

해남 옥매산 - 성산광상 Acid - Sulfate 변질대에서 금 함량에 관한 연구*

尹 定 漢**

Gold Abundance in Acid-Sulfate Alteration Zone of the Ogmaesan - Seongsan Ore Deposits in Haenam Area, Korea*

Chung-Han Yoon**

ABSTRACT: Gold contents with major and trace elements have been determined in 67 fresh igneous and altered wall rocks in the acid-sulfate alteration zone of the Ogmaesan-Seongsan pyrophyllite deposits in the Haenam area of the south-western part of Korean peninsula.

The results are as follows; (1) Li contents have a tendency to show high value in dickite and altered rocks with dickite, while As, Mo and Sb contents have tendencies to show high values in alunite vein and silicified zone. F contents are higher in the altered rocks compared to fresh rocks. (2) Gold contents are enriched in alunite vein and silicified zone of the Seongsan deposit, but depleted in dickite and altered rock with dickite. Gold contents are especially concentrated in fault or conjunction area of two faults. (3) Gold contents are higher values in the mineral assemblages of alunite-quartz-pyrite and alteration zone of the Seongsan deposit among the studied deposits. (4) Gold contents in samples of silicified zones tend to show positive correlations with Ag, As, Co, Hg, Sb and V content, but negative correlations with Y and Zr contents, while on the other gold contents of silicified tuffs tend to show positive correlations with Hg and Sb contents.

Therefore it is important to survey alunite vein and silicified zone at the conjunction of faults, and to analyze pathfinder elements such as Ag, As, Hg and Sb for geological and geochemical exploration of gold in the studied deposits.

서 론

수년 전부터 환태평양지역에 분포된 화산암의 acid-alteration과 acid leached residual silica에 수반된 금의 광화작용에 관해서 지질학자들의 관심이 고조되어 왔다 (e.g.; Izawa, 1990; Hedenquist, 1987; Kwak, 1990; Rye, 1990; Rytuba and Miller, 1990; White, 1990). 학문적 관심 이외도 이러한 형태의 광상에서 실제로 150톤 이상의 금이 함유되어 있음이 밝혀지면서 광상학자들의 관심을 끌게 되었다. 이러한 형태의 광상들은 그 특징적인 지질작용이나 분포된 지역의 이름을 따서 Nansatsu type, Acid-sulfate type, Kaolinite-alunite type 또는 Low or high sulfidation type로 명명되고 있으며 이러한 형태의 광상들은 카오린

나이트, 명반석, 다이아스포 또는 납석 등을 포함하는 변질대에서 배태됨이 특징인데 이는 acid fluid (pH<2)와 신선한 모암과의 반응 때문인 것으로 알려져 있다. 이러한 형태의 금광상의 생성시기는 주로 신생대 제 3기에서 제 4기이지만 Australia의 Temora광상 (Thompson et al., 1986)은 고생대 후기에서 중생대 초에 생성된 것으로 밝혀진 경우도 있다. 김영희 등 (1990)은 우리나라의 옥매산광상의 경우도 산출되는 광석광물의 산출상태, 광물조합 및 지구 화학적 연구결과 등을 토대로 Acid-sulfate 용액에 의해서 모양이 변질되어 이루어진 것임을 밝힌 바 있고 White (1990)는 경상계에 분포하는 점토질광상을 Temora type로 분류한 바 있다.

이러한 형태의 광상에 대한 연구는 Ransome (1907)에 의해서 Goldfield 지역에서 명반석에 수반된 금광상에 대한 연구를 시작으로 Grout and Schwartz (1927)가 Black Hills의 alunitic gold ore를 연구한 바 있으며 최근에는 Enters and Coolbaugh (1987), Heald et al. (1987), Stoff-

* 이 연구는 전남대학교 학술연구조성비로 이루어진 것임.

** 전남대학교 공과대학 자원공학과 (Department of Mineral and Energy Engineering, College of Engineering, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea)

regen (1987), Hedenquist (1987), Hedenquist et al. (1988) 그리고 White and Hedenquist (1990) 등에 의해 많은 연구가 이루어진 바 있고 국내에서는 木野崎吉郎 (1927)에 의해서 해남 옥매산 광산을 대상으로 명반석에 대한 자원조사 일환으로 조사된 이후 김규봉 (1970), 박병철 (1974), 문희수 (1975), 유장한 (1985), 이성록, 김문영 (1985), 이해정 등 (1985), 정영욱, 전효택 (1990), 김영희 등 (1990), 전효택 등 (1991), 문희수 등 (1990), 문희수 등 (1991)에 의해서 해남지역 화산암류와 납석 및 고령토광물에 대해서 광물광상학적 연구, 지구화학적 연구 및

연대측정 등에 관한 연구가 이루어진 바 있다.

본 연구에서는 Acid-sulfate변질대로 알려진 옥매산-성산광장에서 명반석과 납석질 광물, 모암인 화산암류와 이들 화산암류를 관입하고 있는 심성암류를 대상으로 주성분원소, Au 및 Au와 지구화학적으로 친화력이 비교적 강한 Ag, As, Bi, Sb 및 Te 등과 같은 미량원소를 정량적으로 분석하여 본 연구지역에 발달된 Acid-sulfate변질대에서 금함량과 분포경향을 연구하되로서 국내의 Acid-sulfate 변질대에서 금광상에 대한 지구화학적 탐광에 필요한 기초자료를 제공하는데 연구의 목적이 있다.

Table 1. Average and range of major components of the samples from the studied area (Unit in percentage).

	Alunite-Quartz(n=2)			Dickite(n=10)			Dickite-Quartz(n=2)			Silicified zone(n=6)			Silicified tuff(n=11)		
	Max	Min	Av.	Max	Min	Av.	Max	Min	Av.	Max	Min	Av.	Max	Min	Av.
SiO ₂	48.66	41.08	44.87	54.72	45.81	48.08	66.58	62.74	64.66	98.25	72.3	84.79	76.45	66.1	72.73
Al ₂ O ₃	29	24.13	26.57	40.07	32.05	37.8	29.98	29.11	29.55	25.89	0.47	12.53	26.89	14.51	20.29
Fe ₂ O ₃	1.38	0.07	0.73	0.71	0.03	0.21	0.07	0.05	0.06	0.94	0.14	0.44	2.33	0.12	0.42
MgO	0	0	0	0.01	0	0.001	0.01	0	0.01	0.01	0	0.002	0.41	0	0.05
CaO	0.21	0.03	0.12	0.04	0	0.01	0.02	0.02	0.02	0.05	0.01	0.03	0.09	0	0.04
Na ₂ O	1.26	0.72	0.99	0.04	0	0.008	0.01	0.01	0.01	0.66	0.01	0.13	1.14	0.02	0.39
K ₂ O	6.79	5.65	6.22	0.33	0	0.05	0.03	0.03	0.03	2.94	0.03	0.55	5.86	0.11	4.04
TiO ₂	0.45	0.31	0.38	0.13	0	0.06	0.13	0.05	0.09	0.71	0.17	0.34	0.67	0.07	0.28
P ₂ O ₅	0.15	0.11	0.13	0.19	0.04	0.08	0.1	0.06	0.08	0.13	0.01	0.07	0.16	0.03	0.09
MnO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.15	0	0.01

	Alunite vein-tuff(n=6)			Rhyolite(n=5)			Alunite(n=5)			Tuff(n=8)		
	Max	Min	Av.	Max	Min	Av.	Max	Min	Av.	Max	Min	Av.
SiO ₂	80.8	53.42	73.30	81.28	63.17	73.87	6.49	5.18	5.68	77.88	70.31	74.43
Al ₂ O ₃	33.14	14.54	19.56	27.37	12.14	16.38	36.27	34.39	35.37	16.46	13.18	14.46
Fe ₂ O ₃	2.43	0.52	1.15	7.21	0.64	3.00	0.25	0.01	0.09	4.81	1.55	2.74
MgO	0	0	0	0.55	0	0.18	0	0	0	1.75	0.29	0.63
CaO	0.01	0	0.008	0.83	0	0.31	0.1	0.01	0.04	2.36	0.11	0.94
Na ₂ O	0.19	0	0.07	4.1	0	2.19	2.24	0.49	1.48	4.3	0.13	2.62
K ₂ O	2.96	0.05	1.09	4.85	0.01	2.50	7.96	6.64	7.35	4.63	1.96	3.35
TiO ₂	0.09	0	0.06	0.39	0.12	0.24	0.37	0	0.09	0.47	0.12	0.25
P ₂ O ₅	0.1	0.02	0.05	0.07	0.03	0.05	0.25	0.05	0.16	0.18	0.02	0.07
MnO	0	0	0	0.1	0	0.04	0	0	0	0.09	0.01	0.05

	Andesite(n=1)			Granitic rocks(n=3)			Diorite(n=1)			Quartz porphyry(n=6)		
	Max	Min	Av.	Max	Min	Av.	Max	Min	Av.	Max	Min	Av.
SiO ₂	58.21	58.21	58.21	76.58	67.28	71.99	54.77	54.77	54.77	77.48	69.45	73.83
Al ₂ O ₃	17.04	17.04	17.04	15.79	12.84	14.57	17.2	17.2	17.2	15.81	12.33	14.12
Fe ₂ O ₃	8.19	8.19	8.19	4.01	1.59	2.74	8.99	8.99	8.99	2.93	1.50	1.91
MgO	3.68	3.68	3.68	1.51	0.08	0.69	5.19	5.19	5.19	0.65	0.05	0.37
CaO	3.68	3.68	3.68	4.46	0.6	2.10	8.3	8.3	8.3	2.1	0.34	0.96
Na ₂ O	5.41	5.41	5.41	4.52	3.12	3.84	2.66	2.66	2.66	4.45	3.78	3.98
K ₂ O	2.21	2.21	2.21	3.96	2.46	3.17	1.09	1.09	1.09	4.58	3.68	4.10
TiO ₂	0.83	0.83	0.83	0.6	0.08	0.34	0.9	0.9	0.9	0.3	0.05	0.20
P ₂ O ₅	0.24	0.24	0.24	0.21	0.04	0.11	0.34	0.34	0.34	0.14	0.03	0.07
MnO	0.15	0.15	0.15	0.15	0.06	0.09	0.14	0.14	0.14	0.1	0.04	0.08

Table 2. Average and range of trace element contents of the samples from the studied area.

	Alumite-Quartz (n=2)			Dickite (n=10)			Dickite-Quartz (n=2)			Silicified zone (n=6)			Silicified tuff (n=11)			Alumite vein-tuff (n=6)			Rhyolite (n=5)		
	Max	Min	Av.	Max	Min	Av.	Max	Min	Av.	Max	Min	Av.	Max	Min	Av.	Max	Min	Av.	Max	Min	Av.
Ag	23	21	22	816	6	110.6	39	27	33	708	18	175	226	13	58.81	7359	70	1584.8	128	21	50
Au	29.4	1.4	15.4	22.8	2.3	5.89	4.8	3.1	3.95	35.5	7.6	18.3	9.7	0.5	2.95	259	29.8	85.15	1.7	0.6	0.98
As	34.5	0.3	17.4	76.6	0.2	10.48	2.6	2	2.3	45.2	1	14.55	6	0.3	2.15	240	8.3	110.3	213	3.2	60.96
Ba	961	554	757.5	2805	37	1135	1807	132	969.5	2154	65	569	1708	111	711.8	1818	485	1043	1542	17	809.8
Bi	0.14	0.08	0.11	0.77	0.05	0.23	0.13	0.11	0.12	0.66	0.11	0.30	0.33	0.05	0.14	0.68	0.1	0.22	0.83	0.1	0.29
Cd	0.02	0.02	0.02	0.06	0.02	0.025	0.03	0.02	0.025	0.08	0.02	0.04	0.3	0.02	0.06	0.34	0.02	0.12	0.17	0.02	0.08
Cl	0.02	0.01	0.015	0.12	0.01	0.041	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.02	0.05	0.01	0.02	0.07	0.01	0.03
Co	2	1	1.5	5	2	3.4	3	2	2.5	5	1	2	3	1	1.81	11	2	4.17	3	1	2.2
Cr	62	30	46	24	4	13	41	17	29	211	33	100.67	219	23	113.6	135	13	90.5	16	6	9.8
Cu	3	2	2.5	5	1	2.2	3	2	2.5	10	1	4.33	4	1	2.63	6	2	3.5	23	2	8.6
Ga	0.5	0.2	0.35	1.2	0.1	0.52	1.4	0.1	0.75	0.5	0.1	0.3	1	0.1	0.32	0.1	0.1	0.1	2.8	1.3	1.86
F	1530	830	1180	1980	990	1354	1530	1350	1440	1440	150	878.33	1620	560	1016.2	1170	660	873.3	1350	80	604
Hg	1.23	0.06	0.65	0.57	0.02	0.19	0.02	0.02	0.02	0.5	0.03	0.14	0.58	0.02	0.11	0.9	0.08	0.26	0.46	0.02	0.13
Li	6	2	4	457	86	208.6	170	136	153	138	1	57.17	47	2	15	53	22	41	52	25	33.6
Mo	6.82	0.36	3.59	15	0.03	2.22	0.38	0.25	0.32	35.1	0.42	9.64	3.18	0.7	2.02	9.28	2.39	4.35	57.5	0.19	12.2
Nb	18	14	16	19	1	9.9	13	7	10	27	11	19.5	26	4	15.18	12	2	9.17	31	7	16.2
Ni	13	9	11	9	4	6.3	10	8	9	60	11	31.83	43	7	23.91	38	17	24.83	8	0	4.4
Pb	1.55	1.2	1.38	19.2	0.37	6.02	3.87	2.55	3.21	25.2	1.37	8.36	40.2	1.08	5.33	43.7	4.32	16.23	26	8.84	15.1
Rb	17	16	16.5	7	6	6.7	6	6	6	8	4	6.17	268	5	59.54	25	5	12.83	132	6	70.6
Sb	3.81	1.58	2.90	4.96	0.11	1.53	0.22	0.2	0.21	5.4	0.65	2.26	2.1	0.07	0.80	47.2	2.27	10.23	8.61	0.05	2.45
Sc	8	8	8	5	0	2.8	3	2	2.5	11	3	6	11	4	6.91	4	2	3	14	3	7.4
Se	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.23	0.2	0.2	0.2
Sr	965	756	860.5	1540	79	444.6	529	290	409.5	637	10	375.5	787	20	386.1	423	21	157.17	253	12	113
Te	0.07	0.07	0.07	0.07	0.05	0.06	0.07	0.07	0.07	0.14	0.05	0.09	0.09	0.05	0.07	0.08	0.05	0.07	0.1	0.05	0.06
Tl	0.5	0.5	0.5	0.7	0.5	0.54	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.52	0.5	0.5	0.5	8	0.5	1.75	0.5	0.5	0.5
V	19	19	19	22	6	16.1	21	17	19	33	3	12.83	41	5	15.45	15	3	7.17	24	2	9.4
Y	19	12	15.5	6	0	2.8	5	3	4	26	8	15.67	31	4	15.09	11	2	6.83	52	17	32.2
Zn	26	13	19.5	38	9	14.3	13	13	13	37	10	16.67	75	10	22.4	35	10	21.3	253	6	36.3
Zr	274	195	234.5	151	1	61.8	84	41	62.5	336	115	201.67	385	44	161.8	75	6	54.33	329	89	174.4

Unit in ppm. Unit of Au and Ag: ppb. Number of analyzed specimens in parenthesis.

Table 2. Continued.

	Alunite(n=5)			Tuff(n=8)			Andesite(n=1)			Granitic rocks(n=3)			Diorite(n=1)			Quartz porphyry(n=6)		
	Max	Min	Av.	Max	Min	Av.	Max	Min	Av.	Max	Min	Av.	Max	Min	Av.	Max	Min	Av.
Ag	66	13	33	251	29	101.3	797	797	797	202	24	114.67	52	52	52	129	17	71.33
Au	6	0.2	2.76	5	0.3	1.73	21.7	21.7	21.7	11.6	0.9	5.93	0.9	0.9	0.9	17.9	0.7	4.45
As	1.5	0.2	0.58	31.2	0.3	6.08	4.2	4.2	4.2	2	0.8	1.57	1	1	1	1.6	0.8	1.25
Ba	779	309	538.2	1231	315	766.1	710	710	710	883	175	560.33	521	521	521	1066	59	734.33
Bi	0.06	0.05	0.05	0.4	0.06	0.18	1.4	1.4	1.4	0.4	0.1	0.23	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cd	0.02	0.02	0.02	0.3	0.02	0.12	0.55	0.55	0.55	0.41	0.1	0.20	0.12	0.12	0.12	0.16	0.02	0.1
Cl	0.12	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.07	0.07	0.07	0.07	0.01	0.03	0.05	0.05	0.05	0.2	0.01	0.08
Co	2	2	2	10	1	4.6	19	19	19	9	2	4.33	27	27	27	6	2	2.83
Cr	15	6	10.8	302	3	48.8	34	34	34	26	9	16.33	81	81	81	8	3	4.5
Cu	4	0	1.6	23	3	10.5	48	48	48	19	3	13.33	26	26	26	16	2	8.67
Ga	0.3	0.1	0.14	7.6	0.5	2.2	17.4	17.4	17.4	7.6	2.2	4.17	10.6	10.6	10.6	7.5	3	4.82
F	1080	470	788	540	170	307.5	740	740	740	400	100	296.67	380	380	380	200	40	125
Hg	0.22	0.02	0.11	0.07	0.02	0.03	0.09	0.09	0.09	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02
Li	29	4	13.4	208	26	59.25	113	113	113	50	21	33	40	40	40	35	14	28.5
Mo	0.23	0.03	0.12	3.4	0.02	0.57	1.68	1.68	1.68	1.43	0.09	0.84	0.63	0.63	0.63	3.84	0.34	0.96
Nb	8	1	3	17	8	11.6	6	6	6	18	10	14.67	8	8	8	25	7	11.5
Ni	7	3	5	97	2	17.8	15	15	15	8	4	5.33	29	29	29	4	2	3.33
Pb	2.9	0.41	1.21	37.7	2.45	17.71	17.4	17.4	17.4	34.8	6.52	17.77	7.96	7.96	7.96	20.5	8.02	14.47
Rb	24	6	13	233	75	121.5	64	64	64	153	82	112.33	22	22	22	198	117	1499
Sb	0.27	0.07	0.13	0.63	0.05	0.14	0.3	0.3	0.3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Sc	8	2	5	9	3	5.1	21	21	21	6	4	5.33	24	24	24	4	2	2.67
Se	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2	0.23	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Sr	943	234	660.6	238	49	146.5	528	528	528	466	46	229.33	274	274	274	442	14	238.5
Te	0.15	0.05	0.08	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Tl	0.5	0.5	0.5	0.7	0.5	0.53	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
V	107	11	43	67	5	19.25	17	17	17	48	2	20	17	17	17	28	2	14.17
Y	4	1	1.8	37	19	25.75	22	22	22	37	15	28.33	23	23	23	35	16	21.83
Zn	275	7	62	160	14.9	62.3	143	143	143	128	53	89.63	84.3	84.3	84.3	68.1	27.5	52.05
Zr	91	6	31.2	220	68	115.3	110	110	110	249	21	119.33	111	111	11	76	51	56.67

시료채취와 연구방법

본 연구대상 광산을 중심으로 해남-진도에서 10개의 신선한 심성암류, 1개의 안산암, 3개의 진도유문암 그리고 8개의 응회암류를 시료로 채취하였으며 변질대에서는 광상의 노두에서 24개 (성산광산에서 11개, 옥매산광산에서 13개) 성산광산의 갱내에서 19개의 시료를 채취하였는데 이중 명반석과 명반석-석영의 광물조합을 보이는 시료가 7개, 명반석맥 주변에서 8개, 덕카이트와 덕카이트-석영의 광물조합군에서 12개, 규화대에서 6개 그리고 규화작용을 받은 응회암에서 11개와 성산 및 옥매산광산에 발달된 변질대중의 Au함량변화와 비교하기 위해서 해남광산에서 4개의 시료와 독천광산에서 2개의 명반석을 시료로 채취하였다.

채취된 시료에서 각각 2~3개의 박편을 제작하여 현미경관찰을 하였으며 채취된 시료들은 X-선회절분석과 원소함량분석을 위해 실온(20~25°C)에서 건조시킨 후 200

mesh 이하의 분말로 만들었다. 시료를 분쇄할 때 오염을 방지하기 위하여 Tungsten-carbide로 제작한 rod mill과 agate mortar를 사용하였다.

X-선회절분석은 조선대학교 자원공학과에 설치된 Rigaku사 Geigerflex D/max rA를 사용하였으며 분석조건은 Cu-K α 선을 사용하여 가속전압 35 Kv, 전류 15 mA, Scanning speed 2°/min, divergent slit 0.5 mm, receiving slit 0.3 mm로 0~46° 2 θ 구간을 분석하였다.

화학분석은 영국 런던대학 Royal Holloway Bedford New College 지질학과 실험실과 캐나다의 ACTALAB에 의뢰하여 ICP 및 GFAAS를 사용하여 45개의 주성분 및 미량원소를 분석하였다.

결과 및 고찰

편광현미경 관찰과 X-선회절분석 결과에 의하면 성산광산과 옥매산광산의 변질대에서 산출되는 주구성광물은

명반석, 디카이트 및 석영 등이고 이들에 수반해서 견운모, 엽납석, 황철석 및 적철석 등의 광물이 소량으로 산출되는데 일반적으로 명반석-석영-황철석 및 디카이트-석영-황철석의 광물조합을 보여준다.

주성분 원소

본 연구대상 광산을 중심으로 해남-진도에 분포하는 심성암류, 화산암류 및 응회암류의 주성분함량은 Table 1과 같다. 흑운모화강암, 홍색장석화강암, 화강섬록암 및 석영반암류와 같은 심성암류중의 SiO₂함량은 67.3~77.5%인데 2개의 시료를 제외한 나머지 시료의 SiO₂함량은 72% 이상으로 분화말기 산물임을 지지하고 있다. 유문암질암은 광화작용을 받은 지역내에서 변질작용을 받은 암석과 변질작용을 받지 않은 비교적 신선한 암석으로 대별된다. 변질작용을 받은 유문암질암석은 규화작용을 심하게 받았으나 유상구조가 뚜렷이 관찰되는 암석과 짙은 홍색을 띠면서 고령토화작용을 받은 암석으로 분류할 수 있는데 전자는 81.3%의 높은 SiO₂함량을 나타내는 반면에 후자는 63.1%로 SiO₂함량이 결핍된 현상을 보여주며 변질을 받지 않은 유문암질암의 SiO₂함량은 73~78%이다. 응회암질암의 SiO₂함량이 70.3~77.9%로 높은 것으로 보아 산성화산회의 응결체임을 지지하며 규화대에서 채취한 시료의 SiO₂함량은 72~98%로 변화가 심하다.

Al₂O₃함량은 심성암류에서는 12.3~17%인데 1개의 시료만 분석된 섬록암을 제외하면 12.3~15.8% 범위이다. 유문암질암중의 Al₂O₃함량은 고령토화작용을 받은 홍색유문암이 27.4%로 높은 반면 규화작용을 심하게 받은 유문암과 변질을 받지 않은 유문암에서는 12.1~14.9% 범위이다. 변질을 받지 않은 응회암중의 Al₂O₃함량은 13~16% 범위이나 대체로 13%로 비교적 균질한 반면에 변질대내에서 채취한 응회암류에서는 14.5~26.9%로 변화가 심하다. 명반석-석영 광물조합군과 디카이트-석영의 광물조합군에서 Al₂O₃함량은 24~29%로 비교적 균질한 경향을 보여주는 반면에 규화대에서 채취한 시료에서 Al₂O₃함량은 0.47~25.89%로 심하게 변화한다. 디카이트 중 Al₂O₃함량은 32~40% 범위를 보여주나 대부분의 시료는 36~39%의 좁은 함량범위이며 명반석 중 Al₂O₃함량은 34.5~36.3% 범위인데 이는 이론적인 함량인 37%보다 약간 낮다.

Fe₂O₃함량은 심성암류와 변질을 받지 않은 유문암 및 응회암중의 Fe₂O₃함량보다는 변질을 받은 유문암 및 응회암 그리고 디카이트 및 명반석에서 낮은 경향을 보여주는데 디카이트와 명반석시료에서는 Fe₂O₃는 각각 0.03~0.71% (평균함량; 0.2%)와 0.01~0.25% (평균함량; 0.09%)

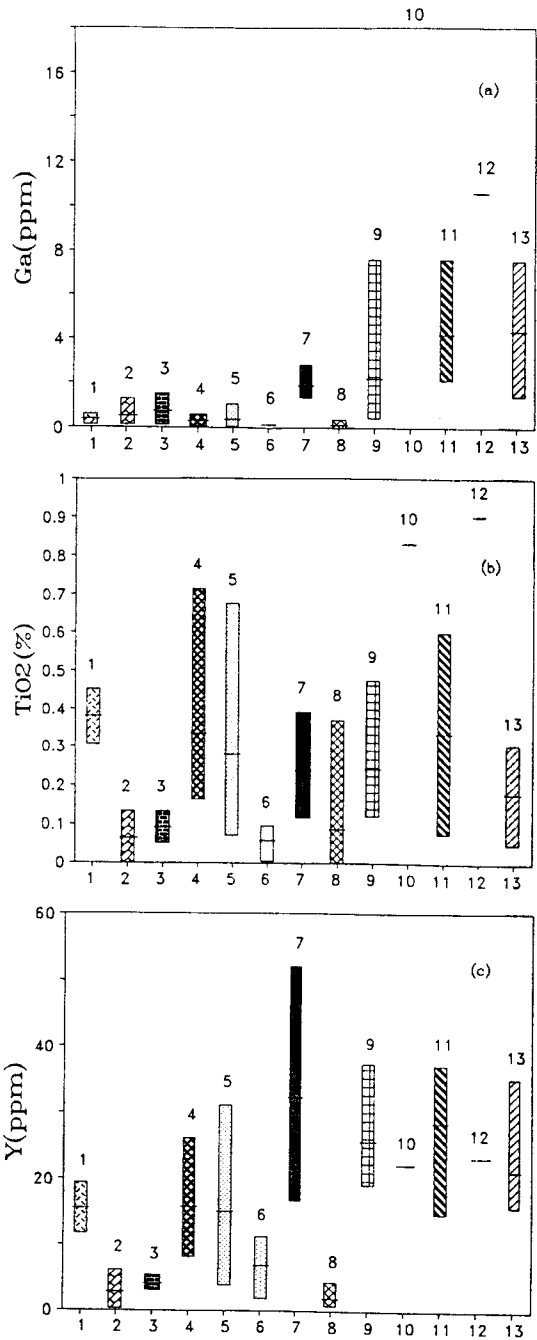


Fig. 1. Average and range of Ga (a), TiO₂ (b) and Y (c) content for the samples from the studied area. Numbers are: 1; Alunite-Quartz, 2; Dickite, 3; Dickite-Quartz, 4; Silicified zone, 5; Silicified tuff, 6; Alunite vein, 7; Rhyolite, 8; Alunite, 9; Tuff, 10; Andesite, 11; Granitic rocks, 12; Diorite, and 13; Quartz porphyry.

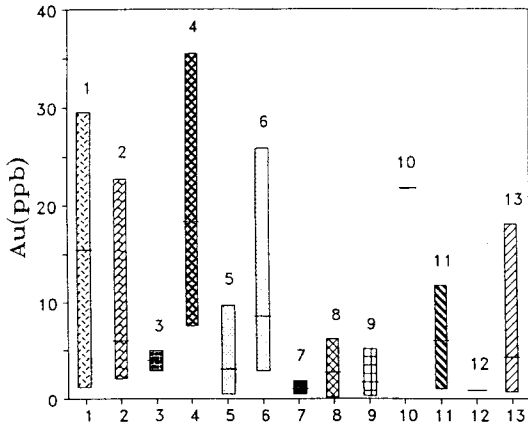


Fig. 2. Gold content of the samples from the studied area. Numbers are the same as those in Fig. 1.

로 낮는데 이는 신상은, 박홍봉 (1990)이 분석한 결과와 유사하나 김영희 등 (1990)의 분석결과보다는 약간 낮은 경향을 보여준다. 고령토화작용을 받은 유문암과 명반석-석영의 광물조합을 보이는 시료에서 Fe₂O₃ 함량이 7.2%와 1.4%로 높은 함량을 나타내는 것은 김영희 등 (1990)이 제안한 바와 같이 공생하는 적철석의 영향 때문인 것으로 보인다. MgO와 MnO 함량은 변질을 받은 암석시료와 디카이트 및 명반석 중에서는 0%이거나 거의 0%에 가까울만큼 결핍되어 있으며 P₂O₅ 함량은 변질대와 비변질대에서 함량변화가 거의 없다.

CaO와 Na₂O 함량은 비변질대에 비해서 변질대에서 결핍된 경향을 보여주며 명반석에서 Na₂O 함량은 0.5~2.2%로 높는데 이는 Na⁺가 K⁺를 치환한 결과로 사료된다. K₂O 함량은 디카이트, 디카이트-석영, 그리고 규화대에서 채취한 시료에서는 대부분이 0.4% 미만으로 결핍되나 명반석과 명반석-석영 광물조합을 보이는 시료에서는 3% 이상이며 명반석 중 K₂O 함량은 6.6~8.0%로 이론적인 함량인 11.0%에는 미달되나 K⁺가 Na⁺에 의해서 치환된 Na₂O₃ 함량을 더하면 명반석 중 K₂O 함량은 9% 이상에 이른다.

미량원소

Table 2는 본 연구대상 광산과 광산 주변에서 산출되는 광물시료와 암석시료를 분석한 결과를 나타낸 것이다. Ba 함량변화는 대체로 불규칙하나 유문암질암석에서는 변질을 받지 않는 시료에서보다 변질을 받은 시료에서 훨씬 낮은 경향을 보여준다. 마그마분화 초기에 농집되는 것으로 알려진 Co, Cr, Ni 및 Sc 등의 미량원소 함량은 변질

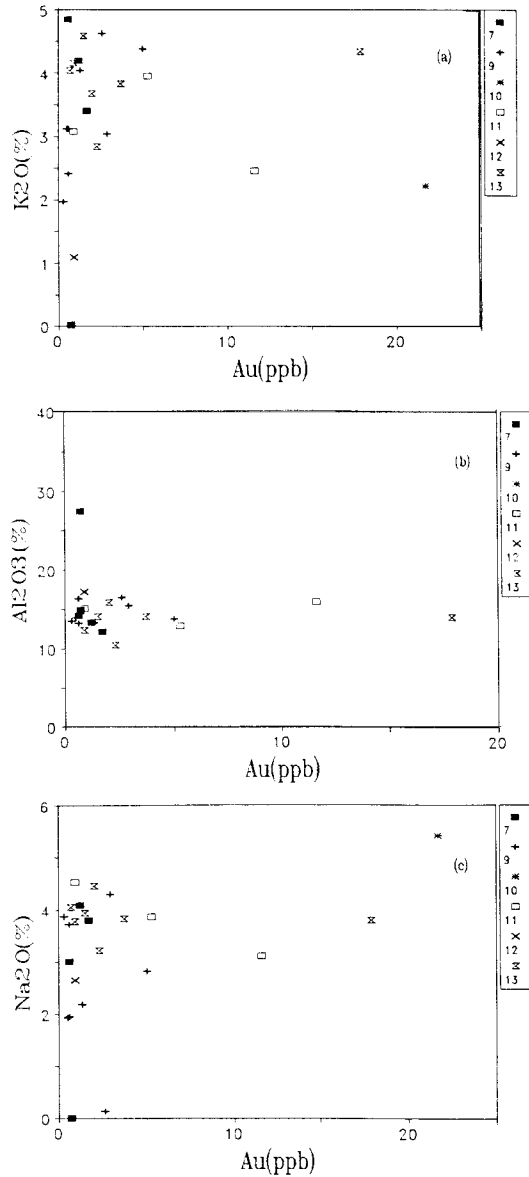


Fig. 3. Binary plots of K₂O (a), Al₂O₃ (b) and Na₂O (c) vs. Au contents of tuff, rhyolite and granitic rocks from the studied area. Numbers with symbols are the same as those in Fig. 1.

대중의 시료에서는 각각 1~11 ppm, 4~219 ppm, 4~60 ppm, 0~11 ppm이고 비변질대 시료에서는 각각 1~10 ppm, 3~302 ppm, 0~97 ppm 및 2~14 ppm으로 서로 유사하나 Cr 함량은 모암인 유문암질암에서는 6~16 ppm (평균함량; 9.8 ppm)으로 비교적 낮고 균일한 반면에 응회암질암과 규화작용을 받은 응회암질암에서는 각각 3~

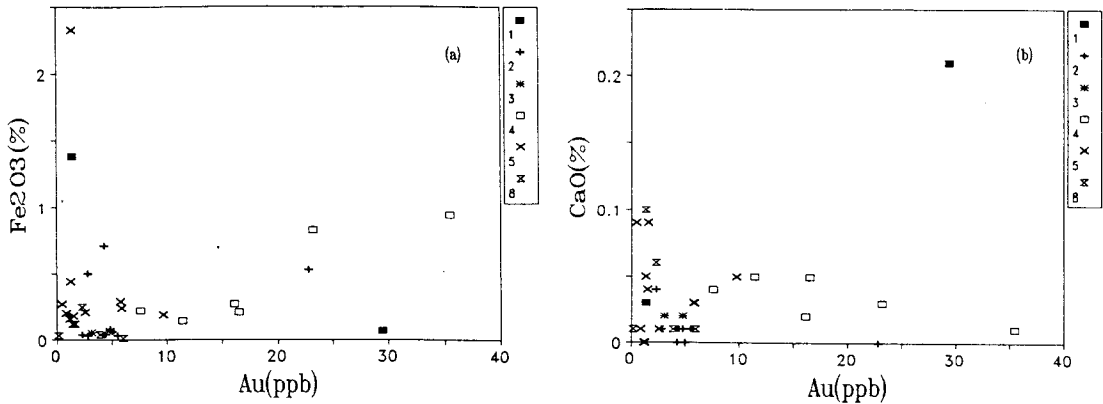


Fig. 4. Binary plots of Fe₂O₃ (a) and CaO (b) vs. Au contents of silicified zone from the studied deposits. Numbers with symbols are the same as those in Fig. 1.

302 ppm (평균함량; 49 ppm) 및 23~219 ppm (평균함량; 114 ppm)으로 높고 함량변화가 큰 것으로 보아 화산분출 시 소량의 중성의 화산회가 비산된 것으로 유추해 볼 수 있다. Ni함량도 대부분의 시료에서는 낮은 함량을 나타내는 것으로 보아 분화말기 산물임을 지시하나 규화대에서 채취한 시료와 규화작용을 받은 응회암질암에서 11~60 ppm (평균함량; 31.8 ppm)과 7~43 ppm (평균함량; 23.9 ppm)으로 약간 높은 경향을 보여준다.

Ce, Ga, Nb, Sc, Ti, Y 및 Zr 등은 비유동성군의 원소들로서 이차적 변질작용이나 변성작용에도 함량변화가 별로 없는 것으로 알려져 있다(Cann, 1970; Field and Elliott, 1974; Hermann et al., 1974). 본 연구에서는 Ce, Nb, Sc 및 Zr 등의 원소는 변질대와 비변질대에서 뚜렷한 함량차가 없는 것으로 보아 열수변질작용을 받는 동안에 이들 원소들의 이동이 별로 없었던 것으로 사료된다. 그러나 Ga, TiO₂ 및 Y는 약간의 이동이 있었음을 시사해 주고 있다 (Fig. 1. a, b, c). 즉 Ga함량은 변질을 받은 암석과 디카이트 및 명반석에서는 0.1~1.4 ppm (평균함량; 0.1~0.75 ppm)인 반면에 비변질암석에는 0.5~7.6 ppm (평균함량; 1.9~4.8 ppm)으로 비변질대에서 보다는 변질대에서 Ga함량이 결핍된 경향을 보여준다 (Fig. 1a). TiO₂ 및 Y함량도 디카이트, 산점상의 명반석과 맥상의 명반석에서 뚜렷하게 결핍된 것으로 나타난다(Fig. 1b, c).

Co, Li, Pb, Rb 및 Sr함량은 사장석내에서 Na₂O와 관련성이 있다고 알려져 있다 (Heiser, 1962). 본 연구에서는 이들 원소들의 함량과 Na₂O함량과는 관련성이 드러나지 않는데 이는 현미경관찰에서도 사장석이 드물게 관찰되는 것과 일치하고 있다. Li함량은 명반석이나 명반석-석영의 광물조합을 보이는 시료와 규화작용을 받은 응회암시료에서 각각 4~29 ppm, 2~6 ppm, 2~47 ppm (평균함량;

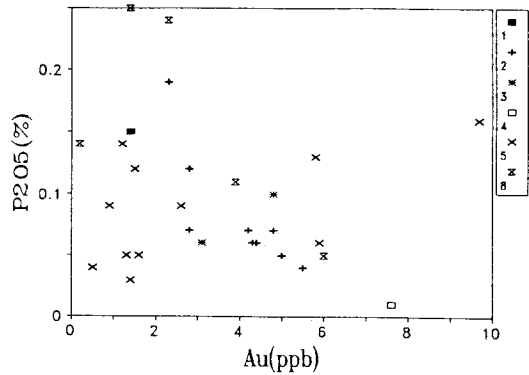


Fig. 5. Binary plots of P₂O₅ vs. Au contents of the silicified tuff and dickite from the studied deposits. Numbers with symbols are the same as those in Fig. 1.

13, 4, 12 ppm)으로 낮은 경향을 보여주는 반면에 디카이트와 디카이트-석영의 광물조합을 보이는 시료에서는 각각 86~457 ppm과 136~170 ppm (평균함량; 각각 219 ppm, 153 ppm)으로 높은 경향을 나타낸다. Sr함량은 특정한 경향을 나타내지 않으며 Pb함량은 명반석을 함유한 시료에서 뚜렷이 낮은 함량을 나타낸다.

As, Mo 및 Sb함량은 맥상의 명반석과 규화대의 시료에서 약간 높은 함량을 보여주고 기타 다른 시료에서는 특징적인 함량변화를 찾아보기 힘들다. Bi, Se, Te 및 Tl함량도 대부분이 검출한계 이하이거나 특징적인 함량변화를 보여주지 않는다. Cl함량의 경우도 석영반암을 제외한 대부분의 시료에서 검출한계 이하이며 F함량은 변질대에서 780~1440 ppm으로 비변질대에서의 F함량 40~540 ppm보다 높은 경향을 보여주는데 이는 변질대에서의 F함량은 지각평균함량 625 ppm 또는 화강암중의 평균함

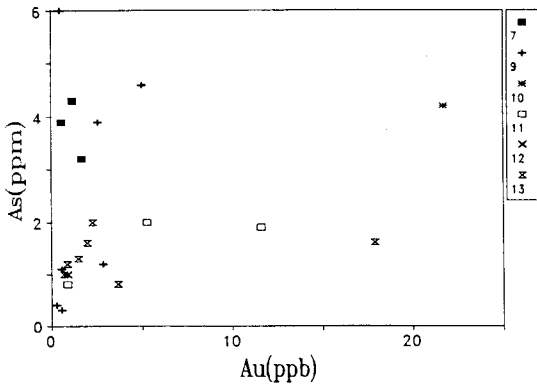


Fig. 6. Binary plots of As vs. Au contents of fresh rocks from the studied area. Numbers with symbols are the same as those in Fig. 1.

량 735 ppm (Levinson, 1974)보다 부화되었음을 시사해 준다.

Au 함량 변화

변질을 받지 않는 유문암, 응회암, 화강암질암 및 석영 반암에서 Au 함량은 흑운모화강암의 11.6 ppb와 석영반암 중의 1개 시료에서 17.9 ppb를 제외하고는 5 ppb 이하로 지각평균 Au 함량인 4 ppb 미만이 대부분이다 (Table 2, Fig. 2). 안산암중 Au 함량은 21.7 ppb로 Crocket (1974)가 제시한 1.5~6.5 ppb보다는 높으나 김문영 등 (1988)이 양산지역에 분포하는 안산암중에서 얻은 1.6~44 ppb (평균함량; 23 ppb)와는 유사한 값을 나타낸다. 섬록암 중의 Au 함량은 0.9 ppb인데 분석 시료수가 적어서 비교하기 힘들지만 본 연구지역에 분포하는 심성암 중 Au 함량도 역시 국내 심성암류 중 Au 함량 분포경향 즉, 염기성암에서 보다는 산성암류중에서 Au 함량이 더 높다는 Yoon (1991)의 결과와 일치하고 있다.

상술한 바와 같이 본 연구지역에서 Au 함량은 대부분의 시료에서 5 ppb 이하로 낮은 경향을 보여주지만 변질대 특히 맥상의 명반석대와 규화대에서 채취한 시료에서 Au 함량은 각각 30~259 ppb (평균함량; 85 ppb), 7.6~35.5 ppb (평균함량; 18 ppb)로 이상치를 나타냈다 (Fig. 2). 반면에 덩카이트를 포함하는 시료에서는 1개의 시료 (22.8 ppb)를 제외하고는 5.5 ppb 이하로 낮은 경향을 보여준다. 덩카이트 시료 중 22.8 ppb로 가장 높은 함량을 나타내는 시료는 검정색을 띠는 고품위의 덩카이트질 납석 (Al₂O₃ 함량; 38.8%)이며 채취한 장소는 -36 m level에서 2개의 단층이 접촉하는 장소에서 채취한 것이다. 같은 장소에서

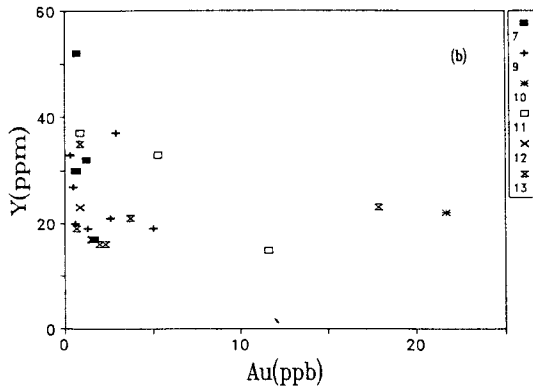
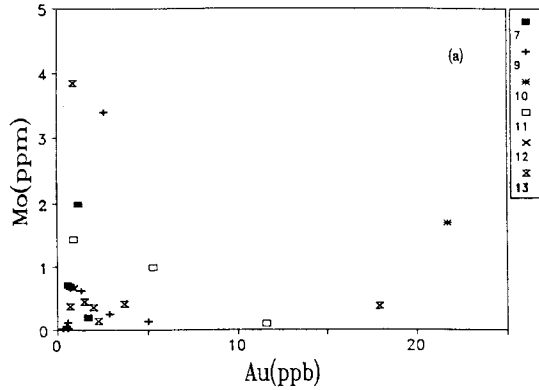


Fig. 7. Binary plots of Mo (a) and Y (b) vs. Au contents of the fresh rocks from the studied area. Numbers with symbols are the same as those in Fig. 1.

채취한 규화작용을 심하게 받은 (SiO₂; 함량 98%) 시료에서도 Au 함량이 23.2 ppb로 비교적 높은 경향을 나타내는 것으로 보아 단층을 따라서 열수용액이 상승하면서 Au를 부화시킨 것으로 해석된다.

일반적으로 Acid-sulfate 변질대에서 Au는 황화광물에 수반되어 산출되는 것으로 알려져 있다 (e.g.; White, 1990). 본 연구대상 광장에서 황화광물로는 황철석이 관찰되고 그 밖의 황화광물은 발견되지 않는다. 본 연구에서 육안으로 황철석이 감정되는 시료는 성산광산에서 맥상의 명반석 및 검은색을 띠는 고품위의 납석과 해남광산의 -91 m 깊이에서 채취한 코아시료 등 3개인데 이들 중 맥상의 명반석 시료에서만 Au 함량이 높을 뿐 다른 시료에서 Au 함량은 5 ppb 이하였다. 따라서 본 연구지역에서는 맥상의 명반석-석영-황철석 광물조합에서 Au가 부화될 가능성이 높음을 지시하고 있다.

일반적으로 옥매산, 해남 및 독촌광산에서 보다는 성산광산에서 Au 함량이 더 높으며 특히 옥매산, 독촌과 성산광산에서 산출되는 명반석에서 평균함량이 각각 2.6 ppb,

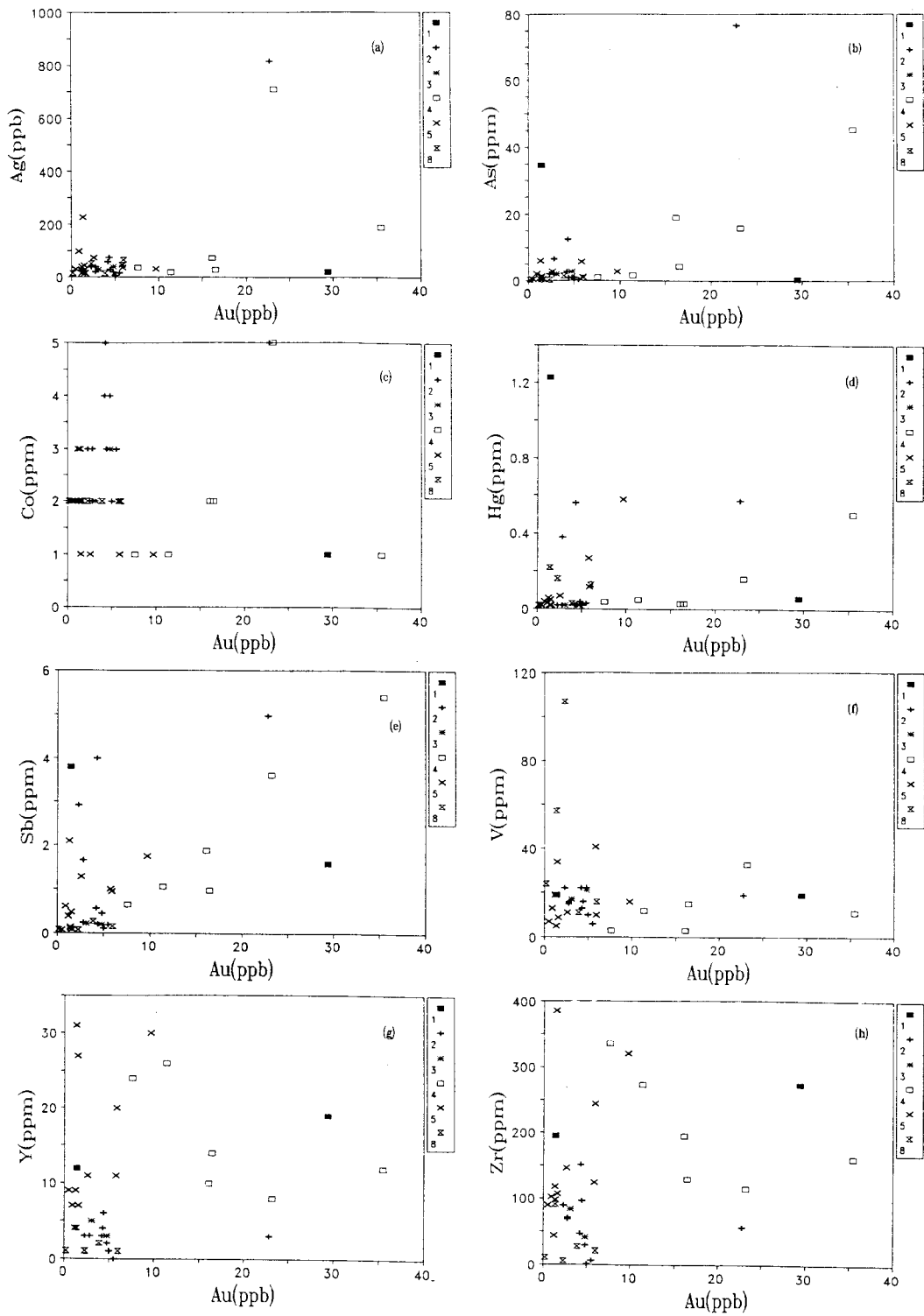


Fig. 8. Binary plots of Ag (a), As (b), Co (c), Hg (d), Sb (e), V (f), Y (g) and Zr (h) vs. Au contents of the altered rocks from the studied deposits. Numbers with symbols are the same as those in Fig. 1.

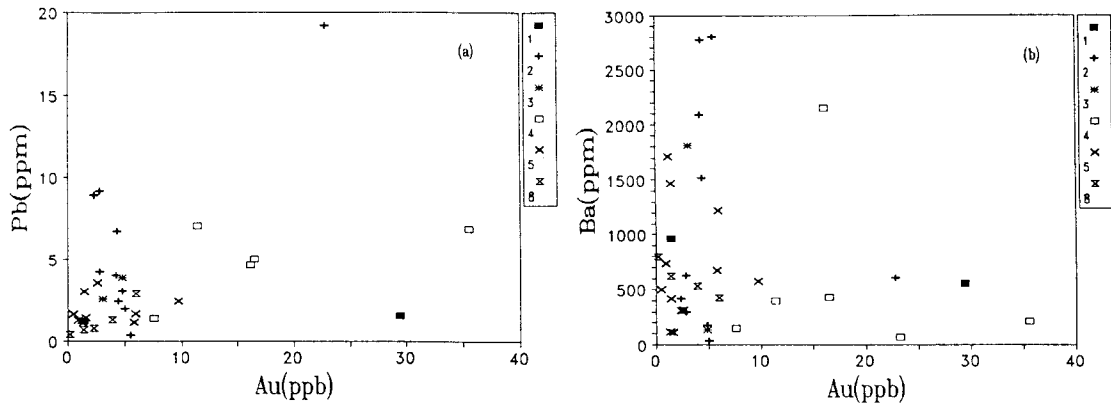


Fig. 9. Binary plots of Pb (a) and Ba (b) vs. Au contents of altered rocks from the studied deposits. Numbers with symbols are the same as those in Fig. 1.

1.9 ppb와 17.8 ppb로 성상광산에서 뚜렷하게 높은 경향을 보여준다.

Au 함량과 주성분 원소 함량과의 관계는 다음과 같다. 변질을 받지 않는 암석에서 응회암 중의 Au 함량은 K_2O 가 증가함에 따라서 증가하는 경향을 나타내는 반면에 유문암질 중 Al_2O_3 와 화강암질암 중 Na_2O 함량은 감소하는 경향을 나타낸다 (Fig. 3a, b, c). 변질대에서는 Au 함량이 증가함에 따라서 규화대에서 채취한 시료 중의 Fe_2O_3 함량은 증가하는 경향을 나타내는 반면에 CaO 함량은 감소하는 경향을 나타낸다 (Fig. 4a, b). 규화작용을 받은 응회암에서는 Au 함량이 증가함에 따라서 P_2O_5 함량이 증가하는 경향을 나타내지만 디카이트에서는 감소하는 경향을 나타낸다 (Fig. 5).

이상의 결과는 Rytuba and Miller (1990)가 금광상 주변의 변질작용을 받은 모암 중에서 K_2O 와 Fe_2O_3 함량은 증가하는 반면에 Na_2O 와 CaO 는 감소하는 경향을 나타낸다는 결과와 유사한 경향을 보여주고 있다.

As, Bi, Cd, Cu, Hg, Mo, Sb, Se, Te 및 Tl 등의 원소 함량은 Au 함량과 깊은 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 특히 친동원소인 As, Bi, Sb 및 Te는 일차환경에서 이동도가 크기 때문에 일차분산 범위가 타원소에 비해 광범위하다. 이들 원소들은 Cu, Pb 및 Zn과 더불어 특히 황화광물광산에서 많이 배태되는데 As와 Sb는 Cu-Ag-Au-Zn-Cd-Hg-Ba-U-Sn-Pb-P-Bi-Se-Te-Nb-Ta-Mo-W-Fe-Ni-Co-Pt 등의 금속원소와 지구화학적 수반관계가 있기 때문에 국지적 또는 광역적 탐사의 지시원소로 이용되어 왔다 (Boyle and Jonasson, 1973; Boyle, 1974). Te는 마그마에서 분리되어 황에 수반되어 광범위하게 일차분산하는 원소로서 Au-Ag 광상 탐사에 이용된다 (Fose et al.,

1979). 이외에도 Ag와 Rb 등의 원소도 금은광상 탐사에 대한 지시원소로 알려져 있다 (Al-Atia and Barnes, 1975).

본 연구지역에 분포하는 변질을 받지 않는 암석 중 응회암과 석영반암 중의 As 함량은 Au 함량이 증가함에 따라서 증가하는 경향을 나타내는 반면에 (Fig. 6) 화강암질암에서 Mo와 Y 함량은 Au 함량이 증가함에 따라서 감소하는 경향 (Fig. 7a, b)을 보여준다. 변질대에서는 규화대에서 채취한 시료에서 Ag, As, Co, Hg, Sb 및 V 등의 원소 함량은 Au 함량이 증가함에 따라서 증가하는 경향 (Fig. 8a, b, c, d, e, f)을 나타내는 반면에 Y 및 Zr 함량은 Au 함량이 증가함에 따라서 감소하는 경향 (Fig. 8g, h)을 보여준다. 규화작용을 받은 응회암에서 Hg, Sb 및 Zr 등의 원소 함량은 Au 함량이 증가함에 따라서 증가하는 경향 (Fig. 8d, e, h)을 보여주고 명반석에서는 Pb 함량이 증가함에 따라서 Au 함량이 증가하는 경향을 보여주는 반면에 Ba 함량은 감소하는 경향을 보여준다 (Fig. 9a, b).

이상의 결과는 많은 연구자들 (e.g.; Saarnisto et al., 1990; Kwak, 1990; Lestinen et al., 1991; Plant et al., 1990)에 의해서 천연수금은광상 주변에서 얻은 결과와 유사하기 때문에 본 연구지역에서 금광상 탐사도 전술한 바와 같이 단층을 따라서 발달되는 규화대와 맥상의 명반석을 대상으로 탐사를 시도하는 것과 동시에 규화작용을 받은 응회암 중의 Ag, As, Sb 및 V 등의 원소를 지시원소로 해서 탐광하는 것이 유망할 것으로 사료된다.

결론

옥매산광상과 성상광상의 Acid-sulfate 변질대와 그 주변에 분포하는 암석 중 주성분 및 미량원소 함량 분석,

Au함량과 지구화학적 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 이 지역의 변질대에서 비유동성원소들 중 Ga, Ti 및 Y 등의 원소함량이 결핍된 것으로 보아 열수변질을 받은 동안에 약간의 이동이 있었던 것으로 판단된다.

2) Li함량은 덕카이트 혹은 덕카이트를 함유하는 시료에서 부화되는 경향을 보여주며 As, Mo 및 Sb함량은 맥상의 명반석과 규화대 시료에서 높은 함량을 나타내며 F함량은 비변질대보다 변질대에서 부화된 경향을 보여준다.

3) Au함량은 성산광상의 맥상의 명반석과 규화대에서 부화되는 경향을 나타내는 반면에 덕카이트를 포함하는 변질대에서는 낮은 경향을 보여주는데 특히 단층면이나 두개의 단층이 접촉하는 장소에서 Au가 부화되는 경향을 나타낸다.

4) 본 연구대상 광산중 다른 광산에 비해서 성산광산에 분포하는 변질대에서 Au함량이 높은 경향이 뚜렷하며 황철석을 포함하는 모든 시료에서 Au함량이 높지 않고 성산광상의 명반석-석영-황철석의 광물조합군에서만 Au함량이 높다.

5) 규화대에서 채취한 시료에서 Au함량은 Ag, As, Co, Mg, Sb 및 V함량과 정의 상관관계를 나타내는 반면에 Y 및 Zr함량과는 부의 상관관계를 보여주고 규화작용을 받은 응회암 중 Au함량은 Hg, Sb, Zr함량과 정의 상관관계를 나타낸다.

6) 이 지역에서 금광탐사를 위한 지질학적 탐사는 규화대와 맥상의 명반석을 타겟(target)로 정하고, 지구화학적 탐사는 단층을 따라서 발달한 규화대 및 규화작용을 받은 응회암중에서 Au, Ag, As, Sb 및 Zr를 지시원소로하여 탐광하는 것이 유망할 것으로 판단된다.

謝 辭

이 연구는 전남대학교 학술연구조성연구비 지원으로 "해남 옥매산-성산광상 Acid-sulfate 변질대에서의 금함량에 관한 연구"로 수행된 연구이며 연구비를 지원해 주신데 대하여 깊은 감사를 드린다. X-선분석실험을 해 주신 조선대학교 공과대학 자원공학과 박영석교수님, 성산광산에서 시료채취시 도움을 주신 성산광산 김지규 과장님에게도 감사드리며, 시료를 분쇄해 준 전남대학교 공과대학 자원공학과 오근창, 컴퓨터를 이용해서 graphic을 도와준 김상준 군, 박영주 양에게도 감사한다.

참고문헌

김규봉 (1970) 전남일대 명반석광상 조사보고. 지질광상조사보고, 12호, 국립지질광물연구소, p. 171-235.

김문영, 신흥자, 이평구, 장영남 (1988) 경남 양산지역에 분포하는 화산암류의 지구화학적 특성연구. 광산지질, 21권, p. 139-148.

김영희, 문희수, 김종환, 유장한, 김인준 (1990) 전남 옥매산광상의 열수변질작용 및 광상광물에 대한 광물학적 연구. 광산지질, 23권, p. 87-308.

문희수 (1975) 전남지역 명반석광상의 성인에 관한 연구. 광산지질, 8권, p. 283-302.

문희수, 김영희, 김종환, 유장한 (1990) 해남지역 화산암류와 납석 및 고령토 광상의 K-Ar연대. 광산지질, 23권, p. 135-141.

문희수, 정승우, 송윤구, 박영석 (1991) 전남 해남지역 해남납석광상의 변질작용 및 생성환경. 광산지질, 24권, p. 83-96.

박병철 (1974) 독천지역 명반석광상조사보고. 지질광상조사보고. 광산조사연구편, p. 141-160.

신상은, 박홍봉 (1990) 전남 서남부지역의 납석, 고능석과 명반석광상의 광물조성 및 지구화학적 특성에 관한 연구. 광산지질, 23권, p. 11-23.

유장한 (1985) 전남 해남군 황산면 일대 고령토질납석광상연구. 비금속광상 (연구보고 85-14). 한국동력자원연구소, p. 95-116.

이성록, 김문영 (1985) 해남성산광산물 덕카이트에 관한 연구. 비금속광상연구. 한국동력자원연구소, p. 117-127.

이해정, 신상은, 박홍봉 (1985) 성산 및 옥매산광상 도석의 광석광물 및 성인. 대한광산지질학회지, 22권, p. 63-76.

전효택, 정영욱, 김인준 (1991) 경남 및 전남일부 납석광상의 산소-황산정동위원소 조성과 광상성인. 광산지질, 24권, p. 63-76.

정영욱, 전효택 (1990) 전남 화순-다도 및 해남지역 납석광상의 지구화학적 연구. 한국자원공학회지, 27권, p. 63-76.

木野崎吉郎 (1934), 朝鮮鑛床調査要報, 8권 p. 1-50.

Al-Atia, M.J. and Barnes, J.W. (1975) Rubidium, a primary dispersion pathfinder at Ogofau gold mine, southern Wales: Vancouver Symposium, p. 341-352.

Boyle, R.W. and Jonasson, I.K. (1973) The Geochemistry of arsenic and its use as indicator element in geochemical prospecting. Jour. Geochem. Explor., v. 2, p. 251-296.

Boyle, R.W. (1974) Elemental associations in mineral deposits and indicator elements of interest in geochemical prospecting (revised). Geol. Surv. Canada paper, p. 74-75.

Cann, J.R. (1970), Rb, Sr, Y, Zr, Nb in some ocean floor basaltic rocks. Earth planet sci. Lett., v. 10, p. 7-11.

Crocket, J.H. (1974) In Handbook of geochemistry, II-4 Wedepohl (Ed.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg NewYork.

Enters, M.S. and Coolbaugh, M.F. (1987) A geologic model of gold mineralization for exploration, development and production at Summitville, Colorado [abs]. Geol. Soc. America, v. 19, p. 245.

Field, D. and Elliott, R.B. (1974) The chemistry of gabbro amphibolite transitions in south Norway. Contrib. Miner. Petrol. v. 47, p. 63-76.

- Grout, F.F. and Schwartz, G.M. (1927) Alunitic gold ore from the Black Hills. *Econ. Geol.*, v. 32, p. 193-195.
- Heald, P., Goley, N.K. and Hayba, D.D. (1987) Comparative anatomy of volcanic hosted epithermal deposits; Acid-sulfate and adularia-sericite types. *Econ. Geol.*, v. 82, p. 1-26.
- Hedenquist, J.W. (1987) Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific basin; In Transactions of the Fourth Circum-Pacific Energy and Mineral Resources Conference. Singapore. Horn, M.K., Ed., *Am. Assoc. pet. Geol.*, p. 513-524.
- Hedenquist, J.W., Matsuhisa, Y., Izawa, E., Marumo, K., Aoki, M. and Sasaki, A. (1988) Epithermal gold mineralisation of acid-leached rocks in the Nansatsu district of southern Kyushu, Japan. *Bicentennial Gold 88. Geol. Soc. Australia, Abstracts, No. 22*, p. 183-190.
- Heier, K.S. (1962) Trace elements in feldspars, a review. *Norsk Geol. Tidsskr.*, v. 42, p. 415-455.
- Hermann, A.G., Potts, M.J. and Kanake, D. (1974) Geochemistry of rare earth elements in spilites from the oceanic and continental crust. *Contr. Miner. Petrol.*, v. 44, p. 1-16.
- Izawa, E. (1990) Hydrothermal alteration associated with Nansatsu-type gold mineralization. Symposium on high temperature acid fluids and associated alteration and mineralization. *Geol. Survey of Japan*, p. 39-44.
- Kwak, T.A.P. (1990) Geochemical and temperature controls on ore mineralization at the Emperor gold mine, Batukoula, Fiji. *Jour. Geochem. Explor.*, v. 36, p. 297-337.
- Lestinen, P., Kontas, E., Niskavaara, H. and Virtasalo, J. (1991) Till geochemistry of gold, arsenic and antimony in the Seinäjoki district, western Finland. *Jour. Geochem. Explor.*, v. 39, p. 343-361.
- Levinson, A.A. (1974) Introduction to Exploration geochemistry. Applied publ. Ltd., CALGARY, p. 43-44.
- Plant, J.A., Breward, N., Simpson, P.R. and Slater, D. (1990) Regional geochemistry and the identification of metallogenic provinces: examples from lead-zinc-barium, tin-uranium and gold deposits. *Jour. Geochem. Explor.*, v. 39, p. 195-224.
- Ransome, F.L. (1907) The association of alunite with gold in the gold field district, Nevada. *Econ. Geol.*, v. 2, p. 667-692.
- Rose, A.W., Hawkes, H.E. and Webb, J.S. (1979) *Geochemistry in mineral exploration* (2nd ed.). Academic press, London, 657p.
- Rye, R.O. (1990) Acid-Sulfate alteration and vein alunite formation in volcanic terrains; Stable isotope systematics. Symposium on high temperature acid fluids and associated alteration and mineralization, *Geol. Survey of Japan*, p. 1-4.
- Rytuba, J.J. and Miller, W.P. (1990) Geology and geochemistry of epithermal precious metal vein systems in the intra-oceanic arcs of Palau and Yap, western Pacific. *Jour. Geochem. Explor.*, v. 35, p. 413-447.
- Saarnisto, M., Tamminen, E. and Vaasjoki, M. (1991) Gold in bedrock and glacial deposits in the Ivalojoeri area, Finnish Lapland. *Jour. Geochem. Explor.*, v. 39, p. 303-322.
- Stoffregen, R. (1987) Genesis of acid-sulfate alteration and Au-Cu-Ag mineralization at Summitville, Colorado. *Econ. Geol.*, v. 82, p. 1575-1591.
- Thompson, J.F.H., Lessman, J. and Thompson, A.J.R. (1986) The Temora gold-silver deposit; A newly recognized style of high sulfur mineralization in the lower Paleozoic of Australia. *Econ. Geol.*, v. 81, p. 732-738.
- White, N.C. and Hedenquist, J.W. (1990) Epithermal environments and styles of mineralization; Variations and their causes, and guidelines for exploration. *Jour. Explor.*, v. 36, p. 445-474.
- White, N.C. (1990) High sulfidation epithermal gold deposit; Characteristics and a model for their origin. Symposium on high temperature acid fluids and associated alteration and mineralization. *Geological survey of Japan*, p. 5-15.
- Yoon, C.H. (1991) Gold content of Jurassic and Cretaceous granitic rocks in Korea. *Mining Geol.*, v. 41, p. 151-158.