

## 카자흐스탄 동카자흐스탄주 아이-카리울 동 광화대의 특성

이재호 · 김인준\* · 김복철

한국지질자원연구원

### Review of the Characteristics of Ai-Karaaul Cu Mineralized Zone in the Eastern Kazakhstan Oblast, Kazakhstan

Jae-Ho Lee, In-Joon Kim\* and Bok-Chul Kim

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon, 305-350, Korea

#### 1. 서 론

탐사가 허가된 Ai-Karaaul 동 광석 산출지는 동 카자흐스탄주의 Ayagoz지역 Ayagoz시에서 남으로 40 km 떨어진 곳에 위치한다(Fig. 1). 경제적으로 낙후된 지역으로, 서쪽 15 km지점에 세미팔라딘스크-알마티(Semipalatinsk-Almaty) 철로가 지나간다. 가장 가까운 인구 밀집 지역은 동쪽 10 km에 위치하는 Ai 마을이며, 구역의 총 면적은 약 265 km<sup>2</sup>로 좌표는 다음과 같다;

1. 북위 47° 37' - 동경 80° 17'
2. 북위 47° 37' - 동경 80° 26'
3. 북위 47° 26' - 동경 80° 28'
4. 북위 47° 26' - 동경 74° 17'

지역은 카자흐 고원 동측에 위치하며 해발 500-600 미터의 높이를 보이는 구릉성 평야로, 고도차는 60-100 미터정도로 나타난다. Ai 강은 비와 눈 녹은 물로 이루어지며, 지역을 가로지르며 흐르는데, 7월까지 강의 수심은 낮다. 식생은 능수버들같은 관목, 작은 관목 및 잡초 등이 분포하는 반건조대(semi-arid)의 특성을 보인다. 기후는 극한 대륙성 기후의 특징을 보이며, 계절과 일별 온도차가 매우 심하다. 강우량은 매우 소량(105 mm/년)이며, 여름에는 매우 건조하고 고온(영상

42°C)이며, 겨울에는 춥다(영하 42°C). 적설은 11월 중순부터 이듬해 3월 중순까지 발달하는데, 두께는 약 20-30cm에 이른다. 연평균 기온은 약 5.5°C이며, 연중 바람은 초속 2-4 m의 동풍 또는 북동풍이 우세하게 분다. 때때로 봄과 여름에 매우 강한 돌풍(약 초속 1.5 m 이상)이 불 때도 있다.

광구는 매우 낙후된 지역으로, 비포장도로가 주로 철길을 따라 형성되어 있고, 생필품의 공급은 Ayagoz역까지 철도로 이루어진다.

본 Review에서는 Balkhash 호수 주변의 아이-카리울 동 광화대에 대한 현장조사 시 수집한 자료를 바탕으로 광화대의 분포 특성에 대하여 소개하고자 한다.

#### 2. 지질 및 광상 특성

지구조적으로 Ai-Karaaul 광구는 Balkhash-Ili 화산대 동측에 위치하는 바카나스 북향사에 속한다. 화산대는 사약(Sayak)과 칭기즈(Chingiz) 함몰대사이에 위치하며, Alakul 융기지대를 관통한다. 층상의 지층은 드물게 박층의 사암이 협재되는 현무암과 조면현무암으로 구성된다. 화산암은 주로 부석-현무암질 용암, 조밀한 행인상 구조를 보이는 현무암, 그리고 안산암-현무암질 반암으로 구성된다. 행인상에는 방해석, 석영, 제올라이트, 옥수질 석영, 녹니석 등이 산출된다.

\*Corresponding author: ijkim@kigam.re.kr

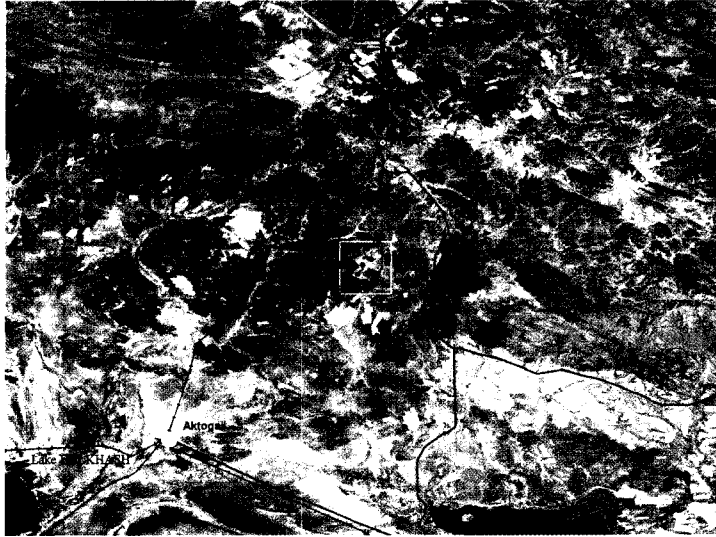


Fig. 1. The satellite image and location of Ai-Karaaul Cu block.

화산암 분포지역에는 유용광물 산출지(occurrence)와 관련되는 다양한 주향의 단층들이 발달한다. 가장 초기에 형성된 NW 주향의 단층은 화산-퇴적성 암체내 구조선의 주향과 거의 일치한다. 가장 후기에 형성된 NE 주향의 단층을 따라 분포하는 암석은 탄산암, 제올라이트, 드물게 석영 및 녹니석으로 구성되며, 휘동석 광화작용이 나타난다. Beriktas 분지를 구성하는 반암에서 자연동이 산출된다. 광석이 배태되고 있는 암석은 주로 용암, 용암 각력암, 응회암 등으로 구성된다. 변질광물로는 제올라이트, 포도석, K-장석, 녹니석, 녹렴석 등이 산출된다. 자연동의 산출여부, 산출지의 크기 및 비금속광물의 관련성은 모암의 특성에 따라 변화한다.

일반적으로 발하쉬(Balkhash) 지역은 주로 반암 동광상을 대상으로 탐사되었던 곳으로, 카자흐스탄에서는 새로운 형태의 동 광상(Manto형)을 찾기 위한 탐사가 요구되고 있다.

Manto형 광상은 주요한 동 공급원으로 알려져 있으며, 성인에 대해서는 많은 논쟁이 존재하나 유용광물의 근원은 인접지역의 퇴적분지내에서 유래된 퇴적기원으로부터 또는 관입 화강암에서 유래된 광화유체로부터 기원하는 것으로 알려져 있다. Manto형 광상의 광체는 일반적으로 리본 또는 렌즈상으로 채광에 용이한 형태이다. 이 유형의 광상들은 매장량이 비교적 작지만(500,000-700,000톤), 품위가 비교적 높은 특징(1.0-4.75%)을 보이며, 비교적 높은 품위의 은을 수반한다(최대 100 g/t).

Ai-Karaaul 동 산출지는 칠레의 Esperanca, Soccero, Paderoso, Bienvendio 등과 유사한 Manto형 광상으로 평가된다. 약 600 km<sup>2</sup>의 Ai-Karaaul 구역 내에는 Ai 광상을 비롯하여 Ai II, Ai III, Ai IV, Ai V, Karaaul, Baipa 및 Eginbulak 등을 포함하는 약 50여개의 산출지와 수백 개의 동 광화작용 흔적이 보고되어 있으나, 연구는 거의 이루어지지 않았다(Fig. 2).

Kaznedra 주식회사의 전문가들은 소규모 광상들로 이루어진 소위 Karaaul 광상의 동 매장량을 4,700-9,000천톤으로 예상하고 있다(평균품위 0.6-0.9%).

전체적으로, 동 광상에 대한 연구가 정밀하게 이루어지지 않았으나, 동 매장량이 수백만 톤에 이를 것으로 예상되는데, 주요 광체는 노천채굴로 개발될 수 있을 것으로 사료된다.

### 3. 주요 광상 및 산출지

#### 3.1. Ai 광상

Ai 광상은 Bakhy-Ayaghuz 고속도로에서 28km 떨어진 Lugovaya- Semipalatinsk 철도 동쪽 15km에 위치한다(북위 47° 36′-동경 80° 25′).

광상 지질은 현무암질 반암으로 이루어져 있으며, 반암 중에는 각력화된 용암과 응회암이 포함되어 분포한다. 이들 암석들은 균열이 발달해 있고 또한 파쇄되어 있다. 층후는 모암의 주향 및 경사와 일치하는 4km 연장의 암상인 섬록암질 반암과 동일하다. 소시지 모양의 구조를 보여주는 암상의 경사는 20-25SW이며,

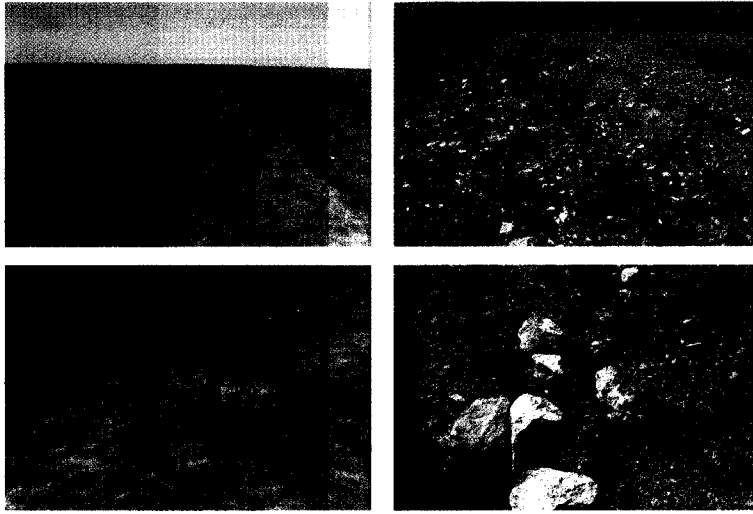


Fig. 2. The overview of Ai-Karaaul occurrences and Cu ore samples.

폭은 주향과 경사에 따라 3-5 m에서 18-22 m까지 다양하게 나타난다(최소 폭 0.7-0.8 m). Ai 단층 부근에는 일련의 조구조적 파쇄대가 분포하며, 섬록암질 반암은 수개의 암체로 분리되어 분포한다.

광상의 동 광화작용은 주로 섬록암질 반암의 암상에서 발달하며, 때때로 좁은 구간에서 모암을 포획한 형태로 산출되기도 한다. 동 광화작용은 현무암질 반암과 응회암내에서 짧고 얇은 광체들이 형성되는 특징을 보여주시기도 한다.

섬록암질 반암내 경제성 있는 품위를 갖는 광체는 서쪽에서 Ai 단층에 접하는 조구조적 변동대에 위치하는 광체부에 집중되어 산출되는 특징을 보인다. 암상내 동 광화작용은 Ai 단층을 향할수록 품위가 증가되고 인접부에서 최대 품위가 나타나는 특징을 보여준다. 섬록암질 반암에는 상-하반의 두개 광체가 발달한다. 두개 광체의 동 품위는 0.1%에서 0.6%까지 다양하게 산출되며, Ai 단층에 인접한 부분에서 두 광체가 합쳐지는 경향이 뚜렷하게 나타난다.

지표상에서 광체는 2-4 m에서부터 14-35 m까지 다양한 두께로 발달하고 있으며, 심부에서는 70-80 m에서 300 m까지 발달이 확인된다. 경사 방향의 광체 두께는 일정하지 않고 완전히 소멸될 만큼 감소하기도 한다. 광체의 경사는 20-25°이며, 광체의 연장은 주향을 따라 450 m까지 확인된다. 광화된 모든 섬록암질 반암은 전체적으로 조장석화되어 있다. 모암에는 탄산염화, 녹니석화 및 규화 변질작용이 발달하고 있다.

대표적인 광석광물은 휘동석이며, 매우 드물게 세립

의 황동석이 산점상으로 산출되고 있다. 산화대에서는 산출되는 주요광물은 공작석이며, 적동석, 남동석, 규공작석 등도 관찰된다.

1965년에 실시된 탐사에서 한계 품위를 0.7%로 산정하여 계산한 동의 가체매장량은 119,000천톤(평균 품위 2.72%)으로, 만약 한계 품위를 0.3%로 계산 하면 매장량은 약 1.5배 증가될 가능성이 있는 것으로 알려져 있는데, 지구물리탐사 결과를 분석해 보면, 광상의 측면부에서 매장량이 증가될 가능성이 높은 것으로 보인다.

광체는 20-30°의 경사를 보이는 층상형으로, 주요 부존지역은 지표에서 50 m 깊이까지가 해당된다. 광상에서는 두개의 광체(두께 1.5-10 m)가 서로 평행하게 발달하는데, 한계 품위가 0.3%에 이르는 지점에서는 광체가 하나로 합쳐지는 특징을 보여준다. 또한, 광석에는 은의 품위가 높은 것으로 알려져 있다. 동 광화작용은 광체내에서 불균질하게 분포하고 있다.

일련의 시료들에 대한 분석에서, 기타 금속의 함량은 다음과 같이 보고되고 있다; Pb 0.05% 이하, Zn 0.05% 미만, Co 0.002-0.004%, Mo 0.001%, As 0.005% 이하, Hg 0.0001% 이하, Sb 0.0001-0.002%, Ag 5-50 g/t, Au 0.3 g/t 이하.

### 3.2. Ai IV 산출지

산출지의 지질은 후기 페름기의 현무암질 반암, 각력 용암 및 응회암으로 구성되어 있으며, 이들은 약한 녹니석화, 탄산염화 그리고 녹렴석화 변질작용을 받았

다. 주변 암체를 절단하는 조장석화된 섬록암질 반암도 분포한다. A1 단층대에 발달하고 있는 산출지에는 섬록암질 반암 암맥과 연관된 맥상-광염상 유형과 행인상 구조를 보이는 반암의 일차 간극을 충전한 맥상 유형 등 두 가지 광화작용이 발달한다. 전자의 유형은 연장과 폭이 각각 1,100 m와 10-20 m로, 휘동석과 공작석 광화작용이 우세하게 나타나는 특징을 보여주며, 또한 동과 은의 품위는 각각 0.01-0.5%(드물게 1-2%)와 10 g/t로 알려져 있다. 망상형인 두 번째 유형의 주요 광석광물은 공작석, 규공작석 그리고 자연동으로, 소규모 파쇄대와 행인을 충전하고 있는 포도석과 함께 산출되는 특징을 보여준다.

### 3.3. Baipa I 산출지

북동에서 남서 방향으로 110 m 연장되는 암맥상의 섬록암질 반암체는 두께가 1-12 m로 북서주향의 단층에 의해 절단되고 있는데, 접촉부는 북서쪽으로 급경사를 이루고 있다. 동 광화작용은 광염상과 열극을 따라 피복된 공작석으로 특징되며, 광체는 90 m의 연장과 3-10 m 폭을 보여준다. 광체는 수개조로 발달하고 있으며, 여러 트랜치에서 확인된 동의 평균 품위는 0.50-1.84%로 보고되고 있다. 한편, 광석시료들에 대한 화학분석자료에서 동 품위는 4.30%에 이르는 것으로 보고되고 있다. 서쪽 180 m에 위치하는 현무암질 반암내 광화작용은 광염상과 열극을 따라 피복된 공작석으로 특징되며, 광석시료들에 대한 화학분석시 동의 품위는 2.05%에 이른다. 현무암질 반암의 북동쪽 200 m 지점에는 섬록암질 반암의 두 암상이 분포되는데, 이들 암상과 접촉부에는 불규칙한 광화작용이 발달하고 있으며, 광염상과 열극을 따라 피복된 공작석으로 특징된다. 암상은 남서방향의 완만한 경사로 북서방향의 주향을 따라 200 m 정도 연장이 확인된다. 두 암상(두께 7.0 m와 7.3 m)을 관통하는 트랜치 탐사에서의 동 평균 품위는 0.38%와 0.87%이며, 광석시료들에 대한 화학분석에 의한 동 품위는 4.50%에 이른다.

### 3.4. Baipa II 산출지

지질은 섬록암질 반암의 암상과 암맥, 조면안산암질 반암 그리고 응회암질 각력 등으로 구성된다. 지표에서 관찰되는 두께가 3-14 m이지만, 심부에서는 800-900 m의 연장을 갖는 두 암맥(25SW)과 주변부에는 불규칙한 동 광화작용이 발달하는데, 광염상과 열극을 따라 피복된 공작석(때로 휘동석)으로 특징된다. 트랜치들에서의 동 평균 품위는 0.31-2.08%로 보고되고 있다.

### 3.5. 북부 Karaaul 산출지

지질은 현무암체로 이루어져 있으며, 중앙부에는 NS 주향의 Karaaul 단층이 발달하고 있다. 동 광화작용은 남북방향에 가까운 구조대를 따라 두 지역에서 관찰되는데, 각각 연장이 1,400 m와 600 m가 확인되고 있다.

첫 번째 지역에서의 동 광화작용은 주로 구조대 동쪽의 하반 접촉부에서 발달하고 있는 반면, 두 번째 지역의 동 광화작용은 주로 구조대 상반에 집중 발달하고 있다. 여러 광체는 다양한 두께의 불규칙한 렌즈상으로 분포된다. 전자에서는 4개의 렌즈상 광체가 발견되었는데, 그 중 가장 큰 것은 단층대 하반에 위치한다. 경제성있는 동 품위를 보이는 광체는 지표에서 650 m의 연장성을 보이며, 두께는 0.7 m에서 17 m로 다양하게 나타나고 있다. 구조대의 남부에서는 2개의 렌즈상 광체가 발견되는데, 상하반에 각각 100 m와 80 m의 연장성을 보인다. 상반의 동 광화작용은 약 330 m의 연장이 확인되며, 동 품위는 0.1-0.7%에 이른다. 시추 탐사 결과, 광체는 85W의 경사로 발달되고 있으나, 광체의 두께와 동 품위는 깊이에 따라 확연히 감소하는 경향을 보이고 있다. 한개 광체에서 보고되고 있는 동 매장량은 6,720톤(1.4% Cu)이다.

광화작용이 발생한 지역은 광역적으로 각력, 파쇄 그리고 단열된 현무암질 반암과 응회암으로 구성되며, 녹니석, 탄산염 광물 및 석영의 산출로 특징된다.

지표상의 광체에 발달된 동 광화작용은 공작석, 적동석, 규공작석 그리고 남동석으로 특징된다. 산화대는 20-40 m 크기로 분포하는데, 휘동석이 주로 산출되며, 드물게 반동석과 코벨라이트(covellite)가 산출되기도 한다. 심부에서는 황동석이 관찰되기도 한다.

렌즈상 광체의 동 광화작용은 주로 맥상으로 발달하는 특징을 보이며, 드물게 세립의 광염상을 보이기도 한다. 광체내 동 농축은 두께와 주향 및 경사에 따라 불규칙하게 발생하는 특징을 보여준다.

### 3.6. 서부 Karaaul 산출지

지질은 후기 페름기의 현무암질 반암, 각력 용암, 응회암으로 구성되며, 이들은 녹니석과 녹렴석화 변질작용을 받았다. 산출지는 Karaaul 단층대에 위치하고 있는데, 광체(평균품위 1.2%)는 연장과 두께가 각각 100-200 m와 2-7 m인 3개의 소규모로 분류된다. 그 외에 은 3-5 g/t와 카드뮴 0.005-0.01%가 산출된다. 주요광물은 공작석이며, 드물게 규공작석, 휘동석, 자연동이 산출된다. 지역내에는 다수의 소규모 광체(1-5 m)가 발달하고 있다.

### 3.7. 남부 Karaaul 산출지

산출지는 현무암질 반암, 사암, 응회암질 사암으로 특징되는 퇴적-분출암체로 구성되는데, 이들 암석은 섬장암-섬록암질 반암과 휘록암에 의해 절단되고 있다.

광화 작용은 주로 거의 평행을 이루는 두 조의 단층대(NE)를 따라 발달한다. 구조대내 NW주향의 Ai와 Karaaul 단층이 교차하는 지점에서의 동 광화작용은 섬장암-섬록암의 노두 부근에서 발달하고 있는데, 렌즈상으로 연장이 230 m에 이른다(최대 폭 10-17 m). 남동쪽 300-400 m 거리에 위치하는 두 번째 단층과 연관된 동 광화작용은 훨씬 광역적으로 발달하여 3개의 광체로 대별된다. 1 광체는 지표에서 230 m 정도 연장이 확인되며, 광체 중앙의 두께가 9-10 m에 이른다. 동의 평균 품위는 1.7-2.8%로 알려져 있다. 2와 3 광체는 연장과 동 품위가 각각 150 m와 0.7-2.2% 그리고 300 m와 0.3-0.6%로 보고되고 있다.

심부로 갈수록 광체는 모암인 사암과 섬장암-섬록암질 반암의 완만한 경사(14°-16°)와 일치되어 발달하고 있다. 모암에는 상대적으로 약한 녹니석화, 견운모화 그리고 탄산염화 변질작용이 발달하고 있다.

지표에서 관찰되는 주요 광물은 공작석이며, 드물게 적동석, 남동석, 휘동석 그리고 매우 드물게 코벨라이트가 산출되고 있다. 심부로 갈수록 휘동석이 우세하게 산출된다.

### 3.8. Karaaul III 산출지

Beriktasskoe 향사 북익부에 위치하는 산출지의 지질은 현무암, 안산암질 현무암, 안산암질 반암, 응회암-조면암질 반암 등으로 구성되며, 녹니석화, 함철석화(ferruginization) 그리고 드물게 규화 및 탄산염화 변질작용이 발달하고 있다. 동쪽부는 조면암질 반암이 분포하며, 약한 녹니석화와 함철석화 변질작용이 발달하고 있는 반면, 서쪽부에는 광역적인 함철석화 작용을 받은 분출암과 응회암이 분포하는데, 드물게 규화, 탄산염화, 녹니석화, 황철석화 변질작용이 발달한다. 관입암으로는 암맥상의 휘록암체와 두께가 1-3 m인 엽기성 암맥이 분포한다.

중탄산동(copper bicarbonate)으로 특징되는 광화작용은 반동석, 휘동석 그리고 드물게 황동석이 열극을 충전하거나 광염상으로 산출된다.

광화작용은 지질조사, 물리탐사 그리고 시추탐사 등에 의해 800-900 m의 연장과 150 m 깊이까지 확인되고 있다.

### 3.9. Eginbulak 산출지

주변 지질은 현무암질 반암, 각력 용암과 동일 조성의 응회암, 사암 등의 화산-퇴적암류로 구성되며, Ai와 Karaaul 단층이 교차하는 지점에 위치하는 특징을 보여준다. 모암은 각력화되고 단열되어 있으며, 녹니석화 및 녹염석화 변질작용이 발달하고 있다.

광체의 연장과 폭이 각각 1,200 m와 200 m에 이른다. 광체는 빈광부에 의해 나누어지는 소규모의 렌즈상 광체들로 이루어져 있다. 광석광물은 공작석, 남동석, 때로 휘동석으로 구성되는데, 열극을 충전하거나 광염상으로 산출된다. 트렌치 탐사를 통한 동의 품위는 0.001%에서 2.45%까지 분석되고 있다.

광석 집하장에서 채취된 시료의 동 품위는 0.2%에서 6.0%까지 분석되었다. 동이 외에 금과 은이 각각 0.02-0.1 g/t과 0.0001-0.0002% 함유되어 있는 것으로 알려져 있다.

## 4. 결론

(1) 준화산성의 섬록암질 반암과 밀접한 관련이 있는 맥상-광염상의 Ai 광상 및 산출지는 성인 등에 관한 연구가 정밀하게 이루어지지 않았다. 탐사의 어려움에도 불구하고 발달하고 있는 변질대(조장석화, 탄산염화, 녹니석화, 규화작용)에 대한 조사가 수행되면, 잠재매장량이 상당히 증가할 것으로 판단된다.

(2) Karaaul 산출지는 지질학적 특징과 지구조 특성 등으로 미루어 층상규체형 광상으로 사료되며, P<sub>2</sub>급 매장량이 4.7백만톤(평균품위 0.6%)으로 추정된다. 탐사가 진행되면, 잠재매장량이 9.0백만톤(평균품위 0.6-0.9%)으로 증가될 가능성이 있다.

## 사 사

본 연구는 한국지질자원연구원이 수행하고 있는 지식경제부 출연연구사업인 '해외광물자원 협력 및 기술정보 구축' 과제에서 지원되었습니다.

## 참고문헌

ALMASGEO (2007) The report on Ai-Karaaul Cu block(Kazakhstan), Russia