

임원지역 우백질 화강편마암류의 희토류원소의 분포도 변화: 희토류원소 테트라드 효과의 분포규모 및 형성요인에 대한 고찰

이승구^{1*} · 송용선² · 박계현² · 김남훈²

¹ 한국지질자원연구원 지하수지열연구부, (sgl@kigam.re.kr)

² 부경대학교 환경지질학과

1. 서언

희토류원소는 지각 및 이를 구성하고 있는 각종 암석의 생성환경 및 분화과정을 해석하는데 매우 유용하게 사용된다. 특히 Masuda(1962)가 운석을 기준물질로 사용하여 규격화한 Masuda-Coryell plot는 현재 지구화학적 연구의 매우 귀중한 도구로 사용되고 있다. 그리고 Masuda and Ikeuchi (1979)는 유체 특히 물의 성분과 관련된 환경하에서 La-Ce-Pr-Nd, Pm-Sm-Eu-Gd, Gd-Tb-Dy-Ho, Er-Tb-Yb-Lu으로 나뉘는 희토류원소의 “테트라드 효과”를 만들어낸다고 보고하였다. 이에 대한 연구는 발표 초기에는 그리 관심을 끌지 못했으나, 최근에는 분석기술의 향상과 더불어 지구화학적으로 매우 중요한 의미를 갖고 있음이 밝혀지게 되었다 (Kawabe, 1992; Bau, 1994; Lee et al., 1994; Jahn et al., 2001; Monecke et al., 2002). Jahn et al. (2001)은 중국의 북동부에 분포하는 중생대 화강암류에서의 희토류원소 테트라드 효과를 화강암류에서의 희토류원소 테트라드효과는 마그마 분화과정에서의 후기산물로 간주하였다. 특히, Lee et al. (1994)는 강원도 임원지역에 분포하는 우백질 화강편마암에서의 희토류원소 테트라드 효과를 발표한 바 있는데, 이는 테트라드 효과를 보여주는 우백질 화강암류중 전세계에서 보고된 유일한 선캠브리아기 암석이다.

이 논문에서는 강원도 임원지역에 분포하는 우백질화강암류에서의 암상변화에 따른 희토류원소의 분포도를 비교해 봄으로서, 희토류원소의 테트라드효과의 형성과정에 있어서 주변암 특히 함수광물을 많이 함유하고 있는 암석과의 관련성에 관한 초기연구결과를 토의하고자 한다.

2. 일반지질 및 시료채취방법

연구지역은 영남육괴 북동부의 동해안가에 길게 남북으로 분포하는 우백질 화강편마암류로서, 주변부에는 혼성암질 편마암이 분포한다. 주로 괴상의 형태로서 분포하지만, 부분적으로는 엽리가 현저하게 발달되어 있는 것이 관찰되며, 흑운모 편마암을 포획하고 있는 것이 관찰된다. 그리고 이와 같은 포획체와의 경계부분에서는 조립질의 석영-장석질 화강편마암이 발달되어 있다. 주구성광물은 석영, 정장석, 사장석이지만 부분적으로는 1cm이상의 석류석 반정이 야외에서 관찰된다. 1% 미만의 미량광물로는 흑운모, 백운모, 규선석이 있다.

이 연구에서는 희토류원소의 테트라드 효과가 어느 정도 넓게 분포하는지 및 포획되어 있는 흑운모 편마암과의 상관성 등과 같은 형성과정을 밝혀내기 위해, 서로 간에 약 3km 정도 떨어져 있는 노두 2곳(노두 A와 노두 B)을 선정하여 시료를 채취하였다. 시료는 포획암인 흑운모 편마암을 기준으로 하여 주변부로 가면서 석영장석질 화강편마암, 우백질 화강편마암을 채취하였는데, 이는 흑운모 편마암이 함수광물을 많이 함유하고 있기 때문이다. 그림

1d의 20041016-8-fol과 같은 시료는 풍화에 의해 변질된 석류석이 선구조를 현저하게 보여 주고 있는 시료로서, 이 시료 또한 흑운모 편마암 포획체 주변에서만 주로 관찰된다.

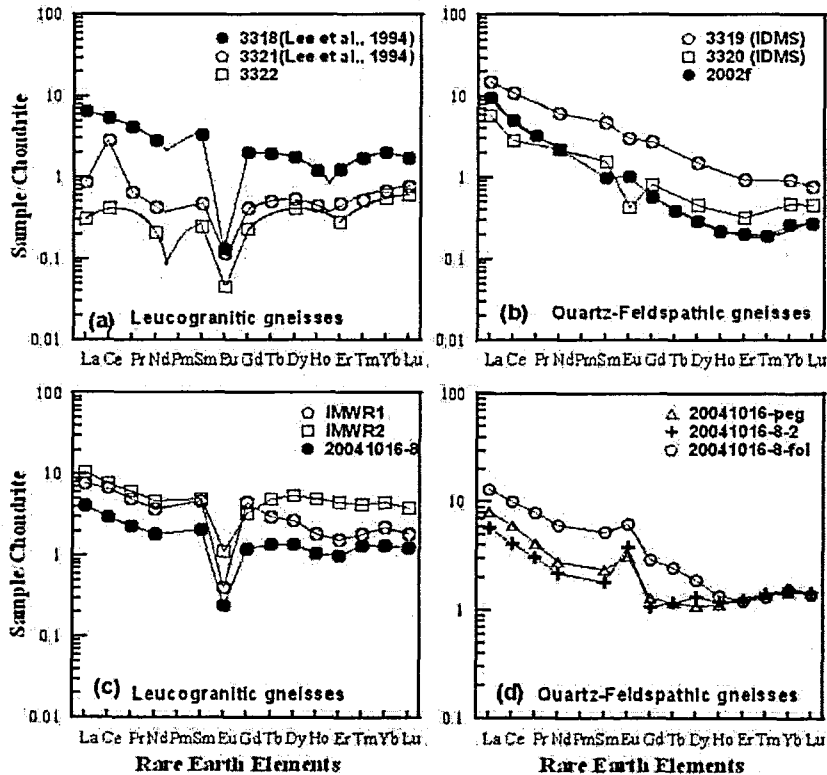


그림 1. 임원지역내 우백질화강암류에서의 희토류원소 분포도. (a)와(b)는 노두A에서의 희토류원소 변화도임. (c)와 (d)는 노두 B에서의 희토류원소 변화도임

3. 결과 및 토의

주성분의 분석결과에 의하면 노두위치에 관계없이 우백질 화강편마암 및 석영장석질 편마암의 SiO₂의 함량은 75% 전후, Al₂O₃ 14.5% 전후이다. K₂O가 Na₂O보다 약간 더 많이 함유되어 있고 total Fe₂O₃는 1%이하이다. 노두A와 노두B에서의 희토류원소의 분포도는 그림 1a~1d에 도시된 바와 같다.

노두A와 노두B에서의 희토류원소 분포도를 살펴보면, 일반적인 우백질 화강편마암(그림 1a와 1c)에서는 Eu의 강한 부(-)의 이상을 갖는 M-형의 희토류원소 테트라드효과가 현저하게 관찰된다. 반면에 그림 1b와 1d의 석영-장석질 편마암에서는 Eu의 이상이 현저하게 작아지거나 혹은 정(+)의 이상을 보여준다. 그리고 중희토류(Gd-Lu)에서는 일부 M-형의 테트라드 효과가 관찰되지만, 전반적으로 미약하거나 혹은 W-형의 테트라드 효과가 관찰되기도 한다. 희토류원소의 테트라드효과의 형성 과정에 대한 이론적 설명은 아직 불명확하지만, 화강암류에서의 희토류원소 테트라드효과를 설명함에 있어서 Irber(1999), Jahn et al. (2002)와

Wu et al. (2004)는 열수용액과의 반응에 의한 마그마 분화과정의 후기산물로 간주하였다. 그러나, 본 연구지역에서의 희토류원소 테트라드효과는 마그마 분화과정의 후기산물에 의해 형성된 것이라는 설명은 다소 무리라고 본다. 왜냐하면 첫째, 조립질의 석영-장석질 화강편마암이 마그마분화과정의 후기산물이라면, 이 암체에서 보다 명확한 희토류원소의 테트라드 효과가 관찰되어져야 할 것임에도 불구하고, 이 연구에서는 거의 존재하지 않으며 아울러 Eu도 정(+)의 이상을 보여주기 때문이다. 그러므로 이 연구지역의 희토류원소 테트라드효과는 단순히 마그마분화과정의 후기산물로 보는 것은 무리라고 판단된다. 아울러 우백질화강편마암과 우백질화강편마암과 포획물인 흑운모 편마암 그리고 그 접촉부에 발달되어 있는 암석이 석영-장석질 편마암인 암상변화를 고려해 볼 때, 흑운모 편마암을 포획하면서 발생된 지구화학적 반응에 의해 일어났을 가능성도 배제할 수가 없다. 그러나 흑운모 편마암이 심하게 풍화되어 거의 토양화되어 있기 때문에 흑운모 편마암이 그림1d와 같은 시료들의 희토류원소 분포도에 영향을 주었는지를 밝히기 위해서는 향후 보다 더 많은 연구가 필요하다고 본다.

4. 참고문헌

- Bau, M., 1994, Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: evidence from Y/Ho, Zr/Hf, and lanthanide tetrad effect. *Contr. Mineral. Petrol.*, 123, 323-333.
- Irber, W., 1999, The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites. *Geochim. Cosmochim. Acta* 63, 489-508.
- Jahn, B.-m., Wu, F., Capdevila, R., Martineau, F. and Zhao, Z. and Wang, Y., 2001, Highly evolved juvenile granites and with tetrad REE patterns: the Woduhe and Baerzhe granites from the Great Xing'an Mountains in NE China. *Lithos*, 59, 171-198.
- Kawabe, I., 1992, Lanthanide tetrad effect in the Ln³⁺ ionic radii and refined spin-pairing energy theory. *Geochem. Jour.*, 26, 309-335.
- Lee, S. G., Masuda, A. and Kim, H. S., 1994, An early Proterozoic leuco-granitic gneiss with the REE tetrad phenomenon. *Chem. Geol.* 114, 59-67.
- Masuda, A. and Ikeuchi, Y., 1979, Lanthanide tetrad effect observed in marine environment. *Geochem. Jour.*, 13, 19-22.
- Masuda, A., 1962, Regularities in variation of relative abundances of lanthanide elements and an attempt to analyse separation-index patterns of some minerals. *Jour. Earth Sci. Nagoya Univ.*, 10, 173-187.
- Monecke, T., Kempe, U., Monecke, J., Sala, M and Wolf, D., 2002, Tetrad effect in rare earth element distribution patterns: A method of quantification with application to rock and mineral samples from granite-related rare metal deposits. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 66, 1185-1196.
- Wu, F.-Y., Sun, D.-Y., Jahn, B.-m. and Wilde, S., 2004, A Jurassic garnet-bearing

Proceedings of the Annual Joint Conference,
Mineralogical Society of Korea and
Petrological Society of Korea,
May 27, 2005, Daegu, Korea

granitic pluton from NE China showing tetrad REE patterns. Jour. Asia. Earth Sci.,
731-744.

5. **사사:** 이 연구는 한국과학재단의 특정기초연구(과제번호: R01-2004-000-10825-0)의
지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사를 드린다.