

## 고흥 마복산 부근에 분포하는 심성암류의 암석지구화학과 금함량

윤정환\* · 김정빈\*\* · 오근창\*\*\*

### Lithogeochemistry and Gold Content of Plutonic Rocks distributed in the Mabogsan, Koheung

Chung-Han Yoon\*, Cheong-Bin Kim\*\* and Keun-Chang Oh\*\*\*

**ABSTRACT:** Plutonic rocks of the Mabogsan, located in the southeastern part of the Koheung Eup are composed of granite gneiss, diorite, biotite granite and granophyre. On the basis of Rb-Ba-Sr diagram, the diorites are plotted from granodiorite to quartz diorite, the biotite granites from granodiorite to anomalous granite and the granophyres in normal granite field. The plutonic rocks tend to show the I-type characteristics in terms of ACF diagram,  $K_2O-Na_2O$  diagram and  $Al_2O_3/Na_2O+K_2O+CaO$  diagram, while have values of ilmenite series in magnetic susceptibility. The plutons could have formed in the tectonic environment of VAG+COLG+ORG based on the silica vs. trace element diagrams. Gold contents with major and trace elements have been determined for 21 granophyres, 13 biotite granites and 4 diorites by graphite furnace atomic absorption spectrometer(GFAAS) and inductively coupled plasma(ICP). The results are; (1) for the diorite, the range is 0.508~1.73 ppb with an average of 0.5 ppb; (2) for the biotite granites, the range is 0.449~13.5 ppb with an average of 3 ppb; (3) for the granophyres, the range is 0.508~23.1 ppb with an average of 4.5 ppb. The gold content of the studied plutons tends to increase from mafic to felsic rocks. Gold contents tend to show positive correlations with those of Ag and Zn, negative correlations with those of As, Ba and Rb. The copper contents of the plutons are comparatively high. Average copper contents of diorite, biotite granite and granophyre are 710 ppm, 587 ppm and 484 ppm, respectively. The copper contents of the plutons tend to have good correlations with those of Ag, Bi and Pb.

### 서 언

고흥지역은 영남육괴의 서남단에 위치하며 지체구조 구로는 영남육괴 지리산지구의 서남대와 경상계 퇴적 분지가 접하는 최남단지역으로 시대와 산상이 다른 다양한 화성암류가 분포한다.

본 연구지역은 기반암인 선캄브리아기 화강암질편마

암과 이를 부정합으로 덮고 있는 유천층군에 대비될 것으로 추정되는 퇴적암류와 화산암류, 그리고 이들 암석을 관입하는 심성암류로 구성되어 있다. 화강암질 편마암은 전형적인 지리산 편마암복합체의 일원으로 영남육괴 서남부지역에 널리 분포하며 인접하는 순천과 보성지역에서 흔히 관찰된다. 백악기 심성암류는 섬록암, 흑운모화강암과 그레노파이어로 구분이 가능하며 이들은 아외산상, 구성광물과 암석화학적 특징에서 뚜렷한 차이를 보인다.

이 지역에 대한 선행 연구는 화성암류에 대한 암석 기재와 화산구조적 연구 (차문성 등, 1986; Hwang, 1987), 동광화작용에 관한 연구 (박영석, 신병우, 1984; 오인성 등, 1968)와 동광상에 관한 지구화학적 및 지구물리탐광 (김상엽 등, 1979) 등이 수행되었으며 박영석 등 (1997)은 섬록암, 흑운모화강암 및 그레노파이어

\* 전남대학교 공과대학 자원공학과, 광주광역시 (Department of Mineral & Energy Resources, Chonnam University, Kwangju 500-757, Korea), E-mail: chyoan@chonnam.chonnam.ac.kr

\*\* 전남대학교 공과대학 공업기술연구소, 광주광역시 (Engineering Research Institute, College of Engineering, Chonnam University, Kwangju 500-757, Korea)

\*\*\* 전남대학교 공과대학 자원공학과, 광주광역시 (Department of Mineral & Energy Resources, Chonnam University, Kwangju 500-757, Korea)

를 대상으로 암석화학적 연구와 K-Ar법에 의한 절대연령을 측정하였으나 금함유량에 관한 연구는 이루어진 바 없다.

본 연구의 목적은 영남육괴 서남부와 경상분지의 경계지역에 암주상으로 다수 분포하는 백악기 심성암류의 지구화학적 특징과 심성암류에 따른 Au의 분포특성을 연구하는 데 있다. 화성암류중 Au함량변화는 분포지역에 따라 상이하기 때문에 세계적으로 화성암류중 금의 지구화학적 분포특징은 아직 확실하게 정리되어 있지 않다. 국내에서 김문영 등 (1988), Yoon (1991, 1995), 윤정한, 오근창 (1996), Yoon *et al.* (1997) 등이 화성암과 해남 옥매산-성산광산의 변질대에서 금함량과 분포특성을 연구한 바 있지만, 칼크-알카리암에서는 염기성암류보다는 산성암류에서 Au함량이 높은 반면에 알카리암류에서는 산성암류보다 염기성암류에서 Au함량이 높은 경향이 있음을 밝힌 바 이외에는 어떤 규칙성이나 특징이 발견된 바 없다.

**일반지질**

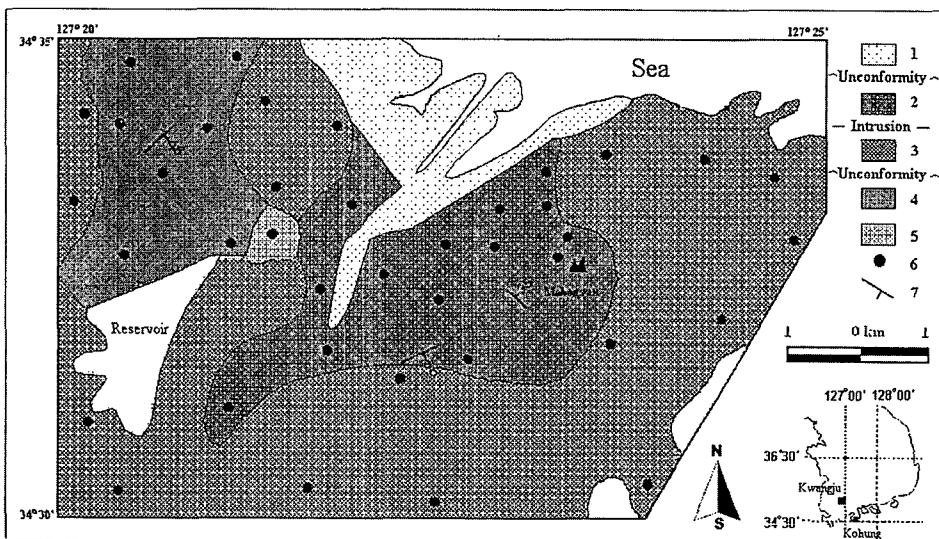
고흥지역의 지질은 선캠브리아기의 지리산편마암 복합체에 속하는 화강암질편마암을 기반암으로 이를 부정합으로 덮은 경상계 퇴적암류와 화산암류 그리고 상기 암층을 관입하는 백악기말의 섬록암, 흑운모화강암과 그레노파이어로 구성되나 인근 마복산을 중심으로 한 본 연구지역은 주로 심성암류인 섬록암, 흑

운모화강암, 그레노파이어와 화산암류로 구성되어 있다 (Fig. 1).

**안산암류**

연구지역에서 화산암류는 행인상구조를 함유하는 안산암질응회암, 사장석 반정을 함유하는 안산반암 및 용결응회암등으로 구분된다. 후기의 섬록암과 흑운모화강암과 그레노파이어에 의해 관입된다.

안산암질응회암은 장경이 2~10 mm의 행인을 가지며 행인의 구성광물은 방해석, 옥수, 녹렴석등이다. 단주상의 사장석은 장경이 0.1~2.0 mm로써 견운모와 녹렴석등으로 심하게 변질되어 있다. 수반광물은 자철석, 적철석, 금홍석, 티탄철석 및 녹렴석등이다. 안산반암은 담록색에서 암록색을 띠는 치밀하고 견고한 관입암으로 주요성광물은 사장석과 휘석으로 부조성광물은 녹렴석과 불투명광물이다. 안산반암의 반정은 큰 사장석과 휘석결정으로 그리고 석기는 세립 내지 미정질 휘석, 녹니석, 유리질 및 얼마간의 불투명광물로 이루어져 있다. 사장석은 석기에서 외형(lath like)이나, 반정에서는 정방형이나 직사각형의 자형으로 나타나며 대부분이 알바이트 쌍정을 보여주고 그 성분은 안데신(An32-38)에 해당한다. 쌍정의 대부분은 견운모화작용으로 심하게 변질되어 있으며 방해석은 절리나 깨진면을 충전하는 세맥상의 것이 있으며 이들은 주위 퇴적암에서 이동해 온 것이다. 휘석의 대부분은 정사각형



**Fig. 1.** Geologic map of the studied area. 1; Alluvium, 2; Granophyre, 3; Andesitic rock, 4; Biotite granite, 5; Granodiorite, 6; Sampling site, 7; Strike & dip of joint

에 가까운 자형으로 산출하며 자소회석에 속하고 벽계면이 잘 발달한다. 휘석은 불투명광물을 수반되거나 결정의 외곽이 각섬석으로 둘러싸인 코로나 구조를 보이기도 한다. 각섬석은 휘석을 포획하거나 연정으로 관찰되며 화강암과 접촉부에서는 녹니석으로 변질되어 있다 (박영석 등, 1997).

### 섬록암

본암은 장축 약 2 km 이내의 소규모 암주상 또는 암맥상의 관입암체로 분포하며 안산암과 화강암질편암을 관입한다. 본암은 신선한 노두에서는 우후질을 떠나 풍화면은 적갈색을 보인다.

섬록암의 구조성광물은 사장석, 각섬석, 흑운모 및 석영이고 부조성광물은 불투명광물, 저어콘과 인회석으로 구성된다. 사장석은 자형 내지 반자형으로 그 성분은 대체로 안데신에 해당한다. 각섬석은 기존의 휘석류가 마그마의 잔액과 반응으로 생성된 것으로 휘석류의 잔유물로 사료되는 흔적이 관찰되며, 석영은 간극 충전상의 불규칙한 결정들로 그 함량은 5~10용적%이다 (박영석 등, 1997).

### 흑운모화강암

흑운모화강암은 괴상의 중립 내지 조립질 화강암질암으로 그레노파이어와 점이적이다. 본암은 다수의 세립질에서 중립질 섬록암질암을 포획하며 그중 일부는 거의 동화되어 유색광물의 집합체로 관찰되나 상당수는 선명한 경계면을 보여준다. 흑운모화강암은 안산암과 안산암질응회암을 관입하며 접촉부에서는 급냉에 의한 연변상과 변질대가 관찰된다. 흑운모화강암의 구조성광물은 석영, 정장석, 사장석, 녹니석화된 각섬석과 흑운모, 부조성광물은 녹립석, 저어콘, 인회석과 불투명광물이다. 석영은 0.1~2.0 mm의 타형 혹은 반자형이며 정장석을 교대하여 문상조직을 보이거나 장석들 주위에 stringers로 산출된다. 정장석은 0.1~1.0 mm의 타형 내지 반자형이 대부분이고 세립 혹은 중립질로 석영에 의해서 교대되어 문상조직을 보여준다. 사장석은 0.2~2.0 mm로 주로 알바이트, 알바이트-칼스베트 쌍정을 보이고 반자형이나 자형이며 대부분 건운모화되었거나 후기의 석영이 교대하여 미르메카이트 조직을 이루기도 한다. 각섬석과 흑운모는 대부분 0.1~0.4 mm 크기로 자형 내지 반자형이며 상당수가 녹니석화되었다 (박영석 등, 1997).

### 그레노파이어

본암은 연구지역에서 주로 마복산지역에 분포하나 맥상으로 빈번하게 관찰되며, 괴상의 중립 내지 조립질 담홍색 화강암질암으로 노두에서 박리작용의 표면을 보여준다. 본암은 직경 3 mm 이내의 miarolitic 기공과 불투명광물을 포유하는 등 친소관입암의 특징을 갖는다. 본암과 흑운모화강암은 비봉산 동사면에서 점이적인 암상을 보이거나 안산암을 관입하는 경계부에서는 급냉에 의한 연변상이나 변질대가 자주 관찰된다. 그레노파이어의 구조성광물은 석영, 알칼리장석, 사장석, 흑운모, 각섬석과 녹니석화된 흑운모로, 부조성광물은 저어콘, 인회석, 녹립석과 티탄석이다. 정장석은 0.1~1.0 mm의 세립 내지 중립질로 타형과 반자형을 이루며 석영과 intergrowth 또는 석영이 정장석을 교대하여 문상조직을 보여준다. 사장석은 자형 내지 반자형으로 크기는 0.1~2.0 mm로 거의 건운모화 되어 있고 알바이트, 알바이트-칼스베트 쌍정 및 누대구조를 보인다. 대부분 녹니석화된 각섬석과 흑운모는 0.3 mm 이하의 자형 내지 반자형의 침상으로 관찰되며 저어콘과 인회석을 포유하기도 한다 (박영석 등, 1997).

### 시료채취 및 화학분석

본 연구지역에 분포하는 화성암류 특히 미문상 화강암류는 풍화작용을 심하게 받았기 때문에 신선한 시료를 채취하기 위해서 대형함마를 사용하여 암석표면의 풍화된 부분을 떨어내고 신선한 부분을 시료로 채취하였으며 신선한 시료를 채취하기 위해서는 chip sampling을 할 수 밖에 없었다. 채취한 시료중 실내에서 확대경 또는 편광현미경 관찰을 통하여 신선도가 높은 그레노파이어 21개, 흑운모화강암 13개, 화강섬록암 2개, 안산암질암 5개, 유문암질암 1개 그리고 연구지역의 서남부에 암주상으로 분포하는 섬록암 4개를 캐나다 ACTA LAB.에서 Au는 GFAAS로 분석하였고 Ag, As 등의 미량성분은 ICP-MS를 이용하여 분석하였으며 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub> 등의 주성분 및 부성분은 XRF로 분석하였다.

### 심성암류에 대한 암석화학

#### 주성분원소

각 암체에 대한 주성분원소 분석치와 CIPW 노름값은

**Table 1.** Major elements and C.I.P.W. norm data of the plutonic rocks in Mabogsan Area.

(Unit : wt. %)

	Granophyre			Biotite granite			Granodiorite			Diorite		
	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean
SiO <sub>2</sub>	70.12	76.45	73.86	65.43	72.40	70.84	65.42	65.55	65.49	56.67	62.50	59.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.78	15.89	14.33	14.05	15.82	14.88	15.33	15.66	15.50	15.86	17.32	16.74
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.15	1.14	0.52	0.57	1.90	1.17	0.96	0.99	0.98	2.87	3.63	3.32
FeO	0.67	2.55	1.22	1.20	3.15	1.99	4.77	5.20	4.99	3.58	5.47	4.52
MgO	0.04	0.71	0.17	0.46	1.58	0.69	1.72	1.72	1.72	2.21	3.69	3.00
CaO	0.43	2.29	1.15	1.16	3.97	2.23	3.37	4.20	3.79	5.23	7.54	6.41
Na <sub>2</sub> O	2.35	4.51	3.84	3.39	4.77	4.11	3.88	4.13	4.01	3.08	3.71	3.45
K <sub>2</sub> O	2.80	5.11	4.24	2.64	4.19	3.14	2.16	2.20	2.18	1.35	2.24	1.85
TiP <sub>2</sub>	0.09	0.36	0.13	0.29	0.60	0.35	0.61	0.63	0.62	0.70	0.87	0.81
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	0.13	0.04	0.09	0.22	0.11	0.20	0.23	0.22	0.16	0.26	0.20
MnO	0.03	0.14	0.07	0.05	0.11	0.08	0.15	0.16	0.16	0.11	0.16	0.14
Q	25.77	40.97	32.24	18.56	33.60	28.52	19.65	19.65	19.65	10.71	18.96	13.96
C	0.00	4.38	1.52	0.00	1.63	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Or	16.70	30.17	25.04	15.59	24.49	18.54	12.80	12.80	12.80	7.96	13.25	10.91
An	1.95	11.41	5.52	4.45	19.75	10.66	16.69	20.87	18.78	20.42	28.38	24.73
Ab	19.93	38.28	32.30	28.69	40.38	34.74	33.04	35.14	34.09	26.07	31.42	29.24

Table 1과 같다.

연구지역의 심성암류중 SiO<sub>2</sub>의 함량은 섬록암이 56.67~62.50 wt.%로 섬록암에서 석영섬록암의 범위에 해당되고 흑운모화강암과 그레노파이어가 각각 65.43~72.4 wt.%, 70.12~76.45 wt.%, 70.12~76.45 wt.%로 화강암영역에 해당된다. 연구지역의 심성암류는 MgO가 증가할수록 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, FeO 및 TiO<sub>2</sub>도 증가하는 정의 상관관계를 보여주나 K<sub>2</sub>O와 Na<sub>2</sub>O는 감소하는 경향을 보여준다 (박영석 등, 1997).

CIPW 노름값의 석영 - 정장석 - 사장석 (이하 Q-Or-Pl) 삼각도에서 섬록암은 석영몬조니섬록암에서 화강섬록암 영역에, 흑운모화강암과 화강섬록암은 화강섬록암에서 화강암에 그리고 그레노파이어는 화강암 영역에 도시된다 (박영석 등, 1997). 장석의 상대적인 함량을 알아보기 위한 정장석 - 조장석 - 회장석 (이하 Or-Ab-An) 삼각도에서 섬록암은 정장석이 20% 이하이고 조장석과 회장석이 30~50% 영역에 밀집하나 흑운모화강암, 화강섬록암과 그레노파이어는 회장석이 20% 이

**Table 2.** Trace elements of the plutonic rocks in Mabogsan Area.

(Unit : ppm except Ag and Au)

	Granophyre			Biotite granite			Granodiorite			Diorite		
	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean
Ba	602.00	1023.00	849.86	491.00	1062.00	691.31	752.00	881.00	816.50	329.00	487.00	430.00
Sr	42.00	279.00	66.73	190.00	365.00	262.00	327.00	370.00	348.50	319.00	425.00	373.43
Rb	77.00	161.00	137.41	65.00	121.00	94.75	38.00	51.00	44.50	42.00	82.00	59.71
Li	10.00	21.00	15.73	15.00	21.00	16.75	17.00	23.00	20.00	17.00	39.00	24.57
Cu	1.49	845.00	172.98	2.37	927.00	321.09	5.75	11.90	8.83	585.00	959.00	711.14
Zn	35.20	385.00	86.04	26.50	128.00	73.42	106.00	143.00	124.50	114.00	197.00	151.00
Co	1.00	7.00	3.91	2.00	13.00	8.81	12.00	12.00	12.00	24.00	30.00	26.43
Cr	2.00	11.00	5.27	4.00	40.00	9.81	11.00	12.00	11.50	19.00	33.00	27.43
Sc	3.00	7.00	4.64	6.00	14.00	7.19	14.00	14.00	14.00	20.00	26.00	22.86
V	2.00	26.00	4.36	15.00	76.00	26.69	73.00	96.00	84.50	126.00	200.00	162.57
Nb	7.00	17.00	10.64	6.00	9.00	6.94	6.00	7.00	6.50	6.00	8.00	7.14
Y	12.00	96.00	31.41	17.00	37.00	25.38	26.00	27.00	26.50	23.00	32.00	28.00
Zr	39.00	97.00	67.09	41.00	259.00	78.25	114.00	131.00	122.50	21.00	27.00	24.00
As	0.60	2.00	1.14	0.50	8.80	2.12	2.40	4.20	3.30	1.02	1.33	1.17
Bi	0.10	1.30	0.26	0.10	0.40	0.14	0.10	0.10	0.10	0.12	0.14	0.13
Cl	100.00	200.00	133.33	100.00	600.00	300.00	100.00	300.00	200.00	-	-	-
F	30.00	240.00	74.29	110.00	360.00	193.75	350.00	400.00	375.00	-	-	-
Pb	6.54	40.10	16.92	5.73	45.00	21.05	4.47	18.00	11.24	33.20	44.00	37.95
Ag(ppb)	24.00	380.00	114.89	30.00	186.00	119.76	38.00	120.00	79.00	172.00	225.00	202.75
Au(ppb)	0.50	23.10	3.50	0.45	13.50	1.80	1.00	1.60	1.30	0.50	1.73	0.84

하이그 정상석과 조장석이 60:40인 선면을 향하여 점시되는 경향을 보인다 (박영석 등, 1997).

AMF 삼각도에서 섬록암에서 그레노파이어까지가 전형적인 calc alkali rock 계열과 일치하는 분화경향을 보여주며 이들이 연속적인 분화산물일 가능성을 시사한다 (박영석 등, 1997).

### 미량원소

분석된 미량원소에 대한 결과는 Table 2와 같다.

#### 친석원소(Ba, Li, Rb, Sr)

화강암질 마그마에서 Rb은 분화가 진행됨에 따라 잔류 마그마에 농축되는 반면에 Sr은 분별 결정작용을 하는 동안에 사장석 또는 K-장석에 허용 또는 포용되어 비교적 초기에 소모됨으로 잔류마그마에는 상대적으로 Sr 함량이 감소되는 경향을 나타낸다 (Arth and Reston, 1976; Hanson, 1978). Ba은 분별결정작용중 초기에 생성되는 조암광물의 종류와 그 함량에 따라 잔류마그마에 농축되기도 하고 결핍되기도 한다.

본 연구지역에서 Ba 평균함량은 섬록암에서 430 ppm, 흑운모화강암에서 728 ppm, 화강섬록암에서 883 ppm, 그레노파이어에서 834 ppm으로 월악산 화강암체 209 ppm (전효택, 1983), 분천 화강암 286 ppm (전효택, 이덕원, 1987), 왕피리 화강암체 33 ppm (전효택 등, 1989), 진동 화강암체 427~416 ppm (이진국, 이재영, 1994)보다 훨씬 부화되어 있으나 화강암 평균함량 730 ppm (Wedepohl, 1968) 및 박영석 등 (1977)에 의한 고흥지역의 함량과는 유사한 값이다.

Rb은 교대지수가 K와 유사하여 K-광물에 치환되기도 한다. 광화용액에 의한 모암 변질작용시 Rb이 K을 치환할 경우 모암내에서 Rb함량이 증가하는 것으로 알려져 있다 (Lawrence, 1975; Tauson and Kuzlov, 1973). 본 연구지역의 화강암류에서 Rb의 평균함량은 섬록암에서 60 ppm, 흑운모화강암에서 85 ppm, 화강섬록암에서 45 ppm, 그레노파이어에서 131 ppm으로 월악산 화강암체 310 ppm (전효택, 1983), 분천 화강암체 224 ppm (전효택, 이덕원, 1987), 왕피리 화강암체 608 ppm (전효택 등, 1989), 진동 화강암체 55 ppm (이진국, 이재영, 1994)와 국내 남부 백악기 화강암류 140 ppm (진명식 등, 1982), 화강암 평균 함량 150 ppm (Taylor, 1964)보다 훨씬 결핍된 경향을 보이거나 박영석 등 (1997)이 고흥 지역의 심성암류를 분석한 결과와는 유사하다.

Sr은 Ca보다 광화작용에 민감하므로 Sr이 광화작용

의 지시원소로 이용될 수 있음이 보고된 바 있다 (Plimer and Elliot, 1979). 본 연구지역에서 Sr 평균함량은 섬록암에서 373 ppm, 흑운모화강암에서 271 ppm, 화강섬록암에서 349 ppm, 그레노파이어에서 76 ppm으로 월악산 화강암체 85 ppm (전효택, 1983), 분천 화강암류 78 ppm (전효택 등, 1989)보다 높고 국내 남부 백악기 화강암류에서 247 ppm (진명식 등, 1982), 화강암 평균함량 285 ppm (Taylor, 1964), 박영석 등 (1997)이 고흥 지역에 분포하는 심성암류의 Sr함량과는 유사한 경향을 나타낸다.

Li은 Mg를 포함하는 광물에 허용되며 화성암중에서는 분화가 진행되면서 Li 함량은 증가한다. Li의 평균함량은 섬록암에서 25 ppm, 흑운모화강암 20 ppm, 화강섬록암에서 31 ppm, 그레노파이어에서 17 ppm, 안산암에서 37 ppm이다. 이는 진동 화강암체 약 20 ppm, 월악산 화강암체 70 ppm (전효택, 1983), 분천 화강암체 32 ppm (전효택, 이덕원, 1987), 왕피리 화강암체 693 ppm (전효택 등, 1989), 화강암 평균함량 30 ppm (Taylor, 1964), 고흥지역의 섬록암 24 ppm, 흑운모화강암 14 ppm, 그레노파이어 16 ppm (박영석 등, 1997)의 Li 함량과 비교하면 월악산 화강암체, 분천 화강암체, 왕피리 화강암체의 32~693 ppm보다 낮으나 동생산성 진동 화강암체 (이진국, 이재영, 1994) 및 고흥 지역 (박영석 등, 1997)의 화강암체와는 비슷한 함량을 보여준다.

Rb-Sr관계도 (Fig. 2)에서 Rb함량과 Sr함량은 bimodal한 경향, 즉 그레노파이어에서 Rb함량은 높으나 Sr함량은 낮은 반면 흑운모화강암과 섬록암에서는 Rb함량은 낮고 Sr함량은 높은 경향을 보이는데 전체적으로 보면 Rb과 Sr 함량은 부의 상관관계를 나타낸다. 이는 본 연구지역에 분포하는 화강암류의 분화과정은 그레노파이어를 제외한 화강암류는 분별 정출 작용에 의한 것으로 추정된다. Rb-Li (Fig. 2)관계는 Rb-Sr과 마찬가지로 전체적으로 보면 부의 관계를 나타내지만 암체별 즉 섬록암과 화강섬록암은 Rb함량이 증가함에 따라 Li 함량도 증가하는 경향을 보여주기도 한다. Rb-F 관계도 (Fig. 2)에서도 부의 상관관계를 보여준다. Rb-Ba관계도 (Fig. 2)에서 Ba 함량이 증가하면 Rb 함량도 비교적 규칙적으로 증가하는 경향을 나타낸다. Rb/Sr-SiO<sub>2</sub> 관계 (Fig. 3)는 섬록암, 흑운모화강암에서 SiO<sub>2</sub> 함량이 73%까지는 서서히 증가하나 그레노파이어는 급격히 증가하는 경향을 보여준다. Rb/Sr은 산성 화성암류 분포 지역에서 광상탐사에 주요 지시자 (Lawrence, 1975)로 활용되는데 Rb/Sr 비가 4 이상일 경우 유망 산성화성암

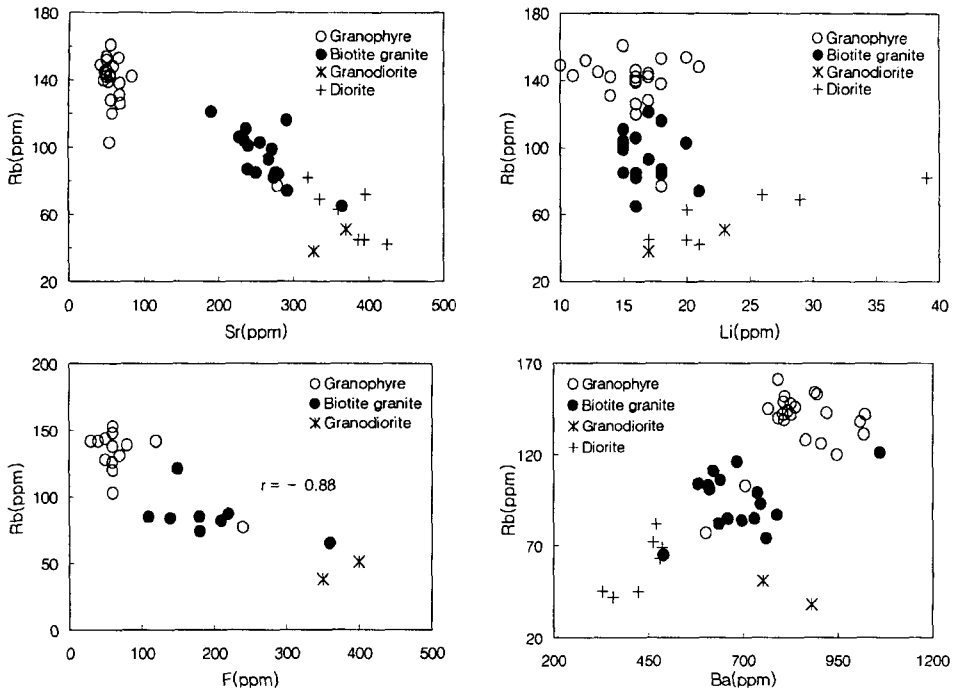


Fig. 2. Plot of Rb versus Sr, Li, F and Ba.

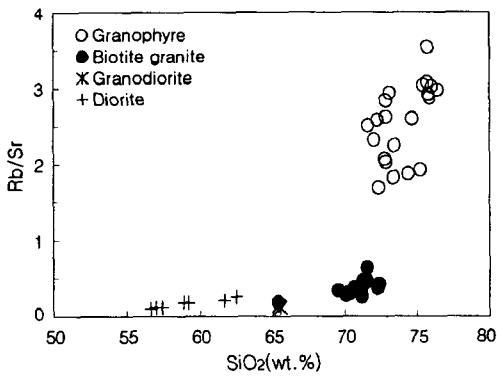


Fig. 3. Plot of Rb/Sr versus SiO<sub>2</sub>.

으로 판단하는데 본 연구지역에 분포된 화강암류중 그라노파이어가 2~3으로 가장 높은 값을 나타낸다. 본역 부근에는 신흥동광산이 있어 동을 생산한 적이 있고 화강암류중 높은 Cu함량을 나타내는 것을 보면 생산성 심성암체로서의 가능성에 관해 앞으로 더욱 연구할 필요가 있는 지역으로 사료된다.

**천동원소(Cu, Pb, Zn)**

Cu의 평균함량은 섬록암에서 710 ppm, 흑운모화강

암에서 587 ppm, 그라노파이어에서 484 ppm으로 월악산 화강암체 3 ppm(전효택, 1983), 분천 화강암류 11 ppm(전효택, 이덕원, 1987), 왕피리 화강암체 3 ppm(전효택 등, 1989), 국내 남부 백악기 화강암류 19 ppm(진명식 등, 1982), 화강암평균함량 13 ppm(Taylor, 1964), 진동 화강암류중의 생산성 심성암체에서 79 ppm(이진국, 이재영, 1994)보다 훨씬 높은 함량을 보여주며, 박영석 등(1997)이 고흥 지역의 심성암류를 대상으로 분석한 결과와는 유사하다. Cu는 황화물 또는 산화물로 산출되지만 Fe광물에 허용되어 존재하기도 함으로 Fe<sup>2+</sup> 함량과 밀접한 관련성이 있으며 분화가 진행됨에 따라 감소하는 경향을 나타내는데 본 연구지역의 화강암체에서도 경미하지만 분화말기 산물인 그라노파이어에서 가장 낮은 경향을 보여준다. Zn의 평균함량은 섬록암에서 120 ppm, 흑운모화강암에서 65 ppm, 그라노파이어에서 75 ppm으로 월악산 화강암체 29 ppm(전효택, 1983), 분천 화강암체 37 ppm(전효택, 이덕원, 1987), 왕피리 화강암체 42 ppm(전효택 등, 1989), 국내 남부 백악기 화강암류 56 ppm(진명식 등, 1982), 세계 화강암 평균 함량, 52 ppm(Taylor, 1964), 진동 화강암류중의 생산성 심성암체 23 ppm(이진국, 이재영, 1994)보다 2~5배 부화되어 있다. Pb의

평균함량은 섬록암에서 38 ppm, 흑운모화강암에서 21 ppm, 그레노파이어에서 20 ppm으로 월악산 화강암체 37 ppm, 어평, 이목, 일광 화강암체 각각 46 ppm, 46 ppm, 85 ppm (전용원 등, 1985), 분천 화강암 42 ppm (전효택, 이덕원, 1987), 왕피리 화강암체 17 ppm (전효택 등, 1989), 국내 남부 백악기 화강암류에서 22 ppm (진명식 등, 1982), 화강암 평균 함량 24 ppm (Wedepohl, 1968), 진동 화강암류중의 생산성 심성암체에서 7 ppm (이진국, 이재영, 1994)과 비교하면 일광 화강암체와 진동화강암체를 제외한 다른 화강암체와 큰 차이 없이 유사한 경향을 보여준다.

Fig. 4는 Cu-Pb-Zn의 상대적 분포양상을 도시한 것으로서 흑운모화강암과 그레노파이어가 Pb 함량에 비해서 Cu 함량이 높은 것으로 미루어 보아 Cu 광상이

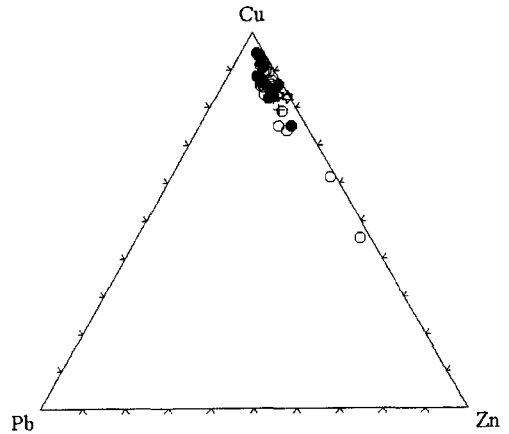


Fig. 4. Ternary diagram for Cu-Pb-Zn. Symbols are same as in Fig. 2.

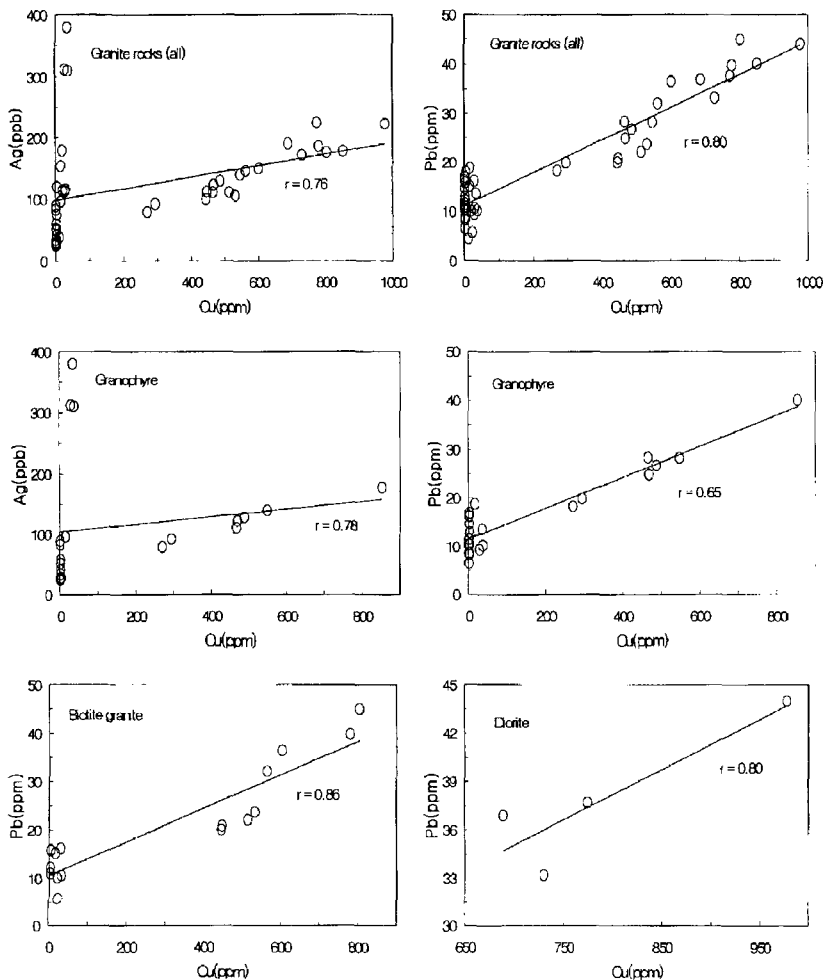


Fig. 5. Scatter diagram of some trace elements.

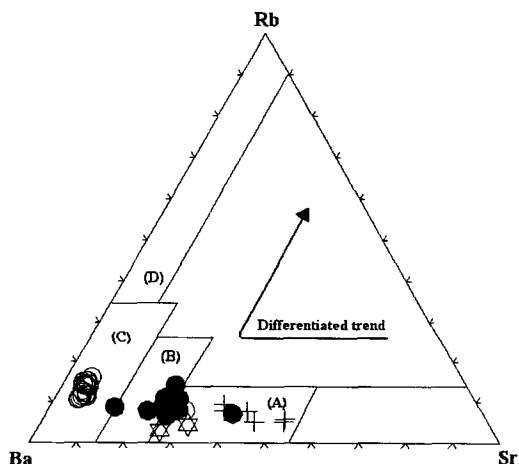
부존할 가능성이 높은 것으로 사료된다. 이는 김상엽 등 (1979)의 연구에 의하면 significant anomalous value 는 Cu 함량이 250 ppm 이상이라고 밝힌 바 있는데 본 연구에서 분석한 Cu 평균 함량은 대부분의 심성암 류에서 250 ppm을 훨씬 초과하는 값이어서 앞으로 더욱 정밀한 지구화학적 탐사가 수행되어야 할 것으로 판단된다. 흑운모화강암과 그레노파이어에서 Cu 함량 과 비교적 높은 상관관계를 보여주는 원소는 Ag, Bi, Pb 등이다 (Fig. 5)

**성인적 고찰**

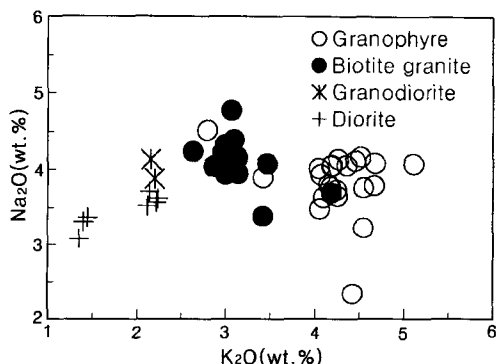
연구지역에 분포하는 섬록암과 흑운모화강암 및 그레

노파이어를 구성하는 마그마의 분화경향을 알아보기 위한 SiO<sub>2</sub> 대한 alkalinity 변화도는 섬록암이 calc alkaline 영역에, 흑운모화강암이 calc alkaline과 alkaline의 경계지역에, 그리고 그레노파이어는 alkaline 영역에 접시된다. 또 SiO<sub>2</sub>에 대한 Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O의 변화도는 모두가 subalkaline의 영역에 도시된다 (박영석 등, 1997). Rb-Ba-Sr 관계도 (Fig. 6)에서 본 연구지역에 분포하는 섬록암류는 화강섬록암에서 석영섬록암 영역에, 흑운모화강암과는 화강섬록암과 anomalous 화강암영역에, 그레노파이어는 화강섬록암에서 정상화강암 (normal granite)영역에 도시된다.

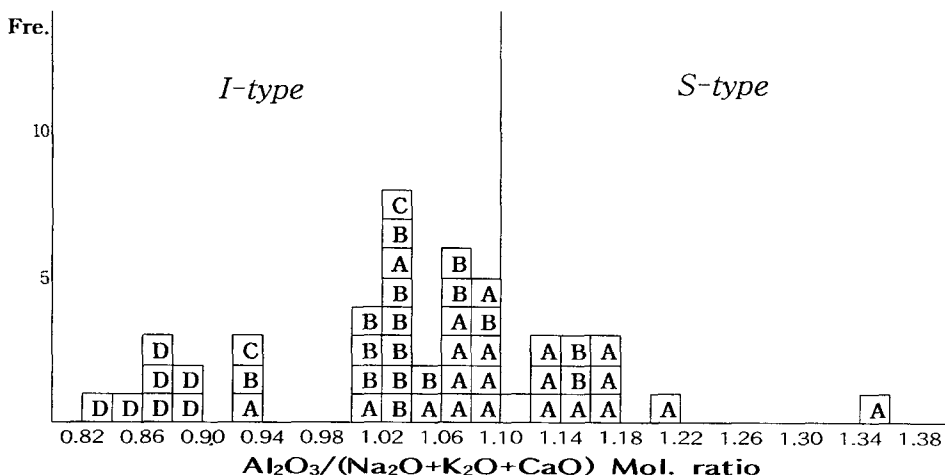
Chappell과 White (1974) 그리고 White와 Chappell (1977)이 제안한 화성기원의 I-type와 퇴적기원의 S-type형 화강암류에 대한 식별기준에 의해 본 연구지역의 화강암류를 분류하면 다음과 같다. K<sub>2</sub>O와 Na<sub>2</sub>O 관계도(Fig. 7)에 의하면 대부분이 3.2% 이상의 Na<sub>2</sub>O



**Fig. 6.** Ternary diagram for Rb-Ba-Sr. ○; Granophyre, ●; Biotite granite, ☆; Granodiorite, +; Diorite.



**Fig. 7.** Sodium content plotted against potassium content of the studied rocks.



**Fig. 8.** Frequency distribution of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O+CaO (molar ratio) for the studied rocks. A; Granophyre, B; Biotite granite, C; Granodiorite, D; Diorite.



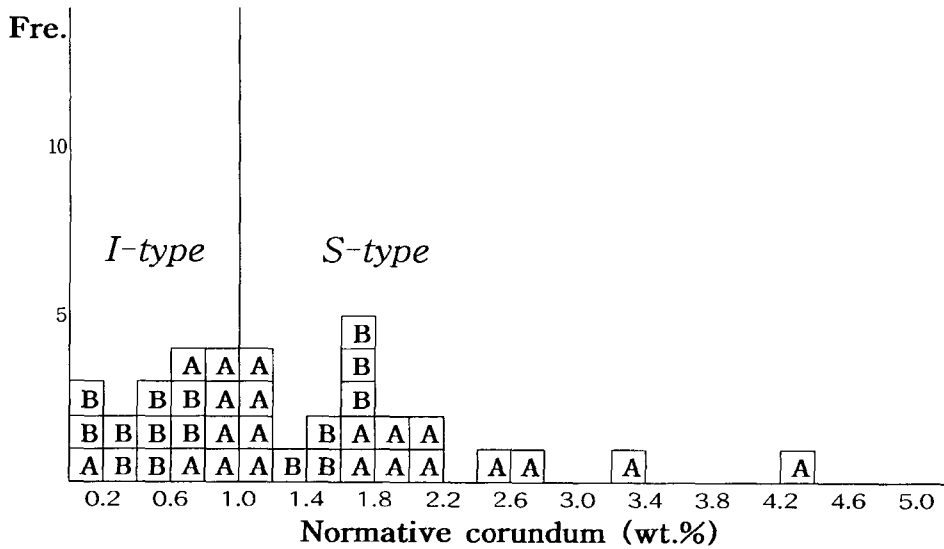


Fig. 9. Amounts of the normative corundum (wt.%) for the studied rocks. Letters are same as in Fig. 8.

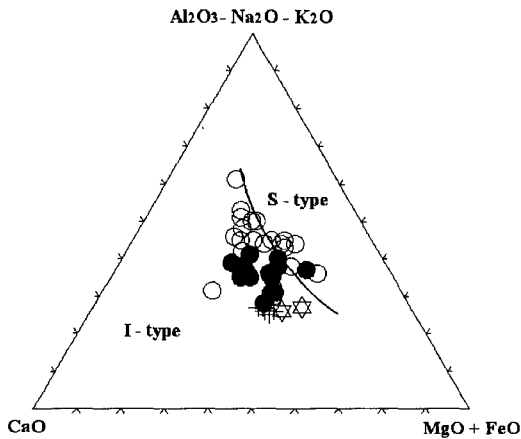


Fig. 10. ACF diagram for the studied rocks. Symbols are same as in Fig. 6.

함량치를 나타내는 것으로 보아 I-type로 분류되며  $Al_2O_3/Na_2O+K_2O+CaO$  관계도 (Fig. 8)에서 그레노파이어는 1.10 이하와 이상의 영역에 도시되지만 대부분은 1.10 이하의 값을 갖는 I-type형 화강암류 영역의 값을 보여준다. Norm corundum (Fig. 9) 값은 광범위하게 분포 도시되어 S-type과 I-type 영역에 분산 도시된다. ACF 삼각도 (Fig. 10)에서도 대부분의 시료가 I-type 영역에 도시되고 있는 것으로 보아 본 연구지역에 분포되어 있는 화강암류는 I-type 영역의 화강암류에 해당된다. 채취한 암석시료를 대상으로 자성물체가 없는 잔디 위에서 Kapper meter (KT-5)를 사용하여 대자율 측정 실험한 결과 (Fig. 11)에 의하면 대부분의

시료가  $1 \times 10^{-4}$  SI unit 이하의 값을 나타내는 것으로 보아 Ishihara (1977)에 의한 화강암류 분류법으로는 티탄철석계 화강암류에 해당된다.

Pearce *et al.* (1984)은 화강암질암류를 형성시킨 지구조적 위치와 관련하여 대표적으로 Ocean Ridge Granite (ORG), Volcanic Arc Granite (VAG), White Plate Granite (WPG) 및 Collision Granite (COLG)의 4개 group으로 나누었다.  $SiO_2$  대 Nb의 상관도 (Fig. 12a)에서 대부분이 VAG+COLG+ORG 영역에 도시되고  $SiO_2$  대 Y의 상관도 (Fig. 12b)에서는 모두가 VAG+COLG+ORG의 영역에 도시되며  $SiO_2$  대 Rb 상관도 (Fig. 12c)에서는 모두가 VAG 영역에 도시된다. 이와 같은 결과는 박영석 등 (1997)이 고흥 지역의 심성암류를 대상으로 연구한 결과와 일치하며 해남-완도와 광양-남해 지역의 백악기 화강암류에서도 보고된바 있다 (신인현, 1994 ; 박천영 등, 1993). 이는 한반도 남해안 지역에 분포하는 백악기 심성암류가 판구조론과 관련된 호상열도나 응장력이 작용하는 대륙주변부 환경에서 형성되었음을 시사하고 있다.

금(Au)함량

Au함량은 Table 2와 Fig. 13에서 알 수 있는 바와 같이 그레노파이어류에서는 0.5~23 ppb (평균 4.5 ppb), 흑운모화강암에서는 0.6~13.5 ppb (평균 3 ppb), 화강섬록암에서는 1.0~1.6 ppb (평균 1.3 ppb), 섬록암은 0.5~1.37 ppb (평균 0.5 ppb이하)의 함량을 보여준다. 평균

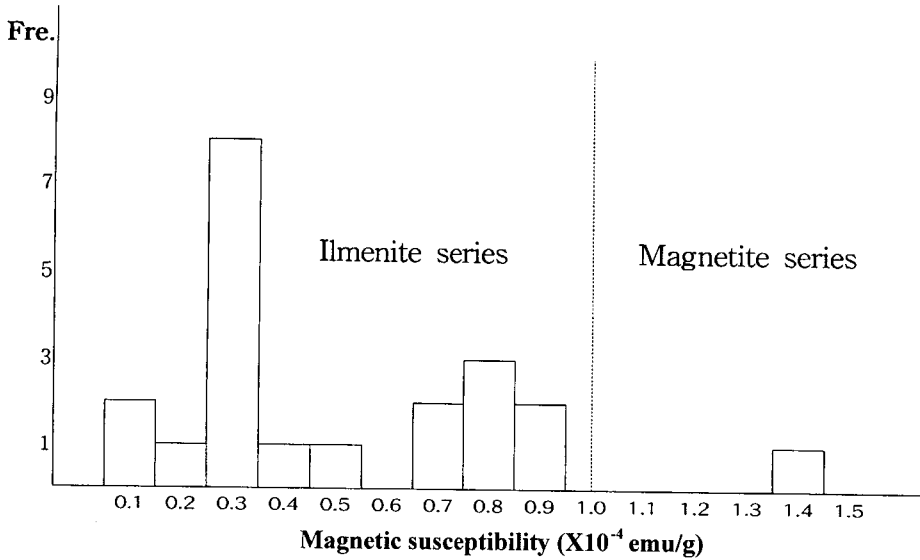


Fig. 11. Frequency distribution of magnetic susceptibility for the studied rocks.

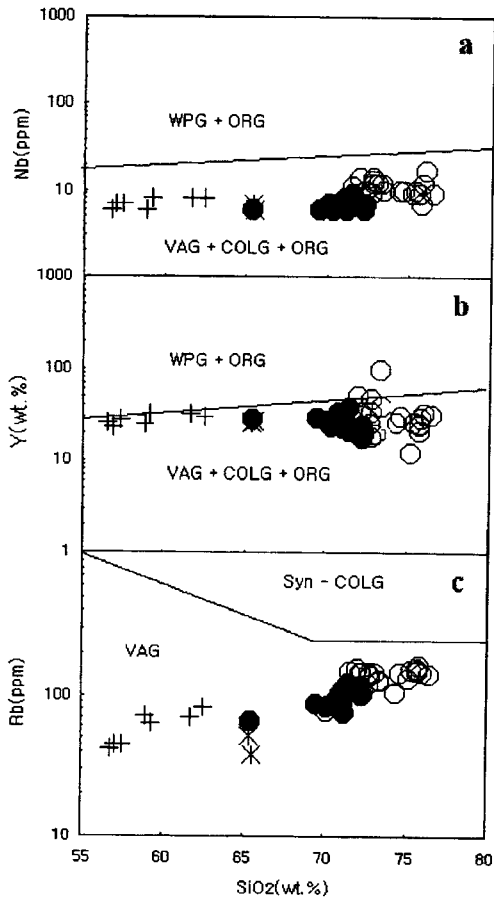


Fig. 12. SiO<sub>2</sub> versus Nb, Y and Rb for the studied rocks. Symbols are same as in Fig. 2.

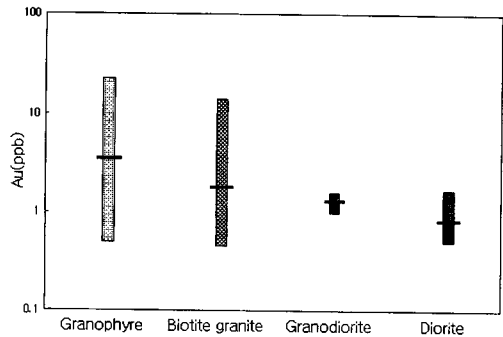


Fig. 13. Range and average of gold contents for the studied rocks. Bars are average gold contents.

함량을 기준으로 비교하면 분출암류는 시료가 적어 비교할 수 없으나 심성암류는 acidic할수록 Au함량이 증가함 (Fig. 13, 14)을 보여주는데 이는 미국 서부 (Gottfried *et al.*, 1972, Tilling *et al.*, 1973), 캐나다의 Manitoba 동남부 (Stephenson and Ehmann; 1971), 러시아의 Altai-Sayan (Shcherbakov and Perezhogin, 1964) 지역의 결과와는 상이하지만, Ishihara *et al.* (1985, 1986)와 Yoon (1991)의 연구결과와는 일치함을 보여준다. 특히 윤정환과 오근창 (1996)은 국내 화산암류중의 금분포특징에 관한 연구에서 칼크-알카리화산암류에서 Au함량은 염기성암류보다는 산성암류에서 높은 경향이 있고 알카리암류에서는 산성암류보다는 염기성암류에서 높은 경향이 있다는 결과와 일치한다. 본 연구지역 부근에는 현재 폐광된 금은광산이 있는데 금은광산 부근에 분포하는 화성암류중 Au함량은 금은광

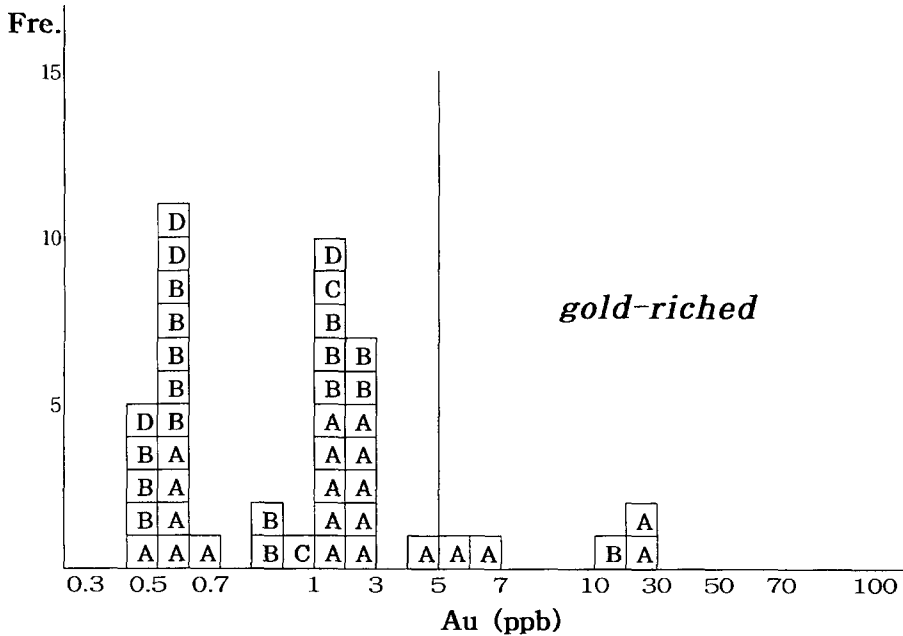


Fig. 14. Frequency distribution of gold contents for the studied rocks. Letters are same as in Fig. 8.

산에서 멀리 떨어진 지역에 분포하는 화성암류종의 함량보다 특별히 높은 경향을 나타내지 않는 것으로 보아 금은광상과 본 연구지역에 분포하는 화성암류와는 공간적 관련성이 없음을 시사해 준다.

조암광물중에 금의 분포를 기준으로 하여 화성암류중에서 산출하는 금의 산상에 관해서는 두가지 견해가 있다. 하나는 염기성 마그마가 분화정출할 때 Au는 불활성원소 또는 중성원자와 같이 거동하기 때문에 Au는 화성암류의 성분에 관계없이 화성암류중에 분산된다는 것이다 (Vincent and Crockett, 1960; Degrazia and Haskin, 1964; Mantei and Brownlow, 1967; Voskresenskaya *et al.*, 1970). 또 다른 견해는 Au는 다른 금속과 관련하여 그 원소의 전기음성도(electronegativity)에 따라서 감람석과 휘석의 격자에 농축되기 때문에 금의 함량은 산성암보다는 염기성암중에 농축된다는 것이다 (Shcherbakov and Perezhogin, 1964). Davletov와 Dzhaksmibayev (1970)은 조암광물중에서 농축계수는 무색광물에서 유색광물쪽으로 갈수록 증가하기 때문에 관입암체가 결정작용을 하는 동안에 염기성암에서 산성암으로 진화하면서 Au함량은 점점 감소한다고 주장하였으며 그들은 조암광물을 분석한 결과를 기초로 장석류는 Au를 운반하는 광물이고 흑운모는 Au를 농축하는 광물이라고 주장한 바 있다. 한편 Vincent와 Crockett (1970)는 uncharged Au원자

는 어떠한 규산염광물, 산화광물 또는 황화광물과도 친화력을 보여주지 않지만 Au는 Cu와 원자반경이 비슷하기 때문에 동황화광물에 농축된다고 주장한 바 있으나 본 연구에서는 이상의 연구결과와는 상이한 경향을 보여준다. 즉 비록 분석된 시료의 수는 적지만 중성심성암류에서 보다는 산성심성암류에서 금의 함량이 높은 경향을 보여주며 흑운모를 다량 포함하는 암석보다는 흑운모가 거의 없는 암석에서 금의 함량이 높은 경향을 보여준다. 흑운모화강암과 그레노파이어에는 모두 자형의 황철석이 다량 배태되어 있으나 흑운모화강암에서는 금함량이 평균 3 ppb인데 비해서 그레노파이어에서 금함량은 평균 4.5 ppb로 흑운모화강암중 금함량보다 높을 뿐만아니라 분포범위도 0.6~13.5 ppb보다 0.5~23.1 ppb로 더 넓은 경향을 나타낸다. 소련의 Koks River Basin (Maksudov, 1969)에서 금과 함께 산출되는 황철석중 금함량은 5~15 ppm으로 높으나 황철석을 포함하지 않는 광물군에서는 0~2.2 ppm으로 낮은 경향을 보여 주는 것으로 보아 흑운모화강암과 그레노파이어를 구성하는 조암광물중 금함량은 아직 분석되지 않아서 확실치 않지만 그레노파이어중에서 금함량이 높은 시료중에는 육안 또는 현미경으로 관찰되지 않은 금입자 (invisible gold)를 포획하는 황철석이 배태하기 때문일 것으로 사료된다.

Au함량과 분석된 기타 미량원소와의 관계를 Fig. 15

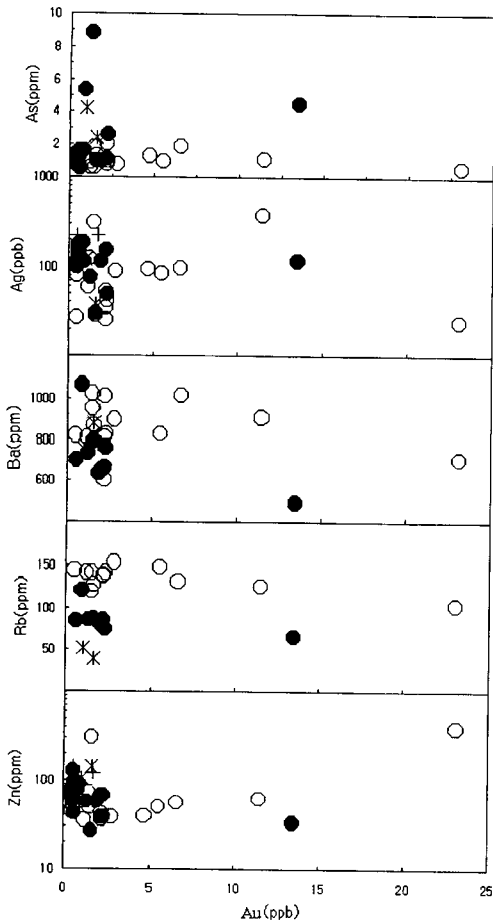


Fig. 15. Binary plots of As, Ag, Ba, Rb and Zn versus Au content for the studied rocks. Symbols are same as in Fig. 2.

에 나타냈다. Au지각평균함량인 4 ppb (Taylor, 1964) 이상에서 Au함량이 증가함에 따라서 Ag, Zn 등의 원소함량은 증가하는 반면에 As, Rb, Ba함량은 감소하는 경향을 보여주나 그밖의 원소함량은 Au함량변화에 따른 특별한 변화를 나타내지 않는다. Shcherbakov와 Perezhogin (1964)는 300개 이상의 심성암류, 분출암류 및 퇴적암류와 장석, 각섬석, 휘석 및 기타 조암광물류를 중성자활성분석기 (N.A)로 분석한 결과 금함량과 MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cu 및 V 등의 함량과 상관관계가 있는 것으로 보아 금은 규산염 광물내에서 동형으로 배태하는 것으로 결론 지은 바 있는데 본 연구지역에 분포하는 심성암류에서는 주성분함량과 Au함량과는 상관관계를 나타내지 않는다. 한편 박천영 등 (1993)은 광양지역에 분포하는 심성암류에서 Cl함량 700 ppm이 1 ppb 이상의 Au함량과 1 ppb 이하의 Au함량을 구분하는 경

계가 되고 있음을 보고한 바 있으나 본 연구지역의 심성암류에서는 이상의 경향은 찾아 볼 수 없다.

## 결 론

고흥 마복산 주변에 분포하는 심성암류에 대한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. Rb-Ba-Sr 삼각도에 의하면 섬록암류는 화강섬록암에서 석영섬록암 영역에 도시되고 흑운모화강암은 화강섬록암과 anomalous 화강암에 도시되며 그레노파이어는 정상화강암 영역에 도시된다.
2. K<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>O 관계도, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O+CaO 관계도, ACF 삼각도 등에서 대부분의 심성암류는 I-type로 분류되며 대지율측정 결과는 티탄철석계열에 해당된다.
3. 미량원소와 SiO<sub>2</sub>를 이용한 마그마의 지체구조상의 판별도는 연구지역의 심성암류는 대체로 VAG+COLG+ORG 영역에 도시된다.
4. Cu함량은 섬록암에서 710 ppm, 흑운모화강암에서 587 ppm, 그레노파이어에서 484 ppm으로 화강암 평균 13 ppm, 국내 남부 백악기 심성암류 19 ppm, 생산성 심성암체를 보고된 진동화강암체 79 ppm보다 6배에서 55배 이상 부화된 경향을 보여준다.
5. 흑운모화강암과 그레노파이어에서 Cu함량과 Ag, Bi, Pb원소함량과는 비교적 높은 상관관계를 나타낸다.
6. Au함량은 국내 다른 화성암과 같이 산성암쪽에서 높고 중성암에서 낮은 경향을 보여주는데 이는 국내 칼크-알카리암계열에서 보여주는 결과와 일치한다.
7. Au함량이 4ppb 이상의 시료에서 Au함량이 증가함에 따라서 Ag와 Zn의 함량은 증가하나 As, Ba, Rb 등의 원소함량은 감소하는 경향을 나타내고 분석된 다른 원소, 그리고 심성암류의 정치환경 및 지구조 등과도 특별한 관계를 보이지 않는다.

## 참고문헌

- 김문영, 신흥자, 이평구, 장영남 (1988), 경남 양산지역에 분포하는 화산암류의 지구화학적 특성 연구. 광산지질, 21, 139-148.
- 김상엽외 9인 (1979), 고흥지역 동광상에 대한 연구. 자원개발연구소, 51p.
- 박영석, 김정빈, 윤정환, 안건상 (1997), 고흥지역에 분포하는 백악기 심성암류의 지질시대와 암석화학적 연구. 한국지구과학회지, 18(1), 70-83.
- 박영석, 신병우 (1984), 광양 금광상, 고흥 동광상의 광상 생성과 암석학적 연구. 광산지질, 17(2), 91-100.
- 박천영, 윤정환, 박영석 (1993), 순천-광양지역에 분포하는

- 화성암류에 대한 Rb-Sr 동위원소 및 암석지구화학적 연구. 한국자원공학회지, 30, 53-65.
- 신인현 (1994), 해남-완도지역의 백악기 화강암류에 대한 암석화학적 연구. 전북대학교 대학원 박사학위논문, 171p.
- 오인섭, 황덕환, 유환성 (1968), 고흥지구 동광상 조사보고. 지질광상연구보고, 11, 61-84.
- 윤정환, 오근창 (1996), 국내에 분포하는 화산암류중 금의 분포특징에 관한 연구. 자원환경지질, 29, 257-267.
- 이진국, 이재영 (1994), 진동화강암류의 미량원소지구화학과 동광화작용. 대한지질학회지, 30(5), 455-466.
- 전호택 (1983), 월악산 화강암체의 암석지구화학적 특징과 광화작용과의 관련성. 대한광산학회지, 20(4), 199-208.
- 전호택, 이덕원 (1987), 울진지역 주석광화작용과 관련된 화강암류의 다원소지구화학. 대한광산학회, 24(1), 8-20.
- 전호택, 홍영국, 김문영 (1989), 석포-분천-울진지역 선캄브리아시대 화강암질암의 암석지구화학적 특성과 생성 산 심성암으로서의 가능성. 대한광산학회지, 26(2), 66-78.
- 진명식, 이상만, 이진수, 김성재 (1982), 한반도 남부 백악기 화강암류의 암석지구화학-금속광화작용과 관련시켜서-대한지질학회지, 18(3), 119-131.
- 차문성, 윤성호, 신성국 (1986), 한반도 서남부 영주-광주 함몰대 내의 화산함몰체(I), 온장상 함몰체. 부산대학교 자연과학대학 논문집, 42, 305-315.
- Arth, J.G and Reston, Va. (1976), Behavior of trace elements during magmatic processes- A summary of theoretical models and their applications., Jour. Research U.S. Geol. Survey, 4, 41-47.
- Chappel, B.W and White, A.J.R. (1974), Two contrasting granite types: Pacific Geol. 8, 173-174.
- Davletov, I.K and Dzhakshibayev, Sh. (1970), The mineral balance and the behavior of gold during the emplacement of an intrusive body., Geochem. International., 7, 997-1005.
- Degrazia, A.R. and Haskin, L. (1964), On the gold contents of rocks., Geochim. Cosmochim. Acta., 28, 559-564.
- Gottfried, D., Rowe, J.J. and Tilling, R.I. (1972), Distribution of gold in igneous rocks., U.S. Geol. Surv. Prof. paper 727, 42.
- Hanson, G.N. (1978), The application of trace element to the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition. Earth Planet. Sci., Lett., Vol. 38, p.26-43.
- Hwang, I.H. (1987), Petrology and structure of the volcanic cauldron in the Koheung- Boseong area of Chonnam province, Korea., Pusan Nat. Univ., Ph.D. thesis, 84p.
- Ishihara, S. (1975), The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. Jour. Soc. Mining. Geol., Japan, 27, 293-305.
- Ishihara, S., Kimura, K., Ohta, K. and Sato, T. (1985), Gold abundance of Japanese granitoids- A preliminary report. Mining Geol. 35, 295-298.
- Ishihara, S., Kimura, K., Takahashi, H., Saito, Y. and Hirao, Y. (1986), Gold abundance of Japanese plutonic rocks. A preliminary result. Mining Geol., 36, 407-410.
- Lawrence (1975), The use of rubidium/strontium ratios as guide to mineralization in the Galway granite, Ireland., Geochemical Exploration Elsevier, Amsterdam, 353-370.
- Maksudov, M. (1969), Distribution characteristics of silver and gold in sulfide ores of Koksuy River Basin. Internat. Geology Rev., 11, 1427-1432.
- Mantai, E.J. and Brownlow, A.H. (1967), Variation in gold content of minerals of the Marysville quartz diorite stock, Montana. Geochim. Cosmochim. Acta, 31, 225-235.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W. and Tindle, A.G. (1984), Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Jour. of Petro., 25, 956-983.
- Plimer, I.R. and Elliott, S.M. (1979), The use of Rb/Sr ratios as a guide to mineralization. J. Geochem. Explor. 12, 21-34.
- Shcherbakov, Yu. G. and Perezhogin, G.A. (1964), Geochemistry of gold. Geochem. International, 1, 489-496.
- Stephenson, J.E. and Ehmann, W.D. (1971), Neutron activation analysis of gold in Archean igneous and metamorphic rocks of the Rice Lake-Beresford Lake area., Southeastern Manitoba Enco. Geol., 66, 933-939.
- Tauson, L.V. and Kuzlov, V.D. (1973), Distribution functions and ratios of trace element concentrations as estimators of the ore-bearing potential of granites. Inst. Min. Metal, London, 37-44.
- Taylor, S.R. (1964), Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. Geochim. et Cosmochim. Acta. 28, 1273-1285.
- Tilling, R.I., Gottfried, D. and Rowe, J.J. (1973), Gold abundance in igneous rocks: Bearing on gold mineralization. Econ. Geol., 68, 168-186.
- Vincent, E.A. and Crockett, J.H. (1976), Studies in the geochemistry of gold-I, The distribution of gold in rocks and minerals of the Skaergaard intrusion, East Greenland. Geochim. Cosmochim. Acta, 18., 130-142.
- Voskresenskaya, N.T., Zvereva, N.F., Konkina, O.M. and Feldmann, V.I. (1970), Behavior of gold during differentiation of a basic magma. Geochem. International., 7, 1066.
- Wedepohl, K.H. (1968), Origin and distribution of the elements., 999p., Pergamon Press Ltd., Oxford, New York.
- White, A.J.R. and Chappell, B.W. (1977), Ultrametamorphism and granitoids gneiss. Tectonophysics, 43, 7-22.
- Yoon, C.H. (1991), Gold content of Jurassic and Cretaceous granitic rocks in Korea. Mining Geol. 41(3), 151-158.
- Yoon, C.H. (1995), Variation of gold content in rocks and minerals from the Seongsan and Ommaesan clay deposits in the Haenam area, Korea. Econ. Environ. Geol. 28(6), 571-577.
- Yoon, C.H., Kim, C.B. and Park, C.Y. (1997), Gold content in the basalt of Jeju Island., International Journal of Chosun Univ., ISSN 1226-6485, 1(1), 167-172.