大韓環境工學會誌 · 논문
J. of KSEE Vol. 22, No. 11, pp. 2085~2095, 2000.
Journal of Korean Society of Environmental Engineers

적니를 이용한 무기응집제의 제조연구

김정식 · 이재록 · 한상원 · 황인국 · 배재흠

수원대학교 화학공학과

(2000년 5월 16일 접수, 2000년 10월 12일 채택)

Preparation of Inorganic Coagulants Using Red Mud

Jung-Sik Kim · Jae-Rok Lee · Sang-Won Han · In-Gook Hwang · Jae-Heum Bae

Department of Chemical Engineering, The University of Suwon

ABSTRACT

Red mud is generated as a by-product during the production of aluminum hydroxide from bauxite ore. In this study inorganic coagulants were prepared by leaching aluminum and iron from red mud with acids under various operating conditions. The optimum leaching efficiency of Al and Fe was obtained by contacting red mud with acids of 5 M H_2SO_4 and 9 M HCl with the ratio of 1/10(g/mL) at 85℃ and 25℃, respectively. In addition, the removal experiments of heavy metal ions(Pb^{2+}, Cd^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Cr^{3+}), turbidity and phosphate phosphorus(PO_4^{3-}-P) in aqueous solutions were also studied in various experimental conditions. As a result, the developed coagulants are found to show a good removal performance of heavy metal ions, turbidity and phosphate phosphorus in aqueous solutions.

Key Words : Red Mud, Inorganic Coagulant, Heavy Metal Ion, Turbidity, Phosphorus, Wastewater Treatment

요 약 문

적니는 보오크사이트로부터 수산화알루미늄/알루미나를 제조하는 공정에서 발생되는 부산물이다. 본 연구에서는 적니를 여러 가지 조건으로 산처리하여 적니에 포함되어 있는 알루미늄과 철을 산으로 침출시켜 무기응집제를 제조하였다. 적니와 산의 비율이 1/10(g/mL)인 경우 5 M H_2SO_4와 85℃에서 반응할 때, 9 M HCl과 25℃에서 반응할 때 알루미늄과 철의 최적 침출효율을 얻을 수 있었다. 또한 수용액에서 중금속이온(Pb^{2+}, Cd^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Cr^{3+}), 탁도, 인산염인(PO_4^{3-}-P) 제거실험을 여러 가지 실험조건으로 수행하였다. 실험결과, 본 연구에서 개발된 응집제는 수용액에서 중금속이온, 탁도와 인산염인에 대해 우수한 제거능력을 보이는 것으로 확인되었다.

주제어 : 적니, 무기응집제, 중금속이온, 탁도, 인, 폐수처리

1. 서 론

수산화알루미늄/알루미나($Al(OH)_3/Al_2O_3$) 생산공장에서는 부산물로 산업폐기물인 적니(red mud)가 발생한다.[1] 적니에는 주성분인 Fe_2O_3, Al_2O_3, SiO_2와 기타 TiO_2, Na_2O, CaO가 소량 함유되어 있다.[2] 현재 우리 나라에서는 1993년 대불공단에 $Al(OH)_3/Al_2O_3$ 제조공장이 착공된 이후 연간 100,000톤의 적니가 발생되고 있다. 적니는 pH가 높은 알칼리성 무기폐기물로서 주변생태계에 악영향을 끼쳐 이의 처리 처분에 많은 문제점을 안고 있기 때문에 적니를 활용하는 방법이 연구되고 있다. 현재 적니의 재활용 연구로는 순화(rehabilitation) 연구,[3] 희귀원소 및 알루미늄 등의 회수연구,[4,5] 건자재 활용연구,[6] 그리고 도료의 안료, 플라스틱 필러(filler) 및 촉매로의 활용 연구[4] 등이 있으며 적니를 흡착제로 산업폐수처리에 이용하는 연구가 이루어지고 있다.[7~9] 건조된 적니를 염산과 접촉시키고 이를 증류수로 세척 후 가열처리하여 인산염인(PO_4^{3-}-P)의 제거에 이용하는 연구가 보고 되었고,[10~13] 적니를 석회석과 함께 활용하면 염색폐수의 색도제거에 효용성이 있음이 보고되었다.[14]

한편 중금속 함유폐수, 매립지 침출수, 돈사폐기물 등의 처리를 위하여 응집제가 사용되고 있는데,[15~17] 본 연구에서는 적니를 이러한 폐수처리용 무기응집제로 재활용하는 방법을 개발하였다. 본 연구의 목적은 산업폐기물인 적니를 액상의 무기응집제로 제조하고 이의 응집성능을 조사하는 것이다. 본 연구에서는 적니에 무기응집제의 주성분인 Fe, Al이 많은 양으로 함유되어 있는 점을 이용하여 적니를 염산 및 황산으로 처리하여 Fe, Al을 침출시킨 용액을 액상의 무기응집제로 사용하였다. 적니로부터의 무기응집제 제조 조건으로 산의 종류, 농도, 부피, 반응온도 등을 변화시켜가며 최적의 침출조건을 결정하였다. 최적상태로 제조된 적니응집제의 성능을 조사하기 위해 적니응집제의 물성을 규명하였으며, 중금속, 탁도, 인산염인에 대한 응집제거 성능실험을 수행하였다. 본 연구는 특정폐기물인 적니를 하 · 폐수의 중금속, 탁도, 인산염인 제거용 무기응집제로 재활용함으로써 산업폐기물 발생량을 최소화하고 폐수처리문제를 해결하는 데 기여할 것이다.

2. 실험 방법

2.1. 재료 및 시약

본 실험에서 사용된 적니는 대불공단에 있는 한국종합화학(주)의 수산화알루미늄 생산공장에서 발생되는 적니를 사용하였다. 중금속 모의폐수로써 Pb^{2+}, Cd^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Cr^{3+}은 각각 $Pb(NO_3)_2$, $Cd(NO_3) \cdot 4H_2O$, $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$, $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$, $Cr(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$(Showa, Japan : 1st grade)를 사용하였으며 인산염인 모의폐수는 K_2HPO_4

(Kanto, Japan : 1st grade)를 사용하였다.

2.2. 적니응집제의 제조방법

적니가 함유하고 있는 금속산화물 성분 중 55%이상을 차지하는 주성분은 Fe_2O_3와 Al_2O_3인데, 황산이나 염산으로 처리하여 다음과 같은 반응에 의하여 적니응집제가 생성된다.

$$Fe_2O_3 + Al_2O_3 + 6H_2SO_4 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3 + Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O \quad (1)$$

$$Fe_2O_3 + Al_2O_3 + 12HCl \rightarrow 2FeCl_3 + 2AlCl_3 + 6H_2O \quad (2)$$

식 (1)의 반응에서 화학양론비로 반응하였을 경우, 적니 10 g으로부터 얻어지는 $Fe_2(SO_4)_3$와 $Al_2(SO_4)_3$의 양은 각각 9.1 g, 6.1 g이 된다. 식 (2)의 반응에서 적니 10 g으로부터 얻어지는 $FeCl_3$와 $AlCl_3$의 양은 각각 7.4 g, 4.8 g이 된다. 따라서 식 (1)과 (2)반응식의 화학양론비를 근거로 하여, 적니응집제의 최적 침출조건을 결정하기 위하여 적니 10 g에 산의 종류, 농도, 부피, 그리고 반응온도를 변화시키며 침출실험을 수행하였다. 산으로는 강산인 공업용 H_2SO_4(95%)와 HCl(35%)를 희석하여 사용하였으며 산의 농도는 1~11 M로 변화하여 반응시켰다. 또한 부피를 100~800 mL로 변화시켜 침출실험을 수행하였다. 특히, H_2SO_4의 경우 저온에서 반응속도가 느려 25~85℃로 반응온도를 변화시켜 실험하였으며 침출반응조로 Jar-tester를 사용하였고 200 rpm, 24 hr의 조건으로 교반하며 반응시켰다. Fig. 1에 적니응집제의 제조과정을 나타내었다.

2.3. 응집실험

최적의 침출조건으로 제조한 적니응집제를 이용하여 응집실험을 수행하였다. 중금속 모의폐수를 제조하기 위하여 초기농도를 각각 50 mg/L로 제조한 Pb^{2+}, Cd^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Cr^{3+}의 중금속폐수를 혼합하여 사용하였다. 그리고 탁도 처리실험을 위하여

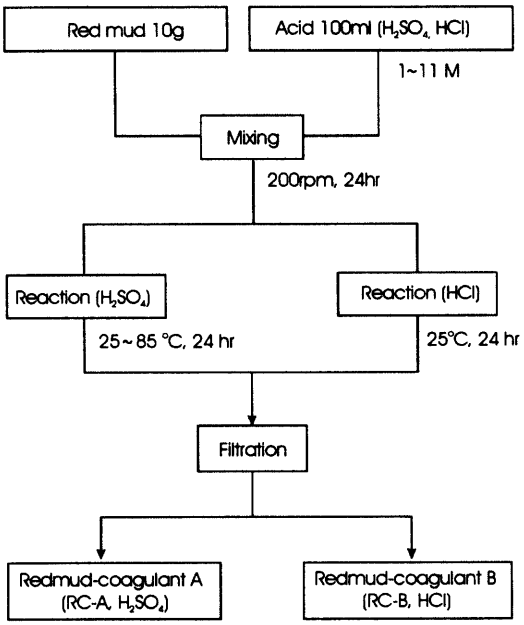

Fig. 1. Schematic diagram of red mud coagulant manufacturing.

사용된 모의폐수는 흔히 사용되는 카올리나이트 대신에 본 실험에서는 적니와 하천폐수를 사용하였다. 적니모의폐수의 제조방법으로는 적니를 초순수에 현탁시켜 48시간 방치한 후 상등액을 채취하여 초기탁도를 100, 200 NTU로 제조하였으며 경기도 화성군의 하천수를 탁도 제거실험의 시험폐수로 직접 사용하였다. 또한 인산염인 모의폐수는 K_2HPO_4를 초순수에 직접 용해시켜 100 mg/L PO_4^{3-}-P로 제조하여 응집 실험하였다.

제조한 모의폐수 500 mL에 적니응집제의 투입량을 5~100 mg/L의 범위로 변화시켜 혼합하고, 5 N HCl과 5 N NaOH를 이용하여 pH를 2~12로 조정하여 수행하였다. 교반조건은 급속(150 rpm, 5 min), 완속(50 rpm, 20 min), 침전(30 min)의 순서로 진행하였다. 중금속이온의 농도는 AAS (GBC, GBC932)를 이용하여 측정하였고, 탁도는 탁도계($PC_{COMPACT}$, PC_H06051)를 이용하여 측정하였다. 그리고 인의 착색은 수질오염공정시험법에 준하여 수행하였으며 인의 농도는 UV(HEWLETT PACKARD, HP89532A)를 이용하여 측정하였다. Fig. 2에 이의 실험과정을 나타내었다.

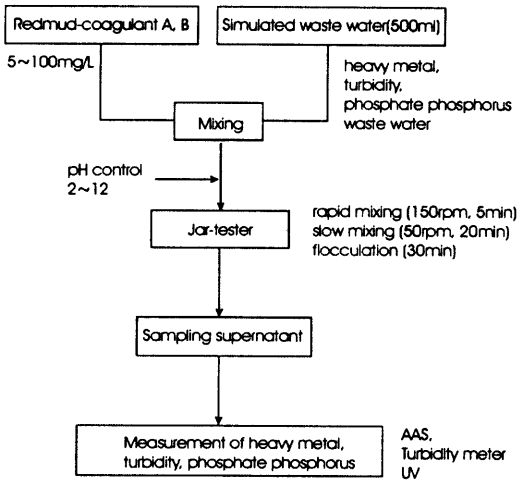

Fig. 2. Schematic diagram of coagulation experiment procedure.

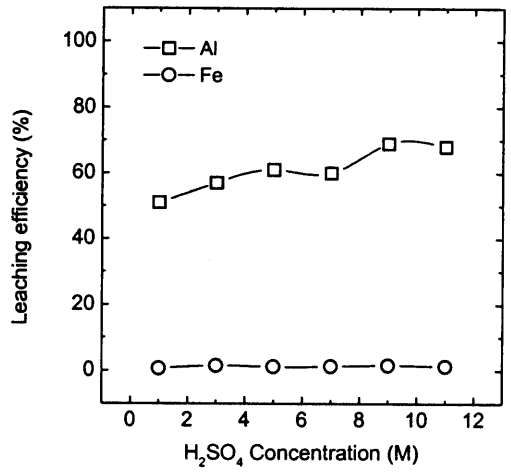

Fig. 3. Leaching efficiency as a function of H_2SO_4 concentration (conditions: temperature 25℃, red mud 10 g, H_2SO_4 100 mL).

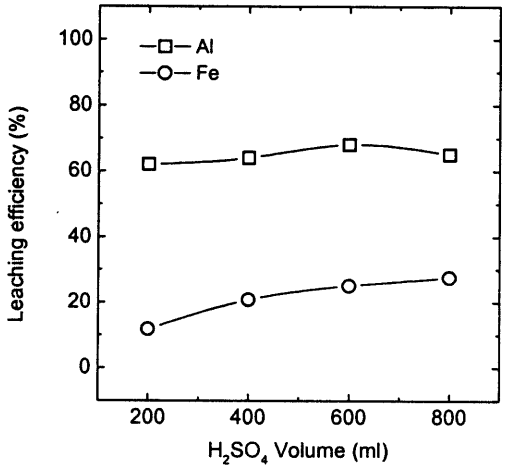

Fig. 4. Leaching efficiency as a function of H_2SO_4 volume (conditions: temperature 25℃, red mud 10 g, H_2SO_4 5 M).

3. 결과 및 고찰

3.1. 적니응집제의 제조

적니를 황산으로 처리하는 실험에서는 최적의 침출효율을 얻는 산처리조건을 조사하기 위해 황산수용액의 농도에 따라 각각 24시간 동안 교반하여 침출액을 분석한 결과, Fig. 3에서 보는 바와 같이 황산수용액의 농도가 증가하면 Al의 침출효율은 증가하지만, Fe는 침출효율이 0에 가까웠다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 황산수용액의 농도를 5M로 고정한 후 부피를 200~800 mL로 변화시키며 실험한 결과, 침출효율은 Al의 경우에 62~65%로 큰 차이가 없었으나, Fe의 경우 황산용액의 부피가 증가할수록 침출효율도 조금씩 증가하였다. 그러나 실제 침출액의 농도를 살펴보면 부피가 증가할수록 Al과 Fe의 농도가 감소하는 것을 알 수 있었다. 즉, 산의 부피를 100 mL로 침출할 때보다 200~800 mL로 침출할 때에 침출액의 농도가 더 낮아진다. 따라서 본 연구에서는 응집제로 사용되는 침출액의 Al과 Fe의 농도가 높아야 하므로, 적니 10 g에 대하여 처리하는 산의 부피를 100 mL로 정하였다.

적니를 황산으로 처리하는 실험에서 Al과 Fe의 침출효율을 높이기 위해 5 M 황산수용액의 반응온도를 변화시키며 실험하였다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 반응온도가 증가할수록 Al와 Fe의 침출효율이 증가하였고, 반응온도 70℃ 이상에서 최대의 침출효율을 얻었다. 최대 침출효율은 Al 100%, Fe 86%로 얻어졌고 이는 부피를 변화시켰을 때의 최대 침출효율보다 훨씬 높았다.

적니를 염산으로 처리하는 실험으로는 Fig. 6에 25℃에서 염산용액의 농도를 변화시켰을 때의 Al과 Fe의 침출효율을 나타내었다. 염산수용액의 농도가 증가함에 따라 침출효율이 증가함을 알 수 있었으며

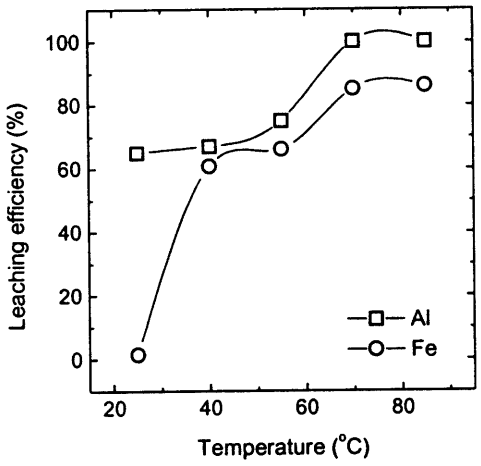

Fig. 5. Leaching efficiency as a function of temperature (conditions: red mud 10 g, 5 M H_2SO_4 100 mL).

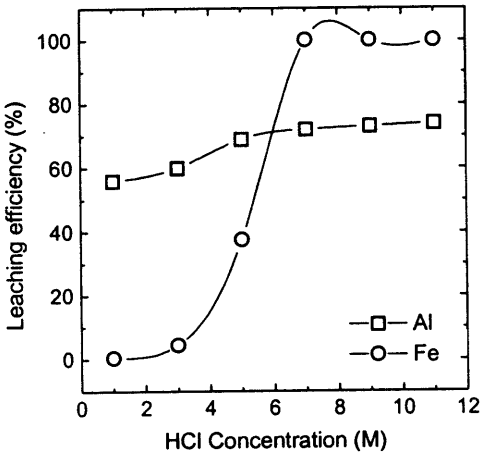

Fig. 6. Leaching efficiency as a function of HCl concentration (conditions: temperature 25℃, red mud 10 g, HCl 100 mL).

Al의 경우는 염산수용액의 농도범위 1~11 M에서 60~70%의 침출효율을 얻었지만 Fe의 경우는 염산용액의 농도가 증가할수록 침출효율이 증가하였으며 7 M 이상에서 100%의 침출효율을 얻었다. 그리고 9 M 염산수용액의 반응온도를 변화시키며 실험한 결과, Fig. 7에서 보는 바와 같이 반응온도가 증가할수록 Al의 침출효율은 증가하였으나, Fe의 침출효율은 감소하였다. 본 연구와 관련된 기존의 연구로써 염산으로 Al을 침출하는 방법은 박 등[18]에 의해 제안되었다. 그들은 고령토를 상압에서 염산으로 침출시킨 후 그 슬러리를 여과하여 얻은 알루미늄 수용액으로부터 수처리 응집제로 사용되고 있는 PAC(Polyaluminum Chloride)을 제조하였다.

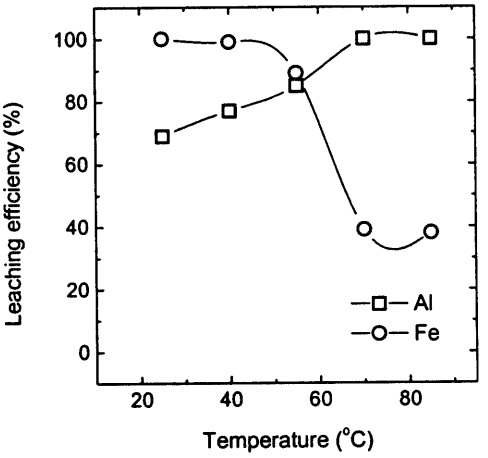

Fig. 7. Leaching efficiency as a function of temperature (conditions: red mud 10 g, 9 M HCl 100 mL).

위의 결과로부터 적니를 산처리하여 응집제를 제조하는 방법을 염산과 황산에 대해서 각각 결정하였다. 본 연구에서 제조한 적니응집제는 제조방법에 따라 편의상 적니응집제 A, 적니응집제 B로 구분하였다. 적니응집제 A는 5 M H_2SO_4 수용액 100 mL에 적니 10 g을 85℃에서 24시간 반응시켜 제조하였으며, 적니응집제 B는 9 M HCl 수용액 100 mL에 적니 10 g을 25℃에서 24시간 반응시켜 제조하였다. 제조한 적니응집제 용액을 분석한 결과, 적니응집제 A는 Fe, Al이 각각 2.2 wt%, 1.0 wt% 함유되어 있었으며 응집제의 성분은 $Fe_2(SO_4)_3$와 $Al_2(SO_4)_3$의 혼합액으로 추정된다. 적니응집제 B는 Fe, Al이 각각 2.6 wt%, 0.7 wt% 함유되어 있었으며 응집제의 성분은 $FeCl_3$와 $AlCl_3$의 혼합액으로 추정된다. Table 1에 적니응집제와 현재 시판중에 있는 무기응집제 용액속의 중금속 함유농도를 나타내었다. Table 1에서 보는 바와 같이 적니응집제는 여러 중금속성분들을 미량 함유하고 있으나 시판중인 무기응집제 $Fe_2(SO_4)_3$(Fe : 8.4~10.5 wt%)와 $FeCl_3$(Fe : 8.4~10.5 wt%)보다 더 적게 검출되었고 다만 $Al_2(SO_4)_3$(Al : 4.3~5.3 wt%)보다 조금 더 검출되는 것을 알 수 있었다. 그러나 제조한 적니응집제는 고농도이므로 실제 응집공정에서의

Table 1. Analysis of heavy metals in red mud coagulants and commercial coagulants

	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Cr (mg/L)
Red mud coagulant A	4.2	0.02	1.0	5.1	4.4
Red mud coagulant B	8.3	0.04	0.9	8.3	4.4
Commercial coagulant A : $Fe_2(SO_4)_3$	11.4	0.08	2.7	259.0	105.6
Commercial coagulant B : $FeCl_3$	4.2	0.03	277.7	113.0	155.0
Commercial coagulant C : $Al_2(SO_4)_3$	0.06	0.01	0.01	0.13	0.08

응집제 사용시에는 수십~수백배 희석하여 사용하기 때문에 응집제 속에 포함된 미량의 중금속 농도는 환경법 기준에 전혀 저촉되지 않는 것을 알 수 있었다.

3.2. 중금속이온 제거실험

제조된 두 종류의 적니응집제를 이용하여 중금속 이온 제거실험을 수행하였다. 중금속 모의폐수는 Pb^{2+}, Cd^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Cr^{3+}의 초기농도가 각각 50 mg/L인 혼합용액이다. 우선 적니응집제의 중금속 제거능력을 검증하기 위해, Fig. 8에는 중금속 모의폐수를 5 N HCl과 5 N NaOH로 pH만을 변화시켰을 때 침전에 의한 중금속 제거율의 변화를 나타내었고, Fig. 9와 10에는 30 mg/L의 적니응집제 투입했을 경우의 중금속이온 제거율의 변화를 나타내었다. 모의폐수의 pH만 변화시키며 관측한 결과, pH 5이상부터 시험폐수는 혼탁해지며 pH 12이상부터 침전이 발생되었고, pH 12에서는 모든 중금속들이 60% 이상 침전하여 제거되었다. 적니응집제를 투입했을 경우는 pH 8 이상에서 Cd^{2+}를 제외한 모든 중금속이온들이 95% 이상 제거되었다. 강 등[19]은 $FeCl_3$를 응집제로 사용하여 pH 조절에 의한 $Fe(OH)_3$ 형태로의 침전을 통해 폐수중에 있는 구리이온을 제거하는 실험을 수행하였다. 이 실험에서 그들은 응집제의 투입량에 따라 pH 7~8 이상에서 구리이온이 침전, 제거된다고 보고하였다. 본 연구결과에서는 pH 8 이상에서 Cu^{2+}의 제거효율이 높은 것으로 나타났다.

다음으로 적니응집제 투입량에 따른 중금속이온

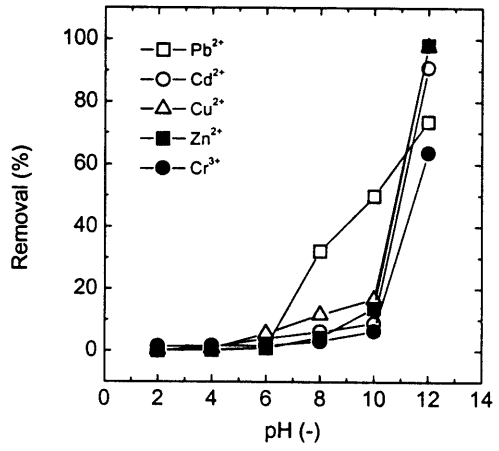

Fig. 8. Effect of pH on removal of heavy metal ions (pH control reagent : 5 N HCl, 5 N NaOH).

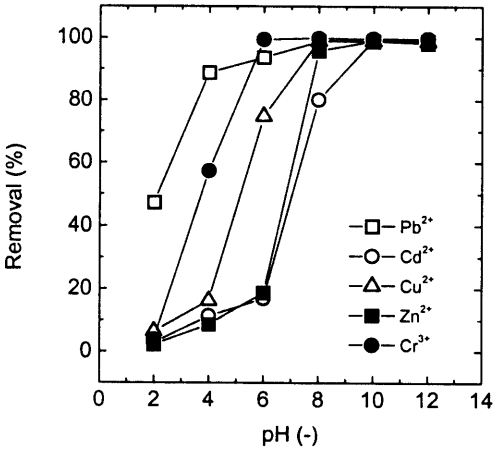

Fig. 9. Effect of pH on removal of heavy metal ions by red mud coagulant A at dosage of 30 mg/L.

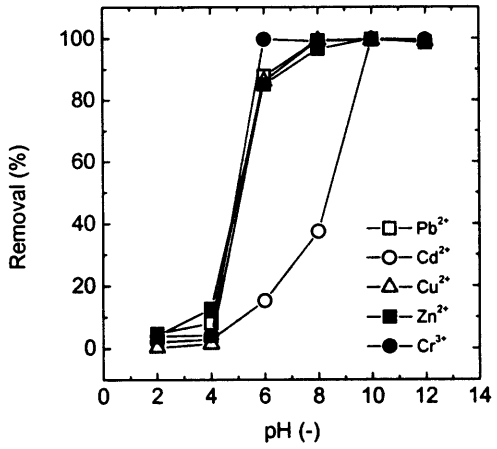

Fig. 10. Effect of pH on removal of heavy metal ions by red mud coagulant B at dosage of 30 mg/L.

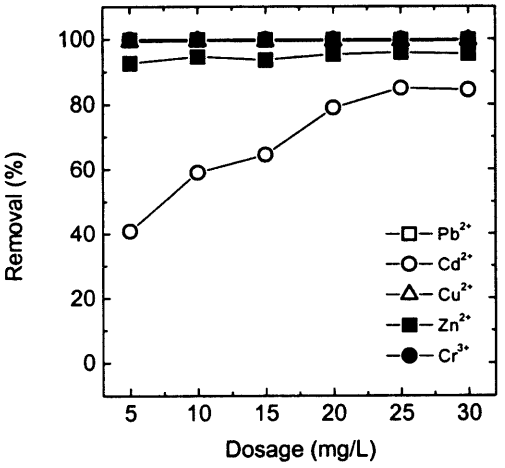

Fig. 11. Effect of dosage on removal of heavy metal ions by red mud coagulant A at pH 8.

의 제거율 변화를 조사하였다. Fig. 11과 12에는 중금속이온 모의폐수에 적니응집제 A와 B의 농도를 5~30 mg/L로 변화시켜 투입한 후 모의폐수의 pH를 8로 하였을 때의 결과를 나타내었다. 적니응집제 A와 B의 경우 모두 Cd^{2+}을 제외한 다른 중금속들은 주입량에 관계없이 90% 이상 제거되었다. 그러나, 모의폐수에 적니응집제를 투입후 pH를 10으로 조정하였을때 Fig. 13과 14에 나타낸 바와 같이 투입량이 5 mg/L 이상에서 부터 모든 중금속이온에 대해 95%이상의 제거효율을 보였다.

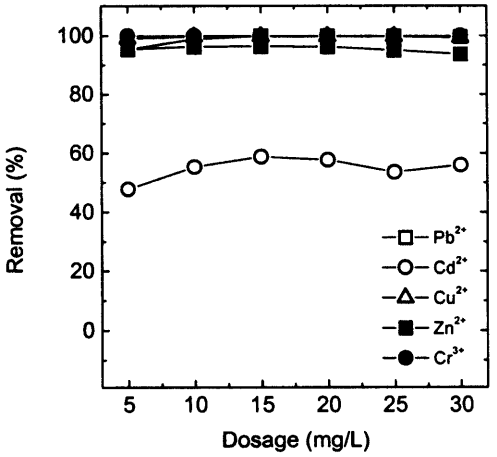

Fig. 12. Effect of dosage on removal of heavy metal ions by red mud coagulant B at pH 8.

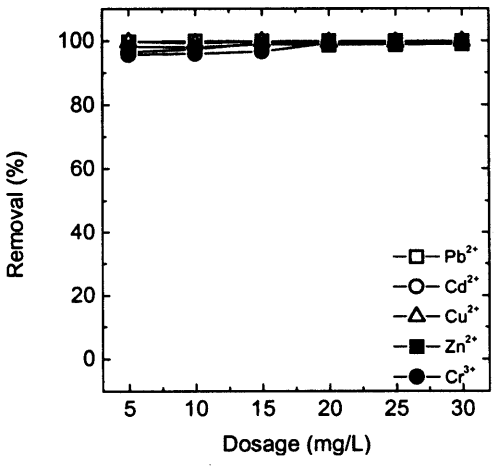

Fig. 13. Effect of dosage on removal of heavy metal ions by red mud coagulant A at pH 10.

3.3. 탁도 제거실험

탁도 제거실험은 적니에 의하여 제조된 모의폐수와 실제 하천수를 대상으로 수행하였다. 1차적으로 적니시험폐수의 제조된 적니응집제에 대한 탁도 제거효율을 알아보기 위하여 적니응집제 A와 B의 투입량을 5 mg/L로 하고 모의폐수의 pH를 변화시키며 탁도를 측정하였다. Fig. 15에서는 초기탁도가 100 NTU(Nepthelometric Turbidity Unit)일 때, 적니응집제 A와 B의 경우 모두 pH 4 이상부터

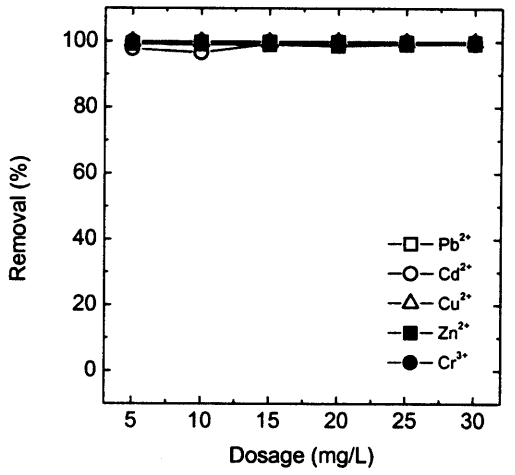

Fig. 14. Effect of dosage on removal of heavy metal ions by red mud coagulant B at pH 10.

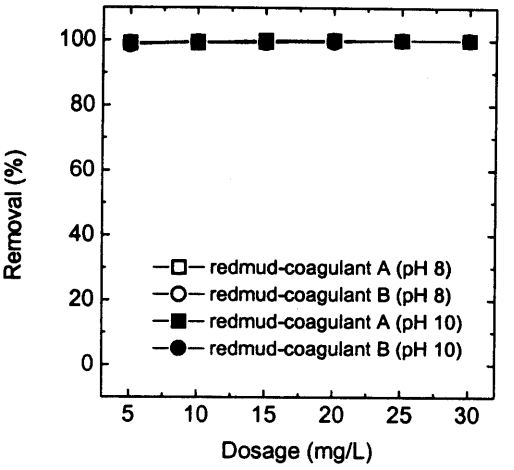

Fig. 16. Effect of red mud coagulant dosage on turbidity removal at pH 8 and 10 (initial turbidity = 200 NTU).

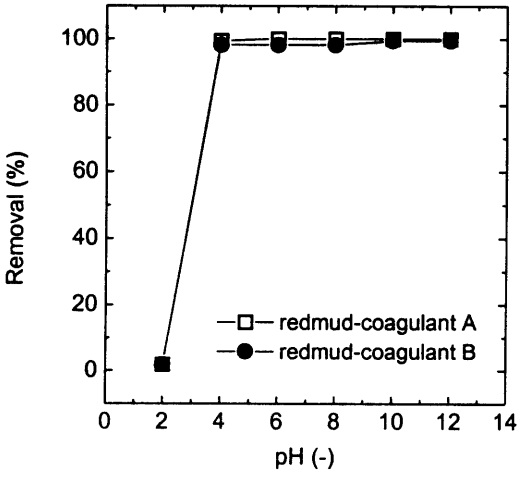

Fig. 15. Effect of pH on turbidity removal at red mud coagulant dosage of 5 mg/L (initial turbidity = 100 NTU).

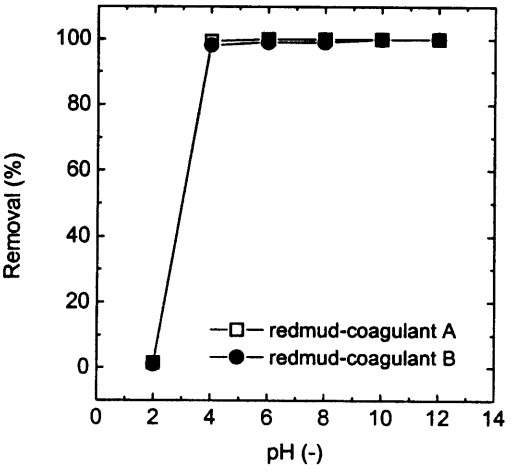

Fig. 17. Effect of pH on turbidity removal at red mud coagulant dosage of 5 mg/L for river (initial turbidity = 60 NTU).

플록이 발생하였고 탁도측정 결과 95%이상의 탁도 제거효율을 보였다. 다음으로 Fig. 16에는 초기탁도가 200 NTU일 때, 모의폐수에 적니응집제 A와 B의 투입농도를 변화시킨 후 pH를 8과 10으로 조정하였을때의 탁도 제거효율을 비교하였는데 적니응집제의 투입량에 관계없이 모두 99% 이상의 탁도 제거효율을 보였다.

또한 경기도 화성군의 실제 하천수를 대상으로 탁도 제거실험을 수행하였다. 적니응집제의 투입량은 5 mg/L로 하고 하천수의 pH를 변화시켜 실험한 결과 Fig. 17에서 보는 바와 같이 pH 2를 제외한 나머지 pH에서 95% 이상의 탁도 제거효율을 나타냈다.

3.4. 인산염인 제거실험

적니응집제 A, B를 이용하여 모의폐수에서 인산염인 제거효율을 알아보기 위해서 pH와 응집제 투입량을 변화시키면서 실험을 수행하였다. Fig. 18에는 적니응집제 투입량을 100 mg/L로 하고 pH

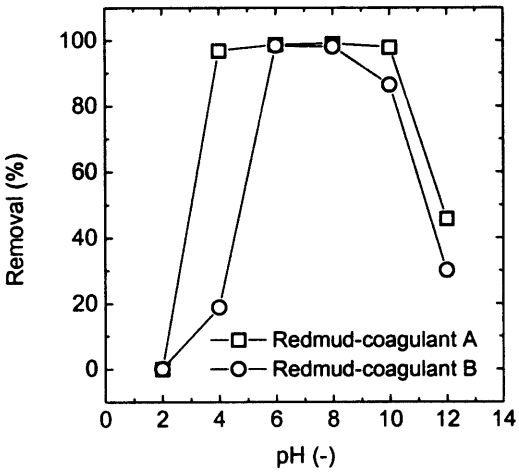

Fig. 18. Effect of pH on PO_4^{3-}-P removal at red mud coagulant dosage of 100 mg/L (initial PO_4^{3-}-P concentration = 100 mg/L).

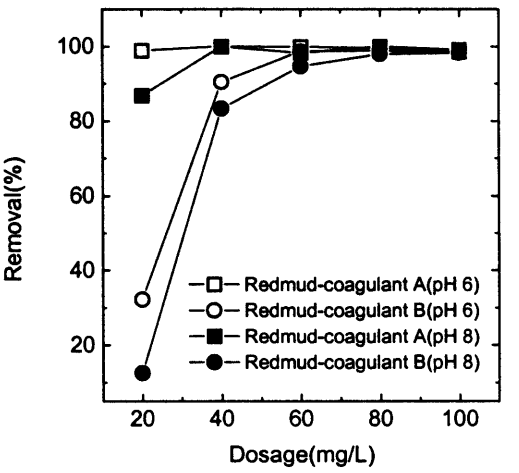

Fig. 19. Effect of red mud coagulant dosage on PO_4^{3-}-P removal at pH 6 and 8 (initial PO_4^{3-}-P concentration = 100 mg/L).

변화에 따른 인산염인 제거율의 변화를 나타내었다. 적니응집제 A의 경우 pH 4에서 10까지는 95% 이상 제거되었으나 pH 12에서는 제거율이 45%로 감소하였다. 그리고 적니응집제 B의 경우 pH 6에서부터 8까지는 95% 이상 제거되었으나 pH 10에서는 85%, pH 12에서는 31%로 제거율이 감소하였다. 이와 같이 pH가 높을 경우 인산염인의 제거율이 감소하는 것은 응집된 인산염이 알칼리에 의해 용해되는 것과 Fe와 Al이 높은 pH에서 $FePO_4$와 $AlPO_4$로 응집되는 것보다 $Fe(OH)_3$와 $Al(OH)_3$로 응집되는 것이 많기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 19에는 모의폐수에 적니응집제의 투입량을 변화시킨 후 pH를 6과 8로 조정하였을 때의 인산염인의 제거율 변화를 나타내었다. 모의폐수의 pH를 6으로 고정시킨 경우 적니응집제 A는 투입량이 20 mg/L 이상에서는 투입량에 관계없이 95% 이상의 제거효율을 보였다. 그리고 적니응집제 B는 투입량이 40 mg/L 이상일 때 90% 이상의 제거효율을 보였다. 모의폐수의 pH를 8로 고정시킨 경우 적니응집제 A는 투입량이 40 mg/L 이상일 때 95% 이상의 제거효율을 보였으며 적니응집제 B는 60 mg/L 이상일 때 90% 이상의 제거효율을 보였다. 따라서, 적니응집제에 의한 인산염인의 제거효율은 pH 6~8일 때 매우 우수함을 알 수 있었다. 기존의 적니를 이용한 수용액으로부터의 인제거 연구[10~13]에서 적니를 그대로 사용하거나, 산처리한 적니를 사용한 결과, 적니가 인제거에 효율이 있음이 보고되었다. Akay 등[11]은 단순히 건조된 적니를 사용하여 실험한 결과, 인산이온이 적니입자에 대해 응집제로 작용함을 보여주었다. 본 연구는 이와는 달리 적니를 산으로 침출시킨 액으로 인산염인을 제거하여 우수한 제거효율을 보여주었다.

4. 결 론

산업폐기물인 적니를 활용하기 위하여 적니를 H_2SO_4와 HCl의 수용액과 반응시켜 무기응집제를 제조하였고 중금속, 탁도, 인산염인 제거실험을 수행하여 응집성능을 확인하였다.

황산으로 적니를 처리한 적니응집제 A는 5 M H_2SO_4 100 mL와 적니 10 g을 85℃에서 24시간 동안 반응시켜 제조하였고, Al과 Fe의 침출효율은 각각 100%와 86%로 나타났다. 염산으로 적니를 처리한 적니응집제 B는 9 M HCl 100 mL와 적니 10 g을 25℃에서 24시간 동안 반응시켜 제조하였고, Al과 Fe의 침출효율은 각각 75%, 100%로 나타났다.

초기농도가 각각 50 mg/L인 중금속(Pb^{2+}, Cd^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Cr^{3+}) 함유 모의폐수를 제조하여 pH

8과 10에서 적니응집제 A와 B의 농도를 변화시켜 투입했을 때 pH 8에서 Cd^{2+}를 제외하고는 적니응집제 A와 B 모두 90% 이상의 중금속이온 제거효율을 보였고, pH 10에서는 Cd^{2+}를 포함한 모든 중금속이온에 대하여 95% 이상의 제거효율을 보였다.

탁도 모의폐수를 이용하여 적니응집제 A와 B의 농도를 변화시켜 투입시킨 결과, 모의폐수의 초기탁도가 200 NTU일 때 pH 8, 10에서 적니응집제 주입농도가 10 mg/L 이상이면 탁도 제거효율이 모두 99% 이상으로 나타났고 실제 하천수도 초기탁도가 60 NTU일 때 pH 2를 제외하고 95% 이상의 제거율을 나타냈다.

초기농도가 100 mg/L인 인산염인 함유 모의폐수를 제조하여 pH 6과 8에서 적니응집제 A와 B의 농도를 변화시켜 투입했을 때 적니응집제 A는 투입농도 40 mg/L 이상에서 95% 이상의 제거효율을 보였고 적니응집제 B는 60 mg/L 이상에서 90% 이상의 제거효율을 보였다.

위와 같은 실험 결과로부터 적니를 활용하여 제조한 적니응집제 A와 B는 중금속이온, 탁도, 인산염인 제거능력이 매우 우수함을 알 수 있으며, 실제 산업폐수에도 충분히 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 산업자원부의 청정생산기술사업과 한국과학재단의 지역협력연구(환경청정기술연구센터, 수원대학교)사업의 일환으로 수행되었으며 연구비 지원에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 한국종합화학(주), Bulletin(1994).
2. 배재흠, 김정식, "유독성 산업폐수처리를 위한 적니의 이용연구," 대한환경공학회지, **20**(4), 543~556(1998).
3. William, F. S. and Hamdy, M. K., "Induction of Biological Activity in Bauxite Residue," *High Metallurgy*, 249~263(1982).
4. Thakur, R. S. and Sant, B. R., "Utilization of Red Mud : Part I -Analysis and Utilization as Raw Material for Absorbents, Building Materials, Catalysts, Fillers, Paints and Pigments," *Journal of Scientific and Industrial Research*, **42**, 87~108 (1983).
5. 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).
6. Wagh, A. S. and Douse, V. E., "Silicate Bonded Unsintered Ceramics of Bayer Process Waste," *J. Mater. Res.*, **6**, 1094~1102(1991).
7. Apak, R., Guclu, K., and Turgut, M. H., "Modeling Copper(II), Cadmium(II), and Lead(II) Adsorption on Red Mud," *J. Colloid Interface Sci.*, **203**, 122~130 (1998).
8. Lopez, E., Soto, B., Arias, M., Nunez, A., Rubinos D., and Barral, M. T., "Adsorption Properties of Red Mud and Its Use for Wastewater Treatment," *Wat. Res.*, **32**, 1314~1322(1998).
9. Kilinckale, F., Ayhan, S., and Apak, R., "Solidification/Stabilization of Heavy Metal-Loaded Red Muds and Fly Ashes," *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, **69**, 240~246 (1997).
10. Shiao, S. J. and Akashi, K., "Phosphate Removal from Aqueous Solution from Activated Red Mud," *Journal WPCF*, **49**, 280~285(1977).
11. Akay, G., Keskinler, B., Cakici, A., and Danis, U., "Phosphate Removal from Water by Red Mud Using Crossflow Microfiltration," *Wat. Res.*, **32**, 717~726(1998).
12. Shannon, E. E. and Verghese, K. I.,

"Utilization of Alumized Red Mud Solids for Phosphorus Removal," *Journal WPCF*, **48**, 1948~1954(1976).

13. Weaver, D. M. and Ritchie, G. S. P., "The Effectiveness of Lime-based Amendments and Bauxite Residues at Removing Phosphorus from Piggery Effluent," *Environmental Pollution*, **46**, 163~175(1987).
14. 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).
15. 서형준, 김낙주, 유근우, "중금속함유 폐수의 침전-응집-막여과에 의한 처리," 대한환경공학회지, **17**(8), 775~785(1995).
16. 한기훈, 이태진, 이호상, 김장규, "매립지 침출수의 Aluminum 전해응집특성에 관한 연구," 대한환경공학회지, **21**(2), 373~380(1999).
17. 이수구, 박상헌, 손철목, "돈사폐기물의 탈수 및 응집처리에 관한 연구," 한국폐기물학회지, **9**(1), 73~81(1992).
18. 박균영, 이규철, 김진권, "염화알미늄수화물의 부분열분해에 의한 PAC(Polyaluminum chloride) 응집제 제조," 화학공학, **32**(5), 742~746(1994).
19. 강창덕, 심상준, 곽명화, 조영상, 김우석, "산화철 공침에 의한 구리 이온 제거," 화학공학의 이론과 응용, **5**(1), 1265~1268(1999).