

한반도 탄산수의 기원 및 진화

최현수 · 고용권 · 김천수 · 윤성택¹ · 김건영
한국원자력연구소
¹고려대학교 지구환경과학과
choihs@kaeri.re.kr

요약문

한반도에서 산출되는 대부분의 탄산수들은 평균 pH가 약 6.0의 약산성을 띠며, 총용존이온 (TDS) 함량은 평균 1,550mg/l이다. 또한 다량의 HCO₃ 함량을 지니고 있으며, 이산화탄소 분압이 상당히 높다. 충청지역 일부에서 산출되는 탄산수 시료들은 평균 pH가 4.7의 산성과 TDS 함량이 100mg/l 정도로 천부지하수에 비해 상당히 낮다. 모든 탄산수들은 천부기원의 물에 해당한다. 용존이온함량이 높은 탄산수들은 지하심부까지 순환하여 상당히 긴 체류시간을 지니며, 심부기원의 탄산가스의 공급을 받아 활발한 물-암석반응을 거친 후 지표로 용출된 것으로 판단된다. 하지만 pH가 낮고 용존이온함량이 낮은 탄산수는 천부에서 심부기원의 탄산가스를 공급받은 후 물-암석반응 거의 일어나지 않고 바로 지표로 용출된 것으로 사료된다.

Key words: 탄산수, 동위원소, 이산화탄소, 물-암석반응,

1. 서론

탄산수란 지표로 자연 용출되는 지하수의 일종으로 높은 탄산가스의 함량과 다량의 이온성분들이 녹아있다. 국내외에서 보고된 대부분의 탄산수들은 심부기원의 탄산가스가 공급되어 형성되는 것으로 보고되어 있으며 [1, 2, 3, 4, 5, 6], 따라서 탄산수의 산출은 지표환경과는 다른 여러 가지 복잡한 지질학적 반응들을 내포하고 있다. 탄산수에는 다량의 탄산가스 외에 N₂, CH₄, H₂S, He, Ne, Ar 등과 같은 미량가스들 존재하며, 탄산가스의 경우 여러 가지 지질학적인 반응들을 통해 공급될 수 있으며 따라서 CO₂ 가스의 기원을 밝히는 것이 탄산수연구에서 아주 중요한 부분에 해당한다. 이 연구에서는 한반도에 존재하는 탄산수를 대상으로 하여 탄산가스 및 탄산수의 기원, 생성반응들 및 진화에 대해 지구화학적 및 동위원소적으로 접근을 시도하였으며, 탄산수 산출지 주변의 지하수와 지표수를 함께 포함시켜 탄산수와 비교하였다.

2. 연구방법

본 연구를 위해 1999년부터 한반도에 분포하는 탄산수를 지역 (강원도, 경상도, 충청도)에 따라 비주기적으로 채취하였으며, 탄산수 시료 외에 지하수, 지표수 및 암석시료를 채취하였다. 지하수 시료의 경우 채취심도가 100m 이상인 시료는 심부지하수로, 100m 이하는 천부지하수로 분류하였다. 채취한 시료들 대상으로 탄산수 형성 시 일어난 반응들을 알아보기 위해 화학분석을 실시하였으며, 기원, 혼합과정 등을 파악하기 위해 여러 가지 동위원소들 ($\delta^{18}\text{O}$, δD , $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{34}\text{S}$, ^3H , ^{14}C , $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)을 분석하였다.

Table 1. Geochemical data of water samples from the south Korea. All values are average concentrations.

	CO ₂ -rich waters		Shallow
	neutral pH	low pH	Groundwater
pH	6.0	4.7	6.8
TDS (mg/L)	1,548	105	201
Na (mg/L)	121	8.9	14.3
Ca (mg/L)	198	10.8	26.1
Na/Ca (mol/L)	3.35	2.4	1.2
SiO ₂ (mg/L)	66	32	25.6
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	1,066	58.3	105
Log Pco ₂ (atm)	-0.1	+0.1	-1.87

2. 연구결과

한반도에서 산출되는 대부분의 탄산수들은 평균 pH가 약 6.0의 약산성을 띠며 총용존이온 (TDS) 함량도 약 1,550mg/l로 주변에서 산출되는 천부지하수들 (200mg/l) 보다 상당히 높다 (Table 1). 또한 다량의 HCO₃ 함량을 지니고 있으며 이산화탄소 분압이 상당히 높다. 충청지역 일부에서 산출되는 탄산수 시료들은 평균 pH가 4.7의 산성과 TDS 함량이 100mg/l 정도로 천부지하수에 비해 상당히 낮지만, TDS 함량이 높은 탄산수들과 이산화탄소 분압이 비슷하다. 따라서 한반도에서 산출되는 탄산수들은 지역에 상관없이 화학적 특징에 따라 중립의 pH와 높은 TDS 함량을 보이는 탄산수와 산성의 pH와 낮은 TDS 함량을 보이는 탄산수로 분류할 수 있다. 또한 탄산수들은 화학적으로 분류하였을 때 대부분이 Ca-Na-HCO₃ 유형에 속하지만, 강원도 지역 탄산수들은 Na-HCO₃, Ca-Na-HCO₃ 및 Ca-HCO₃ 유형으로 명확히 구분되며, 이는 지하 심부에서 반응온도차이에 의한 것으로 보고되었다 [2]. 대부분의 탄산수들은 주요 원소들의 함량이 주변 심부지하수들보다 높지만 낮은 pH를 보이는 충청지역에서 산출되는 일부 탄산수들은 지표수보다 낮은 함량을 보인다 (Fig. 2). 탄산수들의 주요 성분들은 TDS와 정의상관관계를 보여준다.

한반도에서 산출되는 모든 탄산수들은 천수선에서 크게 벗어나지 않고 도시되어 모두 천수기원의 물임을 나타낸다 (Fig. 3). 탄산수들 중 강원도 지역에서 산출되는 탄산수들이 가장 낮은 산소 및 수소동위원소 값을 지니고 있다. 탄산수 시료들은 TDS 함량이 높고 삼중수소 함량이 낮을수록 낮은 산소동위원소 값을 보여주는데, 이는 심부에서 형성되고 체류시간이 긴 탄산수들이 더 활발한 물-암석반응이 일어난 것을 나타낸다. 탄산수들의 탄소동위원소 값은 -10~+2‰로 다른 지하수나 지표수 시료에 비해 대체로 높은 값을 보여주며 이산화탄소분압은 대기압보다 높다. 탄소동위원소 조성을 고려하였을 때 탄산수 내 용존탄소의 기원은 심부기원의 이산화탄소와 유사한 값을 나타내어 탄산가스의 기원이 심부기원임을 시사해준다. 중립의 pH를 보이고 용존이온함량이 높은 탄산수시료들은 지하심부에서 탄산가스의 공급을 받고 활발한 물-암석반응을 통해 진화한 것으로 판단할 수 있다.

4. 결론

한반도에서 산출되는 탄산수들은 대부분이 평균 6.0의 pH로 약산성을 띠며 높은 용존이온함량을 지니는 탄산수와 평균 4.7의 산성의 pH와 낮은 용존이온함량을 보이는 탄산수로 구분된다. 모든 탄산수는 천수기원의 물이다. 용존이온함량이 높은 탄산수들은 지하심부까지 순환하여

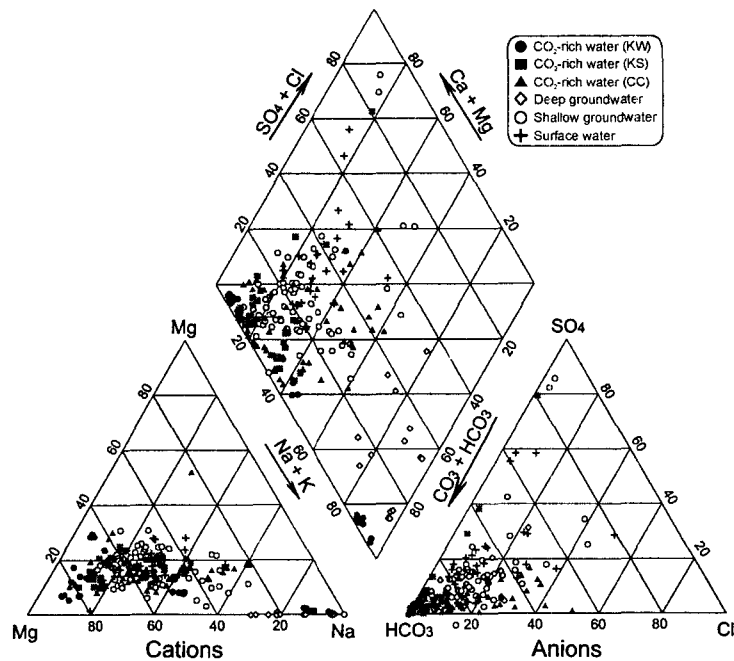


Fig. 1. Piper's diagram showing chemical compositions of water samples from the south Korea (KW: Kangwon, KS: Kyeongsang, CC: Chungcheong).

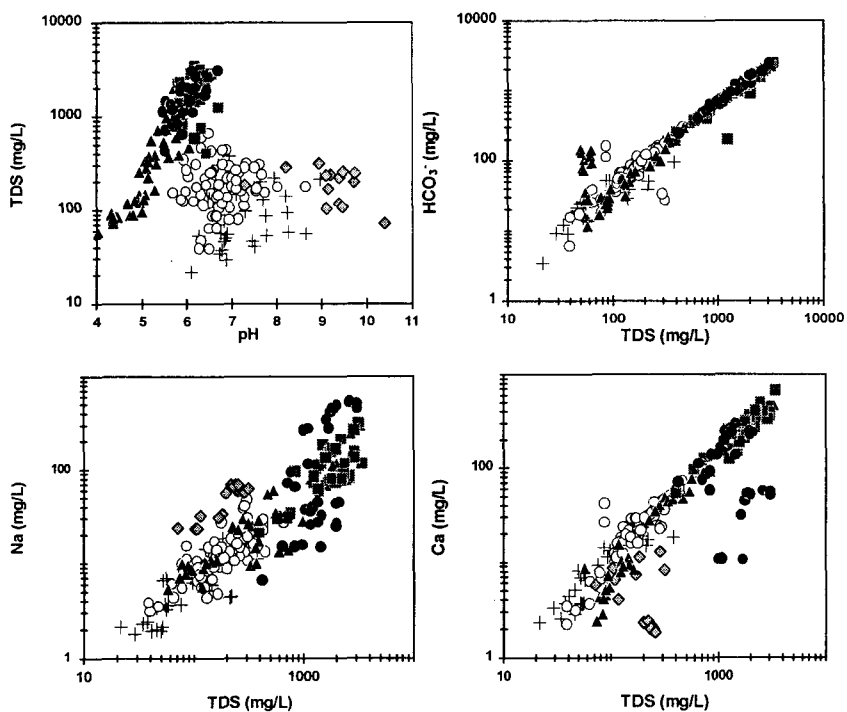


Fig. 2. Plots of TDS and pH versus HCO₃⁻, Na and Ca for water samples from the south Korea. Symbols are the same as in Figure 1.

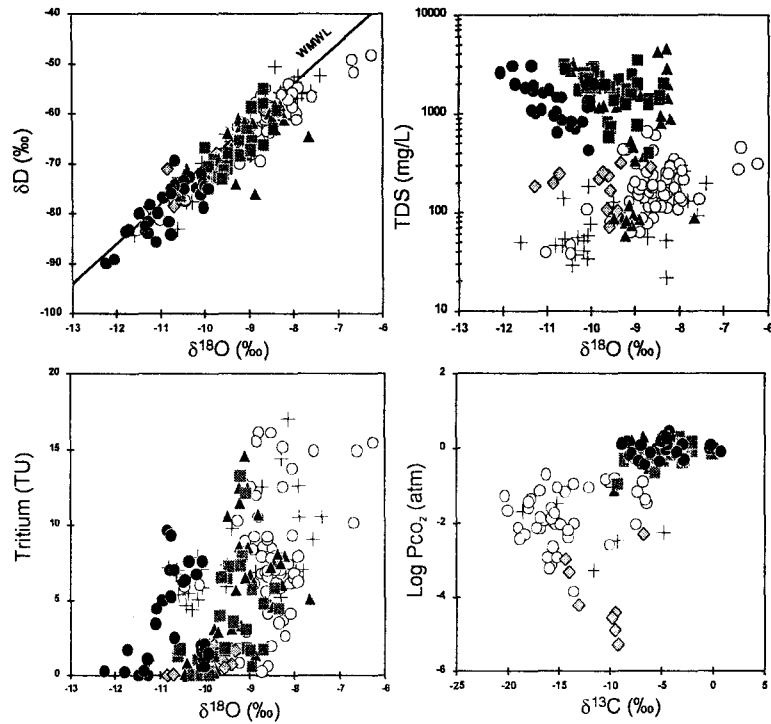


Fig. 3. Isotope data of water samples from the south Korea. Symbols are the same as in Figure 1.

상당히 긴 체류시간을 지니며 심부기원의 탄산가스의 공급을 받아 활발한 물-암석반응을 거친 후 지표로 용출된 것으로 판단된다. 하지만 pH가 낮고 용존이온함량이 낮은 탄산수는 천부에서 심부기원의 탄산가스를 공급받은 후 물-암석반응이 거의 일어나지 않고 바로 지표로 용출된 것으로 사료된다.

5. 참고문헌

- 1] 김건영, 고용권, 배대석, 김천수, 박맹언, 2001. 경상지역 신촌 탄산약수의 지화학적 및 동위원소 특성. 자원환경지질, 34권, p. 71-88.
- 2] 고용권, 김처수, 최현수, 박맹언, 배대석, 2000. 강원도지역 탄산약수의 지화학적 연구. 지하수환경, 7권, p. 73-88.
- 3] 고용권, 윤성택, 김천수, 최현수, 김건영, 1999. 중원 지역 탄산수의 지구화학적 진화. 자원환경지질, 32권, p. 469-483.
- 4] Pauwels, H., Fouillac, C., Goff, F., Vuataz, F.D., 1997. The isotopic and chemical composition of CO₂-rich thermal waters in the Mont-Dore region (Massif-Central, France). Appl. Geol., v. 12, p. 411-427.
- 5] Stober, I., Bucher, K., 1999. Deep groundwater in the crystalline basement of the Black Forest region. Appl. Geol., v. 14, p. 237-254.
- 6] Cartwright, I., Weaver, T., Tweed, S., Ahearne, D., Cooper, M., Czapnik, K., Tranter, J., 2002. Stable isotope geochemistry of cold CO₂-bearing mineral spring waters, Daylesford, Victoria, Australia: sources of gas and water and links with waning volcanism. Chem. Geol., 185, p. 71-91.