

제오카본을 이용한 암모니아성 질소와 질산성 질소 동시 제거에 관한 기초 연구

김서아 · 홍지숙 · 서정권[†] · 강 호* · 이정민

한국화학연구원 응용화학연구부 · *충남대학교 환경공학과

(2004년 9월 24일 접수, 2005년 1월 6일 채택)

A Basic Study on the Simultaneous Removal of Ammonium and Nitrate using Zeocarbon

Seo-A Kim · Ji-Sook Hong · Jeong-Kwon Suh[†] · Ho Kang* · Jung-Min Lee

Applied Chemistry and Engineering Division, Korea Research Institute of Chemical Technology

*Department of Environmental Engineering, Chungnam National University

ABSTRACT : The objective of this study is to investigate the possibility for water treatment, and to evaluate the efficiency of simultaneous removal of ammonium and nitrate by the surface modified zeocarbon. The surface modification was done by acid treatment using HCl. As a result of modification, strength of the modified zeocarbon was enhanced about 62% higher than that of in original one. This indicates that the modified zeocarbon was suitable for the application of water treatment. In the removal experiments of ammonium and nitrate, the removal efficiency showed about two times higher in the modified zeocarbon and the dependences of pH and temperature were found to be minimized. This indicates that the modified zeocarbon was effective for simultaneous removal of ammonium and nitrate from aqueous solution. Consequently, our results could be used as basic data to design of one-stage ammonium/nitrate simultaneous removal system.

Key Words : Zeocarbon, Ammonium, Nitrate

요약 : 본 연구에서는 기상용 제오카본을 수처리에 적합하도록 염산으로 표면 개질 하였으며, 개질된 제오카본을 이용하여 단일 공정을 통한 암모니아성 질소와 질산성 질소 동시 제거 가능성을 평가하고자 하였다. 제오카본과 비교하여 표면 개질 제오카본의 강도가 62% 정도 증가하였으며, 암모니아성 질소와 질산성 질소 및 총질소 제거율이 약 2배 증가하였다. 또한 암모니아성 질소와 질산성 질소 제거 효율은 pH 및 온도 변화에 거의 영향을 받지 않았다. 따라서 수중에 존재하는 암모니아성 질소와 질산성 질소의 동시 제거가 매우 효과적으로 이루어질 수 있었으며, 본 연구 결과를 토대로 암모니아성 질소와 질산성 질소를 동시 제거할 수 있는 단일 공정 설계를 위한 기본 데이터 제시가 가능하였다.

주제어 : 제오카본, 암모니아성 질소, 질산성 질소

1. 서론

최근 질소 오염이 환경 문제와 관련되어 큰 사회적인 문제로 대두되고 있다. 특히 적절한 처리 없이 수계에 유입되는 암모니아성 질소와 질산성 질소는 부영양화를 초래하여 급격한 수질 악화를 일으킨다.^{1~3)} 암모니아성 질소는 어류의 성장 저해 및 집단 폐사의 원인 물질로 식음료수에 포함되어 있을 때 구토 및 신경 장애를 일으키고⁴⁾ 질산성 질소가 포함되어 있는 지하수를 장기적으로 음용할 경우 유아의 청색증(blue baby syndrome)⁵⁾을 유발하거나 위암을 일으킬 수 있다.⁶⁾ 따라서 적절한 제거 공정의 개발 및 적용을 통한 암모니아성 질소와 질산성 질소 제거에 대한 연구가 시급하다. 현재까지 알려져 있는 대표적인 암모니아성 질소 제거 방법으로는 전염소처리, 생물학적 처리, 탈기 등

이 있으나 다음과 같은 문제점들이 있다. 우선, 전염소처리는 염소와 반응하여 생성된 부산물인 Trihalomethanes, Haloacetic acid와 같은 유기염소화합물 처리에 큰 문제점을 안고 있으며, 이러한 물질들은 발암성이나 변이원성 염색제 이상 등 위해한 성분들로 알려져 있다.^{7,8)} 생물학적 처리는 수온이 높은 여름철에는 처리가 잘 이루어지나 저수온의 겨울철에는 처리 효율이 떨어지며, 탈기는 pH를 12 이상으로 유지시켜야 하므로 현실적으로 수처리에 어려움이 많다. 또한 질산성 질소 제거법으로는 막분리, 생물학적 탈질, 이온교환 등이 있으나, 막분리 기술의 경우 질산성 질소 제거율이 우수한 반면 높은 비용이 소요^{9,10)}되며, 생물학적 제거법은 질산성 질소가 선택적으로 제거되고 부산물 생성이 적은 장점이 있으나 공정이 복잡하고 미생물 생장에 필요한 탄소원의 지속적인 관리가 요구되는 어려움이 있다.^{9,11)}

현재 암모니아성 질소 및 질산성 질소 제거 공정은 두가지 성분에 대한 동시 제거의 어려움으로 인하여 여러 단계의 공정을 거치는 다단 처리 방법이 채택되고 있다. 따라

[†] Corresponding author
E-mail: jksuh@kriect.re.kr
Tel: 042-860-7334

Fax: 042-860-7533

서 본 연구에서는 다단 처리 방법의 문제점을 해결하기 위하여 단일 공정을 통한 암모니아성 질소와 질산성 질소의 동시 제거에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위하여 제올라이트(zeolite)와 활성탄(activated carbon)의 성능을 동시에 지닌 복합체 제오카본(zeocarbon, 상품명)을 사용하였다. 제오카본은 제올라이트와 활성탄의 혼합물을 무기결합제(binder)를 이용하여 입상화 시킨 것으로 그 안에 함유되어 있는 이온에 따라 두 종류로 나뉜다. 즉, Na^+ 이온을 함유한 제오카본은 4A type, Ca^{2+} 이온을 함유한 제오카본은 5A type으로 구분된다. 이러한 방법으로 제조된 제오카본은 우수한 유기물 흡착 및 양이온 교환 특성을 가지고 있을 뿐 아니라 강도가 높고 구형이므로 마찰에 의한 여재 손실이 거의 없다는 장점을 가지고 있다. 현재 제오카본은 저농도 암모니아, 아민류, 일산화탄소, 질소산화물을 흡착 제거하기 위한 탈취용이나 담배 필터, 신선도 유지 용도 등에 활용되고 있다. 그러나 현재 시판되고 있는 제오카본은 기상 처리 목적으로 생산된 제품이며, 수처리용에 적합하지 못한 까닭으로 제오카본을 산처리하여 표면 개질하는 방법을 선택하여 수처리용으로 적합하도록 하였다. 따라서 본 연구에서는 수처리용으로 적합하도록 산처리된 제오카본을 이용하여 수중에 존재하는 암모니아성 질소와 질산성 질소를 동시에 제거하는 가능성을 파악하고자 하였다. 또한 본 연구 결과를 토대로 암모니아성 질소 및 질산성 질소 등 총질소 동시 제거를 위한 단일 공정 설계의 기본 데이터를 제시하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1. 제오카본 처리

본 연구에서 사용된 제오카본은 J社의 시판품으로 제올라이트와 활성탄 두 성분이 한 과립 형태 안에 함께 존재하고 있다. 따라서 제올라이트에 의한 이온 교환 특성과 활성탄에 의한 흡착 등의 우수한 효율을 기대할 수 있었다. 그러나 예비 실험을 실시해 본 결과, 현재 시판되고 있는 제오카본은 기상용으로 수중에 장시간 존재하게 되면 강도가 약해지고 초기의 구형 형태 유지가 곤란하게 되어 회수 및 재생에 어려움을 초래하였다. 또한 제오카본 구성 성분들의 용출로 인하여 탁도를 유발하고 처리수의 pH를 상승시키는 등 실제 공정에 적용하는데 여러 가지 문제점을 야기하였다. 더욱이 질산성 질소에 대한 제거는 거의 이루어지지 않아 본 연구 목적인 암모니아성 질소 및 질산성 질소의 동시 제거가 불가능하였다. 이러한 단점을 해결하고자 제오카본의 표면 개질 방법을 고안하여 적용하였다. 그 방법으로 산에 의한 표면 산화로 표면에 작용기를 생성시키는 방법을 택하였다. Fig. 1은 산처리에 의한 표면 개질 방법을 도시한 것으로 구체적으로는 다음과 같다.

제오카본은 4A type과 5A type 두 종류를 사용하였다. 각각의 제오카본을 30~35 mesh 크기로 체거름한 후, 제오카본과 1 N HCl 수용액의 중량비를 1:1.5로 혼합하여 상

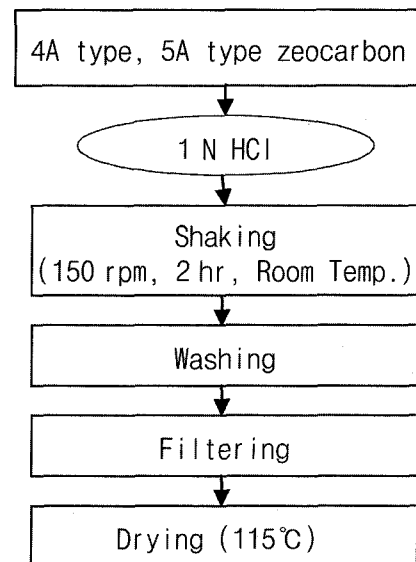


Fig. 1. Acid treatment procedure of zeocarbon.

온에서 2시간 동안 충분히 표면을 산화하였다. 산처리 후 세척액 내에 Cl^- 이온이 존재하지 않을 때까지 충분히 수세하였다. 수세한 시료는 115°C에서 하루 동안 건조한 후 수증기 및 기타 기체의 흡착을 방지하기 위하여 desiccator에 보관하여 사용하였다.

2.2. 회분 실험

회분 실험의 대상 시료인 산처리한 4A type과 5A type 제오카본의 강도를 처리전 제오카본과 비교하여 수처리 적용에 가능한 강도를 유지하는지를 조사하였다. 또한 회분 실험을 통하여 암모니아성 질소와 질산성 질소 제거 가능성을 평가하고 본 연구에 적합한 제오카본 종류를 결정하였다. 회분 실험에서는 0.003 M NH_4NO_3 인공모액을 제조하여 사용하였으며, 인공모액량을 0.2 L로 일정하게 하고 제오카본 첨가량을 변화시키면서 잔류 암모늄 이온 농도와 질산성 질소 농도를 분석하여 적정 투입량을 구하였다. 또한 0.1 N H_2SO_4 용액과 0.1 N NaOH 용액을 이용하여 인공모액의 pH를 조절하고 회분 실험하여 pH 변화에 대한 안정성을 조사하였다. 회분 실험은 15°C, 25°C, 35°C, 45°C 온도 조건하에서 각각 실시되었다. 각기 다른 조건에서 얻어진 시료는 전처리 과정으로 흡착제 제거를 위하여 0.45 μm membrane filter로 여과한 후 여과액에 잔존하는 암모늄 이온과 질산성 질소 잔류 농도를 분석하여 파악하고 평형 도달 시간을 계산하였다. 이러한 분석 결과를 토대로 제오카본의 단위 질량당 암모늄 이온과 질산성 질소 제거량을 계산하였다.

2.3. 고정층 연속 실험

고정층 연속 실험은 하루 동안 충분히 탈기된 산처리 제오카본을 충전한 내용적 115 cm^3 pyrex column에서 이루어 졌다. 회분 실험과 마찬가지로 0.003 M NH_4NO_3 농도의

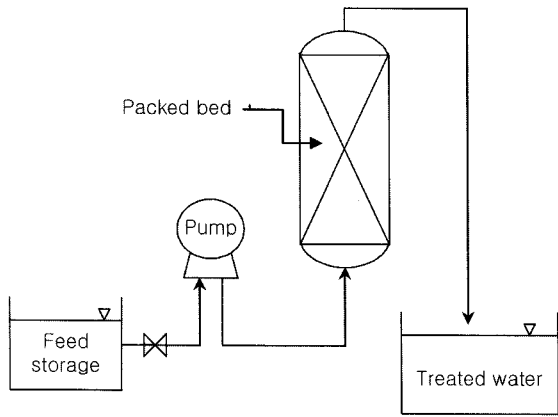


Fig. 2. Schematic description of fixed bed.

인공모액을 분당 35 mL의 유량으로 상향류 공급하였다. 펌프는 미국 Fluid Metering社의 FMI lab pump Model QD를 사용하였으며, Fig. 2에 실험 장치를 간단히 나타내었다. 컬럼에서 유출된 용액중 암모늄 이온 농도와 질산성 질소 농도를 정량 분석하여 유출량에 따른 암모늄 이온 농도와 질산성 질소 농도 분포를 나타내는 파과 곡선(breakthrough curve)을 구하였다.

2.4. 분석 방법

제오카본을 수처리에 사용하기 위해서는 강도 유지가 이루어져야 하므로, FS-1010 Digital indicator를 이용하여 산처리 전·후의 강도 변화를 측정하였다.

암모늄 이온의 농도는 Orion사의 Ammonia electrode 720A를 이용하여 매 분석 전마다 표준 용액으로 보정한 후 측정하였으며, 분석 결과의 정확성 확인을 위하여 Nessler법으로 UV 498 nm에서 측정하여 오차 범위를 확인하였다.

질산성 질소 농도는 Hach사의 DR-2000 분석기를 사용하여 분석하였고, 암모늄 이온과 마찬가지로 분석의 정확성 및 재현성을 위하여 Standard method(1998) 4500-NO₃-B Ultraviolet Spectrophotometric Screening Method를 이용하여 측정값을 비교하였다.

pH는 Orion사의 ROSS™ pH electrode로 측정하였으며, 산처리 후 잔존하는 Cl⁻ 이온은 Orbeco-Hellige(model 975-MP)를 사용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 제오카본의 강도 변화

제올라이트에 함유된 이온 종류에 따라 선택한 4A type과 5A type 제오카본의 산처리 전·후 강도를 비교해 본 결과, Fig. 3에서 보여지듯이 산처리한 제오카본이 처리전 4A type 및 5A type 제오카본보다 각각 62% 정도의 강도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 산처리에 의하여 제오카본 표면에 생성된 작용기와 제오카본 구성 성분들과의 화학적 결합에 의한 것이라 판단된다. 또한 5A

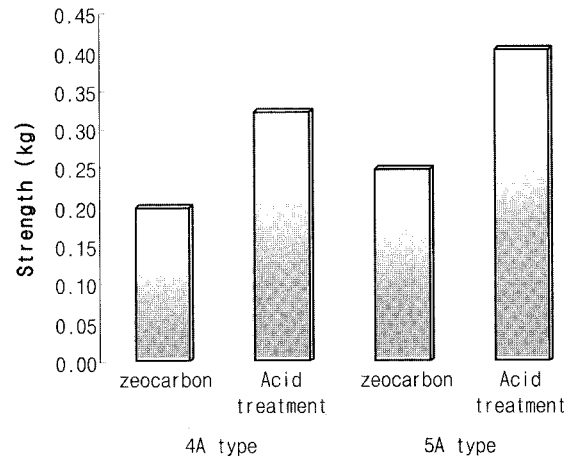


Fig. 3. Comparison of strength after acid treatment.

type 제오카본의 강도가 4A type 보다 약 25% 높은 것으로 나타났다. 이는 제오카본 안에 함유되어 있는 이온이 4A type은 Na⁺이고 5A type은 Ca²⁺라는 점을 감안하여 볼 때, 일반적으로 알려져 있듯이 Na⁺ 이온은 Ca²⁺ 이온보다 물에 대한 용해성이 크기 때문에 수중에서 반응하게 되면 4A type 제오카본의 강도가 더 약해지는 것이라 판단된다. 따라서 수처리 적용을 위하여는 5A type 제오카본이 본 연구에 유리할 것으로 판단되었다.

3.2. 회분 실험 결과

3.2.1. 산처리 제오카본의 제거 특성

제오카본을 이용한 예비 실험 결과 질산성 질소에 대한 제거가 거의 이루어지지 않았다. 이에 따라 산처리로 개질된 4A type과 5A type 제오카본에 의한 질산성 질소 제거 가능성을 조사하고 암모니아성 질소와 질산성 질소의 동시 제거능을 평가하기 위하여 회분 실험한 결과 Fig. 4와 같았다. Fig. 4에서 알 수 있듯이 4A type 제오카본은 산처리 전과 비교하여 암모니아성 질소 제거율이 43% 증가하였으며, 5A type 제오카본은 산처리 전에 비하여 암모니아성 질소 제거율이 47% 증가하였다. 또한 질산성 질소에 대하여는 4A type이 25%, 5A type이 32% 증가하였다. 이것은 제올라이트 내에 존재하는 Na⁺, Ca²⁺ 이온과 암모늄 이온의 이온 교환이나 활성탄의 높은 흡착 특성에 의한 것일 뿐 아니라, 산처리에 의하여 제오카본 표면에 생성된 작용기와^{12,13)} 암모늄 이온 및 질산성 질소의 화학적 흡착이 이루어졌기 때문이라 판단된다. 이러한 결과를 바탕으로 현 농도에서 암모늄 이온의 90% 제거와 75%의 질산성 질소를 제거할 수 있는 산처리한 5A type 제오카본이 강도 평가 결과를 뒷받침하여 본 연구에 가장 적합하다고 판단하였으며, 이후의 모든 실험은 산처리한 5A type 제오카본을 사용하였다.

3.2.2. 산처리 제오카본 단위 질량당 제거량

3.2.1의 결과를 바탕으로 선택한 산처리된 5A type 제오

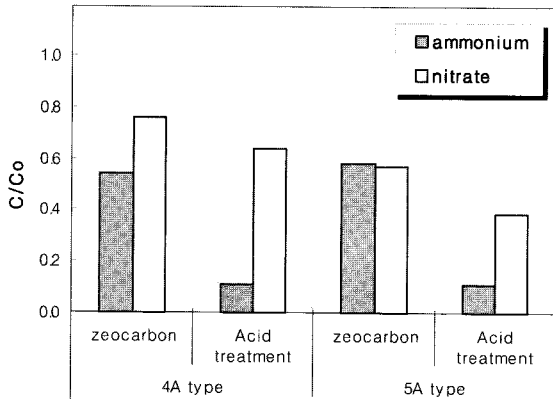


Fig. 4. Removal efficiency of ammonium and nitrate by 4A type and 5A type zeocarbon. (Co : 0.003 M NH₄NO₃, 50 g zeocarbon/0.2 L, reaction time : 2 hr, room temp.)

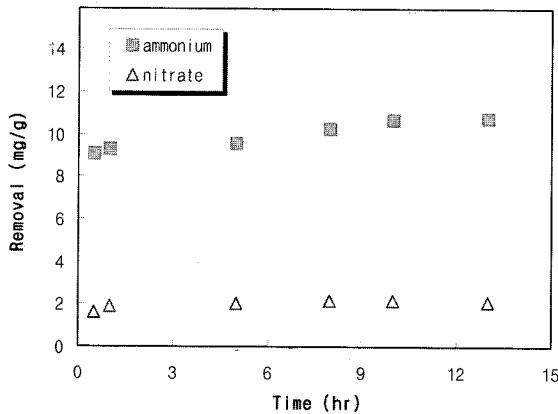


Fig. 5. Removal amount of ammonium and nitrate per unit weight of zeocarbon with reaction time. (Co : 0.003 M NH₄NO₃, 1 g zeocarbon/0.2 L, room temp.)

카본 투입량을 1 g으로 동일하게 하고 0.5 hr, 1 hr, 5 hr, 8 hr, 10 hr, 13 hr 동안 각각 반응시켜 시간별로 암모늄 이온 농도 및 질산성 질소 잔류 농도를 분석하였다. 분석 결과에 따라 산처리 제오카본에 대한 단위 질량당 암모늄 이온과 질산성 질소의 제거량을 계산하여 보면 Fig. 5에서 알 수 있듯이 암모늄 이온이 10 mg, 질산성 질소가 2 mg으로 나타났다.

3.2.3. 투입량에 따른 제거 효율

0.003 M NH₄NO₃ 농도에서 적정 투입량을 판단하고자 200 mL의 인공모액에 산처리 제오카본량을 1 g, 5 g, 10 g, 20 g, 50 g으로 변화하여 주입하고 암모늄 이온 및 질산성 질소의 제거 효율을 조사하였다. Fig. 6에서 보이듯이 제오카본 투입량이 20 g 이상일 경우 암모늄 이온과 질산성 질소의 제거율이 일정해지는 경향을 나타냈다. 즉, 본 연구에서는 20 g의 제오카본을 수처리에 사용했을 경우에 제오카본 단위 무게당 암모늄 이온과 질산성 질소 등 총 질소 제거 효율이 최대로 나타남을 알 수 있었다.

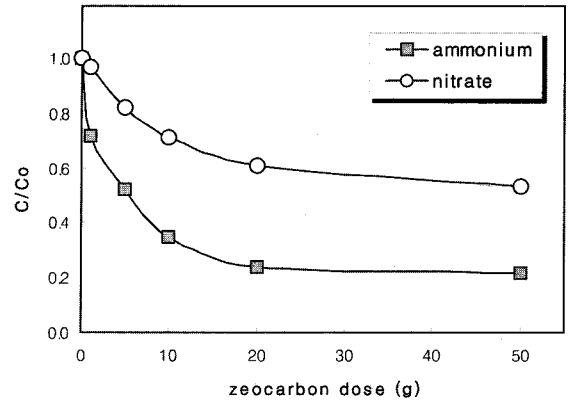
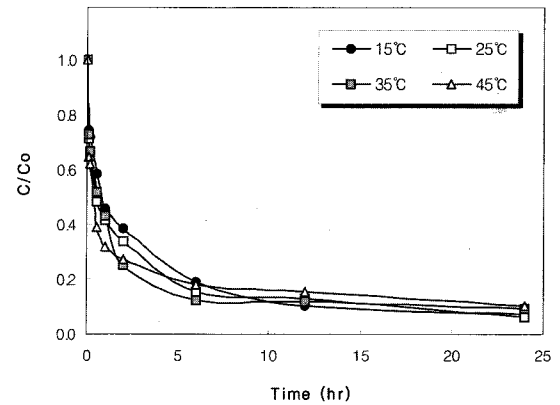


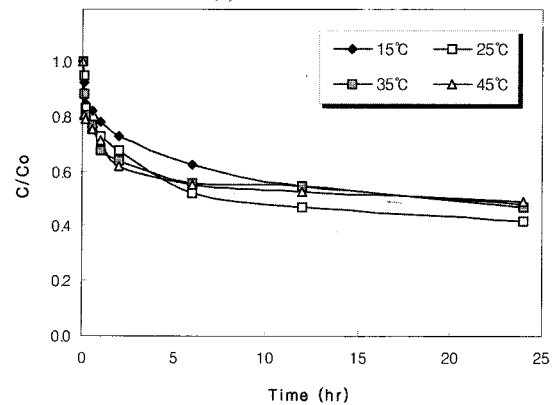
Fig. 6. Optimal dose of the acid treated zeocarbon. (Co:0.003 M NH₄NO₃, solution : 200 mL reaction time : 2 hr, room temp.)

3.2.4. 온도에 의한 영향

외부 온도에 대한 영향과 평형 도달 시간을 계산하기 위하여, 반응 온도를 15°C, 25°C, 35°C, 45°C로 각각 조절하고 회분 실험을 실시한 후 잔류 암모늄 이온 농도와 질산성 질소 농도를 조사하였다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 암모늄 이온과 질산성 질소는 각각 6시간 후 평형에 도달하는 것을 알 수 있었으며, 외부 온도 변화는 암모늄 이온과 질산성 질소 제거능에 큰 영향을 주지 않는 것으로 보인다.



(a) ammonium



(b) nitrate

Fig. 7. Removal efficiency of ammonium and nitrate according to time at different temperature. (Co : 0.003 M NH₄NO₃, 20 g zeocarbon/0.2 L)

이러한 온도에 대한 비의존성으로부터 저수온의 동절기에 도 충분한 적용 가능성을 예측할 수 있었다.

3.2.5. 유입수의 pH에 의한 영향

산처리 제오카본을 이용한 암모늄 이온과 질산성 질소 제거 공정이 pH 변화에 어느 정도 안정성이 있는가를 판단하고자 인공모액의 초기 pH를 각각 pH 2, pH 5.5, pH 7, pH 9.5로 변화하여 회분 실험하였다. 그 결과 Fig. 8과 같이 pH 2의 강산성에서 질산성 질소 제거율이 다소 높았다. 이것은 산처리에 의하여 용액내 생성되는 H⁺(proton)의 과잉으로 활성탄 표면의 음전하가 감소되고 양전하가 증가해¹⁴⁾ 양전하의 흡착제 표면은 정전기적 인력(electrostatic attraction)에 의하여 질산성 질소, 즉 음이온의 흡착이 유리해지기 때문이다. 따라서 산처리 제오카본을 이용한 본 실험 결과 역시 활성탄의 산화가 일반적으로 이온 교환 특성 향상에 의하여 흡착제의 흡착 용량을 향상시킨다는 보고¹²⁾와 일치한다고 할 수 있다. 이와 반대로 Fig. 8에서 보여지듯이 pH 2에서 암모니아성 질소 제거율은 매우 낮게 나타남을 알 수 있었다. 이것은 낮은 pH 영역에서의 풍부한 양전하로 인하여 암모늄 이온의 이온 교환 반응에 반발을 일으키기 때문이라고 판단된다. 또한 제올라이트가 가지는 암모늄 이온에 대한 선택도가 pH 6 부근에서 가장 높다¹⁵⁾고 알려져 있듯이 산처리 제오카본에 의한 암모늄 이온 제거율 또한 pH 5.5와 pH 7 영역에서 가장 우수한 것으로 나타났다.

이러한 결과를 토대로 pH에 대한 영향을 살펴보았다. 유입수 성상에 따라서 암모니아성 질소와 질산성 질소의 존재 비율은 달라지게 되지만 1:1로 존재한다고 가정할 경우, 총질소 개념으로 접근하여 보면 pH가 중성 영역일 때 현 농도에 대하여 55%의 제거율로 다른 pH 영역보다 만족할만한 제거능을 나타낸다고 할 수 있다. 또한 산처리한 제오카본은 오랜 시간 수중에서 반응한 후에도 처리수의 pH가 중성 부근으로 안정한 결과를 보여주었다. 이로써 개질전 제오카본을 수처리에 사용했을 때 처리수의 pH가 높아지는 문제점이 해결되었다고 볼 수 있다.

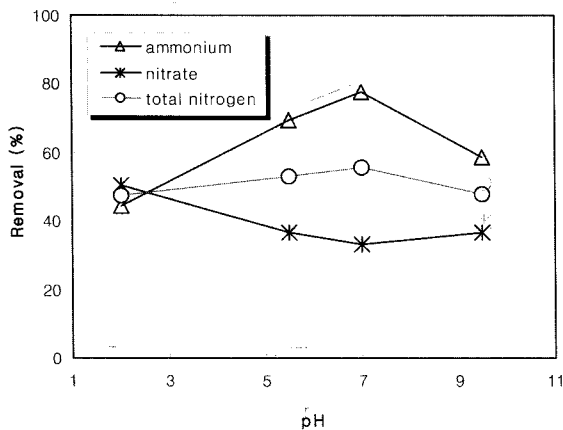


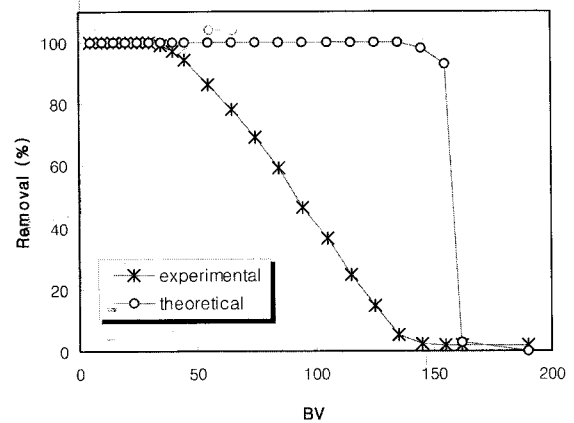
Fig. 8. Removal efficiency of ammonium and nitrate as a function of pH. (Co : 0.003 M NH₄NO₃, 20 g zeocarbon/0.2 L, reaction time : 2 hr, room temp.)

3.3. 고정층 연속 실험 결과

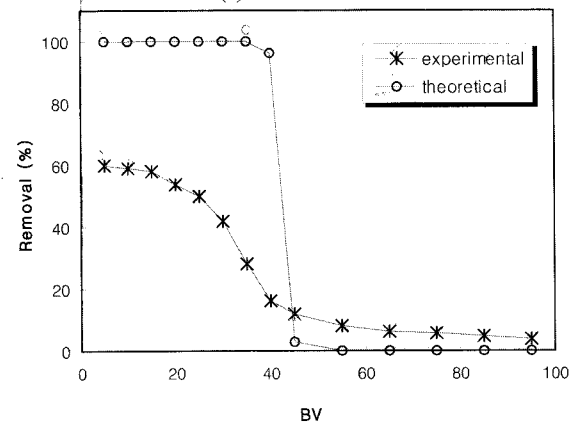
앞의 회분 실험 결과 산처리 제오카본 g당 흡착량은 암모늄 이온이 10 mg, 질산성 질소가 2 mg으로 조사되었다. 이 결과를 바탕으로 유속을 35 mL/min으로 하여 수행한 고정층 실험 파과 곡선은 Fig. 9와 같다. 파과 곡선 실험은 고정층 컬럼의 오염물 제거능을 평가하기 위해 널리 이용되는 방법으로 본 실험에서는 배출 농도가 유입 농도의 30% (C/C₀=0.3)가 되는 지점의 BV(bed volume)을 파과점으로 나타내었다.

제오카본 충전 컬럼의 암모늄 이온 처리능을 판단하는 초기 파과점(C/C₀=0.3)까지 BV를 관찰한 결과 74 BV으로 나타났다. 그러나 질산성 질소의 제거율은 암모늄 이온과 비교하여 많은 양의 제오카본을 필요로 하기 때문에 초기 C/C₀ 값이 0.4로 제거 효율이 비교적 낮게 나타났다. 이것은 암모늄 이온 교환 속도와 질소 흡착 속도의 차에 의한 결과라 판단된다. 즉, 컬럼 운영 조건상의 문제라 할 수 있으므로 이를 개선하여 컬럼 설계의 최적 조건을 확립할 경우 암모니아성 질소와 질산성 질소 동시 제거 가능성이 충분할 것이라 판단하였다.

Fig. 9에서 보는 바와 같이 이론적인 파과 곡선과 고정층 실험에 의한 파과 곡선이 일치하지 않는 것은 제오카본에



(a) ammonium



(b) nitrate

Fig. 9. The breakthrough curve of ammonium and nitrate. (Co : 0.003 M NH₄NO₃, column size : 2.7 cm I.D × 20 cm height, 100 g zeocarbon, room temp.)

대한 암모늄 이온 및 질산성 질소의 제거능에 필요한 체류 시간 보다 컬럼을 통과하는 유속이 빠르기 때문이라고 판단된다. 유속을 느리게 할 경우 인공모액과 제오카본의 충분한 접촉이 이루어져 파파되는 BV까지 최대 흡착 용량을 얻을 수 있으므로 이론적 파파 곡선과 유사한 형태가 나타날 수 있을 것이라 판단된다. 또한 암모늄 이온 파파 곡선이 완전한 기울기를 가지는 것과 달리 질산성 질소 파파 곡선이 높은 기울기를 갖는 것은 거의 모든 제오카본이 질산성 질소에 대하여 충분한 흡착이 이루어진 후이기 때문에 급격히 잔류 농도가 증가한 것이라 판단되며, 암모늄 이온과 같은 완전한 기울기는 처리 공정에서 컬럼 사용의 효율성을 저하시킬 수 있는 단점이 있는 반면 빠른 유속으로 인한 처리량의 증대를 기대할 수 있게 된다.¹⁶⁾ 또한 이 결과들은 처리 공정에서 유속 등을 조절하여 처리하고자 하는 암모늄 이온과 질산성 질소 잔류 농도 및 충전제 교환 시기를 예측할 수 있게 한다.

4. 결론

기상용 흡착제인 제오카본을 수처리에 적용하기 위하여 산에 의한 표면 개질 후, 수중에 존재하는 암모니아성 질소와 질산성 질소의 단일 공정을 통한 동시 제거를 위하여 기초 조사를 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 산처리한 제오카본은 수처리 후에 강도가 약 62% 증가하여 일정한 강도를 유지하므로 입상 형태 유지에 의한 회수 및 재생이 용이하다고 할 수 있다. 따라서 기상용 흡착제인 제오카본이 산처리에 의하여 수처리 적용에 적합하도록 개질 되었다고 판단된다.

2) 제오카본에 의한 질산성 질소 제거는 거의 이루어지지 않는 반면 산처리한 제오카본의 경우 질산성 질소에 대하여 높은 제거율을 나타냈다. 또한 암모늄 이온의 제거 효율도 47% 증가하였다. 따라서 산처리 제오카본을 이용한 암모늄 이온과 질산성 질소 동시 제거 가능성이 매우 높다고 할 수 있다.

3) 산처리 제오카본은 외부 온도를 변화하여도 암모늄 이온 및 질산성 질소 제거에 큰 영향을 미치지 않으므로 온도 변화에 대한 적응력이 충분하다고 판단되며, 저수온의 동절기에도 적용 가능할 것이라 예상된다.

4) 총질소 개념으로 접근해 보면 중성 영역의 pH가 암모니아성 질소와 질산성 질소 동시 제거를 가장 만족하며, 처리수의 pH가 중성 영역으로 안정하여 개질된 제오카본을 수처리에 이용시 처리수의 pH가 높아지는 문제점이 해결되었다고 할 수 있다.

산처리로 표면 개질한 제오카본은 수처리 적용에 적합할 뿐 아니라 암모니아성 질소와 질산성 질소 동시 제거 가능성이 충분하였으므로, 본 연구 결과를 토대로 암모니아성 질소와 질산성 질소 동시 제거를 위한 단일 공정 설계의 기본 데이터 제시가 가능하였다.

참고문헌

1. 정진영, "용융슬래그를 이용한 제올라이트 합성 및 NaA형 제올라이트를 이용한 해수중의 N, P제거," 부경대학교 박사학위 논문(2003).
2. Park, S. J., Shin, J. S., Kawasaki, J., "Ammonia removal of activated carbons treated by anodic oxidation," *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **14**(4), 418~422(2003).
3. Cooney, E. L., Booker, N. A., Shallcross, D. C., Stevens, G. W., "Ammonia removal from wastewaters using natural australian zeolite. II. Pilot-scale study using continuous packed column process," *Sep. Sci. Technol.*, **34**(14), 2741~2760(1999).
4. 이창원, 김원규, 윤태경, 노병일, 문병현, 이강춘, "혼합층 이온교환을 통한 Nitrate와 Ammonium 동시 제거," *화학공학의 이론과 응용*, **5**(1), 709~712(1999).
5. Bohdziewicz, J., Bodzek, M., Wasik, E., "The application of reverse osmosis and nanofiltration to the removal of nitrate from groundwater," *Desalination*, **121**(2), 139~147(1999).
6. Bouchard, D. C., Surampalli, R. Y., Williams, M. K., "지하수 질산염 오염 : 오염원의 잠재적 건강 효과," *J. AWWA*, **84**(9), 85~90(1992).
7. Symons, J. M., Worley, K. L., "An advanced oxidation process for DBP control," *J. AWWA*, **87**(11), 66~75(1995).
8. 이태관, "염소처리에 의한 Microcystin의 제거," *한국수질보전학회*, **18**(3), 315~321(2002).
9. Peel, J. W., Reddy, K. J., Sullivan, B. P., Bowen, J. M., "Electrocatalytic reduction of nitrate in water," *Water Res.*, **37**(10), 2512~2519(2003).
10. Reddy, K. J., Lin, J., "Nitrate removal from groundwater using catalytic reduction," *Water Res.*, **34**(3), 995~1001(2000).
11. Peyton, B. M., Moranie, M. R., Petersen, J. N., "Nitrate reduction with halomonas campisalis: Kinetics of denitrification at pH 9 and 12.5% NaCl," *Water Res.*, **35**(17), 4237~4242(2001).
12. El-Hendawy, A. A., "Influence of HNO₃ oxidation on the structure and adsorptive properties of corncob-based activated carbon," *Carbon*, **41**(4), 713~722(2003).
13. Toles, C. A., Marshall, W. E., Johns, M. M., "Surface functional group on acid-activated nutshell carbons," *Carbon*, **37**(8), 1207~1214(1999).
14. Ozturk, N., Bektas, T. E., "Nitrate removal from aqueous solution by adsorption onto various materials," *J. Hazard. Mater.*, **112**(2), 155~162(2004).
15. Jorgensen, S. E., "Recovery of ammonia from industrial waste water," *Water Res.*, **9**(12), 1187~1191(1975).
16. 홍지숙, 임현성, 서정권, 노재성, "천연 제올라이트의 이온교환 특성을 이용한 NH₄⁺-N 이온 제거에 관한 연구," *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **12**(2), 165~169(2001).