

## 강원도 태백시 고사리도석광산에 산출하는 점토광물의 산상 및 특성

### Occurrence and Mineralogical Properties of Clay Minerals in the Gosari Pottery Stones Mine in Taebek, Kangweon-do

황진연 (Jin-Yeon Hwang) · 정윤영 (Yoon-Young Jeong)

부산대학교 자연과학대학 지질학과  
(Department of Geology, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea)

**요약** : 고사리광산의 도석에는 다량의 석영과 함께 녹니석/스멕타이트 혼합층광물, 운모/스멕타이트 혼합층광물, 카오리나이트와 같은 점토광물이 산출한다. 이들 점토광물에 대해 주로 X-선회절분석과 화학분석 등을 이용하여 광물학적 특성을 검토하였다. 이 광산의 도석은 녹니석/스멕타이트 혼합층광물을 다량 함유하는 것이 특징으로 나타났다. 이 녹니석/스멕타이트 혼합층광물은 Li를 함유하는 돈바싸이트로 된 녹니석층과 바이델라이트에 가까운 스멕타이트층으로 구성된 혼합층구조를 이룬다. 이 곳에 산출하는 운모/스멕타이트 혼합층광물은 모두 약 15% 이하의 팽윤층을 포함하는 것으로 되어 있다.

이 광산의 도석은 백악기의 유문암 및 유문암질 응회암이 열수변질작용을 받아 형성된 것으로 나타났다. 점토광물조합의 분포상태에 의해 대략적인 변질분대가 나누어진다. 중심부인 강변질대에서는 다량의 녹니석/스멕타이트 혼합층광물이 나타나며 카오리나이트가 수반되기도 한다. 그 외곽지역의 약변질대에서는 점토광물로서 운모/스멕타이트 혼합층광물이 주로 나타난다. 카오리나이트는 주로 열극이나 그 주위에 국부적으로 산출되는 경향이 있다. 이와 같은 변질광물들의 산출상태로 볼 때 변질작용의 진행에 따라 운모/스멕타이트 혼합층광물이 먼저 형성된 후 이것의 일부가 녹니석/스멕타이트 혼합층광물 및 카오리나이트로 변화된 것으로 생각된다. 또 카오리나이트는 열수의 공급이 많은 열극부에서 녹니석/스멕타이트 혼합층광물과 거의 동시기에 침전된 것으로 생각된다. 이 광산에서 산출하는 일부 운모/스멕타이트 혼합층광물은 후기의 변질작용에 의해 형성된 것도 포함된다.

**ABSTRACT** : The pottery stones from the Gosari mine consist of abundant quartz with the clay minerals such as chlorite/smectite and mica/smectite interstratified minerals, and kaolinite. Mineralogical characteristics of the clay minerals were examined by X-ray powder diffraction and chemical analysis. The pottery stones in this mine are characterized by large amounts of chlorite/smectite interstratified mineral. The chemical composition of the chlorite/smectite interstratified mineral indicates that the chlorites are Li-bearing donbassite and the smectites are close to beidellite. Mica/smectite interstratified minerals from the mine area have the mixed layers with expandability less than 15%.

The pottery stones in the mine were probably formed by hydrothermal alteration of the Cretaceous rhyolite and rhyolitic tuff. The pottery stone deposit can be divided into the zones of hydrothermal alteration on the basis of the clay mineral assemblages. In the central zone, strongly altered parts, the rocks are composed of abundant chlorite/smectite interstratified mineral and small amounts of kaolinite. On the other hand, the weakly altered rocks in the outer zone are mainly composed of mica/smectite interstratified mineral instead of chlorite/smectite interstratified mineral and kaolinite. In general, the kaolinites tend to occur locally in and

around fissures. Therefore, it seems that chlorite/smectite interstratified mineral was transformed from mica/smectite interstratified mineral by increasing of the alteration, and kaolinite was precipitated contemporarily with chlorite/smectite interstratified mineral along fissures. Some of mica/smectite interstratified mineral were formed by the late stage alteration after formation of pottery stones.

## 서 언

고사리광산은 행정구역상 강원도 태백시 황지동에 위치하는 소규모 도석광상이다. 陶石(Toseki, Pottery Stone)은 일반적으로 협의로서 미립의 석영과 일라이트를 주성분으로 하는 백색의 암석을 말하지만, 광의로서는 카오린 또는 혼합층광물을 주성분으로 하는 것과 장석을 주성분으로 하는 것 등의 여러 가지 광물조합을 가진 암석을 포함하기도 한다(岩生周一외, 1985). 고사리광산에서 채굴하는 도석의 분석결과, 홍미롭게도 녹니석/스멕타이트 혼합층 점토광물이 다량 함유하는 것으로 나타나 이들 점토광물에 대해 산상 및 광물학적 특성을 자세히 연구하게 되었다. 우리 나라 대부분의 도석광산에서는 일라이트를 주성분으로 하는 도석을 주로 채굴하고 있다(대한광업진흥공사, 1988). 지금까지 도석광산에서 도석의 주성분으로 녹니석/스멕타이트 혼합층광물이 산출되는 예는 경북 청송의 법수광산(황진연, 1989)이 있다. 그리고 남석광산에서 녹니석/스멕타이트 혼합층광물의 산출이 보고된 것도 전남 해남의 성산광산(Cho, 1990, 1991; 조현구, 김원사, 1993)과 경남 밀양의 밀양광산(Kim et al., 1992) 정도로 드물다. 이상의 광산들에서 산출된 녹니석/스멕타이트 혼합층광물은 토수다이트(tosudite)에 해당되는 것으로 보고되어 있다.

이 도석광상에 대한 광산 조사로는 대한광업진흥공사에 의한 보고서(1988)가 있으나, 이 도석광상을 구성하는 점토광물에 대한 자세한 연구는 아직 되어 있지 않다. 이 논문에서는 이 도석광산에서 산출하는 점토광물들의 산출상태를 면밀히 파악하고, 그 구성광물들의 공생관계 및 광물학적인 특성을 밝히고자 한다. 그리고 이들 자료들을 통하여 광상의 형성에 따른 광물의 변화과정에 대해서도 고찰을 행하였다.

## 연구방법

고사리광산과 그 주변 일대에 대해 지질조사와 함께 여러 지점에서 다양한 암석시료를 채취하였다. 이들 모든 시료에 대해 X-선분말회절분석을 행하였으며, 대표적인 시료에 대해서는 화학분석, 전자현미분석, 전자현미경관찰 등을 행하였다. 그리고 여러 암석 및 광석시료에 대해서 박편을 제작하여 편광현미경관찰을 행하였다.

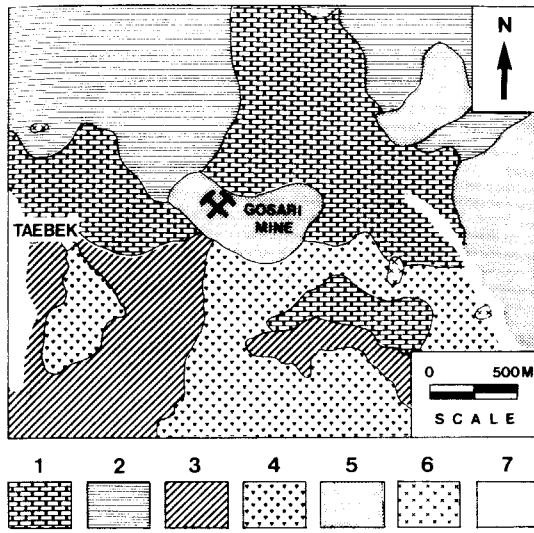
X-선회절분석은 전시료에 대해 전암 그대로의 분석을 행하였으며, 일부 시료에 대해서는 시료를 충분히 분쇄시킨 후, 수중침강법에 의해 2  $\mu\text{m}$  이하의 점토분을 분리하여 정방위시편을 만들어 분석하였다. X-선회절분석은 Rigaku사제 Geigerflex 2301을 사용하여  $\text{CuK}\alpha$  선으로 Ni-filter를 이용하였다. 측정조건은 전압 30 kV, 전류 15 mA, scan speed 2° 2 $\theta$ /min, 시정수 1sec, slit 1°~0.3 mm~1°로 측정하였다. d값의 정밀측정은 scan speed 0.5° 2 $\theta$ /min, 시정수 2sec로 행하였다.

주성분의 화학분석은 한국표준과학연구원 부설 기초과학지원센터 서울분소의 X-선형광분석기(XRF)에 의해 실시하였다. 그러나 Li의 함량은 불화수소와 과염소산수소로 용해시켜 원자흡광분광분석기로 분석하였다. 원자흡광분광분석기는 Shimadzu사제 model 670을 사용하였다.

시차열분석은 Rigaku사제 Thermoflex Analyzer를 사용하여 가열속도 10 °C/min으로 측정하였다.

## 광산주변의 지질

고사리광산 주변지역의 지질에 대해서는 1:50,000의 고사리 도폭(1962)와 1:25,000의 삼척탄전지질조사보고서(1979)가 있다. 이들을 참조하여 작성된 광산지역의 지질도를 Fig. 1에 나타냈다. 이 광산이 위치한 곳은 고사리도폭(1962)



**Fig. 1.** Geologic map of the Gosari mine area in Taebek. 1. Maggol limestone Formation, 2. Manhag Formation, 3. Jeoggagi Formation, 4. Heungjeon Formation, 5. Rhyolitic rock, 6. Quartz porphyry, 7. Alluvium.

에서는 상부 석탄기에 해당되는 홍점층으로 표시되어 있었고, 그 이후의 삼척탄전지질조사보고서(1979)에서는 백악기의 관입암인 석영반암인 것으로 되어 있다. 그러나 금번의 조사결과, 광산지역은 주로 유문암질 응회암 및 유문암으로 구성되어 있음이 나타났다. 지질도에서 석영반암으로 나타난 부분은 석영의 반정이 크게 뚜렷이 관찰되고 있는 암석으로 이 광산에 나타나는 유문암질 암석과는 다르게 잘 구별된다.

광산 부근의 지질은 하부로부터 고생대 캄브리아기-오르도비스기의 조선누층군에 해당되는 막골석회암층이 있고, 이를 부정합으로 피복하는 석탄기 평안누층군의 만항층과 다시 이를 부정합으로 피복하는 백악기의 경상누층군의 적각리층과 홍전층이 있다. 그리고 이를 관입 및 분출한 백악기의 유문암질암 및 석영반암으로 구성되어 있다.

조선누층군의 최상부층인 막골석회암층은 이 지역의 최고기층으로서 석회암, 돌로스톤질 석회암 및 돌로마이트로 구성되어 있다. 만항층은 평안누층군의 최하부 지층으로 담홍색 내지 담회색 사암 및 적자색 셰일로 구성되어 있다. 광산의 남

부에 중생대 백악기에 해당되는 적각리층과 홍전층이 넓게 분포하고 있다. 적각리층이 하부지층에 해당되며 적색사암 및 적색역암으로 구성되어 있다. 적각리층을 정합적으로 피복하고 있는 홍전층은 녹색의 응회질사암과 응회질역암이 주를 이루며 층리가 잘 발달되어 있다.

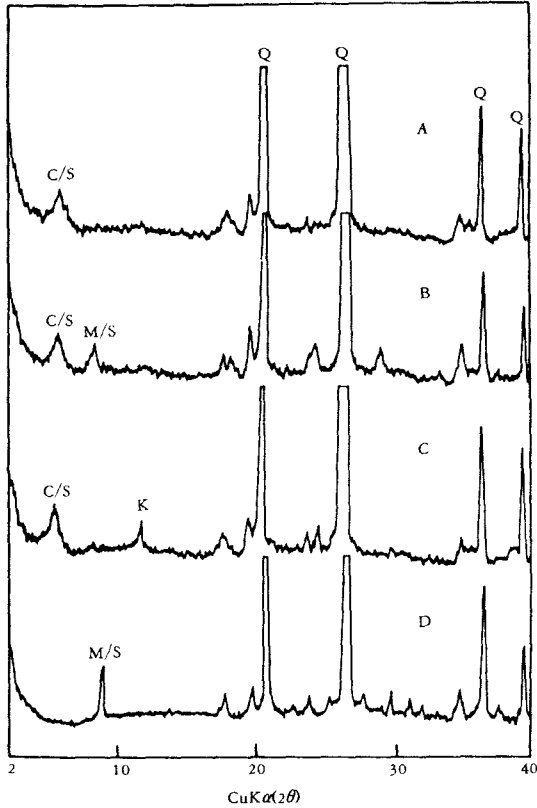
이 광산에 나타나는 유문암질암은 변질을 많이 받아서 원암을 파악하기에 어려운 점이 있으나, 대부분의 암석이 주로 담색의 세립질을 나타내고, 다량의 석영을 함유하며 일부에서 유상구조를 보이는 것 등으로 보아 주로 유문암 및 유문암질 세립응회암으로 구성되어 있는 것으로 보인다. 그리고 일부에서는 각력을 많이 함유하는 각력질응회암도 포함된다. 이들 암석들은 서로 혼재되어 나타난다. 광산 채굴장과 약간 떨어진 곳의 유문암질암에서는 비교적 신선한 흑색의 치밀한 유문암과 유상구조가 잘 보이는 암갈색의 유문암이 나타난다. 유상구조가 나타나는 암석은 유상구조에 평행하게 선택적으로 백색의 점토질로 변질되는 양상이 잘 관찰된다.

### 점토광물의 산출상태 및 광물조합

#### 광산내의 점토광물

광산 채굴장에서 도석화된 변질암석들은 대부분 백색을 띠고 있으나 담록색 및 담회색을 띠는 부분도 혼재되어 나타나기도 한다. 이들 암석들은 대부분 별다른 구조가 없는 괴상체로 나타나고 있다. 그러나 유상구조로 보이는 유동하는 곡선형태의 선구조를 나타내는 암석도 국부적으로 관찰된다. 약간 담록색을 띠는 부분은 백색의 암석보다 수분을 약간 많이 함유하며, 비교적 부드러운 느낌을 나타낸다. 광산내의 주채굴장 노두의 상부에서는 두께가 약 5 m 되는 층상의 암석이 나타나고 있다. 이 암층은 세립질 응회암과 각력질 응회암으로 구성되어 있다. 이들 암석들도 하부의 괴상 암석과 같이 일부는 도석으로 변질되어 나타난다.

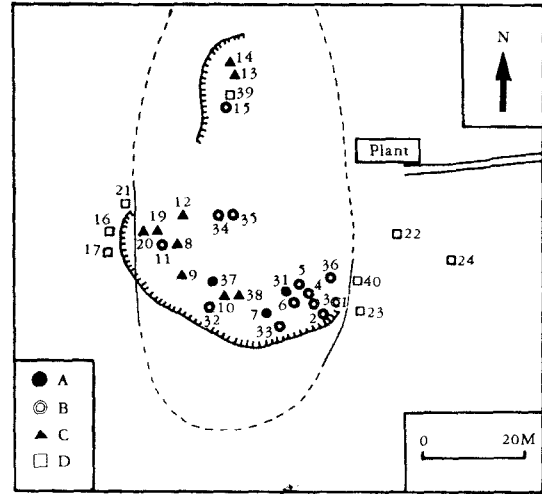
광산내 여러 지점의 많은 암석시료에 대해 X-선회절분석을 행하여 구성광물을 검토하였다. 그



**Fig. 2.** X-ray diffraction patterns of various altered rocks from the Gosari mine. Q, quartz; C/S, chlorite/smectite interstratified mineral; M/S, mica/smectite interstratified mineral; K, kaolinite. A, B, C and D indicate the representative specimens in the four mineral assemblage types.

결과 이들 암석들은 모두 다량의 석영을 함유하고 있으며 그외에 녹니석/스멕타이트 혼합층광물, 운모/스멕타이트 혼합층광물 및 카오리나이트와 같은 점토광물이 상당량 수반되어 나타났다. 이들 암석에 나타나는 광물조합으로는 다음과 같이 4가지로 구분할 수 있다.

- A : 석영 + 녹니석/스멕타이트 혼합층광물
- B : 석영 + 녹니석/스멕타이트 혼합층광물 + 운모/스멕타이트 혼합층광물
- C : 석영 + 녹니석/스멕타이트 혼합층광물 + 운모/스멕타이트 혼합층광물 + 카오리나이트
- D : 석영 + 운모/스멕타이트 혼합층광물



**Fig. 3.** Distribution of the mineral assemblages as shown in Fig. 2.

이들 각 광물조합에 대한 대표적인 암석시료의 X-선회절선을 Fig. 2에 나타냈다. 이와 같이 광산에는 석영과 함께 혼합층점토광물이 다량 산출되고, 장석광물이 전혀 산출되지 않는 것이 특징이다. 그리고 광산의 각 채취지점에 대한 광물조합의 분포상태를 Fig. 3에 표시하였다. 그림에서 보듯이 이들 광물조합의 분포는 각 조합별로 대체적으로 혼재되어 있는 듯하다. 그러나 A 광물조합에 속하는 암석들은 광산의 주광체 중심부에 비교적 좁은 범위내에서 국부적으로 분포한다. B 광물조합은 가장 많은 암석에서 나타나며 그 분포범위도 비교적 넓다. 이 광물조합에 속하는 암석들은 백색의 경질암석도 포함되지만 대부분 부드러운 느낌을 주며 약간 담록색을 띠는 것이 많다. C 광물조합에 속하는 암석들도 여러 곳에서 넓게 나타난다. 그러나 이 조합을 가지는 암석은 괴상체로 넓게 연장되어 나타나지 않고 여러 곳에서 부분부분 나타나는 특징이 있다. 즉 어떤 곳에서는 절리면에 충전된 세맥 및 그 인접부에서 국한되어 이 광물조합이 나타난다. 이 조합을 가지는 암석들은 비교적 경질이고 유백색을 띠는 것이 많다. 이 조합에 포함되는 카오리나이트는 그 함량이 산출지점에 따라 아주 차이가 많다. D 광물조합에 속하는 암석들은 현재 도석으로의 품

위가 좋지 못한 채굴장의 외곽부 암석에 주로 해당된다. 즉 이 조합은 광산 진입로에 가까운 동부에 나타나고, 서부에서 광체의 상부에 해당되는 각력질응회암층에 나타난다. 이들 암석은 백색도가 낮은 것으로 담황색 내지 회색을 띠는 것으로 원래 암석의 구조 및 조직이 잘 관찰된다. 그리고 열극을 따라 발달한 폭이 약 40 cm되는 점토맥(39번 시료)에서 이 광물조합이 나타난다.

각 광물조합에 속하는 암석들의 분포상태를 전체적으로 검토해 보면, A 광물조합에 속하는 암석은 양질의 도석광으로 주채굴장의 중앙부에서 아주 국부적으로 나타나고 있다. 그러나 A, B, C의 세 광물조합은 서로 분포상태가 중첩되어 나타나서 이것으로 변질분대를 명확히 구분하기는 어렵다. 그래서 이 세 가지 조합은 거의 비슷한 조건에서 동시생성적인 것으로 볼 수 있다. 그러나 D 광물조합의 암석들은 광산의 외곽지역에 나타나는 것으로 보아 약변질대에 속하는 것으로 볼 수 있다. 그래서 Fig. 3에서 표시한 것과 같이 크게 보면 A, B, C 광물조합을 나타내는 강변질대와 D 광물조합을 보이는 약변질대로 나눌 수 있다. 이 강변질대에서도 A 광물조합을 가지는 도석이 광산의 중심부에 나타나는 것으로 다른 조합의 것보다 비교적 더 변질을 받은 것으로 볼 수 있다. 이 광산에서 변질정도가 큰 A, B, C 조합을 가지는 모든 암석들이 도석광으로 채굴되고 있다.

광산의 채굴장에서 같은 모암으로된 같은 지점에 있어서도 아주 경질인 것과 연질인 암석이 좁은 범위 내에서 공존하여 나타난다. 이들 암석은 광물성분에 있어서의 큰 차이는 없으나, 연질부의 암석으로 갈수록 운모/스멕타이트 혼합층광물의 함량이 약간 많아지는 경향을 나타낸다. 또 채굴장의 상부에서 층리를 보이는 암석은 층리면을 따라 국부적으로 연질화된 부분이 나타나는데, 여기서도 인접한 경질부에 비해 운모/스멕타이트 혼합층광물이 상대적으로 많이 나타난다. 이것은 모암의 종류는 같아도 물이 이동하기 쉬운 층리면에 따라 차별적으로 변질이 일어나기 때문으로 생각된다. 이렇게 부분적으로 연질화된 것은 풍화작용이 중복적으로 관여된 것으로 생각된다.

광산 중심부에서 나온 백색의 도석에 대해 편

광현미경관찰(Fig. 4)을 해보면 세립에서 은미정질까지의 석영입자들이 고루 분산되어 포함된다. 그 외의 점토광물은 모두 치밀하게 그 사이를 채우고 나타난다. 불투명광물들은 아주 드물게 미립으로 포함된다. 어떤 도석에는 작은 석영입자들이 모여 열을 지어있는 형태도 나타난다. 광상의 모암으로 생각되는 광산 주변의 신선한 유문암에 대해 편광현미경으로 관찰해보면 미립의 석영입자가 분산되어 분포하고 있고, 석영의 입자가 열을 지어 나타나는 등의 도석에서 나타난 조직과 유사한 점이 많다(Fig. 4). X-선회절분석의 결과와 함께 검토해 보면 이 유문암에는 미립의 석영 이외에 일부 탈유리화된 준정질 물질과 소량의 운모로 구성되어 있다.

#### 광산 주변암의 구성광물

광산에 가까운 국도변에서 유문암체의 노두가 나타난다. 한 노두의 좁은 범위에 있어서도 암색 및 조직이 다양하게 나타난다. 흑색 치밀한암석, 부분적으로 유상구조를 보이는 암회색 암석, 이들 암석들이 각력화된 각력암 등이 나타난다. 그리고 이들 암석이 백색의 분말상으로 변질된 부분이 불규칙하게 나타나고 있다. 이 유문암체의 여러 부분에 대해 X-선분말회절분석을 해 본 결과 모두 석영을 주성분으로 하고 있다. 그러나 백색변질암에서는 일라이트에 가까운 점토광물을 다소 함유하고 있다. 그리고 이들 암석 중에서도 장식광물이 전혀 산출되지 않고 있으며,  $2\theta$  24.0도에서 공통적으로 작은 회절선이 나타난다. 이 작은 회절선 한개로 광물을 식별하기는 어려우나 아마도 일메나이트(ilmenite)인 것으로 생각된다. 이러한 회절선은 광산의 도석에서도 공통적으로 대부분 나타나고 있다.

광산에서 100 m 정도 떨어진 국도변에는 중생대 적각리층에 해당되는 이암, 사암 및 역암으로 구성된 퇴적층이 발달되어 있다. 이들의 광물성분은 비슷하며, 석영, 일라이트 내지 운모/스멕타이트 혼합층광물 및 방해석으로 구성되어 있다. 그러나 이 퇴적암에서도 장식광물이 산출되지 않는 것이 특이하다. 이것은 이용일(1990)의 연구에서

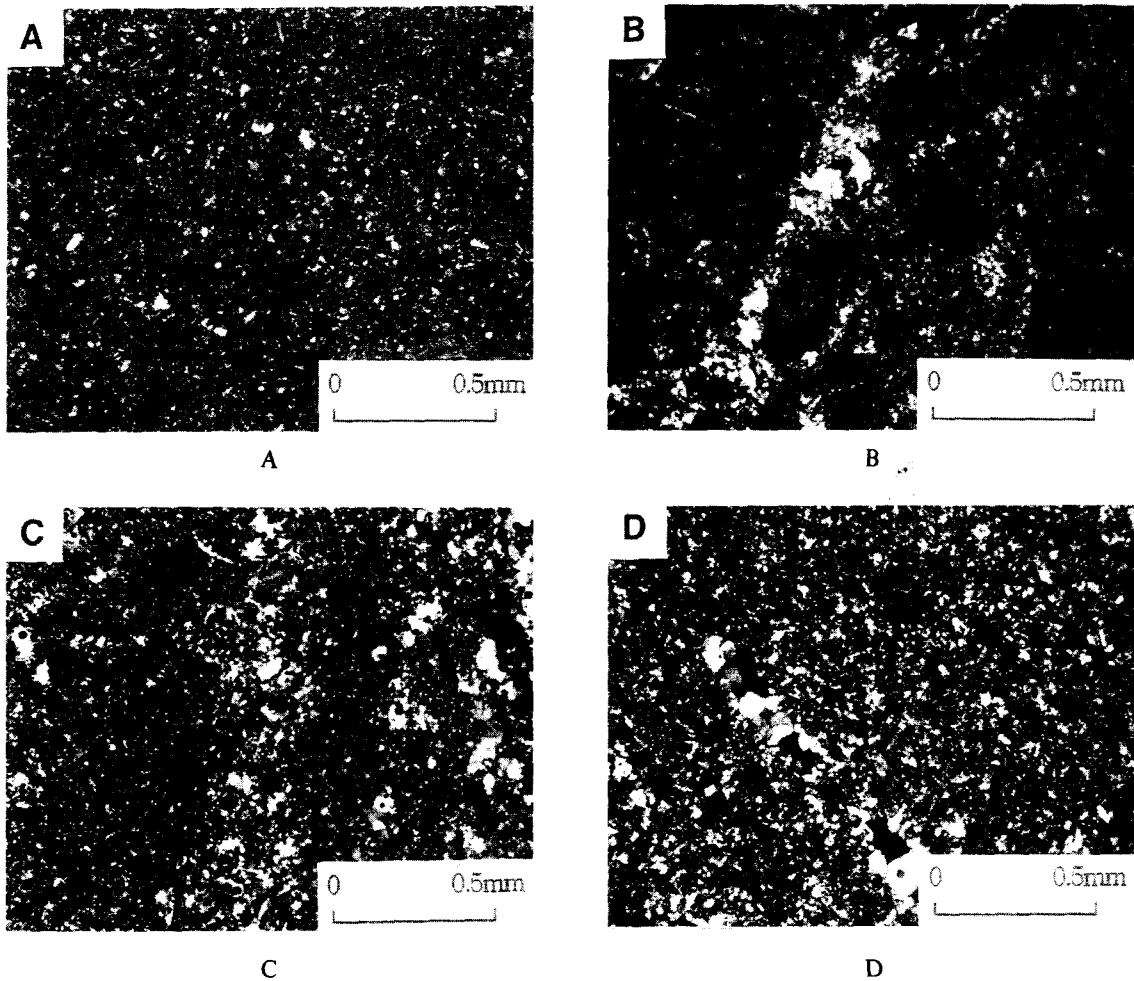


Fig. 4. Photomicrographs of thin sections under crossed nicols. A: pottery stone composed of fine grained quartz and chlorite/smectite interstratified mineral, B: pottery stone showing quartz aggregates, C: fresh rhyolite including the fine grained quartz, D: rhyolite showing quartz aggregates.

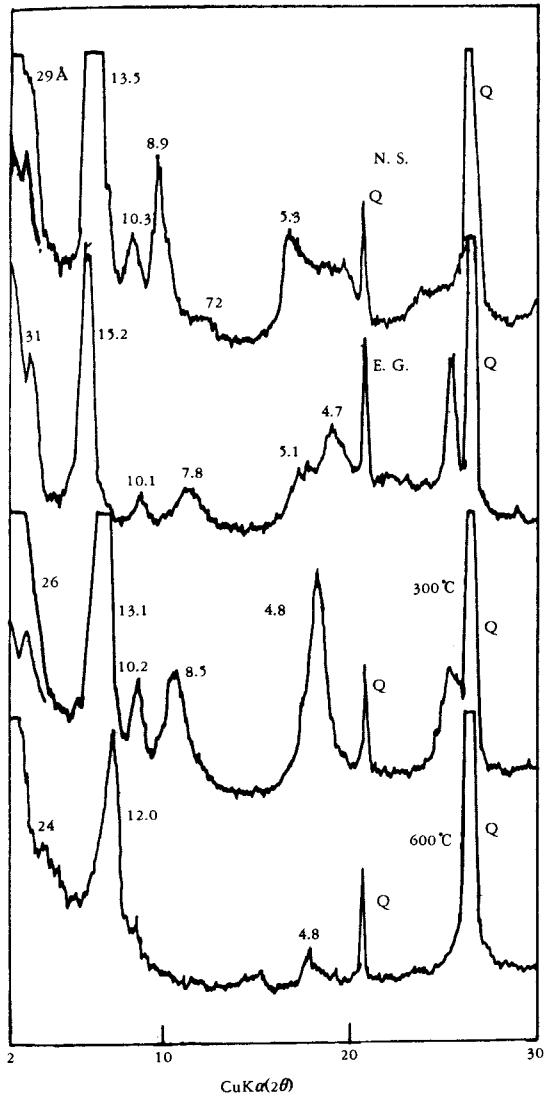
지적인 바와 같이 흥미있는 문제로서 더 검토가 필요하다.

#### 구성광물의 광물학적 특성

##### 녹니석/스멕타이트 혼합층광물

이 광산에서 녹니석/스멕타이트 혼합층광물이 A, B, C 광물조합에 모두 포함되어 있어 도석화된 모든 광석에 함유된다. 광물조합과 채취지점에 따라 그 함량은 약간씩 차이가 나타나지만 전광산

을 통해서 비교적 다량으로 나타나는 점토광물이다. 이 녹니석/스멕타이트 혼합층광물을 비교적 많이 함유한 도석의 점토시료를 정방위시편을 만들어 각종 처리한 후의 X-선회절분석을 행한 결과를 Fig. 5에 나타냈다. 또 이들 회절선의 d치 및 강도를 Table 1에 정리하여 나타냈다. 무처리한 자연상태에서 28.9 Å의 장주기저면반사와 함께 13.5 Å 및 8.9 Å 등의 (00 $l$ )의 회절선이 나타난다. 이들 회절선들 중에는 몇몇 회절선을 제외하고는 폭이 넓게 나오는 것과 강도가 미약하여 잘 식별이 어려운 것이 나타난다. 그러나 측정



**Fig. 5.** X-ray diffraction patterns of the chlorite/smectite interstratified mineral bearing clay fraction after various treatments. N. S., natural state; E. G., treated with ethylene glycol; 300 °C and 600 °C heated at the indicated temperatures for an hour.

된 (00 $l$ ) 회절선의 d치를 볼 때 비교적 규칙성이 나타난다. 에칠렌글리콜처리 후에는 이들 회절선이 31.4 Å, 15.2 Å, 7.77 Å 등으로 팽윤하여 이동한다. 300 °C에서 1시간 가열 후에는 26.7 Å으로 약간 수축하며 600 °C에서는 24.1 Å까지 수축

한다. 이 시료에 포함된 약 10 Å의 작은 회절선은 일라이트 내지는 운모/스멕타이트 혼합층광물에 해당되는 것으로 보인다.

이상과 같은 결과로 보아 장주기반사와 그에 따른 거의 규칙적인 저면반사를 나타내는 광물은 거의 규칙성에 가까운 녹니석/스멕타이트 혼합층광물인 것으로 보인다. 무처리에서 각 회절선의 d(00 $l$ ) ×  $l$  치는 26.6~29.2 Å의 약간 넓은 범위를 나타낸다. 이것은 조현구, 김원사(1993)의 자료에 의한 경북 청송의 법수광산과 전남 해남의 성산광산에서 산출된 규칙성 혼합층광물인 토수다이트의 것보다 이 광산의 것이 다소 규칙성이 나쁜 것으로 보인다. 또 이 X-선회절자료를 Bailey(1962)에 의한 CV값(Coefficient of Variability)이 3.67 %로 되어 혼합층의 규칙성이 비교적 나쁜 것으로 나타났다. 1 : 1의 규칙성 혼합층광물은 CV값이 0.75 % 이하가 되는 것으로 규정하고 있다 (Bailey, 1982). 이러한 조건으로 볼 때는 이 광산의 시료는 규칙성 혼합층광물에 속하지 않는다. 그리고 이 광물의 d(060)치는 1.492 Å을 나타낸다. 이는 녹니석층내 층간의 수산화물시트에 Mg를 거의 포함하지 않고 Al을 다량 함유하는 2 팔면체형의 녹니석/스멕타이트 혼합층광물과 d(060)치가 거의 일치한다 (Sudo and Shimoda, 1977 ; Shimoda et al., 1980).

녹니석/스멕타이트 혼합층광물을 다량 함유하는 시료에 대해 전자현미분석을 행하여 광물의 화학성분을 조사한 것을 Table 2에 나타내었다. 여기서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>이 약 39~42 %으로 다량 함유하며, SiO<sub>2</sub>가 약 42~44%의 함량을 나타내며 그 외에 Fe, Mg, Ca 등의 함량이 아주 적게 나타난다.

이 녹니석/스멕타이트 혼합층광물과 석영을 주 성분으로 하는 도석시료의 화학성분에는 Li<sub>2</sub>O가 0.31 % (Table 3의 A)가 포함되는데 이 시료를 침강법에 의해 2 μm 이하의 입도로 분리한 점토 시료에 대한 습식법의 화학분석 결과 Li<sub>2</sub>O가 1.16 %로 증가되어 나타났다. 그러나 아직 이 점토시료에는 석영이 상당량 함유되어 있어 이것을 X-선회절법에 의해 정량하여 녹니석/스멕타이트 혼합층광물의 성분을 검토한 결과 Li<sub>2</sub>O는 1.60 %으로 상당량 함유되는 것으로 나타났다. 전기한 전

**Table 1.** X-ray diffractoin data for chlorite/smectite interstratified mineral from Gosari mine, before and after various treatments.

hk ℓ	1		2		3		4	
	d(00 ℓ)(Å)	I	d(00 ℓ)(Å)	I	d(00 ℓ)(Å)	I	d(00 ℓ)(Å)	I
001	289	35	31.4	42	26.7	23	24.1	3
002	13.55	100	15.22	100	13.18	100	12.00	100
003	8.92	14			8.50	15		
004	7.21	1	7.77	8				
005	5.31	12			4.83	46	4.82	7
006	4.66	3	5.18	8				
007			4.71	16	3.46	23		
008	3.36	5						
009			3.49	45				
0010	2.92	2						

1. air-dry, natural state, 2. ethylene glycol treatment, 3. after 1hr at 300 °C, 4. after 1hr at 600 °C.

**Table 2.** Electron microprobe analyses of chlorite/smectite interstratified minerals from the Gosari mine (wt.%).

Sample	1	2	3	4	Average
SiO <sub>2</sub>	43.52	42.67	42.95	42.71	42.96
TiO <sub>2</sub>	0.09	0.00	0.07	0.14	0.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	38.92	42.07	42.06	41.02	41.02
FeO*	0.12	0.00	0.12	0.00	0.06
MnO	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01
MgO	0.13	0.19	0.26	0.20	0.20
CaO	0.46	0.26	0.43	0.31	0.37
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.00	0.00	0.04	0.01
K <sub>2</sub> O	1.81	1.75	1.62	1.44	1.66
Total	85.11	86.94	87.51	85.86	86.36

FeO\*, total Fe as FeO

자현미분석의 결과를 포함하여 이러한 화학성분으로 볼 때 이 광물은 지금까지 보고된 도석 및 납석광산에서 산출하는 Li을 함유하고 있는 토수다이트와 아주 유사하다 (Merceron et al., 1988 ; Brown et al., 1974 ; Nishiyama et al., 1975 ; Ichikawa and Shimoda, 1976 ; Shimoda et al., 1977, 1980 ; 황진연, 1989 ; 조현구, 김원사, 1993).

직접적으로 분석한 전자현미분석에 의한 평균치를 가지고 구조식을 검토해 보았다. 여기에 습식분석에 나온 Li<sub>2</sub>O의 분석치를 합쳐서 검토했다.

**Table 3.** Chemical analyses of the various altered rocks in the Gosari mine area.

	A	B	C	S	R
SiO <sub>2</sub>	79.73	77.38	77.91	72.92	92.52
TiO <sub>2</sub>	0.04	0.14	0.25	0.30	0.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.36	15.56	15.69	14.59	7.13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	0.19	0.36	0.43	1.34	0.22
MgO	0.15	0.41	0.37	0.83	0.13
CaO	0.03	0.06	0.07	1.87	0.04
MnO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K <sub>2</sub> O	0.60	0.20	1.33	3.57	0.23
Li <sub>2</sub> O	0.31	0.26	0.20	0.00	0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0.02	0.05	0.08	0.01
LOI	4.56	3.81	3.72	4.63	0.87
Total	100.00	100.10	100.02	100.14	101.20

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*, total Fe as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

A, B and C are pottery stones of the mineral assemblages as shown in Fig 2.

S, muddy sandstone of Jeoggagi Formation; R, unaltered rhyolite.

음이온 전하수를 50으로 기준한 화학구조식은 다음과 같다. 층간 : Ca<sub>0.06</sub> K<sub>0.32</sub> nH<sub>2</sub>O, 깎사이트시트 : Al<sub>1.88</sub> Ti<sub>0.01</sub> Mg<sub>0.04</sub> Li<sub>1.27</sub> (OH)<sub>6</sub>, 규산염층 : Al<sub>4.00</sub> [Si<sub>6.50</sub> Al<sub>1.50</sub>] O<sub>20</sub> (OH)<sub>4</sub>. 이 녹니석/스멕타이트



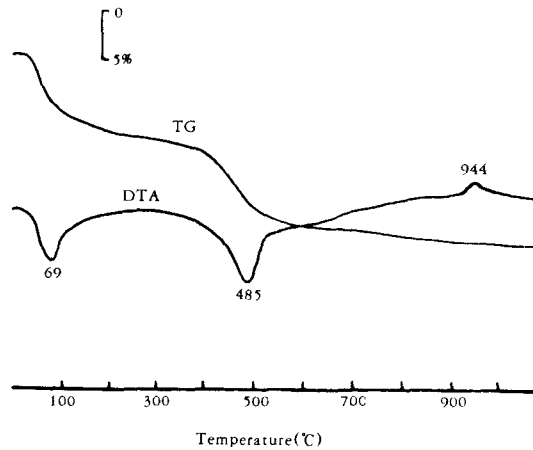


Fig. 6. DTA and TG curves of the chlorite/smectite interstratified mineral bearing specimen.

혼합층광물은 팔면체시트를 구성하고 있는 양이온이 거의 대부분 Al로 되어 있음을 알 수 있다. 그래서 이 광물의 녹니석층 성분은 주로 2팔면체형인 돈바싸이트(donbassite)에 가까운 것으로 생각되며, 스멕타이트층 성분도 2팔면체형인 바이델라이트(beidellite)에 가까운 것으로 생각된다. 깁사이트층에 들어 있는 Li은 녹니석층 성분중에서 쿠키이트(cookeite) 성분이 포함되기 때문으로 생각된다. 여기서 나타나는 K는 녹니석/스멕타이트 혼합층광물의 층간에 들어있는 것으로 생각되기도 하지만, 그 일부는 시료내에 포함된 소량의 운모/스멕타이트 혼합층광물에 기인하는 것으로 생각된다. 이상과 같은 화학분석의 결과로 볼 때는 이 광산에서 산출되는 녹니석/스멕타이트 혼합층광물은 Li을 함유하고 있는 토수다이트에 가까운 것으로 생각되지만, X-선회절분석에 의한 결정구조적인 면에 있어서는 Bailey(1982)에 의해 규정된 규칙성 혼합층구조의 범위에 들지 않는 특성을 가지고 있다.

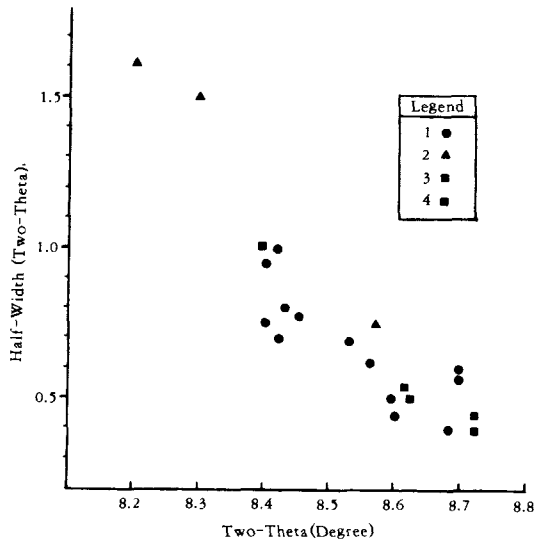
녹니석/스멕타이트 혼합층광물을 다량 함유하는 시료에 대해서 시차열분석(DTA)을 행하여 그 결과를 Fig. 6에 나타냈다. 이 시료는 층간수의 탈수에 의한 69 °C의 흡열반응과, 규산염층과 깁사이트층의 탈수에 의한 약 485 °C의 흡열반응피크가 나타났다. 그리고 944 °C 부근에 재결정화 작용에

의한 발열피크가 나타났다. 이들의 반응온도는 일반적인 2팔면체형 녹니석/스멕타이트의 규칙 혼합층광물(토수다이트)과 매우 유사하다 (Shimoda, 1969 ; Nishiyama et al., 1975).

#### 운모/스멕타이트 혼합층광물

이 광산에서 산출되는 운모/스멕타이트 혼합층광물은 대부분의 도석 중에 소량으로 수반되어 나타나고 있다. 특히 열극의 점토맥이나 연질부에 다량으로 함유되어 나타났다. 그리고 광산 주변의 도석화작용이 거의 미치지 않은 암석에서도 산출되고 있다.

일라이트에서부터 운모층성분이 높은 운모/스멕타이트 혼합층광물에 속하는 광물들에 대해서는 Srodon and Eberl(1984)에 의해 자세한 구분법이 제안되고 있다. 그러나 이 곳에 산출하는 이들 광물들은 석영 및 타 점토광물과 수반되어 나타나므로 그 방법에 따라 광물을 식별하기는 어렵다. 그래서 이 논문에서는 에칠렌글리콜 처리에 의해 회절선의 뚜렷한 변화가 나타나 팽윤층성분이 포함되어 있는 것이 확인되는 것은 운모/스멕타이트 혼합층광물이라고 칭하였다. 에칠렌글리콜 처리에서도 X-선회절선의 변화가 거의 나타나지 않는 일라이트에 해당되는 것은 광산내에서는 나타나지 않는다. 이들 광물의 특성을 구분하기 위해 측정하기 쉬운 10 Å 부근의 회절선에 대한 반가폭 및 2θ치를 조사하여 Fig. 7에 나타냈다. 이들 광물은 반가폭이 0.4~1.6이고 2θ치가 8.2~8.7의 범위를 나타낸다. 여기서 채굴장의 도석 중에 나타나는 운모/스멕타이트 혼합층광물들은 반가폭이 0.5~1.0의 범위이고 2θ치는 8.4~8.6의 비교적 좁은 범위를 나타낸다. 이들은 모두 에칠렌글리콜처리에 의해 약간의 이동을 나타낸다. 이 중에서 열극을 따라 발달된 점토맥(39번 시료)에서 다량 나타나는 운모/스멕타이트 혼합층광물에 있어서는 무처리시에 10.7 Å의 큰 회절선이 에칠렌글리콜처리에 의해 11.4 Å과 10.0 Å의 두 회절선로 분리되어 나타난다. 또 이 회절선은 600 °C의 가열처리에서는 10.1 Å으로 수축하고 있어 아주 뚜렷한 운모/스멕타이트 혼합층광물의 특성



**Fig. 7.** Plots of XRD about 10 Å peaks of mica/smectite interstratified minerals from the mine area. 1. mica/smectite interstratified mineral in the pottery stones; 2. specimens from sedimentary rocks of Jeoggyagi Formation; 3. specimens in weakly altered rhyolite; 4. specimen in fissure filling clay.

을 잘 나타내고 있다. 이것은 주채굴장에 나타나는 것 중에서 가장 큰 반가폭과 큰 d치를 나타내어 팽윤층성분이 가장 많은 것에 속한다. 이 시료를 Srodon and Eberl (1984) 및 Watanabe (1988)에 의한 도표에 의해 혼합층의 성분을 검토한 결과 약 10 %의 스멕타이트층을 포함하여 g (reichweite)=3에 해당되는 것으로 나타났다. 광산 채굴장에서 떨어진 적각리층 퇴적암의 것은 광산에 비해 비교적 반가폭이 크고 2θ치가 작은 것이 많이 나타난다. 이 암층에서 나타나는 운모/스멕타이트 혼합층광물은 그 팽윤층의 함량이 5~15 %의 범위를 나타낸다. 이것은 도석 중의 것보다는 약간 더 많은 경향을 나타낸다. 또 광산에서 조금 떨어진 약변질대의 유문암에서 나온 시료들은 반가폭이 작고 2θ치가 큰 것이 주로 나타난다. 이들은 에칠렌글리콜처리에 의한 회절선의 변화가 아주 적은 것으로 일라이트에 가깝다. Fig. 7에서 나타난 자료에서 2θ치가 작고 그 반가폭이 클수록 팽윤층의 함량이 많은 경향이 나타난다.

앞에서 검토한 바와 같이 광산에서 산출되는 운모/스멕타이트 혼합층광물은 산출상태에 따라서 세 가지로 구분할 수 있다. 첫번째로 광산내의 약변질대와 주변암에서 다른 점토광물과 공존하지 않고 나타나는 것으로 이들의 운모층성분은 100~85 % 정도로 나타난다. 두번째로 광산의 강변질대의 도석광 중에서 녹니석/스멕타이트 혼합층광물과 공존하여 나타나는 것으로 운모/스멕타이트 혼합층광물의 함량은 다른 산출상태에 비해 적다. 이들의 운모층성분은 회절선이 작아 측정하기 어려우나 팽윤층성분이 시료에 따라 큰 차이 없이 거의 일정하게 나타나고 있다. 세번째는 열극을 따라 발달한 점토맥이나 부분적으로 연결화된 곳에서 다량으로 산출되는 경우이다. 이 곳에서 산출되는 운모/스멕타이트 혼합층광물은 운모층 성분은 주광석에서 산출되는 것에 비해 팽윤층성분이 많다.

#### 카오리나이트

광산내에서 산출되는 점토광물로서는 녹니석/스멕타이트 혼합층광물과 운모/스멕타이트 혼합층광물 이외에 카오리나이트가 나타난다. 카오리나이트는 괴상체의 도석 중에서 산출되는 경우는 드물며, 주로 열극이나 세맥부분과 그 인접부에 국부적으로 산출한다.

광산에서 산출되는 카오리나이트 중에서 열극 내에서 산출하는 것이 그 인접부에 산출하는 것보다도 2θ, 19°~25°와 34°~40°의 범위에서 X-선회절선의 분리가 양호하게 나타나 결정도가 더 좋은 것으로 생각된다. 이 열극내의 카오리나이트에 대해 Hinckley(1963)에 의한 방법으로 결정도지수를 측정해보면 약 0.7으로 나타났다. 이것으로 보아 이 광산에서 나타나는 카오리나이트는 열극의 중심부에 나타나는 것이 다른 곳보다 상대적으로 높은 결정도를 보이지만 남석광산과 같은 다른 곳에서 산출하는 것에 비해 비교적 낮은 결정도를 나타낸다. 카오리나이트는 열극이나 세맥에서 많이 나타나며 또 카오리나이트를 다량으로 함유하는 지점 일수록 그 결정도가 더 높은 경향이 나타난다.

## 석 영

광산에서는 모든 암석시료가 석영을 함유하고 있다. 이 광산에서 산출되는 석영의 결정도를 알아보기 위해서 각 광물조합별로 X-선회절분석을 행하였다. 석영의 결정도는 Murata and Norman (1976)의 방법에 의해서  $2\theta$ ,  $67\sim 69^\circ$  사이의 회절선의 형태로서 측정하였다. 각 광물조합에 속하는 여러 변질 암석들에 포함된 석영의 결정도를 비교해보면 A 광물조합에 속하는 암석들은 석영의 결정도지수가  $5.7\sim 6.0$ 의 값을 나타내고 있다. B 광물조합의 암석들은 대체적으로  $5.5\sim 6.3$ 의 범위이고, C 광물조합의 암석들은  $5.1\sim 5.8$ 의 치를 나타내었다. 이와 같이 이들은 별 큰 차이가 없이 유사하게 나타난다. 그러나 광산 주변의 약 변질암인 D 광물조합의 암석들은  $6.2\sim 7.5$  범위의 결정도를 나타내어 도석의 것보다 약간 크게 나타난다. 또 주변에 나타나는 신선한 유문암의 결정도는 약  $7.0\sim 7.8$ 로 다소 크게 나타났다. 주변의 유문암 및 약변질암과 같은 암석이 도석화되었다고 본다면 도석화작용에 의해 석영의 분해 및 미립화가 약간 진행되어 전체적으로 약간 결정도가 저하된 것으로 생각된다. 광산에서 도석 중에 산출하는 석영의 결정도가 7 이하로 낮게 나타나는데 이는 보배광산(황진연외, 1993)의 도석 중에 나타나는 석영의 결정도가 8 이상으로 나타나는 것과는 다르다.

## 고 찰

고사리광산은 도석의 주성분으로 녹니석/스멕타이트 혼합층광물이 다량 함유되어 다른 일반적인 도석광상과 다르다. 이 광산과 유사하게 혼합층광물을 다량 산출하는 도석광산으로는 경북 청송의 범수광산이 있으며, 이 범수광산에서는 강변질을 받은 중심 부분에 녹니석/스멕타이트 혼합층광물과 카오리나이트가 다량 나타나고, 그 주변의 약변질대에는 운모/스멕타이트 혼합층광물, 녹니석, 장석이 나타나는 것으로 보고되어 있다(황진연, 1989). 고사리광산에서도 광체의 중심부에서 녹니석/스멕타이트 혼합층광물이 많이 산출한

다. 약변질대에서 운모/스멕타이트 혼합층광물이 다량 나타나는 것도 범수광산과 유사하다. 앞에서 검토한 바와 같이 광산의 모암의 종류와 광물조합의 분포상태로 보아 이 광산은 유문암 및 유문암질응회암의 열수변질작용에 의해 형성된 것으로 생각된다.

광산의 변질광물의 분포상태로 보아 약변질대에서 운모/스멕타이트 혼합층광물이 우세하고 강변질대에서는 녹니석/스멕타이트 혼합층광물과 카오리나이트가 다량 포함된다. 이러한 산상으로 보아 전자의 광물이 변질의 진행에 따라 녹니석/스멕타이트 혼합층광물과 카오리나이트로 변한 것으로 생각할 수 있다. 도석에는 석영이 다량 함유되므로 석영 포화상태의 이들 광물의 열역학적 안정영역을 검토해 볼 수 있다. 이 광산에서 산출하는 녹니석/스멕타이트 혼합층광물은 전술한 바와 같이 화학성분상으로 토수다이트에 가까운 것이므로 여기서는 이 광물을 토수다이트로 간주하여 검토해 본다. Hemley(1959)에 의하면 석영의 포화상태에서  $aK^+/aH^+$ ( $a$ 는 이온의 활동도)의 감소에 따라 카리장석-백운모-카오리나이트의 순서로 안정영역이 변하는 것으로 되어 있다. 또 석영 공존하에서 백운모가 토수다이트로 변하는데 있어서도 화학반응식으로부터  $aK^+/aH^+$ 가 작아지는 쪽으로 안정될 수 있다(Miyaji, Tsuzuki, 1988). 이 광산의 약변질대에 나오는 운모/스멕타이트 혼합층광물은 운모층성분이 아주 많은 것으로 일라이트와 함께 백운모로 간주하여 검토해 볼 수 있다. 그러면 토수다이트의 성분에 가까운 녹니석/스멕타이트 혼합층광물이 많이 산출되는 광체의 중심부에는 그 주변보다  $aK^+$ 가 작고  $aH^+$ 가 큰 즉 pH가 낮은 산성의 조건하에서 변질작용을 받아 녹니석/스멕타이트 혼합층광물 및 카오리나이트가 형성된 것으로 생각할 수 있다. 또 녹니석/스멕타이트 혼합층광물이 다량 산출하는 부분에서 미립의 황철석이 작은 틈을 따라 집중되는 등 국부적으로 다량 수반되어 나타난다. 이것으로 보아 광상의 형성에 유황성분을 포함한 산성 열수용액이 관여한 것으로 생각된다.

고사리광산의 도석과 그 주변 암석의 화학분석치를 Table 3에 나타냈다. 광산내의 도석시료들은

SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 성분 이외에는 다른 성분은 극히 소량으로 나타난다. 그러나 이 도석시료에는 약 0.2~0.3 %의 Li<sub>2</sub>O를 포함하는 특징이 있다. 광산 주변에 나타나는 거의 변질을 받지 않은 적각리층 퇴적암과 흑색치밀한 유문암에서는 Li<sub>2</sub>O는 거의 함유되지 않아, 광상 중의 도석과는 뚜렷한 차이를 보여 주고 있다. 따라서 Li은 도석화작용을 일으킨 열수용액에 의해 공급된 것으로 보인다.

유문암질암이 약한 변질을 받은 곳에서는 일라이트 내지는 운모/스멕타이트 혼합층광물이 주로 산출되고 있다. 이러한 광물은 유문암 중의 미립 석영이나 유리질 물질이 열수용액과 작용하여 형성되기 시작한 것으로 생각된다. 팽윤층성분이 많은 운모/스멕타이트 혼합층광물은 퇴적암 및 응회암에서 많이 나타나는 경향이 있고, 유문암과 그 변질암에서는 상대적으로 적게 나타난다. 이것은 같은 변질정도라도 모암의 조직 및 성분에 따라 변질광물종이 다르게 나타나는 것으로 생각된다. 그리고 절리면의 점토맥에는 팽윤층성분이 많은 운모/스멕타이트 혼합층광물이 산출되는데 이들은 주도석화작용 이후의 잔류열수나 풍화작용 등에 영향을 받아서 형성되어진 것으로 생각된다. 이 광산지역에 산출하는 운모/스멕타이트 혼합층광물들은 열수변질에 의한 것과 그 이후의 풍화변질 등에 의한 것이 중복되어 나타나고 있는 것으로 생각되어 이들의 구분에 대해서는 앞으로 더 검토가 요구된다.

이 광산에서는 카오리나이트가 녹니석/스멕타이트 혼합층광물과 같이 도석화가 잘된 곳에서 산출된다. 이것은 전술한 바와 같이 거의 비슷한 열역학적 조건하에서 형성된 것으로 생각된다. 그러나 카오리나이트는 열극의 충전점토맥이나 세맥부 등에 국부적으로 다량 나타나는 특징이 있다. 이것은 Velde(1992)에 의한 열극을 따라 일어나는 변질작용의 연구에서 용액의 이동량이 많은 열극부분에서 1:1형 점토광물이 침전되기 쉽고 그 인접부의 모암이 변질되어 2:1형 점토광물이 주로 형성된다는 내용과 다소 부합되는 것으로 생각된다. 즉 열수용액이 다량으로 이동된 열극내에 카오리나이트가 다량 산출하고 그 주변의 피상체 암석에는 아주 소량으로 나타나는 것

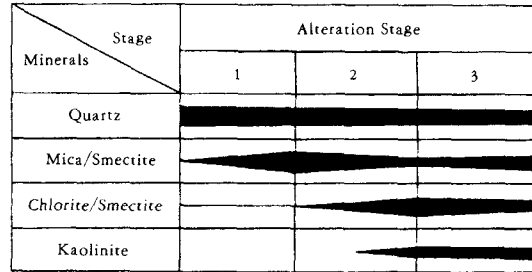


Fig. 8. A diagram showing the paragenetic sequences of the alteration minerals in the Gosari mine.

을 알 수 있다.

이 광산에서 산출하는 변질광물들의 광물조합 및 산상에 대한 검토를 토대로 하여 변질작용에 따른 광물의 생성 및 변화를 도식화하여 Fig. 8에 나타내었다. 광물들의 변화 양상은 다음과 같이 3개의 변질단계로 나누어 설명할 수 있다. 첫번째 단계는 초기 변질단계로 운모/스멕타이트 혼합층광물이 형성되기 시작한다. 두번째 단계에서는 광산의 주도석화 작용을 일으킨 강열수기이다. 이 단계에서는 초기 변질에 의해 형성된 운모/스멕타이트 혼합층광물의 양이 감소되고, 대신에 녹니석/스멕타이트 혼합층광물이 생성된다. 그리고 부분적으로 카오리나이트도 침전된다. 세번째 단계는 주도석화 작용 이후 낮은 온도의 후기 열수나 풍화작용에 의한 이차적 변질단계이다. 이 단계에서는 절리면이나 층리면 등과 같은 약대를 따라 이동하는 용액에 의해 운모/스멕타이트 혼합층광물이 생성하여 증가하고, 일부 카오리나이트도 형성된 것으로 생각된다.

## 결 언

고사리광산에서 산출하는 점토광물의 산상, 광물학적인 성질 및 그 형성과정에 관한 검토결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 이 광상의 도석에는 다량의 석영과 함께 녹니석/스멕타이트 혼합층점토광물, 카오리나이트 및 운모/스멕타이트 혼합층광물이 주로 산출된다. 특히 녹니석/스멕타이트 혼합층광물은 도석의 주

성분광물로서 다량 포함된다.

2. 이 곳에 산출하는 녹니석/스멕타이트 혼합층 광물은 다량의 Al을 함유하는 2-팔면체형의 돈바사이트형 녹니석과 바이델라이트형 스멕타이트의 혼합층광물이며, 상당량의 Li을 함유하고 있다. 이와 같이 이 광물은 화학성분상으로는 토수다이트에 가까우나, 결정구조적으로는 층구조의 규칙성이 비교적 나쁘게 나타났다.

3. 이 광산은 유문암 및 유문암질 응회암이 열수변질을 받아 형성된 것으로 생각된다.

4. 도석광상과 그 주변에서 산출하는 운모/스멕타이트 혼합층광물은 주로 운모층격자성분이 85% 이상이다. 특히 운모/스멕타이트 혼합층광물은 절리 및 층리면을 따라 부분적으로 점토화된 부분에 다량 나타난다.

5. 광상과 그 주위에 나타나는 광물조합 및 그 분포상태로 보아 광산 채굴장 중심부의 강변질대에는 녹니석/스멕타이트 혼합층광물과 카오리나이트가 다량 나타나며, 그 주위의 약변질대에는 일라이트 내지는 운모/스멕타이트 혼합층광물이 많이 산출하는 경향이 있다.

6. 카오리나이트는 열극의 충전 부분과 그 인접부에 다량 산출하는 경향을 나타내어 열수용액의 이동이 원활한 곳에서 형성된 것으로 생각된다.

7. 광산에 나타나는 구성광물의 형성은 운모/스멕타이트 혼합층광물의 형성단계, 녹니석/스멕타이트 혼합층광물과 카오리나이트 형성단계, 주도석화작용 이후에 일어난 풍화작용을 포함한 후기 변질단계의 세 가지로 구분된다. 후기 변질단계에서는 주로 운모/스멕타이트 혼합층광물이 형성된 것으로 생각된다.

## 사 사

이 연구는 한국과학재단에서 지원하는 1991년도 목적기초연구비(KOSEF 91-06-00-01)에 의해 수행되었으며 이에 감사한다.

## 참고문헌

대한광업진흥공사 (1988) 한국의 광상, 비금속편,

- 159-162, 273.
- 대한광업진흥공사 (1988) 광상시추조사보고, 제 11호, 483-487, 504.
- 대한지질학회, 태백산지구지하자원조사단 (1962) 호명, 고사리, 서벽리, 계산촌 도폭 및 설명서.
- 이용일 (1990) 석탄기 만항층(삼척탄전)과 요봉층 사암의 장석의 부재-퇴적의 영향 혹은 속성의 영향?, 지질학회지, 26, 63-69.
- 자원개발연구소 (1979) 삼척탄전지질도 및 삼척탄전정밀지질조사보고서, 1-19.
- 조현구, 김원사 (1993) 성산광산과 범수광산에서 산출되는 토수다이트의 광물학적 특성, 한국광물학회지 제6권 제1호, 17-26.
- 황진연 (1989) 경북 청송지역 도석광산에서 산출하는 점토광물, 광산지질, 22, 315-326.
- 황진연, 김광혜, 정운영 (1993) 부산 보배도석광산에서 산출하는 점토광물의 산상, 한국광물학회지, 제6권 제1호, 27-37.
- 岩生周一, 長澤敬之助, 宇田川重和, 加藤忠藏, 喜田大三, 清柳宏一, 渡邊裕 (1985) 粘土の事典, 朝倉書店, 283-285.
- Bailey, S. W. (1982) Nomenclature for regular interstratification, Amer. Mineral., 67, 394-398
- Brown, G. Bourguignon, P. and Thorez J. (1974) A lithium-bearing aluminian regular mixed layer montmorillonite-chlorite from Huy, Belgium. Clay Minerals, Vol. 10. 135-144.
- Cho, H. G. (1990) Mineralogy of clays and their associated minerals in the Sungsan mine, Korea. Unpub. Ph. D. Thesis, Seoul Nat. Univ.
- Cho, H. G. (1991) Li-bearing tosudite from the Sungsan mine, Korea, J. Miner. Soc. Korea, 4, 1-10.
- Hemley, J. J. (1959) Some mineralogical equilibria in the system  $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ . Amer. J. Sci., 257. 241-270.
- Hinckley, D. N. (1963) Variability in 'crystallinity' values among the kaolin deposits of the

- coastal plain of Georgia and South Carolina. *Clays and Clay Minerals*, 11, 229-235.
- Ichikawa, A. and Shimoda, S. (1976) Tosudite from the Hokuno. Gifu prefecture, Japan, *Clays and Clay Minerals*, 24, 142-148.
- Kim, S. J., Kim, J. J. and Choo, C. O. (1992) Mineralogy and genesis of hydrothermal deposits in the southeastern part of Korea peninsula : (3) Miryang Napseok deposits. *J. Miner. Soc. Korea*, 5, 93-101.
- Merceron, T., Inoue, A. and Meunier, A. (1988) Lithium-bearing donbassite and tosudite from Echassieres, Massif Central, France. *Clays and Clay Mineral*, 36, 39-46.
- Miyaji, K. and Tsuzuki, Y. (1988) Hydrothermal alteration genetically related to the Mannen and Uebi pottery stone deposits in Tobe district, Ehime prefecture. *The Clay Sci. Soc. of Japan*, 28, 183-199 (In Japanese).
- Murata, K. J. and Norman, M. B. (1976) An index of crystallinity for Quartz. *American Journal of Science*, 276, 1120-1130.
- Nishiyama, T., Shimoda, S., Shimosake, K. and Kanaoka, S. (1975) Lithium-bearing Tosudite. *Clays and Clay minerals*, 23, 337-342.
- Shimoda, S. (1969) New data for tosudite. *Clays and Clay Minerals*, 17, 179-184.
- Shimoda, S., Kajiwara, Y., Honma, H. and Nishiyama, T. (1980) A Li-bearing tosudite and some mineralogical problems of tosudite found in Japan, *Sci. Rep., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba, Sec. B.*, 1, 97-105.
- Shimoda, S., Nishiyama, T., Kitani, S. and Ichikawa, A. (1977) Mode of occurrence and mineralogical properties of tosudite. *Min. J. Japan*, 13, 103-110.
- Srodon, J. and Eberl, D. D. (1984) Illite, Review in *Mineralogy. Miner. Soc. Am.*, 13, 495-544.
- Sudo, T. and Shimoda, S. (1977) *Clays and Clay minerals of Japan*. Elsevier, Amsterdam, 89-97, 275-301, 313-318.
- Velde, B. (1992) *Introduction to clay minerals*. Chapman and Hall, London, 109-124.
- Watanabe, T. (1988) The structural model of illite /smectite interstratified mineral and the diagram for its identification. *Clay Science*, 7, No. 2, 97-114.