

페루 우뚜빠라 금-동-철 광상의 지질 및 광화작용

김의준 · 허철호*

한국지질자원연구원

Geology and Mineralization of Utupara Gold-Copper-Iron Deposit in Peru

Eui-Jun Kim and Chul-Ho Heo*

Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources

1. 서 론

페루 남부지역에 위치한 우뚜빠라(Utupara) 금-동-철 광상 지역은 안다우알리아스-아우리(Andahuaylas-Yauri)

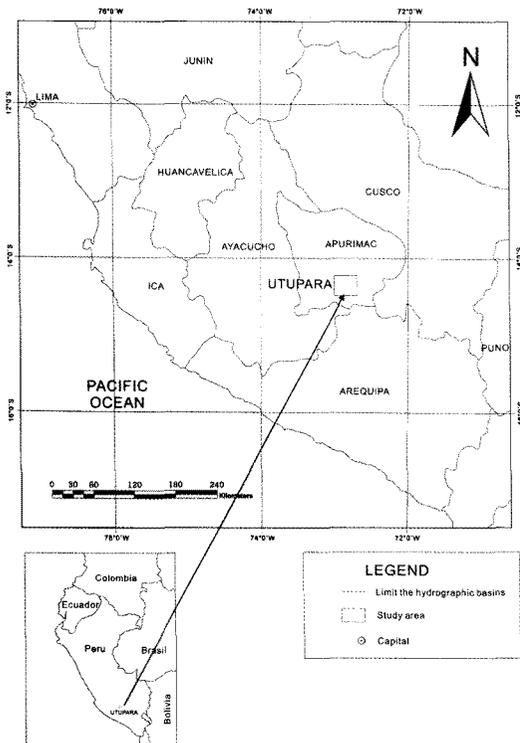


Fig. 1. Location map of the Utupara mineralized zone in Peru.

저반이 넓게 분포하고 있으며, 이와 관련하여 반암동-금-몰리브덴 광상과 스카른 광상을 배태하고 있는 중요한 광상구의 하나로 알려져 있다(Fig. 1). 행정구역상으로 페루 남부의 꾸스코(Cusco)에서 남서방향으로 약 130 km 떨어진 아푸리막강(Apurimac river) 지류로 이어지는 안따밤바(Antabamba)주의 와기르카(Huaquirca)에 속하며, 해발 3200 m~4600 m에 위치하고 있다.

우뚜빠라 지역을 대상으로 1980년부터 1991년까지 미네라 우뚜빠라(La Compañía Minera Utupara S.A.)社 와 아우리페라 아우로라(Compañía Aurífera Aurora S.A.)社가 단독적으로 소규모 탐사활동을 하였으며, 주로 규암내 열극을 충전하는 금을 대상으로 채광하였다. 또한, 1997년에서 2001년까지 밀포(la Compañía Milpo)社에 의해 일부 선행탐사가 수행된 바 있으며, 2007년 캐나다 알투라 미네랄(Alturas Minerals)社에 의해 지질도, 지표 지구화학탐사, 지구물리탐사 및 시추탐사가 수행되었다.

본 해설은 페루 꾸스코 남서부 안따밤바 지역에 부존하고 있는 우뚜빠라 금-동-철광상 탐광지역을 방문하여 지질광상조사를 실시한 결과이며, 이 조사결과는 본 역의 지질·자원 정보해석을 통한 광화대 부존지 예측 및 유망광화대 선정에 활용될 것으로 사료된다.

2. 지 질

2.1. 광역지질

안다우알리아스-아우리 광화대는 오늘날 페루-칠레 해구로부터 내륙으로 250~300 km 떨어진 지점에 위

*Corresponding author: chheo@kigam.re.kr

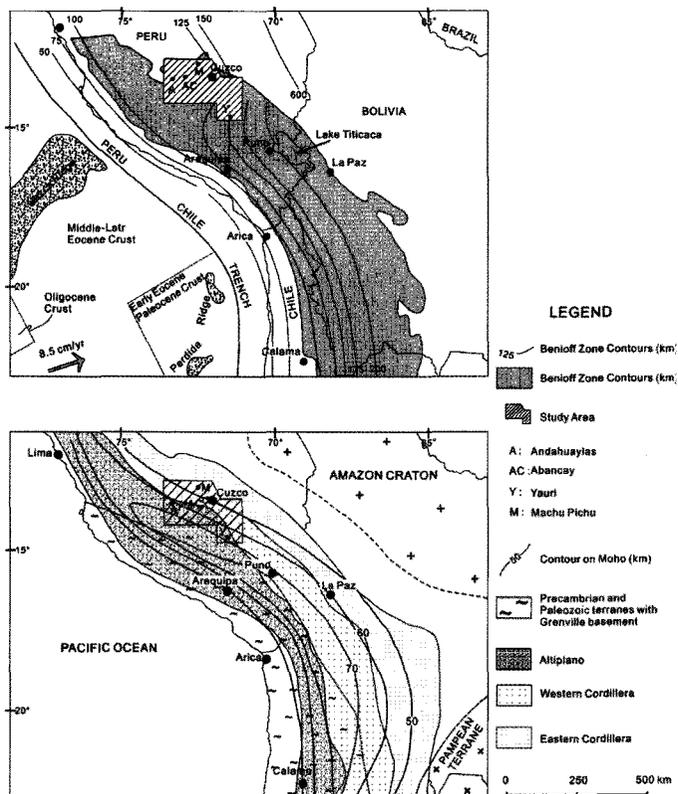


Fig. 2. Sketch map showing the location of the study area in the context of main geologic, geophysical, topographic, and physiographic features of the Central Andes modified from Perello *et al.* (2003) (Upper) Area with average elevation >3,000 m and depth contours of the subducted slab. (Lower) The study area relative to main regional physiographic provinces, contours of crustal thickness, and main Precambrian basement units.

치한다. 이 지역은 두꺼운 시알릭(sialic) 지각의 하부에 놓여 있으며, 남부 페루 및 북부 칠레의 섭입대와 페루 중부와 북부에 거의 수평하게 섭입하는 지역 사이의 전이대에 놓인다(Cahill and Isacks, 1992). 또한, 동-서부 산맥과 알티플라노(Altiplano) 북쪽 극단 사이의 산간 침강지 부분들로 둘러싸여 있다(Carlier *et al.*, 1996; Chávez *et al.*, 1996). 이 광화대의 서부는 2000 m 이상의 가파른 협곡과 4500 m 이상이 눈으로 덮인 울퉁불퉁한 산악지역의 특징을 가진다. 이러한 협곡들은 이 지역의 주요 배수계로 구성되어 있으며, 아마존 분지로 흐르는 산토 토마스(Santo Tomás), 우루밤바(Urubamba), 아뿌리막(Apurímac), 빌까밤바(Vilcabamba), 모예밤바(Mollebamba) 및 안따밤바(Antabamba) 강을 포함한다. 이 지역의 동부와 남부는 볼리비아 알티플라노로 연장되는 4000 m의 고원지대이다(Fig. 2).

선캠브리아기-고생대 기저암: 꾸스코에서 북서방향으

로 약 130 km 떨어진 리오 피차리(Río Pichari)에서 산출되는 선캠브리아 편마암은 더 북쪽으로 노출되어 있는 마리농(Marañón) 육괴의 연장이며, 초기 고생대 아마존 강피로 접하는 페리곤드와나(perigondwana) 지층의 잔류물로 구성되는 것으로 해석된다(Ramos and Aleman, 2000). 이 지역의 고생대 암석들은 캄브리아기에서 초기 페름기의 화산성 퇴적암, 해양성 및 대륙성 암석들로 구성된다(Marocco, 1978; Carlotto *et al.*, 1996; Carlotto *et al.*, 1997). 안데스 기저의 상부는 페름기에서 초기 트리아스기에 해당하는 1,000 m 이상의 층후를 갖는 화산암과 미투(Mitu) 층군에 해당하는 쇄설암이 우세한 것이 특징적이다(Fig. 3).

중생대-신생대 층서: 중생대와 신생대 층서는 주로 쥬라기와 백악기 퇴적암층으로 구성되어 있으며, 꾸스코-뿌노 기저암에 의해 분리되는 두 개의 서부와 동부 페루분지가 특징적인 고지리학적 환경에서 퇴적되었다(Fig. 4; Carlotto *et al.*, 1993; Jaillard and Soler,

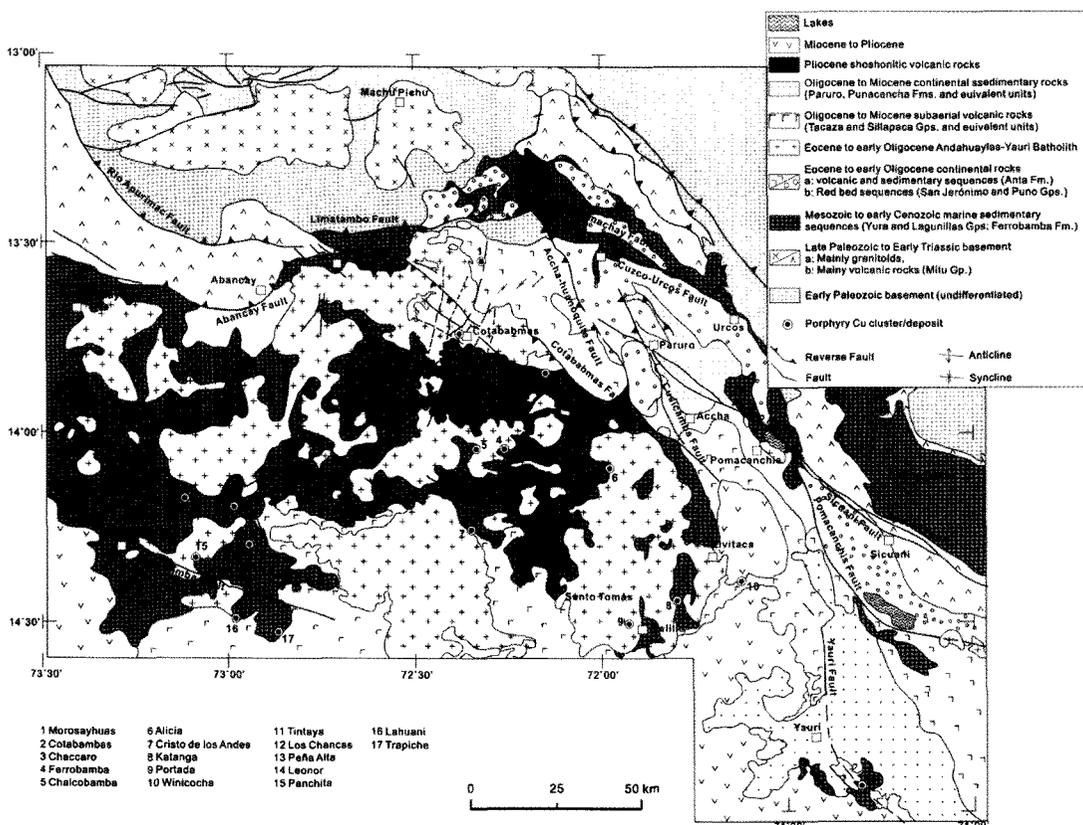


Fig. 3. Geologic map of the Andahuayla-Yauri area modified from Carlotto(1998).

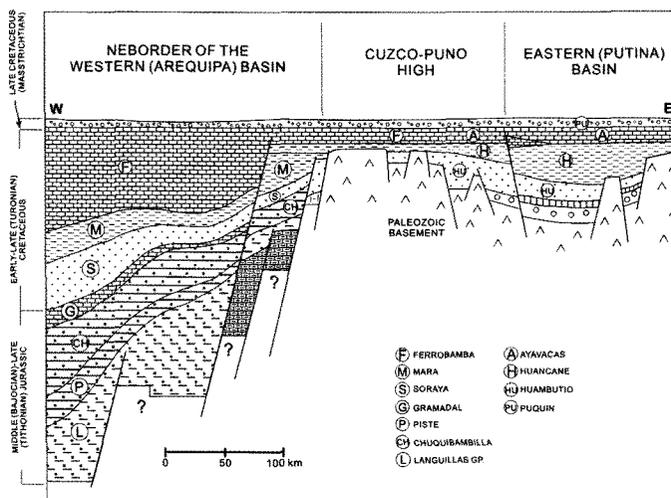


Fig. 4. Schematic paleogeographic reconstruction of the backarc basin of southern Peru during the Mesozoic and the earliest Cenozoic modified from Carlotto(1998).

1996). 아레기빠(Arequipa) 분지로 알려져 있는 서부 분지는 오늘날 서부 산맥에 해당한다. 분지의 하부는

심해퇴적물, 중부는 석영 사암, 상부는 석회암으로 구성되는 4,500 m 이상의 총후를 갖는 퇴적암층으로 구

성되어 이루어져 있다(Vicente *et al.*, 1982; Jaillard and Santander, 1992). 안다우아일리스-유라 지역에 해당하는 분지의 북동쪽 연변부는 초기 주라기의 석회암과 중기 및 후기 주라기 석영 사암과 셰일로 구성된 라구냐스(Lagunillas) 및 유라(Yura)층군을 포함하고 있으며, 층후는 대략 800 m에 이른다. 이들 층서의 최상부는 페로밤바(Ferrobamba)층군에 속하는 괴상의 탄산염이토 석회암, 흑색 셰일 및 단괴상 처트로 구성되어 있다(Marocco, 1978; Pecho, 1981). 꾸스코-뿌노고원지대는 셰일과 석회암, 경석교가 협재된 약 900 m의 층후를 갖는 육성기원의 적색층이 포함된다(Carlotto *et al.*, 1993; Jaillard *et al.*, 1994). 이들 암석들의 연대는 후기 주라기에서 팔레오세에 해당한다. 현재 뿌티나(Putina) 분지로 명명되는 동부 분지는 후기 백악기 해성 쇄설암 및 탄산염암으로 구성되어 있으며, 층후는 약 2,600 m 정도 이다(Jaillard, 1994).

에오세-초기 올리고세 층서: 이 시기의 층서는 산 제로니모(San JerJerónimo) 층군의 퇴적암과 주로 화산암으로 구성된 안타(Anta)층으로 대변된다(Figs. 3 and 5). 이들 층들은 중생대와 초기 신생대 층서들의 상부에 부정합적으로 놓여있다. 산 제로니모 층군은 크게

카이라(Kayra)와 손꼬(Soncco)층으로 구성되며, 층후는 약 4,500 m이다. 주로 상부의 옹회암질층이 협재된 사암과 셰일, 이질 사암 및 화산성 세립질역암으로 구성된 육성기원의 적색층으로 이루어져 있다. K-Ar과 Ar-Ar 연대측정에 따르면 29.9 ± 1.4 Ma와 30.84 ± 0.83 Ma로 나타났다(Fig. 5; Carlotto, 1998; Fornari *et al.*, 2002). 꾸스코와 시쿠아니(Sicuaní) 사이의 손꼬(Soncco)층의 기저 사암은 층상의 동 광화작용을 수반하고 있으며, 최대 수 m 규모로 나타난다. 또한, 주로 초생 휘동석, 반동석 및 후생 동 산화물들이 산출되며, 볼리비아 알티플라노와 북부 칠레의 “적색층 광상(Red-bed deposit)” 형과 유사한 것으로 이해된다(Cárdenas *et al.*, 1999). 산 제로니모 층군은 본 역 남동부에 위치하는 페루 알티 플라노의 뿌노층군에 대비된다. 더 남쪽으로 가면서 퇴적암, 역암, 적색층들은 볼리비아 알티플라노, 아르헨티나 남서부의 뿌나, 칠레 북부의 아파카마 염호 지역에서 관찰된다(Alonso, 1992; Coutand *et al.*, 2001). 안파층은 1,000 m 이상의 층후를 가지며, 하부는 안산암질 용암류와 석영안산암질 화산쇄설암류 및 층적성 역암이 협재되어 있고, 상부는 안산암과 현무암질 안산암류들이 협재된 역암으로

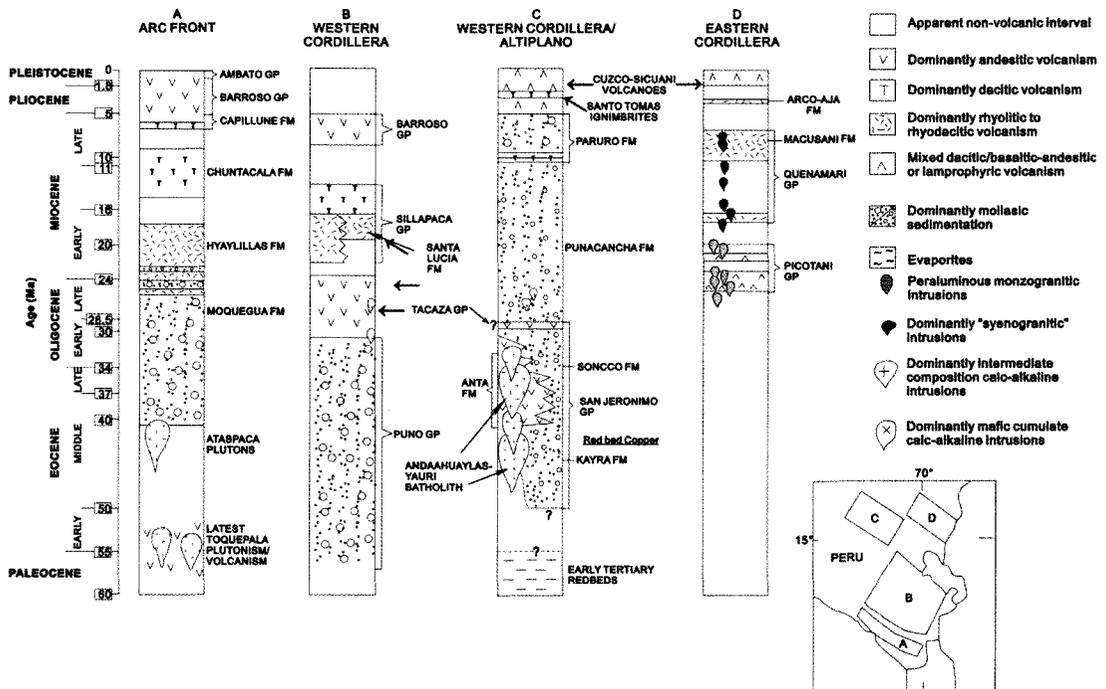


Fig. 5. Summary stratigraphic columns for representative Eocene to present-day volcanic, sedimentary, and intrusive units of the Andahuaylas-Yauri area and nearby southeastern Peru transects modified from Perello *et al.*(2003).

구성되어 있다. 이들의 연대는 층서의 대비와 K-Ar 연대측정에 의해서 중기 에오세와 초기 올리고세에 대비된다(Carlotto, 1998). 꾸스코 남서부에 분포하는 층의 중부에 해당하는 흑운모가 풍부한 석영안산암 쇄설류의 K-Ar 연대는 38.4 ± 1.5 및 37.9 ± 1.4 Ma이며, 층의 상부에 놓인 현무암질층은 K-Ar 전암분석 결과 29.9 ± 1.1 Ma로 나타났다(Carlotto, 1998). 안따층의 안산암과 역암층은 층서적으로 산 세로니모 층군의 적색층에 대비된다.

후기 올리고세-마이오세: 후기 올리고세~마이오세 퇴적암들은 뿌나칸차(Punacancha, 1,500-5,000 m 층후)와 빠루로(Paruro, >1,100 m 층후)층을 포함한다(Fig. 5). 이들 층들은 점차 조립질로 변화하는 적색 세일 및 사암과 상부의 경석고와 역암으로 구성되어 있다. 퇴적작용은 구조적으로 규제되는 분지에서 망상하천, 범람원, 선상지와 같은 하천 환경에서 진행된 것으로 이해된다(Carlotto *et al.*, 1996, 1997). 층서 및 화석대비에 근거하면, 층의 연대는 10.1 ± 0.5 Ma이다(Carlotto *et al.*, 1997). 이 지역에서 올리고세-마이오세 화산암들은 서부 산맥과 알피플라노의 칼크알카리 계열이 우세하며, 타자카와 시야빠까층군을 포함한다. 이들 외에, 플라요세-제4기의 소규모 쇼쇼나이트질 화산암들이 산출되기도 한다(Carlier *et al.*, 1996; Carlotto, 1998). 타카자층군은 주로 조면안산암, 안산암, 유문암질 옹회암으로 구성되어 있으며, 쇼쇼나이트질 암석들이 협재되어 있다(Carlotto, 1998). 산따 루치아(Santa Lucía) 지역의 쇼쇼나이트질 화산작용은 ~32-24 Ma 시기에 일어난데 반해서 더 남쪽으로 가면서 타카자에 대비되는 모께구아(Moquegua)층을 협재하고 있는 화산쇄설암은 약 26 Ma에 진행되었다(Clark *et al.*, 1990). 안다우아일라스-야우리 지역에서 유사 연대를 갖는 쇼쇼나이트질 암석들은 최상부 안따층의 일부로 해석되어져 왔다. 시야빠까 층군은 본 역의 남동부에서 석영안산암질 쇄설류와 미량의 안산암을 포함하고 있으며(Carlotto, 1998), 산따 루치아 지역에서 화산저 석영안산암과 화산재 쇄설질 옹회암을 포함한다. 산따 루치아 암석들은 ~22-14 Ma의 연대를 갖는다(Clark *et al.*, 1990). 반면에 뿌노의 다른 지역에서 두 번째 분출작용으로 형성된 암석들은 ~14-12 Ma를 갖는다. 서부 산맥, 알피플라노, 동부 산맥의 올리고세-마이오세 화산활동의 일시적인 피복은 안다우아일라스-야우리 지역에도 적용될 수 있을 것으로 사료되며, 안다우아일라스-야우리 지역에서 화산활동은 중기 에오세 이래 단속적인 활동이 있는 것으로 보인다(Carlier *et al.*,

1996; Carlotto, 1998).

안다우아일라스-야우리 저반: 본 역에서 서부 산맥의 북동쪽 경계는 소위 안다우아일라스-야우리 저반으로 알려진 대규모의 분출암체가 놓여져 있다(Carlier *et al.*, 1989). 이는 또한 부분적으로는 아방카이 혹은 아뿌리막 저반으로 알려져 있다(Marocco, 1978; Pecho, 1981). 저반은 북서쪽에서 안다우아일라스와 남동에서 야우리시 사이에서 300 km 이상 불연속적으로 노출되어 있다. 저반의 폭은 다양하며 띠따야(Tintaya)에서 ~25 km와 찰후앙까(Challuanca)-아방카이(Abancaay)를 따라 ~130 km의 폭을 갖는다(Fig. 6). 일반적으로 저반은 염기성의 초기단계 관입암을 포함하고 이어서 중성의 암석들이 뒤를 잇는다(Carlotto, 1998). 국부적으로 반암형 광화작용을 수반하는 주로 화강섬록암/석영안산암질의 화산저 암석들은 마지막 시기로 대표된다. 초기단계의 염기성 암석들은 꾸라와시(Curahuasi)와 리마탐보(Limatambo) 사이의 저반의 북쪽 경계부를 따라 노출되어 있다(Carlier *et al.*, 1989). 이 지역에 노출된 암석들은 약 $1,000^{\circ}\text{C}$ 와 ~2-3 kbars의 환경에서 천부 마그마 챔버의 하부에서 결정화된 전형적인 칼크알카리 계열에 해당한다. 중간단계의 관입암들은 보다 밝은색을 띠며, 중립내지 조립의 등립질 혹은 약간의 반상조직을 갖는 절질광물들이 우세하고, 부분적으로 휘석이 관찰된다. 이들은 지역 전반에 걸쳐 규칙적으로 분포하고, 저반의 상당량을 차지한다. 비록 석류석 스키른이 석회질암석에서 발달하고 흑운모, 코디어라이트 혼펠스가 중생대 이질층에서 발달하지만, 주변암과의 접촉부는 극도의 불규칙한 형태, 입도 및 조성을 갖는다(Carlotto, 1998). 저반의 암석들은 중기 에오세-초기 올리고세 안따층을 관입한 것만큼이나, 중생대와 신생대 해성 및 육성층을 관입하였다. 저반을 구성하는 암석들은 중기 에오세에서 초기 올리고세에 해당하는 ~48-32 Ma로 보고되고 있으며(Carlier *et al.*, 1996; Carlotto, 1998). 지질연대 자료는 염기성 암석들이 보다 오래된 ~48-43 Ma를 가지며, 중성질의 암석들은 보다 젊은 ~40-32 Ma로 나타났다(Bonhomme and Carlier, 1990). 이는 저반의 정치가 두 번의 시기에 걸쳐 발생하였음을 지시한다. 이는 또한 더 염기성 관입암과 더 산성의 관입암 사이에 상당 시간 피복이 되었음을 지시한다.

기타 관입암: 저반의 관입활동 이후는 꾸라와시 지역에서 ~28 Ma(K-Ar 연대)를 갖는 소규모의 섬강암질 암석들이 우세하게 나타난다(Carlotto, 1998). 이러한 관입암들은 대규모 알카리 화성활동의 일부로 아야

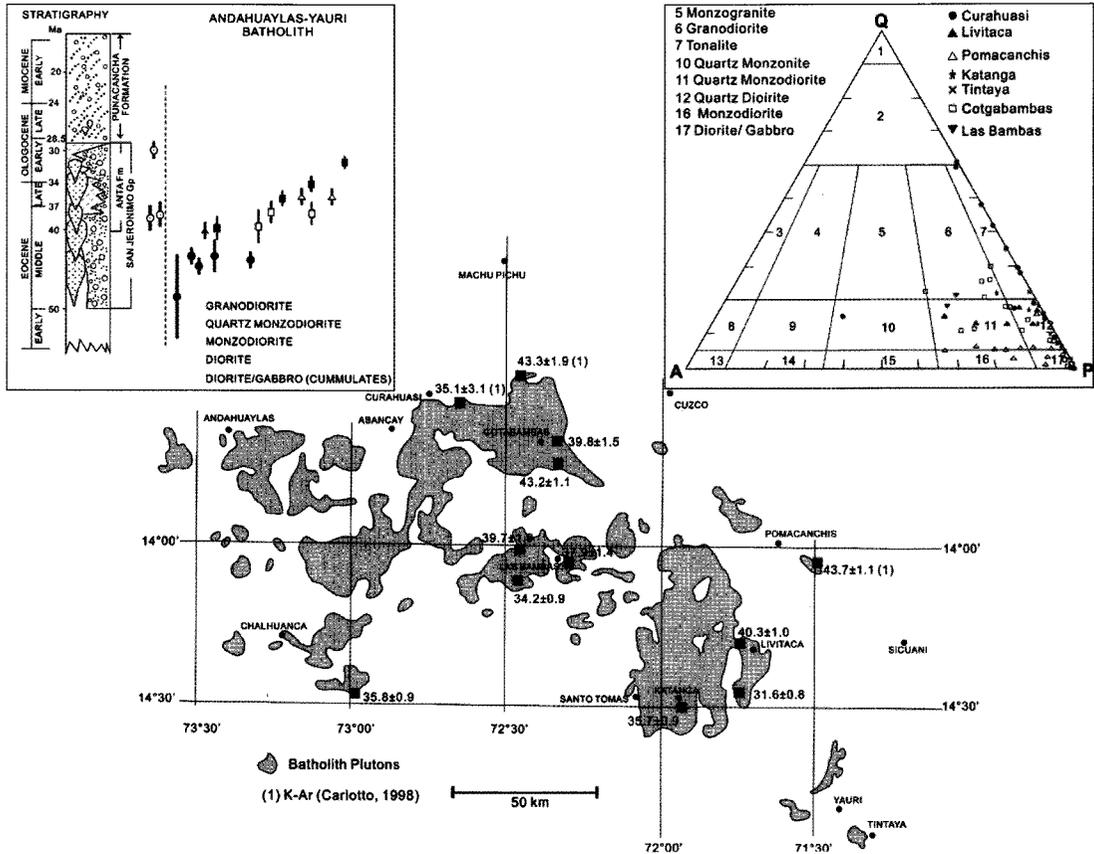


Fig. 6. Distribution and age of the batholith in the Andahuaylas-Yauri area modified from Carlier *et al.* (1989).

비리(Ayaviri) 지역에서 주로 산출되며, 29-26 Ma의 연대를 갖는다. 이들 암석들은 주로 배서나이트(basanite), 포노테프라이트(phonotephrites), 조면암을 포함한다(Carlier *et al.*, 1996).

구조지질: 본 역의 지질은 충분한 연구가 이루어져 있지 않은 실정이다. 비록 일부 연구가 이루어졌으나 (Pecho, 1981; Carlotto, 1998), 광역적인 지도는 광역 지구조를 이해하는데 도움이 될 세부 구조자료가 부족하다. 서부 산맥의 북동쪽 경계는 중생대 내지 신생대 층서들이 우세하게 나타나며, 이들은 상당한 변성작용을 수반하고 있으며 주로 북으로 경사하는 북서방향의 습곡들이 발달되어 있다(Fig. 3). 본 역에서 강한 습곡작용은 유라 층군의 석영사암을 감싸는 탄산염과 셰일 질 층들과 관련된다. 저각과 고각의 쓰러스트 단층들은 국부적으로 강한 변성작용과 습곡작용을 수반하고 있다. 이러한 형태는 선중생대 기저부의 관련성이 존재하지 않기 때문에, 얇은 지각의 습곡-쓰러스트 벨트와 상당히 유사하다(Benavides-Cáceres, 1999). 서부

산맥과 알파플라노 사이의 경계는 길이 300 km 이상 이 노출된 두 개의 북서주향의 단층계에 의해 특징지어 진다(Fig. 3). 두 단층계는 고각의 역단층과 주향이동을 지시하는 50 km 이상의 연속성을 갖는 몇 개의 분할 단층으로 이루어져 있다. 아방카이 만곡대 인근에서, 이러한 구조들로 인해 젊은 암석을 피복하는 고생대 심성암을 발견할 수 있다(Marocco, 1978). 쿠라와시 주변인 동쪽으로 가면서 이들 단층계는 동일 저반의 신생 관입암 혹은 안따층 화산암층의 상부로 안다우아일라스-야우리 저반의 심부 염기성 암상을 올려 놓았다(Carlotto, 1998). 또한 서측으로 산파 루치아 지역에서 아방카이-야우리 단층의 남동 연장선에 해당하는 고각의 역단층들은 주요 습곡-쓰러스트작용으로 이해된다(Jaillard and Santander, 1992). 리마팜보-야아비리와 아방카이-야우리 단층계에 의해 한정되는 길이 ~300 km, 폭 10-50 km인 협곡은 안따층과 산 제로니모 층군의 조산운동시기의 암석들로 이루어져 있다. 두 개의 주 단층계는 중생대동안 활동한 것으로 추정

되며, 꾸스코뿌노의 형태와 연장에 크게 규제한 것으로 이해된다(Carlotto, 1998). 또한, 이들 구조들은 안테스 변성작용동안 재활성되었던 것으로 추정된다(Jaillard and Santander, 1992; Benavides-Cáceres, 1999). 알띠플라노는 산 제로니모 층군과 뿌나간차 및 빠루로층의 분지를 채우는 조산성 시기 층서들로 구성되어 있다. 이들 층서들은 강한 퇴적변성작용을 보인다(Carlotto, 1998).

지체구조-화성활동 종합: 본 역의 주요 부분은 몇몇의 후기 백악기에서 플라이오세 지구조활동에 영향을 받은 것으로 보이며(Pecho, 1981), 에오세-초기 올리고세와 올리고세-마이오세 시기의 활동들이 가장 중요하다. 중요한 퇴적암, 지구조, 화성활동은 에오세와 올리고세에 발생하였다. 산 제로니모 층군의 적색층은 동부와 서부 산맥 사이의 경계부에 위치하고 있는 구조적으로 규제된 북동방향의 조산성 분지에 퇴적되었다. 하천 퇴적작용은 남쪽에서 북쪽으로 진행된 것으로 간주된다(Fig. 7). 퇴적층에서 몇몇 점진적인 부정합의 존재는 연속적인 압축작용이 원래의 인리형 신장구조를 수축하는 분지로 변화한 것으로 이해된다(Chávez *et al.*, 1996; Carlotto, 1998). 국부적으로 중요 화산활동은 산 제로니모 적색층의 퇴적을 수반하였다. 변성작용은 ~42 Ma에 시작된 것으로 해석되며(Carlotto, 1998), 따라서 중부 페루의 잉카 조산운동과 일치하는 이 변성작용은 가장 중요한 압축변성작용으로 생각된다. 고지리학적 재건은 북동방향의 변성작용이 중기 에

오세-초기 올리고세 화산작용과 퇴적작용을 포함하는 분지의 발달을 초래한 것으로 보인다. 안다우아일라스-야우리 저반의 용기를 용이하게 한 오래된 분지를 경계짓는 구조들은 주요 고각의 역단층이며, 재활성은 후기 에오세에서 초기 올리고세 동안 발생한 것으로 사료된다(~40–32 Ma; Carlier *et al.*, 1996; Carlotto, 1998). 잉카 조산운동은 중기 에오세와 초기 올리고세 사이의 ~20-15 m.y.의 단속적인 수명이 긴 변성작용으로 구성된다. 몇몇의 특징적인 변성작용과 이와 수반되는 수축 및 용기는 ~48-43과 ~40-32 Ma 시기의 최소 두 번의 주요 활동에서 안다우아일라스-야우리 저반의 다양한 암상의 정체가 이루어진 것으로 보인다(Bonhomme and Carlier, 1990; Carlier *et al.*, 1996).

2.2. 우뚜빠라 광상의 지질

우뚜빠라 광상은 세계적 규모의 반암-스카른 동-금 광상을 배태하는 페루 남부의 안다우아일라스-야우리 광화대 내에 위치하고 있다. 우뚜빠라 광상의 지질은 주로 저각으로 경사하는 중생대 쇄설성 및 탄산염암으로 구성되어 있으며, 이를 킬로미터 규모의 하부 제 3기의 섬록암과 몬조나이트가 관입하고 있다. 몬조나이트는 소규모의 암주 혹은 암맥의 형태로 발달하고 있다(Fig. 8 and 9). 우뚜빠라 지역에 나타나는 층서들을 주로 중생대 소꼬사니(Socosani)층을 기저로 유라(Yura) 층군에 해당하는 뿌엔테(Puente), 까치오스(Cachios),

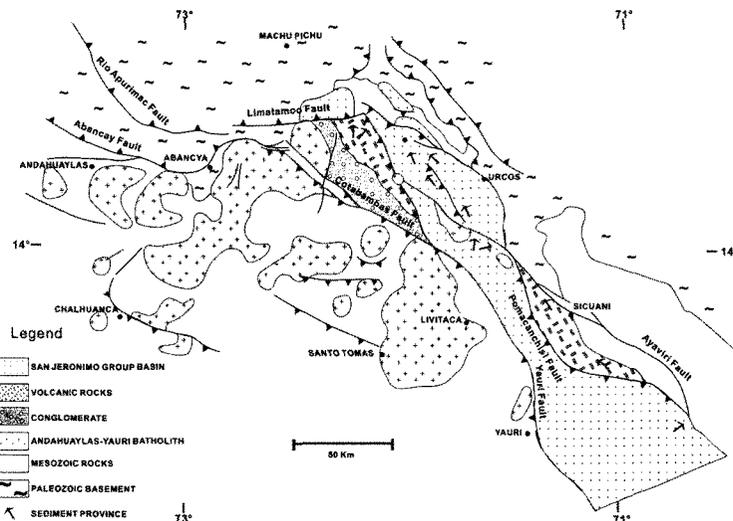


Fig. 7. Schematic paleogeographic reconstruction of the Andahuaylas-Yauri area during late Eocene to early Oligocene time modified from Carlotto(1998).

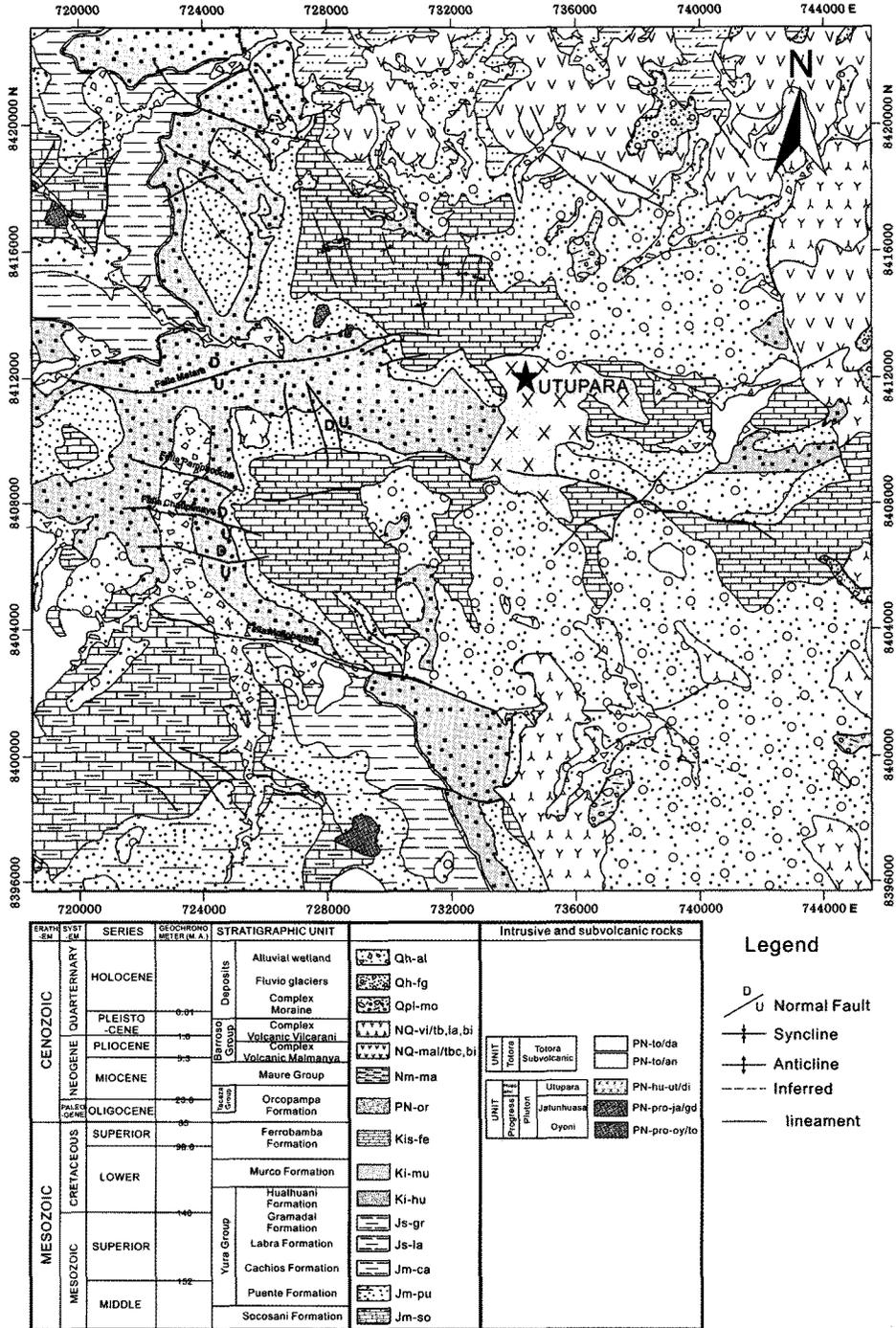


Fig. 8. Geological map showing the general geology and structures of the Utupara.

라그라(Lagra), 그라마달(Gramadal), 왈와니(Hualhuani) 층, 무르코(Murco), 페로밤바(Ferrobamba)층으로 구성되어 있고, 신생대 타카자(Tacaza), 마우레(Maure), 바

로소(Barroso)층군이 이들의 상부에 놓인다(Fig. 10).

우뚜빠라 광상의 지질 층서를 요약하면 다음과 같다. 우뚜빠라의 최하부인 소꼬사니층은 크게 상부와 하부

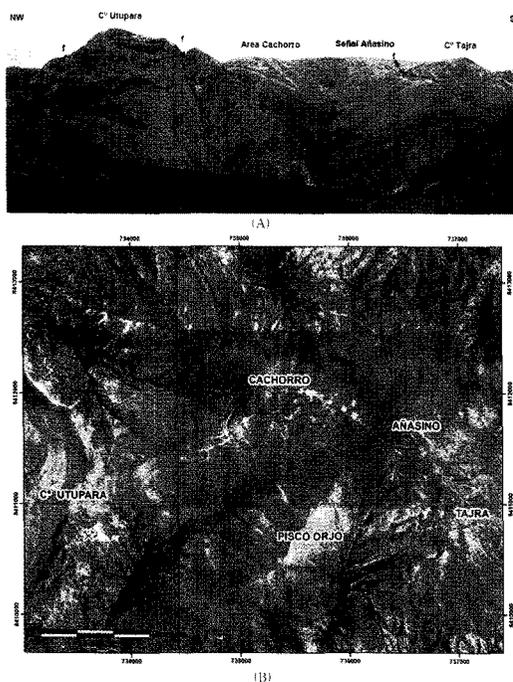


Fig. 9. Panoramic view of the Utupara mineralized zone. (A) A front view; (B) A ground pan view.

층으로 구분된다. 하부는 흑색 점토암이 협재된 담색 석회암으로 구성되어 있으며, 반면에 상부는 사질 단괴를 협재하는 엽상의 흑색 점토암으로 구성되어 있다. 층의 두께는 약 1000 m이며, 유라층군의 뿌엔페 사질 층과 부정합을 이루고 있다. 유라층군의 최하부에 분포하는 뿌엔페층은 소꼬사니층과 부정합적으로 까치오스층과는 정합적으로 놓여 있으며, 북서쪽으로 약 15 km 정도 연장된다. 이 층은 주로 세립질 사질암과 상당량의 화석을 함유한 담색의 점토암으로 구성되어 있으며, 층후는 300-400 m에 이른다. 까치오스층은 주로 흑색 내지 회색의 점토암으로 구성되어 있으며, 회색의 사

질암과 규암이 협재되어 있다. 층리가 우세하게 발달하고 있으며, 층후는 대략 350-400 m에 이른다. 뿌엔페층과 본 층은 화석의 존재에 근거해서 이들의 연대가 백악기에서 유라기인 것으로 추정된다. 라브라층은 본 역의 북서와 남서지역에서 관찰되며, 회색 내지 백색의 사질암과 흑색 내지 회색의 점토암 박층으로 구성되어 있다. 층후는 500-600 m에 이르며, 층서에 근거할 때 유라기에 해당한다. 그라마달층은 얇은 석회암층을 협재하고 있는 엽상의 흑색 내지 회색의 점토암이 우세하게 나타난다. 화석이 소량 관찰되나 간헐적이며, 층후는 60 m 정도이다. 유라 층군의 최상부인 왈와니층은 우뚜빠라, 빠안마르카(Pallanmarca), 우추이코(Huchuyco) 언덕을 이루면서 넓게 분포하고 있으며, 층의 상부는 빛의 형태로 발달하는 것이 큰 특징이다. 이 층은 주로 사질 규암으로 구성되어 있으며, 층후는 400-500 m에 이른다. 무르코층은 아래기빠의 북동쪽에 분포하고 있으며, 규암과 사질암으로 구성된 왈와니층에 정합적으로 놓여있다. 층은 주로 적색 사질암으로 구성되어 있으며, 적색 내지 갈색의 점토암이 협재되어 있다. 층의 중부는 사질 점토암과 역암으로 구성되어 있고, 상부로 가면서 점차적으로 적색 내지 녹색의 점토암과 석회암으로 변화한다. 층후는 대략적으로 200 m에 이른다. 페로밤비층은 무르코층과 정합적으로 놓여 있고, 섬록암질 관입체가 이를 관입하고 있다. 층의 하부는 주로 회색 석회암으로 구성되며, 층리가 잘 발달되어 있는데 반해 상부는 괴상의 석회암으로 구성되어 있다. 또한 습곡작용을 수반하고 있으며, 화석과 처트질 단괴들을 함유하고 있다. 층후는 800-900 m에 이른다. 신생대 층서는 크게 세 개의 층군으로 세분되며, 최하부인 타까지층에 해당하는 오르코빠층의 하부는 주로 역암으로 구성되며, 석회암과 규암이 협재되어 있다. 층의 상부는 주로 역암과 사질규암으로 구성되며, 상부로 가면서 안산암, 석영안산암, 유문암질 응회암들

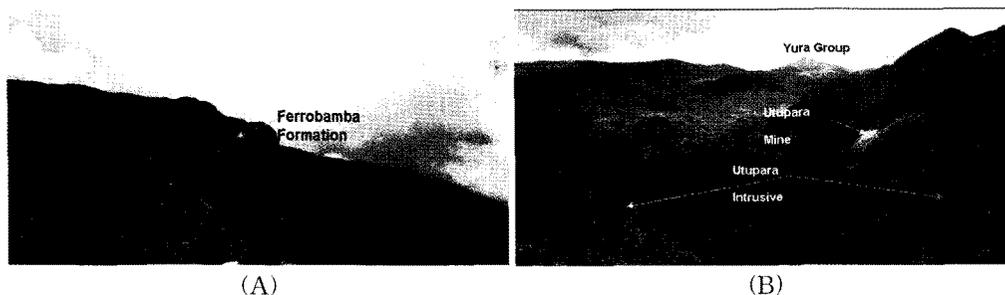


Fig. 10. Panoramic view of the representative formation in Utupara zone.

이 광범위하게 분포하고 있다. 층후는 700-800 m에 이르고, 중생대 및 신생대 하부층들과 부정합적으로 놓여있다. 마우레 층군은 주로 엽상의 실트암과 회색의 석회질 암석으로 구성되어 있으며, 사질암들이 협재되어 있다. 상부로 가면서 상당한 층후를 갖는 사질암과 역암 및 고화되지 않은 석회질 암석들로 구성되어 있다. 층의 전체 층후는 약 200 m에 이른다. 바로소 층군은 우뚜빠라 층서의 최상부에 해당하며, 안산암질 조성의 화산암층으로 구성되어 있다.

우뚜빠라 지역에서 나타나는 화강암류들은 안다우아 일라스-야우리 저반의 일부로서 주로 섬록암, 화강섬록암, 토날라이트 조성을 갖는다. 화강암류들은 K/Ar 연대측정에 근거해서 에오세에서 올리고세 초기인 32-48 Ma의 연대를 갖는다. 뿌로그레스 복합체는 빌까밤바강의 연변부에 노출되어 있으며, 이들 암체들의 조성은 토날라이트, 화강섬록암, 섬록암에 해당된다. 이 화성 복합체에 해당하는 자툰자사(Jatunjasa) 화강암은 모에 밤바(Mollebamba) 주변에서 관찰되고, 소꼬사니 층을 관입하고 있다. 와끼르까(Huaquirca) 화강암은 왈와니 및 무르코 층을 관입하고 있다. 와사니(Huasani) 복합체는 우이치와(Huichihua)의 서측에 위치하고 있으며, 석회질의 아레꾸르끼나(Arecurquina), 사질의 피스트층, 따까자(Tacaza)층의 화산암들을 관입하고 있다. 이들은 섬록암 내지 화강섬록암 조성을 갖는다.

3. 광화작용

3.1. 안다우아일라스-야우리 광화대

광역적인 광상구의 관점에서, 우뚜빠라 지역의 광화작용은 안다우아일라스-야우리 광화대에서 나타나는 반암형 및 이와 수반되는 스키르 광상의 형성 연대와 일치하는 것으로 사료된다(Bonhomme and Carlier, 1990). 이러한 시기는 남부 페루에서 에오세 중기에서 초기 올리고세 시기에 광역적으로 활발한 광상구의 형성을 설명할 수 있다(Perelló *et al.*, 2003). 이 광화대는 자철석이 부화된 스키르형의 동광화작용 뿐만 아니라 수많은 반암형 및 이와 수반되는 스키르광상을 포함하고 있다. 로스 찬카스(Los Chancas), 안따빠까이(Antapaccay) 및 꼬따밤바스(Cotabambas)가 대표적이다(Perelló *et al.*, 2002). 저반의 정치, 반암형 변질작용 및 광화작용, 안따(Anta)층과 산 제로니모(San Jerónimo) 분지에서 퇴적층의 형성은 에오세 중기에서 초기 올리고세 기간에 이르는 동일 시기로 사료된다. 안다우아일라스-야우리 광화작용은 칠레 북부의 후기

에오세에서 초기 올리고세의 반암동 광화대가 페루까지 연장되는 것으로 보고되어 있다(Perelló *et al.*, 2003).

3.2. 우뚜빠라 광상

우뚜빠라 광상은 중열수 합금 석영맥 광상, 반암 광상, 마그마 각력광상, 칠스카른, 산화동으로 복잡하게 구성되어 있으며 금, 은, 동, 철이 산출되는 다금속형 복합광산이다. 변질작용과 광화작용은 4 km² 규모의 광범위한 분포로 관찰된다. 변질작용은 주로 K-장석, 흑운모, 자철석들이 주로 산출되는 칼륨변질작용과 이를 광범위하게 피복하고 있는 필릭 및 프로필리틱 변질작용이 관찰된다. 단층에 규제되는 스키르광체는 관입암과 퇴적암이 접촉하는 동쪽 접촉부를 따라서 세로 아나시노(Cerro Añasino) 광화대에서 산출된다. 우뚜빠라 지역에서 발달하는 주요 단층들은 변질작용과 광화작용을 규제하고 있으며, 주로 NNW-SSE와 NE-SW 주향을 갖는다. 중열수 합금 석영맥 광상의 경우 유라 층군의 규암내 열극을 따라 충진한 단성맥의 회색석영맥이 배타되어 있으며 상기 규암을 후기의 섬록암이 관입한 양상을 보인다(Fig. 11A).

본 역에는 중열수 합금 석영맥을 탐사타겟으로 30여 개의 갱도가 개설되어 있으며 금품위는 10~15 g/t에 이른다. 또한, 마그마 각력암에 내포된 모암 암편 주변에는 금 1~2 g/t을 함유한다. 1982년 페루 국영 Mineral Bank에 의해 작성된 보고서에 의하면 추정매장량은 12,230톤(금 0.37 oz/ton, 은 0.54 oz/ton), 확정매장량은 10,320톤(금 0.4 oz/ton, 은 0.41 oz/ton)이다. 또한, 현재까지 수행된 정밀탐광에 의해 확정된 매장량은 7400톤(금 0.35 oz/ton, 은 0.53 oz/ton)으로 보고되어 있다. 몬조나이트 반암이 부분적으로 부존하지만 동을 수반하지는 않는 비생산성 암체인 것으로 보고되어 있으며, 우뚜빠라 금-동-철 광화대의 해발 4600 m에는 차피차피(Chapi-Chapi) 칠스카른이 부존하고 있다(Fig. 11B) 산화동은 칠스카른이 부존하는 지역에서 주로 관찰할 수 있으며 공작석, 크리스올라 등 산화동 내부에 연방간석이 수지상 구조를 보이면서 부존하는 것도 일부 관찰된다(Fig. 11C).

칠스카른과 산화동에 대한 습식 ICP 분석결과 각각의 철 및 동함량은 칠스카른의 경우, 철 65.5%, 동 0.073%, 산화동의 경우, 철 9.71%, 동 19.7%이다(Table 1). 또, 본 역에는 자철석의 가형인 무슈케토바이트(Mushketovite)가 산출된다고 보고되어 있다(Fig. 11D). 채취한 무슈케토바이트에 대해서 X선 회절분석

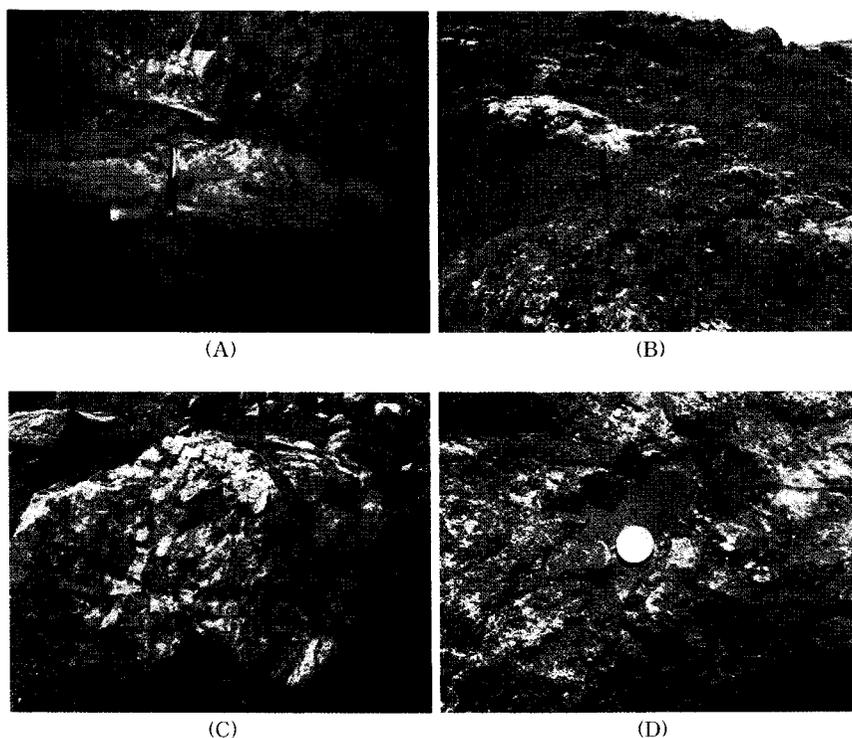


Fig. 11. Representative outcrop of the Utupara mineralized zone. (A) Mesothermal gold vein in the adit. (B) Iron ore in Chapi-Chapi skarn. (C) Copper oxide. (D) Mushketovite(black).

Table 1. Representative chemical composition of ores from Utupara area

	¹ UP-09	² UP-12	³ UP-13
Cu(%)	0.009	0.073	19.7
Fe(%)	53.5	65.5	9.71

¹Mushketovite

²Chapi-Chapi Fe skarn

³Copper oxide from Chapi-Chapi Fe skarn

을 실시하였다. X선회절분석에 이용된 시료는 입도 분리 또는 화학적 처리를 거치지 않은 원 시료 자체를 분말 상태로 분쇄하여, 가능한 방향성을 가지지 않도록 X선 회절분석기 홀더(holder)에 장착한 후, 고분해능 X선 회절분석기를 이용하여 획득한 X선 회절 자료를 Siroquant v. 3.0 프로그램을 이용하여 정량분석하였다. X선 회절분석은 한국지질자원연구원 해외광물자원연구소에서 보유하고 있는 Rikaku/Rint2002 고분해능 X선 회절분석기를 이용하였으며, 흑연 단색화된 파장(CuKα = 1.5406Å)을 사용하였다. 정량분석을 위한 원시료의 분석조건은 40 kv/20 mA, 2~60° 2-theta 구간에서 주사 간격 0.01°, 주사 시간 2° two-theta/min

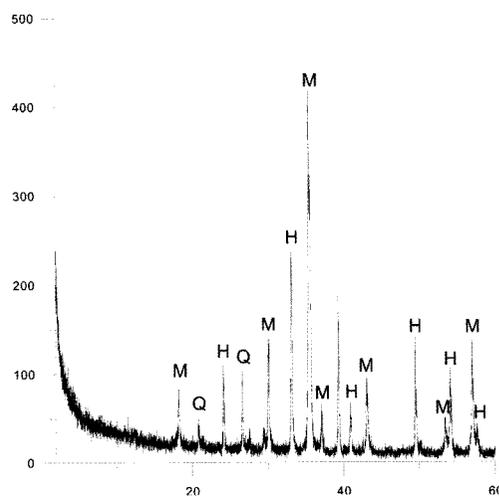


Fig. 12. XRD pattern of Mushketovite from Utupara mineralized zone.

로 설정하여 회절값을 기록하였다(Fig. 12). 무쉬케토바이트의 경우, 습식 ICP 분석결과 철은 53.5%, 동은 0.009%를 함유한다(Table 1).

4. 결 론

우뚜빠라 광상은 세계적 규모의 반암-스카른 동-금 광상을 배태하는 페루 남부의 안다우아일라스-아우리 광화대내 위치하고 있다. 본 역의 지질은 주로 중생대 쇄설성 및 탄산염암으로 구성되어 있으며, 이를 제3기 섬록암과 몬조나이트가 관입하고 있다. 본 광상은 중열수 합금 석영맥 광상, 반암 광상, 마그마 각력광상, 철스카른, 산화동으로 복잡하게 구성되어 있으며 금, 은, 동, 철이 산출되는 다금속형 복합광산이다. 변질작용과 광화작용은 광범위한 분포로 관찰된다. 변질작용은 주로 칼륨변질작용과 이를 피복하고 있는 필릭 및 프로필릭 변질작용이 관찰된다. 단층에 규제되는 스카른광체는 관입암과 퇴적암이 접촉하는 동쪽 접촉부를 따라서 산출된다. 본역에서 발달하는 주요 단층들은 변질작용과 광화작용을 규제하고 있다. 중열수 합금 석영맥 광상의 경우 유라 층군의 규암내 열극을 따라 충진한 단성맥의 회색석영맥이 배태되어 있으며 상기 규암을 후기의 섬록암이 관입한 양상을 보인다. 본역의 금품위는 10~15 g/t에 이른다. 현재까지 수행된 정밀탐광에 의해 확정된 매장량은 7400톤(금 0.35 oz/ton, 은 0.53 oz/ton)으로 보고되어 있다. 우뚜빠라 금-동-철 광화대의 해발 4600 m에는 차피차피(Chapi-Chapi) 철 스카른이 부존하고 있다. 산화동은 철스카른이 부존하는 지역에서 주로 관찰할 수 있다. 철스카른과 산화동에 대한 분석결과 각각의 철 및 동함량은 철스카른의 경우, 철 65.5%, 동 0.073%, 산화동의 경우, 철 9.71%, 동 19.7%이다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원이 수행하고 있는 지식경제부 부처임무형 사업인 “해외광물자원탐사 및 부존잠재성 평가(10-1121)” 과제에서 지원되었습니다. 또한, 우뚜빠라 광산에 대한 자료를 제공해준 페루 지질 광업제련연구소(INGEMMET) Alberto Bustamante Romani와 현장 가이드를 해준 알투라 미네랄(Altura Mineral)社의 Noemi Motta Vera에게 감사를 드립니다.

참고문헌

Alonso, R.N. (1992) Estratigrafía del Cenozoico de la cuenca de Pastos Grandes (Puna Saltena) con énfasis en la Formación Sijes y sus boratos: Revista de la

- Asociación Geológica Argentina, V.47, p.189-199.
- Benavides-Cáceres, V. (1999) Orogenic evolution of the Peruvian Andes: The Andean cycle, in Skinner, B.J., ed., *Geology and Ore Deposits of the Central Andes: Society of Economic Geologists Special Publication 7*, p.61-107.
- Bonhomme, M.G. and Carlier, G. (1990) Relations entre magmatisme et mineralisations dans le Batholite d'Andahuaylas-Yauri (Sud Perou): Données géochronologiques: 2nd International Symposium on Andean Geodynamics, Grenoble, France, p.329-331.
- Cahill, T. and Isacks, B.L. (1992) Seismicity and shape of the subducted Nazca plate. *Journal of Geophysical Research*, V.97, B12, p.17503-17529.
- Cárdenas, J., Carlotto, V., Vallenás, V., Chávez, R. and Gil, W. (1999) Las areniscas cupríferas de las capas rojas del Grupo San Jerónimo (Eoceno Medio-Oligoceno Inferior) de la región de Cuzco y Sicuani: XVIII Curso Internacional de Postgrado en Metalogenia, Quito, Ecuador, Universidad Central del Ecuador, June 1999, Actas, p.155-159.
- Carlier, G., Carlotto, V., Ligarda, R. and Manrique, E. (1989) Estudio metalogenético de la subprovincia cuproaurífera Tintaya-Bambas: Convenio de Cooperación Científica UNI-ORSTOM, Informe Final 1984-1988, Lima, Peru, p.143-248.
- Carlier, G., Carlotto, V., Ligarda, R. and Manrique, E. (1996) A reappraisal of the Cenozoic Inner Arc magmatism in southern Peru: Consequences for the evolution of the Central Andes for the past 50 Ma: Third international symposium on Andean Geodynamics, St. Malo, France, Extended Abstracts volume, p.551-554.
- Carlotto, V. (1998) Evolution Andine et raccourcissement au niveau de Cusco (13-16°) Perou: Enregistrement sédimentaire, chronologie, contrôles paléogéographiques, évolution cinématique: Unpublished Ph.D. thesis, Grenoble, France, Université Joseph Fourier, 159p.
- Carlotto, V., Carlier, G., Cardenas, J., Gil, W. and Chavez, R. (1996) The red beds of the San Jerónimo Group (Cuzco, Peru), marker of the Inca tectonic event: Third International Symposium on Andean Geodynamics, St. Malo, France, October 4-6, 1999, Extended Abstract volume, p.303-306.
- Carlotto, V., Jaillard, E., Carlier, G. and Mascle, G. (1997) Las cuencas sinorogénicas (Eoceno-Mioceno) de la terminación NO del Altiplano (Cusco): IX Congreso Peruano de Geología, Sociedad Geológica del Peru, Extended Abstracts, Volumen Especial 1, p.267-271.
- Carlotto, V., Jaillard, E. and Mascles, G. (1993) Sedimentation, paleogeography and tectonics of the Cuzco area between Kimmeridgian-Paleocene times. Relations with the south Peruvian margin: Second International Symposium on Andean Geodynamics, Oxford, United Kingdom, Extended Abstracts volume, p.287-290.
- Chávez, R., Gil, W., Carlotto, V., Cardenas, J. and Jaillard, E. (1996) The Altiplano-Eastern Cordillera limit in the Urubamba region (Cusco, Peru): Third International Symposium on Andean Geodynamics, St. Malo, France, Extended Abstracts volume, p.319-322.

- Clark, A.H., Farrar, E., Kontak, D.J., Langridge, R.J., Arenas, M., France, L.J., McBride, S.L., Woodman, P.I., Wasteneay, H.A., Sanderman, H.A. and Archibald, D.A. (1990) Geologic and geochronologic constraints on the metallogenic evolution of the Andes of south-eastern Peru: *Economic Geology*, V.85, p.1520-1583.
- Coutand, I., Cobbold, P.R., de Urreiztieta, M., Gautier, P., Chauvin, A., Gapais, D., Rossello, E. and Lopez-Gamundi, O. (2001) Style and history of Andean deformation, Puna plateau, northwestern Argentina: *Tectonics*, V.20, p.210-234.
- Fornari, M., Mamani, M., Ibarra, I. and Carlier, G. (2002) Datacion del periodo volcanico Tacaza en el Altiplano de Peru y Bolivia [abs.]: XI Congreso Peruano de Geologia, Sociedad Geologica del Peru, Lima, Peru, September 25-28, 2002, Abstracts, p.21.
- Jaillard, E. and Santander, G. (1992) La tectonica polifasica en escamas de la zona de Manazo-Lagunillas (Puno, sur del Peru): *Bulletin de l'Institute Francais d'Etudes Andines*, Lima, v.21, p.37-58.
- Jaillard, E., Grambast-Fessard, N., Feist, M. and Carlotto, V. (1994) Senonian-Paleocene charophyte succession of the Peruvian Andes: *Cretaceous Research*, V.15, p.445-456.
- Jaillard, E. and Soler, P. (1996) The Cretaceous to Early Paleogene tectonic evolution of the northern central Andes and its relations to geodynamics: *Tectonophysics*, V.259, p.41-51.
- Marocco, R. (1978) Un segment EW de la cordillere des Andes Peruvienes: La deflexion d'Abancay. *Etude geologique de la Cordillere Orientale et des Hauts-plataux entre Cuzco et San Miguel (Sud du Perou)*: Paris, France, Travaux et Documents de l'ORSTOM, no.94, 195p.
- Pecho, V. (1981) *Geologia de los cuadrangulos de Challuanca, Antabamba y Santo Tomas*: Lima, Instituto de Geologia, Minería y Metalurgia, Boletín no.35, 67p.
- 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.
- 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, Resúmenes, p.242.
- Ramos, V.A. and Aleman, A. (2000) Tectonic evolution of the Andes, in Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., and Campos, D.A., eds., *Tectonic Evolution of South America*, 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brazil, August 6-17, 2000, p.635-685.
- Vicente, J.C., Beaudouin, B., Chavez, A. and Leon, I. (1982) La cuenca de Arequipa (Sur Peru) durante el Jurásico-Cretácico inferior: Congreso Latinoamericano de Geologia, 5th, Buenos Aires, Argentina, Actas, V.1, p.121-153.