자원환경지질, 제40권, 제3호, 331-338, 2007
Econ. Environ. Geol., 40(3), 331-338, 2007

몽골 북부 보루 금광상의 지질

허철호* · 이재호 · 김유동 · 김복철
한국지질자원연구원 지질기반정보연구부

Geology of the Boroo Gold Deposit, Northern Mongolia

Chul Ho Heo*, Jae-Ho Lee, You Dong Kim and Bok Chul Kim
Geology & Geoinformation Division, Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

1. 서 론

몽골에서는 최근까지 금광상에 대한 탐사가 주로 사금광에 집중되어져 왔으며 몇몇 석영맥상형 금광상을 비롯한 1차 금광상에 대한 탐사 및 연구는 구소련을 포함한 동구권 국가들과의 조사에 의해 수행되어 몽골 전역에 부존된 금광상의 성인과 산상, 품위 등이 파악되었다. 금광상의 공간적 분포는 단층대와 깊게 관련된 양상을 보인다. 몽골 내 1차 금광상은 열수기원, 변성기원, 해저열수기원 등 다양한 성인을 가지며, 생성시기도 시생대~초기 원생대, 상부 원생대, 초기 고생대, 중기 고생대, 상부 고생대, 상부 고생대~초기 중생대, 상부 중생대 등으로 다양하다(Dejidmaa, 1996).

1차 금광상의 경우 함금 석영맥광상이 주를 이루며 수반광물은 황철석, 황동석, 유비철석과 방연석 등의 황화광물이 주로 수반된다. 일부 광상에서는 연, 아연과 은, 비소, 창연 등이 소량으로 금과 공생하기도 한다. 개별 광상에서 광맥은 대부분 단층구조의 규제를 받아 각력화작용과 파쇄대를 수반한다. 일부 지역에서는 망상석영세맥에 의한 산점상 광상도 확인된다. 1995년 통계에 의하면 몽골의 금 부존량은 석영맥형 금광상과 사금을 합하여 3,100t 정도로 추산되며 이중 석영맥형금이 2,800t, 사금이 300t 정도이다(ESCAP, 1999).

보루 금광상은 몽골에서 지속가능한 토대에서 상당량의 금을 생산하기 위해 현대식 채광 및 처리기술을 도입한 최초의 노천채굴 광산이다. 본 해설에서는 2007년 4월에 현장 조사한 보루 금광상의 지질 및 광화작용특성에 대하여 소개하고자 한다(Jargalsaikhan *et al.*, 1996; United Nations, 1999).

2. 위 치

보루 프로젝트를 운영하고 있는 보루 금회사 (Boroo Gold Company)와 센테라 금 몽골(Centerra Gold Mongolia)은 몽골 북부-중부의 North Khentai 금광화대내 위치하고 있다(Fig. 1). 보루 금광상은 몽골의 수도 울란바타르로부터 북-북서로 약 110 km 떨어져 있으며 행정구역상으로 Selenge 아이막 Bayango 소움에 위치하며, Baruunkharaa와 Ulaanbaatar-Irkutsk 고속도로에 있는 철도역 가까이에 부존하고 있다(Fig. 1). 광산현장은 약 140 km의 포장된 울란바타르-이르쿠츠크 고속도로를 타고 울란바타르로부터 북쪽으로 가면 쉽게 도달하며, 고속도로 동쪽으로 비포장도로를 따라 약 10 km 더가면 현장에 도착할 수 있다.

북-중부 몽골은 반건조하며 대륙성 기후를 가지고 있다. 몽골은 매우 계절적이고 일주적 온도변이를 보이는 곳으로, 겨울의 경우 온도가 -40°C까지 내려갈 수 있으며 여름의 경우 +40°C를 초과하기도 한다. 년간 평균 기온은 약 0°C이나, 보루지역에는 영구 동토층은 없다. 몽골 북부의 건기 대륙성 기후로 인하여 보루지역은 매년 300일 이상 햇빛을 받고 있으며, 겨울에만 가벼운 눈이 덮힌다. 본 지역은 년간 약 25cm의 강우가 내리며, 대부분은 7월에서 8월까지의 우기 중에 비로 내린다. 보루 광산은 내내 지속적으로 가행된다.

*Corresponding author: chheo@kigam.re.kr

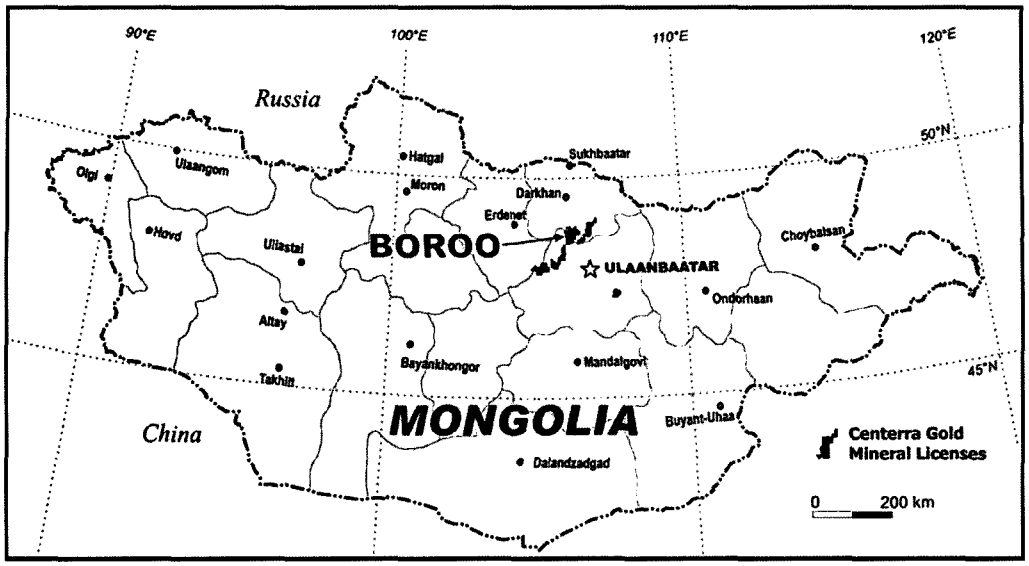

Fig. 1. Location map of Mongolia and the area of CGM's Boroo project.

보루 광산 지역의 지형융기는 완만하거나 적당하게 가파른 구릉들이며(Fig. 2), 대개 초원으로 덮혀 있으나 북사면에는 소규모의 불연속적인 자작나무와 오리나무 군락이 자생하고 있다. 평균 고도는 약 1,200 m이다.

Boroogol(*boroo*=비; *gol*=강)은 본 역에서 주요 수계이다. 보루 광상 지역에서 기원하고 상당량의 사금광상을 배태하고 있는 Ikh Dashir 하천은 Boroogol의 서부 지류이다. Boroogol은 북쪽으로 흘러 Kharaagol로 유입되는데, Kharaagol은 계속해서 북쪽으로 흘러 러시아로 유입되고 궁극적으로 바이칼 호수에 도달한다.

Fig. 2. View of Boroo Mill Complex and surrounding terrain, 8 April 2007, looking northeast, P2 visble at lower left.

3. 지 질

지체구조적으로 북부 및 동부 몽골은 몇 번의 고생대 조산운동 시기동안 시베리아 강괴의 남동 연변부에 부가된 수많은 해양분지로 구성되어 있다(Sengör and Natal'in, 1996; Badarch *et al.*, 2002).

North Khentai 산맥으로 알려진 이 부가대내 지역은 북동 주향의(~N45°E) 대규모 단층대에 속하며(Fig. 3), 이들 중 일부는 러시아까지 100km 정도 연장된다. 이들 대단층은 수십km의 누적된 좌수향 변이를 보이며 일반적으로 주요 암층 경계 구조로 고려된다. 잘 발달된 ~N30°W 주향 단층 및 열극대 구조가 북동 주향의 대단층들 사이에서 명백히 신장된 특성으로 관찰된다. 광역적인 암맥군은 ~N30°W 방향과 정북 주향구조를 충진하고 있다.

주요 지질 층서단위는 시생대 후기 내지 고생대 초기(Gerel *et al.*, 1999)로 사료되는 하라 변성퇴적암층을 관입한 고생대 후기에서 중생대 초기에 이르는 깊이 침식된 화성암 복합체로 구성되어 있다(Zonenshine, 1970; Yarmolyuk and Kovalenko, 2001). 주요 화강암질 암층은 초기 고생대(~520-450 Ma, Kampe and Gottesmann, 1966)의 보루 복합체 우백질 화강암 및 다양한 암맥들로 구성되어 있다. 일련의 조립질 쇄설성 퇴적암("molasse")은 하라 및 보루 복합체 위에 놓여있고 일반적으로 석탄기 및 페름기층으로 보고 있다. 산성 화산암 및 아(亞)화산복합체는 잠정적으로 데본기(전암에 대한 K-Ar 연령 295±20 Ma, 흑운모의 Rb-Sr 연령 305±30 Ma; Kampe and Gottesmann, 1966) 또

는 페름기(전암에 대한 K-Ar 연령 288.8±14 Ma; Baasandolgor, 2003)로 사료되며 주요 선구조 교차부에 부존하고 있다.

중생대 상부 육성 쇄설성 퇴적암(함석탄층)은 북서쪽으로 신장된 분지 내 산출하고 있다. 사금이 이들 암석층내 보고되고 있다(Kotlyar *et al.*, 1999).

보루 금광상은 보루 단층으로 불리는 거의 평평하게 놓여있는 단층대에 배태되고 있으며 본 단층대가 상부의 변성퇴적암(하라통)과 하부의 화강암질암(보루복합체)을 분리하고 있다. 그러나 Pit 5와 6에서는 보루 단층은 전체적으로 변성퇴적암내 부존하고 있다(Fig. 4). 하라와 보루 복합체는 보루광산에서 기저암지질을 지배하고 있다. 분명히 산성 반화강암 내지 중성 섬록암의 후기 암맥 및 렌즈상 관입체가 이 암층들과 구조대를 관입하고 있다. 보루 단층은 이들 암맥에 의해 관입되고 그리하여 이 화성활동상보다 시기적으로 오래되었음을 알 수 있다.

보루 단층대 자체는 1~70 m 두께의 혼합된 화강암, 변성퇴적암 및 국지화된 섬록암체로 구성되어 있는 지질층서로 구성되어 있다. 변성퇴적암은 전단작용을 받은 화강암의 기질내 떠있는 크고 불규칙한 모양의 포획암으로 산출한다. 섬록암은 평평한 단층과 고각 단층 또는 단순한 팽창대를 따라 상향이동하는 단층을 따라 변성받지 않은 암체로 산출한다.

일련의 고각 구조대가 본 지역을 가로로 절단하고 있다. 주요한 주향은 북-북서쪽이다. 이들 구조대는 위에서 언급된 암맥에 의해 충진되거나 동등한 시기인 것처럼 보인다. 북동방향의 광역적 규모의 증거가 있으나 이 방향의 단층은 지상에서 지도화되지 않았다 (Fig. 5).

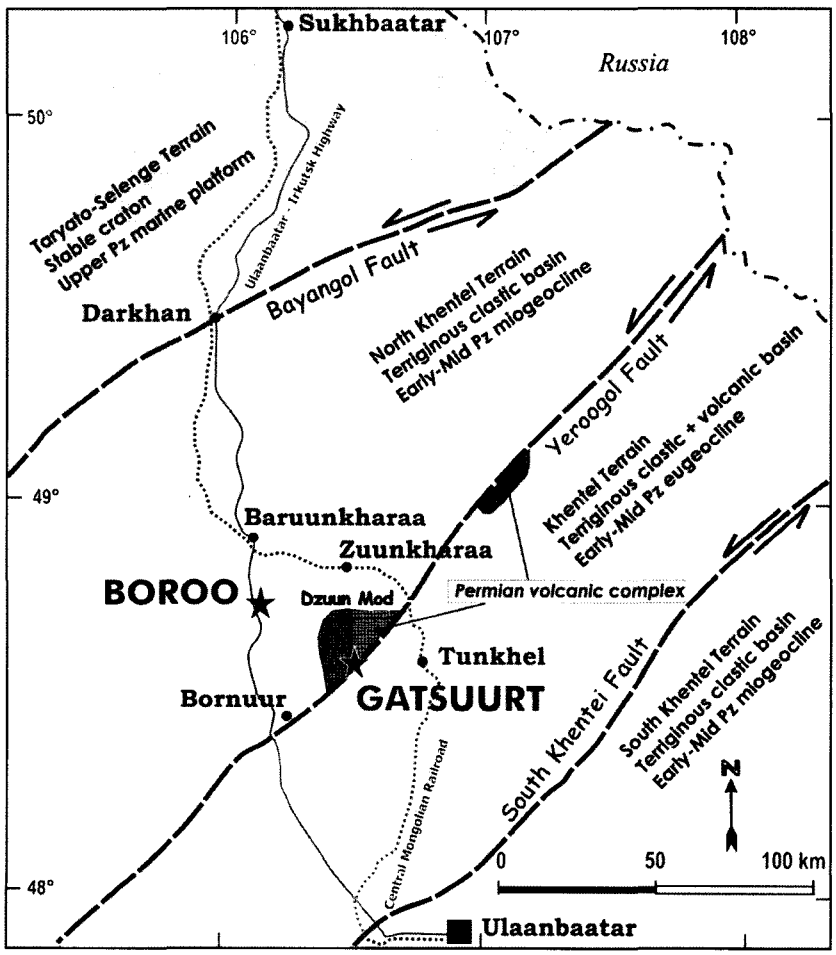

Fig. 3. Major tectonic elements of north-central Mongolia showing the location of the Boroo gold deposits.

4. 광화작용 및 광상지질

금광화작용은 국지적으로 강한 석영-견운모-철탄산염 변질작용을 받은 함금석영맥내 산점상 세립질의 금-황철석-유비철석 광화작용으로 구성되어 있다. 산점상 광화작용은 보통 세립질 금을 수반하며 품위는 1~5 g/t

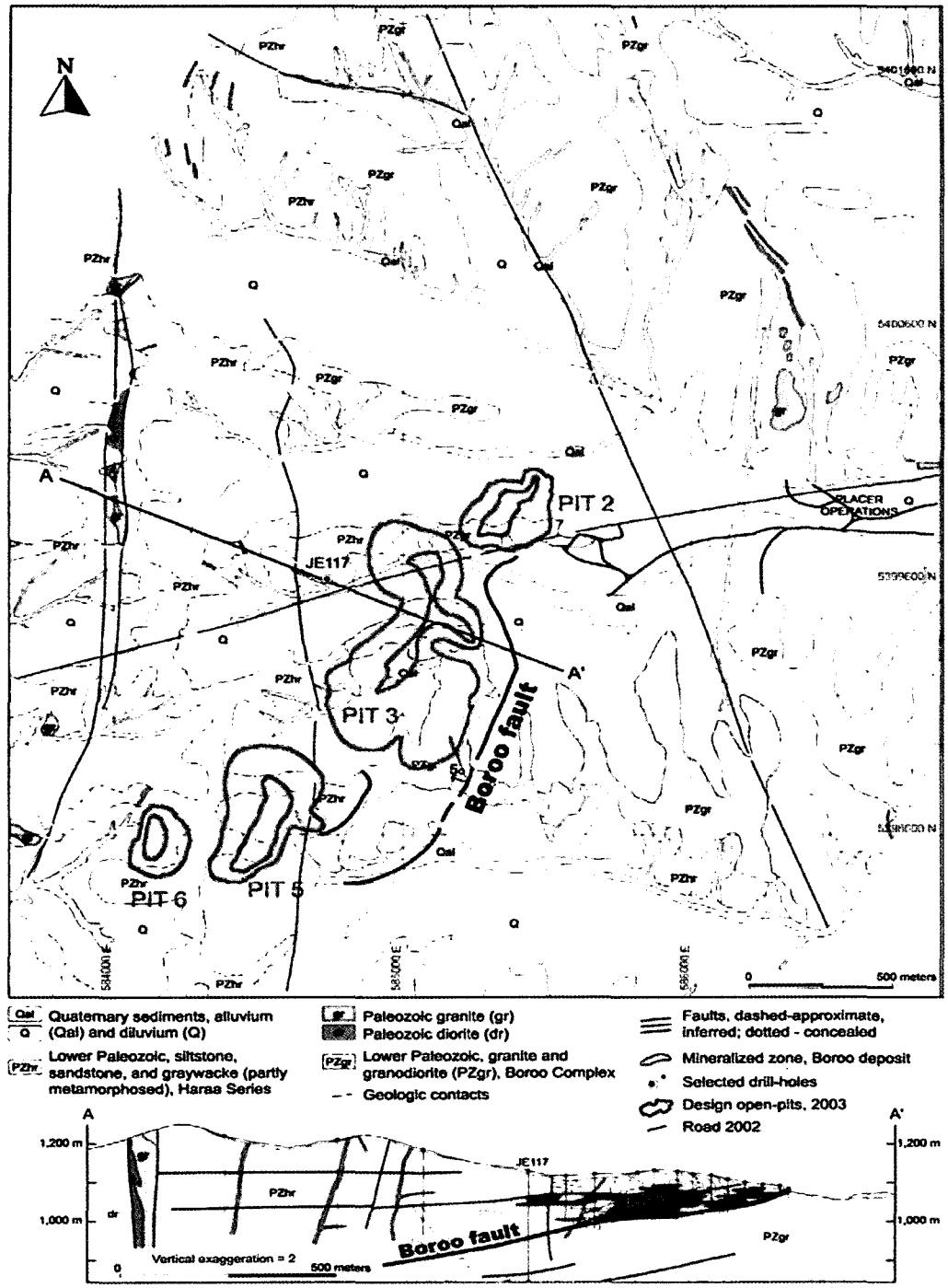

Fig. 4. Boroo deposit geology map with reserve pit footprints (2003) and interpretive section through Pit 3. Orthogonal grid is UTM, WGS84.

이나 매우 일관된 금함량을 보이는 반면 석영맥형 광화작용은 조립질의 금을 수반하며 수십내지 수백 g/t의 매우 불규칙한 금품위 분포를 보여준다. 소다장석은 화강암에서 주요한 변질광물로 기록된다. 나트륨이 칼륨처럼 보루 광상 생성에 중요한 역할을 하고 있다는 것을 알 수 있다.

100 ppb 이상의 금을 함유하는 변질대 또는 훈륜(暈輪)의 총 연장은 2500 m 이상이며 폭은 적어도 400 m, 두께는 100 m 정도이다. 변질훈륜 내 광석품위 광화작용(1g/t 이상의 금)의 층후는 모암 투수성과 비례하며, Pit 5와 6 지역에서는 균질한 변성퇴적암 내에서는 5~10 m이며, Pit 3에서는 이질적인 화강암, 섬록암, 변성퇴적암 내에서 20~30 m 이다. 개별 광체는 연장이 1 km에 이른다.

그리하여 보루 광상은 고생대 변성퇴적암 및 화강암에 발달된 금-황화물 광화작용으로 정의할 수 있다. 광화작용은 평평하게 놓여있거나 약간 북서쪽으로 경사진 수평선구조로 산출하며 아마도 광역적인 규모의 트러스트의 방향과 일치하는 것으로 사료된다.

4.1. 암상

보루 금광상 지역 하부에는 캠브리아기-오르도비스기 하라통 저탁암층의 매우 변형된 셰일, 실트암 및 세립의 사암과 고생대 화강암류의 보루 복합체가 놓여있다. 수많은 석영안산암, 유문암 및 반화강암 암맥이 본 광상지역에서 화강암질암과 변성암을 관입하고 있

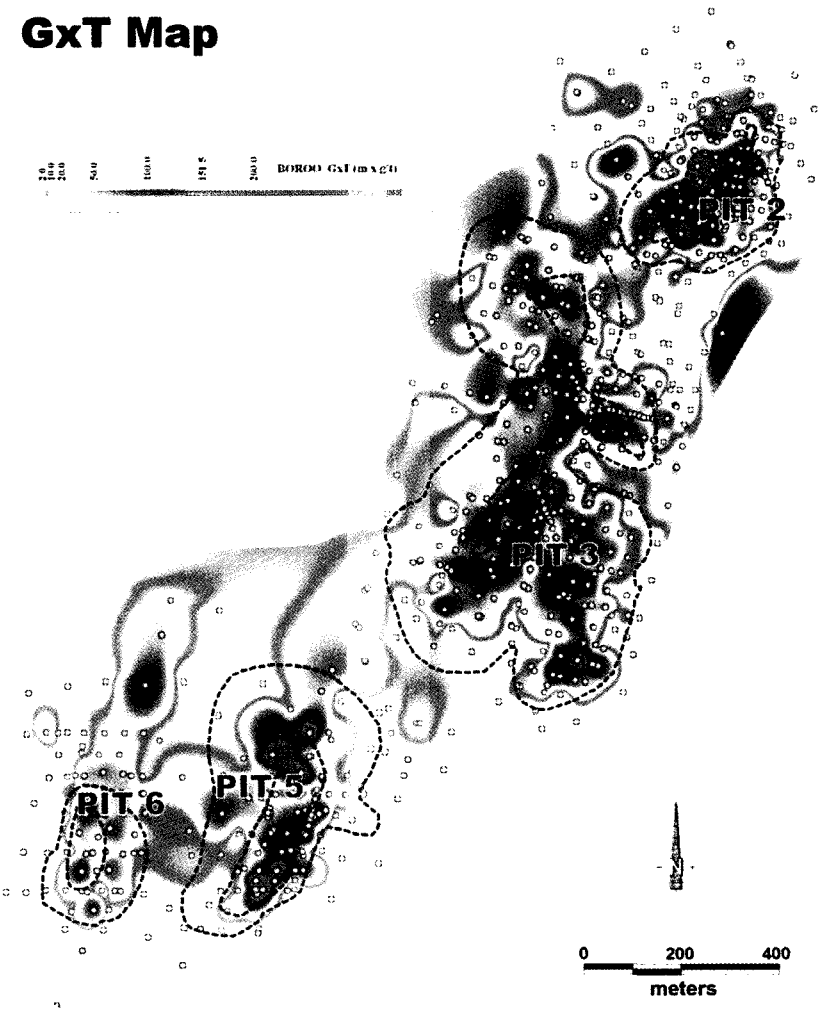

Fig. 5. Grade×thickness, Boroo deposit, showing dominant northeast and northwest structural fabric of the deposit area. Gray dots are drill holes.

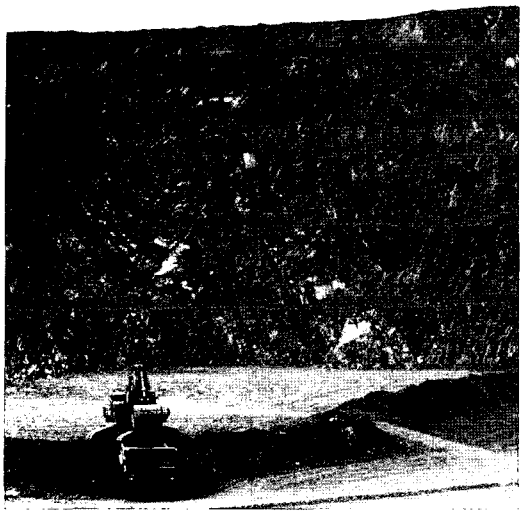

Fig. 6. Folded strata of the Haraa formation in the west highwall of Pit 5. Largest benches are 10 m high. Prominent orange-colored beds are fine-grained sandstone interbedded in a siltstone dominated rock package-a turbidite sequence.

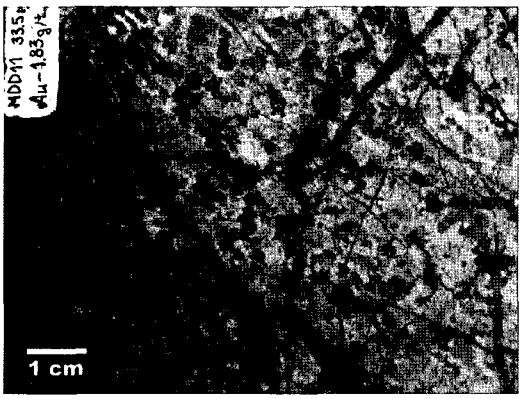

Fig. 7. Core from hole MDD-11: 33.5 m depth, Pit 3 area, showing typical K-+sericite+quartz veinlet alteration assemblage in equigranular granite, 1.83 g/t Au. Note combination of typical near-orthogonal stockwork and sulfide selvages with stylolitic morphology- a feature common in the Boroo deposit.

다. 보루지역의 퇴적암은 강하게 습곡을 받았으며 저변성 광역변성작용을 받았고 화강암 관입 연변부에는 국지화된 접촉변성대가 중첩하고 있다(Fig. 6).

화강암류(사장화강암, 흑운모화강암, 흑운모-각섬석 화강암, 우백질화강암)는 보루광상의 중심부와 북부지역에서 체적상으로 상당부분을 차지한다. 보루 복합체라 불리는 화강암은 특징적으로 등립질이며 뚜렷한 분홍색 장석 반정을 보여준다(Fig. 7).

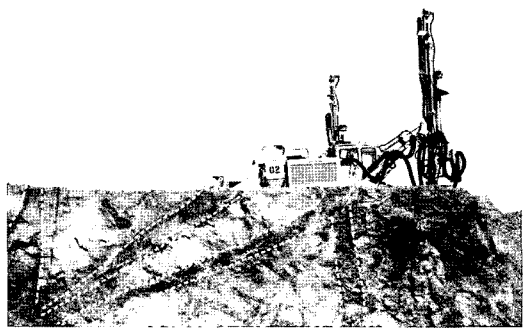

Fig. 8. Boroo deposit, Pit 2, bench 1095, looking north-northeast. Horsetail structure: combination of slightly altered vertical and gentle-west dipping dikes (gray-green, outlined in yellow dashed lines). Orange field book in lower left center for scale. Note lack of dikes dipping east.

화강반암 및 섬록암 성분으로 구성된 암맥은 광상지역에 걸쳐 분포되어 있다. 암맥의 두께는 수cm에서 수m까지 다양하다. 이들 암석들은 북-북서 주향의 수직 단층대를 따라 보통 흔하며 망상의 거의 수직이며 완만하게 경사진 좁은 암체를 형성한다(Fig. 8). 또한 섬록암 암맥 또는 암상의 산출도 본 지역에 보고되고 있다.

4.2. 변질작용, 금광화작용 유형

금광화작용은 강한 석영-견운모질 변질작용과 관련이 되어 있으며, 두개의 주요한 금광화작용 유형이 존재하고 있다.

4.2.1. 금-황화물대

보루에서 금광화작용은 대부분 금-황화물대에서 관찰되고, 두개의 뚜렷하나 공간적으로 중첩되는 단계로 산출되며 다음과 같다.

금-황철석-유비철석-석영 광화작용은 석영-견운모질 변질작용대내에 얇고 불규칙한 세맥(망상세맥), 각력암, 또는 산점상으로 산출한다(Fig. 7). 심부에서는, 변성퇴적암과의 접촉부에서, 화강암은 잘 발달된 석영-알바이트-녹니석-(녹염석) 변질조합을 수반한 유비철석이 풍부한 세맥과 산점상 황철석 및 유비철석을 배태하고 있다(Fig. 9).

금-석영-견운모-황철석-탄산염 산점상 광화작용은 보통 금-황철석-유비철석-석영 광화작용을 중첩하며 산출한다. 전형적인 석영-견운모질 변질 광물조합은 55% 석영, 25% 견운모, 15% 황철석, 5% 탄산염으로 구성되어 있다. 현미경으로 보이지 않는 금입자는 황철석과 관련이 되어 있다.

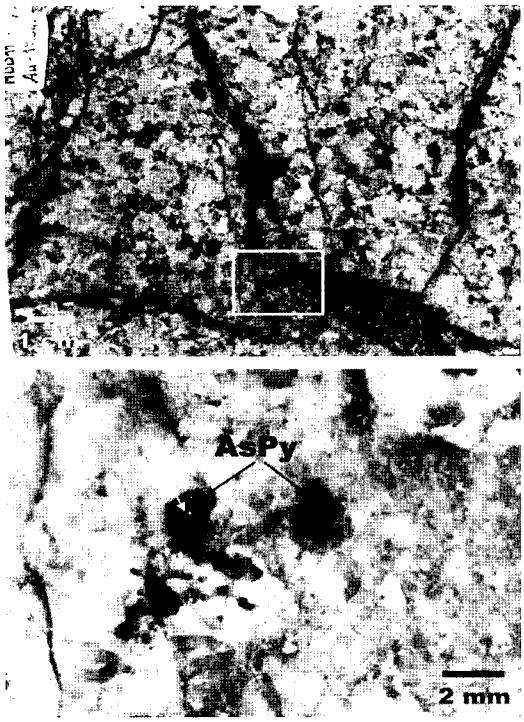

Fig. 9. Core from hole MDD-11: 25.7 m depth, Pit 3 area, showing typical altered granite as in Fig. 7 plus an overprint of silica+K-spar veining with native gold grains (electrum, which appears black in this image) and arsenopyrite yielding an average grade of 19.3 g/t Au. White box in upper photo shows location of enlargement in lower photo.

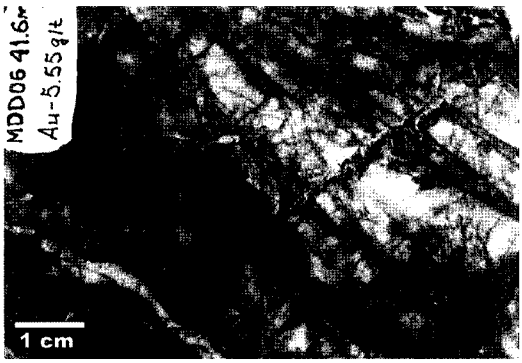

Fig. 10. Core from hole MDD-06: 41.6 m depth, Pit 5 area, showing banded quartz-sulfide vein, 5.55 g/t Au.

4.2.2. 석영맥

광화된 얕게 경사진 백색 석영맥은 구조를 따라 더욱 풍부하고 넓게 퍼져 있다(Fig. 10). 황화광물은 밝은 색깔의 거의 백색 황철석이 지배적이며 때때로 황동석에 의해 둘러싸여 있다. 사면동석 및 방연석은 연마편에서 관찰되었다. 석영맥에서 금이 관찰되었으나 대개 황화물과 함께 산출된다.

프로필리틱 변질작용의 주변부 또는 훈륜은 보루 지역에 잘 발달되어 있다. 녹렴석 군집, 맥 및 세맥은 보루광상의 북쪽 약 3 km까지 관찰된다. 석영-탄산염 맥과 갈철석질 변질작용은 시굴적에서 기록이 되었으며, 아마도 후기 단계의 주변 변질광물조합을 표현한다.

5. 결 론

보루금광상은 기존 연구에 의하면 맥상 유형의 금광상으로 분류되었다(Dejidmaa, 1996). 맥상은 명백히 중요한 특징이지만, 최근 연구에 의하면 본 광상은 중심부에 석영-견운모-황철석 변질작용이 발달하고 외곽으로 갈수록 프로필리틱 변질작용으로 점이하는 변질대 내 발달한 저황화물 석영시스템으로 사료된다(Drew, 2003). 또한, 보루금광상은 관입암과 관련된 금광상으로 사료되며(Sillitoe, 1993) 세부적으로 말하면 아마도 환원형 화강암질 관입체와 관련이 있는 것으로 추정된다(Thompson and Newberry, 2003). 이 광상 유형의 수많은 다른 보기들이 동아시아의 부가대에서 존재하고 있다(Fan *et al.*, 2003; Qiu *et al.*, 2002).

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원이 수행하고 있는 산업자원부 출연사업인 해외광물자원 협력 및 기술정보 구축과제에서 지원되었습니다.

참고문헌

Baasandolgor, L. (2003) Geologic and geochemical peculiarities of Dzuun Mod ore district, M.Sc. Thesis, Mongolian Technical University, Ulaanbaatar, in Russian.

Badarch, G., Cunningham, W.D. and Windley, B.F. (2002) A new terrain subdivision for Mongolia: implications for the Phanerozoic crustal growth of Central Asia. Journal of Asian Earth Sciences, V. 21, p. 87-110.

Dejidmaa, G. (1996) Gold metallogeny of Mongolia. Mongolian Geoscientist, V. 1, p. 6-27.

Drew, L.J. (2003) Low-sulfide quartz gold deposit. U.S. Geological Survey, Open-File Report 03-077.

Fan, H.R., Ming, G.Z., Xie, Y.H. and Yang, J.H. (2003) Ore-forming fluids associated with granite-hosted gold mineralization at the Sanhandao deposit, Jia-

odong gold province, China. Mineraliun Deposita, V. 38, p. 739-750.
Gerel, O. (1998) East Asia Mesozoic intraplate magmatism and metallogeny. Mongolian Geoscientist, V. 10, p. 86-89.
Jargalsaikhan, D. Kazmer, M., Baras, Z. and Sanjaadorj, D. (1996) Guide to the geology and mineral resources of Mongolia. Geological Exploration, Consulting and Service(GCS) Co. Ltd., Ulaanbaatar.
Kampe, A. and Gottesmann (1966) Report on results of 1:50,000 scale geological mapping and general prospecting carried out in south-western Khentii gold-bearing district. Geological Information Center, Ulaanbaatar, Report No. 1836, in Russian.
Kotlyar, B., Gantsetseg, O., Tungalag, F. and Burentugs, J. (1999) Location and variations in mesothermal Au mineralization in North Khentii gold trend. Mongolian Geoscientist, V. 14, p. 107-110.
Qiu, Y., Groves, D.I., McNaughton, N.J., Wang, L. and Zhou, T. (2002) Nature, age, and tectonic setting of granitoid-hosted orogenic gold deposits of the Jiadong Peninsula, eastern North China craton, China. Mineralium Deposita, V. 37, p. 283-305.
Sengör, A.M.C. and Natal'in, B.A. (1996) Paleotectonics of Asia: fragments of a synthesis. In: Yin, A., Harrison, M. (eds) The tectonic evolution of Asia. Cambridge University Press, Cambridge, p. 486-640.
Sillitoe, R.H. (1993) Intrusion-related gold deposits. In: Foster, R.P. (ed) Gold metallogeny and exploration. Chapman & Hall, London, p. 165-209.
Thompson, J.F.H. and Newberry, R.J. (2003) Gold deposits related to reduced granitic intrusions. In: Hagemann, S.G., Brown, P.E. (eds) Gold in 2000. SEG Reviews, V. 13, p. 377-400.
United Nations. (1999) Geology and mineral resources of Mongolia. Atlas of mineral resources of the ESCAP region 14, United Nations, New York.
Yarmolyuk, V.V. and Kovalenko, V.I. (2001) Upper Paleozoic continental margin magamtism of Mongolia. In: Dergunov, A.B. (ed) Tectonics, magmatism, and metallogeny of Mongolia. Routledge, London, p. 143-203
Zonenshine, L.P. (1970) Tectonic history of Central-asia foldbelt. MGU, Moscow, in Russian.

2007년 5월 3일 원고접수, 2007년 6월 13일 게재승인.