

KURT 지하수콜로이드의 ICP-MS 및 TEM-EDX를 이용한 심도별 특성 분석

백민훈, 박태진, 이태엽, 정종태

한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 989번길 111

mhbaik@kaeri.re.kr

1. 서론

처분장으로부터 유출된 방사성 핵종들은 암반 균열의 지하수를 따라 이동하게 되는데 이 때, 지하수에 존재하는 콜로이드성 물질들과 결합하여 의사콜로이드를 형성하게 되며, 이들 방사성 콜로이드들은 지하매질에 의해 지연되지 않고 빨리 이동함으로써 콜로이드가 핵종이동을 가속화시킨다는 연구결과들이 보고되었다[1].

지하수에 존재하는 지하수콜로이드의 크기, 농도, 조성과 같은 특성에 대한 정보들은 지하수에 존재하는 방사성 핵종의 존재 형태와 이동성을 평가하는데 매우 중요하다[2]. 따라서 본 연구에서는 한국원자력연구원 내 지하처분연구시설(KURT)에서 채취한 화강암반 지하수에 존재하는 지하수콜로이드들의 기초 특성을 분석하고자 한다.

2. 본론

2.1 지하수 채취

지하수콜로이드 특성 분석에 사용된 지하수는 한국원자력연구원 내의 KURT(KAERI Underground Research Tunnel)의 다중폐쇄가 설치된 약 500 m 심도의 DB-1 시추공으로부터 깊이별로 4가지 심도별로 각각 채취하였다.

Table 1. Information of the sampled groundwaters from KURT.

Sample no.	Depth (m)	Temp. (°C)	pH	Eh (mV)	EC (μS/cm)	DO (mg/L)	TDS (mg/L)
14	115.7 ~ 198.7	16.5	8.5	111	143	0.03	151
15	199.7 ~ 228.7	16.7	8.3	108	174	0.02	124
16	229.7 ~ 245.7	16.7	8.3	69	172	0.02	176
17	246.7 ~ 299.7	16.7	8.5	11	170	0.02	163

약 20 L의 지하수를 특수 제작된 지하수 채취용 용기에 약 400 mL/min의 유량으로 채취하였다. 채취 시에 콜로이드보다 큰 입자성 물질들의

채취를 막기 위해 450 nm 기공 크기의 필터(Millipak 40, Millipore)로 전여과를 실시하였다. 각 채취 심도에 대한 정보를 Table 1에 정리하여 나타내었다. KURT 지하수는 대체적으로 NaHCO₃ 형의 지하수로 이온강도가 낮고, 알칼리성의 지하수이다.

2.2 지하수콜로이드의 농축

일반적으로 지하수에 존재하는 지하수의 농도는 ppb(μg/L) 수준으로 매우 낮기 때문에 일반적인 분석방법으로 특성을 분석하기는 매우 힘들다. 따라서 채취한 지하수를 점선흐름 한외여과(tangential flow ultra-filtration, TFUF) 방법으로 지하수콜로이드의 농도를 농축하였다. 농축에 사용된 한외여과기(Pellicon Mini, Millipore)에는 약 10 kD 기공크기의 필터(Ultracel PLC, Millipore)를 사용하였다. 농축과정은 글로머박스 내에서 공기와의 접촉을 최소화하여 수행되었다(Fig. 1 참조). 농축은 20 L의 지하수를 시료에 따라 약 100-200 mL로 약 100-200배 정도 농축하였다(I4와 I7은 100배 농축, I5와 I6는 200배 농축).



Fig. 1. Tangential flow ultra-filtration system.

2.3 ICP-MS를 이용한 지하수콜로이드 특성 분석

KURT 지하수콜로이드의 조성을 ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry, Ultramass 700, Varian)를 이용하여 분석하였다. 분석결과를 Table 2에 정리하여 나타내었다. 분석결과, 심도별로 농도와 조성에서 차이를 보여주고 있다. I5

와 I6는 각각 17.7과 11.7 ppb로 농도가 낮고 Na와 Si가 주요 구성성분인 반면, I4와 I7은 각각 35.7과 45.9 ppb로 농도가 높고, Na와 Si 외에도 Ca의 농도가 높은 것으로 나타났다.

Table 2. ICP-MS analysis results for KURT groundwater colloids.

Sample	CF	Element concentration											
		Ca (mg/L)	Fe (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	Si (mg/L)	Li (mg/L)	Al (mg/L)	Mo (mg/L)	Ba (mg/L)	U (mg/L)	Total (pp/L)
14	100	W	14.360	0.005	0.393	1.344	17.010	0.043	17.090	13.240	61.230	74.330	14.660
		C	15.310	0.041	0.447	1.344	18.640	0.878	17.780	26.420	95.170	82.420	23.390
		CC	0.010	0.000	0.001	0.000	0.016	0.008	0.007	0.132	0.339	0.081	0.087
15	200	W	11.980	0.004	2.799	1.466	18.110	8.460	16.410	34.960	65.290	48.640	10.920
		C	12.790	0.011	3.043	1.484	19.310	9.674	17.120	44.200	95.150	54.900	16.890
		CC	0.004	0.000	0.001	0.000	0.006	0.006	0.003	0.046	0.149	0.030	0.030
16	200	W	16.360	0.005	0.443	2.440	21.040	9.796	15.620	63.290	53.060	93.290	7.014
		C	16.710	0.032	0.488	2.440	22.090	10.640	16.070	64.180	66.720	97.960	9.704
		CC	0.002	0.000	0.000	0.000	0.005	0.004	0.002	0.004	0.068	0.023	0.013
17	100	W	14.270	0.006	0.400	1.343	23.420	9.380	15.340	43.400	65.860	10.750	5.172
		C	15.450	0.137	0.409	1.347	25.230	10.790	15.610	65.090	89.480	12.350	7.825
		CC	0.012	0.001	0.000	0.000	0.018	0.014	0.003	0.217	0.236	0.016	0.027

CF= concentration factor

W = original groundwater filtered with 450nm filter

C = concentration groundwater

CC = concentration of groundwater colloids

2.4 TEM-EDS를 이용한 지하수콜로이드 특성분석

농축된 지하수콜로이드를 FE-TEM (Field-Emission Transmission Electron Microscopy)를 이용하여 형태와 크기를 측정하였다(Fig. 2 참조). 지하수 콜로이드들은 대체로 약 50-200nm 정도의 크기를 가지고 분포하는 것으로 보이며, 시료 건조에 따라 약 100nm 정도 크기의 콜로이드 입자들이 서로 회합하여 있는 모습을 보이고 있다.

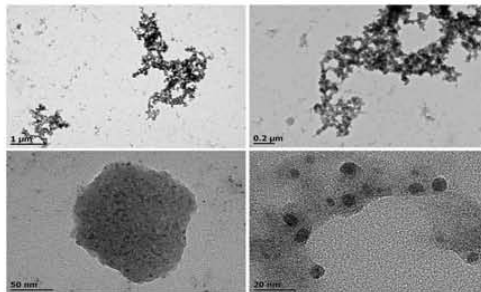


Fig. 2. FE-TEM images of groundwater colloids sampled from I7 of DB-1 borehole in KURT.

또한, EDX(Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy)를 이용하여 TEM으로 촬영한 콜로이드 입자들에 대한 원소분석 실시 결과를 Table 3에 정리하여 나타내었다. 분석결과, 지하수콜로이드들은 매우 다양한 원소 조성을 가지고 있지만, 주로, Si, P, Al, Cl, Ca 등의 원소로 구성되어 있음을 알 수 있다. 따라서 지하수콜로이드들은 Al, Si를 주성분

으로 하는 aluminosilicate 계열의 점토광물, Ca으로 구성된 Calcite 광물, P와 S 등을 함유한 유기물질 등으로 주로 구성되어 있음을 유추할 수 있다. 이러한 결과는 ICP-MS를 이용한 조성분석 결과와 일치함을 보여주고 있다.

Table 3. EDX analysis results for KURT groundwater colloids.

Sample no.	Point	Element composition (weight %)								
		O	Si	P	Al	S	Cl	Ca	Mg	Total
15	S1	73.22	19.63			7.16				100
	S2	73.82	26.18							100
	S3	59.95	20.88				19.16			100
	S4	78.15	21.85							100
16	S1	61.29	19.06				6.40	13.24		100
	S2	55.18	19.93	3.27	4.65	6.81	7.45	2.71		100
	S3	39.02	20.19			6.59			34.2	100
	S4	54.25	16.95	3.98	6.02	7.92	7.08	3.79		100
	S5	47.81	22.76	3.16	6.58	7.11	7.67	2.30	2.60	100
	S6	51.87	23.68	4.56	5.75	5.38	6.21	2.55		100
17	S1	81.45	18.55							100
	S2	66.72	15.29	8.86		3.69	5.43			100
	S3	67.42	10.90	8.37	2.81	3.69	3.53	3.29		100

3. 결론

한외여과시스템으로 농축된 KURT 지하수콜로이드의 특성을 ICP-MS와 TEM-EDX를 이용하여 분석한 결과, 크기는 약 50-200 nm 정도이고, 농도는 10-50 ppb 수준이었다. 심도별로 크기 면에서는 큰 차이를 보이지 않았지만, 농도와 조성 면에서 차이를 보였다.

4. 감사의 글

본 연구는 원자력연구개발사업의 일환으로 교육과학기술부의 지원을 받아 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] A. P. Novikov et al., Colloid transport of plutonium in the far-field of the Mayak production, Russia, Science, Vol. 314. No. 1, pp. 638-641, 2006.
- [2] C. Degueldre, H.-R. Pfeffer, W. Alexander, B. Wernli, and R. Bruetsch, Colloid properties in granitic groundwater systems. I. Sampling and characterization, Appl. Geochem., Vol. 11, pp. 677-695, 1996.