

<Technical Report> 트렌치 조사를 통한 미얀마 북서부 보피뚰 크롬철석 광화대 연장성 연구

진광민¹ · 허철호^{1,*} · 지세정² · 강일모¹

¹한국지질자원연구원 광물자원연구본부

²충북대학교 기초과학연구소

요 약

연구지역인 미얀마 보피뚰의 지질은 하즈버자이트, 사문암, 더나이트이며, 이를 제4기 충적층이 피복하고 있다. 연구지역 내 확인된 크롬철석 광체는 총 9개이며, 이들의 연장성 및 연결성을 확인하기 위하여 트렌치 조사를 수행하였다. 트렌치 조사결과 트렌치 단면 내에서는 뚜렷한 크롬철석 광화대가 확인되지 않으며, 이는 크롬철석 광체의 연장성이 없거나 산점상, 포켓상 또는 렌즈상으로 발달하는 것을 지시할 수 있다. 그리고 휴대용 XRF를 이용한 분석결과 더나이트가 분포하는 트렌치 단면에서 Cr의 함량이 다소 높게 나타나며, 이는 노두상에서 관찰되는 더나이트 내에 발달하는 세립질 산점상 크롬철석에 의한 것으로 해석된다.

주요어: 미얀마, 보피뚰, 크롬철석 광화대, 트렌치 조사

Kwangmin Jin, Chul-Ho Heo, Se-Jung Chi and Il-Mo Kang, 2014, Study on developing characteristics of Bophi Vum chromite mineralized zone in the northwestern Myanmar based on the trench survey. Journal of the Geological Society of Korea. v. 50, no. 2, p. 293-307

ABSTRACT: The study area, Bophi Vum, Myanmar, is composed of the harzburgite, serpentinite and dunite, those are covered by Quaternary alluvium. To identify the extension of the chromite ore bodies, we carried out trench surveys near the southernmost chromite ore body in the study area. Based on the trench survey, the extension of the chromite ore bodies was not recognized. This indicates that ore bodies in the study area are occurred as fine-grained disseminates, pocket-shape and lens-shape in dunite. The contents of the Cr on the trench section occurs relatively high in dunite based on the portable X-ray fluorescence (XRF) analysis. It is similar to the occurrence pattern of fine-grained disseminated chromite in the dunite.

Key words: Myanmar, Bophi Vum, chromite mineralized zone, trench survey

(Kwangmin Jin, Chul-Ho Heo and Il-Mo Kang, Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 124 Gwahang-no, Yuseong-gu, Daejeon 305-350, Republic of Korea; Se-Jung Chi, Institute of Basic Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Republic of Korea)

1. 서 론

최근 전세계적으로 광물자원의 수요가 전통적인 미국과 일본뿐만 아니라 경제가 급성장하고 있는 BRICS 국가들에서도 급격하게 증가하고 있다(Park *et al.*, 2009). 특히 희유금속(rare metal)의 경우 지하 내에 소량으로 부존되어 있고, 추출하기가 매우 어

려운 금속자원이기 때문에 일부 국가에만 제한적으로 매장되어 있으며 생산이 이루어지고 있다(Choi *et al.*, 2010). 우리나라는 금속광물자원의 99%를 수입에 의존하고 있어 국제자원시장 변화에 매우 민감하게 반응하며, 자원민족주의 등으로 인해 심각한 경제적 타격을 입을 확률이 매우 높아 안정적인 자원확보가 국가의 생존과 경제운영에 직결되어 있다.

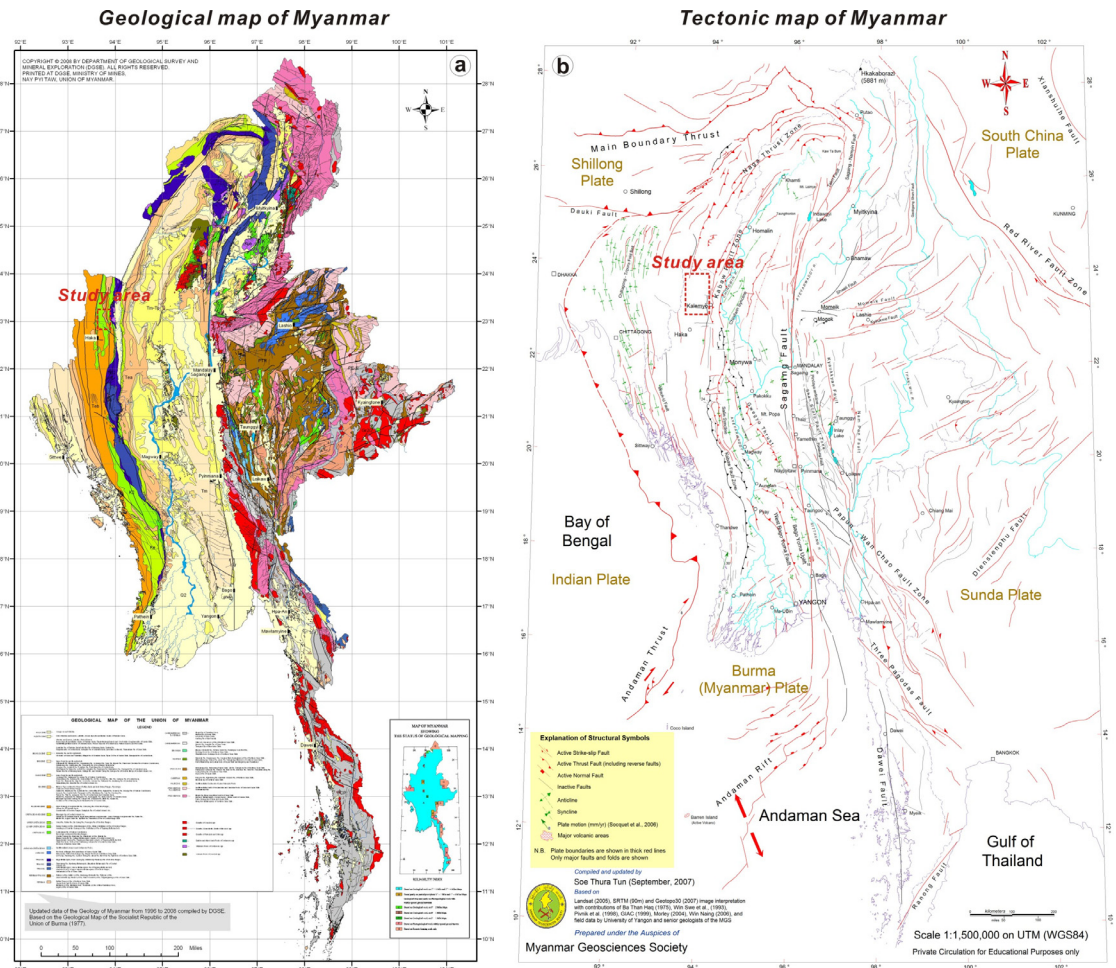
* Corresponding author: +82-42-868-3108, E-mail: chheo@kigam.re.kr

따라서 최근 우리 정부에서도 이를 인식하여 자원부 유국들을 중심으로 자원외교에 치중하고 있다.

크롬은 미얀마의 오피올라이트 층서와 관련되어 뚜렷한 금속광상구를 형성한다(Heo *et al.*, in review). 첫 번째 오피올라이트대는 Patheingyi 남쪽에 서부터 Naga Hills의 북쪽으로 약 1,000 km 이상 확장되어 있다. 이는 Chhibber (1934)에 의해 기재된 주요 화성작용과 관련된 벨트 중 하나이다. 두 번째 오피올라이트대는 Indawgyi 호수의 서쪽으로 발달한다. 세 번째 오피올라이트대는 Tagaung Taung에 분포하고 있으며, 그 남단은 Kachi 주의 Myitkyina 북쪽에 위치한 Kumon 산맥을 향해 북쪽으로 확장된다.

크롬철석 광상은 미얀마에 넓게 분포되어 있으며, 남북방향의 오피올라이트대 방향과 관련된다(Heo *et al.*, in review). 서쪽 오피올라이트대를 따른 크롬철석 광상은 Hinthada, Mindon, Thayetmyo, Sidoktaya-Ngapa, Mindat-Kanpetlet, Saw, 그리고 Mwetaung-Kalemyo에 분포한다. 연구지역이 속하는 Mwetaung-Kalemyo 크롬철석 광화대는 약 40여개의 크롬철석 광상들이 오피올라이트 층서의 더나이트층에 과상으로 발달한다(Heo *et al.*, in review).

연구지역인 미얀마 북서부 보피봄(Bophi Vum) 크롬철석 광화대 조사의 경우 2012년 3월에 개최된 제1차 한-미얀마 광물위원회에서 한국지질자원연구원이 미얀마 광업부 산하의 지질조사광물탐사국(DGSE)



과 공동으로 미얀마 희유금속 등에 대한 공동탐사가 제안되었다. 이에 미얀마 지질조사광물탐사국에서는 북서부 깔레이(Kalay)에 부존하고 있는 무웰룻 Cr-Ni-PGM 광화대(약 800 km²)를 공동탐사지역으로 제시하여 연구가 수행되었다. 보피봄 크롬철석 광화대는 무웰룻 Cr-Ni-PGM 광화대 내에 속하는 지역으로 2013년 2회에 걸쳐 조사가 수행된 지역이다(그림 1).

연구지역에 대한 정밀지표지질조사에서 확인된 크롬철석 광체는 9개소이며, 인근 마을 주민들에 의해 수작업으로 노천채굴이 진행되고 있는 곳들이다. 따라서 이번 연구의 목적은 정밀지표지질조사에서 확인된 크롬철석 광체 주변부에 대한 트렌치 조사와 트렌치 단면에 대한 휴대용 XRF를 이용한 현장분석을 통하여 크롬철석 광체의 연장성을 확인하는데 있다.

2. 연구지역의 위치 및 지질개요

연구지역인 보피봄 크롬철석 광화대는 미얀마의 행정구역상 친주(Chin State)에 속하며, 남북으로 약 6 km, 동서로 약 2 km의 면적에 해당한다(그림 1). 이 광화대는 깔레이(Kalay) 마을에서 북서쪽으로 약 8 km 떨어진 지역에 위치하고 있다(그림 1, 2).

미얀마는 지체구조적으로 크게 Western Fold Belt, Central Lowland, Eastern Highland 지역으로 나뉜다(그림 1b). 원시 동남아시아 반도는 백악기초에 곤드와나(Gondwana) 대륙으로부터 분리된 Sinoburmalaya 지괴가 북동쪽으로 이동하면서 Nan Suture Zone을 따라서 Indochina 대륙지괴와 충돌하여 유라시아 대륙지괴의 남동부에서 형성되었다(Chhibber, 1934; Ir *et al.*, 2010). 이와 동시에 인도판(Indian Plate)은 북동 방향으로 이동하면서 백악기 말에 Sinoburmalaya 대륙지괴 하부로 해양지각이 섭입되어 크롬 광화대를 수반하는 "India-Burma Ophiolite Belts"를 형성하였다(Hutchison, 1975; DGSE, 2008; Ir *et al.*, 2010). 연구지역인 보피봄 크롬철석 광화대는 이 벨트에 해당되며, 미얀마에서 발간된 축척 1:250,000 지질도에 의하면 보피봄 크롬철석 광화대 지역의 서부에는 썬기형 부가대에 속하는 퇴적암층군이 남북으로 분포하며, 동쪽으로는 사문석화 작용을 받은 오피올라이트 벨트가 분포하고 있다(Hutchison, 1975; 그림 1a).

연구지역의 지질은 축척 1:5,000의 지형도를 조사

원도로 이용하여 정밀지표지질조사를 수행하였다(그림 2). 연구지역에 분포하는 암상으로는 하즈버자이트(harzburgite), 사문암(serpentinite), 더나이트(dunite) 등이 있으며, 저지대와 계곡을 중심으로 제4기 충적층이 피복하며 발달한다(그림 3). 특히 하즈버자이트, 사문암 및 더나이트는 연구지역 내에서 남-북 내지 북북서-남남동 방향으로 층상을 이루며 발달한다(그림 2).

연구지역 내 하즈버자이트는 주로 사방휘석과 감람석이 기질을 이루며, 연녹색의 중립질 내지 조립질의 입상조직을 보이나, 일부 지역에서는 연황색의 세립질 내지 중립질의 감람석이 기질을 이룬다(그림 3a). 하즈버자이트를 구성하고 있는 휘석류는 주로 사방휘석류에 속하는 완화휘석(enstatite)이며, 일부 단사휘석류의 보통휘석(augite)과 감람석(olivine) 등이 관찰된다(그림 3b). 하즈버자이트는 남-북 방향의 주향을 가지며, 층상으로 분포하고 있으며, 특히 전단대 또는 단층파쇄대 내에서는 후기 열수작용 등으로 인해 사문석화 되었다.

사문암은 연구지역의 서부 일원의 고지대에 주로 분포하고 있으며, 하즈버자이트와 접촉하며 발달한다(그림 2). 사문암은 암녹색을 띠며, 주로 세립질 내지 중립질의 기질을 이루고 있다(그림 3c). 사문암의 박편에서는 단사휘석류의 보통휘석(augite)이 관찰된다(그림 3d). 사문암의 기원암은 하즈버자이트와 더나이트로서 각력화되어 발달하며, 후기 교대작용에 의해 거의 사문암화 되었으나, 일부 지역에서는 사문암으로 교대중인 감람석이나 휘석 입자들이 육안으로 관찰된다.

연구지역 내에 분포하는 더나이트 중 감람석이 90% 이상 차지하는 더나이트는 하즈버자이트 분포대 내에 맥상, 렌즈상 및 포켓상으로 배태되어 있다. 연황색의 세립질암으로 입상조직을 보이며 일부 지역에서는 세립질 감람석으로 구성된 기질에 간혹 자형의 감람석이 산점상으로 발달한다. 연구지역에서는 9개 지점에서 소규모의 암맥상 내지 렌즈상의 더나이트가 지표에 노출되어 있으며, 대체로 산점상, 암맥상, 렌즈상, 포켓상의 크롬철석을 수반하고 있다(그림 2, 3e). 박편상에서는 더나이트를 주로 구성하는 감람석은 대체로 각력화 되어 있으며, 일부 크롬철석과 자철석을 수반하고 있다(그림 3f). 특히 이들의 발달방향은 남-북 내지 북북서-남남동 방향으

로 분포한다(그림 2). 그러나 지표상에서 이들의 연장은 뚜렷하게 확인되지 않는다(그림 2).

또한 연구지역 내에는 총 3개의 전단대가 발달하며 이들 전단대의 방향은 북북서-남남동 방향으로 발달한다(그림 2, 4). 이들 전단대들은 지표로부터 약 20-240 m, 300-320 m, 400-500 m 고도에서 발달

한다(그림 2). 그리고 전단대들의 폭은 약 70 m, 120 m, 250 m로 발달한다(그림 2). 전단대 내에는 다수의 전단면들이 관찰되며, 특히 이들 전단면 주변으로는 각력화된 단층암들이 발달한다(그림 4c, 4d). 또한 3개의 전단대 내에서는 다수의 전단면들과 각력화된 단층암들이 반복적으로 관찰된다. 이러한 북

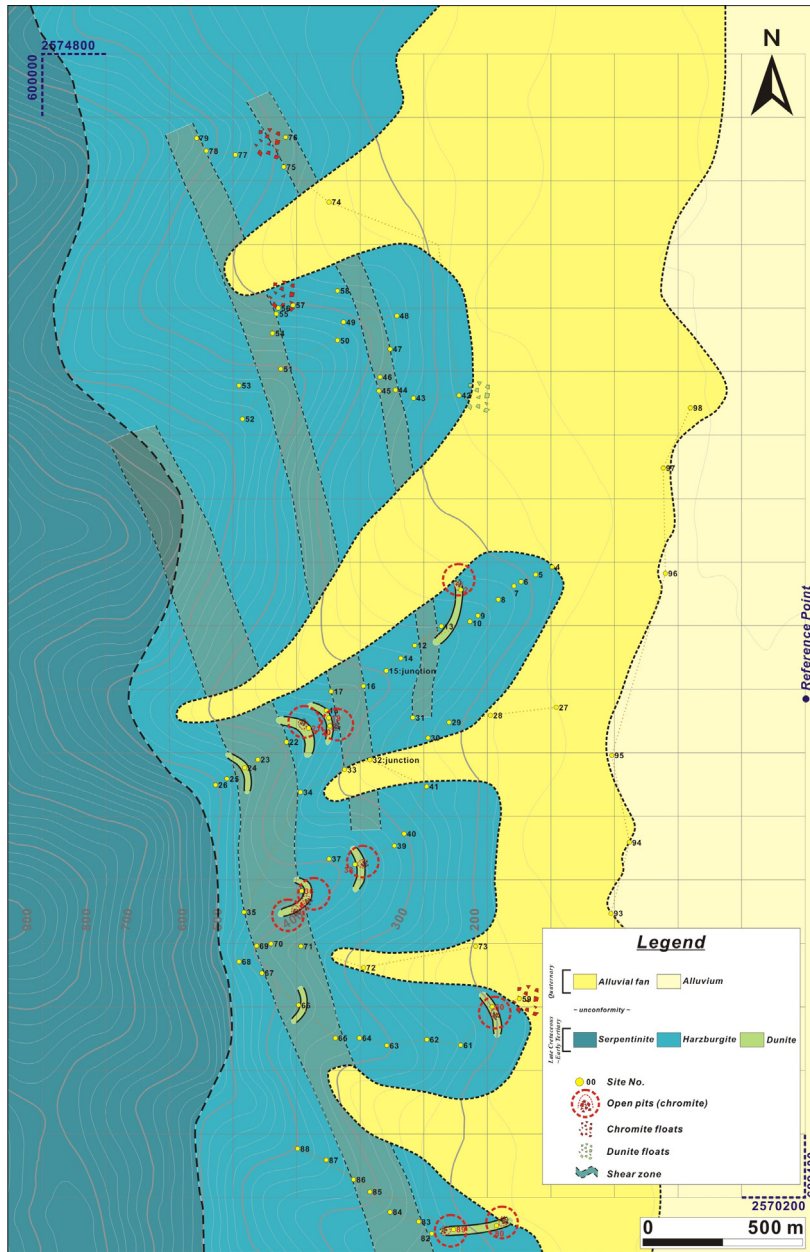


Fig. 2. Detailed geological map of the study area.

북서-남남동 방향의 전단대는 미얀마와 인접한 인도 판과 유라시아판의 충돌에 의해 형성된 남-북, 북북동-남남서, 북북서-남남동 방향의 Western Fold Belt 내 단층 및 습곡축의 방향과 일치한다.

3. 크롬철석 연장성 확인을 위한 트렌치 조사

연구지역에 분포하는 크롬철석 광체는 더나이트의 분포대에 수반되며, 노두상이나 채굴적에서의 산출

상태는 고치상(podiform), 괴상(massive), 세립질 산점상(fine-grained disseminated) 및 맥상(vein)으로 산출된다(그림 5). 고치상의 크롬철석은 주로 더나이트 기질 내에 수 cm 이하의 크기로 산출된다(그림 5a). 괴상의 크롬철석은 주로 렌즈형과 맥상으로 산출된다(그림 5b, 5d). 그리고 세립질 산점상(mm 이하)의 크롬철석은 주로 더나이트 및 하즈버자이트의 기질에서 mm 이하의 크기로 산출된다(그림 5c).

연구지역인 보피붐 일대에 대한 정밀지표지질조

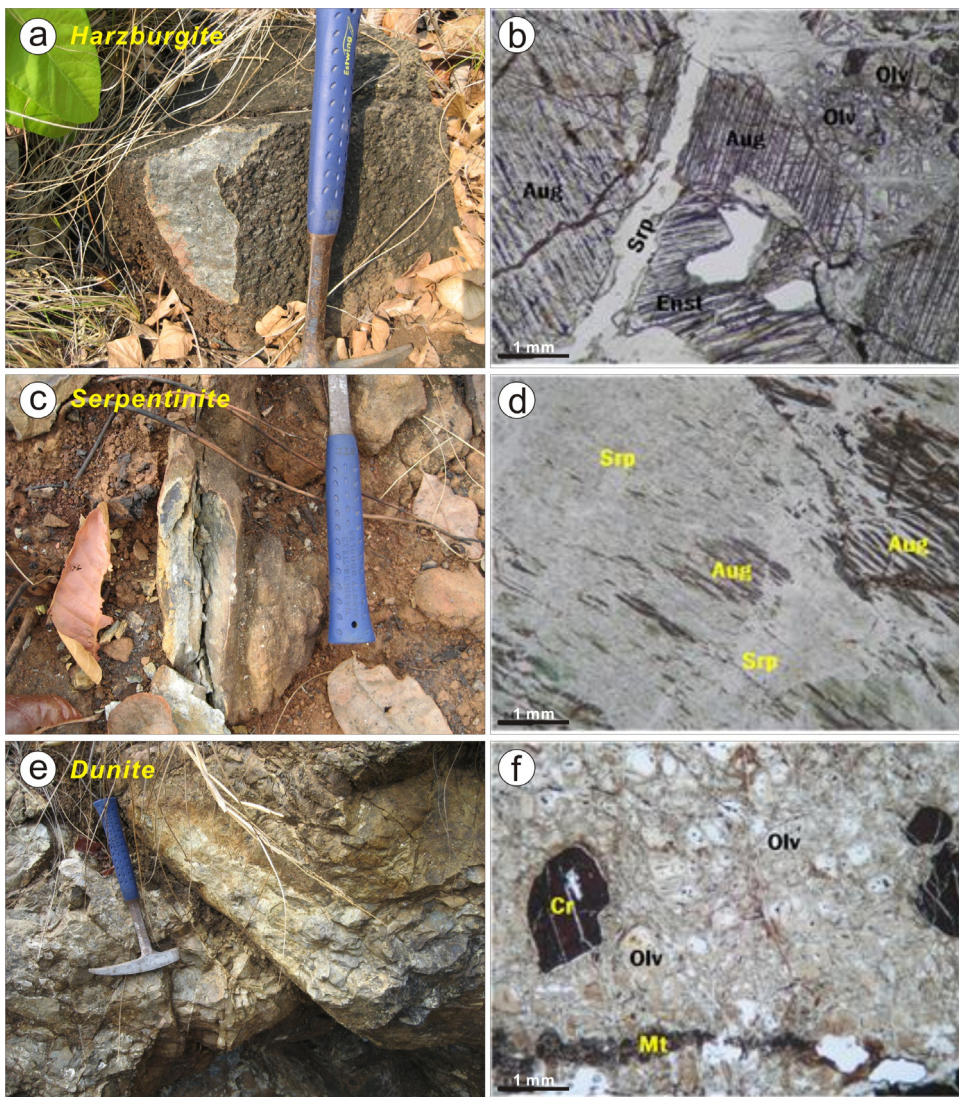


Fig. 3. Photographs of the outcrops and thin sections (open polarized light) in the study area. a) & b) harzburgite and its thin section, c) & d) serpentinite and its thin section, e) & f) dunite and its thin section (Aug: augite, Cr: chromite, Enst: enstatite, Mt: magnetite, Olv: olivine, Srp: serpentinite).

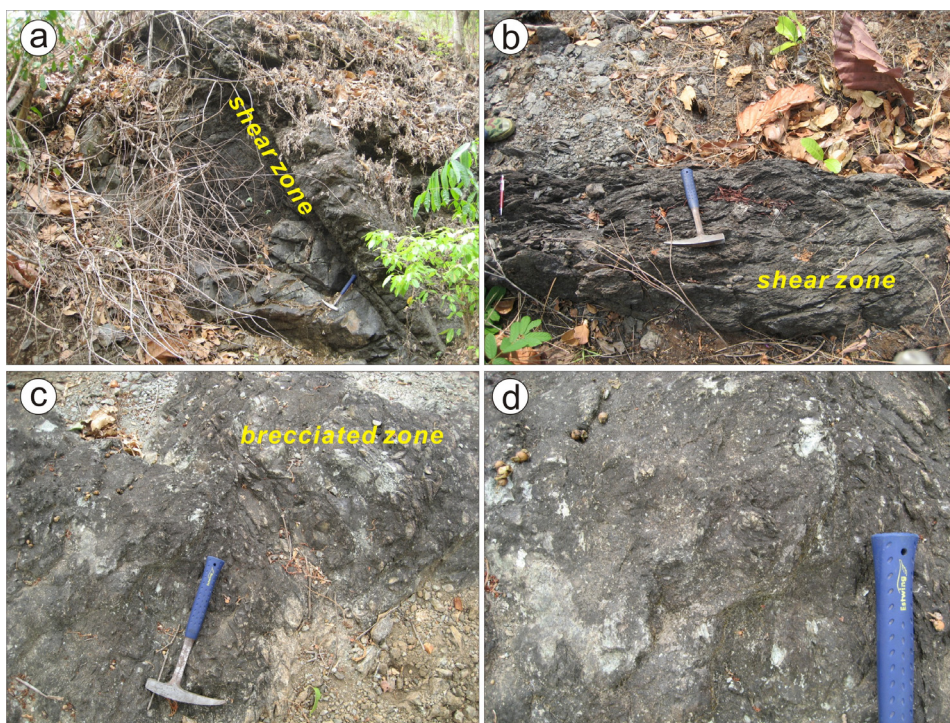


Fig. 4. Photographs of the shear zones and fault breccias generated by fault activities in the study area.

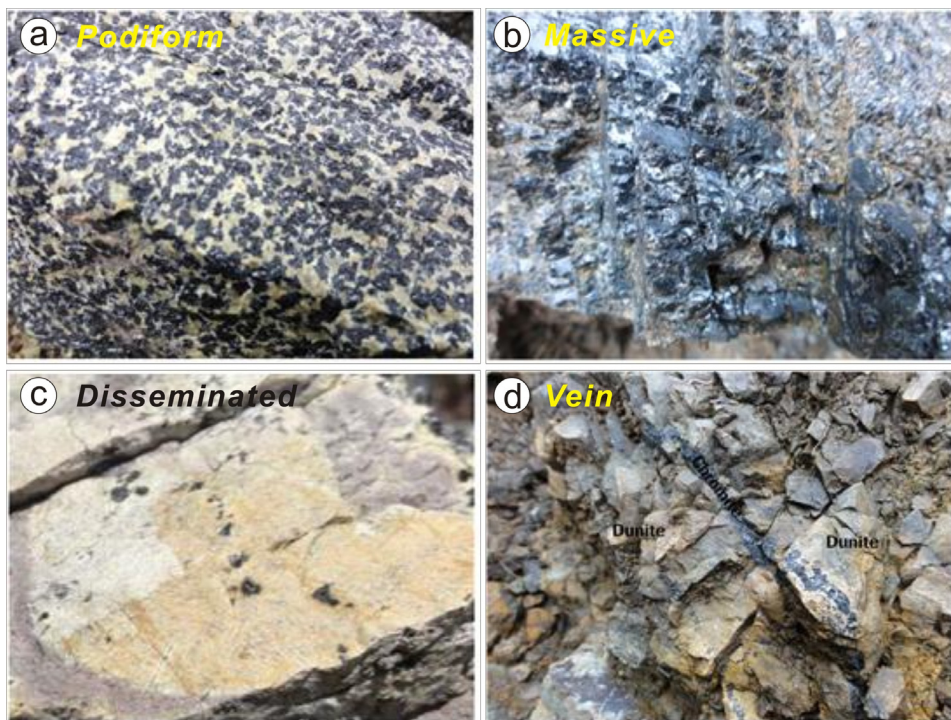


Fig. 5. Photographs of chromite types. a) podiform chromite in dunite matrix, b) massive chromite, c) fine-grained disseminated chromite in dunite, d) chromite vein within dunite.

사에서 확인된 크롬철석 광체는 총 9개이며, 약 200 m, 340-400 m, 400-450 m의 유사한 고도를 따라 동-서 방향으로 발달하는 산능선에 발달하고 있다(그림 2). 이 크롬철석 광체들은 각 고도를 따라 남-북 내지 북북서-남남동 방향으로 분포하며 발달한다(그림 2). 따라서 유사한 고도에서 분포하는 크롬철석 광체들의 연장성 및 상호 연결성을 확인하기 위하여 트렌치 조사를 실시하였다.

트렌치 조사지역은 약 200 m의 고도에 위치하는 채굴적을 제외한 나머지 채굴적들은 약 340 m 이상의 고도에 분포하므로 트렌치를 위한 중장비의 접근이 용이하지 않아 연구지역의 최남단에 위치하는 채굴적을 대상으로 트렌치를 수행하였다(그림 6).

3.1 1차 트렌치(실패 트렌치)

연구지역의 최남단에 위치하는 약 200 m 고도의

크롬철석 광체의 연장성을 확인하기 위하여 이 광체에서 북쪽으로 약 30 m 떨어진 계곡 내 평지에서 남-북 방향의 광체들의 분포에 수직인 동-서 방향으로 트렌치를 실시하였다(그림 7). 특히 조사지역에 발달하는 동-서 방향의 산능선들 사이 계곡은 매우 가파른 사면이 발달하여 두꺼운 산록층이 발달할 것으로 판단되어 남쪽 채굴적에 가장 가까운 평지를 선정하여 트렌치를 실시하였다(그림 7a, 7b). 설계된 트렌치의 규모는 폭 2 m, 길이 100 m, 깊이는 굴삭기가 작업할 수 있는 최대 깊이인 약 3 m로 설계하여 작업을 실시하였다.

그러나 트렌치 대상 광체가 발달하는 산사면에서 가장 가까운 평지에서 트렌치를 실시하였지만 굴착이 진행되는 동안 산록퇴적층만이 분포하고 있었으며, 특히 지하수면이 지표면과 가까워 지속적으로 지하수가 유입되었다(그림 7c, 7d). 또한 굴착기의

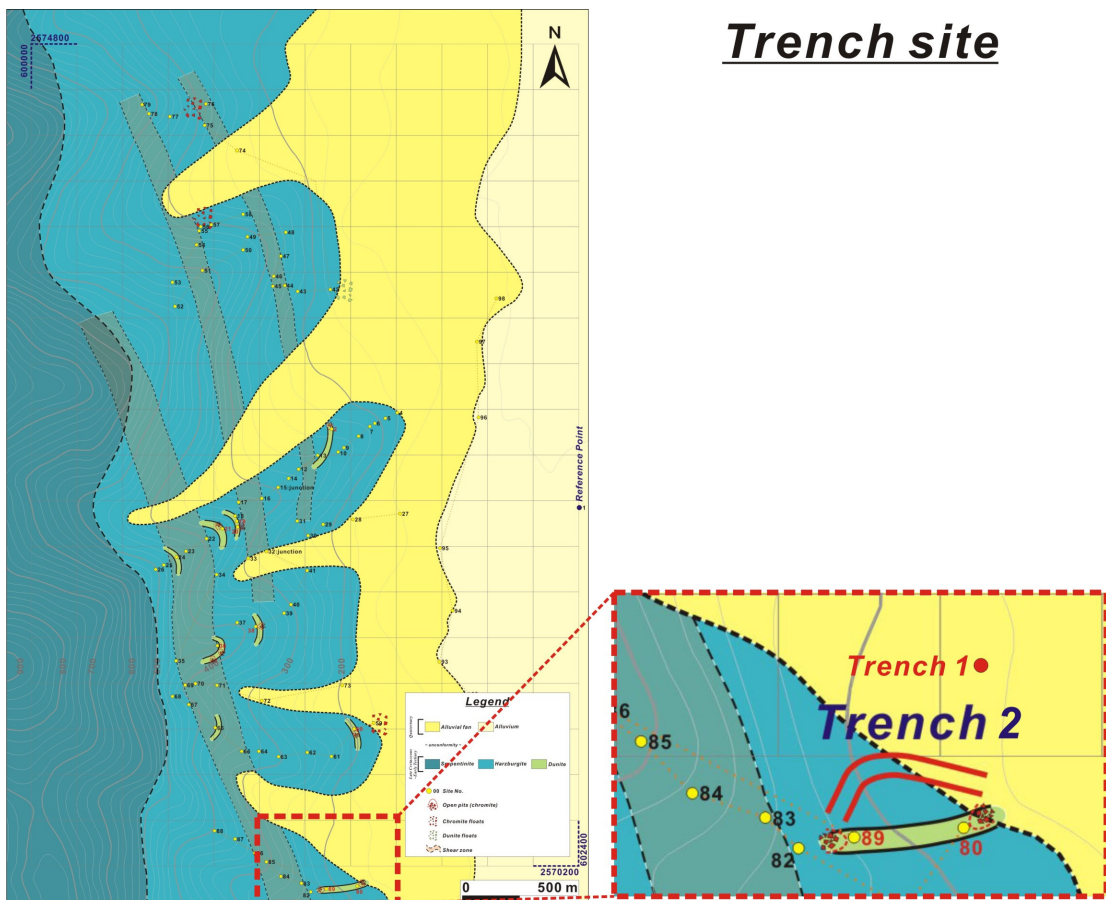


Fig. 6. Geological and location maps of the trench sites in the study area.



Fig. 7. Overviews of the 1st trench for recognizing the chromite ore bodies in the study area.



Fig. 8. Overviews of the 2nd trench for recognizing the chromite ore bodies in the study area.

작업 가능한 최대 깊이를 굴착하였음에도 불구하고 두꺼운 산록퇴적층만 발달하고 모암 내지 광체는 확인할 수 없었다. 또한 여기서는 지하수의 지속적인 유입으로 더 이상의 작업이 불가능하여 이 지점에 대한 트렌치 굴착을 포기하였다.

3.2 2차 트렌치(주 트렌치)

1차 트렌치(실패 트렌치)에서와 같이 비록 산사면에 가까운 평지라도 두꺼운 산록퇴적층이 발달하여 트렌치를 통한 모암 및 광체 확인이 불가능한 것으로 판단되어 광체가 발달하는 산사면에 대한 트렌치를 실시하였다(그림 8). 2차 트렌치의 위치는 1차 트렌치로부터 남쪽으로 약 10 m 이동하여 산사면이 시작되는 지점에서 굴착기가 작업 가능한 최대 범위 내에서 트렌치를 실시하였다(그림 6, 8).

2차 트렌치는 남쪽 광체 및 채굴적이 위치하는 북쪽 산사면을 수직으로 굴착하였으며, 트렌치의 규모는 높이 약 1-3 m, 길이 100 m로 동쪽에서 서쪽으로 진행하며 실시하였다. 2차 트렌치의 방향은 동쪽으로부터 서쪽으로 0-42 m 구간 N76°W/90°, 42-58 m 구간 EW/90°, 52-76 m 구간 N68°E/90°, 76-84 m 구간 N54°E/90°, 84-100 m 구간 N26°E/90° 방향으로 산사면을 따라 곡선으로 굴착을 실시하였다(그림 6, 8).

2차 트렌치 단면에 발달하는 암상 및 지질구조요소들의 3차원적 관계를 분석하기 위하여 트렌치 단면에 대하여 2 m의 간격으로 격자를 설정(그림 8d)하였으며, 이를 디지털 카메라를 이용하여 단면 사진촬영과 정밀스케치 작업을 실시하였다(그림 10). 또한 구간별로 촬영된 사진은 실내에서 합성하여 트렌치 단면의 실내 정밀스케치를 위한 바탕화면으로 이용하였다.

3.3 2차 트렌치 단면 기재

트렌치 단면에 대한 암상 및 지질구조요소들에 대한 기재를 실시하였다. 2차 트렌치 단면의 모양은 주로 하즈버자이트로 구성되어 있으며, 일부 더나이트가 발달한다(그림 9, 10). 그리고 트렌치 단면에서는 토양층이 모암을 얹게는 약 20-30 cm, 두 겹께는 약 1-2 m의 두께로 피복하고 있다(그림 9). 특히 65-74 m 구간은 전체가 풍화토와 토양으로 피복되어 있다(그림 9). 그리고 단면 상부에는 노천채

굴적이 발달하고 있으며, 이 채굴지에서 흘러 내린 mining dump가 약 8-18 m 구간의 상부를 피복하며 발달한다(그림 9). 그리고 더나이트의 경우 트렌치 단면 내 36-44 m 구간에 열은 주황색 내지 황토색을 띠며 발달한다(그림 9, 10).

대부분의 모암은 심하게 풍화되어 발달하나 풍화되거나 많은 단열들이 발달한다(그림 9). 그러나 50-62 m 구간의 경우 상대적으로 신선한 모암이 발달한다(그림 9, 10a). 특히 트렌치 단면에 분포하는 노두에서는 크게 세 방향의 절리들이 관찰된다. 절리들의 방향은 N42°W/54°SW, N66°W/44°NE, EW/40°N이다(그림 9, 11a). 그리고 상대적으로 신선한 모암을 기준으로 동쪽과 서쪽으로 갈수록 단열 밀도가 증가하는 양상을 보인다(그림 9). 2차 트렌치 단면 내에는 세맥 및 일부 암맥들이 발달한다. 세맥의 경우 얇은 단열면을 따라서 silica가 충전하고 있으며, 이를 충전면에서 볼 때 흰색 내지 옅은 회색을 띤다(그림 9, 11b). 이들의 방향성은 N12°E/72°NW, N26°W/32°SW 및 수평으로 발달한다. 암맥의 경우 회색 내지 짙은 회색을 띠며 N38°E/72°SE와 N30°W/46°SW의 방향으로 발달한다(그림 11c, 11d).

연구지역의 남쪽에 분포하는 크롬철석 광체의 연장성 및 분포특성 이해하기 위해 100 m의 트렌치를 실시하였으나, 트렌치 단면 내에서는 뚜렷한 크롬철석 광체가 발달하거나 관찰되지 않았다. 이는 트렌치 지점에 인접한 크롬철석 광체의 연장이 남-북 내지 북북서-남남동 방향으로 연장되지 않거나 산점상, 포켓상, 렌즈상으로 발달할 가능성을 지시하고 있다.

4. 트렌치 단면에 대한 XRF 측정

트렌치 단면상에서 발달하지 않거나 육안으로 관찰하기 힘든 크롬철석의 분포 및 성분을 분석하기 위하여 휴대용 XRF (Portable XRF)를 이용하여 토양 및 암석에 대한 현장 분석을 실시하였다. 이를 위해 Innov-X System사의 휴대용 XRF를 이용하여 현장 분석을 실시하였다. XRF 분석은 트렌치 단면 내 0-100 m 구간에 걸쳐 각 1 m의 간격으로 표면이 정리된 단면 내 평탄한 면이나 노두에 대해 총 101개의 지점을 측정하였으며, 이에 대한 결과는 표 1과 같다.

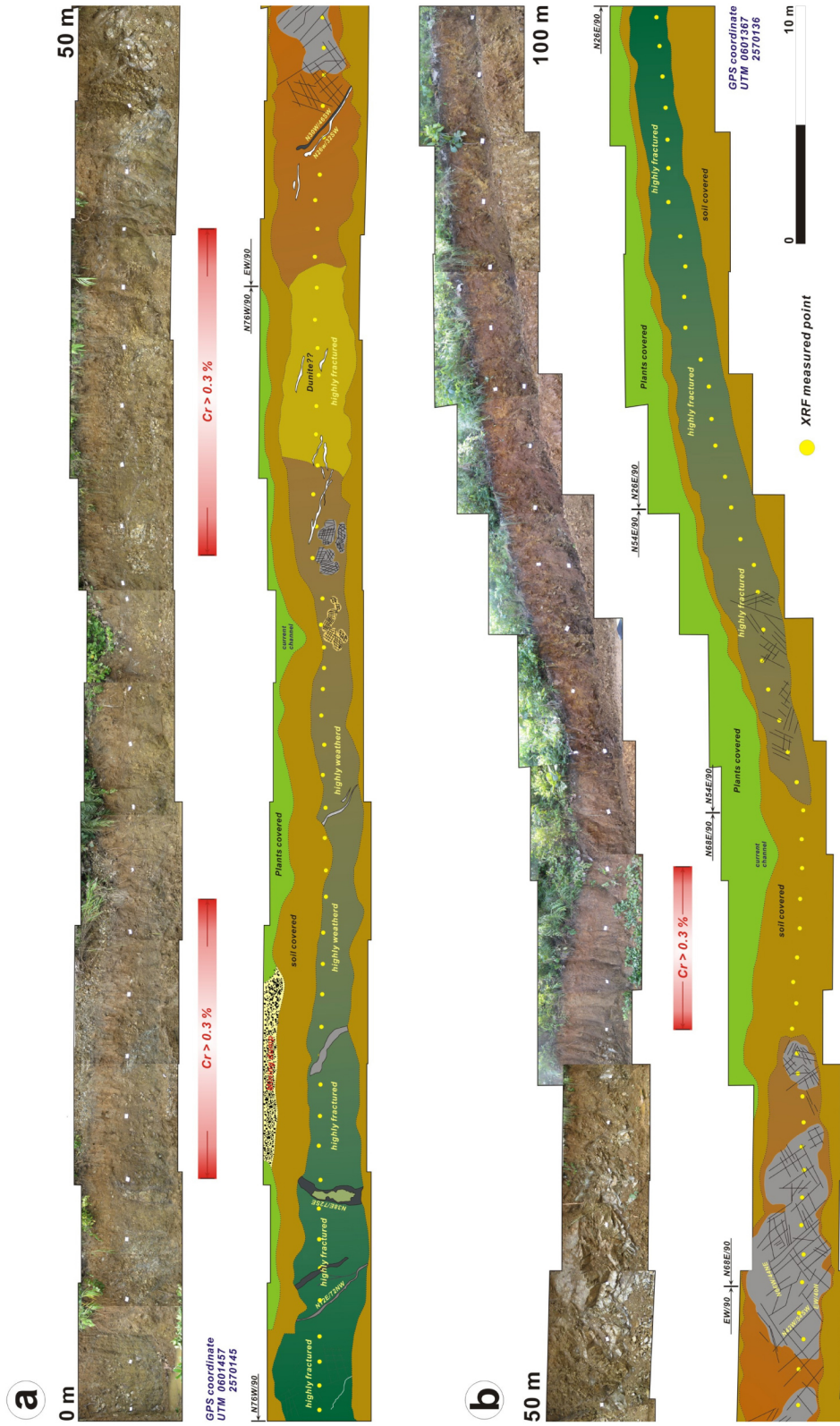


Fig. 9. Detailed grid map on the almost vertical plane of the trench section. Photo mosaic and detailed sketch map of the trench section.

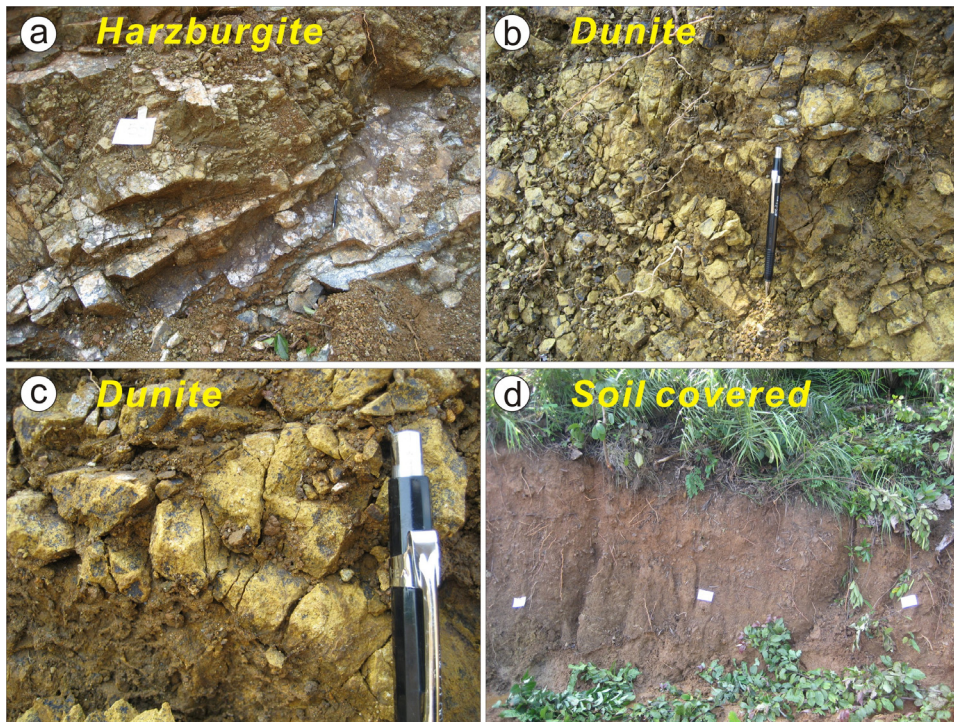


Fig. 10. Photographs of the harzburgite, dunite and soil covered on the trench section.

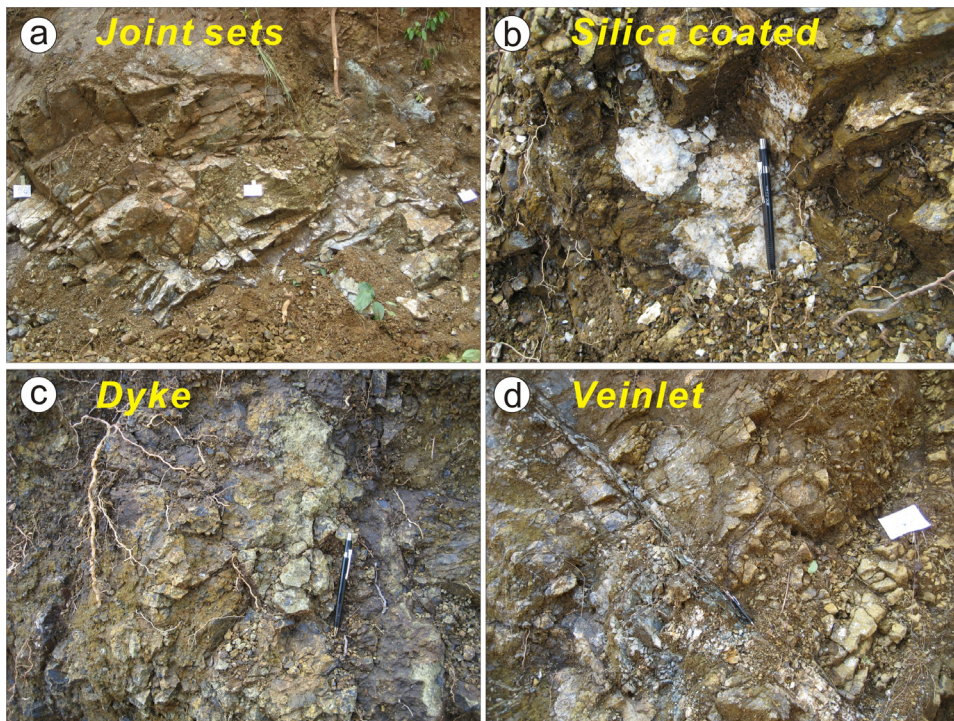


Fig. 11. Photographs of the structural elements on the trench section, such as joints, veinlets and dykes.

Table 1. Results of the XRF analysis on the trench section.

Measured point (m)	Cr	Mn	Fe	Ni	LE	Remarks
0	0	0.1403	8.3817	0.2945	91.1835	
1	0.2002	0.1168	8.6403	0.3871	90.6916	
2	0.1952	0	9.6784	0.3065	89.8198	
3	0.1572	0.2632	6.9391	0.3436	92.2968	
4	0.1427	0.9438	11.6321	0.7117	86.5697	
5	0	0.2553	12.4839	0.4158	86.845	
6	0.1605	0.1771	11.6768	0.4113	87.5749	
7	0.2208	0.1676	11.6953	0.4101	87.562	
8	0.3044	0	12.0257	0.292	87.3779	mining dump covered
9	0.2781	0.1709	10.808	0.3443	88.3987	mining dump covered
10	0.3002	0.4099	8.7201	0.4155	90.1543	mining dump covered
11	0.4226	0	8.9547	0.2899	90.3328	mining dump covered
12	0.3985	0.3121	7.1773	0.3463	91.7657	mining dump covered
13	0	0.9399	8.8638	0.6386	89.5577	mining dump covered
14	0.5999	0.1511	11.2475	0.3469	87.6546	mining dump covered
15	0.164	0	10.3525	0.3966	89.0869	mining dump covered
16	0.2296	0	11.5785	0.3479	87.8439	mining dump covered
17	0.3228	0.0825	10.04	0.2448	89.3099	mining dump covered
18	0	0.1388	11.0503	0.34	88.4708	mining dump covered
19	0	1.231	9.8618	0.6145	88.2926	
20	0.2094	0.1228	7.494	0.2213	91.9526	
21	0.1605	0.0898	9.0557	0.3054	90.3886	
22	0.1539	0.1418	7.7898	0.3153	91.5992	
23	0.1621	0	8.86	0.2752	90.7027	
24	0.1129	0	10.3971	0.3603	89.1298	
25	0	0.1545	11.114	0.385	86.3465	
26	0	0	8.5828	0.2604	91.1567	
27	0.156	0.1395	9.6861	0.2752	89.7433	
28	0.2366	0	11.9727	0.3629	87.4278	
29	0.8253	0.1165	7.1115	0.5125	91.4342	
30	0.1264	0.1317	9.4168	0.3285	89.9966	current channel covered
31	0	0	9.251	0.4124	90.3366	
32	0.613	0	8.4867	0.3168	90.5835	
33	0.1743	0	8.206	0.2926	91.3271	
34	0	0.0803	8.7207	0.367	90.832	
35	0.109	0.1343	8.7237	0.425	90.608	
36	0.2254	0	91.137	0.3122	90.3487	dunite
37	0.1934	0.2293	9.061	0.3446	90.1716	dunite
38	0.1589	0	6.7225	0.2394	92.8793	dunite

Table 1. continued.

Measured point (m)	Cr	Mn	Fe	Ni	LE	Remarks
39	0	0.115	7.2576	0.2298	92.3976	dunite
40	0.3042	0.1908	8.9536	0.3818	90.1695	dunite
41	0.1551	0	10.0268	0.3853	89.4328	dunite
42	0	0.2582	9.2763	0.3567	90.1087	dunite
43	0.1275	0.1083	9.5104	0.2875	89.9662	dunite
44	0.1982	0	8.7646	0.3321	90.7051	dunite
45	0.2119	0.2387	10.2465	0.5016	88.8013	
46	0	0	8.3826	0.2818	91.3356	
47	0	0.3466	9.1106	0.4261	90.1167	
48	0.1359	0.2568	8.3148	0.3194	90.9732	relative fresh rocks
49	0.1529	0	8.5578	0.3503	90.939	relative fresh rocks
50	0	0.2031	7.1138	0.2716	92.4115	relative fresh rocks
51	0.1256	0.2385	6.4033	0.2618	92.9708	relative fresh rocks
52	0	0	8.9302	0.3607	90.7091	relative fresh rocks
53	0.1339	0.2149	6.3228	0.244	93.0843	relative fresh rocks
54	0	0	7.1938	0.2348	92.5714	relative fresh rocks
55	0	0.0794	6.9244	0.1887	92.8075	relative fresh rocks
56	0	0.5167	7.5996	0.2836	92.6001	relative fresh rocks
57	0	0.5849	8.0448	0.3329	91.0374	relative fresh rocks
58	0	0	7.239	0.1967	92.5643	relative fresh rocks
59	0	0.7394	3.1427	0.4509	95.667	relative fresh rocks
60	0.1157	0.2458	8.6935	0.3671	90.5779	relative fresh rocks
61	0.1369	0	4.6929	0.5185	94.6517	relative fresh rocks
62	0	0	7.3325	0.3093	92.3681	relative fresh rocks
63	0.1298	0.228	9.5826	0.5746	89.485	relative fresh rocks
64	0	0	8.2991	0.5502	91.1507	soil covered
65	0.1051	0	6.9246	0.3003	92.67	soil covered
66	0.3085	0.2375	10.98	0.4472	88.0269	soil covered
67	0.2852	0.1815	10.3947	0.3939	88.7447	soil covered
68	0.2518	0.127	11.9506	0.408	87.2627	soil covered
69	0.3023	0	8.5057	0.3481	90.8439	soil covered
70	0.3644	0.1213	14.5721	0.3904	84.5518	soil covered
71	0.1692	0.1288	14.5427	0.4578	84.7015	soil covered
72	0.1391	0	12.1468	0.345	87.3691	soil covered
73	0.2419	0.1073	14.7427	0.371	84.5372	soil covered
74	0.2055	0	12.5481	0.4335	86.8129	soil covered
75	0.2752	0.3325	15.9248	0.4437	83.0237	
76	0.1533	0.1984	13.2938	0.4937	85.8608	
77	0.1711	0.3919	13.0865	0.5495	85.801	

Table 1. continued.

Measured point (m)	Cr	Mn	Fe	Ni	LE	Remarks
78	0.1947	0.1457	13.186	0.3901	86.0834	
79	0.2683	0	15.1525	0.4207	84.1585	
80	0	0.1894	13.5363	0.4652	85.809	
81	0.2517	0	17.4349	0.5948	81.7186	
82	0.2522	0	12.4501	0.4401	86.8576	
83	0.2251	0.4548	11.0804	0.5349	87.7049	
84	0.1556	0	15.5538	0.5288	83.7618	
85	0.3085	0.2085	13.6514	0.5251	85.3064	
86	0	0	13.7876	0.4805	85.7319	
87	0.2199	0.1878	15.2244	0.6089	83.759	
88	0	0.2283	10.0565	0.4168	89.2984	
89	0.1914	0.1459	13.7851	0.4725	85.5051	
90	0.185	0.5292	15.0402	0.6584	83.5871	
91	0.117	1.1841	11.0776	0.7513	86.87	
92	0	0.383	15.5032	0.609	83.5048	
93	0	0.2538	15.3641	0.4483	83.9338	
94	0.118	0.1557	14.5969	0.4371	84.6924	
95	0.133	0.339	10.7091	0.3634	88.4554	
96	0.1925	0.3555	11.727	0.4389	87.2869	
97	0	0.5702	9.5339	0.678	89.2179	
98	0.1444	0	12.8718	0.4096	86.5752	
99	0.1582	0.1711	11.8124	0.3742	87.4841	
100	0.0982	0.16	9.7661	0.4767	89.4975	

트렌치 단면에 대한 XRF 분석을 실시한 결과 전체적으로 Cr의 함량은 상대적으로 낮게 측정되었다(표 1). 그러나 8 m, 10 m, 11 m, 12 m, 14 m, 17 m, 29 m, 32 m, 40 m, 66 m, 69 m, 70 m, 85 m 지점들에서 Cr의 함량이 상대적으로 높은 0.3% 이상이 인지되었다(그림 9; 표 1). 그러나 8-18 m 구간의 경우 트렌치 단면의 상부가 mining dump들에 의해 피복되어 있기 때문에 이들의 영향에 의해 상대적으로 Cr의 함량이 높게 나타난 것으로 해석된다(그림 8; 표 1). 또한 29-32 m 구간과 66-70 m 구간은 단면 상부에 작은 수로가 발달하여 상부에 위치하는 노천채굴적에서 흘러내린 광석들에 의해 Cr의 함량이 상대적으로 높게 나타난 것으로 해석된다(그림 9). 그러나 40 m 지점의 경우 더나이트 분포지역으로 상대적으로 높은 Cr 성분이 인지되었다(그림 9; 표 1).

이는 조사지역에 발달하는 크롬철석 광체가 더나이트 분포지역에서 나타나는 것과 상관성이 있는 것으로 해석된다. 그러나 앞서 언급했듯이 노두상이나 XRF 분석에서 뚜렷한 크롬철석의 분포 및 높은 함량은 나타나지 않는다. 이는 크롬철석 광체가 연장이 되지 않거나 산점상, 포켓상 또는 렌즈상으로 발달할 가능성을 지시하는 것으로 해석된다.

5. 결론

미얀마 북부 보피봄 크롬철석 광화대에 대한 정밀 지표지질조사 및 광화대 연장성 확인을 위한 트렌치 조사를 실시하였으며, 이를 정리하면 다음과 같다.

1) 연구지역에 분포하는 암석은 암회색 내지 흑색의 하즈버사이트, 사문암 및 더나이트이며, 이를 제4

기 층적층이 피복하고 있다.

2) 연구지역 내 크롬철석 광화대의 연장성 확인을 위해 서북서-동남동 방향에서 남쪽으로 휘어지며 북북동-남남서 방향으로 트렌치 조사를 실시하였으며, 트렌치 규모는 연장 100 m와 높이 1-3 m의 규모로 실시되었다.

3) 트렌치 단면에 대한 정밀조사 결과 육안상 뚜렷한 크롬철석의 연장성이 확인되지 않았으며, 이는 크롬철석이 산점상, 포켓상 또는 렌즈상으로 발달할 수 있을 가능성을 지시하는 것으로 보이나, 추가적인 정밀 조사 및 트렌치 조사가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

4) 휴대용 XRF를 이용한 단면에 대한 분석 결과 뚜렷하게 크롬철석이 인지되지는 않았으나, 더나이트가 분포하는 부분에서 상대적으로 높은 Cr 성분이 인지되었으며, 이는 노두상에서 더나이트 내 크롬철석이 세립질의 산점상으로 발달하는 것과 같은 것으로 해석된다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원이 수행하고 있는 미래창조과학부 부처임무형 사업인 “해외 광물자원 탐사 및 자원량 평가(14-1121)”과제의 일환으로 수행되었습니다. 그리고 논문을 꼼꼼히 검토하여 유익한 조언을 해주신 편집위원님, (주)넥스지오 정의진 박사님과 익명의 심사위원님들에게도 감사를 드린다.

REFERENCES

- Choi, H., Kim, Y. and Ji, Y., 2010, Overview on Rare Metal Industries and Their Recycling. KIC News, 13, 20-29.
- Heo, C.-H., Chi, S.-J., Kang, I.-M. and Jin, K., in review, Occurrence characteristics of Bophi Vum chromite mineralized zone in the northwestern Myanmar. Econ. Environ. Geol.
- Chhibber, H.L., 1934, The Geology of Burma. MacMillan, London, 320 p.
- Department of Geological Survey and Mineral Exploration, 2008, The geology of Myanmar.
- Hutchison, C.S., 1975, Ophiolite in Southeast Asia. Geol. Soc. Amer. Bull., 86, 797-806.
- Ir, S.P., Kyaw, L.Z. and Kyaw, Z.L., 2010, Report on Regional Geology of Myanmar. Department of Geological Engineering Faculty of Engineering, Gadjah Mada University, 20 p.
- Park, Y.H., Lee, C.W., Kwon, G.S., Jeong, J.W. and Hwang, J.Y., 2009, Natural Resource Potential of New Emerging Regions and Its Implications for Korea: Russia, Central Asia, Latin America, Africa. Korea Institute for International Economic Policy, 09-02.
- Soe, T.T., 2007, The tectonic map of Myanmar. Myanmar Geosciences Society.

투 고 일 : 2014년 2월 3일
 심사 일 : 2014년 2월 4일
 심사완료일 : 2014년 3월 21일