

남한의 주요 금속광상산 석영내의 유체포유물의 가스성분과 용존성분의 화학조성

김규한* · 정해란*

Gas and Solute Compositions of Fluid Inclusions in Quartz from Some Base-metal ore Deposits, South Korea

Kim Kyu Han*, and Cheong Hae Ran*

ABSTRACT: Gas and chemical compositions of fluid inclusions in quartz from some of Au-Ag, Pb-Zn-Cu and W-Mo mineral deposits in South Korea were analyzed to interpret the sources of ore fluid and the depositional condition of ore minerals in base-metal ore deposits. Fluid inclusions in quartz from the gold and silver mines are characterized by CO₂ rich fluids which have a wide range in CH₄ and CO₂ contents (CH₄/CO₂=0.001-0.225). The CO₂ rich but CH₄-poor nature of the fluid reflects the high f_{O₂} condition during the mineral precipitation. The CH₄ is more enriched in quartz veins of metasedimentary rocks rather than in granitic rocks as a host rock. The C₂H₆ is detected in hydrothermal quartz veins in metasedimentary rocks from the Jeonjoo-il, Youngbokari and Taechang mines. The CH₄/CO₂ ratios in W-Mo bearing quartz veins range from 0.006 to 0.214, which is similar with those in Au-Ag mines. However, skarn ores of the W-Mo mines contain extremely high CH₄ content (CH₄/CO₂=1.6-53), suggesting a reduced environment of skarn formation stage. Fluid inclusions in quartz from the Au-Ag and W-Mo mineral deposits have a relatively high and variable Ca and Na concentrations. A relatively good correlation between Na and Cl concentrations reflects variable salinity in the fluid inclusion. Based on the diverse chemical compositions of gas and fluid in vein quartz from base-metal ore deposits, it is suggested that the chemistry of primary magmatic hydrothermal fluids has changed during post-magmatic alteration and/or wall rock alteration processes. The content of gas compositions also depends on the kinds of country rocks, supporting above conclusion.

서 언

한반도에는 금, 은, 동, 연, 아연 등 다양한 광종의 금속광상이 분포하고 있다. 특히, 텅스텐-몰리브덴광상, 연-아연-동광상, 금-은광상 등의 금속광상은 대부분 열수광상으로 화성암류와 밀접히 관련된 스킨형(접촉교대광상)과 광맥형광상으로 되어 있다. 이들 광상에 대한 광물학적, 유체포유물, 안정동위원소에 의한 광상성인 및 광화 환경해석 연구가 많은 연구자들에 의해 수행되었다 (Lee, 1980; Moon, 1983; Kim *et al.*, 1988;

Shelton *et al.*, 1988; So *et al.*, 1988; So *et al.*, 1993; So and Yun, 1997; 박희인, 1983; 이현구, 최진우, 1988; 최선규외, 1988; 김규한외, 1990).

최근 안정동위원소 및 유체포유물 연구를 통하여 광화환경 및 광화용액의 기원 해석 등에 대하여 큰 성과가 얻어졌다. 그러나 광화용액의 화학적 특성에 관한 연구내용은 분석의 어려움 때문에 연구가 극히 제한적으로 수행되었다. 국외의 경우 광화용액 화학분석연구는 Kozlowski (1978), Lazar and Holland (1988), Roedder (1990), Klemm (1994), Graney and Kesler (1995), Pettke and Diamond (1995), Pettke *et al.* (1995) 등에 의해 수행된 바 있다. 광화용액의 화학적 특성은 광화환경, 광화용액의 침전조건 해석에 대단히

* 이화여자대학교 과학교육과 (Department of Science Education, Ewha Womans University, Seoul 120-750 Korea)

중요하다 (Ellis, 1979; Ruaya and Seward, 1987; Simonson *et al.*, 1990; Seward *et al.*, 1996).

최근 국내의 화강암류 중의 가스분석은 김규한, 신유희 (1995), 김규한, 이화정 (1996), 김규한 외 (1996), 김규한, 하우영 (1997), 이민성의 (1998) 등에 의해 수행된 바 있다.

국내에서 광체중 석영내의 유체포유물의 용존이온 화학분석 연구는 현재까지 수행된바 없으며 가스분석 연구는 Kaneda *et al.* (1987)과 Moon (1993)에 의해 금-은광상과 텅스텐-몰리브덴 광상산 석영에 대하여 수행된 바 있다. Moon (1993)은 14개광상 시료에대하여 CO₂, CH₄, H₂O, N₂를 정량하였다. 대다수 광상시료에서 N₂, CH₄함량이 높고 CO₂와 CH₄ 분포의 유사성이 조사되었다. Kaneda *et al.* (1987)은 국내 무극광상과 금왕광상 등 15개 금은 광상의 광석중 석영내의 포유물에대한 가스분석 연구를 통하여 일본의 금은 광상에 비해 CH₄함량이 낮고 CO₂의 함량은 변화가 심하며 CO₂/CH₄몰비가 4.0 이하인 특징을 나타내고 있음을 보고하였다. 한편 11개 W-Mo광상에서 CH₄농도가 20 mole%이하로 CO₂/CH₄몰비가 낮게 나타났다 (Kaneda *et al.*, 1987; Moon, 1993).

본 연구에서는 남한의 대표적인 금속광상산 석영내 유체포유물 중의 가스성분과 용존 성분의 화학분석을 통하여 광화용액의 화학적 특성과 광화환경을 규명하였다.

특히, 열수용액중 W-Mo 광화용액, Pb-Zn-Cu 광화용액, Au-Ag 광화용액간의 지화학적 특성과 광화환경의 차이점을 비교 검토하고 이들 광화용액의 가스중과 유체 화학종의 기원을 검토하였다.

열수광맥형 석영맥의 산출상태

한반도에는 금, 은, 동, 연, 아연, 텅스텐, 몰리브덴 등의 금속광상이 주로 열수광맥형 또는 접촉교대형 (스카른형)광상으로 산출되고 있다.

본 연구에 사용된 시료의 대상광상은 금-은광상 (12개광상), 연-아연, 동광상 (4) 및 텅스텐-몰리브덴 광상 (7)이다 (Fig. 1). 이들 광상의 열수 석영맥의 산출상태를 요약하면 다음과 같다.

금-은광상

금-은광상은 석영맥을 주로 하는 열수광맥형 광상이다. 모양은 선캄브리아기의 변성퇴적암류와 주라기와 백악기의 화강암류로 되어 있다 (Table 1). 광체의 대

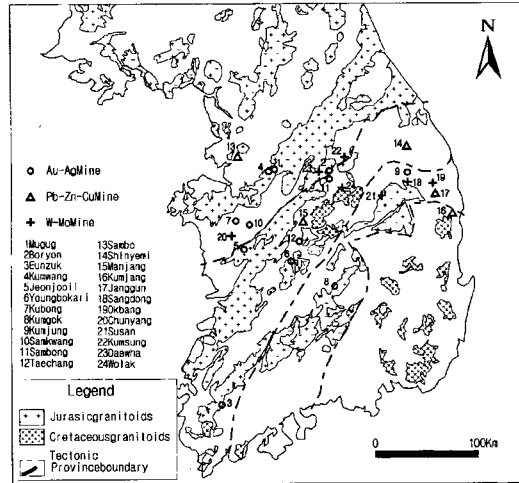


Fig. 1. Location map of the studied Au-Ag, Pb-Zn-Cu and W-Mo mineral deposits in South Korea.

부분은 황철석, 황동석, 섬아연석, 방연석 등을 함유한 함화광물 석영맥으로 수반 황화광물의 조합은 광상에 따라 다소 다르다 (Table 1). 무극광상, 보련광상, 은적광상, 금왕광상, 전주밀광상, 금정광상, 태창광상 등 대부분의 광상에서는 황철석이 가장 우세하게 산출된다. 그러나 구봉광상은 자류철석이, 영보가리 광상은 섬아연석과 방연석이, 삼광광상은 자류철석이 우세하게 산출되며 태창광상의 경우 휘수연석이 수반되고 있다 (Table 1).

대부분 광맥의 형성 온도는 220~270°C 내외이다 (So *et al.*, 1989). 황동위원소비 ($\delta^{34}\text{S}$)는 대체로 +3.6~9.6‰로 화성기원의 황으로 해석되었다 (김규한, 中井信之, 1980; Shimazaki *et al.*, 1985; 1986, So *et al.*, 1989; 김규한외, 1990).

연-아연-동 광상

본 연구에 이용된 시료는 삼보, 신예미, 만장, 금장광상산으로 이들 광상의 시료의 산출상태 및 선행 연구결과와 요약은 Table 1과 같다. 신예미, 금장광상은 탄산염암과 화성암과의 접촉대에서 형성된 접촉교대광상 또는 스카른 광상이다. 삼보광상은 선캄브리아기의 변성암내에 발달하는 석영맥 광상으로서 섬아연석, 방연석, 황동석 등의 황화광물과 황산염광물인 중정석이 공존 산출되고 있다. 만장광산의 경우 석회암내에 발달하는 스카른형광석과 광맥형 맥상 석영시료가 분석에 이용되었다.

Table 1. Summary of some Au-Ag, Pb-Zn-Cu and W-Mo mineral deposits in South Korea.

Mine	Type of deposit	Host lithology	Mineral assemblage	$\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$	Depositional conditions(T_p , salinity)	Age of mineralization(Ma)	References
<Au-Ag>Mugug	Hydrothermal quartz vein	Granite (Jur.)	py+cp+po+gn+sp	-2.2-9.2	240°C/1.0-6.6	87.9	Kim <i>et al.</i> , 1990 (in Korean)
Boryon Eunzuck	quartz vein quartz vein	Banded gneiss tuff	py(cp, gn) py+gn+sp	88.5-11.1	296-392/0.2-8.8	145.5	Shelton <i>et al.</i> , 1988, KMPC, 1987.(in Korean)
Kumwang	quartz vein	Granite (Cret.)	py+apy+sp+cp+tag	9.6	220-270°C (240°C)/low f_{O_2}		Sugaki <i>et al.</i> , 1986
Jeonjoo-il	quartz vein	Precam. metamorphic rocks	py+sp+gn+cp	4.9			
Youngbokari	quartz vein	Precam. metamorphic rocks	sp+gn+apy+py+po+mt		246-372°C/2.6-7.9	132.1	So <i>et al.</i> , 1989
Kubong	quartz vein	Precam. metamorphic rocks	po+gn+sp+py+apy	5.9			KMPC, 1987
Kumgok	quartz vein	Granodiorite	py				KMPC, 1987
Kumjung	quartz vein	Gneiss	py+cp+apy+po	4.8	877-1103		Shimazaki <i>et al.</i> , 1986
Samkwang	quartz vein	Gneiss	apy+sp+gn+cp+py	3.6			So <i>et al.</i> , 1989
Sambong	quartz vein	Gneiss	py				KMPC, 1987.
Taechang	quartz vein	Gneiss	py+apy+cp+mo	3.7-12.0	276-394/0.2-8.5	156.2	Shelton <i>et al.</i> , 1998
<Pb-Zn-Cu>Sambo Shinyemi	vein(Pb-Zn-Ba) skarn(Mt)	Precam.-metamorphic rock Limestone (Cam-Ord.)	sp+gn+cp+py gar+py+cp	-3.9-13.5 -10.1-2.5	210-290°C 400-540°C	163.6	So <i>et al.</i> , 1984 Kim <i>et al.</i> , 1995
Manjang	vein (Cu-Zn-Pb) skarn(Cu)	Limestone	cp+apy+gn+po+py+apy+mt	2.7-5	60		Kim and Nakai, 1982 Mariko and Yang, 1989
Kumrijang Janggun	quartz vein quartz vein skarn	Limestone Limestone Limestone Limestone	gar+wo+cp+mt cp+py+po+sp+mo+wo cp+py+po+sp+mo+wo mt+sp+gn+cp+rh	4.4-9.9 (6.1) 1.3-3.1 1.3-3.1	240-350°C 240-350°C	6.3-12.9 6.3-12.9	Kim and Yang, 1989 Kim and Yang, 1989 Lee, 1980
<W-Mo>Sangdong	quartz vein	Limestone (Cam-Ord.)	mo+sch+po	2.5-5.2	290-360°C/4-40	83	Moon, 1983 Kim <i>et al.</i> , 1988.
Okbang(W)	quartz vein		po+py+cp	-0.2-0.5		257	Shimazaki <i>et al.</i> , 1987
Chungyang(W)	quartz vein	Granite porphyry(Cret.) Biotite gneiss	cp+py+po+sp+mo+wo		300-400°C/0-6	79-85.9	Shimazaki <i>et al.</i> , 1987 Kim, 1977, (in Korean) So <i>et al.</i> , 1993
Susan(W-Mo)	quartz vein	Granite(Cret.)	gar+cp	4.3-5.9	240-305°C 3.5-11.5	Cret.	Park <i>et al.</i> , 1981 Yun <i>et al.</i> , 1983
Kumsung (Mo)	skarn	Limestone (Cam-Ord.)				159	Shibata <i>et al.</i> , 1983
Daewha(W-Mo)	quartz vein	Granite in granitic gneiss	cp+py+po+sp+mo+wo	3.3-4.2	194-395°C 2.6-14.4	88-89	Park and Choi, 1974 (in Korean) So <i>et al.</i> , 1988; Shelton <i>et al.</i> , 1988
Wolak(W-Mo)	quartz vein	Limestone	mo+py+po+cp+sp	3.0-7.6	234-394°C/3.7-11.1		So <i>et al.</i> , 1983

py : Pyrite, cp : chalcopyrite gn : galena, sp : sphalerite po : pyrrhoite, apy : arsenopyrite, mt : magnetite, mo : molybdenite, gar : garnet, wo : wollastonite, cpx : clinopyroxene, rh : rhodochrosite, sch : scheelite, precam. : Precambrian, Jur. : Jurassic, Cret. : Cretaceous

수반되는 황화광물의 황동위원소비는 광맥형 광상산의 황화광물 ($\delta^{34}\text{S} = 1.3 \sim 5\%$) (Kim and Nakai, 1982; So *et al.*, 1984; 김규한, 中井信之 1980)에 비하여 스키르형 광석 중의 황화광물 ($\delta^{34}\text{S} = -10.1 \sim +13.5\%$)이 변화의 폭이 크다 (So *et al.*, 1984; 김규한, 신정숙, 1987; Kim *et al.*, 1995). 이는 광화 환경의 차이 때문으로 해석된다.

텅스텐-몰리브덴 광상

본 연구에 사용된 시료의 대상광상은 옥방, 청양, 수산, 대화, 월악광산 등 광맥형 광상과 상동광산, 금성광산의 스키르형 광상의 스키르광석 시료이다 (Table 1).

상동광산과 금성광산은 캄브로-오도뷔스기의 탄산염과 화성암류와 관련되어 형성된 스키르형 광상으로서 상동광산에서는 회중석이 우세하게 수반되고 금성 광산에서는 휘수연석이 우세하게 수반되고 있다.

상동광산의 경우 스키르 광체와 관련되어 휘수연석을 수반하는 석영맥이 발달하고 있다. 기타 옥방, 청양, 수산, 대화, 월악 광산은 열수 광맥형 맥상광체로서 석영맥을 주로 하며 황동석, 황철석 등의 황화광물이 수반된다 (Table 1).

수반 황화광물의 $\delta^{34}\text{S}$ 값은 $-0.2 \sim +7.6\%$ 로 대체로 화성기원의 황으로 해석되고 있다 (So *et al.*, 1983; Shimazaki *et al.*, 1987; So *et al.*, 1993; 김규한, 中井信之, 1980).

분석방법

유체포유물내의 가스를 추출하기 위하여 석영맥의 석영시료를 직경 3 mm내외의 크기로 잘게 부순 후 Andrewes and Gibson (1979)와 Welhan (1988)에 의해 개발된 피스톤형 가스 추출 파쇄장치를 이용하였다. 분석은 일본 나고야대학 우주 지구화학 실험실에서 실시하였다.

잘게 부순 석영 시료 5 g을 피스톤에 장착한 후 100 kg/cm² 압력으로 압축시 추출된 가스를 직접 FID와 TCD가 부착된 가스크로마토그래피로 주입 정량하였다 (Fig. 2). 이때 알곤가스를 carrier gas로 사용하였으며 추출된 시료gas와 carrier gas를 균질화 시킨 후 가스크로마토그래피로 도입하여 CH₄, CO, CO₂와 C₂H₆은 FID-가스크로마토그래피로 정량하고 H₂가스는 TCD-가스크로마토그래피로 정량하였다. 분석된 가

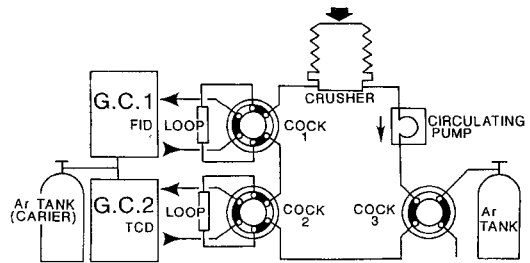


Fig. 2 Diagram showing the crushing and analysis system (Sugisaki *et al.*, 1995).

스는 반정량적인 값으로 시료의 표면적당 추출가스의 량 (mL/cm²)이다.

유체포유물내의 액상 포유물 시료의 음이온과 양이온의 화학 분석을 위하여, 가스분석시에 사용한 동일 시료 4.5 g에 증류수 20 ml를 첨가한 후 분쇄 여과에서 얻은 시료용액을 고려대학교 전락광물자원연구센터의 ICP-AES로 분석하였다. ICP-AES에서 분석오차는 5%이하 이나 시료의 준비 과정에서 발생한 각 시료간의 정량값의 분석오차는 클 것으로 판단된다. 그러나 각 시료의 정량치를 이용한 원소비는 각 시료의 특성을 잘 반영할 것이다.

포유물 내의 가스 정량이나 포유물내의 액상시료의 정량은 1차포유물 (primary inclusion)과 2차포유물 (secondary inclusion)을 구분하여 추출할 수 없어 모든 포유물을 대상으로 하였기 때문에 현단계에서는 광화용액의 화학적 특성 규명과 해석에 있어 제한점이 있다.

분석결과

포유물중의 가스분석 결과

금-은광상

금-은광상, 연-아연-동광상 및 텅스텐-몰리브덴 광상의 석영맥 석영과 스키르광석 전암 시료내의 유체포유물 중의 가스와 용존성분의 분석결과는 Table 2와 같다. 분석 대상가스는 H₂, CO, CH₄, C₂H₆, CO₂ 이다.

일반적으로 금-은광상의 경우 CO₂의 함량이 높은 특징을 나타내고 있으며 CH₄/CO₂비가 대단히 낮다 (<0.2). 이는 Kaneda *et al.* (1987)와 Moon (1993)의 분석결과 (CH₄/CO₂ <0.25)와도 유사한 결과이다. 그리고 대체로 균일한 량의 H₂, CO가스가 산출되며, CH₄는 모암이 변성 퇴적암류인 경우가 화강암류를 모암으로 하는 석영맥 시료에 비해 높은 특징을 나타내고 있

Table 2. Gas compositions of fluid inclusions in vein quartz and skarn ores from some base-metal ore deposits, South Korea (unit : mL/cm²).

Mine	Sample No	Description	H ₂	CO	CH ₄	C ₂ H ₆	CO ₂	CH ₄ /CO ₂
Au-Ag Mine								
Mugug	M1	Light grey quartz vein with pyrite	2.8	0.3	15.2	0.0	1023	0.02
	M2	Quartz vein with chalcopyrite	3.9	1.1	20.6	0.0	1583	0.01
	M3	Altered granite	1.9	0.0	2.7	0.0	117	0.02
Duckyoo (Boryon)	D1	Milky white quartz vein	3.1	0.0	0.7	0.0	1160	0.00
Eunzuck	E1	Quartz vein with sulfides(pyrite)	8.0	1.3	4.8	0.0	326	0.02
Kumwang	K1	Quartz vein with sulfides(pyrite)	3.3	1.4	24.3	0.0	2196	0.01
Jeonjoo-il	J1	Quartz vein with tourmaline	3.3	1.0	62.2	0.2	2979	0.02
	J2	Quartz vein with sulfides (Chalcopyrite, galena and pyrite)	3.3	0.7	369	4.2	2149	0.17
Youngbokari (Whanggan)	Y1	Quartz vein with sulfides	6.2	1.0	511	2.8	2688	0.19
Kubong	Kb1	Quartz vein	2.6	1.3	162	1.0	1807	0.09
Kumgok	Kg1	Quartz vein with pyrite	8.2	0.9	7.9	0.0	1479	0.01
Kumjung	Kj2	Quartz vein with pyrrhotite and calcite	4.5	3.2	828	1.6	3700	0.22
Samkwang	S1	Quartz vein with arsenopyrite	6.4	2.3	120	0.6	1994	0.06
Sambong	S2	Quartz vein with pyrite	5.4	1.6	4.9	0.0	269	0.02
Taechang	T1	Quartz vein with pyrite	3.7	1.6	998	2.2	10204	0.10
Pb-Zn-Cu Mine								
Sambo	Sb1	Purplish quartz vein with sulfide	2.9	1.0	3.9	0.0	694	0.01
	Sb2	Bartie in the barite rich quartz vein	2.9	0.0	0.8	0.0	702	0.00
Shinyemi	Sh1	Pyroxene-garnet skarn with sulfides	11.1	0.0	2.6	0.0	3.2	0.80
Manjang	Mj1	Garnet skarn with chalcopyrite and galena	6.2	0.3	672	15.9	1506	0.45
	Mj2	Pyroxene-magnetite skarn	2.2	0.0	6.1	0.0	0.0	
Kumjang	Kja1	Quartz vein with sphalerite and chalcopyrite	5.3	1.1	4.6	0.0	208	0.02
Janggun	Ja1	Garnet-pyroxene-pyrrhotite skarn	7.4	0.0	23.9	0.0	15.2	1.57
W-Mo Mine								
Sangdong	Sd1	Quartz vein with scheelite, bithmuthinite, wolframite and sulfides	4.0	1.3	67.9	0.4	3742	0.02
	Sd2	Quartz vein with molybdenite	2.6	1.3	106	1.0	494	0.21
	Sd3	Pegmatite with cassiterite	6.2	1.3	194	1.0	2635	0.07
	33	Pyroxene-garnet skarn ore	2.9	0	53	0.1	1	53.00
	S-5	Quartz-amphibole mica skarn ore	7.9	0	2	0.0	0	53.00
	S-4	Quartz-amphibole skarn ore	6.5	0	2	0.0	0	53.00
	23	Quartz-mica skarn ore	7.9	0	21.0	0.8	31	53.00
Okbang	O1	Quartz vein with wolframite and tourmaline	5.6	2.9	572	3.0	7534	0.08
Chungyang	Cy1	Quartz vein with wolframite and bithmuthinite	2.2	3.0	408	3.1	7214	0.06
	Cy2	Quartz vein with wolframite	3.3	2.3	365	2.8	3041	0.12
Susan (Kaeran)	Ss1	Quartz vein with molybdenite	5.2	2.9	272	1.7	13125	0.02
Kumsung	Ks1	Garnet-pyroxene skarn with molybdenite	2.0	0.0	152	0.6	4.1	37.49
Daewha	Dw1	Quartz vein with scheelite, wolframite and molybdenite	3.3	2.5	57.0	0.0	8805	0.01
Wolak	Wo1	Quartz vein with wolframite	3.7	1.6	699	12.0	9284	0.08

Data of sample number (33, S-5, S-4 and 23) from Kim and Shin (1995).

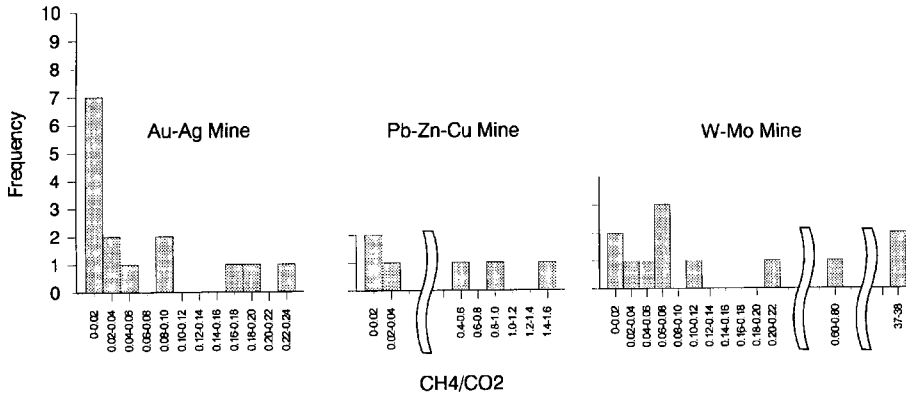


Fig. 3. Distribution of CH_4/CO_2 ratios in fluid inclusions in vein quartz and skarn ores from some Au-Ag, Pb-Zn-Cu and W-Mo mineral deposits, South Korea.

다. 전주일, 영보거리, 구봉, 태창, 금정, 삼봉광산 등과 같이 변성 퇴적암류를 모암으로 하는 석영맥의 석영중의 유체포유물에서는 공통적으로 C_2H_6 가 산출되고 있음이 특징이다.

연-아연광상

금-은광상산 석영내의 포유물에 비해 가스의 절대함유량이 낮은 특징을 나타내고 있다. 만장광산 스키른 광석 시료를 제외한 모든 시료에서 CO_2 나 CH_4 함량이 낮다. CH_4/CO_2 비도 낮은 편이다 (<1.6). 만장광산산 스키른 광석의 포유물에는 C_2H_6 가 상대적으로 높은 함량이 측정되었다 (Table 2).

삼보광산산 석영맥의 석영과 중정석 내의 가스 함유량은 서로 유사하여 (Table 2), 이들 공존 두 광물은 비교적 유사한 광화환경에서 형성되었음을 시사하고 있다.

텅스텐-몰리브덴 광상

텅스텐-몰리브덴 광상산 석영맥의 경우 금-은광상이나 연-아연광상산 시료에 비해 CO_2 , CH_4 , CO, C_2H_6 가스의 함량이 상대적으로 높은 특징을 나타내고 있다 (Table 2).

CH_4/CO_2 비는 0.1~0.2 내외이다. 대화광상산 석영을 제외한 모든 광상산의 석영시료에서 C_2H_6 의 산출이 현저하다. 금정 스키른광석의 경우 CH_4/CO_2 비가 37.5로 CH_4 함량이 상대적으로 대단히 높다 (Fig. 3).

대화광산 석영내의 포유물은 CH_4 함량에 비해 CO_2 함량이 대단히 높으며 (CH_4/CO_2 0.006) C_2H_6 화합물은 검출되지 않고 있다.

Stuart *et al.* (1995)는 대화광산산 회중석광물 결정

내의 유체포유물에 대한 He-Ar 동위원소비 분석을 통하여 회중석 침전시 초기의 맨틀기원 마그마 유체에 순환수 혼입이 진행된 것으로 해석하였다. 대화광산 석영중 유체포유물의 낮은 CH_4/CO_2 비는 So *et al.* (1983)과 Shelton *et al.* (1988)의 선행연구결과에서 제시된바와 같이 회중석 광화작용시 광화용액에 CH_4 가스가 많이 함유된 지각 기원물질의 혼입율은 비교적 낮고 마그마 기원의 유체가 지배적이었던 때문으로 해석된다.

유체포유물중 용존성분의 화학성분

양이온 분석결과

석영맥 광체의 석영 결정내 유체포유물에서 추출한 액상시료의 양이온 화학조성 분석결과는 Table 3과 같다.

금-은광상의 유체포유물 중에는 Na (0.33~10.93 ppm)와 Ca (0.23~56.43 ppm)의 함량이 높은 반면 Sr과 Br의 함량은 각각 0.03~0.43 ppm과 0.03~0.37 ppm으로 낮은 편이다. Pb-Zn-Cu 광상에서는 Ca, K, Mg, Na등의 함량이 높은 편이다 (Table 3).

W-Mo광상의 경우 Sr함량 (0.01~0.07 ppm)이 낮은 반면 Na (1.35~21.49 ppm)함량은 상대적으로 높다. 한편, W-Mo광상산 스키른광석의 유체포유물과 석영맥 석영시료의 유체포유물 사이에서는 양이온 함량의 커다란 차이점이 발견되지 않았다.

음이온 분석결과

석영내 유체포유물중 용존 음이온에 대해서는 F, Cl, NO_2 , Br, NO_3 , PO_4 , SO_4 를 정량하였다 (Table 4).

Table 3. Chemical (cation) compositions in vein quartz and skarn ores from some base metal ore deposits, South Korea (unit : ppm)

Mine	Sample No.	Sr	Zn	Ba	Al	Mn	Fe	Na	Mg	K	Ca	Si	Sr/Ca	Sr/Ba	Mg/Ca	Na/K	Fe/Mg	Al/Si
Mugug	(M1)Qz	0.24	0.03	0.25	0.29	0.33	0.04	2.66	0.75	7.75	22.92	8.39	0.01	0.98	0.03	0.34	0.05	0.03
Mugug	(M2)Qz	0.07	0.04	0.32	0.04	0.98	0.03	10.93	0.52	1.37	6.14	7.13	0.01	0.20	0.09	7.99	0.06	0.01
Boryon	(D1)Qz	0.06	0.01	0.17	0.04	128	0.12	2.32	0.00	0.75	0.97	4.14	0.06	0.34	0.00	3.08	81.00	0.01
Kumwang	(K1)Qz	0.11	0.05	0.07	0.04	0.89	0.01	3.62	0.29	1.68	14.52	5.21	0.01	1.53	0.02	2.16	0.02	0.01
Jeonjoo-il	(J2)Qz	0.00	0.01	0.01	0.01	0.12	ND	0.33	ND	0.17	0.23	0.39	0.01	0.60	0.00	1.91	0.01	0.01
Yongbokari	(Y1)Qz	0.08	0.02	0.28	0.07	0.81	0.15	2.14	0.16	2.92	5.14	7.46	0.02	0.29	0.03	0.73	0.97	0.01
Kubong	(Kb1)Qz	0.43	0.02	0.25	0.08	0.82	ND	4.23	0.22	1.54	56.43	10.54	0.01	1.74	0.00	2.75	0.01	0.01
Kumgok	(Kg1)Qz	0.14	0.01	0.08	0.04	0.38	ND	1.85	4.42	0.80	17.02	5.88	0.01	1.67	0.26	2.31	0.01	0.01
Kumjung	(Kj2)Qz	0.06	0.02	0.00	0.03	0.39	ND	3.70	5.23	0.841	1.21	3.10	0.00	27.50	0.47	4.43	0.01	0.01
Samkwang	(S1)Qz	0.21	0.11	0.16	0.03	0.35	ND	1.04	0.33	0.81	54.23	9.32	0.00	1.32	0.01	1.28	0.00	0.00
Sambong	(S2)Qz	0.06	0.02	0.03	0.03	1.15	ND	4.79	0.40	0.74	22.17	6.57	0.00	2.00	0.02	6.50	0.00	0.00
Taechang	(T1)Qz	0.03	0.01	0.09	0.06	0.97	0.10	7.89	0.00	1.83	7.77	5.21	0.00	0.35	0.00	4.31	34.50	0.01
Sambo	(Sb1)Qz	0.54	0.04	0.98	0.04	1.22	0.29	3.10	ND	1.10	0.69	2.61	0.79	0.55	0.00	2.82	0.00	0.72
Sambo	(Sb2)Ba	0.00	0.02	0.33	0.03	0.62	ND	0.41	0.04	0.21	8.18	0.49	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00
Shinyemi	(Sh1)Skam	0.44	0.03	0.15	0.03	0.04	ND	5.37	7.02	6.55	33.90	12.09	0.01	2.89	0.21	0.82	0.00	0.00
Manjang	(Mj2)Skam	0.03	0.01	0.37	0.05	0.83	ND	0.91	1.76	4.43	19.67	2.99	0.00	0.07	0.09	0.21	0.03	0.03
Manjang	(Mj1)Qz	0.09	0.01	0.08	0.10	0.54	ND	2.33	5.61	36.97	54.63	1.78	0.00	1.11	0.10	0.06	0.00	0.02
Kumjang	(Kj1)Qz	0.03	0.02	0.33	0.03	0.82	ND	1.73	ND	0.69	2.49	3.69	0.01	0.08	0.00	2.52	0.00	0.00
Janggum	(Ja1)Skam	0.06	0.00	ND	0.04	0.02	ND	2.32	7.20	3.03	26.77	6.87	0.00	0.27	0.77	0.00	0.01	0.01
Sangdong	(Sd1)Qz	0.05	0.03	0.40	0.03	1.20	0.04	1.35	0.07	0.85	1.38	2.36	0.04	0.13	0.05	1.57	0.60	0.01
Sangdong	(Sd2)Qz	0.03	0.07	0.01	0.04	0.52	0.03	2.91	0.40	0.44	26.60	8.52	0.00	4.13	0.01	6.69	0.07	0.00
Sangdong	(Sd3)Peg	0.00	0.01	0.16	2.73	0.03	0.46	21.49	ND	6.41	0.11	9.71	0.04	0.03	0.00	3.36	0.28	0.00
Okbang	(O1)Qz	0.01	0.01	0.05	0.07	1.11	0.05	2.93	ND	1.61	10.94	6.38	0.00	0.26	0.00	1.82	0.01	0.01
Chungyang	(Cy2)Qz	0.02	0.01	0.21	0.19	1.01	0.22	2.19	ND	5.47	2.65	8.38	0.01	0.07	0.00	0.40	0.02	0.02
Chungyang	(Cy1)Qz	0.00	0.02	0.13	0.04	1.31	0.29	3.25	ND	0.48	0.49	3.11	0.01	0.04	0.00	6.70	0.01	0.01
Susan	(Ss1)Qz	0.01	0.01	0.20	0.04	1.18	0.22	3.06	ND	0.66	1.37	2.91	0.01	0.04	0.00	4.64	0.01	0.01
Kumsung	(Ks1)Skam	0.07	0.07	0.03	0.10	0.03	0.00	6.04	3.79	1.82	28.15	9.20	0.00	2.65	0.13	3.31	0.00	0.01
Daehwa	(Dw1)Qz	0.04	0.01	0.15	0.21	1.41	0.24	4.84	0.75	15.18	10.56	9.45	0.00	0.25	0.07	0.32	0.31	0.02
Wolak	(Wo1)Qz	0.02	0.02	0.29	0.09	1.76	0.21	2.97	ND	0.82	6.17	7.16	0.00	0.05	0.00	3.65	0.01	0.01

Qz : quartz vein, Peg : pegmatite, Ba : barite, nd : not determined.

Table 4. Chemical (anion) compositions of fluid inclusions in vein quartz and skarn ores from some base metal ore deposits, South Korea (unit : ppm)

Mine		F	Cl	NO ₂	Br	NO ₃	PO ₄	SO ₄	F/Cl	F/SO ₄	F/NO ₃	Cl/SO ₄	Cl/NO ₃	NO ₃ /SO ₄
Boryon (D1)	Qz		4.61						0.00					
Kumwang (K1)	Qz	4.22	16.56					33.10	0.25	0.13		0.50		0.00
Jeonjoo-il (J2)	Qz		4.04					58.46	0.00	0.00		0.07		0.00
Jeonjoo-il (J1)	Qz	2.09	17.25						0.29					
Yongbokari (Y1)	Qz		19.21					29.52	0.00	0.00		0.65		0.00
Kubong (Kb1)	Qz		35.87						0.00					
Kumjung (Kj2)	Qz		35.81					18.09	0.00	0.00		1.98		0.00
Samkwang (S1)	Qz		7.92						0.00					
Sambong (S2)	Qz		67.79						0.00					
Taechang (T1)	Qz		79.08	0.66	1.03	1.53	1.32	5.53	0.00	0.00	0.00	14.30	51.59	0.28
Sambo (T1)	Qz		32.74	0.66	1.04	5.52		24.55	0.00	0.00	0.00	1.33	5.93	0.22
Sambo (Sb2)	Qz							26.37		0.00		0.00		0.00
Shinyemi (Sh1)	Skarn	7.65	120.25	0.44	0.70	8.86	1.04	423.33	0.06	0.02	0.86	0.28	13.58	0.02
Manjang (Mj2)	Skarn	84.69	9.73					33.99	8.71	2.49		0.29		0.00
Manjang (Mj1)	Qz	56.04	5.05					453.08	11.10	0.12		0.01		0.00
Kumjang (Kja1)	Qz		5.07					15.21	0.00	0.00		0.33		0.00
Janggun (Ja1)	Skarn	3.64	53.92					182.07	0.07	0.02		0.30		0.00
Sangdong (Sd1)	Qz		8.96					20.01	0.00	0.00		0.45		0.00
Sangdong (Sd2)	Qz		15.84					25.29	0.00	0.00		0.63		0.00
Sangdong (Sd3)	Peg	2.54	140.75						0.02					
Okbang (O1)	Qz		21.33						0.00					
Chungyang (Cy2)	Qz		18.92						0.00					
Chungyang (Cy1)	Qz		14.23	0.66		1.09		5.92	0.00	0.00	0.00	2.40	13.07	0.18
Susan (Ss1)	Qz	2.04	14.01						0.15					
Kumsung (Ks1)	Skarn	2.09	50.57			14.41		267.48	0.04	0.01	0.14	0.19	3.51	0.05
Daewha (Dw1)	Qz	54.61	8.63					62.07	6.32	0.88		0.14		0.00
Wolak (Wo1)	Qz		9.17						0.00					

모든 시료에서 비교적 높은 함량을 나타내는 원소는 Cl, SO₄, F이다.

F, NO₂, Br, NO₃, PO₄는 극히 제한된 시료에서만 측정되었다 (Table 4). 금-은광상산 석영내 유체포유물의 Cl 함량은 4.03~79.08 ppm이며 SO₄²⁻는 5.53~58.46 ppm이다. 광산에 따라 이들 원소의 함량의 차이가 크며, Cl/SO₄비는 0.07~14.3이다.

연-아연-동광산의 경우 유체포유물내에 SO₄²⁻농도가 높다. 스카른 광석의 유체포유물에서도 SO₄와 Cl의 농도가 상대적으로 높다 (Table 4). 텅스텐-몰리브덴광상의 시료는 대체로 Cl의 농도가 높은 반면 연-아연광상에서와 달리 SO₄함량이 낮다. 옥방, 청양, 수산, 월악 광산시료에서는 SO₄가 검출되지 않고 있다. 연-아연-동광산의 경우 SO₄²⁻농도가 텅스텐-몰리브덴 광상에서보다 높다. W-Mo광상의 스카른 광석에서도 SO₄와 Cl의 농도가 높은 편이다. 만장 동광산시료의 석영내의 유체포유물내에는 F농도가 높은 특징을 나타내고 있다.

논 의

한반도에 분포하고 있는 금-은광상은 주로 광맥형 광상으로서 천열수형 (epithermal type), 중열수형 (mesothermal type) 및 한국형 (Korean type)으로 구분된다 (Shelton *et al.*, 1988; So *et al.*, 1988).

한국형 금-은광상은 주로 주라기말-백악기초의 대보 화강암류와 밀접히 수반되고 있으며, 천열수 금-은광상은 백악기말-제3기의 불국사 화강암류와 밀접히 수반되고 있다. 한국형 금-은광상은 Au/Ag비가 높고 (Au/Ag비 = 1:3~2:1) 천열수형 금-은광상은 그의 비가 낮다 (Au/Ag비 = 1:10~1:200) (Shikazono and Shimizu, 1986; Sugaki *et al.*, 1986; So and Shelton, 1987; So *et al.*, 1987; So *et al.*, 1988; 최선규, 최상훈, 1995). 본 연구에서 사용된 시료는 대부분 중열수형과 한국형 광상의 시료이다.

동-연-아연광상은 탄산염암과 화성암간의 접촉대에 형성된 스카른형 광상 (신예미 서항광체, 만장광산 스

카본광체, 장군광산)과 석영맥 광상 (삼보광산, 금장광산 및 만장광산)의 백상광체의 시료가 이용되었다. 이들 광상의 광화환경에 대해서는 Kim and Nakai (1982), So *et al.* (1984), Lee (1988), Mariko and Yang (1989), Kim *et al.* (1995), 김규한, 신정숙 (1987) 등에 의해 자세히 연구 보고 되어 있다.

본 연구의 텅스텐-몰리브덴 광상은 상동광산과 금성광산을 제외하고는 모두 석영맥과 수반된 백상광상을 대상으로 하였다. 함W-Mo석영맥의 모암은 변성퇴적암류와 화강암류로 되어있다. Table 1에서와같이 광종과 광상의 유형에따라 광화환경이 다르다 (Park *et al.*, 1981; Moon, 1983; So *et al.*, 1983; Shimazaki *et al.*, 1987; Kim *et al.*, 1988; So *et al.*, 1993; 박희인, 최석원, 1974; 김규한, 1977).

일반적으로 고온의 마그마유체의 가스에서는 CH_4/CO_2 비가 대단히 낮다. 뉴질랜드 와이라케이 (Wairakei) 지열지역의 가스 중 CH_4/CO_2 비는 0.003 (Giggenbach, 1980)으로 화성암 버퍼 (igneous rock buffer)선에 근접하여 도시된다 (Giggenbach, 1997). 이같은 사실은 $CO_2 + 4H_2 = CH_4 + 2H_2O$ 반응식에서와 같이, CH_4 가스가 기타 공존가스와 평형상태에 있음을 의미하고 있다 (Giggenbach, 1997; So and Yun, 1997).

Au-Ag광상중 무극광산과 덕유, 은적, 금왕 광산 등에서는 CH_4/CO_2 비가 대단히 낮은데, 이같은 사실은 이들 광상 광화유체내의 가스가 마그마 기원이 우세하며 평형 상태에 가깝고, 또한 f_{O_2} 가 비교적 높은 광화환경임을 의미하고 있다.

Burnham and Ohmoto (1980)와 Ohmoto (1986)

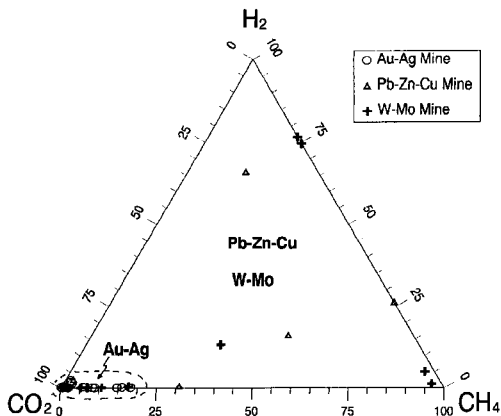


Fig. 4. H_2 - CO_2 - CH_4 diagram for gas compositions of fluid inclusions from some Au-Ag, Pb-Zn-Cu and W-Mo mineral deposits, South Korea.

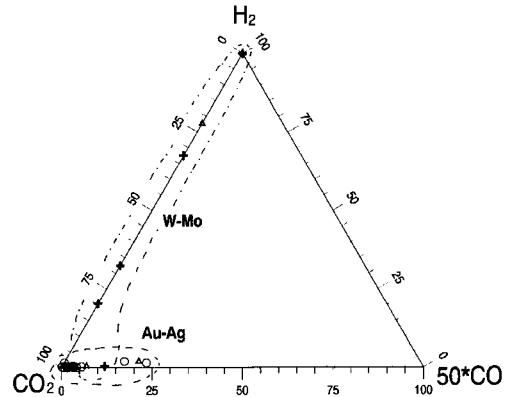


Fig. 5. H_2 - CO_2 - $50 \times CO$ diagram for gas compositions of fluid inclusions in vein quartz and skarn ores from some Au-Ag, Pb-Zn-Cu and W-Mo mineral deposits, South Korea. Symbols are the same as in Fig. 4.

등에 의하면 일반적으로 반암형 Sn광상, W광상, Mo광상, 반암형 동-금광상으로 감에 따라 f_{O_2} 가 증가하는 경향이 있다. 본 연구의 대상 광상에 한하여 비교하여 보면, CH_4/CO_2 비는 Au-Ag광상, Pb-Zn-Cu광상, W-Mo광상으로 감에 따라 값이 증가하는 경향을 나타내는데 (Fig. 3) 이는 광종별 광화환경, 특히 f_{O_2} 의 일반적인 변화 경향과 유사한 것이다. 즉, Au-Ag광상에 비해 W-Mo광상의 광화 환경이 보다 더 환원 환경에 있었음을 의미하고 있다. Fig. 4에서 보면, Au-Ag광상에서 CO_2 함량이 높음이 명확하다.

H_2 - CO_2 - $50 \times CO$ 삼각도 (Fig. 5)를 보면, Au-Ag광상에서는 CO_2 - CO 가 심하게 변화되는 반면 W-Mo광상에서는 CO_2 - H_2 가 심하게 변화하고 있다.

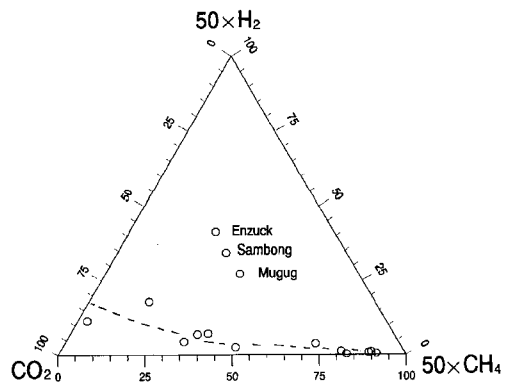


Fig. 6. Plot of $50 \times H_2$ - CO_2 - $50 \times CH_4$ for fluid inclusions in vein quartz and skarn ores from some base-metal ore deposits, South Korea. Symbols are the same as in Fig. 4.

Au-Ag광상에 대한 H₂-CO₂-CH₄ (Fig. 6)을 보면, 은적, 삼봉, 무극광산의 경우를 제외하고는 CO₂와 H₂가 감소함에 따라 CH₄함량이 규칙성있게 증가하고 있다. 이같은 사실은 유체포유물내의 CO₂, H₂, CH₄가스가 서로 평형에 가까운 상태로 존재하였음을 의미하고 있다.

Kaneda *et al.* (1987)는 우리 나라 20개 Au-Ag광상 석영내의 유체포유물중의 가스 (H₂O, CO₂, CH₄, N₂)분석을 통하여 대부분 H₂O함유량이 높으나 일본의 천열수 금-은광상에 비해 CO₂함량이 높은 것으로 보고하였다. 한편, CO₂/CH₄비는 4.0보다 크고, 특히 금정광산 유체포유물에서는 CH₄ 함량이 높은 특징이 나타나며, CO₂함량은 금정 광산산 석영의 10 mole%로부터 전이 광산산 석영의 95 mole%에 이르기까지 매우 큰 변화를 낸다고 하였다 (Kaneda *et al.*, 1987). 또한, W-Sn광산산 석영의 유체포유물에서는 Sn함유 석영맥의 경우가 W함유 석영맥의 것에 비해 CH₄ 함량이 높은 특징을 나타낸다고 하였다 (Kaneda *et al.*, 1987).

반면에, 본 연구에서 밝혀진 유체포유물의 가스 조성의 특징을 보면 Au-Ag 광상의 경우 비교적 높은 CO₂ 함량을 나타내며, 특히 변성 퇴적암을 모암으로 하는 경우에는 C₂H₆가 공통적으로 산출 되고 있다. 반면, 화강암류를 모암으로하는 합금-은 석영맥의 석영내 유체포유물에서는 C₂H₆가 검출되지 않았다 (Table 2). 즉, 금-은광상의 경우에는 모암의 차이에 의하여 유체포유물의 가스 조성이 지배받고 있음을 알수 있다.

Pb-Zn-Cu 광산산 시료중 스카른 광석은 CH₄가 다

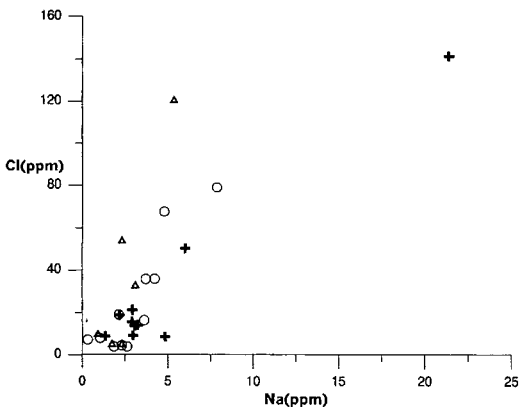


Fig. 7. Correlation diagram for Na-Cl in fluid inclusions in vein quartz and skarn ores from some base-metal ore deposits, South Korea. Symbols are the same as in Fig. 4.

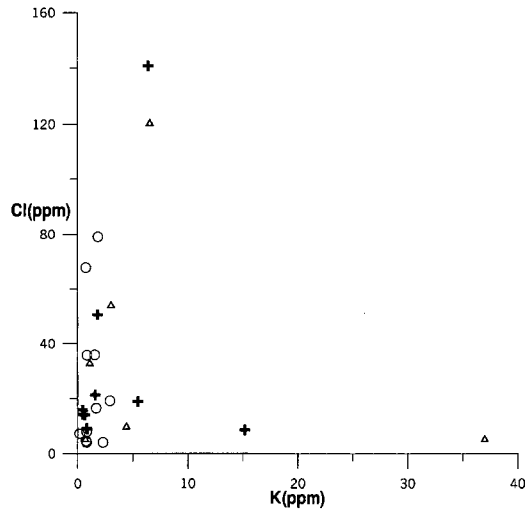


Fig. 8. Na/Mg-K/Mg-Ca/Mg diagram for fluid inclusions in vein quartz and skarn ores from some base-metal ore deposits, South Korea. Symbols are the same as in Fig. 4.

량 함유된 특징을 나타내고 있다. W-Mo광상산 석영의 유체포유물에서는 C₂H₆가 공통적으로 존재하고 있을 뿐만 아니라 CH₄가 다량 함유 되어 있다. 특히, 금성 물리브덴 광상의 스카른 광석은 CH₄/CO₂가 37.5로서 CH₄함량이 대단히 높다.

Au-Ag, Pb-Zn-Cu, W-Mo광상산 유체포유물 유체의 용존성분에 대한 조성 특징을 보면, Na와 Cl 사이에 직선에 가까운 상관성이 나타나고 있다 (Fig. 7). 이같은 사실은 유체포유물의 염농도와 밀접한 관련성이 있음을 의미하고 있다. 이는 또한 본 연구에서 적용한 반정량적인 분석결과가 유체의 화학성분을 비교적 잘

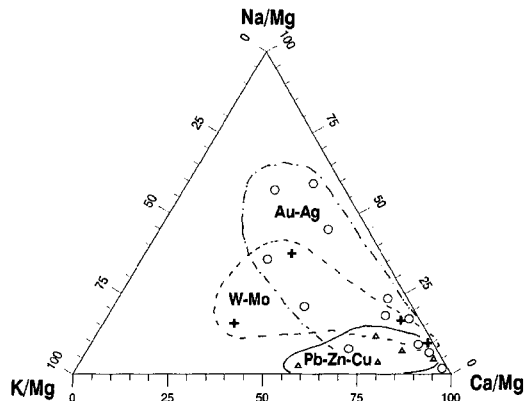


Fig. 9. Mg/Ca-Sr/Ba-Na/K plots for fluid inclusions in ore vein quartz and skarn ores from some base-metal ore deposits, South Korea. Symbols are the same as in Fig. 4.

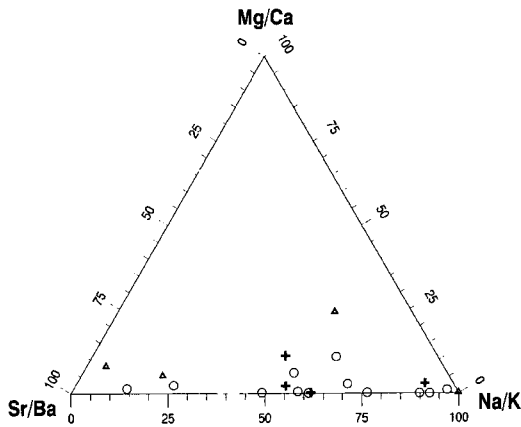


Fig. 10. Plots of $F/SO_4-SO_4/F-Cl/F$ in fluid inclusions in vein quartz and skarn ores from some base-metal ore deposits, South Korea. Symbols are the same as in Fig. 4.

반영하고 있음을 의미하여, 분석결과와의 절대값도 상대적으로 유의미함을 의미하고 있다. 그러나 K과 Cl 사이에는 상관성이 인정되지 않는다 (Fig. 8).

Na/Mg-K/Ma-Ca/Ma 삼각도 (Fig. 9)를 보면, Au-Ag, Cu-Pb-Zn, W-Mo 광상 유체가 대부분 Ca 함량이 높음을 나타내고 있다. 특히 Au-Ag 광상의 경우 비교적 낮은 K 함량과 상대적으로 높은 Na와 Ca 함량을 나타냄과 동시에 이들의 함량 변화가 심하다. 한편 Pb-Zn-Cu 광상산의 것은 Na는 일정하며 K-Ca는 변화하고 있다 (Fig. 9). W-Mo 광상의 경우에는 Na, K, Ca 성분 변화의 특별한 경향성이 나타나지 않는다. Fig. 10에서 보면 각 광종의 광상 유체포유물 시료의 화학조성 중 Mg/Ca는 일정한 반면 Sr/Ba와 Na/K의 비는 변화가 크다. 이는 방해석의 침전에 의하여 유체내 Sr의 분배에 변화가 현저함을 나타내고 있다.

음이온의 경우 $F/SO_4-SO_4/F-Cl/F$ 비 사이에서 어떤 규칙성을 찾아보기 어렵다. 그리고 유체포유물내의 CH_4/CO_2 비와 용존 이온간에도 상관성이 나타나지 않는다. 이같은 사실은 포유물내의 가스와 액상중 용존 이온간에는 화학적 평형에 있지 못하였음을 의미 하는 것으로 생각된다.

유체포유물내 가스 조성의 불균질성과 액상 용존 이온의 다양한 변화는 아마도 마그마에서 유래한 열수기원 광화작용에 순환수의 유입에 따른 영향 때문으로 해석된다. 이는 So *et al.* (1983, 1988), Shelton *et al.* (1988), 김규한의 (1990), So and Yun (1992), So *et al.* (1993), 김규한, 신유희 (1995) 등의 수소 및 산소 안정동위원소 분석 연구에서 얻은 해석 결과와도 조화적

이다. Au-Ag 광상산 석영내 유체포유물의 가스 조성이 모암의 종류에 따라 가스의 조성 및 함량의 차이를 나타내는 것과 같이 모암의 특성에 크게 지배 받는 사실에서도 후마그마 열수변질 (post-magmatic hydrothermal alteration), 또는 모암변질과정에 의하여 광화유체의 가스 및 화학조성이 영향을 받았음을 알 수 있다.

결론

금-은 광상산 석영내의 유체포유물은 CH_4 와 CO_2 함량의 변화가 심하며 CH_4/CO_2 비는 0.001~0.225로서 CO_2 함량이 CH_4 보다 높은 특징을 나타내고 있다. 이는 금-은 광화작용시 비교적 f_{O_2} 가 높은 환경에서 금, 은 광물이 침전되었음을 의미하고 있다. 전주일, 영보가리, 태창 광상산 석영내의 유체포유물에서는 C_2H_6 가 분석되었는데, 이들은 모두 석영내의 모암이 선캠브리아기 변성 퇴적암류이다.

삼보광산과 만장, 금장 Pb-Zn-Cu 광상산 석영내의 유체포유물에는 CO_2 가 CH_4 보다 높게 함유되어 CH_4/CO_2 는 0.001~0.022이다. 그러나 스카른 광석의 경우 CH_4 함량이 CO_2 보다 높는데 (CH_4/CO_2 0.8~1.6) 이는 스카른 광화시 환원 환경이 지배적이었음을 의미하고 있다.

W-Mo 광상산 석영내의 유체포유물에는 CH_4 에 비해 CO_2 함량이 높아 CH_4/CO_2 비가 0.006~0.214이다. 그러나 스카른 광석 (금성 Mo 광산)의 경우 CH_4/CO_2 는 37.5로서 CH_4 함량이 높은 환경을 나타내고 있다. 그리고 모든 W-Mo 광상산 석영 포유물 내에는 C_2H_6 가 함유되어 있는 특징이 나타나고 있다.

유체포유물중 액상의 화학 조성을 보면 금-은 광상과 텅스텐-몰리브덴 광상산 유체포유물에는 K 함량에 비해 Ca, Na 함량이 높으며 이들 함량의 변화가 심하다. Na, Cl 농도는 서로 높은 상관성을 보여 주며 염 농도와 관련성이 있음을 가르키고 있다. Pb-Zn-Cu 광상산의 것은 Ca 함량이 높으며 Na 함량보다 K의 함량이 높게 나타난다.

유체포유물의 가스 성분 (CH_4/CO_2 비)과 액상의 화학 조성 (Cl/SO_4 비 및 Na/K 비)간에는 상관성이 나타나지 않는다. 이는 유체포유물내의 가스와 액상 성분간에 화학적 평형상태에 있지 않았음을 의미한다. 유체포유물의 CH_4/CO_2 비에서 금-은 광상의 광화 환경이 W-Mo 광상의 광화 환경에 비해 f_{O_2} 가 더 높았음을 가리키고 있다. 그리고 Pb-Zn-Cu 광상 및 W-Mo 광상의 스카른 광화는 모두 환원 환경에서 진행되었음을 나

타내고 있다.

유체포유물내의 가스 및 액상의 화학 조성의 불균질성 뿐만 아니라 이들 조성이 모암의 특성에 지배받고 있다는 사실은 마그마기원의 광화유체가 후마그마 열수변질 과정이나 모암변질 과정에서 가스 및 액상의 조성 변화가 일어났음을 의미하고 있다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 후원 전략광물자원연구센터의 연구지원에 의하여 수행되었다. 그리고 교육부 기초과학육성 연구비의 부분지원에도 감사한다. 유체포유물의 가스분석시에 협력하여준 일본 나고야대학 지구행성과학과의 三村耕一박사와 시료 일부를 제공하여준 충북대학교 최상훈교수에게 사의를 표한다. 논문 내용에 유익한 조언을 주신 자원개발연구소 문건주박사와 고려대학교 윤성택교수에게 감사한다.

참고문헌

- Andrewes, F.F. and Gibson, E.K. (1979) Release and analysis of gases from geological samples. *Am. Mineral*, v. 64, p. 453-463.
- Burnham, C.W. and Ohmoto, H. (1980) Late stage processes of felsic magmatism. *Soc. Mining Geol. Japan Special Issue*, v. 8, p. 1-11.
- Ellis, A.J. (1979) Explored geothermal systems in Geochemistry of hydrothermal ore deposits, H.L. Barnes (ed.), New York: Wiley-Interscience, p. 632-683.
- Giggenbach, F.F. (1997) The origin and evolution of fluids in magmatic-hydrothermal systems: In: Geochemistry of hydrothermal ore deposits, H.L. Barnes (Eds.), John Wiley & Sons, Inc., p. 737-796.
- Giggenbach, W.F. (1980) Geothermal gas equilibria. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 44, p. 2021-2032.
- Graney, J.R. and Kesler, S.E. (1995) Factors affecting gas analysis of inclusion by quadrupole mass spectrometry. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 59, p. 3977-3986.
- Kaneda, H., Shimazaki, H. and Lee, M.S. (1987) Fluid inclusion studies of ore deposits in South Korea: In: Granite provinces and associated ore deposits in South Korea. Tsusue, A (Eds), Res. Rept. Ministry of Japan, p. 129-198.
- Kim, K.H. and Nakai, N. (1982) Sulfur isotope composition and isotopic temperatures of the Shinyemi lead and zinc ore deposits, western Taebaegsan metallogenic belt, Korea. *Jour. Korean. Inst. Mining Geol*, v. 15(3), p. 155-166.
- Kim, K.H., Kim, O.J., Nakai, N. and Lee, H.J. (1988) Stable isotope studies of the Sangdong tungsten ore deposits, South Korea. *Mining. Geol*, v. 38(6), p. 473-487.
- Kim, K.H., Mizutani, Y., and Moon, H.S. (1995) Oxygen and sulfur isotopic compositions of quartz, barite and sulfide minerals from the Sambo Pb-Zn-barite ore deposits, South Korea. *Geochem. J.*, v. 29(5), p. 277-286.
- Klemm, W. (1994) Chemical evolution of hydrothermal solutions during Variscan and post-Variscan mineralization in the Erzgebirge, Germany: In: Metallogeny of collisional orogens. Reimar Seltmann, Horst Kmpf, and Peter Miller (Eds), *Czech Geol. Surv.*, p. 150-158.
- Kozłowski, A. (1978) Pneumatolytic and hydrothermal activity in the Karkonosze-Izerablock: *Acta Geol. Pol.*, v. 28, p. 171-222.
- Lazar, B. and Holland, H.D. (1988) Analysis of fluid inclusion gas surverge for the assessment of lode deposits (with reference to gold and tungsten deposits): *J. Geochem. Explor.*, v. 42, p. 133-142.
- Lee, H.K. (1980) Mineralogical study on complex sulphide-sulphosalt ores from Jaggun mine. PhD. thesis, Waseda University, Japan, p. 328.
- Mariko, T. and Yang, D.Y. (1989) Study of the magnesian skarn type magnetite deposit at the Shinyemi mine, Taebaegsan ore belt, Korea (1). *Bull. Sci. Eng: Res. Lab. Waseda Univ.*, v. 126, p. 22-38.
- Moon, K.J. (1983) The genesis of the Sangdong tungsten deposits, the Republic of Korea. Unpub. Thesis, Univ. of Tasmania, p. 366.
- Moon, K.J. (1993) Geochemistry of fluid inclusions of W, Cu and Au-Ag ore deposits in South Korea and its significance. *Jour. Korean Inst. Mining Geol.*, v. 26, p. 167-174.
- Ohmoto, H. (1986) Stable isotope geochemistry of ore deposits: In: Stable isotopes in high temperature geological processes. Valley, Taylor and O'Neil. (Eds.), *Reviews in Mineralogy*, v. 16, p. 491-559.
- Park, H.J., Lee, S.M., and Kim, S.J. (1981) A study of the genesis of the metallic ore deposits in Hwanggangri region. *Geol. Soc. Korea, Jour.*, v. 17(3), p. 201-222.
- Pettke, T. and Diamond, L.W. (1995) Rb-Sr isotopic analysis of fluid inclusions in quartz: Evaluation of bulk extraction procedures and geochronometer systematics using synthetic fluid inclusions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 59, p. 4009-4027.
- Pettke, T., Diamond, L.W., Frei, R., and Villa, I.M. (1995) He, Ar, U-Pb, and Rb-Sr isotopic systematics of fluid inclusions in quartz and associated vein minerals and native gold from epigenetic late Alpine Auveins in NW Italy: *Schweitz. Miner. Petrogr. Mitt.*, v. 75, p. 308-309.
- Roedder, E. (1990) Fluid inclusion analysis-prologue and epilogue: *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 54, p. 495-507.
- Ruaya, J.R. and Seward, T.M. (1987) The ion pair constant and other thermodynamic properties of HCl up to 350°C. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 51, p. 121-130.
- Seward, T.M.C., Henderson, M.B., Charnock, J.M. and Dobson, B.R. (1996) An X-ray absorption (EXAFS) spectroscopic study of aquated Ag^+ in hydrothermal solutions to 350°C. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 60,

- p. 2273-2282.
- Shelton, K.L., So, C.S. and Chang, J.S. (1988) Gold rich mesothermal vein deposits of the Republic of Korea. Geochemical studies of the Jungwon gold area. *Econ. Geol.*, v. 83, p. 1221-1237.
- Shibata, K., Park, N.Y., Uchiumi, S. and Ishihara, S. (1983) K-Ar ages of the Jecheon granitic complex and related molybdenite deposits in South Korea. *Mining Geol.*, v. 33(4), p. 193-197.
- Shikazono, N., and Shimizu, M. (1986) Compositional variations in Au-Ag series minerals from some gold deposits in the Korean peninsula. *Mining Geol.*, v. 36, p. 545-553.
- Shimazaki, H., Sakai, H. Kaneda, H. and Lee, M.S. (1985) Sulfur isotopic ratios of ore deposits associated with Mesozoic felsic magmatism in South Korea, with special reference to gold-silver deposit. *Geochem. J.*, v. 19, p. 163-169.
- Shimazaki, H., Lee, M.S., Tsusue, A. and Kaneda, H. (1986) Three epochs of gold mineralization in South Korea. *Mining Geol.*, v. 36(4), p. 265-272.
- Shimazaki, H., Shibata, K. Uchiumi, S., Lee, M.S. and Kaneda, H. (1987) K-Ar ages of some W-Mo deposits and their bearing on metallogeny of South Korea. *Mining Geol.*, v. 37(6), p. 395-401.
- Simonson, J.M., Holmes, H.F., Busey, R.H., Mesmer, R.E., Archer, D.G. and Wood, R.H. (1990) Modeling of the thermodynamics of electrolyte solutions to high temperatures including ion association. *J. Phys. Chem.*, v. 54, p. 7675-7681.
- So C.S. and Yun S.T. (1992) Geochemistry and genesis of hydrothermal Au-Ag-Pb-Zn deposits in the Hwang-gangri mineralized district, Republic of Korea. *Econ. Geol.*, v. 87, p. 2056-84..
- So C.S. and Yun S.T. (1997) Jurassic mesothermal gold mineralization of the Samhwanghak mine, Youngdong area, Republic of Korea: Constrains of hydrothermal fluid geochemistry. *Econ. Geol.*, v. 92, p. 60-80.
- So, C.S., Rye, D.M., and Shelton, K.L. (1983) Carbon, hydrogen, oxygen and sulfur isotope and fluid inclusion study of the Weolag tungsten-molybdenum deposits, Republic of Korea: Fluid histories of metamorphic and ore forming events. *Econ. Geol.*, v. 78(8), p. 1551-1573.
- So, C.S. and Shelton, K.L. (1987) Stable isotope and fluid inclusion studies of gold-silver bearing hydrothermal vein deposits, Cheonan-Cheongyang-Non-san mining district, Republic of Korea. *Econ. Geol.*, v. 82, p. 987-1000.
- So, C.S., Yun, S.T., Choi, S.H., and Shelton, K.L. (1989) Geochemical studies of hydrothermal gold-silver deposits, Republic of Korea : Youngdong mining district. *Mining Geol.*, v. 39(1), p. 9-19.
- So, C.S., Chi, S.J. and Choi, S.H. (1988) Geochemical studies on Au-Ag hydrothermal vein deposits, Republic of Korea. Jinan-Jeongeup mineralized area. *Jour. Min. Pet. Econ. Geol.*, v. 83, p. 449-471.
- So, C.S., Chi, S.J. and Shelton, K.L. (1987) Stable isotope and fluid inclusion studies of goldsilver bearing vein deposits, Cheonan-Cheongyang-Nosan mining district, Republic of Korea : Cheonan area. *N. Jb. Miner. Abh.*, v. 158, p. 47-65.
- So, C.S., Park, M.E., Shelton, K.L. and Seidemann, D.E. (1984) Geology and geochemistry of the Sambo Pb-Zn deposits, Republic of Korea. *Econ. Geol.*, v. 79, p. 656-670.
- So, C.S., Shelton, K.L., Seidemann, D.E. and Skinner, B.J. (1983) The Dae Wha tungstenmolybdenum mine, Republic of Korea : A geochemical study. *Econ. Geol.*, v. 78, p. 920-930.
- So, C.S., Yun, S.T. and Lee, J.H. (1993) Hydrothermal W-Mo mineralization of the Cheongyang mine, Republic of Korea : A fluid inclusion and stable isotope study. *Jour. Min. Pet. Econ. Geol.*, v. 88(2), p. 63-82.
- Stuart, F.N., Burnard, P.G., Taylor, R.P. and Turner, G. (1995) Resolving mantle and crustal contributions to ancient hydrothermal fluids : He-Ar isotopes in fluid inclusions from Dae Hwa W-Mo mineralization, South Korea. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, v. 59, p. 4663-4673.
- Sugaki, A., Kim, O.J. and Kim, W.J. (1986) Gold and silver ores from the Geumwang mine in South Korea and their mineralization. *Mining Geol.*, v. 36(6), p. 555-572.
- Sugisaki, R., Araki, M. and Nagamine, K. (1995) Distribution of carbon bearing gas species in plutonic rocks and their behaviors in igneous processes (Unpublished).
- Welhan, J.A. (1988) Methane and hydrogen in Mid-ocean ridge basalt glasses : Analysis by vacuum crushing. *Can. J. Earth Sci.*, v. 25, p. 38-48.
- Yun, S.T., So, C.S. and Youm, S.J. (1996) Geochemical studies of W-Mo vein deposits in Susan area, Hwang-gangri district, Korea: metal zoning related to progressive meteoric water mixing in a granitic hydrothermal system. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy.*, v. 105, p. 41-50.
- 김규한 (1977) 청양 중석 광상의 지질과 유체포유물들의 한 온도 측정에 관한연구. *광산지질*, 10년, p. 1-18.
- 김규한, 이화정 (1996) 경상 퇴적분지내에 분포하는 소위 마산암에 대한 암석성인 연구. *자원환경지질* 29(4), p. 529-541.
- 김규한, 박성숙, 杉崎 隆一 (1996) 남한의 중생대 화강암 중의 가스성분과 유체포유물 연구. *자원환경지질*, 29(4), p. 455-470.
- 김규한, 하우영 (1997) 부평 은 광산 지역의 유문암질암과 화강암류의 가스 및 유체포유물연구. *자원환경지질*, 30(6), p. 519-529.
- 김규한, 신유희 (1995) 상동 중석-몰리브덴 광상의 광화관련 상동 화강암의 Nd-Sr 동위원소비 및 가스성분. *자원환경지질*. 28(2), p. 139-145.
- 김규한, 김옥준, 장원선 (1990) 무극 금-은광상에 대한 유체포유물 및 안정동위원소 분석연구. 23(1), p. 1-9.
- 김규한, 신정숙 (1987) 만장 동광산에 대한 유체포유물 및 안정동위원소 분석연구. *광산지질*, 20(3), p. 169-177.
- 김규한, 中井信之 (1980) 한국의 일부 금속광상의 유황동위원소성분 및 동위원소 지질온도에 관한 연구. *지질학회지*, 16 (2), p. 124-134.
- 박희인 (1983) 통영 금광상 성인과 유체포유물. *광산지질*, 16 (4), p. 245-251.
- 박희인, 최석원 (1974) 대화 중석-취수연 광상산 광물의 유체포유물 연구. *광산지질* 7(2), p. 63-78.
- 이민성, 이종익, Kaneda, H. (1998) 화강암중의 가스 화

학조성: 국내 화강암류의 생성환경에대한 응용. 지질학회지, 34(4), p. 293-310.

이현구, 최진우 (1988) 한국의 일부 금은광상에서 산출되는 금은광물과 광상의 생성조건. 광산지질, 21(3), p. 287-307.

대한광업진흥공사 (KMPC) (1987) 한국의 광상, 제10호. 최선규, 최상훈 (1995) 한국 중부와 동남부지역 금은광화작

용의 성인적 특성. 자원환경지질, 28(6), p. 587-597.

최선규, 지세정, 박성원 (1988) 충청북도 영동지역 금은광상의 금은 광화작용에관한 연구. 광산지질, 21(4), 367-380.

1999년 5월 17일 원고접수, 1999년 7월 16일 게재승인.