

## 강원도 삼척지역의 스멕타이트질 점토의 산상 및 특성

황진연\* · 박성완\*\* · 이상현\*\* · 최수용\*

### Occurrence and Physico-chemical Properties of the Smectite-rich Clays from the Samcheok Area in Kangwon-do, Korea

Jin-Yeon Hwang\*, Seong-Wan Park\*\*, Sang-Hyon Lee\*\* and Soo-Yong Choi\*

**ABSTRACT:** The smectite-rich clays were found locally in Paleozoic calcareous sedimentary rocks in the Samcheok area. Their occurrences were investigated in detail, and the physico-chemical properties of the clays were also determined by X-ray diffraction, chemical analysis, thermal analysis and cation exchanging experiment.

The smectite clays occur as the fissure filling dyke developed in calcareous sedimentary rock and as alteration products of intrusive rhyolite. Most of clays occur at the contact between the sedimentary rock and the rhyolite, and the alteration zone was observed only in rhyolite body close to the contact. Judging from their occurrences, it is believed that the smectite-rich clays in this area were formed by the hydrothermal alteration.

The smectite clays from the area are mainly composed of Ca-montmorillonite, and associated with small quantities of quartz, opal-CT and feldspar. The montmorillonites from this area are lower in Fe content, and higher in exchangeable Ca ion, compared to those of bentonite from the Yangnam-Yeongil area.

## 서 언

강원도 삼척지역 일대에서 주로 스멕타이트로 구성된 점토물질이 여러 지점에서 국소적으로 산출됨이 발견되었다. 금번의 연구는 인근 주민들이 이러한 점토물질을 발견하여 광석으로서의 개발을 위해 분석을 의뢰함으로써 시작하게 되었다. 또 이 지역에는 현재는 폐광되었지만 이미 그 전에 이러한 점토물질을 채굴한 바 있는 소규모의 광산도 있다. 이 광산은 미로면 도경동에 위치하는 삼척광산으로 이 광산에 대해서는 광업진흥공사에 의한 조사보고서(1988)가 있으며 여기서는 광종을 고평토(벤토나이트)로서 기술하고있다.

우리나라에서 스멕타이트를 다량 함유하는 점토물질에 대한 연구는 경북 영일 및 양남지역의 제3기층에서 산출되는 벤토나이트가 있다(문희수, 1986; 문희수 등, 1987, 1989; Moon and Morgan, 1983; Moon *et al.*, 1988; 황진연, 박성완, 1992; Hwang, 1992). 금번에 조사된 삼척지역의 점토물질은 스멕타이트를 다량 함유하는 것으로 구성광물의 관점에서는 벤토나이트에 해당되는 것으로 볼 수 있다. 그래서 이들 스멕타이트에 대한 광물학적

특성을 제3기의 벤토나이트의 것과는 비교검토하였다.

제3기층 지역의 벤토나이트 이외에 스멕타이트질 점토에 대한 산출상태 및 광물학적 특성에 대한 자세한 연구는 아직 행하여진 바가 없다. 따라서 이 곳에서 발견된 몇몇 지점에 대한 이 점토 물질들의 지질학적 산출상태를 파악하고 주성분광물인 스멕타이트의 광물학적 특성을 밝히며 또 그 형성과정을 고찰하고자 연구하였다. 또 이러한 연구는 점토물질의 개발 및 이용에 관한 응용적인 측면에서의 기초자료제공에도 목적을 두었다. 연구방법으로는 먼저 야외조사와 함께 채취한 시료를 X-선분말회절분석을 행하여 구성광물성분 및 결정구조적 특성을 검토하였다. 또 이들 시료에 대해 화학분석, 양이온교환실험, 열분석실험, 팽윤도실험 등을 행하여 그 광물학적 및 물리화학적 특성을 검토하였다.

## 삼척지역의 일반지질

삼척지역의 지질에 대해서는 1962년 태백산지구 지하자원 조사단에 의해 작성된 호명도폭이 있으며 그 후 손치무, 정창희(1965)에 의한 조선누층군의 층서에 대한 연구가 있다. 그리고 최근에 이 지역에 대한 지질구조 및 금속광상 등에 대한 연구가 다수 있다(김정환, 최원학, 1990; 김정환, 기원서, 1991; 이찬희, 1993). 이 지역은 선캄브리아시대의 변성퇴적암류와 화강암류를

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

\*\*한국아이엠주식회사 (Industrial Minerals of Korea Co., Ltd., Youngil-gun, Kyeongsangbuk-do, Korea)

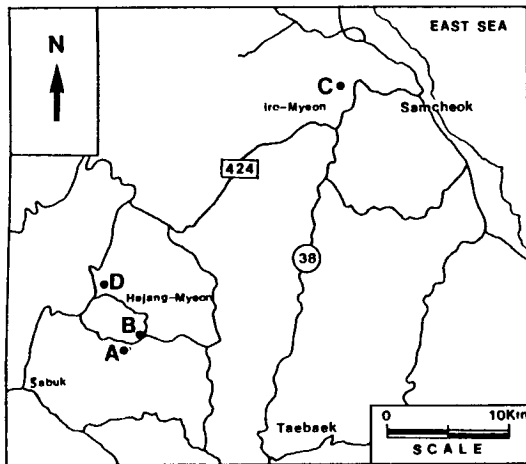


Fig. 1. Location map of smectite-rich clays in Samcheok area, Kangwon-do, Korea.

기반으로하여 캄브로-오르도비스기의 조선누층군, 석탄-페름기의 평안누층군, 쥐라기의 대동누층군에 속하는 지층들이 서로 부정합으로 분포하고있다. 그리고 이들 암석을 관입 및 분출한 백악기 및 제3기의 화강암, 유문암, 유문암질화산쇄설암, 중성암맥 등이 곳곳에서 나타나고 있다. 금번에 확인된 스멕타이트 변질물이 산출되는 곳은 거의 모두 조선누층군에 속하는 것으로 보이는 석회질 셰일층에 해당된다.

### 산출상태

강원도 삼척지역에서 금번에 확인된 스멕타이트질 점토의 산출지점 4개소는 Fig. 1에 표시하였다. 이들의 각 지점별 자세한 산출상태는 다음과 같다.

하장면 판문리의 상판문 마을에서 남쪽 산사면인 지점(Fig. 1의 A지점)에 해당에 나타나는 스멕타이트 점토물질은 조선누층군의 석회질 셰일내에 폭 약 50 cm 정도로 수직방향의 맥상으로 배태되어 나타난다. 이 맥의 형태는 다소 불규칙하여 상하 맥폭의 변화가 비교적 심하게 나타난다. 형태상으로 열극을 충진한 것으로 보인다. 이 지점의 주변은 넓게 조선누층군의 석회질 셰일층이 분포되어 있고 주변에 다른 암석은 나타나지 않는다. 이 석회질 셰일이 풍화된 것은 부분적으로 충식구조로 나타난다. 스멕타이트화된 점토부분은 유백색, 담황색내지 담록색을 띠는데 맥의 가장자리 부분이 대체로 담록색을 띠는 경향이 있다. 또 이 부분은 잘 부서러지는데 부서러진 작은 덩이의 표면은 지방감을 잘 나타낸다. 이 맥의 접촉부에 있는 석회질 셰일은 약간 담청색을 띠어 변질된 흔적을 나타낸다. 그러나 스멕타이트질 맥과 주변암과의 경계는 경연정도가 뚜렷하여 비교적 뚜렷하게

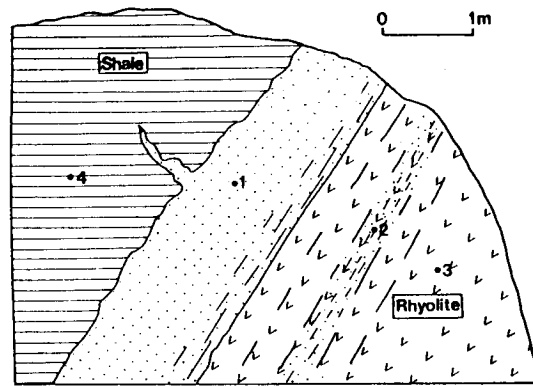


Fig. 2. Schematic cross section showing the mode of smectite-rich clay occurrence in Panmun-ri, Hajang-myeon, Samcheok. The numbers indicate sampling points. Dotted area indicates smectite-rich clay.

구분된다.

하장면 판문리 울둔마을 부근의 도로변에서도 스멕타이트질 점토의 노두가 잘 나타난다(Fig. 1의 B지점). 이 점토물질은 조선누층군의 석회질 셰일과 이를 관입한 유문암의 접촉부에 배태되어 있다. 이 두 암석의 접촉부를 따라 평균적으로 폭이 약 1 m 정도로 대상으로 분포한다. 이 접촉부의 노두를 도식적으로 나타낸 것이 Fig. 2에 있다. 이 그림의 왼쪽에 나타난 석회질 셰일은 비교적 경질이고 그림과 같이 부분적으로 불규칙한 열극을 충진한 작은 맥이 나타난다. 스멕타이트질 점토는 이 셰일의 접촉부에서 유문암쪽에 배태되어 있는데, 이 셰일과의 경계면이 예리하게 나타난다. 이는 전술한 상판문마을의 것과 같은 경향을 나타낸다. 스멕타이트화된 부분에서도 유백색, 담황색, 담록색, 암록색, 담청색 등의 여러 색이 나타나며 이들은 서로 구분하기가 어렵게 혼합되어 있다. 색에 관계없이 스멕타이트의 함량이 많은 것이 지방감을 잘 나타내고 있다. 스멕타이트화된 부분에서 다소 떨어진 곳에는 거의 변질이 않된 경질의 유문암이 나타나는데 이는 두 암석 경계면에 평행한 방향으로 절리가 잘 발달되어 있다(Fig. 2). 이 절리면을 따라 부분적으로 변질되어 있는데 변질된 부분은 청록색을 띠고 잘 부서진다. 변질이 않된 경질부 유문암은 회색 내지 암회색을 띠고있어 색깔로서도 변질의 여부가 판단된다.

삼척군 미로면 도경동에는 고령토(벤토나이트)의 광산으로 등록되어 광석을 소규모로 채굴한 바 있는 삼척광산이 있다(Fig. 1의 C지점). 이 광산은 오래전에 폐광되어 있어 현재는 갱이 막혀 광체의 직접적인 관찰은 불가능한 상태이다. 갱 주위의 암석은 역시 조선누층군의 치밀한 석회질 셰일로 되어있다. 광업진흥공사의 조사보고서(1988)에서는 셰일을 관입한 유문암질암이 변질되어 벤토나이트화된 것으로 그 광체는 폭이 약 1~2 m인

것으로 보고했다. 금번에 직접 노두를 확인하지는 않았으나 이러한 기존 보고와 주변에 흩어진 암석들로 판단해 볼 때 전술한 판문리 울둔마을의 것과 유사하게 이 광체는 소규모로 관입한 유문암이 석회질 셰일의 접촉부에서 스멕타이트로 변질된 것으로 볼 수 있다. 유문암이 변질된 것으로 생각되는 백색 내지 담홍색의 세립질 암석중에는 폭이 수 mm 내지 수 cm의 석영세맥이 평행한 방향으로 많이 배열되어 나타나고 있다. 이 곳에는 흑색의 유리광택을 띠는 유리질의 신선한 유문암의 암편이 많이 발견된다. 이 신선한 암석에도 변질된 암석에서와 같이 석영질 세맥이 발달되어 있다. 이와같이 변질된 암석과 신선한 유문암이 서로 구조 및 조직이 유사하여 이 곳의 변질물들은 유리질 유문암이 변질된 것으로 생각된다. 그러나 세맥상의 석영질부는 상대적으로 변질되지않은 경질부로 남아있다. 이 곳의 변질암석들은 암록색, 담홍색, 담황색, 연록황색을 나타내는데 암록색과 담홍색을 띠는 부분이 덜 변질되어 약간 단단한 느낌을 주며, 좀 더 옅은 담황색과 연록황색을 띠는 부분은 연질의 점토로 되어있다.

하장면 둔전리에도 스멕타이트질 점토가 소규모로 나타난다 (Fig. 1의 D지점). 이 곳에서는 개울의 바닥에서 산출되어 주변 암석과의 직접적인 관계를 잘 알 수가 없다. 그러나 이 개울의 양옆에는 모두 석회질 퇴적암이 분포하고 있어 이것도 전술한 다른 지점의 스멕타이트질 점토와 함께 석회질 퇴적암내에 배태된 것으로 생각된다. 이 곳의 점토는 담황색을 띠며 거의 순수한 스멕타이트로 구성되어 균질하며 지방감을 잘 나타낸다.

### 스멕타이트질 점토의 X-선회절분석

스멕타이트질 점토와 그 주변 암석들의 X-선회절분석에 의한 광물조성은 다음과 같다.

하장면 판문리 상판문마을 부근에서 석회질 셰일내에 맥상으로 산출하는 스멕타이트질 점토는 X-선회절분석 결과 거의 순수한 스멕타이트로 되어 있고 어떤 부분에서는 석영이 불순물로 소량 수반되기도한다. 이 점토에는 담황색 및 담록색을 띠는 부분이 나타나나 이들 서로간의 광물성분 차이는 나타나지 않았다. 이 맥 주위의 석회질 셰일은 석영과 녹니석을 주성분으로하고, 그 외에 소량의 운모 및 방해석등으로 구성되어 있다. 맥상의 부분과 주변암과는 경계가 비교적 예리하게 구분되고 그 접촉부에서도 광물변화의 점이성은 잘 나타나지 않는다. 그러나 접촉부인 석회질 셰일은 약간 담청색을 띠고 접촉표면에는 아주 국소적으로 스멕타이트화 된 부분이 나타난다. 이것은 열수용액이 셰일과 반응하여 약간의 변질과 함께 표면의 작은 틈에서 스멕타이트로 침전된 것으로 생각된다.

울둔마을노두의 내곳에서 채취된 시료(Fig. 2)에 대하여 X-선회절분석을 행하였으며 그 결과는 Fig. 3과 같다. 점토화가 잘된 담황색부분(1번 시료)은 스멕타이트의 회절선이 강하게 잘 나

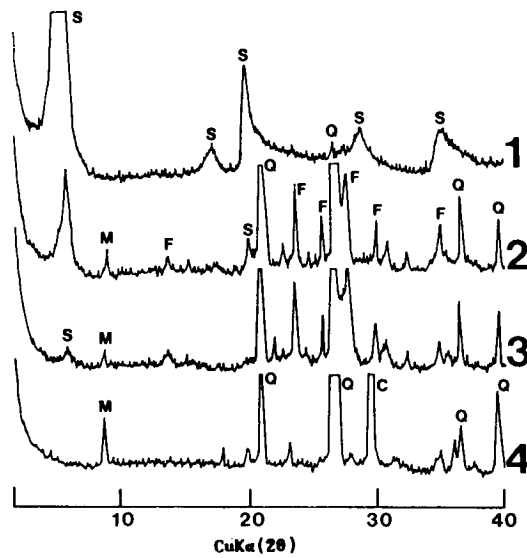


Fig. 3. X-ray diffraction patterns for smectite-rich clay and associated rocks from Panmun-ri, Hajang-myeon, Samcheok. The sample numbers are same as those in Fig. 2. Q; Quartz, S; Smectite, M; Mica, F; Feldspar, C; Calcite

Table 1. Chemical analyses of unaltered rhyolite and calcareous shale in Panmun-ri, Hajang-myeon, Samcheok.

	Rhyolite	Shale
SiO <sub>2</sub>	78.40	57.31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.51	6.87
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	1.26	1.26
MgO	0.09	2.52
CaO	0.04	14.10
Na <sub>2</sub> O	1.75	0.02
K <sub>2</sub> O	4.33	2.19
Ig. loss	2.38	14.43
Total(%)	99.76	98.70

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

타고 다른 광물은 거의 나타나지 않는다. 변질부의 가장자리에서 담청색으로 변질된 일부분에서는 모데나이트로 생각되는 불석광물의 작은 X-선회절선이 스멕타이트와 함께 수반되기도 한다. 유문암체에 가까운 청록색의 변질부에서는 역시 스멕타이트가 다량 나타나지만 석영과 장석도 상당량 수반된다. 미변질 유문암체에 가까워질수록 점차 스멕타이트 함량이 감소하고 석영과 장석의 함량이 많아지는 경향이 나타난다. Fig. 2에서 나타난 것과 같이 경질의 유문암체에는 절리가 발달되어 있으며 이들 절리를 따라 부분적으로 변질되어 청록색을 띠는데 이 부분(2번 시료)에도 스멕타이트가 상당량 포함되고 있다. 거의 변질 받지 않은 것으로 생각되는 경질의 유문암(3번 시료)에는 스멕타이트가 아주 소량만이 나타나고 석영과 장석의 함량이 많이 포

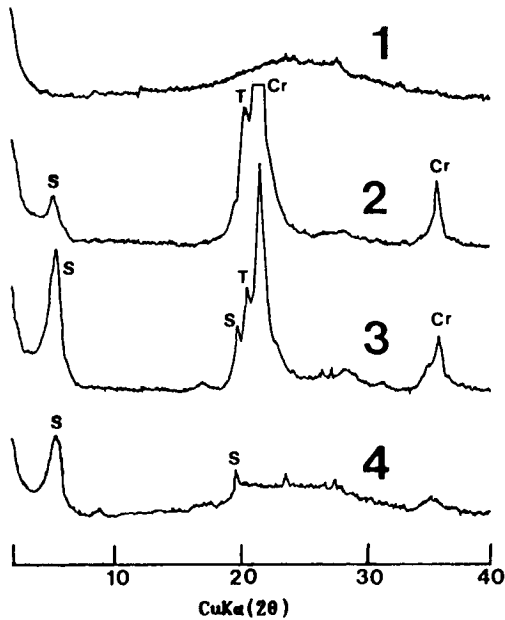


Fig. 4. X-ray diffraction patterns of glassy rhyolite (1) and altered rhyolites (2, 3, 4) from the Samcheok mine in Miro-myeon, Samcheok-gun. S; Smectite, T; Tridymite, Cr; Cristobalite.

함된다. 이 유문암은 육안으로 작은 석영 및 장석의 반점이 띄어떠엄 나타난다. X-선회절선상으로 장석광물로는 카리장석이 대부분을 나타내고 사장석이 소량 함유한다. 카리장석으로는 정장석과 미사장석이 주를 이룬다. 또 이 암석의 화학분석결과 (Table 1),  $\text{SiO}_2$ 가 약 78%이고  $\text{K}_2\text{O}$ 도 비교적 많이 함유되는 것으로 일반적인 유문암에 해당된다. 석회질 세일과 스멕타이트질 점토가 접하는 일부분에서는 카오리나이트가 백색의 세맥상으로 산출되기도 한다. 이 카오리나이트는 X-선회절선들이 예리하고 뚜렷이 잘 분리되는 것으로 아주 결정도가 좋은 것이다. 이 카오리나이트는 아주 국부적으로만 나타나는데, 이것은 아마 열수의 영향을 받은 것으로 생각되나, 일반적인 스멕타이트의 생성조건과 상반되는 것이므로 이에 대해서는 더 검토가 필요하다. 세일내의 작은 열극이나 공동내에서 거의 순수한 스멕타이트로 된 백색 내지 담황색의 점토가 충전되어 나타난다. 스멕타이트질 점토 부분과 바로 접촉하는 석회질 세일은 비교적 단단하여 그 경계가 예리하다. 이 경질의 세일은 X-선회절선상으로 다량의 석영이 나타나고 그외에 방해석과 운모광물이 함께 포함된다. 스멕타이트를 함유할 정도로 변질된 석회질 세일은 나타나지 않는다. 이 석회질 세일은 화학성분상으로  $\text{CaO}$ 가 약 14% 정도를 포함하고 있다(Table 1).

삼척광산의 갱내에서 채굴되어 나온 것으로 보이는 여러가지 암석들에 대해 구성광물을 검토해 보았다. 여기서 스멕타이트화가 잘된 부분은 연록색과 담황색을 띠며 아주 부드럽게 손으로

부서러지지만 그렇지 않은 부분은 비교적 딱딱하게 느껴진다. 작은 한 암석덩이내에서도 스멕타이트화가 잘된 부분과 그렇지 않은 부분이 같이 나타나며 이들의 경계는 뚜렷하지 않고 점이 적이다. Fig. 4에는 이 곳의 여러 암석들의 X-선회절선을 나타내었다. 신선한 유리질의 유문암(1번시료)은 그림에서와 같이 X-선상으로 대부분 유리질로 구성되어 있음을 알 수 있다. 이 유리질 암석이 변질된 것으로 생각되는 치밀한 담황색 부분(2번시료)은 크리스토파라이트가 다량 포함되어 있고 그 외에 트리디마이트와 스멕타이트가 아주 소량으로 포함되고있다. 이와 같이 약 4.09Å의 크리스토파라이트의 강한 회절선과 4.32Å의 트리디마이트의 작은 회절선이 함께 나타나는 것으로 보아 이것은 Jones and Segnit(1971)에 의한 opal-CT에 해당되는 것으로 보인다. 즉 이 부분은 거의 opal-CT로 구성되어 있다. 이러한 담황색의 경질부에 인접하여 나타나는 점토화된 부분(3번시료)에는 상대적으로 스멕타이트의 함량이 아주 많이 나타나고 opal-CT의 함량이 적게 나타난다. 이러한 산상과 광물성분으로 보아 유리질 물질이 opal-CT와 스멕타이트로 변질된 것으로 생각된다. 그리고 담황색을 띠는 한 점토질 부분(4번시료)에는 Fig. 4과 같이 스멕타이트의 회절선이 주로 나타나지만 그 강도는 낮은 편이다. 이러한 회절선의 형태로 보아서 유리질 물질이 상당량 함유된 것으로 생각된다. 이와같이 이 곳의 변질물에는 스멕타이트와 함께 다량의 opal-CT가 수반되는 것과 그렇지 않고 유리질 물질이 수반하는 두가지로 나타난다. 이것은 온도 및 반응시간 등의 변질정도의 차이에 의한 것으로 생각된다. 이 광산 갱 주위의 석회질 세일은 석영과 운모로 주로 구성되고 소량의 방해석이 수반되어 전술한 다른 곳의 세일과 유사하다. 이 세일이 변질되어 스멕타이트화된 암석은 발견하지 못하였다. 이것도 역시 판문리의 울둔마을의 것과 같이 스멕타이트질 점토는 관입한 유문암내에 배태되고 인접한 석회질 세일에는 변질의 영향이 없는 것으로 생각된다.

## 광물학적 및 물리화학적 특성

### X-선회절분석

이 지역에서 산출되는 점토시료 중에서 거의 순수한 스멕타이트로 구성된 4개의 시료를 택하여 여러가지 특성을 검토하였다. 하장면 판문리 울둔마을에서 나온 도로변 노두에서는 담황색을 띠는 시료(UD-1)와 암록색을 띠는 시료(UD-2)의 두가지를 택하였고, 그리고 하장면 판문리 상판면에 산출하는 맥상의 담황색 시료(SP-1)와 삼척광산의 담황색 시료(SC-1)를 실험에 사용했다.

이 들 시료에 대한 X-선회절선의 특성을 Table 2에 나타냈다. 이 스멕타이트들은 (060)의 d치는 거의 같은 1.497~1.499Å를

Table 2. X-ray diffraction data of montmorillonites from the Samcheok area.

Sample No.	U. T. d(001)Å	E. G. d(001)Å	U. T. Hw(001)2θ°	U. T. d(001)Å	300°C d(001)Å	500°C d(001)Å
SP-1	15.6	17.6	0.75	1.498	15.2	9.9
UD-1	15.9	17.5	0.80	1.497	15.9	10.1
UD-2	15.8	17.6	0.90	1.499	15.6	10.1
SC-1	15.4	17.8	1.05	1.499	9.9	9.7

U. T.; untreated, E. G.; treated with ethylene glycol, Hw; half height width of (001) peak, 300°C and 500°C; heated at 300°C and 500°C for an hour, respectively.

나타내어 2फलचैहिंग의 몬모릴로나이트인 것으로 생각된다. 무처리에서 15.4~15.9Å의 d(001)가 에칠렌글리콜처리에 17.5~17.8Å으로 팽윤하여 모든 시료가 유사하게 나타났다. 그리고 (001)회절선의 반가폭과 가열에 의한 d치의 변화양상도 대부분의 시료가 비슷하게 나타난다. 이 중에서 삼척광산의 시료(SC-1)가 다른 시료에 비해 에칠렌글리콜 처리에 의한 팽윤량이 약간 크고, 또 (001)반가폭이 비교적 약간 크며, 300°C 가열 후에 약 10Å으로 빨리 수축하는 것이 관찰되었다. 이러한 열적 특성은 Kawano와 Tomita(1989)에 의한 Na로 포화시킨 몬모릴로나이트와 유사한 거동을 나타내며, 다른 시료들은 Ca로 포화시킨 몬모릴로나이트와 비슷한 양상을 나타낸다. 그러나 후술할 양이온 교환성분 분석의 결과로 볼 때 삼척광산시료에도 Ca가 많은 것으로 인위적으로 포화시킨 것의 성질과는 다르게 나타난다.

이 시료들을 Green-Kelly시험(Green-Kelly, 1955)을 하여 X-선분석한 결과 모든 시료가 처리후 9~10Å의 범위를 나타내었다. 이것으로 보아서도 전형적인 몬모릴로나이트에 해당됨을 알 수 있다.

많은 시료 중 몬모릴로나이트의 (001)과 (003)의 회절선 강도가 시료에 따라 조금씩 다르게 나타나서 이 두 회절선의 강도비를 정밀히 측정해 보았다. 그 결과 모든 시료의 I(003)/I(001) 강도비는 대개 11.1~14.2의 범위를 나타내었다. 판문리 울둔마을 시료 중 암록색을 띠는 시료(UD-2)가 14.2의 높은치를 나타내었다. 반면에 백색 내지 담황색을 띠는 시료들은 11~12정도의 적은 수치를 나타내었다. 또 이 강도비가 작은 것은 (001)회절선의 반가폭도 작고, 반면에 강도비가 큰 것은 그 반가폭이 약간 큰 경향이 나타났다. 후술할 화학성분에 있어서 암록색을 띠는 것이 상대적으로 Fe를 많이 함유하는 것으로 보아서 이 강도비의 차이가 화학성분과 관계가 있음을 나타내는 것으로 생각된다. 이 결과는 Ahn(1991)에 의한 스멕타이트의 X-선회절도형과 화학성분의 관계와 유사한 경향을 보인다.

**화학성분**

삼척지역의 스멕타이트질 점토시료를 화학분석하여 Table 3에

Table 3. Chemical analyses of montmorillonites from the Samcheok area.

Sample No.	SP - 1	UD - 1	UD - 2	SC - 1
SiO <sub>2</sub>	49.25	54.25	51.47	54.65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.14	16.22	16.00	13.98
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	3.46	3.44	4.80	3.00
MgO	2.73	2.08	2.10	4.93
CaO	1.32	0.79	1.03	1.87
Na <sub>2</sub> O	0.12	0.10	0.31	0.04
K <sub>2</sub> O	0.04	0.30	0.53	0.08
H <sub>2</sub> O	26.78	22.03	23.44	22.30
Total(%)	99.84	99.21	99.68	100.85

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

Table 4. Extractable cations and methylene blue absorption capacities of montmorillonites from the Samcheok area.

Sample No.	Extractable Cations(meq/100 g)				Total K (meq/100g)	MBC* (meq/100g)
	Mg	Ca	Na	K		
SP - 1	6.63	85.93	0.44	0.79	93.79	135.60
UD - 1	13.04	82.64	0.39	0.75	96.82	132.59
UD - 2	9.62	83.87	0.34	0.70	94.53	126.90
SC - 1	21.14	79.14	1.14	1.29	102.71	132.88

\* MBC; Methylene Blue Capacity.

나타냈다. 울둔마을 부근의 노두에 나오는 시료 중에서 암록색을 띠는 시료(UD-2)는 담황색을 띠는 시료(UD-1)에 비교해서 Fe가 약간 많이 함유되고 대신에 Al이 약간 적게 포함된다. 이것은 색깔에 따라 구성성분의 차이가 있음을 나타낸다. 울둔마을의 담황색시료(UD-1)는 상판문의 담황색을 띠는 시료(SP-1)와 화학성분상 거의 유사하게 나타난다. 삼척광산에서 나온 시료(SC-1)는 다른 시료에 비해 Mg가 많으며 반면에 Al의 함량이 적게 나타난다. 이것은 전술한 X-선회절분석의 결과에서도 다른 시료와 팽윤 정도와 가열 특성이 다르게 나타나는 것과 관계가 있는 것으로 생각된다.

양남지역 제 3기 벤토나이트 중의 몬모릴로나이트는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 약 5~13% 정도(황진연, 박성완, 1992)로 나타나는 것에 비해 이 곳의 몬모릴로나이트는 그 함량이 아주 적게 나타난다. 이는 모암의 성분차이에 기인하는 것으로 생각된다.

**교환성 양이온**

이들 스멕타이트시료에 대한 교환성 양이온을 측정된 결과를 Table 4에 나타내었다. 양이온교환능의 측정은 1N 암모늄 아세테이트 100 ml에 분말시료 0.5 g을 넣고 24시간동안 반응시킨 후 그 여액을 원자흡광분광분석을 행하여 측정하였다. 분석치에서 보는 바와 같이 모든 시료들은 교환성 양이온으로 Ca의 양이 다른 양이온보다 월등히 높게 나타난다. 그 외에 Mg, Na, K의 교환 양은 아주 소량이다. Ca의 교환성 양이온 용량이 월등히 많은

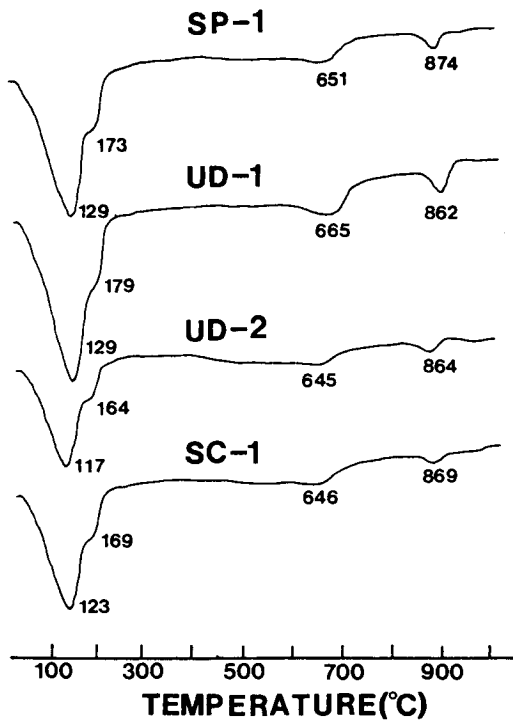


Fig. 5. DTA curves of the montmorillonites from the Samcheok area.

것은 아마도 주변암이 석회질 퇴적암이기 때문으로 생각된다. Ca가 층간의 교환성 양이온인 점을 감안하면 스�멕타이트가 형성된 이후에 주변의 석회질 퇴적암을 통해 이동해온 Ca가 많은 용액에 의해 이온교환된 것으로 보이지만 직접적인 관계는 잘 알 수 없다. 이들의 Ca의 교환용량은 양남지역 제 3기 벤토나이트의 것(황진연, 박성완, 1992)에 비해서도 아주 높다. 이들 시료의 측정치는 서로 유사하지만 그 중에서 삼척광산의 것이 다른 것 보다 Ca의 교환용량이 약간 적고 대신에 Na의 교환량이 약간 많은 것으로 나타난다. 메틸렌블루에 대한 흡착실험도 행하여 그 결과를 Table 4에 나타냈는데 이 곳 시료들의 메틸렌 블루 흡착용량은 126~135 meq/100 g으로 제 3기층의 것(Moon and Morgan, 1983)과 비교해서 많은 흡착량을 나타낸다.

#### 열 분석

이들 몬모릴로나이트 시료의 시차열분석한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 사용장치는 Rigaku사제 시차열분석기를 사용하여 가열속도 10°C/min으로 측정하였다. 이들 시료의 시차열분석 곡선의 형태가 서로 유사하게 나타난다. 층간수의 탈수에 의한 흡열반응이 약 120°C 부근에 크게 나타나고 있달아 약 170°C 부근에 작은 흡열반응피크가 나타나는 이종의 피크를 나타낸다. 이것은

Grim (1953)의 연구와 같이 층간에 Ca와 Mg의 2가양이온이 많기 때문인 것으로 생각된다. 이는 양이온교환성분으로 Ca가 많이 나타난 분석결과와 일치한다. 약 650°C 부근에서 규산염 층의 OH의 탈수에 의한 흡열반응이 나타난다. 일반적으로 이러한 흡열반응에 있어서 650°C 부근에 하나의 흡열피크를 나타내는 정상형과 이 피크 이외에 약 550°C 부근에도 흡열반응이 나타나는 비정상형으로 나누고있다(Mackenzie, 1970). 이들 시료에서는 피크가 명료하게 크지는 않으나 650°C 부근에 한개의 흡열피크가 나타난다. 이는 Moon et al.(1988)에 의한 제 3기층에 나타나는 몬모릴로나이트의 것과는 다르게 정상형에 가까운 것으로 생각된다. 그리고 870°C 부근에 약한 흡열반응이 나타나고 뒤이어 곡선이 약간 블록하여 약한 발열피크가 나타난다. 이들 시료에서 흡열반응이 일어난 온도는 서로 모두 거의 비슷하다. 그러나 이 중에서 상대적으로 Fe를 약간 많이 함유하는 암록색시료(UD-2)는 다른 시료보다 층간수 및 OH기의 탈수에 의한 흡열반응의 온도가 약간 낮게 나타내는데, 이것은 팔면체층내에 Fe의 치환량이 많으면 탈수온도가 낮아진다는 Heller-Kallai and Rozenson (1980)의 연구결과와 관계있는 것으로 생각된다.

#### 기타 특성

이 지역의 스�멕타이트 시료에 대해 팽윤도 측정을 행하여 비교해 보았다. 팽윤도의 측정은 20 ml 메스실린드에 분말시료 2g을 넣고 하루 지난후의 팽윤된 부피를 측정하는 방법으로 실험하였다. 측정된 팽윤도는 울둔마을의 두 시료와 삼판문의 시료는 각각 5.3, 5.8, 4.8 ml의 적은 치를 나타내고 이에 비해 삼척광산 시료는 팽윤도가 9.1 ml으로 다른 시료 보다 약간 크게 나타났다. 이것은 교환성 양이온에서도 삼척광산의 시료가 다른 것과 다르게 Na의 교환량이 약간 많게 나타난 것과 관련되는 것으로 생각된다. 즉 일반적으로 Na형 몬모릴로나이트 일수록 팽윤도가 높은 것으로 알려져 있기 때문이다. 이 삼척지역의 점토시료들은 일반적인 벤토나이트 중의 몬모릴로나이트에 비해 비교적 적은 팽윤량을 나타내는데 이것도 역시 교환성양이온의 차이와 관계가 있는 것으로 생각된다. 이들 시료에 대해 200 ml 증류수에 분말시료 4g을 넣고 현탁시킨 후에 그 현탁액의 pH도 측정해 보았다. 그 결과 이 지역의 시료들은 모두 pH 약 5~6 정도인 약산성을 나타내었다. 이 시료들을 수중에 현탁시켜보면 분산이 잘 안되고 입자들이 빨리 침강하는 경향이 나타내는데 이는 약산성인 pH 때문인 것으로 생각된다.

#### 고 찰

강원도 삼척일대에서 산출하는 스�멕타이트질 점토는 조선누층군의 석회질 셰일내에서 열극을 충전한 맥상이나 석회질 셰

일을 관입한 유문암의 접촉부에서 유문암의 변질물로서 나타나는 것이 관찰되었다. 이와같이 이들은 특정한 곳에 국소적으로만 산출하며, 또 이 점토들은 거의 순수한 몬모릴로나이트로 구성되어 나타난다. 이러한 산상으로 보아 이들은 열수작용에 의해 형성된 것으로 생각된다. 전술한 바와 같이 이들 모든 스�멕타이트질 점토는 서로 거의 비슷한 산출상태와 특성을 나타내는 것으로 보아 그 형성시기 및 조건 등도 서로 유사한 것으로 사료된다.

관문리의 울둔마을과 삼척광산에 있어서 주변의 석회질 세일이 변질되어 점토화된 것은 잘 나타나지 않으나 반면에 관입체인 유문암이 변질된 것이 잘 관찰된다. 또 유문암체내에도 절리면을 따라 부분적으로 변질된 것이 잘 관찰되었다. 이것은 암석의 조직, 구성광물 및 화학성분에 따른 차별적 변질에 의한 것으로 생각된다. 즉 유문암의 관입 후에 그 경계면과 절리면을 따라 올라온 열수용액이 석회질 세일으로는 쉽게 빠져나가지 못하여 유문암과 더 잘 반응하게 되어 스�멕타이트화가 일어난 것으로 생각된다. 이는 주변 석회질 세일이 치밀하여 불투수성이므로 일종의 덮개암의 역할을 한 것으로 생각된다. 또 광물성분상 유문암에는 유리질과 미립의 장식광물이 있어 석회질 세일의 구성광물보다 더 스�멕타이트로 변하기 쉬운 것이기 때문에 생각된다.

전술한 바와같이 유문암체의 점이적인 점토화는 교대변질에 의한 것으로 보이지만, 열극 및 공동을 충진한 점토들은 용액에서 직접 정출해서 스�멕타이트가 형성된 것으로 생각된다. 울둔마을의 노두에서 세일과 유문암의 접촉 지점에서 순수한 스�멕타이트로만으로 산출하는 부분도 대부분이 용액에서 직접 정출된 것으로 생각된다. 두 암석의 접촉부는 약대로서 용액의 공급이 원활하여 용액에서의 직접 정출한 스�멕타이트가 많고 이것이 미변질 유문암 쪽으로 갈수록 점이적으로 교대변질을 받게 된 것으로 생각된다.

이들 점토의 형성에는 풍화에 의한 영향도 생각할 수 있다. 일반적으로 풍화작용을 많이 받은 몬모릴로나이트질 점토는 산성백토적인 특성을 나타내고, 이 중의 몬모릴로나이트는 비정상적인 몬모릴로나이트로 되며, 더 풍화되어 카오린/스멕타이트 혼합층광물로 변하는 것으로 알려져있다(Takeshi and Uno, 1979). 이 곳의 벤토나이트 물질은 앞에서 검토했듯이 이러한 정도의 변질양상은 아직 나타나지 않으므로 풍화작용의 영향은 거의 없는 것으로 생각된다.

박희인 등(1988)에 의한 태백산지역의 암석 및 광상의 생성 시기에 관한 연구결과에 따르면 이 지역 유문암의 관입 시기가 45~52 ma로서 고제 3기에 해당되는 것으로 되어있다. 산상으로 보아 이들 점토의 형성은 유문암과 관련이 깊은 것으로 나타나 이 스�멕타이트질 점토를 형성한 열수작용도 이 시기 혹은 그 이후인 것으로 생각된다.

이들 점토를 제 3기층의 벤토나이트와 비교해 보면 우선 삼척지역의 것이 몬모릴로나이트의 함유량이 많은 특징이 있다. 또 이들 몬모릴로나이트는 Ca의 교환성양이온이 아주 많으며, Fe 함유량이 적은 것으로 나타났다. 이러한 성분의 차이는 주로 관여한 용액성분과 모암에 따른 차이에 의한 것으로 생각된다.

이상과 같이 검토한 삼척지역의 스�멕타이트질 점토는 소규모로 산출되지만 거의 순수한 몬모릴로나이트로만 구성되어 있으며, 품위가 높고 흡착성이 큰 특성 등을 가지므로 응용적인 측면에서의 검토도 필요한 것으로 보인다.

## 요약 및 결론

강원도 삼척지역에 나타나는 스�멕타이트질 점토의 산출상태 및 특성에 대한 금번의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 삼척지역에서 스�멕타이트질 점토는 조선누층군에 해당되는 석회질 퇴적암층내의 열극을 충진한 맥상으로 산출되는 것과 이 암층을 관입한 유문암체내와 그 경계부에서 산출되는 것이 나타난다.

2) 유문암이 교대변질되어 스�멕타이트화된 것은 관찰되나 석회질 퇴적암이 교대변질된 양상은 거의 나타나지 않는다. 즉 석회질 퇴적암에 비해 유문암이 더 잘 스�멕타이트로 변질될 수 있는 것으로 나타났다. 또 유문암체내에 있어서도 절리면을 따라 선택적으로 스�멕타이트로 변질되는 양상이 잘 나타난다.

3) 이들의 스�멕타이트질 점토는 산출상태로 보아 유문암의 관입 이후의 열수작용에 의해 형성된 것으로 생각된다.

4) 이들 스�멕타이트질 점토의 주 광물성분은 몬모릴로나이트이며 교환성양이온으로 Ca를 다량 함유하고 있다. 금번에 채취한 시료들에서는 서로 거의 유사한 물리화학적 특성을 나타내었다. 이 중에서 삼척광산의 몬모릴로나이트 시료가 다른 것보다 약간 Na의 교환용량이 많고 이에 따라 팽윤도가 약간 큰 것 등의 성질을 나타냈다.

5) 이 곳의 몬모릴로나이트는 경북 양남지역의 벤토나이트의 것과 비교해서 Ca의 교환성양이온이 훨씬 더 많으며, Fe 함유량이 적은 것으로 나타났다. 그리고 팽윤도는 약간 적으나 메칠렌블루의 흡착성이 다소 크게 나타났다.

## 참고문헌

- 김정환, 기원서 (1991) 강원도 임계지역의 지질구조, 광산지질, 24권, p. 43-55.  
 김정환, 최원학 (1990) 삼척탄전 증산·사북지역의 지질구조, 지질학회지, 26권, p. 154-164.  
 대한광업진흥공사(1988) 한국의 광상, 비금속편, 제 11호, p. 207-208.  
 문희수 (1986) 삼기층에 배태된 벤토나이트의 산소 및 수소 동위원소 연구, 광산지질, 19권, 특별호, p. 131-138.  
 문희수, 안재영, 최선경, 김문영, Morgan, D. J. (1989) 감포지역 Ca-

- 몬모릴로나이트의 광물학적 및 열적특성; 죽전 및 용동리지역 광상 비교연구. 광산지질, 22권, p. 207-219.
- 문희수, 유장환, 김종환, 조한익 (1987) 국내산 벤토나이트의 몇 가지 물리화학적 특성에 관하여. 광산지질, 20권, p. 159-168.
- 박희인, 장호완, 진명식 (1988) 태백산 지역내 광상의 생성년령. 광산지질, 21권, p. 57-67.
- 손치무, 정창희 (1965) 태백산 지역의 퇴적환경과 지질구조. 서울대학교 논문집, 이공계, 15권, p. 1-27.
- 이찬희 (1993) 태백산 광화대 북부 둔전-백전지역 금, 은, 안티모니 광상의 지질, 광물, 유체포유물 및 안정동위원소 연구. 서울대학교 이학박사 학위논문, p. 1-421.
- 태백산지구 지하자원조사단 (1962) 호명, 하임계 도록 지질도. 대한지질학회.
- 황진연, 박성완 (1992) 경북 양남지역 벤토나이트광상의 성인적 고찰. 지질학회지, 28권, p. 392-402.
- Ahn, J. H. (1991) One-dimensional XRD-pattern calculations of clay minerals: I. Dioctahedral and trioctahedral Fe-rich smectite. J. Miner. Soc. Korea, v. 4, p. 11-21.
- Greene-Kelly, R. (1955) Dehydration of montmorillonite minerals. Miner. Mag., v. 30, p. 604-615.
- Grim, R. E. (1953) Clay mineralogy. McGraw-Hill Book Co. Inc., 468p.
- Heller-Kallai and Rozenson (1980) Dehydroxylation of dioctahedral phyllosilicates. Clays Clay Min., v. 28, p. 355-368.
- Hwang, J. Y. (1992) Occurrence of bentonite deposits from the Yangnam area in southeastern part of Korea. Proc. of the 29th IGC Workshop WB-1, Japan, p. 107-113.
- Jones, J. B. and Segmit, E. R. (1971) The nature of opal. 1. Nomenclature and constituent phases. J. Geol. Soc. Aust., v. 18, p. 57-68.
- Kawano, M. and Tomita, K. (1989) X-ray studies of rehydration behaviors for Montmorillonite. Clay Sci., v. 7, p. 277-287.
- Mackenzie R. C. (1970) Differential thermal analysis Vol. 1. Academic Press, London and New York, p. 497-537.
- Moon, H. S. and Morgan, D. J. (1983) Some mineralogical and Physico-chemical properties of Fuller's Earths from Tertiary sediments in South Korea. J. Korean Inst. Mining Geol., v. 16, p. 149-161.
- Moon, H.-S., Choi, S. K. and Kim, M. Y. (1988) Thermal and mineralogical characterization of Ca-montmorillonite from Gampo area. J. Korean Inst. Mining Geol., v. 21, p. 175-184.
- Takeshi, H. and Uno, Y. (1979) Notes on the formation and transformation of montmorillonites in Japan. J. Jap. Miner. Soc., v. 14, Spec. Iss., p. 70-77 (in Japanese).

---

1994년 1월 11일 원고접수