

국내산 황토를 이용한 수용액중의 Pb(II), Cu(II), Cr(III) 및 Zn(II) 이온의 흡착 특성

정 의 덕·김 호 성·원 미 숙·윤 장 회·박 경 원·백 우 현*
기초과학지원연구소 부산분소·경상대학교 화학과
(1999년 5월 3일 접수)

Adsorption Characteristics of Pb(II), Cu(II), Cr(III), and Zn(II) Ions by Domestic Loess Minerals

Euh-Duck Jeong, Ho-Sung Kim, Mi-Sook Won, Jang-Hi Yoon,
Kyeong-Won Park*, and U-Hyon Paek*

Pusan Branch, Korea Basic Science Institute, Pusan 609-735, Korea
*Dept. of Chemistry, Geongsang National Univ., Jinju, 660-701, Korea
(Manuscript received 3 May, 1999)

Removal of Pb(II), Cu(II), Cr(III) and Zn(II) ions from aqueous solutions using the adsorption process on domestic loess minerals has been investigated. Variations of contact time, pH, adsorption isotherms and selectivity of coexisting ions and leachate were experimental parameters. YDI, YPT and KRT samples diluted in 1% aqueous solution which was adjusted pH 10.8, 8.0 and 6.50, respectively. The result of XRD measurement, Quartz was mainly observed in all samples. In the case of KRT sample, Kaolinite, Feldspar, Chlorite consisting of clay minerals shows almost same pattern with YPT samples. Different properties showed from the YDI sample containing Illite, remarkably. For all the metals, maximum adsorption was observed at 30min ~ 60min. Adsorption of metal ions on loess minerals were reached an equilibrium by shaking the solution for about 30min. Removal efficiency of Pb(II) ion for KRT, YPT and YDI were 84.7%, 92% and 100%, respectively. The Cu(II) and Zn(II) adsorptivity on KRT showed the low in various pH solution. However, those on YPT and YDI were high than 90% except for the pH 2 solution. The orders of adsorptivities for domestic loess minerals showed as following : YPT>KRT>YDI. The adsorption isotherms of Cu(II) and Zn(II) ions on clay minerals were fitted to a Freundlich's. Freundlich constants(1/n) of KRT and YPT domestic loess minerals were 0.63, 0.97 and 0.36, 0.25, respectively.

Key words : loess, adsorption, heavy metal

1. 서 론

오늘날 우리 인류가 당면하고 있는 가장 중요한 문제로 인구증가, 환경 오염 및 자원고갈을 3대 과제로 들고 있다. 최근 산업화 및 생활 수준의 향상 등으로 인하여 각종 유독성을 갖는 유기물질과 자연 분해가 되지 않는 물질이 배출, 축적되어 수질 오염 뿐만 아니라 생태계의 변화 및 인간의 건강에도 악영향을 미치고 있다. 또한 여러 오염원으로부터 다량의 중금속이 배출되고 있어 인간의 건강 및 생태계를 보호하기 위한 적극적인 노력이 필요하게 되었다.

중금속은 지속성이 커서 미량일지라도 생물체에 농축되어 결국 인체에 축적 중독 현상을 일으키게 된다. 따라서 이러한 중금속들의 효과적인 처리가 무엇보다 중요

하다. 중금속이 함유된 오염된 폐수를 처리하는 방법에는 미생물을 이용하는 방법, 산·알칼리를 이용하는 화학적 처리 방법, 중화 침전법, 응결 침전법, 황화 침전법, 이온 교환수지법 및 흡착법 등이 있다.¹⁾ 이중 흡착 현상을 이용한 방법에는 여러 가지 매질이 이용되어져 오고 있다. 활성탄,^{2,3)} 제올라이트,⁴⁻⁶⁾ 벤토나이트,⁷⁻⁹⁾ 점토류,¹⁰⁻¹⁸⁾ 패각류,^{19,20)} 킬레이트 수지^{17,21-24)} 등을 이용하여 폐수 및 수중의 중금속 제거를 위한 연구가 지금까지 진행되어져 오고 있다. 그러나 여러 가지 국내산 황토들에 대한 성분 분석과 여러 중금속 이온들과의 흡착 제거에 대한 체계적인 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내 자원을 활용한 공해문제 해결을 위한 기초적인 자료를 축적하고 중금속 및 유기

물질을 제거하기 위한 새로운 흡착제를 개발을 위한 기초 실험으로 국내 3개 지점에서 채취한 황토의 물리적 특성 및 중금속 이온과의 흡착 현상에 대한 여러 조건을 검토하였다. 황토 시료의 물성 분석을 조사하기 위하여 X-선 형광분석기(X-ray Fluorescence Spectrometer ; XRF), X-선 회절분석기(X-ray diffractometer ; XRD), 적외선 분광기(Furier Transfom Infra Red ; FT-IR)를 이용하여 고찰하였다. 황토 시료들과 Pb(II), Cu(II), Cr(II) 및 Zn(II) 이온에 대하여 흡착 시간 변화, pH 변화, 점토의 양에 따른 등은 흡착 방정식, 혼합 중금속 이온에 대한 선택성 및 광산 침출수에서의 특성 등을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

본 실험에 사용한 황토들은 국내산으로 KRT는 경남 산청군 인근에서 채취하였으며, YPT와 YDI는 충북 영동군에서, 1998년 7월에 채취한 황토였다.

3일간 풍건, Agate mortar에서 분쇄하여 200mesh 체를 사용해서 시료 입자를 고른 후, 건조로에서 105℃에서 약 5시간동안 건조하였고, 이 시료를 데시케이트에 보관하면서 실험 재료로 사용하였다.

2.2. 물리화학적 특성 분석

황토 시료들 자체의 pH는 시료 1g을 증류수 100mL에 30분간 Magnetic stirrer로 교반시킨 후, pH meter (Fisher Scientific pH meter 50)를 사용하여 측정하였다. 점토 시료들의 성분 분석은 XRF(Philips PW 2400)를 사용하였으며, 황토 시료들의 구조적 특성 및 구성하고 있는 광물의 특성은 XRD(Rikaku Model D/Max 2400)를 CuK α 선을 사용하여, 전압 30kV, 전류 30mA, 주사속도는 2°/분였다. FT-IR 분석(BRUKER IFS 66)은 KBr법을 사용하여 분석하였다. 모든 측정 및 분석은 기초과학 지원연구소 부산분소 기기를 이용하여 실험하였다.

2.3. 실험 방법

흡착용 Pb(II), Cu(II), Cr(III) 및 Zn(II) 이온 중금속 용액은 ICP용 표준용액 1000ppm(Spex)을 탈이온화된 증류수에 10ppm으로 희석하여 사용하였다. 또한 pH 변화에 따른 실험은 0.1N HCl과 0.1N NaOH를 사용하여 pH를 조절하였고, 접촉시간에 따른 흡착 특성은 pH 5에서 흡착 등은 특성 실험은 최적의 pH 조건인 pH 4에서 실험하였다. 흡착 실험은 각각의 중금속 이온 용액 40mL에 황토 시료 0.2g을 넣어서 일정 시간 교반 후 거름 종이(Whatman filter paper)를 사용하여 거름 후 측정하였으며, 빠른 시간의 흡착 실험은 Syringe filter (Aldrich)를 사용하였다. 황토들의 특정 중금속에 대한 선택성 흡착 실험은 각각 10ppm의 Pb(II), Cu(II), Cr(II) 및 Zn(II) 이온이 포함된 혼합 용액을 만들어 사용하였으며, 실제 시료는 광산 침출수를 채취하여 분석한 후 pH 조절 없이 동일한 방법으로 실험하였다.

각 중금속 이온의 흡착 제거율은 ICP(Thermo Jarrel

Ash Model IRIS)를 사용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 물리적 특성 분석

실험에 사용한 세 가지 황토의 색깔은 YDI는 연한 황갈색이었으며, YPT는 연한 황갈색 및 KRT는 연한 황토색이었다. 각 점토 시료들의 용액 pH를 1% 용액에 대한 pH를 측정된 결과 YDI는 pH 10.8로 강알카리성 특성을 나타내었고, YPT는 pH 8.00로 약 알카리성, KRT의 pH는 6.50로 중성의 특성을 나타내었다. Table 1에 XRF를 이용하여 분석한 세 가지 황토들에 대한 화학적 성분을 나타내었다. XRF 분석 결과 SiO₂ 성분은 KRT는 43.22%로 가장 낮게 나타났으며, YPT 및 YDI는 51.87%와 63.01%를 각각 나타내었다. KRT, YPT 및 YDI의 Si/Al의 비는 1.96, 5.33 및 5.43이다. KRT 시료는 다른 시료에 비해 규소 화합물의 함량이 상당히 적은 특성을 나타내었다. Fe₂O₃는 YPT가 11.54%로 다른 시료에 비해 훨씬 많은 양을 포함하고 있었다.

YDI와 YPT의 경우 CaO, MgO, K₂O 성분이 다량 함유되어 있어 용액의 pH가 높게 나타나는 것과 관련이 있는 것으로 보인다. 이와 같은 차이를 보아 황토들의 물리적 특성이 상당히 다를 수 있다는 것을 볼 수 있다.

Table 1. Chemical composition of domestic loess minerals

	Chemical composition(%)										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Mn ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	LOI ¹⁾
KRT	43.22	38.87	2.47	0.16	-	0.48	0.38	0.40	0.36	0.01	13.64
YPT	51.87	17.20	11.54	0.69	0.10	2.49	5.24	2.45	2.00	0.06	6.37
YDI	63.01	20.05	3.41	0.29	0.02	3.77	0.37	4.40	0.92	0.03	3.26

1) L.O.I. ; Loss of ignition

세 가지 황토들의 XRD 측정 결과를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에 나타난 것처럼 세 가지 시료 모두에서 석영이 다량 나타났으며, KRT에서는 화강암의 변질 작용에 다량 생성되는 점토 광물인 카올린(Kolinite)과 장석(Feldspar), Chlorite 광물이 관찰되었다. YPT에서는 카올린, 장석, Chlorite 광물이 관찰되어 KRT와 다소 유사한 패턴을 나타내었다. YDI에서는 Illite가 주 광물로 관찰되었고 두 시료와는 상당히 다른 특성을 나타내었다.

Fig 2에는 세 가지 황토시료들의 FT-IR 측정 결과를 나타내었다. 3447cm⁻¹ 부근에 나타나는 넓은 흡수띠는 층간수에 의한 것이며, 카올린 광물 계통은 3600-3700cm⁻¹ 사이에 일반적으로 OH의 신축 진동에 의한 2개의 흡수띠가 나타나는데(Farmer and Russell, 1966; Rendon and Serna, 1981) KRT와 YPT 시료에서는 3620cm⁻¹과 3700cm⁻¹에 2개의 흡수띠를 나타내었다. 그러나 YDI는 3626의 하나의 흡수띠만을 나타내어 다소 다른 패턴을 보였다. 1005cm⁻¹-1105cm⁻¹ 사이에는 Si-O의 신축진동의 의한 3개의 흡수띠가 관찰되었으며, 910cm⁻¹ 부근의 흡수띠는 Al-OH에 의한 790cm⁻¹-750cm⁻¹의 2개의 흡수

띠는 Si-O-Al에 의한, 690cm^{-1} 부근의 1개의 흡수띠는 Si-O에 의한 흡수띠이다.

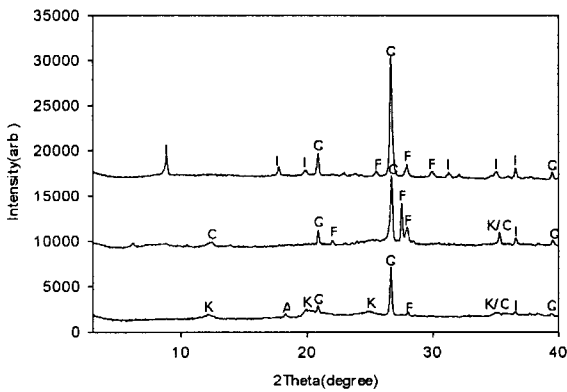


Fig. 1. X-ray diffraction patterns of the domestic loess minerals. Q; Quartz, F; Feldspar, K; Kaoline, I; Illite, C; Chorite, A; Analcime, KRT(A), YPT(B) and YDI(C)

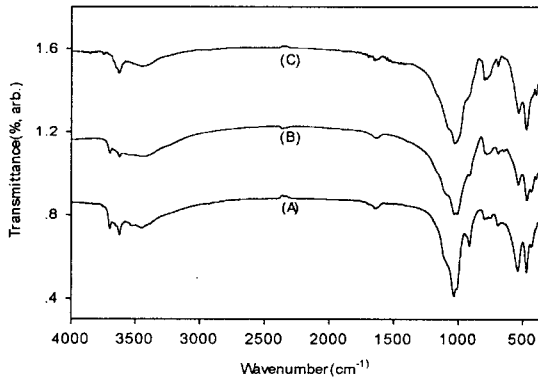


Fig. 2. FT-IR Spectrums of the KRT(A), YPT(B) and YDI(C) samples.

Fig. 3에는 황토 시료들의 SEM 사진을 나타내었다. Fig. 3(A)의 KRT 시료는 약 $10\mu\text{m}$ 크기와 $3\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ 크기의 입자들이 섞여 있고, 입자표면에 작은 입자가 붙어 있는 벌집 모양의 형상을 하고 있다. YPT와 YDI 시료는 표면이 매끈한 $10\mu\text{m} \sim 15\mu\text{m}$ 크기의 표면이 매끈한 입자와 판상형의 입자가 섞여있는 다소 거친 입자 형상을 볼 수 있고 KRT와는 다른 형상을 하고 있음을 볼 수 있다.

3.2. 접촉 시간에 따른 흡착 특성

황토 시료들의 접촉 시간에 따른 Pb(II), Cu(II), Cr(III) 및 Zn(II) 이온들의 흡착 특성을 파악하기 위하여 pH 4.5, 초기 금속 이온 농도가 $10\text{mg}/\ell$ 인 용액 40mL에 각각의 황토 0.2g을 넣고 접촉 시간을 1분, 5분, 10분, 30분 및 1시간으로 변화시키면서 측정된 결과를 Table 2에 나타내었다. Pb(II) 이온의 경우 30분간 흡착시켰을 때

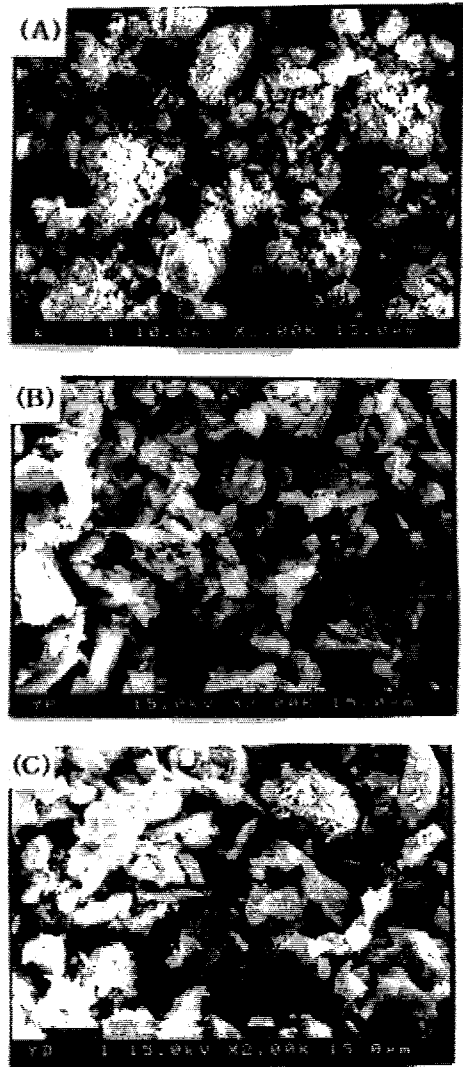


Fig. 3. SEM photograph of the KRT (A), YPT(B) and YDI(C) samples.

KRT는 84.7%, YPT는 92%, YDI는 100%의 제거율을 나타내었다. Cu(II) 및 Cr(III)의 경우도 80.6 ~ 99.4% 정도의 높은 제거율을 나타내었으나 KRT 시료에 대한 Cu(II)는 36.6%로 낮은 제거율을 나타내었다. Zn(II)의 경우는 제거율이 KRT와 YPT는 17.3, 50.0%로 낮은 제거율을 나타내었다. 세 시료 모두에서 금속 이온에 대한 흡착 시간은 빠르게 진행됨을 볼 수 있고, 30분 정도에서 흡착 평형 도달함을 볼 수 있다. 따라서 이후의 실험은 30분으로 흡착 시간을 고정하여 사용하였다.

3.3. pH 변화에 따른 흡착 특성

세 가지 황토 시료 흡착제를 pH 변화에 따른 Pb(II),

Table 2. Removal efficiency of Pb(II), Cu(II), Cr(III) and Zn(II) ions according to variation of contact time

Metallic ions	Contact Time (min.)	Removal Efficiency(%)		
		KRT	YPT	YDI
Pb(II)	1	47.0	92.2	99.6
	5	51.8	95.7	100
	10	63.1	93.2	100
	30	84.7	92.0	100
	60	93.1	100	100
Cu(II)	1	0.2	18.0	25.6
	5	3.4	32.7	99.1
	10	8.7	42.3	99.6
	30	36.6	81.1	99.8
	60	40.4	90.5	99.4
Cr(III)	1	52.7	81.3	92.6
	5	67.4	87.4	95.5
	10	74.4	97.2	98.7
	30	80.6	98.6	99.3
	60	85.6	99.6	99.0
Zn(II)	1	15.8	25.4	39.3
	5	15.9	30.7	55.9
	10	16.2	39.6	88
	30	17.3	50.0	100
	60	16.5	54.6	100

Table 3. Removal efficiency of Pb(II), Cu(II), Cr(III) and Zn(II) ions according to variation of pH

Metallic ions	pH	Removal Efficiency(%)		
		KRT	YPT	YDI
Pb(II)	2	7.4	19.7	48.2
	3	32.0	98.8	99.9
	4	91.7	99.5	99.6
	5	89.9	99.8	99.7
	6	80.5	99.1	99.9
	Cu(II)	2	5.1	3.86
3		9.5	34.6	88.0
4		28.9	82.0	99.7
5		36.2	89.3	99.6
6		17.4	94.1	99.7
Cr(III)		2	35.6	52.7
	3	54.5	91.3	99.8
	4	69.9	95.2	99.7
	5	83.5	97.0	100
	6	90.7	98.5	100
	Zn(II)	2	2.5	1.6
3		4.0	36.7	95.3
4		22.8	53.1	100
5		26.7	59.1	100
6		32.8	63.4	100

Cu(II), Cr(III) 및 Zn(II) 이온들의 흡착 특성을 파악하기 위하여 초기 금속 이온 농도를 10mg/l, 흡착 용액 40mL의 pH를 2, 3, 4, 5, 6으로 한 후 황토 0.2g을 넣고 접촉 시간 30분 후 실험한 결과를 Table 4에 나타내었다. 실험 결과 KRT 시료의 Cu(II) 및 Zn(II)의 흡착 특성은 낮았으나 YPT 및 YDI 시료의 흡착율은 pH 2에서의 결과를 제외하고는 아주 우수한 결과를 나타내었다. 0.2g의 시료를 넣어 흡착시킨 후의 용액의 pH를 측정 한 결과 YPT는 pH 2, 3, 4, 5, 6 용액에서 2.43, 5.75, 6.36, 6.55, 6.66을 나타내었으며, YDI 시료는 4.17, 6.75, 7.44, 7.70, 8.07을 나타내어 흡착에 의한 중금속 이온의 제거보다는 수산화물로의 침전 형성에 의해 중금속 제거가 일어나고 있는 것으로 판단된다. 문헌에 의하면²⁵⁾ 0.02M 금속 용액에서 Cr(III)와 Cu(II) 이온은 pH 5.3 이후부터 수산화 침전반응 형성이 시작되고 Pb(II)는 pH 6, Zn(II) 이온은 pH 6.8에서 수산화 침전반응이 시작된다고 알려져 있어 침전 반응에 의한 결과로 볼 수 있다. 이는 YDI는 pH 10.8, YPT는 pH 8.00의 자체 pH를 가지고 있어 이러한 결과를 나타내는 것으로 판단된다. pH 2에서의 중금속 제거율로만 볼 때 YDI>YPT>KRT 순이었으며, 중금속들간의 제거는 Cr>Pb>Cu>Zn 순이었다.

3.4. 중금속에 대한 선택적 흡착 특성

세 가지 황토 시료에 대한 특정 중금속에 대한 선택적 흡착 실험은 각각 10ppm의 Pb(II), Cu(II), Cr(III)

및 Zn(II) 이온 용액 40mL, 시료를 각각 0.2g을 동시에 투입하여 pH 4에서 측정하였다. 흡착 실험 결과 KRT 시료는 Cr(39.9%), Pb(14.8%), Cu(7%), Zn(2.4%)의 제거율을 나타내었고, YPT 시료는 Cr(50.1%), Pb(18.8%), Cu(7.0%), Zn(1%), 그리고 YDI 시료는 Pb(21.6%), Cu(19.6%), Cr(12.1%), Zn(6.1%) 순서로 제거율을 각각 나타내었다. 전체적으로 혼합 중금속 용액 속에서의 흡착은 YPT>KRT>YDI 시료 순으로 중금속 제거율이 우수한 특성을 나타내었다.

3.5. 중금속 이온의 등은 흡착 특성

등은 흡착식은 pH 4에서 Cu(II)와 Zn(II) 이온들의 초기 농도를 10ppm, 온도를 25℃ 용액에 두 시료를 각각 0.2g, 0.4g, 0.6g, 0.8g 및 1.0g을 칭량하여 1시간 동안 흡착 실험후의 흡착 등온선을 Fig. 4와 5에 각각 도시하였다. Freundlich 등은 흡착식 적용은 아래의 식으로 검토하였다.

$$X/M = KC^{1/n} \tag{1}$$

X : 흡착 평행시 흡착된 물질의 흡착량(ppm)

M : 흡착제의 양(g)

K : 상수

C : 흡착 평행시의 잔존 용액 이온의 농도

(1)식의 양변에 대수를 취하면

$$\log X/M = \log K + 1/n \log C \tag{2}$$

일반적으로 Freundlich 흡착식에 있어서 $1/n$ 의 값이 0.1 - 0.5 범위에서 흡착이 잘 일어나고 2 이상이면 흡착이 불량하다고 알려져 있다.²⁶⁾ KRT 시료에 대한 Cu(II) 및 Zn(II) 이온의 경우 $1/n$ 가 0.63와 0.97로서 Freundlich 흡착식에는 잘 적용되지 않아 흡착이 잘 일어난다고는 볼 수 없으나 어느 정도 흡착 효과가 있음을 알 수 있다. 그러나 YPT 시료에 대한 Cu(II) 및 Zn(II) 이온의 경우 $1/n$ 가 0.36와 0.25로서 Freundlich 흡착식에는 잘 적용되었으며, YDI는 시료 특성상 측정이 불가능 하였다.

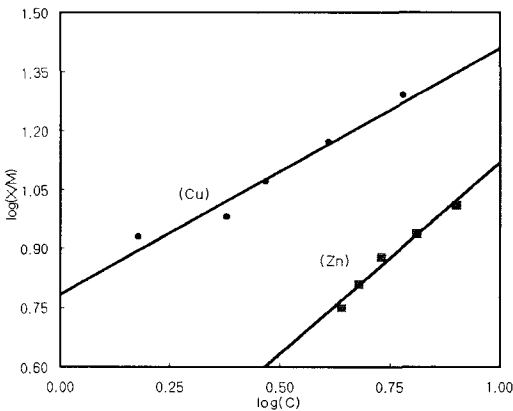


Fig. 4. Freundlich plot of adsorption isotherm for Cu(II) and Zn(II) ions on KRT.

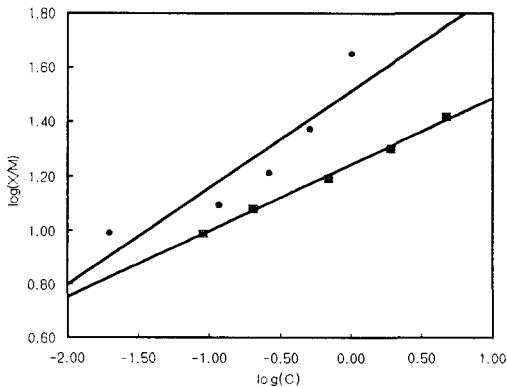


Fig. 5. Freundlich plot of adsorption isotherm for Cu(II) and Zn(II) ions on YPT.

3.6. 광산 침출수 시료에 대한 흡착 특성

광산 침출수를 채취하여 중금속 이온의 농도를 측정하고 세 가지 황토를 사용한 흡착 실험을 행하였다.

침출수 자체에 함유된 중금속 이온의 농도는 Pb 3.61ppm, Cu 14.88ppm, Cr 0.15ppm, Zn 28.19ppm 및 Fe 83.45ppm 이었다.

이 침출수 30mL에 0.4g의 점토를 넣어 흡착 시:fgia을 행한 후, 용액에 남아 있는 이온들의 농도를 측정한 결과 KRT에서는 Pb 0.85ppm, Cr 0.13ppm 그리고 Fe

76.74ppm이었다. YPT의 경우 Pb 0.49ppm, Cr 0.12ppm 및 Fe 68.54ppm이었고, YDI에서는 Pb 0.47ppm, Cr 0.02ppm 및 Fe 7.53ppm으로 감소되었으며, Cu 및 Zn 이온의 농도 변화는 거의 없었다. 이 결과로부터 황토들이 흡착제로서의 개발 가능성이 있는 것으로 판단되었다.

4. 결 론

국내산 황토시료들의 물리적 특성과 이를 사용한 중금속 이온들의 흡착 제거에 관한 연구 결과는 다음과 같다.

1. 황토 시료들의 용액 pH를 1% 용액으로 만들어 측정한 결과 YDI는 pH 10.8로 강 알칼리성 특성을 나타내었고, YPT는 pH 8.00로 약 알칼리성, KRT의 pH는 6.50로 중성의 특성을 나타내었다. XRD 측정 결과를 세 가지 시료 모두에서 석영이 다량 나타났으며, KRT에서는 카올린(Kolinite)과 장석(Feldspar), Chlorite 광물이 관찰되었고, YPT는 KRT와 다소 유사한 패턴을 나타내었다. YDI에서는 Illite가 주 광물로 관찰되어 두 시료와는 상당히 다른 특성을 나타내었다.

2. 황토 시료들의 접촉 시간에 따른 Pb(II), Cu(II), Cr(III) 및 Zn(II) 이온들의 흡착 특성을 파악한 결과, Pb(II) 이온의 경우 30분간 흡착시켰을 때 KRT는 84.7%, YPT는 92%, YDI는 100%의 제거율을 나타내었다. Cu(II) 및 Cr(III)의 경우도 80.6 ~ 99.4% 정도의 높은 제거율을 나타내었으며, 세 시료 모두 중금속 이온에 대한 흡착 시간은 빠르게 진행됨을 볼 수 있고, 30분 정도에서 흡착 평형에 도달함을 볼 수 있다.

3. 세 가지 시료 흡착제를 pH 변화에 따른 Pb(II), Cu(II), Cr(III) 및 Zn(II) 이온들의 흡착 특성을 파악한 결과 KRT 시료의 Cu(II) 및 Zn(II)의 흡착 특성은 낮았으나 YPT 및 YDI 시료의 흡착율은 pH 2에서의 결과를 제외하고는 아주 우수한 결과를 나타내었다. 그러나 YPT 및 YDI는 흡착에 의한 중금속 이온의 제거보다는 수산화물로의 침전 형성에 의해 중금속 제거가 일어나고 있는 것으로 판단된다.

4. 중금속에 대한 선택성 흡착 실험 결과 KRT 시료는 Cr(39.9%), Pb(14.8%), Cu(7%), Zn(2.4%)의 제거율을 나타내었고, YPT 시료는 Cr(50.1%), Pb(18.8%), Cu(7.0%), Zn(1%), 그리고 YDI 시료는 Pb(21.6%), Cu(19.6%), Cr(12.1%), Zn(6.1%) 순서로 제거율을 각각 나타내었고, 또한 YPT>KRT>YDI 시료 순으로 중금속 제거율이 우수한 특성을 나타내었다.

5. KRT 시료에 대한 Cu(II) 및 Zn(II) 이온의 경우 $1/n$ 가 0.63와 0.97로서 Freundlich 흡착식에는 잘 적용되지 않았으며, YPT 시료에 대한 Cu(II) 및 Zn(II) 이온의 경우 $1/n$ 가 0.36와 0.25로서 Freundlich 흡착식에는 잘 적용되었다.

6. 광산 침출수를 채취하여 분석 한 후, 세 가지 황토 시료들을 사용한 흡착 실험 결과는 다음과 같았다. 침출수 자체의 중금속 이온 Pb, Cu, Cr, Zn 및 Fe의 농도는 3.61ppm, 14.88ppm, 0.15ppm, 28.19ppm, 83.45ppm 이었다. 0.4g의 점토로 침출수 30ml에 흡착시켰을 때 KRT

시료에서는 Pb, Cr 및 Fe 이온 농도는 각각 0.85ppm, 0.13ppm, 76.74ppm이었다. YPT 시료의 경우 Pb, Cr 및 Fe 이온은 0.49ppm, 0.12ppm, 68.54ppm이었다. 또한 YDI 시료는 Pb, Cr, Fe 0.47ppm, 0.02ppm, 7.53ppm으로 많이 흡착되는 결과를 나타내었다.

감사의 글

본 논문은 한국과학재단 지정 환경기술·산업개발연구센터(RRC-IETI)의 지원(과제번호: 99-10-02-99-B-1)에 의하여 연구되었으며, 분석에 많은 도움을 준 기초과학연구원 연구소 부산분소원에게 감사드립니다.

참고 문헌

- 1) Thomas, E. H. and P. D. Drew, 1989, Metal finishing and processing, WPCF, 61(6), 897-901.
- 2) 남영우, 조달운, 1993, 활성탄에 의한 중금속 이온의 제거에 관한 연구, 23, 1-8.
- 3) 김찬국, 민태학, 1984, 활성탄에 의한 니켈 및 아연 이온의 흡착특성, J. Korean Chem. Soc., 28(2), 121-129.
- 4) 하기성, 1987, 국산천연 Zeolite의 양이온교환특성, Hwahak Konghak, 25(4), 409-418.
- 5) 김면섭, 권우택, 전광수, 1987, 고령토로 합성한 제올라이트A의 양이온 교환성, Hwahak Konghak, 25(6), 570-577.
- 6) 김양, 김덕수, 장세복, 박상윤, 1996, 포항산 천연 제올라이트와 합성 제올라이트에 의한 금속 이온의 제거, 대한환경공학회지, 18(5), 2-16.
- 7) Yin, Y., H. E. Allene and C. P. Huang, 1997, Kinetics of Mercury(II) Adsorption and Desorption on Soil, Environ Sci Technol., 31, 496-503.
- 8) Bereket, G., A. Z. Aroguz and M. Z. Ozel, 1997, Removal of Pb(II), Cd(II), Cu(II) and Zn(II) from Aqueous Solutions by Adsorption on Bentonite, J. Colloid and Interface Sci., 187, 338-343.
- 9) Hanna. M. T., A. A. Zaghoul, M. Et-Batouti and S. A. Et-Shazly, 1995, Solvent Effect on the Kinetics of the Exchange of Copper Ions on Na-Montmorillonite, J. Colloid and Interface Sci., 176, 418-421.
- 10) Altm, O., H. O. Ozbelge and T. Dogu, 1998, Use of general purpose adsorption isotherms for heavy metal-clay mineral interactions., J. Colloid and Interface Sci., 198, 130-140.
- 11) Manning, B. A. and S. Goldberg, 1997, Adsorption and Stability of Arsenic(III) at the Clay Mineral-Water Interface, 31, 2005.
- 12) Angove, M. J., B. B. Johnson and J. D. Wells, 1997, Adsorption of cadmium(II) on kaolinite, Colloids and Surfaces A, 126, 137-147.
- 13) Du, Qing, Z. Sun, W. Forsling and H. Tang, 1997, Adsorption of Copper at Aqueous Illite Surfaces, J. Colloid and Interface Sci., 187, 232-242.
- 14) Nikiforov, I. A., A. Y. Nikiforov and V. P. Sevost'yanov, 1997, Sorption of Heavy Metal Cations on Silica Clay, Russian J. Applied Chem., 70(7), 1215-1216.
- 15) Rawai, J. P., S. M. Umar Iraqi and R. P. Singh, Colloids and Surfaces A, 117, 183-188.
- 16) Yanaki, T., M. Watanabe and K. Yamamoto, 1989, Sorption Behavior of Cesium and Strontium Ions on Mixtures of Clay Sorbents, J. Nuclear Sci. and Technol., 26(9), 861-864.
- 17) 권이열, 노혜란, 1990, 국내산 점토에 의한 Pb(II) 및 Cu(II)의 흡착 특성에 의한 관한 특성, Bulletin of Environmental Sciences, 11, 45, 54.
- 18) 이민규, 서근학, 1996, 제주 송이를 이용한 중금속 흡착에 관한 연구, 한국환경과학회지, 5(2), 195-201.
- 19) 최규석, 안형수, 1990, 가교 Chitosan계 인산유도체의 합성과 금속이온 흡착 특성에 관한 연구, Polymer, 14(5).
- 20) 최민정, 양종만, 조성용, 이희정, 박송자, 김승재, 1998, 흡착제로서의 패각의 특성 연구, 대한환경공학회 '98 추계학술대회논문초록집, 645-646.
- 21) 박덕수, 원미숙, 정의덕, 심윤보, 1999, Removal Efficiency of Heavy Metal in Water by Humic acid, 대한환경공학회지, 대한환경공학회지 Vol. 21, 669-676.
- 22) 김완영, 육경창, 김형순, 신대윤, 1992, 아미드옥심형 킬레이트 수지의 합성과 중금속이온 흡착특성, Polymer, 16(5), 539-548.
- 23) 이택력, 윤국중, 1994, Na-셀룰로스에 대한 금속이온들의 흡착성에 관한 연구, Analytical Science & Technology, 7(3), 271-276.
- 24) 이희정, 조성용, 하경애, 박송자, 1998, 패각을 이용한 수질중의 중금속 흡착, 대한환경공학회 '98 추계학술대회논문초록집, 625-626.
- 25) Kolthoff, I. M., E. B. Sandell, E. J. Meehan and S. Bruckenstein, 1969, Quantitative Chemical Analysis, 4th ed.
- 26) Castellian, G. W., Physical Chemistry, 1978, 2nd ed.