

慶南 梁山地域에 分布하는 火山岩類의 地球化學의 特性研究

金炫榮* · 申虹子* · 李甸九* · 張永南*

Geochemical Characteristics of Volcanics from Yangsang, Kyeongnam Province

Kim M.Y., Shin H.J., Lee P.K. & Jang Y.N.

Abstract: The altered volcanic rocks, ranging from tuffaceous to andesitic rocks are widely distributed around the "caldera" area in the southeastern part of Kyeongsang province. The volcanic activity and tectonic movement are assumed to be followed by the hydrothermal activities in the area. From the mineral assemblage the type of alteration can be divided into two types; propylitic and argillic.

The average concentration of gold in hydrothermally altered rocks is somewhat lower (about 20 ppb) than that of fresh rocks (45-25 ppb), but for Ag, vice versa. During the hydrothermal process, the concentration of the trace elements Ag, Hg, Co, As, Hf, Sc, Si, Al increased, and that of Na, Rb, K, Au, Mg, Ca etc. decreased. The high anomalous contents of silver for altered rocks range from 4-7 ppm and 1-3 ppm for relatively fresh rocks.

序言

우리나라의 主要 金. 銀鑛床은 쥬라기 및 백악기의 tectonic 活動과 密接한 關係를 갖고 廣域의으로 分布되어 있으므로 그동안 主要 研究 및 深查對象이 되어 왔다. 그러나 歐美, 日本 등을 비롯한 先進國에서는 淺熱水性 金鑛床(epithermal Au-deposits)에서 高品位의 金鑛床이 발견되어 본격적으로 深查開發이 進行되고 있으며(Heald et al., 1987; Kouda & Koide, 1978) 이들은 構造의으로 활발한 地熱地帶(geothermal field) 또는 火山活動이 활발한 地域과 관련성이 깊다. 우리나라에서는 溫泉形 혹은 미국의 "Carlin type"의 鑛體는 아직 발견되지 않았으나 峴테라와 관련된 것으로 推定되는 "鑛染狀" 金. 銀鑛床이 이미 開發되었거나(예: 釜山 東萊區) 현재 가행

중인 곳도 있다(統營 金鑛山, 隱積鑛山).

이번 研究는 이러한 vein-type이 아닌 鑛體에 대한 體系의인 研究의 일환으로 慶尙분지내에 分布하는 火山岩을 대상으로 Au, Ag와 稀有, 稀土類金屬類와의 相互關係 및 斷層 周邊部에 발달한 變質帶의 特性을 糾明하여 새로운 鑛體開發에 필요한 基礎資料를 提供하고자 한다.

地質學的 特徵

이번 研究의 調查地域은 慶尙盆地내에 있는 梁山 斷層과 東萊斷層을 중심으로 한 斷層帶 周邊部에 발달한 火山岩地域을 대상으로 하였다. 주로 安山岩類 및 火成岩類로 이루어진 소위 "大雲山 쿨드론"(車, 1985)은 東萊斷層과 梁山斷層에 의해 분리되고 斷層面을 따라 火山岩類들이 熱水變質作用을 심하게 받아 塩基性元素들이 leaching out 되었으므로 斷層線에 平行하게 蠟石, 陶石 등의 많은 非金屬鑛體 혹은

*韓國動力資源研究所

變質된 流紋岩質岩으로 되어 있다(양산도폭, 1964 참고). 이 地域은 전체적으로 上部에는 珪化帶 혹은 酸化帶, 下部에는 黃鐵石을 비롯한 硫化鐵鑛帶가 나타나며, 특히 千佛山 부근의 蠟石帶는 공극이 많고 이들은 赤鐵石을 비롯한 酸化鐵鑛物이 被覆되거나 충전된다. 이번 研究를 위하여 千佛山, 昌基, 유광 등의 非金屬鑛體와 線構造의 교차지점(姜, 1987)인 西倉, 병산 및 梅谷地域에 발달한 酸化帶 및 變質이 미약한 安山岩類, 珪化作用을 강하게 받은 變質火山岩 등 變質作用의 樣相, 組織등의 產出狀態에 따라 약 80여개의 試料를 採取하여 實驗을 실시하였다.

室內研究方法

採取된 試料는 偏光 및 金屬顯微鏡하에서 鑛物의 光學的 性質을 觀察하였으며 알루미늄이나 몰타르를 사용하여 알코올과 함께 250mesh 정도로 분말화한 후 monochrometer(curved graphite)가 부착된 Philips PW 1730 series를 이용하여 $CuK\alpha$ radiation, 電壓 40KV/20mA, scanning speed; $2^\circ/\text{min}$, chart speed; $2\text{cm}/\text{min}$ 의 조건으로 X-線 廻折分析을 실시하였다. 中性子活性分析을 위하여는 jaw crusher에서 粉碎하여 알루미늄이나 몰타르에서 약 300 mesh 이하로 grinding 한 후 40.00 mg을 택하여 silica tube에 넣고 酸素토치로 봉합하여 中性子를 照射하였다. 이때의 실험조건은 neutron flux; 1×10^{13} neutron/cm.sec², time; 11 時間 照射했으며 반감기가 長期에 속하는 元素의 경우 30日, 單期에 속하는 元素는 2日 동안 decay 시킨후에 HpGe Canberra 分析檢出器와 MCA 64K에서 擴充 및 集計過程을 거쳐 PDP-11 computer analyser로 정량화하였다. 分析過程에서 ppb-order와 主成分元素의 data를 각각 별도의 過程으로 處理하여 스펙트럼 상에 나타나는 모든 peak에 대해 含有量을 決定하였다.

岩石學的 特徵

安山岩에서의 斑晶은 綠泥石, 方解石, 綠簾石 등으로 變質된 斜長石, 角閃石, 輝石이고 石基는 火山質 glass, 塩基性岩의 岩片 및 不透明鑛物을 함유한다. 變質安山岩은 長石의 대부분이 絹雲母, 蠟石, 高嶺土 및 綠簾石으로 심하게 變質되었으며 其他 細脈狀의 黃鐵石, 石英 및 蠟石으로 變質된 lath 形態의 長石, 細脈狀의 玉髓, 磷灰石등으로 構成된다.

花崗閃綠斑岩은 斜長石, 正長石, 石英 등의 斑晶

및 石英과 카리長石이 相互 成長된 石基로 構成되며 副成分鑛物로는 綠泥石, 黃鐵石, 黑雲母, 角閃石, 일라이트, 캐올리나이트 및 白雲母 등이 있다.

流紋岩質岩石은 正長石, 斜長石, 輝石, 및 角閃石, 綠泥石 및 microlites와 放射狀의 石英-斜長石 spherulites가 石基를 이루며 이러한 斑晶들은 모자이크-, 杏仁狀-, 및 구과상 構造를 보이는 石英, 綠泥石, 絹雲母, 蠟石, 캐올리나이트 및 赤鐵石으로 變質되어 있다. 凝灰岩類는 주로 安山岩質라피리 凝灰岩, 데사이트 熔結凝灰岩 및 流紋熔結凝灰岩등으로 構成되는데 microlites와 seriate texture가 관찰된다. 累帶構造가 잘 발달된 대부분의 長石들은 絹雲母, 캐올리나이트 및 綠泥石으로 變質作用을 받았으며 石基質은 粒狀의 石英, 變質產物인 알로페인 또는 몬모리로나이트, 細脈狀의 赤鐵石으로 이루어져 있다.

岩石의 變質作用

斷層線을 따라 상승한 熱水溶液에 의한 變質作用은 propylitic 및 argillic alteration으로 구분된다. Propylitic alteration을 받은 岩石은 石英-絹雲母-綠泥石과 石英-絹雲母-黃鐵石 鑛物群으로 나뉜다. 前者의 경우 斑晶 및 石基狀態의 長石이 方解石, 綠泥石, 石英 및 몬모리로나이트로, microlites 및 극히 작은 斜長石들은 극부적으로 綠簾石으로, 角閃石은 綠泥石, 方解石, 몬모리로나이트, 石英 및 後者의 경우 變質정도가 前者에 비해 극심하고 斜長石과 角閃石 斑晶은 몬모리로나이트, 絹雲母, 캐올리나이트 및 黃鐵石으로 交代되어 있다. argillic alteration의 경우, 石英-絹雲母 鑛物群과 石英-黃鐵石-캐올리나이트 鑛物群으로 구분할 수 있다.

地球化學的 特徵

칼데라와 關聯된 火山岩의 變質作用에 關聯된 地球化學的 特徵을 밝히기 위해 40여개의 試料에 대해 中性子活性分析(NAA)을 실시하였으며, 結果는 Tab. 1, 2와 같다. Au 및 Ag는 일반적으로 Hg, As, Sb, Tl 등의 전이원소와 親和力이 있으며(Tooker, 1986) Si, Al, Na, K 등의 主構成成分과도 關係(Imai, 1983)가 깊으나 이번 研究에서는 Si, Al, Mg, Ca, Tl은 中性子 照射 後 半減期가 극히 짧아 測定이 불가능했다.

Table 1. Gold, Silver content (by NAA) and mineral assemblage (by XRD) of representative volcanic rocks from Yangsan area.

Sample No.	Au (ppb)	Ag (ppm)	Mineral Components										Rock Type		
			fd	qtz	ch	se	ka	am	an	mo	py	pyo			
TR-1	10.9	5.3	○	○	*				-						adnesitic rock
TR-2	22.0	7.0		○	-	*							-		andesitic rock
TR-3	5.7	2.9		○		*					*				rhyolitic rock
TR-4	6.7	7.7	-	○				○				○	-		tuffaceous rock
TR-5	12.6	5.3		○				○					-	*	rhyolitic rock
TR-6	13.1	5.9	-	○				*						○	rhyolitic rock
TR-7	0.9	4.6		○	-			*		*				*	rhyolitic rock
TR-8	9.8	6.3		○				*		*		*		○	rhyolitic rock
TR-9	6.0	5.0		○						*		*		*	rhyolitic rock
YK-1	5.5	3.9		○			*							*	rhyolitic rock
YK-2	1.9	1.4		○			*								rhyolitic rock
YK-3	10.0	1.9		○			*								rhyolitic rock
CH-1	4.2	4.9		○		-	*			-		*			rhyolitic rock
CH-2	5.0	5.9		○			*	*		*					rhyolitic rock
CH-3	1.7	3.5		○			-	-							rhyolitic rock
CH-4	2.3	4.9		○			*	-		*				*	rhyolitic rock
CB-1	6.6	3.5	*	*		○									rhyolitic rock
CB-2	6.6	1.8		○			*								rhyolitic rock
CB-3	7.4	1.4		○										-	andesitic rock
CB-4	24.5	2.1		○			*							-	andesite
M-1	24.9	1.2	○	○	*										andesite
M-2	31.9	2.8	○	○	*										rhyolitic rock
M-3	3.3	1.9	*	○			-	-							rhyolitic rock
M-4	12.2	1.6	*	○			-								rhyolitic rock
S-1	7.9	3.3		○			-								rhyolitic rock
S-2	2.9	0.4		○			*								rhyolitic rock
S-3	1.6	0.6		○			*								andesite
B-1	35.7	1.8	○	*	*										andesite
B-2	44.0	2.5	○	*	-										andesite
B-3	9.6	1.0	*	○	*		-								tuffaceous rock
B-4	36.4	1.2	*	○			-								tuffaceous rock
B-5	21.0	2.4	*	○	*		-	-							tuffaceous rock
YS-1	41.5	1.9	○	○			-								tuffaceous rock
YS-2	20.2	0.9	○	○			-								tuffaceous rock
Y-1	10.2	1.4	*	○		*			-						andesite
Y-2	26.3	1.6		○		*									rhyolitic rock
IS-1	35.6	1.5	-	○	-										tuffaceous rock
IS-2	29.4	0.9	*	○											tuffaceous rock

fd : feldspar, qtz : quartz, ch : chlorite, se : sericite, ka : kaolinite, am : amphibolite, an : andalusite, mo : montmorillonite, py : pyrite, pyo : pyrophyllite, ○ : abundant, * : common, - : trace

Table 2 . Summary of trace-element geochemistry for the sample studied by neutron activation analysis method(ppm).

	Au	*Ag	As	La	Ce	Yb	Th	Hf	Cs	Sc	Rb	Ta	Co	Sb	*Hg	U
TR-1	0.01 (20.1)	5.23 (4.7)	47.79 (13.2)	29.71 (13.1)	90.11 (8.1)	3.42 (17.1)	21.63 (6.4)	5.43 (11.0)	6.08 (18.7)	23.80 (6.1)	102.17 (24.3)	no (0.0)	25.13 (4.5)	3.29 (27.5)	2.14 (1.5)	no (0.0)
TR-2	0.02 (18.1)	6.97 (4.7)	8.76 (20.1)	47.38 (3.1)	123.83 (8.2)	2.37 (17.6)	15.76 (7.7)	4.48 (23.6)	18.34 (10.4)	30.03 (6.1)	212.42 (15.8)	no (0.0)	9.25 (10.3)	1.40 (3.7)	3.21 (1.6)	no (0.0)
TR-3	0.01 (3.8)	2.87 (4.8)	3.76 (18.7)	16.83 (4.5)	47.27 (9.5)	5.01 (15.9)	20.75 (6.7)	4.36 (14.5)	7.60 (11.5)	3.40 (6.6)	203.59 (11.1)	0.94 (56.9)	2.79 (17.5)	0.82 (4.0)	1.58 (1.8)	no (0.0)
TR-4	0.01 (24.4)	7.67 (4.8)	32.89 (5.9)	33.56 (2.5)	92.06 (8.9)	3.77 (16.4)	22.76 (6.8)	18.30 (5.7)	no (0.0)	52.50 (6.1)	no (0.0)	no (0.0)	207.97 (1.9)	12.05 (12.8)	3.43 (1.8)	5.33 (38.5)
TR-5	0.01 (17.08)	5.25 (4.5)	17.75 (6.8)	34.83 (2.4)	92.08 (8.1)	2.38 (23.7)	18.64 (6.5)	7.42 (16.3)	no (0.0)	29.10 (6.0)	no (0.0)	no (0.0)	118.96 (1.9)	7.34 (15.0)	2.33 (1.5)	no (0.0)
TR-6	0.01 (22.5)	5.88 (4.7)	44.07 (6.0)	20.52 (6.4)	105.13 (8.0)	5.78 (16.4)	20.86 (6.8)	9.21 (8.1)	no (0.0)	27.63 (6.1)	no (0.0)	no (0.0)	2.70 (20.2)	3.99 (28.8)	2.84 (1.6)	5.86 (34.5)
TR-7	0.00 (70.8)	4.53 (4.7)	28.44 (6.2)	32.16 (2.8)	86.34 (8.1)	0.98 (52.0)	12.45 (7.4)	4.22 (18.1)	no (0.0)	14.95 (6.1)	no (0.0)	no (0.0)	12.17 (7.5)	2.71 (24.5)	2.23 (1.6)	no (0.0)
TR-8	0.01 (16.1)	6.25 (4.8)	44.89 (5.7)	30.00 (2.4)	72.69 (8.8)	4.17 (15.6)	19.73 (7.7)	11.76 (8.3)	no (0.0)	39.63 (6.1)	no (0.0)	no (0.0)	30.98 (3.7)	6.43 (18.9)	2.49 (1.8)	6.51 (23.6)
TR-9	0.01 (20.5)	5.00 (4.8)	25.41 (6.1)	35.01 (2.2)	82.80 (8.5)	3.36 (14.2)	17.77 (6.6)	6.31 (8.4)	no (0.0)	23.32 (6.1)	no (0.0)	no (0.0)	27.85 (3.8)	4.35 (20.6)	2.05 (1.8)	2.06 (51.2)
YK-1	0.01 (33.4)	3.81 (4.8)	10.97 (8.7)	31.52 (3.1)	70.74 (8.8)	5.27 (16.2)	39.06 (6.2)	4.67 (15.4)	13.95 (8.9)	10.37 (6.2)	219.82 (10.8)	no (0.0)	2.84 (17.4)	5.58 (18.3)	2.04 (1.8)	6.88 (26.7)

	Au	*Ag	As	La	Ce	Yb	Th	Hf	Cs	Sc	Rb	Ta	Co	Sb	*Hg	U
YK-2	0.00 (57.7)	1.36 (4.8)	11.67 (7.5)	19.11 (4.0)	37.72 (9.6)	1.37 (24.2)	10.53 (7.1)	4.83 (8.8)	11.67 (8.8)	2.74 (6.7)	204.30 (10.4)	no (0.0)	3.38 (14.2)	6.13 (14.8)	2.31 (1.7)	no (0.0)
YK-3	0.01 (21.0)	1.90 (4.7)	6.32 (9.6)	20.83 (3.2)	43.23 (8.1)	2.61 (16.8)	13.35 (6.5)	5.05 (7.0)	17.10 (7.8)	2.42 (6.5)	217.65 (8.0)	1.62 (27.6)	1.12 (23.1)	7.67 (13.1)	1.07 (1.7)	no (0.0)
CH-1	0.00 (31.6)	4.83 (4.7)	41.60 (5.7)	24.04 (2.8)	64.80 (8.7)	2.25 (16.6)	7.56 (8.5)	5.63 (14.4)	3.63 (28.8)	18.92 (6.1)	no (0.0)	1.59 (51.3)	45.04 (3.1)	10.56 (12.1)	2.19 (1.6)	-
CH-2	0.01 (13.0)	5.83 (4.7)	21.12 (6.5)	22.34 (3.1)	55.67 (8.5)	4.36 (18.6)	22.90 (6.4)	9.06 (7.7)	10.26 (12.8)	37.61 (6.1)	201.33 (11.7)	no (0.0)	27.01 (3.9)	7.30 (16.7)	2.43 (1.6)	-
CH-3	0.00 (57.7)	3.50 (4.7)	5.14 (9.5)	1.36 (18.6)	5.16 (29.3)	2.48 (21.5)	3.39 (12.5)	5.77 (8.4)	3.25 (22.4)	10.17 (6.2)	44.13 (30.5)	no (0.0)	2.08 (19.5)	3.82 (23.3)	1.60 (1.7)	-
CH-4	0.00 (31.6)	4.82 (4.5)	54.05 (5.4)	17.67 (2.5)	42.56 (8.8)	1.48 (63.0)	11.64 (7.9)	6.39 (8.4)	3.08 (32.0)	20.13 (6.0)	72.04 (25.2)	no (0.0)	35.87 (3.6)	5.48 (18.6)	1.89 (1.5)	-
CB-1	0.01 (31.0)	3.49 (4.7)	3.31 (65.1)	34.41 (6.1)	60.57 (8.3)	4.60 (14.0)	50.80 (5.9)	5.12 (10.7)	20.18 (9.5)	6.83 (6.3)	138.30 (12.5)	1.75 (34.8)	no (0.0)	*1.04 (3.9)	1.76 (1.7)	-
CB-2	0.01 (31.0)	1.73 (4.7)	2.29 (28.4)	4.91 (10.3)	6.34 (19.7)	1.43 (24.7)	10.69 (6.9)	2.88 (13.2)	6.50 (10.8)	1.26 (7.3)	63.67 (17.7)	1.56 (29.3)	2.78 (14.5)	*0.78 (3.9)	1.00 (1.7)	-
CB-3	0.01 (25.1)	1.36 (4.7)	10.04 (10.3)	33.06 (2.8)	61.90 (8.1)	5.53 (11.6)	30.36 (6.0)	4.88 (6.5)	5.81 (9.3)	1.29 (6.8)	25.85 (26.9)	1.23 (29.1)	no (0.0)	2.79 (18.6)	0.99 (1.7)	-
CB-4	0.02 (13.0)	2.04 (4.7)	7.05 (14.6)	9.61 (6.2)	14.51 (13.7)	1.77 (19.6)	21.14 (6.1)	6.89 (5.7)	13.81 (8.6)	3.39 (6.4)	67.84 (17.9)	no (0.0)	1.95 (16.1)	1.28 (21.4)	1.12 (1.7)	-

	Au	*Ag	As	Ce	Yb	Th	Hf	Cs	Sc	Rb	Co	Sb	*Hg	Lu	Cr	Ba	Nd
Y-1	0.01 (22.1)	1.40 (16.9)	2.26 (11.3)	46.95 (10.1)	3.70 (14.1)	10.41 (8.1)	3.60 (12.3)	31.00 (7.1)	17.61 (6.1)	217.22 (9.3)	15.61 (4.1)	1.48 (33.9)	4.05 (21.0)	0.43 (30.3)	29.31 (13.1)	no (0.0)	no (0.0)
Y-2	0.03 (15.2)	1.59 (4.7)	0.20 (42.9)	66.53 (7.8)	13.86 (9.1)	30.13 (5.9)	8.28 (5.2)	1.98 (18.8)	3.31 (6.2)	154.56 (7.6)	0.22 (24.4)	no (0.0)	0.34 (21.9)	1.69 (25.8)	no (0.0)	416.67 (36.4)	7.95 (48.9)
M-1	0.02 (14.1)	1.16 (17.7)	2.87 (10.4)	67.61 (8.0)	5.76 (10.9)	9.73 (7.6)	5.46 (10.0)	no (0.0)	15.64 (6.1)	62.85 (25.1)	8.52 (5.3)	no (0.0)	0.33 (21.9)	0.72 (27.1)	no (0.0)	no (0.0)	no (0.0)
M-2	0.03 (14.4)	2.73 (12.9)	6.50 (45.7)	189.01 (8.7)	1.17 (29.5)	8.13 (8.1)	5.06 (9.8)	3.49 (23.7)	21.14 (6.1)	58.39 (32.5)	13.77 (4.5)	no (0.0)	1.02 (13.2)	0.76 (27.5)	no (0.0)	no (0.0)	no (0.0)
M-3	0.00 (13.1)	1.83 (4.7)	6.72 (8.2)	22.10 (13.6)	3.99 (13.2)	21.50 (6.1)	4.11 (6.9)	6.69 (9.1)	3.91 (6.2)	227.43 (6.6)	0.66 (22.8)	0.97 (34.7)	2.69 (8.3)	0.44 (27.3)	no (0.0)	247.10 (66.9)	no (0.0)
M-4	0.01 (15.1)	1.58 (4.7)	3.82 (23.4)	48.10 (10.1)	5.28 (12.2)	27.73 (6.1)	4.51 (7.6)	2.65 (15.6)	3.45 (6.2)	153.08 (7.4)	1.22 (15.3)	no (0.0)	0.87 (1.7)	0.54 (26.5)	1.43 (14.2)	358.74 (41.2)	33.96 (41.6)
S-1	0.01 (39.5)	3.29 (11.7)	36.52 (5.5)	43.16 (8.4)	3.00 (18.5)	21.31 (6.0)	3.99 (7.5)	4.46 (11.3)	5.14 (6.2)	107.32 (10.8)	1.94 (12.7)	1.31 (31.4)	0.80 (14.8)	0.55 (27.1)	6.26 (35.1)	no (0.0)	no (0.0)
S-2	0.00 (13.0)	0.32 (32.7)	57.48 (5.2)	30.88 (9.8)	3.13 (15.4)	19.31 (6.0)	4.26 (7.3)	2.21 (16.3)	2.96 (6.2)	174.52 (6.4)	no (0.0)	3.18 (16.5)	0.73 (14.8)	0.46 (26.7)	no (0.0)	167.35 (54.4)	no (0.0)
S-3	0.00 (19.3)	0.57 (27.1)	123.25 (5.4)	86.48 (9.5)	4.24 (14.4)	18.76 (6.7)	4.03 (7.5)	3.94 (12.5)	5.12 (6.2)	165.11 (7.7)	0.73 (31.6)	13.12 (8.2)	0.79 (15.0)	0.48 (27.3)	2.45 (21.2)	no (0.0)	no (0.0)
YS-1	0.04 (12.9)	1.89 (4.8)	3.62 (51.3)	24.20 (10.0)	6.11 (12.1)	13.38 (6.5)	7.28 (5.2)	5.09 (10.4)	4.15 (6.2)	127.94 (13.0)	no (0.0)	2.48 (20.1)	0.32 (23.0)	0.74 (26.4)	5.17 (41.8)	588.35 (31.8)	12.48 (35.4)
YS-2	0.02 (18.4)	0.86 (21.8)	2.29 (77.8)	19.38 (10.4)	4.96 (13.0)	15.56 (6.4)	8.04 (7.3)	3.80 (13.2)	4.81 (6.2)	117.15 (10.8)	0.53 (32.0)	1.90 (27.2)	0.13 (36.5)	0.65 (26.6)	no (0.0)	530.02 (36.0)	no (0.0)

	Au	*Ag	As	Ce	Yb	Th	Hf	Cs	Sc	Rb	Co	Sb	*Hg	Lu	Cr	Ba	Nd
IS-1	0.04 (12.6)	1.48 (4.5)	1.64 (15.5)	144.29 (8.1)	6.22 (11.5)	16.55 (6.0)	5.13 (6.6)	1.97 (29.8)	3.57 (6.2)	167.20 (6.8)	0.87 (17.8)	no (0.0)	*0.87 (1.5)	0.67 (11.5)	no (0.0)	480.72 (30.9)	15.20 (37.0)
IS-2	0.03 (14.4)	0.90 (20.4)	1.87 (15.1)	51.47 (8.1)	5.04 (12.1)	17.17 (6.2)	6.55 (6.4)	2.66 (16.8)	4.29 (6.2)	116.60 (9.8)	1.16 (15.1)	no (0.0)	0.16 (31.6)	0.62 (26.5)	no (0.0)	450.71 (38.3)	9.36 (37.0)
B-1	0.03 (13.6)	1.80 (15.4)	8.21 (26.0)	75.05 (7.8)	1.79 (26.1)	12.11 (6.9)	6.21 (7.5)	no (0.0)	17.67 (6.1)	no (0.0)	8.96 (5.3)	4.37 (20.9)	2.33 (8.3)	0.86 (26.7)	no (0.0)	no (0.0)	50.94 (52.4)
B-2	0.04 (12.5)	2.51 (13.5)	5.00 (47.1)	46.90 (8.7)	3.74 (12.9)	7.08 (8.1)	3.89 (11.1)	2.18 (33.5)	16.11 (6.1)	106.28 (16.9)	13.97 (4.3)	no (0.0)	1.91 (9.6)	0.29 (41.2)	20.78 (17.1)	no (0.0)	67.09 (32.8)
B-3	0.01 (20.1)	0.95 (20.6)	2.59 (44.8)	50.36 (9.1)	3.51 (15.6)	13.81 (8.0)	3.99 (9.3)	5.79 (16.3)	10.10 (6.1)	130.59 (11.8)	6.47 (7.8)	no (0.0)	1.97 (9.6)	0.53 (28.1)	8.78 (30.7)	472.01 (53.4)	no (0.0)
B-4	0.04 (11.1)	1.16 (17.7)	23.76 (11.3)	90.46 (7.7)	6.03 (11.4)	14.44 (6.4)	4.24 (9.9)	15.97 (7.8)	8.61 (6.1)	114.43 (11.8)	4.75 (7.2)	2.07 (23.6)	1.14 (11.9)	0.65 (26.9)	7.19 (38.2)	849.23 (26.1)	no (0.0)
B-5	0.02 (13.2)	2.36 (13.4)	4.19 (9.0)	57.41 (8.2)	3.04 (13.0)	13.78 (7.5)	4.17 (10.9)	5.83 (11.2)	9.34 (6.1)	102.15 (13.9)	5.32 (7.1)	no (0.0)	1.56 (10.7)	0.51 (29.1)	11.71 (13.1)	853.21 (28.9)	16.15 (37.0)

	TR-1	TR-2	TR-3	TR-4	TR-5	TR-6	TR-7	TR-8	TR-9	YK-1
K	20516 (11.5)	31776 (4.6)	22910 (4.8)	no (0.0)	698 (25.1)	no (0.0)	no (0.0)	378 (55.6)	no (0.0)	19062 (4.8)
Na	21240 (3.5)	4264 (3.5)	494 (4.2)	89 (5.2)	987 (3.6)	91 (11.5)	337 (4.3)	231 (4.2)	190 (4.3)	401 (4.1)
K	YK-2 16942 (4.8)	YK-3 17267 (4.6)	CH-1 48891 (5.9)	CH-2 26262 (4.3)	CH-3 5325 (6.7)	CH-4 no (0.0)	CB-1 27465 (5.9)	CB-2 13276 (5.1)	CB-3 4351 (10.4)	CB-4 24473 (4.4)
Na	734	704	3426	1072	265	no	8667	1120	1953	2238

	(3.9)	(3.8)	(3.9)	(3.6)	(4.3)	(0.0)	(3.6)	(3.7)	(3.6)	(3.5)
	Y-1	Y-2	M-1	M-2	M-3	M-4	S-1	S-2	S-3	YS-1
K	18069	35950	18579	21261	46989	57098	26818	38130	40446	24242
	(9.7)	(10.9)	(11.5)	(16.2)	(4.4)	(5.2)	(4.6)	(4.2)	(4.3)	(16.7)
Na	16599	27435	26214	25411	1602	9458	1104	545	865	30086
	(3.6)	(3.6)	(3.5)	(3.6)	(3.6)	(3.6)	(3.6)	(3.6)	(3.6)	(3.6)
	YS-2	IS-1	IS-2	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5		
K	20322	35948	31176	15368	13675	51882	25365	49777		
	(20.8)	(11.9)	(12.8)	(26.4)	(24.3)	(8.3)	(8.2)	(7.8)		
Na	33102	32031	29609	24749	22152	13738	19156	13386		
	(3.5)	(3.6)	(3.6)	(3.4)	(3.6)	(3.6)	(3.5)	(3.6)		

() : mean the error range in percent, * : the error limit, no : not detected, - : not analysed TR : Taeryong, YK : Youkang, CH : Changki, CB : Chunbul, Y : Yangsangongjang, M : Maegok, S : Seochang, YS : Yangsaneup, Is : Insung, B : Byongsan, Abbreviations are same subsequently in tables.

Tab.1은 각 岩石別 Au, Ag의 함량과 鑛物組成 및 Au, Ag의 相對值를 나타내고 있다. 中性子活性 分析結果(Tab. 2)에 따르면 이 地域에 分布하는 岩石類는 熱水變質을 받은 程度에 따라 Au, Ag의 含量이 상이한 特徵을 보여준다. 이번 研究調查對象 地域에서 變質이 미약하거나 비교적 신선한 安山岩 혹은 珪化作用을 받은 凝灰岩質岩類는 매곡, 병산, 인성, 양산을 等地에 分布하는데 Au의 含量이 30-40ppb정도 이어서 比較的 高濃度地域에 해당되고 變質이 극심한 地域(주로 陶石 및 蠟石 鑛體)에서는 대개 10ppb이하로서 低濃度地域으로 分類된다(Fig. 1). 그러나 Ag는 이와 상반되는 경향을 보여주는데 즉 양산斷層을 따라 발달된 變質帶에서 막대한 異常

值인 4,000-7,000ppb이며 非變質帶에서 400-3,300ppb이므로 양산地域의 變質 및 非變質帶는 각기 Au와 Ag의 異常值 地域에 해당한다. Crocket (1974)에 의해 정리된 世界各國에 分布하는 火山岩類의 Au 濃度를 보면 安山岩類에서 6.5-1.5ppb(最大 17 ppb), (變質)流紋岩類에서 最大 22 ppb(平均 10 ppb 程度)이고 Vincent(1974)에 의한 Ag의 含量은 安山岩類에서 30-190ppb(平均 80 ppb), 其他 酸性岩類에서 100-2,000ppb이다(Fig. 1). 變質岩類에 비해 非變質岩類의 log(Na+K)값이 크고 (Fig. 2a)이외에도 앞에서 언급하였듯이 塩基性 鑛物들과 正, 斜長石 鑛物등이 각기 石英, 絹雲母 및 高嶺土鑛物 등 Al, Si가 풍부한 粘土鑛物類로 變質

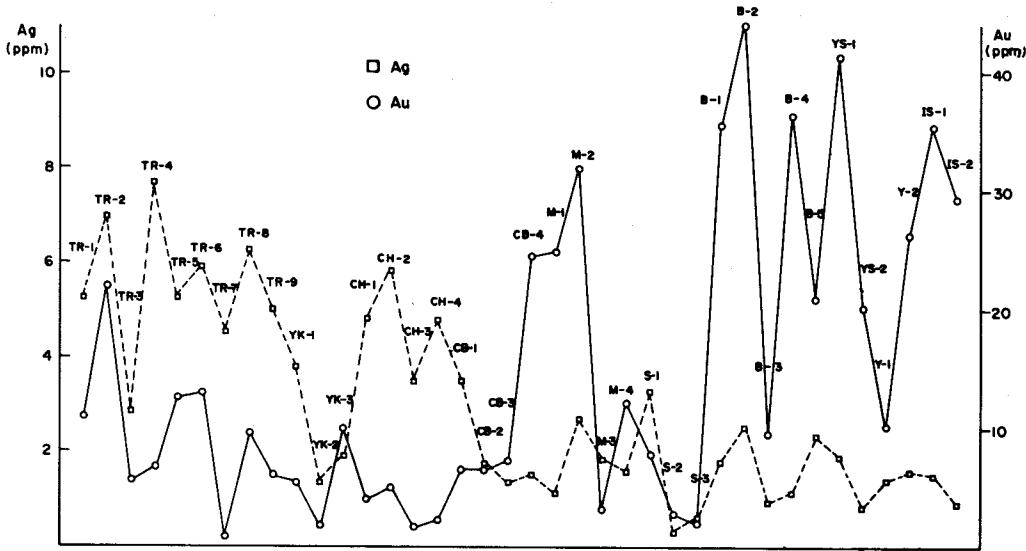


Fig. 1. The distribution pattern of Au, Ag for the selected samples from the Yangsan, Kyeongsang province.

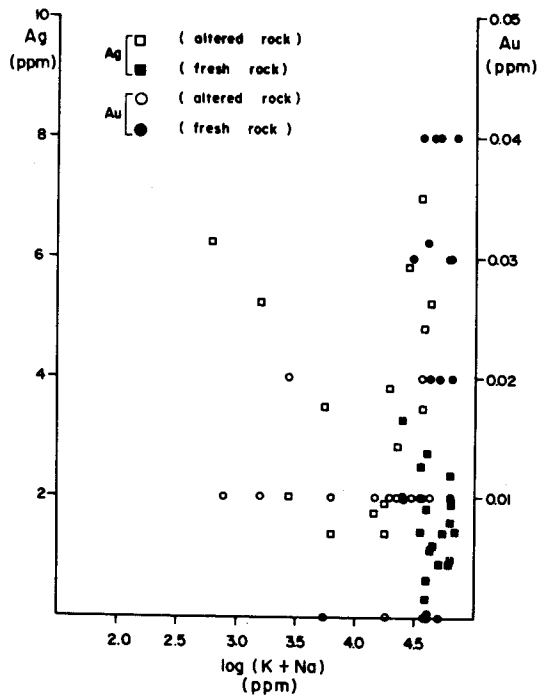
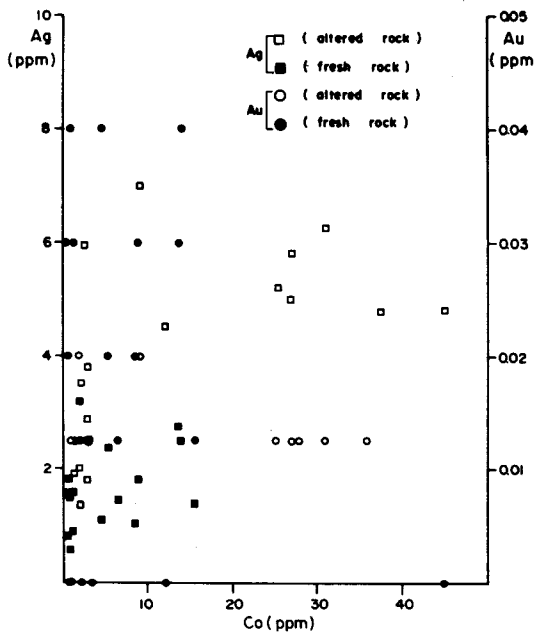
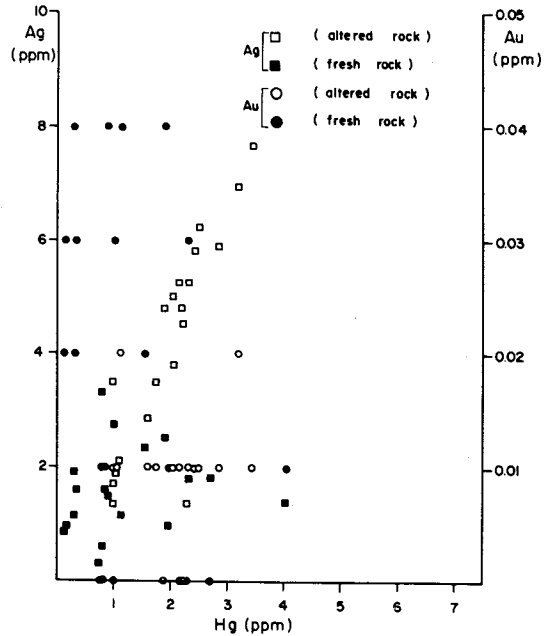
되었으므로(Tab. 1)이러한 사실들을 綜合해 볼때 熱水溶液의 地球化學的 特徵이 Au를 비롯한 Mg, Ca 등의 塩基性 元素들은 물론 Na, K 등의 元素도 leaching out시키고 Ag, Al, Si의 濃度는 상대적으로 증가시킬수 있었다는 것을 指示해 주는 것이다.

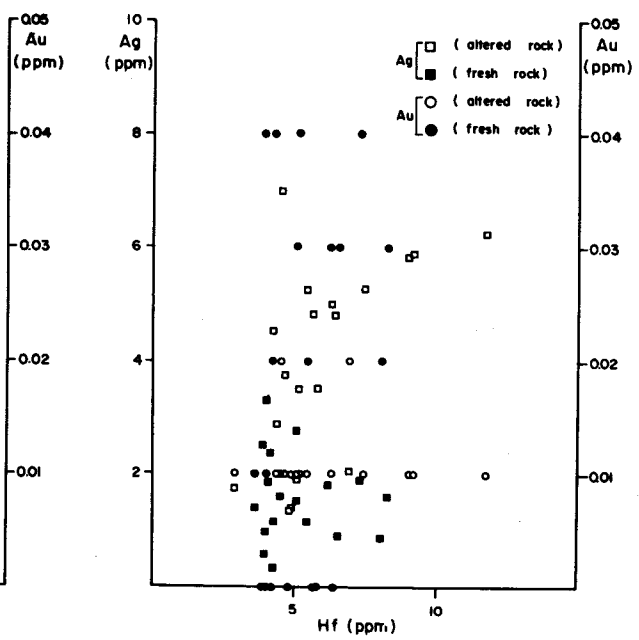
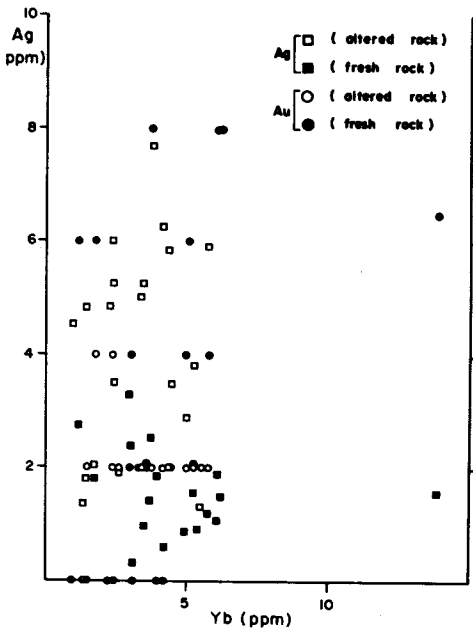
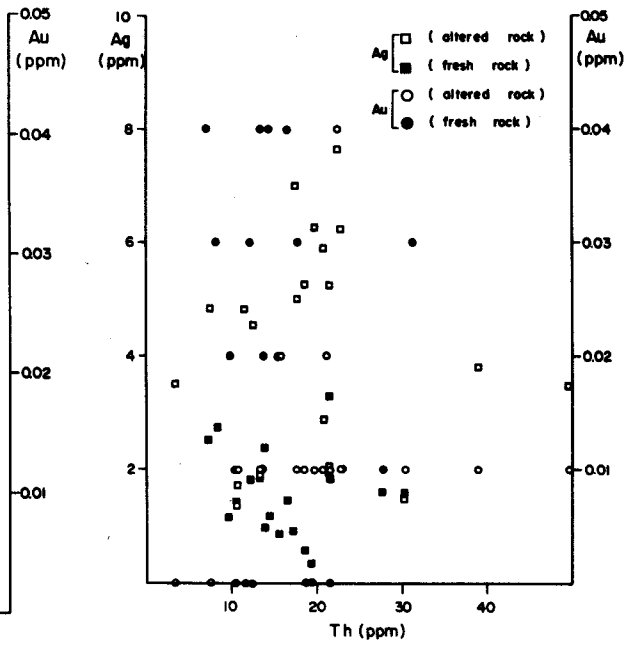
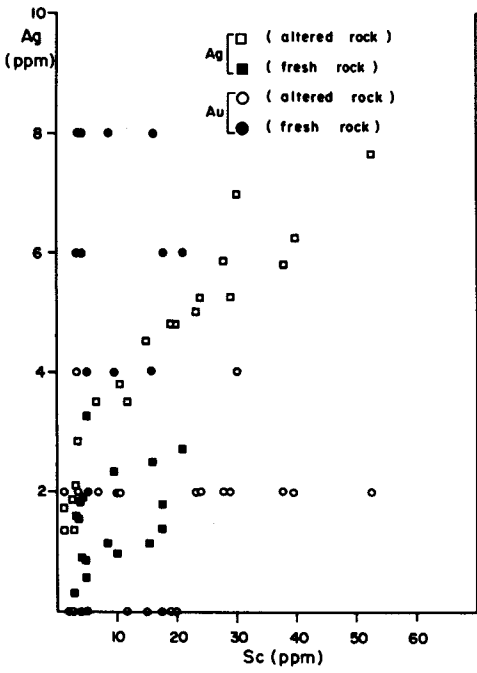
微量元素와 Au, Ag의 關係는 Fig. 2a, 2b, 2c, 2d, 2e, 2f, 2g, 2h, 2i, 2j에 나타나 있다. 變質帶에서 稀土類金屬인 Hf, Yb, Ce, Th의 含量은 Ag의 濃度와 正比例關係에 있으나 非變質帶에서는 이와 상반되게 反比例 關係에 있으며 As, Hg, Sc, Co, Sb의 濃度는 熱水變質 정도에 關係없이 Ag의 含量과 正比例 關係에 있고 또한 Sc, As, Hg, Sb등의 元素들은 非變質帶에 비해 變質地域에서 含量이 증가하는 傾向이 있다. 이러한 現狀은 變質을 야기시킨 熱水溶液에서의 稀土類 및 轉移金屬元素의 地球化學的 分化 또는 親和力 關係를 시사해 주는 資料이다.

이 微量元素들은 “火山岩標準試料에 대한 NAA 分析結果와 比較해 보면 상당한 異常值를 보이고 있다. 資料가 풍부하지 않으나 Sc의 경우(Fron del, 1974) 安山岩類에서 11.5ppm(최대 34ppm) 이상이나 이번 研究의 分板結果에 따르면 變質帶에서 대부분의 試料가 20ppm 이상이며 非變質帶에서는 모두 20ppm이하이다. 또한 Hg도 역시 火山岩類의 경우 4-10ppb 이상이나(Tunell, 1974) 이번 研究地域에서는 變質帶에서 모두 1,000ppb 이상이며 非變質帶

에서도 平均値가 1,400ppb에 달하고 있다.

이번 研究에서 分析된 Zr, Cs, Cr, Lu, La 등의 元素는 變質作用과 관련되어 規則性을 보여 주지 않으므로 熱水變質時에 민감하게 變化하지 않는 成分으로 간주될 수 있다.





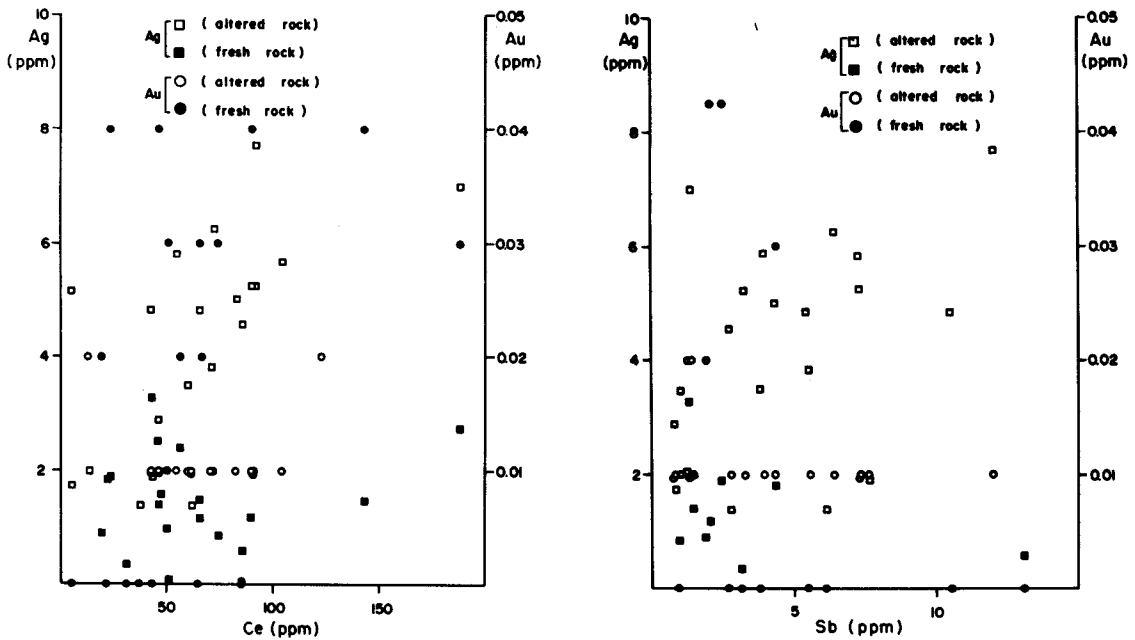
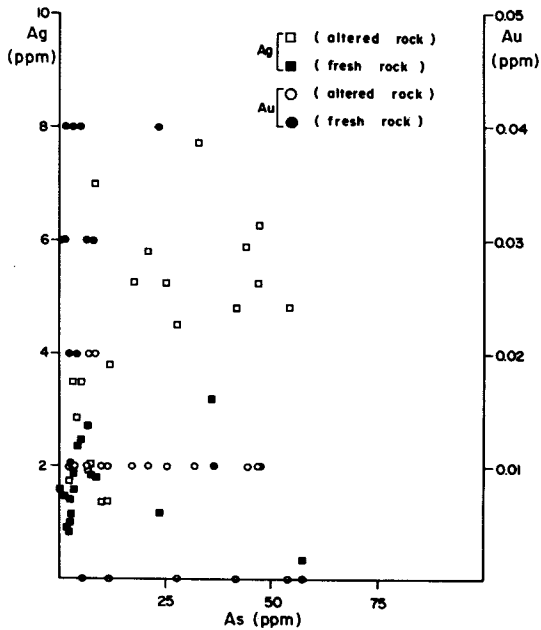


Fig. 2a, b, c, d, e, f, h, i, j, Selected trace element geochemistry for the hydrothermally altered rocks from the Yangsan, Kyeongnam province.



討議 및 結論

1. 이번 研究 對象地域에 分布하는 岩石은 安山岩, 流紋岩質岩, 凝灰岩質岩 및 花崗閃綠岩 등의 火山岩類로 構成되어 있고 熱水變質岩들은 이 地域의 線構造(linearment) 發達 樣相과 일치하게 分布되고 있다.
2. 이 地域의 變質作用은 propylitic alteration과 argillic alteration으로 구분될 수 있다.
3. Au는 熱水變質作用을 심하게 받은 부분, 즉 陶石, 蠟石등으로 과거 혹은 현재 가행(된)중인 非金屬鑛體 내에서는 대개 10ppb이하이며 安山岩, 凝灰岩 등의 岩石에서는 45-20ppb정도이고, 이와 상반된 傾向을 보여 주는 Ag의 含量은 前者의 경우 4,000-7,000ppb이며 後者의 경우 4000-3,300ppb이므로 막대한 異常值를 나타내고 있다.
4. Mg, Ca, Na, K, Rb, Au등의 元素는 熱水溶液의 地化學的 特性에 의해 선택적으로 이동되었으며 Ag, Hg, Sc, As등의 元素는 熱水變質作用에 의해 그 濃度가 증가하였다.

謝辭

本研究를 遂行하는데 中性子活性分析을 위해 支援을 하여 주신 韓國動力資源研究所 放射化研究室 이길용 研究員에게 깊은 感謝를 드리며, 또한 本論文을 作成하는데 便宜와 配慮를 주신 韓國動力資源研究所 金志同所長에게 感謝 드린다.

References

- Crocket, J. H. (1974) in Handbook of geochemistry, II-4 Wedepohl (Ed.) Springer-Verlag, Berlin. Heidelberg. New York.
- Fron del, C. (1974) in Handbook of geochemistry, II-1 Wedepohl (Ed.) Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. New York.
- Heald, P., Foley, N. K. & Hayba, D. O. (1987) Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits : Acid sulfate and adularia-sericite types : Econ. Geol., Vol. 82, 1-26.
- Imai, H. (1986) Formation of potash feldspar in propylites in the epithermal gold-silver mining areas(Preliminary report), Mining Geology, Vol. 36, No. 3, 231-236.
- Kouda, R. & Koide, H. (1978) Ring structures, resurgent cauldron and ore deposits in the Hokuroku volcanic field, Northern Akita, Japan. Mining Geology, Vol. 28, 233-244.
- Tunell, G. (1974) in Handbook of geochemistry, II-4 Wedepohl (Ed.) Springer-verlag, Berlin. Heidelberg. New York.
- Vincent, E. A. (1974) In Handbook of geochemistry, II-3 Wedepohl (Ed.) Springer-verlag, Berlin Heidelberg. New York.
- 이민성 및 姜必鍾 (1964) 梁山圖幅, 1 : 50,000, 國立地質調查所.
- 姜必鍾 外 (1987) 遠隔深查資料應用 技術研究 (II), 科學技術處, p. 91.
- 車文星 (1985) 慶尙分지 東西部の 環狀構造(I)釜山大學校 師大 論文集 第11卷, 369-389.