

## 충남 논산군 수락리 일대 심부지하수의 수질특성

임현철 · 조병욱

한국지질자원연구원 지하수지열연구부

Hydrochemical Characteristics of Deep Groundwater at Surak-ri,  
Nonsan-gun, Chungnam Province, Korea

Hyun Chul Im · Byong Wook Cho

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350 Korea

## 요 약

충청남도 논산군 수락리에 굴착된 심부지하수의 수질특성을 용존 이온 함량, 수질유형, 지하수의 진화와 상평형 등으로 설명하였다. 연구지역은 퇴적변성암류와 화강반암으로 이루어져 있으며, 수질분석이 이루어진 5개 굴착공은 모두 퇴적변성암에 위치하고 있고, 심도는 554-928m이다. pH와 TDS, Na, SiO<sub>2</sub> 등은 석영반암의 관입이 추정되는 퇴적변성암지역 심부지하수에서 높고, Ca는 변성퇴적암류지역 지하수에서 높게 나타난다. K와 Mg 함량은 두 지역 심부지하수 모두에서 낮으며, F의 함량은 모두 높은 함량을 보인다. 주요 음이온의 함량은 두 지역 모두 CO<sub>3</sub>(HCO<sub>3</sub>)>Cl> SO<sub>4</sub>(F)의 순서이다. 주요 양이온의 함량은 석영반암 관입이 추정되는 심부지하수에서 Na>Ca>K(Mg)의 순서로 나타나나, 변성퇴적암류의 심부지하수에서는 국내 먹는 샘물과 마찬가지로 Ca>Na>Mg>Na의 함량비를 나타낸다. 5개 심부지하수는 Na<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O와 K<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 상안정다리아그램에서 석영에 대해서 과포화상태에 있으며, 국내 먹는샘물에 비해 진화가 상당히 진행되었다. 석영반암 관입이 추정되는 심부지하수는 장석류에 대하여 포화상태에 도달해 있으나, 변성퇴적암류지역 심부지하수는 pH의 증가와 함께 장석류와의 반응이 계속 진행될 수 있다.

## 주요어

심부지하수, 먹는샘물, 함량, 변성퇴적암, 석영반암

## ABSTRACT

Hydrochemical characteristics of deep groundwater at Surak-ri, Nonsan-gun, Chungnam Province was explained by major ion concentration, water type, and phase stability diagram. The area is composed of meta-sedimentary rock and quartz porphyry. The 5 boreholes where deep groundwater was sampled and analyzed are located on the meta-sedimentary rocks and drilling depth range of the wells is from 554 m to 928 m. pH, TDS, Na, and SiO<sub>2</sub> values are high in the groundwater from meta-sedimentary area intruded by quartz porphyry, while Ca is high in the groundwater from meta-sedimentary area. K and Mg concentrations are low but F concentration is high both groundwater. The content of major anions is in the order of CO<sub>3</sub>(HCO<sub>3</sub>)>Cl>SO<sub>4</sub>(F) in both geology, while that of major cations shows the order of Na>Ca>K(Mg) in meta-sedimentary area intruded by quartz porphyry and Ca>Na>Mg>Na in meta-sedimentary area. Based on the phase equilibrium in the systems Na<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O and K<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O, the groundwater is saturated with respect to Quartz and more evolved compared with the natural mineral water. It is concluded that chemical evolution in the groundwater from meta-sedimentary area intruded by quartz porphyry, is nearly saturated with respect to feldspar, while the groundwater from meta-sedimentary area continue to proceed with increasing pH by reaction of feldspar.

## Key words

deep groundwater, natural mineral water, concentration, meta-sedimentary rocks, quartz porphyry

Corresponding Author : 임현철(ihc@kigam.re.kr)

원고접수일 : 2004년 9월 15일 게재승인일 : 2004년 11월 5일

## 1. 서 언

최근 천부지하수의 오염증가, 유류비축기지 건설, 고준위방사설펄기물의 처분장 건설의 필요 등으로 인해서 심부지하수의 유동과 지화학적 특성에 대한 관심은 점점 커지고 있다. 지하수의 수질은 지하로 침투한 강우가 암석과의 상호반응을 통하여 결정되기 때문에 지질은 지하수의 수질특성을 좌우하는 중요한 요소 중의 하나이다. 국내 심부 지하수의 수질은 우리나라의 지질특성상 대부분이 결정질암으로 되어 있고, 지하수의 유동속도가 느려서 암석내 체재시간이 길기 때문에 특정 성분의 함량이 높은 경우가 많다. 그러나 시추공의 설계 부실로 인해서 굴착공의 심도는 깊지만, 심부 지하수의 수질 특성을 보여주지 못하는 경우도 많다. 즉, 굴착공의 심도는 깊지만 케이싱과 그라우팅의 부실로 인하여 천부 지하수의 유입이 일어나고 있는 경우가 많기 때문이다. 지금까지 국내 심부지하수에 대한 지구화학적 특성 연구로는 화강암지역에 대한 이종운(1997a), 고용권(2000), 배대석(2002) 등이 있으며, 변성퇴적암류지역에 대한 연구로는 이종운(1997b), 정찬호(1998) 등이 있다.

본 연구는 충남 논산군 벌곡면 수락리 일대 심부지하수의 수질특성을 용존 이온 함량, 수질유형, 지하수의 진화와 상평형 등으로 설명하고자 하였다. 이를 위하여 온천개발용으로 굴착된 심도 554.928 m 내외 굴착공에서 채수한 5개 심부 지하수공의 수질분석 결과를 이 지역의 지질과 천부지하수 유입 차단이 비교적 완벽하고 지질별로 분류가 이루어진 국내 먹는 샘물의 수질과 비교, 분석하였다.

## 2. 수문지질

연구지역은 충남 논산군 벌곡면 수락리 일대로서 해발고도는 약 300 m 내외에 해당된다. 연구지역의 지질은 Fig. 1에서와 같이 소위 옥천 변성퇴적암류의 창리층과 이를 피복한 백악기 응회암, 창리층을 관입한 백악기의 반암류가 분포하고 있다(홍승호 · 최위찬, 1978). 굴착공이 위치한 창리층과 이를 관입한 석영반암에 대해 간단히 살펴보면 다음과 같다.

창리층은 연구지역에서 가장 넓게 분포하는 암상으

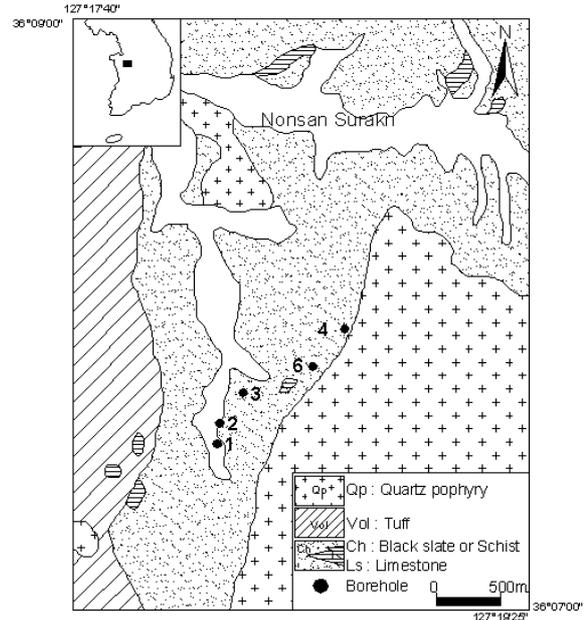


Fig. 1 Geological map and location of sampled boreholes.

로 흑색셰일 및 사암이 변성된 편암 및 천매암이 주를 이루며, 부분적으로는 10 m 두께 이내의 석회암이 협재되기도 한다. 편암 및 천매암은 흑운모, 석영, 백운모가 주된 구성광물인 점으로 미루어 보아 이질퇴적암이 upper greenschist 상의 변성을 받았음을 알 수 있다. 기타 특이한 광물군으로는 탄질물이 있는데 이는 변성퇴적암에 소량으로 함유되어 있다. 창리층에 협재된 석회암의 경우 대부분 심한 변형과 변성으로 인해 결정질로 변해 있다. 석영반암은 세립의 기질에 3-5 mm 크기의 장석 및 석영 반정을 보이며, 연분홍의 색상을 띤다. 이러한 석영반암은 화성암체의 주변부로 가면서 등립이면서, 중립질 구조의 화강암질 암상으로 점이적인 변화를 보이기도 한다. 장석은 심한 견운모화 작용으로 인해 부분적으로는 운모의 집합체와 같이 보이기도 한다. 이러한 현상으로 보아 lower greenschist 상의 퇴행성 변성작용을 받았던 것으로 추정된다. 본 지역의 지질구조는 화강반암 및 백악기 화산 퇴적암내에 몇 조의 절리와 남북과 동서방향의 단층이 관찰되는 단순한 지질구조를 보인다. 창리층에서는 심한 변형으로 인해 부분적으로는 원래의 퇴적구조를 구분하기 어려울 정도로 새로운 면구조들이 발달하고 있다.

본 지역에는 총 7개의 심부 굴착공이 있는 바, 각

Table 1 Details of the borehole information.

Borehole	Coordinates	Depth(m)	Ele.(m)
No. 1	E127° 18' 22.06", N 36° 08' 08.76"	554	270
No. 2	E127° 18' 22.26", N 36° 08' 15.00"	834	365
No. 3	E127° 18' 26.35", N 36° 08' 24.49"	680	270
No. 4	E127° 19' 01.46", N 36° 08' 36.89"	675	265
No. 5	E127° 18' 58.56", N 36° 08' 33.81"	880	352
No. 6	E127° 18' 34.23", N 36° 08' 29.43"	928	292
No. 7	E127° 18' 44.10", N 36° 08' 24.32"	-	320

Data : 한국자원연구원, 1997

굴착공의 위치와 심도는 Table 1과 같다. 굴착공들간 거리가 가장 먼 것은 1호공과 4호공으로 약 1,300m이다. 이들 굴착공에는 250 m 내외의 케이싱이 설치되어 있는 것으로 알려져 있으며, 지하 증온률은 18.8-22.7 °C/km로 전국 평균인 26.7 °C/km에 비해 낮은 편이다. 7개 굴착공 중에서 시료가 채취되어 수질분석이 이루어진 곳은 1, 2, 3, 4, 6호공이었다. 이들 5개 공은 모두 창리층에 위치하고 있으나 1, 2호공은 충적층으로 피복되어 있다.

### 3. 시료채취 및 수질분석

수질분석을 위한 시료채취는 수시료 채취기를 이용하여 각 굴착공의 심도 300 m 지점에서 이루어졌다. 채취된 시료에 대해서 pH, EC 등은 휴대용 측정기를 이용하여 현장에서 직접 측정 하였다. 알칼리도는 페놀프탈레인 용액과 메틸레드-브롬크레졸그린 혼합용액을 이용하여 적정한 후, 계산에 의하여  $\text{HCO}_3^-$ 와  $\text{CO}_3^{2-}$ 로 환산하였다. 채취한 시료는 0.45  $\mu\text{m}$  membrane filter를 통과시켜 부유물을 제거한 후, 1ℓ의 무균채수병에 담아 아이스박스를 이용하여 실내로 운반하였다. 양이온 분석용 시료에는 채수 용기의 벽면에 양이온이 흡착되는 것을 방지하기 위하여 농질산을 가해 pH 2 이하로 조절하였다. 분석된 수질 항목은 K, Na, Ca, Mg, Fe, Mn, Sr, Cu, Pb, Zn,  $\text{SiO}_2$ , Cl,  $\text{SO}_4$ , F 등이었고, 이들은 한국지질자원연구원 분석부에서 이루어졌는 바, 원자흡광분석기(Perkin Elmer 5100), 유도결합플라즈마(Jobin Yvon 38) 및 이온크로마토그래피(Dionex 300)를 이용하였다(Table 2).

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 지하수의 물리화학적 특성

5개 심부지하수의 pH는 8.75에서 10.40의 범위로 6호공의 시료를 제외한 나머지 4개 시료의 pH는 10을 넘고 있다. 이와 같이 심부지하수의 pH가 10을 넘는 경우는 경북 문경지역 화강암지역 심부지하수의 10.39(고용권, 2000) 등 화강암지역 심부지하수에서 pH가 높은 것으로 알려져 있다. 연구지역 심부지하수의 높은 pH에 비하여 지하수에 용존되어 있는 총고용물(total dissolved solids)의 함량 범위는 6호공의 74mg/L에서 4호공의 108mg/L로 대체로 낮은 편이며, 이는 국내 화강암지역의 천부 및 중간지하수의 TDS와 비슷하다(이종운, 1997a).

일반적으로 지하수는 원소들이 화학적으로 평형상태를 이루지만 물리화화적인 조건들에 따라서 이온들이 전하균형을 이루지 못하는 경우가 있다. 이온전하 균형(ionic charge balance)은 양이온과 음이온의 당량전하간의 차이를 말하는데 5% 이하이면 분석의 신뢰도가 높은 것으로 본다. 연구지역 5개 심부지하수의 이온간 전하불균형은 0.7-9.4% 범위이고 평균 5.0%의 전하불균형을 보인다. 전하불균형이 큰 시료는 3호, 4호공으로 각각 9.4, 9.3%이다.

### 4.2 주 이온의 함량

지하수에 존재하는 주요 양이온은 K, Na, Ca, Mg 이고, 주요 음이온은 Cl,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), F를 들

Table 2 Results of physical and chemical analysis for the 5 deep groundwater.

	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 6	remark
pH	10.00	10.08	10.38	10.40	8.75	
TDS	101	91	105	108	74	
K	0.30	0.18	0.14	0.20	0.28	
Na	19.70	15.30	23.20	26.40	13.60	
Ca	6.18	6.46	5.48	5.04	17.70	
Mg	0.11	0.27	0.11	0.16	0.21	
Fe	0.03	0.03	0.02	0.02	0.15	
Mn	ND	ND	ND	ND	ND	
Li	0.01	0.01	0.03	0.04	0.01	
Sr	ND	ND	ND	ND	ND	
Cu	ND	ND	ND	ND	ND	
Pb	ND	ND	ND	ND	ND	
Zn	0.01	0.01	0.01	0.02	0.05	
Cl	5.20	5.60	8.60	7.40	5.20	
SO <sub>4</sub>	11.30	4.12	3.62	1.23	8.64	
F	3.71	2.32	3.16	5.75	2.54	
free CO <sub>2</sub>	ND	ND	ND	ND	ND	
CO <sub>3</sub>	18.80	22.50	33.50	36.70	1.73	
HCO <sub>3</sub>	1.47	ND	ND	ND	59.70	
SiO <sub>2</sub>	30.10	33.50	33.70	37.10	15.80	

수 있다. 연구지역 심부지하수의 주요 양이온의 함량 분포는 6호공을 제외하고는 Na>Ca>K(Mg)의 순서로 나타나, Ca보다도 Na의 함량이 더 높다(Fig. 2). 이는 국내 지표수 및 심도 100-300 m 이내의 지하수 (이종운, 1997a,b)와 심도가 98-400 m(평균 149 m)인 국내 먹는 샘물의 Ca>Na>Mg>Na의 함량비를 나타내는 것으로 보고 되고 있는 것과(Cho, 1998) 차이가 있다. 그러나 연구지역 심부지하수의 주요 양이온의 함량 분포를 보면, K의 경우 0.14-0.30 mg/L의 범위이고, 평균은 0.22 mg/L로서 국내 옥천계변성암지역 먹는 샘물의 0.63-1.75 mg/L(추창오, 1998)과 선캠브리아기 변성암지역 먹는 샘물의 0.29-2.91 mg/L(성의환, 1998)보다도 낮은 편이다. Na의 함량은 13.6-26.4 mg/L의 범위이고, 평균은 19.6 mg/L로서 옥천계변성암지역 먹는 샘물의 1.63-10.7 mg/L, 선캠브리아기 변성암지역의 1.73-15.8 mg/L, 화강암지역의 2.86-21.1 mg/L(조병욱, 1998)보다도 높다. Ca의 함량은 5.04-17.7 mg/L의 범위를 보이고, 평균은 8.17 mg/L로서 선캠브리아기 변성암지역 먹는 샘물의 함량범위 1.73-15.8 mg/L와 평균치인 7.22 mg/L와 비슷하나,

전국 먹는 샘물의 평균 함량인 17.4 mg/L 보다도 (Cho, 1998) 낮다. 6호공의 Ca 함량은 17.7 mg/L로 나머지 1, 2, 3, 4호공의 약 2-3배에 해당된다. Mg의 경우 함량범위는 0.11-0.27 mg/L, 평균은 0.17 mg/L로서 먹는 샘물 전체의 평균치인 3.55 mg/L보다 상당히 낮은 함량을 보인다. SiO<sub>2</sub>의 경우 함량은 15.8-37.1 mg, 평균은 30.0 mg/L로서 전국 먹는 샘물 평균치인 18.41mg/L보다도 높다. 6호공의 SiO<sub>2</sub> 함량은 15.8mg/L로, 다른 4개 심부지하수의 SiO<sub>2</sub> 함량의 절반 정도인데 이는 6호공의 수질은 1, 2, 3, 4호공에 비해 보다 변성퇴적암류에 영향을 받았기 때문으로 판단된다.

주요 음이온의 함량분포는 CO<sub>3</sub>(HCO<sub>3</sub>)>Cl>SO<sub>4</sub>(F)의 순서로 나타나고 있어(Fig. 2), 국내 먹는 샘물의 음이온(Cho, 1998)과 국내 100-300 m 심도 지하수의 함량분포와 비슷하다(이종운, 1997a). 그러나 연구지역 심부 지하수의 경우 6호공을 제외하고는 HCO<sub>3</sub>보다는 CO<sub>3</sub>의 형태로 존재한다. 이는 탄산에 의한 규산염 및 탄산염광물의 용해에 의해 생성되는 HCO<sub>3</sub>는 pH 8.35 이상에서는 CO<sub>3</sub>의 형태로 존재하는 양이 많아지

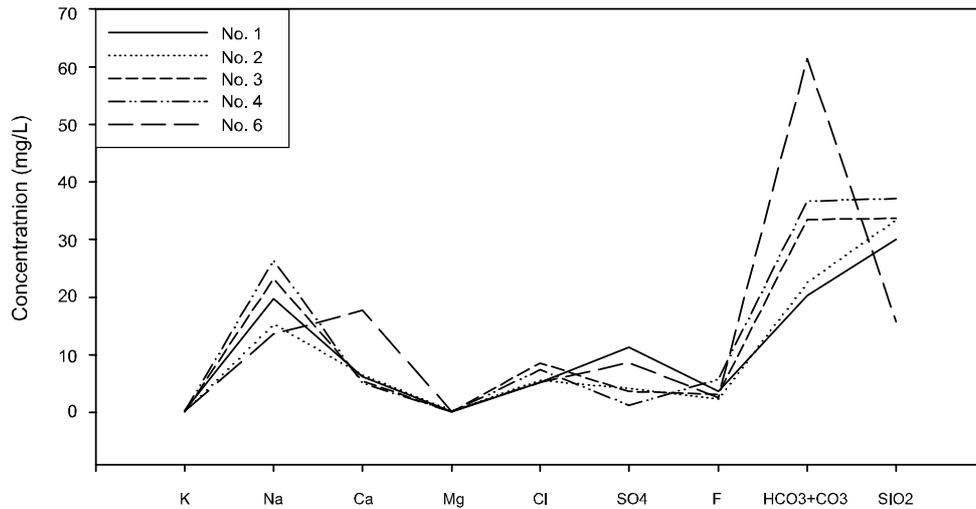


Fig. 2 Diagram showing major ion concentration of the 5 deep groundwater.

기 때문이다. 5개 심부지하수의 Cl 함량은 5.2-8.6 mg/L로서 먹는 샘물 전체 평균인 4.2 mg/L(Cho, 1998)와 비슷하다. 5개 심부지하수의  $SO_4$  함량은 1.23-11.3 mg/L로 심부지하수간의 함량 차이가 크며, 평균 함량은 5.8 mg/L로 먹는 샘물 전체 평균 함량인 10.1 mg/L에 비해서 낮은 편이다. 5개 심부지하수의 F의 함량범위는 2.54-5.75 mg/L, 평균은 3.50 mg/L로서 국내 옥천계지역(0.02-0.97 mg/L)과 선캠브리아기 변성암지역(0-1.61 mg/L)의 먹는 샘물보다도 월등히 높다. 지하수의 F는 지하수의 심도가 깊을수록 높은 함량을 보이는 이온으로 알려져 있다(이종운, 1997b). F의 주 공급원은 형석의 용해와 규산염 조암광물의 O 또는 OH를 치환한 F가 광물용해시 용탈되는 것이 많은 부분을 차지할 것으로 여겨진다.

한편 Fe, Mn, Li, Sr, Cu, Pb, Zn 등은 미량이거나 검출되지 않았지만, Fe, Zn의 함량은 지하수의 수질이 주로 변성퇴적암류에 영향을 받는다고 판단되는 6호공에서 높게 나타났다.

### 4.3 수질유형

연구지역 심부지하수의 수질특성을 파악하기 위하여 주요 양이온과 음이온의 함량을 epm(equivalent per million)으로 계산하여 Piper diagram에 도시하였다(Fig. 3). 양이온의 삼각다이아그램에서는 대부분 지하수 시료가 Na가 우세한 영역에 위치하고 있으나, 6호

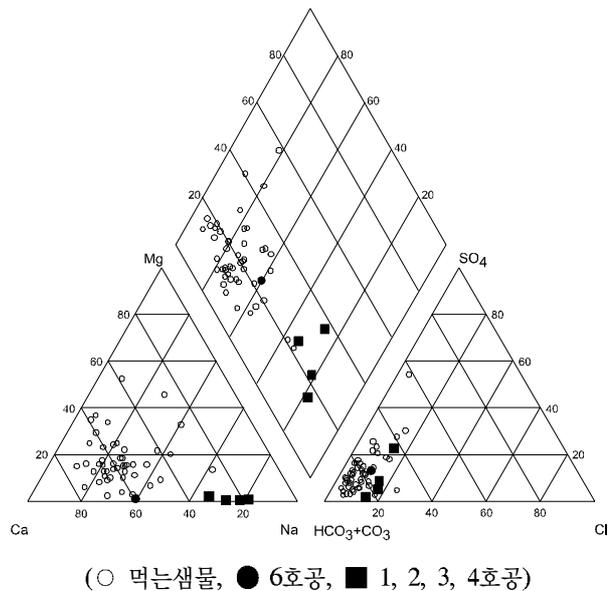


Fig. 3 Piper diagram of deep groundwater and natural mineral water.

공의 경우에는 Ca가 우세한 영역에 위치하고 있어서 다른 심부지하수에 비하여 변성퇴적암류의 영향을 더 받았음을 짐작할 수 있다. 5개 시료의 Mg 함량은 모두 Ca와 Na+K에 비해서 상대적으로 아주 낮음을 알 수 있다. 음이온의 삼각다이아그램에서는 5개 지하수 시료 모두  $CO_3(HCO_3)$  영역에 위치한다.

5개 심부지하수의 수질 유형은 6호공의 경우는 Ca- $HCO_3$ 형이고 6호공을 제외한 나머지 4개 심부지하수는 Na- $CO_3(HCO_3)$ 형이다. 이와 같은 수질유형은

5개 심부지하수 모두 석영반암에 인접한 창리층에 위치하지만, 6호공을 제외한 4개 심부지하수의 수질은 석영반암의 관입에 의해 영향을 받은 것으로 생각된다. 이는 6호공과 6호공을 제외한 4개공의 pH 측정치, SiO<sub>2</sub>와 Ca 함량이 다르다는 점에서도 유추할 수 있다. 즉, 4개 공의 물-암석 반응은 방해석의 용해보다는 사장석의 비조화용해(incongruent solution)가 지하수의 조성을 조절하는 주된 반응으로 작용하기 때문으로 보인다(이중운, 1997b). 일반적으로 지하수의 이동 거리와 시간이 지남에 따라서 음이온의 주 성분은 중탄산(HCO<sub>3</sub>)에서 SO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>에서 Cl로 점진적으로 진화를 한다(Freeze and Cherry, 1979). 하지만 규산염광물이 우세한 화강암질 암석에서는 Cl, SO<sub>4</sub>가 미량으로 존재하기 때문에 지하수가 화학적으로 진화를 하더라도 Cl이나 SO<sub>4</sub>가 우세한 수리화학적 상으로 발전하는 것은 어려운 것으로 보인다(Freeze and Cherry, 1979). 한편 심부지하수의 수질이 변성퇴적암류에 의해 영향을 받고 있다고 판단되는 6호공의 수질형이 Ca-HCO<sub>3</sub>형을 보이는 것은 심도가 깊어지더라도 물-암석반응이 나타나지 않거나 약함을 의미한다.

4.4 지하수의 진화의 상평형

상안정 다이어그램(phase stability diagram) 또는 활동도다이어그램(activity diagram)은 열역학적으로 안정한 광물상간의 영역을 나타낸 것으로서, 수용액에 함유되어 있는 화학종들의 활동도를 계산해 보면 특정한 화학종들이 광물에 대하여 평형상태에 도달하고 있는지를 알려준다. 본 논문의 상안정 다이어그램에서는 혼합층상광물이나 일라이트 같은 광물상을 제외한 단순한 광물상들의 안정영역만 표기하였고, 상평형 계산은 Helgeson et al. (1978)의 자료를 이용하였다.

지하수의 진화경로는 지하수와 광물이 열역학적으로 상평형을 이루는 정도를 통하여 유추할 수 있다. 장석이 지하수와 반응을 통하여 비조화용해를 하면 수소이온은 점차 소모되면서 pH가 상승한다. 그런 동안에 이차광물로서 점토광물이 형성되고, 장석에 포함되어 있던 알카리원소나 알카리토금속원소들은 규산과 더불어 지하수로 빠져 나오게 된다. 즉, 장석들이 비조화용해 반응을 통하여 깃사이트를 형성하며 실리카와 K/H, Na/H의 비는 증가하고 지하수의 조성 영역은

점차로 카올리나이트 영역으로 진화해 간다. 이 영역에서는 장석은 계속적으로 비조화용해를 통하여 카올리나이트를 형성한다. 마지막으로 지하수는 정상석, 사장석과 평형상태를 이루고 더 이상 장석류의 용해는 일어나지 않게 된다(Freeze and Cherry, 1979).

Fig. 4는 K<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 계에서 지하수에 용존되어 있는 화학종들이 특정한 광물상의 안정영역에 대하여 평형상태를 유지하고 있는 지를 보여주고 있다. 5개의 심부지하수는 모두 석영에 대해서는 포화상태에 있다. 석영반암의 영향을 받고 있는 것으로 판단되는 4개 심부지하수는(1, 2, 3, 4호공) 백운모와 K-장석의 안정영역 경계에 위치하며, 주로 변성퇴적암류에 영향을 받고 있는 것으로 판단되는 1개 심부지하수는(6호공) 백운모와 카올리나이트에 근접한 백운모의 안정영역에 위치하고 있다. 따라서 4개 심부지하수는 정상석과 반응하면서 초기의 깃사이트, 카올리나이트, 백운모를 거쳐 K-장석 영역에 진입하여 화학적인 진화가 충분히 진행되었음을 보여준다. 한편 국내 60개 먹는 샘물은 대부분이 카올리나이트영역에 위치해 있어서 아직까지 정상석으로부터 K가 빠져 나올 수 있음을 보여주며, 진화가 많이 진행되지 않았음을 보여준다. 이는 먹는 샘물 취수정의 심도가 90-400m(평

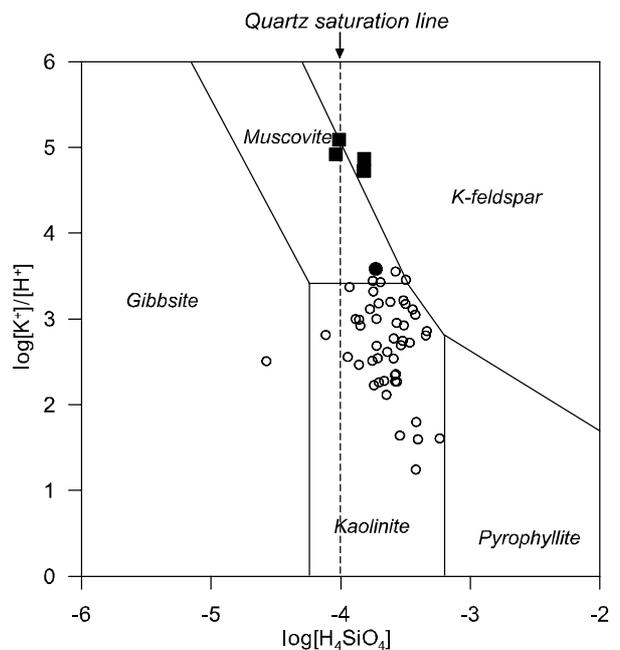


Fig. 4 Phase stability diagram in the system K<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O at 298 K and 1 bar(symbols are the same as Fig. 3).

균 149m)로 깊지 않아 물-암석반응이 충분히 일어나지 않았기 때문에 판단된다(Cho, 1998).

Fig. 5는  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$  계에서 지하수에 용존되어 있는 화학종들과 광물상간의 상평형관계를 보여주고 있다.  $\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$  계에서와는 약간 다르게 4개 심부지하수는 모두 카올리나이트 안정 영역에 놓이지만 알바이트 안정영역으로 치우쳐 있어서 아직도 사장석으로부터 Na가 지하수로 빠져 나올 수 있지만 알바이트와 거의 평형을 이루었음을 보인다. 국내 60개 먹는 샘물의 경우는 1개의 깃사이트영역을 제외하고는 모두 카올리나이트영역에 도시되어 아직까지도 진화가 많이 진행되지 못하였음을 보여준다. 주로 변성퇴적암류의 영향을 받고 있는 1개 심부지하수는(6호공) 진화정도가 먹는 샘물과 4개 심부지하수와의 중간정도임을 지시하고 있다.

위와 같은 결과는 연구지역에서 석영반암의 관입이 일어났다고 추정되는 지역의 심부지하수는 장기간의 물-암석반응을 거쳐서 장석류에 대하여 거의 포화상태임을 의미하며, 이에 따라 pH도 10을 넘고 있다(Table 2). 그러나 변성퇴적암류에 위치한 심부지하수는 pH가 8.75로서 pH의 증가와 함께 아직까지 장석류와의 반응이 더 진행될 수 있음을 의미한다.

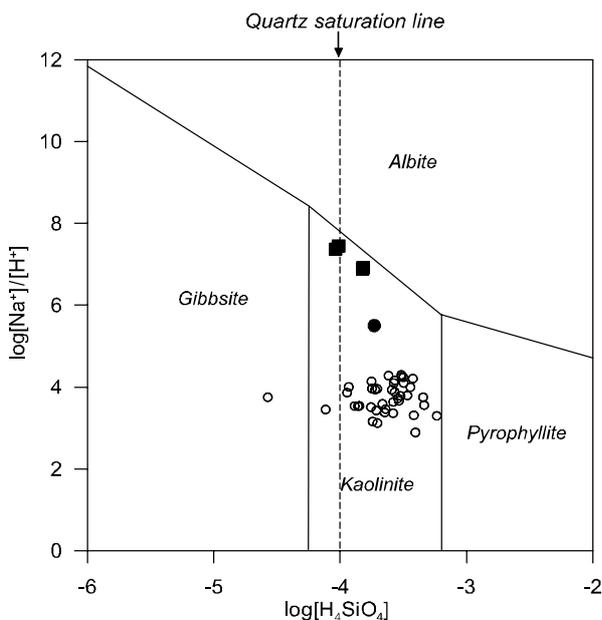


Fig. 5 Phase stability diagram in the system  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$  at 298 K and 1 bar (symbols are the same as Fig. 3).

## 5. 결론

연구지역 심부지하수의 수질 특성은 굴착공의 심도와 지질특성을 반영하고 있다. pH와 TDS, Na,  $\text{SiO}_2$  등의 함량은 석영반암의 관입이 추정되는 지역의 심부지하수에서 높고, Ca은 변성퇴적암류지역 지하수에서 높게 나타난다. K와 Mg 함량은 두 지역 심부지하수 모두에서 낮으며, F의 함량은 모두 높은 함량을 보인다. 주요 음이온의 함량은 두 지역 모두  $\text{CO}_3(\text{HCO}_3) > \text{Cl} > \text{SO}_4(\text{F})$ 의 순서이나, 주요 양이온의 함량은 석영반암 관입이 추정되는 심부지하수는  $\text{Na} > \text{Ca} > \text{K}(\text{Mg})$ 의 순서로 나타나, 변성퇴적암류의 심부지하수는 국내 먹는 샘물과 마찬가지로  $\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{Na}$ 의 함량비를 나타낸다. 석영반암의 관입이 추정되는 지역에서 Na가 우세한 것은 사장석류의 선택적인 용해에 기인하기 때문으로 보인다.

$\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$  계에서 석영반암의 관입이 추정되는 지역의 심부지하수는 알바이트영역에 가까운 카올리나이트 안정영역, 변성퇴적암류지역 심부지하수는 카올리나이트 안정영역에 놓인다.  $\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$  계에서는 석영반암의 관입이 추정되는 지역의 심부지하수는 백운모와 K-장석 경계에 위치하며, 변성퇴적암류지역 심부지하수는 K-장석과 카올리나이트영역에 가까운 백운모 안정영역에 놓인다. 두 지역 심부지하수는 석영에 대하여 포화상태에 도달해 있다. 전반적으로 보아서 연구지역의 심부지하수는 국내 먹는 샘물에 비해 진화가 상당히 진행되었다. 석영반암 관입이 추정되는 심부지하수는 장석류에 대하여 포화상태에 도달해 있으나, 변성퇴적암류지역 심부지하수는 pH의 증가와 함께 장석류와의 반응이 계속 진행될 수 있다.

## 참고문헌

- 고용권, 김천수, 배대석, 이동익, 2000, 문경지역 심부지하수의 수리화학 및 환경동위원소 연구, 자원환경지질, 33, 6, 469-489
- 배대석, 고용권, 김진영, 김천수, 김경수, 2002, 방사성폐기물 처분 연구를 위한 심부시추공 지하수의 지화학특성, 지하수토양환경 추계학술발표회, 335-338
- 성익환, 추창오, 조병욱, 이병대, 김통권, 이인호, 1998, 선캠브리아기 변성암지역에 분포하는 먹는샘물 지하수의 수리지구화학적 특성, 지하수환경, 5, 4, 203-209

- 이종운, 전효택, 전용원, 1997a, 국내 화강암질내 심부지하수의 지구화학적 특성, 지하수토양환경, 4, 4, 199-211
- 이종운, 전효택, 전용원, 1997b, 대수층 지질 및 온도에 따른 국내 지하수의 지구화학적 특성-화강암질내 지하수와의 비교연구, 지하수토양환경, 4, 4, 212-222
- 정찬호, 황정, 박충화, 1998, 공주시 유구읍 명곡리지역 천부 및 심부지하수의 지화학적 수질특성과 오염, 자원환경지질, 31, 6, 485-498
- 조병욱, 성익환, 추창오, 이병대, 김통권, 1998, 대보화강암과 불국사화강암지역 먹는 샘물의 수리화학적 특성, 지질공학, 8, 3, 247-259
- 한국자원연구소, 1997, 논산 · 수락지구 온천조사보고서, 온천조사보고서 97-16, 97
- 홍승호, 최위찬, 1978, 1:50,000 한국지질도 금산도폭 추창오, 성익환, 조병욱, 이병대, 김통권, 1998, 옥천계변성암지역의 먹는샘물 지하수의 수리지구화학적 특성, 토양환경, 3, 3, 93-107
- Cho B.W., Sung I.H., Choo C.O., Lee B.D., Kim T.K., and Lee I.H., 1998, Evaluation and characteristics of commercial portable groundwater in Korea, 지하수환경 · 토양환경 추계학술대회, 119-122
- Freeze R.A. and Cherry J.A., 1979, Groundwater, 604
- Helgeson H.C., Delany J.M., Nesbitt H.W., and Bird D.K., 1978, Summary and critique of the thermodynamic properties of rock-forming minerals, Am. Jour. Sci., 278-A, 229
-