

페루 수빠라우라 산화동 산출지의 특성: 예비연구

김익준¹ · 허철호^{2*} · 고상모²

¹한국지질자원연구원 광물자원연구본부 국내/북한자원연구실

²한국지질자원연구원 광물자원연구본부 해외광물자원연구실

Characteristics on the Occurrence of Oxidized Copper at Suparaura, Peru: Preliminary Study

Eui-Jun Kim¹, Chul-Ho Heo^{2*} and Sang-Mo Koh²

¹Domestic/North Korea Mineral Resources Department, Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources(KIGAM)

²Overseas Mineral Resources Department, Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources(KIGAM)

Geological survey on the occurrence of copper oxide in Suparaura area around Abancay in the south-central part of Peru had been carried out. Geology of the area is composed of granitoids such as granodiorite, tonalite and andesitic porphyry related to Tertiary igneous activity, Ferrobamba formation with Cretaceous limestone and sandstone in descending order. Red sandstone is widely distributed and emplaced with their attitude of N70°W strike and 60°NE dip. Copper oxides were mineralized along the bedding plane of red sandstone with maximum width of 30 cm. Ore-body structure bounding red sandstone strata have different occurrence characteristics with generally known porphyry system in terms of alteration, mineral assemblage and occurrence mode. Therefore, it is thought to be stratiform sediment-hosted copper (SSC) deposits genetically corresponding to Mississippi-valley type from preliminary study.

Key words : Suparaura, SSC, red sandstone, copper oxide

페루 남중부 아방카이 일대 수빠라우라 지역 산화동 산출지의 주변지질, 광상조사를 실시했다. 조사지역은 중생대 백악기의 석회암과 사암층을 기반암으로 하여 신생대 제 3기 화강섬록암, 토날라이트, 안산암질 반암 등이 기반암을 관입하고 있다. N70°W 주향과 60°NE 경사의 적색 사암 층리면을 따라 최대 30 cm 폭의 동광화작용이 관찰된다. 이는 반암형 시스템에서 일반적으로 발달하는 동광화작용과는 완전히 다른 변질작용, 광물조합, 산출특성 등을 가지며, 미시시피 벨리 유형에 해당하는 층준규제형 퇴적암-모암 동광상 (Stratiform Sediment-hosted Copper deposits: SSC) 에 대비될 수 있을 것으로 사료된다.

주요어 : 수빠라우라, 층준규제형 퇴적암-모암 동광상, 적색사암, 동산화물

1. 서 언

수빠라우라를 포함한 안다우아일라스 지역은 에오세 중기에서 올리고세 전기의 약 300 km 연장을 보이는 페루 남부지역의 안다우아일라스-야우리 벨트 내에 위치하고 있으며, 주로 자철석이 우세한 동 스킨톤 광상

배태지역으로 유명하다 (Bellido *et al.*, 1972; Santa Cruz *et al.*, 1979). 그러나, 최근 Perelló 등 (2002, 2003)에 의해서 반암형 광화작용이 보고되었다. 대규모로 산출되는 다상의 저반은 중생대와 신생대에 해당하는 해양 및 대륙성 퇴적암과 화산암층을 관입하고 있다. 이들은 쥬라기 유라 (Yura)층의 쇄설암, 백악기 페

*Corresponding author: chheo@kigam.re.kr

로밤바 (Ferrobamba)층의 탄산염암, 팔레오세 길케 (Quilque)와 칠까 (Chilca)층으로 명명된 호성기원의 암석들로 구성되어 있으며, 백악기 탄산염암층은 주로 스카른 광화작용이 수반된다. 신생대 암석들은 안따 (Anta)층의 안산암질 화산암과 퇴적암, 에오세에서 올리고세 초기의 산 제로니모 (San Jerónimo) 층의 적색층들로 구성되어 있다 (Carlotto, 1998; Perelló *et al.*, 2003). 안다우아일라스-아우리 저반은 초기에 발달한 염기성암인 반려암, 저반의 상당 부분을 차지하는 몬조섬록암, 석영섬록암, 화강섬록암으로 구성되어 있으며, 불연속적으로 300 km 이상 노출되어 있다. 최후기 암석들은 주로 석영안산암질 암석들이 우세하며, 국부적으로 반암형 광화작용을 수반한다. 저반을 구성하는 암석들의 연대는 48-32 Ma에 해당되며, 초기의 염기성 암석들과 상대적으로 후기 암석들의 연대는 48-43 Ma와 40-32 Ma로 구분되어 진다 (Carlotto, 1998; Perelló *et al.*, 2003). 이들 연대는 중기 에오세에서 초기 올리고세에 발달한 안따 (Anta)층과 산 제로니모 (San Jerónimo)층군의 암석들과 일치하며, 안따 (Anta)층의 안산암과 역암은 산 제로니모 (San Jerónimo)층군의 적색 암석들과 대비된다 (Carlotto, 1998; Perelló *et al.*, 2003).

본 논문은 페루 남중부 아방카이 지역에 부존하고 있는 수빠라우라 산화동 산출지의 주변지질, 광상조사를 실시하여 유망광구 확보를 위한 탐사적지 적합여부를 판단하기 위한 것이며 그 예비조사 결과를 고찰하고자 한다.

2. 지 질

수빠라우라 지역은 행정구역상 페루 남중부에 위치한 이뿌리막주 아방카이 (Abancay)에 속한다. 본 역은 아방카에서 남서쪽으로 포장도로를 따라서 약 40 km 정도 이동 후, 비포장도로를 이용하여 다시 동쪽으로 약 10 km 거리에 있다. 조사지역은 3000 m~3500 m의 해발고도를 갖는 고산의 산악지형이며, 실제 식생이 거의 존재하지 않는다 (Fig. 1).

본 역을 대상으로 한 탐사적지 선정을 위한 정밀 지질조사는 현재 이루어져 있지 않은 상태이다. 그러나, 예비조사 결과를 토대로 수빠라우라 지역의 지질을 간략히 기술하면 다음과 같다. 수빠라우라 지역의 지질은 중생대 백악기의 석회암으로 구성된 페로밤비층과 사암층을 기저로 하여, 신생대 제 3기 화성활동으로 관입한 화강섬록암, 토날라이트, 안산암질 반암으로 구성

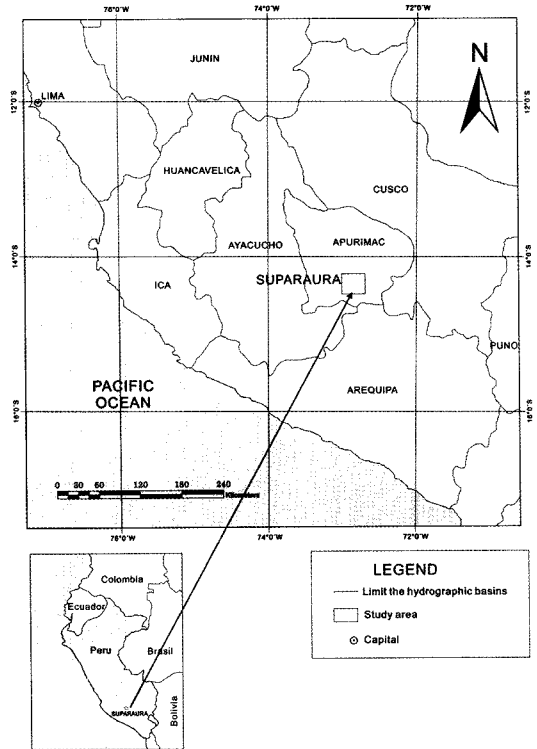


Fig. 1. Location map of Suparaura copper occurrence in the south-central part of Peru.

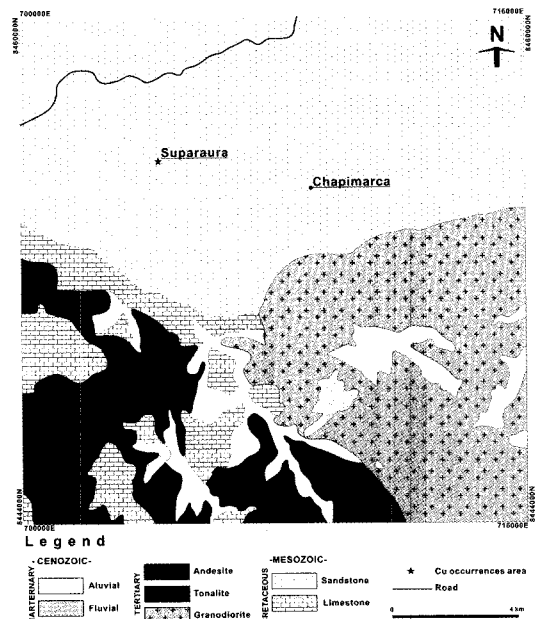


Fig. 2. Geological map of Suparaura area.

된 화강암류들이 이를 관입하고 있다. 그리고, 최상부

는 신생대 제 4기 충적층들로 구성되어 있다 (Fig. 2). 수빠라우라 지역의 최하부에 놓여진 페로밤비층은 습곡되어 있으며 하부는 주로 회색 석회암으로 층리가 잘 발달되어 있다. 이 층의 상부는 괴상의 석회암으로 구성되어 있으며 화석과 처트질 단괴들을 함유하고 있다. 이들 층들은 수빠라우라 지역 내에 직접적으로 산출이 되고 있지는 않으나, 페루 남중부 일대는 페로밤비층 내에 신생대 화강암류들의 관입과 관련하여 반암형 및 스키른 광상을 배태하는 모암으로서의 역할을 하고 있는 것으로 잘 알려져 있다 (Alberto, 2008).

페로밤비층의 상부에 놓여진 사암층들은 주로 산화된 적색 사암으로 구성되어 있으며, 일부 셰일층들이 협

재되어 있다. 안산암, 섬록암, 미섬록암 (microdiorite) 조성을 갖는 소규모의 암맥들은 이를 관입하고 있으며, 이들의 관입과 관련하여 동광화작용이 관찰된다. 수빠라우라 지역 주변부에 광범위하게 분포하고 있으며, 동광화작용을 수반하고 있는 적색 사암층내로 관입하고 있는 대규모의 관입암들은 안다우아일라스-야우리 화강암복합체의 일부분으로 간주된다. 이들 화강암류들은 앞에서 언급했던 페로밤비층 내 석회암층과 반응하여 반암형의 철 스키른 광상을 발달시키는 것으로 보고되어 있으나 (Alberto, 2008; Perelló *et al.*, 2003), 연구지역은 이들 화강암류와 관련하여 적색사암층을 모암으로 소규모의 동광화작용만이 관찰되고 있다.

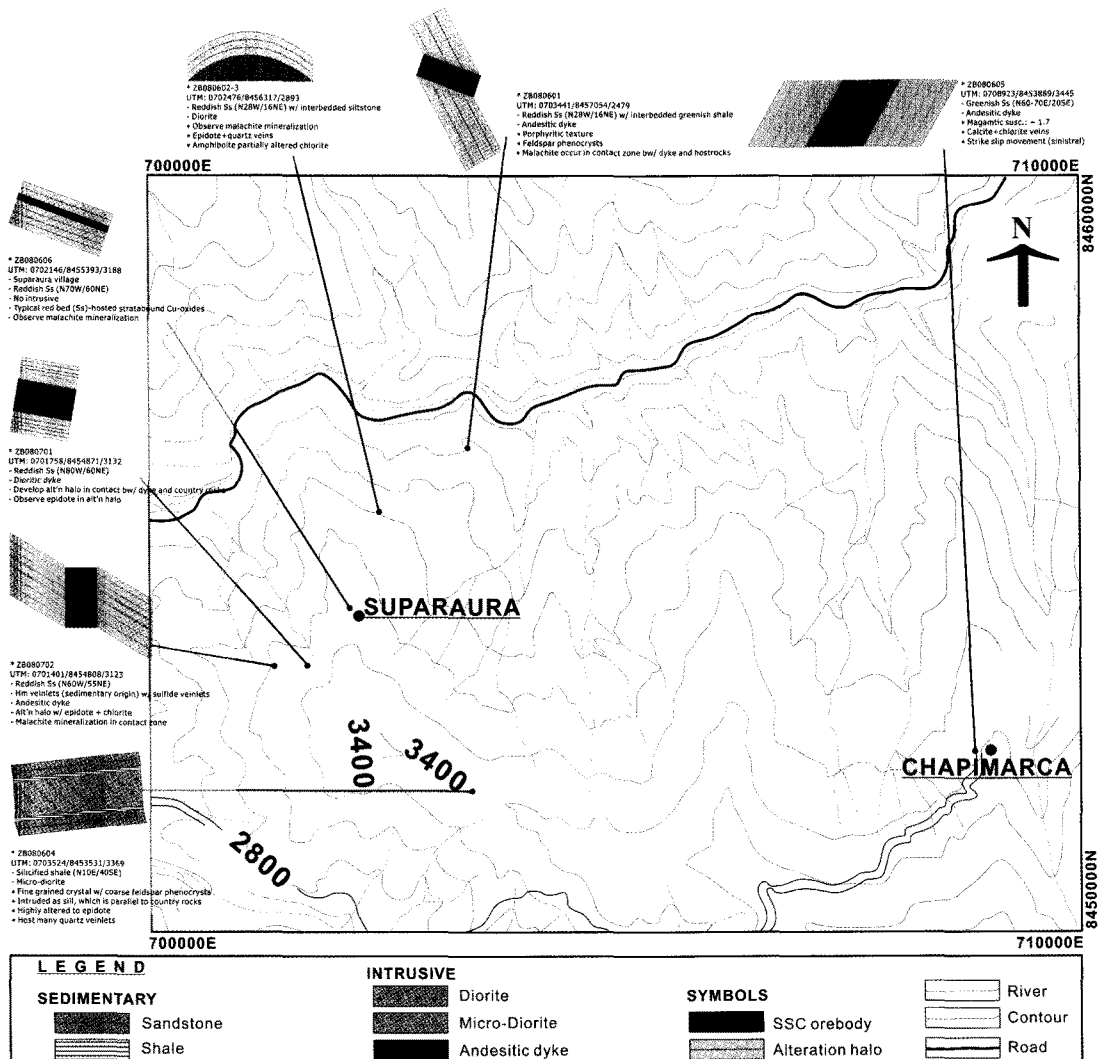


Fig. 3. Investigation map of Suparaura copper occurrence in Abancay region.

3. 현지조사

현지조사는 수빠라우라 지역 안산암질 또는 섬록암질의 암맥 및 관입암등 7개 노두를 대상으로 페루 지질광업제련연구소 (INGEMMET)와 공동으로 수행하였다. 조사지역에서 산출하는 동광화작용은 간략히 도식화되어 있으며, 세부 조사사항들은 아래에 명확히 기재되어 있다 (Fig. 3).

ZB080601: ZB080601 노두는 고도 2479 m에 위치하고 있다. 이 지역은 과거 동광체를 대상으로 소규모로 채광이 이루어진 채굴적이 관찰된다 (Fig. 4A). 이 지역은 주로 N28°W 주향 경사 16°NE 방향의 적색 사암층으로 구성되어 있으며, 녹색 세일층들이 일부 협재되어 있다. 약 3 m의 폭을 갖는 안산암질 암맥은 거의 수평적으로 놓여진 적색 사암층을 수직으로 관입하고 있다. 암맥의 유리질 기질부에는 약하게 변질된 사장석 반정들을 함유하고 있다 (Fig. 4B). 암맥의 접촉부는

강하게 탈색 (bleached)된 열수변질 혼륜 (alteration halo)이 좌우 대칭적으로 약 1 m 정도로 발달하고 있다 (Fig. 4C). 안산암질 암맥 접촉부 또는 암맥 내부에서는 석영세맥들이 망상의 형태로 발달하고 있으며, 모암인 사암층에서는 동광화작용이 소규모로 수반된다. 수반되는 동광물은 주로 이차 동광물인 공작석 (malachite)으로 구성된다 (Fig. 4D).

ZB080602-3: 해발 2893 m에 위치하는 ZB080602-3 노두는 전체적으로 수평 적색 사암층에 이암층이 협재되어 있다. 섬록암질 관입암은 수십 m의 폭을 가지면서 사암층을 관입하고 있다 (Fig. 5A). 섬록암은 주로 사장석과 각섬석으로 구성되며, 대부분의 각섬석은 녹니석으로 변질되어 있다. 관입암과의 접촉부를 따라서 모암과 수평하게 수 mm 내지 cm 폭을 갖는 석영맥들이 잘 발달되어 있다 (Fig. 5B). 한편 관입암 내에서는 석영-녹렴석 조합을 갖는 세맥들이 산출된다 (Fig. 5C). 동광화작용은 주로 이차 동광물인 공작석으로 특징지

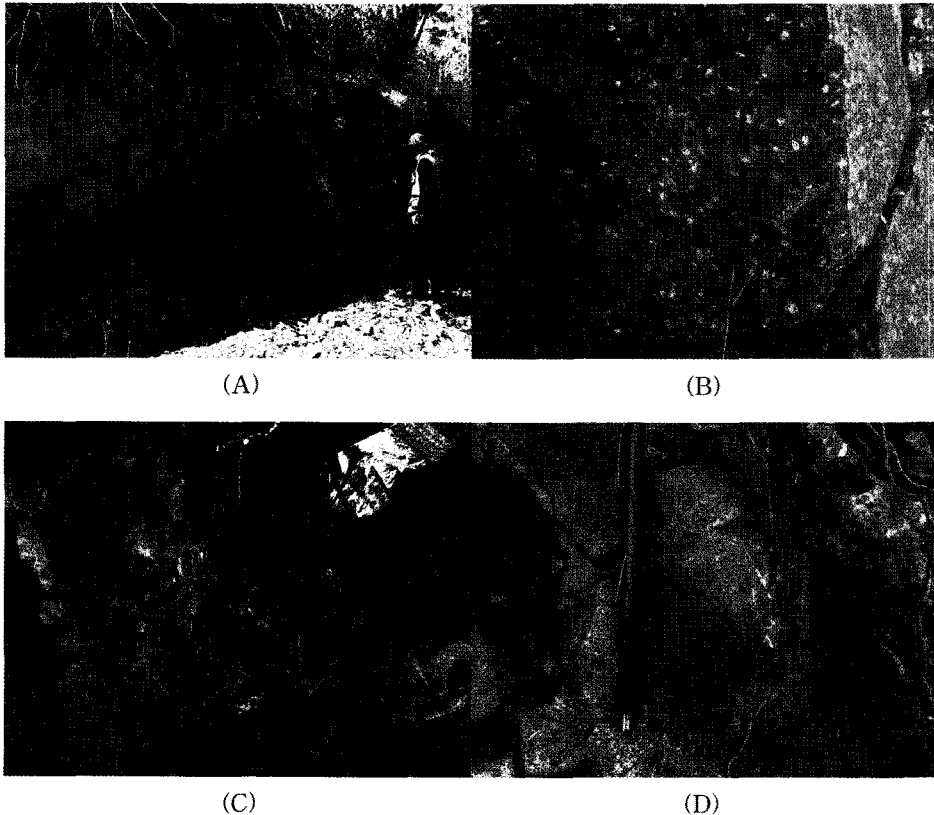


Fig. 4. Photographs of ZB080601 outcrop. A. Red sandstone was intruded by andesitic dyke. B. Andesitic dyke is composed of feldspar phenocryst with glassy matrix. C. Alteration halo related to intruding andesitic dyke. D. Malachite mineralization occurs at the contact zone between andesitic dyke and red sandstone.

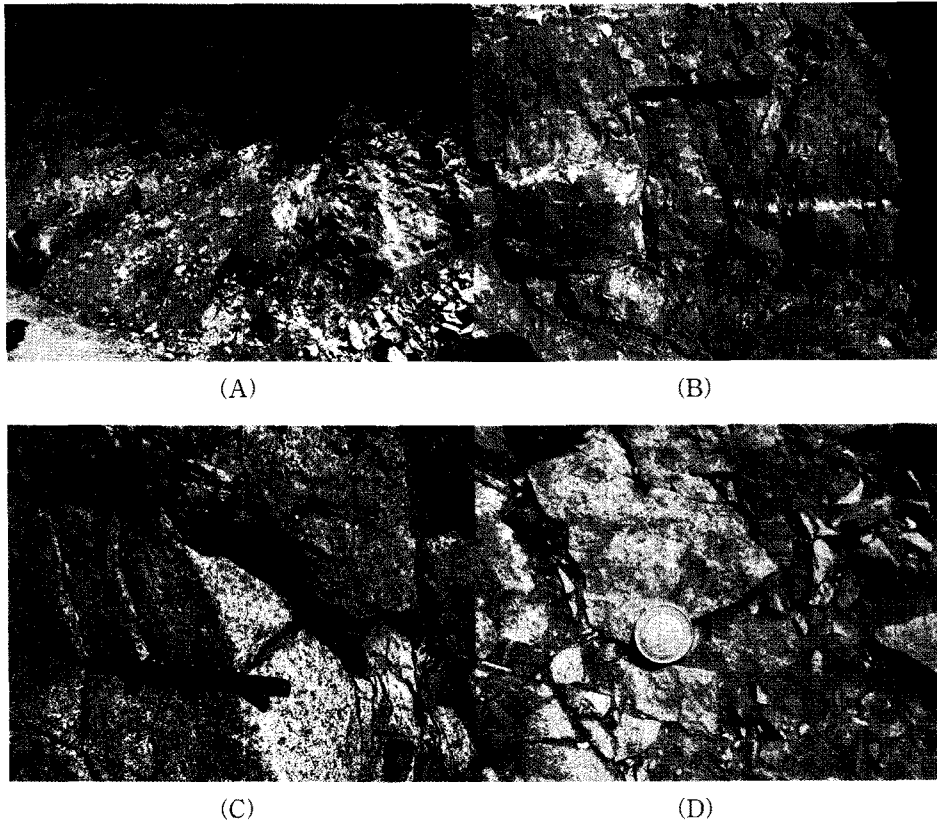


Fig. 5. ZB080602-3 outcrop. A. Intrusives cutting red sandstone. B. Quartz vein parallel to sandstone bed. C. Epidote bearing quartz vein occurs in dioritic intrusive. D. Malachite mineralization is observed in dioritic intrusive.

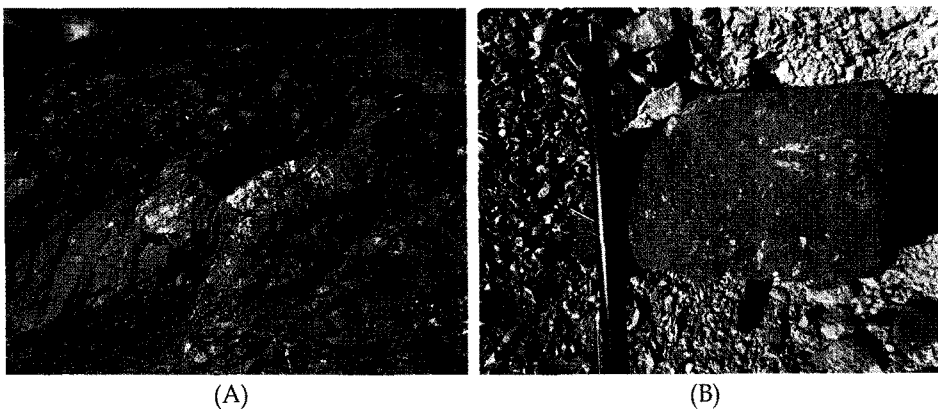


Fig. 6. ZB080604 outcrop. A. Microdiorite intrudes red sandstone. B. Microdiorite have the characteristics of medium-grained dark grey intrusive.

어 지며, 황동석 및 황철석과 같은 1차 함동광물들의 산출이 드물다. 동 광화작용은 섬록암질 관입암과 주변 사암층 내에서 관찰되며 주로 공작석으로 구성된다 (Fig. 5D).

ZB080604: ZB080604 노두 (해발고도 3369 m)에서는 미섬록암이 암상의 형태로 사암층 내에 층리를 따라 약 10 m 폭으로 관입하고 있으며 상·하 접촉부는 상당히 규화되어 있다 (Fig. 6A). 섬록암과 유사

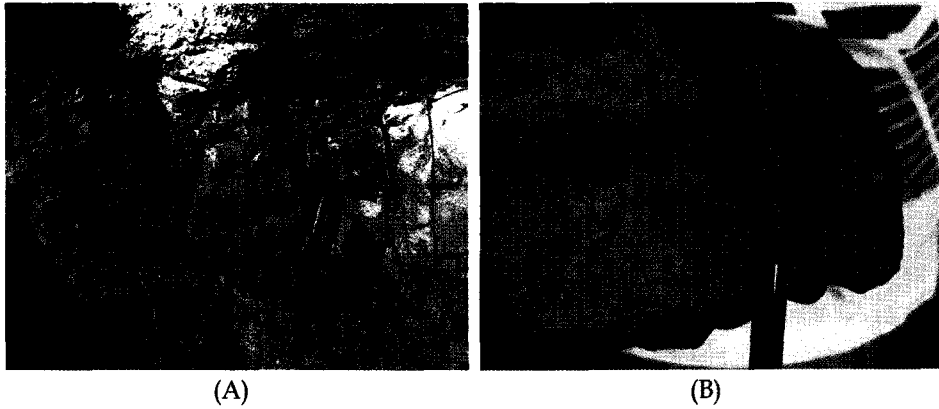


Fig. 7. ZB080606 outcrop. (A) Malachite outcrop parallel to red sandstone (B) Sandstone experienced by epidote alteration.

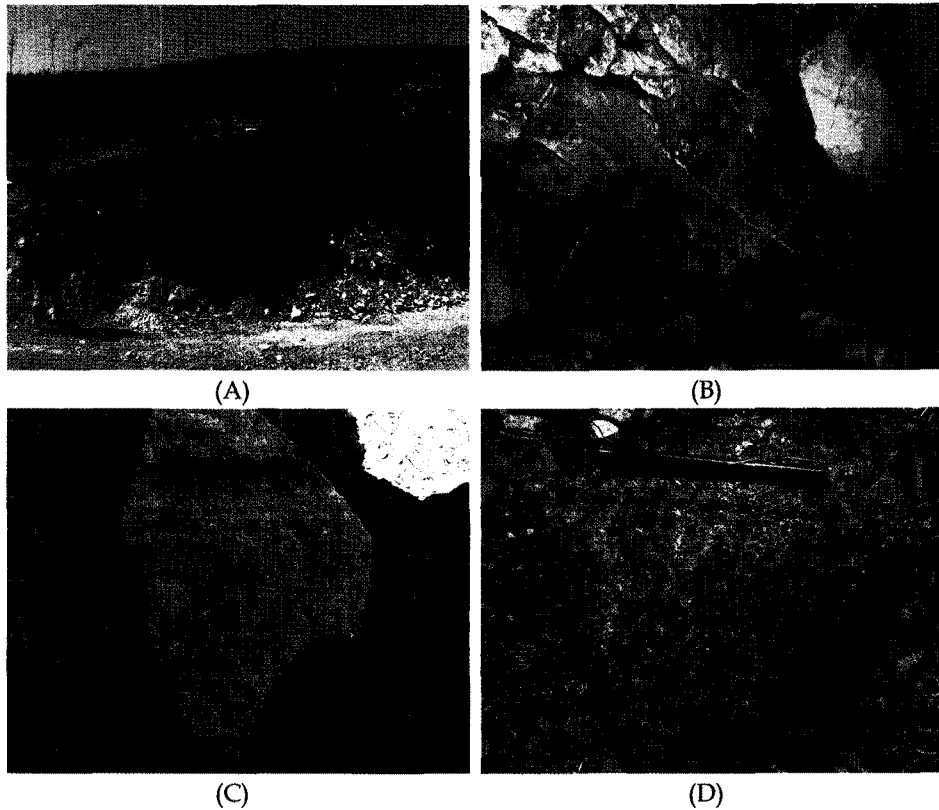


Fig. 8. Representative stratabound redbed bearing copper mineralization. A. Copper mineralization outcrop related to intrusive andesitic dyke. B. Copper mineralization at the contact between intrusive and sandstone. C-D. Malachite mineralization parallel to sandstone bed.

한 조성을 갖는 암회색 미섬록암은 세립 내지 중립의 각섬석 입자들로 구성되어 있다 (Fig. 6B). 관입암과의 접촉부 혹은 관입암 내부에서는 관찰되는 동광화작용은 관찰되지 않는다.

ZB080606: ZB080606 노두는 수빠라우라 마을이 위치한 곳으로 해발고도 3168 m에 위치하고 있다. 노두에서는 적색 사암층의 총리면 (주향 N70°W, 경사 60°NE)을 따라 수 cm 폭을 갖는 동광화작용이 관찰되

며, 그 주변부에서는 주로 녹렴석으로 구성된 변질 혼륜이 발달하고 있다 (Fig. 7A and 7B). 그러나, 다른 지역과 달리 화성활동이 관찰되지 않는다.

ZB080702: ZB080702 노두는 수빠라우라 마을에서 남서방향으로 수백 미터 떨어진 지역으로 해발고도 3123 m에 위치한다. 사암층 (주향 N70°W, 경사 40°NE) 들에는 폭 5 m 정도의 안산암질 암맥이 관입하고 있으며, 이들의 관입과 관련해서 폭 10 m의 열수변질 혼륜이 발달하고 있다 (Fig. 8A). 변질대는 주로 녹니석과 녹렴석으로 구성되며, 이들 접촉부 내에 동광화작용이 관찰된다 (Fig. 8B). 이 지역에서 과거 이들을 대상으로 한 소규모 채굴적이 관찰된다. 광화대에서는 수 mm의 적철석 층리가 발달하는 특징을 가지며, 일부 황철석 및 황동석으로 구성된 황화물 층리가 함께 평행하게 발달하고 있다. 황화물 및 철산화물 층리가 사암층 내에서 반복적으로 교호하면서 발달하는 특징을 갖는다 (Fig. 8C and 8D).

야의 노두 및 암편에서 관찰되는 것과 달리 경화에서는 상당히 다른 양상을 갖는다. 우선 동광화작용을 배태하고 있는 사암층은 주로 석영으로 구성되어 있으며, 층리와 평행하게 주로 황철석으로 구성된 황화물과 철산화물 층리가 일정한 간격으로 교호하면서 반복적으로 산출되고 있다 (Fig. 9A). 이차 동광물인 공작석 미층리는 일부는 황철석으로 교대되고 있다 (Fig. 9B). 일부 시료에서는 자철석과 적철석이 교호하면서 산출되는 동심원상 성장대 (concentric growth band)와 서로 용리구조를 갖는 것이 흔히 관찰된다 (Fig. 9C and 9D).

4. 지구화학적 분석

수빠라우라 지역 이차 동광화작용과 관련된 광석시료들 (n=7)은 크게 화성활동과 관련성이 없는 시료들 (SRO-1, 2,3)과 안산암질 암맥의 관입과 공간적인 관련성을 갖는 시료들 (SRO-4, 5, 6, 7)로 구분하여 금속

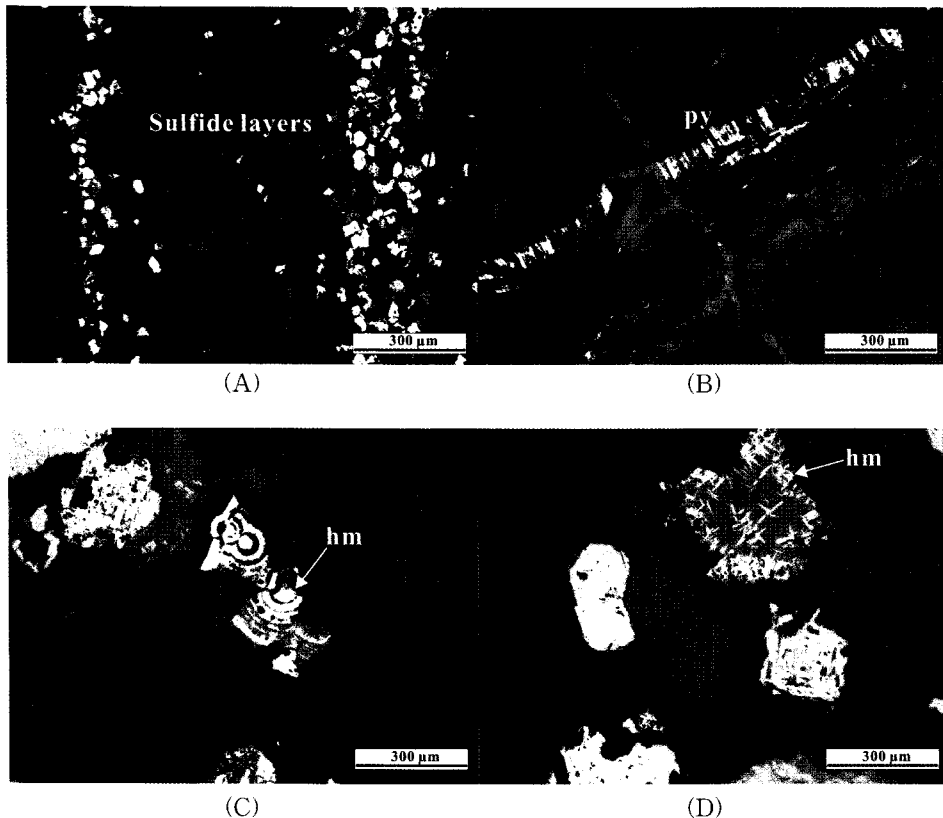


Fig. 9. Mineralization within Suparaura sandstone. A. Rhythmic sulfide bands with small amounts of hematite, parallelling to the sandstone bedding. B. Copper oxide layer is partially replaced by pyrite. C. Concentric growth zone showing sequential precipitation of hematite and magnetite. D. Magnetite is partially replaced by hematite.

Table 1. Rare metal contents of Cu mineralized ores from the Suparaura

	Fe	Cu	Ba	Zn	Pb	Ag	Re	Au	U
	wt. %		ppm						
SRO-1	1.90	4.24	266.5	80.50	295.5	5.8	21.4	-	0.78
SRO-2	1.34	4.84	1378.1	64.53	6.5	7.5	50.1	-	2.50
SRO-3	1.39	5.95	585.0	78.51	2.1	12.2	48.3	-	4.62
SRO-4	4.53	0.07	312.1	72.48	6.0	1.6	118.7	1.5	1.46
SRO-5	5.81	0.23	361.4	87.02	6.3	1.6	88.2	-	1.89
SRO-6	4.43	0.22	434.8	82.79	7.0	1.6	102.5	-	1.95
SRO-7	3.45	1.64	286.6	76.38	122.9	23.6	68.5	-	0.78

Abbreviations: SRO-1~3, not related to igneous activity; SRO-4~7, related to igneous activity

Table 2. Rare earth elements compositions (ppm) of Cu mineralized ores from the Suparaura

	SRO-1	SRO-2	SRO-3	SRO-4	SRO-5	SRO-6	SRO-7
La	20.70	16.00	18.50	26.30	26.40	28.30	20.10
Ce	44.10	31.20	37.20	51.40	50.60	55.00	37.80
Pr	5.21	4.03	4.94	6.16	6.08	6.71	4.72
Nd	15.70	12.30	15.10	18.30	18.40	20.60	14.40
Sm	3.30	2.63	3.28	3.63	3.63	4.13	3.02
Eu	0.85	1.20	1.52	0.96	0.94	1.10	0.91
Gd	3.03	2.45	2.98	3.46	3.43	3.96	2.75
Tb	0.54	0.42	0.50	0.58	0.57	0.64	0.46
Dy	2.41	2.04	2.45	2.70	2.72	2.96	2.16
Ho	0.59	0.48	0.58	0.62	0.63	0.69	0.50
Er	1.41	1.17	1.42	1.59	1.51	1.69	1.17
Tm	0.27	0.22	0.25	0.26	0.26	0.29	0.20
Yb	1.39	1.16	1.37	1.48	1.45	1.57	1.04
Lu	0.26	0.21	0.25	0.26	0.26	0.27	0.18
Y	14.50	13.30	14.80	16.80	17.00	19.30	14.20

의 함량 및 희토류 원소들의 조성이 분석되었다. 또한, 희토류원소들의 조성은 공간적으로 함께 수반되는 안산암질 암맥과 주변 모암의 희토류원소 패턴을 비교하기 위하여 분석이 이루어졌다 (Table 1 and 2). 전체적으로 동의 함량은 0.07 wt. %에서 최대 5.95 wt. % 까지 나타나지만, 그 외에 연과 아연 등의 성분들은 상당히 낮은 함량을 갖는 것으로 나타났다. 그러나, 레늄 (Re)의 함량이 21.4-118.7 ppm으로 일반 지각이 가지는 평균함량 1 ppb 보다 훨씬 높은 농집 특성을 갖는 것이 특징적이다 (Table 1).

수파라우라 지역 동광화작용 중에서 화성활동과 공간적으로 직접적인 관련성을 갖는 광체를 대상으로 수반되는 암맥과 주변 모암을 비교해볼 때, 일반적으로 Eu 이상이 관찰되지 않는데 반해 강한 Tm 이상대가 나타난다. 안산암질 관입암과 비교해볼 때, 사암층의 희토류원소 부화패턴은 전체적으로 경희토류원소에 해

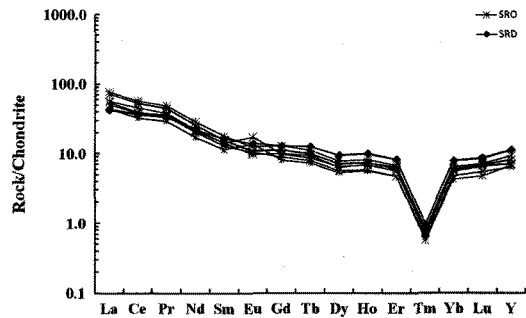


Fig. 10. Chondrite-normalized REE pattern on the secondary copper ore related to Suparaura andesitic dyke. SRO: Suparaura secondary copper ore; SRD: Suparaura dyke.

당하는 La, Ce, Pr, Nd는 관입암에 비해 부화되는 경향을 갖으나, 중희토류의 경우는 오히려 결핍되는 특징을 갖는다 (Fig. 10).

5. 토의 및 제언

광역적으로, 조사지역 주변부는 안다우아일라스-아우리 저반의 화성활동에 수반되는 대규모의 반암형광상, 스카른광상 및 미시시피 벨리 유형 (Mississippi Valley-type) 광화작용이 보고되어 있다 (Perelló *et al.*, 2003; Noble *et al.*, 1984). 조사지역은 소규모 암맥 및 관입암의 관입과 관련하여 관입암 내부 혹은 적색 사암층 내에서 동광화작용이 관찰된다. 또한 일부에서는 직접적인 화성활동의 증거가 관찰되지 않는 지역에서도 사암층 내에 규제된 동광화작용이 상당한 규모로 관찰된다. 이는 반암형 시스템에서 일반적으로 발달하는 동광화작용과는 완전히 다른 변질작용, 광물조합, 산출특성 등을 가지며, 미시시피 벨리 유형에 해당하는 층준규제형 퇴적암-모암 동광상 (Stratiform Sediment-hosted Copper deposits: SSC)에 대비될 수 있을 것으로 사료된다. 일반적으로 퇴적암을 모암으로 하는 수많은 천금속 광상들은 분지의 형성과 관련된 속성작용 동안 초생수의 순환과 성인적인 관련성을 갖는다. 층준규제형 퇴적암-모암 동광상은 세계 동생산량에 근거할 때 두 번째 규모의 광상유형으로, 그 외에 연, 아연, 은, 우라늄, 금, 백금족원소, 레늄, 코발트의 주요 공급원으로서 아주 중요한 광상유형으로 간주되고 있다. 이 유형의 광상은 전 세계적으로 다양하게 산출되고 있으며, 중앙아프리카 동광화대와 중앙 유럽의 쿠퍼슈퍼 (Kupferschiefer)가 그 대표적인 예이다.

지질구조적 환경: SSC 광상은 일반적으로 대륙성 열곡대와 관련된 퇴적층 내에 배태한다. 이 유형의 광상을 배태하는 퇴적층들은 초기 산화된 혹은 퇴적 및 속성작용동안 빠르게 산화된 층의 상부에 해침에 의한 보다 환원된 셰일, 탄산염암, 암염 등이 상부에 놓인다. 분지기원 열수유체의 순환은 빠른 열극과 침강으로 수반되는 높은 열의 유동 조건에 의해 촉진되며, 투수성이 좋은 쇄설성 퇴적암과 활발한 성장단층으로 인하여 투수성이 좋은 환경이 형성된다. 그러나, 연구지역은 대규모의 단층작용이 쉽게 관찰되지 않으며, 모암인 사암층의 주향 및 경사의 큰 변화를 갖지 않는다. 다만 일부 지역에서 주향이동단층이 관찰되나, 열수유체의 이동을 보다 유리하게 만들 구조적 환경이 개략 지질조사에서는 관찰되지 않았다.

모암: 일반적으로 미시시피 벨리 유형의 경우, 크게 아연이 우세한 탄산염 시스템, 연이 우세한 석영 사암 시스템, 그리고 동이 우세한 "Oxidized red-bed aquifer system"으로 세분된다 (Sverjensky, 1989; Metcalfe

et al., 1994). 연구지역은 동광화작용이 상당히 우세하게 나타나고 있으며, 다른 유용금속종의 광화작용이 관찰되지 않는다. 동 광화작용을 배태하고 있는 적색 사암층들은 상대적으로 산화되어 있고, mm 사이즈의 적철석 밴드들이 사암층의 층리와 평행하게 발달하고 있다 (Fig. 9C and 9D). 일반적으로 동-황화광물들은 천수에 낮은 용해성을 가지며, 환원된 퇴적암으로부터의 침출이 어렵다.

열수변질작용 및 산출특성: 사암층 내에 소규모의 중성질 암맥들이 관입하면서 그 집적부를 따라 5 m 내지 10 m 이상의 폭을 갖는 열수변질 혼륜이 발달하고 있다. 변질 혼륜은 주로 녹니석 및 녹렴석으로 구성된 프로필리티크 변질작용에 기인된다. 관입암과 사암층의 집적부를 따라 소규모의 동광화작용이 관찰된다. 그러나 이 변질 혼륜을 넘어서 사암층 내에 황화물과 적철석으로 구성된 mm 사이즈의 얇은 열리가 사암층의 층리에 평행하게 발달하고 있다 (Fig. 9C and 9D).

동광물의 침전: SSC 광상에서 CuCl_2^- 복합체는 적철석의 안정영역과 일치하며, 수성 황종의 경우는 환원상태인 H_2S 나 HS^- 의 형태보다는 산화된 SO_4^{2-} 의 형태가 더 우세하게 존재한다 (Rose, 1976). 일반적으로 Cu는 천수에서 용해성이 낮고, 동황화물 형태가 안정한 환원된 퇴적암보다는 오히려 산화된 퇴적암 조건에서 CuCl_2^- 형태일 경우 더 높은 용해성을 갖는다. 따라서 동의 산출이 연과 아연의 산출보다 상대적으로 높게 나타난다. 이는 연구지역에서 다른 금속종의 산출이 드물고, 주로 동광물이 산출되는 것을 뒷받침한다.

유체: 층준규제형 퇴적암-모암 동광상은 퇴적암의 퇴적 및 속성작용과 관련된 분지의 형성과정동안 분지 내에 포함되어 있는 초생수의 순환과 관련하여 천금속들의 침전이 이루어진다. 그러나, 연구지역의 개략 지질조사에 근거할 때, 동광화작용은 대체적으로 소규모의 중성질 암맥들의 관입과 공간적 관련성을 갖는다. 그럼에도 불구하고 일부지역은 이러한 화성활동의 증거가 관찰되지 않으며, 오히려 이들 지역에서 동의 함량이 높게 나타나고 있다 (Table 1).

향후연구: 연구지역 전반에 걸친 야외지질조사가 부족한 상태이며, 동광화작용을 수반하는 사암층의 분포 및 연장성 파악을 위한 정밀 지질도 작성은 동광화작용의 전체적인 범위를 판단하고 이해하는데 상당한 도움이 될 것으로 판단된다. 또한 퇴적암들의 퇴적환경을 이해하는 것 역시 연구지역의 동광화작용을 이해하는데 유용할 것으로 생각된다. 현재 광화작용과 관련된 성인적 연구가 진행되어 있지 않기 때문에, 광화작

용을 야기 시킨 광화유체의 기원과 동 및 황의 기원 추적을 통해서 성인연구모델 제시를 위한 유체포유물 및 안정동위원소의 연구가 추후 요구될 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원이 수행하고 있는 지식경제부 부처임무형 사업인 “해외광물자원탐사 및 부존잠재성 평가 (11-1121)” 과제에서 지원되었습니다. 그리고, 현장지질조사에 도움을 주신 페루 지질광업체련 연구소 (INGMEET)의 Raymond Rivera Cornejo씨와 Jorge Acosta Ale씨에게 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

- Alberto, B.R. (2008) Geochronology, Petrography, Alterations and Isotopes of Pb and Sr of the Complex Porphyry (Cu-Au) Utupara - Applications to the Mining Exploration Antabamba-Apurimac-Peru. 126p.
- Bellido, E., Girard, D. and Paredes, J. (1972) Mapa metalogenico del Peru, 1:2,500,000: Lima, Servicio de Geologia y Minería
- Carlotto, V. (1998) Evolution Andine et raccourcissement au niveau de Cusco (13-16°S) Perou: Enregistrement sedimentaire, chronologie, controles paleogeographiques, evolution cinematique: Unpublished Ph.D. thesis, Grenoble, France, Universite Joseph Fourier, 159p.
- Evensen, N.M., Hamilton, P.J. and O'Nions, R.K. (1978) Rare earth abundances in chondritic meteorites: *Geochimica et Cosmochimica Acta.*, v.42, p.1199-1212.
- Metcalf, R., Rochelle, C.A., Savage, D. and Higgs, J.W. (1994) Fluid-rock interactions during continental red-bed diagenesis: implications for theoretical models of mineralization in sedimentary basins. In J. Parnell (ed.), *Geofluids: Origin, Migration and Evolution of Fluids in Sedimentary Basins*. Geological Society, Special Publication, v.78, p.301-324.
- Noble, D.C., McKee, E.H., Eyzaguirre, V.R. and Marocco, R. (1984) Age and regional tectonic and metallogenetic implications of igneous activity and mineralization in the Andahuaylas-Yauri belt of southern Peru: *Economic Geology*, v.79, p.172-176.
- Perelló, J., Neyra, C., Zarate, A., Posso, H., Ramos, P., Martini, R., Fuster, N., Muhr, R. and Caballero, A. (2002) Porphyry Cu-Au mineralization at Cotabambas, Cuzco region, Peru [abs]: Congreso Peruano de Geologia, 11th, Lima, 2001, Sociedad Geologica del Peru, Resumenes, p.242.
- Perelló, J., Carlotto, V., Zarate, A., Ramos, P., Posso, H., Neyra, C., Caballero, A., Fuster, N. and Muhr, R. (2003) Porphyry-Style Alteration and Mineralization of the Middle Eocene to Early Oligocene Andahuaylas-Yauri Belt, Cuzco Region, Peru: *Economic Geology*, v.98, p.1575-1605.
- Rose, A.W. (1976) The effect of cuprous chloride complexes in the origin of red-bed copper and related deposits: *Economic Geology*, v.71, p.1036-1048.
- Santa Cruz, S., Guerrero, T., Castilla, F., Caro, E. and Candiotti, H. (1979) Geologia de yacimientos de cobre en skarn en la region sur-oriental del Peru: *Boletin de la Sociedad Geologica del Peru*, v.60, p.153-174.
- Sverjensky, D.A. (1989) Chemical evolution of basinal brines that form sediment hosted Cu-Pb-Zn deposits: *Geological Association Canada, Special Paper*, v.36, p.499-518.

2011년 1월 4일 원고접수, 2011년 2월 21일 게재승인