한국환경보건학회지, 제31권 제2호(2005)
Kor. J. Env. Hlth., Vol. 31, No. 2, pp 165~171(2005)

염화철코팅 활성탄을 이용한 지하수 중의 질산성질소 제거를 위한 연구

정경훈† · 정오진 · 최형일 · 박상일 · 박대훈
조선대학교 환경공학부

A Study on the Removal of NO_3-N from Groundwater by $FeCl_3$-Coated Activated Carbon

Kyung-Hoon Cheong† · Oh-Jin Jung · Hyung-Il Choi · Sang-Il Park · Dae-Hoon Park
Division of Environmental Engineering, Chosun University
(Received March 11, 2005; Accepted April 2, 2005)

ABSTRACT

A laboratory experiment was performed to investigate the nitrate removal from groundwater using Iron chloride(III) coated activated carbon (ICCAC). The breakthrough profiles of two ionic species, such as nitrate and sulfate showed that nitrate was selectively exchanged with chloride in ICCAC. The $FeCl_3$-coated activated carbon produced about 26 BV (Bed volume) of throughout when treating groundwater containing about 25 mg/*l* of NO_3-N. The regeneration of ICCAC with 1M KCl was effective at a flow rate of 4 BV/hr. The ion exchange technology seems to be suitable technology for the treatment of small volumes of groundwater polluted by nitrate.

Keywords: iron chloride, activated carbon, ion exchange, nitrate removal

I. 서 론

우리나라의 상수원은 대부분 지표수에 의존하고 있으나 용수 공급의 한계 및 생활향상에 따른 물 소비량이 날로 증가하고 있다. 이러한 물 사용의 증가에 따른 물 수요 공급의 불균형을 해소하기 위하여 지하수 사용이 증가하고 있는 실정이며, 양질의 지표수원의 확보가 어려운 지역에서의 지하수는 중요한 수자원이기도 하며, 지하수에 대한 용수로서의 의존도는 더욱 더 증가할 것으로 예상되고, 깨끗한 지하수의 보존을 위한 노력과 함께 오염된 지하수의 정화기술 확보는 매우 중요한 과제라 할 수 있다.[1)]

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 인간 및 산업 활동과 깊은 관계가 있으며 주요 오염원으로는 농업계(유기, 무기비료, 식물의 잔사), 축산계(축산폐기물의 농지 환원, 축산폐수의 지하 침투), 생활하수나 공장폐수의 지하 침투 등을 들 수 있다. 특히, 최근 질산성 질소는 트리클로로에틸렌이나 테트라클로로에틸렌 등의 휘발성 유기염소 화합물과 같이 고농도 또는 높은 빈도로 지하수로부터 검출되고 있다.[2)] 환경부에서는 2002년도 지하수 수질조사를 실시한 결과 오염우려지역 중 공단지역에서는 금속세정제로 주로 쓰이는 트리클로로에틸렌(TCE)의 초과지점이 가장 많았고, 폐기물매립장과 도시주거지역 인근지역은 15가지 검사항목 중 생활오수와 축산폐수, 비료 등이 오염원인 질산성 질소(NO_3-N)의 초과지점이 가장 많았다[3)]. 질산이온으로 오염된 물을 마시면 소화기관에서 아질산이온으로 환원되며, 특히 유아의 경우 산소전달을 방해하여 청색증(methemoglobinemia)이라는 질병을 야기하며 심한 경우 유아가 사망하는 것으로 보고되고 있다.[4)] 또한 질산이온 및 아질산이온은 유력한 발암물질로 알려진 N-nitroso 화합물을 형성하는 잠재력을 가지고 있는 것으로 보고되고 있기 때문에 먹는 물 및 먹

†Corresponding author : Division of Environmental Engineering, Chosun University
Tel: 82-62-230-6628, Fax: 82-62-230-6628
E-mail : khjung@mail.chosun.ac.kr

는 샘물의 수질기준에서도 10 mg/*l* 이하로 엄격히 정해져 있다.[5]

지하수로부터 질산성 질소를 제거하기 위한 처리 기술로서는 화학적 환원법, 역삼투압법, 전기투석법, 생물학적 탈질법, 이온교환법, 0가 금속을 이용한 환원법 등이 있다.[6] 화학적 환원법은 화학약품의 첨가에 따른 부수적인 문제점이 따르고 역삼투압법과 전기투석법은 다른 방법에 비해 처리비용이 많이 든다는 단점이 있으며. 생물학적 탈질법은 많은 양의 소독제 첨가에 따른 음용수의 안정성 문제가 있으며, 최근에는 zero valent iron(Fe^0)을 이용한 지하수 중의 질산성 질소의 제거에 대한 연구가 진행되어 지고 있다. 이 방법은 비교적 경제성과 제거효율 면에서 주목을 받고 있으나 불완전한 탈질 반응으로 인하여 NH_3가 생성될 수 있고 과다한 철의 사용으로 처리수에 다량의 철 이온이 존재할 가능성이 있는 문제점이 있다. 또한 현재 이온교환법은 지하수중의 질산성 질소 처리 기술로 효과적인 것으로 알려져 있으나 고가라는 점에서 소규모의 용수를 필요로 하는 지역에서는 부적합하다.[7]

이러한 이온교환수지의 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 염화철을 활성탄에 코팅한 새로운 질산성 질소 제거제를 개발함과 동시에 염화철 처리 활성탄을 사용하여 지하수내의 주오염물질인 질산성 질소(NO_3-N)의 제거 가능성 및 영향을 검토하고자 한다.

II. 연구방법

1. 염화철처리 활성탄의 제조

본 실험에 사용한 활성탄은 시중에서 상업용으로 시판되고 있는 입상활성탄((주)삼천리카보텍, 야자각 및 석탄류 100%, 4×8 mesh)을 분쇄하여 체(Chung Gye Sang Co., Standard Sieve)를 통과시킨 다음 입경이 0.85~1.7 mm의 활성탄을 사용하였다. 이 활성탄을 끓는 물에 넣고 약 30분 정도 저어준 후 증류수로 깨끗이 씻어서 건조하였다. 건조한 활성탄 50 g에 대해 100 mM의 염화철(III)(Junsei Chemical Co., 1급) 용액 200 m*l*를 첨가하여 유리봉으로 서서히 저어주면서 약 2시간동안 침적시켰다. 이것을 여과한 후에 약 1.5 *l*의 증류수(Top Trading Co., AW-1002)로 세정한 후 50℃에서 약 24시간 건조하여 염화철처리 활성탄을 조제하였다.

2. 염화철 처리 활성탄의 음이온 제거

300 m*l* 삼각플라스크에 $FeCl_3$(Junsei Chemical Co., 1급) 또는 $FeSO_4$(Junsei Chemical Co., 1급) 100 mM로 처리된 염화철 처리 활성탄 10 g을 넣고 여기에 NO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-를 각각 5 mM씩 넣어 Shaking Incubator에서 140 rpm으로 진탕하면서 상징액을 채취하여 GF/C 여과지로 여과한 후 유출수의 음이온을 시간별로 분석하였다.

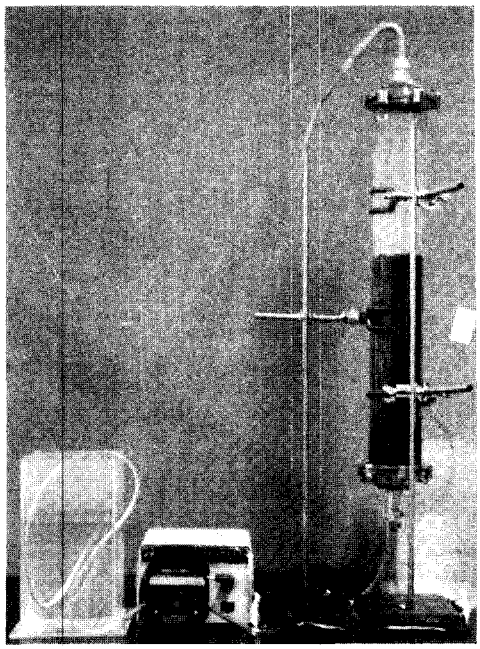

Fig. 1. Photograph of experimental column for continuous NO_3-N removal.

3. 컬럼을 통한 연속 실험

Fig. 1에 연속 컬럼 실험장치를 나타내었다. 실험은 직경 1.5 cm, 길이 40 cm의 컬럼(약 0.07 *l*)과 직경 8 cm, 길이 61 cm의 컬럼(약 3.1 *l*)을 사용하였으며, 아래 부분에 탈지면을 깔고, 100 mM 염화철처리 활성탄 30 g과 1 kg을 충진하였다. 각각의 컬럼에 합성지하수 중의 NO_3-N으로서 25 mg/*l*의 질산용액을 정량펌프를 사용하여 상향류로 흘려보냈으며, 통수유속은 0.5, 2, 4, 10, 20 BV hr^{-1}이로 하였고, 실험에 사용한 합성지하수

Table 1. Composition of a synthetic groundwater

Component	Concentration (mg/*l*)	Remarks
KNO_3	25	Nitrogen source
$NaHCO_3$	201.3	HCO_3^-
KCl	8.3	Cl^-
$MgSO_4 \cdot 6H_2O$	80	SO_4^{2-}
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	80.1	Cl^-

는 Table 1과 같다.

4. 분석항목 및 측정방법

분석항목은 NO_3-N, SO_4^{2-}, Cl^-, NH_4-N, Fe, pH로써 NO_3-N, SO_4^{2-}, Cl^-은 이온 크로마토그래피(Shimazu)로, Fe는 ICP(Inductively Coupled Plasma Emission Spectrophotometer, France, JY 70 Plus)로, pH는 pH mater(TOA Co., MH-14P)를 사용하였으며, NH_4-N은 수질오염공정시험법[8]에 따라 분석하였으며, 염화철처리 활성탄 표면은 SEM(Scanning Electron Microscope, JSM 840-A, JEOL Co.)과 EDS (Energy Dispersive X-ray Spectrometer, AN ISIS 310)를 사용하여 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 염화철처리 활성탄의 표면 특성

Fig. 2는 염화철로 표면 코팅한 활성탄의 표면 형태를 조사하기 위해 처리하지 않은 활성탄(A)과 염화철

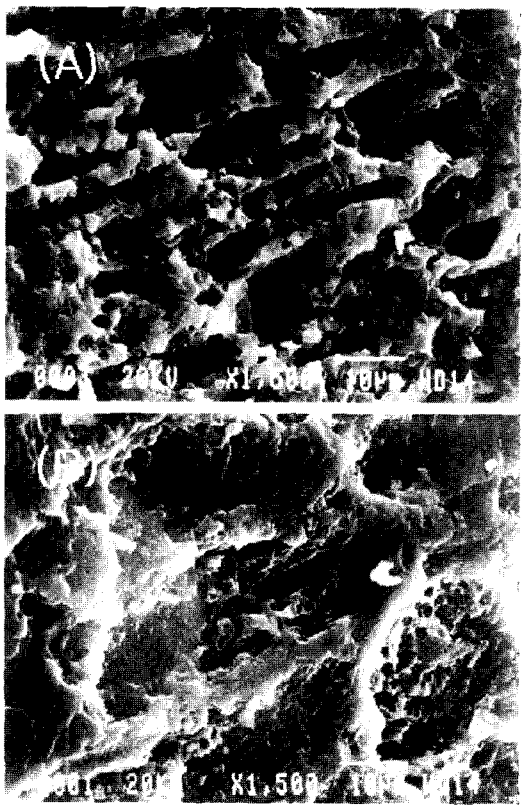

Fig. 2. SEM photographs of activated carbon before (A) and after (B) coating with $FeCl_3$ solution.

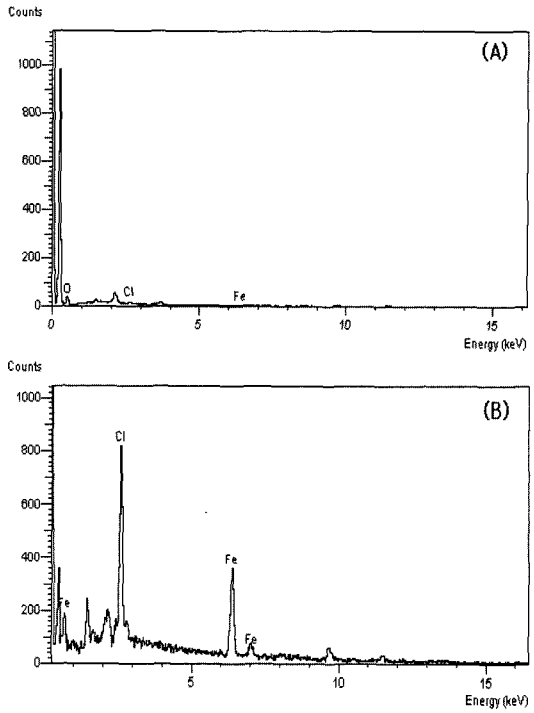

Fig. 3. EDS spectrums of activated carbon before (A) and after (B) coating with $FeCl_3$ solution.

100 mM로 코팅한 활성탄(B)의 입자를 1,500배 확대하여 나타낸 SEM 사진으로 활성탄의 표면에 염화철이 코팅되어 있는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 3은 활성탄의 표면을 염화철 100 mM로 코팅 전(A)과 후(B)를 EDS로 정성 분석한 결과이다. 염화철로 코팅하기 전에는 Fe과 Cl 피크가 나타나지 않았으나 염화철로 코팅한 후에는 Fe과 Cl 피크가 나타나는 것으로 보아 활성탄에 염화철이 코팅되어 있음을 알 수 있었다.

Fig. 4 역시 염화철 코팅 활성탄의 표면을 EDS로 분석한 결과이며, Fig. 4(a)는 SEM의 이미지이고 (b)와 (c)는 각각 Cl과 Fe를 mapping한 사진이다. 염화철 코팅 활성탄의 표면을 mapping한 결과 표면에 Cl과 Fe이 전체적으로 고르게 분포되어 있었으며, 활성탄 표면에 염화철이 전체적으로 고르게 코팅되어 있음을 나타낸다.

2. 염화철 처리 활성탄의 이온교환

Fig. 5는 $FeCl_3$과 $FeSO_4$로 처리한 활성탄을 사용하였을 때의 NO_3^- 제거효율을 나타낸 것이다. 활성탄을 $FeCl_3$로 처리하였을 때(A), NO_3^-은 약 75%, SO_4^{2-}은

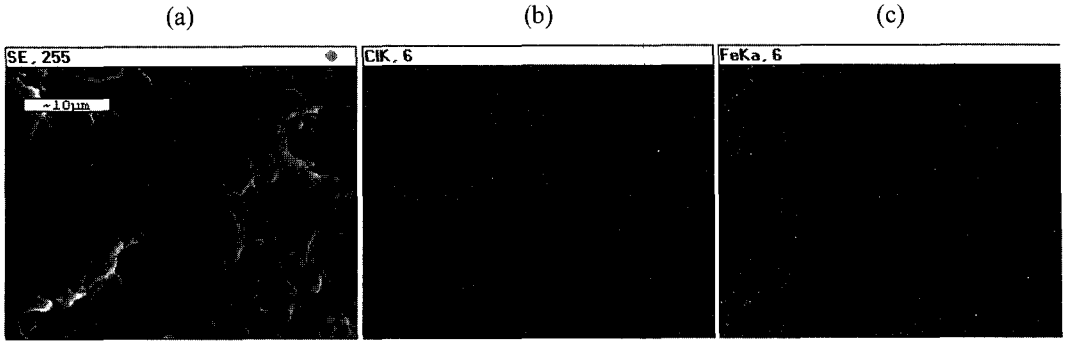

Fig. 4. Mapping analysis of the surface of $FeCl_3$-treated activated carbon.

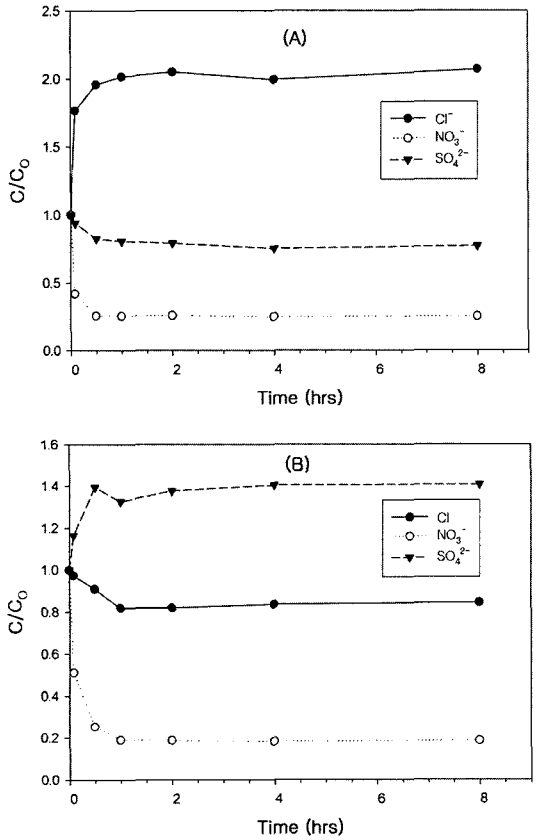

Fig. 5. Removal efficiency of anion by $FeCl_3$-treated activated carbon (A) and $FeSO_4$-treated activated carbon (B).

약 18% 정도 제거되었으나 Cl^-은 반대로 농도가 높아졌다. 활성탄을 $FeSO_4$로 처리한 활성탄을 사용한 경우(B), NO_3^-은 약 81%, Cl^-은 약 15% 제거되었으나 반면에 SO_4^{2-}의 농도는 높아졌다. 이와 같이 NO_3^-가 제거되면서 반대로 Cl^-과 SO_4^{2-}이 나오는 것으로 보아 NO_3^-는 이온교환에 의해 제거되는 것으로 사료된다. 유출수중의 각 이온의 농도를 $CaCO_3$로 환산하여 이온교환량을 산출한 결과 반응조건(A)에서 NO_3^-의 제거 이온량은 약 184.8 mg/*l* (as $CaCO_3$), SO_4^{2-}은 약 112.4 mg/*l* (as $CaCO_3$)이였으며 Cl^-의 유출 이온량은 약 260.9 mg/*l* (as $CaCO_3$)이였다. 반응조건(B)에서 NO_3^-의 제거 이온량은 약 198.7 mg/*l* (as $CaCO_3$), Cl^-은 약 37.2 mg/*l* (as $CaCO_3$)이었고, SO_4^{2-}의 유출 이온량은 약 189.6 mg/*l* (as $CaCO_3$)이였다.

3. 컬럼에 의한 음이온 제거 실험

지하수에 존재하는 2가 황산염이온이 NO_3^- 보다 더 선택적으로 이온교환이 이루어지므로 2가 황산염이온이 존재할 때 NO_3^- 제거에 큰 영향을 미친다.[7] 따라서 NO_3^-와 2가 황산염이온으로만 구성된 합성 지하수를 조제하여 2가 황산염이온이 존재할 때 NO_3^- 제거에 미치는 영향을 조사하였으며 실험 결과는 Fig. 6과 같다. 컬럼을 통한 연속실험은 직경 1.65 cm, 길이 34 cm의

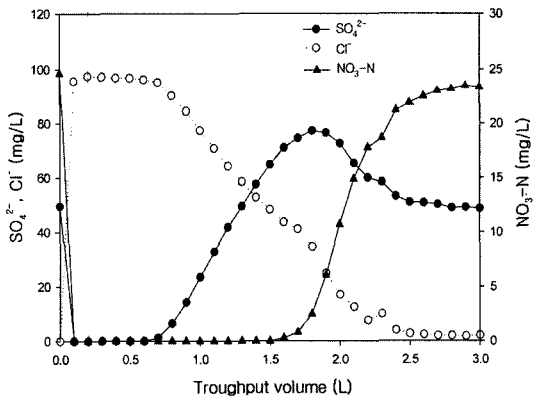

Fig. 6. Breakthrough curve for $FeCl_3$-treated activated carbon with influent concentration of 49.5 mg SO_4^{2-}/L amd 24.6 mg NO_3-N/L ; flow rate 10 BV hr^{-1}.

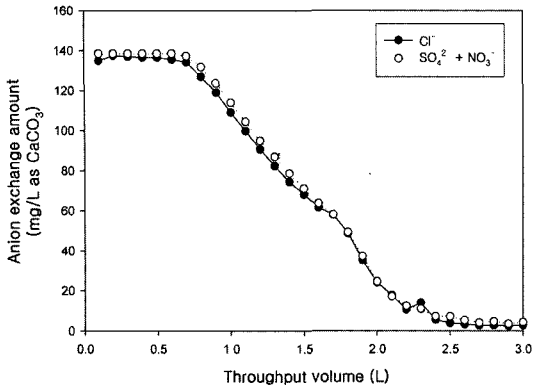

Fig. 7. Anion exchange amount of $FeCl_3$-treated activated carbon.

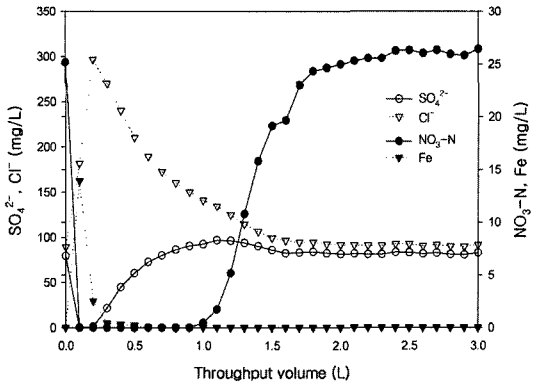

Fig. 8. Breakthrough curve for $FeCl_3$-treated activated carbon with synthetic groundwater ; flow rate 10 BV hr^{-1}.

컬럼(약 0.07 *l*)을 사용하였으며, 염화철처리 활성탄 30 g을 충진하였다. 이 컬럼에 49.5 mg SO_4^{2-}/L, 24.6 mg NO_3-N/L를 약 10 ml/min(약 10 BV hr^{-1})의 유속으로 정량펌프를 사용하여 상향류로 흘려보냈으며, 10분당 100 ml를 채취하여 음이온 농도를 측정하였다. 유출수 중의 NO_3-N는 약 1.5 *l*를 흘려보냈을 때까지는 검출되지 않았으나 1.6 *l*를 흘려보냈을 때에는 유출수의 NO_3-N 농도가 0.27 mg/*l*를 시작으로 점차 증가하다가 전량 유출되었으며 SO_4^{2-}는 0.7 *l*에서 점차 증가하다가 전량 유출되었다. 이것은 NO_3^-가 2가 황산염 이온보다 선택적으로 이온교환 되는 것을 나타내며, 황산염 이온이 NO_3^- 보다 먼저 파과되는 현상은 NO_3^-가 수지에 교환되는 과정에서 먼저 교환되었던 황산염이온이 수지로부터 탈리되는 chromatogram 효과로 사료된다.[9] 유출수중의 각 이온의 농도를 $CaCO_3$로 환산하여 이온교환량을 산출하여 Fig. 7에 나타내었다. 질산이온과 2가 황산염이온의 제거 이온량(약 2,083 mg/*l* (as $CaCO_3$))이 염화이온의 유출 이온량(약 2,016 mg/*l* (as $CaCO_3$))과 거의 일치함을 볼 수 있었으며 NO_3^-와 2가 황산염이온이 염화이온과 이온교환에 의해서 제거됨을 볼 수 있었다.

4. 합성지하수 중의 음이온 제거 실험

연속식 컬럼(약 0.07 *l*)에 NO_3-N 25.2 mg/*l*, SO_4^{2-} 79.3 mg/*l*, Cl^- 89.2 mg/*l*, 초기 pH 7.8의 합성지하수를 10 BV hr^{-1}의 유속으로 처리하였으며, 그 결과는 Fig. 8과 같다. 유출수 중의 NO_3-N은 약 1 *l*를 흘려보냈을 때까지는 검출되지 않았으나 1.1 *l*를 흘려보냈을 때에는 유출수의 NO_3-N 농도가 1.7 mg/*l*를 시작으로 점차 증가하다가 전량 유출되었으며 SO_4^{2-}는 0.2 *l*를 시작으로 점차 증가하다가 전량 유출되었다. Cl^-는 전혀 제거되지 않았으며, 실험초기 Cl^-이 유출수에서 296.7 mg/*l*까지 올라간 것은 합성지하수 중의 Cl^-와 이온교환에 따른 탈착된 Cl^- 때문인 것으로 사료된다. 실험초기에 염화이온 농도가 250 mg/*l*를 초과하였을 뿐 전 구간에 걸쳐 염화이온의 먹는물 수질기준(250 mg/*l*) 이하로 유지되었다. Fe은 실험초기 유출수에서 13.9 mg/*l* 정도 검출되었으나 점차 낮아져 통수량 0.6 *l*에서는 0.2 mg/*l*까지 떨어졌으며, 그 이후에는 검출되지 않았다. 이것은 실험초기에 활성탄에 미처리 되었던 Fe이 씻겨져 유출된 것으로 사료된다. Haung 등[10]은 금속철을 사용하는 경우에는 8 mM의 NO_3^-가 제거될 때 처리수 중에 47.0 mM의 Fe^{2+}가 방출되며 2차 오염을 유발할 수 있음을 나타낸 바 있으나, 본 실험에서는 Fe에 의한 2차 오염의 가능성은 적을 것으로 예측된다. 유출수 중의 각 이온의 농도를 $CaCO_3$로 환산하여 이온교환량을 산출한 결과 질산이온의 제거 이온량은 약 1,166.7 mg/*l* (as $CaCO_3$), 2가 황산염이온의 제거 이온량은 약

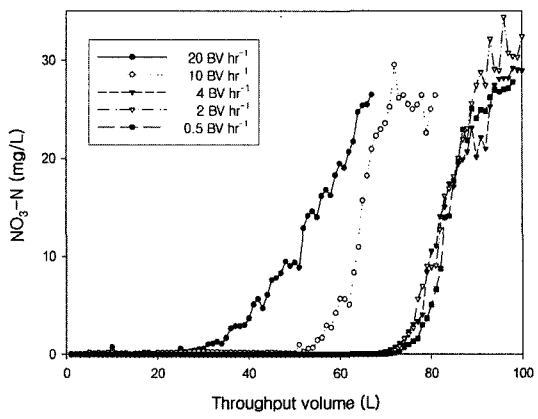

Fig. 9. Breakthrough curve for Flow rate.

137.5 mg/*l* (as $CaCO_3$)이었으며 염화이온의 유출 이온량은 약 1,834 mg/*l* (as $CaCO_3$)이었다. 실험초기에 이온교환량에 있어서 차이를 보이는 것은 합성지하수중의 다른 음이온이 제거되었기 때문인 것으로 사료된다.

5. 통수유속에 따른 질산성 질소 제거 효율

Fig. 9에는 통수유속에 따른 NO_3^-의 파과곡선을 나타내었다. 통수유속의 변화에 따른 연속실험은 직경 8 cm, 길이 61 cm의 컬럼(약 3.1 *l*)을 사용하였으며, 100 mM 염화철처리 활성탄 1 kg을 충진하였고 통수유속은 0.5 ~20 BV(Bed volume) hr^{-1}이다. NO_3^-의 먹는물 수질기준 10 mg/*l*를 초과하는 점을 파과점으로 할 때, 0.5 BV hr^{-1}, 2 BV hr^{-1}, 4 BV hr^{-1}, 10 BV hr^{-1}, 20 BV hr^{-1}에서 각각의 NO_3^- 파과점은 각각 83 *l*, 82 *l*, 80 *l*, 65 *l*, 52 *l*이었다. 통수유속이 0.5~4 BV hr^{-1}로 낮을 경우는 NO_3^- 파과시점이 비슷하였으며, 통수유속이 커질수록 활성탄의 비표면적에 접하는 시간이 짧아져서 파과시점이 짧아졌다.

6. 컬럼을 통한 연속제거 실험

Fig. 10에는 합성지하수 중의 NO_3-N를 연속적으로 제거하였을 때의 결과를 나타내었다. 통수속도는 4 BV hr^{-1}이며, NO_3-N의 농도는 25 mg/*l*이다. 재생액은 0.5 M, 1 M-KCl을 사용하였다. 통수속도 4 BV hr^{-1}, 0.5 M-KCl의 재생액을 사용하여 재생하였을 경우 첫번째 사용에서 유출수 중의 NO_3-N은 약 81 *l*를 흘려 보냈을 때까지는 파과시점이 나타나지 않았으나, 82 *l*를 흘려보냈을 때부터 유출수의 NO_3-N 농도가 약 12.7 mg/*l*를 시작으로 점차 증가하다가 약 93~101 *l*일 때 전량 유출되었다(약 26 BV). 재생하였을 경우 두번째 재사용부터 다섯번째 재사용까지 약 66~54 *l*일 때 NO_3^- 파과시점이 나타났으며, 그 이후로는 약 53~51 *l*로 NO_3^- 파과시점이 일정하게 유지되었다. 통수속도 4 BV hr^{-1}, 1 M-KCl의 재생액을 사용하여 재생하였을 경우 두번째 재사용부터 네번째 재사용까지 약 67~63 *l*일 때 NO_3^- 파과시점이 나타났으며, 그 이후로는 약 59~58 *l*일 때 NO_3^- 파과시점이 일정하게 유지되었다. 통수속도 4 BV hr^{-1}, 0.5 M-KCl의 재생액을 사용하여 재생하였을 경우 첫번째 사용과 재생에서 염화철처리 활성탄 1 kg당 총 NO_3^- 제거량은 약 1,966 mg/kg, 재생량은 약 1,963 mg/kg이었다. 두번째 재사용과 재생일 때는 총 NO_3^- 제거량은 약 1,712 mg/kg, 재생량은 약 1,707 mg/kg 이었다. 그리고, 세번째 재사용과 재생부터는 제거량은 약 1,339~1,215 mg/kg, 재생량은 약 1,342~1,178 mg/kg로 일정하게 유지되었다. 통수속도 4 BV hr^{-1}, 1 M-KCl의 재생액을 사용하여 재생하였을 경우 첫번째 사용과 재생에서 염화철처리 활성탄 1 kg당 총 NO_3^- 제거량은 약 2,043 mg/kg, 재생량은 약 1,929 mg/kg 이었다. 두번째 재사용과 재생부터는 제거량은 약 1,531~1,357 mg/kg, 재생량은 약 1,526~1,306 mg/kg로 일정하게 유지되었으며, 재생액의 농도를 0.5 M에서 1 M로 높임으로써 총 NO_3^- 제거량과 재생량이 증가하였

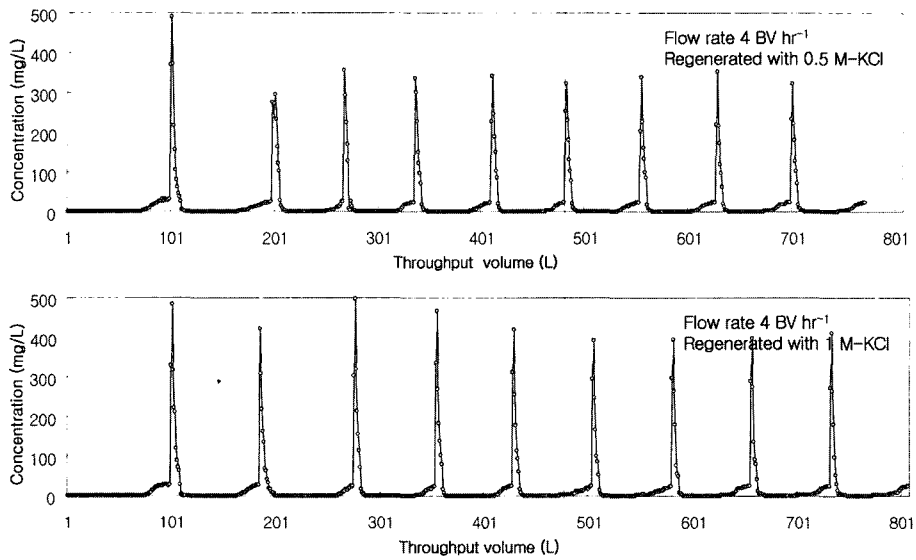

Fig. 10. Breakthrough curve for $FeCl_3$-treated activated carbon with influent concentration of 25 mg/*l* as NO_3-N.

고, 통수량도 약간 증가하는 경향을 나타내었다.

IV. 결 론

본 연구에서는 활성탄을 염화철로 표면 처리한 염화철처리 활성탄을 사용하여 지하수 중의 NO_3-N 제거 가능성과 그 제거에 미치는 영향을 검토하고자 한 것으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 조제된 염화철 코팅 활성탄의 표면을 SEM과 EDS로 분석한 결과를 보면 활성탄의 표면에 염화철이 전체적으로 고르게 코팅되어 있음을 알 수 있었다.

2. $FeCl_3$과 $FeSO_4$로 코팅한 활성탄을 사용하였을 때 NO_3^-이 제거됨에 따라 Cl^-과 SO_4^{2-}이 나오는 것으로 보아 NO_3^-은 이온교환에 의한 제거로 사료된다.

3. Fe은 실험초기 유출수에서 13.9 mg/*l* 정도 검출되었으나 점차 낮아졌으며 그 이후에는 검출되지 않았고 NH_4-N은 거의 검출되지 않았다.

4. 통수유속이 0.5~4 BV hr^{-1}로 낮은 경우에는 NO_3^- 파과시점이 비슷하였으며, 통수유속이 커질수록 활성탄의 비표면적에 접하는 시간이 짧아져서 파과시점이 짧아졌다.

5. 연속컬럼을 사용한 NO_3^- 제거실험(3.1 *l*)에서는 통수량 약 82 *l*까지는 NO_3-N의 파과시점이 나타나지 않았으나(약 26 BV), 약 100 *l*에서는 전량 유출되었다. 재생 후 파과시점은 약 59 *l*로 유지되었고 1 M-KCl의 재생액을 사용하여 재생하였을 경우 두번째 재사용과 재생부터 총 NO_3^- 제거량은 약 1,531~1,357 mg/kg, 탈착량은 약 1,526~1,306 mg/kg으로 일정하였다.

감사의 글

본 연구는 2002년도 조선대학교 교내 학술 연구비의 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김탁수, 이용미, 김문선, 김성연, 신해철, 최경호, 정문호 : 일부 농촌지역의 오염원 현황과 먹는물 수질에 관한 조사연구. 한국환경위생학회지, **30**(2), 98-103, 2004.
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. 환경부, 환경백서, 452-458, 2003.
4. 권순국, 유명진, 정태명, 김민석 : 이온교환수지를 이용한 농어촌 지하수중의 질산이온 제거. 한국환경농학회지, **16**(1), 193-198, 1997.
5. Van der Hoek, J. P. and Klapwijk, A. : Nitrate removal from ground water. *Wat. Res.*, **21**(8), 989-997, 1987.
6. 정경훈, 최형일, 정오진 : 염화철 처리 활성탄에 의한 질산염 제거. 한국환경위생학회지, **27**(1), 63-68, 2001.
7. ㄴClifford, D. A. and Liu, X. : Ion exchange for nitrate removal. *J. AWW.*, **27**(9), 135-143, 1993.
8. 김종택 : 수질오염공정시험법해설. 신광출판사, 1999.
9. Clifford, D. A. : Ion Exchange and Inorganic Adsorption, Water Quality and Treatment, 5th ed, AWWA, McGraw-Hill, 9.1-9.91, 1999.
10. Huang, C. P., Wang, H. W. and Chiu, P. C.: Nitrate reduction by metallic iron. *Wat. Res.*, **32**(8), 2257-2264, 1998.