

## 전남 화원면 주광리일대 석영맥의 산상 및 생성환경

유봉철<sup>1</sup> · 이현구<sup>1\*</sup> · 최동호<sup>2</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 지구환경과학과, <sup>2</sup>대한광업진흥공사

## Occurrence and Genetic Environments of Quartz Veins from the Jukwangri area, Hwawon-myeon, Jeollanamdo, Republic of Korea

Bong Chul Yoo<sup>1</sup>, Hyun Koo Lee<sup>1\*</sup> and Dong Ho Choi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of geology and environmental sciences, Chungnam National University

<sup>2</sup>Korea Resources Corporation

Quartz veins from the Jukwangri area of Hwawon-myeon are epithermal quartz veins that are filling the NW- or NE-trending faults within Precambrian metasedimentary rocks. Based on their prolongation and ore grades, No. 1 quartz vein can be traced for about 200 m and varies 0.1 to 3 m in thickness. Mineralization of No. 1 quartz vein can be divided into hypogene and supergene stages. Hypogene stage is associated with hydrothermal alteration minerals (phyllitic and argillic zones) such as illite, sericite and sulfides such as pyrite, arsenopyrite, sphalerite, chalcopyrite, galena, argentian tetrahedrite. Supergene stage is composed of Fe-Mn oxide, Zn-Fe oxide and Pb oxide.

Fluid inclusion data indicate that homogenization temperature and salinity of hypogene stage range from 187 to 306°C and from 0.0 to 6.2 wt.% eq. NaCl, respectively. They suggest that ore forming fluids were progressively cooled and diluted from mixing with meteoric water. Oxygen(-4.1~4.1‰) and hydrogen(-107~-88‰) isotope compositions indicated that hydrothermal fluids were derived from meteoric and evolved by progressive mixing with meteoric water during mineralization.

**Key words :** Jukwangri area, quartz vein, mineralization, fluid inclusion, stable isotope

화원면 주광리 일대의 석영맥은 선캄브리아기의 변성퇴적암류 내에 발달된 NW 또는 NE방향의 단층대를 충전한 천열수성 석영맥이다. 이들 석영맥의 연장성과 폭위를 기초로, 1호 석영맥은 연장성이 200 m이며 폭은 0.1에서 3 m 정도이다. 1호 석영맥의 광화작용은 심성시기와 천성시기로 구분된다. 심성시기는 일라이트, 견운모를 수반하는 필릭 대와 점토대로 구성되며 황화광물은 황철석, 유비철석, 섬아연석, 황동석, 방연석 및 함은사면동석 등이 관찰된다. 천성시기는 철-망간 산화광물, 아연-철 산화광물 및 연 산화광물 등이 관찰된다. 유체포유물 자료에 의하면, 심성시기의 균일화온도와 염농도는 각각 187~306°C, 0.0~6.2 wt.%로써 광화유체가 지속적인 순환수의 유입에 의한 혼입에 의해 냉각 및 희석작용이 있었음을 시사한다. 산소(-4.1~4.1‰), 수소(-107~-88‰) 동위원소 값을 볼 때, 광화유체는 순환수 기원의 유체가 주종을 이룬 것으로 보이며 광화작용이 진행됨에 따라 계속적인 순환수의 혼입이 크게 작용한 것으로 해석할 수 있다.

**주요어 :** 주광리 일대, 석영맥, 광화작용, 유체포유물, 안정동위원소

### 1. 서 언

최근 들어 원자재의 수급이 원활하지 못하고 국제 사회의 불안 및 경제적 요인에 의해 금, 동 및 철과

같은 광물자원의 가격이 급등하고 있다. 특히, 금 가격은 올해 온스 당 850달러까지 상승할 것으로 전망하고 있다. 현재 국내에서 가행되고 생산실적이 있는 금-은광산은 거의 없고, 다만 몇 개의 소규모 광산만이

\*Corresponding author: phklee@cnu.ac.kr

가행 중에 있다. 선진 각국들은 과거 채굴했던 광산이나 부존 잠재가능성이 높은 광구에 대해 정밀조사와 시추탐광 등을 통해 적극적인 탐사활동을 전개하므로서 대규모 광상탐사에 성공사례를 높여가고 있다.

현재 국내 대부분의 광업계는 개발도상국가와의 경쟁력 상실로 인하여 광상개발이나 탐사활동이 거의 중단상태에 이르게 되어 보다 능동적인 탐사활동과 적극적인 지원체제 확립이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 또한 과거 광업활동이 활발하였던 시기에는 학계나 국가출연 관계기관에서 수동적인 탐사활동이나 연구를 수행하는데 그쳤었다. 이와 같은 현실에 부응하여 대한광업진흥공사에서는 학계와 공동으로 광상부존가능성이 높은 미지의 지역을 선택하여 벤처탐사를 실시한 결과, 화원반도 주광리 일대에서 비교적 규모가 큰 석영맥들을 발견하게 되었다. 조사지역은 전라남도 해남군 화원면, 주광리 일대, 동경 126°15'

30"~126°19'00" 북위 34°40'10"~34°44'00" 위치한다 (Fig. 1). 석영맥들은 주광리 일대의 선캄브리아기의 변성퇴적암류 내에 발달된 NW 및 NE방향의 단층대를 따라 충진한 열수성맥상석영맥이다. 따라서 이 연구는 새로운 석영맥의 발견과정, 발달상태, 산출광물 및 생성환경을 고찰하고자 한다.

### 2. 주변지질

조사지역의 주변지질은 Koh and Chang(1996), 차문성과 윤성호(1988), 임무택 등(2001) 및 대한광업진흥공사(2004)에 의해 간략하게만 보고되어 있는 실정이다. 조사지역의 지질은 선캄브리아기의 변성퇴적암류를 기저로 하여 이를 단층 및 부정합으로 피복한 백악기의 퇴적암류(함력사암, 응회질사암 및 셰일)와 안산암질암이 산출된다. 또한 이들을 관입한 백악기의

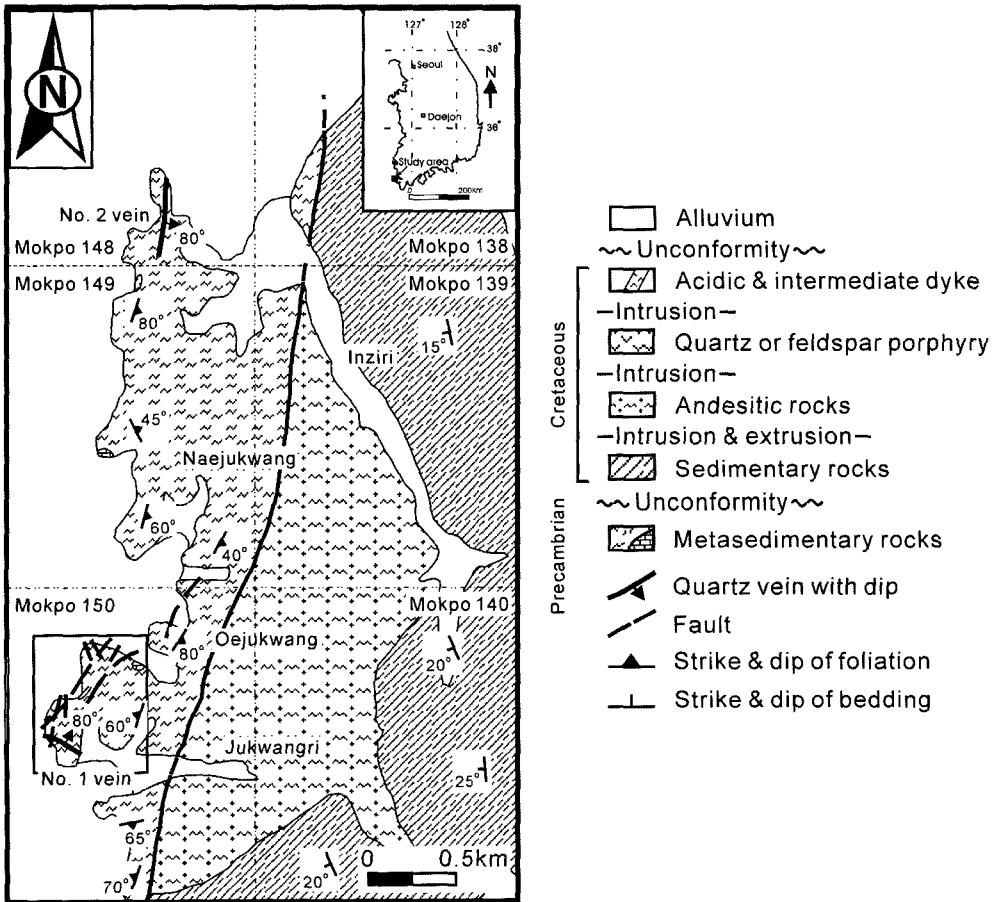


Fig. 1. General geological map of the Jukwangri and Inziri area, Hwawon-myeon.

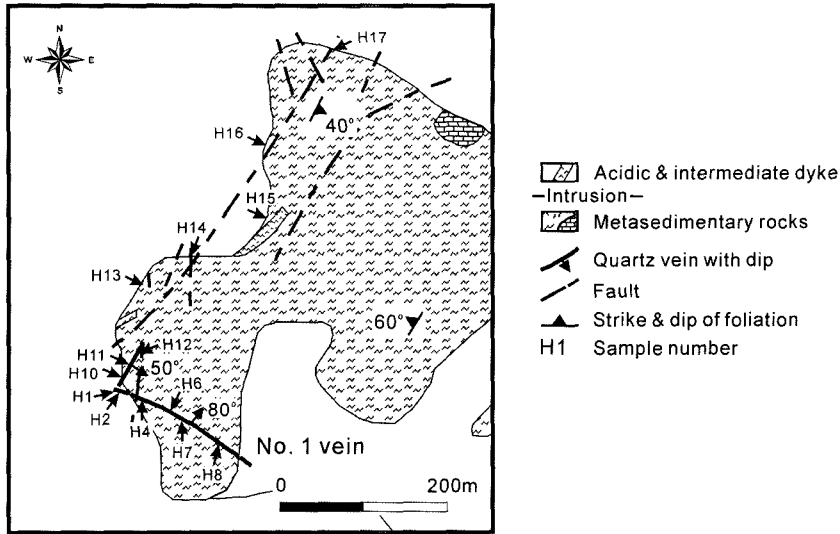


Fig. 2. Geological and sample location map of the Jukwangri area, Hwawon-myeon.

반암류, 암맥류 및 석영맥이 산출된다(Figs. 1, 2).

선캄브리아기의 변성퇴적암류는 조사지역 중 주광리와 인지리의 해안가일대에서 NS 또는 NNE방향성을 갖고 산출된다. 이 변성퇴적암류에는 호상편마암, 우백질편마암, 화강암질편마암, 편암 및 대리암으로 구성된다. 편마암은 유백색내지 회백색을 띠며 우백대와 우흑대가 교호하여 엽리가 잘 발달된 것, 엽리가 관찰되지 않는 것, 그리고 반상변정질이 관찰되는 것 등이 있으며 상호 점이적인 관계를 갖는다. 또한 이 암석은 소습곡구조가 잘 관찰되며 구성광물로는 석영, 정장석, 사장석, 흑운모, 백운모, 견운모, 녹니석 및 불투명광물 등이 산출된다. 편암은 매과광산으로 알려진 화봉리 일대, 해안가 및 내륙에서 흑회색을 띠며 산출된다. 이 암석은 편마암 및 대리암과의 경계가 야외에서 확인되나 그 경계는 매우 복잡하다. 해안가 일대는 주로 편마암이 산출되지만 내륙으로 감에 따라 편암이 우세하게 산출된다. 구성광물은 석영, 장석류, 운모류, 이차변질광물 및 불투명광물 등이 산출된다. 대리암은 해안가 일부분(외주광리 염소곳 일대, 내주광리 여끝 일대)에서 유백색 내지 회백색을 띠며 소규모로 산출되며 습곡구조가 잘 관찰된다. 이 암석에는 광화작용이 인지되지 않는다.

백악기 퇴적암류는 화봉리, 주광리 및 인지리 일대의 대부분을 차지하며 함력사암, 응회질 사암 및 셰일로 구성된다. 이 암류는 안산암질암과 접하는 곳에서 함력사암이 관찰되며 함력사암은 암회색을 띠며 역의 분급도와 원마도는 불량하고 다양하다. 사암과 셰일은

호층으로 산출되며 두께는 지역에 따라 변화된다. 사암은 주로 회백색을 띠며 셰일은 주로 자색을 띤다. 이 암석들은 층리발달이 양호하며 구성광물은 석영, 장석류, 흑운모, 방해석 및 점토광물 등이 산출된다.

안산암질암은 주광리 일대에서 NNE방향으로 선캄브리아기의 변성퇴적암류와 단층 접촉하며 녹회색 내지 암회색을 띤다. 이 암석은 안산암, 안산암질응회암 및 현부암 등으로 구성되며 응회암의 암편은 크기와 모양이 다양하다. 결정으로 산출되는 광물은 대부분 변질되었으며 휘석류와 방해석이 관찰된다.

반암류(석영, 장석)는 해안가를 따라 대부분 지역에서 산출되며 규모와 방향이 다양하다. 이 암류는 석영과 장석이 반정으로 산출되며 부분적으로 지역에 따라 산출빈도가 달리 산출되기도 한다. 이 암류는 유백색 내지 회백색을 띠며 선캄브리아기의 변성퇴적암류 내에 관입되어 산출되며 퇴적암과의 경계로 감에 따라 입자가 작아지는 냉각대를 관찰할 수 있다. 구성광물은 석영, 장석, 흑운모, 견운모, 녹니석, 녹염석 등이 관찰된다.

암맥류는 상기의 암류들을 관입하였으며 산성암맥과 중성암맥으로 구성된다. 중성암맥은 방향성과 폭이 다양하고 녹회색을 띠며 세립질암으로 산출된다. 산성암맥은 담회백색을 띠는 세립질암으로 구성광물은 석영, 장석 및 견운모 등으로 구성된다.

석영맥은 조사지역 전역에서 산출된다. 그 규모와 방향성이 다양하게 산출되며 변성기원과 열수기원의 맥으로 구성된다. 이들 열수성석영맥 중 목포 150호

광구 내 해안가(외주광)를 따라 변성퇴적암류를 모암으로 수개 조 석영맥이 관찰되며 그 중 규모가 큰 석영맥(1호맥= $N60^{\circ}W/80^{\circ}NE$ )의 폭은 최대 3m이며 200 m 정도의 연장이 확인된다.

### 3. 광 상

#### 3.1. 석영맥의 산출상태

조사지역(목포 138호, 139호, 140호, 148호, 149호, 150호)에 대한 1:5,000도면을 기본도로 하여 지질조사를 실시한 결과, 목포 149호 및 150호에서 광화대를 발견할 수 있었다. 또한 조사지역에서 관찰되는 석영맥 중 변성퇴적암류 내에서 산출되는 석영맥은 맥폭, 연장성 및 방향성이 다양하며 육안상 황화광물이 관찰되지 않는다.

목포 138호, 148호, 149호 및 150호에서 우선 노두가 잘 관찰되는 화봉리, 주광리 및 인지리 앞 해안가를 따라 정밀지질조사를 실시하였다. 석영맥은 주광리의 외주광과 내주광 일대에서 0.1~5 m 정도로 관

찰된다. 또한 이 해안가에선 석영맥 노두에서 유래한 석영맥(산화광물 포함) 전석이 다량 관찰된다. 이들 석영맥은 열수기원과 변성기원의 맥으로 구별되며 맥폭과 방향성이 다양하다. 특히, 외주광 일대에서는 석영맥이 다수 확인되나 연장성과 맥폭을 고려한 석영맥은 2매 관찰된다. 이 석영맥 중 1호 석영맥은 해안가 쪽으로 감에 따라 폭이 넓어지나 연장성은 확인할 수 없다. 또한 편암이 산출되는 곳에서 일부 고산(gossan)의 흔적이 관찰되나 광석광물은 확인되지 않는다.

외주광 일대(목포 150호)에서 관찰되는 석영맥은 편마암 내 NW-NE계열의 열극을 충진한 맥상 석영맥이다. 여기에서 관찰되는 석영맥은 괴상과 자형 석영이 있으며 방향성은 주로  $N60^{\circ}W/80^{\circ}NE$ ,  $EW/70^{\circ}N$ ,  $N60^{\circ}E/50^{\circ}SE$ ,  $N30^{\circ}E/80^{\circ}NW$ 의 주향과 경사를 갖는다. 이 석영맥은 단성맥이며 규화 및 견운모화작용 등의 변질작용이 관찰된다. 석영맥의 폭과 연장성을 고려한다면 외주광 일대에서 관찰되는 석영맥 중 1호 석영맥의 규모가 가장 크다. 이 석영맥은 내륙으로 약

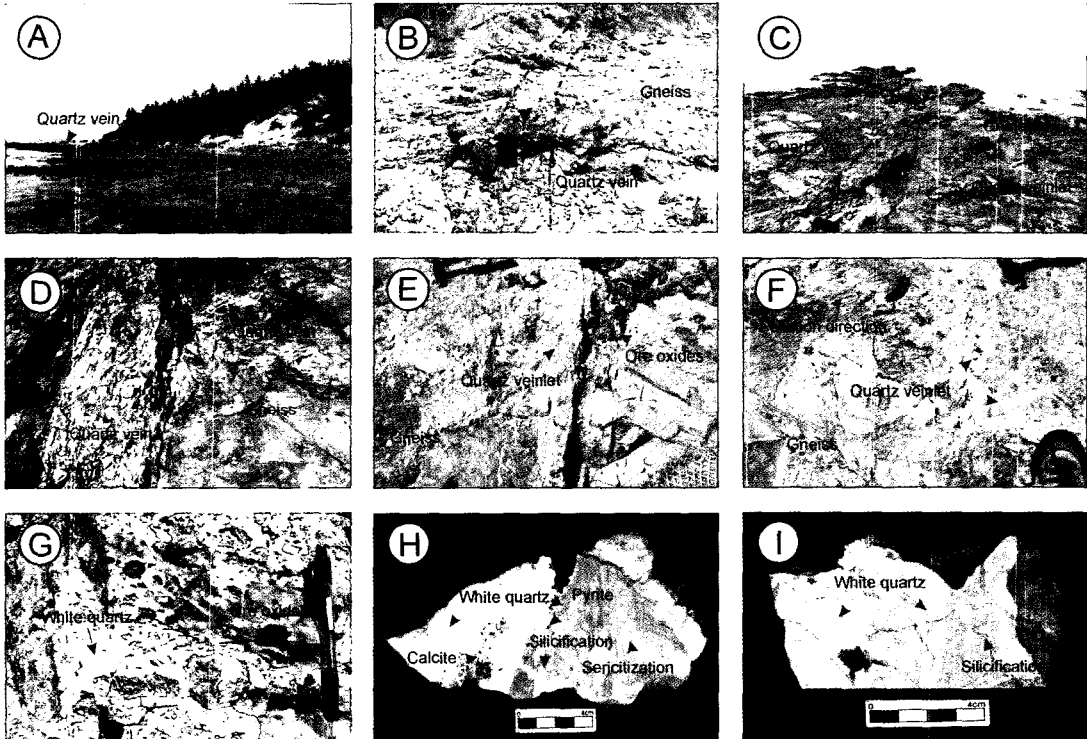


Fig. 3. Photographs of No. 1 quartz vein samples from the Jukwangri area, Hwawon myeon. A, B, C and D; Quartz vein showing orientation, thickness and strike length, E and F; Quartz vein showing white quartz veinlet and ore oxides, G; Quartz vein showing white quartz, ore oxides with cavity and wallrock fragment, H and I; Quartz vein slab showing white quartz, calcite, ore oxides and alteration minerals. Scale bars are 4 cm in length.

**Table 1.** Ore grades of quartz veins from the Jukwangri area.

Sample No.	g/t		ppm								
	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Cd	W	Mo	Mn
H1	1.1	0.5	392.3	1250.2	203.7	3427.6	2.3	49.1	395.9	3.2	61.2
H2	2.6	122.9	436.1	82.1	1267.8	1926.5	3.3	0.9	3714.4	4.1	47.0
H4	0.7	0.0	267.9	0.7	132.2	923.3	21.6	20.4	755.2	4.1	0.0
H6	0.8	0.0	310.0	0.5	173.8	2342.6	1.4	22.5	786.5	1.0	0.0
H7	0.2	0.0	290.1	0.3	142.7	388.4	4.7	19.8	362.9	0.6	0.0
H8	0.9	0.0	278.2	0.6	164.6	66.4	1.5	19.8	488.1	4.9	0.0
H10	0.7	26.3	280.3	771.5	616.6	219.0	4.3	8.2	278.7	69.2	475.3
H11	ND	43.4	324.1	77.0	769.2	447.6	4.8	0.6	2910.1	8.5	41.4
H12	0.7	0.0	286.6	0.0	140.6	70.3	8.3	19.9	1208.6	3.1	0.0
H13	0.9	0.0	280.3	0.0	113.5	93.9	1.8	20.5	886.2	1.7	0.0
H14	0.4	26.2	230.4	75.6	452.7	555.3	8.4	1.5	4623.3	768.9	67.6
H15	0.3	36.3	277.6	34.0	582.2	455.2	2.5	0.5	1689.7	1.4	168.4
H16	ND	33.4	337.1	40.4	821.8	393.3	2.8	0.6	1254.0	1.9	59.3
H17	0.6	60.2	442.7	101.2	1141.8	412.8	3.8	1.1	3049.3	6.5	567.0

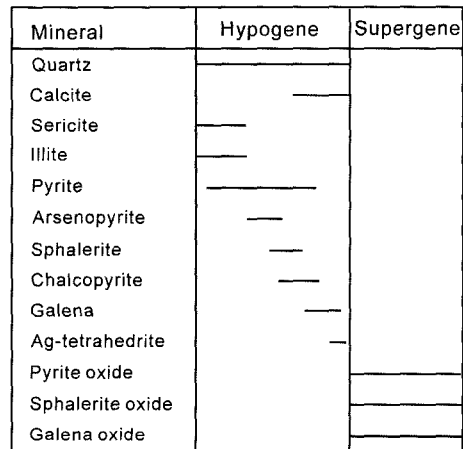
ND=not detected

200여 m 정도 확인되었으며 편암이 산출되는 곳에선 관찰되지 않는다. 또한 해안가 쪽으로 연장되나 확인할 수 없었다(Fig. 3A, B, C). 야외에서 산출되는 석영맥의 노두는 풍화에 의해 광석광물이 관찰되지 않고 주로 산화물만 관찰되나 소량의 광석광물(황철석, 방연석)이 관찰된다(Fig. 3D, E). 1호 석영맥은 폭이 최대 3m 정도이며 모암 쪽으로 가면서 망상세맥으로 발달되며 각력화작용이 관찰된다(Fig. 3F, G). 황화광물의 산출은 모암변질대(주로 규화작용)내에서 자형으로 황철석이 산출되며 괴상의 석영 및 정동 내 석영에서는 드물게 산출된다(Fig. 3H, I). 이 석영맥의 품위는 Au 0.2~2.6 g/t, Ag 0.0~122.9 g/t로써 광화작용을 확인할 수 있었다(Table 1).

내주광 일대(목포 148호)에서 관찰되는 석영맥은 편마암 내 NE계열의 열극을 충전한 맥상 석영맥이다. 이들 석영맥의 방향성은 N10°E/80~85°SE 및 N25~30°E/75~85°SE이며 맥폭은 0.1~5m 정도이다. 맥폭이 큰 석영맥(2호맥)은 연장성이 최소 450m 정도이며 괴상으로 산출되나 광화흔적은 확인되지 않는다.

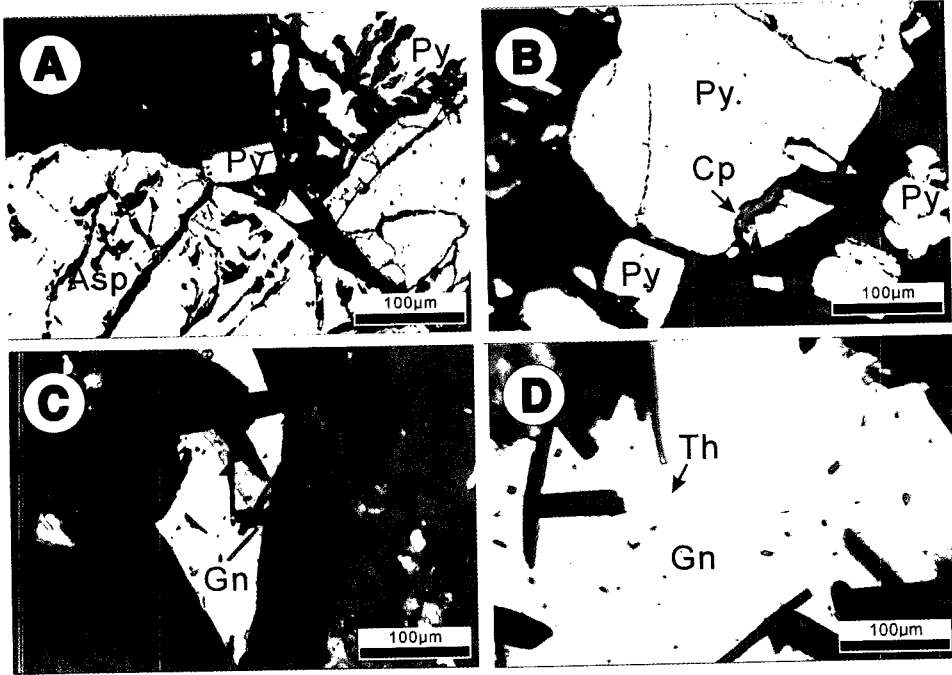
**3.2. 광석과 광석광물**

2호 석영맥은 품위 및 광화흔적이 관찰되지 않아 광석과 광석광물 연구는 1호 석영맥을 대상으로 하였다. 1호 석영맥은 단일 석영맥이며 석영과 방해석으로 구성된다(Fig. 4). 육안상 1호 석영맥은 황철석과 방연석이 자형 또는 세립으로 산출되며 심성시기와 천성시기로 구별된다. 심성시기의 석영맥은 빗살구조, 대상구조, 망상구조, 각력상구조 및 정동구조가 관찰되



**Fig. 4.** Paragenetic sequence of minerals from the No. 1 quartz vein in the Jukwangri area, Hwawon-myeon.

며 석영은 백색석영 또는 자형의 투명석영으로 구성된다. 열수변질대의 특성을 알아보기 위하여 XRD 분석 결과, 열수변질대에서 관찰되는 광물은 석영, 견운모, 일라이트 및 황철석 등으로 필릭 또는 점토대로 구성된다. 1호 석영맥에서 산출되는 광물은 석영, 방해석, 견운모, 일라이트, 황철석, 유비철석, 섬아연석, 황동석, 방연석 및 합은사면동석 등이다. 산출빈도와 산출량이 많은 황화광물은 황철석과 방연석이며 대부분 편반사현미경 및 충남대학교 공동실험실습관에 설치된 전자현미분석기(JXA-8800R)을 통해 확인되었다. 또한 황화광물의 종류, 산출빈도 및 산출량은 맥의 수평적인 연장성이나 폭에 따른 변화가 관찰되지 않는



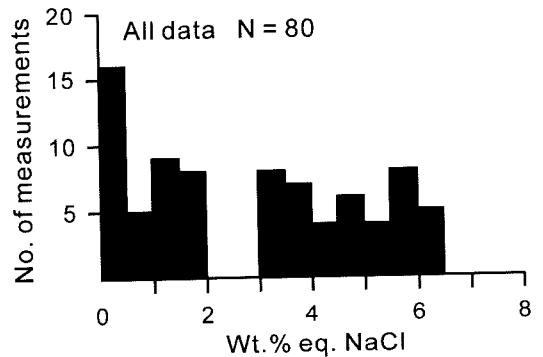
**Fig. 5.** Photomicrographs of minerals from No. 1 quartz vein. A; Pyrite coexisting with arsenopyrite and quartz, B; Chalcopyrite coexisting with pyrite and quartz, C; Galena coexisting with quartz and calcite, D; Argentian tetrahedrite coexisting with galena. Abbreviations: Py; pyrite, Asp; arsenopyrite, Cp; chalcopyrite, Gn; galena, Gn oxide; galena oxide, Th; argentian tetrahedrite, Qz; quartz, Ca; calcite. Scale bars are 100  $\mu\text{m}$  in length.

다. 또한 친철시기는 황철석 산화광물(Fe-Mn-O), 섬아연석 산화광물(Zn-Fe-O) 및 방연석 산화광물(Pb-O) 등이 산출된다(Fig. 4).

황철석은 모암변질부분과 석영 내에서 단독 또는 방연석과 함께 산출된다. 황철석은 현미경하에서 석영 내에 단독으로 산출되는 것, 유비철석과 함께 산출되는 것 등이 있다(Fig. 5A). 유비철석은 현미경하에서 석영 내에 단독으로 산출되는 것, 황철석과 함께 산출되는 것 등이 있다(Fig. 5A). 섬아연석은 현미경하에서 석영 내에 단독으로 산출되는 것, 황동석 및 방연석과 함께 산출되는 것 등이 있다. 황동석은 현미경하에서 석영 내에 단독으로 산출되는 것, 황철석과 함께 산출되는 것 등이 있다(Fig. 5B). 방연석은 현미경하에서 석영 내에 단독으로 산출되는 것(Fig. 5C), 황철석 내에 포획되어 산출되는 것, 함은사면동석과 함께 산출되는 것 등이 있다. 함은사면동석은 방연석과 함께 산출된다(Fig. 5D).

#### 4. 유체포유물

2호 석영맥은 광석광물이 관찰되지 않아 유체포유



**Fig. 6.** Frequency diagram of salinities for fluid inclusions in quartz from the No. 1 quartz vein.

물 연구는 1호 석영맥의 백색석영 및 투명석영을 대상으로 실시하였다. 유체포유물의 산출상태, 가열 및 냉각실험은 Nikon 현미경에 부착된 Linkam THMSG 600을 이용하여 측정하였다. 또한 좀더 정확한 측정을 위해 컴퓨터에 CCTV를 연결하여 이용하였다. 유체포유물 측정 이전에, Linkam THMSG 600은 U.S.G.S에서 제작한 표준시료( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2$ )를 이용하여 보정을 실시하였다. 측정오차는 냉각실험시  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ,

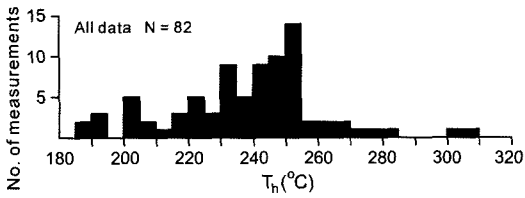


Fig. 7. Frequency diagram of homogenization temperatures for fluid inclusions in quartz from the No. 1 quartz vein.

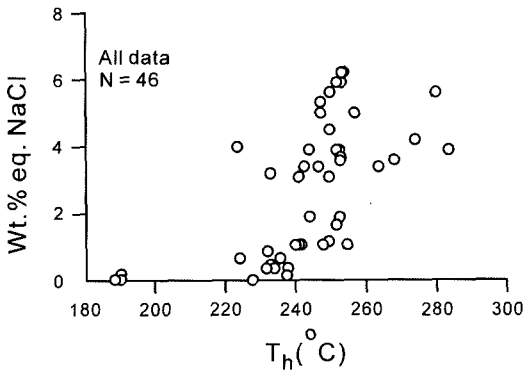


Fig. 8. Salinity versus homogenization temperature diagram for fluid inclusions in quartz from the No. 1 quartz vein.

가열실험시  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 이다.

실온에서 관찰되는 상의 종류, 성분에 의하면, 이들 석영 내의 유체포유물은 수용성 포유물로 산출되며 이 포유물은 Bodnar(1983)가 제시한 방법에 의해 계산된  $V_{\text{H}_2\text{O}}$ 의 몰 체적이 30%미만인 액상포유물로 산출된다.

이들 석영에서 산출되는 유체포유물은 대부분 석영의 결정면 내에 면상 균집형, 선상 균집형 또는 봉합된 열극을 따라 면상, 선상 균집형포유물로 산출된다. 유체포유물의 형태는 반원형, 판형, 부형(負形) 및 불규칙 형태이며 크기는 수 내지 50  $\mu\text{m}$  정도이다. 1호 석영

맥의 백색석영 및 투명석영에서 산출되는 유체포유물의 형태, 상의 종류, 성분 및 균일화온도에서 차이가 없어 일괄 기술하였다.

백색석영과 투명석영에서 산출되는 액상포유물은 냉각 시  $V_{\text{H}_2\text{O}}$ 의 응축온도는  $-35.0\sim-28.1^\circ\text{C}$ 이며 최초응축온도는  $-26.3\sim-20.7^\circ\text{C}$ 이다. 이것은 수용성 용액 중에 해리된 염이 주로 NaCl 및 KCl로 존재함을 의미한다. 액상포유물의  $T_{\text{m-ice}}$ 는  $-3.8\sim-0.0^\circ\text{C}$ 로서 Bodnar and Vityk(1994)가 제시한 방정식을 이용하여 염농도로 환산하면 0.0~6.2 wt. % eq. NaCl이다(Fig. 6). 이 포유물은 가열시 모두 액상으로 균일화되며 균일화온도는  $187\sim306^\circ\text{C}$ 이나 대부분이  $231\sim254^\circ\text{C}$ 이다(Fig. 7). 유체포유물의 염농도와 균일화온도의 관계는 Fig. 8에서 보는 것과 같이 균일화온도가 감소됨에 따라 염농도도 감소하는 경향을 보인다.

### 5. 안정동위원소

산소 및 수소안정동위원소 분석을 위한 시료는 맥의 풀위 및 산출광물을 고려하여 1호 석영맥의 석영만을 대상으로 하였다.

안정동위원소 분석은 중국지질대학(武漢)에서 실시하였다. 산소동위원소분석은  $\text{F}_2$ 가스와 분석시료를  $530^\circ\text{C}$ 에서 24시간 반응시킨 후 발생한  $\text{O}_2$ 를  $\text{CO}_2$ 화하여 포집 분석하였다. 수소동위원소분석은  $\text{LPG}+\text{O}_2$  불꽃으로 방출한  $\text{H}_2$ 를 Zn과  $500^\circ\text{C}$ 에서 반응시켜 수소가스로 환원하여 분석하였다. 분석 시 표준시료는 CDT(황) 및 SMOW(산소, 수소)를 사용하였으며 오차 범위는  $\pm 0.2\text{‰}$ (산소) 및  $\pm 1.0\text{‰}$ (수소)이다.

1호 석영맥에서 산출되는 석영의  $\delta^{18}\text{O}$ 값은 4.8~13.0‰ 이다(Table 2). 광화시기의 석영 침전 시 평형상태에 있었던 물의  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰)값은 Matsushisa et al.(1979)의 분별식  $1000 \ln \alpha_{\text{Quartz-H}_2\text{O}} = 3.34(10^6/$

Table 2. Oxygen and hydrogen isotope data of quartz from No. 1 quartz vein of the Jukwangri area.

Sample No.	Min.	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ (‰) <sup>1)</sup>	$\delta\text{D}$ (‰)	$T_{\text{h}}$ ( $^\circ\text{C}$ ) <sup>2)</sup>
H.W.513-15	Qz	5.3	-3.6	-101	250
H.W.830-5	Qz	12.8	3.9	-107	250
H.W.514-18	Qz	13.0	4.1	-88	250
H.W.514-20	Qz	6.5	-2.4	-97	250
H.W.514-25	Qz	11.7	2.8	-106	250
H.W.514-25	Qz(m)	12.0	3.1	-104	250
H.W.514-30	Qz	4.8	-4.1	-106	250

1)  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  is calculated from the equation given by Matsushisa et al.(1979).

2) Th is homogenization temperature of fluid inclusion. Min; mineral, Qz; quartz, Qz(m); massive quartz.

T<sup>2</sup>)-3.31을 이용하여 계산한 결과 -4.1~4.1‰이며, δD값은 -107~-88‰이다.

6. 고찰

주광리 일대의 변성퇴적암류 내에 N60°W/80°NE의 방향성을 갖는 석영맥은 0.1~3m 정도의 백폭과 200여 m 정도의 연장성을 갖는다. 이 석영맥은 전형적인 천열수 광상에서 관찰되는 구조 및 조직이 관찰되며 광화흔적 및 풀위가 확인된다. 1호 석영맥은 모암내 규화작용, 정동석영 및 망상세맥석영등이 관찰되는데 이는 Hedenquist *et al.*(2000)에 의하면 천열수광상에서 냉각작용에 의해 형성되었다고 보고하였다. 또한 모암 변질광물로는 대부분 견운모, 일라이트 및 황철석으로 광화유체가 약산성이었음을 지시한다. 이 석영맥은 석영과 방해석으로 구성된 단일시기이며 황철석, 유비철석, 섬아연석, 황동석, 방연석 및 함은사면동석 등이 산출된다.

1호 석영맥의 유체포유물에서 측정된 균일화온도는 187~306°C이나 대부분이 231~254°C이며 염농도는 0.0~6.2 wt.% eq. NaCl이다. 그림 8에서 살펴본 바와 같이 백색석영과 투명석영에서 균일화온도가 감소됨에 따라 염농도도 낮아짐을 알 수 있다. 따라서 이들 석영맥의 황화광물은 온도의 감소에 의해 침전되었다고 생각된다. 또한 측정된 유체포유물 중 가장 높은 균일화온도와 염농도의 자료(283°C, 3.9 wt.%)를 Brown(1989)

이 제시한 방정식에 적용하면 압력은 66 bar이며 심도는 정수압으로 약 807 m 정도이다.

1호 석영맥을 형성한 광화유체 중 물의 기원을 알아보기 위해서 분석된 석영의 산소 및 수소안정동위원소 값은 각각 δ<sup>18</sup>O<sub>H<sub>2</sub>O</sub>: -4.1~4.1‰, δD: -107~-88‰이다. 그러므로 δ<sup>18</sup>O<sub>H<sub>2</sub>O</sub>값과 δD값의 자료를 종합하여 볼 때, 광화유체는 순환수 기원의 유체가 주종을 이룬 것으로 보이며 말기로 감에 따라 지속적인 순환수의 혼입이 크게 작용한 것으로 보인다(Fig. 9). 따라서 이들 자료로부터 이 석영맥의 광화작용은 순환수 기원의 광화유체로부터 광화작용이 진행됨에 따라 지속적인 순환수

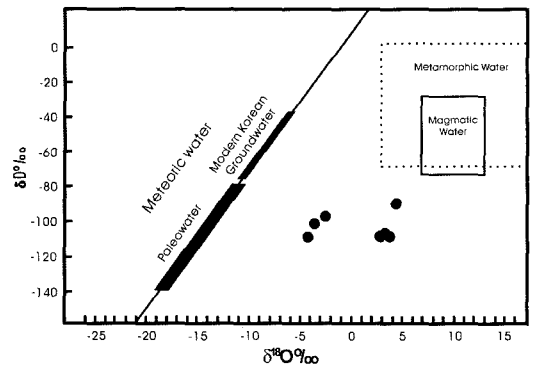


Fig. 9. Hydrogen versus oxygen isotope diagram displaying stable isotope systematics of hydrothermal fluid composition of the No. 1 quartz vein. Paleowater data from So and Shelton(1987a, b) and So *et al.*(1987), Modern Korean Groundwater data from Kim and Nakai(1981, 1988).

Table 3. Characteristics of Au-Ag vein deposits of the Hwawon area.

Mine	This study	Maewolri <sup>1</sup>	Eunsan <sup>2</sup>	Moisan <sup>2</sup>
Petrology of host units	Metasedimentary rocks	Granite, metasedimentary rocks	Intermediate to silicic extrusive rocks	Intermediate to silicic extrusive rocks
Vein system	Fissure, stockwork	Fissure	Fissure>sheeted	Sheeted=fissure
Ore mineralogy	Complex quartz vein, sulfides, argentian tetrahedrite	Complex quartz vein, sulfides, bornite, cubanite, argentian tetrahedrite, Pb-Ag-S system, Pb-Te-S system.	Complex quartz vein, sulfides, pearceite, freibergite, stephanite, proustite, argentite, electrum, native silver, selenides <sup>3</sup>	Complex quartz vein, sulfides, chalcocite, covellite, chalcostivite, tetrahedrite, goldfieldite, stannite, tellurides <sup>3</sup>
Hydrothermal alteration	Illite, sericite, quartz, carbonate	Epidote, chlorite, illite, sericite, quartz, carbonate	Chalcedony, carbonate, kaolinite, adularia, illite/smectite, chlorite, illite	Chalcedony, carbonate, kaolinite, adularia, illite/smectite, chlorite, illite
Fluid inclusion	187~306°C, 0.0~6.2 wt.% NaCl	291~397°C, 0.0~9.3 wt.% NaCl	113~298°C, 0.0~1.7 wt.% NaCl	133~319°C, 0.0~1.7 wt.% NaCl
Stable isotope data	δ <sup>18</sup> O <sub>H<sub>2</sub>O</sub> (-4.1~4.1‰), δD(-107~-88‰)	δ <sup>18</sup> O <sub>H<sub>2</sub>O</sub> (-0.7~3.5‰), δD(-70~-55‰)	δ <sup>18</sup> O <sub>H<sub>2</sub>O</sub> (-7.2~-2.1‰), δD(-68~-61‰)	δ <sup>18</sup> O <sub>H<sub>2</sub>O</sub> (-5.4~-2.3‰), δD(-65~-62‰)
Ore deposition mechanism	Cooling>boiling	Cooling>boiling	Boiling>cooling	Boiling>cooling

Data sources: <sup>1</sup>Yoo *et al.*(2006), <sup>2</sup>Choi *et al.*(2005), <sup>3</sup>Kim *et al.*(2005)



의 유입에 의한 냉각 및 희석작용으로 형성되었으며 전형적인 천열수의 저유황형에 해당된다.

1호 석영맥의 매장량은 연장성 200 m, 폭 3 m, 깊이 100 m(추정)으로 계산할 때 약 156,000 MT(Au 0.68 g/t)이다. 대부분 해안가에 분포하는 석영맥에서 대부분의 황화광물이 바닷물에 의한 물리-화학적풍화작용에 의해 침식된 것으로 추정된다. 따라서 바닷물의 풍화작용을 받지 않은 석영맥에선 좀 더 많은 황화광물이 산출될 것으로 추정되며, 매장량 또한 증가할 것으로 보인다. 또한 바닷가 방향으로 감에 따라 맥폭이 증가하는 것으로 보아 실질적으로 이 석영맥의 매장량과 품위는 한층 더 증가될 것으로 생각된다.

해남 일대에는 매월리 일대의 석영맥, 은산 및 모이산광상이 위치한다. 이들 석영맥들은 Choi *et al.*(2005)과 유봉철 등(2006)에 의하면 천열수광상의 저유황형에 해당된다고 보고하였다. 이들 석영맥에서 산출되는 백석광물과 비교할 때 특징적으로 북서방향(매월리 일대의 석영맥: 녹염석)에서 남동방향(은산 및 모이산: 빙장석)으로 감에 따라 저온의 맥석광물이 산출된다(Table 3). 또한 균일화온도, 염농도, 산소 및 수소안정동위원소 값도 북서방향에서 남동방향으로 감에 따라 낮아진다(Table 3). 따라서 이들 석영맥들이 같은 시기의 광화작용이라 본다면, 광화유체는 북서방향으로부터 유래되었다고 생각되며 향후 주광리에서 은산 및 모이산광상 사이 지역에 대한 정밀 탐광이 필요하다고 생각된다.

## 7. 결 언

1. 주광리일대의 지질은 선캄브리아기의 변성퇴적암류(편마암, 편암, 석회암), 백악기의 퇴적암류(함력사암, 응회질사암, 셰일), 안산암질암, 반암류(석영, 장석), 암맥류 및 석영맥으로 구성된다

2. 석영맥은 선캄브리아기의 변성퇴적암류 내 NW 또는 NE방향의 단층대를 충진한 열수성맥상석영맥이다. 석영맥은 외주광과 내주광 일대에서 산출된다. 외주광 일대의 1호 석영맥은 방향성(N60°W/80°NE), 맥폭(0.1~3 m) 및 연장성(200여 m)으로 광화작용이 확인되나 내주광 일대의 2호 석영맥은 방향성(N10°E/80~85°SE), 맥폭(0.1~5 m) 및 연장성(450여 m)이나 광화작용이 확인되지 않는다.

3. 1호 석영맥은 황철석, 유비철석, 섬아연석, 황동석, 방연석 및 합은사면동석 등의 황화광물과 석영과 방해석이 맥석광물이 산출된다. 이 석영맥은 빗살구조, 대상구조, 망상구조, 각력상구조 및 정동구조가 관찰된다. 또

한 규화작용, 견운모화작용, 점토질화작용 및 황철석작용 등의 열수변질대로 필라데와 점토대에 해당된다.

4. 1호 석영맥의 유체포유물의 연구 결과, 염농도는 0.0~6.2 wt.%이고 균일화온도는 187~306°C이다. 또한 1호 석영맥에 대한 산소와 수소안정동위원소 연구결과, 석영의 δ<sup>18</sup>O 값은 4.8~13.0‰이고 δD<sub>H<sub>2</sub>O</sub> 값은 -107~-88‰로써 광화유체는 순환수에서 기원되었으며 광화작용이 진행됨에 따라 지속적인 순환수의 혼입이 있었던 것으로 생각된다.

## 사 사

이 연구는 2002년도 한국학술진흥재단 기초과학연구 지원사업(KRF-2002-CS0059)에 의하여 수행되었으며 이에 사의를 표한다. 심사과정에서 논문의 미비점을 지적, 수정하여 주신 한국지질자원연구원 허철호 박사님과 익명의 심사위원님께 깊이 감사드립니다.

## 참고문헌

- 김규한, 中井信之 (1988) 남한의 지하수 및 강수의 안정동위원소조성. 지질학회지, 24권, p. 37-46.
- 김창성, 최선규, 유인창, 김상엽, 유봉철, 이현구 (2005) 해남지역 은산 및 모이산 천열수 금 은광상의 유체진화. 2005년도 대한자원환경지질학회 춘계학술발표회, p. 86-89.
- 대한광업진흥공사 (2004) 목포지구 물리탐사보고서, 18p.
- 유봉철, 오진용, 강홍석, 이현구 (2006) 전남 화원일대의 석영맥에서 산출되는 광석광물과 이의 생성환경. 자원환경지질, 39권, p. 583-595.
- 임무택, 이윤수, 강희철, 김주용, 박인화 (2001) 해남지역의 백악기 암석에 대한 고지자기 연구. 자원환경지질, 34권, p. 119-131.
- 차문성, 윤성호 (1988) 한반도의 화산합물구조 및 환상복합암체에 관한 연구. 지질학회지, v. 24, p. 67-86.
- Bodnar, R.J. (1983) A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and P-V-T-X properties of inclusion fluids. *Economic Geology*, v. 78, p. 535-542.
- Bodnar, R.J. and Vityk, M.O. (1994) Interpretation of microthermometric data for H<sub>2</sub>O-NaCl fluid inclusions: in De Vivo, B. and Frezzotti, M.L. eds., *Fluid inclusions in minerals: Method and applications: Short Course International Mineralogical Assoc.*, p. 117-130.
- Brown, P.E. (1989) FLINCOR: A microcomputer program for the reduction and investigation of fluid-inclusion data. *American Mineralogist*, v. 74, p. 1390-1393.
- 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*, v. 26, p. 115-135.
- Hedenquist, J.W. Arribas, M.A. and Gonzalez, U.E. (2000)

- Exploration for epithermal gold deposits, in Hagemann, S.G. and Brown, P.E., eds, *Gold in 2000. Reviews in Economic Geology*, v. 13, p. 245-277.
- Kim, K.H. and Nakai, N. (1981) A study on hydrogen, oxygen and sulfur isotopic ratios of the hot water in South Korea. *Geochemistry*, v. 15, p. 6-16.
- Koh, S.M. and Chang, H.W. (1996) Geological interpretation on the Cretaceous strata in the Haenam area, Chollannamdo, Korea. *Economic and Environmental Geology*, v. 29, p. 381-393.
- Matsuhisa, Y. Goldsmith, R. and Clayton, R.N. (1979) Oxygen isotope fractionation in the system quartz-albite-anorthite-water. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 43, p. 1131-1140.
- So, C.S. Chi, S.J. Yu, J.S. and Shelton, K.L. (1987) The Jeonui gold-silver mine, Republic of Korea: A geochemical study. *Mining Geology*, v. 37, p. 313-322.
- So, C.S. and Shelton, K.L. (1987a) Stable isotope and fluid inclusion studies of gold and silver-bearing hydrothermal vein deposits, Cheonan-Cheongyang-Nonsan mining district, Republic of Korea: Cheonan area. *Economic Geology*, v. 82, p. 987-1000.
- So, C.S. and Shelton, K.L. (1987b) Fluid inclusion and stable isotope studies of gold-silver-bearing hydrothermal vein deposits, Yeosu mining district, Republic of Korea. *Economic Geology*, v. 82, p. 1309-1318.

---

2006년 10월 4일 원고접수, 2006년 12월 19일 게재승인.