한국지구과학회 2006년 춘계학술발표회
2006년 2월 16일 - 17일 충 북 대 학 교

부여산 귀사문석옥에 대한 광물학적 연구

여진영*[1], 김동환[1], 안희진[1], 윤상화[1], 김원사[2]
[1]대전과학고등학교, [2]충남대학교 지질환경과학과

요약

부여군 지선리에 있는 한국녹옥광산에서는 보석학 가치가 매우 우수한 귀사문석옥 광상이 형성되어 있다. 모암인 사문암은 페리도타이트와 같은 초염기성암이 저급변성작용 또는 열수변질작용을 받아 만들어진 것으로, 그 후 시대미상의 석류석맥의 관입함에 따라 양 접촉부에 귀사문석 광체가 형성되어 있다. 귀사문석옥은 안티고라이트 사문석이며, 그 광물조직이 모암인 사문암과는 크게 차이를 나타낸다. 짙은 녹색을 띠게 하는 발색소는 주로 Fe이며, 755℃에서 탈수작용이 일어나며, 830℃에서 감람석으로 결정구조가 변한다. 이러한 실험적 사실은 모암인 사문암은 초염기성암이 열수변질작용을 받아 변한 것임을 의미한다.

주요어 : 부여, 귀사문석, 사문암, 한국녹옥광산, 광물학적 성질

I. 서 론

사문석은 일반적으로 황색 내지 녹황색이고, 모스경도가 2~3 정도로 매우 연약한 광물인 동시에 거의 불투명하여 방열재나 제철공업의 부 원료광물로 사용되고 있을 뿐 보석으로 가공할 용도로는 부적당하다. 그러나, 사문석 변종 중에는 녹색, 진녹색 등을 띠고, 아투명 내지 반투명할 뿐만 아니라, 모스 경도가 5~6에 달하는 등 견고하여서 보석 또는 공예품으로 가공되는 것이 있는데 이를 귀사문석(貴蛇紋石, precious serpentine), 또는 보위나이트(bowenite)라고 한다. 그동안 품질이 우수한 귀사문석은 뉴질랜드의 South Island와 미국 펜실베니아주의 Delaware에서 소량 생산되다가 고갈된 바가 있으며, 우리나라의 경우에는 수년전 부여군 외산면 지선리에서 귀사문석이 발견되었고, 국제적으로도 매우 우수한 품질인 것으로 평가받게 되었다. 이번 연구에서는 현재 귀사문석을 생산하고 있는 한국녹옥광산의 주변 지질과 귀사문석에 대한 광물학적 특성을 연구하고자 하였다.

한국녹옥광산은 충청남도 부여군 외산면 지선리에 위치하고 있으며, 이 광산은 일제시대에 석면을 대상으로 수년간 채광한 적이 있으며, 그 후 오랫동안 폐광상태에 있다가, 8여 년전 귀사문석(貴蛇紋石, precious serpentine)광상이 발견됨으로서 다시 채광을 하고 있는 광산이다.

II. 연구 방법

한국녹옥광산에서 산출되는 귀사문석의 생성과정과 광물학적 특성을 연구하기 위해 광산 주변 지질과 귀사문석 및 모암을 확인하였으며, 암석과 귀사문석의 광물조성 및 조직을 관찰하기 위해 편광현미경 관찰과 X선회절분석을 실시하였다. 그 외 경도, 비중, 굴절율 등을 측정하였으며, 귀사문석의 포유물의 확인을 위해 반사현미경 및 전자현미경을 사용하였다. 귀사문석의 주구성 및 미량 화학성분의 종류의 그 양을 측정하기 위해 XRF 분석 및 ICP-MS 분석을 하였다. 열반응 측정을 위해 DTA/TGA 분석기를 사용하였으며, 고온에서 일어나는 상변화를 알아보기 위해 가열실험을 실시하였다.

III. 연구 결과

1. 주변 지질

부여 녹옥광산이 위치한 주변지역의 지질은 선캠브리아기의 편암 및 화강편마암, 그리고 이들을 부정합으로 피복한 조계리 역암, 편암을 관입한 시대미상의 사문암, 그리고 이들 암석을 피복한 제4기의 충적층으로 구성되어 있다(그림 1).

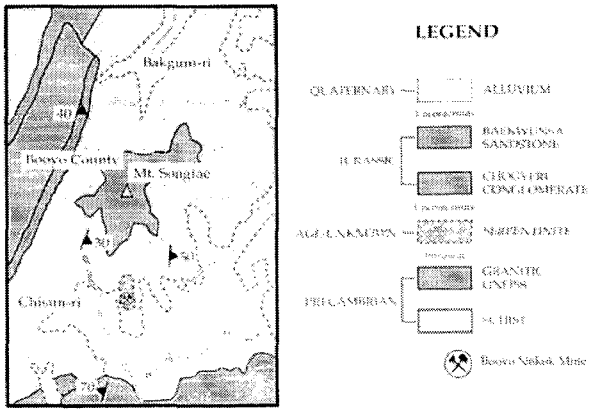

그림 1. 한국녹옥광산 주변 지질(조선총독부 대천도폭, 1930).

편암은 세립 내지 중립질의 암석으로서, 신선한 면에서는 담회색 내지 회색을 띠며, 풍화 정도에 따라 황갈색 또는 회갈색을 나타낸다. 편리의 주향은 NS 내지 N30°E이고, 경사는 50°E 또는 20°SE의 범위를 나타낸다. 석영, 장석, 흑운모가 주구성 광물이다. 화강편마암은 광산의 북서쪽에 좁고 긴 맥상형태로 분포하는데, 중립 내지 조립질인 암체이다. 각섬석과 흑운모에 의한 편마구조가 뚜렷이 발달하고 있다. 중생대 쥬라기의 사암과 역암이 부정합으로 피복하고 있다. 사문암은 선캠브리아기 편암을 관입하고 있으며, 남북방향으로 100m정도인 암석이다. 짙은 녹색을 띠며 부분적으로 화성기원의 층상구조가 발달한다.

2. 귀사문석 광상

한국녹옥광산에 있는 사문암에는 폭이 약 10cm 정도인 석류석으로 구성된 맥이 발달하고 있으며, 대체적인 관입 방향은 주향이 EW, 경사가 약 66°N이다. 귀사문석은 석류석맥의 양측을 따라 좁게 형성되어 있다. 현재 이 광산에는 일제 시대에 개설한 약 75m에 이르는 수평 갱도가 동측에서 서쪽 방향으로 사문암체 내에 있으며, 그 10m 하부에 최근에 개설한 약 80m정도 굴진한 수평 갱도가 서쪽으로부터 동쪽으로 개발되어 있다.

3. 귀사문석의 광물학적 특징

가. 색, 투명도, 광택

귀사문석은 짙은 녹색을 띠고 투명 내지 아투명하며, 지방광택을 띠는 등 보석용으로 가공하기에 매우 적합하다.

나. 굴절율·경도·비중

귀사문석의 굴절율을 측정하기 위하여 귀사문석을 얇은 판상체로 자른 후 윤을 내었다. 이를 Duplex II 굴절계를 이용해 굴절율을 측정한 결과 1.56인 것으로 나타났다. 이 굴절율 수치는 안티고라이트(1.56-1.57), 크리소타일(1.53-1.54), 라이자다이트(1.54-1.55) 등 3가지 사문석 동질이상체의 굴절율 중에서 안티고라이트의 것과 가장 잘 일치한다. 경도심 세트를 사용하여 경도를 측정한 결과 모스 경도가 H=5~6 정도인 것으로 판명되었다. 이러한 경도값은 사문석의 경도인 2-3 보다 훨씬 높음을 알 수 있었다. 비중은 2.57~2.58 범위의 값을 나타내었다. 이러한 광물학적 성질은 귀사문석이 안티고라이트임을 나타낸다.

마. 구성광물

귀사문석을 편광현미경으로 관찰하면 안티고라이트의 미세 결정들이 특정한 방향성이 없이 중첩 배열되어 있는 다결정질(polycrystalline) 상태로 되어 있음을 알 수 있다. 결정 구조를 통해 귀사문석의 구성광물을 확인하기 위해 X선분말회절분석을 실시하였으며, 안티고라이트의 자료와 일치함을 알 수 있었다.

바. 화학성분

귀사문석의 주 구성원소는 SiO_2 42.49wt.%, MgO 39.08wt.%, Fe_2O_3 3.85wt.%, H_2O 11.87wt.%이며, 이들은 사문석의 이상적인 화학식 ($Mg_3Si_2O_5(OH)_4$)으로 대표되는 각 성분의 함량과 매우 잘 일치한다(Deer et al., 1980). 그러나 Fe_2O_3의 함량(3.85%)은 연한 녹색을 띠는 일반적인 사문석보다(1.40-1.71%) 많다. 또한 Cr이 2188ppm, Ni이 1110ppm 등이 높게 함유되어 있음을 알 수 있는데, 이런 원소는 마그마가 고결되는 초기에 만들어지는 감람석에 많이 포함되어 있는 원소들로서, 광물의 발색소로 작용한다. 따라서 귀사문석의 녹색은 높은 Fe, Cr, Ni에 의해 발색되는 것으로 사료된다.

사. 광물 조직

부여산 귀사문석은 아투명 또는 반투명한데 비해 모암인 사문암은 불투명하다. 두 물질이 동일한 사문석으로 되어 있음에도 불구하고 투명도와 경도에 있어 현저한 차이를 나타내는 원인을 알아보기 위해 석류석 맥과 접촉하여 발달하고 있는 귀사문석으로 부터 모암인 사문암을 포함하는 박편을 제작하여 편광현미경으로 관찰하였다. 그 결과, 귀사문석 부분과 사문암은 그 광물조직에 있어서 큰 차이를 나타낸다. 즉, 귀사문석 부분에서는 안티고라이트의 미세한 섬유상 결정들이 입상질 조직 내에서 집합체를 이루고 있음을 알 수 있으며, 이러한 현상은 open nicol 하에서 더욱 뚜렷하게 관찰된다. 이와는 대조적으로, 사문암 내에서는 입상질 조직은 거의 관찰되지 않으며, 주상 또는 침상 안티고라이트 결정들이 존재한다.

아. 포유물

귀사문석의 입상질 조직 틈새에는 불투명광물이 다수 산재해 있음을 관찰할 수 있다. 이 불투명한 광물은 반사현미경 및 전자현미경 관찰 결과 자철석인 것으로 판명되었으며, 원암에 있던 감람석, 휘석 속에 들어 있던 철(Fe) 성분이 자철석을 형성한 것으로 해석된다.

자. 열분석 연구

귀사문석을 고열로 가열할 때 생기는 구조적 변화를 알아보기 위해 DTA/TGA를 사용하여 1200℃까지 가열하였다. 그 결과 755℃(흡열반응), 830.1℃(발열반응)에서 뚜렷한 열적

반응이 일어남을 알 수 있다. 755℃에서 생기는 흡열 피크는 안티고라이트가 분해되는 현상이며, 830.1℃에서의 발열 피크는 안티고라이트→감람석으로 변하는데 수반되는 열적 반응이다. 이러한 해석은 TGA 곡선이 610℃ 부근에서 중량이 감소하기 시작되는 현상으로 입증되며, 결국 830℃ 이상에서 무수 규산염 광물인 감람석으로 변함을 알 수 있다. 이러한 해석은 귀사문석을 850℃에서 약 40시간 가열시킨 결과 녹색에서 베이지색으로 변했으며, 이에 대해 X선회절분석을 실시한 결과 감람석임을 확인할 수 있다.

Ⅳ. 고 찰

일반적으로 사문암은 감람석과 휘석으로 구성된 페리도타이트와 같은 초염기성암이 열수변질작용을 받을 때, 혹은 간극수가 존재하는 상태의 초염기성암이 광역변성작용으로 받을 때 생성되는 것으로 알려져 있다. 이번 연구에서 안티고라이트(사문석)를 고온에서 가열한 결과 755.0℃에서 안티고라이트의 결정구조가 파괴되며, 830.1℃에서 감람석으로 완전히 변한다는 사실을 알게 되었다. 이 결과는 안티고라이트[$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$]를 가열하면 수분이 이탈하면서 감람석[$(Mg,Fe)_2SiO_4$]으로 변한다는 사실을 알려준다. 이를 반대로 해석하면 감람석에 고온에서 수분을 공급해 주면 안티고라이트(사문석)이 된다는 사실이다. 즉, 페리도타이트(주성분광물 감람석)가 열수변질작용을 받으면 사문암(주성분광물 사문석)으로 변한다는 증거가 되기 때문이다. 이런 열수변질작용은 다음과 같은 화학식으로 표현될 수 있다.

$$\underset{\text{감람석}}{(Fe,Mg)_2SiO_4} + \underset{\text{휘석}}{(Mg,Fe)SiO_3} + 2H_2O \rightarrow \underset{\text{안티고라이트}}{Mg_3Si_2O_5(OH)_4} + \underset{\text{자철석}}{Fe_3O_4}$$

Ⅴ. 결 론

1 귀사문석은 사문암 내에서 발견되는데, 특히 부여군 외산면 지선리에 위치한 한국녹옥광산에서는 사문암을 관입한 석류석 맥과의 양측 접촉부를 따라 귀사문석이 발달하고 있다.

2. 귀사문석은사문석의 보석 변종으로서 짙은 녹색을 띠고 있으며, 아투명하다. 지방광택을 나타내며, 자철석을 포유물로 함유하고 있다.

3. 귀사문석은 굴절율이 1.56, 경도 5-6, 비중 2.57이다. 이로부터 사문석의 3가지 동질이상체 중에서 안티고라이트와 잘 일치한다. 한편 귀사문석을 X선회절분석해 본 결과 안티고라이트임이 확인되었다.

4. 귀사문석과 사문석의 투명도와 경도가 차이가 나는 원인은 구성광물의 조직에 의한

것으로 판단된다. 즉, 귀사문석에서는 섬유상 안티고라이트 입자들이 집합체로 존재하며, 입상질 조직을 나타내는 반면, 사문암에서는 주상, 침상 결정들이 존재한다. 귀사문석과 사문암이 투명도와 경도에 차이를 나타내는 원인은 이러한 광물조직의 차이로 설명될 수 있다.

5. 귀사문석의 주요 원소는 SiO_2 42.49wt.%, MgO 39.08wt.%, Fe_2O_3 3.85wt.%, H_2O 11.87wt.%이며, 이들은 사문석의 이상적인 화학식 $[Mg_3Si_2O_5(OH)_4]$으로 대표되는 각 성분의 함량과 매우 잘 일치한다. 귀사문석의 짙은 녹색은 Fe, Cr, Ni 등과 같은 전이원소에 의해 발색됨을 알 수 있다.

6. 귀사문석은 755℃에서 탈수작용을 일으켜 830.1℃에서 감람석으로 완전히 변화하며, 이러한 사실은 DTA/TGA분석 및 X선회절분석으로 확인된다. 이러한 사실은 반대로 감람석이 주구성광물인 페리도타이트가 열수변질작용을 받아 귀사문석으로 변했음을 입증해 준다.

VI. 인용 문헌

조선총독부(1930): 대천지질도.

Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J. (1980): An introduction to the minerals. Longman, p. 528.

Farer, V.C. (1974): The Infrared Spectra of Minerals. Mineralogical Soc. Monograph 4, p. 539.

Joint Committee on Powder Diffraction Standards (1980): Mineral Diffraction File 21-963. International Center for Diffraction Data. 1168p.

Pampuch, R. and Ptak, W. (1970): Vibrational spectra and the structure of laminar silicates of 1:1 type. II. Octahedral layer. Polska. Akad. Nauk, Oddzial Krakowie, Prace Komisji Ceram., Cerami. No. 14, 7-36.

Wicks, F. J. and Whittaker, E. J. W. (1977): Serpentine textures and serpentinization. Can. Miner., 15, 459-488.

Wicks, F., Whittaker, E. J. W., and Zussman, J. (1977): An idealized model for serpentinite textures after olivine. Can. Miner., 15, 446-458.