

지하수내 질산성 질소의 In-situ Bioremediation을 위한 최적 Electron donor 결정에 관한 연구

어성욱, 김 영*, 정기섭**

우송대학교 건축토목환경공학부,*고려대학교 환경시스템공학과, ** 해동종합건설주식회사
e-mail : swoa@lion.woosong.ac.kr

요 약 문

As a part of our research project for in-situ bioremediation of nitrate contaminated groundwater, screening studies to determine an effective electron donor (ED) and/or carbon source (CS) such as acetate, ethanol, formate, fumarate, lactate, and propionate were conducted. To evaluate the feasibility for the biological degradation of nitrate, soil microcosm studies using nitrate-contaminated soil and groundwater were performed. The nitrate removal percentage in the order from the highest to the lowest was: formate, fumarate, and ethanol > lactate > propionate. Essentially no nitrate consumption was observed in acetate-fed microcosms. The order of nitrate removal rate from the highest to lowest was fumarate, formate, lactate, ethanol, and propionate. These results suggest that fumarate and formate are promising EDs/CSs for in-situ bioremediation of nitrate-contaminated oxygenated groundwater.

key word : Biological denitrification, nitrate, nitrite, soil microcosm test, fumarate, formate and oxygenated and nitrate-contaminated groundwater

1. 서론

청색증 등을 유발하는 질산성 질소는 우리나라의 지하수내에서 중 가장 빈번히 발견되는 오염물질로써 1999년의 전국 지하수 조사 통계에 의하면 조사 대상 지하수의 17.2 %가 음용수 기준(10 mg/L as N)을 초과하고 있는 것으로 나타나고 있다⁽¹⁾.

이용대상 지하수 부존자원이 한정적인 우리나라 상황에서 지하수 내에서의 질산성 질소의 처리는 조속히 해결되어야 할 과제이며 현재 지하수를 이용하고 있는 대부분이 농어촌 간이 상수도과 농, 공용수라는 점에서 처리의 경제성이 반드시 고려되어야 할 항목이다. 질산성 질소를 처리하는데 가장 경제적인 방법은 생물학적 탈질소화 방법이며⁽²⁾ 오염 지하수의 복원을 위해 가장 경제적인 방법은 현장처리(in-situ)기술이라는 것은 이미 잘 알려진 사실이다⁽³⁾. 본 연구는 질산성 질소 오염 지하수의 생물학적 현장복원 기술 개발과제의 일환으로 현장에서 토양 내 미생물을 이용한 생물학적 탈질소화를 위해 주입해야 할 가장 효율적인 전자공여체와 외부 탄소원을 결정하기 위해 수행되어 졌다. 현장 토양 및 지하수와 6 종의 유기물질을 이용한 microcosm test를 통해, 가장 효율적인 전자공여체와 외부 탄소원이 결정되어지며 질산성 질소 오염 지하수의 현장 생물 복원을 위한 현장 설계 기초 자료로 활용되어질 예정이다.

2. 본론

(1) 실험 방법

실험실 microcosm test는 Kim 등⁽⁴⁾에 의해 제시되어진 방법을 이용하였는데 Teflon-lined rubber septa와 aluminum crimp top이 갖춰진 160-mL serum bottle(Kimble, Vineland, NJ)을 이용하여 지하수 100 mL와 현장토양 10 mL(22 g dry solid)가 각각 주입되어지고 헬륨 가스를 이용하여 잔류 공기를 제거한 후 10.5 mL의 순산소가 주입되어 졌다. 각각에 대해 유기물질 및 질산성 질소가 주입되어졌는데 주입율은 주입된 탄소원이 이산화탄소로 완전히 분해되는 것을 가정하여 mole 비를 기준으로 전자공여체/전자수용체가 1.25가 되도록 하였다. 흡착 등의 물리, 화학적인 방법에 의한 물질 변화의 영향을 고려하기 위해 제작되어진 microcosm 병 중 일부를 autoclave하여 미생물을 사멸하였으며 또한 일부에는 poison을 주입하여 생물학적인 반응만을 독립적으로 관찰할 수 있도록 고려하였다. 제작되어진 microcosm set는 shaking incubator(Han Baek Scientific Co., Korea)에서 20 °C, 200 rpm 으로 운전되어 졌다.

(2) Sampling 및 분석

제작되어진 microcosm bottle은 실험기간 중 주기적으로 sampling 되고 분석되었는데 sampling 하기 전 미생물 반응으로 인한 산소소모량으로 인해 발생하는 진공을 1 기압으로 맞추고 sampling하였다. 이를 위해 glass syringe의 안쪽 벽면을 autoclave된 증류수로 적서 syringe의 무게가 가중 되지 않도록 bottle을 옆으로 기울인 상태에서 헬륨 가스가 흡입되도록 한 후 bottle 안으로 suction 되는 양을 기록하고 sampling을 수행하였다. Microcosm 시료의 분석은 HPLC(Shimadzu LC 10)와 GC(Shimadzu GC 14B)를 이용하여 수행하였다.

(3) 결과 및 결과 분석

약 30일간 운전된 microcosm test를 통해 6개의 주입 유기물질 별 질산성질소의 제거 속도를 도출할 수 있었다. Formate는 active bottle에서 그림 1(a)에 나타낸 것과 같이 5일 만에 완전히 소모되었으며 그림 2(a)에 나타낸 것과 같은 탈질소 속도를 구할 수 있었다. 질산성 질소는 초기 formate 주입 시에는 크게 변화하지 않고 제거 속도가 완만하게 나타나고 있으나 운전 18일에 formate 재 주입 이후에 급격하게 감소하여 2일 만에 0.2 mmol이상의 nitrate가 완전히 제거되는 것으로 나타났다. 초기 formate는 microcosm bottle 내에 존재하던 용존 산소와 분자상태의 산소에 의해 제거된 것으로 판단되며 용존산소가 완전히 고갈된 후에는 재 주입된 formate에 의해 매우 빠른 속도로 제거되는 것을 알 수 있다. 그림 1(b) 및 2(b)는 acetate 주입시의 substrate 및 질산성 질소 제거 속도를 보여주고 있는데 acetate 소모가 매우 빠르게 진행되는 데 반해 질산성 질소는 잘 제거되지 않는 모습을 보여주고 있다. 적용되어진 6종의 substrate 중 fumarate와 formate가 질산성 질소 제거 측면에서 가장 효율적인 것으로 나타나고 있으며 이 두 가지 물질이 현장 실험을 위한 최적의 전자 공여체로 대두되고 있다.

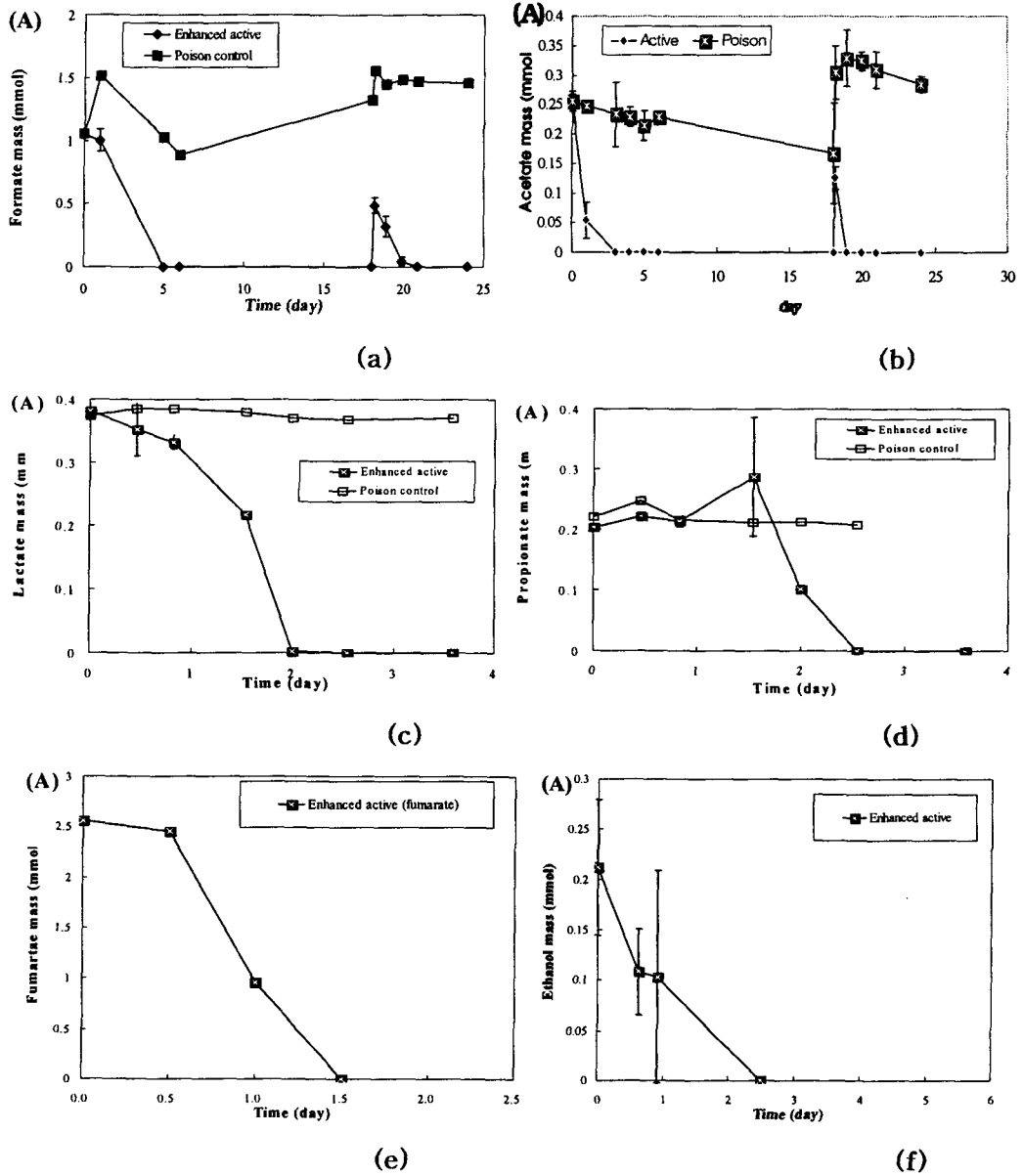
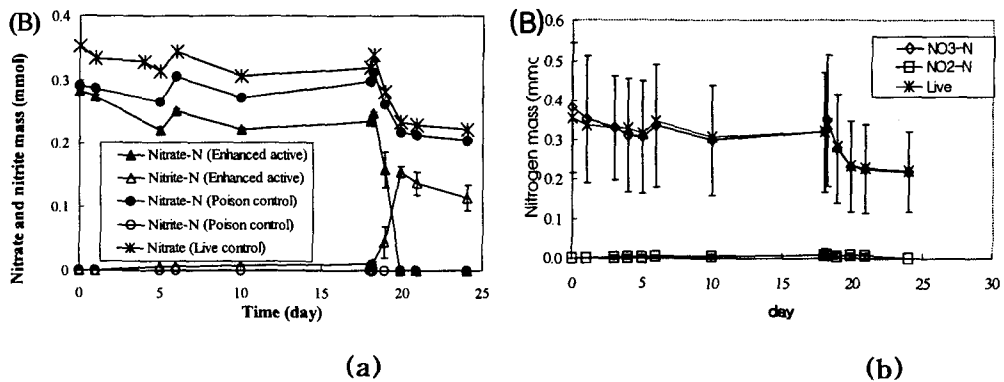


그림 1. microcosm 주입 electron donor별 소모율

(a) formate (b) acetate (c) lactate (d) propionate (e) ethanol (f) fumarate



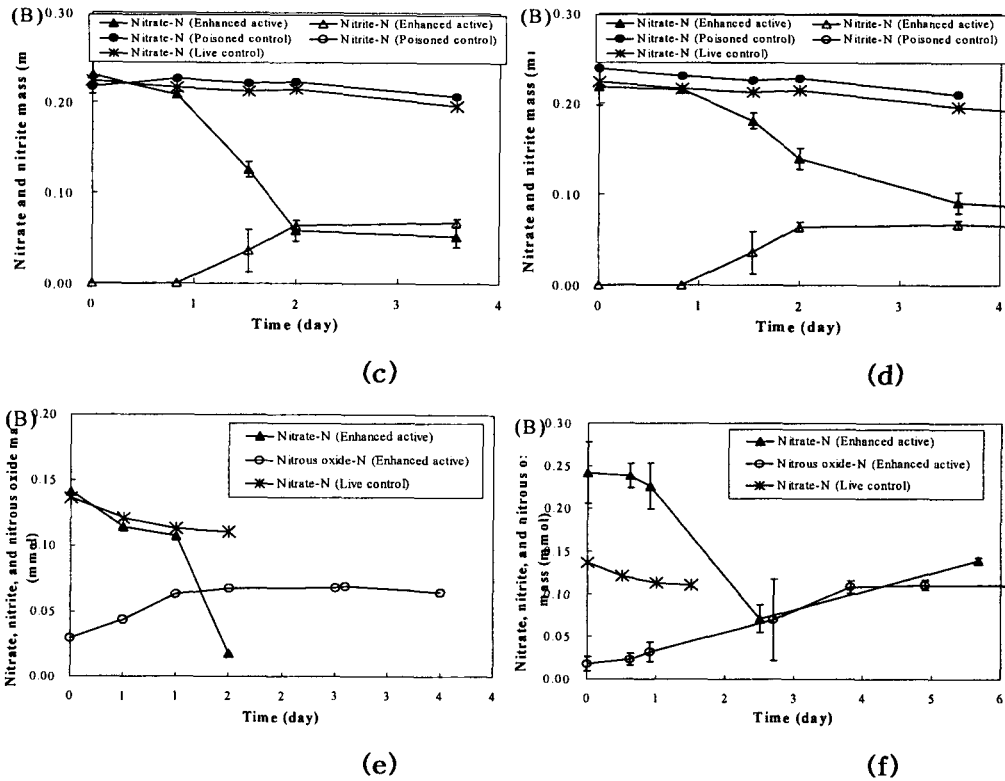


그림 2. microcosm 내에서의 질산성 질소 제거 속도

(a) formate (b) acetate (c) lactate (d) propionate (e) ethanol (f) fumarate

3. 결론

Microcosm을 이용하여 질산성 질소 오염 지하수의 in situ bioremediation의 가능성을 평가한 결과 organic acid substrate인 formate와 fumarate가 가장 에너지 좋은 것으로 나타났으며 acetate의 경우는 substrate의 분해는 진행되나 탈질소화는 잘 일어나지 않는 것으로 나타났다.

Substrate 주입량은 stoichiometry상에서의 NO_3^- 를 완전히 탈질소시키기 위해 필요한 양으로 계산되었지만, 주입한 양으로는 NO_3^- 에서 NO_2^- 로 변화시키는데 그쳤다. 이는 substrate가 에너지로 쓰이는 효율이 stoichiometry상에서 보다 적은데 기인한 것으로 사료되며 substrate의 byproduct 생성에 대해서도 고려해야 할 것으로 사료된다.

4. 참고문헌

- (1) 환경부, 전국 지하수 기초조사(1998).
- (2) Fonseca, A. D., Crespo, J. G., Almeida, J. S. and Reis, M. A., Drinking water denitrification using a novel ion-exchange membrane bioreactor. *Environ. Sci. Technol.* **34**, 1557 -1562(2000)
- (3) Chapelle, F. H., Oxidation reduction processes in ground-water systems. In: *Ground-water microbiology and geochemistry*, 2nd edn. John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 282-320(2001)
- (4) Kim, Y., Semprini, L., Aerobic cometabolism of chloroform and 1,1,1-trichloroethane by butane-grown microorganisms. *Bioremediation J.* **2**, 135-148.(1997)