

음성지역 지하수의 수리화학적 특성에 대한 심도, 모암 및 광화대의 영향

정찬호^{*1)} · 이병대²⁾ · 성익환²⁾ · 조병욱²⁾

¹⁾대전대학교 지구시스템공학과

²⁾한국지질자원연구원 지하수연구부

Effect of Well Depth, Host Rocks and Mineralization Zone on Hydrochemical Characteristics of Groundwater in the Umsung Area

Chan Ho Jeong^{*1)} · Byung Dae Lee²⁾ · Ig hwan Sung²⁾ · Byung Uk Cho²⁾

¹⁾Dept. of Geological Engineering, The University of Daejeon

²⁾Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources

이 연구는 충북 음성군지역 지하수를 대상으로 모암과 심도에 따른 지하수의 수리화학적 특성을 비교하였다. 그리고 금속광산의 광화대가 지하수의 화학성분에 미치는 영향에 대해서도 알아보았다. 연구지역은 유라기 화강섬록암과 백악기 퇴적암층이 단층으로 경계를 이루고 있다. 천부지하수는 유라기 화강암지역에서 개발되어 대부분 농업용수로 사용되는 반면 심부지하수는 백악기 퇴적암을 모암으로 하여 생활용수로 이용되고 있다. 천부 지하수는 전반적으로 약산성화 되어 있으며, 전기전도도 값은 126~613 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위를 보인다. 지하수의 화학적 유형은 Ca-HCO₃형에서 Ca-Cl(SO₄, NO₃)형까지 넓게 분포한다. 일부 지하수에서는 질산염(NO₃)의 농도가 높게 검출되어 농업등 인간활동과 관련된 오염의 특성을 보인다. 일부 지하수는 철(Fe), 망간(Mn), 아연(Zn)등 중금속의 함량이 수 ppm이상의 높은 농도를 보여 금속광산의 광화대 영향을 시사한다. 심부지하수는 중성내지는 알카리성으로 천부 지하수에 비해 높은 전기전도도를 보인다. 그리고 지하수의 화학적 유형은 Ca-HCO₃의 특성을 보인다. 광산의 배출수는 산성배수의 특성을 보이지 않지만 황산염과 중금속의 함량이 약간 높은 특성을 보인다. 동위원소 조성에서는 천부지하수에 비해 심부지하수가 보다 걸쭉된 낮은 수준을 보여 심도에 다른 동위원소의 조성차이가 뚜렷하다. 이상을 종합하면 연구지역 지하수의 화학성분은 단층을 경계로 화강섬록암, 퇴적암으로 뚜렷이 구분되는 모암성분의 차이, 지하수공 심도차이, 농업활동의 유무, 그리고 광화대의 영향 등이 복합적으로 반영되었음을 알 수 있다.

주요어 : 연약지반, 토질조사, 토질특성, 토질정수, 상관관계, 상관계수

The purpose of this study is to investigate the hydrochemical characteristics of groundwater in the Umsung area, and to elucidate the effect of host rock type, well depth and mineralization zone on the groundwater chemistry. The geology of the study area consists of Jurassic granite and Cretaceous sedimentary rocks, which are bounded by a fault. Most of shallow groundwaters exploited in the Jurassic granite area are used for agricultural purpose, whereas the deep groundwaters in the Cretaceous sedimentary rocks are used for a drinking water. The shallow groundwater shows weak acidic pH, the electrical conductivity ranging from 142 to 903 $\mu\text{S}/\text{cm}$, and the chemical type of Ca-HCO₃ to Ca-Cl(SO₄, NO₃). A few of shallow groundwaters are contaminated by nitrate, and show high concentration of Fe,

* Corresponding author : chjeong@dju.ac.kr

Mn and Zn, that reflects the effect of a mineralization zone. The deep groundwater shows neutral to weak alkaline pH, higher electrical conductivity than that of shallow groundwater, and the chemical type of Ca-HCO₃. The seepage water from the abandoned mines does not have the characteristics such as acidic pH, high concentration of heavy metals and high sulfate content. The hydrogen and oxygen isotopes of groundwater indicates an altitude effect of the recharge area between deep groundwater and shallow groundwater. In conclusion, the chemical composition of groundwater complicately reflects the effects of their host rocks, well depth, agricultural activity and mineralization zone in the study area.

Key words : groundwater, mineralization zone, heavy metals, isotope, chemical composition, depth

서 론

지하수의 화학적 성분은 강수의 조성, 물-암석, 물-토양과의 상호반응, 인간활동과 관련된 인위적 오염 물질의 유입 등에 의해 결정된다. 물-암석 상호반응에 의한 지하수 화학성분의 진화와 특성에 대한 국내 연구가 일부 진행되어 왔다(Jeong et al., 1994; 정찬호외, 1997; 고용권, 1998; Jeong, 2001). 물-암석 상호반응과 같은 자연적 반응에서 모암의 광물조성과 반응시간이 지하수 화학성분을 주로 조절하게 되지만 만약 모암 내 광맥이 발달된다면 광맥의 금속성분과 유화광물 등의 중금속 성분이 지하수의 화학성분에 큰 영향을 미칠 수 있다. 그리고 지하수공의 심도 또한 물-암석 반응에 의한 지하수의 진화단계를 결정할 수 있는 요소이므로 지하수 화학조성을 결정하는 중요한 요소가 된다. 아울러 인간활동과 관련된 다양한 오염원으로부터의 오염물질의 유입은 지하수의 화학성분에 영향을 미치고 지하수의 수질오염을 유발한다.

이 연구에서는 충북 음성군 사회복지시설과 주변지역에서 사용되고 있는 지하수공을 대상으로 지하수의 화학조성에 대한 모암의 영향, 광화대의 영향, 그리고 지하수공 심도의 영향을 알아보려고 하였다.

연구지역은 서쪽에 대보화강암류인 화강섬록암과 동쪽의 경상누층군의 퇴적암인 백야리층이 단층으로 접촉되어있다. 화강섬록암 내에는 태극광산과 금봉광산 등의 금속광산이 광맥을 따라서 지하로 굴진되어 있다. 단층의 서측편인 화강암지역은 주로 농경지가 발달되어 있고 동측편의 퇴적암 지역에는 대규모 사회복지시설이 위치한다(Fig. 1). 농경지에는 농업용수와 생활용수를 위하여 많은 천부형 지하수가 개발되어 사용 중이며, 사회복지시설에서 약 3,000명의 상주 인구가 음용수와 생활용수로 심부 암반지하수를 개발하여 사용하고 있는 등 지하수의 수요가 많은 지역이

다. 따라서 연구지역 지하수의 수질화학 성분은 서로 다른 모암, 지하수공 깊이의 차이, 그리고 광산의 광화대의 발달, 농업활동 등 여러 가지 요소에 의해 영향을 받을 수가 있다. 본 연구에서는 이와 같은 다양한 요소에 의한 지하수의 수질변화와 그것의 영향을 알아보고자 한다.

지 질

연구지역의 지질은 서쪽에는 쥬라기 대보화강암류인 화강섬록암이 관입되어 있고 동쪽에 화강섬록암을 부정합으로 덮고 있는 백악기 퇴적암층인 백야리층이 분포한다. 화강섬록암은 연구지역 서쪽의 대부분을 점하고 있으며 풍화에 약하여 대체적으로 완만한 구릉지 및 저지대를 이룬다(Fig. 1). 이 논문에서 일반지질에 대한 설명은 음성도폭 설명서(정창희외, 1976)를 주로 인용하였다.

화강섬록암은 담회-회-담녹-담홍색을 띠는 중립내지 조립질암으로 입상조직을 나타내며 부분적으로 분홍색의 칼리장석이 반정으로 들어 있어 반상조직을 나타내기도 한다. 주 구성광물은 석영, 알카리 장석, 사장석, 흑운모등이며, 소량의 각섬석, 스피넬, 휘석, 인회석, 저어콘, 불투명광물 등이 수반된다.

백야리층은 풍화에 강하여 고지대를 형성한다. 본 층은 담회-회-암회-담자색을 띠는 역암, 세일, 사암, 역질사암 등이 호층을 이루는데 주로 역암과 세일이 우세하게 발달되며, 역질사암과 역암은 소폭으로 협재된다.

화강섬록암에는 산성 및 염기성 암맥 등이 수십조 관입하고 있으며 염기성암맥은 암회-암녹색을 띠는 치밀 견고한 암맥으로 폭은 0.5~50m 정도이며 NE계 열의 방향성을 보이는 것이 우세하다.

연구지역의 화강섬록암과 백야리층의 관계에 대해



Fig. 1. Geologic map of the study area. Jurassic granodiorite and Cretaceous sedimentary rocks are bounded by fault.

서는 단층접촉(박희인과 강성준, 1988)과 관입접촉(김규환외, 1990)의 두 가지 해석이 있다. 화강섬록암은 백야리층과 거의 일직선의 경계부를 이루고 있어 단층접촉으로 판단할 수 있으나 이에 대한 지질학적인 증거가 미흡한 반면, 지역에 따라 백야리층의 암편을 포획하고 있으며 열변성작용이 인지되므로 관입접촉으로도 추측된다. 그러나 인접한 무극광산 갱도상에서 확인되는 화강섬록암과 백야리층의 접촉부 30여m 구간은 심하게 파쇄되어 있으며 변질작용을 받아 연약대로 전이되는 것이 관찰된다. 접촉부의 특성만으로는 단층접촉 또는 관입접촉의 여부를 확실하게 결정할 수 없으나 본 연구에서는 기존 지질도를 인용하여 단층접촉으로 제시하였다.

연구방법

시료채취 및 현장측정

연구지역 지하수의 수리화학적 및 동위원소적 특성을 알아보기 위하여 지하수 시료 43개를 채취하였고, 지표수는 5개 지점에서 그리고 광산 배출수는 2점을 채취하였다. 물 시료채취는 2002년 12월에서 2003년 1월 사이에 이루어졌다. 채취된 물 시료를 보면 심부지하수 11점, 천부지하수 25점, 관측용 지하수 7점, 지표수 5점, 그리고 광산 배출수 2점을 채취하였다. 시료가

채취된 지하수공, 지표수, 광산 배출수의 분포도는 Fig. 2에서 보여준다.

천부지하수는 대부분 농업용수로 개발되어 연구지역의 서쪽에 주로 편재되어 있고, 심부지하수는 DG19 시료를 제외하고 모두 사회복지시설 부지내 혹은 연구지역 동쪽에 편재되어 있다. 관측용 지하수공은 연구지역 서편 화강섬록암지역에 주로 분포한다. 광산 배출수는 태극광산(MD1), 금봉광산(MD2) 입구에서 각각 시료가 채취되었다.

지하수에 대한 현장수질 측정은 지하수가 대기에 노출된 후 시간에 따라서 변할 수 있는 수질항목에 대해서 휴대용 측정기로 현장에서 직접 측정하였다. pH와 산화환원전위(Eh)는 Orion 290A로, 전기전도도는 Orion model 142로 각각 측정하였다. 용존산소 함량과 수온은 Orion model 150로 각각 측정하였다. 그리고 HCO₃ 농도는 0.05N 농도의 염산을 이용한 산중화 적정법으로 현장에서 측정하였다. 지하수의 화학성분을 분석하기 위하여 현장에서 양이온 분석용 60 mL, 음이온 분석용 60 mL으로 각각 구별하여 채취되었다. 아울러 동위원소 분석용 60 mL도 동시에 채취되었다. 양이온용 시료는 농질산을 가하여 pH 2 이하가 되도록 하여 중금속과 같은 미량원소 성분의 침전 또는 용기에 흡착되는 것을 방지하고자 하였다. 물 시료 채취 시 0.45 μm의 여과지를 이용하여 이물질 등을 제거하였다. 채취된 시료는 이동식 냉장고에 보관하여 분석 전까지 냉장보관 되었다.

화학성분 및 동위원소 분석

지하수 시료에 대한 화학성분은 원자흡광분광분석기(Unicam model 989 Flame AAS and Flameless AAS)를 이용하여 K, Fe 원소를 분석하였고, 유도결합쌍 프라즈마 원자방출분광분석기(Shimadzu 모델 ICPS-1000 III, ICP-AES)와 유도결합쌍 프라즈마 질량분석기(Fison model PQ III, ICP-mass)로 Na, Ca, Mg, Sr, Si 등의 주요 원소와 Li, Mn, Al, Ba, Pb, Cu, Zn, As, U 등의 미량원소를 각각 분석하였다. 양이온 성분은 기초과학지연구원에서 분석되었다. 물 시료에서 HCO₃⁻를 제외한 용존 음이온 성분인 SO₄²⁻, Cl⁻, NO₃⁻, F⁻ 등은 대전대학교의 이온크로마토그래피(Dionex 120i)로 분석하였다.

천부 및 심부지하수의 함양특성 등을 알아보기 위하여 지하수 시료에 대한 산소 및 수소동위원소 분석을 실시하였다. 안정동위원소 분석절차는 Coleman et al.(1982)과 Kendall and Coplen(1985)의 방법이 적용되었다. 분석의 정밀도는 산소동위원소 ±0.1%, 수소동위원소는 약 ±1.0%이다. 분석은 한국기초과학지원연구원의 안정동위원소 질량분석기(Model VG SIRA II)를 이용하였다.

통계분석

지하수의 화학분석 자료에 대해서 S-plot 프로그램을 이용하여 성분별 평균값, 25% 분위수, 75% 분위수, 상하의 수염(lower and upper inner fences)등의 분포를 제시하는 박스-휘스커(Box-Whisker) 다이어그램을 작도하였다.

결 과

천부지하수의 수리화학

천부 지하수에 대한 pH, Eh, 전기전도도, 용존산소 함량, 온도, 양이온과 음이온 성분, 그리고 미량원소 등과 같은 수리화학적 분석결과는 Table 1에 제시되어 있다. 화학분석자료의 정확성을 검토하기 위해서 분석된 총 양이온과 총 음이온 함량을 당량으로 환산하여 전하균형을 계산하였다.

현장측정자료

천부지하수는 농업용과 생활용으로 이용되는 지하수층 중적층내지 풍화대층 심도를 갖는 지하수공을 대상으로 하였다. 24개 지점에서 채취된 천부지하수에 대한 현장 수질 측정결과를 보면 pH가 5.6~6.8의 범위를 보여 대부분이 약산성의 특성을 보인다. 산화환원전위(Eh)는 59~270 mV의 범위로 산화환경에 있음을 지시한다. 온도는 11.8°C~15.7°C의 범위를 보인다. 전기전도도는 126~613 μ S/cm의 범위로 지하수공의 위치에 따라서 큰 차이를 보여 수질화학적조성이 지하수공별로 큰 차이가 있음을 의미한다. 용존산소 함량은 0.9~7.2 mg/L의 범위로 이 역시 지하수공에 따라서 큰 차이를 보인다.

주요이온성분

천부지하수의 나트륨(Na) 성분은 10~26.6 mg/L의 범위를 칼륨(K) 성분은 0.64~3.53 mg/L의 범위를 각각 보인다. Ca과 Mg 성분은 10.4~43.7 mg/L의 범위와 3.23~13.9 mg/L의 범위를 각각 보여 지하수공에 따라서 함량 차이를 보인다. SiO₂로 환산한 규소성분은 30.9 ~ 44.3 mg/L의 농도범위를 보인다.

주요 음이온 성분으로는 중탄산(HCO₃)이 가장 풍부한 음이온 성분으로 39.7~173.9 mg/L의 농도범위를 보인다. 지하수내 중탄산 성분은 대기중의 CO₂나 토양내 유기물의 분해로부터 생성되는 CO₂가 물에 용존되어 생성되거나, 암석내 방해석 성분이 용해되어 생성될 수 있다. 황산염(SO₄) 성분은 3~49.3 mg/L의 범위를 보여 광화대의 황화광물의 산화반응에 의한 황산염의 공급의 영향은 크지 않은 것으로 보인다. 염소(Cl) 성분은 6.8~92 mg/L의 함량을 보여 지하수 시료에 따라서 큰 농도 차이를 보인다. SW4, SW13, SW70, SW73 시료에서 높은 염소의 함량을 보인다. 염소 함량이 높은 지하수는 오염되었을 가능성이 높다.

질산염(NO₃) 성분은 불검출에서 93.2 mg/L의 범위를 보인다. 지하수내 질산염 성분은 대기와 토양내 자연기원과 질소비료, 퇴비, 생활하수 등 인위적 오염기원으로 분류된다. 일반적으로 지하수내 자연기원의 질산염 농도는 매우 낮아 9 mg/L를 초과하는 경우가 매우 드물다. 연구지역의 천부지하수가 대부분 농업용 지하수 이므로 지하수내 질산염 이온성분이 높게 검출되는 것은 농업활동과 관련된 퇴비와 질소비료 등에서 기원한 것으로 보인다. 음용수의 수질기준인 44 mg/L 이상을 보이는 천부지하수는 SW14, SW16, SW17, SW19, SW37, SW40, SW68, SW70, SW73 지하

Table 1. Chemical data of shallow groundwater samples in the study area.

Sample No.	SW4	SW5	SW9	SW12	SW13	SW14	SW16	SW17	SW18	SW19	SW20	SW22	SW65	SW68
pH	5.93	6.21	6.20	6.42	5.93	6.32	6.40	6.57	6.61	6.01	6.64	6.73	6.80	6.21
Eh(mV)	72	146	59	136	65	113	148	146	128	186	137	151	138	135
T(°C)	12.8	12.6	13.3	13.8	13.4	13.9	13.6	13.9	14.0	13.4	13.9	14.6	12.9	11.8
*E.C.(μ S/cm)	406	216	298	250	464	274	279	293	126	305	242	209	126.1	254
														(unit : mg/L)
**D.O.	3.6	0.9	1.7	4.4	0.7	5.3	6.2	6.1	5.3	5.2	1.2	4.5	7.2	5.6
Na	23.4	12.8	19.9	14.4	26.6	15.4	21.3	14.9	10	20.3	16.6	14.4	9.8	18
K	3.53	0.98	0.76	0.75	0.63	1.08	0.64	1.61	0.50	1.07	1.31	1.39	0.84	0.91
Ca	38.7	24.9	33.3	27.6	43.7	28.8	24.1	30.6	10.4	31.9	23.7	20.6	10.8	26.7
Mg	6.77	4.51	5.87	5.93	13.9	7.43	4.52	7.17	4.26	4.1	6.23	4.93	4.51	3.23
SiO ₂	44.3	30.9	38.3	35.1	44.3	39.0	40.9	32.2	36.2	45.4	34.7	31.5	34.3	41.1
HCO ₃	146.4	106.8	122.0	85.4	173.9	76.3	48.8	58.0	51.2	45.8	106.8	73.2	61.0	64.1
SO ₄	9.2	6.6	12.2	10.1	16.4	15.4	7.2	6.2	6.1	17.8	5.8	15.1	6.7	12.5
Cl	62.0	15.0	31.0	17.3	59.6	18.9	17.2	22.1	6.9	19.8	16.2	7.8	5.5	11.5
F	N.D	N.D	N.D	0.4	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.5
NO ₃	N.D	8.7	13.0	37.5	2.0	47.3	78.9	67.9	12.4	76.7	22.5	27.8	12.0	44.8
														(unit : mg/L)
Fe	2170	34	2380	17	3140	26	41	60	<10	42	27	<10	<10	46
Sr	207	178	204	162	370	212	253	189	56	311	101	129	60	197
Li	23.4	12.8	19.9	14.4	26.6	15.4	21.3	14.9	10.0	21.3	16.6	14.5	9.8	18.0
Al	3.7	8.9	4.1	1.6	2.1	4.2	2.4	8.4	4.1	1.2	2.4	1.0	1.9	1.0
Cr	0.34	<0.2	<0.2	<0.2	0.33	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.23	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Mn	8860	38	39	6	8980	10	4	5	1	1	24	1	3	1
Cu	7.1	8.8	5.2	0.2	3.9	3.7	3.7	10.4	4.7	7.3	4.1	2.9	1.9	2.1
Zn	9320	4290	36	48	48	25	4110	61	94	44	8520	588	687	297
As	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Se	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0
Cd	<0.05	0.06	<0.05	<0.05	0.08	<0.05	<0.05	0.08	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Ba	16.8	340.0	12.8	4.4	58.7	44.3	43.0	33.4	2.4	11.6	9.1	4.5	3.0	8.3
Pb	1.5	2.1	1.4	0.1	1.1	0.3	6.0	1.4	2.2	1.0	2.7	2.2	0.2	0.5
U	0.1	0.0	2.0	1.0	0.1	0.1	0.0	0.4	0.1	0.0	0.6	1.0	0.1	0.6
EN(%)	-0.63	-2.34	-3.34	-3.57	0.44	-2.02	-1.07	0.33	-1.44	-1.14	0.47	-1.56	-3.64	1.31

*E.C. : Electrical Conductance, **D.O.: Dissolved Oxygen

Table 1. Continued.

Sample No.	SW8	SW37	SW40	SW42	SW44	SW67	SW70	SW71	SW72	SW73
pH	6.75	6.23	6.21	6.04	6.75	6.25	5.78	6.44	5.60	6.22
Eh(mV)	247	270	200	174	253	66	214	213	224	214
T(°C)	13.8	14.1	13.1	12.7	12.0	12.9	15.7	15	14	14.3
*E.C.(μ S/cm)	251	323	419	143.8	145	173.6	613	169	290	537
									(unit : mg/L)	
**D.O.	4.3	4.1	5.3	4.3	4.3	4.7	3.80	4.1	4.90	6.80
Na	16.5	25.9	25.3	16.3	11.3	12.5	39.8	10.8	19.3	23.8
K	1.14	0.97	1.38	0.74	0.58	0.73	1.05	0.76	0.92	1.37
Ca	25.3	31.8	42.3	11.7	14.8	21.6	67.9	17.9	28.2	54.7
Mg	6.41	4.37	9.94	1.42	3.1	5.6	5.98	4.53	3.16	10.7
SiO ₂	36.2	42.8	39.0	39.6	36.0	38.2	40.9	31.1	36.8	38.3
HCO ₃	68.6	42.7	101.2	39.7	51.9	58.0	73.0	88.0	34.0	46.0
SO ₄	22.4	32.0	10.5	12.5	9.9	21.1	49.3	5.6	24.6	3
Cl	15.6	25.2	24.0	8.2	6.2	15.2	72.9	6.8	36.0	92.0
F	0.39	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0
NO ₃	30.3	55.6	92.0	16.8	12.7	18.1	66.5	6.3	41.2	93.2
									(unit : mg/L)	
Fe	10	10	41	270	10	<5	<5	<5	40	<5
Sr	181	326	505	128	104	192	955	141	501	575
Li	9.5	7.7	10.6	1.8	4.8	6.8	13.6	8.7	2.6	12.1
Al	<0.2	0.3	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	3.2	2.8	0.5	0.7
Cr	0.50	1.50	0.99	7.12	0.13	0.25	<0.05	<0.05	0.1	<0.05
Mn	1.0	1.5	1.0	7.1	0.3	1.5	1.6	0.3	5.6	2.6
Cu	0.1	0.1	0.3	0.7	0.1	0.2	31	3	68	5
Zn	87.6	14.6	34.8	162.7	13.0	19.7	290	25	83	29
As	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1	<1	<1	<1	2
Se	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<5	<5	<5	<5
Cd	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.1	<0.05	<0.05	<0.05
Ba	9.1	16.7	59.9	4.7	2.0	12.1	37	18	31	33
Pb	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	1.1	0.3	0.7	0.4
U	0.9	0.1	<0.1	<0.1	0.3	0.5	0.1	0.8	0.0	0.4
EN(%)	0.47	2.18	0.51	1.16	2.29	-0.05	2.88	-2.58	-3.87	-2.29

*E.C. : Electrical Conductance, **D.O.: Dissolved Oxygen

수이다. 불소(F) 성분은 불검출에서 0.5 mg/L의 범위로 낮은 함량을 보인다.

미량원소 성분

천부지하수내 존재하는 미량원소로는 Fe, Sr, Li, Al, Mn, Cu, Zn, Ba 성분이 지하수 시료에 따라서 다소 높게 나타나고, Cr, As, Se, Cd, U, Pb 등은 매우 낮은 함량을 보인다. 철(Fe) 성분은 5 ppb 이하에서 최고 3,140 ppb의 농도를 보인다. SW4, SW9, SW13 지하수에서 2,000 ppb 이상의 높은 함량을 보인다. 스트론튬(Sr) 성분은 56~955 ppb의 농도 범위를 보인다. 망간(Mn) 성분은 0.3~8,980 ppb의 범위로 SW4와 SW13 지하수에서 8,800 ppb 이상의 높은 망간 함량을 보인다. 나머지 지하수는 40 ppb 이하의 낮은 함량을 보인다. 아연(Zn)의 함량은 13~9,320 ppb의 농도 범위로 SW4, SW5, SW16 및 SW20 지하수에서 4,100 ppb 이상의 매우 높은 함량을 보인다. 나머지 지하수에서는 700ppb 이하의 함량을 보인다. 바륨(Ba)은 SW5 지하수에서 340ppb의 특이하게 높은 함량을 보인다. 그 외 미량원소는 모두 50 ppb이하로 특이함을 보이지 않는다.

심부지하수의 수리화학

심부지하수는 복지시설의 식수와 생활용수로 사용 중이며 단층을 따라서 개발되었거나 복지시설 부지내에 개발되어 있다. 이들의 심도는 대부분 200m 이상의 심도를 갖는 지하수공이다. 심부지하수는 복지시설 부지내에 착정 개발된 10개 지하수공과 인근지역 농업용수로 사용되는 심부 지하수 1개공(DG19)에서 시료를 채취하였다. 심부지하수에 대한 수리화학 자료는 Table 2에서 정리되어 있다.

현장측정자료

심부지하수의 현장측정자료를 보면 pH는 6.62~7.65의 범위로 대체적으로 약산성에서 약알칼리성의 범위를 보인다. 천부지하수에 비해 약간 높은 pH 특성을 보인다. 이는 심부지하수가 천부지하수보다 오랜 물-암석 상호반응을 거쳐 약알칼리성으로 진화된 것으로 해석된다. 심부지하수의 산화환원전위(Eh)는 52~159 mV의 범위로 산화환경에 있음을 지시한다.

온도는 13.2°C~19.4°C의 범위를 보여 천부지하수 보다 높은 온도를 보인다. 전기전도도는 137~563 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위로 지하수공에 따라서 큰 차이를 보이며 천부지하수 보다 전반적으로 높은 값을 보인다. 가장 낮은 값을 보이는 농업용 지하수 DG19를 제외한 복지시설 부지내 개발된 지하수공은 모두가 높은 전기전도도 값을 보인다. 지하수의 용존산소의 함량은 0.7~7.9 mg/L의 범위를 보인다.

주요 이온성분

심부지하수내 나트륨(Na)은 성분은 9.62~40.8 mg/L의 범위를 보인다. DW6, DW10, DW5의 심부지하수가 25 mg/L 이상의 농도를 보인다. 칼륨(K) 성분이 0.72~2.16 mg/L의 범위를 보인다. 심부지하수내 가장 풍부한 원소인 칼슘(Ca)은 백악기 퇴적암내 이차광물로 존재할 수 있는 탄산염광물, Ca-장석과 같은 광물로부터 용해될 수 있다(신영식, 1998). 칼슘의 농도는 15.8~82.2 mg/L의 범위로 지하수공에 따라서 큰 함량 차이를 보인다. Mg 성분은 2.32~11.8 mg/L의 함량 범위를 보인다. 심부지하수내 SiO_2 의 농도는 11.6~36.0 mg/L의 농도 범위를 보인다.

심부지하수의 주요 음이온 성분으로는 중탄산(HCO_3)이 가장 풍부한 음이온 성분으로 67~284 mg/L의 농도범위를 보인다. 심부지하수는 중탄산의 높은 함량을 보여주어 퇴적암내 방해석등 탄산염광물의 용해의 영향이 큰 것으로 보인다. 황산염(SO_4) 성분과 염소(Cl) 성분은 1.8~25.8 mg/L의 범위와 9.7~39.6 mg/L의 함량을 각각 보여준다.

질산염(NO_3) 성분은 불검출에서 27.2 mg/L의 범위를 보여 음용수의 수질기준($\text{NO}_3\text{-N}$ 기준 10 mg/L) 이하를 보인다. 그러나 DW5, DW11, DW12 지하수는 23 mg/L 이상의 농도를 보여 오염이 우려되는 지하수공으로 지속적인 감시가 필요하다. DW12와 DW11 지하수의 경우 질산염 성분은 주변에 특별한 오염원이 없는 논밭지역이므로 질소비료 또는 퇴비 등에 의한 오염으로 보인다. DW5 지하수는 복지시설내 위치하므로 사육하고 있는 가축의 축사와 생활하수에 의한 오염으로 보인다. 심부지하수의 불소(F) 성분은 0.05~1.3 mg/L의 범위로 음용수의 수질기준 1.5 mg/L 이하를 보인다.

Table 2. Chemical data of deep groundwater samples in the study area.

Sample No.	DW5	DW6	DW7	DW8	DW10	DW11	DW12	DW13	DW14	DW17	DW19
pH	6.99	7.25	7.01	6.86	7.65	7.13	6.96	7.40	7.03	6.62	6.72
Eh(mV)	159	127	106	132	120	120	107	52	147	149	117
T(°C)	15.2	17.6	19.4	13.6	17.5	15.5	16.2	13.2	13.5	13.2	14.6
*E.C.(μ S/cm)	493	563	583	462	456	354	278	385	285	270	137
											(unit : mg/L)
**D.O.	3.2	0.7	3.1	3.2	2.7	1.9	7.9	4.4	5.4	1.6	3.2
Na	25.7	40.8	18.1	17.7	26.6	14.9	14.7	10.5	10.8	9.62	10.1
K	1.24	1.02	1.76	2.16	1.04	1.0	0.79	0.82	0.72	1.46	1.45
Ca	61.4	76.1	82.2	71.9	66.7	49.4	35.6	62.1	43	38.1	15.8
Mg	11.8	8.79	11.6	8.63	5.49	6.74	6.23	7.91	5.39	4.03	2.32
SiO ₂	32.4	21.3	25.6	24.7	21.2	21.3	35.2	14.5	13.9	11.6	33.9
HCO ₃	195	284	284	229	229	143	128	207	137	110	76
SO ₄	19.3	25.8	21.2	19.8	21.7	18.6	6.4	18.9	13.8	21.3	1.8
Cl	27.4	39.6	29.8	32.9	31.6	22.4	15.4	9.7	20.2	21.5	3.3
F	<0.05	1.3	<0.05	<0.05	1.3	0.8	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.2
NO ₃	23.8	N.D	9.2	2.9	N.D	25.1	27.2	15.3	4.7	4.1	11.2
											(unit : mg/L)
Fe	45	14	26	130	17	48	28	107	25	59	53
Sr	423	1850	464	513	2500	519	175	539	386	937	75
Li	6.4	18.1	10.5	8.2	11.6	8.6	6.2	6.8	2.9	1.9	5.6
Al	12.1	5.3	7.9	20.4	9.8	8.6	4.5	7.7	5.8	4.2	10.4
Mn	2.7	22.2	10.1	2.3	4.5	659.0	7.2	6.0	1.1	2.3	1.2
Cu	10.5	4.0	7.9	11.0	3.6	4.5	3.5	12.1	5.2	5.4	6.2
Zn	20.6	98.7	28.3	20.4	18.3	1430	155	105	25.2	3570	284
As	<1.0	2.16	<1.0	1.06	2.57	2.40	<1.0	<1.0	<1.0	1.08	<1.0
Se	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0
Cd	0.12	0.19	<0.05	0.08	0.09	0.23	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Ba	16.9	159	18.5	18.4	184	58.1	8.9	92.2	104	69.7	9.5
Pb	2.1	1.2	1.8	5.1	0.8	0.6	1.6	0.7	0.5	2.4	1.4
U	1.9	15.5	5.1	11.9	17.2	15.7	0.3	0.4	0.2	0.4	1.0
EN(%)	4.40	0.51	-1.49	0.01	-0.69	0.00	-2.44	-0.75	-1.49	-1.65	-3.05

*E.C. : Electrical Conductance, **D.O.: Dissolved Oxygen

Table 3. Chemical data of groundwater samples from monitoring wells in the study area.

Sample No.	ES1	ES2	ES3	ES5	ES8	ES9	ES10
pH	8.10	7.92	6.63	8.07	6.80	7.50	7.06
Eh(mV)	182	139	-20	209	-71	274	195
T(°C)	13.6	16.3	14.7	14.9	15.3	14.5	13.6
*E.C.(μ S/cm)	222	177	227	234	239	274	288
							(unit : mg/L)
**D.O.	3.5	3.3	4.1	6.6	2.2	10.6	9.9
Na	15.9	16.8	15.8	42.4	18.8	10.5	14.3
K	0.72	1.16	0.78	0.50	0.85	1.04	1.02
Ca	30.6	20.2	26.9	14.3	28.2	20.5	31.8
Mg	3.65	2.01	6.15	1.45	4.64	4.67	7.42
SiO ₂	25.6	24.9	41.3	22.2	33.7	30.9	37.3
HCO ₃	99	72	72	104	79	66	93
SO ₄	18.5	12.2	17.8	16.6	26.9	9.3	7.9
Cl	14.1	6.5	21.3	8.8	14.6	8.7	19.5
F	2.81	4.5	0.1	9.1	1.38	0.49	0.05
NO ₃	16.7	9.5	19.5	11.1	29.3	19.7	36.3
							(unit : mg/L)
Fe	40	10	10	10	10	10	10
Sr	310	308	215	296	427	158	201
Li	7.8	11.3	8.9	12.7	12.9	5.6	12.0
Al	17.7	4.2	3.3	3.2	0.8	<0.2	2.7
Mn	2.6	13.5	15.6	2.3	39.4	0.7	6.9
Cu	4.9	0.1	0.5	0.2	0.4	0.1	0.4
Zn	35.9	591.5	442.8	16.7	478	11.5	137
As	1.70	1.90	1.00	1.00	1.90	1.00	1.00
Se	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Cd	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Ba	22.2	7	10	20	31.5	18	14.7
Pb	13.6	1.1	0.7	0.1	0.2	0.3	0.7
U	2.9	6.4	0.9	0.9	0.9	1.7	0.3
EN(%)	-2.45	5.07	2.16	4.30	-1.56	1.51	0.54

*E.C.: Electrical Conductance, **D.O.: Dissolved Oxygen

미량원소 성분

심부지하수내 철(Fe) 성분은 14~130 ppb 범위의 농도를 보인다. DW8, DW13 지하수는 100 ppb 이상의 약간 높은 함량을 보인다. 그 외 나머지 시료는 60 ppb 이하의 낮은 함량을 보인다. 스트론튬(Sr) 성분은 75~2,500 ppb의 농도 범위를 보이며, DW6, DW10 시료에서 1,850 ppb 이상의 높은 함량을 보인다. 심부지하수내 높은 Sr 함량은 퇴적암내 탄산염광물의 영향 때문으로 보인다. 탄산염광물의 화학성분 $\text{Ca}(\text{Mg})\text{CO}_3$ 에서 Ca 혹은 Mg을 치환한 Sr의 용해에 의한 것으로 보인다. 망간(Mn) 성분은 DW11 시료에서 가장 높은 659 ppb의 높은 함량을 보이고, 나머지 지하수는 22 ppb이하의 낮은 함량을 보인다. 아연(Zn)의 함량은 18.3~3,570 ppb의 농도 범위를 보인다. DW11, DW17 지하수에서 1,470 ppb, 3570 ppb의 높은 함량을 보여, 음용수 수질기준은 1 ppm을 초과한다. 아연이 적당량 함유되어 있으면 성장발육등 인체에 필수원소로 역할을 하지만 과잉일 경우 신경과민 등의 부작용을 유발한다(임연풍 1998; Zuane, 1996). 바륨(Ba)은 8.9 ~ 184 ppb의 농도 범위를 보인다. 그 외 미량원소는 20 ppb 이하로 큰 특징을 보이지 않는다.

관측용 심부지하수의 수리화학

현장 간이수질특성

연구지역의 지하수 모니터링 및 양수시험등을 위하여 10개 지점에서 지하수공을 신규로 착정하여 관측정으로 활용하였다. 개발한 지하수공의 심도는 115~164m의 암반지하수이며, 케이싱의 설치는 5~39m의 범위이다. 이들 지하수공은 신규로 착정하여 시험용으로만 양수를 하였다. 7개 모니터링용 지하수공에 시료가 채취되었다. 지하수공은 모두 주라기 화강섬록암을 모암으로 하고 있다. 수리화학 분석 자료는 Table 3과 같다. 간이 수질특성을 보면 pH는 6.63~8.10의 범위로 대체적으로 약산성에서 약알칼리성의 범위를 보인다. 천부 및 심부지하수에 비해 약간 높은 pH 특성을 보인다. EG1과 EG5 지하수는 pH 8 이상의 약알칼리성을 보인다. 산화환원전위(Eh)는 -71 mV에서 +274 mV의 범위를 보인다. EG3, EG8 지하수는 음의 Eh값을 보여 환원성환경에 접근되어 있음을 보인다. 온도는 13.6~16.3°C의 범위를 보여 천부지하

수 보다 약간 높은 온도특성을 보인다. 전기전도도는 177~288 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위로 지하수공별 큰 차이는 보이지 않는다. 용존산소의 함량은 2.2~10.6 mg/L의 범위를 보인다.

주요 이온성분

신규로 착정된 지하수공 시료의 나트륨(Na) 함량은 EG5 지하수에서 42.4 mg/L로 높은 함량을 보이고, 나머지 시료는 17 mg/L 이하의 함량을 보인다. 칼륨(K) 성분이 0.50~1.16 mg/L 범위의 낮은 값을 보이고, 칼슘(Ca)은 14.3~31.8 mg/L의 범위로 가장 풍부한 양이온 성분이다. 마그네슘(Mg)은 1.45~7.42 mg/L의 함량을 보인다. SiO_2 로 환산한 규소성분은 22.2~41.3 mg/L의 농도범위를 보인다.

중탄산(HCO_3)이 가장 풍부한 음이온 성분으로 66~104 mg/L의 농도범위를 보인다. 황산염(SO_4) 성분은 7.9~26.9 mg/L의 범위를 보여 광택과 수반되는 황화광물의 영향은 거의 받지 않은 것으로 보인다. 염소(Cl) 성분은 6.9~41.0 mg/L의 함량을 보인다. 질산염(NO_3) 성분은 9.5~36.5 mg/L의 범위를 보인다. EG8, EG10 시료에서 비교적 높은 값을 보이므로 지표부에 오염물질의 유입이 있었음을 시사한다. 불소(F) 성분은 0.1~9.1 mg/L의 범위를 보이는데 EG1, EG2, EG5 지하수에서는 2.81 ~ 9.1 mg/L 범위로 음용수 수질기준 1.5 mg/L를 크게 초과한다. 이는 화강암내 운모의 수산기(OH)를 치환한 불소(F)가 지하수와의 반응을 통하여 용출된 것으로 보인다. 불소가 적당량 함유된 지하수를 음용할 경우 충치예방과 같은 긍정적인 효과가 있지만 다량으로 함유될 경우에는 치아에 흉터를 남기거나, 뼈가 약해지거나 심하면 부스러지는 나쁜 효과를 초래할 수 있다(Apambire, et al., 1997).

미량원소 성분

관측용 지하수내 철(Fe)의 함량은 EG1 시료가 40 ppb이고 그 외 시료는 10 ppb 이하를 보인다. 스트론튬(Sr)의 농도는 158~427 mg/L의 범위를 보인다. 망간(Mn) 성분은 0.7~39.4 ppb의 범위로 낮은 함량을 보인다. 아연(Zn)의 함량은 11.5~592 ppb의 농도 범위를 보이는데 EG2, EG3, EG8 지하수에서 440 ppb 이상의 높은 함량을 보인다. 바륨(Ba)의 함량을 보면 7~31.5

ppb의 농도 범위를 보인다. 그 외 리튬(Li), 구리(Cu), 비소(As), 셀레늄(Se), 카드뮴(Cd), 납(Pb), 우라늄(U) 등의 함량은 모두 20 ppb이하로 낮은 값을 보인다.

광산 배출수와 지표수의 수리화학

현장 간이수질특성

광산개발에 따른 지하수의 수질변화를 알아 보기 위하여 태극광산(MD1)과 금봉광산(MD2)의 광산 배출수를 채취하여 화학분석을 실시하였고, 연구지역내 지표수는 하천수와 저수지를 대상으로 시료를 채취하여 화학성분을 분석하였다. 수리화학 분석 자료는 Table 4와 같다. 광산 배출수의 수질특성을 보면 pH는 태극광산 7.41, 금봉광산 6.60를 각각 보인다. 산화환원전위(Eh)는 163 mV와 191 mV를 용존산소는 4.7 mg/L와 5.8 mg/L를 전기전도도는 145 μ S/cm, 167 μ S/cm을 각각 보여 금속광산에서 예상되는 산성수와 높은 전기전도도의 특성은 거의 보이지 않고 일반 지하수의 수질특성을 보인다.

지표수의 수질특성을 보면 pH는 6.54~7.37의 범위로 대부분 약산성의 특성을 보인다. 산화환원전위(Eh)는 176 mV에서 206 mV의 범위를 보인다. 전기전도도는 119~179 μ S/cm의 범위를 보이며 용존산소의 함량은 4.2~4.9 mg/L의 범위로 높지 않은 값을 보인다.

주요 이온성분

광산 배출수의 나트륨(Na) 성분은 6.41~8.92 (8.92~6.41: 표기정정) mg/L를 보이고 지표수의 경우 4.58~11.3 mg/L의 함량을 보인다. 칼륨(K) 성분은 0.63~2.16 mg/L 범위로 낮은 함량을 보인다. 칼슘(Ca) 성분은 광산배출수가 16.5~18.6 mg/L의 범위를 지표수는 13.0~17.7 mg/L로 가장 풍부한 양이온성분이 된다. 마그네슘(Mg) 성분은 광산배출수 3.46~4.26 mg/L의 범위를 지표수는 2.42~3.81 mg/L의 범위를 보인다. SiO₂로 환산한 규소성분은 광산 배출수 17.2~24.5 mg/L, 지표수 5.2~17.6 mg/L의 농도범위를 각각 보인다.

중탄산(HCO₃)은 가장 풍부한 음이온 성분으로 40~82 mg/L의 농도범위를 보인다. 황산염(SO₄) 성분은 금봉광산 배출수가 46.6 mg/L로 높은 값을 보이고, 태극광산과 다른 지표수는 3.7~17.4 mg/L의 낮은 함

량을 보인다. 금봉광산의 배출수가 광맥과 수반되는 황화광물의 영향을 약간 받은 것으로 보이며 태극광산의 배출수는 황화광물과의 산화반응은 미미한 수준으로 보아야한다. 광산 배출수와 지표수의 염소(Cl) 성분은 2.8~12.7 mg/L의 함량으로 큰 특성을 보이지 않는다. 질산염(NO₃) 성분은 3.1~9.9 mg/L의 범위를 보여 특별한 오염원에 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.

불소(F) 성분은 불검출에서 1.7 mg/L 범위로 금봉광산 배출수가 1.7 mg/L로 높은 값을 보인다. 이는 모암인 화강암의 영향 때문인 것으로 보인다.

미량원소 성분

철(Fe)의 함량은 광산 배출수의 경우 5 ppb의 낮은 함량이지만 지표수의 경우 9~183 ppb 범위로 높은 함량을 보인다. 스트론튬(Sr)의 농도는 97~175 mg/L의 범위를 보인다. 망간(Mn) 성분은 2.4~60.1 ppb의 범위를 보인다. 금봉광산배출수가 태극광산보다 높은 망간 함량을 보인다. 아연(Zn)의 함량도 금봉광산에서 83.8 ppb로 약간 높은 값을 보이며 태극광산과 지표수는 2.9~18.7 ppb로 낮은 함량을 보인다. 바륨(Ba)은 태극광산에서 73.6 ppb이고 나머지시료에서는 21.6~42.2 ppb의 범위를 보인다. 비소(As)의 경우 금봉광산이 28.8 ppb이고 나머지 시료에서는 2.1 ppb이하의 매우 낮은 함량을 보인다. 그 외 미량원소는 10 ppb이하로 아주 낮은 함량을 보인다.

동위원소 특성

물분자 동위원소인 산소-18, 중수소는 물의 순환특성을 잘 반영한다. 그리고 지하수의 기원, 지표수와 지하수의 상관관계 등에 관한 정량적인 자료를 제시할 수 있다(Moser, et al., 1989; Clark and Fritz, 1997).

연구지역의 천부 및 심부지하수의 상관관계 및 함양특성을 알아보기 위하여 산소와 수소 동위원소를 분석하였다. 지하수의 산소 및 수소동위원소 분석결과는 Table 5에 정리되어 있다. 동위원소 분석결과를 보면 천부지하수와 농업용 심부지하수 DW19를 보면 $\delta^{18}O$ 값이 -8.0 ~ -8.4 % 범위를 보이고, δD 값은 -55 ~ -58 %의 범위를 보여준다. 복지시설 부지내 심부지하수는 $\delta^{18}O$ 값이 -8.6 ~ -9.3 % 범위를 보이고, δD 값은 -59 ~ -64 %의 범위를 보여준다. 심부지하수의 $\delta^{18}O$ 및 δD 값은 천부지하수보다 낮은 범위를 보인다. 지하수의 동위원소 조성을 δD 와 $\delta^{18}O$ 의 함수로

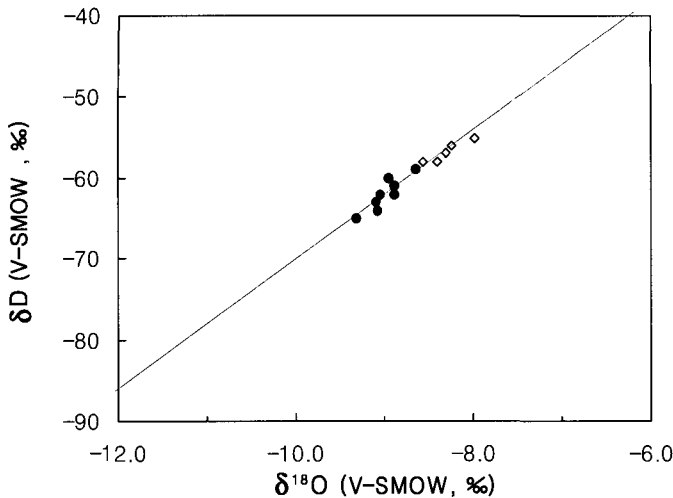


Fig. 3 $\delta^{18}\text{O}$ vs δD relationship between the shallow and deep groundwater samples collected from the Umsung area. Solid circles are deep groundwater samples and Open rectangulars are shallow groundwater samples.

도시하여 보면 강수기원을 지시하는 순환수선 (meteoric water line)을 따라서 분포한다(Fig. 3). 천부 및 심부지하수의 동위원소 조성 값의 차이는 지하수 함양에 대한 고도효과를 잘 반영한다. 이는 심부지하수의 함양지역이 천부지하수보다 높은 고도임을 지시한다. 즉, 지하수의 함양지역이 심부지하수의 경우 연구지역 서편의 가파른 경사의 고지형을 형성하고 있는 퇴적암지역이며, 천부지하수는 연구지역 동편의 낮은 지형을 형성하는 화강암지역임을 지시하는 지형적 차이를 잘 반영하고 있다.

토 의 및 결 론

수리화학적 유형

연구지역 지하수, 지표수, 광산 유출수의 수리화학적 유형을 알아보기 위해 화학성분을 당량비로 환산하여 파이퍼도(Piper, 1944)에 도시하였다(Fig. 4). 이번 연구에서는 파이퍼도를 약간 수정하여 작성하였다. 천부지하수내 오염에 의한 질산염 이온성분의 함량이 매우 높아 파이퍼 원도에 질산염 성분을 주요 음이온 성분으로 추가하였다. 파이퍼도에 도시된 지하수의 화학적 유형으로 보면 심부지하수는 Ca-HCO_3 형으로

분류되며, 천부지하수는 Ca-HCO_3 형에서 $\text{Ca-Cl}(\text{SO}_4, \text{NO}_3)$ 형의 영역까지 넓은 분포를 보인다. 관측용 지하수공은 Ca-HCO_3 형, $\text{Ca-Cl}(\text{SO}_4, \text{NO}_3)$ 형 그리고 1개공은 Na-HCO_3 형의 화학적 유형을 보인다. 광산 배출수는 태극광산의 경우 Ca-HCO_3 형으로 금봉광산의 경우 Ca-SO_4 형으로 분류된다. 앞서서도 언급된바와 같이 태극광산의 배출수는 광화대와의 반응이 매우 미미한 특성을 보이는 반면 금봉광산수의 경우에는 비록 전기전도도가 낮고 이온 함량은 높지는 않지만 물의 화학적 유형은 광산수로 분류된다. 지표수의 경우에는 대부분 Ca-HCO_3 형에 도시된다.

국내 화강암지역 지하수의 일반적인 화학적 유형은 천부지하수의 경우 Ca-HCO_3 형이 대부분이고, 심부의 진화된 지하수는 Na-HCO_3 형을 보인다(고용권, 1998). 그리고 퇴적암지역의 지하수는 Ca-HCO_3 형이 대부분이다. 연구지역의 지하수는 지질학적인 특성을 잘 반영하고 있는 상태이지만, 천부지하수의 경우 농업활동에 의한 오염으로 질산염 성분이 높게 검출된다. 광화대의 황화광물의 용해에 의해 영향을 받은 지하수의 경우 Ca-SO_4 의 화학적 유형을 보인다. 그러나 연구지역의 천부지하수의 경우 황산염의 함량은 약간 높은 편이지만 광화대의 영향에 의한 화학적 유형의 차이는 크지 않다.

Table 4. Chemical data of mine drainage water and surface water in the study area.

Sample No.	MD1	MD2	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5
pH	7.41	6.60	6.54	6.75	6.76	7.37	6.82
Eh(mV)	163	191	206	189	189	182	176
T(°C)	15.8	12.8	17.8	21.1	18.2	17.7	14.9
*E.C.(μ S/cm)	145	167	123	162	133	119	179
							(unit : mg/L)
**D.O.	4.7	5.8	4.4	4.2	4.7	4.8	4.9
Na	8.92	6.41	6.50	9.39	7.39	4.58	11.3
K	1.30	0.63	1.17	2.16	1.94	1.76	1.37
Ca	16.5	18.6	13.0	16.2	13.0	14.2	17.7
Mg	3.46	4.26	2.53	3.81	2.76	2.42	3.42
SiO ₂	24.5	17.1	17.6	9.5	16.3	5.3	14.1
HCO ₃	82	40	43	55	40	55	55
SO ₄	3.7	46.6	12.9	17.4	10.1	5.4	14.7
Cl	4.2	2.9	6.1	11.0	3.4	2.8	12.7
F	0.00	1.7	0.0	0.0	0.36	0.31	0.00
NO ₃	4.7	3.1	7.7	5.7	9.1	5.2	9.7
							(unit : mg/L)
Fe	5	5	62	183	89	20	9
Sr	105	144	126	150	129	97	175
Li	3.7	2.8	1.0	0.4	0.4	0.2	1.1
Al	6.4	14.0	27.5	4.2	10.6	6.3	8.1
Mn	2.4	60.1	32.8	36.3	22.1	9.6	26.2
Cu	1.8	2.1	1.4	1.9	1.9	1.3	1.9
Zn	18.7	83.8	2.9	3.9	5.3	3.0	3.5
As	<1.0	28.8	<1.0	1.5	1.1	1.2	2.1
Se	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0
Cd	0.1	0.1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Ba	73.6	21.6	25.2	42.2	31.2	32.1	28.1
Pb	0.5	0.1	0.2	0.5	0.6	0.2	0.1
U	2.1	2.8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
EN(%)	-2.60	-5.26	-3.82	-2.10	6.17	-0.90	-0.74

*E.C. : Electrical Conductance, **D.O.: Dissolved Oxygen

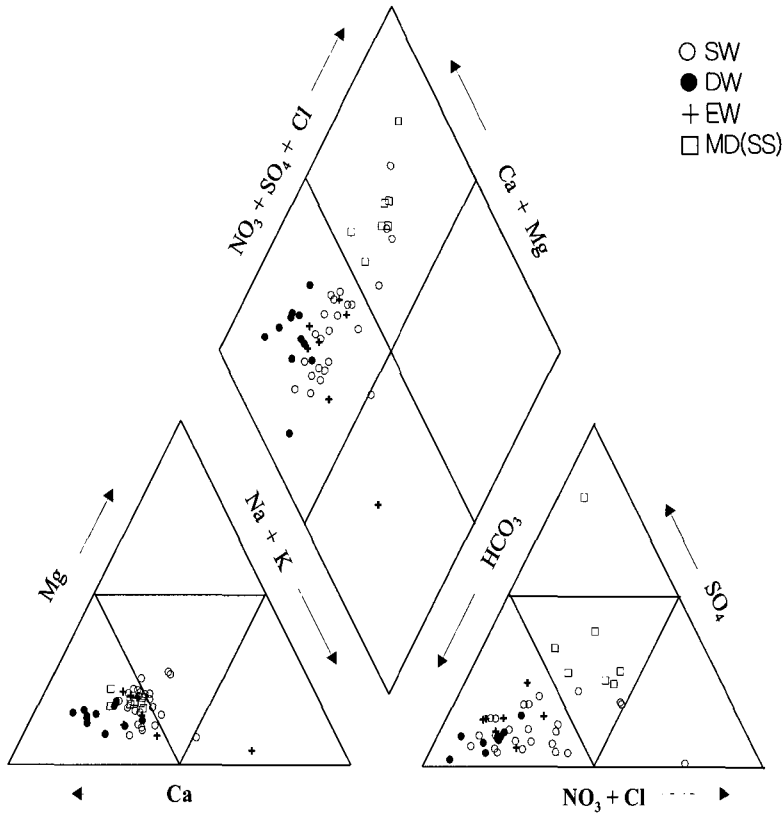


Fig. 4. Trilinear plot of the chemical composition of water samples collected from the Umsung area. SW : shallow groundwater, DW: deep groundwater, ES : groundwater from monitoring wells, MD : mine drainage water, SS: surface water.

통계분석

천부 및 심부지하수, 광산갱내수와 지표수, 신규 관측용 지하수에 대한 수리화학성분을 비교분석하기 위하여 박스-휘스커 다이어그램을 작성하였다(Fig. 5). pH 특성을 보면 천부지하수, 심부지하수, 관측용 심부지하수의 순으로 알칼리성이 증가함을 보인다. 관측용 지하수의 경우에는 화강암과 충분한 물-암석 상호 반응으로 지하수가 알칼리성으로 진화된 것으로 보인다. 전기전도도는 심부지하수, 천부지하수, 관측용 심부지하수, 지표수(광산 배출수)의 순서로 낮아지는 경향을 보인다. 양이온 성분중 Na+K의 농도 평균은 천부지하수, 관측용심부지하수, 심부지하수, 지표수의 순서로 낮아지는 경향을 보인다. Ca+Mg의 함량은 심부지하수의 농도가 천부지하수와 관측용 심부지하수에 비해 크게 높은 경향을 보인다. 심부지하수의 경우

경상누층군의 백야리 퇴적암층을 모암으로 한다. 경상누층군의 퇴적암의 광물화학적 특성은 사암과 셰일이 속성변질작용을 거치면서 탄산염광물을 교결물질 혹은 고대 및 침전광물로 함유하는 것으로 알려져 있다(정찬호, 1999; 신영식, 1998). 이러한 탄산염광물의 용해에 의해 심부지하수내 Ca, Mg의 함량이 높은 것으로 보인다.

음이온 성분으로 HCO₃ 성분은 심부지하수에서 뚜렷하게 높은 값을 보이고, 관측정지하수, 천부지하수, 광산배수(지표수)의 순으로 낮아지는 경향을 보인다. Cl+NO₃의 농도는 천부지하수에서 가장 높은 값을 보여 오염에 가장 많이 노출되어 있음을 시사한다. SO₄의 함량은 대부분의 지하수에서 높지 않은 값을 보이고 지하수에 따른 뚜렷한 농도차이를 보이지 않는다. 불소의 함량은 관측정지하수에서 가장 높은 값을 보인다.

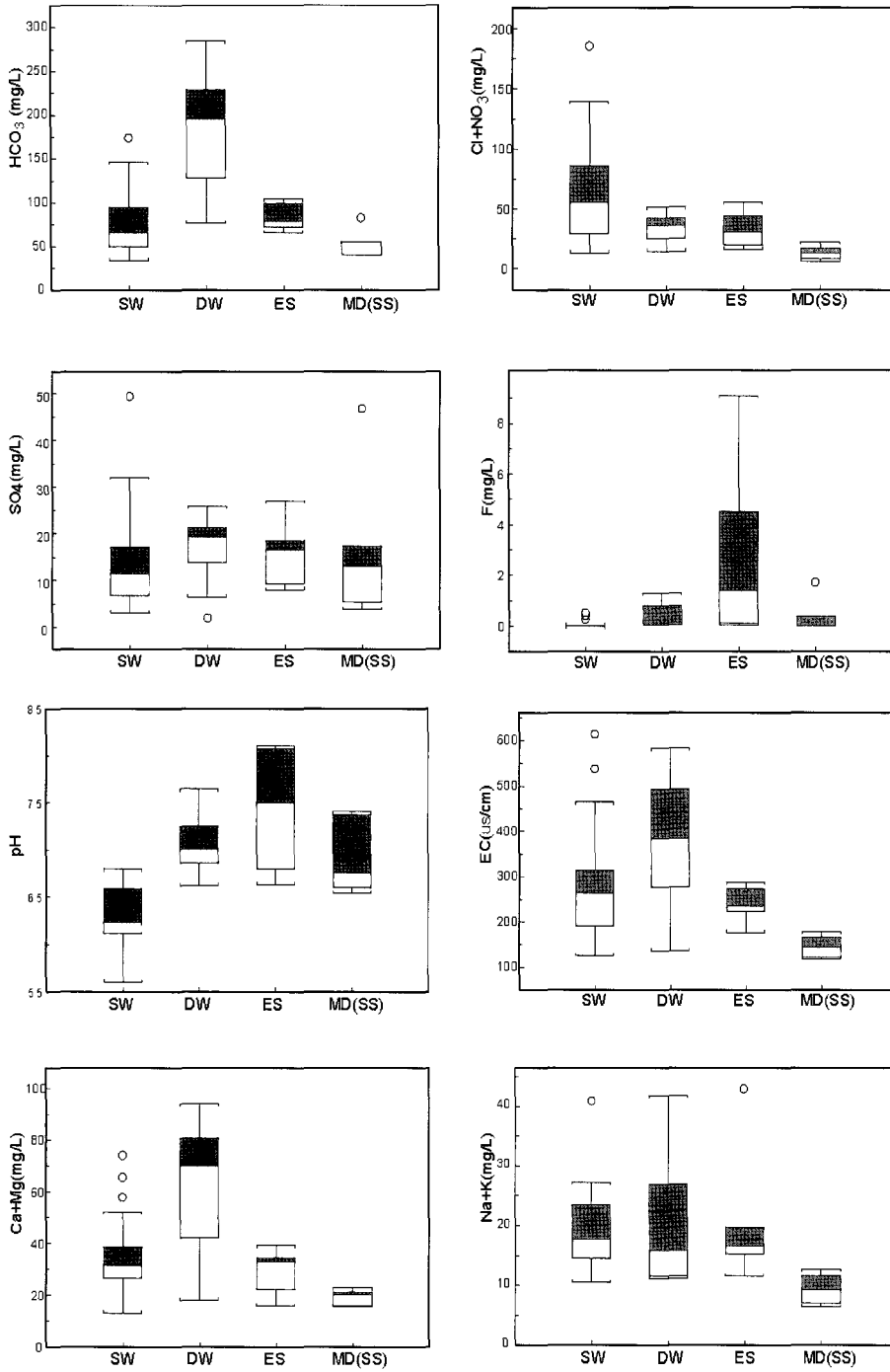


Fig. 5 Box-Whisker Diagram of the chemical composition of water samples collected from the Umsung area.

광화대의 영향

금속광상 형성시 광맥은 일반적으로 황화광물과 다량의 중금속을 수반한다. 연구지역 지하수의 수질화학에 대한 광화대의 영향을 황산염의 농도와 중금속의 함량을 기준으로 평가하였다.

황산염의 농도가 높은 지역은 금봉광산 아래, 태극광산의 좌측부, 연구지역 하단부 지하수로 이들 일부 지하수는 광화대의 영향이 있었던 것으로 추정된다.

중금속의 농도분포를 보면 망간(Mn)의 분포를 보면 인곡리 지역 일부지하수와 금봉광산 아래 지하수에서 높은 농도분포를 보인다. 지하수내 아연(Zn)의 분포를 보면 인곡리 부근과 금봉광산 하부의 지하수에서 높은 농도를 보인다. 지하수내 철(Fe)의 함량도 인곡리 부근에서 높은 농도를 보인다. 인곡리 지역은 태극광산이 금맥을 따라서 채굴하고자하는 지역이다. 따라서 인곡리일대 일부지하수내 철, 망간, 아연의 높은 농도 함량은 광맥의 영향이 있는 것으로 보인다. 지하수내 높게 검출되는 중금속이 농작물에 미치는 영향을 고려하여야한다.

사 사

지표수 및 지하수의 양이온 성분과 안정동위원소는 한국기초과학지원연구원에서 분석되었다.

참고문헌

- 고용권, 1998, 영천 화강암지역 지하수의 지화학적 모델링, 지하수환경학회, 5권, 192-202.
- 김규한, 김옥준, 장원선, 1990, 무극 금은 광상에 대한 유체포유물 및 안정동위원소 분석 연구, 광산지질, 23권 1-9.
- 박희인, 강성준 1988, 무극광산 삼형제맥의 금은광화 작용, 광산지질, 21, 257-268.
- 신영식, 1998, 한국 경상분지 중앙부 백악기 하부 하양층군의 적색층에 관한 연구, 경북대학교 이학박사학위논문, 151p.
- 임연풍, 1996, 의학환경지구화학, 한국학술진흥재단번역총서 201, 춘광, 434pp.
- 정찬호, 김통권, 김천수, 김수진, 1997, 편마암-물 상호반응에 의한 지하수의 지화학적 진화 및 이차광물 생성에 대한 반응경로 모델링, 한국광물학회지 10권 33-44.
- 정찬호, 정기영, 1999, 청송지역 달기 탄산약수의 지화학적 수질특성과 생성기원, 자원환경지질학회지, 32권, 455-468.
- 정창희, 박용안, 김항목, 1976, 한국지질도 음성도폭 (1:50,000) 자원개발연구소.
- Apambire, W. B., Boyle, D. R., Michel, F. A., 1997, Geochemistry, genesis, and health implications of fluoriferous groundwaters in the upper regions of Ghana, *Environmental Geology*, 33, 13-24.
- Clark, I. and Fritz, P., 1997, *Environmental isotopes in hydrology*, Lewis publishers, 328p.
- Coleman, M. L., Shepherd, T. J., Druham, J. J., Rouse, J. E. and Moore, G. R., 1982, Reduction of water with zinc for hydrogen isotope analysis. *Anal. Chem.*, v. 54, 993-995.
- Jeong, C. H., Kim, S. J. and Kho, Y. K., 1994, Formation of clay minerals by water-rock interaction in the fracture of gneiss, *한국광물학회지*, 7권, 49-61.
- Jeong, C.H., 2001, Effect of land use and urbanization on hydrochemistry and contamination of groundwater from Taejon area, Korea, *Journal of Hydrology*, v. 253, 194-210.
- Kendall, C. and Coplen, T. B., 1985, Multisample conversion of water to hydrogen by zinc for stable isotope determination. *Anal. Chem.*, v. 57, 1438-1440.
- Moser, H., Wolf, M., Fritz, P., Fontes, J. CH., Florkowsky, T. and Payne, B. R., 1989, Deuterium, Oxygen-18 and tritium in Stripa groundwaters, *Geochimica et Cosmochimica, Acta* 53, 1745-1764.
- Piper, A.M., 1944, A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Transactions of American Geophysical Union*, v. 25, 914-923.
- Zuane, J.D., 1997, *Handbook of drinking of water quality 2nd ed.*, Van Nostrand Reinhold, 575p.

투 고 일 2004년 11월 1일
 심 사 일 2004년 11월 2일
 심사완료일 2004년 11월 30일

정찬호

대전대학교 지구시스템공학과
300-716 대전광역시 동구 용운동 96-3
Tel: 042-280-2573
Fax: 042-280-2570
E-mail: chjeong@dju.ac.kr

이병대

한국지질자원연구원 지하수지열연구부
305-350 대전시 유성구 가정동 30번지
Tel : 042-868-3088
Fax : 042-861-9719
E-mail: blee@kigam.re.kr

성익환

한국지질자원연구원 지하수지열연구부
305-350 대전시 유성구 가정동 30번지
Tel : 042-868-3082
Fax : 042-861-9719
E-mail: sih@kigam.re.kr

조병욱

한국지질자원연구원 지하수지열연구부
305-350 대전시 유성구 가정동 30번지
Tel : 042-868-3083
Fax : 042-861-9719
E-mail: cbw@kigam.re.kr