

## 남해 동부 연안 지역 지하수의 수리지구화학적 연구: 해수침투에 대한 고찰

신광섭, 윤성택, 허철호, 이상규\*

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

\*한국지질자원연구원

### 요 약 문

남해 동부 연안 지역 지하수의 해수 침투 영향을 광역적으로 파악하기 위하여, 202개소의 지하수 시료를 채취하고 수리지구화학적 연구를 수행하였다.

전체 시료 중 14.4%가 500  $\mu\text{m}/\text{cm}$ 을 초과하는 높은 EC값을 나타내어 해수 영향을 시사해 주었다. 해수 영향 판단의 또 다른 파라미터로 사용되는  $\text{Cl}/\text{HCO}_3$  몰비는 전체 시료의 23.3%가 1.3 이상의 값을 나타내었다. 한편, 대표적으로 해수침투 영향 및 인위적 오염의 영향을 각각 반영하는 것으로 알려진  $\text{Cl}$ 과  $\text{NO}_3$ 의 농도에 관한 누적도수분포도를 작성하여 배경수질군과 오염영향군을 구분짓는 배경치(background concentration)를 구한 결과, 각각  $\text{Cl} = 22.3 \text{ mg/l}$  및  $\text{NO}_3 = 23.1 \text{ mg/l}$ 로 나타났다. 이 두 파라미터의 농도 분포를 기준으로하여 채취된 지하수 시료를 크게 4개의 그룹으로 나눌 수 있었다. 그 결과, 자연적 또는 인위적 기원의 오염이 배제된 그룹 1은 전체 시료의 31%, 자연적 오염(해수 영향)을 반영하는 그룹 2는 전체의 24%, 인위적 오염의 영향을 반영하는 그룹 3은 전체의 9%, 해수 영향 및 인위적 오염을 동시에 반영하는 그룹 4는 전체의 36%로 나타났다. 또한 그룹2와 그룹4는 대부분 Na-Cl유형으로 진화하는 Ca-Cl유형을 나타내었다. 따라서, 여러 지구화학 방법에 의한 해수 영향 판단 결과는 서로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 결국, 지구화학적 파라미터를 종합적으로 활용함으로써, 연안 지역 해수침투의 효과적인 파악은 물론 예측 및 방지, 복구에 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

**key words** : 연안지하수, 해수침투, 인위적 오염, 수리지구화학

### 1. 서론

취수원의 대부분을 차지하던 지표수의 급격한 수질 악화와 더불어 다양한 수자원의 확보에 대한 사회적 관심이 고조되고 있으며, 이에 부응하여 지표수에 비하여 수량과 수질측면에서 보다 안정적인 지하수의 이용이 더욱 활발해지고 있다. 그러나, 비과학적이고 무분별한 지하수 이용의 현저한 증가와 더불어 여러 유형의 질적 변화(오염)가 나타나고 있어, '지속가능한' 지하수 개발 이용을 위한 체계적인 조사 연구의 필요성이 대두되었다. 지하수의 질적 변화 중 연안 지역 지하수의 염수화(salinization)는 가장 보편적인 자연재해의 하나로 간주되어 왔으며, 최근 지하수의 이용량 증가와 함께 중요한 환경문제로 부각되고 있다. 우리나라 남해 동부 연안 지역 역시 인구밀도가 높고 농업 및 공업활동이 활발한 지역으로서 다량의 지하수 이용에 따른 자연수위 강하와 더불어 내륙의 담수 지하수계로 해수가 유입될 가능성을 내포하고 있다.

이에, 본 연구에서는 남해 동부 연안 지역의 해수침투 현황을 광역적으로 파악하기 위하여, 이 지역에 부존하는 기존 관정 지하수를 대상으로 수리지구화학적 특성 규명 연구를 수행하였다.

## 2. 시료 채취 및 분석

'남해 동부 연안 지하수의 해수침투 현황을 광역적으로 파악'하기 위한 연구목적을 달성하기 위하여, 해안선으로부터 10 km 이내에 위치하는 기존 우물 202개소에서 지하수 시료를 채취하였다(그림 1). 시료 채취 위치의 선정에 있어서는 'random sampling method'를 사용하여 채취된 지하수들이 전반적으로 광역적 특성을 반영할 수 있도록 하였다.

시료 채취는 충분한 양의 양수 이후에 이루어졌다. 현장에서는 기본수질항목인 온도, pH, Eh, EC와 알칼리도를 측정하였다. 실내분석용 시료는 0.45  $\mu\text{m}$  membrane filter로 여과한 후 HDPE 용기에 담았다. 양이온 분석용 시료에는 산처리를 하였으며, 모든 시료는 저온 상태에서 실험실까지 운반하였다. 양이온 분석의 경우 ICP-AES, 음이온 분석의 경우 IC로 수행하였으며, 공시료, 중복시료, 표준시료 등을 이용하여 수질 자료의 철저한 정도 관리(QA/QC)를 행하였다.

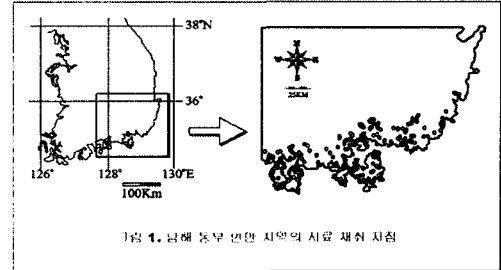


그림 1. 남해 동부 연안 지역의 시료 채취 지점

## 3. 연구 결과: 해수 침투 현황 해석

### 1) EC 자료의 활용

일반적으로 지하수의 EC(전기전도도) 값은 수-암 반응의 정도와 그를 반영하는 지하수 심도에 따라 증가하는 것으로 알려져 있으며, 인위적 오염이나 해수(약 35000  $\mu\text{s}/\text{cm}$ )의 혼입에 의해서도 증가하게 된다. 따라서, 해수 침투 현황 파악의 손쉬운 수단으로 활용된다. 본 연구 대상 지하수 시료의 14.4%는 500  $\mu\text{s}/\text{cm}$  이상의 높은 EC값을 나타내고 있는 바, 대체적으로 이 정도의 비율로 해수 침투 영향을 반영하는 것으로 판단된다(그림 2).

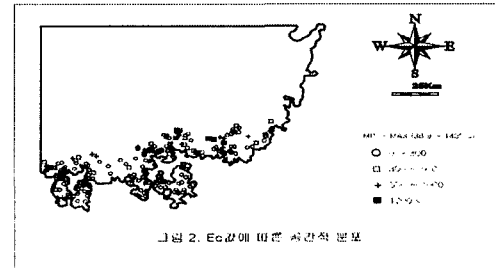


그림 2. EC값에 따른 지점별 분포

### 2) Cl/HCO<sub>3</sub> 몰비의 활용

지하수 시료 내 Cl/HCO<sub>3</sub> 몰비 역시 해수 영향 판단의 효과적인 파라미터로 활용되어 왔다. Revelle(1941)에 의하면, 그 비가 0.5 이하이면 해수 영향이 전혀 없고, 0.5~1.3인 경우 약간 문제가 되며, 1.3~2.8인 경우 보통정도의 오염을, 2.8~6.6인 경우 심한 정도의 오염을, 6.6 이상인 경우 매우 심한 정도의 해수 영향을 받은 것으로 판단할 수 있다. 본 연구 지역의 경우, 2.8 이상의 몰비를 나타낸 시료는 전체의 8%를 차지하는 것으로 나타났다(표 1).

Cl/HCO <sub>3</sub> Ratio	N=202(100%)	Interpretation
Below 0.5	61samples(30%)	None of Seawater Intrusion
0.5 ~ 1.3	94samples(47%)	A little Impact
1.3 ~ 2.8	30samples(15%)	Common Impact
2.8 ~ 6.6	13samples(6%)	Serious Impact
Above 2.8	4samples(2%)	Very Serious Impact

표 1. Cl/HCO<sub>3</sub> ratio (Revelle, 1941)에 따른 해수 오염 정도

### 3) 농도 분포의 해석: 수질 그룹의 구분

Sinclair(1974)는 다양한 기원에 의해 영향을 받은 지구화학 자료로부터 배경값을 추출하는 객관적인 방법을 제안한 바 있다. 실제로, 상이한 두 기원에 의해 영향을 받은 지하화학 데이터 군집에 대하여 도수분포도를 작성하게 되면, 최빈수가 2개 있는 bimodal한 분포 형태를 나타내게 된다. biomodal한 군집 분포에 있어 각 군집의 구분 경계는 문턱값(threshold; 배경치의 최대값)으로 표현된다. 이 경우, 누적도수분포도를 작성하게 되면 S형 곡선이 나타나게 되며, 그 변곡점은 문턱값에 일치하게 된다.

본 연구에서는 무기이온항목 중 각각 해수 영향과 인위적 오염 영향을 대표적으로 반영해주는 Cl과 NO<sub>3</sub>의 농도 분포를 활용하여 이들 영향을 구분해낼 수 있는 문턱값을 산출하였다.

그 결과, 배경수질군과 오염영향군(해수 영향 및 인위적 오염을 내포하고 있는 시료 군집)을 구분하는데 활용될 수 있는 문턱값은 Cl의 경우 22.3 mg/l, NO<sub>3</sub>의 경우 23.1 mg/l로 도출되었다(그림 3).

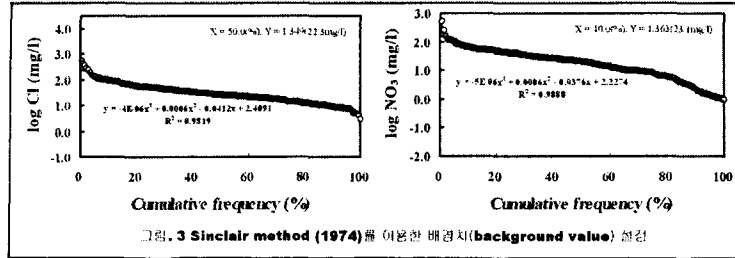


그림. 3 Sinclair method (1974)를 이용한 배경치(background value) 선정

이 문턱값을 활용하여 총202개의 분석 시료를 4개의 수질그룹으로 구분하였다(그림 4). 그룹 1은 자연적 오염(주로 해수 영향) 및 인위적 오염의 영향 모두를 받지 않은 소위 '배경수질군'이며, 그룹 2는 주로 해수의 영향을 받은 그룹, 그룹 3은 주로 인위적 오염의 영향을 받은 그룹, 그룹 4는 자연적 및 인위적 오염의 영향을 함께 반영하는 그룹으로 해석할 수 있다. 각 그룹에 속하는 지하수 시료는 각각 31%, 24%, 9%, 36%로 나타났다. 이러한 비율은 기존의 남부 서해 연안 지역 연구와 비교해볼 때 그룹2는 약10%증가한 반면, 그룹4는 약10%가 감소한 것으로 나타났다.

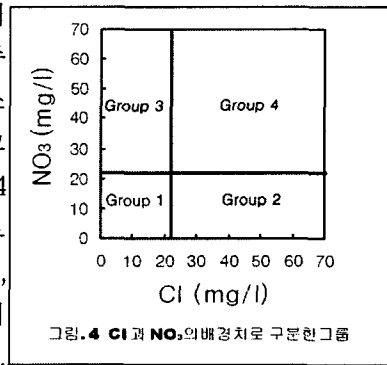
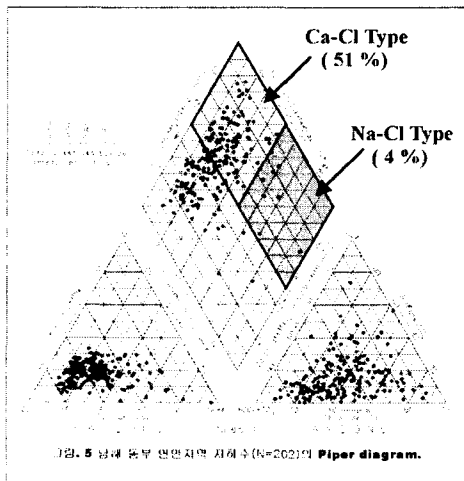


그림. 4 Cl과 NO<sub>3</sub>의배경치로 구분한 그룹

4) 농도 분포의 해석: Piper diagram의 해석

한편, Piper diagram 상에서 Na-Cl 유형의 수질 특성을 나타내는 시료들은 인위적 오염의 영향 뿐 아니라 해수 영향을 보다 강하게 반영한다고 판단할 수 있다. 전체 시료(202개) 중 Na-Cl 유형에 속하는 시료의 비율은 전체의 약4%로 그렇게 큰 비율을 차지하고 있지는 않지만, 해수침투에 의한 지하수의 진화단계에서 Na-Cl 유형 이전의 유형인 Ca-Cl 유형이 전체의 약 51%를 차지하고 있다(그림 5, 6).



1) 남해 동부 연안지역 지하수 (N=202)의 Piper diagram.

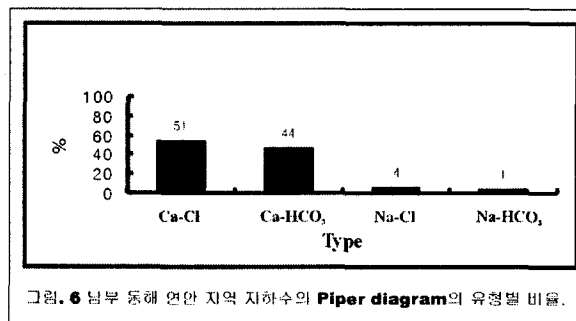


그림. 6 남해 동부 연안 지역 지하수의 Piper diagram의 유형별 비율.

4. 결론

남해 동부 연안 지역(해안선으로부터 10 km 이내)의 202개 우물 지하수 시료에 대한 수리지화학 연구 결과, EC값이 500  $\mu\text{m}/\text{cm}$  이상으로서 해수 혼입의 가능성을 지시하는 시료는 전체의 14.4%를 차지하고 있었으며, Revelle(1941)의 해수오염기준에 의거한 “심한”정도의 해수 오염

을 지시하는 시료는 전체의 약8%를 차지하고 있었다. 한편, Sinclair(1974) method를 통해 산출된 배경치에 근거하여 4개의 그룹중 해수의 영향을 받은 2그룹의 비율은 전체시료 중 약 24%를 차지하고 있었다. 수질 유형을 파악하기 위한 piper diagram의 유형은 해수혼입을 시사하는 Na-Cl 유형과 Ca-Cl 유형에 속하는 시료는 전체의 약 55%가 가량을 차지하는 비교적 높은 비율을 나타내었다. 광역적인 해수 영향 해석에 있어 수리지구화학적 자료, 특히 여러 지화학 파라미터를 활용한 해석은 활용성이 매우 높음을 확인할 수 있었다.

## 5. 참고문헌

R. Revelle, 1941, Criteria for Recognition of Sea water in Groundwaters: Trans. Amer. Geophysical Union, Vol. 22, p.593-597.

Sinclair, 1976, Application of Probability Graphs in Mineral Exploration. Association of Exploration Geochemists, Rexdale, Ont., p.95.