

## 석회암지대 지하수 및 하천수 $\delta^{13}\text{C}$ 값의 변화 요인

신우진, 정공수  
충남대학교 지구환경과학부  
\*

### 요약문

2004년 7월부터 2005년 2월까지 8개월 동안 강원도 정선지역 탄산염지대 지하수 및 하천수의  $\delta^{13}\text{C}$ 의 조사 결과, 탄산염 지대 지하수의  $^{13}\text{C}$ 는  $-12.07 \sim -8.63$  (평균  $-10.34$ ), 탄산염지대 하천수의  $\delta^{13}\text{C}$ 는  $-10.32 \sim -6.80$  (평균  $-7.944$ ) 이었다. 하천수와 지하수  $\delta^{13}\text{C}$ 는 수온(T)과 음의 상관관계를 보이고 물의 전기전도도(EC)와 양의 상관관계를 보이며, 여름보다 겨울에 높은 값을 보이는 반면 산화환원 전위(Eh), 용존산소(DO), pH와는 상관관계가 미약함을 보이고 있다. 탄산염지대 지하수 및 하천수의  $\delta^{13}\text{C}$ 는 연구지역의 지하수와 하천수가 탄산염암의 용해, 대기  $\text{CO}_2$ 와 용존  $\text{CO}_2$ 의 교환, 유입된 대기  $\text{CO}_2$ 가 물 분자와 반응하여  $\text{HCO}_3^-$  이온으로 전환될 때 있는 분별작용의 효과에 의해 주로 영향을 받았으며 수중생물의 신진대사에 의한 변화는 미미한 것으로 나타났다.

주요어 : 석회암지대, 지하수, 하천수  $\delta^{13}\text{C}$ , 탄산염암 용해, 수온

## 1. 서론

지하수와 하천수의  $^{13}\text{C}$ 는 기반암의 종류, 수중생물의 신진대사, 대기  $\text{CO}_2$ 와의 교환, 토양  $\text{CO}_2$ 의 유입 등 다양한 요인에 의해 변화된다<sup>1,2)</sup>.  $\delta^{13}\text{C}$ 는 탄소의 근원지 연구, 탄소의 순환, 카르스트 지역에서의 물과 암석의 상호작용, 수생 생물의 호흡 및 광합성 작용의 연구에 활용된다<sup>3)</sup>. 본 연구의 목적은 석회암 지대의 지하수와 하천수의  $^{13}\text{C}$ 를 조절하는 요인이 무엇인가를 밝히는데 있다.

## 2. 연구지역의 지질, 시료 채취 및 분석방법

조사 대상 지하수와 하천수는 강원도 정선지역에 분포하며, 기반암은 캄브리아기와 오르도비스기 석회암으로 구성되어 있다. 이들 하부 고생대 석회암은 상당 부분 돌로마이트화 되어 있다. 지하수는 석회암지역에서 솟아나는 샘물(용수골)을 채취하였으며, 하천수는 한강의 상류인 지장천(수미)에서 시료를 채취하였다. 지장천의 상류지역 일부에는 사암과 셰일이 분포하며 석탄을 채굴한 광산이 여러 개 분포하고 있고, 폐광산에서 유래한 지하수가 지장천으로 유입되고 있다.

물시료는 2004년 7월부터 2005년 2월까지 8개월 동안 2주일 단위로 채취하였다. 물시료는 85% 인산(5ml)과 magnetic stir bar를 넣은 두 개의 진공병(150ml)을 사용하여  $0.45\mu\text{m}$  필터로 여과한 후 채취하였다. T, Eh, TDS(총용존물질), pH, EC, DO는 YK-2001PH meter를 이용하여 현장에서 측정하였다. 진공병에 주입한 물시료로부터  $\text{CO}_2$  가스 포집하여 충남대학교 공동실험실습관의 안정동위원소질량분석기(GV-OPTIMA)를 이용하여 분석하였다.

### 3. 결과

탄산염 지역 지하수 및 하천수의  $\delta C$ 와 여러 가지 지화학적 매개변수는 Table 1과 같다. 탄산염 지역 지하수의  $\delta C$ 는  $-8.63 \sim -12.07\%$ 이며 평균  $-10.34\%$ 을 보인다. T는  $9.2 \sim 14.8\%$ 을 보인다. Eh는  $123 \sim 247mV$ 이며 평균  $193mV$ 를 보인다. EC는  $180 \sim 389\mu S$ 이고, 평균  $310\mu S$ 을 보인다. TDS는 EC와 같은 양상을 보인다. DO는  $11 \sim 16.5mg/l$ 이며, 평균  $12.3mg/l$ 을 나타낸다. 탄산염 지역 하천수의  $\delta C$ 는  $-6.80 \sim -10.32\%$ 이며, 평균  $-7.94\%$ 을 보인다. T는  $1.5 \sim 25.7^\circ C$ 로 큰 변화 폭을 보인다. Eh는  $110 \sim 205mV$ 이고, 평균  $152mV$ 를 보인다. EC는  $208 \sim 425\mu S$ 이고, 평균  $358\mu S$ 을 보인다. TDS는 EC와 같은 양상을 보인다. DO는  $10.5 \sim 18.7mg/l$ 이며, 평균  $12.9mg/l$ 을 나타낸다.

Table 1.  $\delta C$  and other geochemical parameters of spring water (left half) and stream water (right half) in carbonate terrain.

Date	$\delta CDIC$ (%)	T ( $^\circ C$ )	pH	Eh (mV)	EC ( $\mu S$ )	DO (mg/l)	TDS (mg/l)	$\delta CDIC$ (%)	T ( $^\circ C$ )	pH	Eh (mV)	EC ( $\mu S$ )	DO (mg/l)	TDS (mg/l)
7/9/04		13.2	7.91	243	180	12.1	121		18.1	8.27	190	208	10.7	140
7/27/04	-11.68	14	7.84	205	182	11.7	121	-10.32	21.0	8.37	200	304	11.4	203
8/6/04	-11.38	14.8	7.75	238	232	12.3	155	-7.13	25.7	8.64	141	361	12.1	241
9/3/04	-11.52	14.4	7.72	208	218	11.7	145	-8.69	20.1	8.21	194	336	10.5	224
9/16/04	-11.36	14.4	7.71	237	234	11.8	156	-9.37	19.1	8.05	205	257	10.5	171
9/24/04	-12.07	13.8	7.74	228	193	13.2	130	-8.51	19.8	8.35	145	266	11.4	178
10/1/04	-11.65	14.1	7.21	234	202	12.6	135	-8.04	17.6	8.37	195	333	11.1	223
10/8/04	-10.85	13.6	7.69	247	227	16.5	152	-8.16	18.1	8.17	158	382	12.6	255
10/15/04	-10.35	13	7.53	171	262	12.5	175	-7.60	14.9	8.04	120	411	12.8	274
11/5/04	-10.46	12.6	7.69	195	275	12.1	183	-7.63	11.5	8.38	136	425	12.2	283
12/3/04	-9.91	11.8	7.64	134	285	10.4	190	-6.80	7.9	8.18	125	406	13.2	271
12/22/04	-9.00	11.2	7.57	123	287	10.9	192	-6.89	3.2	8.04	110	406	15.6	271
1/7/05	-8.80	10	8.15	135		11.8		-7.26	3.5	8.22	124		12.9	
1/28/05	-8.68	9.6	7.85	135		13.5		-7.49	4.6	7.93	131		13.5	
2/5/05	-8.69	9.3	8.51	213		12.1		-7.83	1.5	8.62	186		18.7	
2/24/05	-8.63	9.2	8.1	142	389	11	259	-7.33	5.1	8.66	114	375	14.8	249
average	-10.34	12.4	7.79	193	310	12.3	207	-7.94	12.9	8.28	152	358	12.9	238

### 4. 토의

기반암은 지하수와 하천수의  $\delta C$ 에 영향을 주는 중요한 요인이 될 수 있다<sup>2)</sup>. 탄산암지역의 풍화 결과 탄산염 이온( $CO_3^{2-}$ )이 물에 용해되며 탄산염암에서 유래된 탄산염 이온의  $\delta C$ 는 물의  $\delta C$ 의 부화로 나타난다. 본 연구 대상인 탄산염 지하수의 EC와  $\delta C$ 가 양의 상관관계를 보여주고 있는데(Fig. 1), 이는 탄산염암이 물과 작용하여 탄산염 이온이 지하수에 용해된 결과로 해석된다. 탄산염 지대 하천수의 EC와  $\delta C$ 는 지하수보다 상관관계가 그렇게 뚜렷하지 않은 결과로 나타났는데 이는 조사 대상인 지장천의 하천수가 상류지역에 분포하는 폐광산으로부터 광산 폐수가 상당히 유입되어 하천수의 EC에 영향을 주었기 때문인 것으로 해석된다.

대기로부터의  $CO_2$ 가 유입되거나 물의 용존  $CO_2$ 가 유출 될 때 질량차이에 의한 분별작용의 영향으로 하천수의  $\delta C$ 는 부화된다<sup>3)</sup>. 본 연구지역에서 하천수의  $\delta C$ 가 지하수의  $\delta C$ 보다 높은 값을 보이는 것(Fig. 1)은 대기  $CO_2$ 의 교환이 지하수보다 하천수에서 보다 활발하게 일어났기 때문인 것으로 해석된다. 한편 지하수의 수온과  $\delta C$ 이 상관도가 높은 양의 상관관계를 보여주는데 이것은  $CO_2$ 가 물로 유입되면 물분자와 반응하여  $HCO_3^-$ 로 되고 이때  $HCO_3^-$  이온에  $\delta C$ 이 부화되며  $\delta C$ 의 부화정도는 온도가 낮을수록 심하기 때문인 것으로 해석된다.

Eh와  $\delta C$ 는 음의 상관관계를 보여주고 있다(Fig. 1). Eh가 높은 것은 산화 환경임을 시사하며 용존 산소의 값이 높기 때문이라 할 수 있다. 수중 생물의 광합성을 포함한 신진대사가 활발하면 물의

용존 산소가 증가하고 Eh 값이 증가할 것이며  $\delta C$ 이 증가할 것이다. 그런데 조사 대상 지하수와 하천수는 오히려 Eh의 증가에도 불구하고  $\delta C$ 가 감소하는 경향을 보인다. 이것은 조사 대상 지하수와 하천수의 수중 생물에 신진대사가  $\delta C$ 의 변화가 영향을 미치지 못했음을 지시한다.

## 5. 결론

강원도 정선 지역 석회암 지대 지하수 및 지하수의  $\delta C$ 은 탄산염 기반암의 용해에 의한 탄산염 이온의 영향을 받는 것으로 나타났다. 하천수의  $\delta C$ 이 지하수의  $\delta C$ 보다 높게 나타났는데, 이는 하천수와 대기 사이에  $CO_2$ 의 활발한 교환이 있었기 때문이다. 석회암 지대  $\delta C$ 은 또한 수온에 의해 영향을 받았으나 수중 생물의 신진대사는 영향을 주지 못한 것으로 나타났다.

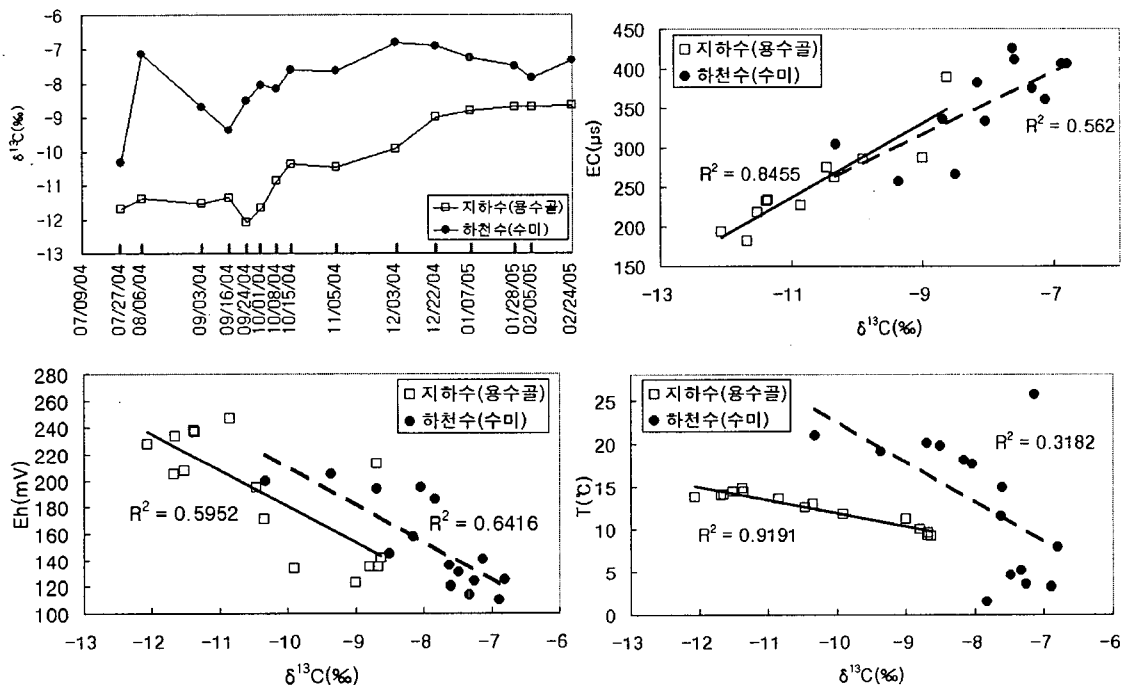


Figure. 1. Variation of  $\delta C$  with time and cross plots of geochemical parameters.

## 6. 참고문헌

1. Atekwana, E. A. and Krishnamurthy, R. V., 1998, Seasonal variations of dissolved inorganic carbon and  $\delta C$  of surface waters: application of a modified gas evolution technique. *Journal of Hydrology*, 205, 265-278.
2. Telmer, K. and Veizer, J., 1999, Carbon fluxes,  $pCO_2$  and substrate weathering in a large northern river basin, Canada: carbon isotope perspectives. *Chemical Geology*, 159, 61-86.
3. Wang, X. and Veizer, J., 2000, Respiration-photosynthesis balance of terrestrial aquatic ecosystems, Ottawa area, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64, 3775-3786.