

## 전남 화원일대의 석영맥에서 산출되는 광석광물과 이의 생성환경

유봉철<sup>1</sup> · 오진용<sup>2</sup> · 강홍석<sup>3</sup> · 이현구<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 지구환경과학과, <sup>2</sup>공주대학교 문화재비파괴진단연구실, <sup>3</sup>대한광업진흥공사

## Ore Minerals and Genetic Environments of Quartz Veins from the Hwawon Area, Haenam, Korea

Bong Chul Yoo<sup>1</sup>, Jin Yong Oh<sup>2</sup>, Heung Suk Kang<sup>3</sup> and Hyun Koo Lee<sup>1\*</sup>

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

<sup>2</sup>Nondestructive Research Lab. Cultural Property, Kongju National University

<sup>3</sup>Korea Resources Corporation

Quartz veins from the Hwawon area are an epithermal quartz vein that is filling the fault zone within Precambrian metasedimentary rocks and Jurassic granite. Mineralization can be divided into hypogene and supergene stages. Hypogene stage is associated with hydrothermal alteration minerals(propylitic and argillic zones) such as epidote, chlorite, illite, sericite and sulfides such as pyrite, sphalerite, chalcopyrite, galena, bornite, cubanite, argentian tetrahedrite, Pb-Ag-S system and Pb-Te-S system. Supergene stage is composed of Fe-Mn oxide, Zn-Fe oxide and Pb oxide. Fluid inclusion data indicate that homogenization temperatures and salinity of hypogene stage range from 291.2°C to 397.3°C and from 0.0 to 9.3 wt.% eq. NaCl, respectively. It suggests that ore forming fluids were cooled and diluted with the mixing of meteoric water. Oxygen(-0.7~3.5‰(white quartz: -0.7~3.5‰, transparent quartz: 2.4‰)) and hydrogen(-70~55‰(white quartz: -70~55‰, transparent quartz: -62‰)) isotopic composition indicates that hydrothermal fluids were derived from magmatic and evolved by mixing with meteoric water during mineralization.

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

전남 해남 화원일대의 석영맥들은 선캄브리아기의 변성퇴적암류와 쥬라기의 화강암 내에 발달된 단층대를 충진한 천열수성 석영맥이다. 이들 석영맥의 광화작용은 hypogene 시기와 supergene 시기로 구분된다. Hypogene 시기의 광물은 석영, 방해석, 녹염석, 녹나석, 일라이트, 견운모로서 프로필라이트대와 점토대로 구성되며 석영맥에서 산출되는 황화광물은 황철석, 섭아연석, 횡동석, 방연석, 반동석, 규버나이트, 함은사면동석, Pb-Ag-S계 광물 및 Pb-Te-S계 광물 등이 관찰된다. Supergene 시기에는 Fe-Mn 산화물, Zn-Fe 산화물 및 Pb 산화물 등이 생성되었다. 유체포유물 자료에 의하면, hypogene 시기의 균일화온도와 염농도는 각각 291.2~397.3°C, 0.0~9.3 wt.% 범위를 보이며, 광화유체는 일부 비동과 기원이 다른 천수와의 혼입에 의해 냉각 및 회석작용을 겪었다. 산소(-0.7~3.5‰(백색석영: -0.7~3.5‰, 투명석영: 2.4‰)), 수소(-70~55‰(백색석영: -70~55‰, 투명석영: -62‰))동위원소 값 자료로 볼 때, 이 석영맥의 광화유체는 마그마 기원의 유체가 광화작용이 진행됨에 따라 천수의 혼입이 작용한 것으로 해석할 수 있다.

**주요어 :** 해남 화원, 석영맥, 광화작용, 유체포유물, 동위원소

### 1. 서 언

126°16'36"~126°20'00" 북위 34°42'15"~34°45'00"

에 위치한다(Fig. 1). 석영맥들은 화원면 매월리 일대에서 선캄브리아기의 변성퇴적암류와 쥬라기의 흑운모화

조사지역은 전라남도 해남군 화원면 일대, 동경

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

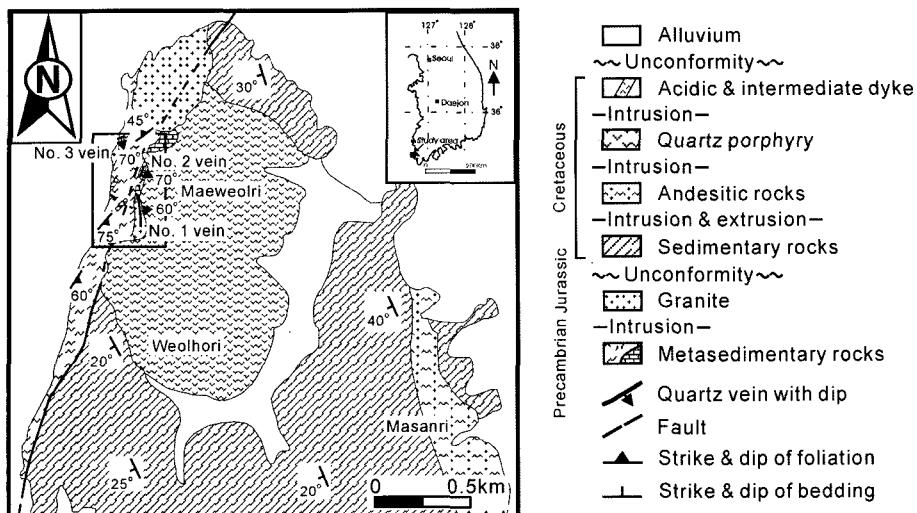


Fig. 1. General geological map of the Hwawon area.

강암 내에 발달된 NS, NW 및 NE 방향의 단층대를 따라 충진한 열수성 맥상석영맥이다. 매월리 일대 석영 맥의 북북동쪽에는 과거 일제시대와 1964년부터 수년 간 연과 아연을 개발했다가 폐광된 화원광상이 있다. 화원광상은 열수교대광상이다(대한광업진흥공사, 2004).

최근 들어 원자재의 수급이 원활하지 못하고 국제사회의 불안 및 경제적 요인에 의해 금, 동 및 철과 같은 광물자원의 가격이 급등하고 있다. 특히, 금 가격은 올해 온스 당 850 달러까지 상승할 것으로 전망하고 있다. 현재 국내에서 가행되고 생산실적이 있는 금-은 광산은 거의 없고, 다만 몇 개의 소규모 광상만이 가행 중에 있다. 선진각국들은 과거 채굴했던 광산이나 부존 잠재가능성이 높은 광구에 대해 정밀조사와 시추 탐광 등을 통해 적극적인 탐사활동을 전개하므로써 대 규모 광상탐사의 성공률을 높여가고 있다.

과거 광업활동이 활발하였던 시기에 국내 학계나 국가출연 관계기관에서는 수동적인 탐사활동이나 연구를 수행하는데 그쳤었다. 최근에는 국내 금속광업계의 대외 경쟁력 상실로 인하여 광상개발이나 탐사활동이 거의 중단상태에 이르게 되어, 보다 능동적인 탐사활동과 적극적인 지원체계 확립이 절실히 요구되고 있다. 이와 같은 현실을 잘 파악하고 있는 대한광업진흥공사에서는 학계와 공동으로 광상부존 가능성이 높은 미지의 지역을 선택하여 벤처 탐사를 실시하였으며, 그 결과 화원반도에서 꽤 규모가 큰 석영맥들을 발견하게 되었다. 이 연구에서는 이러한 화원반도에서의 새로운 석영맥의 발견 과정, 광상의 발달상태, 산출광물 및 광

상 생성환경을 고찰하였다.

## 2. 주변지질

조사지역의 주변지질은 임부택 등(2001), Koh and Chang(1996) 및 차문성과 윤성효(1988)에 의해 간략하게 보고 되어 있으나 자세한 보고는 없다. 조사지역의 지질은 선캄브리아기의 변성퇴적암류를 기저로 하여 이를 관입한 쥬라기 흑운모화강암과 이들을 단층 및 부정합으로 피복한 백악기 퇴적암류(함력 사암, 응회질 사암 및 세일), 퇴적암류를 관입 또는 분출한 안산암질암과 이들을 관입한 백악기 반암류, 암맥류 및 석영맥 등으로 구성된다(Figs. 1, 2).

선캄브리아기의 변성퇴적암류는 조사지역 중 매월리 해안가 일대 및 매계 마을 일대에서 NS 또는 NNE 방향으로 분포된다. 이 변성퇴적암류는 호상편마암, 우백질편마암, 화강암질편마암, 편암 및 대리암으로 구성된다. 편마암은 유백색내지 회백색을 띠며 우백대와 우흑대가 교호하여 엽리구조를 갖는 것, 엽리구조를 갖지 않는 것 및 반상변정질 구조를 갖는 것이 관찰되나 상호 점이적인 관계를 갖는다. 이 암석에서는 소습곡구조가 잘 관찰되며, 구성광물은 석영, 정장석, 사장석, 흑운모, 백운모, 견운모, 녹니석 및 불투명광물 등이다. 이 암석의 엽리의 주향과 경사는 N20~60°E/50~75°SE, 45°NW이다. 편암은 매월리 해안가 일대 및 내륙에서 흑회색을 띠며 산출된다. 이 암석과 편마암 및 대리암과의 경계가 야외에서 확인되나 그 경계는 매우

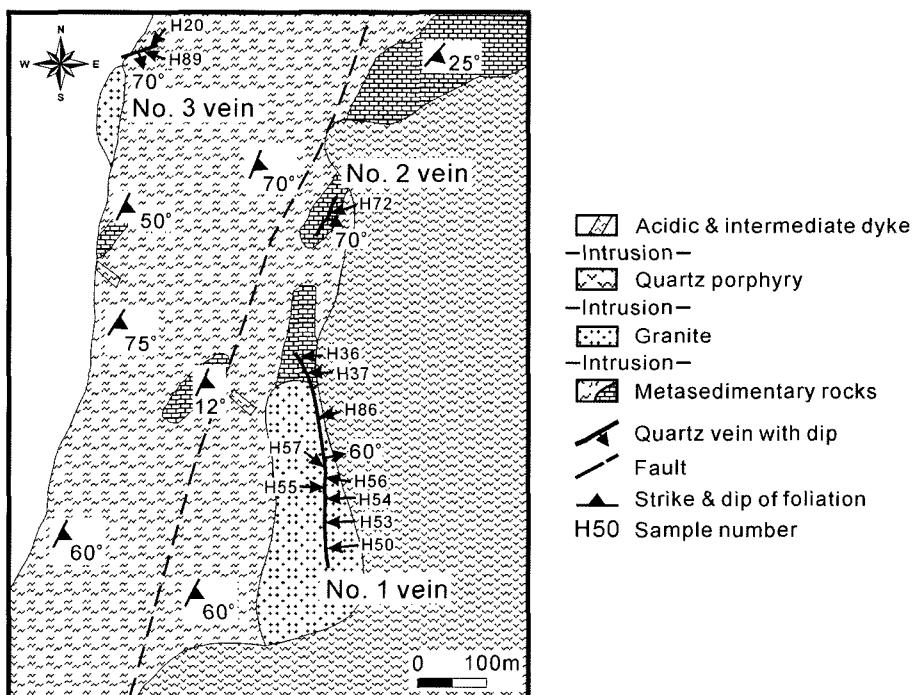


Fig. 2. Geological and sample location map of the Hwawon area.

복잡하다. 해안가 일대는 주로 편마암이 산출되지만 내륙으로 감에 따라 편암이 우세하게 산출된다. 이 암석의 엽리의 주향과 경사는 N50°E/60°NW, 55°SE이며 폭은 5 m 내외이다. 구성광물은 석영, 장석류, 운모류, 이차변질광물 및 불투명광물 등이다. 대리암은 화원광상 일대, 매월리 해안가 일부분, 매계 마을에서 북서방향 150 m 지점 일대에 분포된다. 이 암석은 유백색 내지 회백색을 띠며 습곡구조가 잘 관찰된다. 이 암석 내에서의 광화작용은 화원광상 일대를 제외한 다른 곳에서는 인지되지 않는다. 화원광상 일대에서 이 암석은 열수교대작용과 변성작용에 의해 스카른화가 진행되어 있으며 주로 석류석, 녹염석 및 규화석 등이 산출된다. 스카른화가 진행되지 않는 부분에선 석회암이 산출되며 스카른화대와의 경계는 점이적이다. 이 암석의 엽리의 주향과 경사는 N20~40°E/12~50°SE이다.

쥬라기 화강암은 매계 마을 뒷산 및 조사지역의 북부에서 암주형으로 산출되며 유백색 내지 녹회색을 띠며 현정질이다. 이 암석은 해안가에선 편마암과 대리암을 관입하였으며 조사지역의 북부에선 백악기 퇴적암류(옹회질 사암 및 세일)와 단층 또는 부정합으로 접한다. 이 암석은 반암 및 절리, 소단층에 관입한 암맥류에 의해 변질작용을 받은 곳도 부분적으로 관찰된다.

연구 대상이 되는 석영맥의 모암이기도 한 화강암은 석영, 정장석, 미사장석, 사장석, 흑운모, 각섬석, 견운모, 녹니석, 방해석 및 불투명광물 등으로 구성된다.

퇴적암류는 조사지역의 가장 많은 부분을 차지하며 합력사암, 응회질 사암 및 세일로 구성된다. 이 암류는 쥬라기 화강암 및 안산암질암과 접하는 곳에서는 합력사암이 관찰된다. 합력사암은 암회색을 띠며 역의 분급도와 원마도는 불량하고 다양하다. 사암과 세일은 호충으로 산출되며 두께는 지역에 따라 다르다. 사암은 주로 회백색을 띠며 세일은 주로 자색을 띤다. 이 암류는 월호리 지역에서 변성퇴적암류와 단층 접촉하여 단층의 주향과 경사는 N30°E/38°SE이다. 이 암석에는 충리 발달이 양호하며 충리의 주향과 경사는 N10~40°W/20~40°SW방향이 지배적이다. 구성광물은 석영, 장석류, 흑운모, 방해석 및 점토광물 등이다.

안산암질암은 마산리 일대에서 NNW 방향으로 백악기 퇴적암류를 관입 또는 분출하여 접촉하여 녹회색 내지 암회색을 띤다. 이 암석은 안산암, 안산암질옹회암 및 현무암등으로 구성되며 옹회암의 암편은 크기와 모양이 다양하다. 결정으로 산출되는 광물은 대부분 변질되었으며 휘석류와 방해석이 관찰된다.

석영반암은 매월리 뒷산에서 산출되며 지역적으로

Table 1. Ore grades of quartz veins from the Hwawon area.

Sample No.	g/t			ppm								
	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Cd	W	Mo	Mn	
H24	ND	0.38	9.06	19.49	414.18	46.24	4.51	1.69	123.25	ND	1877.77	
H25	ND	23.34	56.64	1516.10	6960.87	43.39	9.92	27.08	587.19	3.57	4902.66	Coast float (No. 1 vein)
H41	ND	124.37	95.28	6345.37	511.60	2.68	0.72	2.31	132.85	4.40	3102.08	
H43	ND	10.92	53.70	510.29	263.17	16.74	1.93	1.22	399.53	1.97	2337.73	
H44	ND	1.02	40.37	33.90	153.19	40.89	1.31	0.62	863.48	1.95	1745.47	Farmland float (No. 1 vein)
H45	ND	24.36	19.89	2032.18	1395.07	7.67	22.35	13.32	435.61	0.66	1827.47	
H46	ND	4.23	23.12	462.14	574.22	11.56	1.79	1.48	1003.00	2.61	1745.99	
H36	ND	8.16	28.70	3342.06	11152.30	2.52	2.32	36.74	41.77	2.22	10227.91	
H37	ND	14.51	11.54	1066.78	1561.38	2.89	0.60	7.30	449.65	124.90	2784.13	
H50	ND	1.57	160.78	2912.88	809.09	5.76	2.05	2.82	21.52	2.12	7284.99	
H53	ND	8.40	11.08	338.23	7064.54	71.10	7.10	43.89	790.00	ND	1928.07	
H54	ND	87.84	37.28	8797.25	6273.17	17.13	5.64	34.26	375.90	2.46	4543.95	No. 1 vein
H55	ND	55.21	50.58	4787.94	17068.04	3.64	1.03	47.50	270.73	11.32	1390.25	
H56	ND	2.46	56.62	25.58	3600.61	11.88	4.81	9.12	347.15	2.24	4367.60	
H57	ND	26.77	91.01	1062.66	9552.45	108.45	12.30	40.96	200.00	4.26	3547.80	
H86	ND	11.66	14.73	636.80	641.07	23.40	0.90	2.92	380.00	2.62	967.50	
H72	ND	0.80	27.56	182.11	484.55	13.04	3.27	16.05	315.95	0.91	5470.54	No. 2 vein
H20	ND	0.53	68.68	22.17	56.04	10.53	54.54	0.57	274.73	4.74	61.88	
H89	ND	0.58	22.39	28.95	153.16	0.89	1.98	0.16	959.50	1.25	658.77	No. 3 vein

ND=not detected

석영의 산출빈도가 다르다. 이 암석은 유백색 내지 회백색을 띠며 선캄브리아기의 변성퇴적암류 및 퇴적암류의 경계로 감에 따라 입자가 작아지는 냉각대를 관찰할 수 있다. 매개마을 뒷산 일대에서 산출되는 석영반암은 장소에 따라 심하게 변질되어 있다. 변질된 암석은 주로 중성 암맥이 관입하는 경계에서 관찰되나 그렇지 않는 곳에서 산출되는 것도 있다. 구성광물은 석영, 장석, 흑운모, 견운모, 녹니석, 녹염석 등이다.

암맥은 상기의 암류들을 관입하였으며 산성 암맥과 중성 암맥으로 구성된다. 산성 암맥은 담회백색을 띠는 세립질암으로 구성광물은 석영, 장석 및 견운모 등이다. 중성 암맥은 방향성과 폭이 다양하고 녹회색을 띠며 세립질암 또는 세립질 각력암으로 산출된다.

석영맥은 해안가를 따라 변성퇴적암류를 모암으로 수개 조 관찰되며, 매개 마을 뒷산에서는 NS 또는 NW 방향으로 최대 폭 6 m, 연장 150 m 정도가 확인된다.

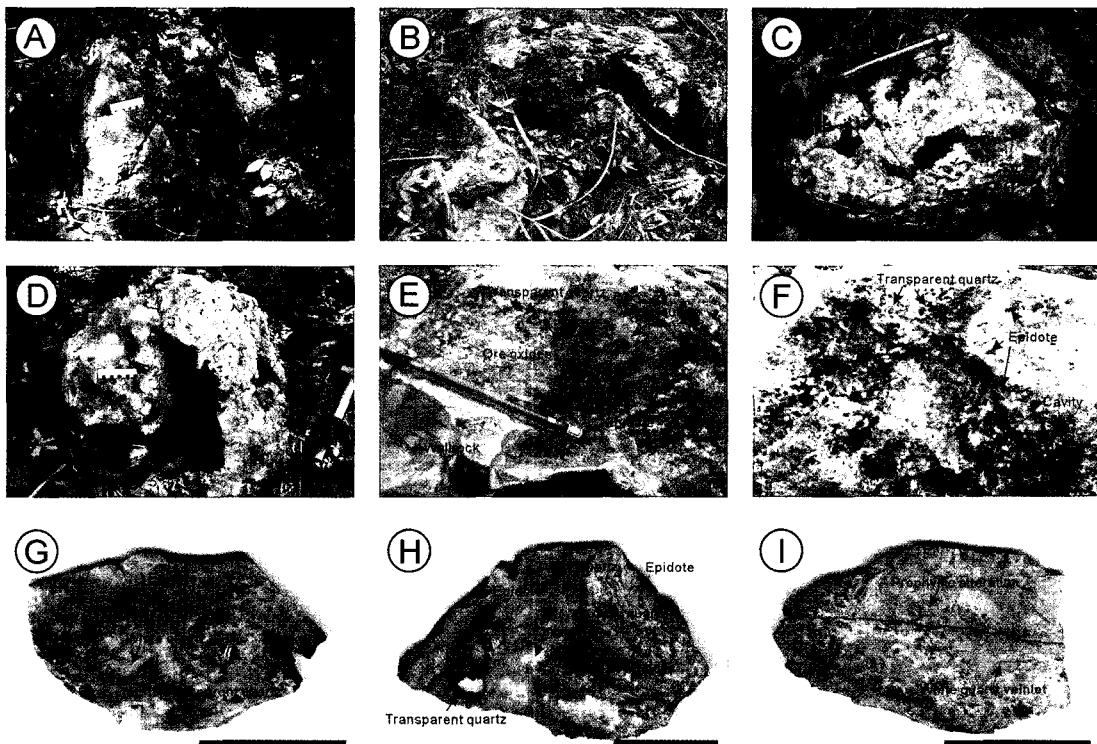
### 3. 광상

#### 3.1. 석영맥의 산출 상태

연구지역에서 관찰되는 석영맥중 변성퇴적암류 내에서 산출되는 석영맥은 맥폭, 연장성 및 방향성이 다양하고 육안상 황화광물이 관찰되지 않는다. 화원광상의

해안가에서 매월리 남쪽 약 100 m 지점까지는 과거 광상에서 유래한 광석의 전석 또는 석영맥(산화광물 포함) 전석이 잘 관찰된다. 이 석영맥 전석들은 인접지역에 석영맥 노두가 있다는 것을 암시한다. 이를 토대로 화원광상에서 매계 마을 주변의 야외노두를 정밀 조사한 결과, 매계 마을 앞 밭이나 담장에서도 정동구조가 잘 발달한 석영맥 전석을 다수 관찰 할 수 있었다. 이들 석영맥 전석 시료를 채취하여 광화작용과 품위를 알아보기 위해 ICP-MS와 EPMA분석을 실시한 결과, Au는 검출되지 않았지만 Ag는 0.38~124.37 g/t으로 광화작용이 있었음을 확인할 수 있었다(Table 1). 더욱 정확한 야외 노두를 파악하기 위하여 정밀 지질탐사를 실시한 결과, 매계마을 뒷산에서 대규모 석영맥(1호맥, 2호맥)노두와 해안가에서 열수 각력화작용을 받은 석영맥(3호맥) 노두를 발견할 수 있었다(Fig. 2, Fig. 3-A, B, C, D).

1호맥은 화강암과 대리암내 NS-NW 계열의 단층대를 충진하였다. 이 맥의 주향과 경사는 NS~N34°W, 수직~60°NE이다. 이 맥은 매계마을 뒷산 능선(고도 100m에서 125 m)에서 거의 남북방향으로 흑운모화강암과 대리암을 모암으로 산출되며 북쪽 연장방향에선 대리암을 모암으로 NS 방향의 소규모 광맥이 관찰되나 연장성은 확인할 수 없었다. 1호맥은 풍화에 의해 산



**Fig. 3.** Photographs of quartz vein samples from the Hwawon area. A, B, C and D; Quartz vein showing crude banding, cavity and wallrock fragment, E and F; Quartz vein showing white and transparent quartz, epidote, and ore oxides, G and H; Quartz vein slab showing white, gray and transparent quartz, ore oxides, epidote and calcite, I; Wallrock alteration slab showing white quartz veinlet and prophylitic alteration. Scale bar indicated 4cm in length.

화되어 초생 광석광물은 관찰되지 않고 2차 산화물만 관찰된다(Fig. 3-E). 이 맥은 주로 석영 및 방해석 등으로 구성되며 벳살구조, 대상구조, 망상구조, 각력상 구조 및 정동구조가 관찰되고 연장성은 150 m 정도 확인된다(Fig. 3-F). 맥 주변부의 모암은 주로 녹염석화, 견운모화, 녹나석화 및 황철석화작용 등의 변질작용을 받았다(Fig. 3-G, H). 폭은 최대 6.0 m 정도이며 모암 쪽으로 감에 따라 석영세맥이 방상으로 발달되기도 한다(Fig. 3-I). 황화광물(황철석, 섬아연석, 방연석)의 산출은 모암변질 대에서 주로 산출되며 괴상의 석영 및 정동 내 석영에서는 거의 산출되지 않는다. 이 맥에서 채취한 시료에서 Au는 검출되지 않았지만 Ag가 1.57~87.84 g/t 검출되었다(Table 1).

2호맥은 1호맥의 북측 방향 약 120여 m 지점에서 발견되며 대리암내 열곡을 충진하였다. 이 맥은 정동 구조, 각력상 구조를 보여주며 육안상 황화광물은 거의 확인되지 않는다. 이 맥의 주향과 경사는 N26°E/70°SE, 폭 0.7 m 및 연장성 5 m이다. 맥의 산출상태, 방향성 등을 고려할 때 이 맥은 1호맥의 연장이라 생

각된다. 이 맥에서 채취한 시료에서 Au는 검출되지 않았지만 Ag가 0.80 g/t 검출되었다(Table 1).

3호맥은 1호맥의 북서방향 약 500여 m 지점인 해안가에서 발견된다. 이 맥은 편마암내 열곡을 충진하였으며, 각력을 포함하고 있다. 석영맥은 유백색을 띠며 황화광물은 관찰되지 않는다. 각력내에서는 산화대가 관찰되며 규화작용을 받은 현상이 관찰된다. 이 맥의 주향과 경사는 N70°E/70°SE이며 폭은 5 m이나 연장성은 토양의 피복으로 확인할 수 없었다. 이 맥에서 채취한 시료에서 Au는 검출되지 않았지만 Ag가 0.53~0.58 g/t 검출되었다(Table 1).

### 3.2. 광석과 광석광물

연구지역의 석영맥 중 1호맥과 2호맥은 단일 석영맥이며 석영과 방해석으로 구성된다(Fig. 4). 이를 석영맥에서의 광화작용은 hypogene과 supergene 시기로 구별된다. hypogene 시기의 석영맥은 벳살 구조, 대상 구조, 망상 구조, 각력상 구조 및 정동 구조를 이루며, 석영은 회색 석영, 백색 석영 및 투명 석영으로 구성된

Mineral	Hypogene	Supergene
Quartz		
Calcite	—	
Epidote	—	
Chlorite	—	
Sericite	—	
Illite	—	
Pyrite	—	
Sphalerite	—	
Chalcopyrite	—	
Bornite	—	
Cubanite	—	
Galena	—	
Ag-tetrahedrite	—	
Ba-Fe-S system	—	
Pb-Te-S system	—	
Pb-Ag-S system	—	
Fe-Mn oxide		—
Zn-Fe oxide		—
Pb oxide		—

Fig. 4. Paragenetic sequence of minerals from the quartz veins in the Hwawon area.

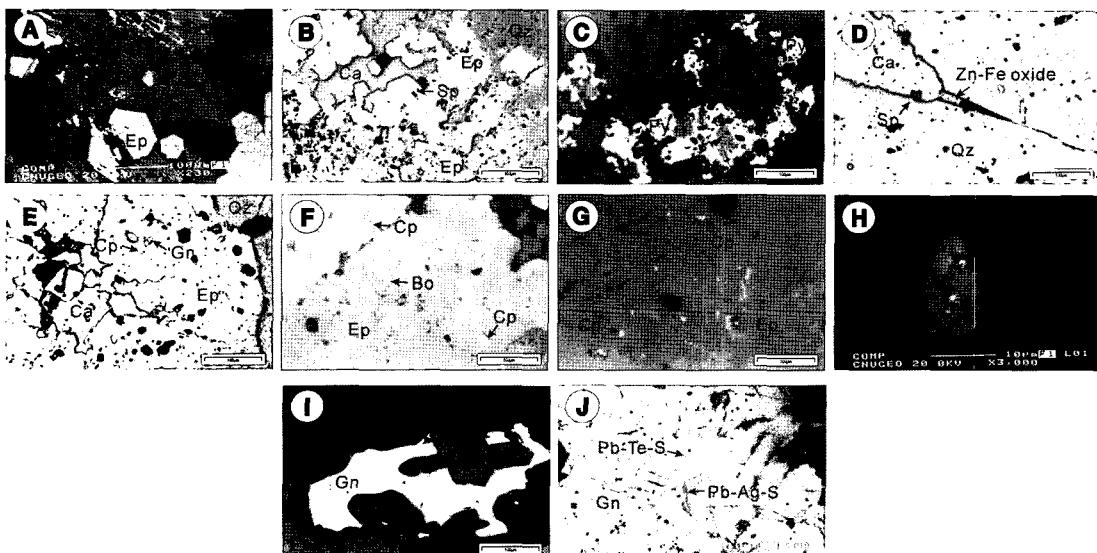


Fig. 5. Photomicrographs of minerals from quartz veins. A; Galena coexisting or infilling with epidote, B; Sphalerite coexisting with epidote, C; Pyrite coexisting with calcite, D; Sphalerite partly replaced Zn-Fe oxide, E; Chalcopyrite and galena coexisting with epidote, F; Bornite and chalcopyrite coexisting with epidote, G; Cubanite and chalcopyrite coexisting with epidote, H; Argentian tetrahedrite coexisting with chalcopyrite, I; Galena coexisting with epidote and calcite, J; Pb-Ag-S system and Pb-Te-S system coexisting with galena. Abbreviation: Py; pyrite; Sp; sphalerite; Cp; chalcopyrite; Bo; bornite; Cu; cubicite; Gn; galena; Th; argentian tetrahedrite; Pb-Ag-S; Pb-Ag-S system; Pb-Te-S; Pb-Te-S system; Qz; quartz; Ep; epidote; Ca; calcite. Scale bar indicated 100 micron in length.

다. 각력상 구조의 모암은 각력 내지 야각력의 다양한 크기로 산출된다. 포획된 모암은 모암변질작용에 의하여 대부분 녹염석, 녹니석, 견운모 및 일라이트화 되어 프로필라이트대와 점토대를 구성한다. 이를 석영맥에서 산출되는 광물은 석영, 방해석, 녹염석, 황철석, 섬아연석, 황동석, 방연석, 반동석, 규버나이트(cubanite), 함은사면동석, Pb-Ag-S계 광물 및 Pb-Te-S계 광물 등이다. 산출빈도와 산출량이 많은 황화광물은 방연석, 섬아연석, 황동석 및 황철석 등이며 대부분 현미경 및 전자현미분석을 통해 확인되었다. 또한 황화광물의 종류, 산출빈도 및 산출량은 맥의 수평적인 연장성이나 폭에 따른 변화가 관찰되지 않는다. supergene 시기에는 Fe-Mn 산화물, Zn-Fe 산화물 및 Pb 산화물 등이 생성되었다(Fig. 4).

녹염석은 모암변질산물 뿐 아니라 석영맥내에서도 산출된다. 특히 정동 구조내에서 산출되는 투명 석영내의 녹염석은 자형을 이룬다. 현미경하에서 녹염석은 성장 구조가 잘 관찰된다(Fig. 5-A, B).

황철석은 석영맥내에서 미립으로 산출된다. 황철석은 현미경하에서 석영 내에 단독으로 산출되는 것, 녹염석, 섬아연석과 방연석과 함께 산출되는 것 등이 있다(Fig. 5-C). 섬아연석은 현미경하에서 석영 내에 단

독으로 산출되는 것, 녹염석, 황철석, 황동석 및 방연석과 함께 산출되는 것 등이 있다(Fig. 5-D). 황동석은 현미경 하에서 석영 내에 단독으로 산출되는 것, 녹염석, 섬아연석 및 합은사면동석과 함께 산출되는 것 등이 있다(Fig. 5-E). 반동석과 규버나이트는 녹염석과 함께 산출된다(Fig. 5-F, G). 방연석은 현미경 하에서 석영 내에 단독으로 산출되는 것, 녹염석, 황철석, 섬아연석, Pb-Te-S계 광물 및 Pb-Ag-S계 광물과 함께 산출되는 것 등이 있다(Fig. 5-I). 합은사면동석은 황동석과 함께 산출된다(Fig. 5-H). Ba-Fe-S계 광물은 석영 내에 황철석과 함께 산출된다. Pb-Te-S계 광물과 Pb-Ag-S계 광물은 방연석과 함께 산출된다(Fig. 5-J).

#### 4. 유체포유물

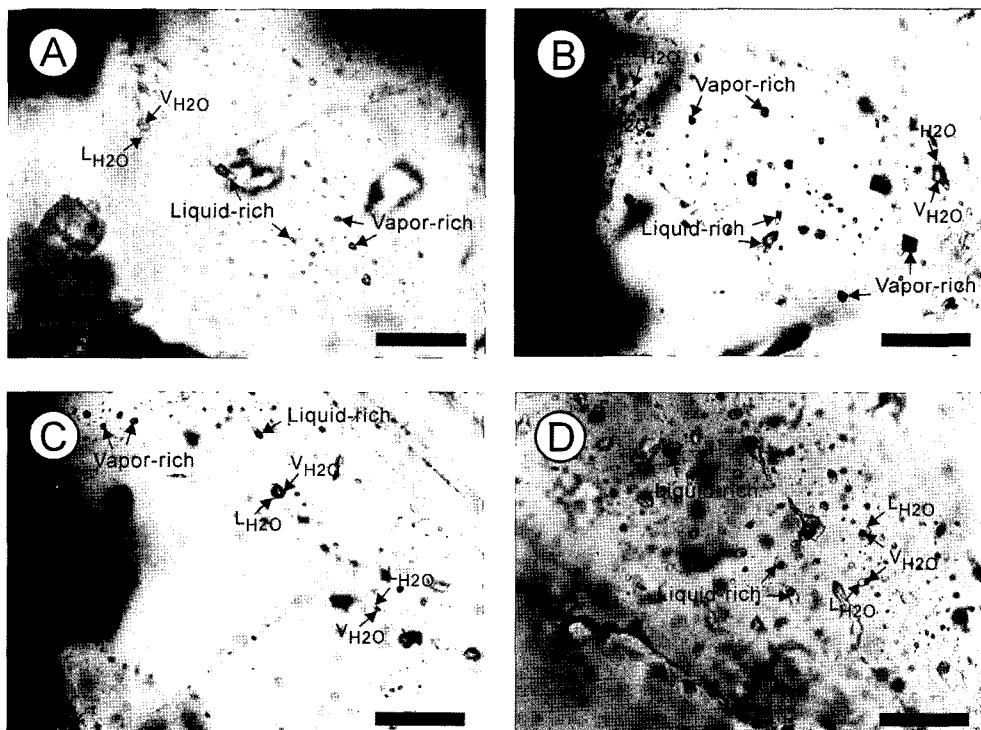
##### 4.1. 연구방법

연구지역에서 산출되는 석영맥들 중 맥의 품위 및 산출광물을 고려하여 1호맥 및 2호맥의 조기 모암변질내의 석영, 백색 석영(회색 석영 포함) 및 정동내 투명 석

영을 대상으로 유체포유물 연구를 실시하였다. 유체포유물의 산출상태 관찰, 가열 및 냉각실험은 Nikon 현미경에 부착된 Linkam THMSG 600을 이용하였다. 보다 정확한 측정을 위해 컴퓨터에 CCTV를 연결하여 이용하였으며, 유체포유물 측정 이전에 Linkam THMSG 600은 U.S.G.S에서 제작한 표준시료( $H_2O$ ,  $H_2O+CO_2$ )를 이용하여 보정을 실시하였다. 측정오차는 냉각실험 시  $\pm 0.1^\circ C$ , 가열실험 시  $\pm 0.5^\circ C$ 이다.

##### 4.2. 산출상태

석영내 유체포유물은 실온에서 관찰되는 상의 종류와 성분에 의할 때, 수용성 포유물로 분류되며 이 포유물은 다시  $V_{H2O}$ 의 몰체적비에 따라 50% 미만인 액상포유물과 50% 이상인 기상포유물로 세분할 수 있다. 여기에 사용된 용어는 Belkin, H.E.(1994)가 제시한 것을 인용하였다. 조기 모암변질내 석영과 백색 석영에서는 액상포유물과 기상포유물이 관찰되며(Fig. 6-A, B, C), 정동내 투명 석영에서는 액상포유물만 관찰된다(Fig. 6-D). 따라서 기상포유물은 vapor phase(증기상)



**Fig. 6.** Photomicrographs of representative types of fluid inclusions in quartz from No. 1 and 2 veins of the Hwawon area. A; Liquid-rich type and vapor-rich type inclusions in quartz of wallrock alteration, B and C; Liquid-rich type and vapor-rich type inclusions in white or gray quartz, D; Liquid-rich type inclusions in transparent quartz. Scale bar indicated 100 micron in length.

이 포유된 것으로서 광화유체의 비등증거가 된다.

이들 석영에서 산출되는 유체포유물은 대부분 석영의 결정면내에 면상 군집형, 선상 군집형 또는 봉합된 열극을 따라 면상, 선상 군집형 포유물로 산출된다. 유체포유물의 형태는 negative form, 반원형, 판형 및 불규칙형이며 크기는 수  $\mu\text{m}$ 에서 75  $\mu\text{m}$  정도이다. 1호맥과 2호맥에서 산출되는 유체포유물은 양자간에 형태, 상의 종류, 성분 및 균일화온도에서 차이가 없어 일괄 기술하였다.

#### 4.3. 냉각 및 가열 실험

조기 모암변질내 석영에서 산출되는 액상포유물에서는 냉각시  $V_{\text{H}_2\text{O}}$ 의 응축온도  $-40.1\sim-34.0^\circ\text{C}$ , 최초 용

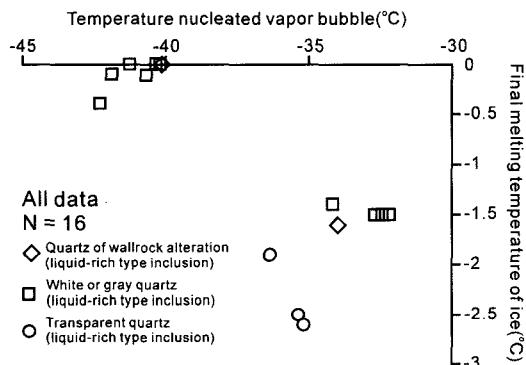


Fig. 7. Temperature nucleated vapor bubble versus final melting temperature of ice of liquid-rich type inclusions from quartz in the Hwawon area.

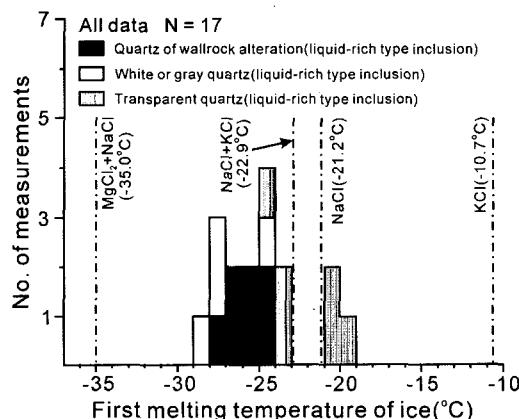


Fig. 8. Frequency-temperature histogram of first melting temperature of ice of liquid-rich type inclusions from quartz in the Hwawon area. The eutectic temperatures of the  $\text{KCl-H}_2\text{O}$  (Linke, 1965) binary system,  $\text{NaCl-H}_2\text{O}$  (Hall et al., 1988) binary system,  $\text{KCl-NaCl-H}_2\text{O}$  (Sterner et al., 1988) ternary system and  $\text{MgCl}_2\text{-NaCl-H}_2\text{O}$  (Luzhnaya and Vereshchagina, 1946) ternary system.

응온도( $T_{\text{e-ice}}$ )  $-27.5\sim-24.5^\circ\text{C}$ 를 보인다(Figs. 7, 8). 그림 7에서 보는 것과 같이  $V_{\text{H}_2\text{O}}$ 의 응축온도는  $T_{\text{m-ice}}$ 와

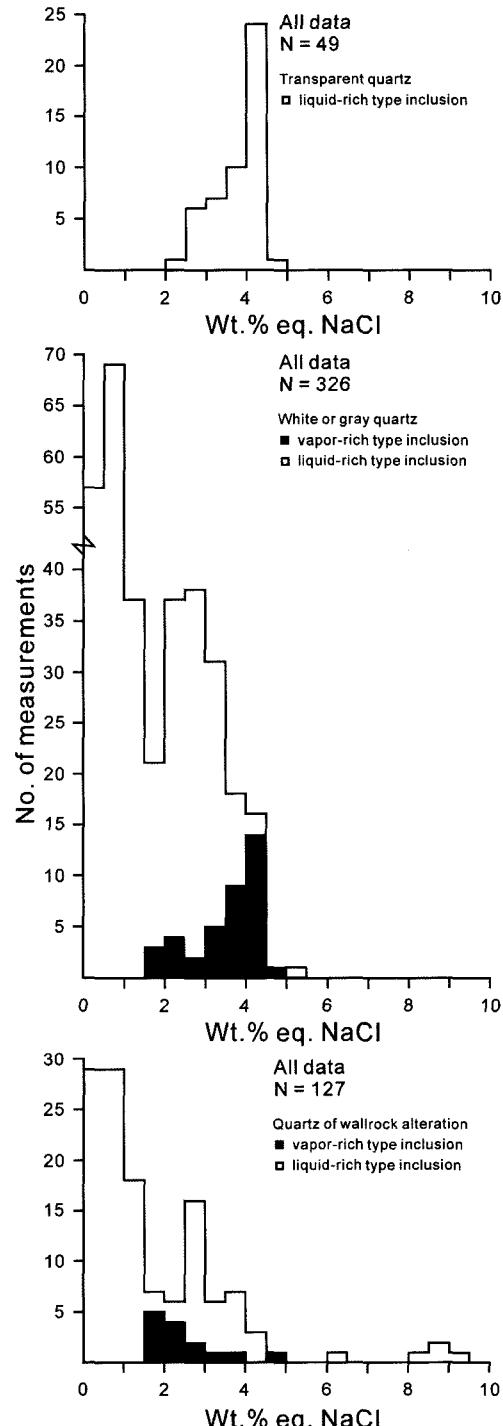


Fig. 9. Frequency diagram of salinities for fluid inclusions in quartz from the quartz veins.

반비례한다. 이것은  $V_{H2O}$ 의 용축온도가 포유물내 염농도가 낮을수록 낮아짐을 지시한다. 또한 그림 8에서 보는 것과 같이, 이것은 수용성 용액 중에 해리된 염이 주로 NaCl과 KCl로 존재함을 의미한다. 액상포유물의  $T_{m\text{-}ice}$ (final melting temperature)는 -6.1~0.0°C이며 Bodnar and Vityk(1994)가 제시한 방정식을 이용하여

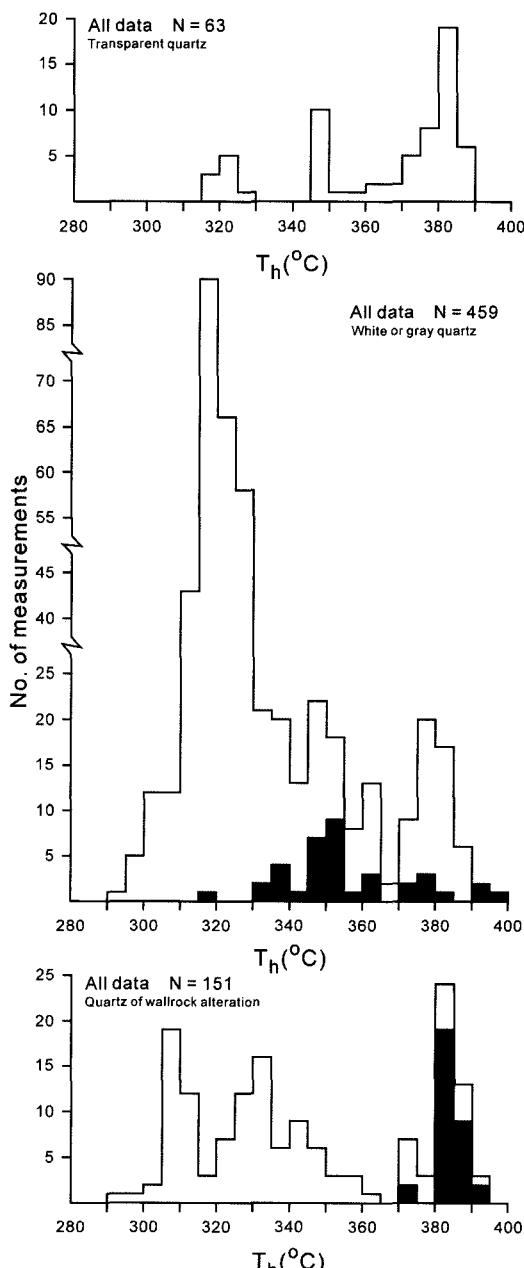


Fig. 10. Frequency diagram of homogenization temperatures for fluid inclusions in quartz from the quartz veins.

염농도(wt.% eq. NaCl)로 환산하면 0.0~9.3이다(Fig. 9). 이 포유물은 가열시 모두 액상으로 균일화되며 균일화온도는 291.2~390.2°C이다(Fig. 10). 기상포유물의  $T_{m\text{-}ice}$ 는 -2.8~-0.9이며 염농도로 환산하면 1.6~4.7 wt.% eq. NaCl이다(Fig. 9). 이 포유물은 가열시 모두 액상으로 균일화되며 균일화온도는 372.4~390.2°C이다(Fig. 10).

백색 석영과 회색 석영에서의 액상포유물은 냉각시  $V_{H2O}$ 의 용축온도는 -42.3~32.2°C이며 최초 용융온도는 -28.7~24.5°C이다(Figs. 7, 8). 그럼 8에서 보는 것과 같이 수용성 용액 중에 해리된 염이 주로 NaCl 및 KCl로 존재함을 의미한다. 액상포유물의  $T_{m\text{-}ice}$ 는 -3.1~0.0°C로서 염농도로 환산하면 0.0~5.1 wt.% eq.

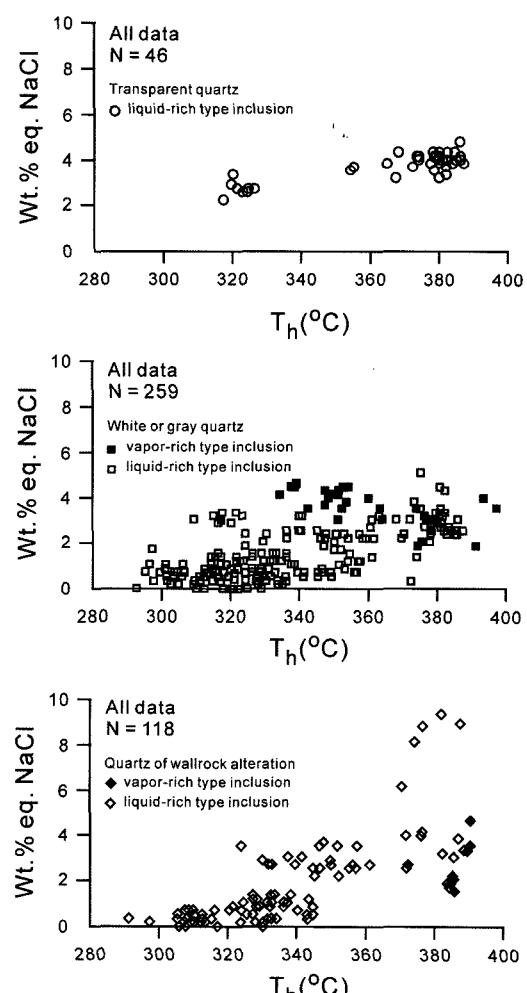


Fig. 11. Salinity versus homogenization temperature diagram for fluid inclusions in quartz from the quartz veins.

NaCl이다(Fig. 9). 이 포유물은 가열시 모두 액상으로 균일화되며 균일화온도는 292.6~387.5°C이다(Fig. 10). 기상포유물의  $T_{m\text{-ice}}$ 는 -2.8~-0.9로서 염농도로 환산하면 1.6~3.7 wt.% eq. NaCl이다(Fig. 9). 기상포유물은 가열시 대부분 기상으로 균일화되지만 일부 액상으로 균일화되며 균일화온도는 317~397.3°C이다(Fig. 10).

투명 석영에서 산출되는 액상포유물에서 냉각시  $V_{H2O}$ 의 응축온도는 -36.4~-35.2°C이며 최초 응축온도는 -24.5~-19.2°C이다(Figs. 7, 8). 액상포유물의  $T_{m\text{-ice}}$ 는 -2.9~-1.3°C로서 염농도로 환산하면 2.2~4.8 wt.% eq. NaCl이다(Fig. 9). 이 포유물은 가열시 모두 액상으로 균일화되며 균일화온도는 317.4~387.2°C이다(Fig. 10).

1호맥과 2호맥에서 산출되는 유체포유물의 염농도와 균일화온도의 관계를 도시하면 Fig. 11과 같다. 이 그림에서와 같이 균일화온도가 낮아짐에 따라 염농도도

함께 떨어짐을 알 수 있다. 그리고 조기모암변질내 석영 및 백색 석영과 회색 석영에서 산출되는 일부 기상 및 액상포유물은 균일화온도가 감소됨에 따라 염농도는 증가하는 것이 관찰된다.

## 5. 안정동위원소

### 5.1. 연구방법

산소 및 수소안정동위원소 분석을 위한 시료는 맥의 품위 및 산출광물을 고려하여 1호맥의 석영만을 대상으로 하였다.

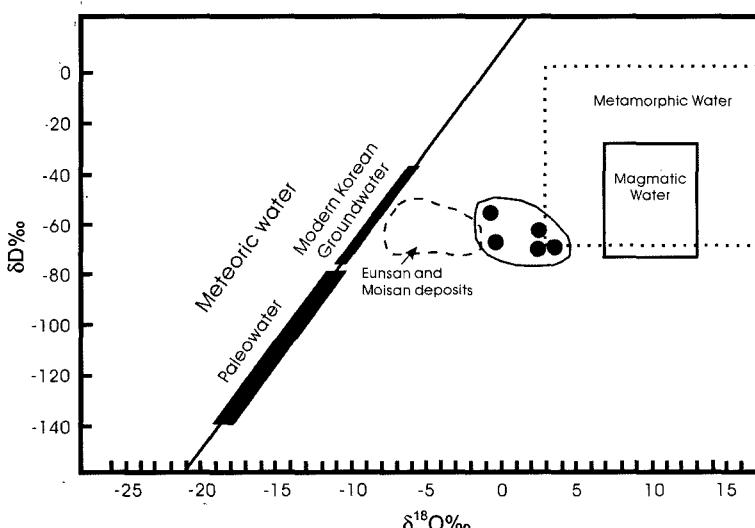
안정동위원소 분석은 중국지질대학(武漢)에서 실시하였다. 산소동위원소분석은  $F_2$  가스와 분석시료를 530 °C에서 24 시간 반응시킨 후 발생한  $O_2$ 를  $CO_2$ 화하여 포집 분석하였다. 수소동위원소분석은  $LPG+O_2$  불꽃으로 빙출한  $H_2O$ 를  $Zn$ 과 500°C에서 반응시켜 수소가

**Table 2.** Oxygen and hydrogen isotopic data of quartz from the Hwawon area.

Vein	Sample No.	Min.	$d^{18}O(\text{‰})$	$d^{18}O_{H2O}(\text{‰})^1$	$dD(\text{‰})$	$T_h(\text{°C})^2$
No. 1	H48	Qz	8.8	3.5	-69	350
	H54	Qz	4.6	-0.7	-55	350
	H55	Qz	4.9	-0.4	-67	350
	H57	Qz	5.3	0.0		350
	H57	Qz(t)	7.6	2.3	-70	350
	H57	Qz(t)	7.7	2.4	-62	350

<sup>1)</sup> $\delta^{18}O_{H2O}$  is calculated from the equation given by Matsushisa *et al.*(1979).

<sup>2)</sup> $T_h$  is homogenization temperature of fluid inclusion. Min: mineral, Qz: white quartz, Qz(t): transparent quartz.



**Fig. 12.** Hydrogen versus oxygen isotope diagram displaying stable isotope systematics of hydrothermal fluid composition of the quartz veins. Paleowater data from So and Shelton(1987a, b) and So *et al.*(1987), Modern Korean Groundwater data from Kim and Nakai(1981, 1988).

스로 환원하여 분석하였다. 분석시 표준시료는 CDT(황) 및 SMOW(산소, 수소)를 사용하였으며 오차범위는  $\pm 0.2\text{\textperthousand}$ (산소) 및  $\pm 0.1\text{\textperthousand}$ (수소)이다.

## 5.2. 산소 및 수소 분석결과

1호맥에서 산출되는 석영의  $\delta^{18}\text{O}$  값은 4.6~8.8‰이며(Table 2) 백색 석영과 투명 석영의  $\delta^{18}\text{O}$  값은 각각 4.6~8.8‰, 7.7‰로서 큰 차이가 없다. 석영맥의 광화시기중 석영 침전 시 평형상태에 있었던 물의  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}(\text{\textperthousand})$  값은 Matsushisa *et al.*(1979)의 분별식  $1000 \ln a_{\text{Quartz-H}_2\text{O}} = 3.34 (10^6/T^2) - 3.31$ 을 이용하여 계산하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다. 석영의  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  값은 -0.7~3.5‰(백색 석영 -0.7~3.5‰, 투명 석영 2.4‰)이다. 1호맥 생성시 물의  $\delta\text{D}$  값은 -70~-55‰(백색 석영: -70~-55‰, 투명 석영: -62‰)이다. 1호맥의 석영에 대한 산소 및 수소 동위원소 값은 수평적인 변화가 관찰되지 않는다.

## 6. 고 칠

연구지역에서 관찰되는 석영맥들은 선캄브리아기의 변성퇴적암류와 쥐라기의 흑운모화강암 내에 발달된 NS, NE 및 NW의 단층대를 충진하였다. 이들 석영맥은 매계마을 뒷산 일대와 매계마을 해안가에서 산출되며 벗살 구조, 대상 구조, 망상 구조, 각력상 구조 및 정동 구조가 관찰된다. 이들 석영맥 중 1호맥은 연장성(150 m)과 맥폭(6 m)로서 연구지역에서 가장 큰 석영맥으로 산출된다.

1호맥과 2호맥의 모암변질광물로는 대부분 녹염석, 녹나석, 견운모, 일라이트 및 황철석으로 프로필라이트 대와 점토대로 구성된다. 이를 모암변질광물은 광화유체가 환원환경이며 거의 중성이었음을 지시한다. 1호맥은 단일시기로 백석광물은 석영과 방해석으로 구성된다. 이 석영맥에서 산출되는 황화광물은 황철석, 섬아연석, 황동석, 방연석, 반동석, 규버나이트, 함은사면동석, Pb-Ag-S계 광물 및 Pb-Te-S계 광물 등이다.

1호맥과 2호맥의 유체포유물에서 측정한 균일화온도( $T_h$ )는 291.2~397.3°C(조기모암 내 석영; 액상포유물의  $T_h=291.2\sim390.2^\circ\text{C}$ , 기상포유물의  $T_h=372.4\sim390.2^\circ\text{C}$ , 백색 석영과 회색 석영; 액상포유물의  $T_h=292.6\sim387.5^\circ\text{C}$ , 기상포유물의  $T_h=317\sim397.3^\circ\text{C}$ , 투명 석영; 액상포유물의  $T_h=317.4\sim387.2^\circ\text{C}$ )이며 염농도(wt.% eq. NaCl)는 0.0~9.3(조기모암 내 석영; 액상포유물의 염농도=0.0~9.3, 기상포유물의 염농도=1.6~4.7, 백색 석영과 회색 석영; 액상포유물의 염농도=0.0~5.1, 기상포유물의 염농도=1.6~3.7, 투명 석영; 액상포유물의 염농도=2.2~4.8)이다. 그림 11에서 살펴본 바와 같이, 조기모암 내 석영 및 백색 석영과 회색 석영에서 균일화온도가 감소됨에 따라 염농도는 일부 증가하며 재차 염농도가 낮아짐을 알 수 있다. 이는 열수가 열개를 따라 급격히 상승함에 따라 압력의 감소에 의해 일부 비등과 천수의 혼합에 의한 냉각 및 희석작용이 있었음을 지시한다. 따라서 이들 석영맥의 황화광물은 광화작용이 진행됨에 따라 온도의 감소에 의해 침전되었다고 생각된다. 또한 균일화온도가 감소함에 따라 염농도가 증가하는 포유물에 대한 자료

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

Mine	This study	Eusan <sup>1</sup>	Moisan <sup>1</sup>
Petrology of host units	Granite, metasedimentary rocks	Intermediate to silicic extrusive rocks	Intermediate to silicic extrusive rocks
Vein system	Fissure	Fissure>sheeted	Sheeted>fissure
Ore mineralogy	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>2</sup>	Complex quartz vein, sulfides, chalcocite, covellite, chalcostivite, tetrahedrite, goldfieldite, stan-nite, tellurides <sup>2</sup>
Hydrothermal alteration	Epidote, chlorite, illite, sericite, quartz, carbonate	Chacedony, carbonate, kaolinite, adularia, illite/smectite, chlorite, illite	Chacedony, carbonate, kaolinite, adularia, illite/smectite, chlorite, illite
Fluid inclusion	291.2~397.3°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 (per mil)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}(-0.7\sim3.5\text{\textperthousand})$ , $\delta\text{D}(-70\sim-55\text{\textperthousand})$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}(-7.2\sim-2.1\text{\textperthousand})$ , $\delta\text{D}(-68\sim-61\text{\textperthousand})$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}(-5.4\sim-2.3\text{\textperthousand})$ , $\delta\text{D}(-65\sim-62\text{\textperthousand})$
Ore deposition mechanism	Cooling>boiling	Boiling>cooling	Boiling>cooling

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

(352.6°C, 4.5 wt.%)를 Hass(1971)의 자료에 적용하면 압력은 167 bar이며 심도는 정수압으로 약 2,249 m 정도이다.

1호맥을 형성한 광화유체 중 물의 기원을 알아보기 위해서 분석된 석영의 산소 및 수소안정동위원소 값은 각각  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = -0.7 \sim -3.5\text{\%}$ (백색 석영: -0.7~3.5%, 투명 석영: 2.4%),  $\delta\text{D} = -70 \sim -55\text{\%}$ (백색 석영: -70~-55%, 투명 석영: -62%)이다.  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  값과  $\delta\text{D}$  값의 자료를 종합하여 볼 때, 마그마 기원의 광화유체는 광화작용이 진행됨에 따라 천수의 혼입이 작용한 것으로 보인다(Fig. 12).

따라서 이들 자료로부터 이들 석영맥은 마그마 기원의 열수용액으로부터 광화작용이 진행됨에 따라 광화유체는 단층대를 따라 급격히 상승할 때 압력의 감소에 따라 일부 비등과 천수의 유입에 의한 혼합에 의해 냉각 및 회석작용이 있었음을 지시해 주며 천열수의 저유황형에 해당된다.

이 석영맥에서 남동방향으로 약 25 km 떨어진 곳에 은산 및 모이산광상이 위치한다. 이들 광상은 Choi, et al.(2005)에 의하면 천열수광상의 저유황형에 해당된다고 보고하였다. 이들 광상에서 산출되는 맥석광물과 비교할 때 특징적으로 연구지역의 석영맥은 백색 석영으로 산출된다(Table 3). 또한 연구지역의 석영맥은 이들 광상의 균일화온도, 금광화작용 형성온도(210~270°C), 염농도, 산소 및 수소안정동위원소 값에 비해 높은 값을 갖는다(Table 3). 또한 Hedenquist, et al.(2000)의 천열수 금광상에 대한 탐광에 적용하여 보면, 연구지역의 석영맥은 천열수 금광상의 금은 생성온도보다 다소 높은 값을 보인다. 이로 보아, 연구지역에서는 석영맥 형성 후 계속적인 침식에 의해 함금은 석영맥의 상당부분이 제거된 것으로 생각된다.

## 7. 결 언

- 조사지역의 지질은 선캄브리아기의 변성퇴적암류(편마암, 편암, 대리암), 쥬라기 화강암, 백악기 퇴적암류(응회질사암 및 셰일), 안산암질암, 석영반암, 암맥류 및 석영맥으로 구성된다.

- 석영맥은 선캄브리아기의 변성퇴적암류 및 쥬라기 화강암을 모암으로 하여 3개조가 발달한다. 1호맥은 맥폭 6 m, 연장성 150 m, 주향과 경사 NS~N34°W/수직~60°NE이고, 2호맥은 맥폭 0.7 m, 연장성 5 m, 주향과 경사 N26°E/70°SE이며 3호맥은 맥폭 5 m, 주향과 경사 N70°E/70°SE으로 확인된다.

3. 1호맥과 2호맥은 빗살 구조, 대상 구조, 망상 구조, 각력상 구조 및 정동 구조가 관찰되며 맥석광물로는 석영, 녹염석, 녹나석, 일라이트, 견운모 및 방해석 등이 산출된다.

4. 1호맥과 2호맥의 광화시기는 hypogene 시기와 supergene 시기로 구분된다. Hypogene 시기에 산출되는 황화광물은 황철석, 섬아연석, 방연석, 횡동석, 반동석, 규버나이트, 합은사면동석, Pb-Ag-S계 광물 및 Pb-Te-S계 광물 등이며 supergene 시기에 산출되는 광물로는 Fe-Mn 산화물, Zn-Fe 산화물 및 Pb 산화물 등이 있다.

5. 1호맥과 2호맥의 유체포유물 연구 결과, 균일화온도는 ( $T_h$ )는 291.2~397.3°C(조기모암 내 석영; 액상포유물의  $T_h = 291.2 \sim 390.2^\circ\text{C}$ , 기상포유물의  $T_h = 372.4 \sim 390.2^\circ\text{C}$ , 백색 석영과 회색 석영; 액상포유물의  $T_h = 292.6 \sim 387.5^\circ\text{C}$ , 기상포유물의  $T_h = 317 \sim 397.3^\circ\text{C}$ , 투명 석영; 액상포유물의  $T_h = 317.4 \sim 387.2^\circ\text{C}$ )이며 염농도(wt.% eq. NaCl)는 0.0~9.3(조기모암 내 석영; 액상포유물의 염농도=0.0~9.3, 기상포유물의 염농도=1.6~4.7, 백색 석영과 회색 석영; 액상포유물의 염농도=0.0~5.1, 기상포유물의 염농도=1.6~3.7, 투명 석영; 액상포유물의 염농도=2.2~4.8)이다.

6. 1호맥에 대한 산소, 수소 안정동위원소 연구결과, 석영의  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  값은 -0.7~3.5%(백색 석영 -0.7~3.5%, 투명 석영 2.4%)이고  $\delta\text{D}$  값은 -70~-55%(백색 석영: -70~-55%, 투명 석영: -62%)로써 마그마 기원의 유체가 광화작용이 진행됨에 따라 천수의 혼입이 작용한 것으로 생각된다.

## 사 사

이 연구는 2002년도 한국학술진흥재단 기초과학연구지원사업(KRF-2002-CS0059)에 의하여 연구되었다. 이 기관에 사의를 표한다. 또한 논문에 사용된 정성 및 정량분석자료는 충남대학교 공동실험실습관에 설치된 JEOL사 JXA-8800R로부터 얻어졌다. 아울러 심사과정에서 논문의 미비점을 지적, 수정하여 주신 한국지질자원연구원 문상호박사님과 익명의 심사위원님께 깊이 감사드립니다.

## 참고문헌

김규한, 中井信之 (1988) 남한의 지하수 및 강수의 안정동 위원소조성. 지질학회지, 24권, p. 37-46.

- 김창성, 최선규, 유인창, 김상엽, 유풍철, 이현구 (2005) 해남지역 은산 및 모이산 천열수 금은광상의 유체진화. 2005년도 대한자원환경지질학회 춘계학술발표회, p. 86-89.
- 대한광업진흥공사 (2004) 목포지구 물리탐사보고서, 18p.
- 임무택, 이윤수, 강희철, 김주용, 박인화 (2001) 해남지역의 백악기 암석에 대한 고지자기 연구. 자원환경지질, 34권, p. 119-131.
- 차문성, 윤성호 (1988) 한반도의 회산함몰구조 및 환상복합암체에 관한 연구. 지질학회지, v. 24, p. 67-86.
- Belkin, H.E. (1994) Microthermometric investigations: Th and Tm. practical and theoretical aspects. Short course of the working group "inclusion in minerals", p. 7-23.
- Bodnar, R.J. and Vityk, M.O. (1994) Interpretation of microthermometric data for  $H_2O$ -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.
- 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.
- Hall, D.L. Sterner, S.M. and Bodnar, R.J. (1988) Freezing point depression of NaCl-KCl- $H_2O$  solutions. Econ. Geol., v. 83, p. 197-202.
- Hass, J.L. (1971) The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure. Econ. Geol., v. 66, p. 940-946.
- 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. Econ. environ. Geol., v. 29, p. 381-393.
- Linke, W.F. (1965) Solubilities of inorganic and metal-organic compounds. 4th ed., Washington, D.C., American Chemical Society, 1914p.
- Luzhnaya, N.P. and Vereshtchina, I.P. (1946) Sodium, calcium, magnesium chlorides in aqueous solutions at -57 to +25°C(polythermal solubility). Zhurnl. Prikl. Khimii, v. 19, p. 723-733.
- Matsuhsisa, Y. Goldsmith, R. and Clayton, R.N. (1979) Oxygen isotope fractionation in the system quartz-albite-anorthite-water. Geochim. Cosmochim. 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. Econ. Geol., 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, Yeouji mining district, Republic of Korea. Econ. Geol., v. 82, p. 1309-1318.
- Sterner, S.M. Hall, D.L. and Bodnar, R.J. (1988) Synthetic fluid inclusions. V. Solubility relations in the system NaCl-KCl- $H_2O$  under vapor-saturated conditions. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 52, p. 989-1005.

2006년 8월 16일 원고접수, 2006년 10월 19일 게재승인.