

충북 금관-월릉지역의 지하수·지표수 수질에 대한 기반암의 영향

이병선* · 한원식 · 문상기 · 신우식 · 우남철
연세대학교 지구시스템과학과

*E-mail : byungsun94@korea.com

요약문

충북 청원군 미원면 금관-월릉리 일대를 따라 발달된 화전리층(상층)과 구룡산층 분포지역에서, 기반암에 따른 지하수 및 지표수의 수질특성의 차이를 규명하고자 하였다. 화전리층(상층)지역의 경우 Ca-(HCO₃+CO₃) 유형을, 구룡산층 지역의 경우 (Ca,Mg)-SO₄ 및 (Ca,Mg)-HCO₃ 유형을 보였다. 지하수의 경우, 화전리층(상층) 지역은 주로 탄산염광물의 풍화에 의해, 구룡산층 지역은 주로 규산염광물의 풍화에 의해 수질특성이 결정됨을 보였으며, 이러한 차이는 통계분석 방법으로 확인할 수 있었다. 지표수의 경우, 한 지점을 제외하고는 대부분이 암반 기원으로 도시되어 기반암의 영향이 수질특성을 좌우하고 있음을 보였다. 본 연구의 결과는, 지하수·지표수 각각의 수질 특성이 지역적인 기반암 종류에 따름을 확인시켜주는 바, 국가적인 수질관리정책은 지역적인 지질 매체의 차이를 고려하면서 수립·시행되어야 함을 보여준다.

key word : 화전리층, 구룡산층, 기반암, 통계분석, 수질 특성

1. 서론

자연수에 포함된 광물성분과, 자연수를 저유하고 있는 대수층의 구성성분은 서로 밀접한 관계가 있다. 특히 지표면에 가까이 저유되어 있는 지하수나 지표수는 토양성분이나 토양수의 특성에 따라 영향을 받게 된다¹⁾. 본 연구는 기반암의 종류에 따른 수질의 특성과 차이를 규명하려는 목적으로, 충북 청원군 미원면 금관-월릉리 일대를 따라 발달된 화전리층(상층)과 구룡산층을 대상으로 지하수 및 지표수 수질에 대한 기반암의 영향을 살펴보고자 수행되었다.

2. 연구지역 및 연구방법

본 연구지역은, 자원개발연구소²⁾의 미원도폭을 인용하면, 월릉리와 옥화리를 포함하는 서쪽 지역은 화전리층(상층)이, 금관리를 주로 포함하는 동쪽 지역은 구룡산층이 발달하고 있으며, 서쪽에서 동쪽방향으로 금강의 지류천인 달천이 흐르고 있다(Figure 1). 화전리층(상층)은 흑색 슬레이트, 세립사질 셰일 혹은 천매암 등 이질원암과 석회질 셰일 및 판상~호상 석회암등의 석회질 원암으로 구성되어 있고, 구룡산층은 주로 천매암, 운모편암, 흑색 슬레이트, 함탄저변성셰일등으로 구성되어 있으며, 박층의 석회암이 협재하기도 한다.

시료채취는 지하수 시료의 경우, 기반암과 가장 근접해 있는 가정용 천부 관정에서 21개를, 지표수 시료는 마을에서 배출되는 오폐수의 영향이 없다고 사료되는 소하천에서 23개를 각각 채취하였다(Figure 1). 채취된 각각의 시료는 현장에서 수온, pH, EC, Eh등을 측정하였다. 양이온과 음이온 분석을 위한 시료는 0.45μm Membrane filter를 이용하여 부유물질 등을 제거한 후, 양이온

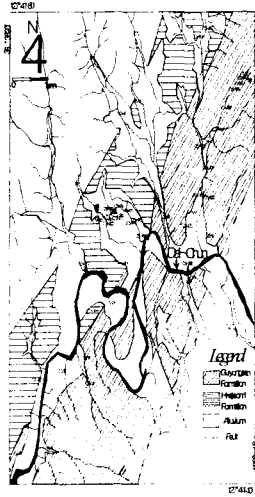


Figure 1. Geological map and sampling location

시료는 농축질산을 이용, TOC시료는 농축 염산을 이용하여 pH2이하로 보관하였고, 음이온 시료는 4℃이하로 냉장 보관하였다. 분석항목은 주음이온(F, Cl, SO₄, NO₃, PO₄, NO₂)과 주양이온(Na, K, Ca, Mg, Si) 및 NH₄, 그리고 미량 중금속(Li, Al, Mn, Fe, Zn, Cr, Cu, Cd, Pb, V, Ni, Mo, U, As)이었다. 음이온은 IC를 이용하여, 양이온은 ICP-AES를 이용하여 분석하였으며, 이 중 휘발성분(As)은 ASV를 이용하여 분석하였다. 알칼리도는 0.01N-HCl을 이용한 적정 방법으로 측정하였다.

3. 결과

3.1. 배경수질

전반적인 지하수와 지표수의 현장 수질요소들은 Table 1과 같다.

Table 1. In-Situ Water Quality Parameters of the Water Samples.

			T(°C)	pH	EC (µS/cm)	Eh (mV)
Groundwater	Hwajeonni Formation	Min.	8.12	5.92	19.3	268
		Max.	14.10	7.97	505.0	357
		Avg.	13.19	6.76	278.2	294
		Std.	1.71	0.60	145.0	36
	Guryongsan Formation	Min.	9.87	5.38	120.8	79
		Max.	14.73	7.61	358.0	383
		Avg.	13.32	6.63	217.7	327
		Std.	1.80	0.82	84.9	95
Surface Water	Hwajeonni Formation	Min.	9.90	6.16	75.7	136
		Max.	16.40	8.08	306.0	384
		Avg.	13.73	7.24	217.7	302
		Std.	2.36	0.66	83.0	77
	Guryongsan Formation	Min.	9.63	3.85	16.4	302
		Max.	17.71	8.36	750.0	575
		Avg.	13.60	5.67	283.6	419
		Std.	2.39	1.47	219.3	84

구룡산층 지표수에서 나타나는 낮은 pH와 높은 EC는 연구지역 동북부의 채석장 지류의 산성광산폐수시료들의 영향 때문이다. 연구지역의 pH는 화전리층(상층)의 경우 주구성광물인 방해석 등의 탄산염광물 용해에 의한 완충작용에 의해, 구룡산층의 경우 기반암에 협재된 박층의 석회암의 완충작용 때문에 pH의 폭이 조절되는 것으로 사료된다. Eh는 매질과 관계없이 지하수와 지표수

모두 전반적으로 산화환경임을 알 수 있다.

3.2. 배경수질의 유형과 분포

실내에서 분석한 수질자료를 Stiff Diagram으로 나타낸 결과, 화전리층(상층)의 경우, 지하수 및 지표수 모두 공통적으로 (Ca, Mg)-HCO₃형태의 수질 특성을 보인다(Figure 2). 이는 화전리층(상층)의 주구성 광물인 CaCO₃의 용해에 의한 영향으로 사료된다. 그러나 일부시료(CGW121, CGW129)에서는 부분적으로 Mg-SO₄형태의 수질 특성을 보인다. 저농도 시료인 CGW121, CGW129에서 부분적으로 Mg-SO₄형태의 수질 특성을 보이는 것은, 비록 미량이지만 Mg와 SO₄가 다른 주양이온과 음이온에 비하여 상대적으로 물속에 많이 녹아있기 때문에 나타난 영향으로 사료되는 바, 어떠한 독특한 매질특성을 표현한 것으로 판단되지 않는다.

구룡산층의 경우, 지하수는 크게 두 가지 타입의 수질특성을 보이는데, (Ca, Mg)-SO₄ 타입과 (Ca, Mg)-HCO₃ 타입을 보인다. 지표수의 경우, 일부시료(CSW3, CSW108)를 제외한 모든 시료에서 공통적으로 (Ca, Mg)-SO₄의 수질특성을 보이는데, 이는 흑색 셰일 내에 협재되어 있는 황화광물의 산화에 인한 것으로 사료된다.



(a) Groundwater

(b) Surface water

Figure 2. Major cations and anions in water on the Stiff diagram

3.3. 지하수 및 지표수의 반응

용존이온 중의 중탄산이온(HCO₃)과 규산(SiO₂)의 함량비로부터 지하수에서 주로 일어나는 대체적인 반응을 추정할 수 있다³⁾. 분석 결과, 화전리층(상층) 시료들은 풍화과정 중에 탄산염 광물의 풍화가 주된 요인으로 작용하고 있는 것으로 나타난 반면에, 구룡산층 시료들은 주로 규산염 광물의 풍화가 주된 요인으로 작용하고 있는 것으로 나타났다(Table 2). 다만 화전리층(상층) 시료 가운데, CGW121과 CGW129에서 그 비가 5이하로 나타나는데, 이는 저농도의 시료에서 상대적인 비를 계산하는 과정에서 나타난 결과일 뿐, 특별히 매질특성을 반영한 것이라고 판단하기는 힘들다. 또한 구룡산층의 CGW1의 시료가 부분적으로 10이상의 비를 보이는 것은, 구룡산층 내에 일부 협재되어 있는 탄산염 광물의 용해로 인한 결과로 판단된다. 따라서 본 연구지역 지하수의 용존이온을 생성하고 배경 수질을 결정하는 주된 물-지질매체간의 반응은 화전리층(상층)의 경우 탄산염 광물의 풍화, 구룡산층의 경우 규산염 광물의 풍화임을 알 수 있었다.

지표수의 경우, 용존이온들의 기원을 유추하기 위하여 Gibbs⁴⁾의 방법에 따라 도시한 결과, 한 시

료(CSW2)를 제외한 모든 지표수 시료가 암석 기원임을 보였다(Figure 3). 따라서 본 연구지역의 화전리층(상층)과 구룡산층 지역의 지표수 시료는 대부분이 기반암의 영향을 받고 있음을 알 수 있었다.

Table 2. The ratio between HCO_3 and SiO_2 concentration in groundwater

$\text{HCO}_3/\text{SiO}_2$	0~5	5~10	10~
Hwajeonni Formation	CGW121, CGW129	CGW111, CGW114, CGW117, CGW118, CGW119, CGW126, CGW128	CGW6, CGW120, CGW122
Guryongsan Formation	CGW2, CGW3, CGW4, CGW5, CGW123, CGW124, CGW130	CGW7	CGW1

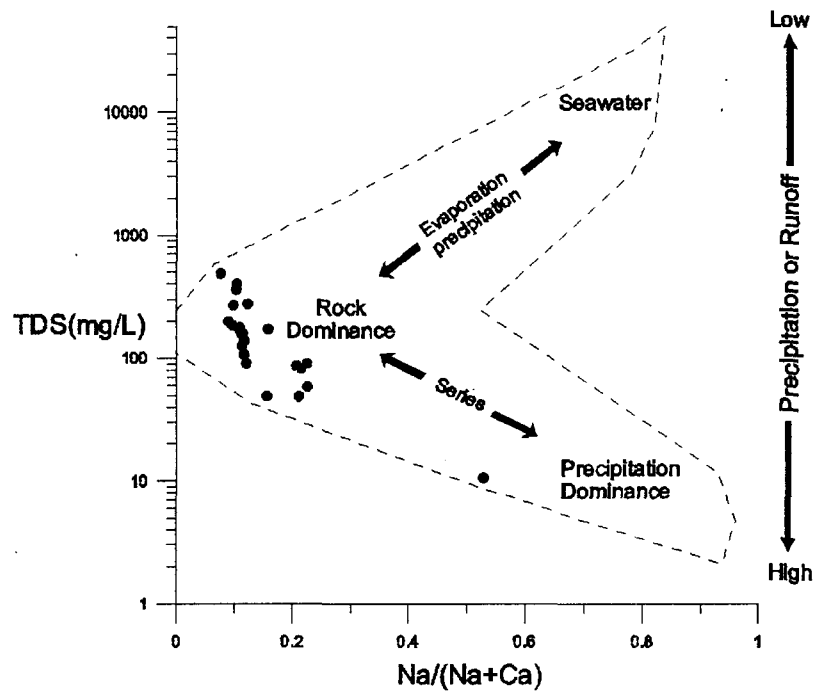


Figure 3. Pilot TDS vs. $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$ for the surface water samples.

3.4. 수질 분석 데이터의 군집분석

시료들의 화학분석데이터를 개별 독립변수로 하는 군집분석을 실시하였다(Figure 4). 본 군집분석에서는 통계프로그램인 SPSS 10.0을 이용하였다. 지하수와 지표수 모두 최대 유사성 계수를 25로 상정하였고, 지하수와 지표수 모두 크게 네 집단으로 분류하였다. 이 결과, 본 연구지역의 지하수는 중탄산이온(HCO_3)과 규산(SiO_2)의 함량비에서 나타난 결과와 유사하게 기반암의 종류에 따라 군집이 나누어지는 것을 확인할 수 있었으며(Figure 5), 따라서 기반암의 종류에 따라 지하수의 수질특성이 달라지는 것을 확인하였다. 지표수 역시 지하수와 마찬가지로 기반암의 종류에 따라 군집이 나뉘어져 기반암 종류에 따른 수질특성을 잘 보여주는 것으로 판단되었다.

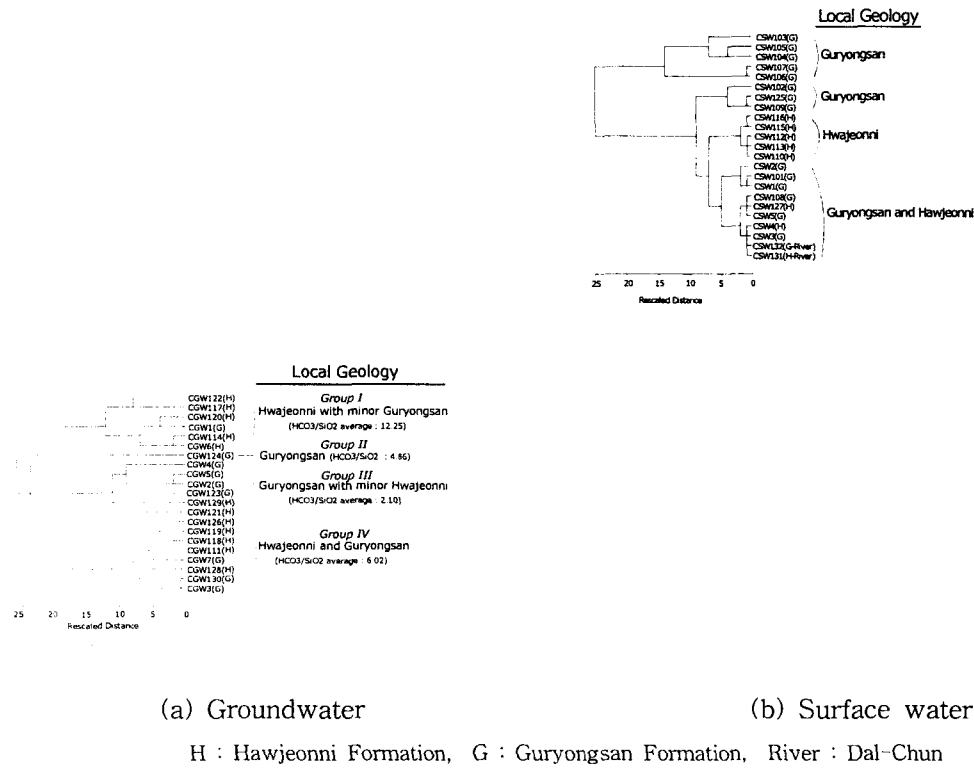


Figure 4. Dendrogram based on the cluster analysis of water samples.

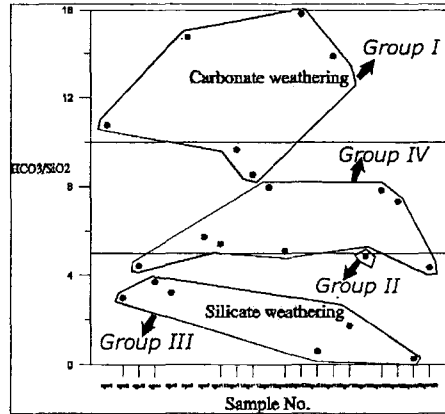


Figure 5. HCO₃ and SiO₂ plots of the groundwater samples vs. Group of dendrogram

4. 결론

본 연구지역의 지하수 및 지표수의 수질은 Ca-(HCO₃+CO₃) 유형의 화전리층(상층) 시료들과 (Ca,Mg)-SO₄ 및 (Ca, Mg)-HCO₃ 유형의 구룡산층의 시료들로 나뉠 수 있다. 지하수질의 특성은 지하수 환경에서 진행되는 지질매체의 반응이 화전리층(상층)의 경우 주로 탄산염광물의 풍화, 구룡산층의 경우 주로 규산염광물의 풍화임을 알 수 있었다. 이러한 기반암의 종류에 따른 지하수 수질특성은 통계분석방법으로 확인할 수 있었다. 지표수의 경우, Gibbs의 방법에 따라 살

폐분 결과 한 시료를 제외한 모든 시료가 암석 기원임을 보였다. 따라서 본 연구지역의 화전리층(상층)과 구룡산층 지하수와 지표수 시료는 대부분이 기반암의 영향을 받고 있는 것을 알 수 있었다. 본 연구의 결과, 지하수·지표수 각각의 수질특성은 지역적인 기반암 종류에 따름이 확인되는 바, 국가적인 수질관리정책은 지역적인 지질매체의 차이를 고려하면서 수립·시행되어야 할 것이다.

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) Houslow, A. W., 1995, Water Quality Data-Analysis and Interpretation. Lewis Publishers, New York, 397p.
- 4) Gibbs, R. J., 1970, Mechanism controlling world water chemistry, Science, 170, pp 135~137.