대현 금-은광상의 모암변질에 따른 원소분산

유 봉 철*

한국지질자원연구원 광물자원연구실

Element Dispersion by the Wallrock Alteration of Daehyun Gold-silver Deposit

Bong Chul Yoo*

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

The Daehyun gold-silver deposit consists of two hydrothermal quartz veins that fill NE-trending fractures in the Cambro-Ordovician calcitic marble. I have sampled wallrock, hydrothermally-altered rock and gold-silver ore vein to study the element dispersion and element gain/loss during wallrock alteration. The hydrothermal alteration doesn't remarkably recognized at this deposit and consists of mainly calcite, dolomite, quartz and minor epidote. The ore minerals composed of arsenopyrite, pyrrhotite, pyrite, sphalerite, stannite, chalcopyrite, galena, electrum, native bismuth and silver-bearing mineral. Based on analyzed data, the chemical composition of wallrock consists of mainly SiO_2 , CaO, CO_2 with amounts of Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ and MgO. The contents of SiO_2 , $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$, MgO, CaO and CO_2 vary significantly with distance from ore vein. The element dispersion doesn't remarkably recognized during wallrock alteration and only occurs near the ore vein margin because of physical and chemical properties of wallrock. Remarkable gain elements during wallrock alteration are $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$, total S, Ag, As, Bi, Cd, Cu, Ni, Pb, Sb, Sn, W and Zn. Remarkable loss elements are SiO_2 , MnO, MgO, CaO, CO_2 and Sr. Therefore, Our result may be used when geochemical exploration carry out at deposits hosted calcitic marble in the Hwanggangri metallogenic district.

Key words : Daehyun gold-silver deposit, wallrock alteration, element dispersion, gain/loss

대현 금-은광상은 Cambro-Ordovician 석회암질 대리암내에 발달된 NE 방향성의 단열대를 따라 형성된 2개의 열수성 석영맥으로 구성된다. 모암변질시 원소 분산과 이득/손실을 알아보기 위해 모암, 열수변질대 및 금-은 광맥에서 시료를 채취하였다. 모암변질시 뚜렷한 변질대가 관찰되지 않으며 구성광물은 주로 방해석, 돌로마이트, 석영과 소량 녹염석 등이다. 이 광상의 광석광물은 유비철석, 자류철석, 황철석, 섬아연석, 황석석, 황동석, 방연석, 에렉트럼, 자연창연 및 은 광물 등이 산출된다. 분석된 자료를 기초로, 모암은 주로 SiO_2 , CaO 및 CO_2 로 구성되며 소량 Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ 및 MgO 등이 함유되어 있다. 광체로부터 모암으로 감에 따라 SiO_2 , $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$, MgO, CaO 및 CO_2 함량은 변화 폭이 크게 관찰된다. 모암변질시 모암의 물리-화학적 물질 때문에 원소 분산은 현저히 관찰되지 않으며 단지 광체 주변부에서만 관찰된다. 모암변질시 이득원소들은 $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$, 총 S, Ag, As, Bi, Cd, Cu, Ni, Pb, Sb, Sn, W 및 Zn이고 손실원소들은 SiO_2 , MnO, MgO, CaO, CO_2 및 Sr 이다. 따라서 우리의 결과물은 황강리 광화대내 석회암질 대리암을 모암으로 갖는 광상들의 지화학탐사시 활용될 수 있을 것이다.

주요어 : 대현 금-은광상, 모암변질, 원소분산, 이득/손실

1. 서 론

모암변질 연구는 지표 및 지하에서 새로운 잠두광체 탐사 방법 중 가장 보편적인 탐사방법이다. 광상의 형

성시 열수용액과 모암과의 반응에 의한 여러 물리-화학적 변화요소에 의해 모암변질광물, 광석광물 및 초생성 투명광물들이 형성된다. 모암변질대의 종류 및 규모는 모암의 물성(모암의 화학조성, 광물조합, 모암의

*Corresponding author: chbong@kigam.re.kr

투수성, 간극률, 흡수율) 및 광화유체의 조성(광화유체의 화학조성, 온도, 압력) 등에 좌우된다. 한 예로 모암의 간극률과 흡수율을 비교하면, 유문암(1~7, 0.1~5.6) 및 석회암(0.8~27, 0.1~1.8)은 편마암(0.3~2.4, 0.1~0.8)보다 간극률과 흡수율이 높아 열수변질대의 규모가 크게 나타난다. 모암내에 열수 물질의 이동은 침투와 확산에 의해 일어난다(Yoo *et al.*, 2011). 침투는 열수 물질이 한 방향으로 멀리 이동되는 증거가 관찰될 때 질량이동의 주된 요소가 된다. 확산은, 열수 물질이 양 방향으로 이동되거나 고용체 광물이 분대 사이에 규칙적인 성분변화를 보일 때, 질량이동의 주된 요소가 된다(Hofmann, 1972). 실제로 대부분의 광장에서 침투와 확산이 동시에 일어나지만, 침투는 열수용액이 지나가는 열극에 한정되어 일어나고 확산은 비활성유체가 공극이 좋은 곳(암석의 공극률이 큰 것)에서 발생된다. 앞에서 설명한 조건들을 갖춘 암석은 화산기원의 암석과 탄산염암으로 이것을 모암으로 하는 후생성 열수광상이 비교적 넓은 범위의 모암변질대가 일반적으로 관찰된다.

최근들어 국내 일부 금-은, 주석 및 연-아연광상과 납석광상에 대한 모암변질 및 원소분산에 대한 연구(Chang and Lee, 1991; Oh and Chon, 1993; Yoon, 1993; Moon and Park, 1994; Hwang and Chon, 1994a; 1994b; Yoo, 2012; Yoo *et al.*, 2007; 2009; 2011)등이 있다. 지금까지 연구된 대부분의 금-은광상

은 모암이 변성퇴적암류로 구성되어 있다. 대현 금-은 광상은 황강리 광화대에 위치하며 60여개 이상의 W-Mo-Cu-Pb-Zn-Au-Ag 광상들이 분포한다(Yoo *et al.*, 2011). 이들 광상들은 대부분 조선누층군의 퇴적암류를 모암으로 하고 있으며 대현광상 또한 모암으로 조선누층군의 퇴적암류로 구성되어 있다. 따라서 이 연구에서는 대현 금-은 광장에서 채취한 시료들을 대상으로 열수작용에 의한 모암변질 종류, 원소 분포 특성과 분산 원소의 종류, 분산유형 및 함량 등에 대한 연구를 수행함으로써 향후 황강리 광화대내 이와 유사한 광상에 대한 탐광 및 탐사의 지침으로 활용할 수 있을 것이다.

2. 주변지질

대현광상의 주변지질은 기존연구(Reedman *et al.*, 1973; So and Yun, 1992; Shin and Lee, 2003; Yoo *et al.*, 2011)에서 자세히 보고되어 있어 여기에서는 간략하게 그 개요만을 설명하고자 한다. 조사지역의 지질은 편마암 복합체, 옥천누층군, 조선누층군, 평안누층군, 쥐라기 화강암류 및 백악기 화강암류 등이 분포한다(Fig. 1). 편마암 복합체는 광상의 북서측에 분포하며 주로 편마암과 편암으로 구성된다. 옥천누층군은 광상의 서측에 NE방향으로 분포하며 변성퇴적암류로 구성된다. 이 변성퇴적암류는 주로 편암, 천매암, 슬레이

Fig. 1. Generalized geological map of the Daehyun gold-silver deposit(modified from So and Yun, 1992).

트, 규암 및 대리암으로 구성된다. 조선누층군은 광상 일대에 넓게 분포하며 퇴적암류로 구성된다. 이 퇴적암류는 석회암, 석회질 대리암, 돌로마이트질 대리암, 백운암, 편암, 천매암 및 슬레이트로 구성된다. 특히, 광상일대에는 주로 회색 내지 담회색의 석회암 및 석회암질 대리암으로 구성되며 일부 편암과 백운암이 NE 방향으로 협재 분포한다. 이 석회암 및 석회암질 대리암은 일반적으로 NE 방향의 주향과 NW 방향의 경사를 갖는다. 평안누층군은 광상의 남서측에 NE 방향으로 분포하며 퇴적암류로 구성된다. 이 퇴적암류는 조선누층군과는 트러스트 단층으로 접하며 사암, 셰일 및 실트스톤으로 구성된다. 쥐라기 화강암류는 광상의 서측 및 북측에 분포하며 중추화강암과 제천화강암으로 구성된다. 제천화강암은 조립질 각섬석-흑운모 화강섬록암과 자색 칼리장석 반정을 함유한 흑운모화강암으로 구성된다(Ishihara *et al.*, 2005). 충주화강암은 중립질 각섬석-흑운모 화강암으로 구성되며 자철석 계열에 해당된다(Cho and Kwon, 1994). 백악기 화강암류는 광상의 동측 및 남측에 주로 분포하며 무암사화강암, 수산화강암 및 월악산화강암으로 구성된다. 무암사화강암은 암주형태이며 중립질로 산출되나 조선누층군의 퇴적암류 접촉부로 감에 따라 입도가 장석 반정을 갖는 세립질로 산출된다(So and Yun, 1992). 수산화강암은 소규모 암주형태이며 반상조직이 관찰되지 않는다. 월악산화강암은 반상조직을 갖는 중립내지 조립질로 산출된다. 석영맥은 조선누층군의 퇴적암류내에 발달된 단층대를 따라 NE 방향성을 갖고 산출된다.

3. 광상개요

대현 금-은광상은 충청북도 제천시 수산면 실리곡리 일대 지적번호(황강리 42호) 광구에 위치하며 과거 광업권자는 김성자로 되어 있다(KORES, 2006). 과거 이 광상은 동갱(동갱맥)과 서갱(서갱맥)이 개설되어 광체를 채굴하였으나 지금은 갱도 입구가 붕괴되어 입항이 불가능하다(Fig. 2A). 이 광상은 조선누층군의 석회암 또는 석회암질 대리암의 단층대를 따라 배태된 열수성 맥상석영맥 광상이다(Fig. 2B). 이 광상의 등록광종은 금, 은, 동, 연 및 아연이며 석영맥은 2개조(동갱맥, 서갱맥)로 렌즈상으로 산출된다(Fig. 1). 동갱은 NW방향으로 갱도를 개설하여 광체를 착맥한 후 130여 m 연맥굴진 하였다. 서갱은 N40°E방향으로 약 15 m 와 N13°E 방향으로 약 20 m 굴진하여 단층파쇄대를 만나 단층 연장방향으로 약 67 m 굴진한 결과 광체를

착맥하였다(KMPC, 1987). 동갱맥은 N40°E의 주향과 50°NW의 경사를 갖고며 맥폭은 0.4~1.4 m 정도로 팽축이 심하며 연장성은 150 m 정도이다(KORES, 2006). 이 동갱맥의 품위는 Au ND~0.3 g/t, Ag 0.4~4.2 g/t, Pb 0.03~0.15% 및 Zn 0.13~0.38%이다(KORES, 2006). 2006년 동갱맥 노두에서 채취한 시료들에 대한 품위는 Au <0.05 g/t, Ag 20.4~43.1 g/t, Pb 0.75~2.46 g/t 및 Zn 0.45~0.69 g/t 으로 낮은 품위를 갖는다(KORES, 2006). 서갱맥은 N50°E의 주향과 45~70°NW의 경사를 갖고며 맥폭은 0.1~0.4 m 정도이며 연장성은 200 m 정도이다(KORES, 2006). 이 서갱맥의 품위는 Au ND~9.2 g/t, Ag Tr~507 g/t, Pb Tr~13.8% 및 Zn Tr~5.4%이다.(KORES, 2006). 2006년 서갱맥 노두에서 채취한 시료들에 대한 품위는 Au <0.05 g/t, Ag 57.1~74.2 g/t, Pb 0.01~0.08 g/t 으로 낮은 품위를 갖는다(KORES, 2006).

대현광상의 동갱 주변부에는 많은 양의 광석더미가 발견된다(Fig. 2A). 이들 광석더미에서 관찰되는 광석광물은 주로 유비철석, 자류철석 및 섬아연석이 대부분이며 소량 황철석 및 황동석이 관찰된다(Fig. 2C-E). 또한 일부 광석더미는 과거 광산 개발당시 유비철석 내의 금을 회수하기 위하여 태운 흔적도 관찰된다. 현미경하에서 관찰되는 광석광물은 유비철석, 자류철석, 황철석, 섬아연석, 황석석, 황동석, 방연석, 에렉트럼, 자연창연 및 은 광물 등이며 맥석광물로는 석영 및 방해석이다. So and Yun(1992)는 이 광상의 산출광물은 황철석, 유비철석, 자류철석, 섬아연석, 황석석, 백철석, 황동석, 방연석, 에렉트럼, 사면동석, 휘은석, 농홍은석, 휘안동은석 및 자연은 등이며 맥석광물로는 석영, 앵커라이트(ankerite), 능망간석 및 방해석 등이 산출된다고 보고하였다. 대현광상의 동갱 주변부에서 일부 석류석을 함유한 석회암질 대리암이 폐석으로 관찰되기도 한다(Fig. 2F). 대현광상에서 남서쪽으로 약 2 km 떨어진 곳에 금실 금-은광상이 위치한다. So and Yun(1992)에 의하면 금실 및 대현광상의 금-은 광화작용은 무암사화강암과 관계 있으며 생성시기는 백악기(76 Ma)에 해당한다고 보고하였다. 이들 광상은 천수기원의 열수용액(온도 155~380°C, 염농도 1.0~7.2 wt.% NaCl)에서 냉각과 불혼합에 의해 형성되었다고 해석하였다(So and Yun, 1992).

4. 모암변질에 따른 화학조성 및 원소분산

대현 금-은광상의 동갱 주변부의 광석더미에서 모암

Fig. 2. Photographs of quartz veins from Daehyun gold-silver deposit. (A) Scope of East adit, (B) Close-up of host rock (calcitic marble), (C) and (D) Close-up of quartz vein with arsenopyrite and sphalerite in the East adit, (E) Close-up of quartz vein showing ore oxides with wallrock fragments, (F) Close-up of host rock with garnet.

변질시 산출광물의 종류, 공생관계, 화학조성 및 원소 분산 등을 규명하기 위하여 시료를 채취하였다(Fig. 3). 이 시료에 대하여 육안 관찰, 현미경 관찰, PIMA (Portable Infrared Mineral Analyzer) 분석, X-선 회절분석, EPMA 분석 및 캐나다 Actlabs에서 주원소, 미량원소, 희토류원소, S^{total} 및 CO_2 분석(ICP(Total Digestion or Fusion Inductively Coupled Plasma), INAA(Instrumental Neutron Activation Analysis), ICP-MS, XRF, Infrared technology 및 Coulometry) 등을 실시하였다(Table 1). 육안 관찰시 광체로부터 모암으로 감에 따라 뚜렷한 변질대가 관찰되지 않으며 현미경 관찰, XRD 및 PIMA 분석에 의한 광물조합은 유사하다. 광체 주변의 모암에서 관찰되는 광물은 주로 방해석, 돌로마이트, 석영이며 소량 녹염석이 관찰되며 모암으로 감에 따라 석영의 함량이 소량 증가한

Fig. 3. Photograph of ore vein, wallrock alteration and wallrock slab sample from the Daehyun gold-silver deposit. Numbers of (1) and (3) mean points sampled for geochemical analysis. Circles of (A) and (E) mean points of PIMA analysis. Abbreviations: Asp=arsenopyrite, Gn=galena, Py=pyrite, Qtz=quartz, Sp=sphalerite.

Table 1. Gains and losses of major (wt.%), trace and rare earth elements (ppm) of the calcitic marble from the Daehyun Au-Ag deposit

	DH3	DH2	DH2	DH2	DH2	DH1	DH1	DH1	DH1
	<<-- Center Wallrock			Margin -->>					
			Amount remaining (g)	Gain + loss - (g)	Gain + loss - (%)		Amount remaining (g)	Gain + loss - (g)	Gain + loss - (%)
SiO ₂	43.3	41.66	27.36	-15.94	-36.82	16.81	7.09	-36.21	-83.63
TiO ₂	0.03	0.07	0.05	+0.02	+50.41	0.11	0.05	+0.02	+49.64
Al ₂ O ₃	1.32	2.01	1.32	0.00	0.00	3.13	1.32	0.00	0.00
Fe ₂ O ₃ (T)*	0.83	0.89	0.58	-0.25	-29.58	2.98	1.26	+0.43	+51.41
MnO	0.27	0.25	0.16	-0.10	-38.74	0.47	0.20	-0.07	-26.04
MgO	3.97	3.89	2.55	-1.42	-35.65	5.59	2.36	-1.61	-40.62
CaO	28.18	29.8	19.57	-8.61	-30.55	39.34	16.59	-11.59	-41.13
Na ₂ O	0.36	0.66	0.43	+0.07	+20.40	0.05	0.02	-0.34	-94.14
K ₂ O	0.02	0.04	0.03	+0.01	+31.34	0.02	0.01	-0.01	-57.83
P ₂ O ₅	0.02	< 0.01	-	-	-	< 0.01	-	-	-
CO ₂	22.00	22.20	14.58	-7.42	-33.73	31.80	13.41	-8.59	-39.04
LOI	21.49	19.48	12.79	-8.70	-40.47	29.36	12.38	-9.11	-42.38
Total	99.81	98.75				97.86			
S ^{total**}	0.05	0.05	0.03	-0.02	-34.33	0.54	0.23	+0.18	+355.46
Au***	2	5	3.28	+1.28	+64.18	< 1	-	-	-
Ag	< 0.5	< 0.5	-	-	-	1.9	-	-	-
As	14	10	6.57	-7.43	-53.09	360	151.82	+137.82	+984.44
Ba	119	195	128.06	+9.06	+7.61	98	41.33	-77.67	-65.27
Be	< 1	< 1	-	-	-	< 1	-	-	-
Bi	0.4	0.3	0.2	-0.20	-50.75	6.9	2.91	+2.51	+627.48
Br	0.9	0.9	0.59	-0.31	-34.33	2.1	0.89	-0.01	-1.60
Cd	0.9	< 0.5	-	-	-	7.1	2.99	+2.09	+232.69
Co	2.1	2.1	1.38	-0.72	-34.33	3.6	1.52	-0.58	-27.70
Cr	9.8	15.8	10.38	+0.58	+5.88	16.3	6.87	-2.93	-29.86
Cs	0.3	0.8	0.53	+0.23	+75.12	0.4	0.17	-0.13	-43.77
Cu	10	10	6.57	-3.43	-34.33	53	22.35	+12.35	+123.51
Ga	2	3	1.97	-0.03	-1.49	7	2.95	+0.95	+47.60
Ge	1	0.9	0.59	-0.41	-40.90	0.9	0.38	-0.62	-62.04
Hf	0.2	0.4	0.26	+0.06	+31.34	0.6	0.25	+0.05	+26.52
Hg	< 1	< 1	-	-	-	< 1	-	-	-
In	< 0.1	< 0.1	-	-	-	0.6	-	-	-
Ir***	< 1	< 1	-	-	-	< 1	-	-	-
Nb	0.6	1.6	1.05	+0.45	+75.12	3.4	1.43	+0.83	+138.98
Ni	2	2	1.31	-0.69	-34.33	7	2.95	+0.95	+47.6
Pb	81	79	51.88	-29.12	-35.95	669	282.13	+201.13	+248.31
Rb	2	4	2.63	+0.63	+31.34	< 2	-	-	-
Sb	1.1	1.7	1.12	+0.02	+1.49	4.7	1.98	+0.88	+80.19
Sc	1.93	2.46	1.62	-0.31	-16.29	3.31	1.40	-0.53	-27.67
Se	< 0.5	< 0.5	-	-	-	< 0.5	-	-	-
Sn	< 1	1	-	-	-	42	17.71	+16.71	+1671.25
Sr	827	888	583.16	-243.84	-29.48	1125	474.44	-352.56	-42.63
Ta	< 0.1	0.1	-	-	-	0.3	-	-	-
Th	0.74	1.59	1.04	+0.30	+41.11	2.72	1.15	+0.41	+55.01
U	0.3	0.46	0.3	0.00	+0.70	1.09	0.46	+0.16	+53.23
V	24	22	14.45	-9.55	-39.80	18	7.59	-16.41	-68.37
W	< 1	2	-	-	-	4	-	-	-

Table 1. Continued

	DH3	DH2	DH2	DH2	DH2	DH1	DH1	DH1	DH1
	<<- Center Wallrock				Margin >>>				
			Amount remaining (g)	Gain + or loss - (g)	Gain + or loss - (%)		Amount remaining (g)	Gain + or loss - (g)	Gain + or loss - (%)
Y	6	5	3.28	-2.72	-45.27	6	2.53	-3.47	-57.83
Zn	112	84	55.16	-56.84	-50.75	520	219.3	+107.30	+95.80
Zr	6	13	8.54	+2.54	+42.29	19	8.01	+2.01	+33.55
La	5.62	5.74	3.77	-1.85	-32.93	5.99	2.53	-3.09	-55.05
Ce	10.9	11.3	7.42	-3.48	-31.92	11.8	4.98	-5.92	-54.35
Pr	1.23	1.24	0.81	-0.42	-33.79	1.3	0.55	-0.68	-55.43
Nd	4.54	4.54	2.98	-1.56	-34.33	4.79	2.02	-2.52	-55.51
Sm	0.96	0.91	0.6	-0.36	-37.75	1.01	0.43	-0.53	-55.63
Eu	0.212	0.214	0.14	-0.07	-33.71	0.214	0.09	-0.12	-57.43
Gd	1	0.98	0.64	-0.36	-35.64	0.97	0.41	-0.59	-59.09
Tb	0.17	0.16	0.11	-0.06	-38.19	0.15	0.06	-0.11	-62.79
Dy	1.01	0.95	0.62	-0.39	-38.23	0.92	0.39	-0.62	-61.59
Ho	0.2	0.18	0.12	-0.08	-40.90	0.18	0.08	-0.12	-62.04
Er	0.57	0.53	0.35	-0.22	-38.94	0.52	0.22	-0.35	-61.53
Tl	0.09	0.1	0.07	-0.02	-27.03	0.13	0.05	-0.04	-39.08
Tm	0.084	0.077	0.05	-0.03	-39.80	0.077	0.03	-0.05	-61.34
Yb	0.53	0.5	0.33	-0.20	-38.05	0.51	0.22	-0.31	-59.42
Lu	0.076	0.07	0.05	-0.03	-39.51	0.081	0.03	-0.04	-55.61

* Total Fe as Fe₂O₃, ** wt.%, *** ppb

다. 광체로부터 모암으로 감에 따라 화학조성을 알아 보기 위한 캐나다 Actlabs에 의뢰하여 분석한 결과는 Table 1과 같다. 표 1에서 보는 것과 같이, 모암은 주로 SiO₂, CaO 및 CO₂로 구성되어 있으며 소량 Al₂O₃, Fe₂O₃(T) 및 MgO 등이 함유되어 있다. 광체로부터 모암으로 감에 따라 SiO₂, Fe₂O₃(T), MgO, CaO 및 CO₂ 함량은 변화 폭이 크다(Table 1). 이것은 X-선 회절분석 및 현미경 관찰 시 모암으로 감에 따라 석영의 함량이 소량 증가하는 것과 일치된다. 광체로부터 모암으로 감에 따라 미량원소들 중 함량 변화 폭이 큰 미량원소들은 총 S, As, Bi, Cd, Cu, Nb, Pb, Sb, Sn, Zn 및 Zr 원소들이다(Table 1). 광체에서 모암으로 감에 따라 희토류원소 함량은 큰 변화가 없으나 상대적으로 낮게 산출된다(Table 1).

열수용액과 모암사이에는 반응에 의해 성분의 이득/손실이 존재한다. 일반적으로 열수용액과 모암사이의 열수변질시 부동(immobile)원소들은 Al₂O₃, TiO₂, Zr, Nb, Y 및 Yb 등이다(Maclean and Kranidiotis, 1987; Maclean and Barrett, 1993). 이 광상에서 열수작용에 의한 모암변질시 가장 좋은 부동원소를 선택하기 위해 몇몇 호정성(compatible)-불호정성(incompatible) 및 호정성-호정성 부동원소 쌍에 상관계수를 체크한 결과,

Al₂O₃-Nb 원소쌍이 가장 높은 상관계수(0.9996)를 보여 Al₂O₃ 원소를 부동원소로써 채택하였다. 우선 이득/손실 계산 전 광체에서 가장 먼 DH3 시료를 모암의 화학조성으로 가정하여 계산하였다. Al₂O₃를 이용한 모암변질시 구성성분-부피의 상관관계를 기초로 변질과 비변질 광물 및 암석에 대한 화학분석치 및 비중으로 물질의 이득 및 손실을 계산하는 방정식으로 사용하여 열수작용 후의 변질 암석의 원소 이득 및 손실을 계산하면(Gresens, 1967; Grant, 1986) 표 1과 같다. 광체에서 모암으로 감에 따라 이득된 주원소는 TiO₂, Fe₂O₃(T), Na₂O 및 K₂O 원소들이나 광체 주변부(DH1)에서 이득된 주원소는 TiO₂와 Fe₂O₃(T) 원소들이다. 손실된 주원소는 SiO₂, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O 및 CO₂ 등이나 DH2 시료에선 Na₂O 및 K₂O 원소들이 이득되었다. 모암이 돌로마이트나 석회암인 장군광상의 주원소 이득/손실을 살펴보면, CaO, MgO 및 CO₂ 원소들은 손실되었고 Fe₂O₃(T) 및 MnO 원소들은 이득되었다(Yoo *et al.*, 2012). 석회암질 대리암을 모암으로 하는 대현광상과 돌로마이트 및 석회암을 모암으로 하는 장군광상의 주원소에 대한 이득/손실 원소들에 대한 차이는 있지만 Fe₂O₃(T) 원소의 이득과 CaO, MgO 및 CO₂ 원소들의 손실에 대한 것은

일치한다. 이것은 탄산염암을 모암으로 하는 광상들에서 열수용액과의 반응에 의해 탄산염암의 주성분 원소들인 CaO, MgO 및 CO₂가 손실되었다는 것을 의미한다. 친석원소들 중 불호정성 원소들의 이득 및 손실을 살펴보면, Ba(-77.67~+9.06g), Sr(-352.56~-243.84g), Cs(-0.13~+0.23g), Rb(+0.63g), Nb(+0.45~+0.83g), Zr(+2.01~+2.54g), Hf(+0.05~+0.06g) 및 Th(+0.30~+0.41g) 등이다. 이것은 모암변질시 전반적으로 불호정성 원소들이 이득되었으며 특히 Sr 원소는 손실량이 크다(Table 1). 장군광상에서 불호정성 원소들은 전반적으로 손실되었으며 특히 Sr 원소는 모암변질시 손실량이 크다고 보고하였다(Yoo *et al.*, 2012). 이것은 모암의 물성(화학조성은 유사하나 변성도에 의한 모암의 광물조합, 모암의 투수성, 간극률 및 흡수율 다름)에 따라 불호정성 원소들의 이득/손실 거동이 다소 차이가 있으나 이 두 광상에서의 Sr 원소의 손실량이 큰 것은 일치한다. 미량원소에 대한 이득 및 손실을 살펴보면, 총 S(-0.02~+0.18g), As(-7.43~+137.82g), Bi(-0.20~+2.51g), Br(-0.31~-0.01g), Cd(+2.09g), Co(-0.72~-0.58g), Cr(-2.93~+0.58g), Cu(-3.43~+12.35g), Ga(-0.03~+0.95g), Ni(-0.69~+0.95g), Pb(-29.12~+201.13g), Sb(+0.02~+0.88g), Sc(-0.53~-0.31g), Sn(+16.71g), Ti(-0.04~-0.02g), U(0.00~+0.16g), Y(-3.47~-2.72g) 및 Zn(-56.84~+107.30g) 등으로 광체 주변부에서 모암으로 감에 따라 미량원소들의 이득/손실 거동이 다소 차이가 있으나 광체주변부(DH1)에선 총 S, Ag, As, Bi, Cd, Cu, Ni, Pb, Sb, Sn, W 및 Zn 원소들은 현저히 이득되었다(Table 1). 이것은 열수용액과 모암과의 반응시 열수용액에서 기원된 이들 이득 원소들이 모암의 물성 때문에 모암으로 현저히 이동되지 않았음을 의미한다. 광체에서 모암으로 감에 따라 희토류원소들은 손실되어 산출된다(Table 1).

대현 금-은 광상의 광화작용시 Fe₂O₃(T), 총 S, Ag, As, Bi, Cd, Cu, Ni, Pb, Sb, Sn, W 및 Zn 등의 원소들은 열수용액에서 기원되었으나 모암으로의 분산도는 높지 않다(Table 1). 따라서 이 광상일대 석회암질 대리암과 열수용액(온도 155~380°C, 염농도 1.0~7.2 wt.% NaCl)(So and Yun, 1992)의 반응에 의해 형성된 변질작용은 모암의 물성(모암의 화학조성, 광물조합, 모암의 투수성, 간극률, 흡수율)에 의해 미약하며 주원소 CaO, Fe₂O₃(T) 및 CO₂ 원소들을 제외한 다른 미량원소들(총 S, Ag, As, Bi, Cd, Cu, Ni, Pb, Sb, Sn, W, Zn)은 광체 주변부에만 이득되어 산출된다.

5. 결 론

대현 금-은광상의 모암변질시 원소분산에 대한 연구 결과, 이 광상에서 산출되는 광물은 주로 석영, 유비철석, 자류철석, 섬아연석이고 소량 방해석, 황철석, 황석, 황동석, 방연석, 에렉트럼, 자연창연 및 은광물 등이다. 광체로부터 모암(석회암질 대리암)으로 감에 따라 뚜렷한 변질대가 관찰되지 않으며 광물조합은 유사하다. 광체 주변의 모암에서 관찰되는 광물은 주로 방해석, 돌로마이트, 석영이며 소량 녹염석이 관찰되며 모암으로 감에 따라 석영의 함량이 소량 증가한다. 석회암질 대리암은 주로 SiO₂, CaO 및 CO₂로 구성되어 있으며 소량 Al₂O₃, Fe₂O₃(T) 및 MgO 등이 함유되어 있다. 열수용액에 의한 광체에서 모암으로 감에 따라 이득된 주원소는 TiO₂ 및 Fe₂O₃(T) 원소들이며 나머지 원소들(SiO₂, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O 및 CO₂)은 손실되었다. 이 광상에서의 불호정성 원소들은 전반적으로 손실되었으며 특히 Sr 원소는 다른 불호정성 원소들보다 손실량이 크다. 총 S, Ag, As, Bi, Cd, Cu, Ni, Pb, Sb, Sn, W 및 Zn 원소들은 광체주변부에서만 현저히 이득되어 산출되는데 이는 석회암질 대리암의 물성으로 인해 이들 원소들이 모암으로 이동되지 못했음을 의미한다. 따라서 대현 금-은 광상의 광화작용시 Fe₂O₃(T), 총 S, Ag, As, Bi, Cd, Cu, Ni, Pb, Sb, Sn, W 및 Zn 등의 원소들은 열수용액에서 기원되었으나 모암으로의 분산도는 높지 않음을 알 수 있다. 황강리 광화대에는 60여개 이상의 다금속 광상들이 분포하며 많은 광상들이 석회암질 대리암을 모암으로 하는 조선 누층군의 퇴적암류에 배태되고 있다. 그래서 황강리 광화대내 이와 유사한 모암을 갖는 광상의 지화학탐사시 이러한 점으로 고려해야 할 것이다.

사 사

이 연구는 한국지질자원연구원 “국내 희유금속자원 탐사 및 활용기술 개발(국내 희유금속 광화대 광상탐사 및 자원확보)(13-1218)”에 의하여 수행되었으며 이에 사의를 표한다. 바쁘신 와중에도 이 논문의 미비점을 지적, 수정하여 주신 심사위원님들께 깊이 감사드립니다.

참고문헌

Chang, H.W. and Lee, K.S. (1991) Behavior of elements

- in hydrothermal alteration zones of granitic rocks : Examples from the Mugeug granodiorite and the Naeduckri granite, South Korea. *Journal of Geological Society of Korea*, v.27, p.156-170.
- Cho, D.L. and Kwon, S.T. (1994) Hornblende geobarometry of the Mesozoic granitoids and the evolution of crustal thickness. *Journal of Geological Society of Korea*, v.30, p.41-61.
- Grant, J.A. (1986) The isocon diagram-A simple solution to Gresens' equation for metasomatic alteration. *Economic Geology*, v.81, p.1976-1982.
- Gresens, R.L. (1967) Composition-volume relationships of metasomatism. *Chemical Geology*, v.2, p.47-65.
- Hofmann, A. (1972) Chromatographic theory of infiltration metasomatism and its application to feldspar. *American Journal of Sciences*, v.272, p.69-90.
- Hwang, I.H. and Chon, H.T. (1994a) Wallrock alteration and primary dispersion of elements in the vicinity of the Mugeug gold-bearing quartz veins. *Economic and Environmental Geology*, v.27, p.387-396.
- Hwang, I.H. and Chon, H.T. (1994b) Primary dispersion of elements in altered wallrocks around the gold-bearing quartz veins the Okgye mine. *Economic and Environmental Geology*, v.27, p.549-556.
- Ishihara, S., Jin, M.S. and Terashima, S. (2005) Mo-related adakitic granitoids from non-island-arc setting: Jecheon pluton of South Korea. *Resource Geology*, v.55, p.385-396.
- Korea Mining Promotion Corporation (2006) Detailed survey report (Au-Ag-Cu-Pb-Zn: Jecheon area), 114p.
- Korea Mining Promotion Corporation (1987) Deposits of the Korea, p.172-173.
- Macleay, W.H. and Barrett, T.J. (1993) Lithogeochemical techniques using immobile elements. *Journal of Geochemical Exploration*, v.48, p.109-133.
- Macleay, W.H. and Kranidiotis, P. (1987) Immobile elements as monitors of mass transfer in hydrothermal alteration: Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec. *Economic Geology*, v.82, p.951-962.
- Moon, S.H. and Park, H.I. (1994) Alterations of granite gneiss and their genetic relationship to tin mineralization in the Uljin area. *Journal of Geological Society of Korea*, v.30, p.125-139.
- Oh, D.G. and Chon, H.T. (1993) Geochemical dispersion of elements in volcanic wallrocks of pyrophyllite deposits in Milyang area, Kyeongnam province. *Mining Geology*, v.26, p.337-347.
- Reedman, H.H., Fletcher, C.J.N., Evans, R.B., Workman, D.R., Yoon, K.S., Rhyu, H.S., Jeong, S.W. and Park, J.N. (1973) Geological, geophysical and geochemical investigations in the Hwanggangri area Chungchong pukdo. Anglo-Korean Mineral Exploration Group, 118p.
- Shin, D.B. and Lee, I.S. (2003) Carbonate-hosted talc deposits in the contact aureole of an igneous intrusion (Hwanggangri mineralized zone, South Korea): geochemistry, phase relationships, and stable isotope studies. *Ore Geology Reviews*, v.22, p.17-39.
- So, C.S. and Yun, S.T. (1992) Geochemistry and genesis of hydrothermal Au-Ag-Pb-Zn deposits in the Hwanggangri mineralized district, Republic of Korea. *Economic Geology*, v.87, p.2056-2084.
- Yoo, B.C. (2012) Element dispersion by the wallrock alteration of Janggun Lead-Zinc-Silver deposit. *Economic and Environmental Geology*, v.45, p.623-641.
- Yoo, B.C., Chi, S.J., Lee, G.J., Lee, J.K. and Lee, H.K. (2007) Element dispersion and wall-rock alteration from Daebong gold-silver deposit, Republic of Korea. *Economic and Environmental Geology*, v.40, p.713-726.
- Yoo, B.C., Lee, G.J., Lee, J.K., Ji, E.K. and Lee, H.K. (2009) Element dispersion and wallrock alteration from Samgwang deposit. *Economic and Environmental Geology*, v.42, p.177-193.
- Yoo, B.C., Brown, P.E. and White, N.C. (2011) Magmatic-hydrothermal fluid characteristics and genesis of Cu quartz veins in the Hwanggangri metallogenic district, Republic of Korea: Mineralogy, fluid inclusion and stable isotope studies. *Journal of Geochemical Exploration*, v.110, p.245-259.
- Yoon, C.H. (1993) Gold abundance in acid-sulfate alteration zone of the Ogmasesan-Seongsan ore deposits in Haenam area, Korea. *Mining Geology*, v.26, p.155-166.

2013년 3월 24일 원고접수, 2013년 4월 9일 게재승인