

## 한국 중부지역 금은광상산 섬아연석의 조성변화와 성인적 특성

최 선 규\*

### Compositional Variations of Sphalerites and Their Genetic Characteristics from Gold and/or Silver Deposits in Central Korea

Seon-Gyu Choi\*

**ABSTRACT:** Chemical compositions of sphalerites from 25 gold and/or silver deposits in central Korea were obtained with an electron probe microanalyzer. The FeS contents of sphalerites depend generally upon the assemblage of associated iron sulphides (pyrite and/or pyrrhotite) especially. The sphalerites coexisting with pyrrhotite show a narrow range of FeS variation, but the sphalerites associated with pyrite and/or pyrrhotite have the variable and wide range of FeS contents. The sphalerites from Au-dominant deposits, which vary considerably in each deposit, are generally characterized by high CdS content and low MnS content. On the contrary, the sphalerites from Ag-dominant and Au-Ag deposits tend to be characterized by relatively high MnS and very low CdS content.

Based upon the mineralogy, fluid inclusions and stable isotope data, the Au-dominant deposits were formed under higher temperature and deeper depth than the Ag-dominant and Au-Ag deposits. The results suggest the possibility that the diverse sources and evolution of ore fluid at the time of ore deposition are responsible for the deposition of Cd and Mn components in sphalerites.

## 서 론

섬아연석은 다양한 광상 유형 또는 모든 대상광종에서 흔히 산출되며, 일반적으로 Fe·Cd·Mn·Cu·In·Ga·Ge·Sn·Ag 등의 원소들이 함유되는 것으로 기재되어 있지만 국내 섬아연석에는 Fe를 비롯한 Cd·Mn·Cu·Ga·Ge 등의 원소가 미량 함유된 것으로 보고되고 있다 (So, 1977). 섬아연석은 일반적으로 광물정출시 생성온도 및 유향분압 등의 환경요인에 따라 철함유량이 민감하게 반응하여 변화되지만, 침전한 이후에는 화학조성이 환경변화에 따라 거의 영향을 받지않는 광물 (refractory mineral)로 알려져 있으므로 광상형성시의 물리화학적 환경변화에 대한 정보를 제공하여 주는 중요한 지시광물로 인식되고 있다 (Scott and Barnes, 1971; Barton and Skinner, 1979). 그리고, 최근에는 황철석-육방정계 자류철석과 평형상태에 있는 섬아연석이 광상의 생성심도를 추정하는데 유용한 지질압력계 (Geobarometer)로 제시된 바 있다 (Scott and

Barnes, 1971; Scott, 1973; Banno, 1988; Bryndzia et al, 1990).

국내 섬아연석의 화학조성은 대부분 개별광산 단위의 성인연구에서 국부적인 자료로 제시되었지만, Chon et al. (1981), 전효택 (1982), Mizuta et al. (1984), Chon and Shimazaki (1986)은 스카른광상·맥상광상·교대광상 등의 광상 성인별 또는 다양한 광종을 대상으로하여 섬아연석 중 Fe·Cd·Mn 함량 변화에 대한 광역적인 비교연구를 수행한 바 있다. 즉, Chon et al. (1981)은 국내 14개 맥상 또는 스카른 광상에서 산출된 섬아연석이 Zn·Pb·W·Cu·Fe 등의 주광종에 따라 Cd·Mn간의 조성차이를 보이는 것으로 지적하고 있다. 또한, Mizuta et al. (1984)는 국내 10개 금은광상을 대상으로 한 비교 연구에서 섬아연석 중 Cd·Mn 함유량이 광상분포지역의 차이에 따라 서로 상이한 특징을 보이는 것으로 설명하였다. 그리고, 이러한 관점에서 섬아연석의 Cd·Mn 조성변화는 광상의 생성시기와 밀접한 관계가 있는 것으로 해석하였지만, 금은광상의 성인 또는 생성환경과의 연관성 등을 구체적으로 제시하지는 못하였다.

\* 고려대학교 지질학과 (Dept. of Geology, Korea Univ., 1, Anam-dong, Seongbuk-ku, Seoul 136-701, Korea)

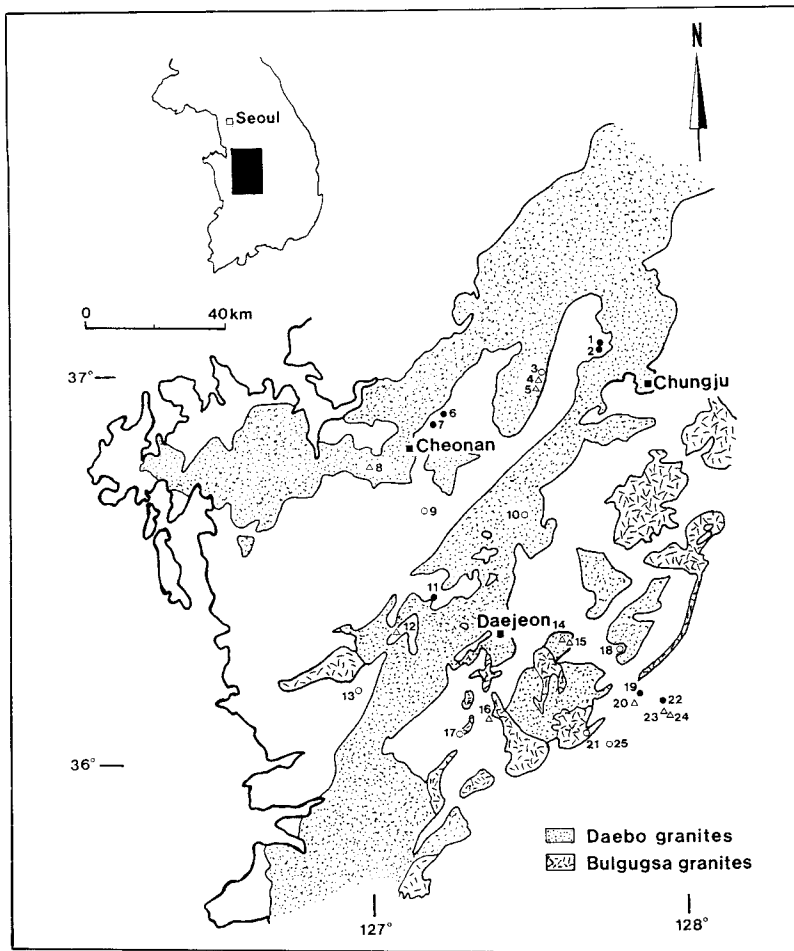


Fig. 1. The locations of gold and/or silver vein deposits in the central Korea discussed in the text show distribution of Daebo and Bulgugsa igneous rocks. Gold deposits associated with Daebo igneous activities (●), gold-silver deposits related with Bulgugsa igneous activities (○) and gold-silver deposits of unknown age (△). The names of the ore deposits are listed in Table 1.

한국 열수광맥형 금은광상은 Shelton et al. (1988), 최선규, 위수민 (1992) 등의 연구결과에 의하면 광화시기 또는 생성환경 등의 차이에 따라 광물학적·지화학적 특징에서 서로 상이한 변화양상을 보고한 바 있다. 따라서, 본 연구는 국내 대표적인 금은광화대인 중부지역의 25개 금은광상을 대상으로 금은광화작용의 특성에 따라 섬아연석의 조성변화를 종합적으로 비교검토하고, 금은광상의 유형별·광화시기별·지역별 변화양상에 대한 연관성을 체계적으로 규명하고자 한다.

### 지질광상 개요

한국 중부지역의 금은광상은 지체구조상 북측의 경기

지괴에서 남으로는 소백산지괴까지 광범위한 지역에 걸쳐서 분포하고 있으며, 전반적으로 충주·천안·공주·부여·영동지역 등을 중심으로하여 밀집분포하는 양상을 보여주고 있다 (Kim, 1986). 본 지역의 지질은 선캄브리아이언의 경기변성암 복합체 및 영남변성암 복합체 (300~800 Ma)에 속하는 변성암류와 고생대 육천지향사대의 변성암류, 후기에 상기 암석군을 관입한 주라기의 대보화성암체 (183~135 Ma) 및 백악기 경상누층군의 퇴적암류와 불국사 화성암체 (120~68 Ma)로 구성되어 있다. 중부지역 금은광상은 대부분 주라기의 대보화성암체와 선캄브리아이언의 편마암 및 편암 등에 주로 분포하는 경향을 보이지만, 백악기 화강암 및 석영반암 등을 모암으로 하여 간혹 배태되는 경우도 있다 (Fig. 1).

Table 1. Summary of gold and/or silver deposits.

No.	Ore deposits	Types*	Related iron sulfides**	Host rocks	Associated igneous activities	Groups
1	Taechang	Au-dominant deposit	po>>py	gneiss, granite	Daebo igneous act.	I
2	Boryeon	Au-dominant deposit	po	gneiss, granite	Daebo igneous act.	I
3	Mugeug	Au-Ag deposit	py	granite	Bulgusa igneous act.	IV
4	Geumwang	Au-Ag deposit	py	granite	Bulgusa igneous act.(?)	IV
5	Geumbong	Au-Ag deposit	py	granite	Bulgusa igneous act.(?)	IV
6	Ilbo	Au-dominant deposit	py>>po	gneiss, schist	Daebo igneous act.	IIA
7	Daehung	Au-dominant deposit	py	pegmatite, gneiss	Daebo igneous act.	IIA
8	Seolhwa	Au-dominant deposit	po	granite		I
9	Jeoneui	Au-dominant deposit	py>>po	gneiss, schist	Bulgusa igneous act.	IIIB
10	Cheongju	Au-Ag deposit	py>po	granite	Bulgusa igneous act.	III
11	Geumseong	Au-dominant deposit	po	gneiss	Daebo igneous act.	I
12	Namsan	Au-dominant deposit	py	gneiss, granite		IIIB
13	Imcheon	Au-dominant deposit	py	granite, gneiss	Bulgusa igneous act.	IIIB
14	Manmyeong	Au-dominant deposit	py	granite		IIIB
15	Namseong	Au-Ag deposit	py	granite		III
16	Juujinsan	Au-dominant deposit	py	phyllite, schist		IIIB
17	Jeonjuil	Ag-dominant deposit	py	phyllite, schist	Bulgusa igneous act.	V
18	Weolyu	Ag-dominant deposit	py	quartz porphyry, tuff	Bulgusa igneous act.	V
19	Yeongbogari	Au-dominant deposit	py>po	gneiss, schist	Daebo igneous act.	IIA
20	Geumpo	Au-dominant deposit	po	gneiss, schist	Daebo igneous act.	I
21	Hwagsan	Au-dominant deposit	py	gneiss, quartz porphyry	Bulgusa igneous act.(?)	IIIB
22	Daeil	Au-dominant deposit	po	gneiss	Daebo igneous act.	I
23	Samhwanghwag-D	Au-dominant dposit	po	gneiss		I
24	Samhwanghwag-M	Au-dominant dposit	po	gneiss		I
25	Yonghwa	Au-Ag deposit	py	granite	Bulgusa igneous act.	III

\* Compiled data from Korea Mining Promotion Corporation (1977-1990), Park et al. (1985), Park et al. (1986) and Kim and Park (1986).

\*\* po; pyrrhotite and py; pyrite.

25개 금은광상의 석아연석은 충주지역의 태창·보련·무극·금왕·금봉·청주광산, 천안지역의 대흥·일보·전의·설화광산, 공주·부여지역의 남산·금성·임천광산, 영동지역의 남성·만명·월유·전주일·주우진산·학산·용화·영보가리·금포·삼황학-M·삼황학-D·대일광산에서 채취되었다 (Table 1). 중부지역의 금은광상은 금은생산량 또는 광석중에 함유된 금은함량비를 기준으로 하여 금은광화작용의 특성을 구분하면, 금광단일형광상 (Au-dominant deposit)·금은혼합형광상 (Au-Ag deposit)·은광단일형광상 (Ag-dominant deposit)의 세 유형으로 분류된다. 또한, 금은광상은 광맥중에 함유된 광석광물의 종류 및 함량비율 등을 근거로 자류철석형 금광상 (Group I)·황철석형 금광상 (Group IIA, IIB)·휘은석형 금은광상 (Group III)·안티몬형 금은광상 (Group IV)·안티몬형 은광상 (Group V)의 6가지 유형으로 세분하였다 (최선규, 위수민, 1992). Fig. 2는 상기 광상유형에 따라 기보고된 광석의 금은함량 (g/t)의 상관관계를 분류도시한 것으로

각 광상유형별 분포특징이 현저한 차이를 보여주고 있다. 모든 유형의 광상에서 광석의 금은함량은 은함량이 증가됨에 따라 비례하여 증가되는 정상관관계를 나타내고 있으며, 각 유형별 분포양상은 Group I에서 Group V로 변화됨에 따라 Ag/Au비가 0.1에서 2000으로 전반적으로 증가되는 경향을 알 수 있다. 그리고, 금광단일형광상인 Groups I, IIA, IIB는 아주 협소한 범위내에서 변화하고 있지만, 금은혼합형광상과 은광단일형광상인 Groups III, IV, V는 넓은 영역에 걸쳐 분산된 경향을 보인다.

금광단일형광상 (Au-dominant deposit)은 광석중 Ag/Au비가 대부분 0.1에서 10.0까지의 좁은 범위내에서 변화하며, 광석광물의 양이 증가됨에 따라 광석의 금은함량도 비례하여 증가되는 경향을 보여주고 있다. 태창·삼황학·전의·남산광산이 이러한 유형의 대표적인 광산에 해당된다. 금은혼합형광상 (Au-Ag deposit)에서 광석의 Ag/Au비는 1.0~500.0 범위에서 주로 변화하는 양상을 보이며, 동일광산내에서도 광물의 정출시기 또는 광맥에

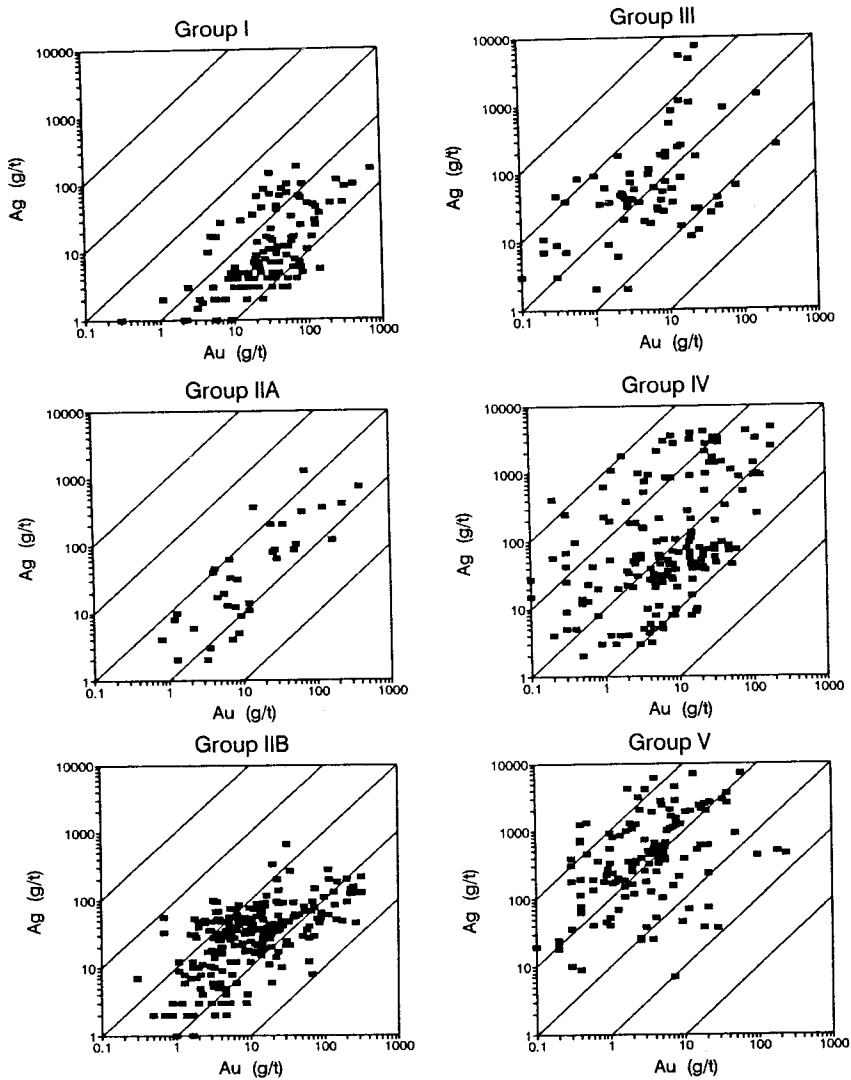


Fig. 2. Logarithmic plot of ore grades of gold and silver (g/t) for 6 genetic groups.

따라 현저한 차이를 보여주고 있다. 대표적인 광산으로 무극·금왕·남성광산이 있다. 은광단일형광상 (Ag-dominant deposit)의 광석중 Ag/Au비는 10.0~2000.0로 채취 시료에 따라 전반적으로 현저한 변화양상을 보이며, 일유·전주일광산만이 이 유형에 속한다.

### 섬아연석의 화학조성

중부지역 열수광맥형 금은광상은 성인적으로 천열수광상에서 심열수광상까지 다양한 유형의 광상이 보고된 바 있으며, 금은광화작용의 특성 (광석중 평균 Ag/Au비)도

각 광산별로 0.23에서 367.41까지 현저한 차이를 보이고 있을 뿐만 아니라 (최선규, 위수민, 1992), 이러한 금은광상에서 산출된 섬아연석도 광산 또는 광맥에 따라 서로 상이한 광물공생관계를 나타내고 있다.

섬아연석의 화학조성은 연세대학교 EPMA (JEOL Superprobe 733)에 의해서 측정되었고, 섬아연석의 조성변화에 대한 전반적인 경향성을 검토하기 위하여 각 광산에서 가능한 광화시기별로 다양한 광물공생관계를 보이는 시료를 선택하여 점분석 또는 선분석을 실시하였다. 그리고, 각 광산별로 대표시료를 선택하여 정성 분석에서 확인된 Zn·Fe·Cd·Mn·Cu·S에 대한 ZAF-M 보정법 (JEOL)

Table 2. The FeS, MnS and CdS contents of sphalerite from gold and/or silver deposits.

Groups	Ore deposits	Mole % FeS			Mole % MnS			Mole % CdS			N**
		Average	S.D.*	Range	Average	S.D.*	Range	Average	S.D.*	Range	
I	Boryeon	14.27	2.45	5.81-17.07	0.16	0.09	0.00-0.34	0.15	0.04	0.05-0.21	39
	Taechang	15.32	1.38	12.24-17.64	0.14	0.09	0.00-0.32	0.26	0.18	0.00-0.66	42
	Seolhwa	13.17	1.12	10.61-14.79	0.05	0.02	0.01-0.08	0.64	0.20	0.41-1.21	26
	Samhwanghwag-M	11.92	1.27	9.07-15.08	0.15	0.09	0.00-0.31	2.23	2.99	0.03-11.37	28
	Samhwanghwag-D	12.67	0.87	10.96-14.39	0.02	0.02	0.00-0.06	2.31	0.52	1.40-3.03	23
	Daeil	14.59	1.45	11.81-17.23	0.14	0.07	0.00-0.25	1.51	0.28	1.06-2.29	49
	Geumpo	14.66	1.16	13.23-16.19	0.02	0.02	0.00-0.04	3.27	0.13	3.11-3.48	5
	Geumseong	14.84	0.57	13.73-15.55	0.07	0.03	0.03-0.15	1.31	0.25	0.97-1.67	20
IIA	Ilbo	10.91	1.78	4.90-16.38	0.02	0.02	0.00-0.07	0.22	0.07	0.07-0.40	62
	Daehung	9.22	2.68	3.83-14.07	0.01	0.03	0.00-0.14	0.33	0.12	0.14-0.54	51
	Yeongbogari	12.76	3.52	4.05-17.36	0.08	0.07	0.00-0.31	1.98	0.64	0.85-4.57	66
IIB	Imcheon	7.43	3.85	0.21-14.33	0.06	0.05	0.00-0.17	0.40	0.15	0.17-0.77	37
	Hwagsan	1.29	0.44	0.75- 1.89	0.03	0.02	0.00-0.05	0.13	0.03	0.10-0.17	8
	Juujinsan	7.18	1.45	4.26- 9.26	0.04	0.02	0.00-0.07	0.67	0.27	0.41-1.02	10
	Jeoneui	12.22	2.64	5.56-18.31	0.01	0.02	0.00-0.15	0.53	0.29	0.24-2.14	54
	Namsan	3.57	1.72	0.65- 7.34	0.01	0.01	0.00-0.05	0.79	0.12	0.66-1.29	35
	Manmyeong	15.86	0.88	13.86-16.98	0.12	0.05	0.01-0.17	0.14	0.02	0.10-0.18	10
III	Cheongju	14.38	3.13	7.89-19.55	0.80	0.42	0.07-1.86	0.05	0.03	0.00-0.10	40
	Namseong	4.63	1.53	0.91- 6.92	0.08	0.13	0.00-0.49	0.19	0.09	0.00-0.33	35
	Yonghwa	1.76	2.32	0.09- 9.84	0.02	0.03	0.00-0.13	0.30	0.24	0.00-0.86	45
IV	Mugeug	1.61	1.74	0.03- 7.43	0.02	0.03	0.00-0.20	0.11	0.11	0.01-0.47	45
	Geumwang	2.55	1.33	0.30- 5.88	0.01	0.02	0.00-0.06	0.04	0.08	0.00-0.60	50
	Geumbong	2.59	0.95	0.72- 4.20	0.01	0.01	0.00-0.03	0.03	0.02	0.00-0.06	29
V	Weolyu	1.96	0.61	0.09- 3.11	0.32	0.27	0.04-1.00	0.08	0.02	0.05-0.14	31
	Jeonjuil	1.94	1.01	0.78- 4.44	0.50	0.20	0.12-1.12	0.26	0.06	0.00-0.44	42

\* Standard deviation.

\*\* Number of spot analyses by electron microprobe.

을 이용한 완전분석을 실시하였다. 정량분석의 표준시료로는 합성시료인 ZnS, CuFeS<sub>2</sub>와 순금속인 Mn·Cd를 사용하였다. 대다수 시료는 Fe·Cd·Mn 성분을 부분분석법으로 측정하여 완전분석에서 구한 검량선 보정법에 적용하여 성분별 mole %를 계산하였다.

25개 금은광상에서 산출된 총 600여개 섬아연석 입자에 대한 완전분석 또는 부분분석을 실시하였고, 총 점분석수는 900여점이다. 또한, 각 광산별로 섬아연석의 단일입자에 대한 조성변화를 알기 위하여 선분석을 실시한 결과, 대다수의 섬아연석은 동일 입자내에서 1~2 mole % FeS 정도의 조성차이를 보인다. 대다수 광산에서는 수십개의 시료를 대상으로 섬아연석의 화학조성을 분석하여 각 광산별 평균치를 구하였으나, 금포·학산·주우진산·만명광산에서는 시료의 수가 한정되어 소수의 시료만을 대상으로 화학분석이 실시되었기 때문에 대표치로서 다소 편차가 있을 수 있다고 판단된다. 섬아연석 중 Fe·Cd·Mn 함유량은 Table 2에 제시된 바와 같이 각 광산별로 현저한

조성차이를 보이며, 각 성분별 조성변화의 범위도 광산에 따라 다양한 변화양상을 나타내고 있다. 따라서, 섬아연석중 Fe·Cd·Mn 성분간의 조성차이에 대한 특징을 규명하기 위하여 광화시기별·금은광화작용의 특성별·광물조합별 (Fe·S계 광물의 종류 또는 합은광물 존재유무) 관련성을 종합적으로 비교검토하였다.

### 광물공존관계에 따른 특성

섬아연석의 철함유량은 각 광산별로 0.03~19.55 mole % FeS 범위내에서 현저한 조성차이를 나타내고 있는데 (Table 2), 섬아연석과 공생하는 Fe·S계 광물의 종류 (자류철석 또는 황철석)에 따라 현저한 변화 양상을 보인다. 섬아연석중 철함유량은 자류철석과 밀접한 공생관계를 갖는 보련·태창·설화·삼황학-M·삼황학-D·대일·금포·금성광산에서 전반적으로 높은 경향을 보인다. 영보가리·청주·일보·전의광산의 섬아연석도 자류철석이 소량이지만

황철석과 함께 수반되어 섬아연석중 철함유량의 평균치가 비교적 높게 나타나며, >10 mole % FeS의 매우 심한 변화양상을 나타낸다. 황철석과 밀접한 공생관계를 보이는 광산중 만명광산을 제외한 나머지 광산의 섬아연석은 대부분 매우 낮은 철함유량의 분포 경향과 함께 전반적으로 <10 mole % FeS의 좁은 범위내에서 변화하는 특징을 보인다. 이러한 각 광산의 섬아연석중 철함유량은 분석된 시료에 따라 평균치가 좌우될 수 있으므로 광산의 유형별 특성에 따라 공통적인 변화양상을 비교검토하였다 (Fig. 3). 금광단일형광산에 속하는 Groups I, IIA, IIB의 섬아연석은 전반적으로 높은 철함량의 분포양상을 보이는 반면에, 금은혼합형광산인 Groups III, IV와 은광단일형광산인 Group V의 섬아연석은 청주광산을 제외하고 일반적으로 <5 mole % FeS로 극히 낮은 철함량의 분포경향을 나타내고 있다. 그리고, 청주광산에서도 함은광물이 다량 산출된 광석의 섬아연석중 FeS함유량은 자류철석을 함유한 광석중의 섬아연석에 비하여 8 mole % 이하로 현저하게 낮은 특징을 보인다. 이러한 특징은 타광화대에서도 금은광화작용의 유사한 특성을 갖는 광석의 섬아연석들간에서 서로 잘 일치하는 경향을 보인다. 섬아연석의 철함유량은 결론적으로 자류철석이 수반되는 광산에 비하여 황철석 또는 은광물이 다량 산출되는 광산에서 공통적으로 낮게 나타나는 규칙성을 보인다.

### 광화시기에 따른 특성

충부지역 금은광산은 K-Ar 연대측정자료와 주변모암의 연대로 추정된 결과에 의하면 대보화성활동 또는 불국사 화성활동과 연관된 광산으로 양분할 수 있다. 대보화성활동과 관련된 금광산은 태창·보련·일보·대일·금성·대흥·영보가리광산으로 광화시기는 158~129 Ma이며, 불국사화성활동에 의해서 형성된 금-은광산은 임천·전의·청주·용화·무극·학산·금왕·금봉·월유·전주 일광산으로 광화시기는 108~71 Ma이다. 이러한 관점에서 충부지역 금은광산은 서로 시기를 달리하는 화성활동과 관련된 2그룹의 광산으로 분류되며, 대보 및 불국사화성활동에 따라 구분된 금은광산의 섬아연석중 철과 카드뮴 또는 철과 망간 함량간에 변화 특성을 비교하면 다음과 같다.

섬아연석중 평균 Cd 함유량은 금봉광산의 0.03 mole %에서 금포광산의 3.27 mole %로 각 광산별로 비교적 심하게 변화하는 경향을 보인다. 불국사 화성활동과 관련된 금은광산의 섬아연석중 Cd함유량은 전반적으로 Shimazaki and Shimizu (1980)가 제시한 스카른광산중 평

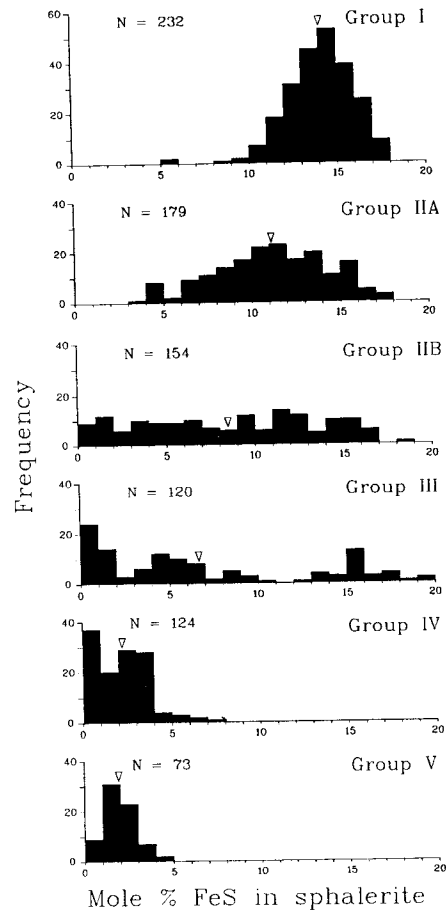


Fig. 3. Histograms showing the FeS contents (mole %) and average value ( $\nabla$ ) of sphalerites for 6 genetic groups.

균값 0.43 mole % CdS 또는 Mookherjee (1962)의 열수 광산에 대한 평균값인 0.5 mole % 이내의 비교적 낮은 함량을 보인다 (Fig. 4). 그러나, 대보화성활동과 관련된 금광산의 섬아연석은 불국사화성활동에 의한 금은광산에 비교하여 전반적으로 높은 Cd함유량 (>0.5 mole %)을 가지며 분산된 분포양상을 보인다. 이러한 대보화성활동과 연관된 광산중에서 섬아연석의 Cd함유량은 서로 비슷한 시기에 형성된 광산일지라도 (Park et al., 1986; So et al., 1989), 광화대 (분포지역)에 따라 서로 상이한 조성을 보이고 있다. 즉, 충부지역 보련광산산 섬아연석은 0.15 mole % CdS로 극히 낮은 함유량의 특징을 나타내지만, 영동지역 대일광산산 섬아연석은 1.51 mole % CdS로 아주 높은 수치를 보인다. 상기 두 광산간에는 광산유형도 동일하고 섬아연석중 Fe함유량도 거의 유사하므로 (Table 2), 이러한 섬아연석중 Cd 함유량의 차이는 각 광화대에

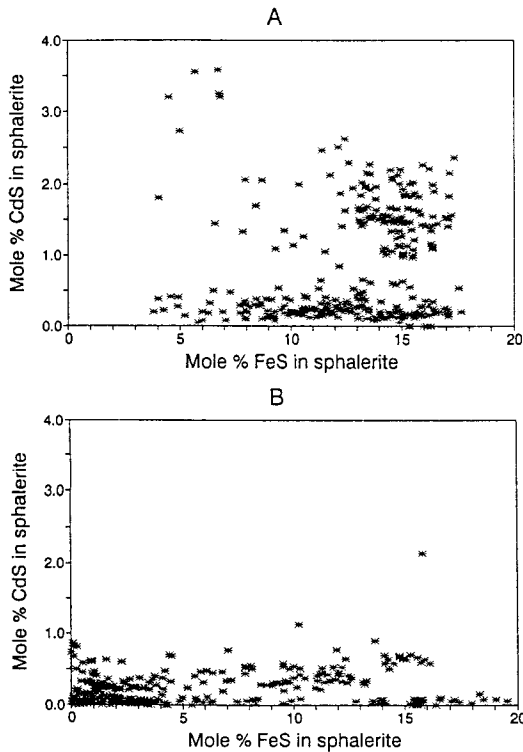


Fig. 4. The relation between FeS and CdS contents (mole %) of sphalerites from gold deposits associated with Daebo igneous activities (A) and gold and/or silver deposits related with Bulgusa igneous activities (B).

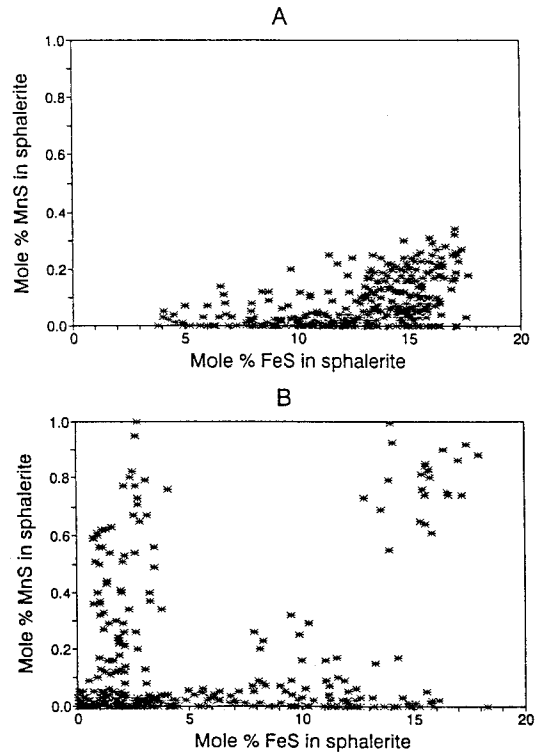


Fig. 5. The relation between FeS and MnS contents (mole %) of sphalerites from gold deposits associated with Daebo igneous activities (A) and gold and/or silver deposits related with Bulgusa igneous activities (B).

따라 광화용액중 Zn/Cd비 또는 주변모암 등의 요인에 기인된 것으로 추정된다.

섬아연석중 평균 Mn 함유량은 각 광산별로 미약한 함량차이를 보이며, 대홍광산의 0.01 mole % MnS에서 청주광산의 0.80 mole % MnS까지 전반적으로 소량 함유되고 있다. 대보 및 불국사 화성활동에 기인된 섬아연석중 철과 망간의 함유량간의 특성을 비교하면 다음과 같다 (Fig. 5). 대보화성활동과 관련된 금광상의 섬아연석중 Mn 함유량은 <0.3 mole % MnS의 아주 낮은 수치로 철함유량과 비례하여 다소 증가하는 경향을 보인다. 그리고, 불국사화성활동과 관련된 금은광상의 섬아연석은 대보화성활동과 관련된 광상에 비교하여 다소 높은 Mn 분포양상을 보이며, 전반적으로 분산된 경향을 나타낸다.

### 금은광화작용의 특성에 따른 연관성

금은광화작용의 특성에 따라 구분된 금광단일형광상·금은혼합형광상·은광단일형광상과 섬아연석중 Fe·Mn·

Cd성분간의 연관성을 비교검토하면 다음과 같다. 금은광상의 섬아연석은 Fe-Mn 관계도에 도시된 바와 같이 상기 3 유형의 광상이 명확히 구분되는 규칙성을 보여주고 있다 (Fig. 6). 즉, 금광단일형광상에서는 FeS 함량축을 따라 주로 밀집 분포하지만, 은광단일형광상은 이와는 반대로 MnS 함량축을 따라 분포하는 양상을 보인다. 그리고, 금은혼합형광상은 양자의 중간영역에 분산되는 경향을 나타낸다. 섬아연석의 MnS 함유량은 각 광상의 유형별로 다소 변화양상의 차이는 있지만, 모든 유형에서 FeS 함량이 증가됨에 따라 공통적으로 증가하는 정상관계를 보인다. 이러한 변화양상은 연화광산 태백광체의 섬아연석이 각 광화시기별 Fe-Mn 조성간의 변화에서도 유사한 경향을 보인다 (Koh et al., 1992). 섬아연석중 함유된 Fe와 Cd성분간에 상관관계는 광상의 유형에 따라 뚜렷한 특징은 없지만 (Fig. 6), 은광단일형광상에서 FeS, CdS 함유량은 공통적으로 모두 낮은 영역에 밀집된 경향을 보인다. 그리고, 금은혼합형광상의 섬아연석은 주로 FeS 함량축을 따라 분포하는 반면에, 금광단일형광상에서는 전

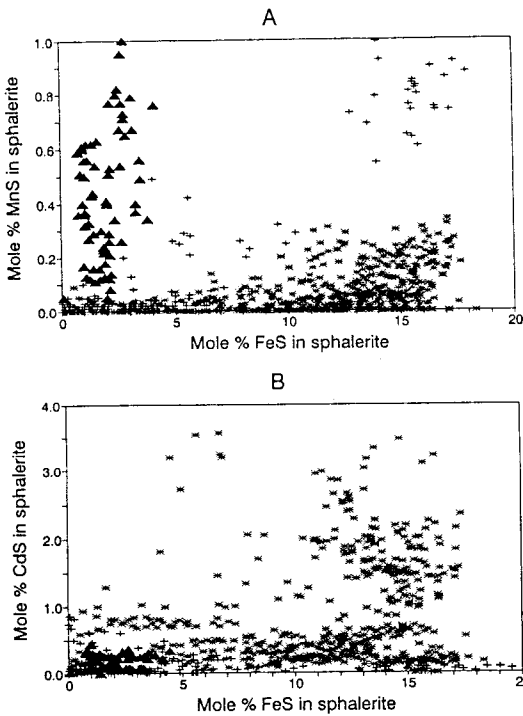


Fig. 6. The relations between FeS and MnS (A), and FeS and CdS (B) contents (mole %) of sphalerites from gold-dominant deposits (\*), gold-silver deposits (+) and silver-dominant deposits (▲).

반적으로 분산된 경향을 보인다. 금광단일형광상에서 섬아연석중 CdS 함유량의 분산양상은 주로 광상분포지역 또는 광화시기에 따라 광화용액의 Cd 농도차이에 기인된 것으로 추정된다.

Fig. 7은 광상의 유형별로 섬아연석의 Cd·Mn 함유량을 도시한 것으로 금광단일형광상의 섬아연석은 CdS 함량이 높고 MnS 함량이 비교적 낮은 경향을 보인다. 이와는 반대로 금은혼합형광상과 은광단일형광상의 섬아연석에서는 양자 모두 MnS 함량이 비교적 높고 CdS 함량이 아주 낮은 영역에 밀집분포된 경향을 보인다. 이러한 금은광상의 섬아연석중 Cd·Mn 함량에 대한 분포양상은 전효택 (1982)이 W광상과 Zn-Pb 광상에 대하여 섬아연석중 Cd, Mn 평균치로 도시한 결과와 전반적으로 유사한 분포경향을 보인다. 즉, 금광단일형광상 (Au-dominant deposit)은 W광상과 금은혼합형광상 (Au-Ag deposit) 및 은광단일형광상 (Ag-dominant deposit)은 Zn-Pb 광상과 서로 잘 일치하고 있다. 그리고, 기보고된 자료에 의하면 금광단일형광상이 심열수광상과 금은혼합형·은광단일형광상이 천 (중)열수광상에 해당하며, 이와같은 광상유형

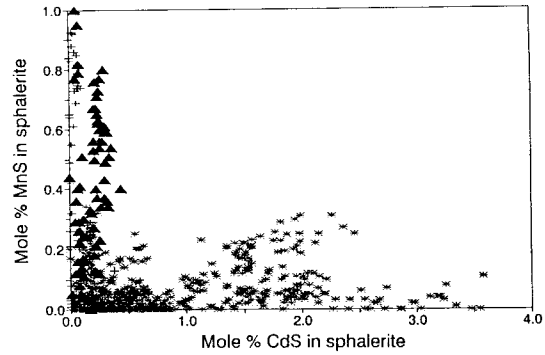


Fig. 7. The relation between CdS and MnS contents (mole %) of sphalerites from gold-dominant deposits (\*), gold-silver deposits (+) and silver-dominant deposits (▲).

간의 연관성은 주로 광화용액에 기인된 것으로 추정된다.

### 고찰 및 결론

섬아연석의 Fe·Mn·Cd 함량은 일반적으로 주광종·광상분포지역·지질환경 등의 차이에 따라 특징적인 조성변화를 나타내는 것으로 보고되고 있으며 (Chon et al., 1981; Mizuta et al., 1984; 이현구 등, 1992). 이러한 조성차이는 광물정출시 생성온도, 유황 및 산소분압, pH, 광화용액, 생성심도 등 다양한 물리화학적 요인의 변화에 기인된다고 할 수 있다. 이러한 관점에서 중부지역 25개 금은광상의 섬아연석중 Fe·Mn·Cd 조성차이 또는 각 성분간의 연관성을 종합적으로 비교검토하면 다음과 같다.

섬아연석의 철함유량은 주로 공존하는 Fe-S계 광물의 종류 (자류철석 또는 황철석)에 따라 상대적인 조성차이를 보인다. 즉, 섬아연석이 자류철석과 함께 수반되는 경우는 전반적으로 아주 높은 철함유량의 분포양상을 보인다. 이와 반대로 섬아연석이 황철석과 함께 수반되는 광상에서는 전반적으로 낮은 철함유량의 분포특징을 보이며, 이러한 광상중에서 자연은·휘은석 등의 함은광물이 비교적 다량 산출되는 경우 섬아연석의 철함유량은 현저하게 감소된 양상을 보인다. 이러한 섬아연석중 철함유량의 변화양상은 주로 각 광상유형에 따라 광상생성시의 유황분압 및 정출온도의 복합적인 요인에 기인된 결과로 사료된다.

금은광상에서 산출된 섬아연석중 Fe·Cd·Mn 조성변화 및 각 성분간 연관성을 광화작용의 특성·광화시기·광상성인·지질환경에 따라 광역적으로 비교검토한 결과는 다음과 같다. Mizuta et al. (1984)는 섬아연석중 Cd·Mn 함량차이를 경기지괴·영남지괴·경상분지로 구분하여 분포지역별 특성으로 보고하였지만, 이현구 등 (1992)은



섬아연석의 Cd함유량이 모암의 종류에 따라 조성차이를 보이는 것으로 설명하였다. 그러나, 광상의 유형·광화시기·모암종류 등에서 동일한 특징을 갖는 광상들간에서도 섬아연석중 Cd 또는 Mn 함유량은 광화대 또는 분포지역에 따라 상이한 조성을 보이는데, 이는 주로 광화용액 (Zn/Cd비 또는 Zn/Mn비)의 차이에 기인된 것으로 사료된다. 또한, Chon and Shimazaki (1986)은 국내 W, Zn-Pb, Cu, Fe 광상 등의 섬아연석중 Cd·Mn 함량 변화를 심심암형 또는 반심심암-분출암형으로 구분하여 관계화성활동의 차이에 기인된 것으로 해석하였다. 이러한 다양한 해석상의 문제점을 규명하기 위하여 중부지역 금은광상의 섬아연석중 Fe·Cd·Mn 함량간 상관관계를 종합적으로 비교검토하면, 섬아연석중 Cd·Mn 조성차이는 전반적으로 금은광화작용의 특성 (Ag/Au비)에 따라 좌우되는 규칙성을 보인다. 금광단일형광상의 섬아연석은 전반적으로 Cd 함유량이 현저하게 높고 Mn 함유량은 매우 낮은 특징을 보이지만, 금은혼합형광상과 은광단일형광상의 경우는 양자 모두 Mn 함유량이 비교적 높고 Cd 함유량이 매우 낮은 경향을 보인다. 섬아연석중 Fe-Cd, Fe-Mn, Mn-Cd 성분간의 상관관계를 종합적으로 검토하면, 은광단일형광상과 금은혼합형광상간에서는 전반적으로 서로 유사한 변화양상을 보이는 반면에 금광단일형광상에서는 전혀 상이한 분포특징을 보인다. 이러한 연구 결과와 기보고된 유체포유물 및 안정동위원소의 연구자료 (Choi, et al., 1988; Park and Kang, 1988; So et al., 1987; So et al., 1989; Sugaki et al., 1986) 등을 종합적으로 검토하면, 섬아연석의 Cd·Mn 조성변화는 주로 광화용액의 진화 정도에 따른 Cd·Mn 함량간의 분배정도 차이에 기인되었으며, 부수적으로 광상분포지역 또는 광화시기에 따라 광화용액중 농도 또는 기원의 차이에 의한 복합적인 결과로 추정된다. 그러므로, 중부지역 금광단일형광상·금은혼합형광상·은광단일형광상에 대한 각 유형별 섬아연석중 Cd·Mn 조성차이는 근본적으로 심열수광상 또는 천열수광상의 생성환경 차이에 기인된 결과로 사료된다.

사 사

이 연구는 한국과학재단 후원 전략광물자원 연구센터의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 깊은 사의를 드린다.

참고문헌

이현구, 유봉철, 김상중 (1992) 충남 대봉 금·은광상에서 산출되는 광석광물과 광상의 생성환경. 광산지질, 25권, p. 297-

316.  
 전효택 (1982) 우리나라산 섬아연석의 조성변화와 광상성인과의 연관성에 대한 연구. 대한광산학회지, 19권, p. 191-198.  
 최선규, 위수민 (1992) 에렉트립의 화학조성과 관련된 한국 중부지역 금은광상의 성인적 특성. 지질학회지, 28권, p. 196-217.  
 Banno, S. (1988) On the sphalerite geobarometer. Geochim. Jour., v. 22, p.129-131.  
 Barton, P.B., Jr. and Skinner, B.J. (1979) Sulfide mineral stabilities. In Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits (H.L. Barnes, ed.), Wiley- Interscience. New York. p. 278-403.  
 Bryndzia, L.T., Scott, S.D. and Spry, P.G. (1990) Sphalerite and hexagonal pyrrhotite geobarometer: Correction in calibration and application. Econ. Geol., v. 85, p. 408-411.  
 Choi, S.G., Chi, S.J. and Park, S.W. (1988) Gold-silver mineralization of the Au-Ag deposits at Yeongdong district, Chungcheongbuk-Do. J. Korean Inst. Mining Geol., v. 21, p. 367-380.  
 Chon, H.T., Shimazaki, H. and Sato, K. (1981) Compositional variation of sphalerites from some hydrothermal metallic ore deposits in the Republic of Korea. Japan Mining Geol., v. 31, p. 337-343.  
 Chon, H.T. and Shimazaki, H. (1986) Iron, manganese and cadmium contents of sphalerites and their genetical implications to hydrothermal metallic ore deposits in Korea. J. Korean Inst. Mining Geol., v. 19. Spec. Issue, p. 139-149.  
 Kim, S.Y. and Park, N.Y. (1986) A study on the diamond drilling exploration and characteristics of ore minerals in Cheongju Au-Ag mine area. In a Study on Geology and Metallic Mineral Deposits. KR86-10. Korea Institute of Energy and Resources. p. 147-188.  
 Kim, W.J. (1986) Metallogeny on gold-silver in south Korea. J. Korean Inst. Mining Geol., v. 19, p. 243-264.  
 Koh, Y.K., Choi, S.G., So, C.S., Choi, S.H. and Uchida, E. (1992) Application of arsenopyrite geothermometry and sphalerite geobarometry to the Taebaek Pb-Zn (-Ag) deposit at the Yeonhwa I mine, Republic of Korea. Mineralium. Deposita, v. 27, p. 58-65.  
 Mizuta, T., Shimazaki, H., Kaneda, H. and Lee, M.S. (1984) Compositional variation of sphalerites from some Au-Ag ore deposits in south Korea. In Granite Provinces and Associated Ore Deposits in South Korea (A. Tsusue, ed.), p. 127-152.  
 Mookherjee, A. (1962) Certain aspects of the geochemistry of cadmium. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 26, p. 351-360.  
 Park, H.I. and Kang, S.J. (1988) Gold and silver mineralization of Samhyungie vein, the Mugeug mine. J. Korean Inst. Mining Geol., v. 21, p. 257-268.  
 Park, N.Y., Choi, S.G. and Park, S.W. (1985) Ore genesis of hydrothermal deposits in Chungcheong province, Republic of Korea. In A Study on Geology and Metallic Mineral Deposits. KR-85-15, Korea Institute of Energy and Resources, p. 193-229.  
 Park, N.Y., Choi, S.G. and Park, S.W. (1986) Ore genesis of hydrothermal deposits in Chungcheong province, Republic of Korea. In A Study on Geology and Metallic Mineral Deposits. KR-86-10, Korea Institute of Energy and Resources.