

전남 서남부지역의 납석, 고능석과 명반석 광상의 광물조성 및 지구화학적 특성에 대한 연구

신상은* · 박홍봉*

The Mineral Compositions and Geochemical Characters of Pyrophyllite, Kaolinite, and Alunite deposits of Southwestern Cheonnam, Korea.

Sang-Eun Shin* and Hong-Bong Park*

Abstract: Pyrophyllite, kaolinite, and alunite deposits distributing in Southwestern parts of Cheonnam are classified into three types of minerals assemblages by the results of X-ray diffraction analysis etc. The first mineral assemblages contains pyrophyllite, kaolinite, dickite, quartz, diaspore and/or corundum, the second one contains alunite insteads of corundum, and the third one contains alunite without pyrophyllite and diaspore.

It is can be considered that the deposits which consist mainly of pyrophyllite are formed higher temperature than the other deposits.

Judging form the chemical analyses the chemical compositions of hydrothermal solutions acting to the deposits seem to be relatively simple. But the hydrothermal solutions which generated Dogcheon, Jugicon, Ommaesan, and Seongsan mine contain rather somewhat higher K₂O. The values of the Trace Elements and REE analysis of the host rocks of deposits suggest that the host rocks are these deposits are the last products of magmatic differentiation.

서 론

전남 서남부지역에는 우리나라의 주요한 납석, 고능석, 명반석 광상들이 분포한다. 이들 광상은 백악기말 경상계의 응회암층 내에 분포하며 특히 유문암질 응회암의 일부가 열수변질작용에 의해 형성된 것으로 알려졌다(대한광업 진흥공사; 1986, 1987, 1988, 박병철; 1974, 박희인; 1982, 신상은; 1988).

본 연구에서는 이들 광상에서 산출되는 광석들의 정확한 광물조성을 연구하고, 또 지구화학적 연구를 통해 광석들이 광화작용을 받는 동안 광석들의 화학성분 변화와 광상을 형성한 모암의 화학적 성질 등을 구명하였다.

연구대상 광산은 해남군 현산면 만안리에 위치한 구시광산, 나주군 다도면 대초리에 위치한 다도광산, 완도군 노화읍 구목리에 위치한 완도광산 및 노화광산, 영암군 서호

면 독천리에 위치한 독천광산, 진도군 문내면 녹진리에 위치한 죽전광산, 해남군 황산면 옥동리에 위치한 옥매산광산, 해남군 황산면 부곡리에 위치한 성산광산이다. 연구대상 광산중 완도군 노화읍 구목리에 위치한 완도광산과 노화광산은 같은 지역에 위치하며 충서적으로 같은 충준내에 분포하나 광산 이름만 다르기 때문에 본문에서는 노화도 광산으로 약칭한다.

시료 및 실험방법

실험은 광석들의 조성광물을 알아보기 위해 편광현미경 관찰 및 X-ray 회절 분석과 광석들의 화학적 성질 및 광화작용 동안의 성분변화를 알아보기 위한 화학성분 분석, 그리고 광상모암의 지구화학적 성질을 알아보기 위한 미량원소 분석 및 화토류 원소 분석을 했다.

X-ray 회절 분석 조건은 Target Cu-K α , $\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$
전압 35 KV, 전류 15 mA, Scanning Speed 2° / min,

* 전남대학교(Dept of Geology, Chonnam Univ. Kwangju, Cheonnam 500-757 Korea)

NiFilter를 사용하였다.

화학성분 분석, 미량원소 분석 및 희토류 원소 분석은 영국 London 대학 지질학과 분석실에서 시행하였는데 ICP 법을 이용하였다.

실험을 위한 시료는 각 광산에서 채취한 광석들을 광석들의 광화정도 및 광물조성을 고려하여 32개의 시료를 선별하여 사용했는데 구시광산에서는 4개(납석질 : G12, GB21, GC24, 고능석질 : GC25)의 시료,

다도광산에서도 4개(납석질 : DB10, DB17, 고능석질 : DB33, DB37)의 시료,

노화도 광산에서는 6개(납석질 : EW59-3, NH18, NH19, EW 59-5, EW59-6, 고능석질 : NH20)의 시료,

독천 광산에서는 5개(명반석질 : DC22, DC24, 납석 및 고능석질 : DC43, DC21, DC25)의 시료,

죽전 광산에서는 3개(명반석질 : JN9-1, JN10, JN11)의 시료,

옥매산 광산에서는 4개(명반석질 : OG33, OG53, 고능석질 : OG31, OG32)의 시료,

성산 광산에서는 6개(명반석질 : SB8, SB12, BG14, 고능석질 : BG9-9, SB66, SB20)의 시료를 채취했다.

실험 결과

편광현미경 관찰 및 X-ray 회절 분석

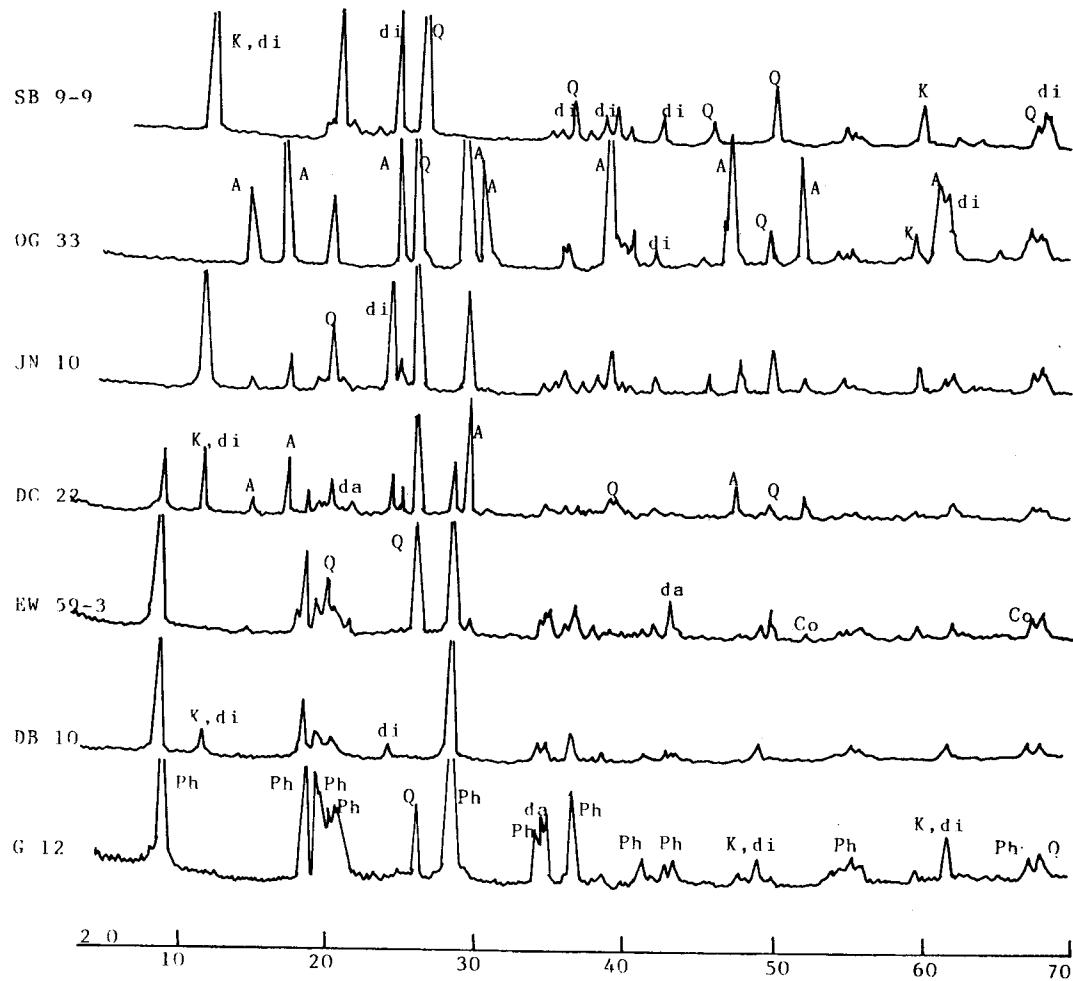


Fig. 1 X-ray diffraction patterns of Ores.

Ph : pyrophyllite, K : kaolinite, di : dickite, Q : quartz, A : alunite, da : diasporite, Co : corundum.

G12 : Gussi mine, DB10 : Dado mine, EW59-3 : Nohwado mine, DC22 : Dogcheon mine, JN10 : Jugjeon mine, OG33 : Ogmaesan mine, SB9-9 : Seongsan mine.

구시광산에서 산출되는 광석은 대부분 납석질 광석이다. 납석질 광석 이외에 소량의 고농석질 광석이 산출되나 그 분포는 많지 않고 또한 고농석질 광석내에도 납석이 상당량 함유되어 있다. 편광현미경 관찰과 X-ray 회절 분석에 의하면 납석이 대부분을 차지하며 그 외에 석영과 고농석, 딕카이트, 적철석, 황철석 등이 소량 함유되어 있다. 또 부분적으로 다이아스포아가 함유되기도 한다. 광상의 하부

에서 산출된 광석에는 석영의 함량이 많아지며 상대적으로 납석의 함량은 감소한다.

다도광산에서 산출되는 광석들도 대부분 '납석질' 광석이다. 편광현미경 관찰(Fig. 2)과 X-ray 회절 분석에 의하면 납석과 고농석, 딕카이트, 석영, 황철석 그리고 부분적으로 다이아스포아가 함유된다. 그러나 구시광산과는 달리 납석 보다는 고농석, 딕카이트의 함량이 많다.

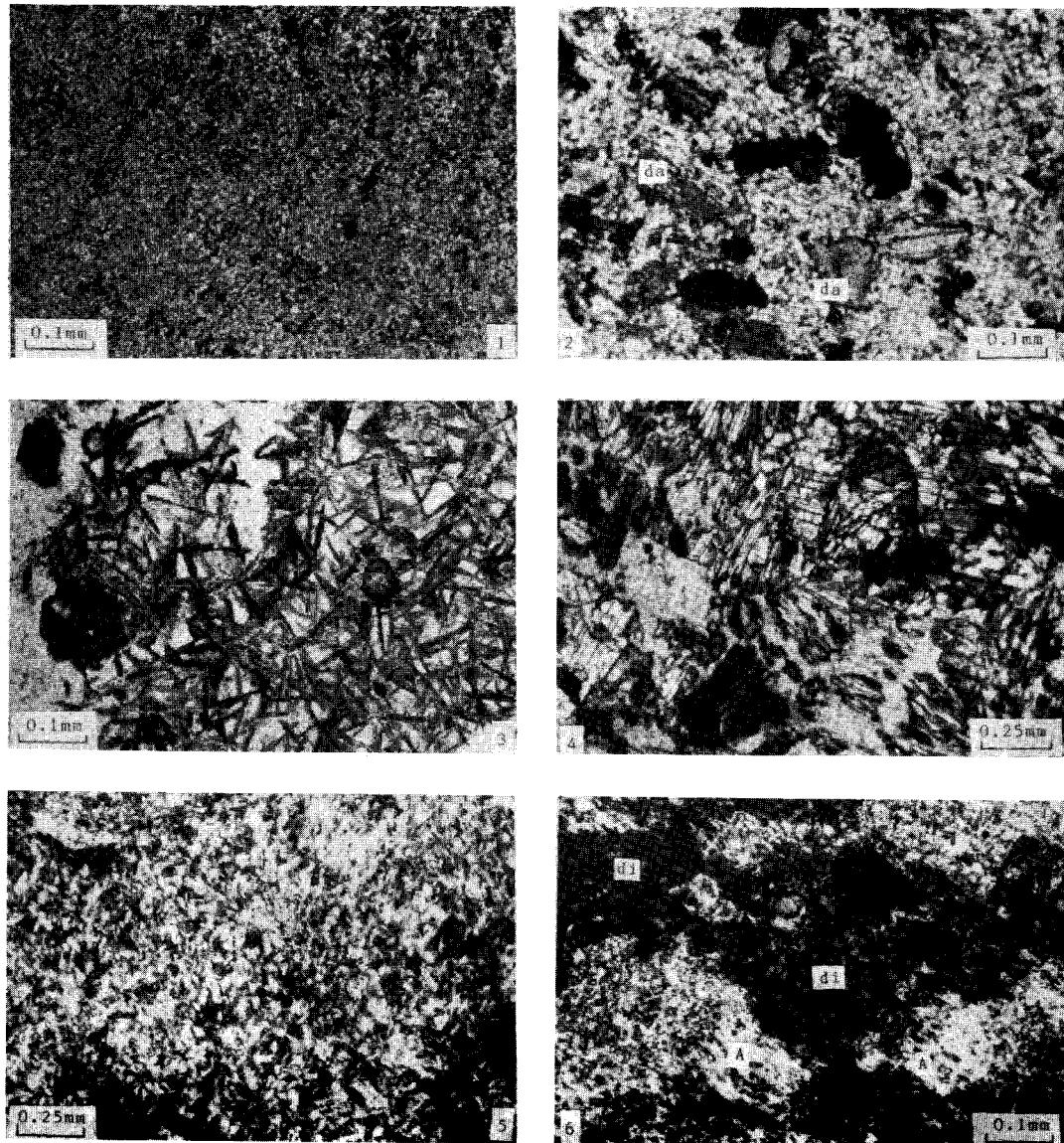


Fig. 2. Photomicrographs of ores from various deposits. 1) Pyrophyllite aggregates of Gussi mine ore, 2) Pyrophyllite and Diaspore crystals in Gussi mine ore, 3) Pyrophyllite and Diaspore crystals in Nohwado mine ore, 4) Corundum crystals in Nohwado mine ore, 5) Alunite aggregates in Dogcheon mine ore, and 6) Alunite and Dickite aggregates in Seongsan mine ore.

노화도 광산에서 산출되는 광석들도 납석질 광석이 대부분이며 소량의 고농석질 광석이 광상의 하부에서 산출된다. 편광현미경 관찰과 X-ray 회절 분석에 의하면 노화도

광산의 광석들은 대부분 납석으로 구성되어 있으며 그 외에 소량의 석영, 고농석, 황철석 그리고 부분적으로 다이아스포아와 강옥이 함유된다. 특히 강옥은 거의 납석으로

Table 1. Chemical Analysis of Ores.

(%)	G12	GB21	GC24	GC25	G ave.	DB10	DB17	DB33	DB37	DB ave.
SiO ₂	65.80	73.70	74.00	88.70	75.55	65.50	74.90	82.10	72.20	73.68
Al ₂ O ₃	27.46	20.74	20.14	6.58	18.73	23.21	18.84	13.64	19.86	18.89
Fe ₂ O ₃	0.15	0.06	0.18	0.03	0.11	0.22	0.11	0.10	0.09	0.13
MgO	0.02	0.01	0.01	—	0.01	—	0.01	—	—	—
CaO	0.12	0.12	0.05	0.04	0.08	0.07	0.07	0.02	0.03	0.05
Na ₂ O	0.18	0.09	0.07	0.01	0.09	0.06	0.04	0.03	0.01	0.04
K ₂ O	0.33	0.01	—	-0.01	0.09	0.12	0.24	0.08	0.16	0.15
TiO ₂	0.41	0.32	0.22	0.09	0.26	0.09	0.07	0.25	0.18	0.15
P ₂ O ₅	0.04	0.10	0.08	0.08	0.08	0.12	0.09	0.01	0.10	0.08
MnO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(%)	EW59-3	NH18	NH19	EW59-5	EW59-6	NH20	NH ave.	DC22	DC24	
SiO ₂	74.70	73.10	65.90	87.40	78.20	89.30	78.10	58.00	67.30	
Al ₂ O ₃	18.70	20.72	27.15	9.65	16.81	7.38	16.74	25.48	20.43	
Fe ₂ O ₃	0.12	0.10	0.22	0.13	0.13	0.15	0.14	0.13	0.26	
MgO	—	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
CaO	0.24	0.24	0.15	0.06	0.06	0.07	0.14	0.28	0.18	
Na ₂ O	0.06	0.08	0.14	0.03	0.05	0.02	0.06	1.19	0.69	
K ₂ O	0.07	0.01	0.15	0.02	0.01	0.02	0.05	2.44	2.28	
TiO ₂	0.19	0.70	0.30	0.37	0.27	0.19	0.34	0.33	0.40	
P ₂ O ₅	0.59	0.31	0.13	0.07	0.07	0.07	0.21	0.42	0.27	
MnO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
(%)	DC43	DC21	DC25	DC ave.	JN9-1	JN11	JN10	JN ave.	OG33	OG53
SiO ₂	65.00	67.10	66.10	64.70	25.20	54.70	53.10	44.33	32.90	34.80
Al ₂ O ₃	24.83	23.77	23.37	23.58	30.82	18.09	23.83	24.25	27.31	28.55
Fe ₂ O ₃	2.72	0.18	0.24	0.71	0.04	0.13	0.08	0.08	0.07	0.04
MgO	0.01	0.01	0.01	0.01	—	—	0.01	—	—	—
CaO	0.25	0.35	0.20	0.25	0.06	0.03	0.08	0.06	0.03	0.11
Na ₂ O	0.11	0.27	0.15	0.48	0.71	0.36	0.21	0.43	0.83	0.72
K ₂ O	0.15	0.42	0.51	1.16	7.84	4.26	2.46	4.85	6.41	6.53
TiO ₂	0.62	0.75	0.54	0.53	0.29	0.25	0.39	0.31	0.13	0.39
P ₂ O ₅	0.41	0.45	0.23	0.36	0.20	0.13	0.23	0.19	0.09	0.29
MnO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(%)	OG31	OG32	OG ave.	SB8	SB12	BG14	BG9-9	SB66	SB20	SB ave.
SiO ₂	78.20	76.80	55.68	21.90	46.10	38.90	60.70	45.10	93.90	51.10
Al ₂ O ₃	15.74	17.04	22.16	37.58	31.66	31.02	30.43	40.29	3.99	29.16
Fe ₂ O ₃	0.43	0.04	0.15	0.01	0.90	0.04	0.03	0.01	0.12	0.05
MgO	0.01	0.01	0.01	—	—	—	—	—	—	—
CaO	0.08	0.08	0.08	0.05	0.02	0.05	0.02	0.03	0.04	0.04
Na ₂ O	0.01	0.01	0.39	0.50	0.07	1.43	—	0.01	—	0.26
K ₂ O	0.01	—	3.24	9.22	4.28	6.88	0.01	0.02	—	3.40
TiO ₂	0.08	0.18	0.20	0.06	0.07	0.32	0.12	0.03	0.20	0.13
P ₂ O ₅	0.10	0.09	0.12	0.08	0.08	0.08	0.03	0.13	0.04	0.07
MnO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* G, GB, GC : Gussi mine, DB : Dado mine, EW, NH : Nohwado mine, DC : Dogcheon mine.
J, JN : Jugjeon mine, OG : Ogmaesan mine, BG, SB : Seongsan mine.

G ave : Gussi mine averages, DB ave : Dado mine averages, NH ave : Nohwado mine averages, DC ave : Dogcheon mine averages, JN ave : Jugjeon mine averages, OG ave : Ogmaesan mine averages, SB ave : Seongsan mine averages.

* H₂O and SO₃, is not included.

구성된 광석에서만 관찰할 수 있다.

독천광산에서 산출되는 광석들을 대부분 명반석질 광석이다. 그러나 명반석질 광석에는 납석이 상당량 함유되어 있고, 또 광상의 하부에서는 고능석질 광석이 산출된다. 편광현미경 관찰과 X-ray 회절 분석에 의하면 광상의 상부에서 산출되는 광석은 주로 명반석과 납석, 석영으로 구성되며 부분적으로 다이아스포아가 함유된다. 광상의 하부에서 산출되는 광석에는 고능석, 딕카이트, 석영의 함량이 많고 반면에 명반석, 납석의 함량은 감소하며 그 외에도 소량의 황철석, 적철석 등이 함유된다.

죽전광산, 옥매산광산 및 성산광산에서 산출되는 광석들은 광물조성이나 산출상태 등이 거의 같다. 이것은 위의 세 광산들이 서로 인접한 지역에 위치해 있으며 층서적으로 같은 충준내에 광상이 형성되어 있기 때문이다.

죽전광산, 옥매산광산 및 성산광산에서 산출되는 광석은 주로 고능석질 광석이다. 그러나 광상의 상부에서는 명반석질 광석이 산출되며, 광상의 하부에서는 고능석질 광석 이외에 부분적으로 쳐어트질 광석이 산출된다.

편광현미경 관찰과 X-ray 회절 분석에 의하면 명반석질 광석에는 명반석, 석영, 고능석, 딕카이트 등이 함유되어 있고 고능석질 광석에는 고능석, 딕카이트 함량이 많은 반면 그 이외의 광물들은 함량이 적다. 쳐어트질 광석은 대부분 비정질의 석영으로 구성되며 고능석, 딕카이트, 명반석, 황철석, 세립질 석영 등이 약간씩 함유된다. Fig. 1은 각 광산에서 산출되는 대표적인 광석들의 X-ray 회절도이다.

주성분 원소 분석

Table 1은 광석들의 화학분석표이다. 납석질 광석이 산출되는 구시광산, 다도광산, 노화도 광산의 광석들은 비슷한 분포 경향을 보이는데 광석들의 SiO_2 , 함량은 65.80–89.30%, Al_2O_3 함량은 최고 27.46%에서 최저 7.38%까지의 분포를 보인다. 그러나 대개의 납석질 광석들은 SiO_2 65–78%, Al_2O_3 28–14%의 분포를 보인다. Al_2O_3 함량이 낮고 SiO_2 함량이 높은 광석들은 주로 고능석질 광석인데, 고능석질 광석들은 주로 광상의 하부에서 산출되며 석영함량이 많다. 또 광석들의 Fe_2O_3 함량은 0.3% 이하이며, Na_2O 와 K_2O 의 함량도 0.4% 이하로 낮다. 또 TiO_2 의 함량은 0.5% 이하이다.

독천광산에서 산출되는 광석들의 분석에서는 SiO_2 함량이 67.30%–58.00%, Al_2O_3 함량이 25.48–20.43%로 높

다. Fe_2O_3 함량은 대개 3% 이하이며 Na_2O 함량은 1.19–0.11%, K_2O 함량은 2.44–0.15%로 높은 편이다. TiO_2 함량은 0.75–0.33%의 분포를 보인다. 독천광산의 광석들의 Al_2O_3 , Na_2O 및 K_2O 함량이 높은 것은 명반석이 함유되어 있기 때문인데, 명반석은 그의 화학식이 $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ 로 이론적인 분석치는 Al_2O_3 37.0%, K_2O 11.4%, SO_3 38.6%, H_2O 13.0%이다.

죽전광산, 옥매산광산, 성산광산에서 산출되는 광석들의 화학분석치에서는 SiO_2 함량은 최고 93.90% 부터 최저 21.90% 까지의 분포를 보이며, Al_2O_3 함량은 40.29–3.99% 까지의 분포를 보인다. 그러나 대부분의 광석들은 SiO_2 함량이 22–78%, Al_2O_3 함량이 40–13% 사이에 분포한다. 이것은 광석들에 명반석이 많이 함유되어 있거나 또는 명반석이 함유되어 있지 않더라도 거의 순수한 고능석, 딕카이트로 구성되어 있기 때문이다. 이에 비하여 고능석질 광석에 다량의 석영이 함유되면 SiO_2 함량은 많아지고 Al_2O_3 함량은 낮아지게 되는데 SB20과 같은 광석이 그러한 경우이다. 광석들의 FeO 함량은 0.90–0.01%로 낮으며, Na_2O 함량은 1.43–0.01%, K_2O 함량은 9.22–0.00%로 광석들 사이에 그 차이가 크게 나타나는데, 이것은 명반석 함량이 광석들에 따라 차이가 있으며 OG31, OG32, BG9–9, SB66, SB20, SB65–2와 같은 광석에는 명반석이 거의 함유되어 있지 않기 때문이다. 또 TiO_2 함량은 0.39–0.03%이다.

미량 원소 및 희토류 원소 분석

Table 2는 광석들의 미량 원소 분석표이고 Table 3은 광석들의 희토류 원소 분석표이다.

Table 2의 미량원소 분석표에서 Co, Ni, Sc의 함량은 소수의 광석을 제외하고는 대부분의 광석들이 50 ppm 이하의 낮은 분포를 보인다.

Nb , Sc, Y, Zr의 함량의 분포경향은 Nb 가 25–2.00 ppm, Sc는 13–1.00 ppm, Y는 32–1.00 ppm, Zr은 229–18.0 ppm의 범위에 분포한다.

그 외에 Ba는 2305–47 ppm, Cu는 15–1.00 ppm, Li는 464–1.00 ppm, V는 77–5.0 ppm, Zn은 128–0.00 ppm 사이의 분포를 보인다.

Table 3의 희토류 분석표에서는 광석들의 가벼운 희토류 원소의 함량은 높은데 비하여 무거운 희토류 원소의 함량은 낮은 분포를 보여준다.

가벼운 희토류 원소에 속하는 La는 137.80–9.70 ppm,

Ce는 286.29–14.52 ppm, Pr은 29.84–1.22 ppm, Nd는 95.60–2.90 ppm, Sm은 14.23–0.49 ppm 사이의 분포를 보인다.

이에 비하여 무거운 희토류 원소에 속하는 Gd는 14.05

–0.12 ppm, Dy는 5.89–0.41 ppm, Ho는 1.25–0.10 ppm, Er은 3.24–0.28 ppm, Yb는 3.46–0.25 ppm, Lu는 0.28–0.03 ppm의 분포이다.

또 Eu의 함량은 3.07–0.08 ppm의 범위에 분포한다.

Table 2. Trace Element contents of Ores.

(ppm)	G12	GB21	GC24	GC25	DB10	DB17	DB33	DB37
Ba	285.00	75.00	74.00	47.00	90.00	580.00	450.00	2305.00
Co	3.00	3.00	1.00	1.00	3.00	4.00	1.00	79.00
Cr	34.00	—	37.00	25.00	11.00	21.00	29.00	74.00
Cu	9.00	9.00	2.00	5.00	3.00	3.00	4.00	6.00
Li	31.00	61.00	18.00	74.00	28.00	122.00	221.00	328.00
Mo	11.00	10.00	—	—	9.00	9.00	—	—
Nb	20.00	17.00	12.00	6.00	6.00	6.00	10.00	9.00
Ni	34.00	20.00	25.00	19.00	17.00	35.00	27.00	31.00
Sc	4.00	2.00	3.00	2.00	2.00	1.00	2.00	2.00
Sr	56.00	505.00	339.00	629.00	626.00	497.00	107.00	447.00
V	9.00	11.00	11.00	5.00	14.00	6.00	15.00	15.00
Y	14.00	3.00	10.00	4.00	4.00	3.00	2.00	4.00
Zn	11.00	—	4.00	2.00	10.00	10.00	3.00	5.00
Zr	135.00	28.00	95.00	59.00	46.00	32.00	33.00	108.00
(ppm)	EW59-3	NH18	NH19	EW59-5	EW59-6	NH20	DC22	DC24
Ba	2087.00	1201.00	583.00	109.00	270.00	1026.00	502.00	895.00
Co	3.00	2.00	1.00	2.00	2.00	4.00	4.00	4.00
Cr	81.00	—	8.00	144.00	113.00	158.00	100.00	174.00
Cu	3.00	12.00	1.00	5.00	3.00	12.00	12.00	15.00
Li	8.00	23.00	12.00	25.00	17.00	43.00	24.00	11.00
Mo	—	11.00	—	—	—	5.00	9.00	12.00
Nb	3.00	18.00	8.00	8.00	5.00	7.00	7.00	9.00
Ni	49.00	42.00	9.00	119.00	98.00	122.00	53.00	131.00
Sc	5.00	13.00	8.00	1.00	1.00	1.00	3.00	6.00
Sr	3028.00	1643.00	326.00	416.00	380.00	149.00	1120.00	586.00
V	71.00	59.00	59.00	16.00	25.00	17.00	77.00	69.00
Y	7.00	8.00	2.00	6.00	4.00	1.00	2.00	3.00
Zn	5.00	11.00	5.00	4.00	4.00	11.00	10.00	10.00
Zr	45.00	121.00	82.00	56.00	24.00	27.00	22.00	35.00
(ppm)	DC43	DC21	DC25	JN9-1	JN11	JN10	OG33	OG53
Ba	634.00	1055.00	515.00	1028.00	70.00	127.00	88.00	78.00
Co	2.00	3.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Cr	55.00	50.00	44.00	72.00	244.00	78.00	77.00	67.00
Cu	4.00	12.00	9.00	2.00	3.00	4.00	3.00	2.00
Li	11.00	19.00	11.00	4.00	1.00	45.00	3.00	5.00
Mo	—	11.00	14.00	—	—	—	—	—
Nb	8.00	13.00	10.00	14.00	9.00	17.00	5.00	8.00
Ni	33.00	39.00	25.00	36.00	117.00	37.00	30.00	33.00
Sc	7.00	5.00	9.00	13.00	5.00	7.00	5.00	7.00
Sr	1039.00	1349.00	480.00	726.00	398.00	665.00	351.00	825.00
V	75.00	67.00	60.00	37.00	21.00	13.00	12.00	20.00
Y	9.00	9.00	10.00	13.00	5.00	4.00	3.00	7.00
Zn	4.00	10.00	11.00	7.00	4.00	5.00	5.00	5.00
Zr	62.00	46.00	65.00	229.00	130.00	154.00	77.00	113.00

Table 2. Continued

(ppm)	OG31	OG32	SB8	SB12	BG14	BG9-9	SB66	SB20
Ba	199.00	271.00	754.00	244.00	785.00	1144.00	118.00	723.00
Co	4.00	2.00	4.00	2.00	2.00	1.00	2.00	1.00
Cr	139.00	-	-	57.00	81.00	54.00	18.00	97.00
Cu	12.00	12.00	9.00	2.00	7.00	6.00	2.00	3.00
Li	72.00	79.00	8.00	32.00	-1.00	61.00	464.00	21.00
Mo	8.00	6.00	14.00	-	-	-	-	-
Nb	9.00	18.00	12.00	8.00	11.00	17.00	2.00	19.00
Ni	131.00	15.00	15.00	22.00	45.00	30.00	7.00	55.00
Sc	5.00	8.00	5.00	4.00	8.00	3.00	1.00	2.00
Sr	375.00	327.00	288.00	423.00	547.00	83.00	1107.00	250.00
V	8.00	7.00	22.00	4.00	23.00	6.00	25.00	6.00
Y	13.00	24.00	2.00	3.00	15.00	6.00	3.00	9.00
Zn	10.00	11.00	10.00	6.00	8.00	8.00	9.00	3.00
Zr	73.00	160.00	86.00	69.00	173.00	128.00	28.00	101.00

* G, GB, GC : Gussi mine, DB : Dado mine, EW, NH : Nohwado mine, DC : Dogcheon mine.
J, JN : Jugjeon mine, OG : Ogmaesan mine, BG, SB : Seongsan mine.

Table 3. REE contents of Ores.

(ppm)	G11	GC21	GC23	GC25	DB16	DB10	DB33	DB37	EW11EW55-3EW59-1EW59-4	NH37EW59-5EW60-1	NH42
La	24.82	14.35	43.99	52.73	32.60	48.83	13.40	29.55	15.68	34.39	51.50
Ce	29.46	14.52	71.74	142.12	44.59	91.27	19.30	52.42	24.52	65.11	102.69
Pr	2.81	-1.22	6.48	15.80	3.83	8.58	1.52	4.55	3.00	5.98	9.78
Nd	7.91	2.90	22.50	45.80	9.36	24.90	4.60	14.80	11.64	20.90	34.30
Sm	1.27	0.49	3.62	6.05	1.31	2.85	0.60	2.17	2.67	4.16	4.71
Eu	0.28	0.10	0.59	0.97	0.35	0.84	0.08	0.39	0.69	1.29	0.98
Gd	1.29	0.12	2.00	2.93	1.55	2.46	0.33	1.50	2.46	2.97	3.16
Dy	0.92	0.26	1.50	1.30	0.97	1.57	0.42	1.47	1.77	2.00	2.02
Ho	0.21	0.08	0.30	0.28	0.21	0.34	0.11	0.35	0.42	0.43	0.34
Er	0.74	0.20	0.79	0.60	0.68	0.90	0.39	1.02	1.21	1.18	0.67
Yb	0.68	0.25	0.92	0.56	0.64	0.97	0.50	1.26	1.27	1.35	0.87
Lu	0.14	0.03	0.14	0.07	0.10	0.14	0.07	0.22	0.20	0.20	0.14
(ppm)	DC21	DC22	DC24	DC25	JN9-1	JN10	JN11	OG5	OG32	OG53	SB5
La	72.13	68.40	43.89	116.38	59.38	107.16	57.57	43.13	76.19	60.33	23.48
Ce	150.09	168.13	90.77	286.29	78.26	222.89	96.58	94.70	129.90	125.35	28.99
Pr	16.47	18.76	9.19	29.84	5.55	24.69	8.16	10.08	9.95	11.97	3.00
Nd	67.71	62.10	32.50	85.30	17.60	95.60	26.07	36.80	24.90	42.00	8.23
Sm	10.64	6.72	4.23	7.78	2.57	14.23	4.01	5.33	2.90	6.09	1.12
Eu	3.07	1.16	0.81	1.67	0.47	2.44	0.73	0.51	0.57	1.51	0.21
Gd	9.10	3.40	2.47	4.26	1.21	5.90	1.79	2.50	3.02	5.04	1.12
Dy	5.89	1.52	1.68	2.30	1.39	2.57	1.24	1.88	4.01	2.52	0.41
Ho	1.25	0.28	0.34	0.45	0.35	0.44	0.28	0.40	0.89	0.43	0.10
Er	3.24	0.42	0.78	0.85	1.07	0.54	0.71	1.09	2.78	1.02	0.40
Yb	3.29	0.37	0.77	0.86	1.71	0.59	1.04	1.35	3.46	1.27	0.33
Lu	0.49	0.05	0.11	0.12	0.28	0.07	0.17	0.21	0.56	0.21	0.06
								SB19	SB65	BG9-1	BG9-9BG9-10
								14.20	73.20	11.20	9.70
								16.74	114.39	19.06	15.10
								-1.22	10.48	1.91	1.76
								4.60	42.40	8.90	8.40
								0.77	12.14	1.81	1.22
								1.12	3.62	0.43	0.25
								0.21	14.05	1.64	1.72
								0.18	1.45	1.56	1.49
								0.51	0.31	0.26	0.25
								0.10	1.07	0.86	0.67
								0.73	1.54	1.06	0.69
								0.24	0.17	0.12	0.09

* G, GC : Gussi mine, DB : Dado mine, EW, NH : Nohwado mine, DC : Dogcheon mine, JN : Jugjeon mine, OG : Ogmaesan mine, BG, SB : Seongsan mine.

고찰

광석들의 광물 조성

편광현미경 관찰과 Xray 회절 분석 결과를 종합해 보면 각 광산에서 산출되는 광석들의 조성광물은 다음과 같다.

구시광산에서 산출되는 광석들의 주구성 광물은 납석, 석영, 고능석, 딕카이트, 다이아스포아, 황철석 등이다. 다도광산의 광석들은 납석, 고능석, 딕카이트, 석영, 다이아스포아, 황철석 등이 주구성 광물이다. 노화도광산의 광석들은 납석, 석영, 고능석, 딕카이트, 다이아스포아, 강옥, 황철석 등으로 구성되어 있다. 독천광산의 광석들은

명반석, 납석, 석영, 고능석, 디카이트, 다이아스포아, 황철석 등으로 구성된다. 죽전광산, 옥매산광산, 성산광산에서 산출되는 광석들은 주로 명반석, 고능석, 디카이트, 석영, 황철석 등으로 구성된다.

위의 결과를 기초로 하여 전남 서남부지역에 분포하는 납석, 고능석, 명반석 광상은 1) 납석 + 고능석 + 디카이트 + 석영 + 다이아스포아 + 명반석의 집합대 2) 납석 + 고능석 + 디카이트 + 석영 + 다이아스포아 + 명반석의 집합대 3) 고능석 + 디카이트 + 석영 + 명반석의 집합대로 분류할 수 있으며 황철석은 모든 광산에 공통으로 적용된다. 연구대상 광산들 가운데 납석 + 고능석 + 디카이트 + 석영 + 다이아스포아 + 강옥의 집합대에 속하는 것으로 생각되는 광산은 구시광산, 다도광산, 노화도광산이며, 납석 + 고능석 + 디카이트 + 석영 + 다이아스포아 + 명반석의 집합대에 속하는 광산은 독천광산이며, 나머지 죽전광산, 옥매산광산, 성산광산은 고능석 + 디카이트 + 석영 + 명반석의 집합대에 속한다.

이러한 광물 집합대의 사이에는 광물조성에 있어서 두 가지의 차이를 보여주고 있는데, 그것은 광석에 명반석의 함유와 납석의 함유에 대한 유무의 차이이다.

광석내에 명반석이 함유될 수 있는지의 여부에 대해서는 Leonard (1927)의 실험을 참고할 수 있다. Leonard (1927)는 몇 종류의 장석들을 H_2SO_4 , Na_2SO_4 , K_2SO_4 등의 산성 용액에 반응시켜 명반석 인공합성실험을 하였다. 그 결과에 의하면 용액에 K의 함량이 많을수록 많은 량의 명반석

이 생성되었다고 했다.

전남 서남부지역의 납석, 고능석, 명반석 광상은 산성 응회암류가 열수변질작용을 받아 생성된 것이기 때문에, Leonard의 실험으로부터 광상을 생성시킨 열수용액에 대하여 다음과 같이 생각을 해볼 수 있다. 만약 광상을 생성 시킨 열수용액이 카리 성분을 포함하고 있었다면 광상내에 명반석이 생성될 수 있었을 것이다. 그러나 열수용액에 포함된 카리의 함량이 명반석을 생성시키기에 불충분했거나 카리를 포함하지 않은 열수용액이었다면 명반석은 생성될 수 없었을 것이고, 모암속에 함유되어 있던 K_2O 만으로는 명반석을 생성시킬 수 없고, 따라서 모암속에 함유되어 있던 K_2O 는 모암속의 다른 알칼리 원소들과 마찬가지로 광상의 하부로 이동해 버릴 것이다. 이론적인 명반석의 K_2O 의 함량은 11.4%로 매우 많은 편이다.

다음에는 광석내에 납석의 생성에 관한 것을 설명해 보도록 하겠다. Table 4는 Noll (1935)에 의해 발표된 점토 광물의 인공 합성 결과에 대한 것이다.

Noll (1935)의 점토광물 인공 합성 실험외에도 다양한 온도, 압력, 화학 성분의 조건하에서 점토광물의 인공 합성에 관한 연구들이 여러 연구자들에 의하여 발표 되어있다 (Ewell and Insley; 1935, Gruner; 1944, Schwarz and Trageser; 1935). 그러나 Noll의 실험에서 보는 바와 같이 근본적으로 납석이 고능석보다 고온의 온도 조건하에서 생성된다는 데에 거의 일치된 결과를 보여준다.

따라서 전남 서남부지역에 분포하는 납석, 고능석, 명반

Table 4. Reaction products in the system $Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ after W. Noll (1935)

Temp., °C (Pressure, atm)	Molecular ratio $Al_2O_3 : SiO_2(H_2O$ constant)					
	1 : 0	>1 : 2	1 : 2	1 : 4	<1 : 4	0 : 1
500 (530-540)	Corundum		Pyrophyllite + ?			
400 (300)			Pyrophyllite + boehmite + kaolinite ?	Pyrophyllite	Pyrophyllite + SiO_2 (amorphous)	
350 (168)	Boehmite	Kaolinte +				SiO_2 (amorphous)
300 (87)			Kaolinite	Kaolinite	Kaolinite + SiO_2 (amorphous)	
250 (41)						

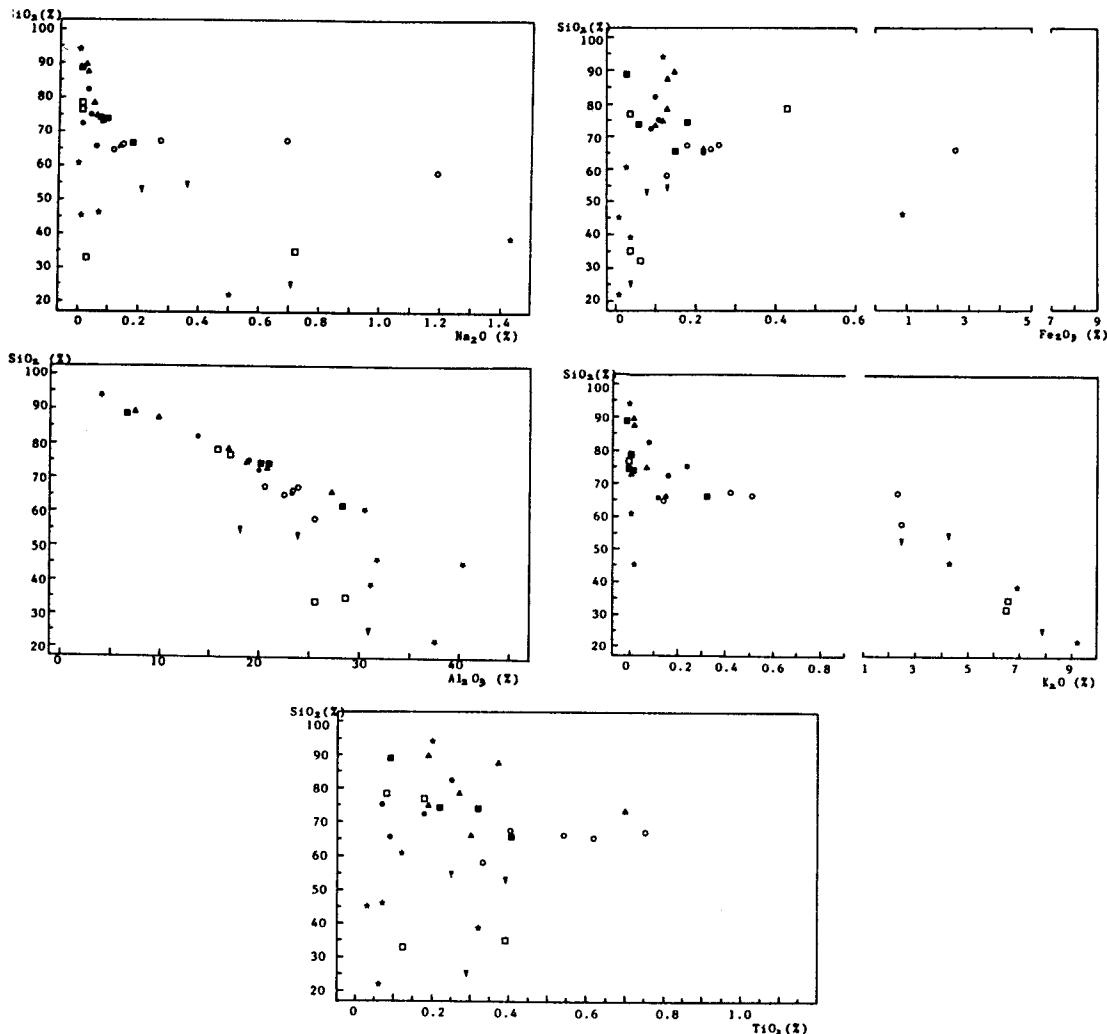


Fig. 3. The relation of SiO_2 and other Major elements. ■: Gussi mine, ●: Dado mine, ▲: Nohwado mine, ○: Dogcheon mine, ▽: Jugjeon mine, □: Ogmaesan mine, ★: Seongsan mine.

석 광상에서 납석이 산출되는 광상이 납석이 산출되지 않는 광상보다 고온의 온도 조건하에서 형성되었다고 생각할 수 있다. 즉 광석내에 납석이 함유되어 있는 구시광산, 다도광산, 노화도 지역의 광산, 독천광산이 광석내에 납석이 함유되어 있지 않은 죽전광산, 옥매산광산, 성산광산 보다 광상을 형성시킨 열수의 온도가 높았을 것이다.

주성분 원소들의 지화학적 거동

Fig. 3은 주성분 원소들 사이의 상관 관계를 알아보기 위한 것으로 SiO_2 함량에 대한 주성분 원소들의 함량을 도표로 나타낸 것이다.

Fig. 3에서 SiO_2 에 대한 Al_2O_3 의 함량은 반비례 하는 경향을 보여준다. 납석질 광석을 산출하는 구시광산, 다도광산, 노화도광산의 광석들은 비교적 일정한 반비례 관계를 나타내는데 비하여 명반석질 광석을 산출하는 독천광산, 죽전광산, 옥매산광산, 성산광산의 광석들은 다소 불규칙적인 관계를 보여주다. 그러한 경향은 명반석 함량이 많은 광석일수록 커진다.

SiO_2 와 Fe_2O_3 사이의 관계에 있어서는 SiO_2 함량이 65% 이하의 함량을 가지는 광석에 있어서는 Fe_2O_3 함량은 낮고, 65% 이상의 SiO_2 함량을 가지는 광석들의 Fe_2O_3 함량은 비교적 높은 편이다. SiO_2 함량이 높고 상

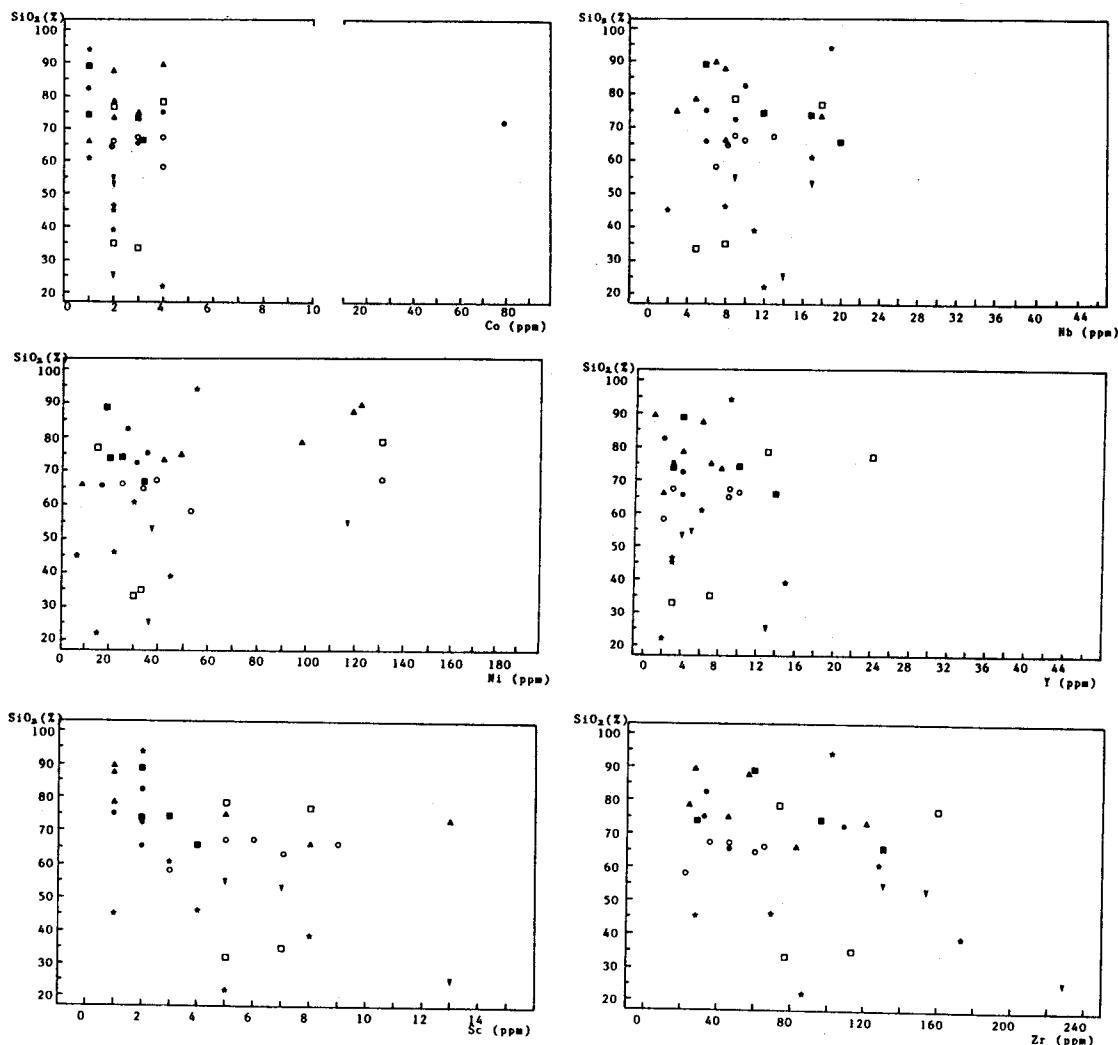


Fig. 4. The relation of SiO_2 and Trace elements. symbols are the same as used in Fig. 3.

대적으로 Al_2O_3 함량이 낮은 광석들은 대개 광상의 하부에서 산출되며 광물조성상 납석 보다는 고능석, 석영의 함량이 많고 변질도도 낮은 광석들이다. 그런데 Fe_2O_3 의 함량이 저변질 광석에서 많고 고변질 광석에서 낮다는 것은 광화작용동안에 Fe_2O_3 의 이동이 활발했다는 것을 나타낸다.

SiO_2 와 Na_2O , K_2O 와의 사이에는 SiO_2 함량이 낮은 시료들의 Na_2O , K_2O 함량이 비교적 높다. 이것은 명반석질 광석들에 있어서 명반석의 함유 때문이라고 생각되는데 광석에 명반석이 함유되면 Al_2O_3 의 함량은 높아지고 상대적으로 SiO_2 의 함량은 낮아지게 될 것이다.

TiO_2 는 후기의 변성 및 변질작용에도 그 함량 변화가 거의 없는 원소로 알려져 있다. Fig. 3에서도 전체의 시료에서 분산되어 나타나서 어떤 일률적인 변화를 볼 수 없다.

Izett (1981)에 의하면 미국 서부에 분포하는 화산암류 가운데 Rhyolitic ash의 SiO_2 의 함량은 74–79%, Al_2O_3 함량은 10.5–14.5%, Fe_2O_3 (FeO 포함)는 0.5–1.9%, MgO 는 0.06%, CaO 는 0.25% 정도이며, Na_2O 와 K_2O 는 이동성이 강해서 측정치에 정확성을 기하기 어렵다고 했다. Bacon (1981) 외의 분석치에 의하면 High silica Rhyolite의 Na_2O 함량은 대략 3–4%, K_2O 의 함량은 4

-6% 정도의 분포를 보인다.

Table 1 과 Izett 등이 보고한 변질되지 않은 산성 화산암류의 분석치를 비교하여 보면 납석질 광석의 경우 변질되지 않은 암석보다 Al_2O_3 함량이 높고, 고농석질 광석의 경우 변질되지 않은 암석보다 Al_2O_3 함량이 높고, 고농석질 광석의 경우 변질되지 않은 암석보다 Al_2O_3 함량은 낮은 반면 SiO_2 함량은 높다. 또 Fe_2O_3 , CaO , MgO 의 함량도 변질되지 않은 암석에 비하여 낮은 편이다. 이동성이 강한 K_2O 와 Na_2O 의 함량은 변질되지 않은 암석에 비하

여 훨씬 낮다. 그러나 명반석질 광석들의 K_2O 함량은 변질되지 않은 암석보다 훨씬 높다.

광화 작용 동안 성분 변화가 거의 없는 Al_2O_3 를 제외하고는 다른 성분들이 거의 결핍되어 있는 것을 보면 광상을 생성시킨 열수의 화학적 조성은 매우 단순했을 것으로 생각된다. 그러나 죽전광산, 옥매산광산, 성산광산과 같이 명반석질 광석이 산출되는 광산들을 형성시킨 열수에는 상당량의 K_2O 가 함유되어 있었을 것이다. 이러한 사실은 Leonard 의 명반석 인공 합성 실험 결과와도 일치한다.

Table 5. Trace elements contents of unaltered rocks.

(ppm)	1	2	3	4	5	6	7	8
Ba	10	465	40	39	317	318	497	208
Co	0.3	1.0	0.65	0.4	30	21	39.5	39.8
Cr	3.0	2.5	2.3	2.6	465	67.5	415	27.4
Cu	-	-	1.4	1.4	28.6	45.3	55.5	227
Li	?	?	62.3	83	28.7	14.0	11.5	8.0
Nb	25	5	15.5	19.2	9.8	3	27	0.8
Ni	3	3	0.66	0.84	142	35.5	140	14.2
Sc	3.0	1.8	5.2	5.4	19	15	29	54
Sr	10	110	30	8	252	294	443	178
V	-	-	9	10.5	130	172	220	578
Y	25	12	46	51	18	22	25	26
Zn	38	40	30	27.2	62.7	67.5	82	110
Zr	85	140	102	98.5	119	123	144	52

* 1, 2 : Rhyolitic tuff, after Wes Hilderth(1979)

* 3, 4 : Japan standard Rhyolite(3 : JR-1, 1982, 4 : JR-2, 1983)

* 5, 6 : Japan standard Andesite(5 : JA-2, 1985, 6 : JA-3, 1986)

* 7, 8 : Japan standard Basalt(7 : JB-1a, 1984, 8 : JB-2, 1982)

Table 7. REE values of unaltered rocks.

(ppm)	1	2	3	4	5	6
La	18	21	17.5	16	14	2.4
Ce	46	49	38	29	23	6.5
Pr	4.8	6.1	5.5	5.9	2.9	1.2
Nd	24	25.5	24.8	14	12	6.5
Sm	7.1	6.2	6.2	3.1	3.2	2.3
Eu	-	0.31	0.13	0.91	-	0.85
Gd	4.1	4.8	7.8	3.9	2.0	3.3
Dy	11.9	6.2	7.7	<1	8	3.85
Ho	-	1.1	1.7	-	-	0.83
Er	-	3.9	5.2	-	-	2.4
Yb	4.5	4.6	5.4	1.6	2.6	2.5
Lu	-	0.68	0.92	0.27	-	0.40

* 1 : Japan standard Granite(JG-2, 1985)

* 2, 3 : Japan standard Rhyolite(2 : JR-1, 1982, 3 : JR-2, 1983)

* 4, 5 : Japan standard Andesite(4 : JA-2, 1985, 5 : JA-3, 1986)

* 6 : Japan standard Basalt(6 : JB-2, 1982)

Table 6. Average and C. N. values of REE.

(ppm)	G ave. (4)	C. N. (4)	DB ave. (4)	C. N. (8)	NH ave. (8)	C. N. (4)	DC ave. (4)	C. N. (3)	J ave. (3)	C. N. (3)	OG ave. (3)	C. N. (6)	SB ave. (6)	C. N. (6)
La	33.97	102.95	31.09	94.23	43.63	132.22	75.20	227.88	74.70	226.37	59.88	181.46	25.45	77.11
Ce	64.46	74.52	51.89	59.99	75.52	87.31	173.82	200.95	132.58	153.27	116.65	134.86	36.89	42.65
Pr	5.97	48.91	4.62	37.87	7.20	58.99	18.56	152.17	12.80	104.92	10.67	87.43	3.00	24.62
Nd	19.78	31.39	13.41	21.29	26.29	41.73	61.90	98.26	46.63	74.02	34.57	54.87	13.42	21.30
Sm	2.86	14.08	1.73	8.53	3.94	19.42	7.34	36.17	6.94	34.17	4.77	23.51	3.91	19.29
Eu	0.48	6.30	0.41	5.39	0.87	11.25	1.68	21.79	1.21	15.76	0.86	11.21	1.14	14.78
Gd	1.58	5.76	1.46	5.31	2.82	10.27	4.81	17.48	2.97	10.79	3.52	12.80	5.45	19.82
Dy	0.99	2.91	1.11	3.24	1.95	5.71	2.85	8.33	1.73	5.07	2.80	8.20	1.57	4.58
Ho	0.22	2.86	0.25	3.32	0.38	5.00	0.58	7.63	0.36	4.69	0.57	7.54	0.27	3.53
Er	0.58	2.59	0.75	3.32	0.91	4.06	1.32	5.88	0.77	3.44	1.63	7.24	0.67	2.96
Yb	0.60	2.74	0.84	3.83	1.14	5.19	1.32	6.01	1.11	5.06	2.03	9.21	0.82	3.74
Lu	0.09	2.79	0.13	3.90	0.17	5.11	0.19	5.66	0.17	5.10	0.33	9.61	0.13	3.87

* C. N. : Chondrite-Normalized

* G : Gussi mine, DB : Dado mine, NH : Nohwado mine, DC : Dogcheon mine, J : Jugjeon mine, OG : Ogmaesan mine, SB : Seongsan mine.

미량원소 및 희토류 원소들의 거동

Fig. 4는 광석들의 미량 원소값과 SiO_2 함량과의 관계를 도표로 나타낸 것이다. Fig. 4에서 Co, Ni, Sc는 SiO_2 의 함량에 관계없이 낮은 함량분포를 나타낸다. SiO_2 의 함량에 관계가 없이 일정한 분포를 나타낸다는 것은 광화작용의 정도와는 무관하게 일정한 양이 함유되어 있다는 것을 말한다. 그래서 이 원소들의 분포는 모암내의 이 원소들의 함량을 반영한다고 말할 수 있을 것이다. 그런데 Co, Cr, Ni, Sc 등의 원소는 마그마로 부터 분화초기에 형성된 암석에 농집하는 경향이 있다고 알려져 있다(Curitis, 1964; Mason, 1982). Table 5에서도 유문암질 암석보다 현무암질 암석내에 이들 원소의 함량이 높은 것을 볼 수 있다. 따라서 이들 원소들의 분포 경향에 미루어 광상의 모암이 마그마 분화 후기에 형성된 것으로 생각된다.

Cann (1970), Field 외(1974)에 따르면 Ti, Zr, Y, Nb, Ga, Ce, Sc 등의 원소는 비유동성 원소로써 후기의 변질작용이나 변성작용에도 함량의 변화가 별로 없는 원소들로 알려져 있다. 따라서 광석들의 비유동성 원소들의 함량은 광상의 모암의 함량과 비슷할 것인데, 광석들의 비유동성 원소들의 함량은 Table 5에서 변질되지 않은 산성 화산암들과 비슷하게 나타나서 광상의 모암이 마그마 분화 후기의 산물이라는 것을 지지한다.

Table 6은 광석들의 희토류 원소 함량의 평균값에 대한 Condrite-Normalized 값이다. 또 Table 7은 변질되지 않은 화성암류의 희토류 원소 함량이다.

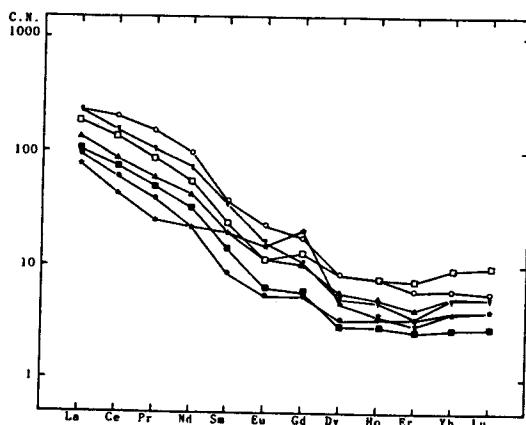


Fig. 5. Condrite normalized REE patterns of Ores. ■: Gussi mine, ●: Dado mine, ▲: Nohwado mine, ○: Dogcheon mine, ▽: Jugjeon mine, □: Ogmaesan mine, ★: Seongsan mine.

암석내에 희토류 원소의 분포상태는 그 암석의 분화과정을 지시하는 중요한 단서를 제공한다. 일반적으로 마그마의 분화과정에서 무거운 희토류 원소는 분화 초기에 형성되는 암석에, 가벼운 희토류 원소는 분화 말기의 산물에 집중되는 것으로 알려져 있다. 따라서 분화 말기 산물인 산성 화성암류에서는 가벼운 희토류 원소가 무거운 희토류 원소에 비하여 농집되어 있으며, 이러한 현상은 Table 7의 암석들의 희토류 분포표에서도 잘 볼 수 있다.

그런데 광석들의 희토류 원소 분석치도 무거운 희토류 원소에 비하여 가벼운 희토류 원소가 농집되어 있으며, 이러한 사실은 광석들의 미량 원소 분석 결과와 함께 광상의 모암이 마그마 분화 말기의 산물을 확실히 하고 있다.

그러나 Table 7의 변질되지 않은 암석의 희토류 함량에 비하여 Table 3의 광석들의 희토류 함량은 가벼운 희토류 원소와 무거운 희토류 원소 함량 차이가 훨씬 크게 나타나 있다. 그 이유에 대해서는 다음과 같이 생각해 볼 수 있다.

암석이 후기 변질작용을 받는 동안 암석내에 희토류의 함량 변화는, 암석내에 희토류의 농도, 암석과 접촉하는 유체내에 희토류의 농도, 유체의 pH, 유체에 대한 광물의 상대적 안정도 등에 따라 달라진다(Humphris; 1984). 광상의 모암인 산성 화산암류가 광화작용을 받는 동안 접촉한 유체는 2가지가 있다. 하나는 지표수 기원의 지하수와 또 하나는 마그마 기원의 열수이다.

지표수 기원의 지하수는 그 근원이 강수이므로 희토류의 농도는 낮고 pH는 중성에 가깝다. 따라서 광화작용 동안 광석의 희토류 함량에 큰 변화를 줄 수 없었을 것이다. 그러나 마그마 기원의 열수는 함유된 희토류의 종류와 농도가 다양했을 것이며 암석이 광화작용을 받는 동안에 광석의 희토류 함량에 변화를 줄 수 있었을 것이다.

전남 서남부지역에는 납석, 고능석, 명반석 광상이 형성된 백악기말을 전후하여 불연속적으로 계속된 화성활동이 여러차례에 걸쳐 있었다는 것이 여러 연구자들에 의해서 밝혀져 있다(이대성 외; 1976, 원종관 외; 1988, Paik et al; 1979). 또 광상지역 또는 광상인접지역에는 광상이 형성되어 있는 유문암질 응회암층의 상하부에서 산성 화산암류나 산성 화성암류의 관입을 발견할 수 있다. 이러한 사실로 미루어 볼 때 광상을 형성시킨 열수 중에 마그마 기원의 열수는 산성의 화성암류를 형성시킬 수 있는 마그마로부터 유래되었다고 생각할 수 있으며 따라서 이 열수의 희토류 함량은 산성 화성암류와 비슷하게 가벼운 희토류의 농집과 무거운 희토류의 결핍이 있었을 것이다. 열수의 이러한 성질은 광화작용을 받는 동안 광석의 희토류 함량에

있어서 가벼운 희토류와 무거운 희토류의 차이를 모암에서의 차이보다 크게 했을 것으로 생각된다. Fig. 5은 광석들의 희토류 원소의 함량의 Condrite normalized 값을 도표로 나타낸 것인데 무거운 희토류에 비하여 가벼운 희토류의 농집을 잘 볼 수 있다.

결 론

연구 결과를 종합해 보면 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

1. 편광현미경 관찰과 X-ray 회절 분석 등의 광석들의 광물 조성 연구에 따르면 전남 서남부지역의 납석, 고능석, 명반석 광상은 납석 + 고능석 + 디카이트 + 석영 + 다이아스포아土 강옥의 집합대, 납석 + 고능석 + 디카이트 + 석영 + 다이아스포아 + 명반석의 집합대, 고능석 + 디카이트 + 석영 + 명반석의 집합대로 나눌 수 있다.

2. 각 광물집합대 사이에는 납석과 명반석의 함유 유무의 차이가 있는데 이러한 차이가 생기게 된 원인은, 첫째 납석이 함유되어 있는 광상은 납석이 함유되어 있지 않은 광상보다 고온의 온도 조건하에서 생성된 것으로 생각되며, 둘째 명반석이 함유된 광상을 생성시킨 열수용액에는 상당량의 K_2O 가 함유되어 있었기 때문으로 생각된다.

3. 광상을 생성시킨 열수용액의 화학적 성질은 명반석을 함유하는 광상의 경우 상당량의 K_2O 가 함유되는 것을 제외하고는 비교적 단순했을 것이다.

4. 미량 원소 분석과 희토류 원소 분석 결과에 의하면 광상의 모암은 마그마 분화 말기의 산물로 생각된다.

참 고 문 헌

- 대한광업진흥공사, 1986, 납석광, 광상시추조사보고 Vol. 9, 497-522.
 대한광업진흥공사, 1987, 납석, 고령토, 비금속광물특성조사보고서(납석, 고령토 편).
 대한광업진흥공사, 1988, 납석, 고령토, 한국의 광상 Vol. 11, 비금속편, 81-269.
 박병철, 1974, 독천지역 명반석 광상 조사보고, 지질광상 조사 보고, pt. 2, 광상조사 연구편, 141-160.
 박희인, 1982, 활석 및 납석광상, 한국의 지질과 광물자원, 연세대학교 지질학과 동문회, 367-373.
 신상은, 1988, 구시납석 광산의 광물조성과 광산성인에 대한

- 연구, 대한광산학회지, Vol. 25, No. 1, 1-9.
 원종관, 이문원, 1988, 추자군도 유문암질 용회암의 연대측정, 대한지질학회지 Vol. 24, No. 1, 82-83.
 이대성, 이하영, 1976, 한국 서남해안지역에 분포하는 함유질 물층에 대한 지질학적 및 지구화학적 연구, 광산지질 Vol. 9, No. 1, 45-74.
 Bacon, C. R., Macdonald, R., Smith R. L. and Baedecker, P. A., 1981, Pleistocene high-silica Rhyolites of the Coso volcanic field, Inyo County, California, J. Geophys. Res., Vol. 86, 10223-10241.
 Cann, J. R., 1970, Rb, Sr, Y, Zr, Nb in some ocean floor basaltic rocks. Earth Planet. Sci. Lett., Vol. 10, 7-11.
 Curits, C. D., 1964, Applications of the crystal-field theory to the inclusion of trace transition elements in minerals during magmatic differentiation. Geochim. Cosmochim. Acta, Vol. 28, 389-403.
 Ewell, R. H. and Insley, H., 1935, Hydrothermal Synthesis of Kaolinite, Dickite, Beidellite and Nontrollite. J. Res. Nat. Bur. Std., Vol. 15, 173-186.
 Field, D. and Elliott, R. B., 1974, The chemistry of gabbro amphibolite transitions in south Norway. Contrib. Miner. Petrol., Vol. 47, 63-76.
 Gruner, J. W., 1944, Hydrothermal Alteration of Feldspars in Acid Solutions between 300° and 400°C. Econ. Geol., Vol. 29, 578-589.
 Humphris, S. E., 1984, The mobility of the rare earth elements in the crust. 317-342. in: Rare earth element Geochemistry. edited by P. Henderson, Elsevier Amsterdam Co.
 Izett, G. A., 1981, Volcanic ash bed: Recorders of upper Cenozoic silicic pyroclastic Volcanism in the Western United States. J. Geophys. Res., Vol. 86, 10200-10222.
 Leonard, R. J., 1927, The hydrothermal alteration of certain silicate minerals. Econ. Geol., Vol. 22, 1843.
 Mason, B. and Moor, C. B., 1982, Principles of Geochemistry. John Wiley and Sons Co.
 Noll, W., 1935, Mineralbildung im system $Al_2O_3 \cdot Si_2O \cdot H_2O$. Neues Jahrb. Mineral. Geol., Beil. Bd. A, 70, 65-115.
 Paik, K. H., Yoon, K. S., Kim, E. H., Freeland, M. H., 1979, Geology and Geochronology of Gwangju Fault Area. Jour. Geo. Soc. Korea, Vol. 15, 201-209.
 Schwarz, R. and Trageser, G., 1935, Ueber die Synthese des Pyrophyllis. Z. Anorg. Allgem. Chem. Vol. 225, 142-150.
 Wes Hildreth, 1979, The Bishop Tuff: Evidence for the origin of compositional zonation in silicic magma chambers. Geol. Soc. Amer. Special Paper 180 in Ash-Flow Tuffs (Edited C. E. Chapin and W. E. Elston).

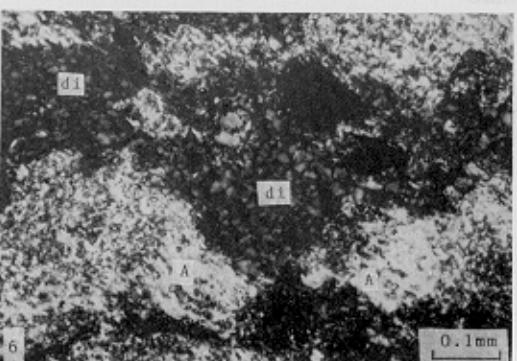
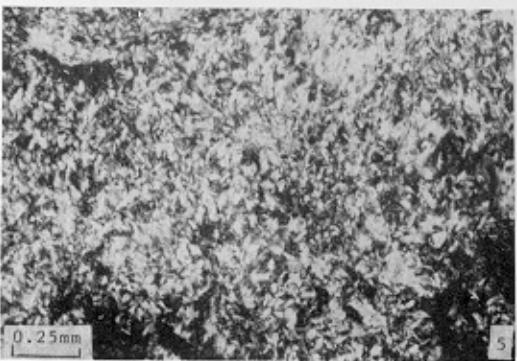
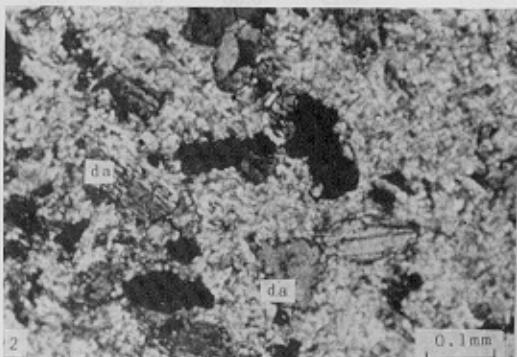
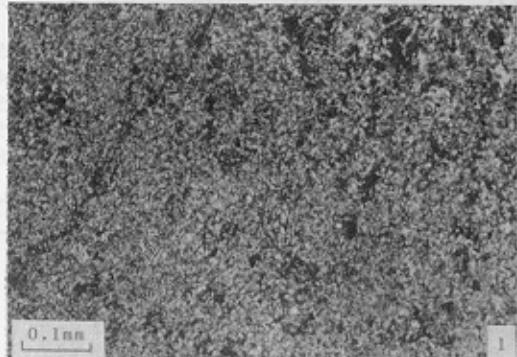


Fig. 3 Photomicrographs of ores from various deposits. 1) Pyro-millite segregates of Gosses mine