

## 서해 연안 지역 지하수의 수리지구화학 특성: 해수침투 현황에 대한 광역 조사 연구

박세창 · 윤성택\* · 김동일 · 이상규 · 이승구

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

### 요 약 문

서해 연안 지역 지하수의 해수 침투 현황을 광역적으로 파악하기 위하여 수리지구화학 연구를 수행하였다. 시료 채취는 주요 수계별로 구분하여 해안선으로부터 10 km 이내인 곳에 위치하는 기존 지하수 관정을 이용하여 수행하였으며, 채취된 총 시료수는 265개이다.

채취된 시료의 물리화학 분석 자료는 매우 넓은 분포를 보여주는데(예: TDS 함량 = 68-29,995 mg/l, Cl = 3.5-16,926 mg/l, NO<sub>3</sub> = 0-218 mg/l, SO<sub>4</sub> = 0-1,928 mg/l), 이는 지역에 따라 다양한 수질 변화 요인(수/암 반응, 인위적 오염, 해수 침투 등)이 복잡하게 작용한 결과이다. 복잡한 지구화학 자료의 배경치 설정 및 다중 요인 추출을 위하여 제안된 Sinclair(1974)의 방법을 활용하여, 인위적 오염 요인을 제외하고 자연적 요인(즉 수/암 반응)에 의해서만 조절될 수 있는 주요 원소별 함량의 최대값(문턱값)을 구하였다. 그 값은 오염에 민감한 수질인자인 경우, Cl = 34.7 mg/l, NO<sub>3</sub> = 38.9 mg/l, SO<sub>4</sub> = 11.2 mg/l이다. 이 값들은 단순한 도수분포도 상에서 찾아질 수 있는 값과 대체로 일치하였으며, 따라서 이 값을 기준으로 하여 일단 오염을 받지 않은 물(비오염군)과 해수 침투 및 인위적 오염원에 의한 오염을 받은 물(오염군)을 구분하였다. 취득된 모든 수질 분석 자료를 Piper's diagram에 도시한 결과, 다양한 수질 유형을 보여주었다. 각 유형에 속하는 시료들의 상대 빈도는 Ca-HCO<sub>3</sub> 유형 34%, Ca-Cl 유형 49%, Na-HCO<sub>3</sub> 유형 4%, Na-Cl 유형 14%이다.

Ca-HCO<sub>3</sub> 유형의 물 중에는 오염 영향이 없다고 판단되는 시료가 전체의 약 41%, 오염 영향이 인지되는 시료가 60%를 차지한다. 오염 영향이 없는 Ca-HCO<sub>3</sub> 유형의 시료 중에서 일부 심부 지하수는 높은 TDS 함량(600-800 mg/l)을 나타내는데, 이들 시료의 수질 자료는 수/암 반응에 의한 HCO<sub>3</sub> 농도 증가가 그 주요 원인임을 지시한다.

가장 많은 산출 빈도를 나타내는 Ca-Cl 유형의 물 중에는 오염 영향이 없다고 판단되는 시료가 전체의 12%에 지나지 않는 반면, 오염을 받은 물이 88%를 차지하였다. 특히, 오염 영향이 나타나는 이 유형의 지하수에서는 Cl, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>의 농도가 크게 나타나는데, 이는 해수침투 및 인위적 오염원(비료, 분뇨 등)의 영향 때문이다. NO<sub>3</sub>의 농도가 45-199 mg/l로 높은 시료들은 인위적 오염원의 영향 때문이며, 이들의 TDS 값은 600 mg/l 이하이고, 심도는

대체로 30 m 이하이다. 반면, 해수 침투의 영향을 강하게 시사하는 시료들은 높은 TDS(>600 mg/l) 및 Cl 함량(>200 mg/l), 0.8 이하의 Na/Cl 몰비, 2 이상의 Ca/Mg 몰비로 구분될 수 있음을 확인하였다. 이들 시료들의 수질 특성은 Na-Ca 양이온 교환 반응으로 설명될 수 있다. 해수의 영향이 강하게 나타나는 시료들은 대부분 해안선에 가깝게(1 km 이내) 위치하고, 지하수공의 깊이가 비교적 얕다(10-50 m). 그러나, 해안선으로부터 1 km 이상인 곳에서도 50 m 이상의 심도를 갖는 경우에 일부 해수침투의 영향이 인지되는 반면, 해안선에 매우 근접(300 m 이내)하면서도 80-200 m의 심도를 갖는 극히 일부의 관정에서는 해수 침투의 영향이 전혀 인지되지 않았다. 이러한 경향은 해수 침투 경로가 이방성 지질구조에 지배됨을 명확히 시사하는 것이다.

Na-HCO<sub>3</sub> 유형의 지하수 시료 중 오염 영향이 나타나지 않는 물은 특징적으로 높은 HCO<sub>3</sub> 함량과 낮은 NO<sub>3</sub> 함량을 보여주는데, 이들의 수질 특성은 수/암 반응과 이온교환반응으로 설명될 수 있다.

전체 시료의 14%를 차지하는 Na-Cl 유형의 시료 중에는 오염 영향을 받지 않은 것이 25%, 오염을 받은 물이 75%를 차지하였다. 이 중 비오염군에 속하는 물들은 낮은 TDS 값을 보여주는 것으로 볼 때, 직접적인 해수 침투가 아닌 해무(sea spray)의 영향을 받은 빗물의 침투를 시사하는 것으로 판단된다. 오염군에 속하는 물들은 다시 1) 해무 영향 후 인위적 오염물질(NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>)의 유입 영향을 받은 군집, 2) 해수 침투의 영향을 강하게 받은 군집으로 분류할 수 있다. 강한 해수 침투를 반영하는 후자의 시료들은 대체적으로 높은 TDS 함량(500-29,995 mg/l)과 높은 Na, K, Cl, SO<sub>4</sub> 함량 및 0.7-1의 Na/Cl 몰비를 가진다. 이들은 대체적으로 해안선으로부터의 거리가 가까울수록 지하수 심도가 비교적 얕고, 멀어질수록 깊은 심도를 나타낸다. 특히, TDS 값이 2,000 mg/l 이상으로서 매우 강한 해수 침투 영향을 시사하는 지하수는 동시에 1 이하의 Ca/Mg 몰비와 200 mg/l 이상의 HCO<sub>3</sub> 함량을 나타내어 해수 영향은 물론 상당한 정도의 수/암 반응을 받은 것으로 해석되었다.

본 연구 결과, 서해안 지역 지하수의 수질 특성은 다양한 요인에 의해 지배됨을 확인하였으며, 이들 요인들을 구분해 낼 수 있는 국내 실정에 맞는 적절한 파라미터들을 제시하여 보았다. 특히, 해수 침투 영향을 받은 지하수의 수질 특성을 오염 영향에 의한 지하수 수질 및 상당한 수/암 반응에 기인한 지하수 수질과 구분해낼 수 있는 지화학 기법들의 가능성에 대하여 검토하였다. 그러나, 보다 정확한 해석을 도출하기 위해서는 더 많은 자료의 수집과 해석이 필요한 것으로 판단되며, 현재 이를 위한 추가 조사를 진행하고 있다. 더 많은 자료의 축적과 더불어 수리지구화학 모델링과 지구통계학적 해석 및 mapping을 통한 공간적 해석을 통하여 서해안 지역 해수 침투에 관한 보다 신뢰성 있는 연구 자료가 도출될 수 있을 것으로 기대된다.

## 사사

본 연구는 1999년 중점국가연구개발사업의 위탁연구로 수행되었기에 이에 감사드린다.