

방사성폐기물 처분연구를 위한 심부 시추공지하수의 지화학특성

배대석 · 고용권 · 김건영 · 김천수 · 김경수
한국원자력연구소
nykkoh@kaeri.re.kr

요약

방사성폐기물처분연구의 일환으로 화강암지역내 심부지하수에 대한 지화학특성조사가 수행되었다. 지하수 시료는 다중패커시스템이 설치된 심부시추공으로부터 심도별로 채취되었으며, 지속적인 지화학 및 동위원소에 대한 모니터링이 진행되고 있다. 심부지하수는 pH가 약10.0이며 Na-HCO₃형으로 지화학적으로 특징되며, 지표로 250m이하의 심도에서는 거의 동일한 지화학적 특성을 보인다. 동위원소결과는 심부지하수는 천수기원임을 보이며, 천부지하수에 비해 약500~1,000m 높은 고도에서 함양되었음을 보여준다. 250m이하의 심부지하수는 50년 이상의 체류시간을 갖음을 나타낸다.

Key words: 방사성폐기물, 심부지하수, 시추공, 지화학, 동위원소

1. 서론

방사성폐기물 처분장의 안전성과 관련하여 지하수-핵종-광물간의 상호반응을 결정짓는 지하수의 지화학적 특성은 중요한 안전성 평가요소중에 하나이다. 방사성폐기물처분연구의 일환으로 국내 결정질암지역에서 심부지하수에 대한 지화학적 연구가 수행되고 있다. 결정질암반에서는 단열대가 지하수의 주요 유동로 역할을 하게되고, 결국 지하수의 화학조성을 결정짓는 물-암석 반응은 단열대에서 진행된다. 이러한 암반지하수의 지화학 연구를 위해서는 자연조건에서 심도에 따라 격리된 상태에서 지하수의 시료채취가 이루어져야 한다. 이를 위해 500m 심도를 갖는 심부 시추공에 다중패커시스템 (Multi-packer system)을 설치하여 심도별과 시간별로 지하수가 채취되었다. 본 연구에서 그동안 모니터링된 화강암지역내 심부시추공 지하수의 지화학적 및 동위원소 특성을 제시하고자 하였다.

2. 연구방법

시추공지하수에 대하여 다중패커시스템에 의한 시료채취 방법 및 이에 따른 지화학 특성은 전남 여수 화산암지역에서 적용된 바 있다. 본 연구에서는 현재 대전 유성구에 위치한 한국원자력연구소내에 심도 500m까지 굴착된 시추공에 대하여 다중패커시스템이 적용되었다. 시추공을 구간별로 격리시키기 전 암석시추자료 및 BHTV (Borehole Televierer)를 통해 얻어진 시추공에 대한 단열분포특성이 확인되었으며, 이의 결과로부터 13개의 패커를 시추공에 설치하였다. 지하수의 시료는 최상부 천부지하수를 포함하여 14구간에서 심도별로 채취되었다. MP system을 설치하기 전 시추공내 심도 약 120m 구간에서 단열대가 붕괴되었으며, 그라우팅 처리하여 재굴착한 후 패커를 설치하였다. 다중패커시스템은 2001년 9월에 설치되었으며, 그동안 6차례에 걸쳐 지하수 시료채취가 이루어졌다. 이들 지하수시료에 대하여 현장측정, 화학분석 및 동위원소분석이 수

행되었다. 최근 이루어진 지하수채취 시료에 대한 대표적인 지화학적 특성 자료는 Table 1과 같다.

3. 연구결과 및 토의

대표적인 심도별 지화학특성은 Fig. 1에 도시되었다. 지하수의 수온은 심도에 따라 증가하며 최고 24°C를 보인다. 그라우팅이 수행된 구간에서는 pH가 12.7로 높은 값을 보여주며 심도 200m 이하의 구간에서는 pH가 10.0으로 일정한 값을 보여준다. 그라우팅을 위해서 포트랜드시멘트를 사용하였다. 지하수의 산화-환원전위는 심도에 따라 변화되면 낮은 산화-환원전위는 심부 구간에서 확인된다. 그라우팅이 처리된 구간을 제외하고 200m 이하의 심도에서는 Na, Ca, Mg, K, Cl, HCO₃ 및 SO₄ 함량이 거의 일정한 값을 보여준다. F함량의 경우 심도에 따라 증가하는 경향을 보여주며 최대 12.7mg/L 함량의 값을 갖는다. 250m이하의 지하수의 화학조성은 거의 일정한 특성을 보여준다. 지하수의 화학조성은 물-암석반응 정도에 따라 결정되므로 250m이하에서 지하수의 체류시간은 거의 동일하였을 것으로 기대되며, 현재 진행중인 구간별 ¹⁴C에 의한 지하수의 체류시간 산출결과로 확인될 것이다. 지하수의 이산화탄소분압은 10^{-6.0}atm로 일정한 값을 보이며, 심부지하수는 대기 이산화탄소에 대하여 거의 닫힌계에 있었음을 나타낸다. 심도 250m를 전후하여 지하수의 화학조성이 다소차이를 보이는데 이는 단열대를 따른 지하수의 유동체계에 기인한 것으로 사료된다 (Fig. 1).

시추공을 굴착 후 지하수체계가 교란된 후 심부지하수가 자연상태로 안정화되었는지 확인하기 위하여 심도 459~500m구간에서 보여주는 대표적인 지화학자료를 시료채취시기에 따라 도시하였다 (Fig. 2). 산화-환원전위를 제외하고 모든 현장측정 및 화학특성자료를 시추공에 다중패커시스템을 설치한 후 6개월 이내에 자연상태로 안정화되었음을 보여주고 있다. 본 논문에서는 제시하지는 않았지만 지표수와 심부시추공 주변 지하수는 Ca-HCO₃ 또는 Ca-Na-HCO₃형을 보여주는 반면 250m이하의 심부지하수는 특징적인 Na-HCO₃형을 나타낸다. 다중패커시스템을 이용하지 않은 주변 심부시추공으로부터의 지하수는 심부임에 불구하고 Ca-Na-HCO₃형을 보여주어 자연상태의 심부지하수의 지화학적 특성을 확인하기 위하여 패커를 반드시 이용하여 함을 시사한다. 시추공으로부터 회수된 시추코아시료를 통하여 단열층전광물이 확인되었다. 방해석과 제올라이트 (로몬타이트 및 휴란다이트)가 일반적이며, 그 외 일라이트, 녹니석, 카올리나이트 등이 확인되었다.

그라우팅은 포트랜드시멘트 (CaOSiO₂Al₂O₃Fe₂O₃)가 사용되었으며 빠른 수화반응을 위하여 Na 와 K silicate를 첨가제로 사용하였다. 지하수의 시멘트와의 주요반응은 수화반응으로 이로 인해 pH는 증가되며, 지하수는 Na, K, Ca의 높은 함량을 보이게 된다 (Table 1 and Fig. 1). 결국, 지하수의 화학적으로 Ca-OH형을 보여주게 된다. 실질적으로 높은 pH를 갖는 Ca-OH형의 지하수에서 pH와 알칼리도로부터 지하수의 C함량을 계산한다는 것은 불확실성이 너무크므로 지하수로부터 직접 이산화탄소를 용출하여 지하수의 C함량을 분석하여야 한다.

시추공지하수의 동위원소 분석결과는 Table 1과 같다. δ¹⁸O와 δD의 상관관계는 시추공 지하수는 모두 천수기원임을 보여준다. 심부지하수는 천부지하수에 비해 낮은 산소동위원소조성을 갖으며 (Fig. 3), 이는 국내 강수내 산소동위원소의 고도효과를 고려한다면, 심부지하수는 천부지하수에 비해 약500~1,000m 상부지역에서 함양되었음을 지시한다. 심부지하수내에는 삼중수소가 거의 함유되지 않으며, 지하수의 체류시간이 최소 50년이상임을 지시한다. 또한 심도 약 200m 구간에서는 삼중수소함량이 5.4~6.7TU를 보이며, 이는 지하수의 평균 체류시간이 50년이하임을 지시한다.

Table 1. In-situ and chemical data of the groundwater samples from the borehole by multipacker system in the Yuseong area (Sampling date: Jun. 2002)

Sample no.	Sampling depth (m)	Temp. (°C)	pH	Eh (mV)	Alk (x 1000)	Log Pco ₂ (atm)	Na	Ca	SiO ₂ (mg/L)	HCO ₃	CO ₃	F	δ ¹⁸ O (‰)	δD (‰)	Tritium (TU)
YS5101	30.0	16.1	7.7	-117	3.37	-2.46	12.1	48.6	22.9	200.8	0.5	1.1	-8.9	-63.4	13.9
YS5102*	73.5	15.8	11.3	-73	2.15	-8.23	23.8	35.8	28.7	1.4	13.6	3.0	-8.3	-64.6	13.2
YS5103*	94.5	16.3	11.6	-86	3.63	-8.64	37.6	49.5	22.7	1.0	18.2	3.9	-8.2	-62.0	12.5
YS5104*	123.0	16.9	12.3	-63	27.58	-9.51	83.6	405.0	1.3	0.8	101.8	1.3	-8.5	-63.3	14.3
YS5105*	130.5	17.0	12.0	-98	9.78	-9.06	47.9	130.0	21.6	0.9	42.5	2.1	-8.4	-61.9	12.4
YS5106	169.5	17.7	10.3	-73	0.51	-6.53	25.1	5.9	26.7	6.6	6.4	6.4	-8.4	-64.1	13.1
YS5107	177.0	18.0	10.2	-256	0.53	-6.28	26.4	5.5	25.2	9.0	6.8	7.6	-8.4	-65.8	5.4
YS5108	252.0	19.6	10.1	-22	0.52	-6.09	26.1	4.7	20.2	10.7	6.5	7.8	-9.2	-69.7	1.3
YS5109	259.5	19.7	10.2	-226	0.74	-6.11	35.2	6.0	23.1	13.0	10.1	11.7	-9.9	-73.2	0.8
YS5110	321.0	21.2	10.1	-230	0.60	-6.05	33.6	3.9	20.6	11.9	7.7	12.3	-10.0	-73.5	0.0
YS5111	367.5	22.3	10.0	-149	0.66	-5.80	34.9	4.2	20.8	15.8	8.0	12.3	-10.4	-75.1	0.7
YS5112	415.0	23.6	10.1	-155	0.53	-6.06	34.4	3.5	26.5	10.2	6.3	12.4	-10.0	-72.5	3.7
YS5113	450.0	24.0	10.0	-77	0.51	-6.02	33.3	2.9	19.2	10.3	6.0	12.1	-10.2	-72.8	0.6
YS5114	457.5	24.4	9.9	-194	0.65	-5.67	35.7	2.7	18.5	17.3	7.5	12.7	-10.1	-73.7	0.0

* Samples affected by grouting materials, which shows Ca-OH type (see Fig. 1 and text)

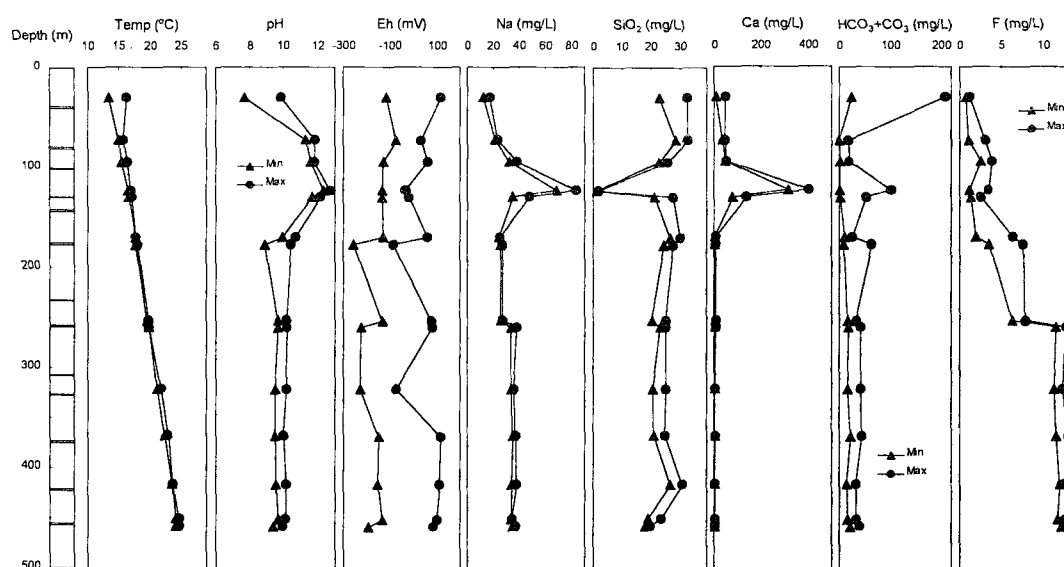


Fig. 1. Variations of the geochemical data of the groundwater from the borehole in the Yuseong area.

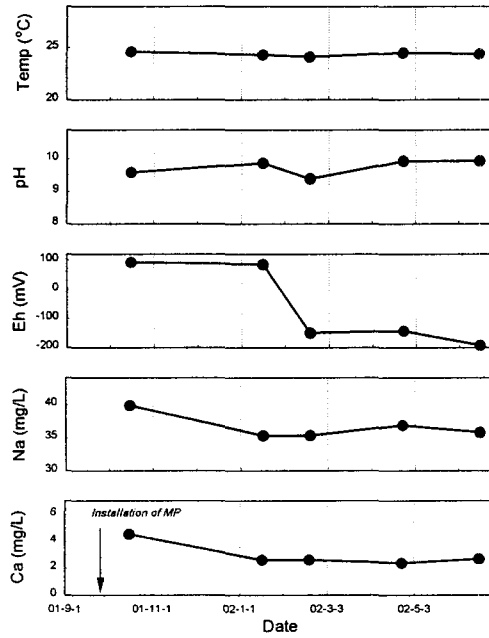


Fig. 2. Variation of the representative geochemical data of the groundwater according to sampling time from section 459~500m of borehole in Yuseong area.

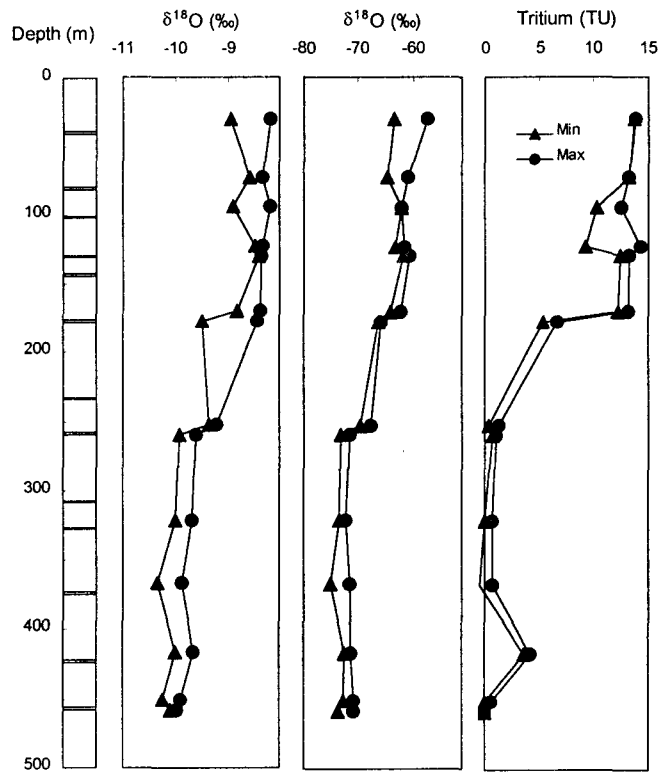


Fig. 3. Variations of the isotopic compositions from the borehole groundwater in the Yuseong area.