

도시 및 농촌지역 지하수내 질소화합물의 거동 예측 및 질소오염 관리모델 개발

서울대학교 자연과학대학원 이 미 신
서울대학교 공과대학원 지구환경시스템공학부 이 성 수

I. 서론

최근 지하수 이용률이 해마다 증가하고 있지만 지하수의 체계적인 관리 부족으로 생활 오수 및 산업 폐수, 침출수에 의한 오염이 꾸준히 진행되고 있으며, 특히 가뭄을 비롯한 기상재해는 극심한 물 부족 현상을 낳고 농작물의 수확량을 감소시켜 식량 문제를 야기시키며, 먹는 물과 산업생산에 필요한 용수확보에도 곤란을 주어 삶의 질을 낮추는 직접적인 요인이 되고 있다. 더구나 오염된 지하수의 장시간의 방치로 사용 가능한 지하수량이 급격히 줄어들게 되며, 지하수 자원 이용률이 높은 음용수와 농·공업용수가 절대 부족하게 되어 농업 및 산업 전체, 그리고 인간생활 자체에까지 큰 악영향을 미치게 된다.

이러한 지하수를 오염시키는 대표적인 물질로 농업활동, 정화조, 매립지, 도시생활하수 등 다양한 오염원에서 배출되는 질소를 들 수 있다. 질소의 종류에는 암모니아(ammonia), 아질산성질소(nitrite-nitrogen), 질산성질소(nitrate-nitrogen), 유기질소(organic nitrogen), 질소기체(nitrogen gas)가 있다. 이 중에서 주로 존재하는 형태는 물의 특성, pH, 온도, 산소의 이용도, 미생물의 활동도, 유기 탄소의 양 등의 환경 조건에 따라 달라진다. 특히 지하수에서 질산성질소의 농도가 배경치 이상으로 증가하게 되면, 공중 보건을 위협하게 된다. 공중 보건의 측면에서 일차적인 관심은 청색증인데 이는 질산성질소가 보통 3세 미만의 유아나 특별하게 취약한 성인에게 영향을 미쳐 그들에게 빈혈 등을 야기시키는 것으로 이 때문에 미국 EPA에서는 질산성질소의 식수기준을 10mg/l로 채택하였다. 또한 질산성질소는 음식물내 2차 아민과 결합한 N-nitroso 화합물을 형성하여 돌연변이원과 발암성 물질의 형성을 유도하며, 인과 함께 호소 및 하천으로 유입시 조류의 성장을 촉진시켜 부영화를 가속화시키는 주원인 물질이 된다. 이같은 수중 식물이나 조류의 과다 성장은 외관상 깨끗하지 못하며, 악취유발, 병원성 세균의 번식 및 사후 사멸 토에서의 생분해시 용존산소를 고갈시켜 어류와 같은 수생생물에 악영향을 줄 수 있다.

그러나 많은 경우에 질소의 거동에 관한 연구는 매우 어려운데 이는 포화대에서 발생할 수 있는 질소의 여러 형태와 전환과정(transformation)이 다양하고 또한 이들이 미생물의 작용과 관련되기 때문이다. 이 때문에 대부분의 이전 연구들은 실험실 연구에 국한되어 있었고, 현장에 적용한 경우라 해도 그 현장에만 국한된, 현장 특수적인(case-specific) 경우가 많았다. 이러한 일련의 연구들은 지하수에서 질소, 유기탄소, 용존 산소를 모사하기 위해서는 물리적인 거동과 생지구화학적인 반응 사이에 작용하는 복잡한 상호 작용에 대한 이해가 필요함을 알려준다.

따라서 본 연구는 지하수의 포화대내에서 질소의 전환(transformation)과 거동(transport)을 모사하는 모델을 개발하기 위해 수행되었다. 여기서 제안하는 수확모델은 RT3D framework내에 반응모듈(reaction module)로 코딩(coding)되었다. 이렇게 개발된 model을 질소로 오염된 실제 현장에 적용하여, 대수층에서의 오염원의 진화를 모델이 잘 예측할 수 있는지를 평가하여 지하수자원의 보전관리에 이용하려고 한다.

II. 질소모델 개발

1. 개념모델

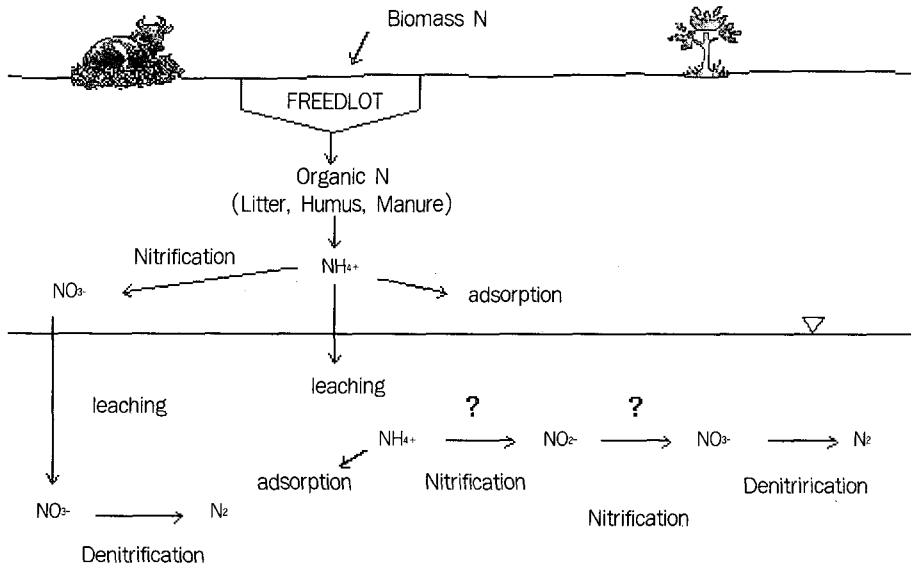


Figure 1. Conceptual model for nitrogen cycle in soil and groundwater

그림 1은 토양과 지하수, 특히 포화대 환경에서 질소의 전환과정(transformation)과 거동(transport)을 고찰하기 위한 개념모델이다. 가축사육장(feedlot)에서 누출되는 질소의 대부분은 용존된 암모늄 이온의 형태이다. 토양은 대부분 표면에 음전하를 띄고 있기 때문에 양이온이 잘 흡착되기가 쉽다. 그래서 대부분의 암모늄 이온은 대수층 토양에 흡착되고 지구화학적으로 잘 거동하지 못하는(immobile) 특성을 나타내게 된다. 그렇지 않은 경우에는 산소와 아질산균(autotrophic ammonia-oxidizing bacteria)이 존재하게 되면, 암모늄은 빠른 속도로 아질산성질소로 산화된다. 이를 질산화(nitrification)라고 하는데 질산화에는 2단계의 산화과정이 있으며, 각각 아질산균(autotrophic ammonia-oxidizing bacteria)과 질산균(autotrophic nitrite-oxidizing bacteria)이다. 아질산성질소-산화 미생물은 아질산성질소를 질산성질소로 산화하는 역할을 한다. 흡착이나 질산화가 되지 않은 암모늄 이온은 포화대로 누출(leaching)된다. 한편, 불포화대에 존재하는 질산성질소는 음전하를 띄기 때문에 대부분 그대로 포화대로 누출되는데 이렇게 누출된 질산성질소는 유기탄소를 에너지원으로 하는 탈질산균(heterotrophic bacteria)에 의해 탈질산화(denitrification)되어 최종 산물인 질소기체로 환원된다. 질소기체는 포화도가 물의 포화도 보다 증가하게 되면, 포화대 밖으로 이동하

게 된다.

누출된 암모늄이온 중 일부는 불포화대와 같이 대수층에 흡착되기도 하고 일부는 산소가 존재할 때 미생물에 의해 질산화의 최종산물이 질산성질소로 산화된다. 질산화는 대부분 불포화대에서 일어나지만, 1997년에 Schmidt 등은 산소가 충분히 존재하지 않는 포화대내에서도 암모니아를 산화시키는 박테리아가 존재하기 때문에 질산화가 일어날 수 있다고 제안하였다. 또한 1998년에 Desimone 등도 유기탄소가 포화대내에 어느 정도 존재한다면, 포화대에서도 질산화가 일어날 수 있다고 제안하였다.

따라서 본 모델에서는 포화대내에서 질산화와 탈질산화가 서로 연결되어 연속적으로 일어난다고 가정하였다.

2. 수학모델의 개발

수학모델은 지하 환경에서 오염물의 이동 경로를 파악하는데 아주 유용하며 또한 그 정화기법을 선택하는데도 도움을 준다.

2.1 일반적인 오염물질의 거동 지배식

RT3D에서는 포화대에서 수용액 상태(aqueous-phase)와 고체 상태(solid-phase)오염물질의 거동을 표현하기 위해 다음과 같은 식을 이용한다(Clement, 1997):

$$\frac{\partial C_k}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} (D_{ij} \frac{\partial C_k}{\partial x_j}) - \frac{\partial}{\partial x_i} (v_i C_k) + \frac{q_s}{\phi} C_{sk} \pm r_k \quad k=1,2,\dots,m$$

$$\frac{d\bar{C}_i}{dt} = \pm \bar{r}_i \quad im=1,2,\dots,(n-m)$$

<다음호에 계속>

새 개척

협회 회원 개원을 중심으로 환영합니다. 우리 협회는 여러분들 위하여 최선을 다하겠습니다!

대우·중흥

- 대우자동차판매 건설부문 · 박용호 · 인천시 계양구 계산동 647-4
- 공신개발(주) · 안태현 · 경기도 시흥시 장왕동 1252-7
- 이천프라스타 · 김선진 · 대구시 달성군 하빈면 봉촌리 1048-1
- 삼양제팬 · 양진승 · 대구시 북구 노원동3가 62-1
- 진흥산업 · 권세웅 · 대구시 북구 노원3가 1199-4
- 용산산업 · 이선재 · 경북 성주군 선남면 선원리 660-2
- 풍원산업(주) · 황선국 · 경북 칠곡군 기산면 영리 469
- 통원산업 · 차재홍 · 경북 고령군 고령읍 장기동 297-1
- 남양사 · 이종길 · 경북 경주시 울강동 820(남양유입내)
- 그린월드(주) · 엄성호 · 경북 상주시 공성면 평천리 1080
- 대흥산업 · 윤종석 · 경북 안동시 임하면 신덕리 1298-88
- 주회수산 · 김정희 · 경북 울진군 평해읍 직산리 214-14
- 강구1급종합정비 · 권영삼 · 경북 영덕군 강구면 삼사리 71-1
- 삼풍수산 · 최석도 · 경북 울진군 후포면 후포리 1060
- 거인식품 · 김윤하 · 경북 고령군 쌍림면 고곡리 199-42
- 이도금융 · 박이도 · 경북 경산시 암광면 신대리 284

- (주)한국소방기구제작소 · 정수현 · 경북 군위군 군위를 수서리 421-21
- (주)갯바위 · 김광고 · 경북 영천시 청동면 애련리 385
- (주)크린텍 · 윤태경 · 경북 경주시 황성동 1071-2
- 세창텍스 · 방재훈 · 경북 영천시 대창면 사리리 524-8
- 풍양정미소 · 김문한 · 경북 예천군 풍양면 오지리 216-2
- 남양헬트 · 박진경 · 경북 성주군 용암면 용정리 398-2
- 대원산업 · 김성훈 · 경북 고령군 다산면 상곡리 141-5
- (주)원진용사 · 이해덕 · 경북 고령군 성안면 고탄리 608
- (주)태양 · 박태길 · 경북 영천시 대창면 사리리 303
- 서창산업 · 서한상 · 경북 칠곡군 가산면 학상리 494-2
- 아주산업 · 노병욱 · 경북 성주군 선남면 선원리 619
- 신성부직포 · 이춘심 · 경북 고령군 고령읍 내곡리 1148
- 북동산업 · 박치현 · 경북 고령군 개지면 인안리 236
- (주)한국광양사 · 김동규 · 서울시 용산구 서계동 234-5

지역의달

- 김연희 · 경기도 부천시 삼곡본동