

괴산-보은일대 옥천대 분포지역의 지하수 수질 특성 연구

신우식 · 이병선 · 문상기 · 정성욱 · 김연태 · 우남철
연세대학교 지구시스템과학과
e-mail : youth77@hanmail.net

요 약 문

충북 괴산군-보은군 일대를 따라 발달된 중부 옥천대의 구룡산층과 운교리층 분포지역에서, 기반암에 따른 지하수의 수질특성의 차이를 규명하고자 하였다. 2002년 11월에 18개 지점에서 지하수 시료를 채취하였고, 이를 분석하여 기반암에 따른 지하수의 수질을 분류하였다. 구룡산층 시료와 운교리층 시료 모두 Ca-(HCO₃+CO₃) 유형의 수질특성을 보였다. 군집분석의 결과 기반암의 종류에 따라 수질특성이 나뉘어 알 수 있었다. 수질 분석결과를 국내 먹는물 수질기준과 비교하였을 때, 질산성 질소 항목만 기준치를 초과하였다. 질산성 질소의 경우, 국내 먹는물 수질기준인 10 mg/L를 초과한 시료는 한 지점이었지만, 인간 활동에 의해 오염된 것으로 여겨지는 2 mg/L이상의 시료는 전체 18개 시료 중 61%인 11개 지점으로 나타나, 이 연구지역에서 인간활동에 의한 질산성 질소의 오염이 진행되고 있음을 추정할 수 있었다.

key word : 옥천대, 구룡산층, 운교리층, 통계분석, 질산성 질소, 수질특성

1. 서론

자연수에 포함된 광물성분과, 자연수를 보유하고 있는 대수층의 구성성분은 서로 밀접한 관계가 있다. 특히 지표면에 가까이 저유되어 있는 지하수나 지표수는 토양성분이나 토양수의 특성에 따라 영향을 받게 된다¹⁾. 이 연구는 충북 괴산군-보은군 일대를 따라 발달된 중부 옥천대 구룡산층과 운교리층을 대상으로 기반암의 종류에 따른 수질의 특성과 차이를 규명하고자 수행되었다.

2. 연구지역 및 연구방법

충북 괴산군(청천면), 청원군(미원면), 보은군(내북면, 산외면) 일대에 위치한 연구지역은, 미동산층 우측에 구룡산층 - 운교리층이 교차 발달하고 있으며, 연구지역의 하부에는 금강의 지류천인 속리천이 동쪽에서 서쪽으로 흐르고, 상부에서는 중서부에서 속리천이 미원천과 합류한, 달천이 서쪽에서 동쪽으로 흐르고 있다(Fig. 1). 운교리층은 저변성 내지 열변성 사질암으로 구성되어 있으나, 층간에는 이질암이 협재되어 있다. 구룡산층은 주로 흑색슬레이트~천매암질암으로 구성되어 있으며, 박층의 암회색 석회암이 협재하기도 한다^{2),3)}. 시료는, 기반암과 가장 근접해 있는 가정용 천부 관정에서 풍화대 지하수 18개를 채취하였다(Fig. 2). 수온, pH, EC, Eh 등은 현장에서 측정하였고, 음이온(F, Cl, Br, SO₄, NO₃, PO₄, NO₂)은 연세대학교 지구시스템과학과의 IC(Dionex, DX-80)을 이용하여, 주양이온(Na, Ca, Mg, Si)과 대부분의 미량 중금속(Cr, Ni, Fe, Mn, Cu, Al, Li, As, Ti, U, V, Mo)은 한국기초과학지원연구원 서울분소의 ICP - AES(Jobin Yvon 138 Ultrace)와 ICP-MS(Perkin Elmer, ELAN 6000)을 이용해 분석하였다. 그리고 K와 Cd, Zn, Pb는 연세대학교에서 AAS(SHIMADZU, AA-6701F)와 ASV(CHEMTRONICS Co. Ltd., TEA3000V)로 각각 분석하였다. 알칼리도(HCO₃)는 0.01N-HCl을 이용한 적정법으로 측정하였다.

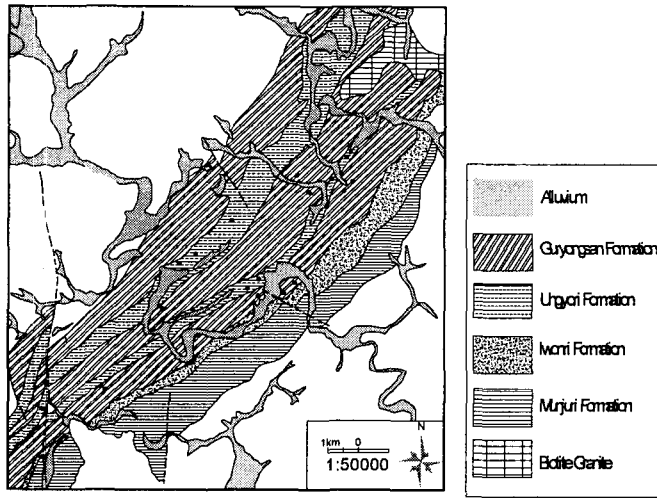


Fig. 1. Geological map of study area.
(• : Sampling locations)

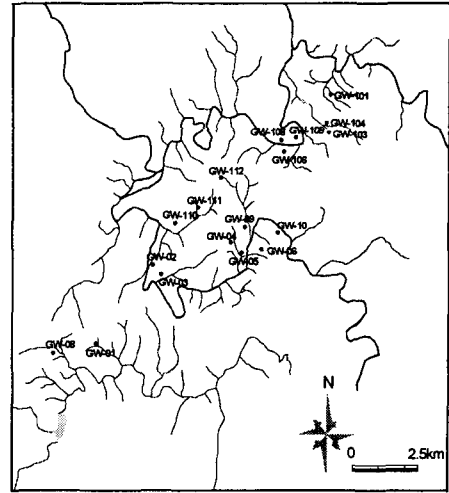


Fig. 2. Sampling locations of study area.

3. 결과

3.1. 배경수질 및 유형과 분포

전반적인 지하수의 현장 수질요소들은 Table 1과 같다.

구룡산층 지역과 운교리층 지역의 평균 EC는 각각 $191.9 \mu\text{S/cm}$, $164.3 \mu\text{S/cm}$ 였다. 평균보다 높게 나온 구룡산층 지역의 두 지점($358 \mu\text{S/cm}$), 운교리층의 한 지점($345 \mu\text{S/cm}$)의 경우, 질산성 질소와 염소이온의 농도가 상대적으로 높게 나오는 것으로 보아 지표 오염물질의 유입으로 인한 영향이 존재하는 것으로 추정된다. 연구지역의 pH는 운교리층 시료보다 구룡산층의 시료에서 더 높게 나타나는데, 이는 구룡산층의 기반암에 협재된 박층의 석회암의 완충작용에 의해 pH의 폭이 조절이 되기 때문으로 해석된다. Eh는 매질과 관계없이 전반적으로 산화환경임을 알 수 있다. 실내에서 분석한 수질자료를 Stiff diagram으로 도시한 결과(Fig. 3), 구룡산층 지하수의 경우, 대부분의 시료들이 $\text{Ca}-(\text{HCO}_3+\text{CO}_3)$ 유형을 보이지만, 인위적인 활동에 의한 오염에 영향을 받은 것으로 사료되는 $(\text{Na}+\text{K})-\text{Cl}$ 유형과 $\text{Mg}-\text{Cl}$ 유형을 보이는 시료들이 부분적으로 나타났다. $\text{Ca}-(\text{HCO}_3+\text{CO}_3)$ 유형의 수질 특성은 구룡산층 내에 협재된 소량의 암회색 석회암이 지하수의 주성분을 구성하는데 영향을 미치는 것으로 해석된다. 운교리층 지하수의 경우, 대부분 $\text{Ca}-(\text{HCO}_3+\text{CO}_3)$ 유형의 수질 특성을 보이지만, 일부 시료에서는 오염에

Table 1. In-Situ Water Quality Parameters of the Water Samples (Date : 11. 27~28. 2002)

| | | T(°C) | pH | EC ($\mu\text{S/cm}$) | Eh(mV) |
|-------------|------------|-----------|-----|----------------------------|--------|
| Groundwater | Ungyori | Min. 10.6 | 4.6 | 66.9 | 302 |
| | | Max. 13.2 | 6.4 | 345.0 | 670 |
| | Formation | Avg. 12.0 | 5.7 | 164.3 | 454 |
| | | Std. 0.8 | 0.7 | 83.4 | 129 |
| Groundwater | Guryongsan | Min. 8.3 | 4.7 | 104.5 | 279 |
| | | Max. 13.8 | 7.4 | 358.0 | 627 |
| | Formation | Avg. 11.7 | 6.1 | 191.9 | 433 |
| | | Std. 1.9 | 1.0 | 94.9 | 140 |

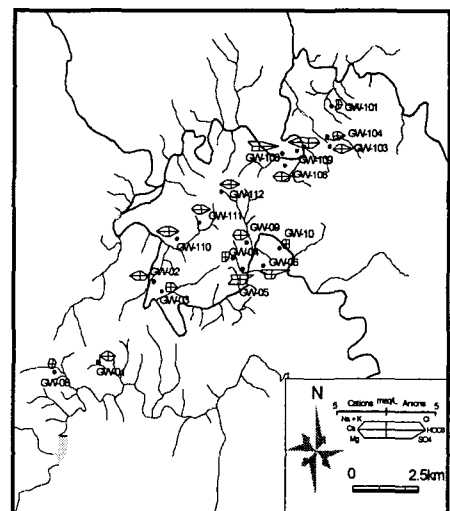


Fig. 3. Stiff diagram showing the distribution of major cations and anions in groundwater.

의해 영향을 받은 것으로 해석되는 Mg-Cl 유형의 수질특성을 보였다.

3.2. 수질 분석 데이터의 군집 분석

Stiff diagram의 분석결과가 기반암에 따른 수질특성을 명확하게 보여주지 못하기 때문에, 시료들의 모든 화학분석 데이터를 개별 독립변수로 하는 군집분석을 실시하였다(Fig. 4). 이를 위해 통계 프로그램인 SPSS 10.0을 이용하였다. 이 결과, Stiff diagram에 의해서는 명확히 표현되지 않았던 기반암의 영향이 군집분석을 통하여서는 기반암의 종류에 따라 연구지역의 지하수가 크게 세 집단으로 군집이 나누어지고 지하수의 수질특성이 달라지는 것을 확인할 수 있었다.

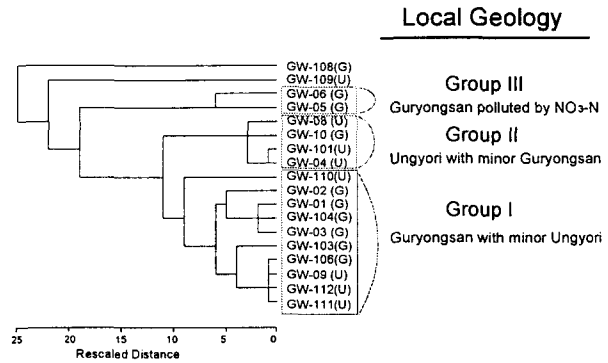


Fig. 4. Dendrogram based on the cluster analysis of groundwater samples.

3.3. 지하수의 오염

연구지역 지하수의 오염을 알아보기 위하여, 연구지역의 시료들을 국내 먹는물 수질기준과 비교하였다. 이 결과, 질산성 질소(NO₃-N)를 제외한 나머지 항목들은 국내 먹는물 수질기준을 초과하지 않는 것으로 나타났다. 질산성 질소(NO₃-N)는 국내 먹는물 수질기준인 10 mg/L를 초과하는 시료가 대부분의 지하수 시료에서 발견되지 않았으나, 한 지점(GW-109)에서만 15.32 mg/L로 수질기준을 초과하였고, 두 지점(GW-05, GW-110)에서 각각 7.12 mg/L, 8.38 mg/L로 10 mg/L에 가깝게 나타났다. 수질기준을 초과한 지점의 경우, 인위적인 지표 오염물질의 유입에 의해 오염이 된 것으로 여겨지며, 이러한 질산성 질소의 오염을 유발할 수 있는 잠재 오염원으로는 농약 및 화학비료의 과다 사용, 시비, 축사 폐기물의 유출, 정화 시설 미비로 인한 정화조의 누수, 생활하수의 유입, 토양의 유기질소 등이 있다⁴⁾. 인간활동에 의해 오염되지 않은 천부지하수의 경우, 질산성 질소는 2 mg/L보다 적은 농도를 나타낸다⁵⁾. 이 연구지역의 전체 18개의 시료 중 약 61%인 11개의 시료에서 2 mg/L를 초과하는 질산성 질소의 농도를 가지는 것으로 나타났다. 따라서 연구지역의 지하수에서는 인간활동에 의한 질산성 질소 오염이 진행되고 있음을 알 수 있었다.

Table 2. Concentrations of ions compared with the drinking water standards (unit:mg/L)

| | | NO ₃ -N | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | F ⁻ | Pb | As | Cd | Zn | Fe | Mn | Al |
|-------------|-------|--------------------|-----------------|-------------------------------|----------------|------|-------|-------|------|------|------|-------|
| Groundwater | max. | 15.32 | 63.59 | 25.56 | 0.47 | BDL* | 0.03 | BDL | 0.46 | 0.19 | 0.18 | 0.01 |
| | ave. | 3.54 | 12.51 | 11.21 | 0.15 | BDL | 0.003 | BDL | 0.05 | 0.02 | 0.02 | 0.001 |
| | DWS** | 10 | 250 | 200 | 1.5 | 0.05 | 0.05 | 0.005 | 1 | 0.3 | 0.3 | 0.200 |

BDL* : Below Detection Limit.

DWS** : Drinking Water Standards.

4. 결론

연구지역의 지하수 시료를 분석한 결과, 구룡산층과 운교리층의 지하수 수질은 모두 Ca-(HCO₃+CO₃) 유형으로 나타나 구분하기가 쉽지 않았으나, 군집 분석을 이용한 결과, 기반암에 따라 수질특성이 나뉘어짐을 확인할 수 있었다. 이 연구지역의 시료들을 국내 먹는물 수질기준과 비교해 본 결과, 질산성 질소의 오염만이 국내 먹는물 수질기준을 초과하고 있었으며, 먹는

물 수질기준인 10 mg/L를 초과하는 시료는 한 지점이었지만, 인간 활동에 의해 오염된 것으로 여겨지는 2 mg/L이상의 시료는 전체 18개 시료 중 약 61%인 11개 지점으로 나타나, 이 연구지역에서 질산성 질소의 오염이 진행되고 있음을 확인할 수 있었다.

5. 사사

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발단의 연구비 지원 (과제번호 3-5-1)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

6. 참고문헌

- 1) 한정상, 1998, 지하수환경과 오염, 박영사, p531.
- 2) 이종혁 외, 1980, 자원개발연구소 - 한국지질도-미원도폭 (1: 50000).
- 3) 이홍규 외, 1973, 국립지질광물연구소 - 한국지질도-용유리도폭 (1: 50000).
- 4) Canter, L. W., 1997, Nitrates in groundwater, Lewis publishers, .
- 5) Mueller, D. K., and D. R. Helsel, 1996, Nutrients in the nations's water - Too much of a good thing? U.S.Geological Survey Circular 1136.
- 6) 이병선, 2002, 옥천대 흑색 세일이 분포하는 미원지역의 환경수리지구화학적 연구, 연세대학교 대학원 석사학위 논문집.