

페루 중부 이스카이크루즈 연-아연-동 프로젝트의 지질 및 광화작용

허철호^{1,2*} · 남형태¹

¹한국지질자원연구원 광물자원연구본부 자원탐사개발연구센터,
²과학기술연합대학원대학교 광물·지하수자원학과

Geology and Mineralization of the Iscaycruz Pb-Zn-Cu Project, Central Peru

Chul-Ho Heo^{1,2*} and Hyeong-Tae Nam¹

¹Mineral Resources Development Research Center, Mineral Resources Research Division,
Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

²Department of Mineral and Groundwater Resources, University of Science and Technology

요약: 이스카이크루즈 프로젝트의 지질은 주로 백악기 분지 내 퇴적암으로 구성되어있다. 본 역의 기저부는 암회색 셰일, 회색 사암 및 탄층이 협재된 오온층의 쇄설성 암석들로 구성되어있다. 본 역 동부의 습곡대에는 중립질 괴상 및 백색의 규암을 배태한 치무층이 부존한다. 지질구조 관점에서, 본 역은 옥시덴탈 산맥 중앙부의 습곡 및 층상단층대에 위치해있다. 열수교대작용에 의해 광체가 생성되었으며 구성광종은 아연, 연, 은 및 동이다. 그리고, 층상규제형 광상은 산타층의 석회암에 배태되어있으며 까나이빠따 북부부터 안따뻬뻬 남부까지 12 km를 불연속적으로 연장되어있다. 또한, 산타 및 빠리후안카층에 배태된 불규칙한 철산화물 및 황화물 광체가 관찰된다. 지표에서 관찰되는 광화작용은 섭아연석과 부수적으로 망연석 및 황동석으로 구성된 1차 황화물과 산화작용을 받아 생성된 철 및 망간산화물로 구성된다. 스킨 광물에는 투각섬석, 석류석, 녹염석 및 석영이 수반된다.

핵심어: 이스카이크루즈, 아연, 연, 동, 페루

Absract: The geology of the Iscaycruz project are mainly composed of sedimentary rocks within Cretaceous basin. The basal part is composed up of dark-gray shale, gray sandstone, and clastic rock of Oyon formation interbedded with coal measures. In the folded zone in the eastern part of the survey area, there is Chimu formation that has medium-grained massive and white quartzite. In terms of geological structure, the Iscaycruz region is located in the folded and overthrust zones of the central part of the Occidental Mountains. Ore body was formed by hydrothermal replacement process and consists of zinc, lead, silver, and copper. Stratabound-type deposits are hosted in limestone of Santa formation. It extends 12 kilometers discontinuously from northern Canaypata to southern Antapampa. Irregular iron oxide and sulfide minerals hosted in Santa and Parihuanca formations are observed. The mineralization observed on the surface consist of primary sulfides consisting of sphalerite with galena and chalcopyrite, and iron and manganese oxide produced from oxidation of primary sulfides. Skarn minerals are accompanied by tremolite, garnet, epidote and quartz.

Keywords: Iscaycruz, Zn, Pb, Cu, Peru

*Corresponding author

Tel: +82-

E-mail: chheo@kigam.re.kr

서 론

페루 오온(Oyon) 다중금속광화대 내 부존하는 Au-Ag, Cu-Mo-Au, Pb-Zn-Cu-Ag 광화대 광상성인 공동 연구를 위해 2016년 4월 페루지질광업제련연구소(INGEMMET: Instituto Geologico Minero y Metalurgico)와 한국지질자원연구원 간에 국제공동연구계약이 체결되었다.

페루에는 남서쪽부터 북동쪽으로 Fe, Cu-Mo-Au, Cu-Pb-Zn-Ag, Sn-W-Ag-Sb-Bi 금속광화대가 발달한다. 이러한 광상의 대상분포는 안데스 산맥 아래 저각으로 섭입하는 나즈카판의 깊이 변화에 따라 생긴 마그마의 성질 차이 때문인 것으로 생각된다(Stoll, 1965; Sillitoe, 1976; Grant *et al.*, 1980; Lee *et al.*, 2017).

페루 오온 다중금속광화대 내 부존하는 여러 프로젝트 지역들중 이스카이크루즈 Pb-Zn-Cu 프로젝트 지역은 해발고도 4,700 m의 안데스 서부 산맥 중앙부에 위치하고 있다(Bendezú and Fontboté, 2009; Lee *et al.*, 2017). 본역의 UTM WGS84 좌표는 317,721E 및 8,816,999N이다(Fig. 1). 본 프로젝트 지역은 지분 76.89%의 Empresa Minera Los Quenuales S.A.,

소유이며, 모회사는 Glencore Finance Ltd.(Bermuda)이다(Glencoreperu, 2020).

본 기술보고에서는 2016년 5월 및 8~9월에 수행된 현지 지질광상조사 결과들 중 이스카이크루즈 Pb-Zn-Cu 프로젝트지역의 지질 및 광화작용을 소개하고자 한다. 그리고, 본 기술보고가 해외광물자원개발에 진출하려는 계획을 가진 국내업체들에게 도움이 되기를 바란다.

지 질

본 프로젝트 지역의 지질은 주로 백악기 분지 내 퇴적암으로 구성되어있다. 본 역의 기저부는 암회색 셰일, 회색 사암 및 탄층이 협재된 오온층(백악기 전기 베리아절 하부)의 쇄설성 암석들로 구성되어있다(Figs. 2 and 3). 본 역 동부의 습곡대(배사축)에는 중립질 괴상 및 백색의 규암을 배태한 치무(Chimú)층(백악기 전기 베리아절)이 부존한다.

백악기 전기 발랑쟁절(Valanginian) 시기의 산타(Santa)층은 처트 노들 및 구조토를 배태한 점토질-돌로마이트질 석회암으로 구성된 박층 층준이 협재된 회색~청색암이다. 이스카이크루즈 지역 중앙부에서는,

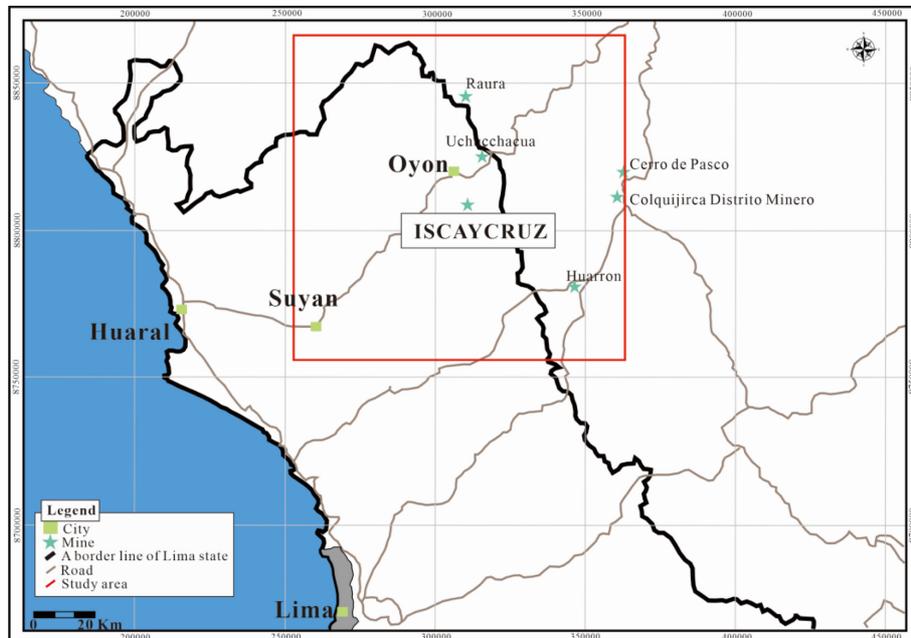


Fig. 1. Location map of Iscaycruz mine.

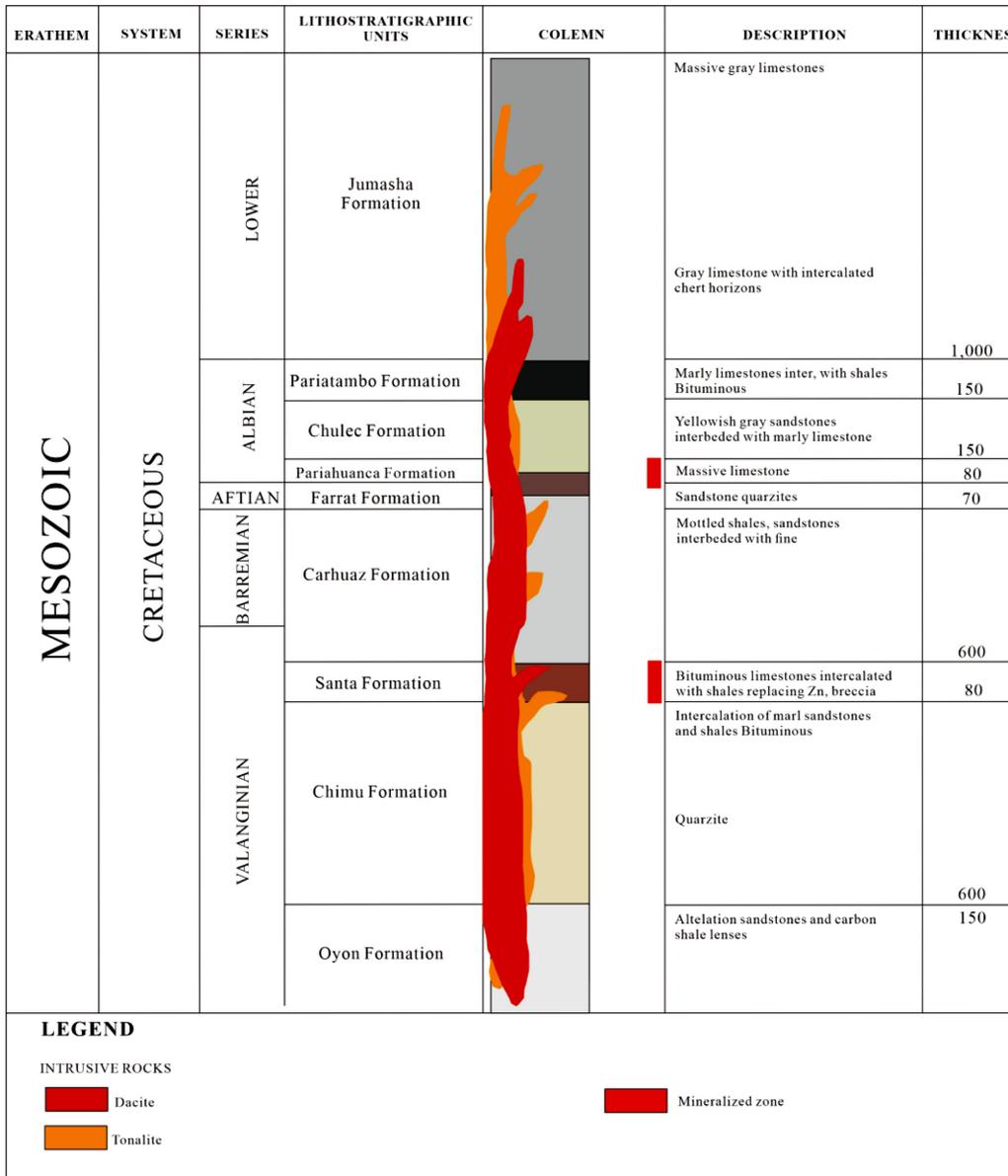


Fig. 2. Stratigraphic column of the Iscaycruz mining unit with favorable geological units for mineralization modified from Rojas (2012).

40~80 m 층후를 가진 교대형 광체가 부존한다.
 백악기 전기 오토리브질(Hauteriviano)-바렘질(Barremian) 시기의 가르후아즈(Carhuaz)층은 셰일 및 얼룩덜룩한 녹색, 적색 및 황색 사암들로 구성되어있다. 본 층서는 600 m의 층후를 지닌다.
 파랏(Farrat)층은 층의 상부까지 점이적으로 변하는

백색 석영질 사암, 회색 사암 및 깨지기쉬운 석회질 암을 배태한다.
 백악기층서의 정상부는 알비질(Albian) 중기 빠리아후안카(Pariahuanca)층의 두껍고 괴상인 층들과 회색 석회암으로 구성되어있다. 이 층은 스카른 광화작용이 관찰되어 중요하다.

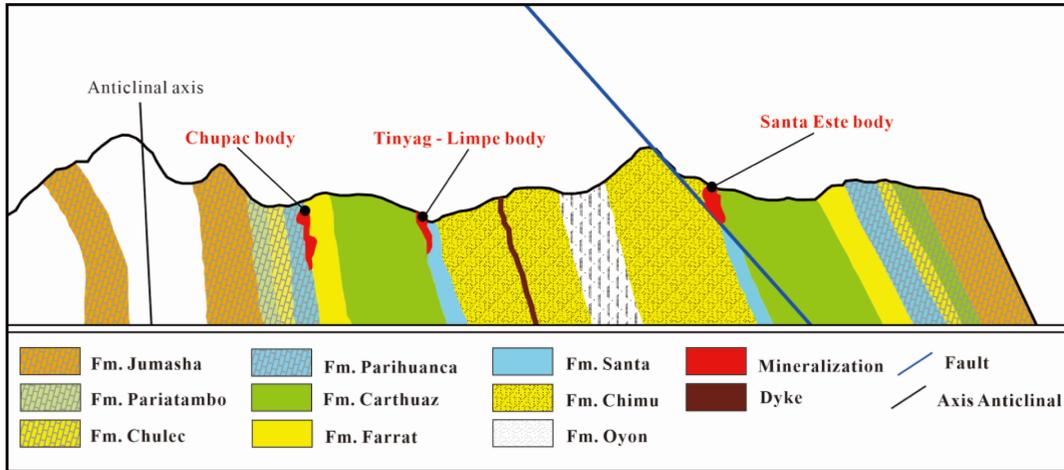


Fig. 3. Geological cross section of the Iscaycruz mining unit (Empresa Minera Los Quenuales, 2016).

알비질 중기의 출렉(Chulec)층은 이회암 및 층상화된 회색 석회암을 배태한다. 풍화정도에 따라, 암상의 색깔은 회색에서 황색을 띤 크림색으로 변한다.

알비질 초기~중기의 빠리아팜보(Pariatambo)층은 처트 및 역청질 층준을 보이는 노들상 석회암과 협재된 이회암으로 구성된다.

최종적으로, 백악기 후기 세노마눔절(Cenomanian)-투렌절(Turonian) 시기의 후마샤(Jumasha)층은 회색 석회암으로 구성되어있다.

토날라이트 및 석영안산암질 조성의 관입 화성암과 화강암질 반암이 백악기 층서를 관입한다. 그리고, 고제3기-신제3기 깔리뿌이(Calipuy)층 화산암들에 의해 부정합으로 덮혀있다(Rojas, 2012; Acosta *et al.*, 2015).

지질구조 관점에서, 이스카이크루즈 지역은 옥시덴탈 산맥(Cordillera Occidental) 중앙부의 습곡 및 층상단층대에 위치한다.

광화작용과 관계된 지질구조는 림페(Limpe) 북쪽과 갱구 남쪽에 위치한 NE-SW 단층계이다. 또한, 광역적인 층간 단층이 인지된다. 이 단층은 산타(Santa)층에 부설된 4690 m 레벨 갱구에서 관찰할수 있다. 단층은 북쪽에서 남쪽으로 림페 중앙부로 갈 때 두갈래로 갈라지며, 이곳에서 한 갈래는 바다를 향해 가고 다른 갈래는 천정으로 간다.

교차단층은 에스텔라(Estela) 및 올가(Olga) 광체를 가로지르고 있다. 교차단층의 주향은 N60~70°W이고 경사는 55~65°SW이다. 이들 단층들의 일부는 역시

광화작용과 관련된다(Rojas, 2012; Acosta *et al.*, 2015).

광화작용

본 역의 모암에서 인지되는 열수변질작용은 규화작용, 건운모화작용, 이질화작용, 능철석화작용 및 돌로마이트화작용이다(Rojas, 2012; Acosta *et al.*, 2015).

이스카이크루즈 프로젝트 지역의 광화작용으로 열수교대광체가 생성되었으며 구성광물은 아연, 연, 은 및 동으로 구성되어있다. 층상규제형 광상은 산타(Santa)층의 석회암에 배태되어있으며 까나이빠파(Canaypata) 북부부터 안따뽀뽀(Antapampa) 남부까지 12 km를 불연속적으로 연장된다.

산타(Santa) 및 빠리후안카(Parihuanca)층에 배태된 불규칙한 철산화물 및 황화물 광체가 관찰된다.

지표에서 관찰되는 광화작용은 섬아연석과 부수적으로 방연석 및 황동석으로 구성된 1차 황화물과 1차 황화물의 산화작용을 받아 생성된 철 및 망간산화물로 구성된다.

치무(Chimú)와 산타(Santa)층간 점이적인 지질접촉부에서, 강고령토화작용이 관찰되며 주요 구성광물은 석영, 황철석, 명반석, 다이어스포어, 엽랍석, 자연황이다(INGEMMET, 2005).

맥석으로 고려되는 부수광물들은 황철석, 능철석, 방해석, 석영, 유비철석 및 경철석이다.

자류철석과 수반된 황철석 및 백철석으로 구성된

괴상 황철석 광체는 때때로 섬아연석과 방연석이 부화된다.

스카른 광물에는 투각섬석, 석류석, 녹염석 및 석영이 수반된다(Rojas, 2012; Acosta *et al.*, 2015).

광화작용과 변질작용 관점에서, 산타(Santa) 및 빠리아후안카(Pariahuanca)층과 NW-SE 단층(배사의 서측사면)이 주도적인 역할을 하며, 추파(Chupa), 띠약(Tinyag) 및 산타(Santa) 동측 광상들은 ENE 단층과 연결되어있고, 아마도 심부에서 동일한 관입체로 연결되었을 것으로 추정된다(Krstulovic and Ovalle, 2004; Cuadros *et al.*, 2007).

광화작용과 열수변질작용의 국지적 누대구조를 보면, 띠약 하부광체는 스카른과 스카르노이드±혼펠스로 구성되어있으며, 띠약 II, 에스콘디다 및 추파광체는 혼펠스±녹염석+백운모+녹니석 수반 스카르노이드로 구성되어 있고, 림페 남부광체는 철백운석±능철석±황철, 림페 중부(St. East) 광체는 능철석±철백운석±돌로마이트+사녹니석+디카이트, 아넬코차스 광체는 돌로마이트+철백운석±능철석±능망간석, 만카쿠타 및 림페 북부 광체는 돌로마이트±철백운석으로 구성된다.

이스카이크루즈 프로젝트에서 확인된 광화작용 단계는 광물공생관계로 보면, 광화초기부터 후기로 가면서 돌로마이트, 능철석, 세립질 황철석(I), 황철석-

섬아연석(II), 섬아연석(III) 및 강고령토화변질대의 조립질 황철석(IV)으로 구분된다.

광상학적 연구를 수행하기 위한 시료채취는 지표에서 림페 북부(Limpe Norte), 만카쿠타(Mancacuta), 산타 동측(Santa Este) 광상에서 그리고 시추코어에서는 림페 중앙부(Limpe Centro), 띠약(Tinyag) 및 추파(Chupa)광상에서 수행되었다.

조사지역 채취시료들의 지화학적 특성을 알아보기 위해 각 대표시료를 대상으로하여 화학분석을 하였다. 이들 시료는 캐나다 Activation Laboratories Ltd.에서 X선 형광분석기(X-ray fluorescence spectrometer: XRF)를 이용하여 주성분원소 분석을 실시하였으며, 유도결합플라즈마 질량분석기(inductively coupled plasma mass spectrometry: ICP-MS)를 이용하여 미량성분원소를 분석하였다.

림페 북부

이 섹터에는 동광체(Este orebody)와 서광체(Oeste orebody)를 포함하는 연장 1,100 m의 곳산(Gossan)이 있다. 그리고, 림페 중부에서는 각각 올가(Olga) 및 에스텔라(Estela)로 불리는 광체가 있다. 이들 광체들은 산타층에 배태되어있으며, 광화작용 통로였던 NW-SE 안데스 단층과 관계된다(Fig. 4).

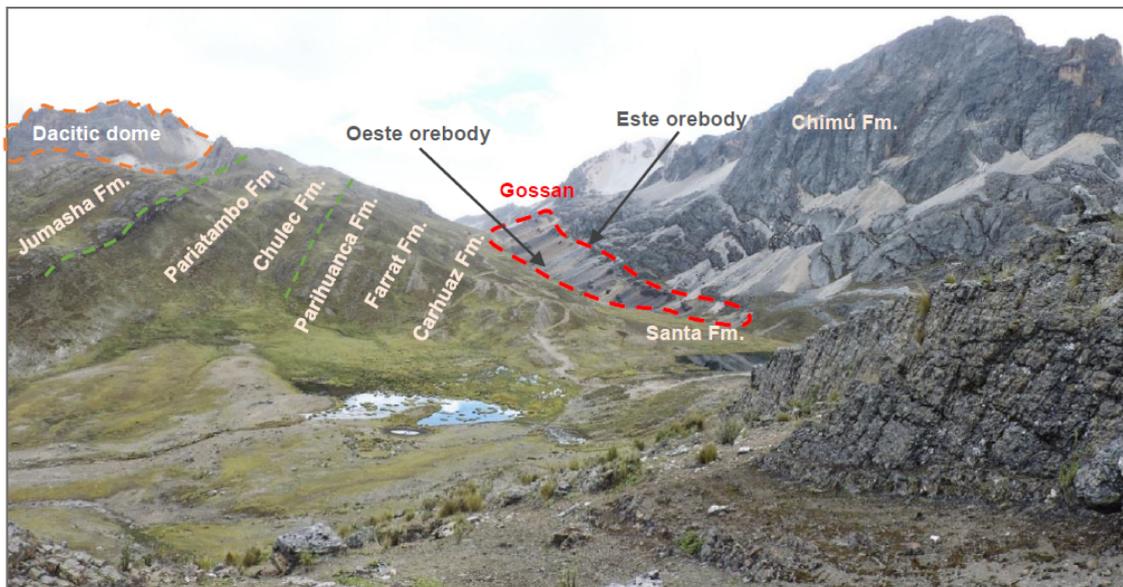


Fig. 4. NW view. Limpe sector North. Gossan, East and West ore bodies.

림페 중부

이 섹터의 광상은 산타층의 기저부와 정상부에 위치한 두 개의 준평행한 석회암층들이 변성교대작용을 받아 생성되었으며, 두 개의 준평행한 석회암층들의 이격은 30~40 m이다. 각 광체는 산타층의 “에스텔라(Estela)”와 “올가(Olga)”로 불리운다(Fig. 5).

1) 변질 및 광화작용

에스텔라 및 올가 광체의 모양은 열수 변질작용을 받았다. 주 변질작용은 에스텔라(Estela) 광체에서 관찰된다. 정상부에서는, 황철석화작용과 이질화작용이 존재한다. 횡단단층을 수반한 교차지역에서는 프로필라이트화작용이 국지적으로 발견되고, 기저부를 향하면서 약한 돌로마이트화작용과 보통의 규화작용이 부존한다.

림페 중부 남쪽에서는 석류석(회반석류석)과 다량의 자류철석이 발견되며, 심부의 관입체와 관련된 광물학적 누대구조로 판단된다.

산타층을 따라 4개 광화시기가 구별된다(Rojas, 2012; Acosta *et al.*, 2015): 첫번째 광화시기는 연장 광체 또는 층상규체 및 괴상 황철석이 산출되는 시기이며, 두번째 광화시기는 섬아연석, 황철석 및 황동석을 수반한 황철석 광체에서 스카른광물이 형성되는 시기이며, 세 번째 광화시기는 주로 에스텔라(Estela) 광체에서 은광물을 수반한 방연석이 생성되는 시기이며, 네 번째 광화시기는 경철석, 적철석 및 저품위의 황동석이 형성되는 시기이다.

또한, 에스텔라와 올가 광체사이의 단열대를 따라 동광화작용을 수반한 최후 열수 광화시기가 인지된다.

에스텔라 및 올가광체의 교차단층의 주향이 이 지역 광화대의 통로역할을 하는 안데스단층과 연결되어 있는 것으로 사료되며, 동은 상승과 침전에 최적인 투수대를 가진 것으로 사료된다. 이런 식으로, 광물침전의 공생관계는 광화초기부터 후기로 가면서 다음과 같이 나타난다(Rojas, 2012; Acosta *et al.*, 2015): 맥석⇒황철석⇒황철석II(황철석+Ni)⇒섬아연석, 황동석, 자류철석, 황비동석, 황석석⇒방연석, 함은방연석, 반동석⇒코벨라이트⇒적철석, 경철석, 황동석 순이다.

2) 에스텔라(Estela)광체

본 광체의 다금속 광화작용은 오렌지색 섬아연석, 철섬아연석, 함은방연석 및 황동석으로 구성된다. 광체의 주향 및 경사는 N20~25°W 및 80~85°NE이다. 지표면에서, 노두들은 용탈작용을 받아 황철석으로부터 철산화물, 침철석, 갈철석이 생성된다. 고산이 지표에 노출되어 있고 갱내도를 참고할때 상대적으로 아연 광화작용의 정상부가 깊고 아직 산화-용탈작용을 받지 않았음을 의미한다(Fig. 6).

에스텔라 광체 모양은 층후 5~30 m이고 연장은 300 m의 탁상 내지 렌즈상이다. 에스텔라 광체는 괴상 광체와 기저부에 석회암과 돌로마이트 쇄설암이 수반된 각력대로 구성된다.

에스텔라 광체는 다음과 같이 구성된다(Rojas, 2012; Acosta *et al.*, 2015):

· 괴상광체: 에스텔라 광체의 상반에 위치하고 있으며, 섬아연석과 황철석의 박층과 협재된 세립질의 역청질 석회암이 부존하고 있다. 이 광체는 중간 심도

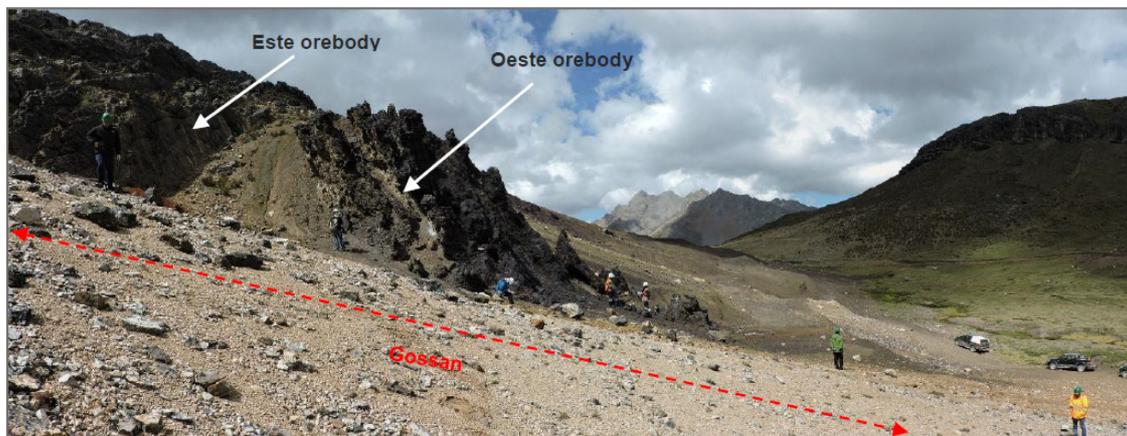


Fig. 5. East and West ore bodies in Limpe Center.

에서 경도 연장 300 m로 경제성있는 광물이 7~25 m 층후로 부존하며, 천부에서는 더욱 규모가 작다.

· 각력광체: 본 광체는 주요 광석광물이 형성된 이후에 생성되었으며 광역적인 단층과 관계가 있고 동일한 유형이 경도상으로 배열되어 있는데, 특히 괴상 광체의 서부 모서리를 따라 특징적으로 발달되어 있다. 암상으로 보면, 이 광체는 괴상광체의 암설 잔유물로서 단층대의 압쇄암에 병합되어 있다. 결과적으로, 관찰되는 광화작용은 괴상암체와 같다.

3) 올가(Olga)광체

본 광체는 괴상 황철석 내 다양한 크기의 공동에서

정출되었고 괴상조직의 섬아연석 광화작용이 특징적이다. 섬아연석은 황철석 광체의 북쪽 및 남쪽 모서리에 산점되어 있다. 산점되어 있는 섬아연석은 약한 교대작용을 받은 방연석과 미립으로 산포된 휘은석과 균일하게 산출된다(Rojas, 2012; Acosta *et al.*, 2015) (Fig. 6).

틴약(Tinyag) (림페 남부)

틴약광체는 스키른 광화작용을 받았으며, 림프 중부의 올가 및 에스텔라 광체의 연장선과 일치한다. 틴약광체는 지표에서는 6개 층준을 지니고 심부에서는 2개 층준을 지닌 단일한 광체이다. 광화작용은 스



Fig. 6. Location of Olga and Estela ore bodies modified from Rojas (2012).



Fig. 7. Chupa and Tynyag mine and Rosita open pit.

카른 내 산점상으로 존재하며, 섬아연석(철섬아연석), 황철석, 황동석, 자철석등의 괴상광체를 형성한다(Fig. 7).

광화작용의 양상은 관입체 노두가 없는 외성스카른과 일치하며, 구성광물은 양기석, 투각섬석, 헤텐버자이트, 자철석, 경철석, 석영 및 방해석 뿐만아니라 회반석류석 및 회철석류석과 같은 중간성분의 석류석들로 구성된다. 광체 하부에는, 녹니석, 녹염석 등이 배태되어 있다. 석류석의 색깔은 약간 갈색을 띤 황녹색이며 괴상내지 입상의 조직을 갖는다(Rojas, 2012; Acosta *et al.*, 2015).

1) 광상지질

지표 광체의 노두는 빙퇴석과 최근의 퇴적물로 덮혀있기 때문에 광체 파악이 제한되어 있다. 그러나, 소규모 스카른 광화작용을 받은 노두에서, 산점상의 작은 렌즈상의 황화물, 섬아연석(철섬아연석), 황철석, 자류철석이 산출되고, 석영, 방해석, 자철석, 갈철석 및 일부 경철석을 수반한다. 시료분석결과, 아연 5.69%, 연 0.02%, 동 0.10%, 은 0.15 oz/t의 평균 품위를 갖는다.

2) 편약광체의 변질작용 및 광화작용

석회암내 발달한 변성교대작용으로 석류석, 투각섬석, 녹염석, 방해석 등으로 구성된 스카른이 생성되었다. 금속광화작용은 스카른화작용 이후에 발생했거나 아마도 스카른의 형성이 완전히 끝난후 시작되었을 것이다. 일반적으로 후퇴 스카른단계에서는 유체의 혼

합, 비등, 파쇄 및 각력화가 발생할수 있는데, 이러한 메카니즘이 금속광화작용을 야기한 것으로 사료된다(Meinert, 1992; Dipple and Gerdes, 1998). 또한, 열수단계 후기에서 유체는 대개 스카른을 치환하고 간극과 단열을 충전했을 것으로 사료된다. 이런 식으로, 아연 광화작용은 괴상광체, 산점상, 조각상 및 세맥상으로 발견된다(Rojas, 2012; Acosta *et al.*, 2015).

편약 스카른광상에서 가장 중요한 규제요인은 층서규제와 구조규제인데, 층서규제의 경우 석회암과 같은 탄산염질 암석들은 규장질암석에 의해 관입될 때 변성교대 지대로서 작용한다. 그리고, 구조규제의 경우 주요 광화작용은 인장력에 의한 단열작용에 의해 규제를 받으며, 유체의 순환에 유리한 것으로 사료된다.

3) 편약광체의 공생관계

광물공생관계로 보면, 광화초기부터 광화후기까지 가면서 맥석(석류석, 녹염석, 양기석-투각섬석)⇒석영⇒자철석-방해석⇒적철석⇒자류철석-황철석⇒섬아연석-황동석⇒변질광물(갈철석, 녹니석등) 순서로 정출된다.

4) 편약광체의 구성광물

광석광물은 섬아연석, 철섬아연석, 황동석, 2차 동 황화물(회동석, 코벨라이트)로 구성되어있고, 맥석광물은 황철석, 자류철석, 자철석, 적철석, 석영, 방해석, 석류석 등이다.

추파(Chupa) 광상

추파광상은 빠리아후안카층의 석회암에 배태되어 있으며, 석회암층서의 기저에 있으며 규암 및 석영질 사암으로 구성된 파랏층 위에 놓여있다(Rojas, 2012) (Fig. 7).

추파지역은 지표상에 관입암은 없지만 교대에 의한 광체의 존재로 보아 심부 관입체의 존재를 암시한다. 그러나, 빠리아후안카층 석회암의 변성교대작용의 결과로서 형성된 스카른도 부존된다. 이 스카른은 암녹색의 괴상이며 석류석(회반석류석, 회철석류석), 헤덴버

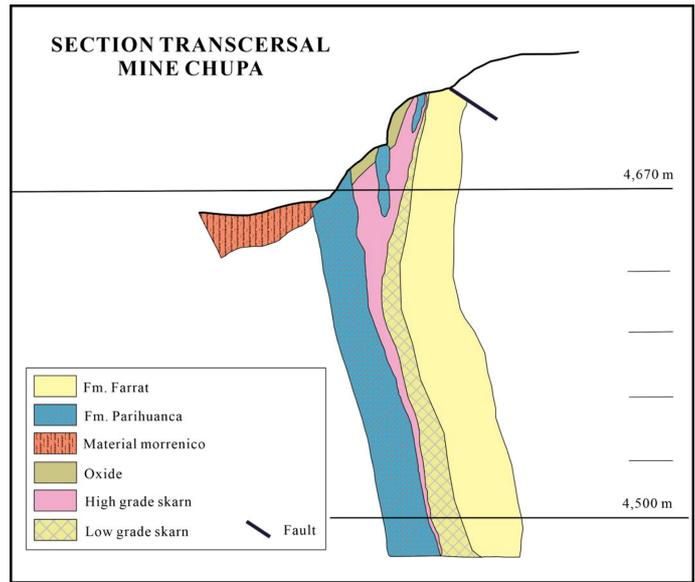


Fig. 8. Chupa mine cross section modified from Rojas (2012).

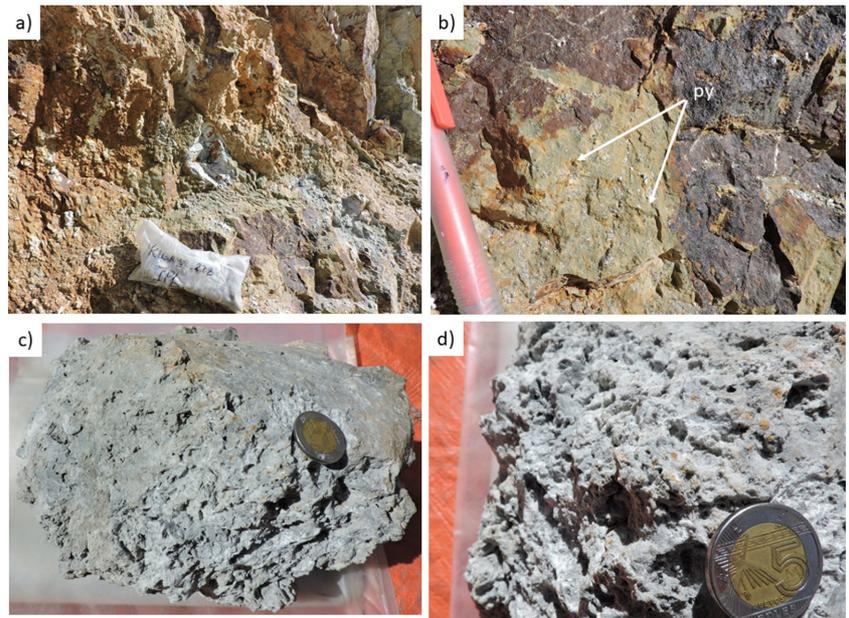


Fig. 9. (a) Limonites filling fractures, (b) Coarse pyrite (py) and native sulfur veinlets, (c) and (d) silicified structure (probable breccia) with advanced argillization. Abbreviation: py=pyrite.

Table 1. Reserves and resources-December 2014 (Minera Los Quenuales, 2014)

Reserves						
Category	dmt	Zn %	Pb %	Cu %	Ag Oz/t	VPT \$
Proven	696,473	8.77	0.69	0.25	0.92	101
Probable	2,969,045	6.98	0.71	0.21	1.14	101
December 2014	3,665,518	7.32	0.71	0.21	1.09	101
Resources						
Category	dmt	Zn %	Pb %	Cu %	Ag Oz/t	VPT \$
Measured	765,638	9.46	0.73	0.34	1.01	98
Indicated	3,147,832	7.66	0.78	0.25	1.28	
Inferred	8,932,618	5.07	0.72	0.12	0.43	104
December 2014	12,846,087	5.97	0.73	0.17	0.67	101

자이트, 투각섬석, 석영, 방해석, 자철석, 일바이트, 경철석, 녹니석, 녹염석 등의 광물들로 구성된다. 관찰된 광물로 보면, 비교적 순수한 석회암의 교대에 의해 야기된 Ca-Fe-Si 스카른으로 분류된다(Rojas, 2012)(Fig. 8).

에스콘디다 탐광지역

본 역은 N160/80SW 주향경사의 까르후아즈(Carhuaz)층의 박층 협재된 실트암 및 사암에 배태된 친열수 고유황형 광상으로 사료된다. 본 광상의 금품위는 0.2 g/t이다. 갈철석이 열극을 충전하고 있으며, 조립질 황철석 세맥이 발달된다(Fig. 9a-b). 광체구조는 아마도 각력암인데 강력한 규화작용을 받았으며 석영-명반석이 어우러진 정동석영과 혼재되며, 강고령 토화작용을 받은 것으로 사료된다(Fig. 9c-d).

이스카이크루즈 프로젝트의 매장량 및 자원량

1997년부터 2014년까지 아연 총 생산량은 1,617,027 metric fine tons이다(Table 1).

결 론

1. 이스카이크루즈 프로젝트의 지질은 주로 백악기 분지 내 퇴적암으로 구성된다. 본 역의 기저부는 암회색 셰일, 회색 사암 및 탄층이 협재된 오른층의 쇄설성 암석들로 구성된다. 본역 동부의 습곡대에는 중립질 괴상 및 백색의 규암을 배태한 치무층이 부존한다. 지질구조 관점에서, 이스카이크루즈 지역은 옥시덴탈 산맥 중앙부의 습곡 및 층상단층대에 위치한다.
2. 이스카이크루즈 프로젝트 광체는 주로 열수교대

작용에 의해 생성되었으며 구성광종은 아연, 연, 은 및 동이다. 그리고, 층상규제형 광상은 산타층의 석회암에 배태되며 까나이빠따 북부부터 안다팸팸 남부까지 12 km를 불연속적으로 연장된다. 또한, 산타 및 빠리후안카층에 배태된 불규칙한 철산화물 및 황화물 광체가 관찰된다. 지표에서 관찰되는 광화작용은 섬아연석과 부수적으로 방연석 및 황동석으로 구성된 1차 황화물과 산화작용을 받아 생성된 철 및 망간산화물로 구성된다. 스카른 광물에는 투각섬석, 석류석, 녹염석 및 석영이 수반된다.

사 사

이 연구는 한국지질자원연구원에서 수행중인 “국내 바나듐(V) 등 에너지 저장광물 정밀탐사기술 개발 및 부존량 예측” 과제(21-3211)의 지원으로 수행되었다. 그리고, 자료제공에 도움을 주신 페루지질광업제련연구소(INGEMMET)의 호르헤 아코스타 알레에게 감사드린다.

REFERENCES

- Bendezú, R., & Fontboté, L., 2009, Cordilleran epithermal Cu-Zn-Pb-(Au-Ag) mineralization in the Colquijirca district, central Peru: Deposit-scale mineralogical patterns. *Economic Geology*, 104, 905-944.
- Cuadros, L., Cordova, D. and Alejano, L.R., 2007, Geomechanical features of the exploitations of Iscaycruz mine(Peru). 11th International Congress of the ISRM. Lisbon(Portugal). Taylor & Francis.
- Dipple, G.M., Gerdes, M.L., 1998, Reaction-infiltration feedback and hydrodynamics at the skarn front. *Mineralogical*

- Association of Canada Short Course Series, 26, 71-97.
- Empresa Minera Los Quenuales, 2016, <https://www.irsa.com.pe/web/homepage.html>
- Glencoreperu, 2020, <https://www.glencoreperu.pe/es/quienes-somos/Paginas/Operaciones-en-Peru.aspx>
- Grant, J.N., Halls, C., Sheppard, S.M. and Avila, W., 1980, Evolution of the porphyry tin deposits of Bolivia. *Mining Geology Special Volume*, 8, 151-173.
- INGEMMET, 2005, Study of the mineral resources of Peru, band No. 4, *Bulletin. Serie B: Economic Geology*, n. 14, 422p.
- Jorge, A.A., Alexander, S. and Dina, H., 2015, Lead and zinc in Peru: Resources and supply trends. PERUMIN. Lima, September
- Krstulovic, G.L. and Ovalle, A., 2004, Estudio de perfil: Explotacion subterranea de minas Rosita y Tinyag. Met-alica Consultores. Internal Report. Santiago de Chile.
- Lee, J., Kim, I. and Nam, H.T., 2017, A survey report on the polymetallic mineralization in the Oyon mineralized district, Central Peru. *Economic and Environmental Geology*, 50, 73-83.
- Meinert, L.D., 1992, Skarns and skarn deposits. *Geoscience Canada*, 19, 145-162.
- Minera Los Quenuales, 2014, <http://anddes.com/proyecto/1665/>
- Rojas, L. 2012, Analysis cemented aggregate fill in deepening mined by long holes in the Iscaycruz mine - Mining company the Quenuales S.A. Cerro de Pasco (Perú). Thesis for the degree of Engineer of Mines, National University Alcides Carrión. 58p.
- Sillitoe, R.H., 1976, Andean mineralization: a model for the metallogeny of convergent plate margins. *Geological Association of Canada, Special Paper*, 14, 59-100.
- Stoll, W.C., 1965, Metallogenic provinces of South America: *Mining Magazine* 112, 22-33.

Received November 23, 2020

Review started November 24, 2020

Accepted January 16, 2021

[저자 정보]

- 허철호: 한국지질자원연구원/책임연구원: 과학기술연합대학원 광물·지하수자원학과/교수
- 남형태: 과학기술연합대학원 광물·지하수자원학과/대학원생