

## 포천지역 하천과 지하수의 환경동위원소 및 수리지구화학 연구: 질소계 오염물질의 기원과 기동에 관한 예비 해석 결과

채수호, 윤성택, 김경호, 전중욱, 권해우\*

고려대학교 지구환경과학과 및 천부지권환경연구소 (e-mail: styun@korea.ac.kr)

\*대한광업진흥공사

### 요약문

포천지역의 포천천과 그 주변의 8개 소유역을 대상으로 2003년 8월부터 2004년 8월까지 하천 8개 지점과 기존 지하수 관정 66개소를 선정하여 수리지구화학 및 환경동위원소 연구를 실시하였다. 복합적인 토지이용과 관련하여 연구지역 수계에서는 오염물질 유입이 광역적으로 인지되었으며, 일부 지역에서는 지하수계로의 오염물질 유입이 강하게 나타나 인근 하천까지 영향을 줌이 확인되었다. 오염 기원으로 해석되는 대표적인 무기이온종인  $\text{NO}_3$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{SO}_4$ 의 존재비를 이용하여 연구 지역의 지표수와 총적 지하수를 크게 3개 수질 그룹으로 분류하였다. 이들 그룹들은 각각 특징적인 충전 특성과 용존 이온의 분포/거동 양상을 나타내는 것으로 해석된다. 본 논문에서는 세 유형의 지표수/총적 지하수 외에 암반 지하수를 포함하여 연구지역 자연수의 수리지구화학 진화 경로와 오염물질의 유입 및 거동 양상에 대하여 토의한다.

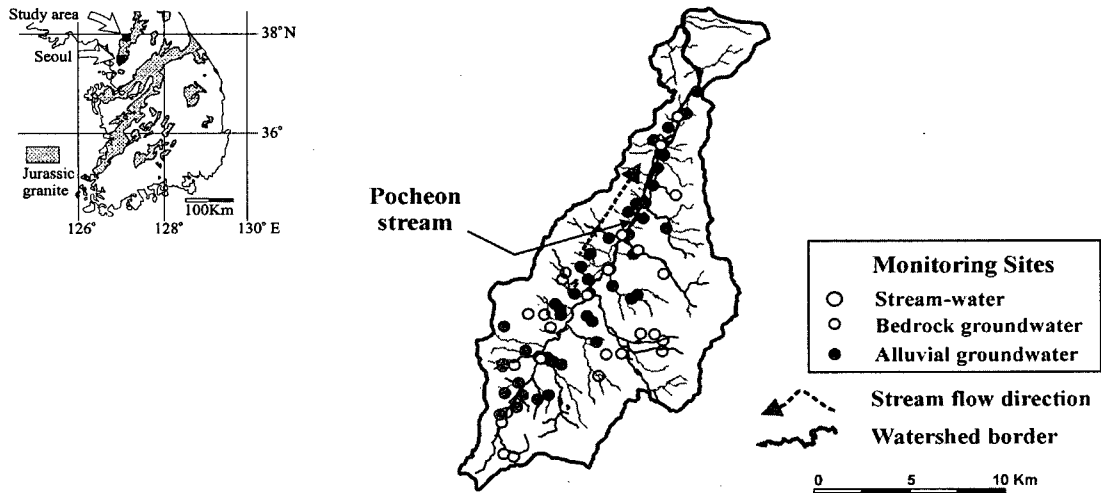
### 1. 서론 및 연구 지역 개관

최근 국내에서는 효율적인 물 관리와 관련하여 지표수와 지하수의 상호작용을 규명하기 위한 소위 '유역 연구'의 중요성이 크게 부각되고 있다. 이와 관련하여, 특정 유역 내의 수문 순환 및 지하수계의 유동 경로를 파악하고, 지하수의 충전과 오염물질을 포함한 용존 물질의 기원과 거동, 진화 과정, 지표수와 상호작용을 밝히기 위한 수리지구화학 및 환경동위원소 연구가 활발히 진행되어야 할 시점이다. 본 연구에서는 포천시의 포천천 주변을 따라 발달하는 총적 및 암반 대수층 지하수와 하천수를 대상으로 수리지구화학 및 환경동위원소 연구를 수행하였다.

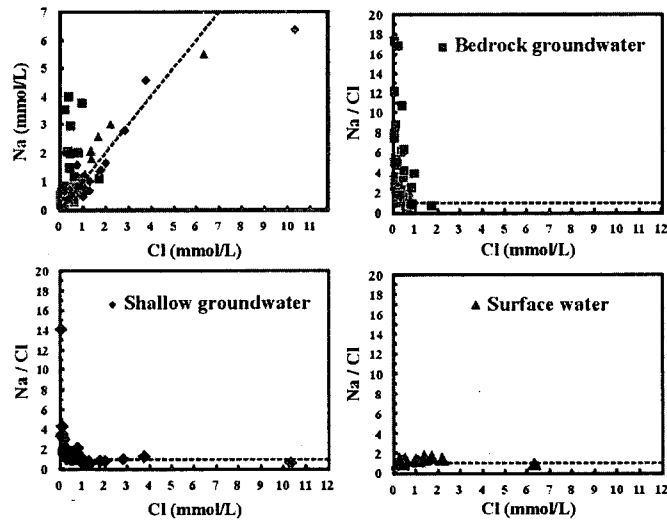
경기도 포천시의 수계는 한탄강유역, 영평천유역, 포천천유역, 신천유역, 왕숙천유역 등 5개 유역과 34개 소유역으로 구분된다. 본 연구에서는 주 하천인 포천천과 그 인근의 8개 소유역을 연구 대상으로 설정하였다. 포천천의 유역 면적은  $177 \text{ km}^2$ 이며, 중심부에는 제3기 총적층이 광범위하게 피복되어 있고 그 주변에는 유라기의 섬록암류와 흑운모화강암, 선캄브리아기 흑운모편마암이 분포한다. 본 연구를 위하여 하천수 8개 지점과 등간격을 고려한 기존 지하수 관정 66개소를 선정하고 2003년 8월부터 2004년 8월까지 주지적인 수위 및 지화학 모니터링을 수행하였다(그림 1). 포천 지역의 토지이용 현황을 보면 산림지역 62.7%, 농경지 28.7%, 도시지역 8.0%, 강이나 호수 0.6% 등이며, 연구 지역에는 농경지나 도시 지역이 상당 부분 밀집되어 있다. 따라서 농경지에서 시비되는 비료 및 퇴비, 주거지역에서 배출되는 생활하수 등이 연구 지역 수계의 잠재오염원으로 영향을 주는 것으로 판단된다.

## 2. 본론

포천천 유역의 충적층은 화강편마암 또는 화강암체를 피복하고 있는 형태이며, 따라서 포천천 주변의 충적층 지하수는 대체로 Ca와 Na, HCO<sub>3</sub>가 우세한 Ca-HCO<sub>3</sub> 유형에 속한다. 그러나 일부 지역의 충적층 지하수는 Cl 함량이 우세한 Ca-Cl 유형에 속하는데, 이는 도심지와 주변 농경지로부터의 인위적 오염의 영향 때문으로 판단된다. 또한 Na/Cl 몰비를 보면, 충적층 지하수와 하천수는 대체로 1에 가깝거나 그 이하의 값을 갖지만, 인근의 암반 지하수는 1 이상의 값을 나타내었다(그림 2). 따라서 낮은 염도와 Na/Cl비를 갖는 암반지하수에서는 양이온 교환을 포함한 물-암석 반응이 우세한 반면, 충적층 지하수와 하천수의 수질은 인위적 오염물질의 유입에 상당한 영향을 받고 있음을 알 수 있다.



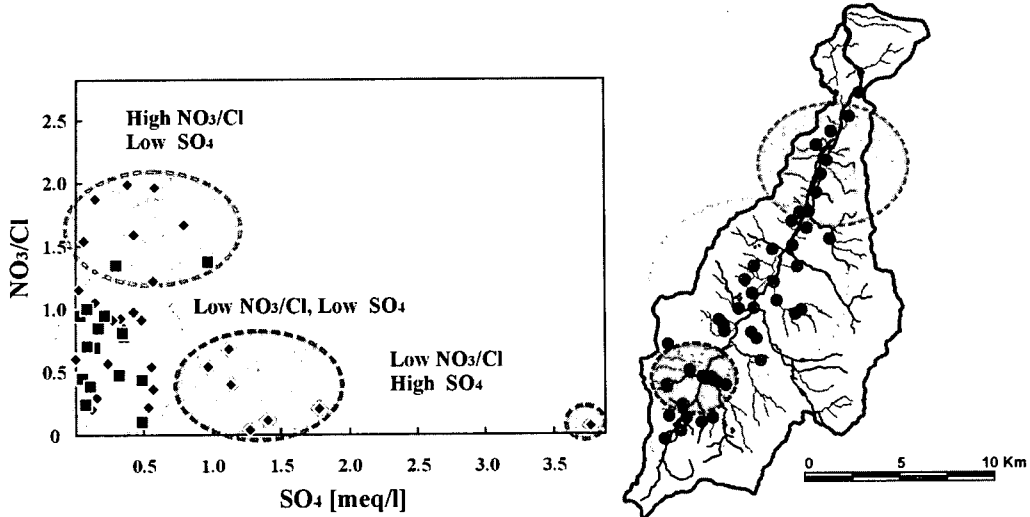
<그림 1> 연구지역의 위치, 유역 구성 및 시료 채취 지점



<그림 2> 연구지역 지하수와 하천수의 Na-Cl 농도 상관관계

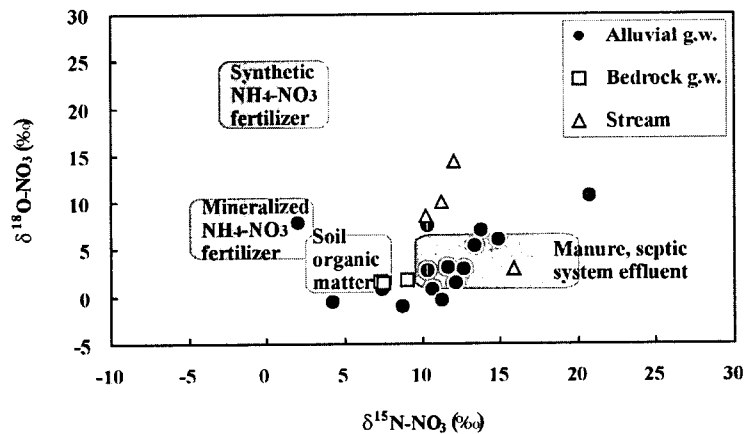
지하수의 산소-수소 동위원소 분석 결과,  $\delta^{18}\text{O}$  값은  $-9.38 \sim -6.58\%$ ,  $\delta\text{D}$  값은  $-66.1 \sim -51.8\%$ 의 비교적 넓은 범위를 나타내었다. 한편, 지하수는 상류에서 하류 방향으로 가면서 전반적으로 산소동위원소 값이 가벼워지는 경향을 나타내었다. 산소-수소 동위원소 관계도에서 보면, 대부분 GMWL 근처에 도시되지만 일부 지하수 시료에서는 충전 전 증발의 영향이 뚜렷이 인지되었다. 한편, 일부 지역에서의 오염 기원 음이온의 부화는 증발에 의한 농축 영향과 더불어 관개복류수(return flow)의 영향으로 판단되며, 아

무튼 지역적으로 오염물질의 직접적인 영향이 상당함을 지시한다.



<그림 3> 연구지역 지표수, 지하수 중의 음이온의 상관관계와 그에 따른 수질 그룹의 분포 양상

그림 3에는 2003년 8월 채취한 시료에 대하여 NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl 이온 간의 상관관계를 도시하고, 그로부터 수질 그룹을 구분하였으며 그 분포를 연구 지역에 나타내었다. 연구 지역의 지하수는 일정한 특성을 갖는 세 그룹으로 구분되었다. 하류로 갈수록 질산염의 오염이 지배적으로 뚜렷해짐을 알 수 있다. 한편, 넓은 NO<sub>3</sub> 농도 범위는 지역에 따라 발생하는 탈질이나 질화작용의 결과로 판단된다. 한편, 지하수나 지표수 내의 질산염의 기원을 파악하고자 지하수 19개 지점, 하천수 4개 지점의 시료에 대하여 질소동위원소 분석을 실시하였다. 질소동위원소 조성은 최고 20.7‰, 최저 1.9‰, 평균 10.5‰로서 넓게 분포하였다. 질소동위원소비에 근거한 질산염의 오염원 추정 결과를 그림 4에 도시하였다. 23개 분석 시료 중 15개 시료(65%)가 오수정화조나 분뇨에 의한 영향을 반영하였다. 질소동위원소 변화를 공간적으로 도시한 결과(그림 5), 역시 전반적으로 오수정화조나 분뇨의 영향이 광범위함을 확인하였다.



<그림 4> 연구지역 지표수와 지하수 내 질산염의 질소-산소 동위원소 조성과 기원 해석

결론적으로, 연구지역의 충적층 지하수는 충진과 더불어 인위적인 오염, 특히 오수정화조와 분뇨에 의한 오염의 영향을 강하게 받고 있음을 확인하였다. 암반 지하수는 대부분 물-암석반응의 영향을 강하게 반영하였으나, 지역적으로는 오염에 취약한 것으로 평가되었다. 향후에는 대수층 내에서의 질소계 오염물질의 변화(탈질 등)를 자세히 규명코자 한다.

### 3. 참고문헌

- 김경호, 2003, 천안 지역의 소규모 집수유역에 부존하는 천부 지하수의 수리지구화학 연구, 고려대학교 석사학위논문.
- A.J.P. Smolders, K.A. Hudson-Edwards, G. Van der Velde, J.G.M Roelofs, 2004, Controls on water chemistry of the Pilcomayo river, Bolivia, South-America, *Applied Geochemistry*, 19, pp.1745-1758.
- Alicia, F.C., Patricia Miretzky, 2004, Ionic relation: a tool for studying hydrogeochemical process in Pampean shallow lakes, Buenos Aires, Argentina, *Quaternary International*, 114, pp.113-121.
- Appelo, C.A.J., Postma, D., 1996, *GEOCHEMISTRY, GROUNDWATER AND POLLUTION*. A.A. Balkema. Rotterdam, Brookfield.
- Clark, I., Fritz, P., 1997, *Environmental isotopes in Hydrology*, Lewis, Boca Raton, New York.
- Hélène Pauwels, Henri Talbo, 2004, Nitrate concentration in wetlands: assessing the contribution of deeper groundwater from anions, *Water Research*, 38, pp.1019-1025.
- Min Joong-Hyuk, 2001, *The Origin and Behavior of Nitrate in Alluvial Aquifers, Nakdong River Basin, Korea: Hydrogeochemical and Isotopic Studies*, Ms. thesis, Korea University.
- Ph. Négrel, E. Petelet-Giraud, J. Barbier, E. Gautier, 2003, Surface water-groundwater interaction in an alluvial plain: Chemical and isotopic systematics, *Journal of Hydrology*, 277, pp.248-267.
- Teppi Fukada, Kevin M. Hiscock, Paul F. Dennis, 2004, A dual-isotope approach to the nitrogen hydrochemistry of an urban aquifer, *Applied Geochemistry*, 19, pp.709-719.
- W.M. Edmunds, J.J. Carrillo-Rivera, A. Cardona, 2002, Geochemical evolution of groundwater beneath Mexico city, *Journal of Hydrology*, 258, pp.1-24.
- W.M. Edmunds, P. Shand, P. Hart, R.S. Ward, 2003, The natural (baseline) quality of groundwater: a UK pilot study, *The Science of the Total Environment*, 310, pp.25-35.