

부여지역 충적층 지하수의 수리지구화학 특성에 관한 예비 연구 : 수리환경 변화와 환원대(reducing zone)의 이동

채기탁, 윤성택, 김경호, 김형수*, 김강주**, 이철우***

고려대학교 지구환경과학과, *수자원연구소, **군산대학교 환경공학과, ***충북대학교 지구환경과학과
(styun@korea.ac.kr)

충청남도 부여읍 군수리 일대에 넓게 분포하는 강변 충적층 지역의 천부지하수를 대상으로 2001년 9월부터 11월에 걸쳐 지하수 시료(31개소)를 채취하고, 수리지구화학 연구를 수행하였다(Fig. 1). 연구지역 충적층에서는 오래 전부터 농업활동이 활발하고 인구가 밀집되어 지하수 사용량이 많으며, 이에 따라 지하수 오염이 예상되었다. 연구 지역에는 금강 본류가 사행(meandering)하면서 강변을 따라 대규모 충적층이 발달하고 있다. 일반적으로, 사행하는 하천은 나선형 유동(helical flow)을 수반하여 볼록한(convex) 측부에 대규모 충적층을 발달시키며, 이 충적층 단면에서는 특징적으로 상부쪽으로 갈수록 입도가 증가하는 층서를 나타낸다(Fig. 2). 또한, 사행부의 말미 부분에서는 유속이 감소되면서 미립의 퇴적물이 집적된다.

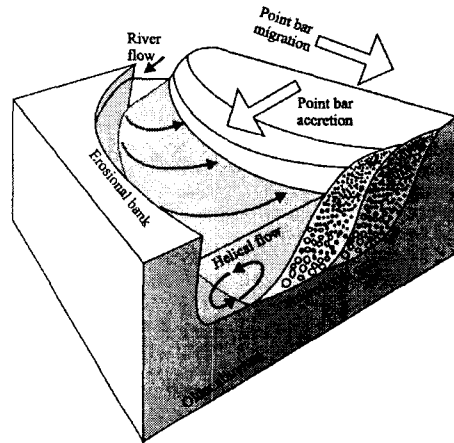


Fig. 2. General water flow in meandering river

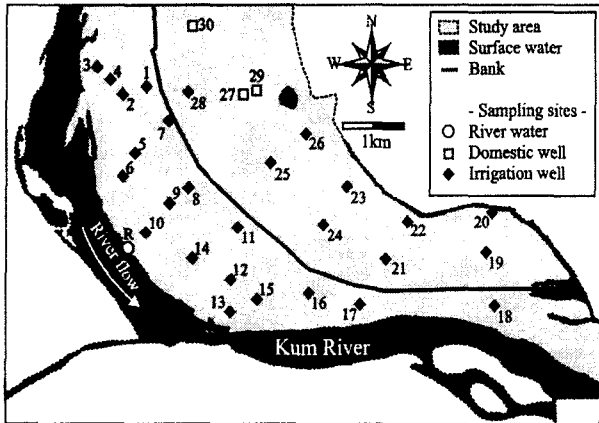


Fig. 1. Location and sampling sites of the study area

연구지역에 고르게 분포하는 31개 시료채취지점에서는 수위 측정과 함께 양·음이온 및 산소-수소 동위원소 분석용 시료를 채취하였다. 연구지역의 지하수위 분포는 진행중인 농업활동에 의해 부분적으로 교란되어 나타나고 있으나, 대체로 상류 지역인 부여읍 일대에서 높은 수위분포

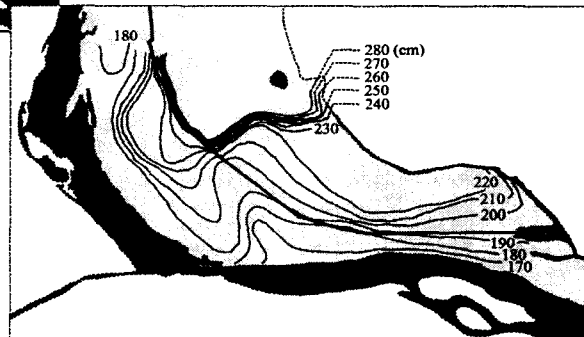


Fig. 3. Contours of the groundwater level (cm, a.s.l.) in the study area

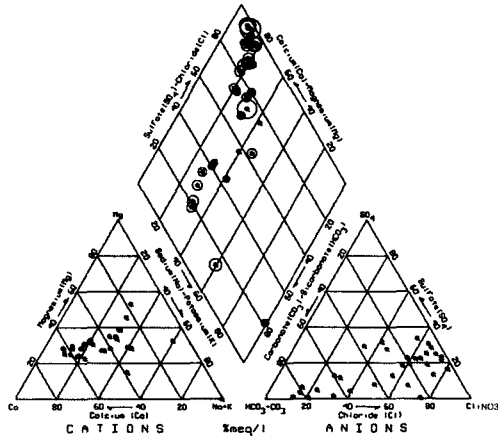


Fig. 4 Piper's diagram

를 나타내고, 또한 강의 방향과 평행하게 등수위선이 분포하였다(Fig. 3). 따라서, 지하수 유동은 전반적으로 금강에 수직되는 방향이 우세한 것으로 판단된다.

지하수의 수질 유형은 Ca-HCO₃ 유형에서 Ca-SO₄(-NO₃) 유형에 걸쳐 다양하게 분포한다(Fig. 4). 전체 시료의 48%에서는 국내 먹는물 수질기준의 질산성질소(NO₃-N) 함량을 초과하였고, 35%에서는 철 함량을 초과하였다. 따라서, 대체적으로 상당히 지하수 오염이 진행되었다고 보여진다.

수질 자료에 대하여 다변량 통계 분석인 군집분석을 수행한 결과, 연구지역의 지하수는 모두 4개의 그룹으로 나뉘어졌다(Fig. 5). 그룹 I은 주로 TDS, Eh, DO가 높고, Ca, SO₄, NO₃ 이온의 함량이 높으며,

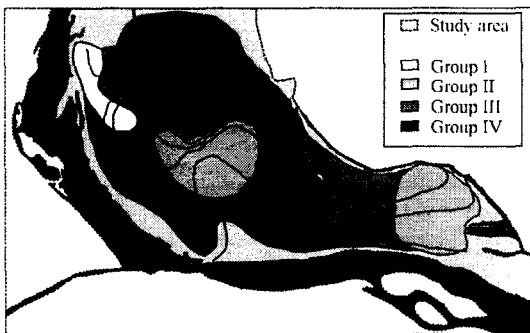


Fig. 6. Distribution of each group water classified by cluster analysis

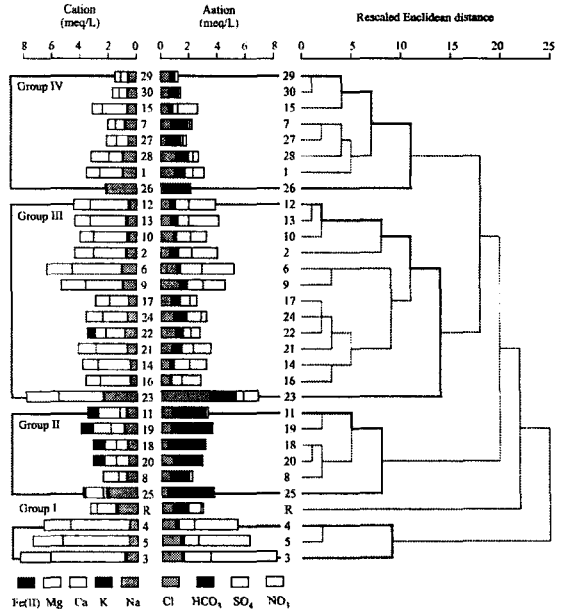


Fig. 5. The results of cluster analysis and the balanced milli-equivalent concentration of constituents

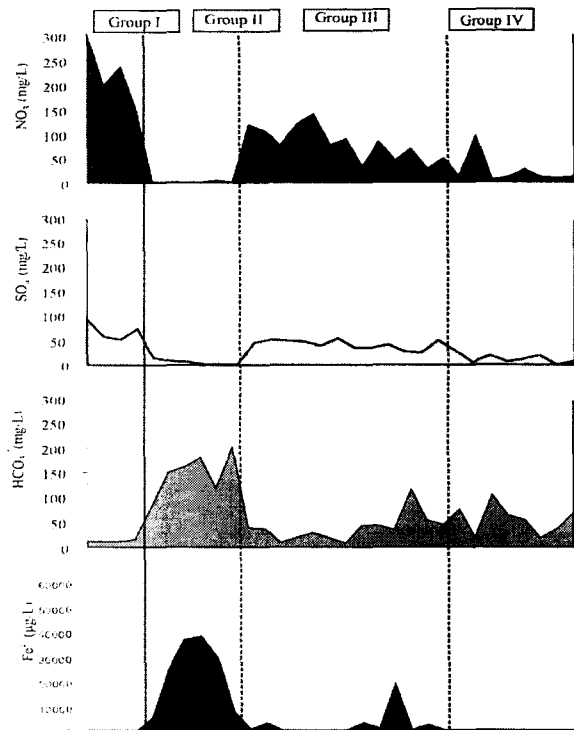


Fig. 7. Change of the concentrations of some redox-sensitive species in the studied groundwaters

특징적으로 사행천 변에 위치하고 있다(Fig. 6). 그룹 II는 높은 pH, DOC, Na, SiO₂, HCO₃ 함량과 더불어 높은 total Fe 및 용존 철이온(Fe²⁺) 함량으로 특징된다. 그룹 II의 시료들은 특징적으로 연구 지역의 중앙부와 사행천의 말미 부분에 위치하고 있다. 그룹 III에는 채수된 시료의 대다수(13개)가 포함되어 연구지역의 지하수 수질을 대표하고 있는 것으로 판단되며, TDS와 NO₃의 농도가 비교적 높게 나타나고 있다. 그룹 IV의 시료들은 특징적으로 낮은 TDS를 나타내며, 특징적으로 높은 지하수위 분포를 나타내는 지역에 위치하고 있다. 따라서, 그룹 IV는 본 연구지역에서 충전되는 지하수 또는 기저 유동을 대표하는 것으로 판단된다.

산화환원 반응에 관여하는 이온종들의 분포 특성을 각 수질 그룹별로 나누어 도시하고(Fig. 7), 그 경향으로부터 그룹별 지하수의 수질 지배 요인과 수리화학적 진화 특성을 아래와 같이 해석하였다. 나아가, 그 변화 요인을 지질학적인 퇴적환경의 관점에서 논의해 본다.

그룹 I 과 III의 시료들은 특징적으로 높은 NO₃ 함량을 가지며, 농업활동이 활발한 지역에 집중 분포하고 있다. 즉, 이 지역에서는 경작 주기가 빠른 밭농사가 주로 행해지며, 이에 따라 질소 비료 투입량이 높다. 그러므로, 이 지역 지하수의 질산성질소에 의한 오염은 주로 농업활동과 관련되는 것으로 판단된다.

그룹 II에서는 특징적으로 NO₃ 함량이 감소하며, 반면 낮은 DO 및 Eh 값과 함께 높은 HCO₃와 DOC 함량을 나타내었다. 따라서, 그룹 II의 지하수 분포지역에서는 비교적 높은 함량의 유기탄소의 산화에 수반되어 탈질(denitrification) 반응이 특징적으로 발생하고 있음을 알 수 있다. 일반적으로, 유기물의 산화에 의해 발생하는 환원 반응에 수반되어 지하수 내의 산화제인 용존산소가 우선적으로 제거되며 곧 이어 탈질 반응이 일어난다. 아울러, 환원상태가 지속됨에 따라 계속하여 철의 환원반응도 이어져 용존 철(II)의 함량이 증가된다. 그러므로, DO 및 NO₃의 함량이 적고 Fe²⁺ 함량이 높은 그룹 II의 시료들이 특징적으로 분포하는 지역은 탈질 반응 및 철의 환원 반응까지도 유발할 수 있는 환원대(reducing zone)에 해당되는 것으로 판단된다. 한편, 그룹 II에 속하는 시료들은 사행천 말미부 외에도 일부는 충적층 복판(중앙부)에서도 산출되었다(Fig. 6). 이 지역의 지하 대수층에는 세립질의 퇴적물과 더불어 유기물의 집적이 우세한 것으로 예상되며, 따라서 이 곳(충적층 중앙부)은 고환경(과거의 퇴적환경) 측면에서 보면 사행천의 말미에 해당되었으리라는 가설을 제시한다.

지질학적 관점(특히, 하천 주변 퇴적환경의 관점)과 관련지어 충적층 지하수의 수리화학(수질) 특성 변화를 해석한 본 연구의 예비 결과(가설)를 증명하기 위하여, 올해에는 지구물리 탐사 및 시추 확인에 의한 충적층 물성 정밀 조사를 추가 시행할 예정이다. 아울러, 질소의 기원과 탈질 반응을 정량적·과학적으로 입증하기 위하여 질소동위원소 분석 연구 등 지구화학적 연구를 추가 수행할 것이다.

본 예비연구결과는 충적층 지하수의 개발 이용에 있어 지질학적 관점의 적용이 필수적인 기반기술로 활용되어야 함을 명확히 보여주고 있다. 본 연구진은 국내 처음으로 강변 충적층 지하수를 대상으로 하여 관련 전공 분야(수리지질, 수리지구화학, 지구물리, 퇴적학) 간의 협력 연구, 즉 통합 연구(integrated study)를 시도하고 있다. 본 연구 프로젝트가 성공적으로 완료되면, 국내에 부존하는 충적층 지하수계의 수리지질 및 수리화학 특성이 보다 명확하고도 체계적으로 해석될 수 있을 것으로 기대된다. 나아가, 본 연구 성과는 강변 여과 및 충적 지하댐 등 최근에 부각되고 있는 새로운 수자원 확보 기술의 성공적 수행을 위하여 중요한 기여를 하게 될 것이다.