

# 금산-완주지역 형석광화대내 지하수의 불소분포 특성

황 정<sup>1)</sup> · 허순도<sup>2)</sup>

## 1. 서론

음용수내 불소의 최대허용기준은 1.2~2.4mg/l 범위로(US EPA, 1976) 다양하며, 우리나라의 경우는 1.5mg/l 이다. 최근에는 어린이의 경우 0.75mg/l이상인 식품이나 약품에 장기간 노출되면 건강에 위해하다는 연구결과도 있어(Bjorvatn et al., 1992), 불소 초과섭취에 따른 우려가 확산되고 있다. 자연수중 불소는 주로 불소광물 함유지대 혹은 화산 및 온천지대를 통과한 물에서 주로 기원한다. 금산-완주지역에는 금·은·형석 광상이 밀집 부존한다(지정만, 1975), 이 연구는 형석광화대내 광산폐수와 음용 지하수의 지화학적 특성과 불소 분포특성, 그리고 수질오염 현황을 평가하는데 있다.

## 2. 시료채취 및 방법

음용 지하수 시료는 석회암지역에서 11개, 주라기 화강암지역에서 9개, 백악기 화강암지역에서 24개를 채취하였다. 또한 폐광산 갱내의 drip water와 갱도입구의 유출수 등의 광산폐수 시료 10개를 채취하였다. pH, Eh, 온도, EC, 중탄산이온 농도, 용존산소량 등의 물리적 성질은 현장에서 측정되었다. 중탄산이온 농도는 메틸오렌지 지시약을 이용하여 염산으로 적정하여 계산하였다. 양이온 분석용 시료에는 용기 벽면에 양이온의 흡착을 방지하기 위하여 농질산을 가해 pH를 2이하로 조절하였다. 시료채취과정과 현장분석전처리 등은 Greenberg(1992)의 방법을 참조하였다. 화학분석은 기초과학 지원연구소에서 수행되었다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3-1. 광산폐수 및 지하수 오염현황

물리적 측정값과 양이온, 음이온의 함량을 음용수 기준치와 비교한 광산폐수와 지하수의 오염현황은 Table1과 같다. 광산폐수의 경우 Ca, Mg, Fe, Mn, Al, Zn, F<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 함량이 매우 높으며, 낮은 pH값과 높은 EC값을 갖는다. 특히 광산폐수내 F의 함량은 5.9~260 mg/l 범위로서 음용수 기준치의 4배에서 170배에 달한다. 지하수는

---

주요어: 형석광화대, 광산폐수, 지하수, 불소, 백악기 화강암

1) 대전대학교 지구시스템공학과(jeongha@dragon.taejon.ac.kr)

2) 한국해양연구소 극지연구센터

광산폐수에 비해 주원소의 Na, K 함량이 높고 Ca, Mg 함량은 낮으며, 미량원소의 Fe, Mn, Al, Zn 함량은 극히 낮다. 지하수의 수질은 모암의 종류에 관계없이 질산성 질소가 기준치를 초과하는 경우가 다수 있으며, 백악기 화강암지역 지하수에는 F가 최고 13.5 mg/l 까지 포함되어 있어 주민들의 식수오염이 우려된다.

### 3-2. 지하수유형

지하수의 유형을 알아보기 위해 광산폐수와 지하수의 대표적인 양이온과 음이온의 함량을 Piper diagram(1944)에 표시하였다(Fig. 1), 석회암 지하수는 Ca-HCO<sub>3</sub> 유형이며, 류라기 화강암 지하수는 Ca-HCO<sub>3</sub>에서 Ca-Na-HCO<sub>3</sub> 유형에 해당된다. 그리고 백악기 화강암 지하수는 Ca-HCO<sub>3</sub> 유형의 지하수에서, Ca-Na-HCO<sub>3</sub> 유형을 거쳐, Na-HCO<sub>3</sub> 유형의 지하수로 진화한다. 백악기 화강암 지하수의 이러한 진화경향은 심도증가와 관련이 있다. 광산폐수는 Ca-SO<sub>4</sub>유형에 해당되며, 음이온과 양이온의 구성이 음용 지하수와는 뚜렷이 구별된다.

### 3-3. 불소의 기원

연구지역의 금·은·형석 광상들은 백악기 화강암류와 성인적 관련이 있으며(지정만, 1975), 이들 화강암에는 형석이 부성분 광물로 수반되거나(진호일, 1996) 맥상 및 세맥상으로 산출된다. 따라서 광산폐수와 백악기 화강암 지역 지하수의 불소는 주로 형석의 용해에 기인한다. 그리고 화강암질암 심부지하수내 불소의 상당량은 함불소 규산염광물의 용해에 기인한 경우도 많다(Nordstrom et al., 1989). 연구지역 지하수내 F는 pH, SiO<sub>2</sub>, Na와는 강한 정의 상관관계를 가지며, 페그마타이트에 부화되는 원소인 B, Li, Rb, Cs와도 정의 상관관계를 갖는다. 따라서 연구지역 음용 지하수내 불소는 형석 혹은 함불소 규산염 광물의 용해에 기인하며, 이들 광물은 분화지수가 매우 높은 화강암류와 성인적 관련이 깊은 것으로 추정된다.

## 4. 결 론

1. 연구지역내 석회암지역 지하수는 Ca-HCO<sub>3</sub>유형이며, 백악기 화강암지역 지하수는 천부에서 심부로 가면서 Ca-HCO<sub>3</sub>유형에서 Na-HCO<sub>3</sub> 유형으로 진화한다. 광산폐수는 Ca-SO<sub>4</sub>유형에 해당되며, 음이온과 양이온의 구성에서 지하수와는 뚜렷이 구별된다.
2. 광산폐수내 불소는 5.9~260 mg/l 범위로서 음용수 기준치의 4배에서 170배 이상 초과되어 있으며, 백악기 화강암내 음용 지하수에도 불소함량이 기준치를 훨씬 초과하는 곳이 많아 주민들의 식수오염에 대한 대책이 시급하다.
3. 연구지역 지하수내 불소는 형석 혹은 함불소 규산염 광물의 용해에 기인하며, 이들 광물은 분화지수가 매우 높은 화강암류와 성인적 관련이 깊은 것으로 추정된다.

- 사 사 -

이 연구는 1998년도 한국학술진흥재단의 학술연구비(관리번호; 003-D00220) 지원으로 수행되었으며, 이 기관에 사의를 표한다.

#### 참고문헌

- 지정만, 1975, 남한의 형석광상의 성인에 관한 연구, 지질학회지, 8, 25-56.
- 진호일, 1996, 금산지역 형석광화대에 분포하는 화강암복합체에 대한 지구화학적 연구, 서울대학교 공학박사학위 논문
- Bjorvatn K., Thorkildsen A. H., Raadal M., and Selvig K. A., 1992, Fluoride contents of Norwegian drinking waters. Water from deep hardrock well can create healthproblems; in Norwegian. *Nor Tannlegeforen Tidsskr* 102: 86-89.
- Greengerg, A. E., Clesceri, L. S., and Eaton, A. D., 1992, Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th ed., American Public Health Association, Washington DC, 1010p.
- Nordstrom, D. K., Ball, J. W., Nonahoe, R. J., and Whittemore, D., 1989, Groundwater chemistry and water rock interactions at Stripa. *Geochem. Cosmochim. Acta*, 8, 153-160.
- Piper, A. M., 1944, A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses, *American Geophysical Union, Transaction*, 5, 914-923.
- US Environmental Protection Agency, 1976, Guidelines for state and areawide water quality management program development. US EPA, Washington, DC.

Table 1. Contamination of groundwater and mine water

	recom- mend value (ppm)	max. accept value	minewater <10>		limestone <11>	Jurassic granite <9>	Cretaceous granite <24>	
Na	< 20	150	2.8-17.6		3.03-27.5	4.73-25.1	3.47-98.7	
K	< 10	12	0.9-6.4		0.47-11.9	0.04-1.26	0.03-13.5	*1
Ca	< 15-25		38-396		20.9-95.7	13.6-46.6	5.5-50.5	
Mg		20	9.7-81.6	*8	1.4-98.5	1.14-6.24	0.05-9.12	
F		1.5	5.9-260	*11	N.D.-0.74	N.D.-3.99	0.03-13.5	*10
Cl	< 25	150	2.4-4.0		3.08-53.44	3.36-41.6	3.17-36.53	
SO4	< 25	200	140-1760	*8	7.49-34.41	1.14-24.3	3.57-29.43	
NO3		10	N.D.-5.2		1.8-37.93	*5 N.D.-26.3	*5 N.D.-20.3	*7
Fe	< 50ppb	30ppb	21-27380	*5	N.D.	N.D.	2-190	
Mn	< 20ppb	30ppb	62-27150	*9	N.D.-8	N.D.-9	N.D.-363	*1
Al	< 50ppb	20ppb	25-143930	*8	1-10	N.D.-6	N.D.-16	
Pb		50ppb	0.15-22		N.D.-4	N.D.-1	N.D.-2	
Cu		1000ppb	2.1-488		1-110	1-7	N.D.-13	
Zn		1000ppb	10-10980	*3	13-179	4-723	3-806	
As		50ppb	0.5-58	*1	N.D.-8	N.D.-5	N.D.-11	
pH	5.8-8.5		3.54-8.10	*5	5.69-8.22	*1 5.7-8.15	*1 6.32-8.7	*1
EC ( $\mu$ s/cm)	<400		347-2300	*9	132-599	*4 142-316	97-464	*2

< >; number of samples, \*; number of samples above maximum acceptable value

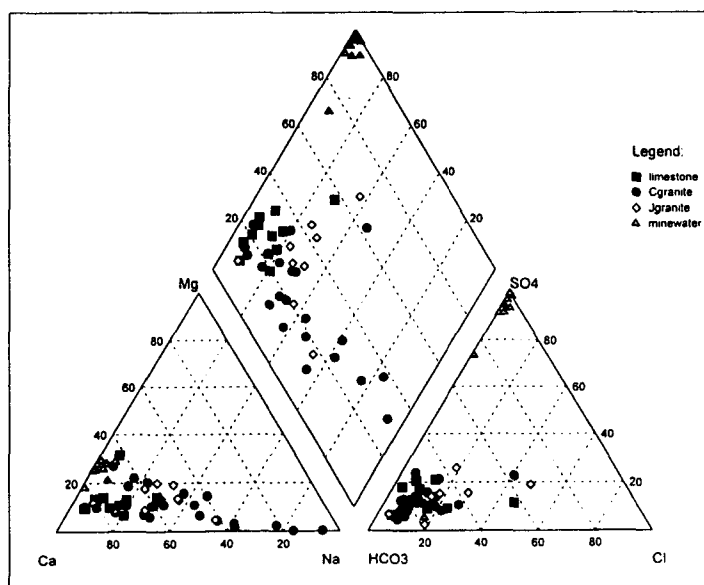


Fig. 1. Piper diagram showing major ionic composition of groundwater and mine water.