

## 마천 반려암질 층상관입암에서 산출되는 크롬-스피넬: 진주층 퇴적물중의 쇄설성 크롬-스피넬의 기원지(provenance)로서의 가능성

송용선\*, 박계현, 백인성

부경대학교 환경지질과학과(yssong@pknu.ac.kr)

### 1. 서론

크롬-스피넬은 매픽 내지 초매픽 화성암에서 제한적으로 산출되는 광물로 이들 매픽 내지 초매픽 화성암의 생성과 진화과정시의 물리화학적 조건을 구하는데 유용한 광물이다. 크롬-스피넬은 다른 종류의 암석에서는 거의 산출되지 않으며, 감람석이나 휘석 등 매픽 내지 초매픽한 암석종의 다른 광물들에 비해 풍화에 대한 저항도가 매우 높기 때문에 퇴적층의 기원지를 연구하는데도 유용한 증광물중의 하나이다. 최근에는 크롬-스피넬의 화학조성상의 특징을 이용해 퇴적층의 쇄설물의 근원지와 그의 지구조적 환경을 추정하는 연구들이 수행되고 있다 (Arai & Okada, 1991; Arai & Hisada, 1991; Arai, 1992; Hisada & Arai, 1993, 1994; Cookenboo et al., 1997).

Hisada et al.(1998) 및 Hisada et al.(1999)은 경상누층군중 진주층에서 특징적으로 크롬-스피넬이 산출됨을 보고하면서, 크롬-스피넬의 화학조성에 의해 그 기원지 문제와 지구조적 환경을 추정하였다. 이들은 현재 보고되고 있는 경상분지내 또는 그 주변에 분포된 울산과 안동 지역의 초매픽한 암체들은 크롬-스피넬의 화학조성상의 특징이 달라 기원지로서의 가능성이 없다고 보고 옥천변성대중에 후보 기원지가 존재할 것으로 추정하였다. 그러나 현재로서는 옥천변성대내에 크롬-스피넬을 함유할만한 매픽 내지 초매픽한 암체는 알려져 있지 않다.

Chang & Kim (1968)에 따르면 주로 신동층군에 속하는 경상누층군의 하부 퇴적층의 퇴적당시 퇴적물의 평균적인 운반방향은 남동 방향이었다. 공룡화석은 진주층의 하부층인 하산동층의 상부층중에서 주로 산출된다. 하산동층에서는 크롬-스피넬의 산출이 보고되지 않고 있지만 퇴적물의 이동방향으로 볼 때 진주층과 그 기원지가 유사할 것으로 보고 경상분지 서쪽에서 크롬-스피넬이 산출될 가능성이 있는 매픽 내지 초매픽한 암체를 조사하였다. 이에 따라 본 연구자들은 경상분지 서편의 소백산육괴 섀캠프리아 편마암을 관입하고 있는 마천 반려암질 층상관입암체가 크롬-스피넬의 기원지로서의 가능성이 가장 높을 것으로 보고 이에 대한 조사를 통해 제한된 양이지만 크롬-스피넬이 산출됨을 확인하였다. 이번 연구에서는 마천 반려암질 층상관입암에서 산출되는 크롬-스피넬의 산상과 화학조성상의 특징을 진주층에서 보고된 것들과 비교, 연구함으로써 기원지로서의 가능성 여부를 조사하였다.

### 2. 지질과 스피넬의 산상

마천 반려암질 층상관입암은 경상분지와 소백산 육괴의 경계부에서 서쪽으로 30 km 정도 떨어진 소백산육괴 서남부 지역의 변성암체내에 북북동-남남서 방향으로 길게 분포하며, 주변의 변성암류를 관입하고 있다. 이 암체의 기재적 특성은 이 학술발표 논문집중의 송용선 외(2004)에 기재되어 있다.

마천 반려암질 층상관입암중의 일부 암석에서는 상당량의 Cr성분을 함유하고 있는 크롬-스피넬과 Cr을 거의 함유하지 않은 스피넬 등 2종류의 스피넬이 산출된다. 크롬-스피넬은

초매립한 감람암 중에서만 산출되고, 반러암류에서는 크롬을 함유하지 않은 스피넬이 산출된다. 감람석이 풍부한 우흑질 감람석 반러암에서 주로 산출되고, 규칙적 층상구조 (rhythmic layering)를 이룬 감람석 반러암과 우백질 반러암내지 회장암류에서는 크롬을 함유하지 않은 스피넬이 주로 산출된다. 그 외 조립질 회장암이나 다른 암석들에선 스피넬이 관찰되지 않는다. 감람암질 암종의 감람석들은 거의 대부분 사문석화되었고, 가상을 이루고 있는 사문석 군집내에 미립의 감람석 잔류물들이 남아있어 섬과 바다(island and sea)의 구조를 이루고 있다. 감람암종의 크롬-스피넬은 불투명한 검은 색을 띠고 0.1 - 0.2 mm 크기의 둥근 형태로 사문석화된 감람석내의 포유물로 산출된다. 반러암에서 산출되는 크롬을 함유하지 않은 스피넬은 짙은 녹색을 띠며, 자형 내지 반자형이고 1 - 2 mm 크기의 큰 결정에서부터 0.1 - 0.2 mm의 작은 타형 결정까지 모양과 크기가 다양하다. 주로 감람석과 공생하며 흔히 감람석과 함께 간극충진상 또는 반응주변부를 이루며 후기에 결정화된 휘석으로 둘러싸여 있다.

### 3. 스피넬의 화학조성

스피넬의 화학조성은 기초과학연구소의 Cameca Model SX51 전자현미분석기로 분석하였고, 분석조건은 가속전압 10 kv, beam 직경 2 $\mu$ m, beam 전류는 20 nA였다. 스피넬이 산출되는 감람암질 암 1개, 감람석 반러암 2개 시료를 선정하여 분석하였으며, 스피넬의 분석값들은 Arai & Hisada (1991)의 방법에 따라 스피넬의 stoichiometry를 고려하여 결정구조식을 계산하였다. 즉, 처음에 전 Fe를 FeO로 계산하였고, 전 Ti는 Fe와 결합시켜 ulvospinel 분자 (Fe<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub>)를 계산하였고, ulvospinel 분자를 뺀후 스피넬의 stoichiometry를 가정하여 Mg, Fe<sup>2+</sup>, Cr, Al 및 Fe<sup>3+</sup>의 양이온 비를 계산하였다. 전 Mn은 계산전에 전 Fe에 합산하였다.

감람암질 암종의 크롬-스피넬은 Cr# (=Cr/(Cr+Al))가 0.47 - 0.77, TiO<sub>2</sub> wt%는 0.47-0.81, X<sub>Fe</sub> (=Fe<sup>3+</sup>/(Cr+Al+Fe<sup>3+</sup>))는 0.07-0.13, Mg# (=Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>))는 0.18-0.38 정도이다. 다른 크롬-스피넬에 비해 Cr 함량이 높은 입자는 반사현미경하에서 옅은 황색을 띠며 상대적으로 높은 반사도를 보이는데 Fe#는 조금 높고 Mg#는 낮은 경향을 보인다. 반러암종의 스피넬은 Cr을 거의 함유하지 않으며, 조성으로 볼 때 사면체구조내의 Mg가 Fe<sup>2+</sup>로 상당량 (Mg#=0.5-0.6) 치환되어 있는 pleonaste에 해당되는데, TiO<sub>2</sub>도 거의 함유하지 않는다. 마천 반러암체에서 산출되는 크롬-스피넬의 화학조성을 진주층에서 보고된 크롬-스피넬의 화학조성(Hisada et al., 1998; Hisada et al., 1999)과 비교해 보았다.

연구지역의 감람암질 암에서 산출된 크롬-스피넬의 조성은 Cr#-Mg#도와 Cr-Al-Fe<sup>3+</sup>삼각도에서 균위지역의 것과는 약간의 차이를 보이지만 전체 진주층의 크롬-스피넬의 조성범위에 포함되고 있다. 그러나 TiO<sub>2</sub> 함량으로 보면 high-Ti 계열쪽으로 치우쳐 있어 현재로서는 진주층의 것들과는 일치하지 않고 있다. 그림들에서 보듯이 진주층중의 쇄설성 크롬-스피넬에 대한 조사지역과 분석자료가 커짐에 따라 그 성분범위도 확장되고 있으며, 마천 반러암종의 크롬-스피넬에 대한 조사가 현재로서는 충분하지 않기 때문에 앞으로 분석자료가 더 축적이 되면 그 관계가 보다 확실해질 것으로 생각된다. 또한 Power et al. (2000)은 층상관입암에서 암체내의 크롬-스피넬과 쇄설성 크롬-스피넬의 화학조성간에 상당한 차이가 있음을 보고하면서 크롬-스피넬의 화학조성에 의해 기원지를 구별하는 연구에 대해 문제점을 제기하고 있어 마천 반러암과 진주층간의 크롬-스피넬의 기원지 관계는 좀더 연구해볼 필요가 있다.

### 4. 결론

마천 반려암질 층상관입암에서 크롬-스피넬이 산출됨을 확인하였다. 이는 이 암체가 진주층에서 보고된 쇠설성 크롬-스피넬의 기원지일 가능성을 강력하게 시사해 준다. 그러나, 이 암체에서 산출된 크롬-스피넬의 화학조성상의 특징은 현재까지 보고된 진주층의 것과는 약간의 차이를 보이고 있다. 그러나 앞으로 보다 많은 자료가 축적되고, 기원지의 크롬-스피넬과 쇠설성 크롬-스피넬의 화학조성간에 보다 명확한 관계가 설정이 된다면 마천 반려암질 층상관입암이 기원지로 밝혀질 가능성은 충분하다고 판단된다. 하산동층에서는 크롬-스피넬에 대해 보고된 바 없어 바로 상부층인 진주층중의 쇠설성 크롬-스피넬에 대한 자료를 이용하였지만 이러한 연구는 경상누층군 하부 신동층군 퇴적물들의 기원지와 퇴적물 이동방향에 대한 중요한 자료를 제공할 수 있을 것으로 생각된다.

## 5. 참고문헌

- 송용선, 김동연, 박계현, 경창식, 김남훈, 2004, 마천 반려암질 층상관입암. 2004년도 한국암석학회 · 한국광물학회 공동학술발표회 논문집.
- Arai, S., 1992, Chemistry of chromian spinel in volcanic rocks as potential guide to magma chemistry. *Mineralogical Magazine*, 56, 173-184.
- Arai, S. and Hisada, K., 1991, Detrital chromian spinels from the Ishido formation of the Sanchu Cretaceous Formations, Kanto Mountains, central Japan. *Jour. Japanese Association of Min. Petrol. and Econ. Geol.*, 86, 540-553. (In Japanese with English abstract)
- Arai, S. and Okada, H., 1991, Petrology of serpentine sandstone as a key to tectonic development of serpentine belts. *Tectonophysics*, 195, 65-81.
- Chang, K.H. and Kim, H.M., 1968, Cretaceous Paleocurrent and sedimentation in northern part of Gyeongsang Basin, southern Korea. *Jour. Geol. Soc. Korea*, 4, 77-97.
- Cookinboo, H.O., Bustin, R.M. and Wilks, K.R., 1997, Detrital chromian spinel compositions used to reconstruct the tectonic setting of provenance: implications for orogeny in the Canadian Cordillera. *Jour. Sed. Research*, 67, 116-123.
- Hisada, K. and Arai, S., 1993, Detrital chromian spinels from the Cretaceous Sanchu sandstone, central Japan.: Indicator of serpentinite protrusion into fore-arc region. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 105, 95-109.
- Hisada, K. and Arai, S., 1994, Serpentinite protruded into fore-arc region: Implications of detrital chromian spinels in Cretaceous sandstone of the Kanto Mountains, Japan. In Kumon, F. and Yu, K.M. (eds.) 29th Internal Geological Congress, Part A: Sandstone Petrology in relation to Tectonics (proceeding), Kyoto, Japan, Aug. 24-Sep. 3, 153-164.
- Hisada, K, Arai, S and Lee, Y.I., 1998, Occurrence of detrital chromian spinels in the early Cretaceous Jinju formations, Korea: Implications for tectonic significance. In Lee, Y.I. and Kim, J.H. (eds.) Tectonic Evolution of Eastern Asian Continent, International Symposium on the 50th Anniversary of Geol. Soc. Korea, 41-46.
- Hisada, K, Arai, S and Lee, Y.I., 1999, Tectonic Implication of Lower Cretaceous chromian spinel-bearing sandstones in Japan and Korea. *The Island Arc*, 8, 336-348.
- Power, M.R., Pirrie, D., Andersen, J.C.Ø. and Wheeler, P.D., 2000, Testing the validity of chrome spinel chemistry as a provenance and petrogenetic indicator. *Geology*, 28, 1027-1030.