

## 부산 보배도석광산에서 산출하는 점토광물의 산상

### Occurrence of Clay Minerals from the Bobae Pottery Stone Mine in Pusan

황진연(Jin Yeon Hwang)\* · 김광혜(Kwang Hye Kim)\*\* · 정윤영(Yoon Yeong Jeong)\*

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

\*\*농어촌진흥공사  
(Rural Development Corporation Korea, Euiwang 437-120, Korea)

**요약** : 본 광산에서는 견운모, 엽납석, 녹니석, 스멕타이트 등의 점토광물이 다량 산출되고 있다. 이들 광물의 산상 및 특성을 조사하여 광물의 형성과정을 고찰하였다. 본 광산의 도석은 견운모와 석영을 주성분으로 하는 것이 특징이다. 도석 중의 견운모는 주로 2M<sub>1</sub>형이며, 석영은 수 마이크로 이하의 미립의 것도 다량 포함된다. 또 도석에는 소량의 엽납석 및 백운모가 수반되기도 한다.

도석광상은 백악기층인 유문석영안산암 내에 배태되어 있고, 이 유문석영안산암을 관입한 석영반암의 인접부에 도석화된 부분이 많은 것으로 보아 석영반암의 관입에 의한 열수작용으로 유문석영안산암이 변질되어 도석광상이 형성된 것으로 사료된다.

본 도석광상의 도석화작용은 모암 내 성분의 용탈작용에 따라 장석과 녹니석이 분해되었고 이에 수반하여 견운모 및 석영의 침전이 일어났다. 변질암석 내에서 국부적으로 스멕타이트, 로먼타이트, 카오리나이트 등의 광물이 산출된다. 이들의 광물은 주 도석화작용의 이후에 형성되었다. 본 광산에서 변질암 내에 담홍색의 점토질물질로서 바이델라이트가 산출되는데 이는 특기할 만하다.

**ABSTRACT** : The clay minerals such as sericite, pyrophyllite, chlorite and smectite abundantly occur in the Bobae pottery stone mine in Pusan. In this study, the processes which are responsible for the formation of these minerals were studied by examining their occurrence and mineralogical properties. The so-called pottery stone of this mine is characterized by the predominance of sericite and quartz. The sericite of the pottery stone is mostly 2M<sub>1</sub> type. And many of quartz particles are smaller than a few micron in diameter. The pottery stone also contained a small amount of pyrophyllite and muscovite.

The pottery stone deposit occurs within the Cretaceous rhyodacite and is particularly well developed near the contact with the quartz porphyry which intrudes the rhyodacite. The fact implies that the pottery stone is the product of hydrothermal alteration of the rhyodacite by the intrusion of quartz porphyry.

The pottery stone was formed by the alteration that accompanies the dissociation of feldspar and chlorite in parent rocks and subsequent formation of sericite and quartz. Smectite, laumontite and kaolinite occur locally within the altered rocks. These minerals were formed after formation of pottery stone. It is noteworthy that beidellite occurs as a pink-colored clay from the altered rocks in the mine.

## 서 언

우리나라에 있어서 도석이라는 용어가 잘 규정되어 있지 않아서 경우에 따라서는 다른 광석명과 혼용되기도 한다. 陶石이란 용어는 본래 일본에서 나온 것으로서, 일본의 사전(岩生周一 외, 1985)에 의하면 陶石(Toseki, porcelain stone, pottery stone)은 석영의 미립과 견운모를 주성분으로 하는 백색의 암석으로 單味로 소성하여 도자기화하는 성질을 가진 것을 말하며, 그러나 도석이라고 부르는 것 중에는 카오린이 많은 것, 장석과 석영을 주성분으로 하는 장석질의 것도 있다고 기술하고 있다. 이와 같이 도석은 협의로는 견운모와 석영을 주로 하는 암석을 말하지만 광의로는 카오린을 주성분으로 하는 것과 장석을 주성분으로 하는 것 등의 여러 가지 광물조합을 가진 암석을 포함하기도 한다. 우리나라에서는 납석광산으로 등록된 광산에서도 주성분이 견운모와 석영으로 구성된 도석에 해당하는 암석이 주로 나타나는 경우가 있다. 이와 같이 등록된 광산명이 도석광산이 아니더라도 도석이 산출될 수 있는 광산으로는 납석광산, 견운모광산, 고령토광산, 장석광산, 운모광산 등이 있다. 이런 점에 있어서 광산명의 분류도 재검토 되어야 될 것으로 생각된다. 본 연구의 대상인 보배광산은 도석광산으로 등록되어 있고 광석의 주성분이 석영과 견운모로서 협의의 도석에 속하는 광석이 주로 산출된다.

보배도석광산은 부산시 강서구에 있는 보배산에 위치하고 있다. 본 광산에서는 월간 약 5,000톤의 도석을 채굴하고 있으며 광산 현장에서 분쇄하여 국내 및 국외에 도자기 및 타일 등의 요업원료로 공급하고 있다. 본 광산은 주로 여러 곳의 노천채굴을 하고 있고 갱내 채굴은 현재 한 곳에서 행하고 있다.

본 광산의 광산에 대해서는 그 동안 광업진흥공사에 의해 조사(1987, 1988)가 된 바 있다. 그러나 최근에 Kim et al.(1991)에 의해 광물학적 및 광상학적 연구가 행하여졌고, 또 Choo and Kim(1992)에 의해 이 광산에서 산출하는 견운모에 대한 열역학적 연구가 이루어졌다. 이들의 연구에 의해 보배도석광산에 대한 견운모의 광물학적 성

질이 자세히 밝혀졌고, 또 광상의 성인에 대해서도 일부 검토되었다. Kim et al.(1991)의 논문에서는 프로필라이트 변질대와 견운모 변질대로 크게 나누어 그 특징들을 기술하였다. 그러나 광산 내에 있어서의 암석 및 광물의 분포상태에 대해서는 자세하게 검토되지 않았다. 그래서 본 논문에서는 광석채굴장 주위에 대해 보다 자세하게 변질광물들의 지질학적 및 광물학적인 산출상태를 조사하여 광물들의 생성관계, 변질분대 및 그 형성과정을 연구하였다. 특히 이 광산에서 산출하는 견운모, 엽납석, 스펙나이트, 녹니석 등의 점토광물에 대해 그 산상 및 특성을 검토하였다. 금번의 연구는 여러 암석시료에 대해 주로 X-선회절분석법에 의해 구성광물의 식별 및 특성을 조사하였고, 이를 기준으로 하여 변질분대의 구분도 행하였다.

## 광산 주변의 지질

본 광산 주변의 지질에 대한 조사로는 장태우 외(1983)에 의한 한국동력자원연구소의 부산가덕도폭이 있다. 이 도표를 참조하여 작성된 광산 주변의 지질도를 Fig. 1에 나타내었다. 본 지역의 지질은 백악기 유천층군에 속하는 안산암질 화산각력암, 유문석영안산암질 화산각력암, 유문석영안산암이 분포하고, 이들을 관입한 화강섬록암, 석영반암 및 중성 내지 염기성암맥으로 구성되어 있다.

유문석영안산암은 보배광산을 포함하는 넓은 지역에 분포되어 있다. 이 암층에는 유문석영안산암이 주를 이루고 있으나 곳에 따라 용결용회암 및 각력암 등도 포함되어 있다. 이 광상의 모암은 주로 석영안산암으로 되어 있으며, 변질을 거의 받지 않은 유문석영안산암은 암회색 내지 암록색을 띠며 치밀한 조직을 나타낸다. 편광현미경하에서는 작은 석영과 사장석의 반정이 잘 관찰되고 유상조직이 보이는 것도 있다. 석영반암은 본 광산에서 소규모의 관입체로 잘 나타난다. 이 암석은 유문석영안산암을 약 5~10 m의 폭으로 여러 곳에서 관입하고 있다. 이 암석은 담회색 및 담록색을 띠며 석영의 큰 반정이 육안적으로도 뚜렷이 잘 관찰된다.

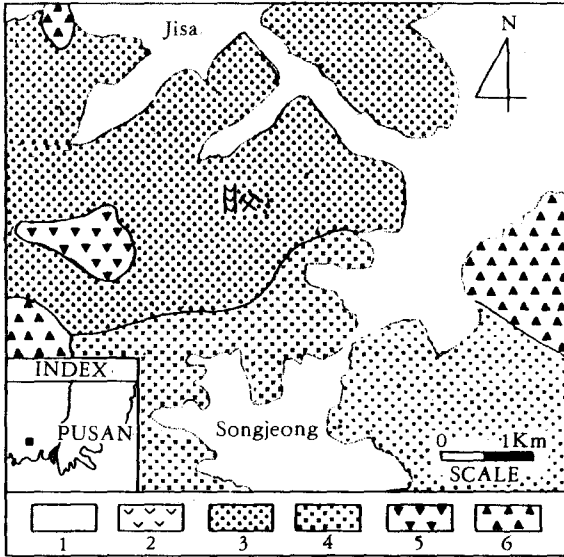


Fig. 1. Geologic map of the bobae pottery stone mine area. 1; Alluvium, 2; Quartz porphyry, 3; Rhyodacite, 4; Granodiorite, 5; Rhyodacitic volcanic breccia, 6; Andesitic volcanic breccia.

### 구성광물의 광물조합 및 산상

본 광산의 채굴장 주위에서 채취한 전암석시료에 대해 X-선분말회절 분석을 행하여 구성광물을 식별하고 광물조합을 검토하였다. 세맥 및 암맥 등의 국부적인 시료에 대한 구성광물은 별도로 검토하였다. 이 외에 괴상의 암석에 대해서 광물조합을 검토한 결과 다음과 같은 5가지의 광물조합이 주로 나타났다.

- A, 석영+장석+녹니석+(녹염석)
- B, 석영+장석+녹니석+견운모
- C, 석영+녹니석+견운모
- D, 석영+견운모
- E, 견운모+(염납석)

이들 각 광물조합에 대한 대표적인 시료의 X-선회절선을 Fig. 2에 나타냈다. A 광물조합은 주로 석영, 장석, 및 녹니석으로 구성되며 많은 경우에 있어서 녹염석이 수반된다. 이 광물조합의 암석은 암회색 내지 암록색을 띠며 거의 변질을 받지 않은 석영유문안산암에 해당된다. 그러나 이들 암석은 Kim et al.(1991)에 의한 프로필라이트 변

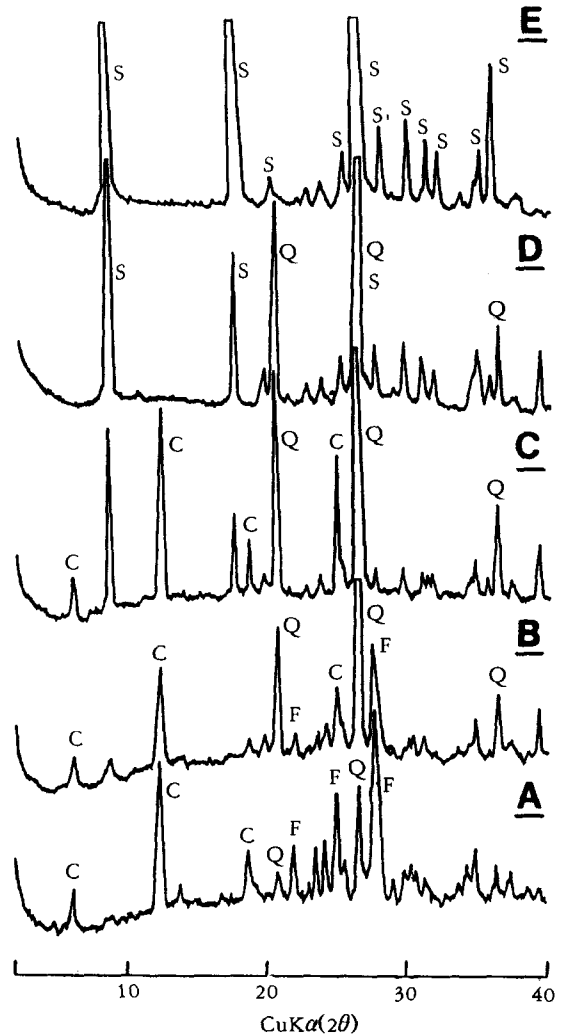


Fig. 2. X-ray diffraction patterns of various altered rocks. Q; Quartz, S; Sericite, C; Chlorite, F; Feldspar.

질대(propylitic zone)에 해당되는 것으로 되어 있고, 녹염석이 수반되는 경우도 있으므로 광역적인 약간의 미약한 변질작용을 받은 것으로도 볼 수 있다. 이 암석이 광역적으로 분포되어 있어 본 광산의 도석화 작용에 따른 직접적인 영향에 의한 것으로 보기가 어려우므로 여기서는 이 광산의 모양으로 간주하여 기술한다. 이 광물조합에 해당되는 암석은 광산의 주변부와 광산 내에서도 도석화 작용의 변질작용을 거의 받지 않은 것으로 보이는 부분에서 나타난다. B 광물조합의 암석은

석영, 장석 및 녹니석과 함께 소량의 견운모가 함유되어 있다. 이들 암석의 색은 청색 내지 담청색을 띤다. 이것은 A 광물조합의 암석 보다 장석과 녹니석의 함량이 약간 적게 나타난다. C 광물조합은 장석이 함유되지 않고 석영, 녹니석 및 견운모로 되어 있다. B 광물조합에 비해 견운모의 함량이 많다. 이 광물조합의 암색은 담청색 내지 담회색을 띤다. D 광물조합은 광석으로 이용되는 도석에 해당되며 암석의 색은 백색 내지 담회색을 나타낸다. E 광물조합을 가지는 암석은 담록색을 띠며 지방감을 나타내는 것으로, 이것은 주로 거의 순수한 견운모를 함유하고 있으나 부분에 따라 견운모와 함께 엽납석을 소량 수반하기도 한다. 이 광물조합의 부분은 D 광물조합 내의 암석 중에 국부적으로만 나타난다.

각 지점에서 채취한 시료의 광물조합을 구분하여 그 분포상태를 Fig. 3에 나타냈다. 이 광물조합의 분포도에서는 관입암인 석영반암의 분포상태도 같이 표시하였다. E 광물조합은 D 광물조합을 가지는 암석 내에서 부분적으로만 나타나는 것이며, 이 암석들이 실제로 도석으로 이용되고 있는 것이므로 D와 E 광물조합의 분포지점을 묶어서 광체의 분포지역으로 나타냈다. 그림에서 보듯이 광체의 부분은 여러 곳에서 나타난다. D와 E 광물조합의 분포지역에 인접하여 C와 B 광물조합의 암석이 분포되어 있다. 광체와 비교적 멀리 떨어진 곳의 여러 노두에서 A 광물조합들이 나타난다. 특히 석영반암이 분포하는 인접부에 광체가 발달되는 경향이 보인다. Fig. 3의 남동쪽에 나타나는 석영반암의 암맥에서는 암맥을 중심으로 양쪽으로 광체가 발달되고 그 외쪽에 C와 B 광물조합이 나타나 전체적으로 대상분포를 나타낸다. 이러한 것으로 보아 석영반암의 관입과 도석의 형성이 깊은 관계가 있을 것으로 생각된다. 같은 광물조합을 가지는 암석은 어느 정도 일정한 범위를 나타내고 있으며, 이들 광물조합들간의 경계는 점이적으로 나타난다. 이것으로 보아 광물조합들의 분포지역을 변질대로 간주하여도 좋을 것으로 생각된다. 즉 광산 주위에 광범위하게 분포하는 A 광물조합의 암석을 미변질 모양으로 보면 A-B-C-D(E)의 순서로 도석화작용에 의한 변질정

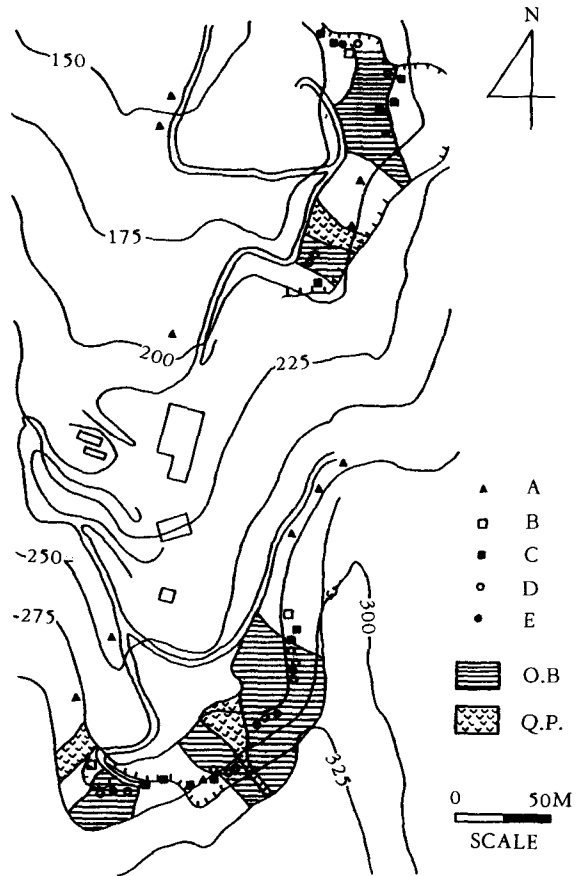


Fig. 3. Distribution of the mineral assemblages as shown in Fig. 2. O.B.; Ore body, Q.P.; Quartz porphyry.

도가 증가하는 변질대로 생각할 수 있다. 이들 변질대는 그 분포범위 및 위치 등이 불규칙적으로 나타나는 경우가 많은데 이것도 열수변질작용의 특징으로 볼 수 있다.

본 광산에서는 전술한 구성광물 이외에 작은 암맥 및 세맥 등의 국부적인 부분에서 스�멕타이트(smectite), 로먼타이트(laumontite), 녹니석/스멕타이트혼합층광물, 카오리나이트 등의 광물들이 관찰된다. 이들의 산상 및 광물학적 특징에 대해서는 후술한다.

광물별 산상 및 특성

견운모

견운모는 도석광에 해당되는 D 및 E 광물조합에 다량으로 산출된다. 그러나 모암에 해당되는 A 광물조합에서는 X-선회절분석상으로는 잘 검출되지 않는다. B-C-D-E조합의 순서로 견운모의 함량이 점차 증가된다. 본 광산에서 산출되는 견운모에 대하여 X-선회절분석에 의해 견운모의 폴리타입(polytype)를 검토해 보았다. 본 광산의 도석광에서 산출하는 견운모는 대부분이 2M<sub>1</sub>형으로 되어 있고 극소량의 1M형이 수반되고 있다. 변질정도가 적은 암석에서는 견운모의 함량이 적어서 정확한 폴리타입의 검토가 어려우나 점토입경으로 분리한 몇 시료의 분석으로 보아 도석광에서 보다는 1M형이 약간 더 많은 것으로 나타난다. 그러나 대부분의 변질암석 중의 견운모는 2M<sub>1</sub>의 것이 월등히 우세하게 나타난다.

Fig. 4에는 주된 도석광을 수증침강법에 의해 입도별로 분리한 후의 X-선회절선을 나타냈다. 여기서 입도가 작을수록 석영의 함량이 현저히 감소하고 대신에 견운모와 피로필라이트의 함량이 약간 증가되는 경향이 나타난다. 견운모의 회절선들이 1미크론 이하의 작은 입경에서는 입경이 큰 것에 비해 약간 폭이 넓은 형태를 보인다. 즉 입경이 작아질수록 회절선의 반가폭(회절선 높이의 반에서의 폭길이)이 작아지는 경향이 나타난다. 이는 반가폭이 입경과 관계됨을 잘 나타내는 것이다. 5미크론 이상의 입경이 큰 것에는 2M<sub>1</sub>형의 견운모에 대한 회절선만이 잘 나타난다. 그러나 입경이 1미크론 이하의 것에서는 2M<sub>1</sub>의 회절선의 강도가 약간 감소되며, 반면에 2θ, 24.4도에 1M형의 아주 작은 회절선이 나타난다. 그래서 2M<sub>1</sub>외에 1M의 것이 극소량 포함됨을 알 수 있다. 그리고 1M형의 것이 더 미립인 것을 알 수 있다. 1미크론 이하까지 분리하였으나 석영이 상당량 함유되는 것으로 보아 미립의 석영이 많이 함유되어 있음을 알 수 있고, 그래서 단순한 수증침강법에 의해서 견운모만을 추출하기가 어려운 것으로 생각된다. 강변질대 중의 도석광에는 육안

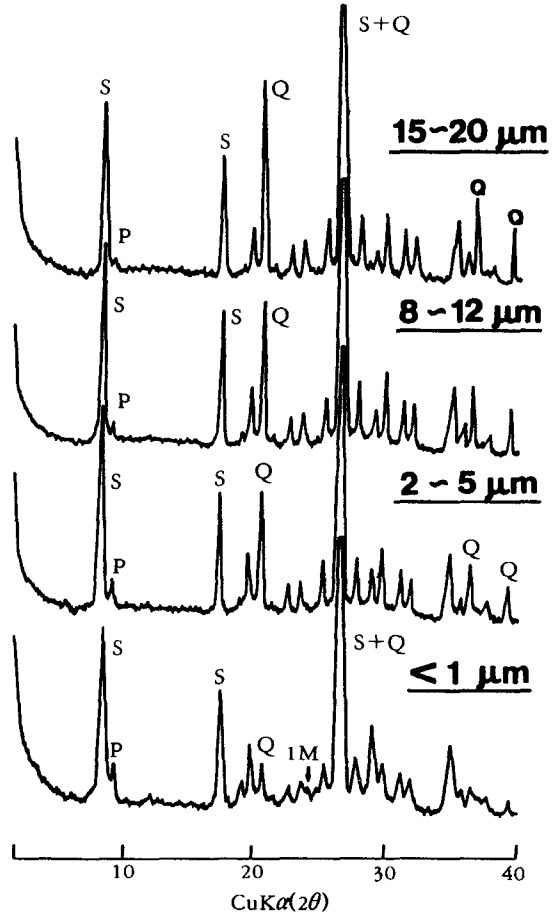


Fig. 4. X-ray diffraction patterns of clay fractions in the pottery stone. Q; Quartz, S; Sericite, P; Pyrophyllite, 1M; 1M sericite.

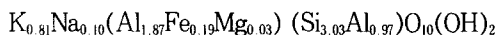
적으로 식별될 정도의 백운모가 부분적으로 나타난다. 이는 입자가 큰 백운모가 형성될 정도의 비교적 높은 온도까지 변질작용이 진행되었음을 알 수 있다.

각 광물조합별로 견운모의 시료에 대해 회절선의 반가폭을 측정된 결과, B 광물조합 중의 견운모는 2θ, 0.21~0.18도의 범위를 나타내고, C 조합에서는 0.19~0.15, D 조합에서는 0.17~0.15, E 조합의 것은 0.15~0.13도의 범위를 나타낸다. 즉 B-C-D-E의 조합의 순서대로 견운모의 반가폭이 약간씩 감소하는 경향이 있다. 이것은 이들 광물조합의 순서에 따라 견운모의 결정도가 증가하고

또 입경이 커지는 것으로 생각된다. 이것은 변질의 정도와 잘 조화되는 것으로 생각된다.

본 광상에서 산출되는 견운모에 대한 팽윤층 성분의 존재여부를 식별하기 위해 2미크론 이하의 점토시료에 대해 에틸렌글리콜 처리를 하여 X-선회절분석을 하였다. 그 결과 본 광상의 대부분의 견운모는 에틸렌글리콜 처리에 의해 회절선의 d치의 변화가 거의 나타나지 않아 팽윤층은 함유되지 않는 것으로 생각된다. 그러나 절리면에 국부적으로 나오는 연질의 암석 중에는 약간의 팽윤층이 함유된 것도 나타난다.

본 광상에 산출되는 견운모시료중에서 불순물이 거의 없다고 생각되는 시료의 화학분석치를 Table 1에 나타냈다. 이 분석치로부터 견운모에 대한 화학구조식을 구해 보면 다음과 같다.



이 구조식으로 볼 때 Fe가 다소 많이 들어 있는 것이 특징이다. 이 시료는 담록색을 띠는 것인데 이 색의 원인은 아마 Fe에 기인된 것으로 생각된다.

도석광 중의 견운모시료에 대하여 적외선 분광 분석을 행하여 보았다. 그 결과 이 시료는 일반적인 견운모의 흡수선과 비슷한 형태를 나타내어 별달리 특징적인 것은 없었다. 그러나 암모늄이온에 의한 1400 cm<sup>-1</sup> 부근의 흡수선은 나타나지 않았다. 일본의 많은 도석광상에서는 NH<sub>4</sub>이온이 검출되는 경우가 많다(Miyaji and Tsuzuki, 1988;

Kaji et al., 1986). 본 광상에 이것이 나타나지 않는 것은 도석광이 거의 2M<sub>1</sub>의 견운모로만 되어 있기 때문으로 생각된다.

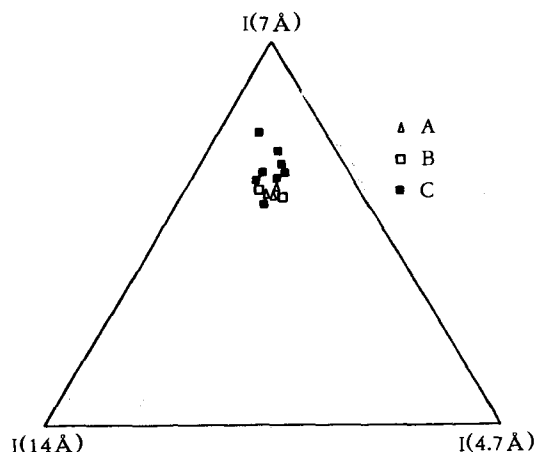
### 녹니석

본 광상에서 녹니석은 A, B, C 광물조합에 속하는 피상체의 암석들 중에서 나타나고, 그 외에 열극충진상 세맥 및 암맥 등에서도 관찰된다. 본 광상에서 산출하는 녹니석시료에 대해, X-선회절 분석을 행하여 녹니석의 14Å, 7Å, 4.7Å 회절선에 대한 강도비를 검토하였다(Fig. 5). 그 결과 광물조합 A, B, C에 속하는 암석시료 중의 녹니석은 모두 7Å의 회절선이 상대적으로 크게 나타났다. 여기서 A와 B 조합의 것은 거의 같은 강도비를 나타내지만 C 조합의 것은 A 및 B의 것에 비해 대체로 7Å의 강도가 약간 더 크게 나타나는 경향이 있다. 이러한 결과를 Oinuma et al.(1972)에 의한 녹니석의 X-선회절선 강도비와 화학조성과의 관계에 대한 자료와 비교해 보면, 광물조합 C의 녹니석은 A 및 B의 것에 비해 Mg가 적으며 대신에 Fe가 약간 더 많은 것으로 생각된다. 즉 비교적 변질의 정도가 큰 C 변질대에서 나오는 녹니석이 변질의 정도가 미약한 A 및 B 변질대에서 산출되는 것보다 상대적으로 Fe의 함량이 많은 것을 나타낸다. 그리고 녹니석의 함량에 있

**Table 1.** Chemical analyses of the pink-colored clay and the light green sericite specimen.

	Sericite	Pink clay
SiO <sub>2</sub>	45.48	48.94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35.01	25.68
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	3.83	0.52
MgO	0.35	0.69
CaO	0.20	0.38
MnO	0.08	0.25
Na <sub>2</sub> O	0.82	0.72
K <sub>2</sub> O	9.59	0.68
H <sub>2</sub> O	4.68	21.48
Total(%)	100.04	99.34

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*: Total Fe



**Fig. 5.** I(14Å)-I(7Å)-I(4.7Å) triangular diagram of chlorites. A, B and C show the types of mineral assemblages as shown in Fig. 2

어서 A 및 B 변질대에 비하여 C 변질대에서 녹니석이 약간 많아지는 경향이 있는데 이것은 변질작용에 의해 새로 생성된 녹니석이 포함되기 때문으로 생각된다. 이상과 같은 결과는 강변질대에서 용탈된 Fe가 주변암으로 이동되어 그 곳에서 녹니석의 형성에 보충되었기 때문에 C 변질대에서 Fe가 많은 녹니석이 양적으로도 많이 포함된 것으로 해석된다.

### 석 영

본 광상에서는 거의 모든 암석에 석영이 산출된다. 이들 석영의 결정도를 Murata and Norman (1976)의 방법에 의한  $57\sim 69^\circ (2\theta)$  사이의 X-선 회절선의 형태로서 측정하였다. 광물조합 A에 속하는 암석들은 석영의 함량이 적어 석영의 결정도를 측정하기가 곤란하였다. 그 외에 B, C, D 광물조합의 석영은 대체로 결정도가 약 7에서 11 사이의 넓은 범위를 보이고 있으며, 시료에 따라 변동이 심하여 각 변질대별로 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다. 그러나 D 광물조합의 것은 9~10 사이의 비교적 좁은 범위를 나타냈다. 이것은 변질작용이 강하게 작용한 곳에서는 석영의 침전 및 재결정이 일어나 거의 동질의 균질한 결정으로 구성되었기 때문으로 생각된다. 변질작용이 약한 곳에서는 본래 모암 중의 반정 및 석기 등의 여러 종류의 석영에 의해 결정도가 넓은 범위를 나타내는 것으로 생각된다. 전술했듯이 도석광 중의 석영은 수 미크론 이하의 아주 미립의 것까지 다량 포함되어 있다. 이러한 미립의 것은 고온으로 가열했을 때 반응성이 높아서 도자기를 제조할 때 생성된 유리 내에 쉽게 녹아들어가며 이렇게 만들어진 도자기는 기계적인 강도가 향상되는 것으로 알려져 있다(Nakagawa et al., 1982). 그러므로 본 광산 도석도 미립 석영의 함유에 의해 소성물의 강도가 클 것으로 생각된다.

### 스멕타이트

변질된 암석 내에 불규칙하게 연결화된 부분과 절리 및 파쇄대 등의 점토질 부분에서 스멕타이

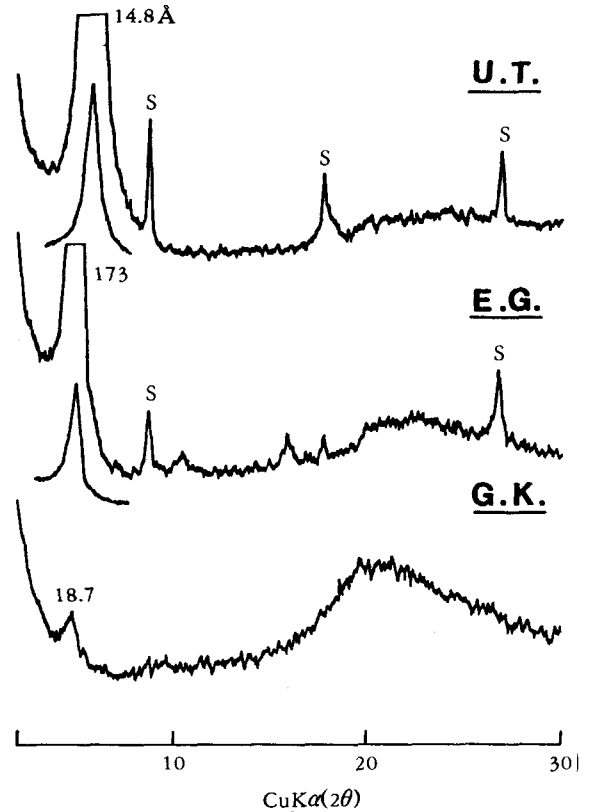


Fig. 6. X-ray diffraction patterns of the pink-colored clay in altered rock. U.T.; Untreated, E.G.; Treated with ethylene glycol, G.K.; After Green-Kelly test, S; Sericite.

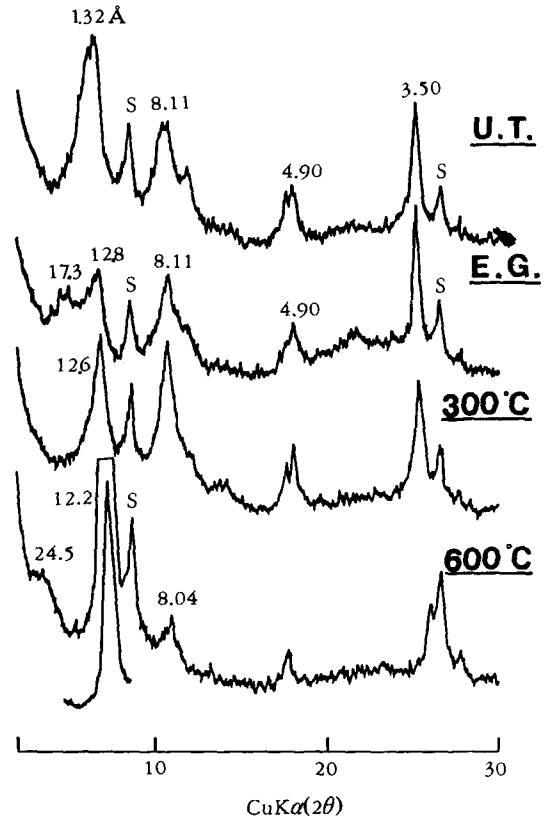
트가 산출된다. 스멕타이트는 C 및 D 광물조합의 변질대 내에서 주로 나타난다. C 광물조합의 변질대 내에 담홍색을 띠는 점토질 물질이 부분적으로 충전되어 나타나는데 이것은 Fig. 6에서와 같이 대부분이 스멕타이트로 구성되어 있다. 무처리한 분홍색 점토시료에서 14.8Å의 회절선이 에틸렌글리콜처리 후에는 17.3Å으로 회절선이 이동한 것으로 보아 스멕타이트임을 알 수 있다. 또 이 시료의 가열처리 후의 X-선회절분석 결과 300℃ 가열처리한 후에는 13.6 Å으로 회절선이 이동하였고, 600℃가열처리 한 후에는 회절선이 10 Å으로 이동하였다. 이 스멕타이트의 (060) 회절선의 d치가 1.493 Å으로 나타나 이 팔면체형 스멕타이트에 해당된다. 이 시료에는 석영과 견운모가 소량 포함되어 있다. 이렇게 특이하게 담홍색을

떠는 시료를 화학분석한 결과는 Table 1에 나타냈다. 석영 및 견운모의 소량 혼입을 감안하더라도 표에서 보듯이 Fe 및 Mg의 함량은 아주 적은 반면에 Al의 함량이 월등히 높게 나타난다. 이것으로 보아 성분상으로 바이델라이트(beidellite)에 가까운 것으로 생각된다. 또 Green-Kelly(1955)에 의한 소위 Green-Kelly test 방법으로 처리한 결과 Fig. 6과 같이 18.7Å에 X-선 회절선을 나타내어 바이델라이트라는 것을 알 수 있다. 이 점토시료가 나타내는 특징적인 담홍색은 소량으로 포함된 Mn의 성분에 기인된 것이 아닌가 생각된다.

C 및 D 변질대에 나타나는 질리 및 파쇄대 부분에서 백색의 점토질물질이 나타나는데 여기서도 소량으로 스멕타이트가 검출되고 있다. 이러한 시료들은 다량의 견운모와 함께 스멕타이트가 수반되고 있다. 이러한 스멕타이트들은 무처리시에 약 13Å의 저면반사를 나타내는 경우가 많으며, 이 회절선은 에칠렌글리콜처리에 약 17Å으로 이동한다. 무처리시의 저면반사가 약 13Å으로 일반 스멕타이트에 비해 작은 것은 층간에 K가 많기 때문으로 보인다. 이들 K는 견운모에서 나온 것으로 생각된다.

**그외의 광물**

본 광산에서는 중성 내지 염기성의 소암맥이 여러 군데서 나타난다. 이러한 암맥은 주로 안산암질인데 변질이 되지 않은 것에서는 사장석 및 녹니석으로 주로 구성되며 녹염석 및 석영도 소량 함유한다. C 변질대 중의 한 염기성암맥은 육안적으로 약간 변질되어 점토질로 보이는데 이 시료에 대해 점토분을 X-선회절분석한 것을 Fig. 7에 나타냈다. X-선회절 분석결과 견운모의 회절선과 함께, 13.2 Å 및 8.11Å 의 회절선을 나타내는 광물이 검출되었다. 13.2 Å의 회절선은 에틸렌글리콜 처리 후에는 17.3 Å과 12.8 Å의 회절선으로 이동하였다. 300 °C가열 후에는 13.2 Å의 회절선이 12.8 Å으로 이동하고, 600 °C 가열 후에는 12.2 Å으로 이동함과 동시에 24.5 Å의 장주기 반사가 나타난다. 이러한 것으로 보아서 이 광물은 녹니석/스멕타이트 혼합층광물로 생각된다.



**Fig. 7.** X-ray diffraction patterns of clay fractions after the various treatments in a basic dyke. U.T.; Untreated specimen, E.G.; Treated with ethylene glycol, 300 °C and 600 °C; Heated at the indicated temperatures for one hour, S; Sericite

이 시료는 육안적으로 볼 때 풍화를 받은 것으로 보여서 이 광물의 형성이 열수작용에 의한 것인지 풍화에 의한 것인지를 알기 어렵다. 그러나 견운모가 소량 수반되는 것으로 보아 열수작용의 영향도 약간 받은 것으로 생각된다.

변질암석의 절리면을 따라 불규칙하게 나타나는 담황색의 점토질 물질 중에서는 견운모와 함께 소량의 카오리나이트가 수반되기도 한다. 이 시료 중의 카오리나이트의 X-선회절선은 모두 아주 폭넓게 나타난다. 카오리나이트를 포함하는 시료들은 모두 지표면에 가까운 곳에서 산출된다. 그래서 이들의 카오리나이트는 결정도가 낮고 미립인 것으로 도석화 작용의 열수와는 관계없이



그 이후의 낮은 온도에서 형성된 것으로 생각된다.

C 변질대 중에서 나타나는 백색의 세맥 등에서 로먼타이트(lawmontite)가 국부적으로 산출되고 있다. 이러한 산상으로 보아 열수변질에 의해 모암 중의 사장석 및 녹염석 등에서 용탈되어 나온 Ca가 주변암의 틈에서 로먼타이트로 침전된 것으로 생각된다.

본 광상의 장석광물에 있어서 석염반암 내에서는 정장석과 사장석이 산출되었으나, 그 외의 괴상체의 암석시료에서는 주로 사장석으로 구성되어 있다. 사장석의 성분 에 대해서는 Chen (1977)의 방법에 따라 검토하였다. 본 광산의 A 및 B 광물조합의 암석에서 산출하는 사장석들은  $\Delta 2\theta$  ( $131^{\circ}\sim 131^{\circ}$ )를 측정하여 본 결과 거의 모두  $1.10^{\circ}\sim 1.11^{\circ}$ 의 범위를 나타내어 알바이트(albite)에 해당 하는 것이다.

### 광물의 형성과정에 대한 고찰

본 광상에서 산출되는 괴상체의 암석시료를 분석하여 본 결과 크게 5가지의 광물조합 (A, B, C, D, E)으로 구분되었다. 전술한 바와 같이 여기서 E 광물조합은 D 조합의 암석 내에서 국부적으로 나타나므로 이를 제외하면 이들의 광물조합군은 변질대로 대표될 수 있다. D 변질대는 주로 도석 광을 채굴하는 곳으로 견운모의 함량이 많다. 주변의 미변질 모암에 해당하는 A 광물조합의 암석에서 B-C-D 변질대로 갈수록 견운모의 함량이 증가하는 경향이 나타난다. 즉 이 순서의 변질대로 갈수록 변질의 정도가 차츰 증가하는 것으로 생각된다. 본 광상의 도석화가 잘 된 곳으로 갈수록 2M<sub>1</sub>의 견운모가 1M에 비해 우세하게 많아지는데 이것은 일반적으로 알려진 2M<sub>1</sub>이 1M 보다 더 고온성이라는 연구 (Yoder and Eugster, 1955; Velde, 1965)와 잘 조화된다.

이 광상에서 산출되는 광물들은 일반적인 열수성 광물이며, 불규칙한 작은 세맥들이 많이 발달되어 있으며 또 변질대가 불규칙적 및 부분적으로 발달되어 있는 것으로 보아 열수변질작용에 의한 것임을 잘 알 수 있다. 광산의 주위에는 넓

게 유문석영안산암이 분포되어 있고, 변질대에 따라 점이적으로 암색, 조직 및 구성광물이 변하는 것으로 보아 이 유문석영안산암이 모암이 되어 이것이 열수변질작용을 받아 도석이 형성된 것으로 생각된다. 본 도석광상에서 양질의 도석으로 사용할 수 있는 부분 즉 변질작용을 많이 받은 부분이 대체로 본 광상 내에서 유문석영안산암을 관입한 석염반암의 인접부에서 산출되는 경향으로 나타나 석염반암의 관입이 도석광상 형성에 영향을 미친 것으로 사료된다. Kim et al. (1991)에 의해서 본 지역의 남부에 광범위하게 나타나는 화강섬록암의 관입에 따른 열수작용에 의해 본 광상이 형성된 것으로 검토되었고, 이러한 변질에 따라 화강섬록암의 접촉부인 넓은 범위에 걸쳐 프로필라이트 변질대가 형성된 것으로 보고하였다. 그러나 이러한 광범위한 열수변질 작용에 의한 것으로서는 어떻게 본 광상에만 국부적으로 도석화의 변질작용이 일어날 수 있는지에 대해서는 설명하기 어렵다. 그래서 본 도석광상은 화강섬록암보다는 광산에서 관입체로 나타나는 석염반암이 유문석영안산암을 관입하면서 그에 수반된 열수작용에 의해서 유문석영안산암을 변질시켜 형성된 것으로 사료된다. 그러나 이러한 열수의 기원에 대해서는 지구화학적인 연구 등의 더 많은 검토가 필요할 것으로 생각된다.

광상에서 산출되는 각 광물조합에 속하는 대표적인 괴상체의 암석시료에 대하여 화학분석을 행하였다 (Table 2). A-B-C-D 변질대로 갈수록 암석내의 MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O 성분은 감소하는 경향을 보이는 반면, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O의 성분은 증가하는 경향을 보인다. 이것은 모암중의 Mg, Ca, Na 등의 성분이 열수에 의해 용탈되었음을 나타낸다. 이렇게 강변질을 받은 곳이 Mg, Fe, Ca, Na 등의 성분이 용탈되고 대신에 실리카의 침전이 우세하게 일어난 것으로 보아 여기에 관여한 열수용액은 산성이었음을 알 수 있다. 미변질 암석에 비해 B 및 C 변질대에서 오히려 Fe의 양이 약간 많이 나타나고 있는데 이것은 전술한 바와 같이 Fe가 많은 녹니석이 재형성되었기 때문으로 생각된다. 즉 강한 열수작용을 받은 암석에서 Fe가 용탈되어 나와 그 주변의 암석과 작용하여 녹니석의 형성

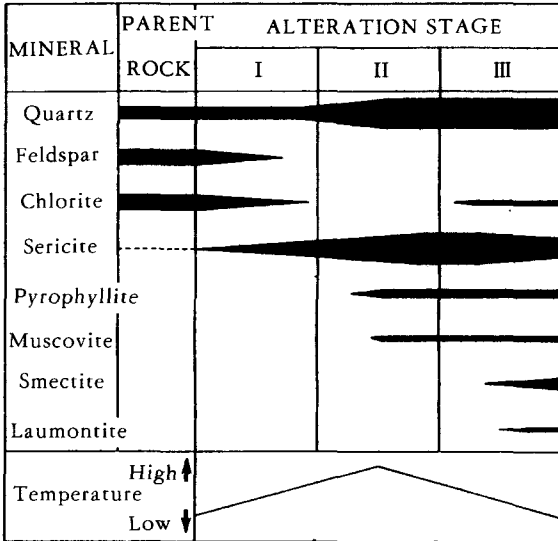


Fig. 8. A diagram showing the paragenetic sequences of altered minerals.

Table 2. Chemical analyses of the representative rcks in the alteration zones.

	A	B	C	D
SiO <sub>2</sub>	57.95	58.48	56.67	65.56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.56	18.23	20.48	23.33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	8.01	11.87	11.00	0.68
MgO	3.22	1.93	1.51	0.03
CaO	3.47	0.10	0.07	0.02
MnO	0.33	0.21	0.35	0.01
Na <sub>2</sub> O	3.56	3.47	0.44	0.50
K <sub>2</sub> O	1.75	1.15	3.88	6.25
H <sub>2</sub> O	3.48	4.08	5.00	3.49
Total(%)	99.33	99.52	99.40	99.87

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*: Total Fe

등으로 Fe가 소모되었기 때문으로 생각된다.

각 변질대에 있어서 구성광물의 산출상태 및 특성을 근거로 하여 본 광산에서 산출되는 광물들의 변화 및 형성과정을 Fig. 8에 도식화하여 나타내었다. 본 광산에 관여한 변질작용을 크게 세 가지의 단계로 구분하여 나타내었다. 그림에서 보이는 바와 같이 초기의 제 I 단계에서는 열수에 의한 모암중 성분의 용탈작용이 활발히 일어나서 장석 및 녹니석이 차츰 분해되기 시작할 것으로

생각된다. 이에 따라 견운모가 형성되어 그 양이 차츰 증가된 것으로 생각된다. 그다음 제 II 단계는 최고온도의 열수작용이 관여하여 주 도석화작용이 일어난 단계로서 다량의 견운모와 석영이 형성되고 또 소량의 백운모 및 파이로필라이트가 생성되었을 것이다. 그 이후의 제 III 단계는 열수의 온도가 낮아지며 앞 단계에서 광물의 분해 및 생성에 따라 열수용액의 성분이 변화된 것이 주변암과 반응하여 광물이 형성되는 단계이다. 여기서는 녹니석, 스�멕타이트, 로먼타이트 등이 형성된다. 강변질대에는 견운모, 엽납석 및 석영이 형성되어 있고 이들은 비교적 산용액에 강한 광물들이다. 모암에 포함된 녹니석은 상대적으로 산에 약하여 잘 분해되는 광물인데 이것이 강변질대에서는 나타나지 않는다. 이것으로 보아서는 강변질대에 작용한 열수는 산성의 용액이었을 것으로 추정된다. 이 용액이 암석과 반응함에 따라 용액의 성질이 변하여 점차 pH가 높아져서 그 이후 주변의 약변질대에 작용할 때는 알칼리성에 가까운 것으로 되어 로먼타이트 및 스�멕타이트가 침전될 수 있었던 것으로 생각된다.

## 결 언

보배도석광산에서 산출되는 광물의 산상 및 특성에 관한 금번의 연구결과는 대체적으로 다음과 같이 요약된다.

1. 본 도석광상은 백악기층인 유문석영안산암 내에 배태되어 있고, 이 유문석영안산암을 관입한 석영반암의 인접부에 도석화된 부분이 많은 것으로 보아 석영반암의 관입에 의한 열수작용으로 유문석영안산암이 변질되어 도석광상이 형성된 것으로 사료된다.

2. 본 광산에서 주 도석광은 주로 석영과 견운모이며, 소량의 엽납석과 백운모가 수반된다. 변질암석 내에서 국부적으로 스�멕타이트, 로먼타이트, 카오리나이트 등의 광물이 산출된다. 또 엽기성 암맥의 변질물로서 녹니석/스멕타이트 혼합층 광물로 산출된다. 특히 담홍색의 점토물질로서 스�멕타이트가 산출하는데 이는 바이델라이트에 해당된다.

3. 본 광상의 피상체의 암석에서 산출되는 광물들에 대한 광물조합을 검토한 결과 다음과 같이 크게 4가지의 변질대로서의 분대가 되며 이 순서에 따라 변질정도가 증가된다.

- A, 석영+장석+녹니석+(녹염석)
- B, 석영+장석+녹니석+견운모
- C, 석영+녹니석+견운모
- D, 석영+견운모

4. 본 도석광상의 도석화작용은 모암 내 성분의 용탈작용에 따라 장석과 녹니석이 분해되었고 이에 수반하여 견운모 및 석영의 생성이 일어났다. 강한 열수작용이 관여한 곳에는 견운모와 석영과 함께 엽납석과 백운모가 소량 수반된다. 스�멕타이트 및 로먼타이트 등의 광물은 주 도석화작용의 이후에 형성되었다.

사사: 본 연구는 한국과학재단에서 지원하는 1991년도 목적기초연구비에 의해 수행되었으며 이에 감사드린다. 그리고 광산조사시에 많은 협조를 해 준 보배광산의 이재만 사장을 비롯한 여러분들께도 감사드린다.

### 참고문헌

대한광업진흥공사 (1987) 비속금속광물특성조사 보고서(고령토, 납석편), 270~285.  
 대한광업진흥공사 (1988) 한국의 광상(비금속편).  
 대한광업진흥공사 (1988) 광상시추조사보고, 제11호.  
 장태우, 강필중, 박석환, 이동우, 황상구 (1983) 가덕도폭 및 설명서, 한국동력자원연구소  
 岩生周一 外 6人 (1985) 粘土の事典, 朝倉書店, 431~433.  
 Chen, P. Y. (1977) Table of key lines in X-ray powder diffractions of minerals in clays and associated rocks, Dept. Natr. Resour. Geol. Surv. Occasion. Paper 21, Authority of the State of Indiana, 1~67.  
 Choo, C. O. and Kim, S. J. (1992) Formation of illite in the natural  $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$  system in the hydrothermal clay deposit of the Bobae

mine, Korea. J. Miner. Soc. Korea, 5, 6~13.  
 Green-Kelly, R. (1955) Dehydration of montmorillonite minerals, Miner. Mag., 30, 604~615.  
 Kaji, S., Tateyama, H., Jinnai, K., Ishibashi, O., Kimura, K., Tsunematsu, K. and Isayama, Y. (1986) Clay minerals in the Amakusa Pottery stones and some features of their pottery clays. (I) Properties of sericite, J. Clay Sci. Soc. Japan (Nendo Kagaku), 26(1), 12~28 (in Japanese with English abstract).  
 Kim, S. J., Choo, C. O., Park, H. I. and Noh, J. H. (1991) Mineralogy and genesis of hydrothermal deposits in the south-eastern part of Korean Peninsular: (2) Bobae sericite deposits. J. Miner. Soc. Korea, 4, 129~140.  
 Miyaji, K. and Tsuzuki, Y. (1988) Hydrothermal alteration genetically related to the Mannen and Ubei pottery stone deposits in Tobe district, Ehime prefecture, J. Clay Sci. Soc. Japan (Nendo Kagaku), 28(4), 183~199 (in Japanese with English abstract).  
 Murata, K. J. and Norman, M. B. (1976) An index of cristallinity for quartz, Am. J. Sci., 276, 1120~1130.  
 Nakagawa, Z., Hamano, K., Takeshi, H. and Uno, Y. (1982) Constituent minerals and their mineralogical properties of Amakusa pottery stones, J. Clay Sci. Soc. Japan (Nendo Kagaku), 22(4), 179~191 (in Japanese with English abstract).  
 Oinuma, K., Shimoda, S. and Sudo, T. (1972) Triangular diagrams for surveying chemical compositions of chlorite. Jour. Toyo. Univ., General Education (Nat. Sci.), 15, 1~32.  
 Velde, B. (1965) Experimental determination of muscovite polymorph stabilities. Am. Miner., 50, 436~449.  
 Yoder, H. S. and Eugster, H. P. (1955) Synthetic and natural muscovites. Geochim. Cosmochim. Acta, 8, 225~280.