

## 염화철 처리 활성탄에 의한 질산염 제거

정경훈<sup>†</sup> · 최형일 · 정오진  
조선대학교 환경공학부

### Nitrate Removal by FeCl<sub>3</sub>-Treated Activated Carbon

Kyung Hoon Cheong<sup>†</sup>, Hyung Il Choi and Oh Jin Jung

Division of Environmental Engineering, Chosun University  
(Received 6 February 2001 ; Accepted 18 February 2001)

#### ABSTRACT

A laboratory experiment was performed to investigate the nitrate removal using FeCl<sub>3</sub>-treated activated carbon. Iron chloride(III) was coated onto the surface of activated carbon. The removal efficiency of nitrate was increased with increasing of FeCl<sub>3</sub> concentration when FeCl<sub>3</sub> was used for coating material. About 22~26 mg of Fe per unit g of activated carbon was adsorbed. The nitrate removal was not affected by the pH under the experiment range of pH, but the pH value in solution decrease to 3.5~4.0 after reaction. The removal efficiency of nitrate was increased with increasing of dosage of adsorbents. Ammonia was not detected and the Fe concentration as low as 0.22 mg/l was desorbed from the adsorbents. The adsorbents was regenerated using KCl solution, and recovery was 76.6% at 1 M of KCl. The adsorption of nitrate by FeCl<sub>3</sub>-treated activated carbon followed the Freundlich isotherm equation and the Freundlich constant, 1/n, was 0.346. These results showed that the FeCl<sub>3</sub>-treated activated carbon could serve as the basis of a useful nitrate removal.

**Keywords :** Iron chloride, Activated carbon, Adsorption, Nitrate removal, Regeneration

#### I. 서 론

우리 나라의 상수원은 대부분 지표수에 의존하고 있으나 지표수 등 상수원의 오염, 댐에서의 용수공급의 한계 및 생활향상에 따른 물 소비량의 증가로 인해 물 수요 공급의 불균형을 해소하기 위하여 지하수 사용이 증가하고 있다. 양질의 지표수원의 확보가 어려운 지역에서의 지하수는 중요한 수자원이기도 하다.

우리 나라의 총 물 이용량은 연간 약 310억 톤으로서 이 중 지하수 이용량은 26억 톤 정도가 되며 전체 물 이용량의 8.6%를 차지하고 있고, 또한 지하수 총 개발 관정수는 1996년말 현재 무려 786,921개 공에 달한다고 한다.<sup>1)</sup> 이와 같이 지하수에 대한 용수로서의 의존도는 더욱 더 증가할 것으로 예상되며, 깨끗한 지하수의 보존을 위한 노력과 함께 오염된 지하수의 정화 기술 확보는 매우 중요한 과제라 할 수 있다.

지하수 오염은 유기용매, 농약 등의 유기화학물질, 중금속 등을 비롯한 병원성 박테리아, 바이러스 또는 인간과 동물의 기생충을 함유한 배설물이나 하수 등에 의하여 발생한다. 질산성 질소는 강우에도 함유되어 있지만 주요 오염원으로는 농업계(유기, 무기 비료, 식물의 잔사), 축산계(축산 폐기물의 농지환원, 축산폐수의 지하침투), 생활하수나 공장폐수의 지하침투 등을 들 수 있으며, 특히 최근 질산성 질소는 트리클로로에틸렌이나 테트라클로로에틸렌 등의 휘발성 유기염소화합물과 같이 고농도 또는 높은 빈도로 지하수로부터 검출되고 있다.<sup>2)</sup> 우리 나라의 질산성 질소에 의한 오염을 보면 사설관정의 약 50.7%, 비상 급수시설의 약 21.2%가 먹는 물 및 먹는 샘물의 기준을 크게 초과하는 것으로 알려져 있다.<sup>1)</sup>

이 질산성 질소는 사람의 체내에서는 아질산성 질소로 환원되어 메트헤모글로빈증을 일으키기 때문에 먹는 물 및 먹는 샘물의 수질기준에서도 10 mg/l 이하로 엄격히 정해져 있다. 이와 같이 지표수 부족으로 인한 지하수의 의존도가 높아져 가는 현실에서 부영양화의 원인 물질이기도 한 질산성 질소의 효율적인 제거기술

<sup>†</sup>Corresponding author : Division of Environmental Engineering, Chosun University  
Tel: 062-230-6628, Fax: 062-230-6628  
E-mail: khjung@mail.chosun.ac.kr

개발이 시급한 실정이다.

지하수 중의 질산성 질소 제거 방법으로는 미생물을 이용한 생물학적 탈질법,<sup>3)</sup> 이온교환법,<sup>4,5)</sup> 역삼투압법,<sup>6)</sup> 전기투석막법,<sup>7)</sup> 구리촉매 환원법,<sup>8)</sup> O<sub>3</sub> 금속을 이용한 환원법<sup>9,12)</sup> 등이 알려져 있다. 생물학적 제거법은 물리·화학적 제거법보다 반응속도가 느리고 유지관리 기술이 확립되어 있지 않은 것이 단점이나 지하수 중의 질산성 질소를 단일 프로세스로서 질소가스로 전환할 수 있는 점은 물리·화학적 제거법보다 우수하다. 반면에 물리·화학적 제거법은 반응속도가 빠르고 유지관리 역시 비교적 용이하나 실험적으로 운전하여 최적 조건을 도출해낼 필요가 있다.

최근에 O<sub>3</sub> 금속 등을 이용한 질산성 질소의 환원법 및 수산화철을 이용한 화학적 제거법은 그 적용면에서 잠재성을 인정받고 있으나 불안정한 탈질 반응으로 인한 NH<sub>3</sub>의 생성과 과다한 철의 사용으로 인해 처리수에 다량의 철 이온이 존재할 가능성이 있기 때문에 질산성 질소를 질소 가스까지 완전히 환원할 수 있는 조건을 찾아야 할 필요가 있고 더욱이 처리수에 다량의 철이 잔존하지 않는 조건을 찾아야 할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 상기의 문제점을 보완하기 위하여 Fe<sup>3+</sup> 형태의 염화철을 활성탄에 부착시켜 이 염화철 처리 활성탄에 의한 질산성 질소의 흡착 제거 가능성 및 이에 따른 기초적 영향을 검토하고자 한다.

## II. 실험방법

### 1. 염화철 처리 활성탄의 제조

상업용으로 시판되고 있는 입상 활성탄을 분쇄하여 사용하였다. 활성탄 50 g에 대해 50 mM의 염화철(III) 용액 200 ml를 첨가하여 유리병으로 서서히 저어주면서 약 2시간 방치하였으며, 이것을 여과하여 약 1.5 l의 증류수로 세정한 후에 60°C에서 24시간 건조하여 염화철 처리 활성탄을 제조하였다.

### 2. 회분식 실험

500 ml의 삼각플라스크에 일정량의 염화철 처리 활성탄을 넣고 여기에 일정 농도의 질산칼륨용액(KNO<sub>3</sub>)을 넣어 진탕기에서 120 rpm으로 진탕하면서 시간별로 상등액을 채취하여 GF/C 여과지로 여과한 후 분석 시료로 하였다. 회분식 실험에서는 입경이 0.85~1.7 mm의 활성탄을 사용하였다.

### 3. 염화철 처리 활성탄의 재생

질산성 질소의 제거에 사용한 염화철 처리 활성탄은

일정 농도의 염화칼륨 용액을 사용하여 재생하였다. 중입경의 염화철 처리 활성탄 5 g을 50 mg/l의 질산염 용액 150 ml에 넣고 2시간 동안 진탕기에서 120 rpm으로 교반하면서 흡착시킨 후에 상등액은 여과하여 분석하고, 질산 이온이 흡착된 활성탄은 60°C의 온도에서 건조시켰다. 건조된 염화철 처리 활성탄을 증류수 및 0.01 M, 0.1 M과 1 M의 염화칼륨 용액 150 ml에 넣고 진탕기에서 120 rpm으로 2시간 교반하였다. 교반 후 활성탄을 여과하여 거른 후 증류수로 수회 세척하고 50°C에서 24시간 충분히 건조시켜 활성탄을 재생시켰다.

### 4. 흡착 등온식

NO<sub>3</sub>-N 농도 100 mg/l 150 ml에 대하여 50 mM 염화철 처리 활성탄 0.5~10 g를 첨가하여 24시간 진탕기에서 진탕한 후 평형액의 NO<sub>3</sub>-N 농도를 측정하여 흡착 등온식을 구하였다. 흡착 등온식으로는 Freundlich 식을 이용하였으며 등온식은 다음과 같다.

$$\log q = \log k + \frac{1}{n} \log C$$

q : 흡착제 단위 무게(g)당 흡착물질의 질량

C : 평형상태의 용액의 농도(mg/l)

k, 1/n : Freundlich 상수

### 5. 분석 방법

분석항목은 NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, Fe, pH로써 NO<sub>3</sub>-N은 이온 크로마토그래피(Ion Chromatography, Water CO.)로, NH<sub>4</sub>-N은 수질오염공정시험법,<sup>13)</sup> Fe는 ICP(Inductively Coupled Plasma, Jobin-Yvon CO)로, pH meter(TOAS, MH-14P)를 사용하여 분석하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 염화철 처리 활성탄 제작시 염화철 농도에 따른 NO<sub>3</sub>-N 제거

여러 단계 농도의 염화철을 사용하여 염화철 처리 활성탄을 만들어 NO<sub>3</sub>-N 제거효율을 조사하였다. 염화철 용액의 농도는 1~10 mM이고, 각각의 농도에서 활성탄을 침적시켜 표면 처리한 활성탄 5 g를 NO<sub>3</sub>-N 농도 50 mg/l의 용액에 넣어 실험하였으며, 그 결과는 Fig. 1과 같다.

염화철 농도 1, 5, 10, 50, 100 mM에서 처리한 활성탄을 사용하였을 때 NO<sub>3</sub>-N의 제거효율은 각각 35.6%, 41.2%, 51.4%, 90%, 93.6%로써 염화철 농도

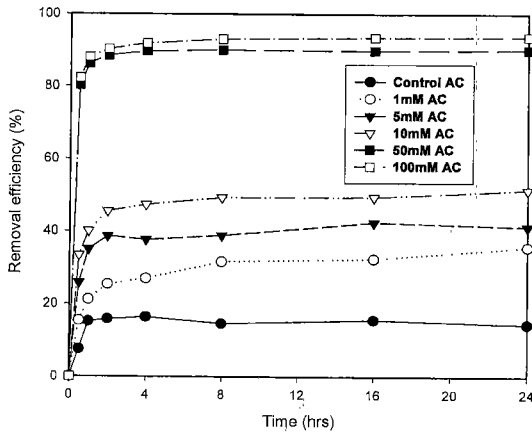


Fig. 1. Effect of  $\text{FeCl}_3$  concentration on  $\text{NO}_3\text{-N}$  removal efficiency.

가 높을수록 수중의  $\text{NO}_3\text{-N}$  제거효율이 높았다.

반응 후 수용액 중의 Fe 농도는 1 mM과 5 mM의 염화철에서 처리한 활성탄의 경우에는 검출되지 않았으나 그 이상의 농도에서 처리한 활성탄을 사용하였을 때에는 0.11~0.45 mg/l 정도의 Fe이 검출되었으며,  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 제거는 염화철 처리 활성탄을 투여한 직후에 일어났다. 50 mM과 100 mM의 염화철 농도에서 흡착시킨 활성탄인 경우  $\text{NO}_3\text{-N}$  제거에는 큰 차이가 없었으며, 이것은 활성탄에 흡착될 수 있는 염화철의 양이 한정되었기 때문인 것으로 사료된다. 각각의 염화철 농도에서 활성탄에 흡착시킨 다음 2시간 후에 잔류되어 있는 Fe 농도를 조사해 본 결과 1 mM, 5 mM, 10 mM의 경우에는 염화철 용액중의 Fe이 활성탄에 거의 100% 가깝게 흡착되었으나, 50 mM의 염화철(Fe로서 2,790 mg/l)을 사용한 경우에는 약 1,650 mg/l의 철이 검출되어 약 40.9%가 활성탄에 흡착되었고, 100 mM의 염화철을 사용한 경우에는 약 4,260 mg/l의 Fe이 검출되어 23.6% 만이 흡착되었다. 이것으로부터 50 g의 활성탄에 흡착되는 염화철 용액 중의 철의 양은 1,100~1,300 mg 정도임을 알 수 있었으며, 활성탄 g당으로 계산하면 약 22~26 mg 정도이었다.

염화철 처리 활성탄에 의한  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 제거 메커니즘은 아직 확실하게 밝혀지지 않았으나 박과 강 등<sup>14)</sup>은 Sea sand에  $\text{FeCl}_3(\text{III})$ 로 처리하였을 때 Sea sand의 표면이  $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s})$ 의 형태로 표면 처리됨을 밝혔듯이 본 실험에서도  $\text{FeCl}_3$ 로 활성탄을 처리하였을 때 활성탄 표면에  $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s})$ 의 형태로 처리되어 표면전하가 양전하를 띠기 때문에  $\text{NO}_3^-$  이온이 염화철 처리 활성탄에 용이하게 흡착제거 되는 것으로 생각된다.

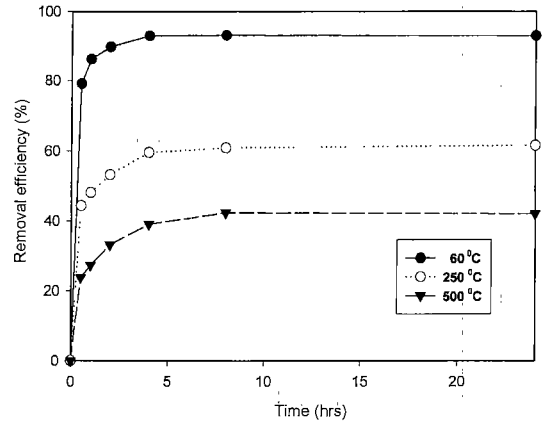


Fig. 2. Effect of drying temperature of  $\text{FeCl}_3$ -treated activated carbon on  $\text{NO}_3\text{-N}$  removal efficiency.

## 2. $\text{NO}_3\text{-N}$ 제거에 미치는 염화철 처리 활성탄의 건조 온도의 영향

염화철 처리 활성탄을 제조할 때 건조 온도에 따른 영향을 조사하였다. 건조 온도는 60°C, 250°C, 500°C 이고 각각의 온도에서 건조된 염화철 처리 활성탄 5 g 를 50 mg/l의  $\text{NO}_3\text{-N}$  용액 150 ml에 넣어 진탕시켰으며, 그 결과는 Fig. 2와 같다.

반응시간 5시간에서의  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 제거율을 보면, 60°C, 250°C, 500°C에서 각각 92.9%, 61.5%, 41.9%로써 건조온도가 낮을 때  $\text{NO}_3\text{-N}$  제거율이 높았다. 건조 온도가 500°C인 경우에는 활성탄 표면에 많은 양의 적황색의 산화철이 형성되었으며, 250°C인 경우에도 그 양은 500°C인 경우보다 적지만 산화철이 형성됨을 알 수 있었다. 이는 활성탄에 흡착되어 있는 염화철(III)이 높은 온도에서 강열하면  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  등의 산화철이 형성되어<sup>15)</sup> 활성탄의 표면전위가 양전하를 띠지 못하기 때문에  $\text{NO}_3\text{-N}$  제거율이 낮아진 것으로 생각된다.

따라서 염화철을 활성탄에 흡착시킬 때에는 높은 온도보다는 낮은 온도에서 건조시키는 것이 산화철의 형성을 막을 수 있을 뿐만 아니라  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 제거효율도 높일 수 있을 것으로 사료된다.

## 3. $\text{NO}_3\text{-N}$ 제거에 미치는 pH의 영향

Fig. 3에 pH에 따른  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 제거효율을 나타내었다. pH는 3~10으로 조절하였다. 초기 pH의 변화에도 불구하고  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 제거효율은 90.9~93.3%로써 비슷하여 pH에 따른 영향은 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 반응 후의 pH는 각 pH에서 3.5~4.1까지 낮게 나타나는 경향을 보였다.

본 실험에서 사용한  $\text{NO}_3\text{-N}$  농도 50 mg/l의 용액의

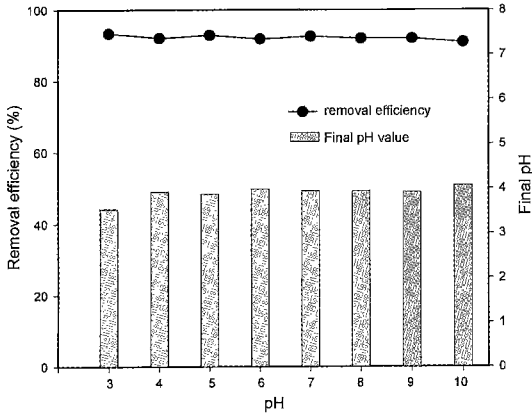


Fig. 3. Effect of initial pH on NO<sub>3</sub>-N removal efficiency by FeCl<sub>3</sub>-treated activated carbon.

pH는 대략 5.2~5.4 정도이며 반응 후에 이보다 pH가 낮아졌는데 이는 Benjamin 등<sup>16)</sup>이 FeCl<sub>3</sub> 용액을 sand에 코팅하였을 때 Fe<sup>3+</sup> + 3H<sub>2</sub>O → Fe(OH)<sub>3</sub> + nH<sup>+</sup>의 반응과 같이 강산이 생성됨을 밝혔듯이 본 실험에서 pH가 낮아지는 이유는 상기와 같은 반응에서 생성되는 수소이온에 의한 것으로 사료된다.

한편 pH 4이상에서는 반응 후의 용액 중에 Fe이 0.1 mg/l이하로 검출되었으나 pH 3에서는 0.22 mg/l 검출되어 pH 3이하에서는 활성탄에 부착된 Fe<sup>3+</sup>이 용출할 가능성이 있을 것으로 생각된다.

4. 염화철 처리 활성탄의 양에 따른 NO<sub>3</sub>-N 제거

염화철 처리 활성탄 첨가량이 NO<sub>3</sub>-N 제거효율에 미치는 영향을 알아보기 위하여 NO<sub>3</sub>-N 농도 50 mg/l과 100 mg/l인 수용액에 염화철 처리 활성탄 각 1g, 2.5g, 5g, 10g를 투여하였을 때의 NO<sub>3</sub>-N 제거효율을 Fig. 4에 나타내었다.

NO<sub>3</sub>-N 농도 100 mg/l에서 각각의 투여량에 따른 제거효율을 보면 각각 26.4%, 45.7%, 75.2%, 92.4%로 투여량이 증가할수록 제거효율이 증가하였다. 또한 염화철 처리 활성탄 10g를 투여하였을 때 수중의 잔류농도는 약 7.6 mg/l이었으나 NO<sub>3</sub>-N 농도 50 mg/l에서는 약 1.4 mg/l로 2 mg/l이하까지 제거됨을 알 수 있었다.

한편 반응 종료 후 수중의 NH<sub>4</sub>-N 농도는 0.1~0.4 mg/l 정도로서 zero valent Fe를 사용하였을 때 pH에 따라 NO<sub>3</sub>가 완전히 제거되지 않고 NH<sub>4</sub>가 생성되는 것<sup>11)</sup>과는 달리 본 실험에서는 NH<sub>4</sub>-N가 거의 생성되지 않는 것으로 보아 수중의 NO<sub>3</sub>-N은 염화철 처리 활성탄에 의한 흡착 또는 수착(sorption)으로 인해 제거되는 것으로 사료된다. 또한 Haug 등<sup>10)</sup>은 금속 철을 사용

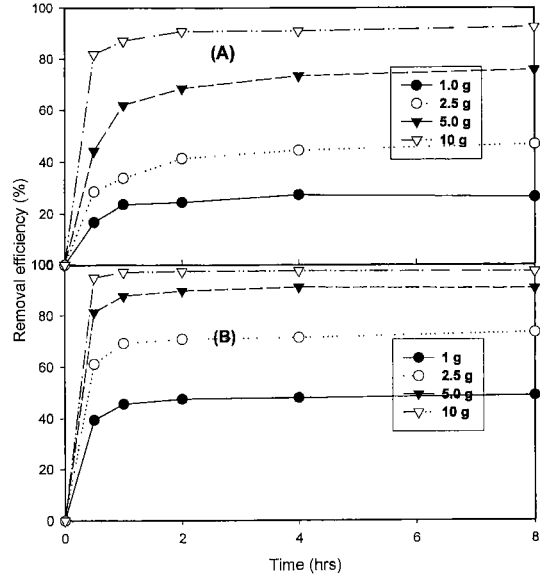


Fig. 4. Effect of amount of FeCl<sub>3</sub>-treated activated carbon on NO<sub>3</sub>-N removal efficiency at 100 mg/l (A) and 50 mg/l (B) of NO<sub>3</sub>-N.

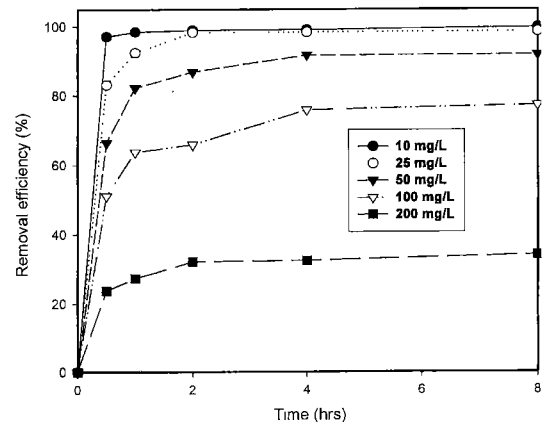


Fig. 5. Effect of initial NO<sub>3</sub>-N concentration on NO<sub>3</sub>-N removal efficiency.

하여 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>를 제거할 때 고농도의 Fe<sup>2+</sup>가 방출하고 있음을 나타낸 바 있으나 본 실험에서는 반응 종료 후 Fe농도는 0.04~0.45 mg/l로 매우 낮게 검출되어 Fe에 의한 2차 오염의 가능성은 적을 것으로 예측된다.

5. 초기 NO<sub>3</sub>-N 농도에 따른 NO<sub>3</sub>-N 제거

초기의 NO<sub>3</sub>-N 농도에 따른 NO<sub>3</sub>-N의 제거율을 알아보기 위하여 초기 NO<sub>3</sub>-N 농도 범위 10~200 mg/l에서 염화철 처리 활성탄 5g를 투여하였을 때의 실험결과를

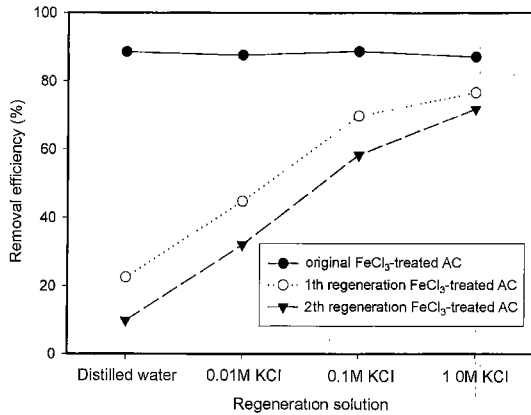


Fig. 6. Removal efficiency of NO<sub>3</sub>-N by FeCl<sub>3</sub>-treated activated carbon regenerated with distilled water and potassium chloride solutions.

Fig. 5에 나타내었다. 전반적으로 각각의 농도에서 NO<sub>3</sub>-N은 실험 초기에 제거되는 것으로 나타났으며, NO<sub>3</sub>-N 농도가 10 mg/l일 때는 반응 30분만에 거의 제거되었으며(97.1%), 25 mg/l일 때에는 2시간만에 98.3% (잔류농도 0.435 mg/l), 50 mg/l일 때에는 반응 4시간째 91.6%(잔류농도 4.2 mg/l), 100 mg/l일 때에는 반응 4시간째 75.8%(잔류농도 24.2 mg/l), 200 mg/l일 때에는 33.5%(잔류농도 133.1 mg/l)이었다. 초기 NO<sub>3</sub>-N 농도 25 mg/l일 때 잔류농도 1 mg/l이하로 제거됨을 알 수 있었다.

6. 재생 염화철 처리 활성탄에 의한 NO<sub>3</sub>-N 제거

염화철 처리 활성탄에 의한 NO<sub>3</sub>-N 제거 메커니즘은 아직 확실히 규명하지 못했으나 흡착 또는 수착(sorption)에 의해 제거되는 것으로 예상하였다. 본 실험에서는 수착에 의해 NO<sub>3</sub>-N이 제거된다면 그 제거에 한계가 있을 것으로 보아 재사용을 위한 방법을 조사하였다.

Fig. 6은 NO<sub>3</sub>-N을 흡착 제거한 염화철 처리 활성탄을 증류수 및 염화칼륨용액으로 재생한 후에 건조하고 이 재생 활성탄이 다시 NO<sub>3</sub>-N을 흡착 제거할 수 있는 지에 대하여 실험한 결과이다. 이 때 재생 용액의 농도는 각각 0.01, 0.1, 1 M이다.

각각의 재생 용액 농도에서 첫 번째 재생하였을 때의 제거효율은 각각 44.7%, 69.7%, 76.6%로 재생 용액의 농도가 높을수록 NO<sub>3</sub>-N 제거효율이 증가함을 알 수 있었으며, 두 번째 재생하였을 때에는 첫 번째보다 제거효율이 낮았고, 증류수로 재생하였을 경우에는 거의 재생이 되지 않았다. 이것은 이온교환수지의 재생에서

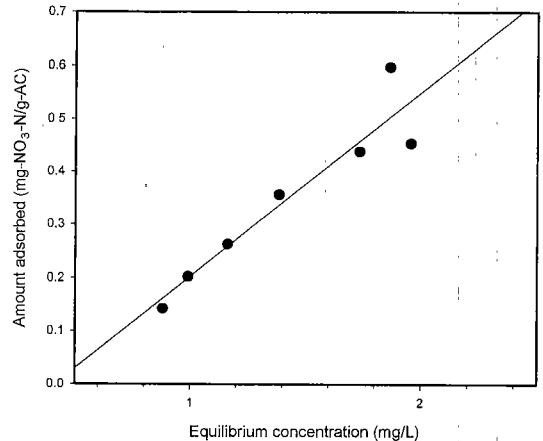


Fig. 7. Freundlich isotherm of NO<sub>3</sub>-N by FeCl<sub>3</sub> treated activated carbon.

와 마찬가지로 KCl중의 Cl<sup>-</sup>이온이 활성탄 표면에 흡착되어 있는 질산이온과의 이온교환에 의해 떨어져 나간 다음 활성탄 표면에 흡착부위가 다시 생성되기 때문인 것으로 사료된다. 한 등<sup>17)</sup>은 Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>로 친처리한 활성탄의 재생에서 K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>와 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>용액의 사용 가능성을 시사한 바 있듯이 본 실험에서도 염화철 처리 활성탄의 경우 염화철로 재생시키면 재사용이 가능함을 알 수 있었다.

7. 등은 흡착식

염화철 처리 활성탄의 NO<sub>3</sub>-N에 대한 흡착실험의 결과를 Freundlich 등온식으로 나타내었다(Fig. 7). Freundlich 등온식을 이용하여 Freundlich 상수 1/n값과 k값은 각각 0.346과 0.719이었다. 일반적으로 Freundlich 등온식에 있어서 1/n값이 0.1~0.5 범위에서는 흡착이 잘 일어나고 2 이상이면 흡착이 어렵다고 알려져 있으나,<sup>18,19)</sup> 본 실험의 결과 1/n값은 0.346으로서 0.1~0.5 범위 안에 들어가기 때문에 염화철 처리 활성탄은 NO<sub>3</sub>-N의 흡착제로써 충분히 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 활성탄을 염화철로 표면 처리한 염화철 처리 활성탄을 사용하여 수중의 NO<sub>3</sub>-N 제거 가능성과 그 제거에 미치는 기초적인 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 염화철 처리 활성탄 제조시 염화철 농도가 높을수록 수중의 NO<sub>3</sub>-N 제거효율은 증가하였으나 1 g당 염화

철의 흡착량은 약 22~26 mg이었다.

2. pH 변화에 따른 NO<sub>3</sub>-N의 제거효율에는 큰 차이가 없었으나 반응후의 pH는 3.5~4로 낮게 나타났다.

3. 초기 NO<sub>3</sub>-N 농도 25 mg/l일 때의 제거효율은 98.3%로써 잔류농도는 1 mg/l이었다.

4. 1 mol/l의 KCl에서 염화철 처리 활성탄의 재생효율은 76.6%이었다.

5. Freundlich 흡착등온식에 잘 따랐으며, 이 때의 1/n값은 0.346으로 흡착이 잘 됨을 알 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 1999년도 조선대학교 교내 학술 연구비의 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 1) 환경부 : 환경백서, 1998.
- 2) 細見正明 : 硝酸性窒素の除去技術, 水環境學會誌, **19**(2), 969-972, 1996.
- 3) 明賀春樹 : 硝酸性窒素で汚染された地下水の修復技術, 用水と廢水, **36**, 703-710, 1994.
- 4) Lauch, R. P. and Guter, G. A.: Ion exchange for the removal of nitrate from well water, *Journal of AWWA.*, **May**, 83-88, 1986.
- 5) 三宅西作, 古謝江美子 : 水道水中の微量成分除去の研究-選擇性イオン交換 樹脂による地下水中の硝酸性窒素除去, 第41回全國水道研究發表會, 176-178, 1992.
- 6) Rautenbach, R., Kopp, W., Opperqen, G. and Hellekes, R. : Nitrate reduction of well water by reverse osmosis and electro dialysis studies of plant performance and costs, *Desalination*, **65**, 241-258, 1987.
- 7) Van Hecke, K., Van Cieemput, O. and Baert, L.: Chemo-denitrification of nitrate-polluted water, *Environmental pollution*, **63**, 261-274, 1990.
- 8) 朝倉祝治 : 地下水中に含まれる硝酸鹽の電氣化學的除去法に關する研究. 「人間 境系」研究報告集, G061-N10, 文部省「人間環境系」重點領域研究 N1「人爲起源物質」基礎班, 95-96, 1992.
- 9) 장운영, 최승희, 신정엽, 황정엽 : 나노크기 미세 철입자를 이용한 질산오염수의 고속 탈질처리, 한국물환경학회지, **14**(4), 463-468, 1998.
- 10) Huang C. P., Wang, H. W. and Chiu, P. C.: Nitrate reduction by metallic iron. *Wat. Res.*, **32**(8), 2257-2264, 1998.
- 11) 松村剛, 岩崎暢, 湖洪營, 藤江幸一 : 金屬鐵による硝酸性窒素含有排水處理技術の開發, 第32回 日本水環境學會年會講演集, 84, 1998.
- 12) Wilson, E. K.: Zero-valent metals provide possible solution to groundwater problems, *C & EN*, **July**(3), 19-23, 1995.
- 13) 수질오염공정시험방법 : 환경부
- 14) 박상원, 강혜정 : 표면 처리한 Sea sand를 이용한 Se(VI)제거 - Zeta potential을 통한 Fe(III)간의 반응 메카니즘 연구, 한국환경과학회지, **8**(2), 205-209, 1999.
- 15) 김학제, 김기수, 성백능, 조병하 : 최신이화학대사전, 법경출판사, 520, 1992.
- 16) Benjamin, M. M., Sletten, R. S., Bailey, R. P. and Bennett, T.: Sorption and filtration of metals using Iron-oxide-cdated sand, *Wat. Res.*, **30**(11), 2609-2620, 1996.
- 17) 한인섭, Schlautnan, M. A.: 활성탄을 이용한 Cr(VI) 처리 및 그 활성탄의 재생, 대한환경공학회 '99춘계 학술대회 논문초록집, 7-8, 1999.
- 18) 北川睦夫, 活性炭處理 技術と管理, 日本工業新聞社, 51, 1978.
- 19) 정석희, 감상규, 이민규 : 생물질재료에 의한 중금속 흡착에 관한 연구, 한국환경과학회지, **2**(4), 357-365, 1993.