자원환경지질, 제44권, 제6호, 551-563, 2011 Econ. Environ. Geol., 44(6), 551-563, 2011

# 페루 뿌노지역 지질특성과 다금속 광화작용

양석준·허철호\*

한국지질자원연구원 광물자원연구본부 광물자원연구실

# Geology and Polymetallic Mineralization in the Puno Area, Peru

## Seok-Jun Yang and Chul-Ho Heo\*

Mineral Resources Research Department, Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

# 1.서 론

페루 남동부 지역은 다중금속(Cu-Au-Ag-Pb-Zn-Mn) 광상지역으로 페름기-삼첩기 관입암과 관련된 U-W-Sn-Mo, Au-Cu-Pb-Zn, REE 광화작용과 관련된 금속광화 대로 알려져 있지만(Fig. 1), 다른 지역에 비해 상대적 으로 지질학적 정밀조사가 활발히 이루어지지 않고 있 다(Purser, 1971; Clark *et al.*, 1990). 이번 연구지역 인 페루남동부 뿌노지역의 광상구는 16세기부터 개발 이 시작되었으며, 그 중 몇몇은 세계수준의 매장량을 보이고 있다(Clark *et al.*, 1990; Mlynarczyk and Williams-jones, 2005).

뿌노지역을 포함한 페루남동부의 중요한 광상구는 16세기부터 개발이 시작되었으며, 그 중 몇몇은 세계 수준의 매장량을 보이고 있다(Clark *et al.*, 1990; Mlynarczyk and Williams-jones, 2005). 이 광상들은 백악기 후기부터 쥬라기 초까지 볼리비아 북서쪽에 국 한된 광화작용과 점신세 후기부터 중신세초까지 전지 역에걸쳐 일어난 광화작용에 의해 영향을 받았다. 크 게 두 번의 광화작용으로 나눌 수 있는데 이중 후자가 페루남동부 광상형성에 더 중요하게 여겨지고 있으며, 이 광상구는 규장질 또는 중성 화성암 및 화산암들과 연관이 있는 것으로 보고되고 있다(Fig. 2).

본 해설은 페루 남동부 뿌노 지역에 부존하고 있는 공가(Conga) 금, 사리따(Sarita) 동, 꼰도리께냐(Condoriquena) 금, 로스 에스빠뇰레스(Los Espanoles) 은-연, 쁘린세사(Princesa) 망간, 니까라과(Nicaragua) 연- 아연, 운뚜까(Untuca) 금 및 따루까니(Tarucani) 연.아 연-동광상을 방문하여 지질광상조사를 실시한 결과이 며, 이 조사결과는 본 역의 지질-자원 정보해석을 통한 광화대 부존지 예측 및 유망광화대 선정에 활용될 것 으로 사료된다.

# 2. 지 질

#### 2.1. 광역지질

페루는 남서쪽부터 철, 반암동-(몰리브덴-금), 동-연-아연-은, 주석-(텅스텐-은-안티모니-비스무스) 금속광화 대가 발달한다(Stoll, 1965; Grant et al., 1980). 이러 한 광상의 대상분포는 안데스 산맥 하부 저각으로 섭 입하는 나즈카판의 심도 변화에 따라 생긴 마그마의 성질 차이 때문인 것으로 사료된다(Sillitoe, 1976). 동 쪽으로 갈수록 섭입과 연관된 화성활동이 저하되는데 이로 인해 서부 꼬르디예라(Cordillera) 지역과 알띠쁠 라노(Altiplano) 지역에는 I-형의 화강암 계열이 우세하 고 반면에 동부 꼬르디예라(Cordillera) 지역에는 S-형 의 화강암 계열이 우세하게 나타난다(Ishihara, 1981; Lehman et al., 1990). 특히, 고알루미나형이며 환원환 경의 특징을 보이는 화강암 계열 암석들의 분별결정작 용에 의해 페루 남동쪽부터 볼리비아를 거쳐 아르헨티 나 북쪽까지 약 100 km에 걸쳐 동부 꼬르디예라를 따라 주석광화대가 발달한다(Fig. 3).

점신세(27-25 Ma) 파랄론판이 나즈카 및 코코스판 과 계속해서 충돌하면서 페루 남동부와 볼리비아에는

<sup>\*</sup>Corresponding author: chheo@kigam.re.kr



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



Fig. 2. (a) Sn belt within Central Andes (red words are visited mine), (b) Igneous and volcanic activity along the tin belt from Permian through Triassic and Early Jurassic to Tertiary modified from Mlynarczyk and Williams-Jones (2005).



Fig. 3. Geologic characteristics in central Andes modified from Mlynarczyk and Williams Jone (2005). (a) Satellite image for South America modified from google image, (b) Physiographical classification, (c) Metallogenic belts, (d) Movement direction of plates and subduction characteristics.



Fig. 4. Compressional tectonic events related to mineralization in southeastern Peru modified from Mlynarczyk and Williams Jone (2005).

빠르고 거의 수직적인 판의 충돌이 일어났으며 이로 인해 이 지역에는 지구조사건들과 마그마작용들이 발 생했다(Sempere *et al.*, 1990). 상대적으로 올라타고 있는 남아메리카판의 섭입작용 속도의 증가에 의해 대 규모적이고 수평적인 압축력이 발생하였으며, 이로 인 해 안데스 산맥이 브라질 순상지 위에 놓이게 되고, 대규모 단충들이 발달했다(Russo and Silver, 1996). 뿌노지역에서 나타나는 화성활동을 정리하면 30-29 Ma에 본호(Main Arc) 지역의 전방부를 따라 마그마작 용이 나타났으며, 28.5±1 Ma 에 갑작스럽게 동쪽으로 확장되었으며, 이는 약 235 km의 연장을 가지며 서부 꼬르디예라와 알띠쁠라노 지역을 포함한다. 25 Ma 시 기에는 360 km까지 확장되었으며 이 시기에 내호 (Inner Arc) 지역인 동부 꼬르디예라 지역까지 영향을 끼쳤다(Sandeman *et al.*, 1995; Kontak *et al.*, 1986).

그리고, 중앙 안데스 지역의 3기 주석 광화대는 주 기적이고 연속적인 압축력 상황에서 형성되었으며, 이

는 다시 다섯 번의 지구조사건으로 나눌 수 있다(Soler and Bonhomme, 1990; Mlynarczyk and Williams-Jones, 2005; Fig. 4). 점신세 후기부터 중신세까지(25-19 Ma) 주 광화작용과 안데스 변형이 일어났다. 중신세 초기 약 2 Ma 동안 휴식기를 가졌으며, 17 Ma에 다 시 압축력 상황 하에서 주석-은 광화대가 발달하였다. 이때 페루 남동부에는 화산활동과 함께 소규모 광화작 용이 일어났으며, 16.9-16.6 Ma에 와짜네(Huacchane) 층과 16.4-16.2 Ma에 께브라다 에스깔레라(Quebrada Escalera) 규질 응회암층이 형성 되었다. 중신세 중기 (10 Ma)와 중신세 후기(7 Ma)에 규장질 마그마작용이 발생했으며, 특히 중신세 후기에는 화성쇄설화산암이 페루 남동부와 볼리비아 남쪽에 발달했다. 중신세 후 기 화성쇄설화산암인 마꾸사니(Macusani) 화산지대가 주석광화대의 북쪽 끝에 위치하는 것으로 보아 이 시 기에 지구조 축이 시계방향으로 소량 회전한 것으로 사료된다. 또, 점신세 주석-우라늄 광산의 위치가 압축

력 축의 방향과 대칭하는데 이는 내호 지역의 3기 화 성활동이 나즈카 및 남아메리카판의 상호작용에 의해 생성된 압축력에 의해 생성되었음을 의미한다.

페루 남동쪽의 신생대 마그마활동의 형상 및 배열은



Fig. 5. Anti-clockwise rotation of southeastern Peru tin belt (black) caused by compression and Bolivian orocline modified from Mlynarczyk and Williams Jones (2005).

볼리비아 오로클라인에 의해 페루지괴가 반시계 방향 으로 회전함과 섭입기작의 변화, 대륙지각 두께 등의 변화로 인해 복잡하게 변화했다(Sandeman *et al.*, 1995; Fig. 5). 조사지역은 현재 약 30°의 경사를 가지 는 와다띠(Wadati) 베니오프 지진대 위에 있으며, 바로 측면에는 북서방향의 수평섭입 지역이 있다. 비지진성 나즈카 해령에 의한 수평섭입으로 인해 중신세 이후 마그마작용이 일어나지 않고 있으며 이를 신제3기 불 연속이라고 한다.

Mlynarczyk와 Williams-Jones (2005)는 페루 남동 부 지역 광상구의 생성을 설명하기에는 섭입판이 휘어 지다가 고각으로 꺽이는(normal) 섭입형태보다는 상대 적으로 휘어짐이 적고 저각인(collisional) 섭입형태가 더 적합하다고 주장한 바 있다. 즉, 쐐기형태의 연약권 맨틀이 강도 높은 용융을 겪으면서 저각의 섭입환경 때문에 동쪽으로 점점 이동했다는 것이다(Fig. 6).

화산호인 페루지역과 같이 섭입대 환경에 놓인 지역 은 금과 동의 발달이 유리한 지역이다(e.g. Rosenbaum et al., 2005). 페루지역은 약 200 만년 동안 해양판인 나즈카판이 대륙판인 남아메리카판을 동쪽에서 점진적 으로 섭입하고 있다. 아직도 조산활동이 진행되고 있으



Fig. 6. Schematic model for "Normal" and "Collisional" subduction in the vicinity of the orocline. (a) Normal (b) Collisional types show low angle subduction modified from Mlynarczyk and Williams Jones (2005).

며, 지금의 조산활동은 트라이아스기 후기(220±10 Ma) 부터 시작되었다. 그러나, 페루지역 광상의 시간적 공 간적 분포는 이러한 점진적인 섭입처럼 지속적으로 일 어난 것이 아니라 특정적인 시기에 강하게 나타난다. 예를 들어 중신세의 광화대는 상대적으로 짧은 기간이 15-5 Ma 사이에 형성되었으며, 이때의 광화대는 페루 북쪽과 칠레의 중앙에 집중된다.

조사지역이 속해있는 페루 남동부는 자연지리학적 구분에 의해 꼬르디예라 옥시덴딸(Cordillera Occidental), 알띠쁠라노(Altiplano), 꼬르디예라 오리엔딸(Cordillera Oriental)로 나눌 수 있으며, 광화작용의 기원을 연구하 는데 중요한 화성암석학적 구분에 의해서는 본호(Main Arc) 지역과 내호(Inner Arc) 지역으로 나눌 수 있다 (Clark *et al.*, 1990; Fig. 7 and 8). 페루남동쪽과 칠 레 북쪽에 발달하는 본호 지역은 상대적으로 얇은 고 생대 퇴적층들과 1.9-2.0 Ga 시기의 아레끼빠 백립암 과 각섬암들에 의해 피복되어 있으며, 내호 지역은 상 대적으로 두껍고 강한 변형작용을 받은 선캠브리아기 의 약선대를 따라 형성된 고생대 초기 알띠쁠라노 분 지에서 쌓인 고생대 탄산염 퇴적암들로 피복되어 있다 (Carlier *et al.*, 1982; Kontak *et al.*, 1984). 뿌노 지 역의 대부분은 내호 지역의 꼬르디예라 오리엔딸 부분 에 위치한다. 본호 지역은 꼬르디예라 데 라 꼬스따 (Cordillera de la costa)와 꼬르디예라 옥시덴말 (Cordillera Occidental)로 나눌 수 있으며 이 지역의 최상부에는 맨틀기원의 화성암들과 트라이아스기부터 제4기까지의 안데스 화산암들로 피복되어 있다. 화강 암들은 칼크알칼리 내지 약알칼리한 특징을 가진다. 내 호 지역은 꼬르디예라 옥시덴딸과 페루 남동쪽, 볼리 비아 서쪽을 포함하며, 알루미나형 암석과 알칼리 암



Fig. 7. Geologic, geophysical and topographic features in the vicinity of the Bolivian orocline. (a) Location of the study area with classification based on the physiographic feature and contours of crustal thickness. (b) Shaded area with average elevation above 3,000 m. Plots of volcanic centers and depth contours were modified from Clark *et al.* (1990).



Fig. 8. Location of study area (small box) and approximate boundary of the Inner Arc domain. Open circles record undated deposits and filled circles indicate deposit with geochronologic data modified from Clark *et al.* (1990).

석, 중성내지 산성 화산암이 발달한다.

관입암과 화산성 화성암이 중생대와 신생대에 걸쳐 본호 지역에 발달했으며, 이들은 트라이아스기에서 고 제3기로 오면서 대륙쪽으로 마그마가 이동하면서 발달 했다. 칠레의 경우 0.85 mm/yr의 속도로 동쪽으로 본 호가 이동하고 있다. 동쪽 또는 대륙쪽으로의 이동으 로 인해 화성활동의 중첩이 발생했으며, 중생대와 고 제3기 화산활동, 화강암 관입 등의 주 기원으로 알려 지고 있다. 이러한 시공간적 제어가 광상의 분포에 직 접적인 연관을 준 것으로 보인다(Clark *et al.*, 1990).

점신세 후기 페루 남동부 지역에 본호의 팽창이 일 어났으며, 이 사건으로 인하여 꼬르디예라 오리엔딸 지 역의 본호와 내호의 화성암석학적 중첩이 초래되었다. 그러나, 긴 시간적으로 볼 때 마그마활동의 역사는 내 호와 본호에서 현저하게 다르게 나타났다(Clark *et al.*, 1990). 단지 이주 소규모 화성활동의 중첩만 고제3기에 일어났다. 조사지역이 속해있는 꼬르디예라 오리엔딸은 안데안 저지대로부터 알띠쁠라노를 분리시키며, 이 대 산맥의 눈으로 덮힌 5,000-6,000 m 정상은 꼬르디예 라 데 까라바야(Cordillera de Carabaya)에 속한다. 이 러한 산계는 제3기 분지인 끄루세로 함몰대(Crucero depression)에 의해 경계 지어진다.

#### 2.2. 뿌노 지역의 지질

광화작용이 우세하게 나타나는 조사지역의 지질은 오르도비스기부터 페름기시기의 두꺼운 퇴적층 계열이 우세하게 발달한다(Clark et al., 1990 Fig. 9). 이 시 기의 암석은 해성퇴적층이 주가 되며 부정합적으로 폐 름기의 미투 층군(Mitu group)에 속하는 몰라세 쇄설 물과 백악기 뿌띠나(Putina) 분지 또는 복향사의 대륙 쇄설암등에 의해 피복된다. 오르도비스기와 데본기 층 인 산호세(San Jose), 산디아(Sandia), 아나네아(Ananea) 층은 데본기 후기와 석탄기 초기 조산운동에 의해 발 생된 압축력에 의해 심한 변성작용을 받았으며, 녹색 편암 변성상을 보인다. 이처럼 변성정도가 심하지만 저 압변성의 특징을 보이는 지역은 산가방(San Gaban), 산디아(Sandia) 계곡에 나타나며 이 지역은 국부적으로 강한 엽리가 있는 데본기에서 석탄기 초기의 관입복합 체에 의해 둘러 쌓여 있다. 페름기 초기에 헤르시나안 조산운동은 고생대 하부층과 미시시피 암보 층군, 펜



Fig. 9. Geological map of study area modified from Clark et al. (1990).

실바니아 따르마(Tarma), 꼬파카바나 충군에 영향을 줬 다. 특징은 약한 압축력을 받은 흔적들이 관찰되며 변 성이 거의 없으며 대륙 열개를 따라 활동한 것으로 보 인다. 또, 북서 방향의 미투 해구를 형성했으며, 알칼 리 현무암과 연관이 있다. 조사지역에는 상대적으로 두 꺼운 또께빨라(Toquepala) 층군에 속하는 화산암들이 백악기 후기부터 고생대 기간 동안 퇴적되었는데 중신 세(25-26 Ma) 께추안(Quechuan) 조산운동 때 융기를 겪으면서 신제3기 지층에 의해 현재 덮혀있다. 시신세 초기 잉카 조산운동 동안 새로운 지구조환경이 만들어 졌으며, 남서향 습곡과 저각의 역단층대를 형성시켰으 며, 이는 뿌띠나 복향사를 지난다. 현재 꼬르디예라의 축을 따라 열이 공급되고 있으며 지구조적인 활동이 일어나고 있다. 특히, 종고-산가방(Zongo-San Gaban) 지대에서는 남서쪽에서 북서쪽으로 갈수록 열적분포가 체계적으로 증가하고 있다. 이후 께추안 조산운동의 하 나로 추가적인 압축력이 점신세 후기에 일어났다. 이 시기에 고생대 층 하부와 상부가 수많은 알루미나형 관입암들에 의해 관입을 당했다. 산재된 준장석을 함 유하는 섬장암 성격의 심성암과 과알칼리 화산암체들 이 쥬라기 알린짜빡(Allinccapac) 과알칼리 복합체를 구 성한다. 백악기 중기와 후기에 소규모의 화강암 저반 이 지역적으로 관입한 것 이외에는 점신세 후기 까지 내호 지역의 화성활동이 중단되었다. 알루미나형 몬조 화강암과 유문석영안산암질 화산재응회암은 서북서 방 향의 띠를 따라 정치했다. 중신세 알루미나형 화성활 동이 다시 시작되었으나 삐꼬따니(Picotani), 께나나리 (Quenanary)에서 형성된 유문암질 화산재 응회암과 구 성자체가 다르다.

# 3. 광화작용

뿌노지역은 암보 층군과 꼬파카바나 층군에 속하는 고생대의 퇴적암층을 신생대 알카리 화강암이 관입하 여 광상의 형성 가능성이 많은 지역이다. 또한, 본 역 은 페름기·삼첩기 관입암과 관련된 U-W-Sn-Mo, Au-Cu-Pb-Zn, REE 광화작용과 관련된 금속광화대로도 알 려져 있다. 조사대상 광상은 꽁가(Conga) Au, 사리따 (Sarita) Cu, 꼰도리께냐(Condoriquena) Au, 로스 에스 빠뇰레스(Los Espanoles) Ag-Pb, 쁘린세사(Princesa) Mn, 니카라과(Nicaragua) Pb-Zn, 운뚜까(Untuca) Au, 따루까니(Tarucani) Pb-Zn-Cu 광상이다(Fig. 9).

**쯩가**(*Conga*): 금광상으로 모암은 고생대 꼬파까바나 층군의 석회암 및 사암으로 이루어져 있으며, 흑색의 셰일층이 협재되어 있다. 노두 층리는 N10°E/50°NW 이며, 0°E/82°SE 방향의 절리들이 우세하게 발달한다. 그러나, 본 광상은 전반적으로 강한 습곡작용을 받아 향사구조와 배사구조 모두 나타나는데, 특히 배사 구 조의 습곡축을 따라 품위가 높은 동 산출이 보고되고 있다. 또한, 대부분의 층리들은 전단작용을 받아 소습 곡 구조들을 가지고 있는데, 이러한 구조들 역시 광상 의 형성과 연관된 습곡작용으로 사료된다. 주요 광석 광물로는 공작석, 황철석, 경철석이 산출된다. 능철석 또는 철백운석를 수반한 엽상 방해석의 산출로 광화작 용에 비등현상이 지배적이었다는 것을 알수 있으며 일 부 시료에서 녹니석과 더불어 견운모가 변질광물로 산 출하고 있다(Fig. 10). 광석광물의 불분석 불꽃시험 (Fire assay) 분석결과, 금 및 은은 분석한계 미만이었 다(Table 1).

**사리따**(*Sarita*): 동광상으로 고생대 아나네아 층의 퇴 적암을 화강반암이 관입하면서 발달한 광상이다. 두 번 의 관입작용이 있었으며 그 중 후기의 관입이 전기의 관입에 비해 알카리 성분이 강하다. 갱내조사 결과 고 각이며, 남북 방향의 단층과 황동석, 황철석 등을 포함 하는 남북방향의 세맥에 의해 광화대와 비광화대가 구 분된다. 이는 남북방향의 구조선에 의해 광화대가 제 어되었음을 의미한다. 황동석, 반동석, 칼칸다이트 (chalcanthite), 규공작석 등이 광석광물이며, 황철석이 맥석광물 이다. 갱도 주변의 화강암에 대한 대자율 측 정시 0.131~0.147×10<sup>3</sup> SI unit (N=20)의 수치가 나 오며 티탄철석 계열의 화강암 임을 지시한다(Fig. 11). 광석광물의 습식 XRF 분석결과, 동은 0.05~7.60%의 범위를 가지며 평균 2.89%이다(Table 1).

**꼰도리꼐냐**(*Condoriquena*): 금 및 주석광상으로 모 암은 변성퇴적암으로 이루어져 있다. 엽리들은 주로 고 각이며 습곡되어 있다. 또, 갱입구에 발달하는 파랑벽 개와 저각의 세맥들, 그리고 수평적인 절리들이 발달 하는 것으로 보아 압축력이 우세한 환경에서 광상이 형성된 것으로 추정된다. 일반적으로 역단층이 생성되 는 압축력이 우세한 지역에서는 수평적인 세맥과 인장 절리들이 발달한다(e.g. sibson, 2004). 석영맥은 2개조 이상일 것으로 사료되나 맥내 황화물은 관찰되지 않는 다(Fig. 12). 광석광물의 불분석 불꽃시험 분석결과, 금 은 분석한계 미만이었고 은은 <0.1~4 g/t의 범위를 가 진다(Table 1).

로스 에스빠뇰레스(Los Espanoles): 은과 연 광상이 며, 모암은 화산암이다. 이 광산은 N60°W/72°NE 방향 의 단층에 의해 규제되었으며, 단층과 같은 방향의 세



**Fig. 10.** (a) Conceptual model of mineralization related to folding in the Conga deposit. (b) Paleozoic limestone as a host rock. (c, d) Syncline and anticline are developed in the Conga deposit. It is inferred that gold concentrates at the anticline. (e, f) Bedding and vertical joints. Some bedding planes were deformed by folding.

맥들이 발달하며, 세맥내에 정동구조가 발달한다. 광상 의 발달을 제어한 단층의 성격은 괴상의 화산암이라 알기는 어려우나 이차단열과 세맥의 발달 특징, 노두 에 우세하게 발달하는 단열들의 특징을 봤을 때 정단 층과 연관이 있는 것으로 생각된다. 단층대를 따라 상 부와 하부에 각각 채굴적이 있는데 상부에는 약 80 cm 두께를 가지는 1개조의 석영맥이 발달하는 반면, 하부 에는 5-10 cm 두께를 가지는 석영맥이 평행하게 여러 조 발달하고 있다. 이는 단층면이나 단열면의 불균질 성에 의한 영향으로 사료된다(Fig. 13). 광석광물의 ICP 및 불분석 불꽃시험 분석결과, 동은 0.071~ 4.88%, 아연은 1.59~3.91%, 금은 <0.1~1 g/t, 은은 33~75 g/t의 범위를 가진다(Table 1).

**쁘린세사**(Princesa): 망간광상으로 모암은 완까네

(Huancane) 층의 백악기 중립질 사암 및 역암으로 이 루어져 있고, 망간맥은 주로 ENE-WSW 방향에 고각 을 가진다. 이 맥은 약 100 m 이상의 연장성을 가지 며 채굴된 흔적을 볼 때 두께는 약 1-1.5 m로 추정된 다. 하나의 단면에서 사암의 층리가 저각과 고각으로 나타나는데 이는 습곡작용의 영향으로 생각된다. 두 개 의 층리면을 투영망에 투영시켜보았을 때 습곡축의 방 향이 세맥의 방향과 일치하는 것을 알 수 있었으며, 이는 이 망간맥의 발달이 습곡과 영향이 있다는 것을 지시한다(Fig. 14). 광석광물의 습식 XRF 분석결과, 망간은 8.69~16.0%의 범위를 가지며 평균 13.53%이 다(Table 1).

**니까라과**(*Nicaragua*): 연-아연광상으로 모암은 꼬파 까바나 층군의 탄산염암 및 사암으로 이루어져 있으며,

Deposit	Cu	Pb	Zn	Au	Ag	Mn
(Commodity)	(%)	(%)	(%)	(mg/kg)	(mg/kg)	(%)
Tarucani (Pb-Zn-Cu)	0.45	< 0.004	0.21	-	-	-
	8.78	0.0048	3.71	-	-	-
	0.32	< 0.004	1.42	-	-	-
Sarita (Cu)	1.34	-	-	-	-	-
	0.05	-	-	-	-	-
	2.64	-	-	-	-	-
	1.55	-	-	-	-	-
	2.32	-	-	-	-	-
	2.55	-	-	-	-	-
	5.07	-	-	-	-	-
	7.60	-	-	-	-	-
Los Espanoles	4.88	-	1.59	1	33	-
(Ag-Pb)	0.071	-	3.91	< 0.1	75	-
Nicaragua (Pb-Zn)	0.028	-	0.22	-	-	-
	0.12	-	0.08	-	-	-
Princesa (Mn)	-	-	-	-	-	15.9
	-	-	-	-	-	16.0
	-	-	-	-	-	8.69
Condoriquena (Au)	-	-	-	< 0.1	3	-
	-	-	-	< 0.1	4	-
	-	-	-	< 0.1	< 0.1	-
Conga (Au)	-	-	-	< 0.1	< 0.1	-
	-	-	-	< 0.1	< 0.1	-
	-	-	-	< 0.1	< 0.1	-
Untuca (Au)	-	-	-	< 0.1	< 0.1	-
	-	-	-	< 0.1	< 0.1	-
	-	-	-	< 0.1	< 0.1	-

 Table 1. Representative chemical composition of ores from

 Puno Cu-Au deposits



Fig. 11. (a) Conceptual model on the genesis for Sarita deposit, which was structurally controlled by N-S trending faults and veins. (b) Alteration and mineralized zones divided by N-S trending fault or vein. (c) N-S trending quartz vein with chalcopyrite and chlorite. (d) Granite porphyry with phenocryst (e) Mineralized zone with chalcopyrites (f) chalcopyrite ore.



Fig. 12. (a) Horizontal joints and high angle beddings are developed in Condoriquena deposit. (b) Crenulation cleavage. (c, d) WSW-ENE trending horizontal quartz vein. Horizontal veins indicate horizontal compression stress.



**Fig. 13.** (a) Los Espanoles deposit was mined along NW-SE trending fault. There are two adits such as upper and lower. (b) volcanic rocks occurred from the Los Espanoles deposit. (c) NW-SE trending quartz vein and fault. (d) vuggy quartz vein in upper adit. (e, f) NW-SE trending quartz vein and fault in lower adit.

광석광물은 백연석, 방연석, 섬아연석 등이 있다(Fig. 15). 광석광물의 습식 XRF 및 ICP 분석결과, 동은 0.028~0.12%, 아연은 0.08~0.22%이다(Table 1).

**운뚜까**(Untuca): 금광상으로 모암은 고생대 산디아 (Sandia) 층의 슬레이트로 이루어져 있으며 층리를 따 라 금이 배태되어 나타나는 것으로 보고되어 있다. 이 지역에 나타나는 단층은 역단층에서 정단층으로 재활 성되었으며, 정단층 시기에 광산이 형성된 것으로 보 고되어 지고 있다. 즉, 광산은 NW-SE, NE-SW 방향 의 단층과 층리에 의하여 광화작용이 제어된 것으로 보고되고 있다(Fig. 16). 광석광물의 불분석 불꽃시험 분석결과, 금 및 은은 분석한계 미만이었다(Table 1).

**따루까니**(Tarucani): 연, 아연, 동 광상이며 모암은 고생대 꼬파까바나 충군의 석회암 및 사암이다. N60°W/80°NE 방향과 NS/60°W의 단층에 의해 변질 대와 모암이 구분되어 있으며, 층리에 의해서도 이러 한 현상이 나타난다. 갱내에 들어가면 주 광화대가 나 타나는데 이 역시도 N60°W/80°NE 방향의 단층과 층 리에 의해 광화대가 제어된 현상을 보여준다. N60°W/ 80°NE 방향의 단층면에 나타난 단층활면의 방향과 운 동감각지시자를 볼 때 동쪽 방향의 블록이 상대적으로 하강한 정단층으로 해석된다. 즉, 동쪽이 상반이 되며, 상반에 광화작용이 집중된 것으로 해석된다. 일반적으 로 정단층에서는 단층의 상반에 단열이 우세하게 발달 한다. 방연석, 공작석, 섬아연석 등이 광석광물이며, 방 해석, 중정석 등이 맥석이다(Fig. 17). 광석광물의 습식 XRF 및 ICP 분석결과, 동은 0.45~8.78%, 아연은 0.21~3.71%, 연은 <0.004~0.0048%이다(Table 1).



Fig. 14. (a) Conceptual model on the genesis of Princesa deposit. (b). Manganese vein with 1.5 m width is developed along the fold axis. (c) Bedding with low and high angle dips. (d) Panoramic view of Princesa deposit. (e) Manganese ore from Princesa deposit.



Fig. 15. (a) Panoramic view of Nicaragua deposit (b) Carbonate rocks as host rock.

## 4. 결 론

페루 남동부 지역에 위치한 뿌노 동-금을 포함한 다 중금속 광상 지역의 지질은 주로 고생대의 퇴적암으로 이루어져 있으며, 암보 층군과 코파카바나 층군에 속 한다. 그리고, 본 역은 페름기-삼첩기 관입암과 관련된 U-W-Sn-Mo, Au-Cu-Pb-Zn, REE 광화작용과 관련된 금속광화대로도 알려져 있으며 또한 신생대 알카리 화 강암들의 관입으로 인하여 광상의 형성 가능성이 많은 지역이다. 조사대상 광상은 꽁가 금, 사리따 동, 꼰도



Fig. 16. (a) Conceptual model on the genesis of Untuca deposit. Gold was interbedded along the Paleozoic slate bedding plane (b, c).



**Fig. 17.** (a) Mineralization of Tarucani deposit was structurally controlled by N-S or NW-SE trending faults. (b) Alteration zone and mineralized zone divided by N-S trending fault or vein. (c) Slickenside on the NW-SE trending fault plane. (d) The steps on the fault plane indicate that eastward block was down.

리께냐 금, 로스 에스빠뇰레스 은-연, 쁘린세사 망간, 니카라과 연-아연, 운뚜까 금, 따루까니 연-아연-동광상 이다. 꽁가 금광상의 모암은 고생대 꼬파까바나 층군 의 석회암 및 사암으로 이루어져 있으며, 흑색의 셰일 층이 협재되어 있다. 광석광물로는 공작석, 황철석, 경 철석이 산출되나 금 및 은은 분석한계 미만이었다. 사 리따 동광상은 고생대 아나네아 층의 퇴적암을 화강반 암이 관입하면서 발달한 광상이다. 광석광물로는 황동 석, 반동석, 칼칸다이트, 규공작석 등이 광석광물이며, 동은 0.05~7.60%의 범위를 가지고 평균 2.89%이다. 꼰

도리께냐 금-주석광상의 모암은 변성퇴적암으로 이루 어져 있으며 분석결과 금은 분석한계 미만이었고 은은 <0.1~4 g/t의 범위를 가진다. 로스 에스빠뇰레스 은-연 광상의 모암은 화산암이며, 동은 0.071~4.88%, 아연은 1.59~3.91%, 금은 <0.1~1 g/t, 은은 33~75 g/t의 범 위를 가진다. 쁘린세사 망간광상의 모암은 백악기 중 립질 사암 및 역암으로 이루어져 있고, 망간은 8.69~ 16.0%의 범위를 가지며 평균 13.53%이다. 니까라과 연-아연광상의 모암은 탄산염암 및 사암으로 이루어져 있으며, 광석광물은 백연석, 방연석, 섬아연석 등이 있 다. 분석결과 동은 0.028~0.12%, 아연은 0.08~ 0.22%이다. 운뚜까 금광상의 모암은 고생대 슬레이트 로 이루어져 있으며 충리를 따라 금이 배태되어 나타나 는 것으로 보고되어 있으나 분석결과 금과 은은 분석 한계 미만이었다. 따루까니 연-아연-동 광상의 모암은 석회암과 사암이다. 방연석, 공작석, 섬아연석 등이 광 석광물이며, 동은 0.45~8.78%, 아연은 0.21~3.71%, 연은 <0.004~0.0048%이다.

# 사 사

본 연구는 한국지절자원연구원이 수행하고 있는 지 식경제부 부처임무형 사업인 "해외광물자원탐사 및 부 존잠재성 평가(11-1121)"과제에서 지원되었습니다. 또 한, 페루 뿌노 지역 동, 금광상에 대한 자료를 제공해 준 페루 지질광업제련연구소(INGEMMET) Mitchell Valencia Munoz, Jorge Acosta Ale 및 Alexander Santisteban Angeldonis에게 감사를 드린다.

#### 참고문헌

- Carlier, G., Grandin, G., Laubacher, G., Marocco, R. and Megard, F. (1982) Present knowledge of the magmatic evolution of the Eastern Cordillera of Peru: Earth-Science Review, v.18, p.253-283.
- Clark, A.H., Farrar, E., Kontak, D.J., Langridge, R.J., Arenas, M.J., France, L.J., McBride, S.L., Woodman, P.L., Wasteneys, H.A., Sandeman, H.A. and Archibald, D.A. (1990) Geologic and geochronologic constraints on the metallogenic evolution of the Andes of Southeastern Peru: Economic Geology, v.85, p.1520-1583.
- Grant, J.N., Halls, C., Sheppard, S.M. F. and Avila, W. (1980) Evolution of the porphyry tin deposits of Bolivia, Min. Geol. Spec., v.8, p.151-173.

- Ishihara, S. (1981) The granitoid series and mineralization: Economic Geology 75th Anniversary Volume, p.458-484.
- Kontak, D.J., Clark, A.H. and Farrar, E. (1984) The magmatic evolution of the Cordillera Oriental, southeastern Peru, in Harmon, R. S., and Barreiro, B. A., eds., Andean magmatism: Chemical and isotopicc onstraints: Nantwich, Shiva P ub. Ltd., p.203-219.
- Kontak, D.J., Clark, A.H., Farrar, E., Pearce, T.H., Strong, D.F. and Baadsgaard, H. (1986) Petrogenesis of a Neogene shoshonite suite, Cerro Moromoroni, Puno, southeastern Peru: Canadian Mineralogist, v.24, p.117-135.
- Lehmana, B., Ishihara, S., Michel, H., Miller, J., Rapela, C., Sanchez, A., Tistl, M. and Winkelmann, L. (1990) The Bolivian tin province and regional tin distribution in the Central Andes: a reassessment: Economic Geology, v.8, p.1044-1058.
- Mlynarczyk, M.S.J. and Williams-Jones, A.E. (2005) The role of collisonal tectonics in the metallogeny of the Central Andean tin belt: Earth and planetary Science Letters, v.240, p.656-667.
- Purser, W.F.C. (1971) Metal-mining in Peru, past and present: New York, Praeger Pub., 339p.
- Rosenbaum, G., Giles, D., Saxon, M., Betts, P.G., Weinberg, R.F. and Duboz, C. (2005) Subduction of the Nazca Ridge and the Inca Plateau: Insights into the formation of ore deposits in Peru: Earth and planetary Science Letters, v.239, p.18-32.
- Russo, R.M. and Silver, P.G. (1996) Cordillera formation, mantle dynamics and the Wilson cycle: Geology, v.24, p.511-514.
- Sandeman, H.A., Clark, A.H. and Farrar, E. (1995) An integrated tectonomagmatic model for the evolution of the southern Peruvian Andes (13 - 20°S) since 55 Ma: International Geology Review, v.37, p.1039-1073.
- Sempere, T., Herail, G., Oller, J. and Bonhomme, M.J. (1990) Late Oligocene-ealry Miocene major tectonic crisis and related basins in Bolivia: Geology, v.18, p.946-949.
- Sibson, R.H. (2004) Controls on maximum fluid overpressure defining conditions for mesozonal mineralisation: Journal of Structural Geology, v.26, p.1127-1136.
- Sillitoe, R.H. (1976) Andean mineralization: a model for the metallogeny of convergent plate margins: Geological Association of Canada, Special Paper, 14, p.59-100.
- Soler, P. and Bonhomme, M.G. (1990) Relation of magmatic activity to plate dynamics in central Peru from Late Cretaceous to present, in: Kay, S.M., Rapela, C.
  W., Plutonism from Antarctica to Alaska: Geological Society America, Special Paper, v.241, p.173-192.
- Stoll, W.C. (1965) Metallogenic provinces of South America: mining magazine, 112, 22-33 and 90-99.

2011년 11월 15일 원고접수, 2011년 12월 11일 게재승인