

경북 청송지역 도석광상에서 산출하는 점토광물

황진연*

Clay Minerals from the Pottery Stone Deposits in the Cheongsong Area, Kyeongbuk, Korea

Jin-Yeon Hwang*

Abstract: The pottery stone deposits of the Cheongsong area consist of abundant quartz with clay minerals such as mica/smectite interstratified mineral, tosudite, kaolinite and sericite. The occurrence and mineralogical properties of the clay minerals were investigated by X-ray diffraction method, chemical analysis, DTA and IR. The mineral transformation by hydrothermal alteration was also discussed.

Tosudite occurs in the Beopsoo pottery stone deposit, it seem to be Li-bearing tosudite. Mica/smectite interstratified minerals with less than about 20% expandable layers are commonly observed in the pottery stone deposits of the area. The mica/smectite interstratified minerals tend to increase the expandable layers as the progress of alteration. The pottery stones from this area seem to be altered from rhyolite or welded tuff by hydrothermal solution.

서 언

본 연구지역인 경북 청송군 일대에는 도석의 산출지로써 널리 알려져있다. 이 중에서 청송군 부동면에 위치하는 범수광상은 고려증엽부터 도자기의 원료로써 채굴되어온 유명한 도석광산중의 하나이다. 본 지역 도석광산의 광상조사는 광업진흥공사에 의한 보고서(1985, 1987, 1988)등이 있다. 그러나 이들 광산의 구성광물에 대한 상세한 연구는 되어있지 않다.

본 연구는 본 지역의 도석광상에 대해 지질조사를 행하고 도석 및 변질암석을 채취하여, 이들 시료를 주로 X-선 회절분석에 의해 광물종의 식별 및 광물조합을 검토하였다. 또 점토광물의 광물학적 성질에 대해서는 X-선 회절분석 뿐만 아니라 화학분석, 적외선분광분석 및 시차열분석 등을 행하여 검토하였다.

본 논문에서는 본 지역의 도석광상에서 산출하는 점토광물에 대한 그 산상, 광물공생관계 및 광물학적 성질을 검토하여 보고하였다. 그리고 이들 점토광물의 변화·변질에 관해서도 약간의 고찰을 하였다.

본 지역에는 범수광산을 포함하여 6개의 도석광상이 있다. 이들 중에는 등록된 광산명이 서로 중복되는 것이 있으므로 본 논문에서는 편의상 지명을 붙여 광산명으로 사용한다. 즉 본 지역에는 범수광산, 이진광산, 새골광산, 송천광산, 병암광산 및 부곡광산이 있다. 이들의 위치는 Fig. 1에 표시되어 있다.

범수광산은 현재 소규모의 채굴작업을 하고 있으나, 그 외의 5개광산은 폐광또는 휴광중에 있다. 그래서 범수광산을 제외하고는 갱내 및 광체에 대해 상세한 조사 및 시료 채취가 곤란하였다. 그래서 본 논문에서는 범수광산에 대해 주로 광물학적 연구를 수행하였고 다른 광산에 있어서는 이에대한 비교 검토를 행하였다.

실험방법

본 지역 도석광산에서 채취한 광석 및 암석시료를 원시료 및 점토에 대해 X-선 회절분석을 행하였다. 점토시료는 침강법에 의해 입경 $2\mu\text{m}$ 이하의 것으로 분리해서 실험했다. 이들 시료중에서 필요에 따라 정밀한 X-선 회절분석, 화학분석, 적외선 분광분석, 시차열분석 및 편광현미경 관찰등을 행하였다.

X-선 회절분석은 Rigaku사제 Geigerflex2301을 사용하여

* 부산대학교 (Department of Geology, College of Natural Sciences, Pusan National University, Pusan, 609-735, Korea.)

Cuk α 선으로 Ni필터를 넣어 측정하였다. 통상의 측정조건은 전압 30KV, 전류 15mA, slit $1^\circ-0.3\text{mm}-1^\circ$, 고니오메터 속도 $2^\circ/\text{mm}$ 로 행하였다. $d(060)$ 치등의 정밀측정은 전류 25mA로 높여 고니오메타속도 $0.5^\circ/\text{mm}$, 시정수 5sec로 행했다.

화학분석은 SiO_2 는 습식 중량분석으로 하였으며, 나머지 성분은 불화수소 및 과염소산수소로 용해시켜 원자흡광분광분석을 행하였다. 원자흡광분광분석기는 Shimadzu사제 model 670을 사용했다.

적외선분광분석은 Mattson사제 Polarix, FT-IR를 사용하여 KBr정제법으로 측정했다.

시차열분석은 Rigaku사제 시차열천칭을 사용하여 가열속도 $10^\circ\text{C}/\text{min}$, 전압 100mV로 측정했다.

지질 및 광상

본 지역의 지질에 대해서는 1 : 50,000의 청송도폭(1973)과 도평도폭(1973)이 있다. 이들 도폭을 주로 인용하여 작성한 지질도를 Fig. 1에 나타냈다. 본 지역에서는 주라기의

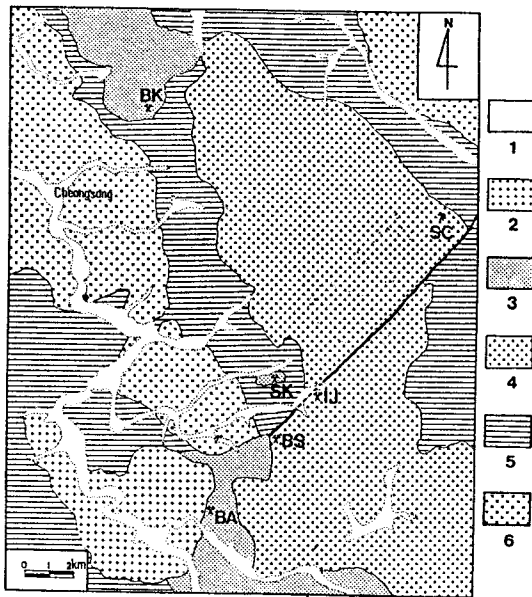


Fig. 1. Geologic map of Cheongsong area. 1; alluvium, 2; biotite granite, 3; rhyolite, 4; Juwangsan volcanics, 5; Cretaceous sedimentary rocks, 6; Cheongsong granite, BS; Beopsoo mine, IJ; Ijeon mine, SK; Sekol mine, SC; Songcheon mine, BK; Bukok mine, BA; Byeongam mine.

흑운모화강암인 청송화강암이 청송읍을 중심으로 북서방향으로 길게 분포되어있다. 이를 부정함으로 덮고 있는 백악기 경상계 퇴적암층이 넓게 분포한다. 이 퇴적암층은 알코스질사암, 적색사암, 녹색사암, 역질사암 및 셰일로 주로 구성되어 있다. 이들 하위층을 관입 및 분출하여 형성된 주왕산화산암류는 청송도폭에서 각력질안산암으로 기재되어 있으나, 이 암층은 안산암질에서 유문암질에 이르는 성분의 화산암과 화산쇄설성 퇴적암으로된 다양한 암석들로 구성되어 있다. 이 암층은 하나의 화산복합체로 생각된다. 청송도폭(1973)에 의하면 유문암은 주왕산화산암류와는 점이적인 암상의 변화를 나타내므로 거의 동시기에 형성된 동일 기원암일 것으로 기재하였다. 유문암은 백악기퇴적암층과는 관입관계를 나타낸다. 백악기의 흑운모화강암은 본 지역 남부에 소규모로 분포하고 있다.

본 지역의 도석광상은 모두 주왕산화산암류 및 유문암층에 배대되어 있어 이들이 광상의 모암인 것으로 생각된다. 법수광상의 모암은 주왕산화산암류에 속하는 용결응회암으로 되어있다. 이 암석은 육안으로 용결에 의한 피아메구조와 작은 각력들이 잘 관찰되고, 현미경하에서도 작은 암편들이 많이 관찰되며 석기에는 미정질의 용결조직이 보인다 (Fig. 10). 이 암석에 포함된 암편은 거의 대부분 동일기원암의 암편으로 되어있다. 이 암석의 화학성분은 SiO_2 가 약 65%(Table 1)이며, 현미경 관찰이나 X-선회절분석으로도 석영이 상당량 검출된다. 그래서 이 법수광상의 모암은 석영안산암질 용결응회암인 것으로 생각된다. 이전광산도 광체 및 그 주변이 법수광상과 같이 용결응회암으로 되어있다. 송천광상도 주왕산화산암류중에 배대되어 있는데 광산 주변의 암석은 주로 세립질의 유문암 및 유문암질응회암으로 되어있다. 부곡광상, 새골광상 및 병암광상은 모두 유문암이 변질되어 도석광을 형성하고 있다. 지질도에서 나타낸것과 같이 북동방향으로 큰 단층이 발달되어 있다. 본 지역의 4개의 광상이 이 단층선의 부근에 분포되어 있다. 이것은 광상형성과 단층과의 관계가 있음을 시사한다.

점토광물의 산상 및 광물학적 성질

법수광상

1) 광물종 및 광물학적 성질

법수광상의 광석 및 변질암석중에는 운모/스멕타이트 혼합층광물, 녹니석/스멕타이트혼합층광물, 카올리나이트, 녹니석, 견운모, 석영 및 장석등의 광물이 주로 산출된다. 품위가 높은 광석중에는 녹니석/스멕타이트혼합층

Table 1. Chemical composition of clay fraction and bulk samples from Beopsoo mine.

	A	B-1	B-2	B-3
SiO ₂	60.02	88.28	77.32	65.57
Al ₂ O ₃	25.60	5.80	11.78	15.20
Fe ₂ O ₃	1.83	2.16	4.69	5.24
MgO	0.02	0.01	0.16	1.00
CaO	0.01	0.08	0.49	2.59
Na ₂ O	0.10	0.12	0.20	4.59
K ₂ O	1.26	0.27	2.54	2.21
Li ₂ O	0.29			
H ₂ O(+)	7.80	2.88	2.69	2.40
H ₂ O(-)	3.62	0.20	0.22	0.39
Total	100.01%	99.80	100.09	99.19

A ; tosudite-bearing specimen(-2 μm)
 B-1 ; strongly altered rock(pottery stone)
 B-2 ; moderately altered rock
 B-3 ; unaltered rock(welded tuff)

광물, 카올리나이트 및 운모 / 스멕타이트혼합층광물의 함량이 많다.

채굴광도의 막장에서 채취한 도석광의 시료중에는 카올리나이트, 혼합층점토광물 및 석영으로 구성되어 있다 (Fig. 2와 Fig. 7의 A). 여기서 카올리나이트는 X-선회절선이 예리하고 회절선의 분리가 양호하여 결정도가 높은 것으로 생각된다. 또 이 카올리나이트는 3.79Å과 3.43Å의 회절선이 명료히 관찰되고 Bailey(1963)의 자료와 비교해보면 kaolinite보다 dickite에 가까운 회절선을 나타낸다. 이 도석광석을 입경 2μm이하의 점토로 분리하여 실험한 각종처리후의 X-선회절선을 Fig. 2에 나타냈다. 여기서 자연상태에 11.5Å의 회절선은 에틸렌리콜 처리후에는 11.9Å과 9.6Å으로 이동하고, 500°C에서 1시간 가열처리하면 10.2Å으로 이동되므로 이것은 운모 / 스멕타이트혼합층광물인 것으로 생각된다. 또, 자연상태에서 31Å의 장주기 반사와 14.5Å, 7.3Å 및 4.97Å등의 거의 규칙적인 회절선이 나타나고 있다. 이들은 에틸렌글리콜처리후 32.7Å, 15.7Å, 7.69Å 및 5.18Å의 회절선으로 팽창한다. 이중에서 14.5Å의 큰회절선은 200°C 가열시에 14.2Å으로 이동하고 500°C가열처리에는 11.9Å까지 수축하며, 700°C가열후에는 그 회절선이 거의 소실된다. 또 이광물의 d(060)치는 1.49Å으로 측정되었다. 이상과 같은 X-선적성질로 보아 이광물은 dioctahedral형의 규칙형 녹니석 / 스멕타이트혼합층광물로 생각된다. 이 점토분리시료의 화학분석치는 Table 1(A)에 있다. 이 시료의 화학성분을 보면 Mg가 거의 없을 정도로

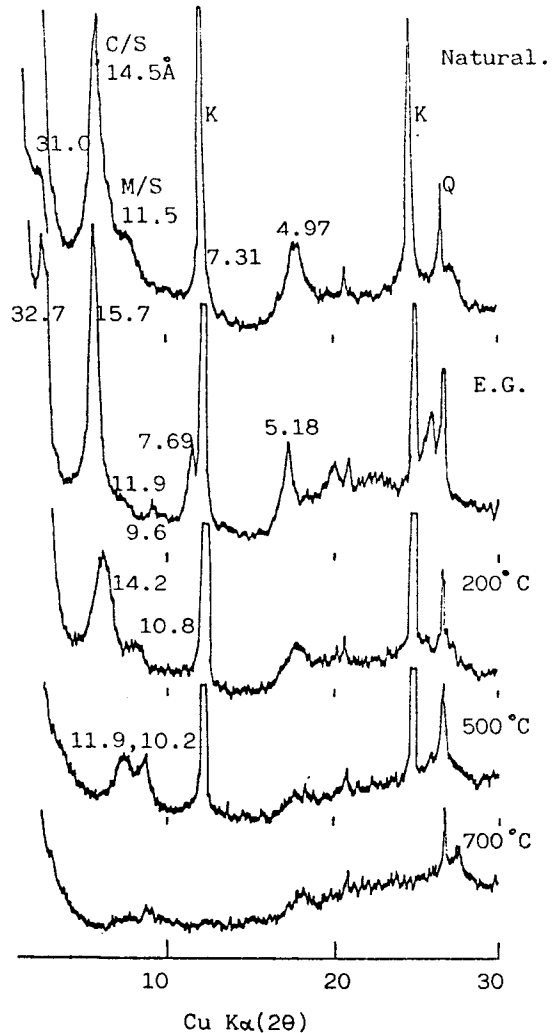


Fig. 2. X-ray diffraction patterns of the clay fraction in Beopsoo pottery stone after various treatments. E.G. ; Ethylene glycol, C/S ; chlorite/smectite interstratified mineral(tosudite), M/S ; mica/smectite interstratified mineral, K ; Kaolinite, Q ; quartz.

함량이 아주적고 Al의 함량이 많이 포함되어 있다. 이것으로 보아 이시료중에 다량으로 포함되어 있는 녹니석 / 스멕타이트혼합층광물은 팔면체 sheet에 주로 Al로 구성된 Al형 녹니석이 조합된 것으로 볼 수 있다. 그래서 이 혼합층광물은 tosudite일 것으로 생각된다. 또 이 시료의 화학조성에는 Li이 상당량 포함되어 있다. 이것은 일본의 도석광상에서 산출이 보고된 Li함유 tosudite와 유사한 것으로 생각된다(Nishiyama et al. 1975 ; Ichikawa and Shimoda, 1976 ;

Shimoda et al., 1980).

Fig. 3(A)에는 이점토시료의 시차열분석곡선을 나타냈다. 68°C와 190°C의 흡열반응 피크는 흡착수 및 혼합층광물의 스멕타이트층의 층간수의 탈수에 의한 것으로 생각된다. 965°C의 발열반응은 카올리나이트의 mullite로의 전이 및 tosudite의 재결정에 의한 것으로 생각된다. 500°C-550°C사이의 비대칭적 흡열반응피크는 카올리나이트와 tosudite의 OH기의 탈수에 의한 것으로 생각된다. 이 흡열 피크로 보아 tosudite의 규산염층의 OH기와 gibbsite층의 OH기의 탈수가 거의 같은 온도에서 일어나는 것으로 생각된다. 이러한 열적성질은 일본의 도석광상에 산출되는 Li 함유 tosudite(Nishiyama et al., 1975)의 것과 유사하다.

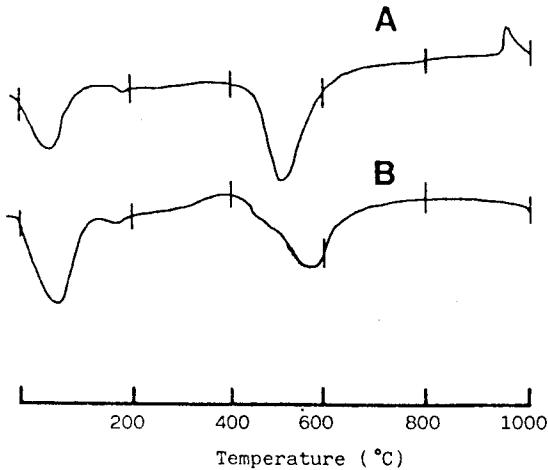


Fig. 3. DATA curves of the clay fractions from Beopsoo deposit. A ; tosudite-bearing specimen(Fig. 2), B ; mica/smectite minterstratified mineral specimen(Fig. 5).

이 시료의 적외선분광분석에 의한 흡수선을 Fig. 4에 표시하였다. 여기서 Li함유 tosudite에 나타나는 3625, 3470, 1625, 1075, 1030, 937, 750, 533 및 472 cm^{-1} 의 흡수띠가 관찰된다(Shimoda et al., 1980). 그외의 흡수띠는 이 시료중에 포함된 카올리나이트와 석영등에 의한 것이다. 1390 cm^{-1} 에 나타나는 작은 흡수띠는 NH_4^+ 에 의한 것으로 생각된다. NH_4^+ 를 포함하는 운모점토광물에 대한 많은 보고가 있으므로(Kawano and Tomita, 1988), 이것은 본시료중에 포함되는 운모/스멕타이트 혼합층광물에 의한 것으로 생각된다.

본 광상의 광석 및 변질된 암석중에는 운모/스멕타이트 혼합층광물이 다량으로 산출된다. Fig. 5에는 이 혼합층광



Fig. 4. Infrared absorption spectrum of the tosudite-bearing specimen.

물의 한 점토시료의 X-선회절선을 나타내고 있다. 자연상태에서 11.33, 5.05Å 등의 회절선이 에칠렌글리콜처리시에 12.27, 9.70 및 5.15Å으로 이동한다. 500°C, 1시간 가열처리 후에는 거의 운모에 가까운 10.1Å의 회절선으로 수축한다. 이 운모/스멕타이트혼합층 광물의 층격자의 구성성분을 검토하기 위해 Watanabe(1981)에 의한 도표를 이용했다. Fig. 7에 나타낸 이 도표의 $\Delta 2\theta_1$ 은 에칠렌글리콜처리후의 15-11Å부근의 회절선과 9Å부근의 회절선과의 2θ 의 각도차를 나타낸다. $\Delta 2\theta_2$ 는 9Å부근의 회절선과 약 5Å의 회절선과의 각도차를 나타낸다. 이 도표에 의하면 Fig. 5의 운모/스멕타이트 혼합층광물은 Reichweite=2에 해당되는 것으로 운모층성분이 약 83%이고 스멕타이트층성분이 약 17%인 것이다. 이 시료의 시차열분석곡선(Fig. 3-B)을 보면 OH기의 탈수에 의한 흡열반응피크가 570°C부근에 크게 1개로 나타난다. Shimoda et al.(1969)에 의하면 운모/스멕타이트혼합층광물은 500-700°C사이에 1개 및 2개의 흡열반응이 나타나는 2종류가 있다고 보고했다. 이 중에서 1개를 나타내는 것은 운모에서 스멕타이트로 변하는 과정에서 형성된 혼합층광물일 것으로 추정했다. 범수광상에서 산출되는 많은 운모/스멕타이트혼합층광물에 대해서 Fig. 7과 같이 표시하여 나타냈다. 그림에서 보는 바와같이 본 광상에는 Reichweite=2이상이고 운모층성분이 약 80% 이상의 운모/스멕타이트 혼합층광물에서 건운모에 이르는 운모점토광물로 되어 있다.

본 논문에서는 건운모와 운모층성분이 아주 많은 운모/스멕타이트혼합층광물을 포함하여 운모점토광물로 칭한다. 여기서 에칠렌글리콜 처리에 팽창하지 않는 운모점토광물을 건운모로 취급한다.

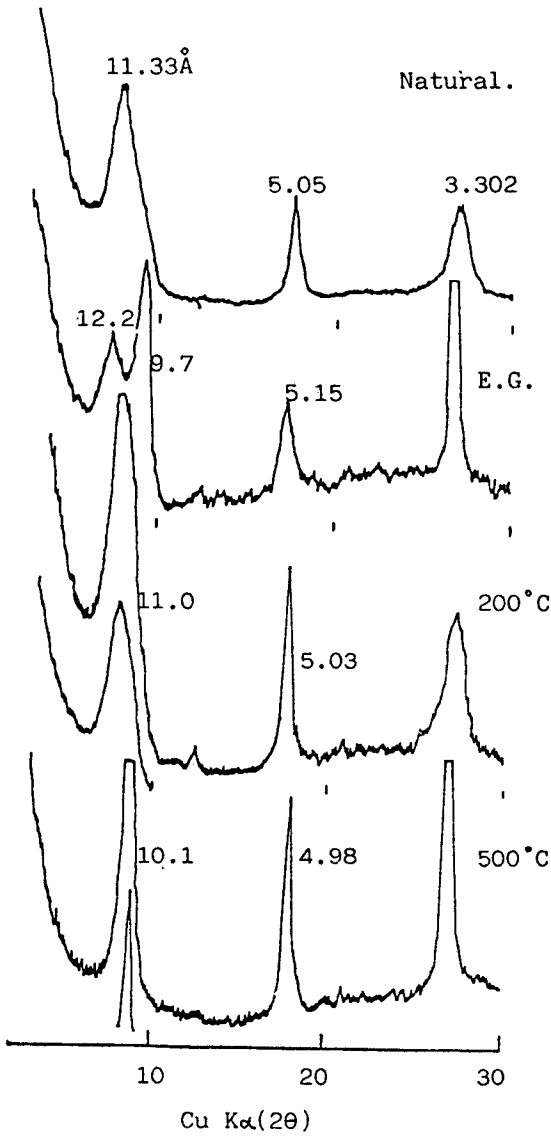


Fig. 5. X-ray diffraction patterns of mica/smectite interstratified mineral from Beopsoo mine after various treatments.

2) 광물조합 및 산상

범수광상의 광석 및 암석중에는 크게 5종류의 광물조합이 많이 나타난다. 이들 각조합의 대표적 시료의 X-선회절선은 Fig.6에 있다. 이것은 원시료의 X-선회절선을 나타내고 있으나, 점토광물의 식별은 입경 $2\mu\text{m}$ 이하의 입자 분리후 각종처리에 의해 행하였다. 광물조합 A는 카올리나이트, 녹니석/스멕타이트혼합층 광물(tosudite), 운모/스멕타이트혼합층광물 및 석영으로 되고, 광물조합 B는

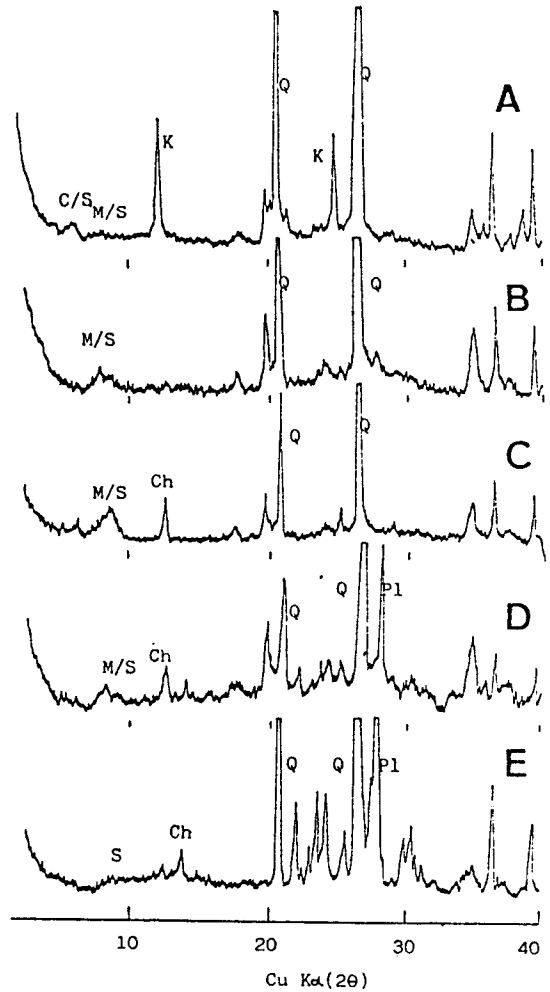


Fig. 6. X-ray diffraction patterns of altered rocks in the Beopsoo mine. C/S; chlorite/smectite interstratified mineral(tosudite), M/S; mica/smectite interstratified mineral, K; kaolinite, Ch; chlorite, S; sericite, Q; quartz, Pl; plagioclase.

운모/스멕타이트혼합층광물과 석영으로 구성되며, 광물조합 C는 운모/스멕타이트혼합층광물, 녹니석 및 석영이며, 광물조합 D는 운모/스멕타이트혼합층광물, 녹니석, 사장석(주로 albite) 및 석영으로 되며, 광물조합 E는 견운모, 녹니석, 사장석(주로 albite) 및 석영으로 되어있다. 광물조합 A 및 B의 것은 광석으로 주로 채굴하는 것이며 광물조합 E는 모암에 가까운 것으로 변질이 덜된 암석중에 나타난다.

Fig.8에는 채굴갱도에서 채취한 암석시료의 채취지점 및

그 광물조합별 분포를 나타낸다. 그림에서 보듯이 막장부근에는 광물조합 A가 나타나고, 막장에서 멀어질수록 광물조합 B, C, D, E가 순서대로 나타나고 있다. 변질된 암석 중에도 모암과 같은 각력 및 용결구조가 관찰되는데 모암에 가까운 갱구쪽의 암석에서 막장으로 갈수록 모암의 구조의 흔적이 희미해지고 암석의 색깔도 녹회색→담록색→백색으로 점이적으로 변화되고 있는 것이 관찰된다. 이것으로 보아 모암이 점이적으로 변질되어 그 변질정도가 커질수록 E→D→C→B→A의 광물조합으로 변화된 것으로 생각된다. 광물조합 E의 암석중에는 국부적으로 소량의 방해석이 산출되기도 한다. 이러한 광물조합의 변화를 토대로 변질에 따른 광물의 공생관계를 도식화하여 보면 Fig. 9과 같다. 이와같이 변질작용의 진행에 따라 광물의 변화, 변질이 점이적으로 일어난것으로 생각된다.

본 광산의 운모 / 스펙타이트혼합층광물은 거의 모든 암석중에 산출되고있다. 각광물조합별 암석중에 포함된 이들 혼합층광물의 층구성성분을 비교해보면 Fig. 7과 같이 변질

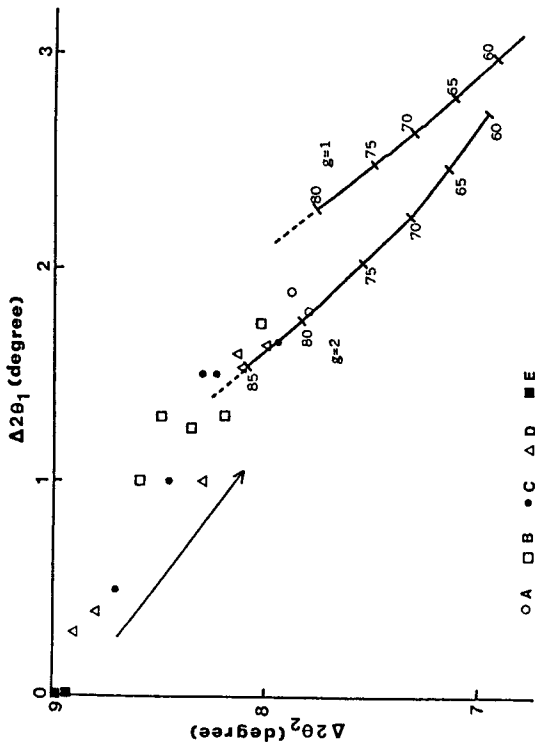


Fig. 7. Plots of mica/smectite interstratified minerals from the Beopsoo mine area, on the diagram proposed by Watanabe(1981). g means Reichweite, and the numbers along the curves show percentages of mica layer.

정도가 큰 광물조합 A 쪽으로 갈수록 운모층성분이 감소하고 스펙타이트층성분이 증가하는 경향이 보인다.

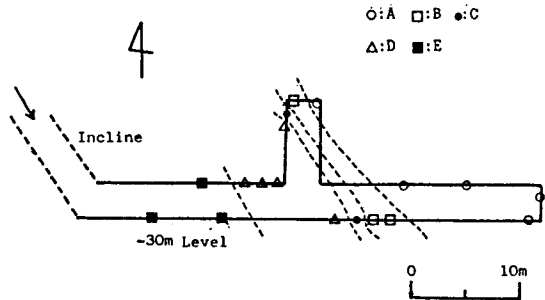


Fig. 8. Distribution of the types of mineral assemblages in the level of Beopsoo mine.

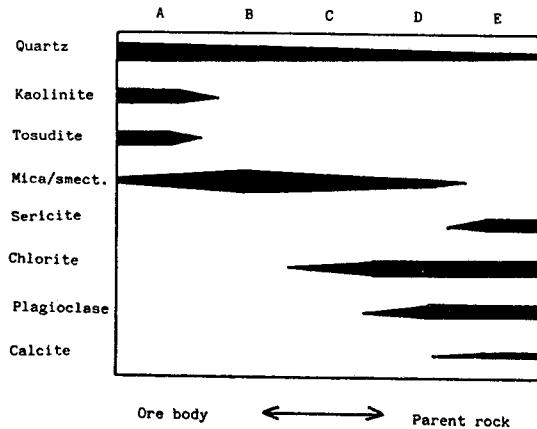


Fig. 9. Mineral paragenesis of the Beopsoo pottery stone deposit.

변질정도에 따른 화학성분의 변화를 검토하기 위해 광물조합 A, B 및 E에 해당되는 암석시료 (각각 B-1, B-2, B-3)의 화학성분을 Table 1에 비교해서 나타냈다. 변질이 거의 되지않은 암석에 비해 변질정도가 큰 암석일수록 SiO₂를 제외한 다른 성분들의 함량이 점차 감소되고 있다. 이것은 열수용액에 의해 이들의 모암구성성분이 용탈된 것으로 생각된다. SiO₂의 양은 상대적으로 증가되는데 이것은 잘 변질되지 않는 석영이 그대로 남아있고, 또는 일부의 실리카가 침전되었기 때문으로 생각된다.

편광현미경 관찰에 의하면(Fig.10), 도석화가 된 광석에는 모암에 비해 균질한 작은 결정들로 구성되어 있다. 이 결정들은 주로 석영 및 점토광물로 구성된다. 또 모암의 본래 조직은 도석중에서는 거의 보이지 않는다.

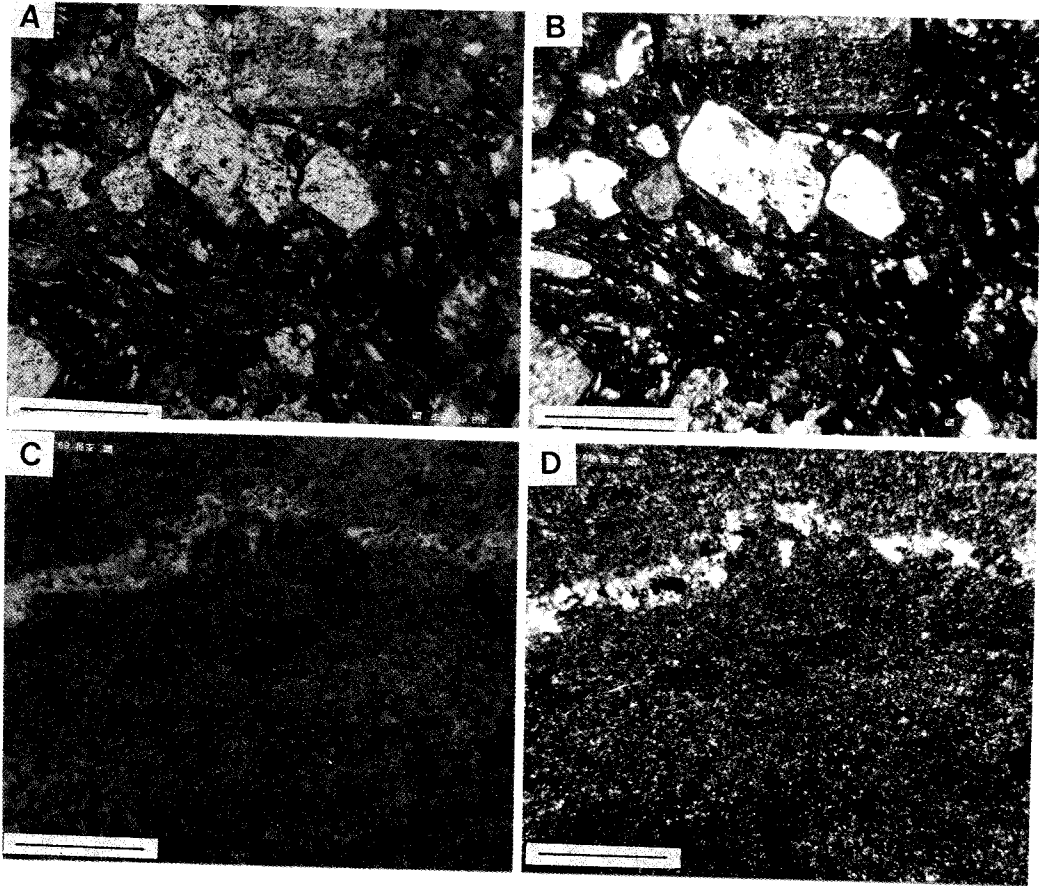


Fig. 10. Photomicrographs of thin sections. A, B; unaltered welded tuff, open nicol(A), crossed nicols(B). C, D; pottery stone of Beopsoo mine, open nicol(C), crossed nicols(D). Scale bars indicate 0.5mm.

그외의 도석광상

범수광산 이외의 도석광상은 현재 휴광 및 폐광중으로 갱구가 폐쇄되어 있어 상세한 조사가 되지 못했다. 그래서 지표에 노출된 암체와 전석광석등에 대해 조사하여 구성광물을 검토했다. 이들 광산에 있어서 광석으로 생각되는 시료의 X선회절선을 Fig. 11에 나타냈다. 광석중의 주된 점토광물은 모두 운모점토광물이다. 이들 운모점토광물에 대한 X선적 성질 및 화학성분은 Table 2와 같다.

이전광상은 시료는 10.4Å의 회절선이 에칠렌글리콜 처리 후에는 팽창하여 10.7Å과 10.0Å으로 회절선이 분리된다. 이것으로 보아 약간의 스�멕타이트층성분을 가지는 운모 / 스�멕타이트혼합층광물인 것으로 생각된다. 이 암석중에는

사장석이 다량 수반되어 산출된다. 이 광산의 모양이 범수광산과 동일하며, 위치상으로도 가깝기 때문에 범수광산의 광물의 변화와 연관하여 생각한다면 이광석은 변질정도가 낮은 광물조합 D에 해당되는 것으로 생각된다. 이 광석에는 사장석과 녹니석이 많이 함유되어 있어 품위가 아주 나쁜것으로 생각된다.

새골광상의 시료는 10.6Å의 회절선이 에칠렌글리콜 처리에 11.0 및 9.8Å으로 이동되는 운모 / 스�멕타이트혼합층광물로 주로 되어있다. 스�멕타이트 층성분이 10%이내의 것으로 생각된다. 이 광산의 전석광석중에는 운모 / 스�멕타이트혼합층광물과 함께 녹니석 / 스�멕타이트혼합층광물과 카올리나이트가 소량으로 수반되는 것도 관찰된다. 이런 광석중에는 장석이 수반되지 않는다.

송천광산에서 d(001)이 10.1Å의 운모점토광물은 에칠렌

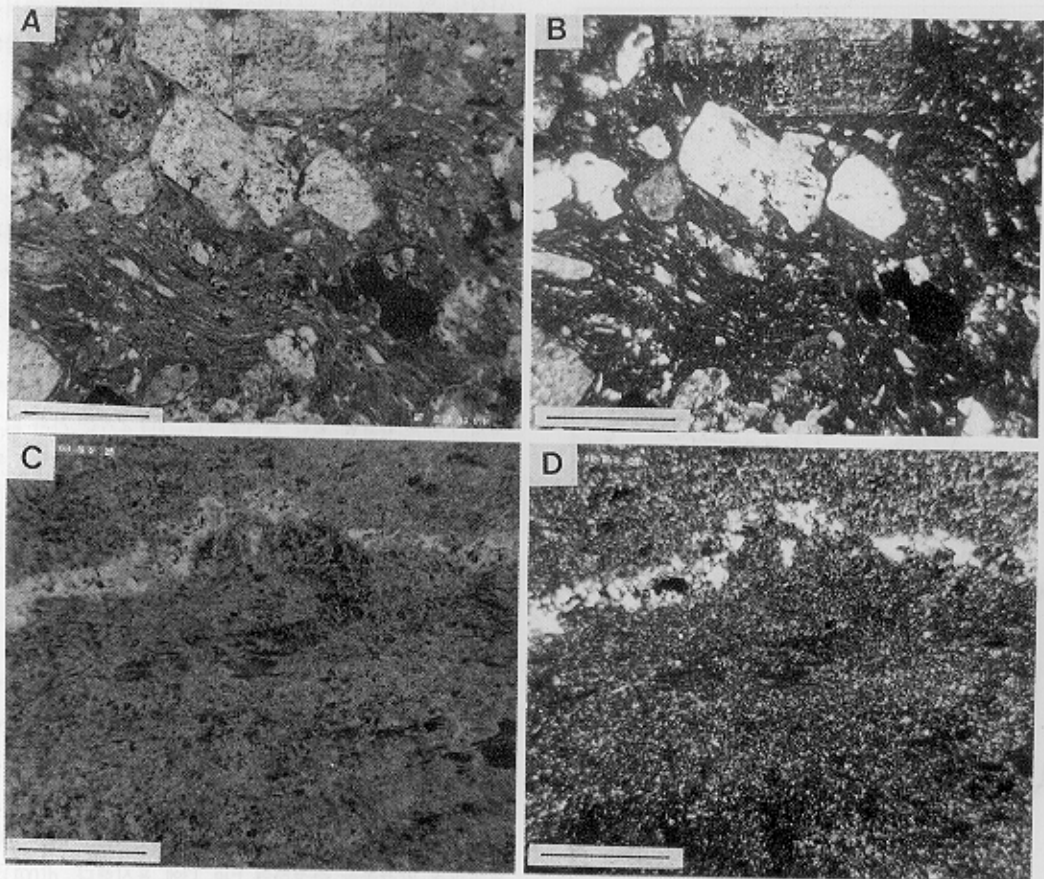


Fig. 10. Photomicrographs of thin sections. A B: unaltered metal; C: 66

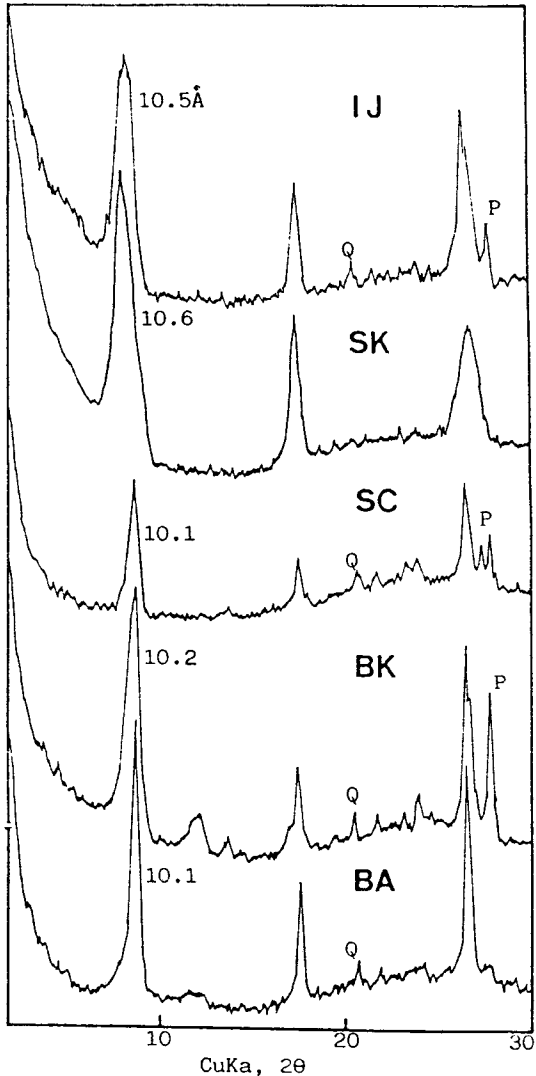


Fig. 11. X-ray diffraction patterns of mica clay minerals in the pottery stone deposits. IJ ; Ijeon mine, SK ; Sekol mine, SC ; Songcheon mine, BK ; Bukok mine, BA ; Byeongam mine.

글리콜처리에서 거의 팽윤하지 않으므로 혼합층구조를 포함하지 않은 소위 건운모라 할 수 있다. 이(001)의 회절선의 반가폭도 다른 운모점토광물에 비해 작아 비교적 결정도도 높고 입경도 큰 것으로 생각된다. 이 광석중에는 모암에 포함된 것과 같은 성분의 장석이 다량으로 수반되어 장석의 분해까지는 변질이 진행되지 않는 것으로 생각된다. 이 광산에서 1km쯤 떨어진 송천마을 입구 노두에 소규모의 납석질 암석이 발견되었다. 이 암석에는 pyrophyllite, 카올리

나이트 및 석영으로 구성되어 있다. 이 부근에 대해서는 광산개발 측면에서 상세한 조사가 필요할 것으로 생각된다.

부곡광산은 광구등록은 되어있으나 아직 거의 채굴되지 않는 상태로 있다. 이 광산의 변질된 유문암중에 나타나는 10.2Å의 운모점토광물은 에칠렌글리콜처리에 거의 이동되지 않는다. 이 시료에는 풍화변질에 의한 것으로 생각되는 회절선이 폭넓은 카올리나이트가 소량 포함된다. 이 암석에는 장석이 많이 포함되어 있다. 변질된 암석일수록 운모점토광물의 함량이 많고 장석의 양이 적어진다. 변질이 거의 되지 않는 유문암 중에는 카리장석과 사장석(albite)이 산출되는데 변질을 받은 암석중에는 카리장석은 거의 없고 사장석이 수반된다. 이것은 먼저 카리장석이 견운모로 변화된 결과로 생각된다.

병암광산의 운모점토광물은 에칠렌글리콜처리에 팽창하지 않고(001)의 반가폭이 대단히 작다. 이 광석에서는 장석이 극소량으로만 수반된다. 즉 장석이 거의 분해될 정도로 변질이 진행된 것으로 생각된다. 지금까지 기술된 운모점토광물들은 모두 거의 1M운모의 polytype으로 구성되어 있으나, 이 병암광산시료에는 Fig. 12에 나타난 것과 같이 2M의 회절선이 뚜렷이 관찰되어 1M운모와 함께 상당량의 2M운모를 포함하는 것으로 생각된다.

각 광산에서 산출되는 운모점토광물의 d(001)치와 (001) 회절선의 반가폭을 측정하여 Fig. 13에 표시했다. d(001)치가 작을수록 반가폭이 커지는 경향이 보인다. 이것은 팽윤층의 성분이 많아질수록 결정도가 낮아지고 입자가 미립화되는 것으로 생각된다. 범수광산의 것을 볼 때 변질의 정도가 클수록 운모점토광물의 d(001)치가 작아지고 그 반가폭은 커지고 있다. 이 중에서 병암광산의 것이 반가폭이 가장 작다. 그 외의 유문암이 모암인 송천광산, 부곡광산의 것이 반가폭이 작고 d(001)치가 크다.

도석광장에서 운모점토광물로 주로 되어 있는 점토시료에 대해 화학성분을 검토해 보았다. 이들 시료중에는 석영과 albite 등의 광물이 소량으로 포함되어 있다. 그러나 이들 불순물에 거의 영향이 없다고 생각되는 Fe, Mg 및 K에 의해 운모점토광물의 화학성분을 비교 검토했다. Fig. 14에는 d(060)치와 화학성분과의 관계를 나타냈다. 여기에 표시된 시료는 모두 K₂O가 5.2-5.6% 정도로 상당량 포함되어 있다. 이들 운모점토광물중에 Mg와 Fe의 함량이 많을수록 d(060)치가 증가하는 경향이 보인다. 이것은 octahedral sheet에 Mg와 Fe가 많아지면 d(060)치가 커지는 것으로 보인다. 이 중에서 병암광산의 시료는 d(060)치가 제일 작

Table. 2. X-ray data and chemical composition of mica clay minerals in the pottery stone deposits.

Sample No.	X-ray data			Chemical composition						Impurities
	Å d(001)	Half-width (001), 2θ	Å d(060)	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	
BS-1	11.33	1.20	1.5017	23.45	5.05	0.15	0.75	0.87	5.25	Qtz
BS-2	10.91	1.15	1.5014	23.61	6.94	0.11	0.69	0.34	5.45	Qtz
IJ-1	10.53	1.05	1.5029	24.31	6.07	0.28	0.48	1.31	5.63	Qtz, Ab
SK-1	10.65	0.95	1.5010	26.29	5.45	0.17	0.72	0.83	5.62	Qtz
SK-2	10.40	0.65	1.4986	25.47	4.08	0.06	0.14	0.78	5.41	Qtz
SC-1	10.17	0.50	1.5014							Qtz, Ab
SC-2	10.19	0.45	1.5037							Qtz, Ab
BK-1	10.28	0.70	1.5021							Qtz, Ab, K
BA-1	10.16	0.40	1.4984	27.55	3.47	0.02	0.67	1.68	5.52	Qtz, Ab

BS ; Beopsoo mine, IJ ; Ijeon mine, SK ; Sekol mine, SC ; Songcheon mine, BK ; Bukok mine, BA ; Byeongam mine, Qtz ; quartz, Ab ; albite, K ; kaolinite.

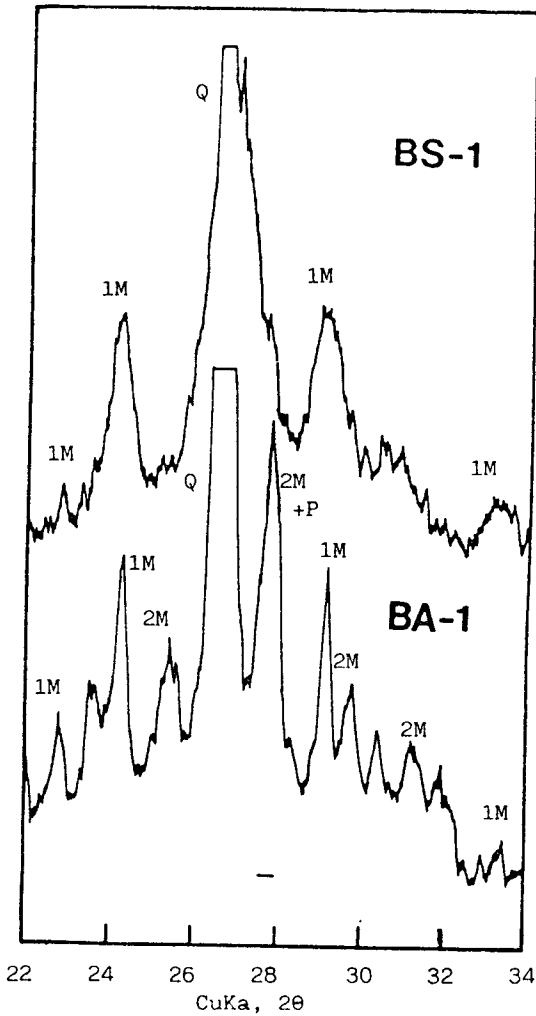


Fig. 12. X-ray diffraction patterns of mica clay minerals from Beopsoo mine(BS-1)and Byeongam mine(BA-1).

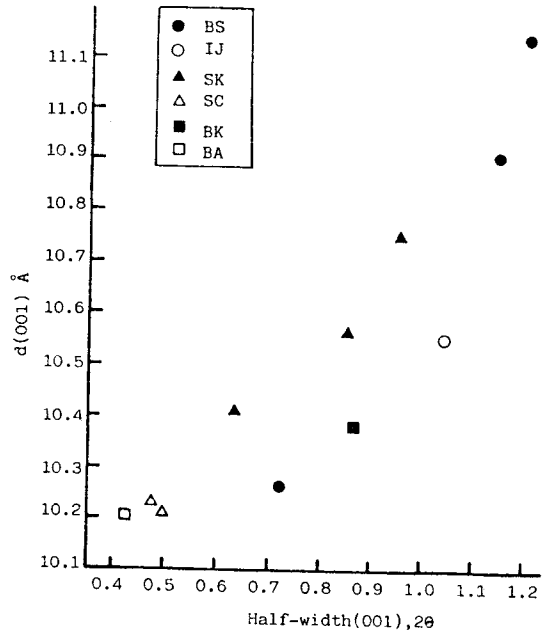


Fig. 13. Relation between d(001) and half-width(001) of mica clay minerals. BS ; Beopsoo mine, IJ ; Ijeon mine, SK ; Sekol mine, SC ; Songcheon mine, BK ; Bukok mine, BA ; Byeongam mine.

고 Mg와 Fe의 양도 가장 적다. 이 시료는 Mg와 Fe가 적은 대신에 Al의 함량이 다른 시료보다 많다. 그래서 octahedral sheet에 상대적으로 Al이 많이 들어있는 것으로 생각된다. 이들의 모든 운모점토광물시료는 d(060)이 1.49-1.50Å이고 2가 양이온의 함유량이 아주적어 모두 dioctahedral운모이다.

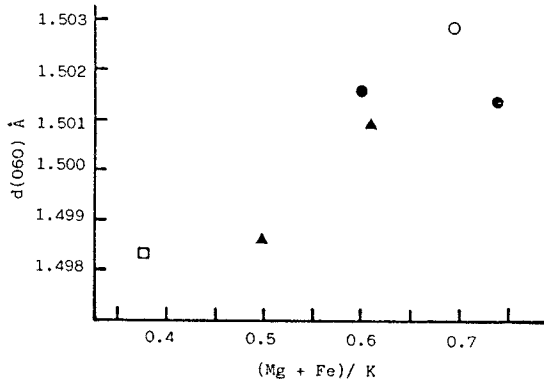


Fig. 14. Relation between $d(060)$ and $(Mg+Fe)/K$ mole ratio of mica clay minerals. Symbols are the same as used in Fig. 13.

점토광물의 형성에 관한 고찰

본 지역의 도석광상은 용결응회암 및 유문암을 모암으로 하는 열수변질광상으로 생각된다. 이들 모암중에는 석영과 장석(albite에 가까운 사장석과 소량의 카리장석)이 주로 포함되어 있고, 소량의 운모광물 및 녹니석등이 수반된다. 도석화된 광석에는 주로 석영과 운모점토광물로 구성되어 있다. 이러한 모암과 도석의 광물성분의 차이 및 산상등으로 미루어 볼때 본지역 도석광상의 변질작용은 장석의 분해 및 운모점토광물의 형성으로 특징지어진다. 또 변질을 많이 받은 암석일수록 장석의 함량이 감소되는 경향이 보인다. 그래서 본지역 변질 암석중의 장석의 함량을 보아서도 변질의 정도와 도석의 품위를 대략적으로 추정할 수 있을 것으로 생각된다.

범수광산에 있어서는 앞에서 검토한것과 같이 변질정도에 따라 구성광물성분, 화학조성 및 암석색깔등이 점이적으로 변화되고 있다. 이것은 열수용액이 모암과 반응하여 광물의 변화·변질이 점진적으로 일어난 것으로 생각된다. 도석화가 잘 된 암석일수록 Si를 제외한 다른 화학성분들은 감소되어 나타난다. 이렇게 감소되는 성분은 열수용액이 반응하여 모암중의 양이온들이 용탈되어 나왔기 때문으로 생각된다. 이러한 용탈작용이 진행되어 기존광물이 점차 분해되며 그 공극중에 조건에 부합되는 새로운 광물이 형성되어 구성광물성분의 변화가 일어난 것으로 생각된다. 화학조성의 변화에 있어서 K에 비해 Na의 감소가 더 빨리

일어나는데, 이것은 사장석의 용해에 의한 Na이 새로운 광물형성에 도움을 주지 못하고 대부분 용액상태로 제거되고, 카리장석등에서 용탈되어 나온 K는 일부가 운모점토광물의 층간에 고정되었기 때문에 생각된다.

또 범수광산에서는 운모층성분이 약 80%이상인 운모/스멕타이트혼합층광물이 많이 산출되며, 변질정도가 큰 곳일수록 이 운모/스멕타이트혼합층광물의 운모층성분이 감소하고 스멕타이트층성분이 많아지는 경향이 나타난다. 이러한 변화과정은 속성변질작용 및 일본 쿠로코광산주변의 열수변질작용에 의한 운모/스멕타이트혼합층광물의 변화와는 다르다. 즉, 이들지역에서는 생성온도의 상승과 함께 스멕타이트에서부터 운모층성분이 증가하는 방향으로 운모/스멕타이트혼합층광물이 형성된다고 한다 (Perry and Hower, 1970; Inoue and Utada, 1983). 본광상에서는 운모층성분이 80%이상인 혼합층광물 밖에 산출되지 않아 전체적인 변화과정을 논하기는 어렵다. 그러나 지금까지의 검토결과로는 견운모에서 운모/스멕타이트혼합층광물로 변질작용이 진행되었다고 볼 수 있다. 이러한 변화는 풍화작용에서 일반적으로 나타나는 degradation의 변질과정과 유사하다(Sudo, 1974). 이상의 것으로 보아 본광상의 이러한 변질양상은 온도에 의한 것만으로 설명하기는 어려운 것으로 보인다. 그래서 열수 및 모암의 화학조건과 반응속도 등의 여러요인이 함께 고려되어야 될 것으로 생각된다.

범수광산에 있어서 변질이 많이 진행된 도석광중에는 dickite, tosudite, 운모/스멕타이트혼합층광물이 산출되고 석영의 함량이 많다. Gruner(1944)의 실험에 의하면 dickite는 산성의 열수용액에서 잘 형성되는 것으로 알려져있다. 또 본광상에는 산용액에 비교적 잘 분해되는 녹니석과 방해석이 모암중에는 산출되나 변질된 암석중에는 거의 나타나지 않는다. 운모점토광물에 비하여 녹니석이 산성용액중에 이온의 용탈속도가 더 빠르고 불안정하다는 Hwang(1988)의 보고가 있다. 또 도석화가 진행됨에 따라 열수용액의 pH가 낮아진다는 Miyaji and Tsuzuki(1988)의 보고도 있다. 이상과 같은 내용을 종합하여 생각해보면 본광상의 도석화작용에 관여한 열수용액은 주로 산성이었을 것으로 추정된다. 산성의 열수용액이 모암과 작용하여 많은 이온의 용탈이 진행되어 광물의 분해 및 새로운 광물의 형성이 점차 일어나서 변질대가 형성된것으로 생각된다.

이전광상은 범수광상과는 같은 모암으로 되어 있고, 운모점토광물의 광물학적 성질도 유사하다. 또 두광상의 위치도 비교적 가깝다. 그래서 이전광상은 범수광상과 거의 동일기원의 열수에 의해 변질된 것으로 생각된다. 본 지역

의 각광산별 운모점토광물을 비교해보면 용결응회암을 모암으로 하는 범수광상과 이전광산은 팽창층을 포함하는 운모/스멕타이트혼합층광물이 많이 산출되나, 유문암 질암을 모암으로 하는 병암광상, 송천광상, 부곡광상에서는 대체적으로 팽창층이 거의 없는 운모점토광물이 많이 산출된다. 이것은 변질정도의 차이에 의한 것일수도 있으나 모암성분의 차이에 의한 것으로도 볼 수 있을지 모른다. 병암광상의 도석은 타광산의 것과는 달리 2M의 운모점토광물을 많이 포함하고 있고, 그 화학적, 결정학적 성질도 약간 다르게 나타났다. 일반적으로 1M운모에 비해 2M이 더 고온에서 형성되는 것으로 알려져 있다(Yoder and Eugster, 1955). 그래서 병암광상은 비교적 약간 높은 온도에서 운모점토광물이 형성된 것이 아닌가 생각된다.

결 언

청송지역 도석광상에서 산출하는 점토광물의 산상, 광물학적성질 및 그 형성에 관한 검토결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 본지역 도석광상의 도석을 구성하는 주광물은 운모/스멕타이트 혼합층광물, 견운모, 카올리나이트(dickite), tosudite 및 석영이다.
- 2) 범수광상에서 산출되는 tosudite는 Li함유 tosudite로 생각된다.
- 3) 본지역의 운모/스멕타이트혼합층광물은 운모층성분이 80%이상이고 Reichweite=2이상인 것이 주로 산출된다. 이 혼합층광물은 범수광상, 이전광산 및 새골광상에서 많이 관찰된다.
- 4) 병암, 부곡 및 송천광산의 도석중에는 팽창층을 거의 포함하지 않는 운모점토광물(견운모)이 산출된다.
- 5) 본지역의 운모점토광물은 주로 1M운모로 되어 있으며, 그중에서 병암광산의 것은 1M과 함께 2M도 많이 포함되어 있다.
- 6) 본지역의 도석광상은 용결응회암 및 유문암을 모암으로 하는 열수변질광상이다.
- 7) 범수광상의 변질대 및 그 화학성분을 검토해보면, 열수용액에 의한 모암성분의 용탈작용이 변질과정중에 주로 일어난 것으로 생각된다. 여기에 관련한 열수용액은 아마도 산성에 가까웠을 것으로 사료된다.
- 8) 범수광상에서 불매 변질정도가 큰 곳에 산출하는 운모/스멕타이트혼합층광물일수록 운모층성분이 감소하는

경향이 있다.

사 사

본 연구는 학술진흥재단의 1988년도 학술연구조성비에 의해 이루어졌음을 밝힌다. 지질조사 및 실내작업을 보조해준 부산대학교 대학원 박성완군에게 감사한다.

참고문헌

광업진흥공사(1985) 한국의 광상(비금속편), 제9호, 1-153.
 광업진흥공사(1987) 비금속광물 특성보고서(고령토, 납석편), 5-695.
 광업진흥공사(1988) 한국의 광상(비금속편), 제 11호, 153-351.
 권영일, 이인기(1973) 한국지질도(1 : 50,000) 도평도폭, 동력자원연구소.
 이흥규, 홍승호(1973) 한국지질도(1 : 50,000) 청송도폭, 동력자원연구소.
 Bailey, S. W. (1963) Polymorphism of the kaolin minerals. *Am. Miner.* 48, 1196-1209.
 Gruner, J. W. (1944) The hydrothermal alteration of feldspars in acid solutions between 300°C and 400°C. *Economic Geology*, 39, 578-588.
 Hwang, J. Y. (1988) Dissolution of chlorite and sericite by the treatment with dilute H₂SO₄ solution. *Jour. Clay Sci. Soc. Japan*, 28, 119-125.
 Ichikawa, A. and Shimoda, S. (1976) Tosudite from the Hokuno mine, Hokuno, Gifu Prefecture, Japan. *Clays and Clay minerals*, 24, 142-148.
 Inoue, A. and Utada, M.(1983) Further investigation of conversion series of dioctahedral mica/smectites in the Shinzan hydrothermal alteration area, Northeast Japan. *Clays and Clay minerals*, 31, 401-412.
 Kawano, M, and Tomita, K. (1988) Ammonium-bearing dioctahedral 2M₁ mica from Aira district, Kagoshima Prefecture. *Clay Science*, 7, 161-169.
 Nishiyama, T., Shimoda, S., Shimosaka, K. and Kanaoka, S.(1975) Lithium-bearing tosudite. *Clays and Clay minerals*, 23, 337-342.
 Miyaji, K. and Tsuzuki, Y. (1988) Hydrothermal alteration genetically related to the Mannen and Uebi pottery stone deposits in Tobe district, Ehime Prefecture. *Jour. Clay Sci. Soc. Japan*, 28, 183-199.
 Pery, E. and Hower, J. (1970) Burial diagenesis in Gulf Coast pelitic sediments. *Clays and Clay minerals*, 18, 165-178.
 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, 1, 97-105.
- Shimoda, S., Oinuma, K. and Negishi, T.(1969) Interstratified minerals of illite and montmorillonite. J. Geol. Soc. Japan, 75, 591-599.
- Sudo, T. (1974) Clay mineralogy. Iwanami Publ., 349-397.
- Watanabe, T. (1981). Identification of illite / montmorillonite interstratification. J. Mineral. Soc. Japan, 15 Spec., 32-41.
- Yoder, H. S. and Eugster, H. P.(1955) Synthetic and natural muscovites. Geochim., Cosmochim. Acta, 8, 225-280.