

서울시 암반지하수의 수리지구화학 특성 : 공간적 변화 특성에 대한 예비 고찰

유순영 · 윤성택* · 소칠섭 · 유인식 · 이평구

고려대학교 지구환경과학과
한국자원연구소 환경지질연구부
(e-mail: styun@mail.korea.ac.kr)

요 약 문

서울시 암반 지하수의 수리지구화학 및 오염 특성을 토지 이용 특성과 관련하여 시·공간적 측면에서 체계적으로 고찰하고자 3년간에 걸친 모니터링을 수행하고 있다. 본 논문에서는 1차년도 취득 자료에 대한 예비 고찰 결과를 소개한다.

서울시 암반 지하수의 수질 유형은 Ca-HCO₃ 유형으로부터 Ca-Cl(-NO₃) 유형에 걸쳐 폭넓게 분포한다. 서울시 동부 지역 지하수의 경우, 중량천을 중심으로 상류에서 하류 지역으로 가면서 용존고체함량(TDS)이 높아지는 경향이 있다. K, Ca, Mg 등 주요 양이온과 Ba, Fe, Sr 등 미량원소도 유사한 공간적 분포 특성을 보여준다. 이러한 수질 항목은 대체적으로 지하수 유동에 수반된 수/암 반응의 증가를 잘 반영하는 것으로 해석된다. 반면, NO₃, Cl 등 음이온의 변화는 다소 불규칙하여 지역적인 토지 이용 특성과 관련한 오염 요인의 기여를 반영한다. 한편, 도시 특성에 따라 서울시 암반 지하수의 수질 특성을 전반적으로 고찰한 결과, 외곽의 비오염 지역에 비하여 중심부의 교통혼잡 지역, 남서부의 공단 지역, 서부와 남부의 농업 지역에서 뚜렷한 수질 저하를 보여주었다. 이러한 경향은 특히 Na, Cl, NO₃, SO₄, Ni, Pb, Se 등의 수질 항목에서 뚜렷하게 나타난다.

Key words : 서울, 도시지하수, 수리지구화학, 수질오염, 토지 이용 특성

I. 서론

도시 환경의 지하수(urban ground water)는 도로 포장과 하수체계 등으로 인하여 수리적 특성이 상이하며, 산재된 오염원으로 인하여 쉽게 오염되는 특징이 있다. 외국에서는 도시 지하수에 대한 관심이 대단히 높으며 그만큼 연구도 활발히 진행되고 있다. 특히, 장기간의 모니터링에 의하여 수리·수질 자료를 축적하고 이를 바탕으로 지

하수 수질을 체계적으로 관리하고 있다. 이에 반하여, 우리나라에서는 도시 지하수에 관한 연구가 매우 저조하며, 특히 토지 이용 특성과 관련하여 수질 특성을 시간적·공간적으로 규명하는 일은 거의 이루어진 바 없다.

서울은 특히 도시화에 따른 인구 집중 및 산업화가 급격히 진행되면서 지하수 오염이 날로 심각해지고 있으며, 따라서 지하수 자원의 효율적 관리 및 이용을 위한 체계적 연구가 시급히 요청된다. 더구나 서울의 지하수는 대부분 기반암 대수층에 발달하는 암반 지하수이므로 수리적 특성을 규명하기가 극히 어려우며, 따라서 기존에 일부 수행된 바 있는 광역적 규모의 수리 특성 해석에 첨가하여 수리지구화학 연구를 반드시 수행해야 할 것이다. 본 연구진은 토지 이용 특성과 관련하여 서울시 암반 지하수의 수리지구화학 및 수질 오염 특성을 시·공간적 측면에서 체계적으로 규명하고 이를 수리적 해석에 활용하기 위하여 3개년에 걸친 지화학 모니터링을 수행하고 있다. 본 논문에서는 1차년도 취득 자료에 대한 예비 고찰 결과를 간단히 소개한다.

II. 연구 방법

'99년 9월부터 2000년 8월까지 수행된 1차년도 연구에서는 서울 동부 지역을 정밀 조사 지역으로 선정하였다. 아울러, 지하수공 주변의 토지 이용 특성(도시화 특성), 인구밀도, 교통량, 잠재 오염원 등 인위적 오염 인자를 종합적으로 고려하여 비오염지역, 농업지역, 교통혼잡지역, 주거지역, 공단지역 등 5개 유형 지역을 선정하고, 각 유형별로 3년에 걸친 장기 관측 지점을 선정하였다. 모든 관측 지점은 현재 사용중인 지하수공이며, 대부분 30-150 m의 심도이다. 서울시의 실트질 매립토, 충적층, 풍화암의 두께가 대부분 20 m 이내이므로, 이들 관측공은 암반지하수의 특성을 가진다.

현장 조사 및 시료 채취는 2000년 2월(건기)과 8월(우기)에 실시하였다. 지하수의 수질 특성을 정확히 반영하는 대표 시료의 채수를 위하여, 온도와 전기전도도가 일정해질 때까지 충분히 양수한 후 채수하였으며, 온도, 수소이온농도, 산화환원전위, 전기전도도, 용존산소, 알칼리도 등은 채수와 동시에 현장에서 측정하였다. 실내 분석용 시료는 양이온 분석용, 음이온 분석용, 산소-수소 동위원소 분석용, 삼중수소 분석용, 유기오염물질(TCE, BTEX) 분석용 등으로 나누어 각각 채취하였다. 화학 분석은 고려대학교 '지하수 및 토양 환경 분석연구실'의 ICP-OES, ICP-MS, IC, Gas Isotope Ratio Mass Spectrometer, GC를 이용하여 수행하였고, 삼중수소 분석은 원자력 연구소의 Liquid Scintillation Counter를 이용하였다. 모든 분석 절차는 엄정한 QA/QC 하에서 진행되었다.

III. 분석 결과의 예비 해석

(1) 동부지역 지하수의 수질 특성

서울 동부 지역 암반 지하수의 수질은 다른 지역에 비하여 비교적 양호한 편이다. 주요 하천 수계(중랑천)와 관련하여 수질 특성을 고찰한 결과, 대체적으로 상류 수계에서 하류 수계로 갈수록 TDS값이 높아짐을 확인하였다. 주요 용존이온 중 K, Ca, Mg 등 양이온은 TDS의 증가와 더불어 증가하는 경향을 보여주어, 이들 성분의 함량은 지하수 유동에 수반된 수/압 반응의 증가를 잘 반영해주고 있다. 반면, NO₃, Cl 등 음이온의 변화는 다소 불규칙하여 오염 등 다른 요인의 관여를 반영한다. 미량원소의 경우, Ba, Fe, Sr 등은 상류에서 하류 지역으로 갈수록 다소 증가하는 경향을 보인다. 한편, 일부 지역에서는 이러한 TDS 및 일부 이온종의 변화 경향을 따르지 않았다. 이들 지역은 모두 인간 활동이 밀집된 오염 영향 지역이다.

따라서, 서울시 동부 지역의 지하수 수질은 지하수 유동과 관련한 수/압 반응 뿐 아니라 지역적 토지 이용 특성에 의한 오염원의 존재를 체계적으로 반영하는 것으로 보여진다.

(2) 장기 모니터링 지점의 지하수 수질 특성

서울 전지역을 포괄하는 장기 관측 지점에서 획득한 수질 분석 자료는 비교적 체계적인 분포 특성을 나타내었다. TDS 분포를 살펴보면, 도시 외곽의 비오염지역에 비해 서울 중심부의 교통혼잡지역, 남서부의 공단지역, 서부의 농업지역에서 높게 나타난다. 이러한 경향은 Na, Ca, Mg, Cl, NO₃, SO₄ 등의 이온 분포 특성과도 일치하였다. 특히, Fe 및 Ni, Pb, Se 등의 중금속은 더욱 뚜렷한 공간적 변화 경향을 보였다. 반면, F는 비오염 지역인 도봉구와 강북구에서 상대적으로 높은 함량을 나타내었는데, 이는 기반암(중생대 화강암)과의 수/압 반응에 기인한 것으로 보인다. Al, Ba, Br의 공간적 분포는 도시 특성과 뚜렷한 상관성을 보여주지 않는다.

1차년도에 획득 자료를 piper's diagram에 도시하여 보면, 서울시 암반 지하수의 수질 유형은 비오염 지역의 Ca-HCO₃ 유형으로부터 오염 지역의 Ca-Cl(-NO₃) 유형에 걸쳐 폭넓게 분포한다. 삼중수소 분석 결과(12개 시료), 대부분의 지하수는 최근에 충전된 빗물에서 기원함을 반영해 주지만, 비교적 깊은 심도(200 m 내외)의 일부 지하수는 낮은 삼중수소 값을 나타내어 충전 시기가 오래되었음을 시사하였다. 건기(2월)와 우기(8월)의 지하수 수질 변화를 살펴보면, 전반적으로 우기에 채수한 지하수 시료에서 pH가 다소 높아지고 Eh와 DO는 낮아졌다. 이러한 계절적 변화 경향은 강우량에 따른 지하수의 일반적인 수질 변화 경향과 상반되는 것이다. 따라서, 서울시 암반 지하수의 수질 특성은 강우 사건 후 짧은 시간 내에 영향을 받기보다는 상당 기

간이 경과된 후에야 영향을 받는 것으로 생각된다. 그러나, 이 현상에 대해서도 보다 구체적인 추가 분석 연구가 필요하다.

현재, 토지 이용 특성을 수치로 정량화하고 지하수 수질 특성과의 상관 관계를 정량적으로 고찰하기 위한 구체적인 연구를 수행하고 있다. 아울러 환경동위원소 분석 연구를 통하여 지하수 유동과 오염원을 상세히 규명할 계획이다.

사사

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구비(1999-2-131-001-3)의 지원에 의하여 수행되고 있으며, 이에 감사한다.