%를 차지하고 있다.

2.2 실험 방법

실험은 batch 방법으로 수행되었다. 우선 석탄회를 110°C에서 2시간 동안 건조시킨 후, 석탄회의 용액 내 농도가 10g/L가 되도록 석탄회와 증류수 50ml를 넣고 2시간동안 25°C로 고정된 수욕조 내에서 교반시켜 pH가 안정화되도록 하였다. 안정화 후 1M 질산을 이용하여 pH를 3, 4.5, 6, 7, 8, 10, 12로 조정하였으며, 금속 이온을 첨가하고 평형에 도달할 때까지 25°C로 고정된 수욕조 내에서 교반시켜 흡착이 수행되도록 하였다. 이 때 첨가한 이온의 농도는 10, 25, 50, 100, 200, 400mg/L이며, 흡착이 끝난 후 여과하여 원자흡광분석기(AAS)로 남아있는 금속 이온의 농도를 측정하였다. 같은 방법으로 2분에서 4시간까지 일정한 간격으로 Kinetics 실험을 수행하였으며, 침전의 경향을 알아보기 위한 실험은 석탄회를 넣지 않고 pH를 조절한 증류수를 사용하여 흡착 실험과 동일하게 수행되었다. 또한 각 금속 이온을 함께 넣고 pH 6, 8에서 multi-experiment를 수행하여 금속 이온 간 영향 및 흡착 순위를 알아보았다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 침전 및 제타전위

Fig. 1은 100mg/L의 농도를 가진 아연, 납, 카드뮴 그리고 구리 이온이 pH에 따라 어떤 식으로 침전하는가를 보여주고 있다. 우선 아연과 카드뮴의 침전 형태는 매우 유사한데, 이 두 이온의 침전은 pH가 증가함에 따라 서서히 일어나지만, pH 10을 넘어서 두드러지게 나타나며, pH 12에 이르면 대부분 침전된다. 납의 경우는 pH 8이하에서는 침전이 잘 일어나지 않으나 8 이상이 되면 급격히 증가하여 pH 10에 이르면 대부분 침전된다. 구리 이온 역

주요어: 석탄회, 중금속 흡착, Freundlich isotherm

1) 서울대학교 지구환경시스템공학부(kurt029@snu.ac.kr)

시 매우 우수한 침전성을 보였다. 석탄회를 첨가했을 때 나타나는 pH는 10 - 13 정도이기 때문에 다른 영향이 없다면 금속 이온은 침전으로도 많은 양 제거될 것이다. pH에 따른 제타전위는 pH 3정도에서 PZC를 보였으며, 그보다 높은 pH에서는 표면전하가 (-)로 대전되어있음을 알 수 있었다.

3.2. Kinetics

시간에 따른 흡착의 경향을 알아보려고 침전의 영향이 적은 pH 6에서 배치 실험을 수행하였다. 이 때 금속 이온들의 초기 농도는 50mg/L 이며, 석탄회의 농도는 10g/L로 동일하게 조정하였다. 흡착은 초기 20분에 급격하게 일어나 시간이 지남에 따라 평형에 도달하였으며, 아연의 경우는 2시간, 납과 카드뮴, 구리 이온은 3시간이 지나 평형에 도달하였다.

3.3. 각 금속 별 제거효율

석탄회를 이용한 아연(Fig. 2)의 제거는 pH 6에서는 50mg/L 이하의 경우에 90%의 제거율을 볼 수 있었다. 그러나 pH 8이상이 되면 100mg/L 이하의 농도에 대하여 95% 이상의 제거율을 보이며 pH 10에 이르러는 400mg/L의 고농도에서도 90% 이상의 제거율을 보였다. 그리고 pH 12에서는 모든 농도에 걸쳐 99.9% 이상이 제거되었다.

납(Fig. 3)은 pH 4.5에서도 10mg/L에서 95%가 넘는 제거율을 보여주며, pH 6이상에서는 모든 농도에 걸쳐 대부분 제거되었다.

카드뮴 이온(Fig. 4)은 네 원소 중 가장 낮은 제거율을 보였다. pH 6이하에서는 제거율이 다른 원소들에 비해 현저히 낮았으며, 석탄회의 양을 두 배로 늘렸음에도 제거율은 50%를 넘지 못했다. 그러나 pH 7이상이 되면 카드뮴 이온의 제거 역시 용이하였으며, pH 에 따른 흡착 경향은 아연과 유사하였다.

구리 이온(Fig. 5)은 pH 4.5에서 70% 정도의 제거율을 보였다. 또한 구리 이온은 pH 6 이상에서는 100mg/L 이하의 농도일 경우 95%가 넘는 제거율을 보였다.

금속 이온의 제거에 가장 큰 영향을 끼치는 변수는 pH로 네 금속 이온들이 약간씩은 차이가 있으나 모두 pH에 민감하게 반응하여 pH 증가에 따라 제거율이 증가하였다. 높은 제거율을 보여주는 pH 범위에는 금속 이온마다 차이가 있으나 모두 pH 8이상에서는 95% 이상이 제거되었다. 또한 금속 이온의 농도가 증가함에 따라 제거율은 감소하였으며, 같은 조건에서 제거율은 납 이온이 가장 높았으며, 구리, 아연, 카드뮴 이온 순으로 감소하였다. 또한 석탄회의 농도를 높이면 제거율이 증가하였다.

3.4 Freundlich isotherm

Freundlich isotherm을 통하여 네 원소의 흡착 형태를 분석해 본 결과 모두 비슷한 경향을 띠는 것을 알 수 있었다.(Fig. 6) pH가 낮은 경우 그래프는 linear하게 나타났으나 pH가 높아지면 그래프는 두 개의 linear한 영역으로 나누어진다. 이것은 표면 상태의 변화를 암시하는 것으로 앞 영역에서는 금속 이온이 석탄회에 흡착되는 부분이고 어느 정도 흡착이 일어난 후 흡착된 이온과 용액 내 이온 사이의 반응을 생각해볼 수 있는 부분이 뒤 영역이라고 할 수 있겠다. 이 때 그래프가 꺾이는 부분의 q_e 는 아연의 경우 3.16mg/g, 납은 10.00mg/g, 카드뮴은 5.01mg/g, 구리는 2.00mg/g의 값을 보였다. 이들의 비는 각 원소들의 분자량의 비와 거의 유사하였다.

3.5 Multi-experiments

금속 이온을 각각 두 가지씩 그리고 네 가지 모두를 함께 실험한 결과 금속 이온의 흡착에

는 우선 순위가 존재함을 알 수 있었으며, 이온 중 흡착 순위는 $Cu > Zn > Cd$ 로 나타났고 납의 경우는 $Zn, Cu < Pb$ 이나, $Pb < Cd$ 의 결과를 보였다. 이 때 어느 한 이온이 우세하면 상대적으로 다른 이온의 흡착량은 줄어들었으며, 납의 경우는 약간 예외로 납 자체의 흡착량은 항상 높았다. 또한 네 금속을 한꺼번에 적용할 경우 상호작용에 의해 전체적인 제거율은 카드뮴을 제외하고는 증가하는 경향을 보였다.

4. 참고문헌

1. Weng, C. H. and Huang, C. P., 1994, "Treatment of Metal Industrial Water by Fly Ash and Cement Fixation," J. Environ. Eng. Div. ASCE, Vol. 120, pp. 1470-1487
2. Viraraghavan, T. and Rao, G. A. K., 1991, "Adsorption of Cadmium and Chromium from wastewater by fly ash," J. Environ. Sci. Health, Vol. A26, pp. 721-753
3. Yadava, K. P., Tyagi, B. S., Panday, K. K and Singh, V. N., 1987, "Fly Ash for the Treatment of Cadmium Rich Effluents," Environ. Tech., Vol.8, pp. 225-234

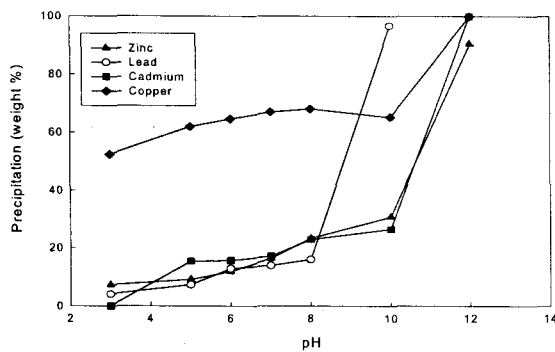


Fig. 1. Precipitation of heavy metals at various pH

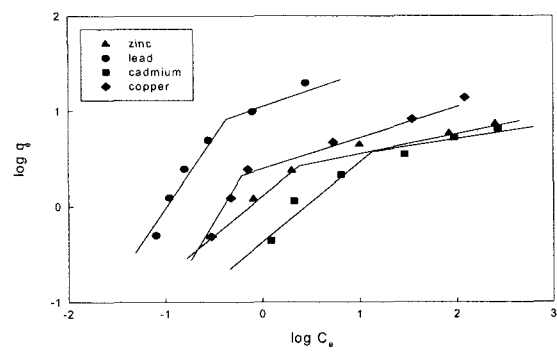


Fig. 6. Freundlich plot for heavy metals at pH 7

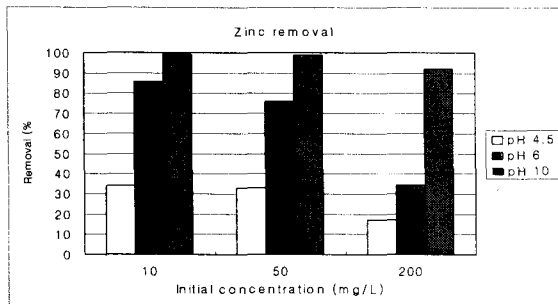


Fig. 2. Zinc removal at various pH

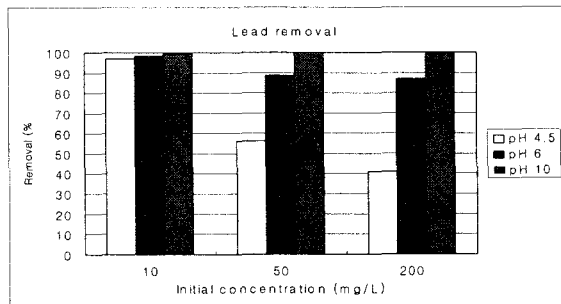


Fig. 3. Lead removal at various pH

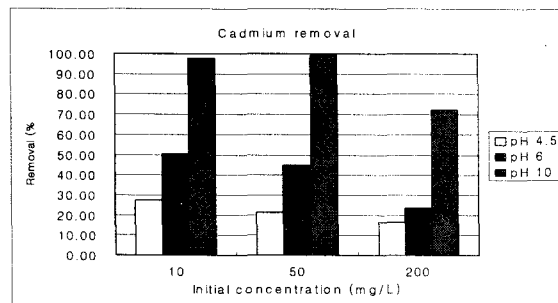


Fig. 4. Cadmium removal at various pH

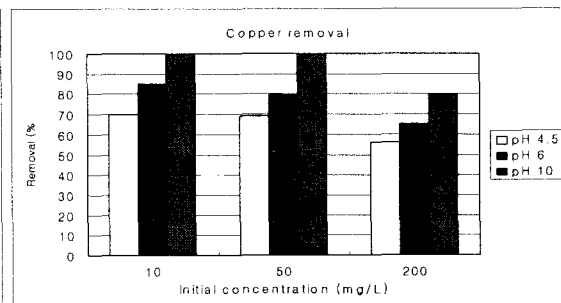


Fig. 5. Copper removal at various pH