

## 태백산 광화대 북부에서 칼린형 금광화작용 부존 잠재력 평가를 위한 지구화학 탐사

성규열<sup>1</sup> · 박맹언<sup>2\*</sup> · 윤성택<sup>3</sup> · 문영환<sup>4</sup> · 유인걸<sup>4</sup> · 김량희<sup>4</sup> · 신종기<sup>4</sup> · 김의준<sup>2</sup>

<sup>1</sup>부경대학교 지구환경시스템사업단, <sup>2</sup>부경대학교 환경지질학과, <sup>3</sup>고려대학교 지구환경과학과, <sup>4</sup>대한광업진흥공사

## Geochemical Exploration for a Potential Estimation on the Carlin-type Gold Mineralization in Northern Mt. Taebaek Mining District, Korea

Kyu-Youl Sung<sup>1</sup>, Maeng-Eon Park<sup>2\*</sup>, Seong-Taek Yun<sup>3</sup>, Young-Hwan Moon<sup>4</sup>,  
In Kol Yoo<sup>4</sup>, Ryang-Hee Kim<sup>4</sup>, Jong Ki Shin<sup>4</sup> and Eui Jun Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Earth Environmental System, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

<sup>2</sup>Department of Environmental Geosciences, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

<sup>3</sup>Department of Earth and Environmental Sciences, Korea University, Seoul 136-701, Korea

<sup>4</sup>Korea Resources Corporation, Seoul 156-706, Korea

The characteristics of the mineralization and geology in the northern Mt. Taebaek mining district are found to be similar with those reported from Nevada district where the Carlin-type gold deposit occurs characteristically as repeated metallic ore deposits in space and time. Though two spots of As and several spots of Sb anomalies were recognized in the Yeongweol area, they have no relationship with any metalliferous mineralization. On the other hand, two spots of As anomaly in the Jeongseon area have shown to be related with metalliferous ore deposits (mainly Ag-Au), and they are closely associated with Sb anomaly. Some elements of altered limestones in the study such as Au, Ag, As, Sb, Cu, Pb, Zn, and Mo area are closely associated together, and are more enriched in the Jeongseon area than in the Yeongweol area. In particular, Sb and As which may reflect the occurrence of the Carlin-type gold deposit are highly enriched. However, the base metals such as Zn and Pb are highly variable according to samples. The patterns of the enrichment factor for Sb and As, as well as those for Ag and Au, are very similar with those reported from the Carlin-type gold deposits in Nevada. These similarities in elemental distribution may imply that hydrothermal ore mineralization in the study areas was possibly originated from a fluid with the characteristics of the Carlin-type gold mineralization found in Nevada, China, and Indonesia. However, the pattern of base metals and Mo are different. This may result from different chemistry and/or mineralogy of host rock in the study areas.

**Key words :** Mt. Taebaek mining district, Carlin-type Au deposit, As/Sb anomaly, Mobility, Enrichment factor

태백산 광화대 북부의 지질환경과 광화작용 양상을 살펴보면, 다양한 금속 광상의 형성이 시·공간적으로 반복되어 있다는 점에서 미국 네바다 지역의 칼린형 금광상 분포지역과 매우 유사하다. 영월지역에서는 두 곳의 뚜렷한 비소 이상대와 다수의 안티모니 이상대가 형성되지만, 금속광상의 분포와는 뚜렷한 상관성을 보이지 않았다. 반면, 정선 지역에는 영월지역과 달리 두 곳의 뚜렷한 비소 이상대가 금속광상(주로 금·은 광산)의 분포와 상당히 일치하며, 안티모니 이상대는 비소 이상대와 비교적 일치하고 있다. 연구지역 변질석회암의 금, 은, 비소, 안티모니, 구리, 납, 아연, 몰리브데늄 등은 칼린형 금광상과 유사한 이동도를 보이고, 정선지역에서 상대적으로 부화되어 있는 특징을 보인다. 금·은 및 칼린형 금 광화작용의 효과적인 지시원소인 비소와 안티모니는 특징적으로 부화된 양상을 보여주고 있으나, 천금속류인 납과 아연은 시료에 따라서 다소 불규칙한 양상을 보였다. 특히, 금·은을 비롯한 비소와 안티모니의 부화도의 분포양상은 네바다 지역, 중국, 인도네시아의 칼린형 금광상들과 상당히 유사하다. 따라서, 영월 및 정선 지역에서의 광화작용을 야기한 광화유체는 칼린형 금광상을 형성한 유체와 매우 흡사하였음을 시사해 준다. 그러나,

\*Corresponding author: mepark@pknu.ac.kr

천금속 및 몰리브데늄의 부화도 양상은 네바다의 칼린형 금광상들과는 차이가 있는데, 이는 열수용액과 반응한 모암의 광물 및 화학성 차이에 기인하는 것으로 추정된다.

**주요어** : 태백산 광화대, 칼린형 금광상, 비소/안티모니 이상대, 부화도

## 1. 서 언

광물자원의 안정적 확보를 위해서는 광상 생성모델의 이해와 이를 적용한 탐사활동이 매우 중요하다. 우리나라는 2004년 한 해동안 약 268톤의 금(34억 9,103만 달러 상당)을 외국으로부터 수입하였다(Korea Resources Corpration, 2005). 이는 공식적인 통계상의 수치로서, 실제로는 더 많은 금이 국내에 수입되었을 것으로 추정된다. 그러나, 국내에서는 이미 1998년 이후부터 금을 채굴할 수 있는 광산은 모두 폐광 또는 휴광된 상태에 있다. 따라서, 최근에는 해외 자원개발의 중요성과 함께 국내 자원개발의 중요성이 새롭게 부각되고 있다.

또한, 지질학적 측면과 함께 산업적 측면에서 국내 칼린형 금 광화작용의 잠재력에 대한 체계적인 연구가 필요한 실정이다. 최근 광상분류에서 칼린형 금광상(Carl-in-type gold deposits)은 퇴적암 모암의 산점상금(sediment-hosted disseminated gold; SHDG) 광상의 영역으로 재분류되기도 하는데, 주로 석회암내에서 금이 극미립 산점상으로 산출되는 새로운 유형의 금광상이다. 특히, 북부 네바다 지역은 경제적으로 가장 중요한 유형의 금광상 부존 지역으로 5,000톤 이상의 금이 매장되어 있는 것으로 추정되고 있다(Hofstra and Christensen, 2002; Hofstra and Cline, 2000; Hofstra *et al.*, 1999; Arehart 1996). 1962년부터 1965년까지 저품위의 대량 금이 네바다주의 칼린 광상에서 발견되고 개발되기 전까지는 금광상의 한 유형으로 인식되지 않았다(Hausen and Kerr, 1968). 그러나, 최근 시추와 지구화학적 연구에 의해 부존 지질환경 특성이 밝혀짐에 따라, 유레카-배틀 마운틴 트렌드(Eureka-Battle Mountain Trend)와 제리트 캐년 트렌드(Jerritt Canyon Trend)에서 새로운 광산이 추가로 발견되었는데, 이들 지역에서는 노천 및 지하 채광에 의해 연간 60톤 이상의 금을 생산하고 있다(Bettles, 2002).

석회암내에 형성된 칼린형 금광상의 경제적 가치와 학문적 중요성이 점차 인식되면서 세계적으로 미국 네바다주를 모델로, 지질조건이 유사한 지역을 대상으로 한 새로운 탐사와 개발이 활발히 진행되고 있다. 중국에서는 1964년 쉬시아(Shixia)광산에서 칼린형 금광상

이 처음 발견된 이후, 1980년대부터 칼린형 광상의 탐사에 필요한 자원을 중국의 산업·자원담당 행정부처로부터 지원받아 미국지질조사소(USGS)와의 국제공동 연구를 통하여 대규모 탐사를 수행하였으며, 그 결과 현재 100여 개의 유사한 금광상이 확인되었다(Li and Peters, 1998). 그 중 20여 개의 광상은 높은 품위와 매장량을 갖고 있어, 중국은 미국 다음으로 많은 칼린형 금광상을 보유하고 되었다. Hu *et al.*(2002)은 중국 칼린형 광상의 지질과 지구화학 및 광화작용 특성이 네바다 지역과 매우 유사하다고 보고한 바 있다.

우리나라의 경우, 백전 금은광상에서 극미립 금(invisible gold)의 산출과 함께 열수변질작용 특성이 칼린형 금광화 작용과 유사함이 보고된 바 있으며(Lee, 1993; Lee and Park, 1993; 1996; Lee and Lee, 1997), 이미 이 광상의 성인에 대한 상세한 연구가 수행된 바 있다. 또한, James *et al.*(2001)와 Park *et al.*(2002)은 국내 태백산 분지의 지질조건이 네바다 지역과 유사한 점을 확인하고 칼린형 금광상의 부존 잠재력을 보고한 바 있다.

국내에서 칼린형 금광상의 탐사를 위해서는 외국에서 수행된 기존의 연구결과, 특히 산출특성이 잘 알려져 있고 활발한 연구가 진행되고 있는 미국 네바다 지역에서의 연구결과를 활용하는 것이 가장 효과적일 것이다. 네바다 지역의 칼린형 금광상들은 주로 선크립리아 지괴의 연변부를 따라 분포하는데, 특히 광화대는 배사구조, 고각도 단층, 각력암체 및 부정합면 등 단열대를 중심으로 분포하는 것이 일반적이며 주로 고생대에서 신생대의 퇴적암층내에 수반된다(Hofstra and Cline, 2000). 모암은 불순물이 많은 석회암, 이질암, 규질점토암(argillite) 등으로 구성되며, 주요 모암변질 작용으로는 탈탄화작용(decarbonation), 규화작용(silicification), 점토화작용(argillization)과 황화작용(sulfidation) 등으로서 구성되며, 이들은 주광화작용 시기에 수반된다. 지구화학적 특성을 보면, 높은 금/은비를 가지며, 특히, 비소(As), 안티모니(Sb), 탈륨(Tl)과 수은(Hg) 등이 금과 강한 정(+)의 이상, 즉 수반성을 가진다.

본 연구는 지질환경과 지구조 환경이 네바다 지역과 매우 유사하다고 판단되는 태백산 광화대 북부를 대

상으로 지구화학 탐사를 수행함으로써, 칼린형 금광상의 부존 가능성을 평가하고자 수행되었다. 본 연구 결과는 향후 수행될 정밀조사에 선행하여 연구지역 선정을 위한 기초자료로 활용될 수 있으며, 또한 차후에 한반도에서의 칼린형 금광상의 탐사와 잠재력 평가에 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 지화학도

칼린형 금광상은 석회암, 실트암, 이암 및 셰일 등과 같은 퇴적암체 내에서 산점상으로 산출되며, 금은 마이크로(micron) 크기로서 흔히 비소를 많이 함유하는 황철석에 수반된다. 특히, 금의 입자가 너무 작기 때문에 전통적인 금광 탐사 방법으로 사용되었던 사광(placer)을 이용한 근원지 추적 탐사법은 실효성이 거의 없다. 하지만, 광역적 규모의 하상퇴적물 또는 광구/광체 규모(district- and orebody-scale)의 토양과 암석을 이용한 지구화학 탐사에 의해 성공적으로 발견된 바 있다(Li and Peter, 1998). 칼린형 금광상의 광석은 특징적으로 비소, 수은, 탄소와 황의 이상대를 형성하며, 은, 구리, 납과 아연 등을 이용한 토양 지구화학 탐사는 광화대를 구분하는데 사용되고 있다. 중국 란니고우(Lannigou) 금광상 탐사에 있어서는 잘 정리된 기존의 자료들이 다수의 금광화대를 판별해 내는데 성공적으로 이용되었으며, 양쯔강 중-하류 유역의 하상퇴적물을 이용한 대규모 지구화학 탐사에 의해 풍화도양 내에 감춰진 금광상들이 다수 발견되었다. 또한, 네바다 칼린 트렌드(Carlin Trend) 북부에서의 하상퇴적물을 이용한 지구화학 연구에서는 퇴적물 내 비소 이상대가 칼린형 금광상의 부존과 상당히 일치하며(Theodore *et al.*, 1999), 칼린 트렌드를 따라 탈륨, 비소, 안티모니와 아연 등의 분포가 북쪽에서 남쪽 방향(즉, 원거리에서 근거리)으로 약한 분대(zonation)를 형성하고 있음이 확인되었다. 참고로 네바다 지역의 하상 퇴적물에 포함되어 있는 비소의 최대 함량은 약 54 ppm이다(Theodore *et al.*, 1999).

본 연구에서는 네바다 지역과 지질 및 지구조환경이 유사하다고 판단되는 태백산 광화대를 연구 대상으로 선정하였으며, 하상 퇴적물에 대하여 시료채취와 화학 분석을 직접 수행하지는 않았다. 그 대신, Jin *et al.* (1983)과 Kim *et al.* (1985)에 의해 보고된 호명도폭과 예미도폭의 한국지화학도의 자료를 이용하여 비소와 안티모니에 대한 이상대가 잘 표현되도록 색상을 추가하

여 지화학도를 다시 작성하였다.

### 2.2. 시료채취 및 화학분석

제작성된 지화학도를 기초로, 특히 비소와 안티모니에 대하여 뚜렷한 이상대를 형성하는 지역을 중심으로 화성활동과 기존 광화작용과의 상관성을 고려하여 탐사지역을 선정하였다. 그 결과, 영월지역과 정선지역이 탐사 유망 지역으로 선정되었으며, 두 지역에 대하여 노두의 발달이 양호한 석회석광산과 도로의 절개면을 대상으로 수차례의 야외조사를 실시하였다. 미립의 산점상 황철석이 수반되거나 규화작용 또는 점토화작용 등 열수변질 작용의 특징이 육안으로 인지되는 시료를 칩샘플링(chip sampling) 방법을 이용하여 채취하였다. 그 중 단파장 적외선 분광분석기(short-wave infrared (SWIR) spectroscopy)에 의해 칼린형 열수변질 작용에 수반되는 점토광물이 확인된 시료를 대상으로 지화학 분석을 실시하였다. 시료의 전처리에는 혼합산을 이용한 완전분해법을 이용하였으며, 원소 분석은 기초과학연구원 연구원의 ICP-AES(Optima 4300DU; Perkin Elmer)와 ICP-MS(PQ3; VG Elemental Ltd.)를 이용하여 수행하였다. 금과 은을 비롯한 지구화학 탐사에 유용한 원소들을 분석하여 금의 산출을 확인하였으며, 원소부화도(단, 탈륨과 수은은 국내에서 분석이 불가능하여 제외하였음)를 네바다주의 칼린형 금광상과 비교함으로써 태백산 광화대 북부의 칼린형 금광상 잠재력을 평가하였다.

## 3. 연구지역의 지질환경과 광화작용

### 3.1. 영월지역의 지질환경

태백산지역의 트러스트(thrust)의 방향은 전반적으로 퇴적층 주향과 유사하게 NE-SW 방향으로 발달한다. 그러나 충주-문경에서 영월-평창까지 지역에서 트러스트의 북서부에 분포하는 영월형 조선누층군과 이들 트러스트의 주향은 NW-SW에서 NW-SE 그리고 N-S 방향으로 점이적으로 변화한다. 각동 트러스트를 포함하는 문경-정선구조선을 경계로 북서부와 남동부에 두위 봉형과 영월형의 서로 다른 유형의 암상이 발달한다(Kim and Koh, 1992).

영월지역에는 조선누층군에 속하는 퇴적암층이 광범위하게 분포하고, 예미 각력석회암층과 평안계의 퇴적층이 상기 암층들과 부정합을 이루며 산출된다(Fig. 1). 지질구조는 북동-남서 방향의 트러스트 단층과 함백 트러스트 단층 및 이로부터 분기되는 트러스트 단층 등

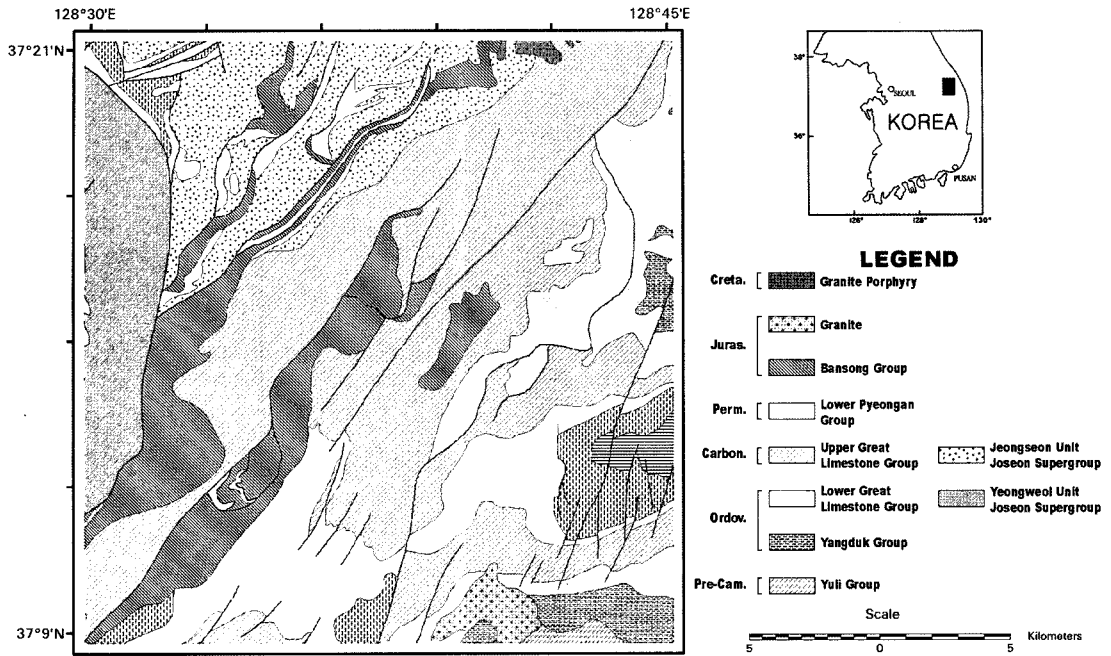


Fig. 1. Geological map of the Yeongweol area(after GICTG, 1962b). Creta.=Cretaceous, Juras.=Jurassic, Perm.=Permian, Carbon.=Carboniferous, Ordov.=Ordovician, Pre-Cam.=Pre-Cambrian.

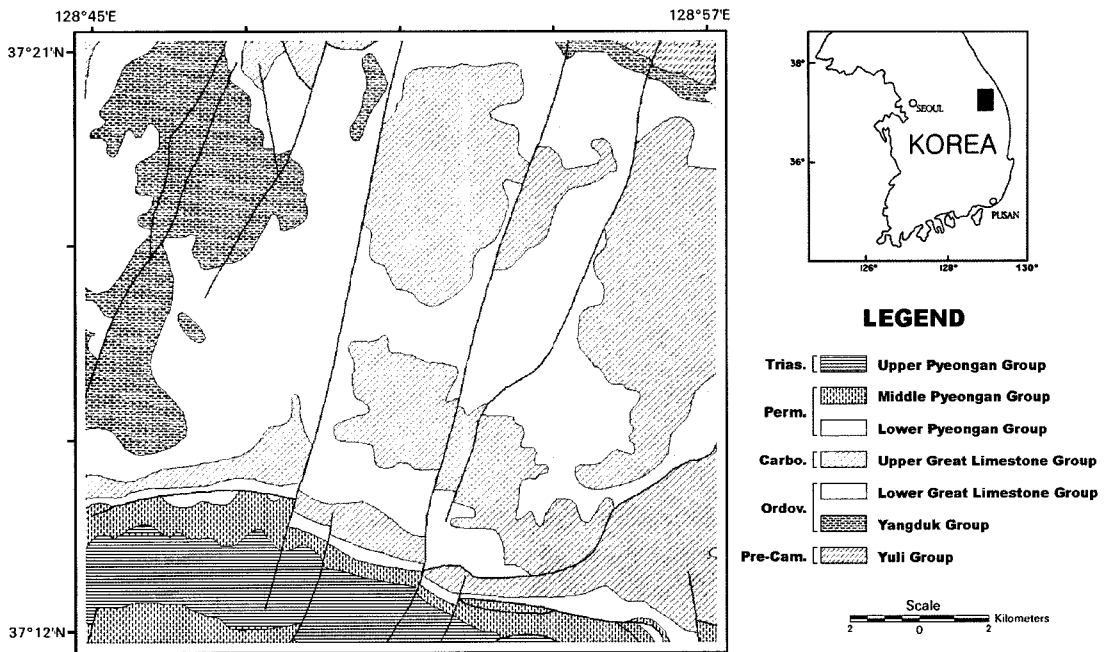


Fig. 2. Geological map of the Jeonseon area(after GICTG, 1962b). Tira.=Triassic, Perm.=Permian, Carb.=Carboniferous, Ordov.=Ordovician, Pre-Cam.=Pre-Cambrian.

으로 구분되고 이들 트러스트 단층에 의해 퇴적층이 반복되는 특징을 보이며, 막골층과 반송층은 함백 트

러스트 단층과 신동 트러스트 단층에 의해 접하고 있다(Kim and Lee, 1991).

조선누층군의 퇴적층들을 후기 화강암류가 관입하고 있으며, 이들 관입경계부에서 혼펠스화 또는 열수교대 특징이 관찰된다. 관입화강암체는 석영섬록암, 화강섬록암, 반상화강암에 걸쳐 다양한 분화특징을 나타내며, 염기성 내지 산성 암맥을 형성하기도 한다. 영월지역에서는 화강암체와 반암맥의 경계부를 따라 발달한 맥상의 천열수형 금·은 광상(동원광산, 가산광산, 도동광산 등)이 소규모로 개발되었다. 또한 막골층의 석회암 내에 발달된 단층 및 열극을 따라 주로 유비철석과 휘창연석을 수반하는 천열수광상이 분포하며, 여러 개의 구 광도들이 확인된다. 칼린형 금광상의 지질환경과 유사한 특징을 보이는 막골층의 변질대는 석회암의 층리면을 따라 뚜렷한 교대조직을 나타내며, 풍화작용에 의해 주로 갈철석을 함유하는 렌즈상 광화대가 석회암의 층리면에 평행하게 발달한다.

### 3.2. 정선지역의 지질환경

역둔과 화암지역으로서 캄브로오르도비스기 조선누층군에 속하는 퇴적암류와 이를 관입한 백악기 화강암류 및 맥암류로 구성되어 있다. 조선누층군은 장산층, 묘봉층, 풍촌층, 화절층, 동점층, 두무동층으로 구성되어 있으며, 예미 각력암이 넓은 지역에 걸쳐 분포한다. 남부와 북동부에는 화강암과 화강섬록암이 관입하고 있으며, 반암류와 후기 화산암류가 산출된다(Fig. 2). 정선지역의 중앙부에는 N20°E 방향의 주향이동 단층이 발달하고, 조선누층군 퇴적암류의 주향은 N20-30°E이며 북으로 경사한다(Lee and Park, 1996).

이 지역에는 둔전 금-은-안티모니 광상(남광상과 북광상), 백전 금-은-안티모니 광상, 왕제 안티모니 광상 등이 분포하여 소규모 광화대를 형성하고 있다(Lee and Park, 1993; Lee *et al.*, 1998). 둔전 광상은 동점규암 내에 형성된 망상 세맥 또는 산점상 열수광상으로서 N15°E 주향의 백전리 단층에 규체를 받으며, 남광상은 북광상보다 석영에 비해 방해석이 우세한 맥상광상이다(Lee and Park, 1993). 둔전 남광상에서는 좁은 범위 내에서 광맥의 수직적 대상분포가 나타나며, 아울러 역둔화강암체를 중심으로 금, 은 및 안티모니 순으로 변화하는 수평적 대상분포를 나타낸다(Park and Lee, 1992a).

백전 및 왕제광상은 캄브리아기 풍촌석회암의 층리를 교대하여 산점상, 팻치상으로 산출되며 부광대는 망토(manto)형을 이룬다. 백전광산은 천열수 금-은-안티모니 광상으로서 풍촌석회암층의 상부 어란상(oolitic) 석회암의 주향연장을 따라 발달하며, 규화작용, 견운모

화작용, 녹니석화작용, 백운석화작용 및 점토화작용을 수반한다(Lee and Lee, 1997). 백전광상 역시 천열수층군교대형 광상으로 칼린형 금광상과 유사한 광화작용 특성을 보이는 것으로 보고된 바 있다(Lee and Park, 1993; 1996; Lee and Lee, 1997). 광석은 어란상 석회암의 우우리스(oolith)를 교대하여 산점상으로 산출되고, 부광대에 산점상의 황철석 및 유비철석 등이 수반되며, 고품위대에서는 휘안석의 주상결정들이 산출된다. 광석은 모암을 교대하여 산점상으로 산출되거나 방해석과 석영 세맥상으로 산출되며, 에렉트럼은 중립 내지 조립질 황철석에 수반된다(Park and Lee, 1992b).

## 4. 결과 및 토의

### 4.1. 지구화학적 이상대

Kim *et al.*(1985)에 의한 예미도폭 지구화학 탐사 결과를 보면, N20°E 방향성을 갖는 지구화학 이상대가 확인된다. 이들 지구화학적 이상대는 기존 광산들의 분포지와 잘 일치하는데, 특히 신예미광산, 의림광산, 삼원동광산, 석곡광산 등은 이상대를 따라 분포하고 있다.

한편, 영월지역(예미도폭)에서는 두 곳의 뚜렷한 비소 이상대가 확인된다(Fig. 3A). 비교적 넓은 분포를 보이는 북동부의 고이상대에는 현재 석회석 광산이 위치하며, 좁은 범위의 이상대가 발달한 남부의 이상대에서는 가행중인 광산은 없다. 북동부의 비소 고이상대는 안티모니 이상대와도 잘 일치하고 있으나, 남부의 비소 이상대에는 안티모니의 이상대가 발달하지 않고 있다(Fig. 3B). 한편, 안티모니는 예미도폭 내에서 수 군데의 이상대를 형성하고 있는데, 이들은 남부의 안티모니 이상대를 제외하고는 기존의 금속광산들과 뚜렷한 공간적 상관성을 보이지 않고 있다. 요약하면, 예미도폭의 북동부에 나타나는 높은 비소와 안티모니 이상대는 기존 금속광산과는 관련성을 지니지 않는다. 따라서 이 지역에 대하여 시료채취 및 화학분석을 집중적으로 실시하였다.

정선지역(호명도폭)에서도 두 곳의 뚜렷한 비소 이상대가 확인된다(Fig. 4A). 북서부의 비소 이상대는 상당히 넓은 지역에 걸쳐 형성되어 있는데, 다섯 군데의 고이상대가 지역적으로 발달되어 있다. 동부의 비소 이상대도 비교적 넓은 범위에 걸쳐 분포하고 있으며, 그 일대에서는 세 군데의 고이상대가 발달되어 있다. 영월지역과 달리, 정선지역의 비소 이상대는 기존에 보

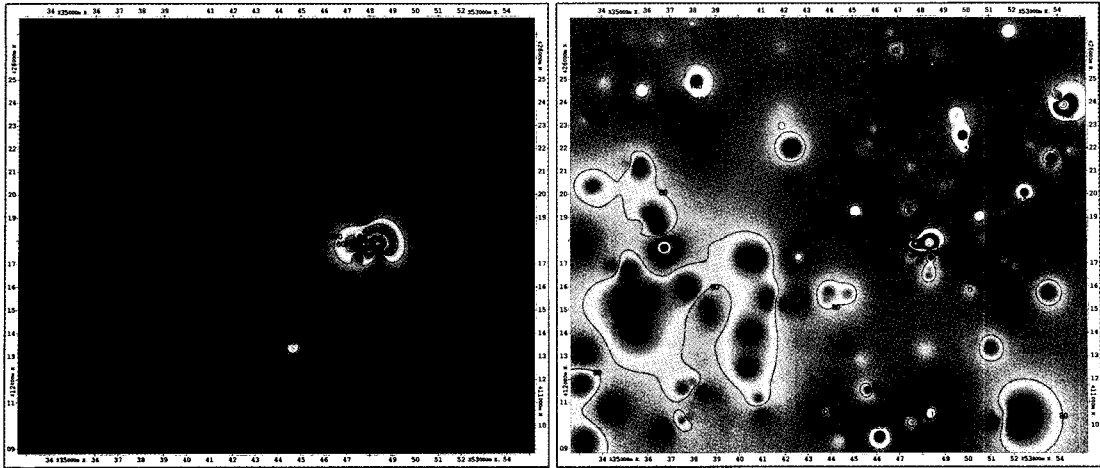


Fig. 3. Geochemical isocon map for (A) As and (B) Sb of the Yemi geological sheet (after Kim *et al.*, 1985).

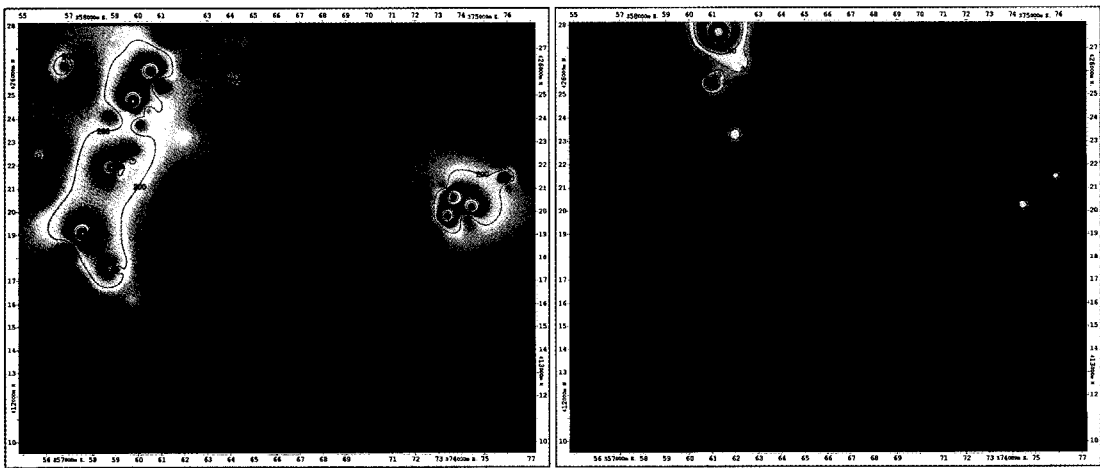


Fig. 4. Geochemical isocon map for (A) As and (B) Sb of the Homyeong geological sheet (after Jin *et al.*, 1983).

고된 금속광산(주로 금·은 광산)의 위치와 상당히 잘 일치하고 있다. 한편, 칼린형 금 광화작용의 잠재력이 높을 것으로 추정되고 있는 백전광산은 직접적으로 이들 비소 이상대에 속하지 않으나, 북서부 비소 이상대의 우측에 독립적으로 발달하는 소규모의 비소 이상대 외는 일치하고 있다. 호명도폭 내에서 안티모니는 강한 이상대와 약한 이상대가 각각 1 개소씩 발달되어 있다(Fig. 4B). 이들 이상대는 비소 이상대와 공간적으로 비교적 잘 일치하고 있으며, 백전광산 일대에서는 안티모니 이상대의 발달이 미약하다.

**4.2. 지구화학적 특성**

비소의 지구화학적 분포 및 분산 특성은 칼린형 금 광산을 특징짓는 주요 요소이다. 특히, 비소는 금 광화

작용에 수반되며 지구화학적으로 원거리 산점상 금-은 광상(distal disseminated Au-Ag deposit)과 강한 수반성을 가진다(Peters, 1996). 비소는 칼린 광산의 광석에서 대부분 400-500 ppm의 농도 범위를 보이며, 일부 칼린형 금광상에서는 경제적 가치를 지니는 수준까지 부화되기도 한다. 친링(Qinling) 습곡대의 진야(Jinya; As: 0.44~1.89 wt. %), 핑딩(Pingding; As: 3.99~15 wt. %)과 치아오치아오상(Qiaochiaoshang) 금광상에서는 금광석과 함께 비소를 얻기 위해 계관석(Realgar)을 채굴하고 있다(Liu *et al.*, 1994). 중-하류 양쯔강 지역의 신치아오(Xinqiao), 마쉬안(Mashan)와 후양철라오산(Huangshilaoshan) 금-다금속 치환광상에서는 흔히 괴상의 유비철석이 산출된다.

안티모니의 산출도 칼린형 금광상의 탐사 역사에서

중요한 역할을 하였다. 안티모니 역시 주요한 지시원소로 활용되고 있으며, 칼린 광산에서는 수 백 ppm까지 함유되기도 한다. 예를 들면, 중국에서 1978년 안티모니에 의해 반치(Banqi) 금광상이 발견된 이래, 안티모니, 비소와 수은이 수반되는 금광상이 반치(Banqi) 광상 주위에서 발견되었고, 게탕(Getang), 지무당(Zimudang), 시용우(Xiongwu)와 세양(Ceyang) 광상 등 퇴적암 내 열수교대형 금광상이 디안-치안-구이(Dian-Qian-Gui) 지역 부근에서도 다수 발견되었다(Mai, 1989).

영월지역과 정선지역에서 채취한 시료들의 금·은, 주성분 및 미량원소에 대한 분석을 Table 1에 정리하였다. 영월지역의 경우, 예미 일대에서 채취한 시료에서는 수 내지 수 십 ppm의 비교적 낮은 농도의 비소 함량을 보이나, 일부 시료는 수 백 ppm의 함량을 보였다. 석항 일대에서 채취한 일부 시료에서는 800 ppm 이상의 높은 비소 함량을 보이기도 하였다. 영월지역에서 채취한 시료들의 안티모니 함량은 칼린 광산에 비해 상당히 낮은 함량을 보이나(<66 ppm), 신선한 탄산염암(평균 0.2 ppm)과 비교하면 일부 시료들은 상당히 부화되어 있음을 알 수 있다. 영월지역에서의 안티모니의 최대 함량은 예미 일대에서 7.03 ppm, 석항

일대에서 2.27 ppm을 보였다.

백전광산에서 채취한 시료들의 비소함량은 최대 4,146 ppm으로서 매우 높지만, 일부 시료들은 네바다주 칼린형 금광상에 비해 상대적으로 낮은 함량을 보였다. 정선지역 시료들의 안티모니의 함량은 영월지역 시료들에 비하여 상당히 부화되어 있다. 백전광산의 안티모니의 최대 함량은 66.03 ppm이며, 상당수의 시료에서 수 십 ppm의 안티모니가 함유되어 있다.

일반적으로 바륨은 중정석으로 존재하며 금과 양(+)의 상관관계를 보이지는 않지만, 칼린형 금광상의 변질 단계 또는 후기단계에 흔히 수반되는 원소이다. 영월지역의 바륨 함량은 10.8-518 ppm의 범위를 보이며, 각각의 평균함량(580 ppm)에 비해 대체로 낮은 값을 보인다. 정선지역의 바륨 함량은 8.75164 ppm으로 역시 각각의 평균함량보다 낮은 값을 나타내었다.

대수등농도도표(logarithmic isocon diagram)는 주성분, 부성분 및 미량원소들의 농도와 함께 열수변질작용 또는 광화작용동안에 발생하는 이들 원소들의 첨가(gain)와 손실(loss)을 동시에 표시할 수 있어 매우 유용하다(Hofstra, 1994). 대수등농도도표에 의하면, 미국의 제리트 캐년(Jerritt Canyon) 지역에서 산출되는 칼린형 금광상들은 금, 비소, 안티모니, 수은, 탈륨, 세슘과 황 등

**Table 1.** Chemical composition of altered carbonates from Mt. Taebak region

Sample No.	Au ppm	Ag ppm	Au/Ag	Ca %	Mg %	Fe %	K %	Al %	Ti %	Na ppm	Sb ppm	As ppm	Pb ppm	Zn ppm	Cu ppm	Mo ppm	Ba ppm	Cr ppm
BJ-01	<0.05	0.11	-	0.17	0.10	3.86	1.69	0.86	0.25	76	1.19	8.04	6.9	18.3	9.3	0.43	34.7	28.2
BJ-04	<0.05	0.22	-	20.00	0.95	2.68	1.91	3.34	0.25	147	0.67	11.1	3.6	37.9	28.7	<0.01	108.0	25.2
BJ-06	<0.05	0.41	-	35.80	0.75	1.17	0.11	0.17	0.02	20	1.42	58.5	5.3	<1.0	2.0	<0.01	8.9	2.7
BJ-07	0.15	0.16	0.96	5.10	0.23	1.11	1.01	1.84	0.21	173	11.10	22.5	18.9	39.6	27.4	0.05	36.4	16.1
BJ-08	1.82	0.22	8.21	34.70	0.30	1.40	0.25	0.48	0.06	1046	32.30	1027.0	12.1	91.4	11.3	0.06	10.6	<1.0
BJ-09	55.45	3.38	16.40	20.00	0.16	4.20	0.11	0.51	0.06	613	36.40	4104.0	12.1	56.3	11.5	0.10	8.8	6.2
BJ-10	7.37	4.56	1.62	2.70	1.62	3.57	4.75	7.71	0.80	361	30.00	4146.0	5.1	28.7	42.5	0.16	164.0	74.2
BJ-11	0.10	<0.05	-	34.80	1.34	1.65	0.23	0.43	0.07	2459	5.78	12.8	3.4	6.1	2.6	0.07	17.2	<1.0
BJ-15	32.42	3.76	8.63	0.05	0.03	0.63	0.33	0.38	0.06	2	66.00	48.5	13.2	79.4	7.5	0.04	8.9	4.5
SH-01	0.12	1.22	0.10	7.92	0.06	14.6	0.53	1.13	0.03	138	1.22	831.0	7.2	10.6	27.1	0.45	40.3	5.4
SH-03	<0.05	0.26	-	0.02	0.14	3.76	3.23	8.44	0.58	1784	0.45	74.9	9.4	8.2	20.9	0.25	518.0	59.9
SH-04	0.10	0.83	0.12	0.01	0.35	13.3	2.19	6.94	0.50	2035	1.81	941.0	7.2	11.4	37.2	0.11	30.5	52.7
SH-05	0.12	1.14	0.11	0.02	0.03	16.1	0.41	0.95	0.03	165	2.27	962.0	7.3	17.4	17.2	0.46	32.0	4.4
SH-08	0.06	0.33	0.17	0.01	0.02	18.4	0.88	2.35	0.23	1233	1.39	496.0	22.0	11.7	4.5	0.32	31.0	11.4
SH-12	<0.05	0.23	-	0.05	0.48	7.59	0.92	5.09	0.31	517	0.21	27.7	3.0	38.3	35.8	0.40	129.0	30.6
YM-05	1.92	0.62	3.11	0.33	3.11	14.3	2.70	6.54	1.84	175	1.28	80.7	15.3	96.7	18.2	0.32	72.9	62.2
YM-06	0.16	<0.05	-	28.20	2.96	0.75	0.30	0.69	0.04	312	0.44	5.3	17.9	26.2	3.6	4.96	11.2	4.1
YM-19	0.13	0.24	0.55	2.60	0.91	4.91	5.51	6.88	0.35	393	1.64	34.2	20.2	46.0	20.9	0.20	233.0	30.6
YM-21	<0.05	0.18	-	28.80	6.41	0.58	0.25	0.44	0.03	194	5.79	5.5	7.0	7.2	3.4	0.46	10.8	2.4
YM-25	<0.05	1.05	-	23.60	0.38	6.06	1.44	2.12	0.18	98	7.03	63.1	57.6	23.1	85.6	1.63	54.1	16.9
YM-30	<0.05	0.10	-	0.01	0.02	3.69	0.46	0.83	0.01	166	0.73	439.0	3.7	<1.0	6.8	<0.01	42.0	3.3

BJ=Baegjeon area, SH=Seoghang area, YM=Yemi area.

은 부화되어 있고, 은, 아연 및 니켈은 다소 부화되어 있는 특징을 보이고 있다(Hofstra and Cline, 2000).

영월 및 정선지역에서 채취한 변질 석회암의 지화학 분석결과에 대하여 대수등농도도표를 작성함으로써, 변질작용동안 금·은과 칼린형 금 광화작용 지시원소들의 이동도를 고찰하였다(Fig. 5). 그 결과, 영월 및 정선지역 모두에서 금, 은, 비소, 안티모니, 구리, 납, 아연, 몰리브데늄 등은 변질작용동안 칼린형 금광상과 유사한 원소 이동도를 보이고 있으며, 아울러 정선지역이 영월지역에 비해 상대적으로 부화되어 있음을 확인하였다. 금과 은의 함량 및 칼린형 금 광화작용의 지시원소인 비소와 안티모니는 광화관련 열수변질작용에 의해 뚜렷이 부화되는 양상을 보여주고 있으나, 천금속류인 납과 아연은 시료에 따라 부화 또는 결핍되는 불규칙한 양상을 보여주고 있다. 구리는 신선한 석회암과 비슷한 농도이거나 약간 부화되어 있는 특징을 보여주며, 몰리브데늄은 비슷하거나 다소 결핍되어 있는 양상을 보여준다. 이러한 특징은 갯첼 트렌드(Getchell trend)와 칼린 트렌드에서도 매우 유사하게 보고되었다(Hofstra and Cline, 2000).

#### 4.3. 원소 부화도

칼린형 금광상에 수반되는 지시원소로는 앞서 기제

한 바와 같이 비소, 안티모니, 수은과 탈륨 등이 유용하다. 한편, 이들 지시원소들의 원소부화도(enrichment factor)로서 칼린형 금광상의 지구화학적 특징을 파악할 수 있다(Hofstra and Christensen, 2002). 원소부화도는 광석 중의 특정 원소 함량을 지각 평균함량으로 나눈 값으로 표현된다. 칼린형 금광상에서 금을 비롯한 전형적인 지시원소들(탈륨, 수은, 안티모니, 비소 등)은 지각 평균조성에 비해 수 배에서 십 만배(비소의 경우)까지 부화되며, 은은 지각의 평균 조성보다 유사하거나 수 백 배까지 부화되어 있다. 천금속들(납, 아연, 구리 등)과 몰리브데늄은 지각의 평균 조성에 비해 수 배 결핍되거

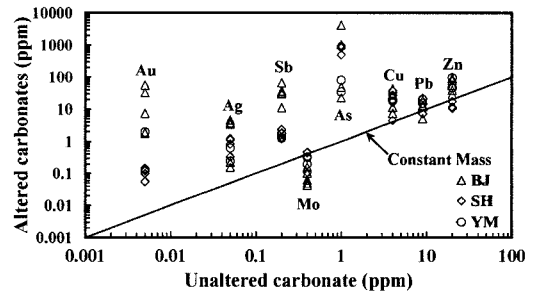


Fig. 5. Isocon diagram for altered limestone, showing typical mass flux associated with alteration and mineralization in the northern Mt. Taebaek mining district. BJ=Baegjeon area, SH=Seoghang area, YM=Yemi area.

Table 2. Enrichment factors of indicator elements for the Carlin-type gold mineralization

Sample No.	Sb	As	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Mo
BJ-01	5.95	4.46	-	1.55	0.53	0.26	0.17	0.29
BJ-04	3.35	6.17	-	3.21	0.27	0.54	0.52	-
BJ-06	7.09	32.48	-	5.86	0.41	-	0.04	-
BJ-07	55.39	12.49	37.22	2.22	1.45	0.57	0.50	0.03
BJ-08	161.54	570.55	456.05	3.18	0.93	1.31	0.21	0.04
BJ-09	182.08	2280.09	13861.26	48.31	0.93	0.80	0.21	0.07
BJ-10	150.22	2303.37	1842.20	65.15	0.39	0.41	0.77	0.11
BJ-11	28.92	7.10	24.02	-	0.26	0.09	0.05	0.04
BJ-15	330.17	26.95	8104.59	53.64	1.02	1.13	0.14	0.03
SH-01	6.11	461.53	29.30	17.49	0.55	0.15	0.49	0.30
SH-03	2.24	41.63	-	3.79	0.72	0.12	0.38	0.17
SH-04	9.03	522.56	24.49	11.80	0.56	0.16	0.68	0.07
SH-05	11.37	534.67	30.07	16.30	0.56	0.25	0.31	0.31
SH-08	6.93	275.44	13.77	4.70	1.69	0.17	0.08	0.21
SH-12	1.03	15.41	-	3.29	0.23	0.55	0.65	0.27
YM-05	6.42	44.82	480.91	8.83	1.18	1.38	0.33	0.22
YM-06	2.22	2.95	38.86	-	1.37	0.37	0.06	3.30
YM-19	8.21	18.98	33.43	3.48	1.55	0.66	0.38	0.13
YM-21	28.97	3.08	-	2.55	0.54	0.10	0.06	0.31
YM-25	35.13	35.03	-	14.95	4.43	0.33	1.56	1.09
YM-30	3.65	244.12	-	1.37	0.28	-	0.12	-

BJ=Baegjeon area, SH=Seoghang area, YM=Yemi area.



나 부화되어 있는 다양한 양상을 보이는 반면, 텅스텐은 수 백 배까지 부화되어 있다(Hofstra and Christensen, 2002). 예를 들면, 중국의 칼린형 금광상이 산출되는 귀조우(Guizhou) 지역과 친링(Qinling) 지역의 원소 부화도는 네바다 지역과 아주 유사하며, 인도네시아 메셀(Mesel) 금광상의 원소 부화도 역시 네바다 지역과 다르지 않다(Hofstra and Christensen, 2002). 이 뚜렷한 지구화학적 유사성은 이들 광상이 그 분포지역에 상관없이 매우 유사한 화학조성을 가진 광화유체로부터 형성되었음을 지시해 준다.

Mason and Moore(1982)에 의해 보고된 지각의 평균 화학조성을 이용하여 영월 및 정선지역에서 채취한 시료들의 원소 부화도를 살펴보면, 안티모니, 비소, 금과 은은 지각의 평균조성에 비해 뚜렷이 부화되어 있는 반면, 천금속들은 결핍되어 있는 특징을 보여준다(Table 2, Fig. 6). 금·은을 비롯한 칼린형 금광상의 전형적인 지시원소들인 비소와 안티모니의 부화도 양상은 네바다 지역의 칼린형 금광상들과 상당히 일치하고 있다. 납, 아연 및 구리 등의 천금속들은 지각의 평균조성에 비해 다소 결핍되어 있는 양상을 보여주지만, 네바다 지역의 칼린형 금광상들의 부화도와 크게 다르지 않다. 몰리브데늄은 칼린형 금광상들의 경우 일부 시료를 제외하면 대체로 부화되어 있으나, 영월 및 정선지역의 변질 석회암에서는 상대적으로 결핍되어 있는 양상을 보여준다. 금·은 비롯한 칼린형 금 광화작용의 지시원소들이 네바다의 칼린형 금광상들과 유사한 양상을 보이는 것은, 중국이나 인도네시아의 칼린형 금광상들처럼 영월 및 정선지역의 금 광화작용이 칼린형 금광상과 유사한 화학조성을 가진 유체로부터 기원하였을 가능성을 시사해 준다. 한편, 천금속 및 몰리브데늄의 부화도 양상이 네바다의 칼린형 금광상들과 다소 차이를 보이는 것은 열수용액과 반응한 모암의 지구화 및 광물학적 차이에 기인하는 것으로 생각된다.

**4.4. 칼린형 금 광화작용의 잠재력에 대한 고찰**

태백산 지역의 지질환경과 광화작용의 양상은 다양한 금속 광상의 형성이 시·공간적으로 반복되어 있다는 점에서 미국 네바다 지역의 칼린형 금광상과 매우 유사한 특징을 보인다(Fig. 7). 미국 그레이트 분지(Great Basin)의 모암은 근본적으로 캄브리아부터 미시시피안의 연령 범위를 가지는 고생대 퇴적암으로 구성되어 있으며, 대부분의 칼린형 금광체는 광석 형성에 있어 매우 강한 압식 규제를 받았다. 연구지역 역시

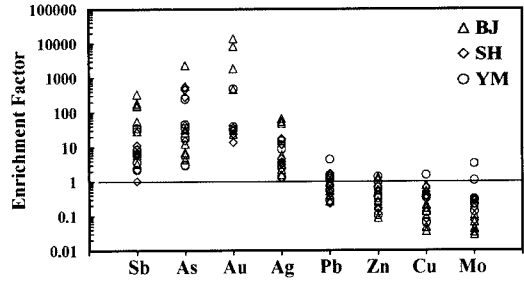


Fig. 6. Enrichment factors of indicator elements for altered limestone sampled from the northern Mt. Taebaek mining district. BJ=Baegjeon area, SH=Seoghang area, YM=Yemi area.

고생대 조선계 지층을 중심으로 시대를 달리하는 여러 지층들이 분포하며, 이들 지층들은 시기를 달리하는 지질구조의 규제를 받고 있다.

칼린형 금광상의 광화대는 국지적으로 습곡과 단층에 의한 뚜렷한 구조 규제를 받았다. 광화대의 형태는 고각의 정단층(또는 역단층도 가능)에 의해 규제되며, 층서적으로 상부의 불투수층(덮개암)을 포함하여 투수성과 반응성이 양호한 수평층으로 구성된다. 단층 규제에 추가적으로 일부 지역에서는 습곡이 주요한 구조적 규제로 작용하기도 하는데, 이러한 지질구조는 태백산 광화대 북부의 지질환경에서도 매우 유사하다.

일부 칼린형 금광상에서는 유기 탄소의 함량이 금의 산출과 상관관계가 있음이 밝혀졌다. 미국 네바다주와 중국의 일부 칼린형 금광상에서 고품위 금을 함유한 탄질 광석이 발견되기도 하였다(Li and Pteters, 1998). 태백산지역에서 막골층 상부의 직운산층은 태백-영월지역에 국한되어 분포하며, 주로 셰일과 박층 석회암이 반복되어 나타난다. 특히, 부분적으로 탄질물질이 협재되어 있다. 직운산셰일층의 유기탄소함량은 광물상으로 존재하는 무기탄소함량과는 부(-)의 상관관계를 나타내는 것으로 보고되었다(Ryu, 2002). Ryu(2002)는 이러한 결과에 대하여, 높은 유기탄소 함량을 갖는 층에서는 탈탄산염화작용에 의하여 방해석 함량이 감소하며, 상대적으로 높은 일라이트 함량을 나타내는 점토화작용의 결과를 반영한다고 하였다. 이러한 특징들로부터 영월 지역에 분포하는 막골층을 포함한 직운산층이 칼린형 금광상에서의 변질작용과 광화작용의 특징을 비교적 나타내고 있다고 생각된다.

중국의 칼린형 금광상에서 금/은 비는 일반적으로 미국 네바다지역 대부분의 칼린형 금광상에서보다 낮으나, 원거리 산점상 금-은 광상과 다금속 치환광상과는 달리 높은 금/은 비를 가진다. 중국 란니고우(Lannigou)

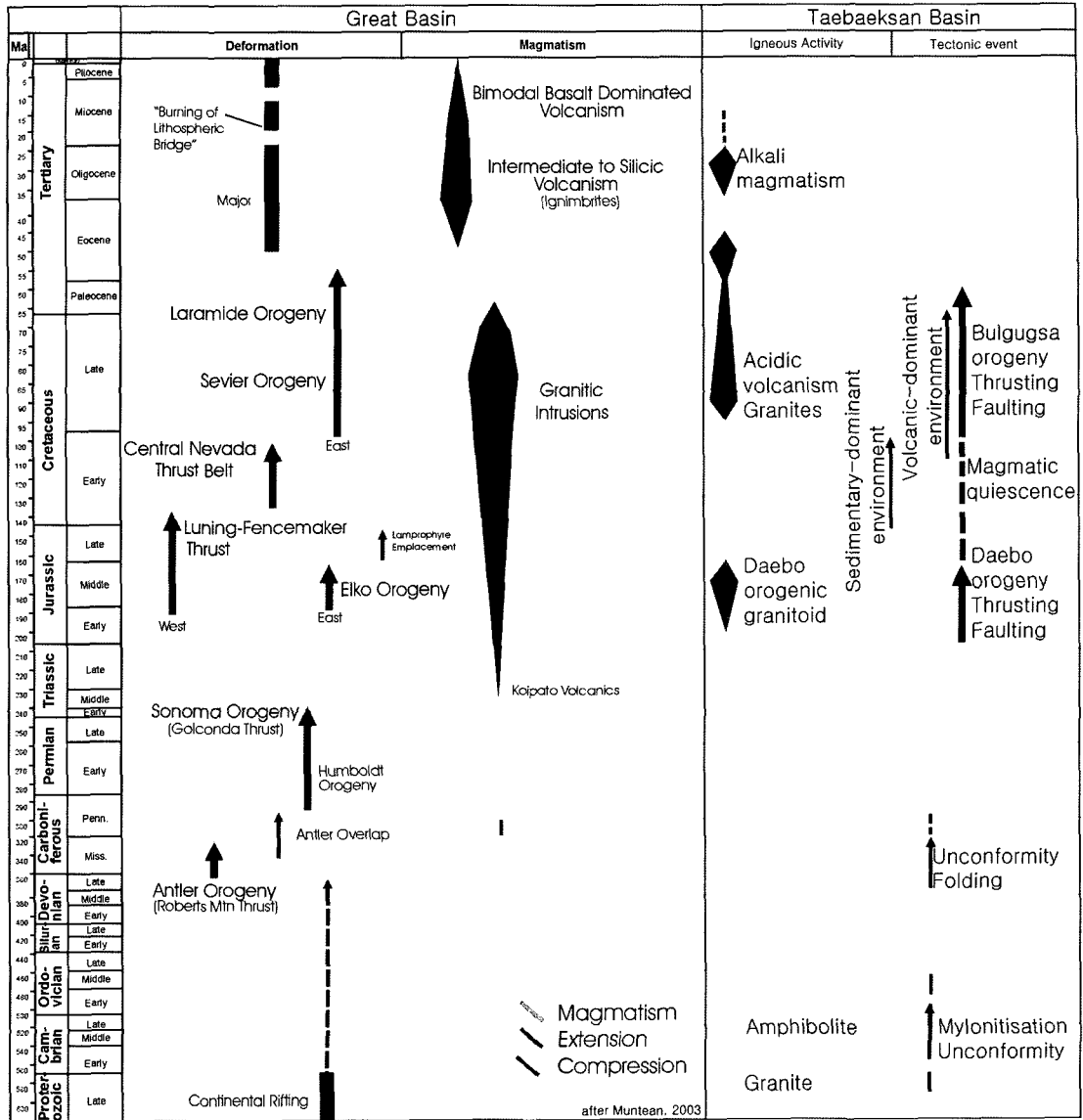


Fig. 7. Tectonic time-event chart for the Great Basin and the Taebaeksan Basin.

금광상의 금/은 비는 9.2-66.9 범위로서 은 함량의 지역적인 변화를 반영하며, 반면에 심성암과 관련된 금광상은 보다 낮은 금/은 비를 가진다(Li and Peters, 1998). 본 연구지역의 금/은 비는 0.1-16.4로서(Table 1), 다른 칼린형 금광상과 유사하게 비교적 넓은 범위의 금/은 비를 나타내었다. 그러나 일부 시료에서는 1 이상의 높은 금/은 비를 보이고 있으며, 특히, 이들 시료에서는 비소 함량이 상대적으로 높은 특징을 나타내었다. 비소는 안티모니와 함께 금의 농도와 뚜렷한 정(+의) 상관관계를 가지는 대표적인 지시원소로서(Kesler et al., 2003),

이들 두 원소는 칼린형 금광상 탐사에서도 매우 유용하게 사용된다. 연구지역에서 채취한 시료들에 대하여 금의 농도와 은, 비소, 안티모니 및 몰리브덴 농도 사이의 상관관계를 Fig. 8에 도시하였다. 은을 비롯하여 비소와 안티모니는 지역별로 뚜렷한 정(+의) 상관관계를 보여주고 있으며, 이러한 상관관계는 연구지역의 광화작용이 칼린형 금광상과 유사한 특징을 가지고 있음을 지시해 준다. 몰리브덴은 금 광화작용동안 결핍되는 양상을 보여주었으며(Fig. 5), 금 농도와는 약한 부(-)의 상관성을 가진다(Fig. 7D).

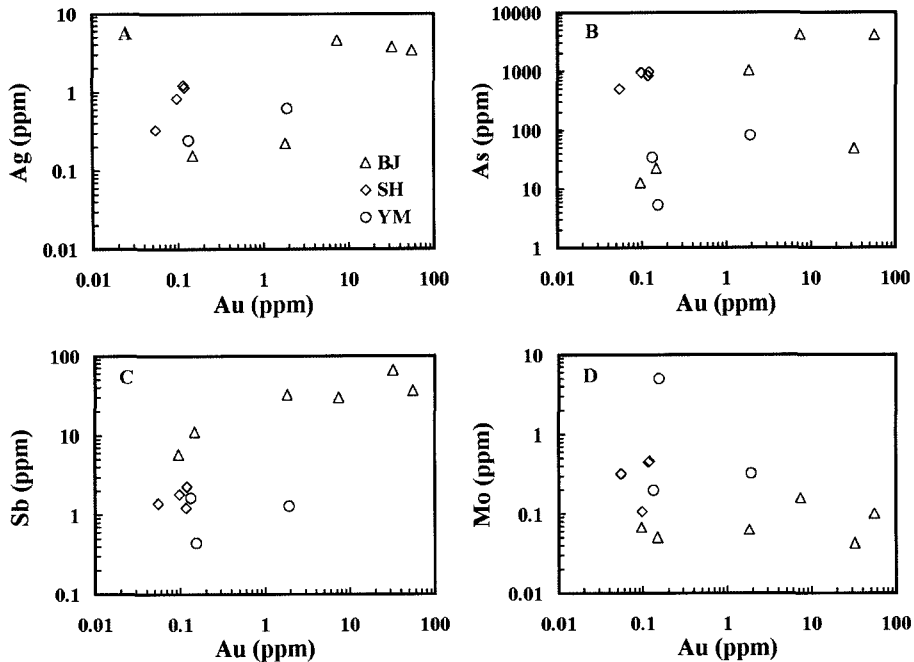


Fig. 8. Relation of gold concentrations to silver, arsenic, antimony and molybdenum in samples from the northern Mt. Taebaek mining district. BJ=Baegjeon area, SH=Seoghang area, YM=Yemi area.

## 5. 결 론

1. 영월지역(예미도폭)에서는 두 곳의 뚜렷한 비소 이상대가 확인되었다. 북동부의 비소 고이상대는 안티모니 이상대와도 일치하고 있으나, 남부 비소 이상대에서는 안티모니 이상대가 발달하지 않고 있다. 안티모니는 예미도폭에서 수 군데의 이상대를 형성하고 있으며, 이들은 금속광산들과 뚜렷한 공간적 상관성을 보이지 않았다.

2. 정선지역(호명도폭)에서는 두 곳의 뚜렷한 비소 이상대가 분포하고 있는데, 영월지역과 달리 이들 이상대는 금속광산(주로 금·은 광산)의 분포지역과 상당히 잘 일치하고 있다.

3. 영월지역과 정선지역에서 금, 은, 비소, 안티모니, 구리, 납, 아연, 몰리브데늄 등은 변질작용동안 매우 유사한 원소 이동도와 지화학적 수반성을 가졌음이 확인되었다. 정선지역에서 영월지역에 비해 상대적으로 부화되어 있는 특징을 보인다. 금·은 및 칼린형 금 광화작용의 지시원소인 비소와 안티모니는 광화작용동안 열수변질작용에 의해 부화되는 양상을 보여주고 있으나, 천금속류인 납과 아연은 시료에 따라 부화 또는 결핍되는 불규칙한 양상을 보여준다. 이러한 특징은 깃셀 트렌드와 칼린 트렌드의 보고와 매우 유사하다.

4. 또한, 금·은을 비롯한 비소와 안티모니의 부화도 양상도 네바다 지역의 칼린형 금광상들과 상당히 일치하고 있다. 납, 아연 및 구리 등 천금속들은 지각의 평균조성에 비해 다소 결핍되어 있는 양상을 보여 주지만, 네바다 지역의 칼린형 금광상들의 부화도와 크게 다르지 않다. 금·은을 비롯한 칼린형 금 광화작용의 지시원소들은 네바다 칼린형 금광상들에서의 결과와 매우 유사한 양상을 보였다. 이는 영월 및 정선지역의 금 광화작용이 칼린형 금광상의 화학조성과 유사한 유체로부터 기원되었을 가능성을 지시해 준다. 그러나, 천금속 및 몰리브데늄의 부화도 양상이 네바다의 칼린형 금광상들과 다소 차이를 보이는 것은 열수 용액과 반응한 모암의 지화학적 및 광물학적 차이에 기인하는 것으로 생각된다.

## 사 사

이 논문은 성규열에 대한 한국과학재단의 해외 Post-doc. 연수지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다. 또한, 본문의 심사과정에서 중요한 관점에 대하여 지적과 수정을 해 주신 한국지질자원연구원의 염승준 박사님과 익명의 심사위원님들께 심신한 사의를 표합니다.

## 참고문헌

- Arehart, G.B. (1996) Characteristics and origin of sediment-hosted disseminated gold deposits: a review. *Ore Geol. Rev.*, v. 11, p. 383-403.
- Bettles, K. (2002) Exploration and Geology, 1962 to 2002, at the Goldstrike Property, Carlin Trend, Nevada. In Goldfarb, R.J. and Nielsen, R.L.(ed.) Integrated methods for discovery: global exploration in the twenty-first century. Society of Economic Geologist, Special Publication No. 9, p. 275-298.
- Geological Investigation Corps of Taebaegsan Region (1962a) Geological map of Taebaegsan region: 6. Jeonseon sheet. Geological Society of Korea.
- Geological Investigation Corps of Taebaegsan Region (1962b) Geological map of Taebaegsan region: 9. Yeongweol sheet. Geological Society of Korea.
- Hausen, D.M. and Kerr, P.F. (1968) Fine gold occurrence at Carlin, Nevada. In Ridge, J.D. (ed.) Ore Deposits of the United States, 1933-1967. v. 1. American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, New York, p. 908-940.
- Hofstra, A.H. (1994) Geology and genesis of the Carlin-type gold deposits in the Jerritt Canyon district, Nevada. Unpublished Ph.D. dissertation, Boulder, University of Colorado, 719p.
- Hofstra, A.H. and Christensen, O.D. (2002) Comparison of Carlin-type Au deposit in the United States, China and Indonesia: Implications for genetic models and exploration. In Peters, S.G.(ed.) Geology, geochemistry and geophysics of sedimentary rock-hosted Au deposits in P.R. China. U.S. Geological Survey, p. 61-94.
- Hofstra, A.H. and Cline, J.S. (2000) Characteristics and models for Carlin-type gold deposits. In Hagemann, S.G. and Brown, P.E.(ed.) Gold in 2000. Society of Economic Geologist, Reviews in Economic Geology, v. 13, p. 163-220.
- Hofstra, A.H., Snee, L.W., Rye, R.O., Folger, H.W., Phinisey, J.D., Loranger, R.J., Dahl, A.R., Naeser, C.W., Stein, H.J. and Lewchuk, M. (1999) Age constraints on Jerritt Canyon and other Carlin-type gold deposits in the western United States - relation to mid-Tertiary extension and magmatism. *Econ. Geol.*, v. 94, p. 769-502.
- Hu, R.Z., Su, W.C., Bi, X.W., Tu, G.Z. and Hofstra, A.H. (2002) Geology and geochemistry of Carlin-type gold deposits in China. *Mineralium Deposita*, v. 37, p. 378-392.
- James, L.P., Park, M.E. and Shin, H.C. (2001) Sediment-hosted disseminated and skarn gold mineralization in the Taebaegsan region, South Korea: occurrence and environment of formation. International Symposium on Gold and Hydrothermal System, 2001, Fukuoka, Japan, p. 145.
- Jin, M.S., Lee, J.S., Kim, S.J. and Lee, C.Y. (1983) Geochemical map of Korea 1: Homeong sheet. Ministry for Energy and Resources, 21p.
- Kesler, S.E., Fortuna, J. Ye, Z., Alt, J.C., Core, D.P., Zohar, P., Borhauer, J. and Chryssoulis, S.L. (2003) Evaluation of the Role of Sulfidation in Deposition of Gold, Screamer Section of the Betze-Post Carlin-Type Deposit, Nevada. *Econ. Geol.*, v. 98, p. 1137-1157.
- Kim, J.H. and Koh, H.J. (1992) Sturctural analysis of the Danyang area, Danyang coalfield, Korea. *Jour. Korean Inst. Mining Geol.*, v. 25, p. 61-73.
- Kim, J.H. and Lee, J.D. (1991) Geological structure of the Yemi area, Kangweon-do, Korea. *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 27, p. 500-514.
- Kim, S.Y., Moon, K.J., Hong, Y.K., Lee, J.S. and Lee, C.Y. (1985) Geochemical map of Korea 4: Yemi sheet. Ministry for Energy and Resources, 26p.
- Korea Resources Corporation (2005) Survey of mining industry, 468p.
- Lee, C.H. (1993) Geology, mineralogy, fluid inclusion and stable isotope of gold, silver and antimony ore deposits of the Dunjeon-Baegjeon area, northern Taebaegsan mining district, Korea. Seoul National University, Graduate School, Ph.D. Thesis, 422p.
- Lee, C.H., Choi, S.-W., Hur, D.D., and Hwang, J. (1998) Epithermal mineralization of the Wangje antimony deposit, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, v. 34, p. 228-242.
- Lee, C.H. and Lee, I. (1997) Epithermal alteration of the Baegjeon Au-Ag deposit, Korea: Geochemical and mineralogical changes of carbonate rocks, *Journal of the Geological Society of Korea*, v. 33, p. 87-98.
- Lee, C.H. and Park, H.I. (1993) Mode of occurrence and compositional variation of electrum from the Dunjeon and Baegjeon gold deposits. *J. Miner. Soc. Korea*, v. 6, p. 94-104.
- Lee, C.H. and Park, H.I. (1996) Epithermal gold-silver mineralization and depositional environment of carbonate-hosted replacement type Baegjeon deposits, Korea. *Econ. Environ. Geol.*, v. 29, p. 105-117.
- Li, Z. and Peters, S.G. (1998) Comparative geology and geochemistry of sedimentary rock-hosted (Carlin-type) gold deposits in the People's Republic of China and in Nevada, USA. U.S. Geological Survey, Open-File Report 98-466, 157p.
- Liu, D., Tan, Y., Wang, J. and Wei, L. (1994) Carlin-type gold deposits in China. In Liu, D., Tan, Y., Wang, J. and Jiang, S.(ed.) Chinese Carlin-type gold deposits, University of Nanjing Press, Nanjing, p. 1-6.
- Mai, C. (1989) A discussion on the metallogenic medel of Dachang-style gold ore and ore searching in south-western Guizhou. *Bulletin of the 562 Comprehensive Geological Brigade*, Chines Academy of Geological Sciences, v. 7-8, p. 37.
- Mason, B. and Moore, C.B. (1982) Principles of geochemistry. John Wiley & Son, New York, 352p.
- Muntean, J. (2003) Models for Carlin-type gold deposits. In short course on gold deposits. China University of Geosciences, Society of Economic Geologists.
- Park, H.I. and Lee, C.H. (1992a) Mode of occurrences and depositional conditions of Sb, Bi sulfosalt minerals from south ore deposits, Dunjeon gold mine. *Jour. Korean Inst. Mining Geol.*, v. 25, p. 17-25.
- Park, H.I. and Lee, C.H. (1992b) Mineral chemistry and "invisible gold" of oscillatory zone pyrite from the Baegjeon gold mine. *Journal of the Geological Society of Korea*, v. 28, p. 627-636.
- Park, M.E., Sung, K.Y. and Moon, Y.H. (2002) Technical

- report on exploration of Carlin-type gold deposits. Korea Resources Corporation, 135p.
- Peters, S.G. (1996) Definition of the Carlin trend using orientation of fold axes and application to ore control and zoning in the Central Betze orebody, Betze-Post mine. In Green, S.M. and Strusacker, E.(ed.) *Geology and Ore Deposits of the American Cordillera, Field Trip Guidebook Compendium: Reno*, Geological Society of Nevada, p. 203-240.
- Ryu, I.C. (2002) Tectonic and stratigraphic significance of the Middle Ordovician carbonate breccia, Ogcheon Belt, South Korea. *Island Arc*, v. 11, p. 149-169.
- Theodore, T.G., Kotlyar, B.B., Berger, V.I., Moring, B.C., Singer, D.A., and Edstrom, S.A. (1999) *Geochemistry of Stream-Sediment Samples from the Santa Renia Fields and Beaver Peak Quadrangles, Northern Carlin Trend, Nevada*. U.S. Geological Survey, Open-File Report 99-341, 105p.

---

2007년 8월 14일 원고접수, 2007년 10월 20일 게재승인.