

# 광주천 인근 지하수의 수질 및 안정동위원소 특성

\*윤 옥<sup>1)</sup> · 지세정<sup>1)</sup>

## 1. 서 론

광주 지하수의 대수층은 주로 원형의 화강암 저지대 분지에 형성되어 있으며, 동남부 무등산(1,187m) 일대가 지하수의 주요 함양원 이다. 총 7,540 여 개의 지하수 관정으로부터 하루에 양수되는 추정 배출량은  $59,455\text{m}^3$  이상으로 보고되고 있다(건설교통부, 2000년). 도심지에서는 지하수가 생활 및 공업용수로 주로 이용되나, 농촌지역에서는 음용수 및 농업용수로 사용되고 있다. 도심지를 가로지르는 광주천은 생활하수에 의해 오염이 점차로 증가하여 인근 지하수의 수질악화가 우려되고 있다.

광주 도심지역의 전반적인 수질 특성을 파악하기 위해 130개의 기존 지하수 관정을 대상으로 2001년 9월에 수질조사를 수행하였으며, 광주천의 지하수 침투현상을 파악하기 위하여 일부지역에 대한 대수층의 수리지화학적 특성 차이에 기인되는 주요 성분대 대한 지화학적 거동과 안정동위원소 실험 연구를 시도하였다.

## 2. 연구방법

광주지역 지하수의 수질과 각 성분의 분포 특성을 규명하기 위하여 지하수의 양이온 및 음이온 등 총 23개 성분 분석을 수행하고, 수온, pH, Eh, 전기전도도(EC), 수위 등을 현장 측정하였다. 광주천에 의한 인근 지하수의 오염실태 파악을 위해 가능한 광주천으로부터 일정거리 상의 지하수관정을 대상으로 전기전도도, Eh,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  및 일부 중금속 원소에 대한 변화를 고찰하였으며,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Dic}}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{nitrate}}$  및  $\delta^{15}\text{N}_{\text{nitrate}}$  자료해석을 통하여 지하수 내 용존 탄산염 및 질산성 질소의 기원규명 및 분별 메카니즘을 통하여 하천수와 지하수의 혼합작용을 연구하였다.

## 3. 본 론

130개의 관정에서 채취한 광주지역 지하수는 크게  $\text{Ca-HCO}_3$ ,  $\text{Ca-Mg-HCO}_3$ ,  $\text{Na-Ca-HCO}_3$ ,  $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-Cl}$  등 4가지 유형의 수질로 분류되나,  $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-Cl}$  유형이 가장 우세하다. 전기전도도 값과  $\text{Cl}^-$  농도는 하천수 인근 지하수에서 각  $400\sim 800\mu\text{S/cm}$  과  $50\sim 120\text{mg/L}$ 의 이상 분포대가 형성되며, Eh는  $-140\sim 100\text{mv}$ 의 낮은 값을 보인다(Fig.1). As와 Zn은 하천과 무관하게 국부적으로 한 두 곳에서 음용수 기준 이상의 값을 나타내고 Pb는 5ppb 이하의 낮은 농도를 보인다.

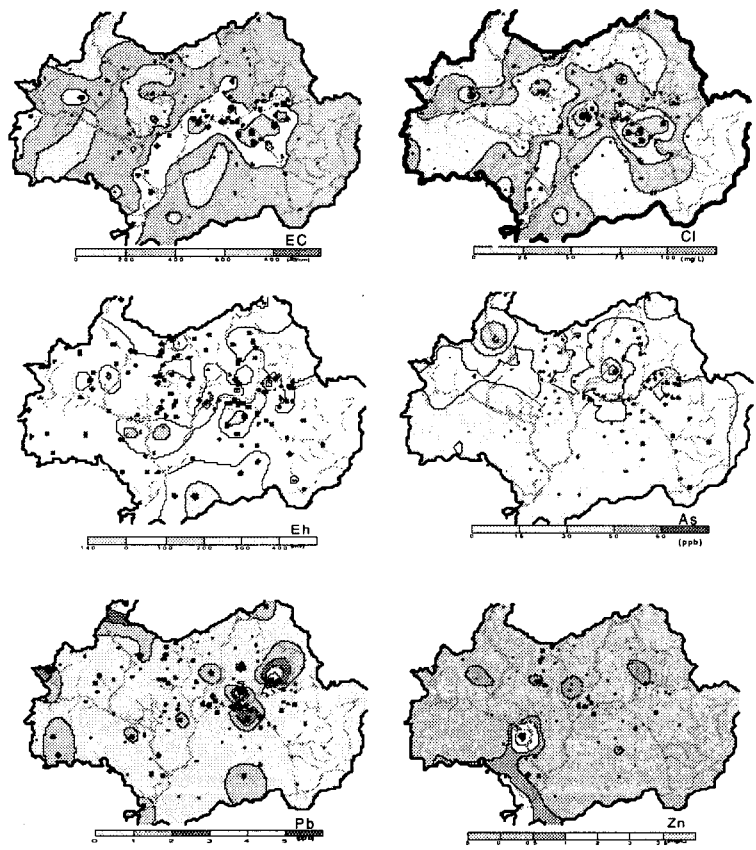


Fig. 1. Contour map showing physiochemical data of groundwater from the Kwangju area .

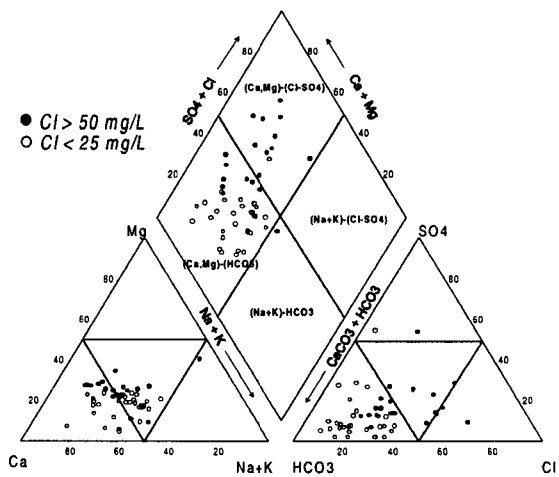


Fig. 2. Trilinear diagram showing the chemical evolution of groundwater based on salinity from the Kwangju area.

오염이 안 된 담수지하수는 대부분  $\text{Cl}^-$  농도가 25mg/L 이하이고, 염분은 주로 암염(NaCl)의 용해와 수압반응에 의해 기인되었으며,  $\text{Cl}^-$  농도가 50mg/L 이상인 지하수의  $\text{Cl}^-$  성분은 인위적 오염에 의한 것임을  $\text{Cl}^-/\text{Na}^+$  몰농도 비에 의해 규명된다.  $\text{Cl}^-$  농도가 25mg/L 이하와 50mg/L 이상의 지하수에 대한 수질은 Ca-Mg- $\text{HCO}_3$  유형과 Ca-Mg-Cl 유형으로 대별된다(Fig.2). Ca-Mg- $\text{HCO}_3$ 의 지하수는 주로 무등산 일대와 도심지 외각 지역에 주로 분포되고 있으며, Ca-Mg-Cl 유형의 지하수는 주로 도심지의 하천 인근 지역에 분포되고 있다. 광주 지하수는  $\text{HCO}_3^-$ 와  $\text{Cl}^-$ 의 농도 관계에서  $\text{Cl}^-$  농도가 증가할수록  $\text{HCO}_3^-$ 가 체계적으로 감소하는 경향이 잘 나타난다(Fig. 3). 이는 Ca-Mg- $\text{HCO}_3$  유형에서 Ca-Mg-Cl 유형으로 수질이 진화되었음을 시사해준다. 도심지역내 하천수와 인근 지하수 사이에 체계적인 수질변화가 확인된다(Fig.4). 하천에서 멀어질수록 지하수의  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ 의 농도와 Eh 및 전기전도도 값이 점차로 감소하고 있어 광주천 인근에 분포된 Ca-Mg-Cl 유형의 지하수는 광주천의 유입으로 인한 수질이 오염되는 것으로 나타나고 있다.

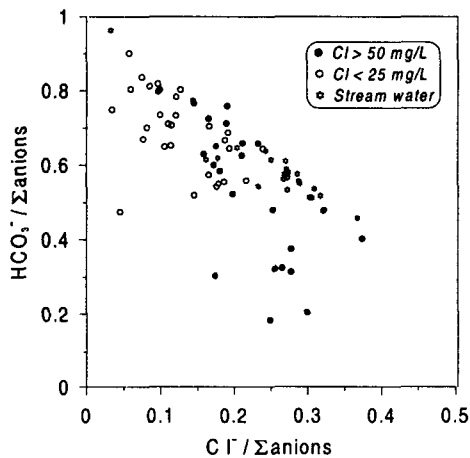


Fig. 3. Diagram of  $\text{HCO}_3^-/\Sigma\text{anions}$  vs.  $\text{Cl}^-/\Sigma\text{anions}$  showing the chemical evolution of groundwater based on salinity from the Kwangju area.

광주 지하수의 대수층은 산소분압은  $10^{-60} \sim 10^{-10}$ atm. 범위의 값을 보이고 있어 전이대(transitional zone) 하부의 환원환경에 속하고 있으며,  $\text{Cl}^-$  농도가 높은 일부 지하수 시료는 산소분압이  $10^{-60}$ atm.에 근접하여 매우 낮은 환원환경을 나타내고 있다. 광주천 인근 지하수 내 용존 탄산염 이온에 대한  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  값의 분석치는  $-17.6 \sim -12.0\%$ 이며,  $\text{HCO}_3^-$ 의 농도가 증가할수록  $\delta^{13}\text{C}$  값이 가벼워지는 경향을 나타낸다(Fig.5). 이는 환원환경 하에서 대수층내 유기물의 분해로 발생하는 가벼운 탄소동위원소로 구성된  $\text{CO}_2$ 와 동위원소 교환반응에 의한 것임을 시사해준다. 질산성 질소의 경우는  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Nitrate}}$  값이  $0 \sim 14.6\%$ 의 범위를 보이며, Eh 값 및  $\text{NO}_3^-$ 의 농도와 반비례 관계를 고찰하면(Fig.6), 환원작용에 의한 질산성 질소의 탈질화작용이  $\delta^{15}\text{N}$  값의 분별작용을 야기시키고 있음을 알 수 있다. 하천수 인근 지하수내 질산

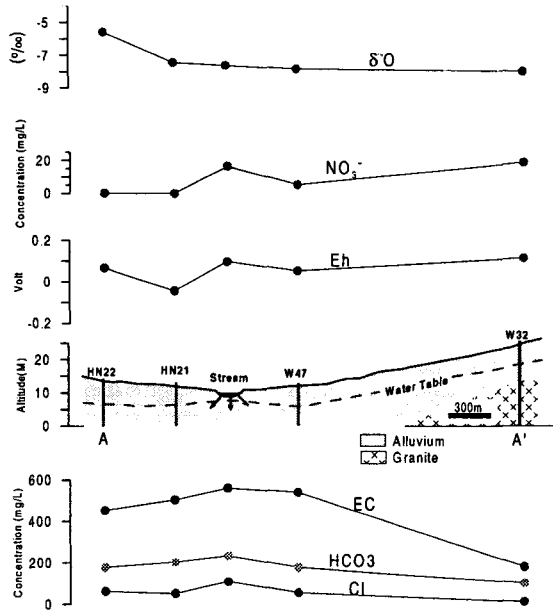


Fig. 4. The cross section(A-A') illustrating the infiltration of stream water to groundwater from the Gwangju area.

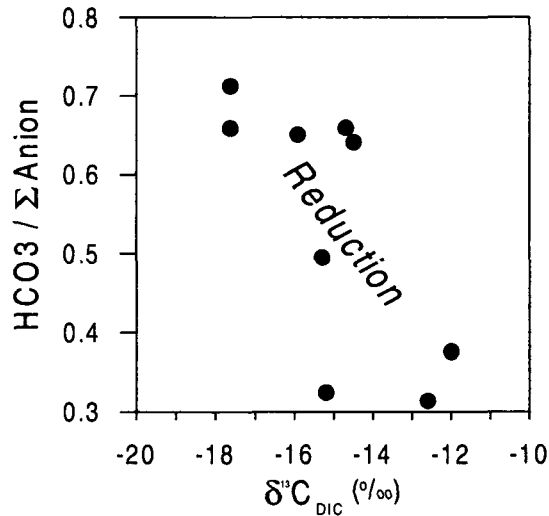


Fig.5. Diagram of  $\delta^{13}C_{DIC}-HCO_3^-/\Sigma anions$  showing the fractionation effect of  $^{13}C_{DIC}$  in groundwater by reduction process.

성 질소에 대한  $\delta^{15}N_{Nitrate}$ 와  $\delta^{18}O_{Nitrate}$  값의 관계는 질소가 화학비료로부터 기원되었음을 지시해주며, 광주천 인근지역에서는 환원작용에 의해  $\delta^{15}N$  값의 분별작용이 일어나 최고 70%

까지의 탈질화작용이 진행되었음이 확인되고 있다(Fig.7). 이와 같이 도심지내 광주천 인근 지역 지역의 지하수에 대한  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ ,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Nitrate}}$ ,  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Nitrate}}$  및  $\delta^{18}\text{O}_{\text{Water}}$  값의 분별효과는 하천수의 유입에 따른 환원환경의 차이에 의해 야기되고 있음이 규명되었다.

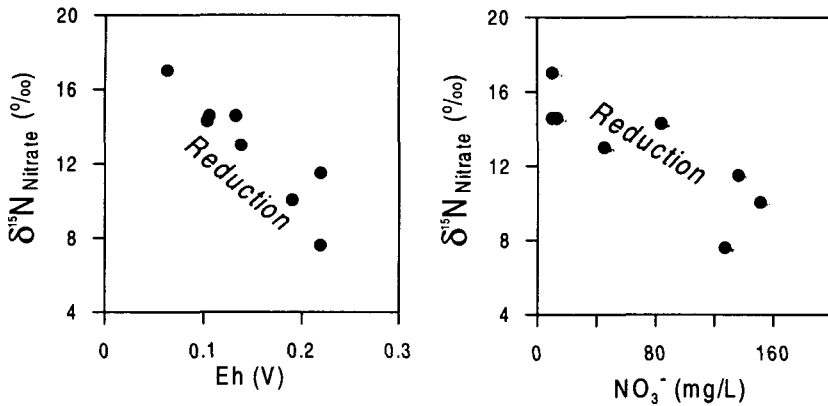


Fig.6. Diagram of  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Nitrate}}$  vs. Eh and  $\text{NO}_3^-$  showing the fractionation effect of  $\delta^{15}\text{N}_{\text{Nitrate}}$  in groundwater by reduction process.

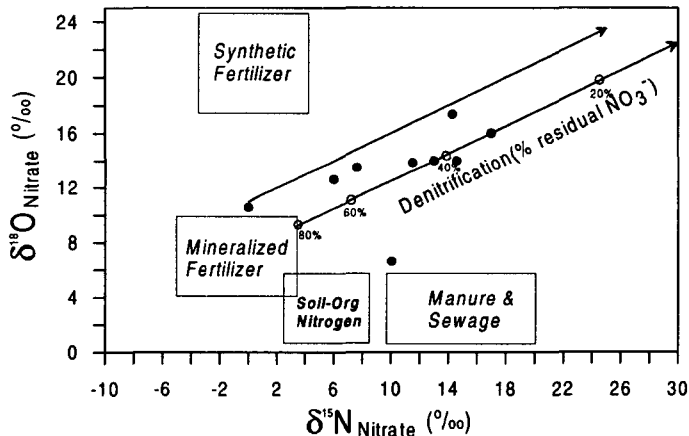


Fig. 7. Diagram of  $\delta^{15}\text{N}$ - $\delta^{18}\text{O}$  of  $\text{NO}_3^-$  in the Gwangju groundwater showing the different potential sources and denitrification processes. Lines(arrows) are trends for denitrification processes modified from Clark and Fritz(1997).

주요어 : 광주, 지하수, 탈질작용,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ , 안정동위원소

1) 한국지질자원연구원, 환경지질연구부(yunuk@kigam.re.kr)