베트남 북부 네안 희토류 산출지의 지구화학탐사

허철호¹ · Ho Tien Chung² · 이재호^{1*}

¹한국지질자원연구원 광물자원연구본부 광물자원연구실, ²베트남지질광물자원연구소

Geochemical exploration for REE occurrence in Nghe An Area within Northern Vietnam

Chul-Ho Heo¹, Ho Tien Chung² and Jae-Ho Lee^{1*}

¹Mineral Resources Research Department, Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources(KIGAM), Daejeon 305-350, Korea

²Vietnam Institute of Geosciences and Mineral Resources(VIGMR), Nguyen Trai Str., Thanh Xuan, Ha Noi, Vietnam

The phase I soil geochemical exploration was carried out targeting around Chau Binh area far from about 14 km with southeastern direction from Quy Chau within Nghe An province. The interval of sampling are horizontal 300 m with 14 line and longitudinal 500 m with 15 line, resulting in 194 soil samples. Based on the result of the phase I soil geochemical exploration, the phase II detailed pitting survey was carried out targeting the grid point with high TREO content, resulting in 56 soil samples within 7 pits. The geology of survey area are consisted of Ban Chiang biotite granite complex and Dai Loc gneissic granite complex intruding Bu Khang formation comprising of schist, gneiss and limestone. Main mineralization in the study area have the characteristics of occurrence with tin, ruby and REE-bearing monazite(about 300 g/t) and xenotime(about 10 g/t) to be thought as occurring at the alteration zone of granite complex. In order to elucidate the source rock of monazite and xenotime confirmed from heavy sand, soil geochemical exploration was carried out. As a analysis result with ICP-MS on the soil samples from the phase I soil geochemical exploration, total REE oxide content of background amount to about 2 times of crustal abundance, enriching the heavy rare earth(about 2 times) and light rare earth(about 1.84 times). As a analysis result with ICP-MS on the soil samples from the phase II soil detailed pit survey, we identified outcrop considering as economic ore body at the grid point 4-7 pit with N40W attitude. As a synthetic consideration on the phase I soil geochemical exploration and phase II detailed pit survey, we tentatively designated areas considering as the extension of economic ore body with REE anomaly. In the near future, we have the plan to carry out the geo-physical exploration and test drilling targeting the interval anticipated to the economic ore body.

Key words : REE, Nghe An, Vietnam

베트남 북부 네안(Nghe An)성 궤 차우(Quy Chau)에서 남동쪽으로 약 14 km 떨어진 초 빈(Chau Binh) 일대를 대상으로 1차 토양지구화학탐사를 수행하였다. 시료채취 간격은 가로 300 m 간격으로 14 line, 세로 500 m 간격으로 15 line이었으며 토양시료 194개를 채취하였다. 그리고, 1차 토양지구화학탐사 결과를 바탕으로 총희토류(TREO) 함량이 높은 격자점을 대상으로 2차 정밀 피트탐사를 수행하여 총 7개 피트에서 토양 56개를 채취하였다. 조사지역의 지질은 반 찰응(Ban Chiang) 흑운모 화강암 복합체와 다이 록(Dai Loc) 편마암질 화강암 복합체가 편암, 편마암, 석회암으로 구성된 부강(Bukang)층을 관입하고 있다. 본 역의 주요 광화작용은 주석, 루비, 그리고 화강암 복합체의 주변부 변질대(albitization)에 분포하고 있는 것으로 사료되는 합희토류 모나자이트(약 300 g/t)와 제노타임(약 10 g/t)의 산출이 특징적이다. 중사시료에서 확인한 모나자이트와 제노타임의 근원암을 규명하기 위해 토양지구화학탐사를 수행하였다. 1차 토양지구화학탐사에서 채취한 토양시료에 대하여 희토류원소(La, Ce, Nd, Y 등) 및 미량원소(Th, Sr, Ba, Nb 등)의 화학성분을 ICP-MS를 이용하여 분석한 결과, 배경토양의 총희토류 함량이 지각 평균의 약 2배를 초과하고

*Corresponding author: jhlee@kigam.re.kr

있으며, 중희토류(약 2배)와 경희토류(약 1.84배)가 모두 부화되어 있다. 2차 정밀 피트탐사에서 채취한 토양시료에 대하여 희토류원소(La, Ce, Nd, Y 등)의 화학성분을 ICP-MS를 이용하여 분석한 결과, 격자점 4-7번 피트에서 광체로 추정되는 노두를 인지하였고 본 광체는 N40W 방향으로 발달되어 있다. 1차 토양지구화학탐사 및 2차 정밀 피트탐사를 종합적으로 고찰한 결과, 네안성 끼차우 일대에서는 토양에서 이상대를 보이며 광체의 연장방향으로 추정되는 희토류 부존 유망 지역을 잠정적으로 선정하였으며, 향후 광체로 추정되는 구간에 대하여 지구물리탐사 및 시험시추를 수행할 예정이다.

주요어 : 희토류, 네안, 베트남

1. 서 언

세계는 지금 자원전쟁이라 해도 지나치지 않을 정도로 자원 확보 경쟁이 치열하게 진행되고 있다. 이미 자원 안보, 자원 민족주의라는 단어가 낯설지 않은 시대에 접어들었다고 할 수 있다. 특히 최근 들어 중국과 일본간의 영토분쟁(센카쿠)으로 촉발됐던 희토류 분쟁을 생각하지 않을 수 없다. 희토류는 첨단산업의 비타민 또는 녹색산업의 필수품으로 불리우며, 하이브리드 및 전기차 배터리, 반도체, 풍력발전 모터 등 첨단산업에 사용되고 있다. 하지만 우리나라는 희토류 전량을 수입에 의존하고 있으며, 향후 그 수요가 급증할 것으로 예상되고 있다.

희토류원소는 란타넘 계열(원자번호 57-71) 15원소(La-Lu)에 Sc과 Y를 합친 총 17원소를 총칭하며, 일반적으로 은백색 또는 회색을 띠는 금속이다. 희토류원소의 화학적 성질은 매우 비슷하고, 광물에 여러 희토류원소가 함께 들어 있어 분리하기가 어렵다. 공기 중에서도 안정하여 서서히 산화하며, 열을 잘 전도하는 양도체이다(Hong and Chon, 2000). 희토류 원소는 (1)경희토류(LREE, La-Eu, 7개) 및 (2)중희토류(Gd-Lu, 8개)의 2 그룹으로 구분되며, 또한 3개의 그룹으로 분류되기도 하는데, 여기에는 (1) 경희토류(La-Nd, 4개), (2) 중(中)희토류(Pm-Gd, 4개), (3) 중(重)희토류(Tb-Lu, 7개) 등이다. 일반적으로 경희토류 원소들은 중희토류 원소보다 부존량이 10배 정도 많고, 쉽게 채굴된다.

희토류원소는 말 그대로 드물게 존재하는 원소가 아니다. 즉 희토류원소 중에서 가장 적은 양으로 존재하는 툴륨(Tm) 보다, 우리가 잘 알고 있는 수은의 함량이 더 적다. 또한 대부분의 희토류원소는 은보다 흔하고 연(鉛)보다도 매장량이 많다. 희토류를 포함하는 광물은 현재 약 200여종이 알려져 있다(Kanazawa and Kamitani, 2006). 하지만 상업적으로 중요한 희토류 광물은 모나자이트, 바스트네사이트 및 제노타임 등이며, 모나자이트와 바스트네사이트는 경희토류가 많이 함유

되어 있으며, 제노타임은 중희토류와 이트륨이 많은 비율을 차지하고 있다. 경희토류는 탄산염 및 인산염 광물에 농집되는 경향이 있다. 반면에 중희토류 및 이트륨은 산화물 및 일부 인산염 광물에서 산출한다.

본 연구에서는 베트남 북부 네안(Nghe An)성 희토류 산출지를 대상으로 베트남 지질광물자원연구소(VIGMR)와 공동으로 유망광체 확보를 목적으로 한 탐사적지를 선정하기 위하여 지구화학탐사를 수행하였으며 결과를 고찰하고자 한다.

2. 지 질

본 지역의 지질은 원생대부터 제 4기 지층까지 다양한 층군으로 구성된다(Fig. 1). 부강 복합체층(PR bk)은 폭 12~20 km로 베트남-라오스 국경으로부터 네안성 끼차우 부강지역까지 북동-남서 방향으로 긴 띠의 형태로 산출되고 있다. 조사지역의 변성암들은 총 약 11 km² 면적의 고생대 및 신기 관입암체들에 의해 관입된 북서 주향의 배사를 형성하고 있다. 부강 복합체의 전형적인 층서는 층후가 약 4500 m인 부강산의 남서 사면에서 산출되고 있으며 하부로부터 상부로 발달한 층서는 1) 복운모 편암과 협재된 흑운모 사장편암, 층후 약 2000 m; 2) 복운모-석류석 편암, 반화대리암 및 대리암의 렌즈와 협재된 흑운모편암, 층후 약 1500 m; 3) 석영-운모 편암 및 규암과 협재된 복운모 편암, 층후 약 600 m; 4) 각섬암과 협재된 복운모 편암, 층후 약 200 m; 5) 규암과 협재된 운모 편암, 층후 약 200 m.

부강 복합체의 암석들은 연변부로부터 중심부로 가면서 불규칙하게 변성작용을 받았다. 중심부에서는, 변성작용은 녹염석-각섬석상 및 각섬석 변성상과 일치하는 규선석 및 십자석누대와 일치한다(Phan Truong Thi *et al.*, 1986). 도움의 중심부에는 미그마타이트화 작용, 대리암화작용 및 페그마타이트와 석영맥이 발달하고 있다.

Fig. 1. Geologic map of the survey area(Pham Hoe, 2003).

부강복합체는 꽤 안정된 지체구조하에서 육성내지 육성-탄산염 퇴적물들로 구성되어 있었다. 지금까지, 화석 및 층서적 관계는 이들 층서단면에서 발견되지는 않았다. 변성암을 관입하는 관입암의 동위원소 자료는 50-380 Ma이며(Dovzhikov, 1965) SHRIMP 저어콘 연령은 600 Ma이다(Carter *et al.*, 2001). 상기 자료들에 의하면, 부강복합체의 연령은 중기원생대-신기원생대 초기로 사료된다.

반짜응 복합체(γ KZ bc, Huýnh Trung *et al.*, 1979)는 초기에는 송추-반짜응 복합체(Dovzhikov, 1965)라고 불렸는데 주로 화강섬장암 및 화강암으로 구성된 작은 관입체들을 포함한다. 반짜응 복합체는 약 15 km²의 면적으로 조사지역 전역에 분포되어 있다. 반짜응 복합체는 2개의 관입체와 1개의 암맥상으로 구성되어 있다. 관입상들은 중립질 내지 세립질 석기에 장석 및 석영(약 5%) 반정을 지닌 반암질 화강암 및 반암질 화강섬장암을 포함하고 있다.

암맥상은 반화강암 및 페그마티트 화강암으로 구성되어 있다. 반짜응 화강암은 트라이아스기 화산성-육성

퇴적물, 신기원생대-캠브리아기 초기 결정질 편암 및 고생대 후기 석회암을 관입하고 있으며, 철, 주석, 연, 아연-스카른 광화작용과 관련이 있다.

반짜응 복합체의 암석-광물학적 특징은 다음과 같다. 화강섬장암은 반짜응 복합체중 가장 흔하며 특징적인 암석이다. 반암질의 중립질 내지 조립질 조직을 지니고 있으며 중립질 석기에 분홍색-백색 K-장석을 함유하고 있다. 광물조성은 K-장석 60~70%, 사장석 5~10%, 석영 10~15%, 흑운모 2~7%, 각섬석 3~12%이다.

반암질 화강암은 중립질 내지 세립질 석기를 지니고 있으며 반정은 장석과 석영으로 이루어져 있고 약 5%를 차지한다. 광물조성은 K-장석 35~45%, 사장석 15~25%, 석영 25~35%, 흑운모 3~5%, 드물게 각섬석이 존재한다.

세립질 우백질화강암은 화강암질, 반화강암질 또는 문상반암질 조직을 지니고 있으며 반화강암질 화강암으로 전이하는 작은 맥의 형태로만 산출되고 있다. 광물조성은 암석 조직 및 구조만 다르며 반암질 화강암

과 유사하다.

알라스카이트 화강암도 역시 흔하며 중립내지 세립질이며 타형조석을 지니고 있다. 광물조성은 K-장석 60~65%, 석영 30~35%, 일부 사장석, 흑운모, 드물게 각섬석을 포함하고 있다.

반찌음 복합체의 지구화학적 특징은 다음과 같다. 반찌음 복합체의 화강암은 SiO_2 함량은 높으나 좁은 변이를 보여주고 있다($\text{SiO}_2=70\sim76\%$). 이들은 Al_2O_3 가 포화되어 있으며, 중간내지 고함량의 총알칼리함량을 나타내며 칼륨은 명백하게 나트륨보다 많으며 칼슘과 마그네슘의 함량은 낮은 편이다.

반찌음 복합체의 연령은 송추(Sông Chua)지역에서 트라이아스기 중기 화산성-퇴적층(T_2a)을 관입했고 푸로이(Phu Loi)지역에서는 주라기 퇴적암을 관입했다(Dovzhikov, 1965). 다양한 방법에 의해 측정된 이들 화강암들의 연령은 다음과 같이 신생대와 일치하는 것으로 판명되었다: 26.4-48.3 Ma (K-Ar) (Dovzhikov, 1965); 19.6 ± 0.5 Ma (Rb-Sr); 23.7-26 Ma (Ar-Ar and U-Pb) (Nagy *et al.*, 2000); 30 Ma (U-Pb, zircon, TIMS) (Bui Minh Tam, 2008).

3. 현지조사

3.1. 조사연구 수행 내용 및 절차

베트남 내안성의 회토류 광화작용에 대한 기존 자료를 조사 분석한 후, 예비 광역지질 및 광상조사를 수행하고, 이를 바탕으로 조사계획을 수립했다. 예비 광역지질 및 광상조사는 본격적인 지구화학탐사에 앞서 적합한 탐사기술의 선정, 지화학 자료의 해석에 필요한 요소와 기준을 정하기 위하여 수행하였다. 토양지구화학탐사(1차 조사)에서는 연구지역을 대상으로 격자형으로 시료를 채취, 분석하여 회토류원소 이상대 분포도를 작성한다. 이들 결과를 기준으로 세부 정밀 조사지역을 선정하여, 2차 정밀 피트 조사를 수행하였다.

3.2. 시료 채취 및 분석 방법

시료 채취 방법: 시료 채취지점 선정 및 채취방법의 일관성을 유지하기 위하여 야외조사 노트를 작성하여, 각 조사자에 따라 발생할 수 있는 조사 내용의 다양성을 감소시켰다. 현장에서는 지질, 풍화정도, 변질정도 등 현장정보를 수집하였다. 지구화학탐사에서는 토양시료를 채취하였다. 토양 시료는 주요 사면 및 능선을 따라 300 m 간격으로 심도 약 60 cm에서 채취하였다.

분석 방법: 화학분석은 모든 매질을 대상으로 회토

류 원소 중 지각 내 함량이 높은 Ce, La, Nd, Y 등과 희토류 원소와 밀접한 관련을 가지는 원소인 Th, U, Sr, Ba, V, Mo, W, Zr, Nb, Ta 등을 ICP-MS를 이용하여 분석하였다. 이와 같은 지구화학적 특성을 해석하고 종합하여 연구지역 내의 유망 회토류 광체 부존 지역을 선정하였다.

4. 조사 결과

4.1. 지구화학탐사

4.1.1. 현지조사 개요

2010년 12월 20일 체결된 베트남지질광물자원연구소와 연구협약에 의거하여 베트남 북부 내안지역 회토류 광상 조사탐사가 수행되었다. 현지조사는 1차와 2차로 진행되었는데, 1차조사는 베트남 북부 내안(Nghe An)지역 궤 차우(Quy Chau)에서 남동쪽으로 약 14 km 떨어진 초 빈(Chau Binh) 일대 약 32 km^2 ($7.5 \text{ km} \times 4.2 \text{ km}$)의 면적을 대상으로 토양지구화학탐사를 수행하였고(Fig. 2), 2차조사는 토양지구화학탐사에서 TREO 함량이 높은 격자점을 대상으로 피트(Pit)탐사를 수행하였다. 향후 잠정적 광체구간을 확보하기 위하여 지구물리탐사와 시추탐사를 수행할 예정이다.

베이스캠프가 설치된 궤 차우(Quy Chau)는 하노이(Hanoi)에서 남쪽으로 약 450 km 떨어진 곳이다. 하노이(Hanoi)에서 베이스캠프가 설치된 궤 차우(Quy Chau)로 갈 때는 내안(Nghe An)성의 성도인 빈(Vinh)에서 조사 및 통행 허가를 득해야 한다. 하노이(Hanoi)에서 빈(Vinh)까지는 약 300 km 떨어져 있으며 도로가 아스팔트이기는 하지만 시속 40 km로 운행을 하기 때문에 약 7시간이 소요된다. 빈(Vinh)에서 베이스캠프가 위치한 궤 차우(Quy Chau)까지는 약 150 km이며 약 3시간 정도 소요된다. 궤차우(Quy Chau)에서도 해당지역 꼬문(Commune)에서 조사 및 통행허가를 득해야 한다.

조사지역의 지질은 반 찌음(Ban Chieng) 흑운모 화강암 복합체와 다이 록(Dai Loc) 편마암질 화강암 복합체가 편암, 편마암, 석회암으로 구성된 부강(Bu kang)층을 관입하고 있다. 본 역의 주요 광화작용은 주석, 루비 및 화강암 복합체의 주변부 변질대(albitization)에 분포하고 있는 것으로 사료되는 함회토류 모나자이트(약 300 g/t)와 제노타임(약 10 g/t)의 산출이 특징적이다. 중사시료에서 확인한 모나자이트와 제노타임의 근원암을 규명하기 위해 지구화학탐사 및 피트탐사를 수행하였다.

1차 토양지구화학탐사는 세로 15개 line(간격 500 m)

Fig. 2. Sampling map on the geochemical exploration area(1:10,000 scale).

× 가로 14개 line(간격 300 m)으로 총 194개의 토양 시료를 채취하였다. 2차 조사는 토양지구화학탐사 분석결과를 기반으로 총회토류산화물(TREO) 함량이 높은 7개 격자점을 대상으로 피트 탐사를 수행하였고 56 개의 토양시료를 채취하였다.

4.1.2. 주요 수행사항

토양지구화학탐사: 금번 지구화학탐사에서는 총 194 개의 토양시료를 채취하였다. 시료채취간격은 가로

300 m 14 line(총 4.2 km), 세로 500 m 15 line(총 7.5 km)이었다. 그리고, 격자내와 격자 주변부에서 일부 암석시료를 채취하였으며 베이스캠프에서 portable XRF를 이용하여 암석의 회토류 및 주요 미량원소를 측정하였다. Gamma spectrometer의 경우 주로 격자 포인트에서 토양시료를 채취하고 Gamma spectrometer를 60 cm 하부에 설치하고 측정하였다. La의 경우, 최대 0.25% Y의 경우, 최대 158 ppm을 함유하며 K의 경우 최대 10.2%, U 및 Th은 각각 최대 1.2 ppm과

최대 0.5 ppm 이었다.

피트탐사. 금번 피트탐사에서는 토양지구화학탐사에서 TREO 함량이 높게 나온 격자점을 대상으로 총 7개 피트 56개의 토양시료를 채취하였다. 시료채취 피트는 격자점 3-4, 3-5, 4-5 및 4-7이며 특히 총희토류 산화물함량이 가장 높게 나왔던 4-5(1560 ppm)의 경우 4-5 격자점 외에 이상대의 연장성을 고려하여 주변 3개 피트(4-5/1, 4-6/1, 4-6/2)를 추가하였다. 그리고, 피트가 완성된 후 기반암면을 포함한 5개면에 대해서 피트단면을 1 mm=2 cm의 스케일로 스케치했다.

4.1.3. 조사결과

토양지구화학탐사. 베트남 북부 내안지역 궤차우 일대 초빈 지역에서 채취한 토양시료 194개의 총희토류(Total Rare Earth Element Oxide: TREO) 함량은 1,560 ppm에서 138.3 ppm의 범위를 보이며, 평균함량은 494.9 ppm이다. 여기서 총희토류 함량은 Pm을 제외한 La계열(Lanthanides)의 14개 원소에서 Y의 함량을 합한 값을 의미한다. 본 지역의 총희토류 평균함량은 지각의 총희토류 함량(248 ppm)보다 평균 약 2배 정도 높으며, 최대 6.3배 정도 높게 나타나고 있다. 한편 경희토류(La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu)의 평균 함량은 368 ppm으로서 지각 평균(200 ppm)의 약 1.84배이고, 중희토류(Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu 및 Y)는 평균 함량(53 ppm)이 지각평균(26 ppm)의 약 2배로서, 경희토류와 중희토류가 부화되어 있음을 알 수 있다(Table 1).

Ce와 La를 합한 함량(이하 “희토류 함량”이라고 함)은 최대 872 ppm에서 최소 68 ppm의 범위를 보이며, 평균값은 284 ppm으로서, 지각 함량보다 약 2.13배 높은 함량을 보이고 있다. 희토류 함량은 총희토류 함량의 약 57%이다. 토양시료에서 희토류 함량이 가장 높은 지점(872 ppm)은 격자점 4-5로 연구지역의 남동쪽에 위치하고 있으며 지각 함량(133 ppm)에 비해 약 6.6배의 높은 값을 나타내고 있다. 그 밖에 격자점 3-4(816 ppm), 3-5(854 ppm), 3-11(744 ppm), 4-7(698 ppm), 5-12(695 ppm), 6-13(704 ppm), 7-4(731 ppm)에서도 695 ppm 이상의 높은 희토류 함량을 나타내고 있으며, 이들은 지각의 희토류 함량의 약 5배 이상의 높은 함량이다(Fig. 3).

이트륨(Yttrium)은 109 ppm에서 4 ppm의 함량범위를 보이며 평균값은 30 ppm으로서, 지각 함량(22 ppm)의 약 1.4배 이다. 가장 높은 Y 함량은 격자점 3-11에서 나타나며, 지각 평균 함량의 약 5배의 높은

함량을 보이고 있다(Table 1).

란타넘(Lanthanum: La)은 329 ppm에서 15 ppm의 함량범위를 보이며 평균값은 84 ppm으로서, 지각함량(50 ppm)의 약 1.7배 높은 함량을 나타내고 있다. 가장 높은 La 함량은 격자점 4-5에서 나타나며, 지각 함량의 약 6.6배의 높은 함량을 보이고 있다. 그밖에 지각 함량의 6배 이상의 매우 높은 La 함량을 보이는 격자점은 3-4(313 ppm) 및 3-11(319 ppm)에 위치하며, 313 ppm 이상의 높은 함량을 나타내고 있다(Table 1).

세륨(Cerium: Ce)은 585 ppm에서 38 ppm의 함량 범위를 보이며 평균값은 200 ppm으로서 지각 함량(83 ppm)의 약 2.4배 높은 값을 나타내고 있다. 가장 높은 Ce 함량은 격자점 5-12에서 나타나며, 지각 평균 함량의 약 7배의 높은 함량을 보이고 있다. 그밖에 지각 함량의 6배 이상의 Ce 함량을 보이는 지점은 3-4(503 ppm), 3-5(571 ppm) 및 4-5(543 ppm)에 위치하며, 503 ppm 이상의 매우 높은 함량을 나타내고 있다(Table 1).

네오디뮴(Neodymium: Nd)은 212 ppm에서 7 ppm의 함량 범위를 보이며 평균값은 55 ppm으로서, 지각 함량(44 ppm)의 약 1.3배 높은 값을 나타내고 있다. 가장 높은 Nd 함량은 격자점 4-5에서 나타나며, 지각 평균 함량의 약 4.8배의 높은 함량을 보이고 있다(Table 1).

사마륨(Samarium: Sm)은 34 ppm에서 1 ppm의 함량 범위를 보이며 평균값은 10 ppm으로서, 지각 함량(7.7 ppm)의 약 1.3배 높은 값을 나타내고 있다. 가장 높은 Sm 함량은 격자점 4-5에 위치하며, 지각 평균 함량의 약 4.4배의 높은 함량을 보이고 있다(Table 1).

가돌리늄(Gadolinium: Gd)은 29 ppm에서 2 ppm의 함량범위를 보이며 평균값은 9 ppm으로서, 지각 함량(6.3 ppm)의 약 1.4배 높은 값을 나타내고 있다. 가장 높은 Gd 함량은 격자점 4-5에서 나타나며, 지각 평균 함량의 약 4.6배의 높은 함량을 보이고 있다(Table 1).

디스프로슘(Dysprosium: Dy)은 19 ppm에서 1 ppm의 함량범위를 보이며 평균값은 6 ppm으로서, 지각 함량(8.5 ppm)의 약 0.7배 이다. 가장 높은 Dy 함량은 격자점 3-11에서 나타나며, 지각 평균 함량의 약 2.2배의 높은 함량을 보이고 있다(Table 1).

프라세오디뮴(Praseodymium: Pr)은 73 ppm에서 2 ppm의 범위를 보이며 평균값은 19 ppm으로서, 지각 함량(13 ppm)의 약 1.5배 높은 값을 나타내고 있다. 가장 높은 Pr 함량은 격자점 4-5에서 나타나며, 지각 평균 함량의 약 6배의 높은 함량을 보이고 있다(Table 1).

Table 1. Chemical composition of rare earth element within the soil around Quy Chau area(unit. ppm)

Sample No.	TREE	Ce+La	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
1-1	333.7	176.9	30.2	58.9	118	12.5	36.3	6.58	0.55	6.66	1.08	4.73	1.12	2.71	0.49	2.69	0.45
1-2	578.2	337	28.0	106	231	23.0	67.3	11.3	1.22	11.0	1.45	5.51	1.08	2.43	0.37	2.07	0.32
1-3	545.6	303.3	33.8	97.3	206	21.6	65.0	11.6	1.38	11.3	1.62	6.29	1.30	2.99	0.47	2.74	0.43
1-4	417.8	262.4	16.1	61.4	201	13.6	40.9	7.04	0.73	6.96	0.92	3.41	0.65	1.52	0.21	1.21	0.19
1-5	378.9	212.9	20.8	57.9	155	14.1	45.1	8.59	1.79	8.29	1.22	4.70	0.90	1.86	0.27	1.60	0.24
1-6	467.7	232.9	42.0	67.9	165	17.8	57.1	11.8	2.62	11.5	1.86	8.07	1.74	4.14	0.65	3.92	0.62
1-7	291.0	148.5	31.8	40.5	108	9.33	29.0	5.55	0.92	5.87	1.02	5.03	1.22	3.16	0.57	3.77	0.62
1-8	283.5	137.6	28.7	44.6	93.0	10.9	34.8	6.68	1.34	6.71	1.09	4.98	1.17	2.78	0.43	2.59	0.41
1-9	279.8	145.2	24.4	43.2	102	10.4	32.5	6.22	1.02	6.20	0.98	4.32	0.95	2.34	0.38	2.11	0.36
1-10	355.7	180.3	30.0	58.3	122	14.1	44.3	8.64	1.78	8.50	1.32	5.73	1.21	2.70	0.42	2.42	0.38
1-11	342.4	168.9	31.1	55.9	113	13.6	43.5	8.44	1.86	8.20	1.33	5.88	1.23	2.88	0.45	2.61	0.40
2-1	354.2	192.1	26.9	67.1	125	14.2	40.6	6.87	0.78	7.00	1.05	4.55	1.04	2.53	0.40	2.33	0.36
2-2	253.2	140	18.0	44.8	95.2	9.76	28.7	4.96	0.44	4.85	0.70	3.04	0.69	1.74	0.27	1.61	0.26
2-3	711.6	383	45.8	137	246	30.5	91.3	15.8	1.60	15.2	2.16	8.63	1.76	4.10	0.62	3.72	0.58
2-5	305.8	174.5	19.2	49.5	125	11.1	33.6	5.88	0.67	5.81	0.83	3.51	0.75	1.83	0.28	1.70	0.26
2-6	259.4	153.5	14.4	34.5	119	8.31	26.4	5.04	0.76	4.84	0.72	2.97	0.63	1.44	0.22	1.17	0.19
2-7	481.6	250.7	37.7	77.7	173	18.5	58.7	11.4	2.28	11.2	1.76	7.48	1.58	3.53	0.52	3.06	0.48
2-8	403.6	204.2	33.8	64.2	140	16.0	51.0	9.88	1.95	9.43	1.50	6.41	1.35	3.23	0.50	2.84	0.45
2-9	447.0	224.6	43.1	73.6	151	17.0	53.0	9.88	1.94	10.1	1.64	7.46	1.64	3.98	0.61	3.39	0.54
2-10	365.0	192.2	29.0	62.2	130	14.5	44.3	8.23	0.93	7.59	1.16	4.97	1.09	2.61	0.41	2.41	0.39
2-11	336.2	170.7	28.5	53.7	117	13.1	41.8	8.04	1.91	7.56	1.24	5.34	1.15	2.70	0.41	2.41	0.39
2-12	350.6	181.6	29.9	57.6	124	13.3	41.9	7.81	1.47	7.73	1.22	5.36	1.17	2.71	0.43	2.48	0.39
3-1	659.1	382	42.3	121	261	24.4	68.3	11.4	0.75	11.6	1.69	7.36	1.62	3.89	0.61	3.59	0.56
3-2	266.7		19.2	42.3	108	9.44	28.1	4.85	0.61	4.77	0.74	3.34	0.77	1.89	0.32	1.86	0.30
3-3	676.0	399	41.4	118	281	23.8	68.3	11.1	0.98	11.4	1.65	7.12	1.54	3.72	0.58	3.40	0.52
3-4	1457.5	816	79.5	313	503	64.9	184	29.3	1.45	27.2	3.75	14.7	3.08	7.25	1.13	6.40	1.01
3-5	1432.1	854	67.4	283	571	57.0	159	25.2	1.36	24.1	3.27	12.6	2.58	5.79	0.86	4.75	0.73
3-6	674.4	381	40.7	114	267	25.6	78.7	14.0	1.64	13.2	1.95	7.63	1.51	3.47	0.50	2.95	0.46
3-7	396.2	245.4	19.6	53.4	192	12.1	37.2	6.62	0.67	6.31	0.90	3.64	0.78	1.80	0.28	1.58	0.24
3-8	369.2	230.1	15.3	48.1	182	11.5	35.8	6.62	1.04	6.36	0.85	3.29	0.64	1.36	0.20	1.15	0.18
3-9	543.5	298.4	33.9	98.4	200	21.9	67.3	11.8	1.75	11.2	1.63	6.47	1.35	2.99	0.44	2.51	0.39
3-10	591.6	323	39.4	116	207	24.1	71.9	12.4	1.95	12.0	1.73	7.14	1.53	3.51	0.53	3.03	0.47

Table 1. Continued

Sample No.	TREE	Ce+La	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
3-11	1415.5	744	109	319	425	63.3	179	28.8	1.99	28.5	4.37	18.8	4.05	9.39	1.38	7.79	1.17
3-12	827.9	519	34.9	129	390	27.8	79.6	13.0	0.85	12.4	1.71	6.90	1.44	3.36	0.52	2.88	0.44
3-13	342.3	182.8	25.3	61.8	121	13.8	42.0	7.51	0.99	6.91	1.04	4.33	0.95	2.26	0.35	2.12	0.34
3-14	345.9	180.6	26.7	59.6	121	13.9	43.4	8.04	1.15	7.58	1.14	4.85	1.02	2.37	0.39	2.19	0.34
4-1	885.5	490	63.1	193	297	36.5	102	16.5	1.10	16.3	2.59	10.5	2.23	5.23	0.77	4.44	0.68
4-2	783.2	438	54.0	143	295	30.4	87.8	15.0	0.92	14.3	2.12	9.31	2.01	5.00	0.82	4.80	0.79
4-5	1560.0	872	70.6	329	543	72.9	212	33.6	2.01	29.3	3.93	14.5	2.93	6.61	1.00	5.75	0.91
4-6	843.8	469	50.0	160	309	34.8	104	18.2	1.35	17.0	2.47	9.79	1.93	4.26	0.63	3.47	0.55
4-7	1150.1	698	39.6	225	473	47.0	133	21.4	1.57	19.5	2.48	8.66	1.65	3.36	0.48	2.71	0.40
4-8	756.3	433	43.1	136	297	29.8	87.9	15.0	0.73	13.8	2.01	7.97	1.62	3.86	0.57	3.22	0.50
4-9	807.3	438	46.7	161	277	35.7	105	18.4	2.74	16.5	2.43	9.66	1.94	4.38	0.66	3.83	0.60
4-10	491.2	299.5	20.0	82.5	217	17.9	53.0	8.84	0.74	8.40	1.16	4.25	0.81	1.80	0.25	1.37	0.21
4-11	614.7	340	38.1	113	227	25.0	75.3	13.0	1.51	12.0	1.78	7.09	1.48	3.45	0.49	2.90	0.45
4-12	222.3	125.3	13.2	41.7	83.6	8.99	26.2	4.50	0.58	4.16	0.59	2.44	0.50	1.18	0.18	1.02	0.17
4-13	368.4	199.1	23.4	71.1	128	15.5	47.1	8.26	1.41	7.66	1.13	4.52	0.91	2.01	0.29	1.60	0.25
4-14	338.1	182.3	21.5	59.3	123	13.6	43.2	7.98	1.07	7.36	1.08	4.33	0.85	1.90	0.29	1.67	0.26
5-1	829.4	461	49.9	154	307	34.2	101	17.5	1.40	16.3	2.42	9.96	1.98	4.53	0.67	3.75	0.57
5-2	788.3	463	36.2	134	329	29.9	90.9	16.0	2.04	14.6	2.07	8.01	1.54	3.30	0.46	2.61	0.38
5-3	888.0	472	58.5	189	283	40.7	116	19.7	1.27	18.0	2.73	11.3	2.35	5.49	0.85	4.94	0.75
5-4	646.8	361	39.0	124	237	27.0	77.8	13.3	0.96	12.3	1.80	7.38	1.54	3.54	0.56	3.23	0.50
5-5	413.8	224.8	29.1	73.8	151	16.3	48.8	9.19	1.12	8.52	1.32	5.56	1.12	2.53	0.40	2.34	0.37
5-6	435.9	247.3	23.9	74.3	173	17.0	51.5	9.47	1.32	8.53	1.26	5.04	0.97	2.13	0.31	1.77	0.29
5-8	449.0	246	28.6	79.0	167	18.1	54.7	10.1	1.34	9.18	1.41	5.61	1.15	2.55	0.38	2.16	0.35
5-9	459.3	249.7	29.3	81.7	168	18.6	57.3	10.6	1.45	9.63	1.44	5.79	1.18	2.60	0.37	2.08	0.33
5-10	610.8	334	38.2	105	229	24.5	76.0	14.3	1.40	13.0	1.92	7.66	1.50	3.34	0.46	2.57	0.41
5-11	522.5	313.5	22.5	83.5	230	19.1	58.0	10.1	1.15	9.22	1.28	4.91	0.94	2.01	0.28	1.58	0.25
5-12	989.0	695	11.3	110	585	27.0	79.9	11.9	0.84	10.9	1.05	3.02	0.55	1.17	0.18	1.11	0.17
5-13	500.4	278.6	27.8	92.6	186	20.4	62.4	11.0	1.62	10.1	1.49	5.95	1.19	2.44	0.34	1.91	0.17
5-14	1050.3	643	33.4	183	460	41.3	120	20.0	1.11	17.3	2.25	7.95	1.51	3.32	0.50	3.02	0.47
6-1	377.1	171.1	57.7	56.1	115	12.5	37.0	7.05	0.74	7.78	1.50	7.53	2.03	5.47	0.98	5.62	0.99
6-2	259.9	145.7	21.7	36.7	109	8.2	24.7	4.81	0.66	5.01	0.84	3.60	0.84	2.01	0.32	1.80	0.31
6-3	434.8	238.6	30.1	79.6	159	17.2	50.0	9.17	1.60	9.16	1.44	5.47	1.14	2.60	0.40	2.14	0.35

Table 1. Continued

Sample No.	TREE	Ce+La	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
6-4	591.9	337	35.2	111	226	23.4	66.5	12.1	1.12	11.7	1.76	6.69	1.37	3.03	0.46	2.49	0.40
6-5	305.3	158.7	24.2	56.7	102	12.5	36.8	7.44	1.48	6.97	1.15	4.59	0.94	2.06	0.32	1.75	0.27
6-6	198.3	99.6	18.9	32.4	67.2	7.54	22.7	4.98	0.78	4.85	0.84	3.50	0.74	1.67	0.26	1.47	0.24
6-9	583.5	320	37.0	112	208	24.3	70.7	12.4	1.87	12.1	1.82	7.19	1.51	3.35	0.51	2.74	0.46
6-10	505.3	292.1	31.1	94.1	198	19.0	54.2	9.04	0.94	9.29	1.34	5.32	1.18	2.75	0.43	2.37	0.38
6-11	609.6	343	35.5	121	222	25.4	71.5	12.9	1.40	12.2	1.83	6.93	1.41	3.01	0.45	2.39	0.38
6-12	951.7	583	37.7	157	426	35.5	101	16.9	1.03	15.9	2.16	7.81	1.61	3.57	0.58	3.18	0.51
6-13	1162.0	704	38.0	209	495	44.2	147	18.9	1.07	18.2	2.28	7.53	1.55	3.43	0.55	3.01	0.47
6-14	312.2	203.5	14.3	37.5	166	8.34	23.9	4.04	0.48	4.15	0.59	2.41	0.59	1.49	0.25	1.42	0.24
7-2	342.4	217.5	16.1	45.5	172	9.77	28.4	5.33	0.98	5.42	0.86	3.17	0.64	1.50	0.23	1.24	0.21
7-3	396.2	226.6	22.8	66.6	160	14.8	44.1	8.07	1.49	7.70	1.19	4.58	0.95	2.08	0.33	1.91	0.30
7-4	1219.4	731	42.8	251	480	52.9	145	24.1	0.97	22.1	2.86	9.24	1.73	3.33	0.44	2.08	0.30
7-5	667.9	383	37.5	129	254	26.8	75.2	13.8	1.18	13.2	1.94	7.06	1.43	3.22	0.49	2.75	0.45
7-6	756.6	414	51.5	149	265	31.6	89.0	15.9	2.19	15.2	2.39	9.36	2.01	4.56	0.71	3.77	0.62
7-7	481.5	259.6	26.6	84.6	175	20.6	63.6	12.0	2.42	10.7	1.66	6.11	1.22	2.50	0.37	1.94	0.31
7-8	398.9	218.6	23.5	70.6	148	16.3	49.5	9.44	1.67	8.80	1.36	4.99	0.98	2.00	0.29	1.56	0.25
7-9	329.7	169.2	26.4	58.2	111	13.6	41.0	8.17	1.49	7.77	1.26	5.09	1.03	2.29	0.34	1.88	0.30
7-10	510.0	245	38.6	115	130	26.2	75.8	14.0	2.15	12.8	1.99	7.68	1.57	3.43	0.53	2.90	0.46
7-11	788.4	476	38.7	124	352	28.2	79.8	14.0	1.06	13.3	1.96	7.63	1.63	3.87	0.62	3.51	0.58
8-1	204.1	104.3	18.0	36.9	67.4	8.07	24.4	4.65	0.80	4.52	0.74	3.20	0.73	1.68	0.26	1.50	0.24
8-2	280.0	164.7	19.3	42.7	122	8.30	25.0	4.62	0.77	4.50	1.53	3.48	0.79	2.00	0.34	2.11	0.38
8-3	219.0	128.7	12.8	29.9	98.8	7.16	22.0	4.31	0.69	4.20	0.67	2.61	0.52	1.16	0.18	1.00	0.17
8-4	359.4	206.9	19.3	60.9	146	13.8	40.6	7.70	0.88	7.12	1.10	4.12	0.80	1.70	0.24	1.25	0.20
8-5	390.2	241.3	14.8	58.3	183	13.1	40.6	7.33	0.80	6.83	0.97	3.49	0.64	1.33	0.18	0.87	0.14
8-6	507.7	301.4	21.2	87.4	214	19.7	58.6	10.3	1.03	9.47	1.36	4.79	0.92	1.78	0.26	1.32	0.21
8-7	534.8	289.2	37.5	99.2	190	21.5	63.8	11.9	1.99	11.2	1.76	7.00	1.46	3.31	0.50	2.70	0.45
8-8	377.4	234.6	18.6	49.6	185	11.3	34.2	6.29	0.88	5.94	0.90	3.57	0.77	1.82	0.29	1.70	0.26
8-9	514.7	275.3	41.3	89.3	186	20.3	59.1	10.9	1.58	10.1	1.61	6.78	1.54	3.68	0.61	3.44	0.58
8-10	440.2	295.6	15.8	47.6	248	10.6	32.5	5.77	0.94	5.50	0.76	2.97	0.66	1.62	0.28	1.67	0.29
8-11	422.1	255.5	17.6	57.5	198	13.6	45.5	7.81	0.93	7.17	1.06	6.08	0.75	1.67	0.24	1.33	0.21
8-12	398.5	210.8	28.1	70.8	140	16.4	48.8	9.85	1.80	9.06	1.48	5.79	1.14	2.54	0.39	2.09	0.34
8-13	752.6	503.3	31.9	74.3	429	17.7	52.2	8.65	0.69	9.14	1.33	5.88	1.44	3.76	0.63	3.45	0.56
9-1	161.0	74.3	19.9	27.9	46.4	6.15	19.3	3.97	0.90	4.02	0.69	2.95	0.66	1.50	0.23	1.28	0.22

Table 1. Continued

Sample No.	TREE	Ce+La	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
9-2	529.5	295.3	35.0	90.3	205	20.5	59.9	11.3	0.76	10.6	1.64	6.87	1.38	3.13	0.48	2.68	0.43
9-3	704.6	412	34.7	124	288	27.5	79.3	14.5	1.31	13.7	2.01	7.23	1.44	2.97	0.42	2.14	0.34
9-4	408.7	240.9	23.3	68.9	172	14.8	42.4	7.84	0.36	7.46	1.16	4.44	0.90	1.89	0.28	1.54	0.24
9-5	476.2	275.7	22.5	84.7	191	18.6	57.0	10.0	1.03	9.27	1.39	4.95	0.94	1.92	0.28	1.48	0.24
9-6	316.0	238.5	5.40	15.5	223	3.81	13.3	2.24	0.40	2.66	0.28	1.09	0.25	0.63	0.12	0.69	0.11
9-7	225.4	124.2	17.8	34.5	89.7	8.04	23.8	4.48	0.55	4.33	0.70	3.04	0.67	1.61	0.28	1.51	0.26
9-8	544.6	296	37.0	100	196	21.6	65.3	11.7	2.01	10.7	1.73	7.84	1.46	3.37	0.53	2.97	0.51
9-9	291.4	176.5	17.5	40.5	136	8.99	26.3	5.16	0.33	5.00	0.78	3.14	0.67	1.54	0.24	1.30	0.21
9-10	308.2	170.0	22.1	50.0	120	11.4	34.3	6.83	0.41	6.44	1.04	4.15	0.92	1.94	0.30	1.66	0.28
9-11	335.5	172.6	33.0	55.6	117	12.6	37.0	7.10	0.58	6.84	1.19	5.29	1.25	3.05	0.50	2.83	0.48
9-12	375.5	197.7	29.3	64.7	133	14.8	44.5	8.56	1.79	8.02	1.30	5.49	1.20	2.78	0.45	2.48	0.42
9-13	405.9	224.6	28.1	66.6	158	15.2	46.1	8.38	1.28	7.97	1.28	5.14	1.12	2.63	0.41	2.25	0.37
9-14	587.0	399.4	17.3	62.4	337	14.6	43.6	7.59	0.85	7.82	1.02	3.71	0.76	1.65	0.27	1.45	0.23
10-1	224.3	117.7	20.0	53.2	64.5	9.20	23.9	4.26	0.98	4.73	0.79	3.35	0.81	1.92	0.37	1.82	0.33
10-2	441.9	264.7	24.1	73.7	191	15.8	44.2	7.91	0.46	7.95	1.12	4.35	0.89	2.02	0.33	1.68	0.29
10-3	527.0	301.9	30.4	95.9	206	20.8	57.4	10.8	1.44	10.9	1.58	5.88	1.21	2.75	0.43	2.29	0.37
10-4	595.9	365	23.3	113	252	22.9	63.1	10.5	0.81	11.0	1.38	4.75	0.91	1.85	0.27	1.45	0.22
10-5	329.2	178.2	28.0	53.2	125	11.9	34.4	6.78	1.10	7.04	1.10	4.53	1.00	2.34	0.39	2.12	0.36
10-6	216.8	136.1	12.2	27.1	109	5.98	17.3	3.26	0.30	3.67	0.52	2.14	0.47	1.05	0.18	0.98	0.16
10-7	264.1	203.71	6.51	9.71	194	1.94	6.56	1.05	0.15	2.11	0.23	1.03	0.25	0.65	0.12	0.61	0.10
10-8	213.1	124.4	12.6	38.5	85.9	8.04	21.8	4.05	0.37	3.97	0.58	2.29	0.49	1.17	0.19	1.07	0.18
10-9	396.8	211.1	34.0	65.1	146	14.6	42.4	8.56	1.33	8.92	1.44	6.05	1.31	3.03	0.51	2.89	0.47
10-10	503.3	296.9	27.4	72.9	224	17.3	51.6	9.96	1.35	9.52	1.38	5.38	1.15	2.71	0.44	2.54	0.44
10-11	547.2	331.9	23.6	94.9	237	20.9	58.7	10.1	0.39	9.69	1.31	4.55	0.94	1.83	0.25	1.46	0.23
10-12	646.1	336	54.6	135	201	27.8	75.8	14.7	1.62	15.2	2.49	9.94	1.95	3.99	0.58	2.98	0.47
10-13	378.7	204.6	30.2	63.6	141	14.2	41.1	8.00	1.32	7.99	1.26	5.40	1.16	2.77	0.44	2.51	0.43
10-14	430.5	197.1	48.8	65.1	132	16.9	52.9	11.4	2.89	11.2	1.95	8.85	1.99	4.71	0.76	4.27	0.73
11-1	643.8	387	34.6	107	280	23.0	65.2	11.1	0.39	11.1	1.53	5.99	1.27	2.90	0.47	2.59	0.41
11-2	594.2	352.8	31.4	92.8	260	21.5	62.4	11.6	0.38	11.1	1.54	5.67	1.17	2.70	0.41	2.36	0.41
11-3	581.8	313	42.1	103	210	23.6	68.8	13.1	2.30	12.5	1.84	7.48	1.55	3.52	0.57	3.20	0.55
11-4	452.4	258.4	31.0	79.4	179	16.8	47.0	8.25	1.40	8.25	1.25	5.15	1.14	2.62	0.41	2.26	0.33
11-5	446.6	254.8	28.6	75.8	179	16.8	47.3	9.11	1.34	9.05	1.30	5.00	1.05	2.37	0.37	2.11	0.36
11-6	732.8	425	41.2	134	291	28.4	80.3	13.9	2.35	13.5	1.90	7.45	1.57	3.49	0.54	3.03	0.49

Table 1. Continued

Sample No.	TREE	Ce+La	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
11-7	529.4	309.3	32.9	87.3	222	18.7	53.4	9.94	1.38	9.95	1.45	5.81	1.22	2.71	0.43	2.35	0.39
11-8	339.0	196.8	22.0	54.8	142	12.2	34.7	6.41	0.38	6.17	0.90	3.65	0.77	1.85	0.31	1.65	0.28
11-9	339.2	191.4	27.8	51.4	140	11.0	32.3	6.26	0.94	6.38	1.03	4.40	0.97	2.33	0.39	2.19	0.36
11-10	411.5	241.2	26.2	56.2	185	13.3	39.4	8.18	1.01	7.88	1.18	4.83	1.02	2.39	0.40	2.32	0.38
11-11	289.3	205	9.51	22.0	183	5.08	15.6	3.00	0.32	3.05	0.42	1.74	0.38	0.97	0.17	1.02	0.18
11-12	309.1	180.1	20.8	44.1	136	10.1	30.4	5.88	0.45	5.61	0.89	3.58	0.78	1.82	0.28	1.60	0.26
11-13	312.0	165.9	29.0	44.9	121	10.9	32.0	6.90	0.70	6.46	1.09	4.77	1.01	2.45	0.42	2.49	0.43
11-14	493.0	261.8	38.1	86.8	175	20.1	59.6	11.2	0.97	10.6	1.65	6.58	1.37	3.02	0.47	2.61	0.43
12-1	573.3	355.9	33.7	68.9	287	16.2	47.6	8.90	1.20	9.05	1.33	5.54	1.25	2.99	0.49	2.74	0.45
12-2	842.8	481	51.0	155	326	34.3	96.2	16.2	0.94	15.2	2.15	8.26	1.80	4.21	0.67	3.79	0.63
12-3	138.3	68.3	12.1	30.5	37.8	6.48	18.3	3.24	0.88	3.09	0.47	1.93	0.43	0.99	0.15	0.82	0.14
12-4	718.6	441	29.3	127	314	27.2	76.1	12.2	1.59	11.3	1.49	5.37	1.08	2.44	0.38	2.03	0.32
12-5	990.1	523	70.7	218	305	46.0	126	22.1	3.05	20.6	3.08	11.9	2.53	5.57	0.86	4.73	0.77
12-6	469.2	265.6	28.2	84.6	181	18.7	53.5	10.0	0.86	9.64	1.36	5.17	1.04	2.23	0.34	1.92	0.30
12-7	404.4	250.9	19.2	61.9	189	13.5	38.4	6.88	0.41	6.53	0.91	3.40	0.70	1.51	0.24	1.30	0.21
12-8	358.7	216.1	24.3	46.1	170	10.6	30.9	6.02	0.29	6.00	0.90	3.94	0.88	2.07	0.35	2.00	0.34
12-9	312.1	195.7	19.5	35.7	160	8.08	23.7	4.45	0.62	4.51	0.70	3.07	0.71	1.78	0.30	1.80	0.29
12-10	164.1	85.6	22.0	17.3	68.3	4.11	12.2	2.74	0.24	2.88	0.58	2.92	0.74	1.94	0.35	1.92	0.33
12-11	407.2	240.8	23.6	57.8	183	13.7	41.0	7.74	0.89	7.40	1.11	4.44	0.90	2.08	0.33	1.92	0.31
12-12	315.0	185.7	18.7	51.7	134	11.3	32.0	5.91	0.31	5.76	0.84	3.29	0.69	1.49	0.24	1.29	0.24
12-13	343.4	196.8	21.6	60.8	136	13.2	37.5	6.64	0.53	6.27	0.97	3.79	0.80	1.78	0.26	1.47	0.22
12-14	350.5	190.8	27.3	51.8	139	12.7	38.4	7.57	1.21	7.17	1.14	4.83	1.06	2.43	0.39	2.20	0.36
13-1	385.5	218.5	30.3	49.5	169	12.1	36.3	7.07	1.13	7.41	1.21	5.18	1.23	2.91	0.53	2.82	0.49
13-2	575.2	320	33.8	96.0	224	24.6	70.4	11.7	0.50	12.3	1.63	6.44	1.39	2.95	0.46	2.53	0.42
13-3	353.9	257.2	10.9	25.2	232	5.63	15.7	2.87	0.29	3.50	0.46	1.97	0.46	1.12	0.19	1.04	0.16
13-4	431.2	258.1	22.5	62.1	196	15.2	43.9	7.75	0.74	7.85	1.09	4.35	0.93	2.07	0.32	1.77	0.28
13-5	431.0	250.5	23.7	73.5	177	16.1	46.7	8.63	1.17	8.25	1.20	4.74	0.99	2.13	0.33	1.83	0.29
13-6	369.5	200.7	24.2	65.7	135	15.5	45.5	7.96	1.29	8.07	1.13	4.54	0.95	2.03	0.30	1.58	0.25
13-7	285.1	166.9	17.4	41.9	125	9.70	28.2	5.60	0.79	5.38	0.80	3.27	0.70	1.67	0.26	1.48	0.24
13-8	470.0	245.3	38.7	76.3	169	19.3	57.2	10.2	0.83	10.3	1.52	6.62	1.46	3.38	0.52	3.02	0.49
13-9	441.7	260.1	30.6	73.1	187	14.2	40.6	7.22	1.32	7.69	1.19	5.18	1.16	2.69	0.43	2.35	0.38
13-10	329.7	226.1	7.79	31.1	195	9.04	25.3	3.68	0.49	4.35	0.47	1.77	0.39	0.79	0.13	0.73	0.12

Table 1. Continued

Sample No.	TREE	Ce+La	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
13-11	355.8	202.6	24.3	56.6	146	12.7	37.1	7.02	0.75	6.81	1.06	4.38	0.94	2.12	0.33	1.86	0.30
13-12	237.9	151.3	9.48	31.3	120	7.52	21.9	3.50	0.23	3.68	0.48	1.95	0.42	0.92	0.15	0.87	0.14
14-1	333.8	185.5	23.9	60.5	125	13.0	36.4	6.67	0.49	6.41	0.99	4.26	0.92	2.20	0.36	2.03	0.33
14-2	444.0	248.6	32.4	60.6	188	15.7	46.8	8.92	0.76	8.70	1.39	5.86	1.30	2.98	0.48	2.71	0.43
14-3	319.3	174.1	24.7	54.1	120	12.3	35.6	6.63	0.33	6.25	0.97	4.24	0.94	2.27	0.36	1.99	0.33
14-4	292.4	163.3	16.1	53.3	110	13.4	36.7	5.53	0.40	5.77	0.73	3.00	0.67	1.46	0.23	1.23	0.19
14-5	427.5	313.3	7.38	32.3	281	7.73	23.6	4.01	0.38	3.97	0.45	1.67	0.35	0.80	0.13	0.76	0.13
14-6	314.8	243.6	4.06	13.6	230	3.62	10.7	1.67	0.19	2.32	0.24	0.94	0.21	0.51	0.08	0.46	<0.1
14-7	237.6	163	12.0	15.0	148	3.74	12.2	2.41	0.28	2.63	0.41	1.96	0.47	1.23	0.22	1.29	0.21
14-8	372.8	190.5	30.6	61.5	129	15.4	45.6	8.85	1.81	8.24	1.31	5.69	1.27	3.09	0.51	3.04	0.55
14-9	398.1	220.6	25.9	71.6	149	15.9	46.1	8.46	1.06	7.95	1.18	4.90	1.05	2.41	0.36	2.06	0.34
14-10	507.2	292.7	32.1	74.7	218	18.3	52.6	9.35	1.49	9.40	1.42	5.90	1.31	3.05	0.48	2.59	0.40
14-11	348.7	208.9	23.1	50.9	158	10.9	31.1	5.54	1.01	5.58	0.87	3.78	0.87	2.08	0.33	1.84	0.29
14-12	364.4	199.7	26.6	56.7	143	13.9	41.0	7.75	0.85	7.34	1.11	4.82	1.05	2.52	0.38	2.12	0.35
14-13	442.1	265.2	30.3	65.2	200	13.4	38.3	6.89	1.05	7.06	1.10	4.99	1.15	2.81	0.43	2.41	0.38
14-14	536.6	312.7	30.5	90.7	222	20.4	57.0	10.1	1.18	9.52	1.37	5.88	1.25	2.95	0.51	2.57	0.41
15-1	310.0	196.2	14.4	34.2	162	8.33	26.8	5.11	0.85	4.70	0.70	2.98	0.61	1.40	0.23	1.27	0.21
15-2	576.3	309.7	45.1	97.7	212	22.9	66.1	12.3	0.97	11.8	1.87	8.01	1.73	3.95	0.63	3.55	0.56
15-3	526.5	301.7	31.7	88.7	213	20.1	58.6	10.7	0.57	9.55	1.45	5.87	1.23	2.84	0.44	2.46	0.40
15-4	709.6	524.8	8.78	60.8	464	13.4	41.7	5.80	0.45	5.93	0.58	1.90	0.38	0.77	0.12	0.71	0.10
15-5	407.9	223.4	31.6	67.4	156	15.0	43.5	8.61	1.61	8.04	1.27	5.70	1.23	2.92	0.45	2.54	0.39
15-6	444.9	254.7	22.6	81.7	173	18.6	53.9	9.26	0.35	8.51	1.19	4.57	0.90	1.95	0.27	1.50	0.24
15-7	718.8	208.8	54.8	154	204	35.0	100	18.3	2.38	16.1	2.49	10.5	2.20	4.91	0.76	4.22	0.67
15-8	572.4	309	39.8	108	201	23.5	69.0	12.4	2.41	11.6	1.77	7.40	1.57	3.61	0.55	3.15	0.51
15-9	490.9	258.1	35.4	91.1	167	21.0	61.9	11.7	1.91	10.7	1.63	6.63	1.38	3.15	0.46	2.62	0.42
15-10	314.5	175.9	20.9	52.9	123	12.0	35.7	5.93	0.88	5.89	0.86	3.74	0.83	2.06	0.33	1.89	0.31
15-11	593.8	320.7	42.2	99.7	221	23.6	69.2	13.3	2.57	12.2	1.91	8.08	1.74	4.11	0.63	3.58	0.60
15-12	316.6	204.3	17.8	35.3	169	7.68	22.2	4.05	0.69	4.37	0.67	3.03	0.69	1.65	0.28	1.51	0.25
15-13	393.1	229.5	20.7	76.5	153	15.5	43.8	7.53	1.20	7.07	1.02	3.96	0.79	1.65	0.22	1.21	0.19
15-14	230.5	135.6	14.7	34.6	101	7.76	22.6	3.87	0.64	3.91	0.61	2.57	0.56	1.37	0.22	1.25	0.21
16-3	795.0	421	41.6	149	272	37.8	114	20.8	2.55	16.7	2.41	9.21	1.82	4.03	0.62	3.43	0.54
16-4	340.7	203.6	16.3	57.6	146	13.1	37.0	6.01	0.66	5.77	0.79	3.04	0.63	1.43	0.20	1.21	0.19

Fig. 3. Distribution map of Ce+La content.

유로퓸(Europium: Eu)은 3.1 ppm에서 0.2 ppm의 함량 범위를 보이며 평균값은 1.1 ppm으로서, 지각 함량(2.2 ppm)의 약 0.5배를 보이고 있다. 가장 높은 Eu 함량은 격자점 12-5에서 나타나며, 지각 평균 함량의 약 1.4배의 함량을 보이고 있다(Table 1).

터븀(Terbium: Tb)은 4.4 ppm에서 0.2 ppm의 함량 범위를 보이며 평균값은 1.4 ppm으로서, 지각 함량(1.0 ppm)의 약 1.4배를 보이고 있다. 가장 높은 Tb

함량은 격자점 3-11에 나타나며, 지각 평균 함량의 약 4.4배의 높은 함량을 보이고 있다(Table 1).

홀뮴(Holmium: Ho)은 4.1 ppm에서 0.2 ppm의 함량 범위를 보이며 평균값은 1.2 ppm으로서, 지각 함량(1.6 ppm)의 약 0.8배이다. 가장 높은 Ho 함량은 격자점 3-11에서 나타나며, 지각 평균 함량의 약 2.6배의 높은 함량을 보이고 있다(Table 1).

에르븀(Erbium: Er)은 9.4 ppm에서 0.6 ppm의 함량

범위를 보이며 평균값은 2.7 ppm으로서, 지각 함량 (3.6 ppm)의 약 0.8배 이다. 가장 높은 Er 함량은 격자점 3-11에서 나타나며, 지각 평균 함량의 약 2.6배의 높은 함량을 보이고 있다(Table 1).

툴륨(Thulium: Tm)은 1.4 ppm에서 0.1 ppm의 함량 범위를 보이며 평균값은 0.4 ppm으로서, 지각 함량 (0.5 ppm)의 약 0.8배 이다. 본 지역에서 최고의 함량 (1.4 ppm)은 격자점 3-11에서 나타나며, 지각의 Tm 함량(0.5 ppm) 보다 2.8배 높은 값이다(Table 1).

이터븀(Ytterbium: Yb)은 7.8 ppm에서 0.5 ppm의 함량범위를 보이며 평균값은 2.3 ppm으로서, 지각 함량(3.4 ppm)의 약 0.7배 이다. 가장 높은 Yb 함량은 격자점 3-11에서 나타나며, 지각 평균 함량의 약 2.3배의 높은 함량을 보이고 있다(Table 1).

루테튬(Lutetium: Lu)은 1.2 ppm에서 0.1 ppm의 함량범위를 보이며 평균값은 0.4 ppm으로서, 지각함량

(0.8 ppm)의 약 0.5배이다. 가장 높은 Lu 함량은 격자점 3-11에서 나타나며, 지각 평균 함량의 약 1.5배의 높은 함량을 보이고 있다(Table 1).

4.2. 피트탐사

토양지구화학탐사에서 TREO 함량이 높게 나온 격자점을 대상으로 총 7개 피트 56개의 토양시료를 채취 하였다. 시료채취 피트는 격자점 3-4, 3-5, 4-5 및 4-7이며 특히 총희토류함량이 가장 높게 나왔던 4-5(1560 ppm)의 경우 4-5 격자점 외에 이상대의 연장성을 고려하여 주변 3개 피트(4-5/1, 4-6/1, 4-6/2)를 추가하였다. 그리고, 피트가 완성된 후 기반암면을 포함한 5개면에 대해서 피트단면을 1 mm=2 cm의 스케일로 스케치했다(Fig. 4 and 5).

피트 3-4 격자점 3-4는 총희토류산화물함량(TREO)이 0.15%로 지각 평균 총희토류 함량(248 ppm)의 약

Fig. 4. Pit location and topographic map within soil geochemical exploration area.

Fig. 5. Procedures during pitting survey.

6배 이다. 피팅심도는 2.5 m이며 피트단면에 대해서 기재하면 다음과 같다. 상부 50 cm는 식물뿌리를 포함한 암갈색 사질점토층이며 하부로 갈수록 풍화를 많이 받은 거력을 포함한 모래, 실트, 점토가 교호하고 있으며, 각력을 포함한 갈색 내지 적갈색을 띠는 모래 및 실트로 점이되며 최하부는 부분적으로 풍화를 받은 화강암으로 구성되어 있다. 피트 3-4에서 채취한 대표시료 5개를 대상으로 회토류 원소를 분석했다. 그 결과는 Table 2에서 보는 바와 같다. 피트 3-4에 대한 평균 품위는 0.33%이다. 이 수치는 격자점 3-4의 지표품위(0.15%)에 비해서 약 2.2배 높다. 피트 3-4의 피트단면도 스케치와 심도별 총회토류 함량을 비교하면 반 찌

응(Ban Chieng) 화강암의 풍화대에서 피트내 최고함량이 나온 것으로 미루어 회토류의 광화작용이 화강암의 풍화대와 관련이 있는 것으로 사료된다(Fig. 6).

피트 3-5 피팅심도는 3.5 m이며 피트단면에 대해서 기재하면 다음과 같다. 상부 50 cm는 식물뿌리를 포함한 암갈색 사질점토층이며 하부로 갈수록 풍화를 많이 받은 거력을 포함한 갈색의 모래, 실트, 점토가 교호하고 있으며, 부분적으로 풍화를 받은 갈색 화강암으로 점이되며 최하부는 부분적으로 풍화를 받은 적회색의 화강암으로 구성되어 있다. 피트 3-5에서 채취한 대표시료 7개를 대상으로 회토류 원소를 분석했다. 그 결과는 Table 2에서 보는 바와 같다. 격자점 3-5는 총회

Table 2. Chemical composition of rare earth element within the pit soil around Quy Chau area(unit. ppm)

Sample No.	TREE	Ce+La	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
3-4/01	1299	693.4	70.3	271.5	421.9	94.3	167.1	31.2	1.1	16.6	1.7	13.9	1.5	7.0	0.3	5.3	0.7
3-4/02	1591	811.2	93.7	379.1	432.1	108.9	222.5	41.1	1.8	22.1	3.5	18.0	2.5	17.9	0.8	7.1	1.4
3-4/03	1848	922.5	121.5	442.3	480.2	124.6	268.8	49.9	1.8	27.9	5.2	23.0	3.7	11.3	0.7	8.5	1.2
3-4/04	1401	693.5	99.1	348.9	344.6	90.7	204.3	38.2	1.4	21.6	3.9	17.6	2.9	8.4	0.6	6.5	0.9
3-4/05	1005	516.2	60.6	216.5	299.7	68.5	129.3	23.5	0.9	13.2	2.7	11.3	1.7	22.3	0.1	4.2	0.6
3-5/01	1423	830.5	56.9	259.5	571.0	114.9	142.8	25.0	1.0	12.8	2.8	12.3	1.8	5.7	<0.1	4.3	0.6
3-5/02	1750	822.7	137.3	474.3	348.4	102.4	270.6	54.5	4.2	36.0	6.5	27.5	4.2	10.8	0.7	6.8	0.9
3-5/03	1858	919.0	123.7	473.1	445.9	118.6	285.4	50.2	1.9	28.1	4.9	23.1	3.5	10.6	0.6	7.9	1.1
3-5/04	2009	963.9	141.4	534.9	429.0	124.6	322.3	58.5	2.2	33.0	6.0	26.4	4.3	12.6	0.9	9.1	1.2
3-5/05	1558	779.5	100.2	388.5	391.0	99.7	232.4	42.5	1.6	24.2	4.6	19.6	3.0	8.7	0.5	6.6	0.9
3-5/06	1516	766.1	105.6	349.0	417.1	101.1	207.6	38.0	1.5	22.2	3.9	19.8	3.0	9.7	0.6	7.5	1.0
3-5/07	1880	961.0	129.3	428.3	532.7	124.4	255.0	46.0	1.6	26.8	5.1	23.4	3.9	10.7	0.8	8.1	1.1
4-5/01	1256	681.8	55.4	245.9	435.9	94.0	163.1	30.3	1.3	15.2	2.9	12.6	1.9	6.2	0.1	4.1	0.6
4-5/02	1632	843.4	83.8	355.4	488.0	114.7	238.0	43.7	2.0	22.2	4.1	18.0	2.9	8.2	0.5	6.6	0.9
4-5/03	8522	5263.0	149.5	2514.0	2749.0	621.7	955.1	136.7	11.7	49.0	9.7	40.0	5.4	14.4	<0.1	10.8	1.5
4-5/04	2562	1229.1	154.1	685.7	543.4	165.7	429.5	82.6	3.8	42.4	7.5	31.3	5.1	14.6	1.1	10.5	1.4
4-5/05	2034	1003.1	131.8	525.2	477.9	130.2	311.6	58.8	2.6	33.3	5.2	25.0	3.8	12.6	0.8	8.5	1.2
4-5/06	2153	1056.5	135.0	583.8	472.7	136.1	341.3	63.4	2.6	34.6	6.3	26.0	3.9	13.9	0.7	8.6	1.2
4-5/07	1630	726.1	127.5	483.7	242.4	92.5	290.1	56.4	2.7	31.7	5.7	24.2	4.1	12.2	1.0	8.3	1.1
4-5/08	1951	877.2	138.0	590.2	287.0	111.3	358.7	69.2	3.4	37.1	6.4	27.9	4.4	13.3	1.1	8.8	1.2
4-5/09	1264	570.7	120.4	346.4	224.3	70.9	197.2	37.6	1.9	22.9	4.0	19.3	3.3	12.5	0.9	8.9	1.3
4-5/10	1020	495.9	75.7	283.1	212.8	60.4	156.9	28.7	1.6	16.7	2.1	12.9	1.4	8.1	0.2	4.8	0.7
4-5/11	1421	756.3	77.5	409.4	346.9	90.3	195.8	34.2	2.0	18.4	3.3	14.3	2.2	8.4	0.1	4.6	0.6
4-5/12	1639	734.4	127.2	462.6	271.8	93.9	293.4	55.2	2.6	31.6	4.7	22.9	3.3	12.8	0.7	7.8	1.1
4-5/13	1218	587.9	90.4	332.5	255.4	73.6	187.8	35.1	1.8	20.3	2.6	16.2	1.8	9.6	0.4	5.9	0.8
4-5/14	1336	638.6	101.7	379.2	259.4	76.8	208.1	38.5	2.2	22.4	4.0	17.2	2.9	13.9	0.5	6.3	0.9
4-5-1/01	775	462.0	26.3	131.8	330.2	64.2	73.6	13.1	0.7	6.3	1.3	6.2	0.9	3.2	<0.1	2.2	0.3
4-5-1/02	699	418.3	25.4	100.7	317.6	59.0	61.4	11.1	0.6	5.5	1.3	5.8	1.0	3.2	<0.1	2.3	0.3
4-5-1/03	539	312.2	22.2	88.1	224.1	43.2	54.2	10.0	0.5	5.1	1.0	5.0	0.8	2.6	<0.1	1.9	0.3

Table 2. Continued

Sample No.	TREE	Ce+La	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
4-5-1/04	1313	829.0	25.3	311.7	517.3	103.3	121.3	18.1	1.4	6.9	1.3	6.8	0.8	3.1	<0.1	2.2	0.3
4-5-1/05	739	420.7	31.9	138.5	282.2	56.6	81.8	14.3	0.7	7.4	1.5	6.7	0.9	3.6	<0.1	2.5	0.3
4-5-1/06	1341	835.0	26.1	261.7	573.3	111.3	124.1	18.8	1.2	7.4	1.7	7.7	1.0	6.9	<0.1	2.2	0.3
4-5-1/07	1111	634.7	41.2	206.3	428.4	88.6	126.3	23.0	0.8	11.2	1.7	9.6	1.1	4.9	<0.1	3.1	0.4
4-6-1/01	27	14.3	1.1	5.3	9.0	1.8	3.8	<0.1	0.0	<0.1	0.4	0.3	<0.1	1.4	<0.1	0.1	0.0
4-6-1/02	452	259.2	17.7	69.1	190.1	36.9	43.3	8.3	0.5	4.4	0.9	4.2	0.6	7.1	<0.1	1.4	0.2
4-6-1/03	732	412.5	40.4	114.1	298.4	58.7	69.1	13.0	0.8	7.4	1.7	7.7	1.2	5.8	<0.1	3.6	0.5
4-6-1/04	1157	690.4	41.9	195.4	495.0	95.6	107.8	18.9	1.1	9.4	1.9	9.2	1.4	4.4	<0.1	3.2	0.4
4-6-1/05	1265	660.9	75.8	261.1	399.8	89.7	167.3	30.7	1.9	16.4	3.1	14.1	2.4	7.3	0.4	5.1	0.7
4-6-1/06	972	465.1	62.8	208.0	257.1	64.9	155.7	29.7	2.2	16.1	2.9	12.9	2.1	6.5	0.4	4.5	0.6
4-6-1/07	797	373.0	60.0	200.0	173.0	49.0	127.5	24.9	1.9	14.2	2.6	11.3	1.8	5.6	0.4	3.9	0.5
4-6-1/08	584	284.0	42.3	124.4	159.6	38.4	82.2	17.0	1.5	10.1	1.9	8.4	1.4	5.3	0.2	2.8	0.4
4-6-1/09	1034	456.7	79.2	253.0	203.7	62.3	185.7	36.7	2.9	20.6	3.2	15.2	2.1	7.0	0.5	5.0	0.7
4-6-1/10	1622	962.7	49.9	431.9	530.8	116.2	181.8	30.1	3.1	14.2	2.5	11.9	1.5	5.1	<0.1	3.1	0.4
4-6-1/11	719	336.0	59.8	159.5	176.5	44.6	105.2	21.3	2.1	13.4	2.7	11.4	1.7	6.2	0.3	4.7	0.7
4-6-2/01	482	260.0	24.3	118.2	141.8	32.0	62.6	11.8	1.0	6.8	1.1	5.1	0.3	3.5	<0.1	1.2	0.2
4-6-2/02	643	340.5	34.8	159.9	180.6	42.7	88.0	16.1	1.1	9.4	1.4	7.1	0.8	3.1	<0.1	1.6	0.2
4-7/01	1373	792.9	43.1	286.2	506.7	108.4	158.9	28.6	1.2	13.8	2.4	10.9	1.4	4.7	<0.1	3.0	0.4
4-7/02	1290	793.9	21.8	303.7	490.2	104.6	133.1	22.1	1.5	8.9	1.9	7.3	0.9	2.7	<0.1	1.3	0.2
4-7/03	1360	741.1	50.8	316.0	425.1	103.0	183.0	34.6	2.1	17.4	3.0	12.7	1.8	5.4	<0.1	2.9	0.4
4-7/04	2014	1059.5	87.4	529.4	530.1	138.5	301.0	54.3	3.7	28.1	4.9	19.9	2.9	9.2	0.2	4.5	0.6
4-7/05	1809	871.3	105.4	538.4	332.9	108.9	310.7	58.0	4.7	32.0	5.5	22.3	3.3	9.3	0.7	5.7	0.7
4-7/06	1918	896.0	138.2	563.0	330.0	107.2	328.2	63.0	5.1	38.6	3.3	27.4	2.4	10.8	0.8	6.9	0.9
4-7/07	1801	843.3	141.5	487.0	356.3	107.4	278.8	56.9	4.4	37.1	6.5	28.2	4.4	11.5	0.9	7.0	0.9
4-7/08	1725	836.7	122.4	444.2	392.5	110.0	255.2	51.6	3.6	32.6	5.7	25.1	3.9	10.3	0.7	6.4	0.8
4-7/09	1874	890.8	147.9	488.8	402.0	112.6	281.2	57.0	4.3	37.4	4.9	28.9	3.7	12.0	0.9	7.8	1.0
4-7/10	1867	950.3	104.7	480.1	470.2	121.7	279.8	54.5	3.5	31.6	2.8	22.6	1.7	8.9	0.3	5.2	0.7

Fig. 6. Sketch map of pit section at the pit number 3-4. Each Gradation in longitudinal scale is 0.5 m (upper) and each side of square is 2.0 m (lower).

Fig. 7. Sketch map of pit section at the pit number 3-5. Each Gradation in longitudinal scale is 0.5 m (upper) and each side of square is 2.0 m (lower).

토류 함량(TREO)이 0.14%로 지각 평균 총희토류 함량(248 ppm)의 약 6배 이다. 피트 3-5에 대한 평균 품위는 0.53%이다. 이 수치는 격자점 3-5의 지표품위(0.14%)에 비해서 약 4배 높다. 피트 3-5의 피트단면도 스케치와 심도별 총희토류 함량을 비교하면 반 짜웅(Ban Chieng) 화강암의 풍화대에서 피트내 최고함량이 나온 것으로 미루어 희토류의 광화작용이 화강암의 풍화대와 관련이 있는 것으로 사료된다(Fig. 7).

피트 4-5: 피팅심도는 7m이며 피트단면에 대해서 기재하면 다음과 같다. 상부 50cm는 식물뿌리를 포함한 암갈색 사질점토층이며 하부로 갈수록 풍화를 많이 받은 거력을 포함한 모래, 실트, 점토가 교호하고 있으며, 최하부는 분홍색 내지 적갈색의 풍화대로 구성되

어 있으며 운모, 고령토 및 석영이 관찰된다. 피트 4-5에서 채취한 대표시료 14개를 대상으로 희토류 원소를 분석했다. 그 결과는 Table 2에서 보는 바와 같다. 피트 4-5에 대한 평균 품위는 1.42%이다. 격자점 4-5는 총희토류 함량(TREO)이 0.16%로 지각 평균 총희토류 함량(248 ppm)의 약 6.3배 이다. 이 수치는 격자점 3-4의 지표품위(0.16%)에 비해서 약 9배 높다. 피트 3-4의 피트단면도 스케치와 심도별 총희토류 함량을 비교하면 반 짜웅(Ban Chieng) 화강암의 풍화력 주변에서 피트내 최고함량이 나온 것으로 미루어 희토류의 광화작용이 화강암의 풍화대와 관련이 있는 것으로 사료된다(Fig. 8).

피트 4-5-1: 피팅심도는 3.5m이며 피트단면에 대해

Fig. 8. Sketch map of pit section at the pit number 4-5. Each Gradation in longitudinal scale is 0.5 m (upper) and each side of square is 2.0 m (lower).

서 기재하면 다음과 같다. 상부 50 cm는 식물뿌리를 포함한 암갈색 사질점토층이며 하부로 갈수록 풍화를 많이 받은 거력을 포함한 모래, 실트, 점토가 교호하고 있으며, 최하부는 갈색내지 적갈색 모래 및 실트와 교호된 거력들로 구성되어 있다. 피트 4-5-1에서 채취한 대표시료 7개를 대상으로 회토류 원소를 분석했다. 그 결과는 Table 2에서 보는 바와 같다. 피트 4-5-1에 대한 평균 품위는 0.29%이다. 피트 4-5-1은 총회토류 함량(TREO)이 0.29%로 지각 평균 총회토류 함량(248 ppm)의 약 11.6배 이다. 피트 4-5-1의 피트단면도 스케치와 심도별 총회토류 함량을 비교하면 최하부의 갈색내지 적갈색 모래 및 실트와 교호된 거력들에 해당하며 화강암 풍화산물로 사료된다(Fig. 9).

피트 4-6-1: 피트 4-6-1은 총회토류 함량(TREO)이 0.44%로 지각 평균 총회토류 함량(248ppm)의 약 18 배 이다. 피팅심도는 4 m이며 피트단면에 대해서 기재 하면 다음과 같다. 상부 50 cm는 식물뿌리를 포함한 암갈색 사질점토층이며 하부로 갈수록 풍화를 많이 받은 거력을 포함한 모래, 실트, 점토가 교호하고 있으며, 각력을 포함한 갈색 내지 적갈색을 띠는 모래 및 실트로 점이되며 최하부는 부분적으로 풍화를 받은 갈색내지 담갈색의 화강암으로 구성되어 있다. 피트 4-6-1에서 채취한 대표시료 11개를 대상으로 회토류 원소를 분석했다. 그 결과는 Table 2에서 보는 바와 같다. 피트 4-6-1의 피트단면도 스케치와 심도별 총회토류 함량을 비교하면 석영맥을 수반한 분홍색 내지 적갈색의

Fig. 9. Sketch map of pit section at the pit number 4-5-1. Each Gradation in longitudinal scale is 0.5 m (upper) and each side of square is 2.0 m (lower).

풍화대에서 피트내 최고함량이 나온 것으로 미루어 회토류의 광화작용이 barren한 석영맥보다는 화강암의 풍화와 관련이 있는 것으로 사료된다(Fig. 10).

피트 4-6-2. 피팅심도는 1.0 m이며 피트단면에 대해서 기재하면 다음과 같다. 상부 50 cm는 식물뿌리를 포함한 암갈색 사질점토층이며 하부로 갈수록 풍화를 많이 받은 거력을 포함한 모래, 실트, 점토가 교호하고

있으며, 최하부는 부분적으로 풍화를 받은 갈색 내지 담갈색의 기저암으로 구성되어 있다. 피트 4-6-2에서 채취한 대표시료 2개를 대상으로 회토류 원소를 분석했다. 그 결과는 Table 2에서 보는 바와 같다. 피트 4-6-2는 총회토류산화물 함량(TREO)이 0.06%로 지각 평균 총회토류 함량(248 ppm)의 약 2.3배 이다. 피트 4-6-2의 피트단면도 스케치와 심도별 총회토류 함량을

Fig. 10. Sketch map of pit section at the pit number 4-6-1. Each Gradation in longitudinal scale is 0.5 m (upper) and each side of square is 2.0 m (lower).

Fig. 11. Sketch map of pit section at the pit number 4-6-2. Each Gradation in longitudinal scale is 0.5 m (upper) and each side of square is 2.0 m (lower).

비교하면 반 찌웅(Ban Chieng) 화강암의 풍화대에서 피트내 최고함량이 나온 것으로 미루어 회토류의 광화작용이 화강암의 풍화대와 관련이 있는 것으로 사료된다(Fig. 11).

피트 4-7: 피팅심도는 3.5 m이며 피트단면에 대해서 기재하면 다음과 같다. 상부 50 cm는 식물뿌리를 포함한 암갈색 사질점토층이며 하부로 갈수록 풍화를 많이 받은 거력을 포함한 모래, 실트, 점토가 교호하고 있으며, 각력을 포함한 갈색 내지 적갈색을 띠는 모래 및 실트로 점이되며 최하부는 부분적으로 풍화를 받은 적회색의 화강암으로 구성되어 있다. 피트 4-7에서 채취한 대표시료 10개를 대상으로 회토류 원소를 분석했다. 그 결과는 Table 2에서 보는 바와 같다. 피트 4-7에 대한 평균 품위는 0.24%이다. 격자점 4-7은 총회토류 함량(TREO)이 0.12%로 지각 평균 총회토류 함량(248ppm)의 약 5배 이다. 피트 4-7의 피트단면도 스케치와 심도별 총회토류 함량을 비교하면 반 찌웅(Ban Chieng) 화강암의 풍화대에서 피트 내 최고함량이 나온 것으로 미루어 회토류의 광화작용이 화강암의 풍화대와 관련이 있는 것으로 사료된다(Fig. 12).

5. 결 론

베트남 북부 네안성 궤 차우에서 남동쪽으로 약

14 km 떨어진 초 빈 일대 약 32 km²(7.5 km×4.2 km)의 면적을 대상으로 1차 토양지구화학탐사를 수행하였다. 시료채취 간격은 가로 300 m 간격으로 14 line, 세로 500 m 간격으로 15 line이었으며 토양시료 194 개를 채취하였다. 그리고, 토양지구화학탐사 결과를 바탕으로 총회토류산화물(TREO) 함량이 높은 격자점을 대상으로 정밀 피트탐사를 수행하여 총 7개 피트에서 토양 56개를 채취하였다. 조사지역의 지질은 반 찌웅 흑운모 화강암 복합체와 다이 록 편마암질 화강암 복합체가 편암, 편마암, 석회암으로 구성된 부강층을 관입하고 있다. 본 역의 주요 광화작용은 주석, 루비, 그리고 화강암 복합체의 주변부 변질대에 분포하고 있는 것으로 사료되는 함회토류 모나자이트(약 300 g/t)와 제노타임(약 10 g/t)의 산출이 특징적이다. 토양지구화학탐사에서 채취한 토양시료에 대하여 회토류원소(La, Ce, Nd, Y 등) 및 미량원소(Th, Sr, Ba, Nb 등)의 화학성분을 ICP-MS를 이용하여 분석한 결과, 배경토양의 총회토류 함량이 지각 평균의 약 2배를 초과하고 있으며, 중회토류(약 2배)와 경회토류(약 1.84배)가 모두 부화되어 있다. 지구화학자료를 이용하여 네안성 궤 차우 일대의 회토류 및 미량원소의 함량분포도 및 지구화학도를 27매 작성하였다. 정밀 피트탐사에서 채취한 토양시료에 대하여 회토류원소(La, Ce, Nd, Y 등)의 화학성분을 ICP-MS를 이용하여 분석한 결과, 격자

Fig. 12. Sketch map of pit section at the pit number 4-7. Each Gradation in longitudinal scale is 0.5 m (upper) and each side of square is 2.0 m (lower).

점 4-7번 피트에서 광체로 추정되는 노두를 인지하였고 본 광체는 N40W 방향으로 발달되어 있다. 그리고, 잔여 피트의 토양시료 분석결과를 이용해 주상단면도에 작도해 분석해 본 결과 광체로 추정되는 일정한 방향성을 인지할 수 있었다. 토양지구화학탐사 및 정밀 피트탐사를 종합적으로 고찰한 결과, 내안성 귀차우 일대에서는 토양에서 이상대를 보이며 광체의 연장방향으로 추정되는 지역을 희토류 부존 유망 지역으로 잠정적으로 선정하여, 광체로 추정되는 구간에 대하여 지구물리탐사 및 시험시추를 수행할 예정이다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원이 수행하고 있는 지식경제부 부처임무형 사업인 “해외광물자원탐사 및 부존잠재성 평가(12-1121)” 과제에서 지원되었습니다. 그

리고, 본 논문을 심사해 주시고 유익한 조언을 해주신 익명의 심사위원님들께 감사사를 드립니다.

참고문헌

- Bui Minh Tam (Editor), 2008. Magmatic activity in view of plate tectonics in Vietnam. VIGMR library, Hanoi
- Carter, A., Roques, D., Bristow, C. and Kinny, P. (2001) Understanding Mesozoic accretion in Southeast Asia: Significance of Triassic thermotectonism (Indosinian orogeny) in Vietnam. *Geology*, v.29, p.211-214.
- Đovjikov, A.E. (1965) *Geologia Severnogo Vietnam* (Địa chất miền Bắc Việt Nam). Gen. Dept of Geology, Hanoi; (Vietnamese) Sciences & Technology express, Hanoi
- Hong, Y.K. and Chon, H.T. (2000) Rare Earth Element Geochemistry Arche Publishing, House 460, 732p.
- Huynh Trung, Nguyen Duc Thang, Phan Thien, Ngo Van Khai and Do Vu Long (1979) Dai Loc, Sa Huynh, Chu Lai granitoid intrusive. *Geological and Mineral*

- Resources of Vietnam I(Vietnamese): 159-169. Geological mapping Division, Hanoi.
- Kanazawa, Y. and Kamitani, M. (2006) Rare earth minerals and resources in the world. *Journal of Alloys and Compounds*, v.408-412, p.1339-1343.
- Nagy, E.A., Maluski, H., Lepvrier, C., Scharer, U., Phan Truong Thi, Leloup, A. and Vu Van Tich(2001) Geodynamic significance of the Kontum Massif in central Vietnam: Composite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and U-Pb ages from Paleozoic to Triassic. *Geology*, 109: 755-770.
- Phan Truong Thi, Trinh Long and Nguyen Ngoc Lien (1986) Metamorphic formations and facies series map of SR Viet Nam at 1:1,000,000 scale. *Proc. 1st Conf. Geol. Indochina*, 1:191-200. Gen. Dept of Geology, Ho Chi Minh City.
- Pham Hoe (2003) Study on ruby distributed and formed condition in Quy Chau-Ban Ngoc area, Nghe An province, VIGMR, Ha Noi (in Vietnamese)

2012년 11월 12일 원고접수, 2012년 12월 3일 게재승인