

# 영광 해안지역 염수지하수의 수질 및 안정동위원소 특성연구

\*지세정<sup>1)</sup> · 장호완<sup>2)</sup> · 김낙현<sup>2)</sup> · 김통권<sup>1)</sup> · 윤 욱<sup>1)</sup>

## 1. 서론

임해지역의 도시팽창과 산업화는 각종 용수공급을 위해 지하수의 양수할 경우 해수침투로 인한 지하수의 염수화를 야기 시켜, 지하수의 해수기원의 성분에 대해 농도변화에 의해 식수나 관개용수로의 지하수 사용에 부적합한 사례들이 이미 밝혀진 바 있다(Barker et al., 1998; Bear et al., 1999). 임해지역에서 해수침투의 영향에 대한 저감화를 위해 지하수의 수리지질학적 및 수리지구화학적 연구가 요구된다. 전남 영광군 백수읍 임해지역에 담수-해수의 전이대(transitional zone)에 속하고 있으며, 지하수 대수층에는 염수지하수가 넓게 분포되어 있다. 대부분 지하수 관정은 생활용수 및 농업용수로 사용되고 있으며, 심도는 30~40m 이하로서 대수층은 주로 점토층 및 사질층 등이 교호하는 층적층이다. 조사지역에 분포된 염수지하수의 수질 및 대수층의 지화학적 특성과 염분의 기원을 규명하고, 염수지하수 분포대의 변화를 파악하기 위하여 68개의 지하수 관정을 대상으로 2001년~2002년 사이에 5회에 걸쳐 천층 지하수 시료를 채취하였으며, 주요 양이온, 음이온 그리고 수소, 산소, 탄소 및 황 안정동위원소 성분을 분석을 수행하였다.

## 2. 연구방법

조사지역 지하수를  $Cl^-$  농도에 따라 담수, 기수 및 염수 지하수로 분류하여 수질의 지화학적 특성 및 진화과정을 규명하고, 해수에서 공급되는 비활성 원소들을 대상으로 지화학 파라미터 활용 및 수소, 탄소, 산소 황 안정동위원소 실험을 통하여 염수지하수내 염분의 기원 및 담수-해수 혼합작용과 지하수 대수층에 대한 물리·화학적 환경을 고찰하였다. 그리고 해수침투 분포대의 변화를 야기시키는 요인을 밝히기 위해 장기적 수질 및 산소안정동위원소 값의 변화를 통하여 관찰하였다.

## 3. 본 론

조사지역 지하수를  $Cl^-$  농도에 따라 담수(fresh water,  $<200mg/L$ ), 기수(brackish water,

200~1,000mg/L) 및 염수(salt water>1,000mg/L) 지하수로 구분하면, 담수지하수가 약 59%를 차지하며, 기수 및 염수지하수는 41%로 조사지역 중앙부인 상사리와 지산리 지역에 포켓 형태로 분포하고 있다. 수질은  $\text{Na}^+-\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+-\text{Cl}^--\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+-\text{Mg}^{2+}-\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+-\text{Cl}^--\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}-\text{Na}^+-\text{Cl}^- - \text{HCO}_3^-$  등 5개 유형으로 분류되나, 그 중에서  $\text{Na}^+-\text{Cl}^-$  및  $\text{Na}^+-\text{Cl}^--\text{HCO}_3^-$  유형의 지하수가 가장 우세하게 나타난다(Fig.1). 비교적 고지형 주위에 분포된 담수지하수는  $\text{Ca}^{2+}-\text{Na}^+-\text{Cl}^- - \text{HCO}_3^-$  유형의 특성을 보이거나, 해수기원 성분의 영향에 따라서  $\text{Na}^+-\text{Cl}^--\text{HCO}_3^-$  및  $\text{Na}^+-\text{Cl}^-$  유형으로 진화되는 임해지역 지하수의 수질특성을 잘 반영하고 있다.

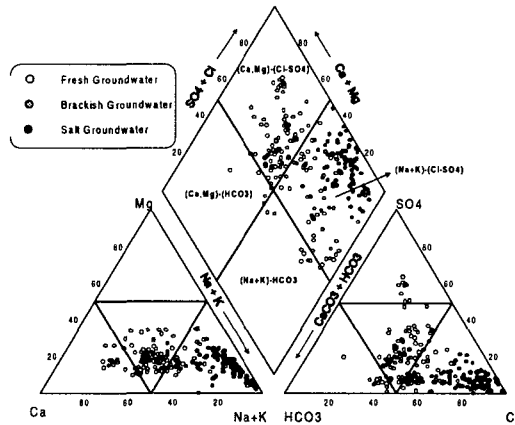


Fig. 1. Piper diagram showing chemical property of the Yeonggwang groundwater depending on salinity.

대부분 지하수 시료는 산화-환원 전위 값이 낮은 전이대(transition zone) 하부의 환원환경에 속하며, 산소분압이  $10^{-60} \sim 10^{-40}$  atm의 범위를 보여준다(Fig.2). 염수지하수의 분포대는 산화-환원 전위 값이 값이 0V 이하의 값을 보여  $\text{NO}_3^-$ 는 탈질화작용으로 농도가 거의 검출되지 않으며,  $\text{Mn}^{2+}$  및  $\text{Fe}^{3+}$ 의 성분은 비교적 높게 검출된다(Fig.3). 이는 대수층이 천부 층적층임에도 불구하고 산화-환원 전위 값이 매우 낮은 환원환경을 지시해준다. 일부 지역에서는  $\text{SO}_4^{2-}$ 가 환원작용이 있었음이 확인되는데, 이 경우  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  비 값(<0.09)이 해수와 비교하여 낮은 값을 나타낸다. 염수지하수의 탄산염 이온에 대한  $\delta^{13}\text{C}$  값(-25~-13‰)의 분별작용은 대수층을 구성하는 함-유기퇴적물의 환원작용에 의해 야기된 것으로 규명되어 조사지역 대수층의 환원환경은 유기물 분해에 기인된 것으로 사료된다.

염수 지하수의 주요 원소들에 대한 다양한 지화학적 파라미터들과 안정동위원소 비는 염분(salts)이 주로 해수침투에 의해 공급되었음을 나타내고 있다. 염수지하수의 Na/Cl 비는 약 1.8로서 염분이 해수에 의해 주로 공급된 것임을 알 수 있고 담수지하수의 경우는 염분이 주로 해수로 인한 암염(NaCl)의 해리와 암석/토양의 성분에 의해 공급되었음을 나타낸다. 염수지하수는  $\text{Cl}^-/\Sigma\text{음이온}$  및  $\text{HCO}_3^-/\Sigma\text{음이온}$  비 값은 각각 0.7 이상과 0.3 이하이고(Fig.4),  $\text{Cl}^-/\text{Br}^-$  비는 400~500로서 수질이 주로 해수침투에 의해 규제 받고 있음을 보여준

다. 그리고  $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$  비는 0.01~0.39로서 담수지하수 보다 낮은 값을 보여 해수혼합에 의한

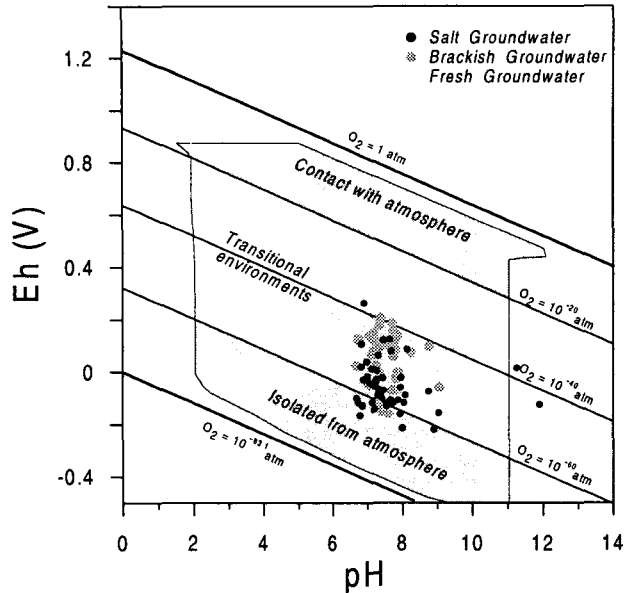


Fig. 2. pH-Eh diagram showing a redox-oxidation potential values of the Yeonggwang groundwater.

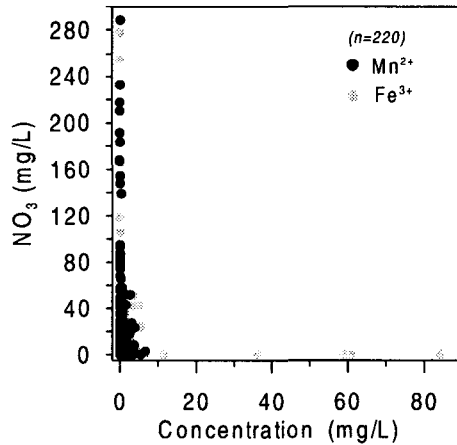


Fig. 3.  $\text{NO}_3^-$  vs.  $\text{Mn}^{2+}$  and  $\text{Fe}^{3+}$  diagram showing the redox-oxidation potential condition of the Yeonggwang groundwater

양이온 교환반응이 있었음을 나타낸다.

지하수의  $\delta D$  와  $\delta^{18}\text{O}$  값은 각각  $-59\sim-28\%$ (평균:  $-48\%$ ) 및  $-4\sim-8.5\%$ (평균:  $-7.0\%$ )으로서 내륙지역의 지하수 보다 비교적 무거운 수소 및 산소 안정동위원소 비 값을 나타낸다. 담수지하수의  $\delta D$  와  $\delta^{18}\text{O}$  값은 “meteoric water line” 식에 규제받고 있어 기원이 천수임을 보여주고, 기수 및 염수지하수는  $\delta D = 6\delta^{18}\text{O} + 6.7$ 의 담수-해수 혼합직선을 따르고 있

다(Fig.5). 지하수내 용존 황산염의  $\delta^{34}\text{S}$  값은 8.9~19.7‰의 범위를 보이거나 염수지하수는 16.3~19.7‰로서 담수지하수 보다 무거운 값을 나타낸다.  $\delta^{34}\text{S}$  값과  $\text{SO}_4^{2-}$  및  $\text{Cl}^-$  농도 사이에는 일정한 비례관계를 보이며, 담수-해수 혼합작용을 나타내고 있다(Fig.6). 이와 같이 안정동위원소 자료는 염수지하수의 해수기원 원소들에 대한 지화학적 파라미터들의 결과와 잘 일치한다.

2001~2002년 동안 조사된 염수지하수의 분포지역은 갈수기인 11월에 가장 감소되고 있으며, 9월에는 가장 넓게 확산되는 경향을 나타낸다. 이는 조사지역의 염수지하수 분포대의 진전 여부는 추이는 계절적인 강우량 효과와 농업관정의 양수량에 의해 영향을 받는 것으로 판단된다.

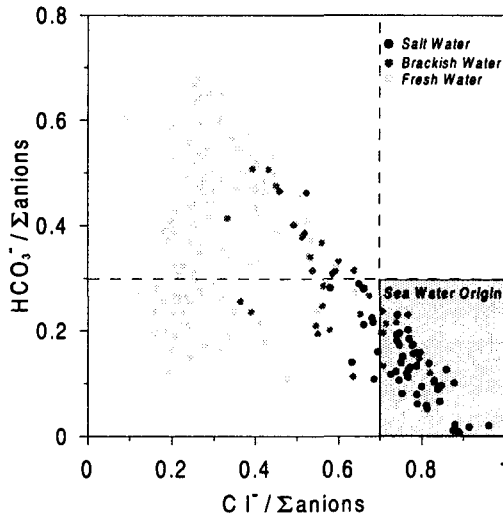


Fig. 4. Diagram shows the concentrations of  $\text{HCO}_3^- / \Sigma\text{anions}$  and  $\text{Cl}^- / \Sigma\text{anions}$  in the Yeonggwang groundwater.

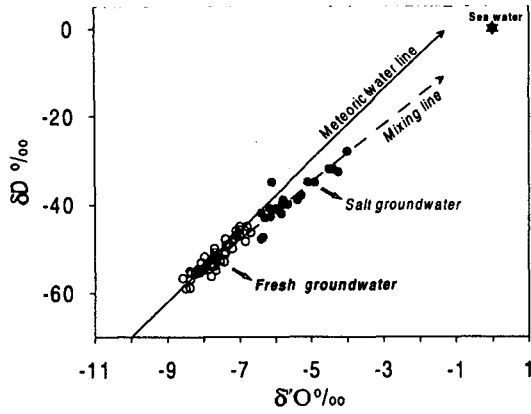


Fig. 5.  $\delta D - \delta^{18}O$  diagram showing the isotope fractionation effect of fresh groundwater toward sea water by seawater intrusion from the Yeonggwang coastline area.

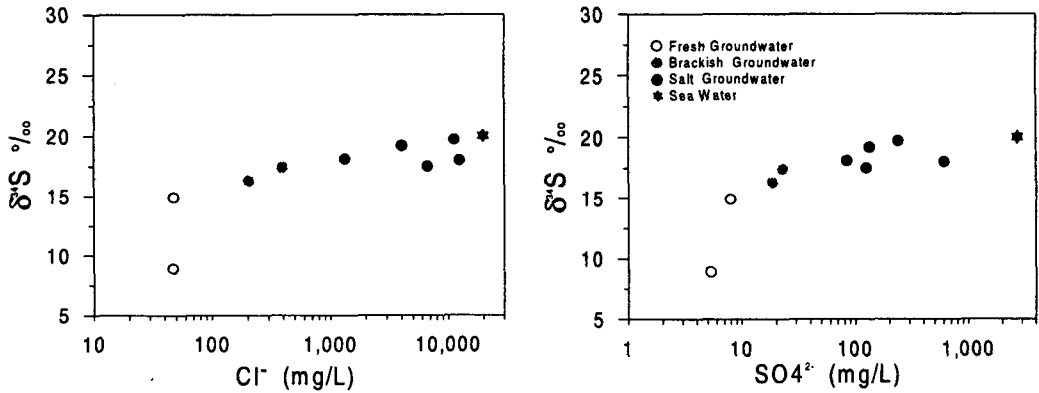


Fig. 6.  $\delta^{34}S$  vs.  $Cl^-$  and  $SO_4^{2-}$  diagrams showing salinization of the Yeonggwang groundwater toward seawater composition.

주요어 : 영광, 염수지하수 기원, 안정동위원소

- 1) 한국지질자원연구원, 환경지질연구부(csjung@kigam.re.kr)
- 2) 서울대학교 지구환경과학부