

알루미늄 제련 폐기물(Red Mud)의 활성화 방법에 따른 수용상의 인산염 제거특성

김이태[†] · 배우근^{*} · 김우정

한국건설기술연구원 건설환경연구부

^{*}한양대학교건설환경시스템공학과

Phosphate Removal from Aqueous Solution according to Activation Methods of Red Mud

I-Tae Kim[†] · Woo-keun Bae^{*} · Woo-jeong Kim

Korea Institute of Construction Technology

^{*}Hanyang University Department of Civil & Environmental Systems Engineering

(Received 11 June 2004, Accepted 15 July 2004)

Abstract : Red mud is formed as a waste during bauxite refining known as Bayer's process. Its main constituents are iron, aluminium, sodium and silica. The disposal of large quantities of wasted red mud causes a serious ecological problem. In this study, the red mud wasted from the bauxite refinery was studied for phosphate removal from aqueous solution according to activation methods. The influence of heat treatment, and neutralization with sea water and acid treatment level for the optimum conditions for phosphate removal have been determined. Heat treatment combined with acid treatment is most suitable for the removal of phosphate from aqueous solution. The optimal condition was activated with 1N HCl solution after heating in 600°C during 4 hours. Acid and heat treatment causes sodalite compounds which hinder the phosphate adsorption to leach out. The adsorption data obtained followed a first-order rate expression and fitted well with the Freundlich Isotherm well.

keywords : Activation of red mud, Phosphate, Removal

1. 서론

알루미늄 제련 폐기물인 적니(red mud)는 보오크사이트 원광석을 베이어공법(Bayer process)을 이용하여 수산화알루미늄 및 알루미늄을 생산하는 과정에서 발생하는 일종의 산업폐기물이다. 국내에는 1993년 대불공단의 한국화학주식회사에서 수산화알루미늄을 생산하면서 2003년 현재 연간 10만톤 이상의 적니가 발생되고 있다. 적니는 pH가 약 12로 매우 높은 알칼리성 무기질 폐기물로서 주변생태계에 악영향을 끼쳐 이의 처리 처분에 많은 문제점을 안고 있다. 현재 발생하는 적니의 주요 처리방법은 해양투기이다. 그러나 해양투기 처리방법은 런던협약에 의해 어려움을 겪고 있고, 국내에서도 2001년 이후 적매립이 어려운 실정으로 이에 따른 적니의 처리 및 재활용 연구가 절실히 요구되고 있다.

국내의 적니 재활용 연구로는 산 처리후 액상 무기용질제로 제조하여 폐수내 중금속 이온 및 인의 제거에 대한 연구가 주류를 이루고 있다(김 등, 2002). 외국의 경우 적니에 대한 재활용 연구는 호주, 캐나다, 자마이카, 인도 등 원료인 보오크사이트 생산이 많은 국가나 이를 수입하여

수산화알루미늄을 제조하는 국가에서 활발한 연구가 이루어지고 있는데, 광산배수로 오염된 토양에서 적니 등 다양한 산업부산물을 이용한 중금속 고정화 연구(Enzo et al., 2002), 적니에 함유되어 있는 스칸듐 등의 희귀원소 회수 연구(William et al., 1982; Thakur et al., 1983), 전자재 활용 기술(Wagh et al., 1992), 도료의 안료 및 콘크리트 원료로의 활용 및 플라스틱의 필러(filler) 및 촉매로의 활용 기술(Thakur et al., 1983), 산처리 하여 흡착제로 만든 후 인산염 및 중금속 이온제거 등이 있다.(Wagh et al., 1991; J. Pradhan et al., 1998; H. S. Altundogan et al., 2002; B. Koumanova et al., 1997) 본연구의 목적은 강부식성 산업폐기물로서 환경적으로 유해한 적니를 환경친화적인 물질로 전환하여 인 흡착제로서 유효이용 하고자 하는데 있다. 이에 따라 적니의 인 흡착능력을 향상시키고자 여러 가지 조건에서 적니 활성화에 대한 연구를 수행하여 활성적니의 인산염인의 흡착 메커니즘과 특성을 확인하고 이를 통해 최적의 활성화 조건을 도출하여 폐수처리 및 호소수 등 다양한 분야에 이용, 폐자원의 재활용에 기여하는데 있다.

2. 재료 및 방법

2.1. 적니의 특성 분석

[†] To whom correspondence should be addressed.
itkim@kict.re.kr

본 실험에 사용된 적니는 목포 대불공단의 KC(주)에서 채취하였으며, 함유율은 약 20%이고 pH는 11.8인 적니 분말을 14mesh 1.18mm 체에 걸렸으며, XRF(XRF-1500, Shimadzu)를 이용한 성분분석을 하였으며 그 결과를 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical composition of red mud

Component of red mud	Composition (wt%)
SiO ₂	11.5
Al ₂ O ₃	12.2
Fe ₂ O ₃	50.1
CaO	9.1
Na ₂ O	1.4
TiO ₂	12.5
Ignition loss	3.2

2.2. 적니의 활성화

2.1.에서 준비된 분말형태의 적니를 열처리, 바닷물에 의한 중화, 산에 의한 중화 및 활성화 3가지 방법을 이용하여 활성화를 시켰다. 열처리방법은 200°C, 400°C, 600°C에서 약 1시간 정도의 간격으로 회전해주면서 4시간 동안 전기화로(furnace)에서 가열하였다. 바닷물에 의한 중화는 바닷물 400ml에 적니 20g(20g/400ml)을 24시간 동안 침적시킨 후 적니를 분리하여 105°C에서 2시간 건조 시켰으며 이때 바닷물은 pH 8.17, 탁도 0.41NTU, 색도 7 Units Pt-Co APHA로 수산물 센터에서 사용되는 정수된 바닷물을 사용 하였다. 산에 의한 중화 및 활성화 방법으로는 1N 염산용액(HCl) 400ml에 적니 20g을(20g/400ml) 넣은 후 2시간동안 동안 교반시킨 후 1L의 증류수로 4시간 세척 후 105°C에서 2시간동안 수분을 증발시켰다.

2.3. 흡착 실험

2.2.에서 준비된 적니는 다음과 같이 활성화 방법에 따라 크게 3가지로 구분하였다.

- ① 그룹 : 열처리만 한 그룹(원시료 적니, 200°C, 400°C, 600°C에서 열처리)
- ② 그룹 : ① 그룹의 4종류에 대하여 다시 바닷물로 중화하여 활성화
- ③ 그룹 : ①그룹을 1N 염산용액으로 활성화

상기의 3개 그룹 총 12종류의 시료를 가지고 실험을 진행하였으며, 활성화 방법에 따른 적니의 조성 및 결정형의

Table 2. Analysis methods

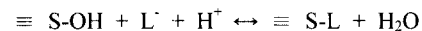
Item	Method
pH	pH meter(550A, Orion co.)
Chemical composition	X-Ray Diffraction, Dmax Rint-2200 (Rigaku co.)
	X-Ray Fluorescence, XRF-1500 (Shimadzu co.)
PO ₄ ⁻³	Ion Chromatography (500, Dionex co.)

변화, 시간, pH, 온도, 흡착제, 피흡착제 양의 변화에 따라 pH 5.8±0.2, 온도 25°C±1의 조건에서 교반속도 200rpm으로 회분식 교반실험을 수행하였다. 상기실험의 분석항목과 방법은 Table 2에 요약하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 활성화 방법에 따른 특성 변화

적니의 인산염 흡착 메커니즘은 적니 표면에서의 비금속끼리의 공유결합으로 알려져 있으며(H. Genc et al., 2003), 이 반응은 다음과 같다.



여기서 $\equiv \text{S-OH}$ 는 적니 표면의 하이드록실 그룹이며, $\equiv \text{S-L}$ 는 표면에 흡착된 피흡착물을 나타낸다. 수산화알루미늄을 생산하는 베이어공법에서 보오크사이트는 소화시에 점토나 석영이 부식성 알루미늄에 용액에 잔류하여 부식성의 불용성 광물로, 석회 등에서는 다양한 종류의 칼슘 반응물로 형성된다. 그 반응물들은 일반적으로 Fe₂O₃, (Fe,Al)OOH, TiO₂, AlOOH, CaCO₃, 3CaO · 6H₂O 등이며, 또한 sodium aluminum silicate 즉 베이어 소달라이트(bayer sodalite)라고 불리우는 3(Na₂O · Al₂O₃ · 2SiO₂ · nH₂O) · Na₂X 물질이 생성된다. 여기서 X는 CO₃, SO₄, 2OH, 2Cl 이 결합될 수 있다(D. Chvedov et al., 2001).

B. A. Manning(1996), S. Goldberg(2001) 등에 따르면, 인산염 등 적니 흡착실험에 사용된 피흡착물 들은 위의 물질 중 Al(OH)₃, FeO(OH)의 하이드록실 부분과 비결정형 옥사이드 물질인 Al, Fe 옥사이드의 inner sphere complex에 흡착된다고 알려져 있으며, G. A. Waychunas(1993) 등은 비소를 피흡착물로 사용하여, 위의 메커니즘을 EXAFS (extended X-ray absorption fine structure) 장치로 규명하였다.

즉, 적니 흡착은 위에 언급한 내용으로 살펴보면 비결정형 옥사이드 물질과 하이드록실 그룹의 분포정도에 달려 있음을 생각 할 수 있으며, 이에 대하여 산처리에 활성화 방법과 해수에 의한 활성화방법 그리고 열소성을 조합한 조건에서 적니의 인산염인 흡착 특성 및 최적의 활성화 방법을 살펴보았다.

먼저 열소성 만한 그룹에서 단지 온도가열에 의한 변화를 살펴보면, Fe₂O₃는 원시료 적니에 비해 1.4 ~ 3.5% 정도 감소하고, TiO₂나 SiO₂는 거의 변화없으나 Al₂O₃는 5.8 ~ 11.4% 증가한다.

바닷물로 활성화시킨 그룹에서는 열소성 만한 그룹과 추이 변화는 거의 없으나 전체적으로 적은 양(3~4%)의 Fe₂O₃ 감소가 관찰되는데, 해수는 적니중의 하이드록실 화합물이 해수중의 마그네슘과 반응하여 마그네슘 하이드록사이드를 또, 해수중의 칼슘이온은 적니중의 알카리도와 반응하여 아라고나이트(CaCO₃)를 형성한다고 알려져 있는데, 가열하면 445°C에서는 칼사이트로 전이를 시작하며, 470°C에서는 모

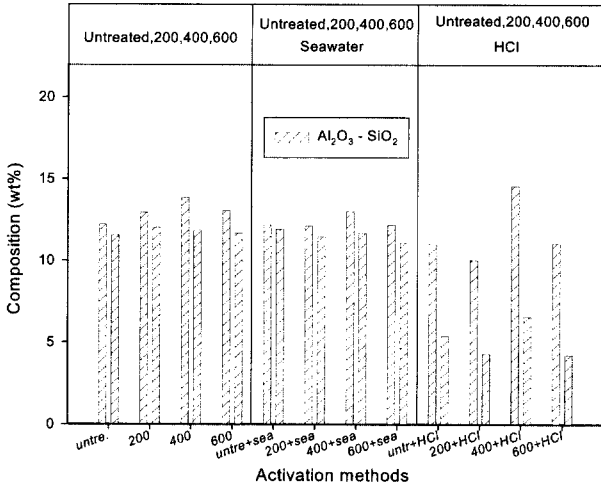


Fig. 1. Composition change of Al₂O₃, SiO₂ in activated red mud.

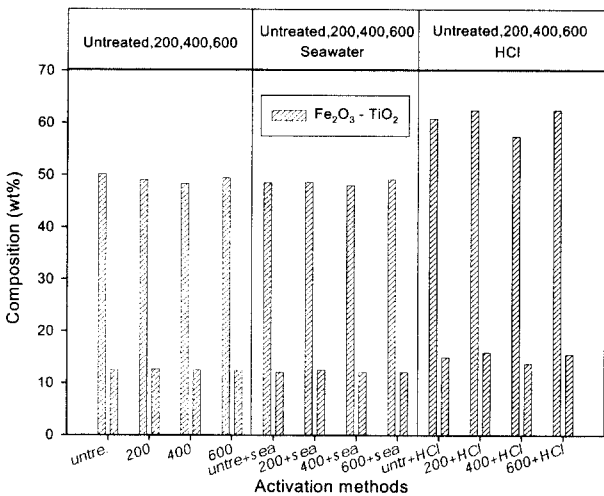


Fig. 2. Composition change of Fe, Ti elements in activated red mud.

두 칼사이트로 더욱 견고한 광물로 변하게 된다. 즉 해수에 의한 처리는 반응기작과 성분의 변화로 판단해 볼 때, 적니의 흡착능을 활성화시키는 방법이라기 보다는 단순히 적니의 pH를 중화(pH 8.2 ± 0.2)하는 것으로 판단된다.

1N 염산용액으로 활성화시킨 그룹에서는 Fe₂O₃와 TiO₂는 급격히 성분비(wt%, 10~15%)가 상승되나 상대적으로 원시료 적니, 200°C에서의 Al₂O₃와 모든 조건에서의 SiO₂는 5 ~ 8%이 감소되는 것을 알 수 있다. 이는 산처리에 의해서 적니 표면에 상당부분 분포되어 있는 베이어 소달라이트 성분이 산에 의해 분해되면서 표면에 분포된 Al₂O₃와 SiO₂의 성분비가 감소되고, 상대적으로 Fe₂O₃와 TiO₂의 성분비가 상승된 것으로 추론해 볼 수 있는데, 이런 소달라이트 화합물들은 인산염인 흡착반응에서 방해가 되는 것으로 알려져 있으며(L. Y. Li, 1993), 위의 결과만을 토대로 추론하면, 표면에 많이 분포된 소달라이트 분해가, (Al₂O₃, SiO₂ 등의 감소된 폭이), 마당물로 중화한 그룹 보다는 산처리한 그룹에서 훨씬 높은 것과 인 흡착 메카니즘에서 언급한 것처럼 Al(OH)₃, FeO(OH)나 비결정형 물질

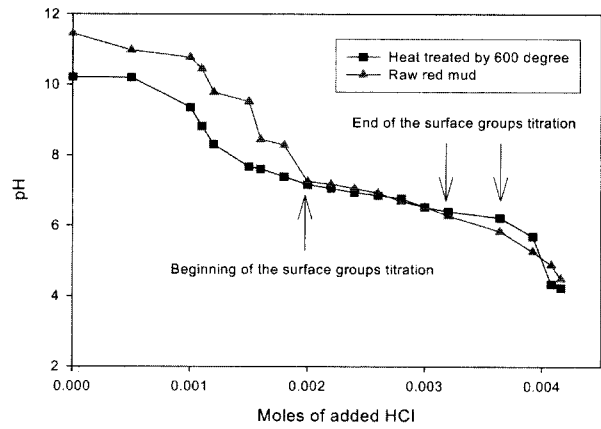


Fig. 3. Titration curves of red mud.

인 Al, Fe 산화물의 분포에 결정되는데, 최종 성분비가 철산화물(iron oxide)은 60% 이상 분포하게 되며, HCl에 의해 소실된 알루미늄 옥사이드를 감안해도 전체적인 비결정형 옥사이드 물질의 분포는 70% 이상으로 염산으로 활성화시킨 그룹에서 해수 및 열처리한 그룹보다 높은 제거율을 얻을 것으로 생각되어진다.

이러한 추론은 50 Å에서 1 μm까지 뺀 극히 작은 적니 입자의 얇은 표면의 층을 분석하는 어려움으로 인해 정확한 화학적 작용의 규명에 대한 많은 불확실성이 있기 때문이며, 산화물(oxide)의 전처리에 따른 성분의 변화를 통해 적니 입자 표면의 화학적 특성을 추론한 것이다.

한편, D. Chvedov 등(2001)은 산/염기 적정에 따른 pH 변화를 통해 적니 표면의 하이드록실 그룹의 특성을 추론하였는데, 본 연구에서도 같은 방법으로 실험을 수행하였다.

즉, 적니 수용액에 염산용액으로 적정을 하면, 처음에는 수용액상의 free OH⁻의 이온을 소비하게 된다. 그 반응이 끝날 무렵에는 적니 표면의 이온화된 하이드록실 (≡ S-O⁻) 그룹에 ≡ S - O⁻ + H⁺ ↔ ≡ S - OH의 반응으로 H⁺들이 결합을 하여 급격한 pH 변화가 없는 것을 Fig. 3에서 확인할 수 있으며, 적정이 더욱 이루어질수록 ≡ S - O⁻와 ≡ S - OH는 ≡ S - OH와 ≡ S - OH⁺의 형태로까지 변화되며, 표면에서의 반응은 종료가 되고, 더 첨가된 염산용액의 H⁺은 수중에 축적되어 pH의 감소를 나타낸 것을 보여주고 있다.

또한 원시료 보다 열처리 시료에서 적정 시작점이 낮고 종말점에서의 염산투입량이 많은 것은 free OH⁻의 이온이 적고, H⁺ 이온의 하이드록실 그룹과의 결합이 원시료보다 상대적으로 많이 이루어진 것인데, 이는 염산에 의한 활성화방법에 의해 하이드록실 그룹이 적니 표면에 많이 분포되었다는 것을 의미하며, 이는 인산염 제거기작을 감안할 때, 앞에서 언급한 옥사이드 화합물의 염산에 의한 활성화 변화에 따른 적니 입자 표면의 화학적 성분비의 변화와 함께, 염산에 의한 전처리 그룹에서 가장 좋은 제거효율을 보일 것으로 판단할 수 있는 근거라고 할 수 있다.

또, 대략의 정량적인 값을 위해 XRD 분석결과, 2 theta

값의 증가에 따른 각 그래프의 성분을 대조해 본 결과 XRF의 결과와 흡사한 경향을 보여주고 있다(Fig. 4 ~ 6).

적니에 의한 인산염 흡착 평형시간을 알아보기 위한 실험은 KH_2PO_4 로(Showa, 1st grade) 인공폐수(pH 5.8 ± 0.2) $\text{PO}_4^{3-} = 40\text{ppm}$ 를 제조하여 200ml의 인산염 용존 용액에 적니 2g을 투입하고, 역시 200rpm의 왕복운동을 하는 항온

3.2. 활성화 조건과 시간에 따른 인산염 처리특성

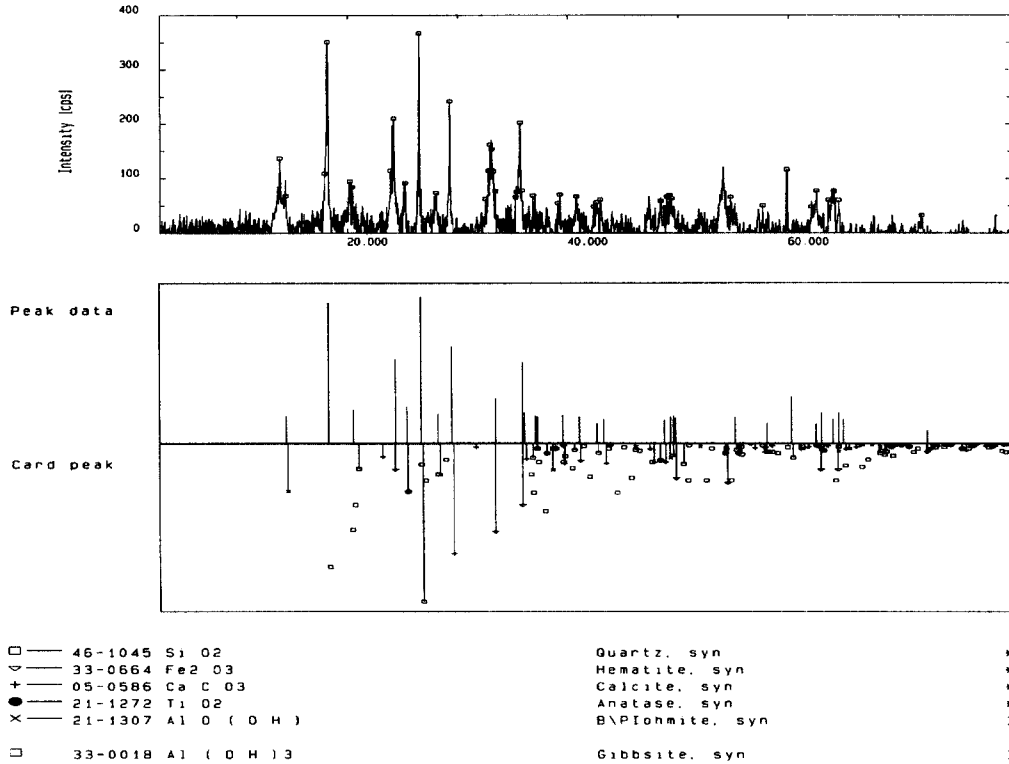


Fig. 4. The result of XRD analysis for raw red mud.

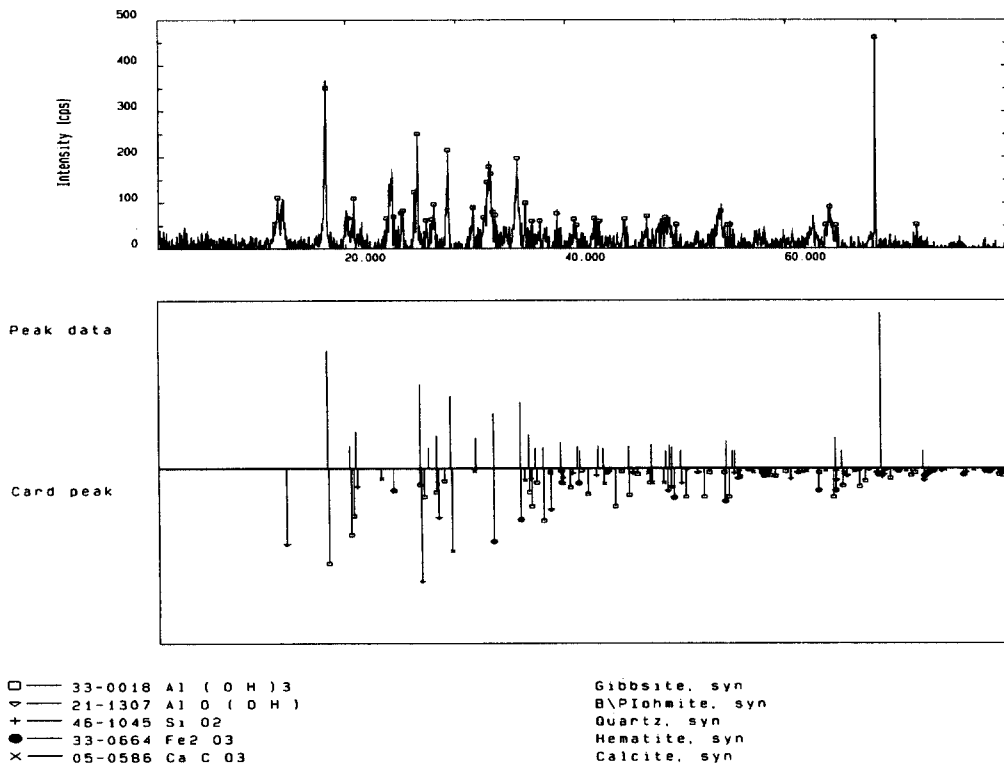


Fig. 5. The result of XRD analysis for treated red mud by seawater (not heated).

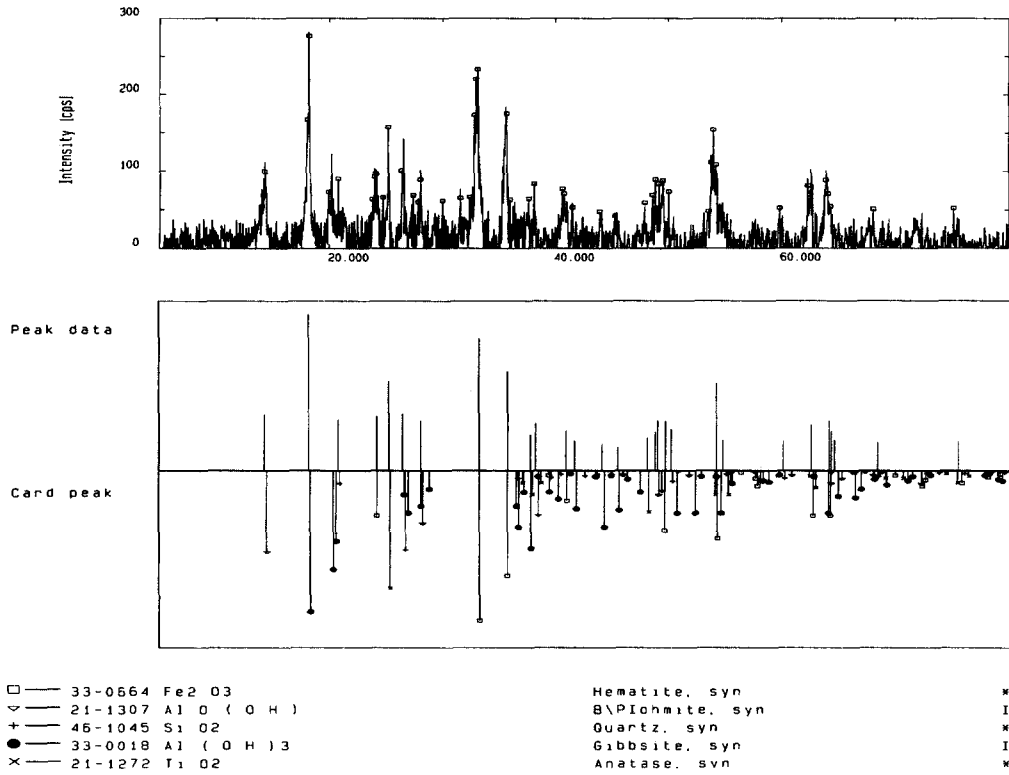


Fig. 6. The result of XRD analysis for treated red mud by HCl (not heated).

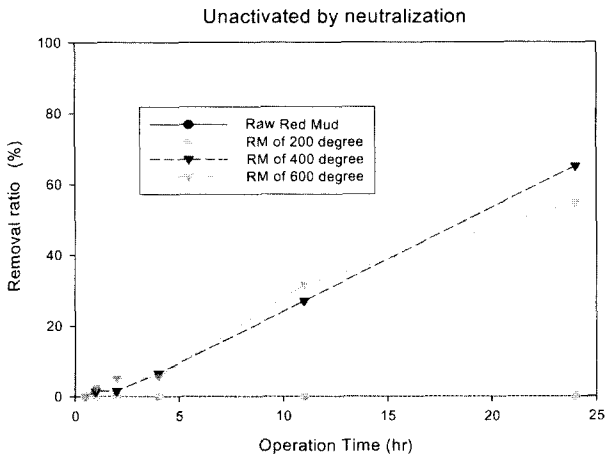


Fig. 7. Phosphate removal ratio with heat treated red muds.

진탕기에서 회분식 방법으로 25°C±1에서 24시간 동안 실시하였다.

열소성만 한 그룹에서 단지 온도가열에 의한 변화를 살펴보면 원시료 적니와 200°C에서는 인산인염 제거기작은 거의 없는 것으로 나타났으며, 400°C, 600°C로 열소성한 경우에는 5시간 이상에서 다소 제거되는 것을 알 수 있으나 전체적으로는 약 60% 정도의 저조한 제거율을 보였고, 해수로 활성화한 그룹 중에서는 원시료와 200°C 열처리 부분에서 약 30%의 제거율을 보였다. 이는 pH 11.8의 원시료의 높은 pH에 비하여 해수에 의해 중화함으로써 pH가 8.5 수준으로 낮아져 pH 감소에 따라 다소 증가한 것으로 볼 수 있다.

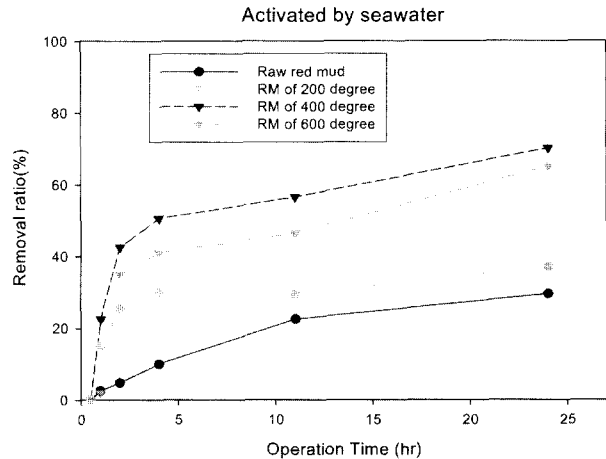


Fig. 8. Phosphate removal ratio with heat treated and seawater neutralized red muds.

이는 Jytsnamayee(1998) 등에 의해 적니의 pH가 인 흡착에 미치는 영향의 연구에서 높은 pH에서는 수중의 free OH⁻가 인산염과 positive charge의 적니표면과 경쟁관계에 있으므로, pH 감소할수록 즉 free OH⁻가 소비될수록 인 흡착능력이 커진다는 연구결과로서(T. Reynolds et al., 1992) 설명되어진다.

400°C, 600°C에서 열처리 후 해수로 중화한 적니의 경우 65%의 효율을 보였으며 흡착반응 시간은 약 20시간 정도에서 거의 원료가 되었으며 전체적으로 해수에 의한 중화로 흡착 활성화 및 반응시간의 단축은 확인할 수 있었다. 그러나, 400°C와 600°C에서의 최종 제거율만을 놓고 보았

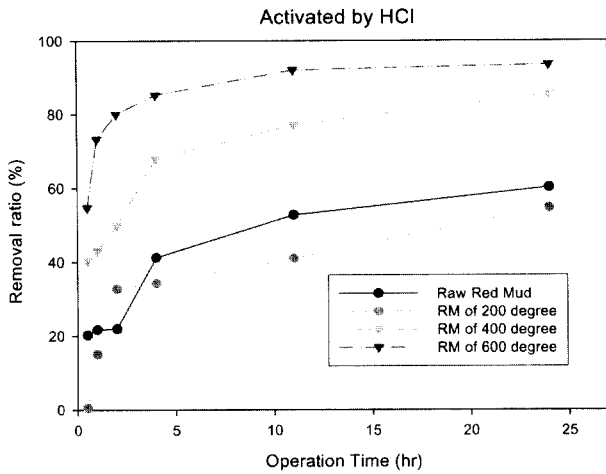


Fig. 9. Phosphate removal ratio with heat treated and acid treated red muds.

을 때, 해수에 의해 활성화시킨 그룹은 중화하지 않은 그룹과 거의 차이가 없음을 알 수 있다.

Fig. 9의 HCl로 중화한 그룹은 앞 절에서 예상한 대로 400°C, 600°C에서 85.5, 98%의 제거율을 얻었다. 또, 다른 그룹에서는 거의 제거가 되지 않던 원시료 적니 및 200°C에서도 55% 이상의 제거율 보여 적니 활성화는 400°C 이상의 열소성후 산처리 방법이 가장 탁월하다는 것을 입증하였고, 흡착평형 시간도 약 600°C 부분에서 10시간 정도에서 완료가 되는 것으로 보여진다.

3.3. 산처리시의 염산용액의 농도에 따른 영향

3.2에서 선정된 염산에 의한 활성화 방법에서 염산용액의 농도에 따른 활성화 평가를 위해 역시 KH_2PO_4 로 (Showa, 1st grade) 인공폐수(pH 5.8 ± 0.2) $\text{PO}_4^{3-} = 10\text{ppm}$ 를 제조하여 200ml의 인산염 용존 용액에 적니 2g을 투입하고, 역시 200rpm의 왕복운동을 하는 항온 진탕기에서 회분식 방법으로 $25^\circ\text{C} \pm 1$ 에서 24시간 동안 실시하였으며, 가장 효율이 좋았던 400°C, 600°C의 열소성 적니를 0.1N, 0.5N, 1N,

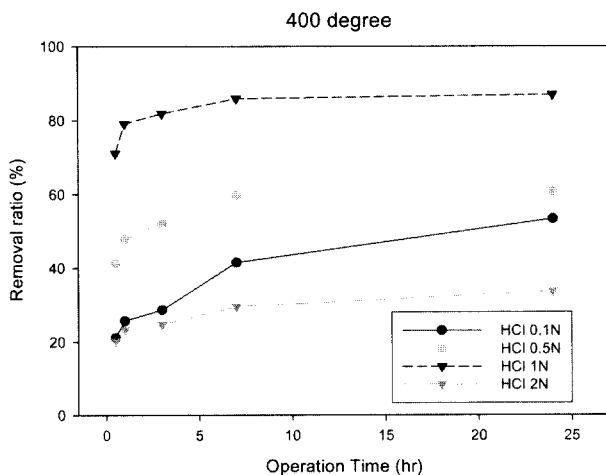


Fig. 10. Variations of phosphate removal ratio according to acidified level of red mud with HCl.

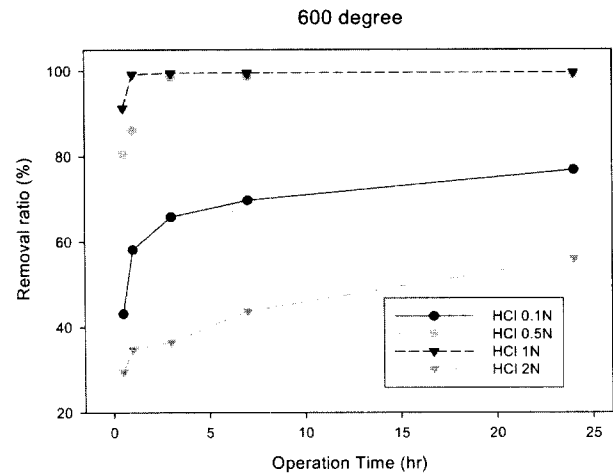


Fig. 11. Variations of phosphate removal ratio according to acidified level of red mud with HCl.

2N의 염산용액을 위 조건과 동일하게 제조하여 사용하였다.

400°C 소성 적니에서는 0.1N 및 2N에서는 30~50%정도의 제거율을 보였는데, 이는 적니 표면의 소달라이트 화합물을 제거하지 못했거나 염산의 과도한 투입에 따라 Al, Fe 산화물(oxide) inner sphere complex에서 흡착 관여를 한 것으로 판단이 된다. 특히 염산 2N는 30%의 가장 저조한 제거를 보여 활성화시 과도한 농도 투입방지가 중요함을 알 수 있다. 0.5N 및 1N에서 61%, 87%의 제거율을 보였다.

600°C 소성 적니 실험에서는(Fig. 11) 역시 2N에서 가장 낮은 효율을 보였으며, 1N과 0.5N에서 99.6%, 99%의 거의 모든 PO_4^{3-} 가 제거 되는 것을 알 수 있다. 그러나 평형시간을 볼 때 1N에서는 약 1시간, 0.5N에서는 3시간 정도가 필요한 것으로 보여 600°C의 소성온도와 1N의 염산으로 활성화하는 것이 최적의 조건임을 알 수 있었다.

3.4. 등온 흡착식에 의한 흡착능 평가

3.3에서 선정된 최적의 활성화 방법으로 제조한 적니를 이용하여 흡착제의 농도를 달리한 회분식 실험을 통해 흡착제로서의 적니의 이용 타당성을 등온 흡착식으로 평가하였다. KH_2PO_4 로(Showa, 1st grade) 인공폐수(pH 5.8 ± 0.2) $\text{PO}_4^{3-} = 10\text{ppm}$ 를 제조하여 200ml의 인산염 용존 용액에 적니 0.5 ~ 2.5g을 투입하고, 역시 200rpm의 왕복운동을 하는 항온 진탕기에서 회분식 방법으로 $25^\circ\text{C} \pm 1$ 에서 24시간 동안 실시하였다. 먼저 Fig. 12는 흡착제의 주입량을 달리한 최종 흡착결과이며, 예상처럼 흡착제의 농도에 따라 제거율은 상승되었다. 이 결과를 토대로 Freundlich 등온 흡착식으로 해석을 해본 결과는 Fig. 13과 같은데, $1/n : 0.17$, $\log K : -2.81$,으로 나타났다. $1/n$ 의 값이 >2 의 때는 사용 흡착제량을 증가하여도 피흡착 물질농도가 저하함에 따라 흡착량이 크게 저하되기 때문에 비효율적이나, $1/n$ 의 값이 0.1~0.5의 경우에는 저농도에서 많이 흡착되어 매우 효과적이라고 알려져 있다(T. Reynolds et al., 1992).

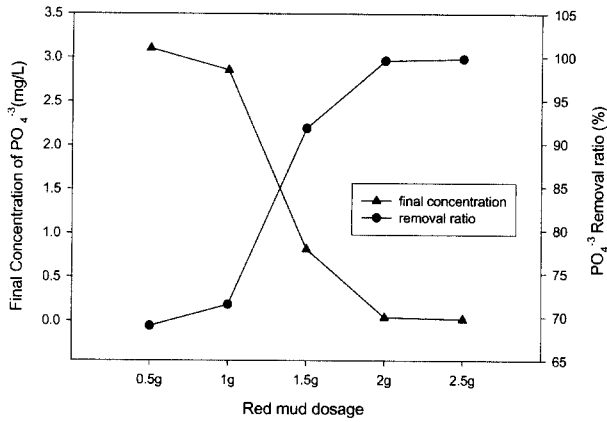


Fig. 12. Adsorption of phosphate as a function activated red mud dosage.

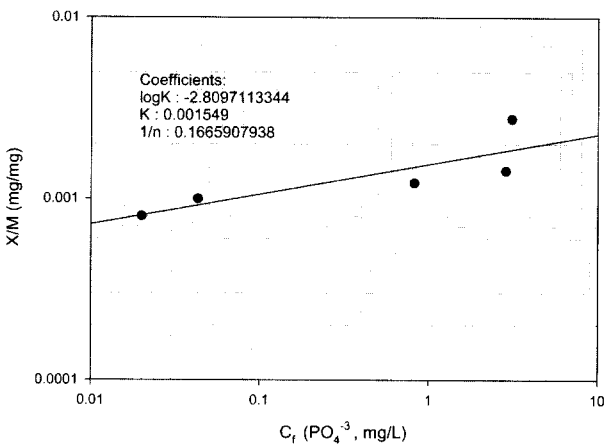


Fig. 13. Freundlich Isotherm constants of red mud.

4. 결론

열소성 만환 그룹에서 단지 온도가열에 의한 변화를 살펴보면 raw red mud와 200°C에서는 인산인염 제거가작은 거의 없는 것으로 나타났으며 바닷물로 활성화한 그룹에서는 역시 열처리 하지 않은 원시료 적니와 200°C가 종말점 이후에서 30%의 낮은 제거율을 보였고, 400°C, 600°C에서 약 65%의 효율을 보였다.

HCl로 중화한 그룹은 400, 600°C에서 86, 98%의 제거율을 얻었으며, HCl 1N과 0.5N에서 99.6%, 99%의 거의 모든 PO₃⁴⁻가 제거되었으며, red mud의 최적 활성화조건으로 600°C의 열소성후 HCl 1N을 선정하였고, 이 조건의 Freundlich Isotherm 결과 1/n : 0.17 logK : -2.81으로 나타나 HCl에 의해 활성화된 적니는 효과적인 흡착제라고 판단 할 수 있었다. 즉, HCl에 의한 산처리 및 400°C 이상의 열소성으로 활성화를 시켰을 경우 적니 표면의 흡착을 방해하는 소달라이트 화합물들이 분해 되었으며, 그에 따른 철, 산화알루미늄의 성분비의 증가로 인해 인산인염의 흡착능이 향상되었다. 본 실험은 분말 형태의 원시료 적니의 인산인염 흡착 메커니즘과 특성 및 최적의 활성화 방법 도출하였으나, 향후 각종 폐수처리 및 호수등의 다양한 분야에 이용할 수 있도록 펠렛(pellet) 형 흡착제 제조 및 경제

성의 평가에 대한 연구를 향후 수행하여야 할 것으로 생각 된다.

참고문헌

김정식, 이재록, 한상원의 적니를 이용한 무기용집제의 제조연구, *J. of KSEE ol.*, **22**(11), pp. 2085-2095 (2000).
 B. A. Manning, S. Boldberg, *Clays Clay Miner*, **44**, p. 609 (1996).
 B. Koumanova, M. Drame, M. Poangelova Phosphate removal from aqueous solutions using red mud wasted in bauxite bayer's process Resources, *Conservation and Recycling*, **19**, pp. 11-20 (1997).
 D. Chvedov, S. Ostap and T.Le, Surface properties of red mud particles from potentiometric titration, *Colloids and surfaces* **182**, pp. 131-141 (2001).
 Enzo Lombardia, Fang-lie Zhaoa, Gangya Zhanga, Bo Suna, Walter Fitza, Hao Zhangb, Steve P. McGratha, In situ fixation of metals in soils using bauxite residue: *chemical assessment*, *Environmental Pollution*, **118**, pp. 435-443 (2002).
 G. A. Waychunas, B. A. Rea, C. C. Fuller, J. A. Davis, *Geochim. Cosmochim. Acta* **57**, p. 2551 (1993).
 H. Genc, J. C. Tjell, D. McConchie, and O. Schuiling, Adsorption of arsenate from water using neutralized red mud, *J. of Colloid and Interface Sci.*, **264**, pp. 327-334 (2003).
 H. S. Altundogan, S. Altundogan, F.tumen and M.Bildik, Arsenic adsorption from aqueous solutions by activated red mud, *Waste Management*, **22**, pp. 357-363 (2002).
 J. Prdhan, J. Das, S. Das and R. S. Thakur, Adsorption of phosphate from aqueous solution using activated red mud, *J. of Colloid and Interface Sci.*, **204**, pp. 169-172 (1998).
 Jyotsnamayee Pradhan, Jasobanta Das, Surendranath Das, and Ravindra Singh Thakur, Adsorption of Phosphate from Aqueous Solution Using Activated Red Mud, *J. of Colloid and Interface Sci.*, **204**, pp. 169-172 (1998).
 L. Y. Li The Influence of the Chemical, Mineralogical and Environmental Properties on Settling in Red Muds Derived from Bauxites from Several Different Geographic Location, Queen's University, Kingston, Canada (1993).
 S. Goldberg, C. T. Johnston, *J. Colloid Interface Sci.*, **234**, p. 204 (2001).
 T. Reynolds and P. Richards. Unit operations and processes in environmental engineering, 2nd edit. PWS co., Boston, pp. 350-367 (1992).
 Thakur, R. S. and Sant, B. R. Utilization of Red Mud: Part I -Analysis and Utilization as Raw Material for absorbents, Paints and Pigments, *Journal of Scientific and Industrial Reseach*, **42**, pp. 87-108 (1983).
 Wagh, A. S. and Douse, V. E., "silicate Bonded Unsintered Ceramics of Bayer Process Waste," *J. Mater. Res.*, **6**, pp. 1094-1102 (1991).
 William. F. S. and Hamdy, M. K., Induction of Biological Activity in Bauxite Residue: *High Metallurgy*, pp. 249-263 (1982).