

우리나라 고온성 온천수에 함유된 희토류원소 존재도의 지구화학적 특징

이승근, 김통권, 이진수, 송윤호

한국지질자원연구원 지하수지열연구부 (sgl@kigam.re.kr)

<요약문>

한반도남부에 분포하는 중생대의 화강암류는 경기육괴지역을 중심으로 분포하는 쥬라기의 대보화강암류와 옥천대 이남지역에 주로 분포하는 백악기의 불국사 화강암류로 크게 분류할 수가 있다. 우리나라의 40℃ 이상의 고온성 온천수는, 이암층으로 덮여있는 포항지역을 제외하고는 대부분이 상기의 화강암류 지역에 분포하는 특성을 지닌다. 이 논문에서는 우리나라의 고온성 온천수의 지구화학적특성, 특히 희토류원소의 분포특성을 화강암류의 분포지역과 비교하여 고찰해보고자 하였다. 화학분석에 이용된 온천수 시료는 2004년도 2월의 건기에 채취되었다. 이 연구결과에 의하면, 아산온천(구 온양온천), 덕산온천, 포천지구 및 속초지구와 같이 쥬라기 대보화강암류지역에 주로 분포하는 온천수는 PAAS(Post-Archean Australian Shale)로 규격화하였을 경우 경희토류(La-Sm)이 결핍되어 있고, 중희토류는 편평한 분포양상을 보여주었다. 그리고 Eu의 이상(anomaly)이 거의 존재하지 않으며, Ce의 경우 부(-)의 이상(Ce negative anomaly)을 보여주기도 한다. 반면에 옥천대 이남에 분포하는 백암, 덕구, 부곡, 마금산, 동래, 해운대, 포항지구의 온천수들은 전반적으로 편평한 분포특성을 보여준다. 그리고 대체적으로 Eu와 Ce의 강한 정(+)의 이상을 보여준다. 이와 같은 Eu와 Ce의 이상은 온천수와 대수층간의 반응에 따른 결과로서 사료된다.

주요어: 쥬라기 대보화강암류, 백악기 불국사화강암류, 고온성 온천수, 희토류원소 분포도, Eu, Ce 이상

1. 서언

지난 40여년간, 희토류원소는 유사한 물리적/화학적 성질로 인해 자연계내에서 규칙성이 매우 강하기 때문에 암석, 해수와 같은 지구구성물질 및 지구의물질(운석)의 생성시 환경 및 현재의 환경변화를 해석하는 데 아주 중요한 도구로 사용되고 있다¹⁻⁶⁾. 특히 ICP-MS 혹은 HR-ICP-MS와 같은 질량분석기의 개발은 지하수내 희토류원소를 보다 빠르고 정확하게 분석할 수 있게 해주었고, 이는 희토류원소를 지하수내의 각종 환경변화 및 지하수 유동연구의 지시자로서 활용할 수 있게 해주었다^{3,4)}.

우리나라의 대부분의 고온성 온천수는 중생대의 화강암류 분포지역에 위치한다. 이 논문에서는 우리나라에 분포하는 40℃ 이상의 고온성 온천수의 희토류원소 분포를 살펴보고자 한다. 특히, 우리나라의 대표적인 중생대 조산운동의 산물인 쥬라기 대보화강암류 분포지역과 백악기 불국사 화강암류 분포지역에서의 온천수의 희토류원소 지구화학적 특성에 대해 토의하고자 한다.

2. 시료의 위치 및 분석방법

표 1에는 이 논문에 사용된 온천수 채취공의 위치와 대수층 구성암석의 특성이 기재되어 있다. 이 조사항들은 현재 매일 사용되고 있는 온천수들이며, 현장에서 온도, 수소이온농도, 전기전도도, 탄산이온농도 등을 측정하였으며, 0.45 μ m의 셀룰로오즈 여과지로 거른 후, 음이온, 양이온 (희토류원소 포함)용으로 분리하여 시료를 채취하였다. 양이온 측정용 시료는 고순도의 질산을 이용하여 약 2% 질산용액으로 보관하였다. 희토류원소의 측정은 한국지질자원연구원의 ICP-MS (Perkin Elmer사의 Elan DRC II)를 이용하여 측정하였다. 측정시 5% 질산용액의 바다값은 1pmol/g (10^{-12} mol/g)이하였다.

표 1. 조사된 온천수의 위치, 채취일자, 물리적 특성, 각각의 대수층 구성암석

시료 번호	위치	채취일자	온도	pH	EC	대수층 구성암석
IDHS	일동용암온천	2004/02/23	35.6	9.2	439	쥬라기 대보 화강암
HWHS	한화리조트	2004/02/24	47.8	9.24	209	쥬라기 대보 화강암
DSHS	덕산가야온천	2004/02/27	47.4	9.12	251	쥬라기 대보 화강암
ASHS	아산신천탕	2004/02/27	49	8.86	314	쥬라기 대보 화강암
BAHS	백암온천	2004/02/25	46.3	9.52	245	백악기 불국사화강암
DGHS	덕구온천	2004/02/24	42.1	9.35	206	백악기 불국사화강암
BKHS	부곡고운호텔	2004/02/26	75.5	9.06	520	백악기 불국사화강암
MGHS	마금산온천	2004/02/26	46.3	8.23	1335	백악기 불국사화강암
DRHS	동래녹천온천	2004/02/26	62	8.34	1542	백악기 불국사화강암
HYHS	해운대송도탕	2004/02/26	56.9	7.49	6710	백악기 불국사화강암
PHHS	포항시그너스	2004/02/26	42	7.77	5010	백악기 불국사화강암

3. 결과

중생대 쥬라기 대보화강암류와 백악기 화강암류 그리고 각각의 암상들에 따른 온천수의 희토류원소 분포도는 그림1과 같다. 희토류원소의 규격화에는 PAAS(Post-Archean Australian Shale)⁷⁾을 이용하였다.

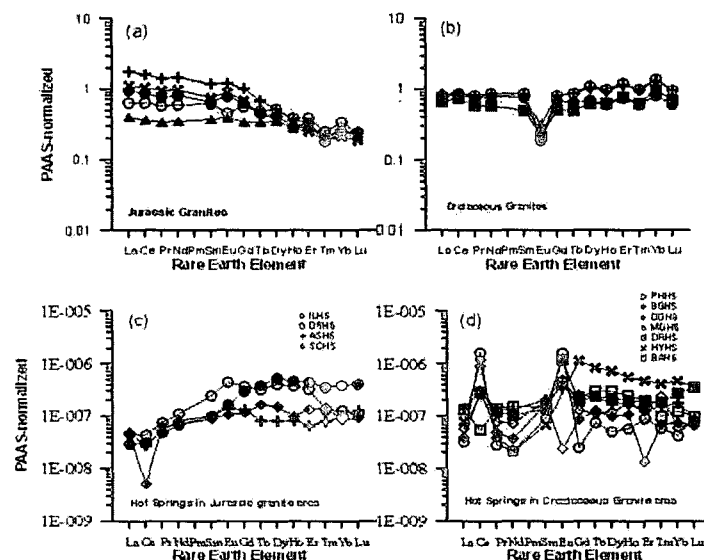


그림 1. 우리나라 중생대 화강암류(a: 쥬라기 대보화강암류, b: 백악기 불국사 화강암류)의 희토류원소 분포도와 해당 화강암류지역내 고온성 온천수에서의 희토류원소 분포도

4. 토의

그림 1에서 보면, 우선 중생대 화강암류의 희토류원소 분포도(a와 b 참조)가 서로 다를 수 있다. 그리고 온천수에서의 희토류원소 분포도를 살펴보면, 쥬라기의 대보화강암류 지역에 분포하는 온천수(c와 d참조)는 전반적으로 중희토류(Gd-Lu)가 편평한 양상을 보여주고 경희토류(La-Eu)는 결핍된 특징을 갖는다. 아울러, Eu의 이상이 거의 존재하지 않는 반면에, Ce은 부(-)의 이상을 갖는다. 반면에 백악기의 불국사 화강암류 지역에 분포하는 온천수들은 희토류원소들의 분포도가 전체적인 분포도는 쥬라기 화강암지역의 온천수와 대체적으로 유사하지만 Eu과 Ce 모두 강한 정(+)의 이상을 보여준다. 우선, 그림 1의 c와 d에서 관찰되는 Ce과 Eu의 변화는 물-암석 반응에 의한 결과로 해석될 수 있다. 그러나, 대부분의 온천수는 지하 수백 m이상의 지하 심부에 존재하므로, 현재 보이는 희토류원소의 분포 양상이 전년도에 내린 강우와 대수층 구성암석과의 반응 산물인지를 구별하기 위해서는 지하수의 순환 속도, Sr 동위원소, 산소, 수소 동위원소비 측정등을 포함한 추가 연구가 필요하다고 본다.

5. 참고문헌

- 1) Lee, S. G., Lee, D. H., Kim, Y., Chae, B. G., Kim, W. Y. and Woo, N. C., 2003, Rare earth elements as an indicator of groundwater environment changes in a fractured rock system: Evidence from fractured-filling calcite. *Appl. Geochem.* 18, 135-143.
- 2) Lee, S. G., Kim, Y., Chae, B. G., Koh, D. C., Kim, K. H., 2004, The geochemical implication of a variable Eu anomaly in a fractured gneiss core: application for understanding Am behavior in the geological environment. *Appl. Geochem.* 19, (in printing).
- 3) Johannesson, K. H., Stetzenbach, K. J., Hodge, V. F., Rare Earth Elements as geochemical tracers of regional groundwater mixing. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 61, 3605-3618, 1997.
- 4) Dia, A., Gruau, G., Olivie-Lauquet G., Riou, C., Molenat J. and Curmi, P., The distribution of rare earth elements in groundwaters: Assessing the role of source-rock composition, redox changes and colloidal particles. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 64, 4131-4151, 2000.
- 5) Johansson, B., Rosengren, A., 1975, Interpolation scheme for the cohesive energies for the lanthanides and actinides, *Phys. Rev. B* 11, 1367-1373.
- 6) Fred, M., 1967, in *Lanthanide/Actinide Chemistry*, vol. 71, *Advances in Chemistry*.
- 7) Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1985, *The continental crust: Its composition and evolution*. *Geoscience Texts*, Blackwell, Oxford, 312 p.

6. 사사

이 연구는 한국지질자원연구원의 2004년도 일반사업의 일환으로 수행되었습니다.