

전남일원 점토광상의 광물 및 지화학적 특성과 효과적 탐사를 위한 건층의 선정

Mineralogical and Geochemical Characteristics and Designation of Key Beds for the Effective Surveys in the Jeonnam Clay Deposits

유 장 한(Jang Han Yoo) · 고 상 모(Sang Mo Koh)* · 문 동 혁(Dong Hyuk Moon)

한국지질자원연구원 광물자원연구본부
(Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources,
Daejeon 305-350, Korea)

요약 : 전남지역의 점토광상은 그 구성광물이 단사정계형 엽납석(pyrophyllite), 1T형 고령석(kaolinite)을 주로 하고 부구성 광물로서 견운모, 석영 및 장석류를 포함한다. 이들 점토광상은 유사한 시기에 유사한 성분을 가진 화산암류로부터 생성되었으며, 각 광상은 광물학적으로 엽납석과 고령석 중의 하나를 우세하게 포함하는 경향이다. 고령토 광상은 주로 다이아스포나 강옥을 포함하지 않지만, 광체 상부에 명반석을 흔히 포함한다. 반면에 강옥이나 다이아스포는 납석 광상에서 흔히 수반된다. 점토광체 상부의 규화응회암류와 응회암류 등 지질시대가 젊어짐에 따라 엽납석 및 고령석의 양은 감소하는 경향이며, 마침내는 나타나지 않게 된다. 반면에 견운모, 석영 및 사장석류는 미약한 상부층에서 흔히 나타난다. 대부분의 점토광체는 상단부에 저색 응회암층이 오고, 그 상부로는 규화대층, 응회암층, 그리고 최상부에 각력 응회암층이 온다. 화학성분 분석에 의하면, Al_2O_3 는 중-저급의 점토광체뿐 아니라 응회암류에서도 다소 높게 나타내며, 그 이유는 응회암류의 주요 구성광물인 사장석 때문이다. 광체와 모암에서 Na_2O 와 CaO 는 비교적 낮은 함량을 나타내나, K_2O 는 광체에서 좀더 낮게 나타난다. 점토의 작열 감량은 명반석이나 다이아스포를 포함하는 부분에서는 특히 높게 나타나는 것은 이들이 포함하는 Al_2O_3 및 SO_4 성분 때문이다. 회토류함량분석에 의하면, 경회토류가 중회토류보다 많이 포함되는 경향이며, 다소 미약하지만 부의 유퀴륨(Eu)이상대를 나타낸다. 대부분의 점토광체는 주로 유백-담회색의 미립이며 층리가 양호하여 야외에서 구분이 어렵지 않은 경우가 많지만, 괴상광체 등이 나타나는 곳에서의 효과적인 탐사를 위해서는 광체 상부 지층 중에서 확인되는 특징적 지층을 선정하는 것이 바람직하다. 전남지역에서 광체를 배태하는 층의 상단부에 연속성이 양호한 저색점토/응회암과 함께 그 상부로 층리와 연장성이 지극히 좋은 규화대가 확인되며, 광물조성 상으로도 광체 및 인근 지층과의 구분이 확실하므로 효과적인 점토광체 탐사를 위한 건층(key bed나 mark horizon)으로서의 역할이 가능하다.

주요어 : 납석, 고령토, 강옥, 다이아스포, 명반석, 작열감량

ABSTRACT : Clayey ores of the Jeonnam province mainly consist of pyrophyllite (monoclinic), kaolinite (1T), and minor amounts of quartz, muscovite, and feldspars. Mineralogical studies revealed that two kinds of clay minerals were mainly produced from the volcanic sediments with similar ages and compositions. Kaolinite deposits sometimes contain neither diaspore nor corundum, but alunites are

*교신저자: kohsm@kigam.re.kr

often found in the upper portions of the kaolin ore bodies. On the other hand, corundum and diaspo are commoner in the pyrophyllite deposits than the kaolin deposits. As ages of rock formations are becoming younger, amounts of pyrophyllite and kaolinite are rather radically decreased, and finally disappeared. But muscovite, quartz, and plagioclase feldspars are inclined to be preserved because of weak alteration. Most of clay ore bodies contain purple tuff beds on the uppermost portion, and silicified beds, tuff, and lapillistone are found in an ascending order in the most of clay quarries. Chemical analyses show that higher contents of Al_2O_3 might not necessarily be due to the argillization, since some tuffs contain higher Al_2O_3 contents originated from feldspars. SiO_2 contents are fairly higher in the silicified beds than in those of adjacent formations, which might have been introduced from the ore bodies. And K_2O contents are obviously lower than those of Na_2O and CaO in the ores and their vicinities. Ignition losses of some of clays represent much higher contents than those of the ordinary ones because of the sporadic presence of alunite, diaspo and corundum which are accompanied with lots of SO_4 and Al_2O_3 contents. REE (rare earth element) abundances of most of volcanics and clay ores show rather higher LREE (light rare earth elements) contents, and represent small to moderately negative Eu anomalies. Though most of ores usually show milky white color, fine-grained and well bedded formations which could be easily discernible in the most of outcrop. But more distinct characteristics are desirable where rather massive ore bodies exist. Purple tuffs and silicified beds above the ore bodies would be useful as marker horizons/key beds since they have rather obvious lithology, extension and mineralogy than those of other adjacent formations.

Key words : pyrophyllite, kaolinite, corundum, diaspo, alunite, ignition loss

서 언

전남일원에 많이 분포하는 화산암기원 점토광체는 엽납석(pyrophyllite)과 고령석(kaolinite) 중 한 가지만으로 구성되거나, 두 가지 중 한 가지가 우세하게 포함되는 경향이다. 전남지역 점토는 유리 섬유와 내화물 등에 이용되는 엽납석과 고령석 등으로 구성되며 부수적으로 견운모, 석영, 장석류를 포함하여 요업에 널리 이용되는 도석이라는 명칭으로 널리 산출된다.

엽납석과 고령석을 포함하는 국내 점토광상은 한반도 남서(전남 남석광화대)와 남동(경남 남석광화대)지역으로 이분되며, 남서 광화대에서 연구대상인 5개 광상은 북으로부터 나주군 다도면 다도광산, 해남군 황산면 성산광산, 완도군 노화읍 민경(주)과 조선내화(주)광산, 그리고 진도군 가사도 옥출광산까지 연장된다(그림 1). 연구지역의 중앙부에 위치한 성산광산의 경우, 양질의 디카이트를 산출하였던 지하심부 갱내채광은 거의 끝났으며, 현재는 노천에서 B급 이하 고령토를 주로 생산한다. 수많은 점토광산과 함께 국내 최대 금광산인 은산(구, 순신)이 소재한 해남일대는 환태평양과 남유럽 현생조산대에 혼한 화산성 천열수광산으로서 광석과 변질광물류의 유화작용에 의하여 고유

황형, 저유황형 및 중유황형으로 구분(Hedenquist *et al.*, 2000)되기도 하였으나, 최근에는 각 광상의 특징적인 맥석과 변질광물류로 구분하는 경향이다 (Cooke and Deyell, 2003; Simmons *et al.*, 2005).

전남지역 점토광상에 대한 여러 연구에서는 점토광체가 해남층군 중상단부에 위치한 산성화산암인 황산응회암층에 협재되는 것으로 기재하고 있으며, 광체 최상단부의 저색점토광체/응회암의 존재와 그 상부에 오는 규화대층과 박층의 화산회층 등에 대한 언급이나 광물조성 및 화학적 특성에 대해서는 기재하지 않았다. 본 연구는 점토광체의 층후에 따른 광물학적인 변화와 함께 광체 상부에 퇴적된 저색점토광체/응회암류와 그 상부의 규화대층 및 화산회층 등에 대한 지질·층서학적 구분을 하였으며, 이들이 포함하는 광물 및 지화학적 특성을 기재하였다. 또한, 지역적으로 산재된 광상들을 배태하고 있는 다른 이름의 지층의 통일을 위하여 단순한 암석학적 통일을 할 수 있는 기초적 시도를 하였다.

시료채취, 실험방법 및 연구방향

시료채취는 점토광체와 함께 육안으로 구분이 가능한 상부 지층(1~2 cm 이내 층후의 layer 및

결과 및 고찰

지질 및 광상

해남과 주변의 지질은 일제시대 우수영도폭(木野崎吉郎, 1929), 노화도도폭(島村新兵衛, 1930) 등에서 분류산성암층(effusive acidic rocks) 및 분암(porphyrite) 등의 화산암류로 단순히 구분되었다. 그리고, 이대성(1964)이 세립담색응회암류를 기재하였고, 진도·지산도폭(김상욱과 윤윤영, 1971)에서는 옥출광상이 있는 가사도에서 백악기 신라통의 상부에 가사응회암을 기재하였다. 이대성과 이하영(1976)은 해남일대의 유전 가능성 연구에서 선캠브리아기 변성암류와 주라기 화강암 등 기반암류를 피복하고 하단부에는 흑색셰일을 협재하는 백악기 유천층군 하부인 해남층군이 광범하게 분포하며, 이들 상부에 중성화산암류로 구성된 화원층군으로 세분하였다. 그리고, 점토광체는 해남층군 중상단부에 위치한 데사이트-유문암질의 황산응회암층에 협재되는 것으로 기재하였다(문화수 등, 1990; 문화수 외, 1991; Koh, 1997). 또한, 구시광상은 해남층군에 속하는 용결응회암과 암설질 응회암으로 구성되는 장구리응회암에 납석이 배태되는 것으로 기재하였다(Moon *et al.*, 1991). 한편, 최북단인 나주군 다도면의 다도광산은 유천층군의 안산암 및 유문암질 응회암을 모암(홍승호와 최범영, 1990)으로 하며, 연구대상 지역은 아니지만 연구지역 중북부에 위치한 해남군 계곡면의 해남광산은 해남층과 대비되는 계곡화산암이라는 산성화산암류에 광상이 배태된다(문화수 외, 1991). 상기와 같이, 연구지역 점토광상은 남북으로 90 km 이상 떨어져 있으며, 여러 도폭 등에 의해 다른 층서명으로 기재되었지만, 육안으로는 유사한 암체이므로 대비와 통합이 필요하며, 광체를 포함하는 산성화산암층의 세분도 요구된다. 그러므로, 본 연구의 5개 광상은 같은 지층명으로 분류되지는 않았지만, 유사한 암상의 산성응회암류를 모암으로 하기 때문에 이들 중앙부에 위치한 성산광상의 황산응회암류를 분류기준으로 하였다. 즉, 지질계통은 채굴적에서 확인되는 입도, 색상차이 등과 시료의 광물감정 및 화학분석 등으로 점토광체와 저색점토/응회암을 포함하는 층(claystone with purple layers), 규화응회암과 화산회 박층이 교호하는 규화대층(silicified bed with tephra layers), 괴상의 담백색 응회암(tuff), 최상부 담녹색 암설 응회암(lapilli-

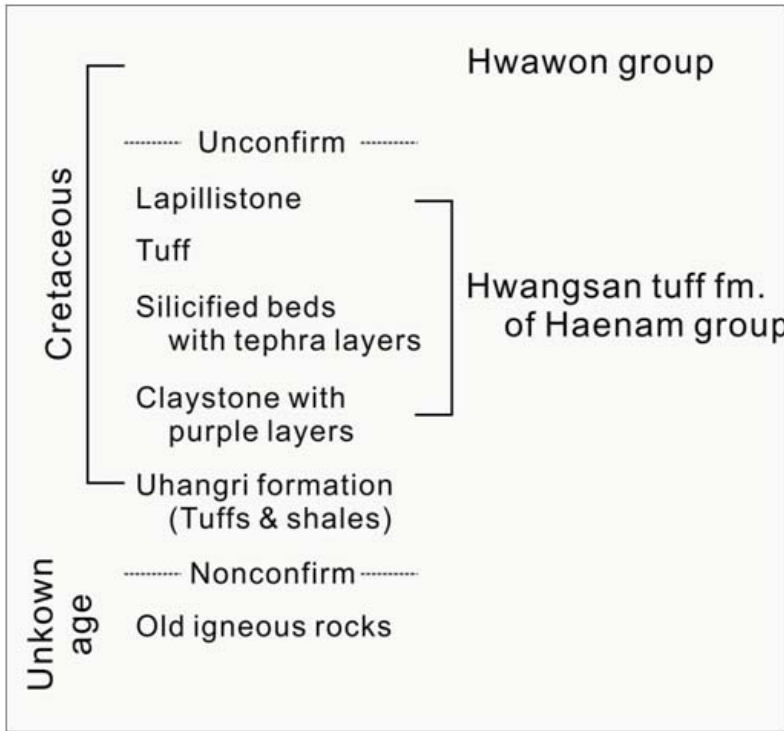


Fig. 1. Location map of the study area. 1 = Dado mine, 2 = Ogchool mine at Gasado, 3 = Seongsan mine, 4 = Gusi mine, 5 = Mingyung mine at Nowhado (revised from Yoo *et al.*, 2009).

bed 단위)을 대상으로 하였으며, 균질한 괴상광체에 대해서는 0.5 m 내외 폭의 복합 시료를 취하여 심도와 변질정도에 따른 광물 및 지화학적인 변화를 확인하였다. 복합시료는 육안상 큰 차이를 알기 어려운 괴상광체(점토, 석회석 등 비금속광상)시료 채취에서, 일정한 간격(3 m 층후 지층에서 수직으로 0.5 m 간격 등으로 6개 시료채취 등)에서 서너 개의 칩(chip)상 시료를 한 봉투에 취하고 분쇄하여 화학분석을 통하여 1개 분석치로 이용하는 방법이다.

우선, 지표조사에 의하여 광체와 상부 층서를 구분하였으며, 이들에 대한 광물조성, 주성분 10 원소 및 희토류원소 함량을 통하여 납석 및 고령토화의 기작을 추정하고, 광상조사에 도움이 되는 층서 확립을 도모하였다. 화학성분 분석에서 주성분 분석과 희토류원소에 대한 분석은 한국지질자원연구원이 소장한 X-선 형광분석기(X-ray fluorescence spectrometer, XRF)와 유도결합질량분석기(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICPMS)에 의하였으며, X-선 회절분석으로 광물 감정, 공생관계(paragenesis)와 대상분포(zoning)에 의해 층별 점토화 및 변질정도를 추정하였다.

Table 1. Geology of several pyrophyllite/kaolinite deposits in the Jeonnam clayey deposits. Stratigraphy was simply classified in the viewpoint of lithology from the main outcrops of the Seongsan and Mingyung mines.



stone) 등의 넷으로 구분하였다(표 1 및 그림 2). 연구지역 황산응회암류는 육안관찰에 의해 크레이-실트 입도가 우세한 괴상 이암(mudrock)류 중에서 크레이암(claystone)-실트암(siltstone)류에 속한다(Friedman and Sanders, 1978; Blatt, 1982).

납석/고령토 광체의 폭 및 연장은 변화가 많으나 채굴적에서 대략 2~5 m 정도이며, 연장이 약 100여 m 이상 확인되기도 한다. 과거, 성산광산 지하 디카이트광체 폭은 15여 m 정도였으며(유장한, 1985), 노화도 민경광산 지하 납석층은 60여 m까지 확인된다(한국지질자원연구원, 2009). 점토광체는 미립이며 담회-유백색이 우세하고, 납석은 고령토보다 지방감이 있으며 촉감이 부드러운 편이다. 노화도 민경광산, 해남 성산광산과 가사도 옥출광산의 광체 상단부에는 폭 0.5~2 m 이내의 저색층(점토층/응회암층)이 연장성이 양호하게 퇴적되었으며, 광체와 뚜렷한 색상차이를 나타내지만 정합적인 연속적 퇴적상을 나타내어 긴 공백(hiatus)이 아님을 알 수 있으며, 저색층은 양질광체 퇴적의 종식을 지시한다. 한편, 가사도에서는 저색층 하부에 10~

30 cm 미만의 회록색 응회암층이 협재되기도 하지만 부분적으로 연장성이 뚜렷하지 않고, 층리(layer)가 혼재(disturbed or mixed)되거나, 녹갈색으로 변한 부분도 있다. 또한, 저색 응회암은 부분적으로 하부 고령토광체를 그레놀(granule)크기로 포함하거나, 규화되어 있기도 하므로 광체와는 약간의 시간적 차이가 있었음을 암시한다. 그리고, 구시, 성산, 옥출 및 민경광산 상부에는 소규모 반복된 화산작용(10여 회 내외)에 의해 10~50 cm 층후의 치밀한 담백-담회색 규화 응회암과 0.5~20 cm 두께의 고화가 불충분한 담갈색 화산회(tephra layer)가 교호되는 층리와 연장성이 아주 양호한 규화대층(silicified formation)이 폭 2~15 m로 나타난다. 규화 응회암사이에 협재되는 화산회는 규화 응회암과 유사한 기원으로 추정되나, 색상, 광물조성 등의 명확한 차이에 의하여 퇴적시기와 근원지가 달랐음을 알 수 있으며, 지표수 유동 등에 의한 풍화(?)로 잘 부수어지거나 연약한 편이다.



Fig. 2. One of quarries of the Mingyung mine in the Nowhado. Pyrophyllite formation with purple beds, silicified formation, and lapilli tuff formation from the bottom to the surface. Ogchool and Seongsan deposits also show kaolinite formations with purple tuffs in the lowermost part of the Hwangsansan tuff formation (Yoo *et al.*, 2009).

광물학적 특성

광체를 포함하는 산성 응회암층은 상부로 가면서 납석, 고령토의 양이 감소하거나 전혀 포함하지 않는 반면, 견운모와 함께 알바이트 등 사장석류도 확인되며, 석영은 대부분의 층에서 확인된다(그림 3). 점토광체에서 확인되는 납석은 가까운 일본에서도 흔한 단사정계형(monoclinic forms, 또는 $2M_1$ 형)이며(Blindley and Wardle, 1970; Eberl, 1979), 고령토류는 kaolinite 1T가 우세하고, 점토광체는 이들 중의 하나로 구성되는 경우도 있지만, 대부분은 한 가지가 우세하고 다른 하나는 극히 소량으로 포함되는 경향을 나타낸다. 납석 중에서 $2M_1$ 형은 1 Tc형보다 흔히 나타나며, 주요 피크는 9.20, 4.60, 4.45, 3.06, 2.53 및 2.41 Å 등으로 (001)피크인 9.20은 가장 강한 피크의 하나이며, 4.45와 2.53 Å 피크 주변은 2~3개의 피크에 의해 d 간격이 넓어지는 것이 특징으로 1 Tc형 납석은 거의 섞이지 않은 것으로 추정된다(Blindley and Wardle, 1970; Bentayeb *et al.*, 2003; 유장한, 2009).

해남 성산광상은 고령토가 우세하며 납석은 전

혀 확인되지 않으며, 점토화 조건이 고령토화 정도였으며 납석에는 이르지 못하는 조건이었다. 성산 지역에서는 명반석이 흔히 수반되기는 하나, 강옥(corundum, Al_2O_3) 및 다이어스포($\alpha-AlO \cdot OH$) 등은 확인되지 않는다. 고령석 외에는 불순광물로서 석영이 가장 일반적이며 소량의 운모류와 사장석류가 포함된다. 가사도의 옥출광상은 고령토가 주이며 납석은 산출되지 않고, 명반석을 수반하기도 하나, 강옥 및 다이어스포는 확인되지 않는다. 고령석 외에 불순광물로서는 석영이 일반적이며 소량의 운모류와 사장석류가 포함되기도 한다. 구시광산은 모든 점토광물이 납석화하는 조건이었으며 고령토류는 확인되지 않으며, 불순광물로서 석영과 함께 소량의 운모류가 포함되지만, 장석류는 확인되지 않는다. 노화도의 민경 및 완도광산은 납석을 주로 하고 소량의 고령토가 공존하는 전이대에 속한다. 민경광상에서 강옥과 다이어스포가 모두 확인되지만, 다이어스포는 강옥에 비해 그 산출량이 다소 풍부한 편이다. 대체적으로, 다이어스포는 납석이 우세하고 고령토를 소량으로 포함하는 광체에서 흔하다. 장석류는 납석과 고령토광물류가 확

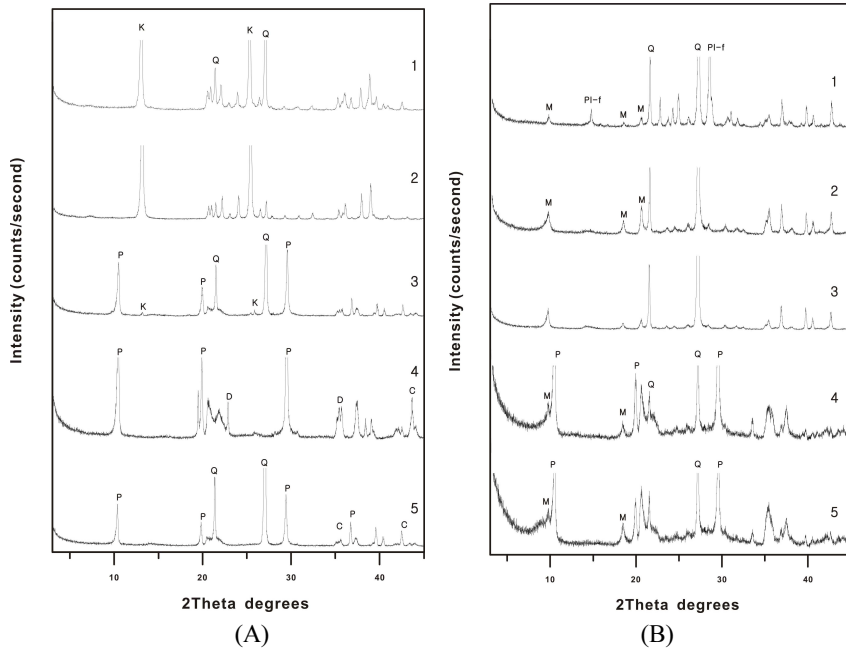


Fig. 3. X-ray powder diffraction patterns (Cu K α radiation) of (A) clay ores (1 = Ogchool kaolin, 2 = Seongsan kaolin, 3 = Dado pyrophyllite, 4 = Mingyung pyrophyllite, 5 = Gusi pyrophyllite) and (B) their related rocks in the Jeonnam clay province (Yoo *et al.*, 2009). KEY. P = pyrophyllite, Q = quartz, K = kaolinite, D = diaspore, C = corundum, M = micas, Pl-f = plagioclases.

인되는 시료에서는 거의 확인되지 않으며, 운모류가 확인되는 시료에서는 주로 확인되므로 납석·고령토화가 되는 환경에서는 장석류가 존재할 수 없음을 지시한다. 나주 다도광산은 납석을 주로 하고 소량의 고령석을 포함한다. 불순광물로서 석영과 함께 소량의 운모류를 흔히 포함되지만, 장석류는 확인되지 않는다. 이밖의 부수광물로서 강옥을 포함하기도 하지만, 다이어스포는 확인되지 않는다. 연구지역에서 산출되는 엽납석, 고령석 및 부수광물 등이 점토광체와 응회암류에서 나타나는 공생관계를 그림 4에서 표시하였다(유장한, 2009). 그러나, 구시광상(Moon *et al.*, 1991)에서 납석과 수반되는 명반석과 디카이트를 기재하고 있다.

점토광체 상단부의 저색 점토층과 이들 상위의 응회암은 광물학적으로 광체와 유사하지만, 폭 20~30 cm 내외의 저색층 중 미립이며 지방감있는 부분은 엽납석, 고령석 등을 많이 포함하지만, 입도가 불균질하고 규화된 저색층은 석영, 사장석류와 백운모 등으로 주로 구성된다. 그러므로, 점토화 작용은 온도압력조건과 함께 퇴적물의 원래 입도와 성분 등에도 좌우되는 것으로 추정된다. 노화

도 민경광상의 규화대층(규화응회암 및 화산회암 교호)은 점토광체와 저색 점토/응회암의 상위에 있으며, 층후 3 m 정도로서 하단부는 상당량의 엽납석과 고령석을 포함하지만, 상단부는 이들을 거의 포함하지 않는다. 함께 협재되는 화산회는 산화철에 의해 담황-담갈색으로 착색되어 규화응회암과 구분되지만, 석영과 함께 소량의 백운모를 포함하는 특징이 있다. 규화대층을 덮는 괴상 응회암은 석영과 함께 소량의 견운모와 사장석류를 포함하며, 납석과 고령토류는 포함되지 않는다. 최상부의 암설 응회암은 석영, 사장석류를 주로 하고 소량의 견운모를 포함하지만 고령토와 납석은 확인되지 않는다. 암설 응회암은 하부 응회암과 조성광물에는 큰 차이를 나타내지 않으나, 지질시대가 오래지 않은 관계로 변질작용이 미약하여 백운모가 적고 사장석류는 더욱 풍부한 편이다.

점토광체의 상부지층은 규화작용과 함께 견운모화가 다소 뚜렷하지만 녹니석, 녹렴석 등은 확인되지 않고, 일부에서 알바이트장석이 확인되며, 지하광체와 인접한 열은 녹색 화산암류에서도 녹니석류는 포함되지 않는다. 전남지역에서 프로필리틱

		Feld	Qtz	Seri	Kao	Pyro	Alu	Coru	Dia	I-M(?)
Lithic tuff		█	█	█						
Fine tuff		·	█	█						
Up. silici. fm.	Tephra layer		█	█	(?)	█				
	Silicified bed		█	█		█				
Lo. silici. fm.	Tephra layer		█	█	█	█				
	Silicified bed		█	█	█	█				
Clay fm.	Purple tuff	·	█	█	█	█				
	Kaolinite ore and/or Pyrophyllite ore	Ka.		█	█	█	█	█	█	█
		Py.		█	█	█	█	█	█	█

Fig. 4. A generalized mineral paragenesis of major formations in the Jeonnam pyrophyllite/kaolinite province. Younger formations are arranged in an ascending order. Dot means the sporadic presence of each mineral. KEY. Up = upper, Lo = lower, Silici = silicified, fm = formation, Py/Pyo = pyrophyllite, Ka/Kao = kaolinite, Seri = sericite, Qtz = quartz, Feld = feldspars, Alu = alunite, Coru = corundum, Dia = diaspore, I-M = illite-montmorillonite interstratified mineral (revised from Yoo *et al.*, 2009).

변질작용(prophyllitic alteration)이 뚜렷하지 않은 것은 녹니석, 방해석, 견운모, 혼합층상 광물류의 생성 등을 가능케 하는 흑운모, 각섬석류, 휘석류 등 유색광물류가 결핍때문이다(McLemore *et al.*, 2009). 성산광산 노천채굴적 등에서 녹니석류는 확인되지 않았으며 석영대, 명반석대, 디카이트대, 일라이트대 및 알바이트대의 5개 변질대로 구분하였으나(Kim *et al.*, 1992; Cho and Kim, 1994), 은산 금광상주변은 알바이트 장석과 함께 탄산염광물류, 녹니석, 녹립석 등 포로필리틱 변질과 함께 견운모 화와 규화작용을 확인하기도 하였다(Bowden, 2007). 반면, 경남지역은 안산암질 응회암류를 모암으로 유색광물류가 풍부하므로 견운모대, (알바이트)-녹니석대 및 납석대(이강원 외, 1993; Dominguez *et al.*, 2008) 등으로 구분된다. 연구지역 점토광체와 상부 응회암류에는 한반도 남동단 제 3기층에서 흔히 산출되는 불석 및 스�멕타이트류가 확인되지 않으며, 속성변질작용 한계(대략 250 °C)를 지나는 온도·압력조건임을 암시한다(Holler and Wirsching, 1978; Hawkins, 1978; 광규원 등, 2009). 또한, 일부 시료에서 일라이트와 스�멕타이트 혼합층상광물(I-M)에 유사한 피크(002, 12.4 Å)가 확인되나 강도가 극히 미약하다. 그러나, 해남광산에서 해남층군에 대비되는 산성응회암층인 계곡화산암의 납석광체에서 녹니석과 스�멕타이트류를 기재하였고(문희수 등, 1991), 박영석과 김진(1993)의 지도 도석

광상에서 일라이트-스멕타이트 혼합층상광물을 기재하였다.

지화학적 특성

납석과 고령토의 주요 구성 성분인 Al₂O₃, SiO₂와 H₂O의 이론적 함량은 납석 28.3, 66.7, 5.0%, 고령토 39.5, 46.5, 14.0% (Hurlbut and Klein, 1977)로서 다소 큰 차이를 나타내는 것은 납석이 고령토보다 고온·고압환경에서 생성되기 때문이다. 노화도지역 납석의 Al₂O₃ 함량은 16.31~37.56 wt%까지 확인되나, 37.56 wt%나 되기도 하는 이유는 간혹 수반되는 다이어스포 및 강옥 때문이다. 성산과 옥출고령토광산의 Al₂O₃ 함량은 13.38 ~ 35.97 wt% 정도이고, 일부 시료는 명반석에 의해 Al₂O₃ 함량이 이상적으로 높아지기도 하며, 상부 응회암류와 화산회의 Al₂O₃도 14.12~30.52 wt%로 평균치는 큰 차이를 나타내지 않는다. 중급정도 품위의 다도납석의 Al₂O₃ 함량은 12.79~27.77 wt%로서 성분변화가 심한 편이다. 다소 저급에 속하는 구시납석의 Al₂O₃ 함량은 15.95~18.51 wt%이며, 상부 응회암류와 화산회의 Al₂O₃는 14.19~19.48 wt%로 큰 차이가 없다. 상부의 응회암류와 화산회도 14.37~29.75 wt%의 Al₂O₃ 함량을 나타내어 점토광체와 큰 차이를 나타내지 않기도 하다. 그 이유는 지질시대가 오래지 않아 점토화되지 않은

Table 2. Chemical compositions (oxides, Wt.%) of clay ores and their adjacent rocks, Haenam

Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Ig. loss	Total	Description
1-1	78.13	16.31	0.48	0.08	0.15	0.33	0.05	0.91	0.01	0.09	3.24	99.78	Mp
1-2	66.49	26.69	0.45	0.12	0.15	0.05	0.11	0.48	0.01	0.08	5.09	99.72	Mp
1-3	53.38	37.56	0.21	0.12	0.16	0.02	0.15	0.67	0.01	0.15	7.24	99.67	Mp
1-4	65.75	27.49	0.28	0.09	0.13	0.05	0.16	0.42	0.01	0.06	5.28	99.71	Mp
1-5	79.85	15.95	0.33	0.05	0.12	0.06	0.03	0.27	0.01	0.06	3.16	99.89	Gp
1-6	74.50	18.51	2.60	0.05	0.13	0.14	0.03	0.24	0.01	0.07	3.71	99.99	Gp
1-7	55.30	32.15	0.14	0.04	0.15	0.3	0.01	0.24	0.01	0.15	11.75	99.98	Sk
1-8	75.61	17.29	0.10	0.03	0.13	0.03	0.01	0.18	0.01	0.06	6.41	99.87	Sk
1-9	73.73	13.38	1.41	0.11	0.44	7.91	0.89	0.20	0.07	0.03	1.80	99.97	Ok
1-10	40.83	35.72	8.75	0.04	0.17	0.03	0.01	0.86	0.01	0.14	13.43	99.99	Ok
1-11	60.74	26.72	1.87	0.04	0.15	0.05	0.01	0.52	0.01	0.07	9.81	99.99	Ok
1-12	74.66	17.68	0.12	0.04	0.13	0.06	0.01	0.37	0.01	0.11	6.44	99.63	Ok
1-13	36.39	35.97	0.10	0.02	0.15	2.42	0.55	0.34	0.01	0.11	23.93	99.99	Ok
1-14	76.87	17.58	0.48	0.06	0.03	0.12	0.15	0.45	0.01	0.08	4.02	99.85	Dp
1-15	64.08	27.77	0.55	0.06	0.04	0.02	0.19	0.51	0.01	0.14	6.80	100.17	Dp
1-16	60.40	26.19	3.39	0.26	0.34	3.15	0.25	0.71	0.01	0.05	4.81	99.56	Mpu
1-17	70.81	14.07	2.63	1.62	1.31	4.38	2.23	0.44	0.05	0.05	2.30	99.89	Tpu
1-18	74.29	14.37	1.84	0.61	0.61	1.93	3.67	0.23	0.05	0.04	2.10	99.74	Mt
1-19	66.68	21.77	0.84	0.14	0.33	5.43	0.09	0.68	0.01	0.03	3.76	99.77	Mt
1-20	55.56	29.75	1.34	0.21	0.29	6.27	0.18	0.85	0.01	0.08	5.10	99.63	Mtl
1-21	56.19	30.52	2.32	0.15	0.24	3.12	0.20	1.01	0.01	0.07	5.86	99.69	Mtl
1-22	58.12	28.41	0.74	0.32	0.23	3.83	0.01	0.42	0.01	0.02	7.48	99.59	St
1-23	72.31	15.50	1.93	0.22	0.45	4.07	2.37	0.20	0.06	0.02	2.46	99.59	Stl
1-24	82.28	14.12	0.18	0.04	0.12	0.05	0.03	0.21	0.01	0.06	2.89	99.99	Ot
1-25	69.29	19.48	1.53	0.07	0.45	5.13	0.06	0.57	0.01	0.03	3.36	99.98	Otl
1-26	82.14	11.40	0.47	0.07	0.17	2.79	0.02	0.50	0.01	0.03	2.15	99.74	Ms
1-27	81.75	11.16	3.11	0.08	0.30	0.20	0.01	0.40	0.01	0.03	2.77	99.82	Ms
1-28	88.06	7.67	0.33	0.05	0.18	1.77	0.01	0.15	0.01	0.02	1.50	99.75	Os
1-29	83.99	12.60	0.17	0.03	0.13	0.05	0.01	0.18	0.01	0.04	2.57	99.78	Gs
1-30	71.80	12.63	0.85	3.93	0.77	3.37	1.33	0.11	0.03	0.02	4.98	99.82	Ts
1-31	89.47	7.34	0.11	0.03	0.11	0.06	0.01	0.20	0.01	0.01	2.57	99.92	Ss

Sample description: 1. Clay ores; Mp (Mingyung pyrophyllite), Gp (Gusi pyrophyllite), Sk (Seongsan kaolinite), Ok (Ogchool kaolinite), Dp (Dado pyrophyllite). 2. Purple tuffs; Mpu (Mingyung purple tuff), Tpu (surrounding purple tuff). 3. Tuffs; Mt (Mingyung tuff), Mtl (Mingyung tephra layer), St (Seongsan tuff), Stil (Seongsan tephra layer), Ot (Ogchool tuff), Otl (Ogchool tephra layer). 4. Silicified beds; Ms (Mingyung silicified bed), Gs (Gusi silicified bed), Ts (surrounding silicified bed), Ss (Seongsan silicified bed).

상부 응회암류의 X-선 회절분석에서 확인되는 사장석류의 다소 높은 Al₂O₃ 함량이 원인의 하나이다 (표 2 및 그림 5). 점토광체에서 확인되는 SiO₂는 36.39~78.13 wt%로 변화폭이 크지만, 규화대는 81.75~89.47 wt%로 전반적으로 함량이 높은 편이다. 모암으로부터의 부화에 의해 광체를 형성하는 유동성 낮은 성분인 Al₂O₃와는 대조적으로 규화대는 점토광체 등에서 용탈 후 재침전된 것으로도 기재한다(김영희 등, 1990; Kim *et al.*, 1994; Fournier and Potter, 1982; Fournier, 1986). 따라

서, 실리카(SiO₂)는 지역 외곽부 및 최상부층에서 높은 함량을 나타낸다. 경남 남석광화대의 규화대도 모암 용탈로 설명(Kim *et al.*, 1994; 광규원 등, 2009; 전효택 등, 1991)되며, 일부에서는 규석광으로 개발된다. 그러나, SiO₂ 이동에 대한 설명이 쉽지 않기 때문에 단층 등 구조선을 통한 이동이 아닌 분화말기 관입암 등의 대류에 의한 이동으로 추정하기도 한다(Baker, 1990, 1991). 알카리 및 알카리토 금속류 중에서 CaO, Na₂O, MgO 등은 대체적으로 낮은 편(각각 0.02~3.93, 0.01~3.67,

전남일원 점토광상의 광물 및 지화학적 특성과 효과적 탐사를 위한 건층의 선정

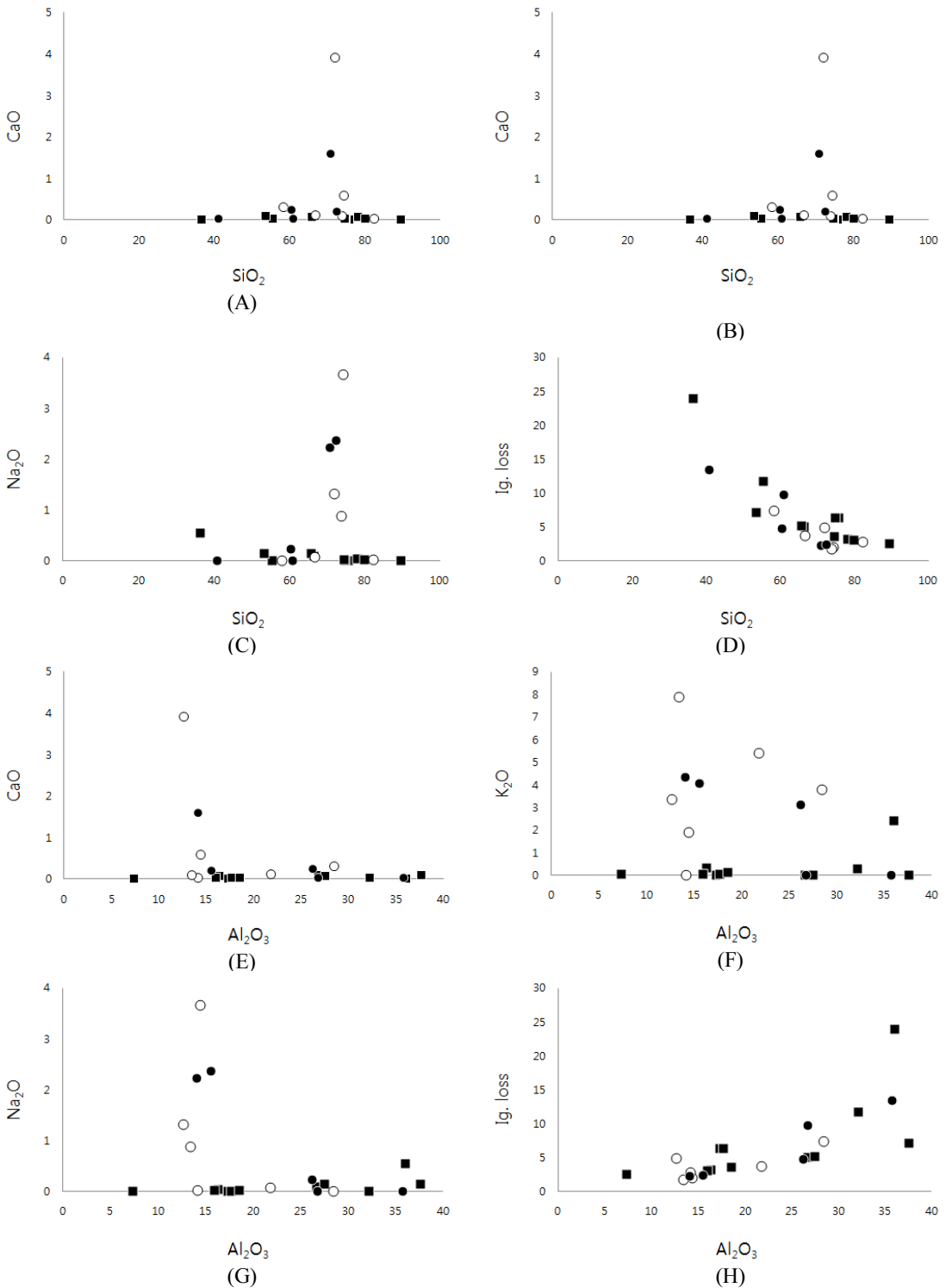


Fig. 5. Variation diagrams of major elements for kaolinite/pyrophyllite ores (diamond), purple beds (triangle) and upper tuff formations (square) in the study area.

Table 3. Concentrations of rare earth element (ppm) of clay ores and their adjacent formations in the Jeonnam clayey province

Sample	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Description
1-4	75.1	162	15.4	48.7	8.55	1.42	6.52	0.52	3.91	0.56	2.44	0.1	2.31	0.13	Mp
1-5	31.5	56.8	5.51	18.6	3.1	0.46	2.63	0.09	1.55	0.04	0.73	0.18	0.64	0.17	Gp
1-6	34.4	61.7	6.15	21.1	3.18	0.36	2.63	0.09	1.53	0.05	0.84	0.21	0.83	0.21	Gp
1-8	26.6	54.1	5.37	17.7	2.18	0.08	1.7	0.26	0.76	0.32	0.5	0.16	0.62	0.18	Sk
1-13	40	63.5	5.43	16.6	1.73	0.2	1.57	0.28	1.17	0.04	1	0.29	1.43	0.01	Gk
1-10	64.4	81.8	7.92	26.6	2.27	0.54	3.89	0.55	4.99	0.81	3.12	0.21	2.95	0.21	Opt
1-11	51.2	91.3	8.71	26.6	2.46	0.3	2.64	0.15	2.42	0.32	1.85	0.06	2.29	0.13	Opt
1-16	45.1	118	10.4	31.3	6.03	0.87	5.4	0.48	3.66	0.56	2.28	0.08	2.17	0.09	Mpt
1-17	46.1	87.6	9.22	33.7	5.57	1.1	5.28	0.56	4.43	0.65	2.58	0.12	2.53	0.14	Tpt
1-32	103	135	10.3	36.5	6.88	1.75	6.88	0.59	3.59	0.39	1.7	0.36	1.51	0.35	Spt
1-9	41.2	50.1	7.88	27.9	4.74	0.78	3.98	0.53	2.76	0.56	1.65	0.27	1.86	0.29	Ot
1-18	16.4	28.5	3.19	12.2	2.02	0.25	1.99	0.07	1.82	0.16	1.26	0.3	1.36	0.33	Mt
1-19	73.7	159	19.1	71.8	12	1.8	9.06	0.81	5.02	0.77	2.93	0.17	2.83	0.18	Mt
1-22	20.5	37.3	3.48	11.8	2.39	0.13	4.27	0.82	7.53	1.42	5.47	0.67	6.64	0.81	St
1-24	36.3	59.7	5.06	13.9	1.27	0.05	1.36	0.18	0.48	0.21	0.26	0.12	0.4	0.13	Gt
1-30	17.1	35.2	3.55	12.9	2.57	0.12	2.57	0.22	2.64	0.28	1.47	0.35	1.54	0.33	Tt

Sample description: 1. Clayey ores; Mp (Mingyung pyrophyllite), Sk (Seongsan kaolinite), Gk (Gasa kaolinite), Gp (Gusi pyrophyllite). 2. Purple ores/tuffs; Mpt (Mingyung purple tuff), Spt (Seongsan purple tuff), Opt (Ogchool purple tuff), Tpt (surrounding purple tuff). 3. Tuffs; Mt (Mingyung tuff), St (Seongsan tuff), Ot (Ogchool tuff), Tt (surrounding tuff), Gt (Gusi tuff).

0.11~1.31 wt%)이지만, K₂O는 점토광체(0.01 ~ 0.56 wt%)가 주변암류(0.03~7.91 wt%)보다 훨씬 낮아 점토화에 따른 용탈이 추정되기도 하지만, 이들 알카리 및 알카리토 금속류함량은 납석광체와 고령토광체에서 큰 차이가 없는 편이다. 점토광체의 철분함량은 0.10~2.60 wt%로서 주변암류(0.05~8.75 wt%)보다 낮은 것은 양질 점토광체를 선별 채취하였기 때문이며, 납석과 고령토와도 별 차이를 보이지 않는다. 그러나, 일부 광체 상단부의 저색 점토층과 응회암류는 높은 철분함량을 나타내지만, 그 밖의 주성분원소류는 점토광체와 큰 차이가 없으므로 이들이 유사기원임을 암시한다. 점토광체의 작열감량(ignition loss)은 3.16~23.93 wt%로서 변화폭이 크며, 납석과 고령토광체가 다소 차이를 나타내는 것은 이론상의 고령토 및 납석의 수분함량이 각기 14.0와 5.0 wt%이기 때문이다. 그러나, 가사도 등의 일부 시료가 23.93 wt%까지 나타나는 것은 고유황형광물인 명반석 SO₄기의 작열

감량이 38.6%이기 때문이다. 또한, 노화도 납석 작열감량이 이론치보다 높은 7.24 wt%인 것도 부수적으로 포함되는 작열감량 15%의 다이어스포 등에 기인한다. 작열감량은 점토광물류 정량분석에 이용될 정도로 광물류에 따라 차이가 있으며, 스�멕 타이트군의 몬모릴로나이트는 감소량이 20 wt%이며, 그 양은 광물의 수분(H₂O)뿐 아니라, CO₂와 SiO₂ 등에도 좌우된다(Hurlbut and Klein, 1977).

점토광체와 주변암류를 표준화한 희토류원소 분포는 다음과 같은 특성을 가진다. 모든 광상(다도 광상은 분석을 하지 못했음)시료에서 경희토류는 뚜렷하게 부화되어 있으며, 중희토류는 상대적으로 완만하게 결핍되나 Lu는 부화되는 특성을 보인다(표 3 및 그림 6). Eu 부이상은 다소 뚜렷한 편이나, 고령토 및 납석; 0.12~0.56, 저색응회암; 0.36~0.78, 응회암류; 0.12~0.54 등으로 대부분이 비슷한 범위를 보인다. 거의 모든 시료에서 점토류 및 저색 점토/응회암의 경희토류 함량이 모암류(응

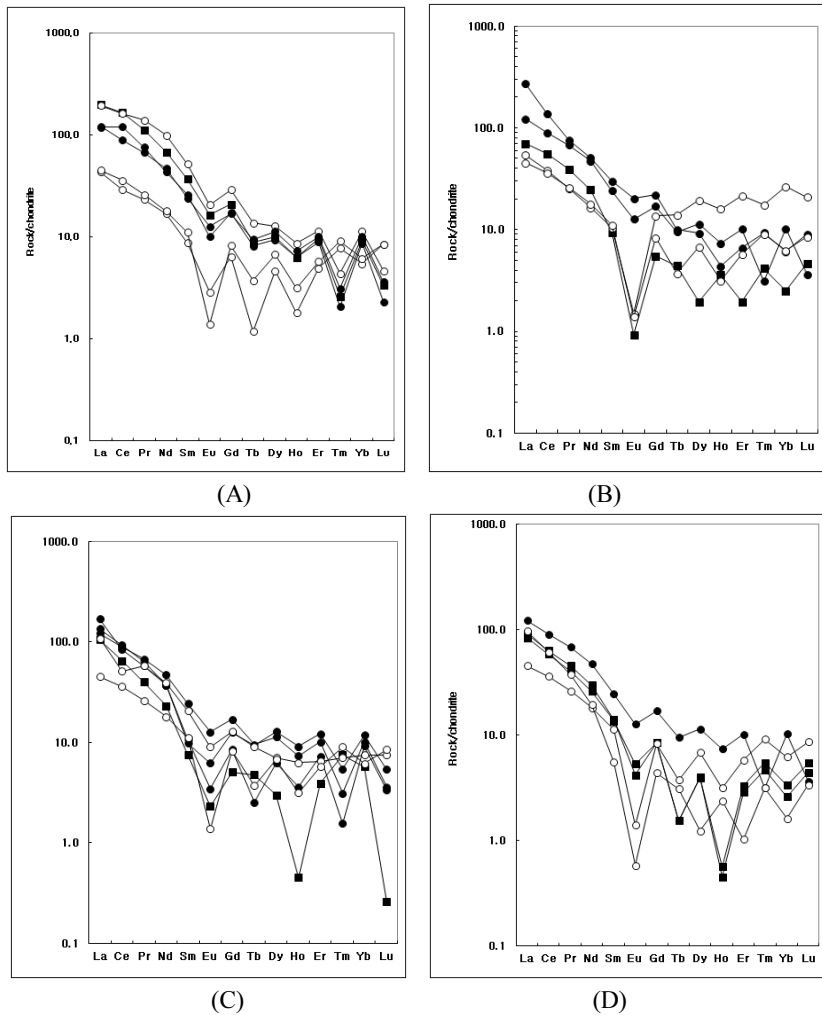


Fig. 6. Chondrite-normalized REE patterns of kaolinite/pyrophyllite ores (solid square), purple beds (solid circle) and upper tuff formations (open circle) from the study area. KEY A = Mingyung mine, B = Ogchool mine, C = Seongsan mine, and D = Gusi mine. Samples from the Dado mine was not analyzed for REEs.

회암류)에 비해 부화된 것으로 나타난다. 그러나, 함량의 변화양상이 비슷하게 나타내는 특성으로 미루어 고령토/납석, 저색응회암과 응회암류는 유사한 기원물로 해석될 수 있다. 그러므로, REE 값이 고령토/납석 165 ppm, 저색응회암 227 ppm, 응회암 평균 171 ppm 등으로 확인되는 미약한 차이는 각 암석을 형성하는 엽납석 및 고령석 등 조성광물류의 함량차이에 의한 것으로 추정된다. 전남 일부 점토광상지역과 함께 해남 순신광산의 모이산과 주변암류에서 확인되는 희토류원소 Eu 함량은 다소 뚜렷한 부이상을 나타내지만(한국지질

자원연구원, 2010), 일본 남서부 저유황형 천열수 광상으로 잘 알려진 히시카리(Hishikari)나 구시기노(Kushikino) 금-은광상은 Eu가 다소 부화된 정도 이상을 나타낸다(Morishita and Nakano, 2008).

광상탐사를 위한 건층의 선정

전남지역 점토광체는 대체적으로 층리가 양호하여 연장 확인에 어려움이 없기도 하지만, 부분적으로 괴상을 나타내는 지역에서의 효과적 탐사를 위해 광체 주변에서의 특징적인 건층(鍵層; key bed)

선정이 바람직하다. 화산회와 같은 화산분출물은 중위도 이상 지역에서 퇴적속도가 느린 peat bogs 나 호수 등 분지에 광범하게 보존되는 특성이 있어 화산회 암상, 광물 및 지화학적 특성에 의한 근원지 추적 및 지질시대구분(tephrochronology)에 유용한 것이 특징이다(Thorarinsson, 1970). 연구지역에서 건층으로 지정할만한 두 가지를 제시하며, 육안상 구분과 광물조성의 차이를 기재한다.

(가) 전남 해남지역 응회암층에서 담회색, 유백색 등 옅은 색상의 응회암류 외에 다소 진한 홍색, 회자색 및 암적색 등에 대한 이대성(1964)의 '세립질 담색타프층'(산성응회암을 지칭)기재와 이대성과 이하영(1976)의 황산지역 응회암에서의 홍색, 자색 등을 띠는 부분에 대한 언급정도이며, 이들의 점토광체와의 관계 및 층서상의 위치 등에 대한 기재는 하고 있지 않다. 가사도, 민경, 성산광산의 광체 상단부에는 유백색 점토광체와 육안상으로 구분되는 저색 점토층이나 응회암이 확인되며, 이들은 광체 발달이 끝남을 지시한다. 저색층은 주로 광체와 유사한 고령석, 엽납석 등으로 구성되기도 하지만, 부분적으로는 규화 등의 변질에 의해 석영을 주로 하여 응회암화된 부분도 있다.

(나) 가사도, 구시, 성산 및 노화도광산의 광체 상부에는 규화대층(규화 응회암과 화산회의 수매 내지 십수매 이상 호층)이 층후와 연장, 각기 3 m ~ 수십 m 및 수십 m 이상이며, 층리 발달상태가 광상일대 지층 중에서 가장 양호한 것이 특징이다. 담백 내지 담회색의 규화 응회암은 화산회, 점토광체 등 주변층에 비하여 SiO₂ 함량이 30여 % 이상까지 높아 90% 정도를 나타내기도 한다. 규화대의 하단부는 대체적으로 고령토나 납석을 포함하기도 하지만, 상단부로 가면서 고령석이나 엽납석이 확인되지 않는 경우가 흔하다. 옥매산광산 연구에서 문희수와 송운구(1992)는 규화대를 명반석, 고령토 등 광체상부를 덮는 덮개암(cap rock)으로서 기재하였다.

결 론

전남일원의 화산암기원 5개 점토광상에 대한 연구결과를 종합하면 다음과 같다.

1) 전남 해남군 황산면의 성산광산과 주변의 4개 점토광상의 주 구성광물은 엽납석(pyrophyllite)과 고령석(kaolinite) 중 한 가지로 구성되거나, 한 가지를 극히 우세하게 포함하는 경향이다.

2) 연구지역 지질계통은 입도, 색상, 층리 등의 산상차이와 광물조성 및 화학분석 등으로 구분하였으며, 하부로부터 점토광체와 저색점토/응회암 포함층(claystone with purple layers), 규화 응회암과 화산회 박층의 교호(silicified bed with tephra layers), 괴상 응회암(tuff), 그리고 암설 응회암(lapillistone)의 넷으로 구분하였다.

3) 지표상 납석/고령토 광체의 폭은 대략 2~5 m이나, 과거 성산고령토광산 지하광체 폭은 15여 m, 민경광산 지하 납석층은 60여 m까지 된다.

4) 광체를 포함하는 산성 응회암층은 상부로 가면서 엽납석 및 고령석 양이 감소하거나 전혀 포함하지 않으며, 석영은 대부분 층에서 풍부하며, 견운모와 사장석류가 수반된다. 성산과 옥출광상은 고령토가 주이며 납석은 산출되지 않고, 명반석을 수반하기도 하나, 강옥 및 다이어스포는 확인되지 않는다. 노화도의 민경 및 완도광산은 납석을 주로 하고 소량의 고령토가 공존하는 전이대이며, 강옥과 다이어스포가 모두 확인되며, 구시광산은 납석으로만 구성되며, 다도광산은 납석을 주로 하고 극소량의 고령토를 포함하며, 강옥이 간혹 수반되지만, 다이어스포는 확인되지 않는다.

5) 노화도지역 납석의 Al₂O₃ 함량은 16.31~37.56 wt%까지 확인되나, 37.56 wt%까지 되는 이유는 간혹 수반되는 다이어스포와 강옥 때문이다. 성산과 옥출고령토광산의 Al₂O₃ 함량은 13.38~35.97 wt%이며, 부수적으로 포함되는 명반석으로 Al₂O₃ 함량이 높아진다. 상부 응회암층이 포함하는 사장석류 때문에 점토층의 Al₂O₃ 함량과 큰 차이를 보이지 않기도 한다.

6) 점토광체와 주변암류의 희토류원소 분포에서 경희토류가 부화가 확인되며, 중희토류는 완만하게 결핍되나 Lu는 부화되는 특성을 나타낸다. Eu 부이상은 다소 뚜렷하여 고령토/납석, 저색응회암과 응회암류는 유사 기원물로 해석된다.

7) 점토광체는 대체로 층리가 양호하여 연장화인에 어려움이 없지만, 괴상을 나타내는 노두에서의 효과적 탐사를 위해 건층(鍵層; key bed)이 될만한 두 지층(bed 및 layer단위 포함)을 제시하며, 육안상 구분과 광물조성 차이를 기재한다.

(가) 옥출, 민경 및 성산광산의 광체 상단부에는 점토광체와 육안상 구분이 뚜렷한 저색 점토층/응회암이 확인되며, 이들은 광체 발달이 끝남을 지시한다.

(나) 가사도, 구시, 성산 및 민경광산의 광체 상

부에는 층리 발달상태가 지극히 양호한 규화대층(규화응회암과 화산회의 수매 이상의 호층)이 특징적이다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원에서 기본사업으로 수행되었던 2009년도 ‘해남 천열수 금 광화대 및 열수변질 점토광화대 확보를 위한 전주기 개발’ 연구과제의 지원으로 수행되었다. 유익하면서 세밀한 지적을 해주신 황진연 교수와 조현구 교수께 진심으로 감사한 마음을 전합니다.

참고문헌

- 박규원, 황진연, 오지호, 윤근택, 지세정 (2009) 진해 납석광상의 산상과 광물학적 특성. 한국광물학회지, 22, 163-176.
- 김영희, 문희수, 김종환, 유장한, 김인준 (1990) 전남 옥매산광상의 열수변질작용 및 광석광물에 대한 광물학적 연구. 광산지질, 23, 287-308.
- 김상욱, 윤운영 (1971) 한국지질도, 진도·지산도폭 국립지질조사소.
- 島村新兵衛 (1930) 한국지질도, 우수영 도폭, 지질조사소.
- 木野崎吉郎 (1929) 한국지질도, 해남 및 노화도 도폭, 지질조사소.
- 문희수, 김영희, 김종환, 유장한 (1990) 해남지역 화산암류와 납석 및 고령토광상의 K-Ar 연대. 광산지질, 23, 135-141.
- 문희수, 정승우, 송윤구, 박영석 (1991) 전남 해남지역 해남 납석광상의 변질작용 및 생성환경. 자원환경지질, 24, 83-96.
- 문희수, 송윤구 (1992) 전남 해남지역 납석, 명반석 및 도석광상의 분포, 광물조성 및 형성기구. 자원환경지질, 25, 41-50.
- 박영석, 김진 (1993) 지도 도석광상에 대한 광물학적 및 지구화학적 연구. 한국광물학회지, 6, 80-93.
- 유장한 (1985) 전남 해남군 황산면일대 고령토질 납석광상연구. 한국동력자원연구소 연구보고, 85-14, 95-119.
- 유장한 (2009) 전남일원 납석광상의 광물학적 특성과 효과적 탐사를 위한 Key Beds의 선정. 광물학회지, 22, 297-305.
- 이대성 (1964) 전라남도 해남(목포남부)지역의 지질과 함유질물층에 관하여. 지질학회지, 1, 35-49.
- 이강원, 문희수, 송윤구, 김인준 (1993) 밀양 납석광상의 모암변질과 생성환경. 자원환경지질, 26, 289-309.
- 이대성, 이하영 (1976) 한국 서남해안지역에 분포하는 함유질물에 대한 지질학적 지화학적 연구. 광산지질, 9, 45-74.
- 전효택, 정영욱, 김인준 (1991) 경남 및 전남일부 납석광상의 산소-황 동위원소조성과 광상성인. 광산지질, 24, 97-105.
- 한국지질자원연구원 (2009) 해남 천열수 금 광화대 및 열수변질 점토광화대 확보를 위한 전주기 개발. 한국지질자원연구원 일반과제 GP2009-003-2009(1).
- 홍승호, 최범영 (1990) 한국지질도, 나주도폭 지질보고서. 한국동력자원연구소.
- Baker, D.R. (1990) Chemical interdiffusion of dacite and rhyolite: anhydrous measurements at 1 atm and 10kbar, application of transition state theory, and diffusion in zonal magma chamber. Contribution to Mineralogy and Petrology, 104, 407-423.
- Baker, D.R. (1991) Interdiffusion of hydrous dacite and rhyolite melt and the efficacy of rhyolite contamination of dacite enclaves. Contribution to Mineralogy and Petrology, 106, 462-473.
- Bentayeb, A., Amouric, M., Olives, J., Dekyir, A., and Nadiri, A. (2003) XRD and HRTEM characterization of pyrophyllite from Morocco and its possible applications. Applied Clay Science, 22, 211-221.
- Blatt, H. (1982) Sedimentary petrology. W. H. Freeman and Company, San Francisco, 564p.
- Bowden, C.D. (2007) Epithermal systems of the Seongsan district, South Korea; an investigation on the geological setting and spatial and temporal relationships between high and low sulfidation systems. Ph. D. Thesis, James Cook University.
- Brindley, G.W. and Wardle, R. (1970) Monoclinic and triclinic forms of pyrophyllite and pyrophyllite anhydrite. American mineralogist, 55, 1259-1271.
- Cho, H.G. and Kim, S.J. (1994) Mineralogy and genesis of the Sungsan clay deposits. J. Miner. Soc. Korea, 7, 14-24.
- Cooke, D.R. and Deyell, C.L. (2003) Descriptive names for epithermal deposits: their implications for genetic classification and inferring ore fluid chemistry. In: Eliopoulos, D. *et al.*, (eds.), Mineral exploration and sustainable development, Proceedings of the Seventh Biennial SGA Meeting on Mineral Exploration and Sustainable Development, Athens, Greece, August 24-28, Vol. 1, 457-460.
- Dominguez, E., Iglesias, C., and Dondi, M. (2008) The geology and mineralogy of a range of kaolins from the Santa Cruz and Chubut Province, Patagonia (Argentina). Applied Clay Science, 40, Issues 1-4, 124-142.
- Eberl, D. (1979) Synthesis of pyrophyllite polytypes and mixed layers. American Mineralogist, 64, 1091-1096.
- Fournier, R.O. and Potter, R.W. (1982) An equation correlating the solubility of quartz in water from 25°C to 900°C at pressures up to 10,000 bars. Geochi-

- mica et Cosmochimica Acta, 46, 1969-1973.
- Fournier, R.O. (1986) The behaviour of silica in hydrothermal solutions. In: Berger, B.R. and Bethke, P.M. (eds.), *Reviews in Economic Geology*, 2, 45-61.
- Friedman, G.M. and Sanders, J.E. (1978) *Principles of Sedimentology*. John Wiley & Sons, New York, 792p.
- Hawkins, D.B. (1978) Hydrothermal synthesis of clinoptilolite and comments on the assemblage philipsite-clinoptilolite-mordenite. In: Sand, L.B. and Mumpton, F.A. (eds.), *Natural zeolites*, Pergamon Press, 337-343.
- Hedenquist, J.W., Arribas R.A., and Gonzalez-Urien, E. (2000) Exploration for epithermal gold deposits. In: Hagemann, S.G. and Brown, P.E. (eds.), *Gold in 2000, Reviews in Economic Geology*, 13, 245-277.
- Holler, H. and Wirsching, Y. (1978) Experiments on the formation of zeolite by hydrothermal alteration of volcanic glasses. In: Sand, L.B. and Mumpton, F.A. (eds.), *Natural zeolites*, Pergamon Press, 329-336.
- Hurlbut, Jr. C.S. and Klein, C. (1977) *Manual of Mineralogy*, 19th Edition. John Wiley & Sons, New York, 532p.
- Kim, S.J., Kim, J.J., and Choo, C.O. (1992) Mineralogy and genesis of hydrothermal deposits in the southeastern part of Korean peninsula: (3) Milyang Napseok deposit. *J. Miner. Soc. Korea*, 5, 93-101.
- Kim, S.J., Choo, C.O., and Kim, W.S. (1994) Mineralogy and genesis of hydrothermal deposits in the southeastern part of Korean peninsula: (5) Deog-bong Napseok deposit. *J. Miner. Soc. Korea*, 7, 25-39.
- Koh, S.M. and Chang, H.W. (1997) Geological and geochemical characteristics of the Bugog hydrothermal clay deposit in the Haenam area, Korea. *Resource Geology*, 47, 29-40.
- McLemore, V.T., Sweeney, D., and Donahue, K. (2009) Lithologic atlas for the Questa mine, Taos County, New Mexico. New Mexico Bureau of Geology and Mineral Resources, Open-file Report OF-516.
- Morishita, Y. and Nakano, T. (2008) Role of basement in epithermal deposits: the Kushikino and Hishikari gold deposits, southern Japan. *Ore Geology Reviews*, 34, 597-609.
- Moon, H.S., Roh, Y., Kim, I.J., Song, Y.G., and Lee, H.K. (1991) Hydrothermal alteration related to Cretaceous felsic magmatism in the Gusi mine, Southern Korea. *J. Korean Inst. Mining Geol.* 24, 9-20.
- Simmons, S.F., White, N.C., and John, D.A. (2005) Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. In: Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J., and Richards, J.P. (eds.), *One Hundredth Anniversary Volume, Economic Geology*, 485-522.
- Thorarinsson, S. (1970) Tephrochronology in medieval Iceland, R. Berger, Editor, *Scientific methods in Medieval Archaeology*. University of California Press, Berkeley, 295-328.

접수일(2011년 11월 8일), 수정일(1차 : 2011년 12월 12일),
 게재확정일(2011년 12월 13일)