

해외광물자원개발을 위한 최적 탐사기법과 동향

최선규¹⁾, 안용환¹⁾, 김창성¹⁾, 서지은¹⁾

Recently Improved Exploration Method for Mineral Discovery

Seon-Gyu Choi¹⁾, Yong Hwan Ahn¹⁾, Chang Seong Kim¹⁾, and Jieun Seo¹⁾

Abstract: Selection of good mineralized area is a combination of the integration of all the available geo-scientific (i.e., geological, geochemical, and geophysical) information, extrapolation of likely features from known mineralized terranes and the ability to be predictive. The time-space relationships of the hydrothermal deposits in the East Asia are closely related to the changing plate motions. Also, two distinctive hydrothermal systems during Mesozoic occurred in Korea: the Jurassic/Early Cretaceous deep-level ones during the Daebo orogeny and the Late Cretaceous/Tertiary shallow geothermal ones during the Bulguksa event. Both the Mesozoic geothermal system and the mineralization document a close spatial and temporal relationship with syn- to post-tectonic magmatism. The Jurassic mineral deposits were formed at the relatively high temperature and deep-crustal level from the mineralizing fluids characterized by the relatively homogeneous and similar ranges of $\delta^{18}\text{O}$ values, suggesting that ore-forming fluids were principally derived from spatially associated Jurassic granitoid and related pegmatite. Most of the Jurassic auriferous deposits (ca. 165-145 Ma) show fluid characteristics typical of an orogenic-type gold deposits, and were probably generated in a compressional to transpressional regime caused by an orthogonal to oblique convergence of the Izanagi Plate into the East Asian continental margin. On the other hand, Late Cretaceous ferroalloy, base-metal and precious-metal deposits in the Taebaeksan, Okcheon and Gyeongsang basins occurred as vein, replacement, breccia-pipe, porphyry-style and skarn deposits. Diverse mineralization styles represent a spatial and temporal distinction between the proximal environment of sub-volcanic activity and the distal to transitional condition derived from volcanic environments. However, Cu (-Au) or Fe-Mo-W deposits are proximal to a magmatic source, whereas polymetallic or precious-metal deposits are more distal to transitional. Strike-slip faults and caldera-related fractures together with sub-volcanic activity are associated with major faults reactivated by a northward (oblique) to northwestward

1) 고려대학교 지구환경과학과(Department of Earth & Environment Sciences, Korea University),
seongyu@korea.ac.kr

(orthogonal) convergence, and have played an important role in the formation of the Cretaceous Au-Ag lode deposits (ca. 110-45 Ma) under a continental arc setting. The temporal and spatial distinctions between the two typical Mesozoic deposit styles in Korea reflect a different thermal episodes (i.e., late orogenic and post-orogenic) and ore-forming fluids related to different depths of emplacement of magma (i.e., plutonic and sub-volcanic) due to regional changes in tectonic settings.

Keywords: geodynamics, predictive, mineral discovery, mineralization, Au-Ag

1. 서론

21 세기의 시작과 함께 금속가격의 급격한 상승은 세계광물자원의 부존 현황에 대한 평가와 함께 개발가능지역의 잠두 광체에 대한 기술적 재검토가 실시되고 있다. 이러한 광물자원의 부존특성은 지구동력학적 관점에서 나타나는 에너지 불균형에 따른 열적 진화와 함께 유체의 시·공간적 이동과정으로부터 시작되고 있으며 (Goldfarb *et al.*, 1998), 금속광화작용과 관련된 주요 인자인 유체 이동이 화성활동 이외에도 분지발달 단계와 밀접하게 연관되고 있음이 입증됨에 따라 조구조 운동에 따른 광화유체의 이동 시기 및 농집 공간에 대한 거시적인 해석이 시도되고 있다 (Feltrin, 2008; Potma *et al.*, 2008). 최근 중요 광화대에 대한 탐사 모델의 기술적 검토는 기존 광상에 대한 배태 양상과 함께 잠두 광체의 부존 가능성을 예측하기 위한 지열수 시스템의 광상 모델을 적용하고 있으며, 특정 광상 유형에 대한 통합지질 해석을 통하여 광물자원의 광역·정밀 탐사에 적용 심부 광체의 시추 탐사에 활용되고 있다. 특히 2000 년대에 들어 호주, 미국, 캐나다와 같은 자원 선진국에서 적극적으로 시도되고 있는 잠두광체의 예측 가능한 탐사기법은 중요 광화대를 대상으로 지각진화과정과 광상 유형별 생성기구를 핵심 변수로 적용하여(Lang and Baker, 2001; Williams *et al.*, 2005), 광물 자원의 광역/정밀탐사에 광범위하게 활용되고 있는 최신 탐사기법으로 다양한 지질 정보의 시·공간적 핵심 변수를 광상형성 과정의 3D 모델링에 통합적으로 적용하고 있다.

동북아시아 지역은 고생대 말부터 신생대까지 유라시아 판(러시아-북중국-남중국 판)과 고태평양 판의 경계부에 위치하여 섭입, 대륙충돌, 주향이동, 열개에 따른 다양한 지질현상이 보고되고 있으며, 지체구조의 변화에 따라 중국 산둥, 러시아 북동부에서 조산대형 광상과 필리핀, 일본에서 천열수 광상 및 반암형 광상과 밀접한 연관성을 보이고 있다. 한반도는 고생대 말부터 대륙 주변부에 위치하여 트라이아스기부터 쥐라기를 거쳐 백악기/제삼기까지 다양한 지질현상의 변화와 함께 금속광화작용이

수반되며, 지질시대별 지각진화과정에 나타나는 시·공간적 열수시스템의 차별성이 유도됨으로써 광물자원 탐사에서 지구동력학적 원리에 광상생성 시스템을 적용한 예측 모델의 중요성이 재인식되고 있다. 특히, 한반도는 고생대 말부터 신생대까지 북중국(Sino-Korea)과 남중국(Yangtze) 지괴의 충돌 이후, 고태평양 판이 지속적으로 섭입되는 전형적인 대륙 주변부에 위치하여 수 차례에 걸친 지체구조 운동의 변화와 관련된 복합적인 지질작용이 한반도에 중첩됨으로써 지금까지도 미해결된 많은 지질학적 과제를 앓고 있다(최선규 등, 2006).

2. 예측 가능한 광물자원 탐사: 자원선진국 사례

최근 자원선진국 및 다국적 메이저기업의 광물자원 탐사기술 동향은 중요 금속광화대를 중심으로 체계적으로 광상성인 모델에 적용하여, 이를 기반으로 과거 천부 중심의 고품위 광체의 자료로부터 현재 인접 지역 또는 심부 부존이 가능성이 예상되는 대규모 잠두 광체(world-class)를 예측하기 위한 광상성인의 모델링에 주력하고 있다. 이러한 광물 자원의 부존 가능지역에 대한 탐사 효율성을 극대화하기 위하여 기 개발 지역 (Brown field)에서 정립된 핵심 인자에 대한 분석기법을 미개발 지역 (Green field)의 광역/정밀 탐사에 적용한 기술로 확대되고 있다 (Fig. 1). 지열수 시스템의 유형에 대하여 지구동력학 기법에 의한 광역 해석기법과 광상 유형에 대한 생성 모델을 활용한 예측 가능한 탐사기술 (Predictive Mineral Discovery)을 효율적으로 적용하고 있다.

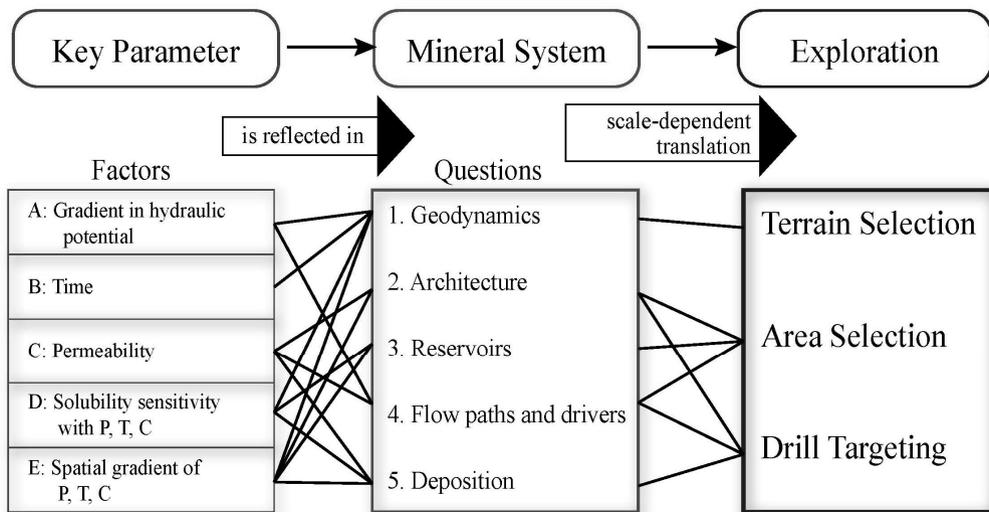


Fig. 1. Linkages within a mineral systems framework between the key factors (Barnicoat, 2007)

국외에서 광상성인 연구는 화성활동, 분지형성, 퇴적작용, 구조운동, 분지변형, 변성작용과 관련된 지질자료를 시·공간적 측면에서 지구동력학 원리에 도입하여, 핵심인자인 근원암인 기원 물질로부터 광화유체/유용원소의 이동 → 농축 → 침전 메커니즘에 대한 광상 생성시스템을 지체구조의 순차적 변화에 따라 금속광화작용을 종합 해석하여 광물자원탐사에 적용하고 있다. 특히 금속광상의 형성과정에서 가장 중요한 필수인자인 유용원소와 광화유체는 특정한 지질환경에서 나타나는 P-T-X 변화조건에 좌우되고 있으며, 광화작용과 관련된 생성 기작을 규명하는데 항상 제기되고 있는 기본적인 문제로서 지체구조진화에 따른 유체 이동과 함께 금속원소의 최종 침전 단계까지 밀접한 연관성을 나타내고 있다.

대부분의 열수광상은 열적 불균형과 함께 지각 내부의 구조적 약선대가 유도됨으로써 마그마수·지표수·퇴적수·변성수와 같은 다양한 기원의 유체가 유입·혼합되고 최종적으로 유용원소의 농집과 침전과정을 통하여 다양한 유형의 광상이 형성되고 있으며, 광물자원의 분포는 이러한 지질작용의 시·공간적 변화과정과 밀접한 관계를 보이고 있다. 즉 광상 유형별 차별성을 해석하기 위하여 지구조 진화 과정에서 유도된 지열수 시스템과 함께 광화유체의 특성에 대한 정량적 해석이 기본적으로 요구되고 있다. 또한, 마그마 활동과 직접 관련된 지열수계는 화강암류의 근원 물질과 함께 지구조 운동을 반영한 분지 생성/ 변형/ 소멸 과정까지 각 단계에 따라 변화되는 광화유체의 시·공간적 이동과 밀접한 상관성을 보이고 있다(Hart *et al.*, 2004). 화성암의 각 단계별 진화특성과 주변 암상의 지질 요소의 특성과 함께 공간적 근접성에 따라 반암형/스카른형 광상과 같은 근지성 유형, 열수교대형 광상과 같은 점이성 유형, 천열수/칼린형 광상과 같은 원지성 유형이 좌우되고 있으며, 화성암류의 성인적 특성이 고려된 광상유형별 모델링이 필수적이다(Simmons and Graham, 2003).

3. 예측 가능한 광물자원 탐사: 한국 사례

한반도의 지체구조는 중생대에 접어 들어 유라시아 판과 고태평양 판의 경계부에 위치하여 조구조 운동과 관련된 대륙주변부의 다양한 지질작용이 순차적으로 수반되고 있다. 환태평양 지역은 고생대 말부터 신생대 초까지 고태평양 판인 팔라론(Farallon) 판 → 이자나기(Izanagi) 판 → 쿨라(Kula) 판의 섭입방향이 북 → 북서 → 북 → 북북서 → 북서 방향으로 순차적 변화양상을 보이고 있으며 (Maruyama *et al.*, 1997), 고태평양 판의 섭입양태는 각 지질시대에 따라 직각? (orthogonal) → 직각 → 사각(oblique) → 사각 → 직각 방향으로 단계적 변화와 함께 서로 다른 지질환경이 유도되고 있다.

한반도는 중생대 조구조적 지질환경의 변화를 반영하여 지괴에 따라 서로 다른 유형의 변성작용이 유도되었으며, 트라이아스기, 쥐라기 그리고 백악기 동안 다양한 특성을 갖는 화성활동이 수반되었다. 또한 지각 진화의 환경변화와 함께 각 지질시대에 따라 용기속도의 차이를 보이며, 쥐라기와 백악기에 서로 상이한 지열수계가 형성됨으로써 다양한 광상 유형이 배태되는 지질환경이 유도 되었다고 해석된다. 이러한 사실은 지질시대에 따라 순차적으로 나타나는 지질작용이 광상형성과 연계된 필수 요건으로 작용하고 있다 (Choi *et al.*, 2005). 국내 주요 철금속 및 비철금속 광상은 중생대의 서로 다른 생성환경의 화성활동과 직접적으로 연관되어 있을 뿐만 아니라, 분지의 진화단계에 따라 간접적으로 연계된 특징을 보이고 있다. 이러한 지각진화과정에서 나타나는 지질환경의 P-T 변화에 따라 서로 상이한 지열수 시스템이 유도되고 있다. 특히 국내 주요 금속광상은 고태평양 판의 시·공간적 지체구조의 진화 요인에 따라 심부/천부 화성활동에 따라 서로 상이한 생성환경을 반영한 배태 양상이 유도되고 있으며, 동일 광화대에서 서로 다른 광상유형이 배태되는 양상을 보이고 있다. 중생대 기간 동안 다양한 기원물질로부터 유래한 화강암체는 Mo, W, Fe, Cu, Pb, Zn, Ag, Au 과 같은 다양한 금속 종을 공급하고 있다. 중생대 화강암체 중 쥐라기와 후기 백악기 화강암은 금속광화작용과 밀접한 관계를 보이는 반면, 트라이아스기 화강암은 금속광화작용이 수반되지 않는 비생산성 화성활동으로 간주되고 있다.

쥐라기와 백악기 화성활동에서 관입 및 정치 심도의 명백한 차이를 보이고 있을 뿐만 아니라, 이러한 화강암체의 심도차이는 심부 또는 천부 환경으로부터 유입된 유체와 함께 광화유체의 진화과정에서 직·간접적으로 연계되어 있다(최선규 등, 2006). 고생대 말부터 백악기 말까지 고태평양 판의 섭입양태와 관련된 한반도에서 지체구조의 변화양상은 대륙충돌 → 용기작용 → 송림 화성활동 → 대보 화성활동 → 우수향 주향이동과 관련된 구조운동 → 용기작용 → 좌수향 이동단층과 관련된 구조운동 → 인리형 분지 퇴적작용 → 불국사 화성활동 → 용기작용과 같은 순차적 지질작용이 수반되었다. 이와 같이 국내 주요 철금속 및 비철금속 광상은 쥐라기와 백악기의 서로 다른 지질환경에서 형성된 심부/천부 화성활동과 직/간접적으로 연관되어 있을 뿐만 아니라, 백악기에 나타나는 인리형 분지의 진화단계에 따라 간접적으로 연계된 특징을 보이고 있다.

쥐라기 광상은 주로 경기육괴에서 쥐라기 화강암체의 저반 주변부를 따라 분포하는 흥천, 포천, 해미, 천안 광화대와 영남육괴내 호남전단대의 이차 및 삼차구조선을 따라 배태되는 상주, 영동, 보성 광화대를 중심으로 밀집되는 경향을 보이고 있으며, 경기육괴의 저반형 금광상과 영남육괴의 전단대형 금광상으로 구분된다. 쥐라기(일부

전기 백악기) 광상과 관련된 광화유체는 대보조산운동과 관련된 심부 관입암체로부터 공급된 마그마수 및 일부 변성수로 전반적으로 심부 기원의 유체가 우세한 특징을 보인다. 이러한 심부 지질환경으로부터 화성암체의 느린 냉각과정에 따라 장기간 동안 높은 지온 구배가 유지됨으로써 지표수 유입이 극히 제한적인 조건이 유도되어 조산대형 중열수성 금광상과 페그마타이트 광상이 형성되었다. 전기 백악기 광상은 대보조산운동의 최후기 단계에 홍성지역을 중심으로 배태되었으며, 광화유체는 급격한 용기작용에 기인하여 쥐라기 금광상과 비교하여 마그마수 및 변성수 이외에 진화된 순환수가 유입된 특징을 보인다. 이러한 광상 유형은 섭입 양태와 관련된 고응력장의 변화와 밀접한 연관성을 보이고 있으며, 중기 쥐라기 직각(orthogonal; NW) 방향의 압축력에 의한 화성활동과 후기 쥐라기 사각(oblique; N) 방향의 전단력과 관련된 구조운동이 복합적으로 작용하여 조산대형 금광상이 배태된 것으로 사료된다.

백악기 금-은광상은 주로 백악기 분지가 분포하는 공주-음성 및 영동-광주 단층대를 따라 홍천, 무극, 공주, 부여, 영동, 해남 광화대와 경상분지 외각부의 봉화·합천 광화대를 중심으로 밀집 분포하고 있을 뿐만 아니라, 태백산분지 및 경상분지에서는 전 지역에 걸쳐서 광범위하게 배태되고 있다(Pak *et al.*, 2004). 특히, 금-은 광화작용은 경상누층군의 전기 백악기 신동층군과 하양층군의 분지형성 단계(>100 Ma)보다 후기 백악기 유천층군의 화산암류가 지배적인 지질환경인 분지변형 단계(<100 Ma)에 집중되는 경향을 보이고 있다. 후기 백악기 광상과 관련된 광화유체는 조산운동 이후인 전기 백악기부터 시작된 좌수향 주향이동 단층의 발달단계에서 인장성 이차 약선대로 유입된 지표수 기원의 순환수 또는 퇴적수와 함께 후기 백악기 천부 화성활동과 관련된 마그마수가 혼합된 변화양상을 보인다. 이러한 천부 지질환경으로부터 화성암체의 빠른 냉각과정은 국지적으로 단기간 동안 높은 지온 구배가 유지되지만, 후기 냉각과정에서 지표수 유입이 용이한 조건이 유도되며, 화성암체를 중심으로 유도된 지열수의 순환시스템은 지리적 근접성에 따라 근지성 유형, 점이성 유형 및 원지성 유형과 같은 상이한 광상 유형이 배태되고 있다 (Choi *et al.*, 2006). 또한 후기 백악기~제삼기 기간 동안, 동남부 지역과 서남부 지역에서 광화작용은 공통적으로 천부화성활동과 관련되어 있으나, 광상 유형과 함께 수반 광종이 서로 대비되는 차이를 보이고 있다. 이러한 광화작용은 고태평양 판의 고응력장이 전기 백악기 NNW 방향의 사각 섭입에 따른 전단력 환경으로부터 후기 백악기 NW 방향의 직각 섭입에 기인한 압축력 환경으로 변화됨에 따라 분지의 확장이 종료되며, 경상분지를 중심으로 마그마 발생에 의한 응력이 동시에 유도되고 있다. 이는 경상분지에서 경상누층군 층서와 다수의 인리형 소분지의 층서에서 공통적으로 인지되고 있다. 특히 인리형

분지환경에서는 조구조 운동시 전반적으로 지각의 두께가 얇아지는 열개 현상을 동반하고 이에 따른 퇴적작용과 함께 암압의 감소에 따라 마그마의 발생을 용이하게 유도할 뿐만 아니라 이동통로를 제공함으로써 분지형성 이후 단속적인 화성활동을 동반하게 된다. 이러한 천부 화강암체는 열에너지, 광화유체 및 귀금속원소를 공급하여 천부 금-은광상이 배태된 것으로 추정된다.

중생대 금속광상은 성인적으로 서로 다른 관입 심도를 갖는 쥐라기와 백악기 화성활동이 각각 중첩됨으로써 동일 지역에 상이한 광상유형이 배태된 것으로 사료된다. 대보 조산운동 말기에는 심부 지질환경과 관련된 조산대형 금광상이 주로 형성된 반면, 대보 조산운동 이후인 백악기에는 좌수향 주향이동 단층과 함께 천부 화성활동과 관련된 반암형 금-은광상과 비철금속 광상이 주로 형성되었다. 한반도에서 중생대 지체구조의 진화과정은 시·공간적 관점에서 다양한 지질환경의 변화와 함께 특정원소의 기원, 이동 및 농집 과정을 좌우하였고, 지각 진화 산물인 광물자원을 최적 조건에서 형성하였다고 사료된다.

4. 결론

국외에서 광물자원의 탐사연구는 지체구조의 순차적 변화에서 나타나는 화성활동, 분지진화와 관련된 퇴적작용, 변성작용과의 상호연계성을 체계적으로 도입, 통합 지질학에 근거한 지질시대별 지구동력학적 모델에 따라 광화유체/유용 원소의 기원, 이동 및 농집 메커니즘에 대한 시·공간적 진화 특성에 근거한 광역 탐사를 정립하고 있다. 한편 광물자원의 정밀탐사는 금속 광상구 단위의 광상유형별 모델을 제시하고 예측 가능한 광상모델을 설정하여, 분지 발달 단계에서 변형 단계까지 열적 진화과정에 따라 광화유체의 이동-축적 단계와 함께 유체의 이동시기 및 농집 공간에 대한 해석기법을 적용하고 있다. 즉 중요 광화대에 대한 탐사 모델의 기술적 검토는 기존 광상에 대한 배태 양상과 함께 잠두 광체의 부존 가능성을 예측하기 위한 지열수 시스템의 광상 모델과 함께 특정 광상 유형에 대한 통합 지질 해석을 유도하고 있다.

한반도에서도 광화작용과 관련된 지열수 시스템은 주로 쥐라기와 백악기 화성활동과 각각 밀접한 연관성을 보이고 있으며, 고태평양 판의 섭입 양태의 변화에 따라 시·공간적으로 연계되어 있다. 중생대에 접어들어 지체구조 변화(섭입 양태)에 따라 대륙충돌(직각, 사각) → 용기작용 → 송림 화성활동 → 대보 화성활동(직각) → 우수향 주향이동과 관련된 구조운동(직각) → 용기작용(사각) → 좌수향 주향이동 단층과 관련된 구조운동(사각) → 인리형 분지의 퇴적작용(사각) → 불국사 화성활동(직각) → 용기작용(사각)이 순차적으로 유도되었으며, 특히 쥐라기와 백악기를 중심으로 서로

상이한 환경의 지열수 시스템이 형성됨에 따라 다양한 금속종이 수반되는 광상 유형이 배태되고 있다. 한반도에서 중생대 금속 광상은 시·공간적 측면에서 조구조 운동과 광상 유형의 성인적 특성이 밀접한 연관성을 보이고 있다. 쥐라기 광상은 경기육괴를 중심으로 NE-SW 방향의 저반을 따라 분포하는 저반형 광상과 영남육괴의 호남 연성 전단대를 따라 배태되는 전단대형 금광상으로 분류되며, 후기 쥐라기에 집중된 양상을 보이고 있다. 반면에 백악기 광상은 공주-음성 단층계와 영동-광주 단층계를 따라 배태되는 금-은 광상과 함께 태백산분지 및 경상분지에서 비철금속 광상과 함께 분포하는 금-은 광상으로 구분되며, 광화시기는 전기 백악기 퇴적작용이 우세한 기간보다 후기 백악기 화산활동이 활발하였던 기간에 편중되는 경향을 보이고 있다. 쥐라기 광상은 고태평양 판의 섭입방향(직각 → 사각)이 압축력 환경으로부터 전단력 환경으로 변환되는 심부 지질조건에서 유입된 광화유체로부터 광화작용이 집중적으로 진행된 반면, 백악기 동안 사각에서 직각으로 섭입 양태가 재차 변화됨으로써 좌수향 주향이동 단층계의 발달 과정에서 반암형 화성활동과 관련된 천부에서 유입된 복합적인 유체로부터 근지성/점이성/원지성 광상이 배태되고 있다. 또한 백악기 화성암체는 공간적 근접성에 따라 근지성 유형(고온성 맥상, 반암형, 각력 파이프형, 스카른형)의 동-몰리브덴-철(-중석) 광상으로부터 점이성 유형(중온성 열수교대형)의 다금속 광상 또는 중열수 금-은 광상, 그리고 원지성 유형(저온성 맥상, 저온성 열수교대형(칼린))의 천열수 금-은 광상이 형성되었으며, 생산성/비생산성 화성암체의 암석지화학적 특성에 따라 서로 다른 금속종이 수반되는 광화작용이 유도되는 시·공간적 진화 양상을 보이고 있다. 특히 국내 광상유형과 현저한 차이를 보이는 해외광물자원 개발에서 부존 가능지역의 탐사 효율성을 극대화하기 위하여 기존에 개발된 지역(Brown field)에서 정립된 분석 기법인 지열수 시스템의 유형에 대하여 지구동력학 원리에 의한 해석 기법과 광상유형별 3D 생성 모델을 적용한 예측탐사기술(Predictive Mineral Discovery)을 기본적으로 활용할 필요가 있다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2009 년 지식경제부 에너지인력양성사업의 지원(과제명; 최적 자원탐사를 위한 광상 유형의 모델화 연구)에 의하여 수행되었음을 밝히며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

최선규, 박상준, 김성원, 김창성, 오창환, 2006, 남한의 중생대 금-은 광화작용: 지구동력학적 관점에서 재검토된 금-은 광상구, 자원환경지질, **39**, 567-581.

- Barnicoat, A.C., 2007, Mineral systems and exploration science: Linking fundamental controls on ore deposition with the exploration process, *Proceedings of the Ninth Biennial SGA Meeting 2007*, Society for Geology Applied to Mineral Deposits, 20-23 August, Dublin, Ireland, 1407-1410.
- Choi, S.-G., Ryu, I.-C., Pak, S.J., Wee, S.M., Kim, C.S., and Park, M.E., 2005, Cretaceous epithermal gold-silver mineralization and geodynamic environment, Korea, *Ore Geology Reviews*, **26**, 115-135.
- Choi, S.-G., Pak, S.J., Kim, C.S., Ryu, I.-C., and Wee, S.M., 2006, The origin and evolution of mineralizing fluids in the Cretaceous Gyeongsang Basin, southeastern Korea, *Journal of Geochemical Exploration*, **89**, 61-64.
- Feltrin, L., 2008, Predictive modelling of prospectivity for Pb-Zn deposits in the Lawn Hill Region, Queensland, Australia, *Ore Geology Reviews*, **34**, 399-427.
- Goldfarb, R.J., Phillips, G.N., and Nokleberg, W.J., 1998, Tectonic setting of synorogenic gold deposits of the Pacific Rim, *Ore Geology Reviews*, **13**, 185-218.
- Hart, C.J.R., Mair, J.L., Goldfarb, R.J., and Groves, D.I., 2004, Source and redox controls on metallogenic variations in intrusion-related ore systems, Tombstone-Tungsten Belt, Yukon Territory, Canada. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, **95**, 339-356.
- Lang, J.R., and Baker, T., 2001, Intrusion-related-gold-systems: the present level of understanding, *Mineralium Deposita*, **36**, 477-489.
- Maruyama, S., Isozaki, Y., Kimura, G., and Terabayashi, M., 1997, Paleo-geographic maps of the Japanese islands. Plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present, *Island Arc*, **6**, 121-142.
- Pak, S. J., Choi, S.-G., and Choi, S. H., 2004, Systematic mineralogy and chemistry of gold-silver vein deposits in the Taebaeksan district in Korea: Distal relatives of a porphyry system, *Mineralogical Magazine*, **68**, 467-487.
- Potma, W., Roberts, P. A., Schaubs, P. M., Sheldon, H. A., Zhang, Y., Hobbs, B. E., and Ord, A., 2008, Predictive targeting in Australian orogenic-gold systems at the deposit to district scale using numerical modeling, *Australian Journal of Earth Sciences*, **55**, 101-122.
- Simmons, S.F., and Graham, I., 2003, *Volcanic, Geothermal, Ore-forming Fluids: Rulers and Witnesses of Processes within the Earth*, Economic Geology Spec. Pub., **10**, 343 p.
- Williams, P.J., Barton, M.D., and Johnson, D.A., 2005, Iron oxide copper-gold deposits: geology, space-time distribution, and possible modes of origin, *Economic Geology 100th Anniversary volume*, 371-406.