멕시코 시나올라주의 지질 및 금속광물자원

남형태 · 허철호*
한국지질자원연구원

Geology and Metallic Mineral Resources of Sinaola State in Mexico

Hyeong-Tae Nam and Chul-Ho Heo*

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

The geology of Sinaola state consists of Precambrian metamorphic rocks(Sonobari Complex), two Paleozoic units(lower non-differentiated metamorphic rocks and upper Carboniferous sedimentary rocks), five Mesozoic units(metavolcanic, clastic, and calcareous rocks), Cenozoic volcanic rocks, and Quaternary clastic sediments and volcanic flows. The Sinaola state is potentially rich in metallic mineral resources with lower degree of non-metallic mineral resources. They are related to a variety of geological environments and are mainly physiographically located on the Sierra Madre Occidental. Mainly known mineral deposits are of gold and silver followed by zinc, lead, copper and some iron. The state also has deposits of molybdenum, tungsten and bismuth that have been occasionally exploited. There is a reference of nickel and cobalt mineralization, but these deposits have been exploited only at a small scale.

Key words : geology, metallic mineral resources, Sinaola, Mexico

멕시코 시나올라(Sinaola)주의 지질은 하부로부터 선캄브리아기 변성암(Sonobari Complex), 두 개의 고생대층(하부: 미분화된 변성암, 상부: 석탄기 퇴적암), 변성화산암, 쇄설암, 탄산염암으로 구성된 5개의 중생대층, 화산암으로 구성된 신생대 암석, 제 4기의 쇄설성 퇴적층과 화산류로 구성되어 있다. 시나올라주는 잠재적으로 금속광물자원이 풍부하며 비금속광물은 적은 편이다. 광상들은 다양한 지질환경과 관련되어 있고 지형학상 시에라 마드레 옥시덴탈(Sierra Madre Occidental)에 분포되어 있는 것이 특징적이다. 주로 알려진 광상은 금과 은이며 뒤를 이어 아연, 연, 동과 일부 철이 분포한다. 시나올라주는 가끔 가행하고 있는 폴리브테늄, 텅스텐, 비스무스 광상도 부존되어 있다. 니켈과 코발트도 부존이 알려져 있으나 단지 소규모로 개발되었음이 보고되고 있다.

주요어 : 지질, 금속광물자원, 시나올라, 멕시코

1. 서 론

멕시코는 세계적인 원유 및 은, 철 등 각종 광물자원을 보유한 국가로 광업은 멕시코 GDP의 5%를 차지하며 전 세계 9위 광물생산국의 지위를 가진다(KOMIS, 2013). 1990년대 초부터 민영화 및 외국인 투자 개방을 통해 다수 외국기업이 진출해 있다. 아연과 폴리브테늄, 흑연 생산은 각각 세계 10위 안에 속하며, 은, 창연, 천청석, 비소, 카드뮴, 안티모니, 연, 중정석 생산은 각각 세계 5위권에 들어 있다. 멕시코의 대

표적인 3대 광업회사로는 Industrias Penoles SA de CV, Grupo Mexico, Empresas Frisco de CV가 있다. Grupo Mexico는 멕시코 동 생산의 90% 이상을 차지하고, Industrias Penoles는 세계 최대의 은 생산 회사이다. 멕시코 광물산업은 2011년 전체 GDP의 4.9%를 차지하는 주요전략 산업분야로서 총 광물 생산액은 17,172백만불로 은 26%, 금 24%, 구리 21%, 아연 7%, 기타광종 22%를 차지한다. 광물은 자동차, 가전제품, 원유에 이어 멕시코의 4번째 외화 수출원이며, 광종별로 수출액(백만달러)을 비교하면 금(7,569),

*Corresponding author: chheo@kigam.re.kr

은(4,897), 구리(3,265), 철광석(2,033), 연(1,174) 등이다. 광물산업은 2011년 5,563백만불의 외국인 투자를 유치하며 멕시코 전체 투자유치액중 약 20%를 차지하고 2011년 309,000명의 고용창출에 기여했다. 지역별 광물보존 비중을 보면 소노라(Sonora)주 28.0%, 사카테카스(Zacatecas)주 25.0%, 치와와(Chihuahua)주 12.0%, 코아우일라(Coahuila)주 9.0%, 두랑고(Durango)주 6.11% 등 멕시코 북중부 및 북서부 쪽에 집중되어 있는 경향이 있다. 멕시코는 생산량이 세계 10권 안에 드는 광종을 다수 보유하고 있으며 은 1위, 형석 2위, 규회석 3위, 연 5위, 몰리브덴 5위, 아연 7위, 망간 8위, 금 10위, 동 10위를 기록하고 있다. 전세계 광물탐사를 위한 총 투자예산은 182억불로 추산되며 이중 중남미에 26%, 캐나다 16%, 아프리카 15%, 호주 13%, 미국 7%, 아시아 6%, 기타지역 17%가 배분되어 있다. 멕시코는 주요광물의 탐사 투자액으로 2009년 366백만불, 2010년 726백만불, 2011년 978백만불이 탐사사업에 투자가 이루어졌다. 288개 외국계 광물회사가 803개의 광산 프로젝트 개발을 진행하고 있으며 이중 캐나다 회사가 208개로 압도적으로 많다(KOTRA, 2010; 주멕시코 대한민국 대사관, 2012).

멕시코는 헌법 27조에 기초하여 광물개발 및 투자촉진을 위해 광물법을 시행하며 법의 요지는 다음과 같다. 첫째, 광물을 포함한 모든 천연자원은 국가 소유이며 광물업무는 연방정부가 관장한다. 둘째, 지질조사 지원, 광업촉진, 법적 확실성 확보, 금융 기술 지원 등 강력한 정부의 광물산업 지원 구조를 보유하고 있다. 셋째, 광업권은 멕시코인 또는 멕시코 법인(외·투법인 포함)에 대해 50년을 보장하며 또 다른 50년의 연장허가가 가능하다. 넷째, 먼저 신청한 자에게 우선적 권리를 부여하는 원칙하에 방산물질을 제외한 모든 광업권을 허용하고 있다. 다섯째, 멕시코 법체제 하에 있는 법인에 대해 외국 자본의 100% 참여를 허용하고 있다. 여섯째, 광업권의 자유로운 양도가 허용되고 있다. 일곱째, 멕시코 정부는 광업권에 따른 로열티를 부과하지 않으며 다만, 토지사용 및 법인세는 부과한다. 여덟째, 광물로 인한 수익의 자유로운 국제간 이동이 허용된다. 아홉째, 멕시코 지질조사소의 관련 정보를 웹사이트를 통해 제한없이 접근 가능하다. 열째, 광물을 수출 및 투자 유치분야로 인식하여 에너지부가 아닌 경제부가 관장하고 있다. 열한번째, 경제부 1급인 광물총괄조정관(Coordinacion General de Minería)이 광물산업을 총괄하며 산하에 광업법 및 제도를 관장하는 광업국, 광업투자정보를 관장하는 광업진흥국, 광물

산업 금융 및 기술지원, 인력양성을 관장하는 광물신용, 지질정보 조사 지원업무를 관장하는 지질조사소의 조직을 두고 있다. 열두번째, 광업허가를 취득하기 위해서는 노동부, 환경부, 수자원공사, 국방부, 농업개혁부에서 정한 각종 인허가 충족이 필요하다. 열세번째, 환경영향 평가 및 위험 보완, 이주민 대책, 폐광계획, 운송차량 운영대책, 폭파허가, 물관리, 숲보전, 야생동물 보호, 자연보호관리계획 등의 이행이 필수적이다. 열네번째, 기업의 사회적 책임이 법적 의무는 아니나 사업의 성패를 위해서는 연방 및 지방정부, 지역 커뮤니티와 공조하는 것이 매우 중요하다.

멕시코가 최적의 광물투자국인 이유는 첫째, 안전한 외국인 투자를 위해 강력한 법적, 경제적, 정치적 안정성이 보장되어 있으며, 둘째, 남미 1위, 세계 4위의 광물탐사 투자유치국이다. 세 번째, 생산량 대비 세계 12위 안에 드는 16개 광종을 보유하고 있다. 네 번째, 세계 다섯번째 저위험 광물투자 대상국이자 가장 유리한 조건의 광물 조세체계를 보유하고 있다. 다섯 번째, 세계 광물회사의 58%를 차지하고 있는 토론토 증권시장 투자가로부터 캐나다, 미국 다음으로 세계에서 가장 매력적인 광물투자 대상국으로 평가되고 있다. 여

Fig. 1. Location of Sinaloa state in Mexico.

섯 번째, 라틴아메리카 국가중 비즈니스 하기 쉬운 국가 1위로 평가되고 있기 때문이다.

본 해설은 멕시코의 시나올라주 지질-자원 정보 해석을 통한 광화대 부존지 예측 및 유망광화대 선정에 활용될 것으로 사료된다(Jose Cardenas Vargas *et al.*, 1992; Fig. 1).

2. 지 질

멕시코 시나올라주의 지질은 하부로부터 선캄브리아기 변성암(Sonobari Complex), 두 개의 고생대층(하부: 미분화된 변성암, 상부: 석탄기 퇴적암), 변성화산암, 쇄설암, 탄산염암으로 구성된 5개의 중생대층, 화산암

으로 구성된 신생대 암석, 제 4기의 쇄설성 퇴적층과 화산류로 구성되어 있다(Fig. 2).

2.1. 선캄브리아기 변성암(Pem)

시나올라주의 가장 오래된 암석은 선캄브리아기로 추정되고, 노출면적은 약 150 km²이다. 형태상으로 이 암석은 샌프란시스코(San Francisco)와 소노바리(Sonobari) 산맥을 형성한다. 아기아밤포(Agiabampo)만의 북쪽으로 소규모 노두가 산출되고 있다. 선캄브리아기 암석들은 북-북동방향의 산맥을 형성했으며 연장은 약 45 km, 폭 5 km이며 고도는 해발 600 m이다. 소노바리 산맥에서, 기반암은 잘 알려져 있지 않고, 이 산맥의 정상은 제3기 쇄설암과 화산암 및 현세 퇴적물로

Fig. 2. General geologic columnar section in Sinaola state.

덮혀 있다. 시나올라주의 선캠브리아기 암석은 변형된 변성암으로 백운모와 흑운모로 구성된 편마암이며, 변형된 페그마타이트와 혼성암에 의해 협재되고 관입된 각섬암을 수반하고 있다.

2.2. 고생대(P)

고생대 암석은 약 2,500 km² 면적으로 매우 불규칙하게 분포되어 있으며, 노두는 시나올라주의 북부에 부존하고 있다. 엘 푸에르테(El Fuerte), 산 호세 데 가르시아(San Jose de Gracia), 바다라구아토(Badiraguato), 쿨리아칸(Culiacan), 코살라(Cosala)의 북쪽, 마자틀란(Mazatlan)근처에서 노두가 잘 노출되어 있다. 이 층서의 기반암의 위치가 알려지지 않았기 때문에, 기반암은 지체구조적으로 선캠브리아기 소노바리 복합체를 덮고 있으며 중생대 변성암 및 신생대 화산성 채설암 아래에 놓여있다는 것을 추정할 수 있다. 고생대 암석은 변성암과 퇴적암으로 구성되어 있다. 변성암(Pm)의 연령은 하부 고생대로 사료되며 퇴적암(Ps)의 연령은 상부 고생대이다.

하부고생대 미분화 변성암(Pm) : 일반적인 층서는 녹색편암상에 해당하는 백운모 편암으로 구성되어 있으며, 운모질 광물과 석영입자간 교호의 결과인 뚜렷한 엽리가 보인다. 마자틀란 근처의 노두는 니질 편암과 습곡작용을 심하게 받은 각섬암이 특징적인 반면에 바다라구아토의 노두는 규암이 협재된 회색 및 녹색 편암으로 구성되어 있다. 층서상으로 보면, 암석연대는 석탄기 이전으로 평가되며 보통 하부 고생대로 불리우고 층후는 200 m 이상으로 사료된다.

상부 고생대(Ps) : 대부분의 노두는 산 호세 데 지역에 위치한 고생대 퇴적암과 일치하며, 탄산염질 구조를 보이는 이토질 층서뿐만 아니라 슬레이트, 규암, 재결정된 석회암, 플린트 층서로 구성된 다양한 암상을 포함한다.

이 층은 층후가 적어도 800 m 정도 되며, 세로 엘 피라메(Cerro El Pirame)지역의 산 호세 데 그르시아에 노출되어 있다. 본 층서는 덜 변형되어 있으며 수많은 관입암을 따라 단층과 변형작용이 강한 편이다.

또한 석회암도 부존하고 있으며 협재된 사질 층준을 포함하며 초기의 변성정도를 보여준다. 이 층은 오르도비스기에서 페름기에 존재한 태형동물의 화석과 후기 미시시피안에서 하부 펜실베이니아 시기에 존재한 Fusulinida Millerella종의 유공충이 존재한다. 고생대 퇴적암 노두는 시나올라주와 치와와주 사이의 시나올라 하곡에 분포되어 있다.

2.3. 중생대

시나올라주의 중생대 층은 5개의 층으로 구성되어 있으며 이 층들은 고기층부터 신기층으로 보라위(Borhui)층, 뽀로위(Porohui)층, 오피올라이트 복합체, 하부 백악기의 석회암으로 덮혀있다. 이 후기 중생대 지역은 제한된 지역에만 나타나며 시나올라주의 북쪽 지역에 부존하고 있다. 이 암석의 연대는 상부 쥐라기에서 하부 백악기로 규명되어 있다.

대륙성 상부 쥐라기 보라위층(Jb) : 시나올라주에서 알려진 가장 오래된 중생대 암석들은 쥐라기로 알려졌으며, 이는 보라위층의 변성화산암층과 일치한다. 바쿠라토(Bacurato)지역에서 일부 현무암질류는 시나올라의 고대 호상열도로 판명되었다.

이 쥐라기 암석들은 시나올라 데 레이바(Sinaloa de Leyva)에서 동쪽으로 30 km 떨어진 고생대 암석과 부조화적으로 정치되어 있다. 외부로 노출이 적고 연구가 많이 이루어지지 않았기 때문에 층후는 알려져 있지 않다. 면적은 12 km²이며 작은 언덕을 이루고 있다.

미분화된 대륙성 중생대 변성암 층서(Mvm) : 이 층서는 수백 km²에 걸쳐 불규칙하게 분포되어 있다. 이 노두는 주의 북쪽에 위치한 많은 작은 언덕을 이루고 있다. 이 층은 염기성, 중성 및 산성 변성화산암으로 구성되어 있으며 화산쇄설성 물질들이 협재되어있고 광역 및 접촉 변성작용에 영향을 받았다. 그 하부 접촉부는 알려져 있지 않으나, 아마도 고생대층위에 부조화적으로 정치되어 있는 것으로 사료된다. 상부 접촉부는 백악기 층의 탄산염질 암석과 평행하게 발달되어 있다. 이 층에서는 화석이 부족하여, 암석연대는 알려져 있지 않으나 하부 백악기 이전의 시대로 사료된다.

하부 백악기 화산-퇴적성 뽀로위(Kp) : 이 층은 바쿠비리토(Bacubirito)근처의 시나올라강의 사행천이 존재하는 곳에 부존하며 구스타보 디아즈 오르다즈(Gustavo Diaz Ordaz)댐의 남서쪽지역에만 보고되어 있다. 면적은 약 100 km²이며 NE-SW방향의 소규모 산맥이 존재한다. 층후는 최대 300 m이며 주로 회색의 원양성 석회암으로 구성되어 있다. 이 층은 오피올라이트 복합체의 베개용암층 상부에 놓여있다. 이 층은 고생대 암석과는 부조화하게 놓여 있고 부분적으로 제3기 중기의 화산암으로 덮혀 있다. 이 층의 연대는 오피올라이트 복합체내 층서적 위치를 고려하여 하부 백악기로 사료된다.

미분화 해양성 백악기 오피올라이트 복합체(Kco) : 이 층은 바쿠라토 통(Bacurato Series)으로 알려져 있고, 하부 백악기와 연관되어 있다. 이 층은 반려암, 조

립현무암, 각섬암, 베개용암으로 구성되어 있다. 이 층의 실제 층후는 지체구조적 복잡성 때문에 알수는 없고 라라미드 조산운동으로 인해 대륙에 정치된 것으로 고려된다. 이 복합체와 유사한 암석들은 시나올라주내에서는 보고되지 않았다.

해양성 하부 백악기층(K) : 이 석회암은 주 전체에 걸쳐 분포되어 있으며 총면적은 360 km²이다. 이 층서적 관계는 하부 백악기 석회암과 다른 종류의 젊은 암석간의 접촉부가 관찰 되지 않았기 때문에 추가연구가 필요하다. 페리코스(Pericos)마을 근처 부엘타 델 세로(Vuelta del Cerro)지역에는 하부 백악기로 판단되는 표식지가 있다. 이 층은 반암질 안산암과 알바이트-녹염석 혼펠스가 특징인 염기성 변성화산암으로 구성되어 있다. 시나올라주에서는 상부백악기의 암석이 발견되지 않으나 일부 암석들에서는 상부 백악기와 관련된 것으로 알려져 있기도 하다. 이들 암석들은 안산암 유형의 응회암과 각력암이 석회질 성분을 함유한 역암과 협재되어 있는 것이 특징이다. 층후는 수백 m이다.

2.4. 신생대(T)

시나올라주에서, 제3기 대륙성 암석들이 가장 풍부하며 제 3기초부터 후기까지 7개층으로 세분된다. 이들 층군들은 분출성 화산암, 관입 화성암, 화산쇄설암 및 퇴적암으로 구성된다. 층서적으로, 이들 층군들은 중생대 퇴적암을 덮고 있으며 일부 노두에서는 제 4기 층이 이들 층군을 덮고 있다.

하부 3기 화산층(Tiv) : 이 층은 제 3기층에서 가장 오래된 층이며, 암석학적으로 응결응회암 및 응회암질 사암 뿐만아니라 안산암질, 유문암질 및 현무암질 특성을 지닌 응회암, 각력암 및 집괴암으로 구성되어 있다. 이 층은 중부 3기 화산쇄설암층과 경사부정합을 이루고 있다.

중부 3기 화산-쇄설암(Tmvc) : 이 층은 안산암질 및 유문암질 특성을 지닌 응회암, 집괴암 및 용암을 포함한 화산쇄설암을 함유하는 것이 특징적이다. 역시 사암, 응회암질 사암 및 역암도 함유하고 있다. 시나올라주의 북부지역에는, 이 암석들은 산 블라스(San Blas)층으로 표현된다. 그 상부 접촉대는 분명히 상부 3기 화산쇄설암과 정합적으로 놓여있고 층후는 350 m로 계산된다.

상부 3기 화산쇄설암(Tsvc) : 이 층은 시나올라주의 남부지역에서 안산암질 응회암, 역암 및 화산이류로 구성된 화산쇄설암에 의해 형성되어 있다. 지형은 단층 작용에 의해 만들어진 심부 협곡을 지닌 블록들로 되

어 있고 일부는 고원처럼 보인다.

상부 3기 화산암(Tsv) : 이 층은 시나올라주에 걸쳐 넓게 분포하고 있다. 특징적으로 시에라 마드레 옥시덴탈의 상부 지역을 덮고 있다. 이 층은 본질적으로 유문암, 유문암질 응회암 및 응결응회암으로 구성되어 있으며, 일부 노두에서는 석영안산암이 협재되어 있다. 이 층의 하부에는 부정합으로 상부 3기 화산암이 놓여 있다. 방사성 연대측정결과는 평균 1천 3백만년이며 층후는 확정되지 않았다.

쇄설성 상부 제 3기(Tsc) : 이 층의 층후는 200~300 m이며 역암, 응회암질 사암, 자갈, 장석사암 및 사암으로 구성되어 있으며 시나올라주 북부지역의 마우네(Maune)층이 전형적이다. 마우네층은 층리가 발달되어 있고 갈철석이 협재되어 있는 쇄설성암으로 구성되어 있다. 이 층은 산 블라스 북쪽에서 끝나는 분지에 퇴적되어 있다.

염기성 상부 제3기(Tsb) : 이 층은 염기성 조성의 화산 생성물로 구성되며, 주로 각력암 및 현무암질류로 되어있고 이 화산층서의 상부를 구성하고 있는 래타이트-안산암이 소규모 부존하고 있다. 이 층은 오르니요스(Hornillos)층을 포함하며, 나바치스테(Navachiste)층과 같은 조성을 지닌 감람석 현무암류와 각력암으로 구성되어 있다.

현무암 및 안산암 상부 제3기(Tsba) : 이 층은 플라이오세 현무암과 안산암과 같은 염기성의 미분화된 특징을 가지고 있으며, 시나올라주의 북부에 넓게 분포하고 있다.

쇄설성 플라이스토세 제4기(Qpc) : 이 층은 다양한 조성의 쇄설물로 구성되어 있는 돌서령 역암질 퇴적물과 충적성 선상지로 구성된다. 이 층은 지형학적으로 완만한 언덕으로 관찰되며, 주로 시에라 마드레 옥시덴탈의 해안평야와 제 1지맥사이에 주로 위치하나 시나올라주의 주요 하천의 분지들과 밀접하게 관련되어 있다. 이 층 하부에는 시나올라주의 북부지역의 마우네층이 부존되어 있고 충적성 테라스를 구성하는 고기암석들을 덮고 있다.

염기성 플라이스토세 제4기(Qpb) : 이 층은 감람석 현무암으로 구성되어 있으며 래타이트 및 현무암으로 구성된 최종 염기성 분출물로 구성된다.

후기 해양성 및 하안성 플라이스토세 제4기(Qal) : 이 층들은 주로 충적층, 범람원, 사구, 자갈층으로 구성된다. 둔덕 유형의 퇴적물들은 해양성 기원의 모래해안 쇄설물이 특징적이다.

Fig. 3. Vein deposits(Gold-Silver) and gold placer deposits in Sinaloa state.

3. 금속광화작용

시나올라주는 잠재적으로 금속광물자원이 풍부하며 비금속광물은 적은 편이다. 이 광상들은 다양한 지질 환경과 관련되어 있고 지형학상 시에라 마드레 옥시덴탈과 관련된 지역에 부존되어 있는 것이 특징적이다. 주로 알려진 광상은 금과 은이며 뒤를 이어 아연, 연 및 동과 일부 철광상이 분포한다. 시나올라주는 가행하고 있는 폴리브데늄, 텅스텐, 비스무스 광상도 부존되어 있다. 니켈과 코발트도 부존이 알려져 있으나 단지 소규모로 개발되었음이 보고되고 있다.

3.1. 맥상광상

금 및 은 맥상광상 : 이 유형의 천열수 광상은 시나올라주 전역에 넓게 분포하고 있으며 주로 하부 제 3 기 화산암 기저부에 부존하고 있다. 동광물이 수반되

는 것은 흔하며, 때때로 아연 광화작용도 수반한다. 맥석은 경철석이 수반되는 강한 녹니석 변질작용이 특징적으로 발달되어 있다(Fig. 3).

은 및 금 맥상광상 : 이 유형의 광상은 시나올라주에서 4개소에 주로 분포한다(Fig. 4). 이 유형의 광상은 중요한 천열수 은 및 금 광화대의 일부분이다. 일반적으로, 맥들은 화산-안산암 층서의 기저부에 분포하며 일부는 화강암내에 부존하고 있다. 이들 광상은 석영맥이 특징적이며 때때로 맥폭이 두껍고 뚜렷하게 북서방향으로 정향되어 있는 경향이 있다. 이 유형의 광상은 고함량의 은을 가지고 있고 금은 적은 양을 보인다. 때때로 연·아연 광화작용이 수반되나 경제적인 가치는 없는 것으로 사료된다.

연, 아연 및 은 맥상광상 : 이 유형의 광상은 시나올라주에서는 금 및 은 광상에 비하여 소규모로 분포한다. 이들 광상들은 기저암 근처에 부존하고 있으며

Fig. 4. Vein deposits(Silver-Gold) in Sinaola state.

주로 일부 심성암체내, 제 3기의 화산층서 기저부인 안산암에 부존하고 있다. 일반적으로, 이 광상들은 연-아연 광화작용을 수반한 표준맥들이며 온도 수반하며, 때때로 금도 함유한다(Fig. 5).

3.2. 접촉교대광상

이 유형의 광상은 일반적으로 하부 백악기의 퇴적, 석회질 유형의 암석 또는 시나올라 화강암질 저반과 접촉하고 있는 고기 변성퇴적암 지역에서 산출되고 있다. 이 광상들은 석회질 암석들이 삭박되어 있고 잔류암이 많이 남아 있지 않으므로 경제적인 잠재성은 없는 것으로 사료된다. 이 광상은 퇴적암들이 충분히 두꺼울 때 경제적인 잠재성을 가질수 있다. 이 유형의 광상들 중 일부는 연, 아연, 동 및 은 광산이며 불규칙하고 침니 유형의 광체가 접촉대 근처에서 형성되었다. 시나올라주의 철광상도 이와 같은 지질환경에서 부존하고 있다(Fig. 6).

연, 아연, 동 및 은광상 : 이 유형의 광상은 시나올라주의 2개소가 경제적인 가치가 있는 것으로 사료되는데, 주의 북쪽 초이스(Choix)지역과 중심부인 코살라(Cosala)지역이다. 바디라구아또, 풀리아칸(Culiacan) 및 엘 살라도(El Salado)지역에는 소규모 광산과 광구가 부존하고 있다.

철광상 : 세로 마조미계(Cerro Mazomoque)와 로스 바시토스(Los Vasitos)로 알려진 주내 2개 철광상이 부존하고 있다. 2개 주요 광상의 현존 매장량은 약 2천7백만톤이다. 이들 광상은 모두 자철석을 함유하며 라라미드 시기의 시나올라 화강암질 저반과 하부 백악기의 석회질 암석 잔류물과의 접촉대에 정지되어 있다.

텅스텐광상 : 이 유형의 접촉 광상들중에서, 단지 2개소가 텅스텐 광화작용이 알려져 있다. 이들중 한곳은 주의 북쪽인 엘 푸에르테(El Fuerte)근처에서 발견되며 라 쉘리타(La Sheelita)광구로 불리기도 하며 텅스텐과 동

Fig. 5. Vein deposits(Silver-Lead-Zinc) in Sinaloa state.

광화작용을 포함한다. 두 번째 광상은 팔리아간으로부터 북서쪽인 토보라(Tobora)지대에서 발견된다. 여기서는 화강섬록암질 관입암이 석회질 층준에 영향을 미쳤으며 광화작용은 주로 텅스텐과 함께 동으로 구성되어 있다.

3.3. 산점상 광상

시나올라주의 이 유형의 광상들중에서, 일부는 합동 반암형 광상(Cu, Mo), 암주 및 석영맥-암맥(Mo, W), 망상세맥(Mo), 그리고 열수각력암과 관련된 광상(Au, Cu, Mo, Bi)들로 분류되고 있다. 시나올라의 이 유형의 광상은 소노라로부터 뻗어 나오는 것이며, 광역적인 지체구조와 수반된 선구조와 관련이 있다. 이들 광상은 일반적으로 잠재성이 있는 광구로 사료된다(Fig. 7).

합동 반암형 광상(동, 몰리브데늄) : 시나올라주에는 이러한 유형의 광상이 2개 있는데, 하나는 산토 토마스 쿠치카리(Santo Tomas Chuchicari)로 시나올라주

북부에 부존한다. 두 번째 광상은 타메아파(Tameapa)로 시나올라주 중부에 위치한다. 둘다 화강암질 저반에 배태되어 있다. 첫 번째 광상은 중생대 안산암 및 석회암 층내 정치한 변질받고 광화된 몬조니암과 관련이 있으며, 두 번째 광상은 석영 및 전기석 각력암과 관련된 화강섬록암내 위치한다.

암주 및 석영맥-암맥과 관련된 광상(동, 몰리브데늄, 텅스텐) : 이 유형은 2개 광상이 부존하고 있다. 첫 번째 광상은 엘 마지스트랄(El Magistral) 광산이며 초이스 마을 가까이 있고 직경이 40m인 페그마타이트 암주이다. 광화작용은 동, 몰리브데늄 및 텅스텐 산출이 특징적이다. 두 번째 광상은 엘 구야야보(El Guayabo) 광산으로 시나올라주의 남부지역에 위치한다. 이 광상은 일련의 석영세맥으로 구성되어 있으며, 화강섬록암내 배태되어 있다. 광화작용은 철망간중석과 휘수연석으로 구성되어 있다.

Fig. 6. Metasomatic contact deposits(Pb-Zn-Cu-Ag) in Sinaloa state.

망상세맥형 광상(폴리브데늄) : 이 유형의 광상은 시나올라주에 2개 광상이 부존하고 있다. 첫 번째 광상은 로스 치차로네스(Los Chicharrones)이며 바디라구아또시에 위치하고 있다. 이 광상은 고생대 퇴적암 층서를 관입하고 있는 석영-몬조니암 암주로 구성되어 있다. 광화작용은 주로 휘수연석과 경철석이 석영맥내 산포되어 있다. 이 광상과 관련된 거대한 주입형 열수 각력암이 부존하고 있으며 심부 광체로부터 유래된 일부 파편들을 함유하고 있기 때문에 잠재적으로 유망하다고 사료된다. 두 번째 광상은 라스 이구에라스(Las Higueras)이며 콜리아간의 북쪽에 위치하고 있고 휘수연석과 일부 동을 수반한 석영맥이 배대되어 있다.

열수 각력암과 관련된 광상(금, 동, 폴리브데늄, 비스무스) : 이들 각력암들은 전기석 및 실리카에 의해 채워진 모암편들로 구성되어 있다. 이들중 일부는 광화되어 있으며 관입암과는 직접적으로 또는 간접적으로

연관되어 있다. 두 개의 광화사건이 인지되는데, 하나는 기성유형이며 또 하나는 열수열극 뒤채움 유형이다.

3.4. 마그마 분결형 광상(니켈, 코발트, 백금족)

시나올라주에는 니켈, 코발트 및 백금족(Pt, Pd, Os, Ir, Rh, Ru)를 함유하는 염기성 및 초염기성 암석들과 관련된 4개의 광상이 부존하고 있다. 이 지역에는, 콘세호 데 레쿠르소스 미네랄레스(Consejo de Recursos Minerales)가 일부 예비 탐사작업을 수행했고 탐사결과 단지 2개 광상이 유망하며 소규모 니켈 부존잠재성을 나타내고 있다. 반려암, 조립현무암, 휘석암 및 각섬암으로 구성된 오포올라이트 복합체는 바쿠비리토 지역에서 알려져 있다. 바디라구아또 지역에는 화강섬록암 관입체에 의해 영향을 받은 것으로 판단되는 상부 고생대 슬레이트 및 규암 층서내 포획된 킴벌라이트 각력암이 있다(Fig. 7).

Fig. 7. Disseminated and magmatic segregation deposits.

4. 결 론

멕시코 시나올라주의 지질은 하부로부터 선캠브리아기 변성암(Sonobari Complex), 두 개의 고생대층(하부: 미분화된 변성암, 상부: 석탄기 퇴적암), 변성화산암, 쇄설암, 탄산염암으로 구성된 5개의 중생대층, 화산암으로 구성된 신생대 암석, 제 4기의 쇄설성 퇴적층과 화산류로 구성되어 있다. 시나올라주는 잠재적으로 금속광물자원이 풍부하며 비금속광물은 적은 편이다. 이 광상들은 다양한 지질환경과 관련되어 있고 지형학상 시에라마드레 옥시덴탈과 관련된 지역에 부존되어 있는 것이 특징적이다. 주로 알려진 광상은 금과 은이며 뒤를 이어 아연, 연, 동과 일부 철광상이 분포한다. 시나올라주는 가끔 가행하고 있는 폴리브데늄, 텅스텐, 비스무스 광상도 부존되어 있다. 니켈과 코발트도 부존이 알려져 있으나 단지 소규모로 개발되었음이 보고되고 있다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원이 수행하고 있는 해외광물자원탐사 및 자원량 평가(13-1121)과제에서 지원되었습니다.

참고문헌

- 주멕시코 대한민국 대사관(2012) <http://mex.mofa.go.kr/korean/an/mex/main/index.jsp>
 KOMIS(2013) <http://www.kores.net/v2009/index.jsp>
 KOTRA(2010) <http://www.globalwindow.org>
 Jose Cardenas Vargas, Marco A. Bustamante Yanez, Victor Manuel Enriquez Borja, Roberto Macedo Palencia and J. de Jesus Rodriguez Salinas (1992) Geological-mining monograph of the state of Sinaloa, 176p.

2013년 5월 2일 원고접수, 2013년 6월 21일 게재승인