

## 경안천변 충적지하수의 수리지구화학 연구: 하천변에서의 양수에 수반된 지하수 유동 및 수질 변화

전종욱<sup>1</sup>, 윤성택<sup>1</sup>, 권장순<sup>1</sup>, 윤성문<sup>1</sup>, 강정욱<sup>1</sup>, 한찬<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 고려대학교 지구환경과학과 및 천부지권환경연구실 (E-mail: styun@korea.ac.kr)

<sup>2</sup> 유신코퍼레이션

### 요 약 문

경안천변의 충적층 지하수를 대상으로 농업활동 및 양수에 수반된 지하수 오염과 수리적 변동에 따른 수리지구화학 변화를 연구하였다. 사행하는 경안천에 의해 넓게 형성된 충적층 지역에서는 사계절 비닐하우스 농업이 활발히 이루어지고 있으며, 이를 위해 강변에 설치된 대형 관정을 통하여 지하수를 대량 양수하고 있다. 이러한 상황은 여러모로 강변여과 현장과 흡사하다. 지하수 내 주요 용존 이온의 공간적 분포는 양수에 수반된 수리적 변동과 밀접한 상관관계를 나타내었다. 즉, 대단위 양수에 의하여 충적 지하수계로의 하천수 유입이 가속화되며, 이에 따른 희석 효과에 의해 충적 지하수의 질산염 농도가 감소하는 경향을 보여주었다.

**key words:** 사행천, 충적층 지하수, 농업활동, 양수, 질산염, 강변여과

### 1. 서론 및 연구지역 개관

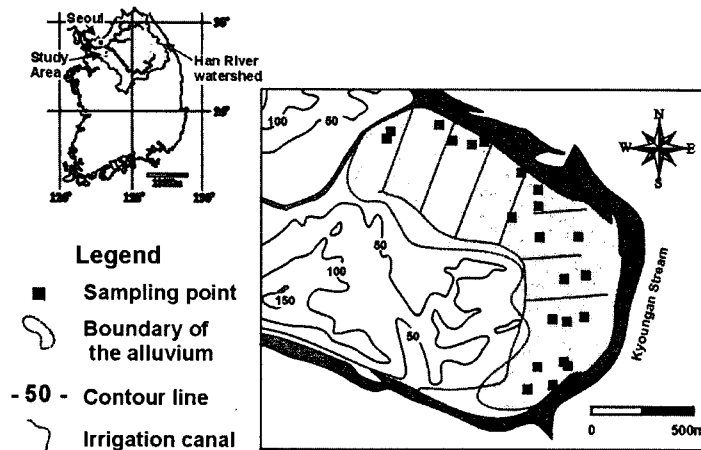
강변에 발달된 충적 대수층은 투수성이 좋고 지하수 부존량이 많아 강변여과 등 대규모 수자원 공급지로서 관심을 끌고 있다. 하지만 국내의 강변 충적층에서는 대부분 농업활동이 집중적으로 이루어지고 있어 비료와 분뇨에 의한 지하수 오염, 특히 질산염 오염이 나타나고 있다(Min et al., 2002; Chae et al., 2004). 아울러, 농수관개를 위한 과도한 양수에 의하여 지역적으로 지하수 고갈이나 수위 하강 등 수리적 변동이 야기되기도 한다.

본 연구는 한강 유역 경안천의 주변에 발달하는 충적층 분포지역에서 수행되었다. 경안천은 경기도 광주의 주요 하천으로서 남한강과 합류하여 팔당호에 유입된다. 연구 지역에는 사행하는 경안천에 의해 형성된 사주(point bar)가 넓게 분포하는데, 본 연구는 사행천 내측부의 충적층 분포 지역(면적 2.8km<sup>2</sup>)에서 수행되었다(그림 1). 이 지역의 대부분(약 95%)에서는 사계절 비닐하우스 농업이 대규모로 이루어지고 있으며, 이를 위하여 강변에 대형의 충적 관정을 설치하고 지하수를 대량 양수하고 있다. 충적 대수층은 주로 모래와 자갈로 구성되며 심도는 6-10m이다. 본 연구는, 1) 강변 충적층 지역에서의 하천과 충적 지하수 간의 수리적 연관성 파악, 2) 농업지역 충적층에서의 질산염의 거동 해석, 3) 강변에서의 양수에 의한 충적 지하수의 수리적 변화 규명 등을 목적으로 수행 중에 있다.

### 2. 결과 및 토의

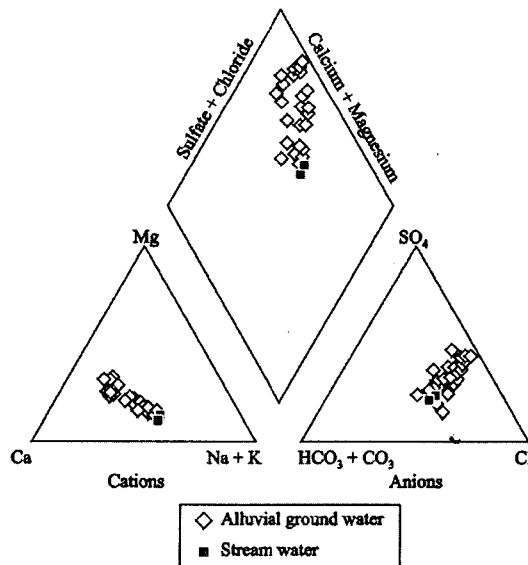
본 연구를 위하여 기존의 농업용 충적 관정 총 24개소를 선정하였다(그림 1). 현재까지 2004년 12월과 2005년 2월의 2회에 걸쳐 지하수위를 측정하였고, 수리지구화학 연구를 위하여 지하수의 채취 및 화학 분석을 실시하였다. 시료 채취는 대부분 6 m의 균일한 심도를 갖는 지하수 관정을 대상으로 실시하

였는데, 이는 동일한 층적 대수층 내에서의 수위 및 수질 변화를 보다 정확히 비교 고찰하기 위함이다.



<그림 1> 연구지역의 위치 및 시료채취 지점

수위 측정 결과, 층적지하수는 대부분 하천을 향하여 유동하고 있지만, 반대로 층적층을 향하여 하천수의 유입이 발생하는 구간이 두 지역에서 확인되었다. 하나는 연구 지역의 하부(상류부)로서 하천이 크게 곡류되면서 대수층을 향하여 하천수가 자연적으로 유입되는 지역이며, 또 다른 하나는 연구 지역의 상부(하류부)로서 하천변에 설치한 농업용 대형 관정에서의 양수에 의하여 하천수의 인위적인 유입이 발생하는 지역이었다.

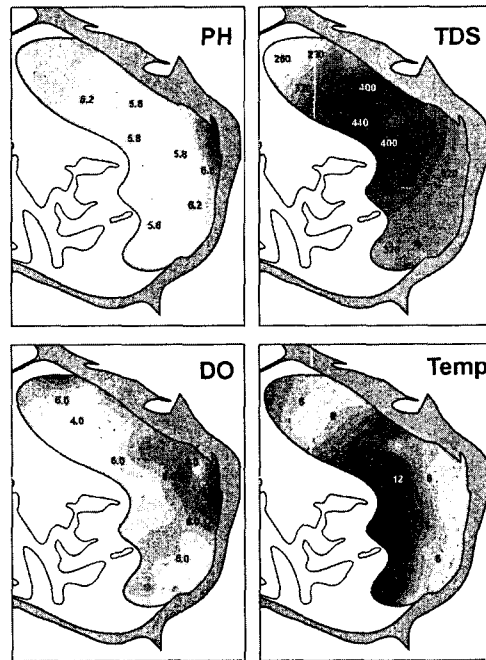


<그림 2> 연구지역 지하수 및 하천수의 수리지구화학 유형(파이퍼다이아그램)

이와 같은 특징적인 수리 환경에서 발생하는 하천수의 유입에 의하여 층적 지하수의 수리지구화학적 특성이 어떻게 변화하는지를 파악하고자, 주요 양/음이온 조성을 파이퍼다이아그램 상에 도시하였다(그림 2). 연구 지역의 하천수는 특징적으로 Na(Ca)-Cl 유형을 나타내었는데, 이는 전반적으로 생활하수의 유입 영향을 반영하는 것으로 보인다. 반면, 층적 지하수는 대부분 Ca-Cl(SO<sub>4</sub>) 유형을 나타내었으나, 지역적으로는 Na(Ca)-Cl 유형도 나타났다. Na(Ca)-Cl 유형의 층적 지하수는 대부분이 하천에 인접한 지역, 특히 하천수의 유입이 인지된 대량 양수 지역에서 나타났다.

한편, 연구지역 충적층 지하수의 수질은 Ca-Cl(SO<sub>4</sub>) 유형에서 Na(Ca)-Cl 유형을 향하여 연속적으로 변화되는 양상을 나타내었다(그림 2). 이러한 경향은 하천수와 충적 지하수와의 선형적 혼합이 이루어짐을 시사해준다. 앞서 기술한대로, 실제 하천에 근접할수록 하천수의 수리화학적 특성에 점차 가까워지는 경향을 나타내었다.

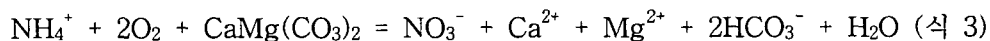
이러한 경향은 현장측정자료 및 일부 용존 이온의 공간적 분포를 통해서도 확인되었다. 수온 및 TDS의 분포를 보면, 연구지역 중앙부에서 높은 값을 나타내었다(그림 3). 즉, 높은 수온 및 높은 TDS(주로 농업활동에 의한 높은 질산염 농도에 기인)로 특징되는 전형적인 충적 지하수는 연구지역 중앙부에서 집중 산출됨이 확인되었다. 반면, 특히 연구 지역의 상류쪽 및 하류쪽에서는 하천변에 가까워질수록 수온 및 TDS는 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 하천수 유입량의 점진적 증가에 의한 결과로 해석된다. 반면, pH와 DO는 하천에 가까울수록 대체적으로 높은 값을 나타내었다(그림 3). 따라서 이들 현장측정 자료들은 연구 지역에서 하천수와 충적 지하수 간의 혼합 정도를 반영해주는 좋은 지시자로 사용될 수 있는 것으로 판단된다.



<그림 3> 연구지역 충적 지하수의 pH, TDS (mg/L), DO (mg/L), 수온 (°C) 분포

하천수와 충적 지하수 간의 상호작용을 재확인하고자 주요 용존 이온들의 공간적 분포 및 거동 양상을 통하여 고찰하여 보았다(그림 4). Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 농업활동 중 살포되는 질소계 또는 석회질 비료에서 용탈되는 대표적인 이온들인데, 이들은 전형적인 충적 지하수가 산출되는 연구 지역의 중앙부에서 명확히 높은 함량을 나타내었다.

한편, 이들 이온이 지하수계로 유입되는 과정은 다음과 같은 일련의 식으로 표현될 수 있다.

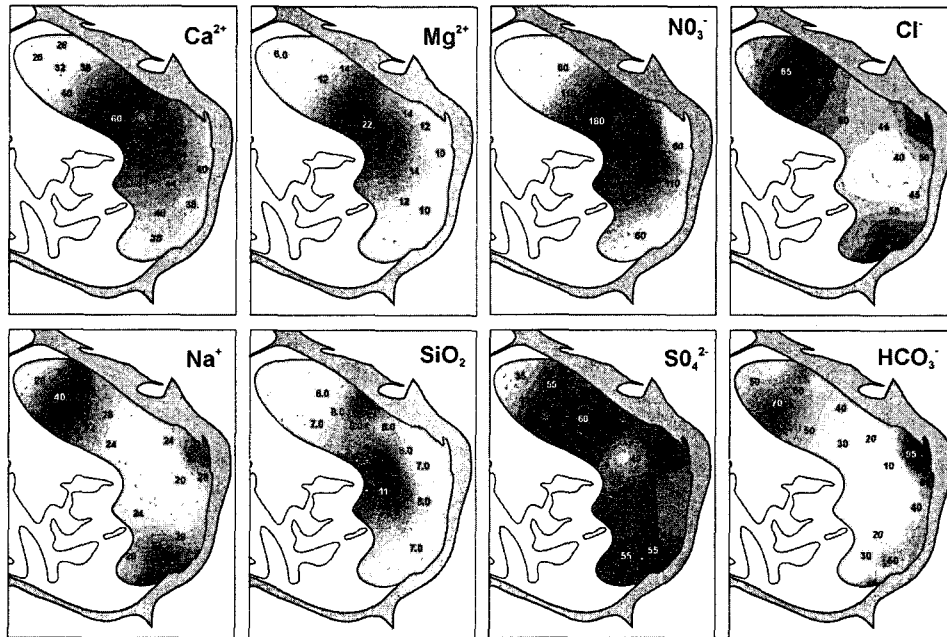


반면, Na<sup>+</sup>와 Cl<sup>-</sup>는 하천수의 유입이 뚜렷한 지역, 즉 연구지역의 상류 만곡부 및 하류부에서 뚜렷이 높은 함량을 나타내었다(그림 4).

결국, 본 지역에서는 자연적 및 양수 관련 인위적 원인에 의하여 지역적으로 하천수와 충적 지하

수 간의 혼합이 발생하고 있으며, 이러한 혼합은 수리지구화학적 자료들에 의하여 잘 반영되고 있음이 확인되었다. 이러한 연구 결과는 국내에서 활발히 진행되고 있는 강변여과시설 개발에도 적용될 수 있을 것이다.

앞으로, 용존 이온의 분포가 계절적으로 그리고 양수 행위의 변화에 따라 어떻게 변화하지를 정밀하게 해석코자 한다. 또한, 산소-수소 동위원소 분석 및 수리지구화학 모델링을 이용하여 하천수와 지하수의 동적 혼합 양상을 정량적으로 해석할 것이다. 아울러, 지구물리탐사를 통하여 충적 대수층의 특성과 지질구조를 파악하고, 모든 자료를 종합하여 충적 지하수의 충전 및 유동, 진화 경로, 하천의 흐름 및 유입 양상 등을 체계적으로 종합 규명할 계획이다.



<그림 4> 연구지역 충적 지하수의 주요 이온의 농도(단위: mg/L) 분포

### 3. 참고문헌

- 1) H. Pauwels, P. Lachassagne, P. Bordenave, 2001, Temporal variability of nitrate concentration in a schist aquifer and transfer to surface waters. *Appl. Geochem.* 16, 583-596.
- 2) B. Wett, H. Jarosch, K. Ingerle, 2002, Flood induced infiltration affecting a bank filtrate well at the River Enns, Austria. *Jour. Hydrol.* 266, 222-234.
- 3) J. Petry, C. Soulsby, I. A. Malcolm, 2002, Hydrological controls on nutrient concentration and fluxes in agricultural catchments. *Sci. Total Environ.* 294, 95-110.
- 4) Gi-Tak Chae, Kangjoo Kim, Seong-Taek Yun, Kyoung-Ho Kim, Soon-Oh Kim, Byoung-Young Choi, Hyung-Soo Kim, Chul Woo Rhee, 2004, Hydrogeochemistry of alluvial groundwaters in an agricultural area: an implication for groundwater contamination susceptibility, *Chemosphere* 55, 369-378.
- 5) Joong-Hyuk Min, Seong-Taek Yun, Kangjoo Kim, Hyung-Soo Kim, Jeongsang Hahn, Kwang-Sik Lee, 2002, Nitrate contamination of alluvial groundwaters in the Nakdong River basin, Korea, *Geosciences Jour.* 6, 35-46.