

황토의 물리적 특성 및 수용액중의 중금속 이온의 흡착 특성에 관한 연구

정의덕·김호성·박경원·백우현^{*}
기초과학지원연구소 부산분소·경상대학교 화학과
(1999년 4월 22일 접수)

A Study on Physical Properties and Adsorption Characteristics of Heavy Metal Ions of Loess

Euh-Duck Jeong, Ho-Sung Kim, Kyeong-Won Park^{*}, and U-Hyon Paek^{*}
Pusan Branch, Korea Basic Science Institute, Pusan 609-735, Korea
^{*}Dept. of Chemistry, Gyeongsang National Univ., Jinju, 660-701, Korea
(Manuscript received 22 April, 1999)

Removal of Cu(II), Cr(III) and Pb(II) ions from aqueous solutions using the adsorption process on the loesses has been investigated. Variations of contact time, pH, adsorption isotherms and selectivity of coexisting ions were experimental parameters. pH of KJ and YIK samples diluted to 1% solution, was nearly the same with each value of pH 5.58 and 5.49, and both samples showed weak acidic properties. From chemical analysis, both samples contain remarkably different amounts of SiO₂, Al₂O₃ and Fe₂O₃. From XRD measurement, quartz was mainly observed in both samples. Kaolinite was also observed, also in both samples, but Feldspar was only observed in KJ sample. Adsorption of metal ions on the loesses were reached at equilibrium by shaking for about 30min. The adsorption of Cr(III) ion was higher than that of Cu(II) and Pb(II) ions. The order of amount adsorbed among the investigated ions was Cr(III)>Pb(II)>Cu(II). In acidic solution, the adsorptivity of loesses was increased as pH increased. The adsorption of Cr(III) ion on the loesses were fitted to the Freundlich isotherms. Freundlich constants($1/n$) of KJ and YIK loesses were 0.54 and 0.55, respectively.

Key words : loess, adsorption, heavy metal

1. 서 론

급속한 산업화로 인한 환경 오염 문제가 이제는 사회적으로 큰 관심사로 대두되고 있다. 토양 및 수질 오염으로 인한 생태계의 파괴 현상이 나타남에 따라 시급한 대책이 요구되고 있다. 다양한 오염원으로부터 하천이나 강으로 다량의 중금속이 배출되고 이것은 생물계에 축적되어 인간의 생활 환경에 심각한 영향을 끼치고 있어 각국에서는 공해 대책 기본법, 수질 및 대기 오염 방지법, 독극물 취급법 등을 통하여 규제하고 있다. 환경 보존과 오염 방지를 위한 대책이 필요하고 동시에 처리 방법의 개선 및 개발을 위한 노력이 적극적으로 필요한 시점이다.

중금속의 경우 지속성을 가지고 있기 때문에 미량이라도 자연 환경에 존재하면 먹이 사슬에 의해 인체에 축적되어 중독 현상이 나타나는 공해 물질로 생태계나 인체에 무해하도록 처리가 요구된다. 중금속을 제거하는 방법으로는 미생물을 이용한 생물학적 처리 방법, 산 알카리를 이용하는 화학적 처리 방법, 응결 침전법, 황화 침전법, 이온 교환수지법 및 흡착법 등이 있다. 흡착법의 경

우 활성탄,^{1,2)} 제올라이트,^{3~5)} 벤토나이트,^{6~16)} 페각류,^{17,18)} 킬레이트 수지^{17,19~22)} 등 많은 매질을 이용하여 폐수 및 수중의 중금속 제거를 위한 연구가 지금까지 진행되어져 오고 있다.

본 연구에서 중금속 제거 목적으로 사용하고자 하는 황토는 분산성과²³⁾ 그 결과로부터 생기는 계면 활성은 물과 화학 물질의 흡착, 이온 교환, 팽창과 수축 및 응집 등의 작용으로 수중에 존재하는 중금속과의 흡착이 가능하다고 알려져 있다.²⁴⁾ 특히 황토는 국내 어디서나 쉽게 구할 수 있고, 인체에 무해하여 여러 용도로 활용되고 있으며, 황토의 콜로이드 입자는 해수중의 혼탁 물질을 응집 흡착하는 성질이 있다. 이러한 성질을 이용하여 적조 발생지역에 적조 생물의 제거를 위해 황토 살포에 관한 연구^{25,26)}와 중금속 오염에 관한 연구^{27,28)}가 이루어졌으나, 국내산 황토에 대한 성분 분석과 여러 중금속 이온들과의 흡착 제거에 대한 체계적인 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내 2개 지점에서 채취한 황토의 물리적 특성을 파악하기 위하여 X-선 형광분석기(X-ray Fluorescence Spectrometer ; XRF), X-선 회절

분석기(X-ray Diffractometer ; XRD), 적외선 분광기(Furier Transform Infra Red ; FT-IR), 주사전자현미경(Scanning Emission Microscope ; SEM) 및 열중량(Thermal gravimetric ; TG)/시차열별법분석(Differential thermal analysis ; DTA)기를 이용하여 고찰하였다. 황토 시료와 Pb(II), Cu(II) 및 Cr(III) 이온들의 흡착 특성에 대해 흡착시간 변화, pH 변화, 초기 금속 이온의 농도에 따른 등온 흡착 특성, 혼합 중금속 이온에 대한 선택성 등을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

본 실험에 사용한 황토는 국내산으로 KJ는 경주시 인근에서 채취하였으며, YIK는 산청군 단성면 인근에서 1998년 9월에 채취한 황토였다. 3일간 풍건, Agate mortar에서 분쇄하여 200mesh 체를 사용해서 시료 입자를 고른 후, 건조로에서 105°C에서 약 5시간동안 건조하였고, 이 시료를 데시케이트에 보관하면서 실험 재료로 사용하였다.

2.2. 황토 시료의 물리화학적 특성 분석

황토 시료의 자체의 pH는 pH meter (Fisher Scientific pH meter 50)를 사용하여 시료 1g을 중류수 100mL에 30분간 Magnetic stirrer로 교반시킨 후 측정하였다. 황토 시료의 화학 분석은 XRF(Philips PW 2400)를 사용하였으며, 황토 시료의 구조적 특성 및 구성하고 있는 광물의 특성은 XRD(Rikaku Model D/Max 2400)를 사용하여 전압 30kV, 전류 30mA, 주사속도는 2°/분, CuK α 선을 사용하였다. FT-IR 분석(Bruker IFS 66)은 KBr법을 사용하여 분석하였다. 입자의 형상은 SEM(Hitachi S-4200)을 사용하였으며, TG/DTA(SETARAM Labsys TG) 분석을 하였다. 모든 측정 및 분석은 기초과학지원연구소 부산분소 기기를 이용하였다.

2.3. 실험 방법

흡착용 Pb(II), Cu(II) 및 Cr(III) 이온 중금속 용액들은 ICP 표준용액 1000ppm(Spex)을 탈 이온화된 중류수에 10mg/l로 희석하여 사용하였다. 또한 pH 변화에 따른 실험은 0.1N HCl과 0.1N NaOH를 사용하여 pH를 조절하였고, 접촉시간에 따른 흡착 특성은 pH 5에서 실험하였고, 흡착 등온 특성 실험은 최적의 pH 조건인 pH 5에서 실험하였다. 흡착 실험은 각각의 중금속 이온 용액 40mL에 황토 시료 0.2g을 사용하여 일정 시간 교반 후 거름종이(Whatman filter paper)를 사용하여 거른 후 측정하였으며, 빠른 시간의 흡착 실험은 Syringe filter (Aldrich)를 사용하였다. 황토의 특정 중금속에 대한 선택성 흡착 실험은 각각 10mg/l의 Pb(II), Cu(II) 및 Cr(III) 이온 용액을 동시에 투입한 혼합 용액을 만들어 사용하였다. 각 중금속 이온의 흡착 제거율은 ICP(Thermo Jarrel Ash Model IRIS)를 사용하여 분석하였다.

등온 흡착 실험은 각 중금속 이온들의 초기 농도를 10mg/l, 온도를 25°C, 용액에 두 시료를 각각 0.2g, 0.4g, 0.6g, 0.8g 및 1.0g을 청량하여 pH 5로 조정한 후

Freundlich 등온 흡착식²⁹⁾에 적용하여 흡착 파라미터 1/n, K 및 상관계수 등의 값을 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 황토의 물리화학적 특성 분석

황토 시료의 용액 pH는 KJ는 5.58, YIK는 5.49로 약산성으로 거의 비슷한 값을 나타내었다. Table 1에 XRF를 이용하여 분석한 두 가지 황토에 대한 화학적 성분을 나타내었다. 황토는 2:1 층상 구조를 가지는 3층구조로서 Si와 O의 결합으로 이루어진 tetrahedral sheet와 Al과 O의 결합으로 이루어진 octahedral sheet가 tetrahedral-octahedral-tetrahedral sheet와 같이 3개의 sheet가 반복적으로 겹쳐서 1개의 layer를 구성으로 2:1형 구조이다. 일반적으로 황토는 고령토보다는 Si 함량이 많아져서 2:1형 구조를 많이 갖고 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 사용한 두 가지 시료는 외관상으로 보이는 색깔은 붉은색으로 거의 동일하였지만 분석 결과 SiO₂, Al₂O₃ 및 Fe₂O₃는 상당한 차이를 보이고 있음을 볼 수 있다. 이는 채취 지점에 따라 물리적 성질이 상당히 달라질 수 있음을 볼 수 있으며, 중금속 흡착 능력도 차이가 있을 수 있음을 보여주고 있다.

XRD 측정 결과를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에 나타낸 것처럼 두 가지 시료 모두에서 석영이 다량 나타났으며, YIK에서는 화강암의 변질 작용에 다량 생성되는 점토 광물인 카올린(Kolinite) 광물만 관찰되었다. 반면에 KJ에서는 카올린 광물과 장석(Feldspar) 3.204 Å에서 관찰되어 YIK에 비해 덜 풍화되어 있음을 볼 수 있다.

Table 1. Chemical composition of loess samples

Loess	Chemical composition(%)										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	LOI ¹⁾
YIK	49.12	25.56	11.47	1.26	0.10	0.16	0.67	1.22	0.05	0.03	10.36
KJ	62.44	20.65	5.96	0.59	0.02	0.22	0.54	2.20	0.09	0.03	7.26

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

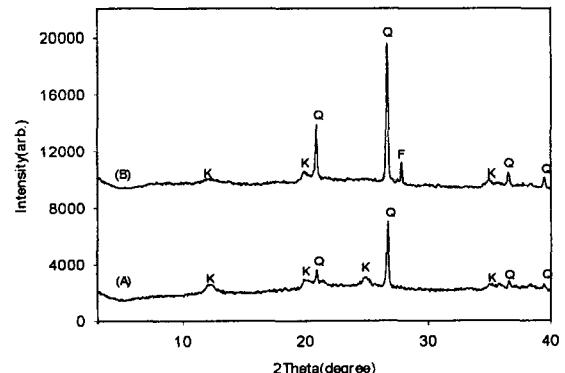


Fig. 1. X-ray diffraction patterns of the YIK(A) and KJ(B) samples.

Q ; Quartz, F ; Feldspar, K ; Kaoline mineral

Fig 2에는 두 시료의 FT-IR 측정 결과를 나타내었다. 3447cm^{-1} 부근에 나타나는 넓은 흡수띠는 충간수에 의한 것이며, 카울린 광물 계통은 일반적으로 $3600\text{-}3700\text{cm}^{-1}$ 사이에 OH의 신축 진동에 의한 2개의 흡수띠가 나타나는데^{30,31)} 본 시료에서는 3620cm^{-1} 과 3700cm^{-1} 에 2개의 흡수띠를 나타내었다. $1005\text{-}1105\text{cm}^{-1}$ 사이에는 Si-O의 신축진동의 의한 3개의 흡수띠가 관찰되었으며, 910cm^{-1} 부근의 흡수띠는 Al-OH에 의한, $780\text{-}750\text{cm}^{-1}$ 의 2개의 흡수띠는 Si-O-Al에 의한, 690cm^{-1} 부근의 1개의 흡수띠는 Si-O에 의한 흡수띠이다. 그림으로는 나타내지 않았지만 열중량분석/시차열법분석(TGA/DTA) 분석 결과 100°C 부근에서 규산염 충간의 물분자의 탈수로 인한 흡열 반응으로 뚜렷한 흡열 피크를 나타내었으며, $500\text{-}550^\circ\text{C}$ 부근에서 OH기의 탈수에 의한 흡열피크를 나타내었다.

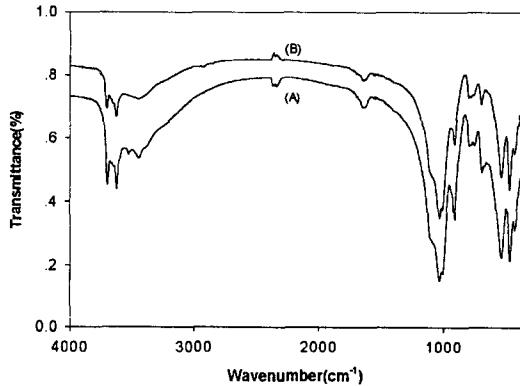


Fig. 2. FT-IR Spectrum of the YIK(A) and KJ(B) samples.

Fig. 3에는 두 시료의 SEM 사진을 나타내었다. 황토는 2:1형 구조의 양쪽 공극을 갖고 있어 비표면적이 고령토에 비해 7~10배 정도 크며 황토가 벌집 구조를 이루고 있는 것으로 알려져 있다.²³⁾ 본 실험에서 사용한 두 가지 시료를 관찰한 결과 Fig. 3(A)의 YIK 시료는 약 $20\text{ }\mu\text{m}$ 이하 크기의 입자를 가지고 있었으며, 표면에 팬상형의 입자가 붙어 있는 형상을 볼 수 있었다. KJ 시료는 약 $20\text{ }\mu\text{m}$ 이하의 작은 입자들로 구성되어 있었고, 표면이 비교적 YIK에 비해 다소 매끈한 구조를 하고 있어 YIK와는 다른 형상을 하고 있음을 볼 수 있었다.

3.2. 중금속 흡착특성

3.2.1. 접촉 시간에 따른 흡착 특성

황토 시료의 접촉 시간에 따른 Pb(II), Cu(II) 및 Cr(III) 이온들의 흡착 특성을 파악하기 위하여 초기 금속 이온 농도가 10mg/l 인 용액 40ml 에 각 0.2㎤를 넣고 접촉 시간을 1분, 5분, 10분, 30분 및 1시간으로 변화시키면서 측정한 결과를 Fig. 4와 5에 각각 나타내었다. Cu(II) 이온의 경우, KJ 시료의 흡착 제거율은 12.3 ~ 28%였다. 흡착시간 1분에서 12.3%, 30분 이후에는 약 27.5% 정도의 제거율을 나타내었으며, YIK 시료의 흡착 제거율은 5.4 ~ 23%였다. 흡착시간 1분에서 5.4%, 30분에서는

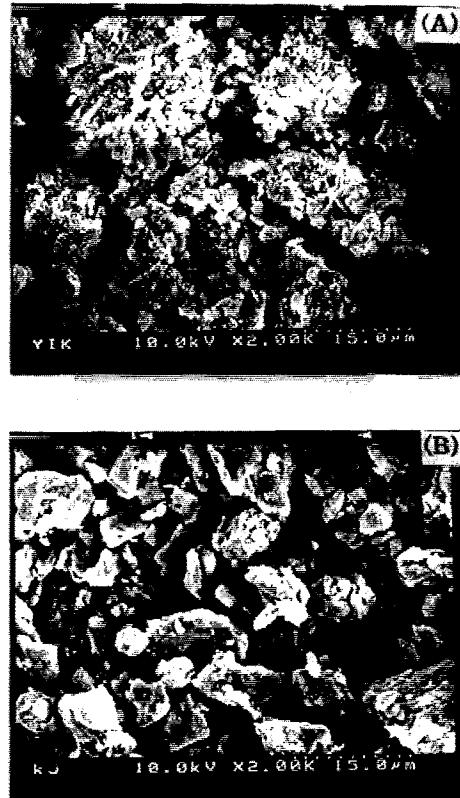


Fig. 3. SEM photography of the YIK(A) and KJ(B) samples.

21.1%정도의 제거율을 나타내었으며 1시간 흡착시에는 23% 정도의 제거율을 나타내었다. 두 시료 모두 Cu(II) 이온에 대한 제거율은 낮게 나타났다. Cr(III) 이온의 경우, KJ 시료의 흡착 제거율은 50.6 ~ 76.4%였다. 흡착시간 1분에서 50.6%, 30분에는 76.4%정도의 제거율을 나타내었고, 1시간에서는 74.7%로 제거율이 약간 감소하는 현상을 나타내었다. YIK 시료의 흡착 제거율은 12 ~ 56.9%였다. 흡착시간 1분에서 12%, 30분에서는 61.30%의 제거율을 각각 나타내었다. KJ 시료가 YIK 시료에 비해 Cr(III) 이온의 제거 효율이 높게 나타났다. Pb(II) 이온의 경우, KJ 시료의 흡착 제거율은 39.5 ~ 70%였다. 흡착시간 1분에서 39.5%, 30분에서는 64.2%의 제거율을 나타내었다. YIK 시료의 흡착 제거율은 12 ~ 57.3%였다. 흡착시간 1분에서 12%, 30분에서는 56.9%의 제거율을 나타내어 두 시료가 거의 비슷한 제거율을 나타내었다. 두 시료 모두에서 금속 이온에 대한 흡착 시간은 빠르게 진행됨을 알 수 있었고, 30분 정도에서 흡착 평형 도달함을 볼 수 있다. 접토의 Pb(II) 및 Cu(II)의 흡착현상 연구 결과에서는 40~60분 정도에서 흡착 평행에 도달하였으며,¹⁵⁾ 제올라이트를 이용한 흡착실험 결과에서는 약 40분 정도였으며,⁵⁾ 벤토나이트를 연구한

결과에서는 흡착 평행 도달이 200분 정도인 경우도 있었다.⁷⁾ 본 실험에서 흡착 평행 상태에 도달하는 시간이 빠른 것은 황토 자체의 비표면적은 크지만 기공이 거의 없으므로 흡착제의 표면에 흡착되는 현상에 의한 것으로 판단된다. 따라서 이후의 실험은 30분으로 흡착 시간을 고정하여 실험을 하였다.

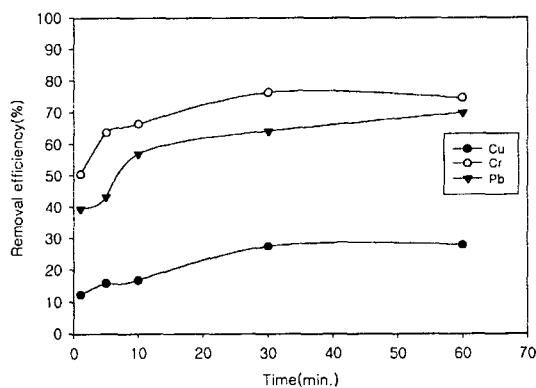


Fig. 4. Effect of contact time on the adsorption of heavy metal ions by KJ loess(Initial heavy metal concentration ; 10mg/l, Loess weight ; 0.2g/40ml).

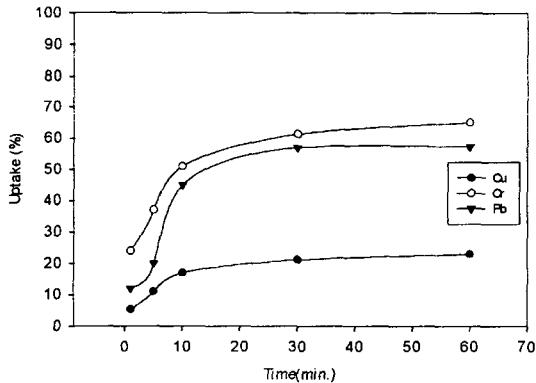


Fig. 5. Effect of contact time on the adsorption of heavy metal ions by YIK loess(Initial heavy metal concentration ; 10mg/l, Loess weight ; 0.2g/40ml).

3.3.2. pH 변화에 따른 흡착 특성

KJ 및 YIK 시료의 pH 변화에 따른 Pb(II), Cu(II), 및 Cr(III) 이온들의 흡착 특성을 파악하기 위하여 초기 금속 이온 농도가 10mg/l인 용액 40ml에 각 0.2g씩을 넣고 접촉 시간을 30분으로 하여 실험한 결과를 Fig. 6 과 7에 각각 나타내었다. Cu(II) 이온은 두 시료 모두에서 pH 2 ~ 3에서 흡착이 아주 낮은 현상을 나타내었고, pH 5에서 가장 큰 효율을 나타내었다. KJ 시료는 약 27.5%, YIK 시료는 21.1%의 제거 효율을 각각 나타내었다. Cr(III)의 경우는 pH가 증가함에 따라 제거 효율이

급격히 증가하는 특성을 나타내었고, pH 6에서 KJ와 YIK 시료의 제거 효율은 86.6%와 79.8%를 각각 나타내었다. Pb(II) 이온은 pH 2 ~ 3에서 흡착은 다소 낮았으나 pH 4 이후에는 흡착 제거 효율 증가가 원만해지는 현상을 나타내었고, KJ와 YIK 시료는 pH 6에서 64%와 60.8%로 비슷한 흡착 제거 효율을 나타내었다.

pH의 증가에 따른 중금속 이온의 수산화 침전에 의한 현상을 고려해 볼 수는 있으나 문헌에 의하면²⁾ 0.02M 금속 용액에서 Cr(III)과 Cu(II) 이온은 pH 5.3 이후부터 수산화 침전반응 형성이 시작되고 Pb(II)는 pH 6에서 수산화 침전반응이 시작된다고 알려져 있다. 그리고 본 실험시 10mg/l의 중금속 용액의 pH를 5로 조정한 후 각각 측정 한 결과 10mg/l의 농도를 나타내어 수산화 물 침전에 의한 제거 현상은 아니라고 판단된다. 따라서 pH 5까지는 수산화 침전반응에 의한 중금속 제거 현상이 아니고 흡착에 의한 제거의 결과로 볼 수 있다. 두 시료 모두 pH 변화에 대해 Cr(III)>Pb(II)>Cu(II)의 제거 효율을 나타내었다. 이후 실험에서는 중금속 용액의 초기 pH를 5로 하여 실험하였다.

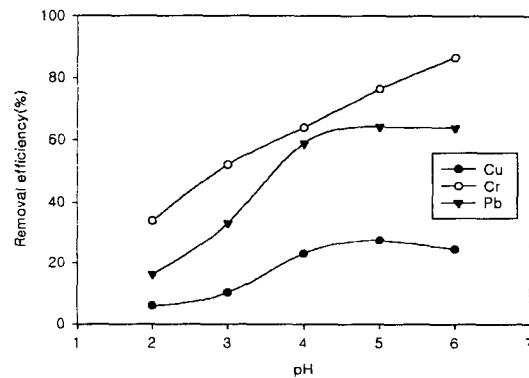


Fig. 6 Effect of pH on the adsorption of heavy metal ions by KJ loess(Initial heavy metal concentration ; 10mg/l, Loess weight ; 0.2g/40ml).

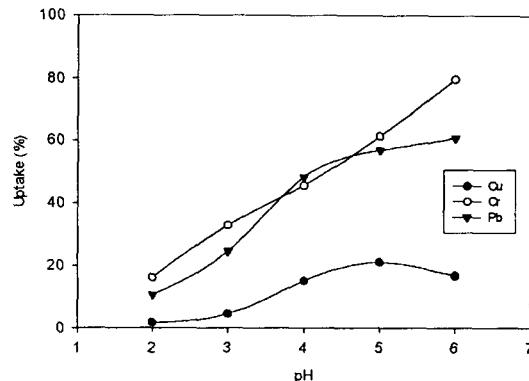


Fig. 7. Effect of pH on the adsorption of heavy metal ions by YIK loess(Initial heavy metal concentration ; 10mg/l, Loess weight ; 0.2g/40ml).

3.2.3. 중금속에 대한 선택적 흡착 특성

두 시료에 대한 특정 중금속에 대한 선택성 흡착 실험은 각각 10mg/l의 Pb(II), Cu(II) 및 Cr(III) 이온 용액 40mL, 황토를 각각 0.2g을 동시에 투입하여 실험하였다. 흡착 실험 결과 KJ 시료는 Cr(44.8%), Pb(13.3%), Cu (6.3%)의 제거율을 나타내었다. 단일 중금속 이온 실험에서 Cr(III) 이온은 78%, Pb 이온은 65.5%, Cu(II) 이온은 27.5%로 흡착 용액에서는 단일 용액에서와 비교하여 Pb(II) 이온의 제거율이 급격히 떨어지는 현상을 나타내었다. 또한 YIK 시료의 경우 Cr(19.3%), Pb(8.5%), Cu(1.7%)의 제거율을 각각 나타내었다. 단일 이온 실험에서는 Cr(III) 이온은 65%, Pb 이온은 57.5% 및 구리 이온은 21.1%로, 혼합 용액에서는 KJ와 마찬가지로 중금속 이온 제거율이 크게 감소함을 알 수 있었다. 전체적으로 KJ 시료가 YIK 시료에 비해 중금속 제거율이 우수하였다. 이는 XRF의 결과에서도 볼 수 있듯이 KJ 황토가 YIK 황토보다 Si 함량이 많아져서 2:1형 구조를 많이 갖고 있어 흡착 특성이 우수한 것으로 판단된다. 두 시료 모두 Cr>Pb>Cu순으로 흡착 선택성을 나타내었지만 이러한 결과는 다른 연구자들의 수화 이온 반경과 관련된 이론과도 다소 다른 결과를 나타내어¹⁶⁾ 여러 가지 금속이온들에 대한 체계적인 연구가 필요하다.

3.1.4. 중금속 이온의 등온 흡착 특성

등온 흡착식은 pH 5에서 Pb(II), Cu(II) 및 Cr(III) 이온들의 초기 농도를 10mg/l, 온도를 25°C 용액에 두 시료를 각각 0.2g, 0.4g, 0.6g, 0.8g 및 1.0g을 칭량하여 1시간 동안 흡착 실험하였으며, Fig. 8에 각 중금속 이온들에 대한 흡착 등온선을 도시하였다. Freundlich 등온 흡착식 적용은 아래의 식으로 검토하였다.

$$X/M = KC^{1/n} \quad (1)$$

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

$$\log X/M = \log K + 1/n \log C \quad (2)$$

일반적으로 Freundlich 흡착식에 있어서 1/n의 값이 0.1 - 0.5 범위에서 흡착이 잘 일어나고 2 이상이면 흡착이 불량하다고 알려져 있다.^{15,16)} KJ 및 YIK 시료에 대한 Cr(III) 이온의 경우 K는 0.31, 0.1, 1/n가 0.54와 0.55이며, 상관계수는 각각 98.4%로서 Freundlich 흡착식에 잘 적용됨을 볼 수 있었다. 그러나 KJ 와 YIK 시료에 대한 Pb(II) 이온의 경우 K는 0.17과 0.13, 1/n은 0.81과 0.78이었으며 상관계수는 94.9% 및 92.6%였다. 또한 Cu(II) 이온 경우 K는 0.03과 0.01이었고, 1/n은 1.17과 1.35를 상관계수는 98.7% 및 95.2%를 나타내었고 Cr(III) 이온보다 흡착 현상이 좋지 않고 Freundlich 흡착식을 만족시키지 못하는 현상을 볼 수 있었다. 그러나 다른 흡착제 등을 첨가하면 흡착제로서의 개발 가능성은 충분히 있는 것으로 사료된다.

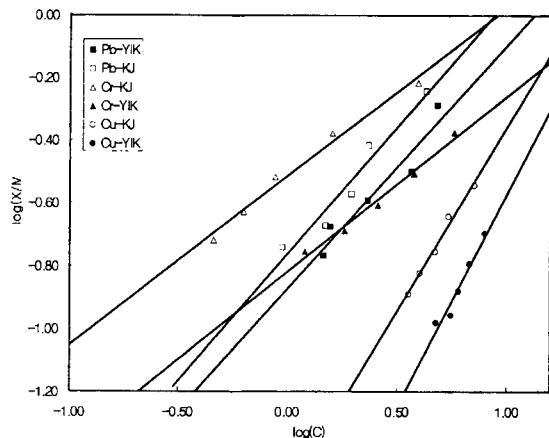


Fig. 8. Freundlich isotherm plot for the adsorption of Pb(II), Cu(II) and Cr(III) ions by KJ and YIK samples.

4. 결 론

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

1. 황토시료의 1% 용액 pH는 KJ 5.58, YIK 5.49로 약산성으로 거의 비슷한 값을 나타내었고, 화학적 성분분석 결과 SiO_2 , Al_2O_3 및 Fe_2O_3 는 상당한 차이를 나타내었다. 또한 XRD 측정 결과 두 시료 모두에서 석영이 다양 나타났으며, YIK에서는 화강암의 변질 작용에 다량 생성되는 점토 광물인 카올린(Kolinite) 광물만 관찰되었고, KJ에서는 카올린 광물과 장석(Feldspar)이 3.204Å에서 관찰되어 YIK에 비해 덜 풍화되어 있음을 볼 수 있었다.

2. 황토 시료의 접촉 시간에 따른 Pb(II), Cu(II) 및 Cr(III) 이온들의 흡착 특성을 파악한 결과 두 시료 모두 Cu(II) 이온에 대한 제거율은 낮게 나타났으며, Cr(III) 이온의 제거 효율이 높게 나타났다. 또한 두 시료 모두에서 금속 이온에 대한 흡착 시간은 빠르게 진행되어 30분 정도에서 흡착 평형 도달함을 볼 수 있다.

3. pH 변화에 따른 Pb(II), Cu(II), 및 Cr(III) 이온들의 흡착 특성은 두 시료 모두 pH 가 증가함에 따라 제거 효율이 우수하였으며, Cr(III)>Pb(II)>Cu(II) 순의 제거 효율을 나타내었다.

4. 중금속에 대한 선택성 흡착 실험 KJ 시료가 중금속 제거율이 우수하였으며 두 시료 모두 Cr>Pb>Cu순으로 흡착 선택성을 나타내었다.

5. 두 시료에 대한 세가지 중금속 이온들의 흡착 등온 실험 결과 KJ 및 YIK 시료에 대한 Cr(III) 이온의 경우 K는 0.31, 0.1, 1/n가 0.54와 0.55이며, 상관계수는 각각 98.4%로서 Freundlich 흡착식에 잘 적용됨을 볼 수 있었다. 그러나 KJ 와 YIK 시료에 대한 Pb(II) 이온의 경우 K는 0.17과 0.13, 1/n은 0.81과 0.78이었으며 상관계수는 94.9% 및 92.6%였다. 또한 Cu(II) 이온 경우 K는 0.03과 0.01이었고, 1/n은 1.17과 1.35를 상관계수는 98.7% 및 95.2%를 나타내었고 Cr(III) 이온보다 흡착 현상이 좋지 않고 Freundlich 흡착식을 만족시키지 못하는 현상을 볼 수 있었다.

수 있었다.

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 기초과학지원연구소 부산분소원에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 남영우, 조달운, 1993, 활성탄에 의한 중금속 이온의 제거에 관한 연구, 23, 1-8.
- 2) 김찬국, 민태학, 1984, 활성탄에 의한 니켈 및 아연 이온의 흡착특성, *J. Korean. Chem. Soc.*, 28(2), 121-129.
- 3) 하기성, 1987, 국산천연 Zeolite의 양이온교환특성, 화학공학, 25(4), 409-418.
- 4) 김면섭, 권우택, 전광수, 1987, 고령토로 합성한 제올라이트A의 양이온 교환성, 화학공학, 25(6), 570-577.
- 5) 김양, 김덕수, 장세복, 박상윤, 1996, 포항산 천연 제올라이트와 합성 제올라이트에 의한 금속 이온의 제거, 대한환경공학회지, 18(5), 2-16.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) Hanna, M. T., A. A. Zaghloul, 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.
- 9) 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.
- 10) Angove, M. J., B. B. Johnson and J. D. Wells, 1997, Adsorption of cadmium(II) on kaolinite, *Colloids and Surfaces A*, 126, 137-147.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) Rawai, J. P., S. M. Umar Iraqi and R. P. Singh, 1997, Sorption equilibria of cobalt(II) on two types of Indian soils the natural ion exchangers, *Colloids and Surfaces A*, 117, 183-188.
- 14) 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.
- 15) 권이열, 노혜란, 1990, 국내산 점토에 의한 Pb(II) 및 Cu(II)의 흡착 특성에 관한 특성, *Bulletin of Environmental Sciences*, 11, 45-54.
- 16) 이민규, 서근학, 1996, 제주 송이를 이용한 중금속 흡착에 관한 연구, *한국환경과학회지*, 5(2), 195-201.
- 17) 최규석, 안형수, 1990, 가교 Chitosan계 인산유도체의 합성과 금속이온 흡착 특성에 관한 연구, *Polymer*, 14(5).
- 18) 최민정, 양종만, 조성용, 이희정, 박송자, 김승재, 1998, 흡착제로서의 패각의 특성 연구, 대한환경공학회 '98 추계학술대회논문초록집, 645-646.
- 19) 박덕수, 원미숙, 정의덕, 심윤보, 1999, Removal efficiency of heavy metal in water by humic acid, 대한환경공학회지 Vol. 21, 669-676.
- 20) 김완영, 육경창, 김형순, 신대윤, 1992, 아미드옥심형 칼레이트 수지의 합성과 중금속 이온 흡착특성, *Polymer*, 16(5), 539-548.
- 21) 이택혁, 윤국중, 1994, Na-셀룰로스에 대한 금속이온들의 흡착성에 관한 연구, *분석과학*, 7(3), 271-276.
- 22) 이희정, 조성용, 하경애, 박송자, 1998, 패각을 이용한 수질중의 중금속 흡착, 대한환경공학회 '98 추계학술대회논문초록집, 625-626.
- 23) 정두영, 1981, 황토구조 특성에 관한 미시적 연구, 전북대학교 공학연구, 11, 177-185.
- 24) Hill, D., 1980, *Foundamentals of soil physics*, Academic Press.
- 25) 박재순, 1996, 1996년 남해안의 적조 발생과 황토 살포에 의한 적조 방지대책, 여수수산대 수산과학연구소, 39-61.
- 26) 국립수산진흥원, 1987, 적조현상과 어장 보전, 129-162.
- 27) Herbert, Y. E. and Huang, 1987, Kinetics of mercury(II) adsorption and desorption on soil, *Environ. Sci. Technol.*, 31, 496-503.
- 28) 안갑환, 김좌관, 문정현, 서정호, 1998, 소성 황토를 이용한 중금속 흡착 제거, 화학공학의 이론과 응용, 4(1), 1581-1584.
- 29) Castellian, G. W., 1978, *Physical Chemistry*, 2nd ed.
- 30) Farmer, V. C. and J. D. Russell, 1966, Effect of particle size and structure on the vibrational frequencies of layer silicates, *Spectrum Acta*, 22, 389-398.
- 31) Rendon, J. L. and C. J. Serna, 1981, IR Spectra of powder hematite:effect of particle size and shape, *Clay Miner.*, 16, 375-382.
- 32) Kolthoff, I. M., E. B. Sandell, E. J. Meehan and S. Bruckenstein, 1969, *Quantitative Chemical Analysis*, 4th ed.