

## 重金屬이온 除去를 위한 粒子形 赤泥吸着劑의 製造

金正植 · 韓相源 · 黃仁菊 · \*裴在欽 · 崔佑鎭

水原大學校 環境淸淨技術研究센터

### Synthesis of Pellet-Type Red Mud Adsorbents for Removal of Heavy Metal Ions

Jung-Sik Kim, Sang-Won Han, In-Gook Hwang,  
\*Jae-Heum Bae and Woo-Zin Choi

Center for Environmental and Clean Technologies, The University of Suwon

#### 요 약

보오크사이트를 원료로 하여  $Al(OH)_3/Al_2O_3$ 를 생산하는 공정에서 발생되는 부산물인 적니를 물리·화학적으로 처리하여 중금속 이온 제거용 흡착제로 재활용하고자 하였으며, 산업적으로 적용이 쉽도록 입자형 적니흡착제를 제조하였다. 이를 위하여 적니를 주 성분으로 하고 몇 가지 첨가물의 함량과 소결온도를 변화시키며 실험하여 입자형 적니흡착제를 제조하였다. 실험결과, 적니 96.0 wt%에 polypropylene 2.5 wt%, sodium metasilicate 1.0 wt%, fly ash 0.5 wt%를 첨가하여 1200°C에서 30분간 소결시켜 제조하였을 때, 납( $Pb^{2+}$ )이온에 대해 가장 높은 흡착제거율을 나타내었다. 그리고 입자형 적니흡착제의 제조방법에 따라 분쇄형 적니흡착제와 비드형 적니흡착제로 구분하여 이들의 중금속흡탈착성능을 실험하였다. 그 결과 분쇄형 적니흡착제는 비드형 적니흡착제보다 흡착제거율과 탈착율이 모두 우수하였으며 분말형 적니흡착제와 마찬가지로  $Pb^{2+}$ 이온의 흡착제거율이 우수함을 알 수 있었다.

주제어: 적니, 입자형 적니흡착제, 소결,  $Pb^{2+}$ 이온, 흡착

#### ABSTRACT

Red mud is generated as a by-product in the production of  $Al(OH)_3/Al_2O_3$  from bauxite ore. In this study the pellet-type adsorbents have been made from the red mud, and their adsorption capacities of heavy metal ions have been tested. The pellet-type adsorbents were synthesized to utilize the excellent adsorption capacity of the powder-type adsorbent for industrial application. The pellet-type adsorbents were prepared by mixing several kinds of additives with the red mud. It is found that the pellet-type adsorbent, made by sintering a mixture of red mud (96.0 wt%), polypropylene (2.5 wt%), fly ash (0.5 wt%), and sodium metasilicate (1.0 wt%) at 1200°C for 30 minutes, has the highest adsorption capacity. In this work, the two kinds of pellet-type adsorbents (bead-type, crushed-type) were prepared. The crushed-type adsorbent was found to show a better adsorption/desorption performance than the bead-type adsorbent. The crushed-type adsorbent showed a good adsorption capacity of  $Pb^{2+}$  like the powder-type adsorbent.

**Key words:** Red mud, Pellet-type adsorbent, Sintering,  $Pb^{2+}$  ion, Adsorption

#### 1. 서 론

적니(red mud)는 보오크사이트를 원료로 하는  $Al(OH)_3/Al_2O_3$  생산공정 중 발생하는 부산물을 말한다. 적

니의 활용에 대한 연구는 그 동안 호주, 캐나다, 자마이카, 인도 등 보오크사이트가 많이 생산되는 나라나 이들을 수입하여 수산화알루미늄을 제조하는 국가에서 많이 있어 왔다. 우리 나라에서는 1993년 한국종합화학(주)에서 대불공단에 연산 215,000 ton의  $Al(OH)_3/Al_2O_3$  제조공장이 착공되었고 공장 인근에 연산 20만장 규모의 건

\* 1999년 10월 21일 접수, 1999년 12월 6일 수리

\* E-mail: jhbae@mail.suwon.ac.kr

지체 벽돌 공장을 세워 벽돌로 활용하고 있으나 경제적으로 인 및 벽돌자체에 백화현상이 발생되어 적니에 대한 적정처리 및 고부가가치의 재활용 연구가 있어야 할 것이다.<sup>1)</sup>

적니의 재활용 연구는 순화(rehabilitation)연구,<sup>2)</sup> 희귀 원소 회수연구,<sup>3-4)</sup> 도료의 안료, 플라스틱 필러(filler) 및 촉매로의 활용 연구,<sup>5)</sup> 그리고 건자재 활용 연구<sup>6-8)</sup> 가 있다. 또한 적니를 흡착제로 산업폐수처리에 이용하는 연구<sup>9-12)</sup>가 많이 있어 왔지만 이 연구들은 대부분 적니가 부분적인 흡착제로의 가능성이 있음을 보여주었을 뿐이다. 최근에 배와 김<sup>13)</sup>은 적니를 흡착제로 활용하기 위한 전 단계로 적니의 물리·화학적 성질을 규명하였고, 여러 가지 물리·화학적 방법으로 처리한 분말형 적니흡착제를 활용하여 산업성 폐수에서 문제시되는 Pb, Cu, Cd 등 중금속화합물, Sr, Cs, I 등 방사성 화합물, phenol, o-chlorophenol 등 난분해성 유기화합물의 흡착실험을 수행한 결과를 보고하였다. 그러나 분말형 적니흡착제는 흡착성능은 좋으나 산업체 현장에서 적용하기는 불편하여 이를 효과적으로 이용하기 위한 흡착제의 개발이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 적니에 fly ash, polypropylene, sodium metasilicate 등을 첨가하고, 소성온도 및 시간, 첨가물들의 함량 그리고 성형방법 등을 변화시키며 흡착제 제조를 시도하였다. 제조된 적니흡착제의 흡착성능을 확인하기 위해 산업폐수내의 유독성 물질인 Cu, Pb, Cd 등 중금속 화합물을 같은 조건으로 흡착실험하여 각각의 적니흡착제의 흡착성능을 기준에 개발된 분말형 적니흡착제<sup>13)</sup>와 비교, 검토하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 재료 및 시약

적니흡착제를 제조하기 위하여 사용된 적니는 한국종합화학(주)에서 그리고 입자형 적니흡착제 제조시 첨가제로 사용한 석탄회는 한국 fly ash cement공업(주)에서 공급받아 실험을 수행하였다 그 밖의 유기물 첨가제로 플라스틱으로서는 polypropylene, 무기물 첨가제로서 sodium metasilicate 를 활용하였다. 모의 중금속 물질로써 Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 4H<sub>2</sub>O, Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 3H<sub>2</sub>O를 초순수(전기전도도가 18 MΩ이상)에 용해시켜 20 ppm을 제조하여 사용하였다.

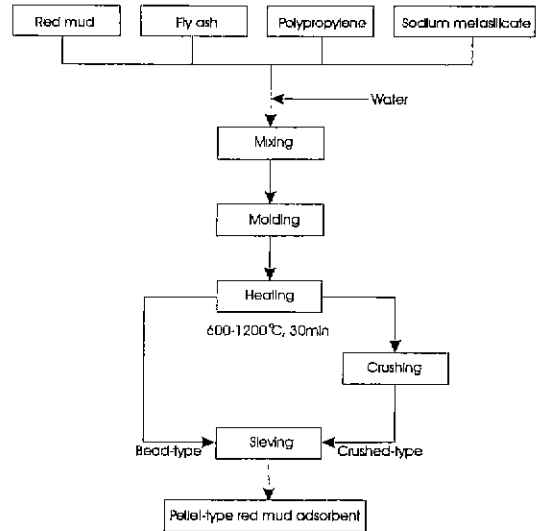


Fig. 1. Schematic diagram of pellet-type adsorbents manufacturing.

### 2.2. 입자형 적니흡착제의 제조

적니를 이용한 입자형 적니흡착제의 제조 공정을 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 적니를 기본으로 하여 fly ash, polypropylene, sodium metasilicate 등의 첨가물들의 조성을 변화시켜가면서 일정량의 풀과 함께 혼합하여 성형한 후 일정온도 및 시간에서 소결시켰다. 이때 적니흡착제를 성형방법에 따라 분리하였는데 여러 크기의 구형테로 제조한 비드형(bead-type)과 지름을 3 cm로 성형하여 소결시킨 흡착제를 분쇄하여 제조한 분쇄형(crushed-type)으로 나눌 수 있으며 이렇게 제조된 흡착제를 다시 크기별로 분리하여 사용하였다.

### 2.3. 입자형 적니흡착제 제조의 최적화

입자형 적니흡착제 제조의 주요변수로는 소결온도와 시간, 첨가물의 종류 및 함량을 들 수 있다. 소결온도와 시간은 입자형 적니흡착제의 강도와 기공을 결정하는 중요한 변수이다. Table 1에 적니만을 사용한 입자형 적니흡착제의 소결온도에 따른 흡착성능을 나타내었다. 실험결과 소결온도가 증가할수록 흡착제 표면이 단단해져 기공을 거의 찾아볼 수 없었고 흡착성능이 떨어지는 것을 알 수 있었다. 그러나 가열온도가 1200°C이하에서는 소결이 제대로 이루어지지 않고 강도가 떨어지며 부서지는 경향을 보였다. 따라서 입자형 적니흡착제를 제조하기 위해서 비록 중금속이온의 흡착력은 떨어지지만 1200°C를 소결

**Table 1.** Pb<sup>2+</sup> removal by pellet-type red mud adsorbent as a function of sintering temperature.

Sintering time(min)	Sintering temperature(°C)	Removal(%)
30	600	99.3
	700	96.2
	800	75.6
	900	60.2
	1000	45.8
	1100	42.5
	1200	33.2
	1300	20.1
	1400	5.1

**Table 2.** Pb<sup>2+</sup> removal by pellet-type red mud adsorbent as a function of percent by weight of additives

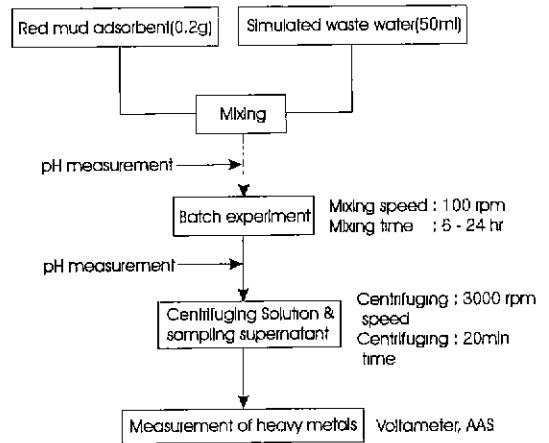
% by weight of PP, FA, SM	Removal (%)		
	Change of PP	Change of FA (PP 2.5 wt%)	Change of SM (PP 2.5 wt%, FA 0.5 wt%)
0.3	-	53.8	-
0.5	16.3	66.5	70.0
0.7	-	56.2	-
1.0	19.4	-	94.9
1.5	21.5	-	-
2.5	35.7	-	36.8
3.5	25.3	-	-

온도로 정하였고 흡착성능을 높이기 위해 다른 첨가물을 넣고 첨가물들의 함량을 변화시켜가며 조절시켜 보았고 조절시간은 30분으로 정하여 실험하였다.

Table 2 는 여러 첨가물의 함량에 따른 입자형 적니흡착제의 흡착제거를 변화를 나타낸 것으로 표에서 보는 바와 같이 polypropylene(PP) 2.5 wt%, fly ash(FA) 0.5 wt%, sodium metasilicate(SM) 1.0 wt%에서 가장 높은 흡착제거율을 나타내었다. 따라서 본 연구에서 사용된 입자형 적니흡착제는 적니 96.0 wt%, polypropylene 2.5 wt%, fly ash 0.5 wt%, sodium metasilicate 1.0 wt%의 함량으로 1200°C에서 30분간 조절시켜 제조하였다.

**2.4. 적니 및 제조된 적니흡착제의 물리·화학적 성질 측정**

적니의 구성성분은 XRF(x-ray fluorescence spectro-



**Fig. 2.** Schematic diagram of batch adsorption procedure.

meter, Philips PW240)에 의해 측정되었고 흡착시 수용액의 pH는 pH meter(동우 메디컬 DMP400)를 사용하여 측정하였다. 제조된 적니흡착제의 밀도와 비표면적은 고체 밀도측정장치(Minometrics Gemini III 23D5)와 비표면적측정장치(Minometrics Gemini III 2375)를 사용하여 측정하였다. 또한 적니 및 적니흡착제의 구조 분석을 위하여 SEM(HITACHI 2700), XRD(RIGAKU CuK)을 이용하였다.

**2.5. 적니흡착제의 흡착/탈착 성능 실험**

중금속이온을 함유한 실험폐수 50 ml를 삼각플라스크에 취하고 각각의 적니흡착제 0.2 g을 첨가하여 이를 항온교반기에서 온도 25°C(±1.5°C), 진탕속도 100 rpm의 조건으로 진탕시켰다. 흡착평형에 도달한 후 시료수에 원심분리기를 사용하여, 3000 rpm, 20 min의 조건으로 상등액을 분리한 후 시료수내의 중금속 이온 농도(Pb<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>)는 Voltameter(Chemtronics PDV 2000)로 그리고 총 중금속농도는 원자흡광계(GBC 932 AA)를 이용하여 측정하였다 Fig. 2 에 회분흡착실험과정을 도시하였다.

탈착실험과정은 다음과 같다. 50 ppm의 농도로 조제된 Pb<sup>2+</sup>실험폐수 50 ml를 삼각플라스크에 취하고 제조된 적니흡착제 0.2 g을 첨가하여 회분흡착 실험과 같은 조건으로 흡착시켰으며 흡착평형에 도달하여 Pb<sup>2+</sup>이온이 완전히 포화 흡착된 적니흡착제를 초순수로 단순히 세척한 후 건조(105°C, 1 hr)시켰다. 탈착제로는 HCl과 NaOH로 pH를 조절한 초순수를 사용하였으며 pH가 1-9로 조절된 초순수 50 ml를 삼각플라스크에 취하고

**Table 3.** Constituents and characteristics of original red mud

Constituents	% by weight
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36.3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.3
SiO <sub>2</sub>	16.4
Na <sub>2</sub> O	9.1
TiO <sub>2</sub>	7.5
CaO	9.1
Loss of Ignition	10.3
Density(after dry)	3.043(g/cm <sup>3</sup> )
Surface Area	20.48(m <sup>2</sup> /g)
PHzpc	6.7

Pb<sup>2+</sup>이온을 완전히 포화 흡착한 적니흡착제 0.2 g을 첨가하여 이를 항온교반기에서 온도 25°C(±1.5°C), 진탕속도 100 rpm의 조건으로 150분간 탈착시켰다. 탈착평형에 도달한 후 시료수를 원심분리기를 사용하여, 3000 rpm, 20 mm의 조건으로 상등액을 분리한 후 원자흡광계를 이용하여 중금속농도를 측정하였다.

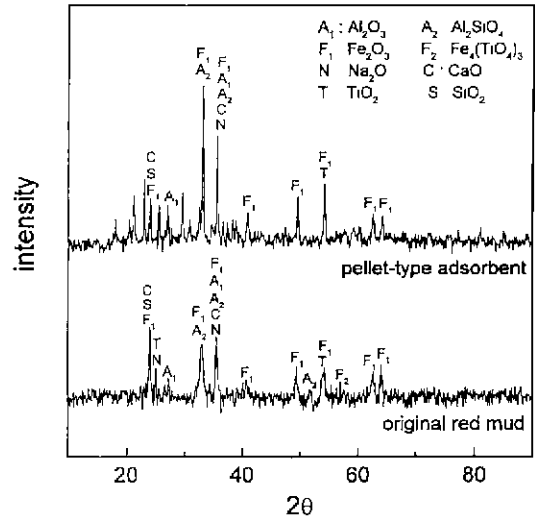
### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 적니흡착제의 물성조사

한국종합화학(주)에서 발생하는 적니는 Table 3에서 보는 바와 같이 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>가 주성분이고 기타 TiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O, CaO가 소량 함유되어 있는 알칼리성 물질이다. Fig. 3에서와 같이 XRD를 이용한 분석결과도 적니가 이러한 산화물로 구성되어 있음을 보여주고 있다. 제조한 입자형 적니흡착제의 XRD 분석결과를 살펴보면 적니의 주성분은 대부분 존재함을 알 수 있었다.

분말형 적니흡착제와 입자형 적니흡착제의 밀도 및 BET 측정값을 Table 4에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 각각의 적니흡착제의 밀도는 큰 차이가 없었고 입자형 적니흡착제가 분말형 적니흡착제보다 약간 큰 것을 알 수 있었다. 그러나 비표면적에서 분말형 적니흡착제가 입자형 적니흡착제보다 월등히 큼을 알 수 있었는데 이는 입자형 적니흡착제 제조시 고온 소결하는 과정 중에 적니의 입자가 응집되어진 결과로 보여진다.

Table 5는 이들 적니흡착제의 pH를 폐기물공정시험법에 의거하여 측정한 결과를 나타내었다. 적니를 세 번



**Fig. 3.** X-ray diffraction pattern of original red mud and pellet-type adsorbent.

**Table 4.** Absolute density and surface area of red mud adsorbents

Adsorbents	Absolute density (g/cm <sup>3</sup> )	Surface area (m <sup>2</sup> /g)
Powder-type (200-500 mesh)	3.043	23.53
Bead-type (6-10 mesh)	3.417	0.181
Crushed-type (6-10 mesh)	3.404	0.187

**Table 5.** pH of red mud adsorbents

Adsorbents	Powder-type	Bead-type	Crushed-type
pH	9.53	9.85	10.09

세척하여 단순히 건조시킨 분말형 적니흡착제는 pH가 9.53으로 높은 것으로 보아 여전히 알칼리염이 흡착제에 일부 잔류하고 있음을 알 수 있었다. 또한 이를 여러 첨가물과 혼합하여 고온소결시켜 제조한 입자형 적니흡착제의 pH가 분말형 적니흡착제보다 높아진 것으로 보아 제조 과정 중 적니에 잔존하는 결합수가 증발하여 pH가 높아진 것으로 보여진다.

Fig. 4는 분말형 적니흡착제의 SEM사진을 나타낸 것으로 적니를 세척함에 따라서 결정입자가 깨어지면서 응집되어짐을 보여주고 있다. Fig. 5와 6은 입자형 적니흡착제인 비드형 적니흡착제와 분쇄형 적니흡착제의 SEM 사진을 나타낸 것으로 각각의 입자형 적니흡착제 표면에 무수히 많은 기공이 생성된 것을 볼 수 있었으

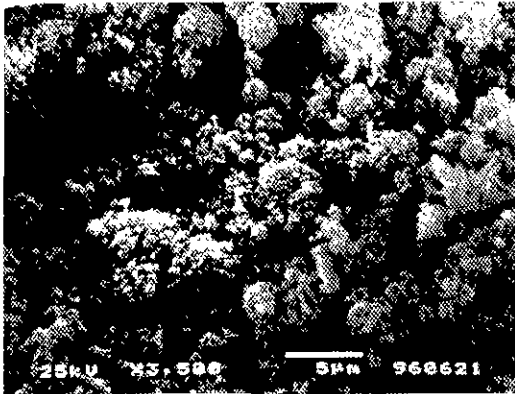


Fig. 4. SEM picture of powder-type red mud adsorbent(200-500 mesh, ×3500)

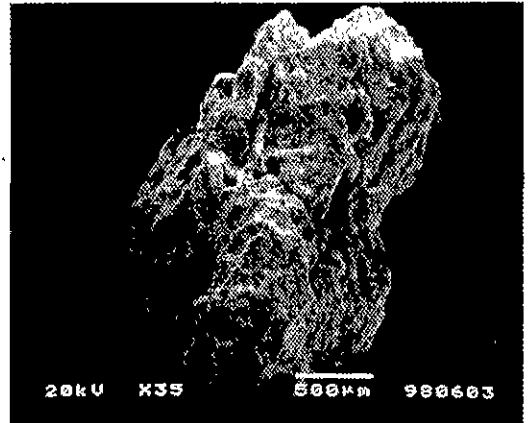


Fig. 6. SEM picture of crushed-type red mud adsorbent(6-10 mesh, ×35)

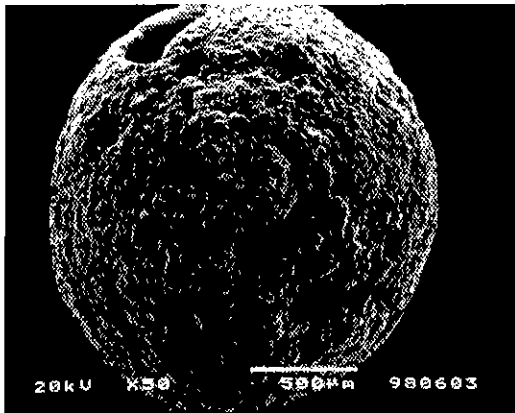


Fig. 5. SEM picture of bead-type red mud adsorbent(6-10 mesh, ×50).

며 이러한 기공들은 고온 소결하는 과정 중에 첨가물인 polypropylene이 연소되면서 빠져나간 것 때문에 생성된 것으로 추측된다.

3.2. 적니흡착제의 흡착평형시간의 결정

Fig 7은 Pb<sup>2+</sup>시험폐수(pH=6.1)에 대한 분말형 적니흡착제와 입자형 적니흡착제의 시간에 따른 Pb<sup>2+</sup>이온의 흡착 제거율을 도시한 것이다 이 실험은 20 ppm의 Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>의 수용액 50 ml에 각각의 적니흡착제 0.2 g을 혼합교반시켜 수행된 것이다. 분말형 적니흡착제는 4시간 이후에 흡착평형에 접근하였으며 분쇄형 적니흡착제는 6시간 이후에 흡착평형에 접근하였고 비드형 적니흡착제는 15시간 이후에 흡착평형에 접근하였음을 알 수가 있다. 따라서 이후의 모든 회분흡착실험은 24시간을 기준으로 수행하였다.

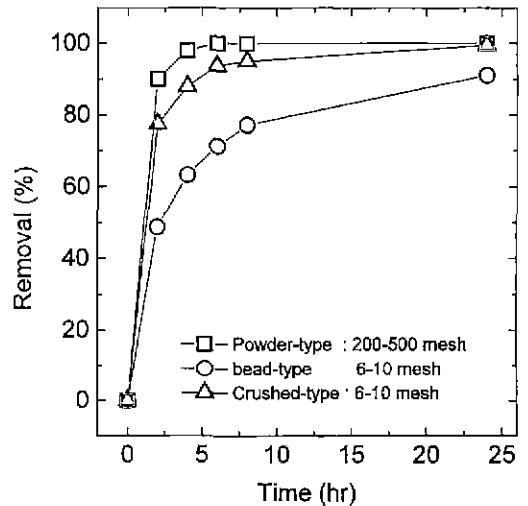


Fig. 7. Pb<sup>2+</sup> adsorption by red mud adsorbents at initial pH value of 6.1 as a function of time.

3.3. 중금속 이온의 흡착/탈착 실험

Fig. 8 부터 10에 시험폐수의 초기 pH변화에 따른 적니흡착제의 Pb<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>의 흡착실험 결과를 도시하였다 그림에서 보는 바와 같이 세 흡착제중에서 적니를 단순히 세척 건조시킨 분말형 적니흡착제와 분쇄형 적니흡착제가 비드형 적니흡착제에 비해 흡착성능이 우수함을 알 수 있었다. 특히 분쇄형 적니흡착제와 비드형 적니흡착제는 Pb<sup>2+</sup>이온에 대해서만 흡착성능이 우수함을 보인 반면에 분말형 적니흡착제는 시험폐수의 초기 pH에 관계없이 이들 모든 중금속이온을 거의 100%에 가깝게 흡착 제거함을 알 수 있다. 본 연구에서 제조한 입자형 적니흡

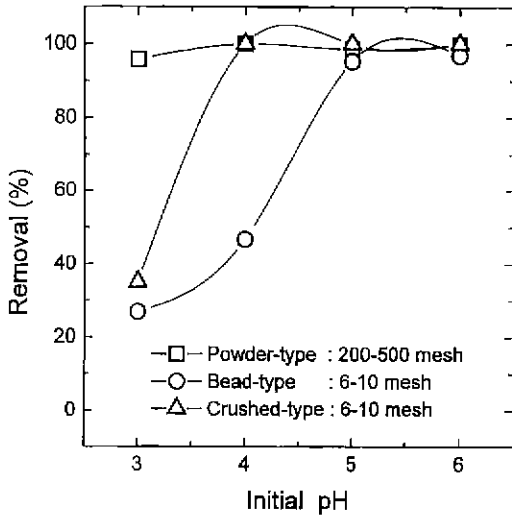


Fig. 8.  $Pb^{2+}$  adsorption by red mud adsorbents as a function of initial pH.

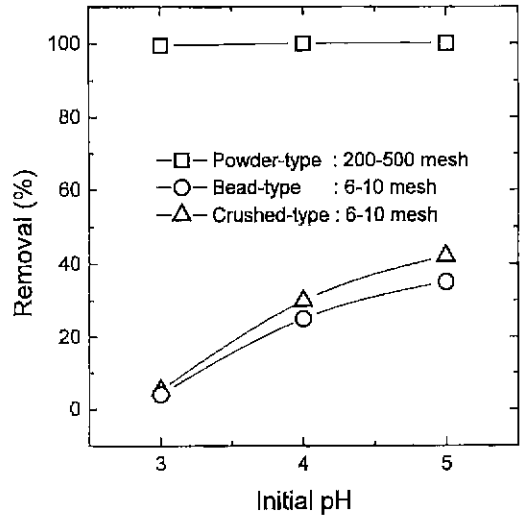


Fig. 10.  $Cu^{2+}$  adsorption by red mud adsorbents as a function of initial pH.

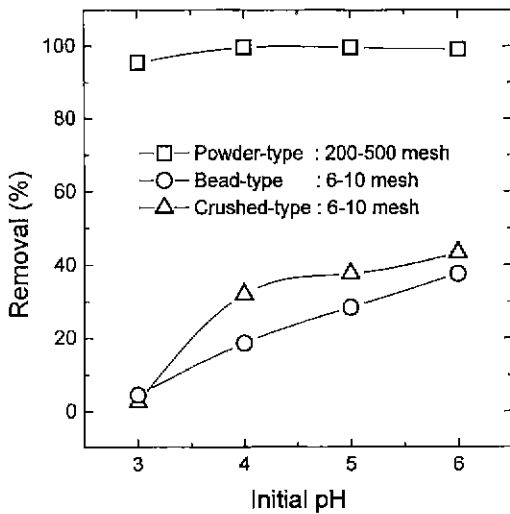


Fig. 9.  $Cd^{2+}$  adsorption by red mud adsorbents as a function of initial pH.

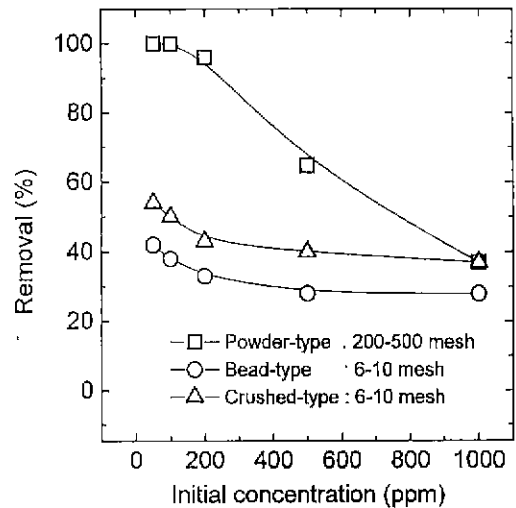


Fig. 11.  $Pb^{2+}$  adsorption by red mud adsorbents as a function of concentration.

착제들이  $Pb^{2+}$ 이온에 대해서는 높은 흡착제거율을 나타내었지만  $Cd^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ 이온에는 흡착제거율이 저조한 이유는 Fig 3 에서 알 수 있듯이 입자형 적니흡착제의 제조과정에 성분변화가 조금 있기 때문으로 추정된다.  $Pb^{2+}$ 의 초기농도를 50~1000 ppm으로 변화시키며 적니흡착제 0.2 g에 대한 흡착실험한 결과를 Fig. 11 에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이  $Pb^{2+}$ 의 초기농도가 20 ppm 이하이면 흡착제거율이 우수함을 알 수 있었다.

Fig. 12 는 수중에 존재하는 염의 농도에 따른 적니흡착제의 흡착영향을 나타낸 것이다 이 실험은 초순수로 만든 NaCl 0.04~0.16 M의 농도범위의 수용액에  $Pb^{2+}$  이온을 용해시켜 20 ppm으로 제조하여 흡착실험을 수행하였다. Fig. 12 에서 보는 바와 같이 적니흡착제들은  $Pb^{2+}$ 이온을 흡착제거함에 있어 염에 대해 크게 영향을 받지 않았으며 특히 분말형 적니흡착제는 염의 존재를 무시할 정도로 영향이 작았다.

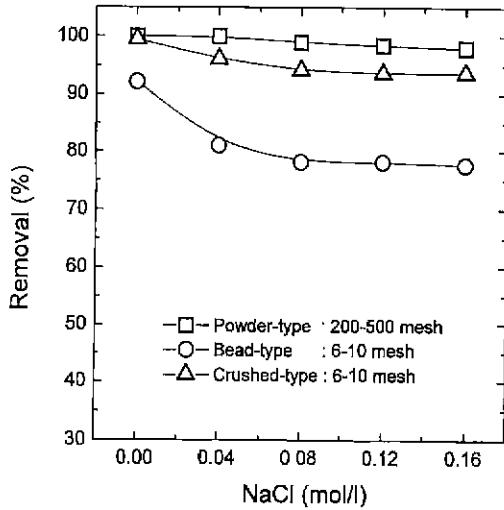


Fig. 12. Effect of salt on Pb<sup>2+</sup> adsorption by red mud adsorbents.

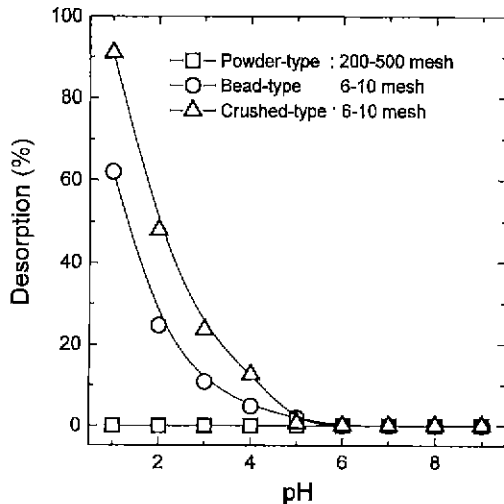


Fig. 13. Effect of pH on Pb<sup>2+</sup> desorption.

Fig. 13은 초순수의 pH를 0.5 M의 HCl과 NaOH 수용액을 사용하여 변화시키며, 50 ppm의 Pb<sup>2+</sup>수용액 상에서 완전히 포화 흡착한 적니흡착제의 탈착율을 나타낸 것이다. 분쇄형 적니흡착제의 경우 pH 1에서 92%. 비드형 적니흡착제는 pH 1에서 63%의 탈착율을 나타내어 특히, 분쇄형 흡착제의 경우 흡착제로서의 재사용 가능성을 보여 주었다. 그러나 분말형 적니흡착제는 수용액의 pH 변화로는 Pb<sup>2+</sup>이온을 탈착시키지 못하여 재생성은 없음을 확인하였다.

#### 4. 결 론

Al(OH)<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 생산공정으로부터 발생하는 적니를 이용하여 산업폐수중의 중금속이온의 흡착제거제를 개발하였다. 적니에 여러 가지 첨가물의 함량과 소결온도를 변화시켜가며 입자형 적니흡착제를 제조하였으며 이의 흡착성능 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

입자형 적니흡착제는 합성조건에 따라 흡착성능에 차이가 있었으며 적니 96.0 wt%, polypropylene 2.5 wt%, fly ash 0.5 wt%, sodium metasilicate 1.0 wt%를 소량의 물과 함께 혼합, 성형한 후 1200°C로 30분동안 고온소결하였을 때 가장 높은 흡착제거율을 나타내었다. 적니흡착제에 의한 중금속이온(Pb<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>)의 흡착제거율은 pH가 증가할수록 증가하였으며 Cd<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>보다 Pb<sup>2+</sup>에 대한 흡착성능이 더 우수하였다. 적니흡착제에 의한 Pb<sup>2+</sup>이온의 흡착에서 염의 농도에 대한 영향은 거의 없는 것으로 나타났고 탈착실험을 수행한 결과, 비드형 적니흡착제와 분쇄형 적니흡착제가 pH 1에서 각각 63%, 92%의 탈착율을 나타냈다. 따라서 입자형 적니흡착제는 분말형 적니흡착제보다 사용이 용이하며 재사용할 수 있는 장점이 있으며 Pb<sup>2+</sup>이온에 대해서는 분말형 적니흡착제와 거의 같은 흡착성능을 나타내어 흡착제로의 활용가능성을 확인할 수 있었다.

#### 감 사

본 연구는 한국과학재단의 지역협력연구(환경청정기술연구센터, 수원대학교) 사업의 일환으로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 한국종합화학 (주): bulletin (1994)
2. Ho, G. E.: "Overcoming the salinity and sodicity of red mud for rehabilitation and reuse", 43rd Purdue Industrial Waste Conference Proceedings, Lewis Publishers, Inc., Michigan, 641-649 (1989)
3. Thakur, R. S. and Sant, B. R.: "Utilization of red mud: Part II-Recovery of alkali, iron, aluminium, titanium and other constituents and the pollution problems". Journal of Scientific and Industrial Research, 42, 456-469 (1983).
4. Shamsuddin, M.: "Metal recovery from scrap and waste", Journal of Metals, 35(2), 24-31 (1986)
5. Thakur, R. S. and Sant, B. R.: "Utilization of red mud: Part I-Analysis and utilization as raw material for absor-

- bents, building materials, catalysts, fillers, paints and pigments”, *Journal of Scientific and Industrial Research*, 42, 87-108 (1983)
6. Aggarwal, P. S., Lele, R. V. and Sen, S. K. : “Utilization of fly ash and red mud”, *Chem. Age India* 28(2), 114-115 (1997).
  7. Smith, J. W. and Tran, H. N. : “Applications of sodium silicates in stabilization of jamaican red mud”. *Symposium on Colloidal Chemistry of Silica*, American Chemistry Society, Washington D. C., 1-8 (1990)
  8. Wagh, A. S. and Douse, V. E. : “Silicate bonded unsintered ceramics of bayer process waste”, *J Mater. Res.*, 6, 1094-1102 (1991).
  9. Shiao, S. J. and Akashi, K. : “Phosphate removal from aqueous solution from activated red mud”. *Journal WPCF*, 280-285 (1977).
  10. Namasivayam C. and Chandrasekaran, B. : “Treatment of dyeing industry wastewaters using  $Fe^{3+}/Cr^{3+}$  sludge and red mud”, *Journal IAEM*, 18, 93-99 (1991).
  11. Zouboulis, A. I. and Kydros, K. A. : “Removal of toxic metal ions from solutions using industrial solid byproducts”. *Wal. Sci. Tech.*, 27, 83-93 (1993).
  12. Apak R. : “Sorption removal of cesium-137 and strontium-90 from water by unconventional sorbents”, *Journal of Nuclear Science and Technology*, 32(10), 1008-1017 (1995).
  13. 배제흠, 김정식 : “유독성 산업폐수처리를 위한 적니의 이용 연구”, *대한환경공학회지*, 20(4), 543-556 (1998).



金正植

- 1997 수원대학교 화학공학과(학사)
- 1999 수원대학교 화학공학과(석사)
- 현재 PRC연구원



韓相源

- 1999 수원대학교 화학공학과(학사)
- 현재 수원대학교 화학공학과 석사과정



黃仁菊

- 1988 서울대학교 화학공학과(학사)
- 1991 서울대학교 화학공학과(석사)
- 1996 서울대학교 화학공학과(박사)
- 현재 수원대학교 고분자·화학공학부 전임강사



裴在欽

- 1977 서울대학교 화학공학과(학사)
- 1985 Syracuse Univ.(석사)
- 1988 Syracuse Univ.(박사)
- 1991 한국원자력연구소(선임연구원)
- 현재 수원대학교 고분자·화학공학부 학부장



崔佑鎭

- 1976 서울대학교 자원공학과(학사)
- 1982 미국 버지니아 폴리테크닉 주립 대학원(석사)
- 1986 미국 버지니아 폴리테크닉 주립 대학원(박사)
- 현재 수원대학교 환경공학과 교수