

황토, 갯벌 및 머드의 중금속 흡착율에 관한 실험적 연구

이인숙 · 이미영 · 이택중 · 김현정 · 이병창 · 정명상

방은옥 · 송현실 · 황혜경 · 이중호 · 조영채*

충청남도보건환경연구원 수질보전검사과 · * 충남대학교 의과대학 예방의학교실

An Experimental Study on the Adsorption rates of Heavy Metals by Yellow Loess, Tidal Plat Sediment and Mud

I.S.Lee · M.Y.Lee · T.J.Lee · H.J.Kim · B.C.Lee · M.S.Jeong

E.O.Bang · H.S.Song · H.K.Hwang · J.H.Lee · Y.C.Cho*

**Department of Water Quality Preservation Analysis, Institute of Health and Environment,
Chungcheongnam-Do · Department of Preventive Medicine and Public Health,
College of Medicine, Chungnam National University**

Abstract

Yellow loess, Tidal plat sediment, and mud are known to be high in adsorption though they have great distinction according to the ratio of clay minerals content and their kinds. Thus one of the samples for this study can be obtained by drying of Yellow loess, Tidal plat sediment, and the mud which is semifinished products that are from the progress of heat treatment and making homogeneity which can be found everywhere in our country. Another sample can be prepared by reducing pollutants with the adsorbent and by burning heavy metals of their own. With the samples, noxious heavy metals such as Pb, Cd, and essential trace elements such as Cu, Fe, Mn by each concentration is tested for adsorption according to pH, the kinds of adsorbents and the amount of injection. With the help of these steps, this study shows that the adsorbents, which are green, reducing the additional pollution and low in price, can be found. It also shows that the optimal condition for removing pollutants can be found and the basic materials for treating water can be offered. The results were as follows ;

Yellow loess shows the rates of adsorption by more than 50% and Tidal plat sediment and Mud show it by more than 90%. Thus Tidal plat sediment and Mud are higher than Yellow loess the rates of adsorption.

The pH should be treated in natural condition because the rates of adsorption of Pb, Cd, Cu, Mn excepting Fe in mud is higher in pH 7 than in pH 3 of Yellow loess, Tidal plat sediment, and Mud.

The drying adsorbents are good to use because the rates of adsorption of heavy metals has tendency to be higher in the drying method than in the burning method.

It is considered that the more the amount of the injection of the adsorbent is , the higher the rates of adsorption is, and one gram is reasonable for the amount of the injection of Tidal plat sediment and mud.

Yellow loess is suitable for the treatment of the water that includes low concentration of heavy metals because it has the lower rate of adsorption as the concentration of noxious heavy metals is higher.

It is thought that Tidal plat sediment and Mud is proper for the treatment of the water that includes high concentration of heavy metals because the rates of adsorption has not been changed as the concentration of heavy metals increases.

Key word : Adsorption rates, Heavy Metals, Yellow Loess, Tidal Plat Sediment, Mud

I. 서 론

물은 생명의 근원이자 모든 생명체에서 없어서는 안 될 중요한 요소이다. 맑은물 보전을 위한 정책 수행과 홍보, 캠페인, 민간단체의 활동이 있지만 음용수와 용수의 근원인 지하수, 하천수, 호소수 등은 급속히 오염되어가고 있다.

특히 중금속에 의한 환경오염은 먹이사슬을 통해 동·식물계에 농축되어 간다는데 큰 문제점이 있다. 고 농축된 중금속에 의해 생육에 지장을 받고 있는 식물에 대한 보고와,^{1~3)} 수은에 의한 미나마타병과 카드뮴에 의한 이따이이따이병⁴⁾ 등 중금속에 의한 유병 사례가 이미 보고 된 바 있다.

우리나라 정수처리에 있어서 오염물질을 제거하기 위한 방법으로 흡착법⁵⁾과 응집제를 이용한 응집·침전법⁶⁾을 이용하지만, 이는 2차 오염을 야기시킬 수도 있다. 따라서 본 연구에서는 가장 친 환경적이면서 2차 오염을 줄이고, 저렴한 비용으로 수중의 중금속을 제거할 수 있는 방법으로 흡착이 가능하다고 알려진 황토, 갯벌 그리고 머드를 흡착·응집제로 사용하여 흡착제로서의 가능성을 조사하였다.

황토, 갯벌, 그리고 머드를 풍건하여 시료로 하고, 또한 각 흡착제를 회화시켜 흡착제 자체에 의한 오염물질을 감소시킨 것을 시료로 하여 pH, 흡착제 종류 및 주입량, 유해중금속인 Pb, Cd과 미량필수금속⁷⁾인 Cu, Fe, Mn을 농도별로 조제하여 이의 흡착제 거실험을 하여, 이것을 수처리 기술의 기초 자료로

제공하는데 본 연구의 목적이 있다.

II. 조사대상 및 방법

1. 조사대상

환경오염물질 흡착제거 실험을 위한 흡착제로서 충청남도 보령시에서 황토 및 갯벌을 채취하고, 보령시청 관광과에서 갯벌을 균질화 및 열처리공정을 거쳐 반제품화 되어 있는 머드를 구하여, 바람이 잘 통하는 음지에서 5일간 풍건하고 500g을 취해 막자 사발에서 완전히 분쇄하여 100 mesh체에 통과 시킨 후 풍건흡착제로 사용하였으며, 풍건한 각 흡착제를 800℃에서 2시간 회화시킨 후 회화흡착제로 사용하였다.

2. 조사방법

1) 흡착제별 자체 함유 중금속 함량 분석

풍건흡착제와 회화흡착제 자체의 중금속 함유량을 조사하기 위한 용출실험은 토양오염공정시험방법⁸⁾에 따라 처리하여 Pb, Cd, Cu, Fe, Mn을 AA(Atomic Absorption Spectrophotometer, Perkin-Elmer, USA)로 분석하였다.

2) 흡착제별 중금속 흡착실험

풍건흡착제와 회화흡착제에 의한 중금속 흡착실험은 각 시료 1, 0.5, 0.3, 0.1 g을 250 ml 삼각플라스크에 취하고, 여기에 인위적으로 조제된 0.5, 1, 2

ppm농도의 Pb, Cd, Cu, Fe, Mn이 함유된 중금속 혼합용액의 pH를 3 및 7로 조정하여 100 ml를 넣고, 항온 수평 진탕기에서 진폭 10 cm, 200회/분, 30°C, 30 분 진탕 후 5B여지로 여과하여, 즉시 질산 1 ml를 넣고 25 ml로 농축하여 AA로 분석하였다. pH에 따른 중금속의 수산화물 침전에 의한 오차를 배제하기 위해 흡착제를 넣지 않은 공실험을 하여 보정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 흡착제별 수소이온농도

황토, 갯벌 그리고 머드를 풍건 및 회화한 후 각각의 pH를 측정하여 Table 1에 나타내었다. 풍건한 황토, 갯벌 그리고 머드의 pH는 각각 5.1, 7.8, 그리고 7.4로 황토는 산성상태였으며, 갯벌과 머드는 중성상태였다. 이는 유 등⁹⁾ 연구에서 황토의 pH가 4.73~5.52, 갯벌의 pH가 7.36~7.79인 것과 이¹⁰⁾의 연구에서 황토의 pH가 4.98인 것과 비슷하였다. 각 흡착제를 회화한 후 pH 변화를 보면 황토(5.1→5.8)는 회화 후에 pH가 높아졌고, 갯벌(7.8→7.3)과 머드(7.4→7.2)는 회화 후 pH가 약간씩 낮아졌다.

2. 흡착제별 중금속 함량 분석

황토, 갯벌, 그리고 머드 풍건흡착제와 회화흡착제 자체가 함유한 중금속 함량을 Table 2 및 Fig. 1에 나타내었다. 토양의 모체에 따라 차이가 크지만, 일반적으로 토양에는 많은 양의 중금속이 포함되어 있다. 풍건한 황토, 갯벌, 그리고 머드에서 Pb는 4.8~6.5 ppm으로 함유량에서 큰 차이를 보이지 않았고, 채¹¹⁾의 연구에서도 토양 중 Pb 함유량이 5.61 ppm으로 비슷한 함유량을 보이고 있다. Cd는 0.002~0.034 ppm으로 흡착제별 함유량 차이가 많았고, 채가 보고한 토양 중 Cd 함유량인

0.050 ppm보다 낮았다. Cd는 분석된 5개 중금속 중에서 가장 낮은 경향을 보였다. Cu는 2.1~2.3 ppm으로 함유량에서 큰 차이를 보이지 않았고, 채가 보고한 토양 중 Cu의 함유량인 5.04 ppm보다 낮았다. Fe은 모든 중금속 중에서 함유량이 가장 높은 경향을 보였다. Pb, Cd, Cu에 있어 본 연구의 측정치가 채의 측정치보다 낮은 것은 채의 연구소재는 토양오염 우려지역의 토양 중 중금속함량을 측정된 것이기 때문으로 생각된다. 흡착제에서 풍건흡착제와 회화흡착제를 비교해 보면 Pb, Cd, Cu, Mn은 회화 후 모두 함유량이 감소하였고, Fe은 흡착제의 종류에 따라 증가 또는 감소하였는데, 황토와 머드는 회화 후 증가하였고, 갯벌은 회화 후 감소하였다. 풍건, 회화한 흡착제별 농도의 차이는 있지만 항목별 검출 경향은 비슷하였다.

Table 2. Concentrations of heavy metals in each adsorbent (unit : mg/kg)

Divide	Pb	Cd	Cu	Fe	Mn
D.Y	6.492	0.002	2.092	82	5.557
B.Y	0.742	0.000	0.929	115	1.392
D.T	4.842	0.014	2.092	197	7.827
B.T	0.292	0.000	0.144	62	1.667
D.M	4.817	0.034	2.322	367	7.937
B.M	0.417	0.002	0.352	1020	2.972

D.Y : Dried Yellow loess B.Y : Burned Yellow loess
 D.T : Dried Tidal plat sediment
 B.T : Burned Tidal plat sediment
 D.M : Dried Mud B.M : Burned Mud

Table 1. Hydrogen ion concentration in each adsorbent

Sample name	Dired	Burned
Yellow loess	5.1	5.8
Tidal plat sediment	7.8	7.3
Mud	7.4	7.2

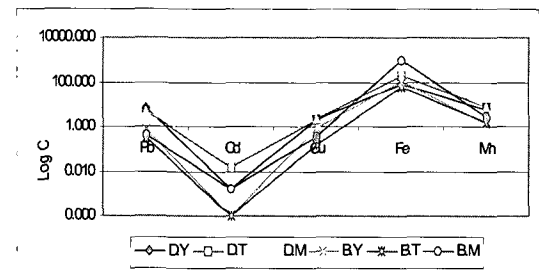


Fig. 1. Concentration of heavy metals in each adsorbent

3. 흡착제별 중금속 흡착율

1) 흡착제별 중금속 흡착율

pH 7일 때 풍건한 황토, 갯벌 그리고 머드의 중금속 흡착율을 Fig. 2에 나타내었다. Pb의 흡착율은 갯벌, 머드, 황토 순으로 갯벌이 가장 높았고, Cd, Cu의 흡착율은 머드, 갯벌, 황토 순으로 머드가 가장 높았다. Fe의 흡착율은 황토, 머드, 갯벌 순으로 황토가 가장 높았으며, 갯벌과 머드는 자체에서 용출된 것으로 나타났다. Mn의 흡착율은 갯벌, 황토, 머드 순으로 갯벌이 가장 높았다. 철을 제외하고는 황토보다 갯벌과 머드가 더 높은 흡착율을 나타내었다. 중금속 흡착율에 있어서 황토, 갯벌 그리고 머드는 흡착제로 이용 가능성을 보이고 있다.

2) 황토의 중금속 흡착율

풍건한 황토의 pH 3 및 7일 때의 중금속 흡착율을 Fig. 3에 나타내었고, 황토를 풍건했을 때와 회화했을 때의 중금속 흡착율을 Fig. 4에 나타내었다. 황토는 Pb, Cd, Cu, Fe, Mn 에서 pH 3일 때보다 pH 7일 때 흡착율이 높았다. Mn은 pH 3일 때 황토, 갯벌, 머드에서 똑같이 용출 현상이 있었는데 이는 장¹²⁾의 pH 9에서 Mn이 침전한다는 이론에 따라 pH 3에서는 용출되는 것으로 생각된다. Pb는 81%의 흡착율을 보여 정 등⁵⁾의 64.2%보다 높고, 이¹³⁾의 약 75%와는 비슷하였다. Cu는 50.8%의 흡착율을 보여 정 등⁵⁾의 27%보다는 높았고, 이¹³⁾의 약 95%보다는 낮았다. 이는 실험방법과 조건, 시료채취장소에 따른 시료의 차이 때문에 단순 비교하는 것에 어려움이 있음을 보여준다. 자연 상태

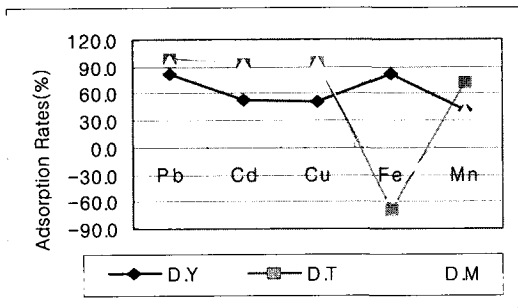


Fig. 2. Adsorption rates of heavy metal by each adsorbent

의 하천수 평균 pH는 7.0~7.7¹⁴⁾이므로 인위적인 수소이온농도 조절 없이 흡착제만 주입하는 것이 바람직하다고 생각한다.

황토는 pH 7일 때 Pb, Cu에 있어서는 풍건시 81.2, 50.8%, 회화시 90.9, 66.0%로 회화했을 때의 흡착율이 높았고, Cd, Fe, Mn에 있어서는 풍건했을 때가 회화했을 때보다 흡착율이 높았다. 황토는 풍건했을 때나 회화했을 때 각각의 장점과 단점이 있다. 따라서 황토는 경제적인 측면에서 풍건하는 것이 더 바람직하다고 생각한다.

3) 갯벌의 중금속 흡착율

풍건한 갯벌의 pH 3 및 7일 때의 중금속 흡착율을 Fig. 5에 나타내었고, 갯벌을 풍건했을 때와 회화했을 때의 중금속 흡착율을 Fig. 6에 나타내었다. 갯벌은 Pb, Cd, Cu, Mn에서 pH 3일 때보다 pH 7일 때 흡착율이 높았고, Fe은 pH 7일 때 용출 되었다. Fe은 환경조건에 따라 존재상태가 변화하여 그 양상을 추측하기가 매우 어렵다.¹⁵⁾ Mn은 pH 3일 때 용출되었다. 갯벌도 황토와 마찬가지로 인위적인 pH 조절 없이 흡착제만 주입하는

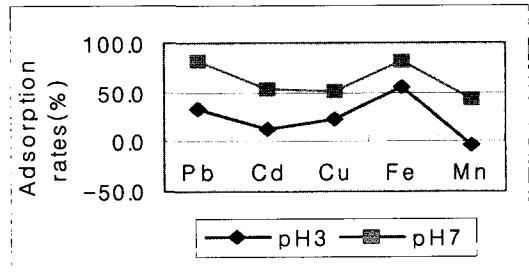


Fig. 3. Adsorption rates of heavy metal by dried Yellow loess at pH 3, pH 7

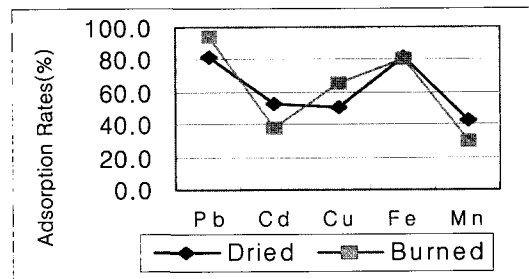


Fig. 4. Adsorption rates of heavy metal by dried and burned Yellow loess

것이 바람직하다고 생각한다.

갯벌은 pH 7일 때 Pb, Cd, Cu, Mn에서 풍건했을 때가 회화했을 때보다 흡착율이 높았고, Fe은 풍건했을 때 보다 회화했을 때 흡착율이 높았다. 갯벌은 회화했을 때보다 풍건했을 때 흡착율이 더 높은 경향을 보이기 때문에 풍건하는 것이 바람직하다고 생각한다.

4) 머드의 중금속 흡착율

풍건한 머드의 pH 3 및 7일 때의 중금속 흡착율을 Fig. 7에 나타내었고, 머드를 풍건했을 때와 회화했을 때의 중금속 흡착율을 Fig. 8에 나타내었다. 머드는 Pb, Cd, Cu, Mn에서 pH 3일 때보다 pH 7일 때 흡착율이 높았고, Fe은 pH 3, pH 7일 때 모두 용출되었다. Mn은 pH 3일 때 용출되었다. 머드도 황토, 갯벌과 마찬가지로 인위적인 pH 조절 없이 흡착제만 주입하는 것이 바람직하다고 생각한다.

머드는 pH 7일 때 Cd만 풍건했을 때 94.1%, 회

화했을 때 62.6%로 흡착율에 있어 차이를 보였고, Pb, Cu, Mn은 풍건했을 때나 회화했을 때 흡착율의 차이를 보이지 않았으며, Fe은 풍건했을 때보다 회화했을 때 흡착율이 높았다. 따라서 머드는 경제적인 측면에서 풍건하는 것이 더 바람직하다고 생각한다.

4. 흡착제별 주입량에 따른 중금속 흡착율

1) 황토의 주입량에 따른 중금속 흡착율

풍건한 황토의 주입량에 따른 중금속 흡착율을 Fig. 9에 나타내었다. 황토의 주입량이 0.1g에서 1g으로 증가할수록 Pb, Cd, Cu, Fe, Mn 흡착율이 증가하였다. Pb, Fe이 Cd, Cu, Mn보다 상대적으로 흡착율이 높았다. 황토의 주입량이 1g일 때 Pb, Fe 80% 이상, Cd, Cu 50% 이상, Mn 40% 이상의 흡착율을 보여 갯벌, 머드에 비해 다소 흡착율이

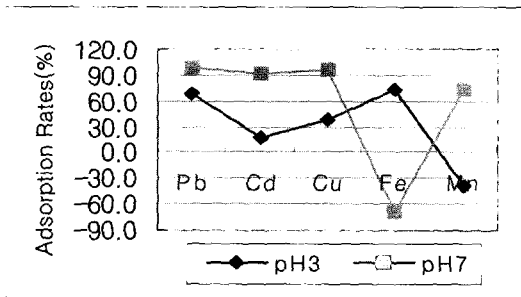


Fig. 5. Adsorption rates of heavy metal by dried Tidal plat sediment at pH 3, pH7

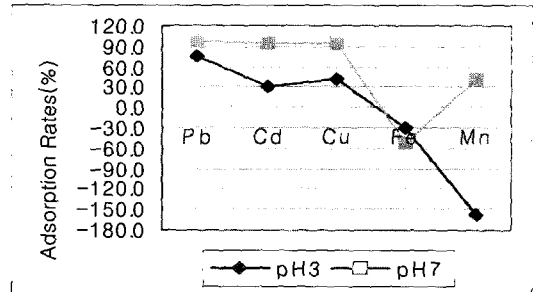


Fig. 7. Adsorption rates of heavy metal by dried Mud at pH 3, pH 7

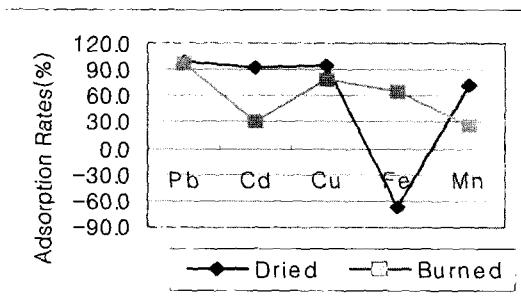


Fig. 6. Adsorption rates of heavy metal by dried and burned Tidal plat sediment

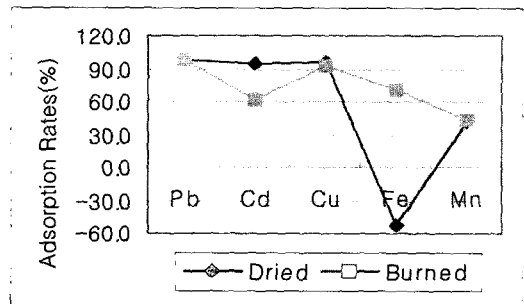


Fig. 8. Adsorption rates of heavy metal by dried and burned Mud

떨어진다. 추후 황토의 주입량을 증가시켜 최대 흡착율을 갖는 흡착제 주입량을 찾는 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

2) 갯벌의 주입량에 따른 중금속 흡착율

퐁진한 갯벌의 주입량에 따른 중금속 흡착율을 Fig. 10에 나타내었다. 갯벌의 주입량이 0.1g에서 1g으로 증가할수록 Pb, Cd, Cu, Mn 흡착율이 증가하였으며, Fe은 흡착율을 나타내지 않았다. 갯벌의 주입량이 1g일 때 Pb, Cd, Cu의 흡착율이 90% 이상, Mn의 흡착율이 70% 이상의 높은 흡착율을 보여, 최대 주입량을 1g으로 하는 것이 바람직하다고 생각한다.

3) 머드의 주입량에 따른 중금속 흡착율

머드의 주입량에 따른 중금속 흡착율을 Fig. 11에 나타내었다. 머드의 주입량이 0.1g에서 1g으로 증가할수록 Pb, Cd, Cu, Mn의 중금속 흡착율이 증가하였으며, Fe은 흡착율을 나타내지 않았다. 머드의 주입량이 1g일 때 Pb, Cd, Cu의 흡착율이

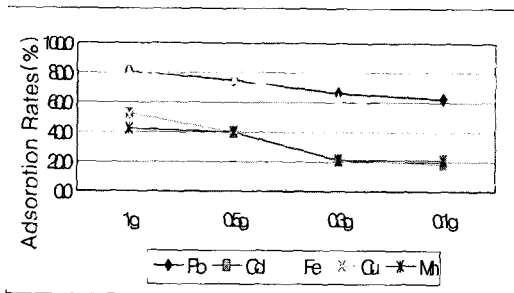


Fig. 9. Adsorption rates of heavy metal by amount of Yellow loess

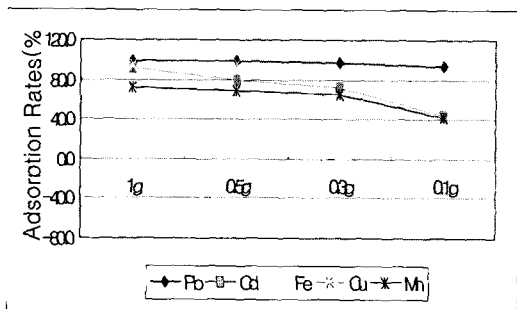


Fig. 10. Adsorption rates of heavy metal by amount of Tidal flat sediment

94% 이상으로 갯벌과 비슷하였고, Mn의 흡착율이 41.3%로 72.5%인 갯벌과는 차이를 보였지만, 높은 흡착율을 보여, 최대 주입량을 1g으로 하는 것이 바람직하다고 생각한다.

5. 흡착제별 중금속용액 농도에 따른 중금속 흡착율

1) 황토의 중금속용액 농도에 따른 중금속 흡착율

pH 7일 때 퐁진한 황토의 중금속용액 농도에 따른 중금속 흡착율을 Fig. 12에 나타내었다. Pb, Cd은 중금속용액 농도가 낮아질수록 흡착율이 높았고, Cu는 0.5ppm, 1ppm에서 흡착율은 비슷하고, 2ppm에서는 낮아졌다. Fe, Mn은 2ppm일 때보다 0.5ppm, 1ppm일 때보다 흡착율이 높아졌다. 황토는 중금속용액 농도가 낮을수록 Pb, Cd, Cu의 흡착율이 증가하는 경향을 보였고, Fe, Mn의 흡착율

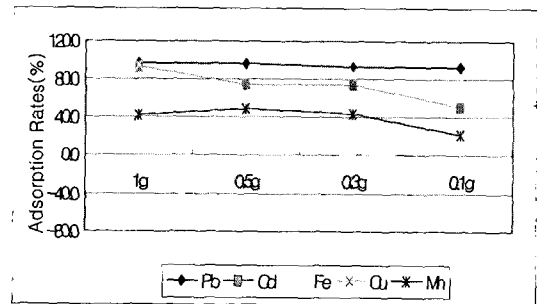


Fig. 11. Adsorption rates of heavy metal by amount of Mud

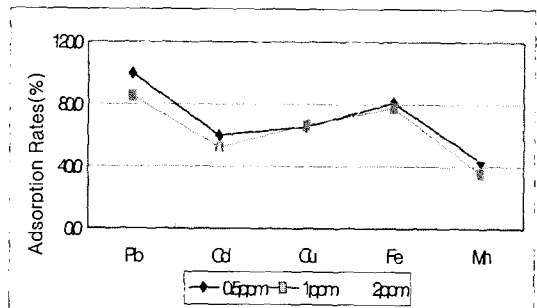


Fig. 12. Adsorption rates of heavy metal according to concentration of heavy metal solution by Yellow loess

은 감소하는 경향을 보였다. 이러한 결과로 볼 때 황토는 중금속 용액의 농도가 낮은 수질의 수처리에 더 적합하다고 생각한다.

2) 갯벌의 중금속용액 농도에 따른 중금속 흡착율

pH 7일 때 풍건한 갯벌의 중금속용액 농도에 따른 중금속 흡착율을 Fig. 13에 나타내었다. Pb, Cd, Cu, Mn은 중금속용액 농도에 따라 약간의 차이는 있지만 거의 비슷하였고, Fe은 0.5ppm일 때 현저하게 용출되었다. 이것은 갯벌의 경우와 마찬가지로 먹는물의 걱정 수질에 영향을 주지 않는다. 이러한 결과로 볼 때 갯벌은 중금속 용액의 농도가 2ppm 이내인 수질의 수 처리에도 적당하고, 추후 중금속 용액의 농도를 2ppm 이상으로 해서 실험해 보는 것이 바람직하다고 생각한다.

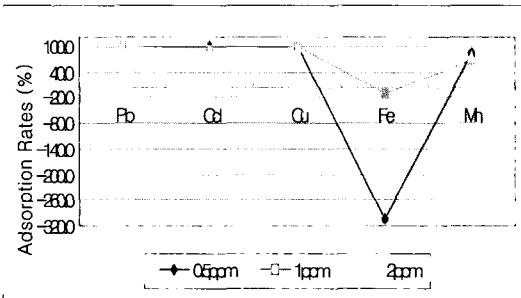


Fig. 13. Adsorption rates of heavy metal according to concentration of heavy metal solution by Tidal plat sediment

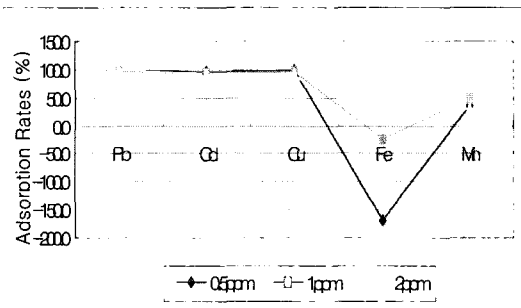


Fig. 14. Adsorption rates of heavy metal according to concentration of heavy metal solution by Mud

3) 머드의 중금속용액 농도에 따른 중금속 흡착율

pH 7일 때 풍건한 머드의 중금속용액 농도에 따른 중금속 흡착율을 Fig. 14에 나타내었다. Pb, Cd, Cu, Mn은 중금속용액 농도에 따라 차이는 미량 있지만 거의 비슷하였고, Fe은 0.5ppm일 때 현저하게 용출되었다. 이것은 갯벌의 경우와 마찬가지로 먹는물의 걱정 수질에 영향을 주지 않는다. 이러한 결과로 볼 때 머드는 갯벌과 같이 중금속 용액의 농도가 2ppm 이내인 수질의 수 처리에도 적당하고, 추후 중금속 용액의 농도를 2ppm 이상으로 해서 실험해 보는 것이 바람직하다고 생각한다.

IV. 결 론

가장 친환경적이면서 2차 오염을 줄이고, 저렴한 흡착제를 이용하여 물중의 중금속을 제거하여 수처리의 기초자료를 제공하고자 우리 주변에 흔히 존재하는 황토, 갯벌, 그리고 갯벌을 정제 가공한 머드를 흡착제로 이용하여 유해중금속인 Pb, Cd, 미량필수금속인 Cu, Fe, Mn의 흡착율을 분석하였다.

유해중금속 흡착율은 황토 50% 이상, 갯벌, 머드 90% 이상의 흡착율을 보여 흡착제로 이용 가능성을 보였으며, 황토보다는 갯벌, 머드의 흡착율이 더 높았다.

황토, 갯벌, 그리고 머드는 갯벌과 머드의 Fe을 제외한 Pb, Cd, Cu, Mn이 pH 3일 때보다 pH 7일 때 흡착율이 더 높았으므로 pH는 자연 상태로 처리해야하고, 대체적으로 회화했을 때보다 풍건했을 때 중금속의 흡착율이 높은 경향을 보였으므로, 흡착제는 풍건하는 것이 바람직하다.

황토, 갯벌, 그리고 머드의 주입량이 증가할수록 중금속 흡착율이 증가하였으며, 갯벌과 머드의 주입량은 1g이 적당하다.

황토는 유해중금속용액 농도가 높을수록 흡착율이 낮아지는 경향을 보여 중금속 농도가 낮은 물의 처리에 적당하고, 갯벌과 머드는 중금속용액 농도가 높아져도 흡착율에 변화를 보이지 않는 경향을 보여 중금속 농도가 높은 물의 처리에도 적당하다.

참 고 문 헌

1. 한국환경농학회편집위원회 : 환경농학, 한림저널사, 153~168(1991)
2. 환경교육편찬위원회 : 환경과학, 동화기술, 114~115, 274~277(1992)
3. 정문식, 구성희 : 환경위생학, 신평출판사, 292~297(1992)
4. 박창근 : 환경오염개론, 녹원출판사, 219(1983)
5. 정의덕, 김호성, 박경원, 백우현 : 황토의 물리적 특성 및 수용액중의 중금속이온의 흡착특성에 관한 연구, 한국환경과학회지, 6(4), 491~496(1999)
6. 이상윤 : 정수공정에서 고도응집에 의한 유기물 제거 연구, 울산대학교 지구환경시스템공학과 박사학위논문
7. 환경부 : 먹는물 수질관리 지침서, 156, 175, 198, 210(1998)
8. 환경부 : 토양오염공정시험방법, 114(1997)
9. 유선재, 김종구, 김종배 : 깃별과 황토에 의한 중금속(Cu, Cd, Pb)의 흡착 Kinetics, 한국수자원학회지, 33(3), 250~256(2000)
10. 이군자 : 황토의 구리와 카드뮴에 대한 흡착능력과 분배에 관한 연구, 동명대학논문집, 제20권 제1호, 303~310(1998)
11. 채승헌 : 토양오염실태조사, 보건환경연구원자료집, 제2권(2003)
12. 장준영 : 수질환경기사, 성안당, 2~78
13. 이경호 : 수중속에 존재하는 중금속에 대한 활성탄과 황토의 흡착 거동, 한국환경분석학회지, 제5권(제2호), 123~130(2002)
14. 국립환경연구원 : 국립환경연구원보, 235(1999)
15. 한국식품공업협회 : 음용수에 대한 국내의 규격 기준 및 관리제도 현황 조사, 192(1991)
16. 환경부 : 먹는물수질기준 관련규정집, 11(2002)