

## 지구화학모델링을 이용한 KURT 지하수의 지구화학적 고찰

류지훈, 김건영, 고용권, 최종원

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

iryu@kaeri.re.kr

### 1. 서론

방사성폐기물처분을 위해서 해당지역을 조사하고 그 지역의 다양한 지구화학적 특성을 고찰하기 위하여 지구화학 모델링을 수행하는 일은 필수적인 일이다. 본 연구의 목적은 지하수의 지구화학적 특성을 고찰하고 KURT 심부지하수의 지구화학적 변이과정을 모델링하는 것이다. KURT에는 20m에서 500m까지의 깊이를 가진 DB-1과 TB 시추공 11개가 있다. 이들 시추공들을 이용하여 KURT 심부지하수의 지구화학적 특성을 고찰하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 조사 방법

KURT내부에 위치한 DB-1과 TB 시추공에서 싱글패커 및 멀티패커시스템으로 지하수를 채취하였다. 지하수를 패커시스템으로 채취할 때 수리조사 및 시추코아분석에서 나타난 단열의 위치를 감안하여 지하수 샘플링 위치가 결정되었다. 현장에서 온도, pH, 산화환원전위(Eh), 전기전도도(EC), 용존산소(DO) 그리고 알칼리니티(Alkalinity)가 측정되었다. 지하수의 산소와 수소 안정동위원소 및 삼중수소는 기초과학지원센터에 의뢰하여 분석하였으며 오차율은 각각  $\pm 0.1\%$  과  $\pm 1.0\%$  이었다. 중수소는 한국원자력연구원의 지구화학실에서 측정하였다. 지하수의 연대는  $^{14}\text{C}$ 을 이용하여 서울대학교에 의뢰하여 측정하였다.

#### 2.2. 모델링

지구화학 모델링은 PHREEQC[1]를 이용한 1D 모델로 수행하였다. 본 모델링을 수행하기 위하여 설정한 지구화학적 조건은 표1에 나타난 바와 같다.

Table 1. Geochemical boundary condition of groundwater used for the modeling in this study.

	pH	Na	K	Mg	Ca
				mg/L	
Initial	5.7	1.61	0.05	0.02	3.33
DB-1-5	8.5	13.3	3.32	1.84	13.9

	Cl	$\text{HCO}_3^{-1}$	$\text{SiO}_2$	$\text{SO}_4^{-2}$
	mg/L			
Initial	5.92	0.79	<1	<1
DB-1-5	18.3	89.1	22.7	7.08

본 모델링에서 시간상으로 가장 오래된 물의 화학적 성분은 DB-1-5 구간에서 채취한 지하수의 성분으로 설정하였으며 이 구간에서 채취한 지하수는  $^{14}\text{C}$ 을 이용한 연대측정에서 약 8620년으로 나타났다. 본 모델링에서는 초기 지표수가 지표로부터 스며들면서 기존지하수와 혼합되어지는 과정에서 다양한 단열충전광물들과 상호반응을 일으키는 과정을 계산 하였다. 모델링에 사용된 광물들의 지구화학적 구성은 표 2와 같다.

Table 2. Chemical composition of the granite used in this study (from [2]).

Oxide	Wt %	Modal mineral	Vol %
$\text{SiO}_2$	74.1	Quartz	37.8
$\text{Al}_2\text{O}_3$	13.97	K-feldspar	37.1
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.72	Plagioclase	23.9
MgO	0.17	Biotite	1.1
MnO	0.07	Others	0.1
CaO	0.91		
$\text{Na}_2\text{O}$	3.81		
$\text{K}_2\text{O}$	4.81		
$\text{TiO}_2$	0.15		
FeO	0.38		
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.03		
Total	99.12	Total	100

본 모델링에서는 모든 지층에서 방해석 포화도는 지하수환경에서 계산된 포화도를 그대로 받아들여 설정하였으며 K-장석 와 사장석(plagioclase)의 풍화과정은 kinetic 과정을 포함하여 모델링에 포함시켰다. 두 광물의 풍화률은 기존 문헌을 조사하여 K-장석의 풍화률은  $10^{-16.6} \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ [3]로 설정하였고 사장석의 풍화률은  $10^{-15.6} \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ [4]로 설정하였다. 지하수시스템에서 존재하는 이온교환반응과정도 모델링에 포함되었는데 이온교환수지(exchanger)의 값은  $300 \text{ mmol L}^{-1}$  으로 설정되었

다. 모델링은 지하수의 연대측정에서 나온 결과를 바탕으로 8000년을 최장 기간으로 수행하였다.

### 3. 결론

본 연구에서는 지하수 환경을 1D로 생각하고 초기의 물을 빗물로 가정하고 심부 지하수 연대를 약 8000년으로 가정하였다. 초기 물은 지하수 환경으로 스며들면서 심부지하수와 혼합되고 다양한 광물들과 상호반응을 거쳐 지하수의 깊이에 따른 지화학적 성분의 변화를 나타낸다. 그 결과는 그림1에서 나타난바와 같다. 그림 1에서 보여지는바와 같이 5개의 주요 지구화학 요소들에 대한 모델링의 결과가 현장에서 직접 채취한 지하수의 지구화학적 분석값과 비교적 일치하였다.

모델링 결과로 나타난  $Cl^-$  농도와 실제 측정된  $Cl^-$  농도 차이는 결국 실제로 존재하는 지하수환경의 불균질성을 대변하지만 지하수의 흐름은 개념적으로  $Cl^-$  농도 분포를 근거로 해석할 수 있는데 모델링의 결과와 실제 분석된 지하수의  $Cl^-$  농도 분포가 대체적으로 일치하는 것으로 보아 지하수의 흐름이 지표에서 지하수 환경으로 침투하여 혼합되는 과정으로 계산한 모델링개념에는 큰 무리가 없는 것으로 판단된다.

모델링 결과로 볼 때  $Na^+$  농도의 분포는 사장석의 풍화, 방해석의 용해작용 그리고 지하수환경의 이온교환과정 등에 의하여 영향을 받는 것으로 나타났다. 이러한 과정에 따라  $Na^+$  농도는 지하수 환경의 깊이에 따라 점진적인 증가를 보이는 것으로 나타났다. 이는 실제로 측정된  $Na^+$  농도와 비교적 일치하였다.

모델링의 결과로 나타난  $Ca^{+2}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SiO_2$  농도 분포와 실제 지하수환경에서 채취한 지하수의 해당 측정 이온농도 분포가 유사하였으며 이러한 분포는 방해석, 조장석(albite), 회장석(anorthite), 석영(quartz), K-장석과 같은 광물과의 상호과정에 의하여 영향을 받는 것으로 해석되었다. 이러한 광물들의 풍화 및 용해과정에 의하여 영향을 받는 것으로 나타났다.

지표면에서 빗물이 침투하여 심부지하수환경에 존재하는 다양한 광물들과 상호반응을 일으키고 각기 다른 성분의 지하수가 혼합되고 이온교환되는 과정에 의하여 지하수의 지화학 성분이 점차적으로 변화하는 것을 본 연구에서는 복잡한 지하수환경을 단순화한 1D 모델링으로 입증하였다.

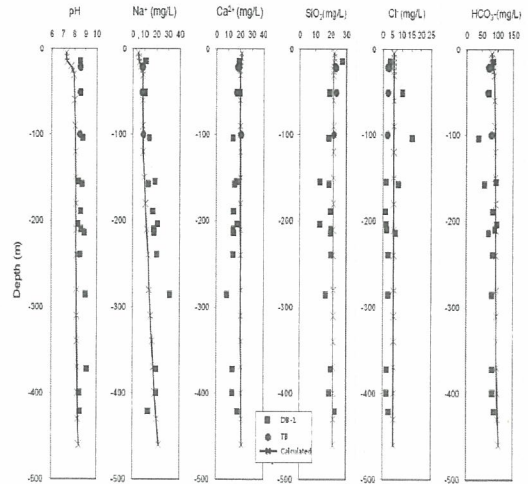


Fig. 1. Modelled changes in porosity as a function of calcite and gypsum added.

### 4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부가 주관하는 원자력 중장기 연구의 일환으로 수행되었습니다.

### 5. 참고문헌

- [1] Parkhurst, D. L. and Appelo, C. A. (1999) "User's guide to PHREEQC (version 2)- a computer program for speciation, batch-reaction, one dimensional transport, and inverse geochemical calculations." U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations, Report 99-4259, Lakewood, CO.
- [2] Yun, H. S., Hong, S. S. and Lee, Y. S. (2002), "Petrology and petrochemistry of the Jurassic Daebo granites in the Pocheon-Gisanri area." J. Petrol. Soc. Korea, 11, 1-16.
- [3] White, A. F., Blum, A. E., Schulz, M. S., Bullen, T. D., Harden, J. W., and Pterson, M. L. (1996). "Chemical weathering of a soil chronosequence on granitic alluvium: 1. Reaction rates based ion changes in soil mineralogy." Goechem. Cosmochim. Acte., 60, 2533-2550.
- [4] White, A. F., and Brantley, S. L. (2003). " The effect of time on the weathering of silicate minerals: Why do weathering rates differ in the laboratory and field?." Chem. Geol., 202, 479-506.