

평해지역 온정화강암 중 미량원소와 광화작용의 관계에 대한 지화학적 연구

이재영* · 이진국*

A Geochemical Study on Trace Elements of the Onjong Granite in Relation to Mineralization, Pyeonghae Area

Jae Yeong Lee* and Jin Gook Lee*

ABSTRACT: The variations of certain major and trace elements of the Onjong granite mass was studied on the basis of petrological and geochemical characteristics and compared with those of the Eonyang-Yucheon granite masses in order to investigate the geochemical differences of the granitic rocks in relation to mineralization between Pb-Zn ore district and Pb-Zn-Mo-W ore district in Kyeongsang basin.

The Onjong granite mass is classified into granodiorite and monzo-granite, and the Eonyang-Yucheon granite masses into monzo-granite by the Streckeisen's diagram. Between both granite masses there are clear differences in contents of certain major elements and lithophile trace elements. The former have high contents of Ca (2.94%), Mg (1.66%) and Sr (365 ppm), and low contents of K (3.52%), Na (3.51%), Rb (116 ppm), Ba (640 ppm) and Li (18.9 ppm), whereas the latter have high contents of K (4.02%), Na (4.28%), Rb (145 ppm), Ba (695 ppm) and Li (19.3 ppm), and low contents of Ca (1.42%), Mg (0.43%) and Sr (161 ppm).

Except for Mo, there are not clear differences in chalcophile trace elements between two granite masses: the Onjong granite mass has higher Mo content (7.1 ppm) than that (1.7 ppm) of the Eonyang-Yucheon granite masses, but Pb and Zn contents are similar between the Onjong granite mass (Pb=8.7 ppm, Zn=37.1 ppm) and the Eonyang-Yucheon granite masses (Pb=7.8 ppm, Zn=39.8 ppm).

Ca and Sr contents of the Onjong granite mass (Ca>1.5%, Sr>270 ppm) are higher than those of the Eonyang-Yucheon granite masses (Ca<1.5%, Sr<270 ppm), and Rb/Sr, Rb-Rb/Sr and K-Rb/Sr ratios are clearly distinguishable between the Onjong granite mass (Rb/Sr<0.51, Rb-Rb/Sr>250 and K-Rb/Sr>5.2) and the Eonyang-Yucheon granite masses (Rb/Sr>0.51, Rb-Rb/Sr<250 and K-Rb/Sr<5.0).

Thus, variations of certain major and trace elements and ratios are applicable as geochemical index to distinguish the types of mineralization of the ore districts related to the Cretaceous granitic rocks in the Kyeongsang basin.

서 언

경상분지내에는 경상속의 퇴적암류와 화산암류를 모음으로 하는 열곡충진형 열수광상이 많이 발달하며, 기성광상도 다소 존재한다 (이상만, 1972). 이들 광상의 관련화성암은 백악기 내지 제 3 기초의 진동화강암류, 불국사화강암류 및 마산암류이며 (이상만, 1972; Jin et al., 1981; Lee, 1981; Tsusue, 1981) 광상의 분포는 대체로 한반도 동남단의 동광상구, 보다 북서부의 연-아연 광상구, 그리고 연일 및 본 연구의 조사지역인 평해를 포함하는 휘수연

광상구로 구분된다 (Kim, 1971; 이상만 등, 1974; Sillitoe, 1977).

본 평해지역의 화강암류는 온정화강암체, 평해화강암체 및 영해화강암체로 구분되며 온정암체는 경상분지 내 백악기화강암류와 같은 기원임이 밝혀진 바 있다 (김중욱, 1988). 본 연구는 본 역 휘수연광상의 관련암으로 생각되는 온정화강암체를 연구대상으로 선정하여 지화학적 특징을 규명하고, 또한 본 암은 Pb·Zn·Mo·W-중석광상구 (이상만, 1974)에 속하므로 Pb·Zn-광상구의 화강암류와도 비교하기 위하여 연양-유천화강암체를 선정하여 양 화강암체간에 어떠한 지화학적 공통점과 차이점이 있는지를 지화학적 지시원소를 중심으로 연구하였다.

* 경북대학교 지질학과 (Department of Geology, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea)

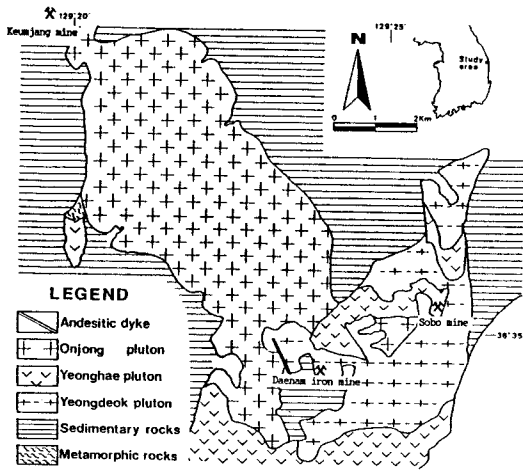


Fig. 1. Geologic map of Pyeonghae area, northeastern margin of Kyeongsang basin.

본 연구를 위해서 평해지역에서는 약 57개의 암석시료를 채취하고 현미경 관찰을 하여 그 중 45개를 분석하였으며, 온정화강암체에 해당되는 것은 17개이다. 평해지역의 소보휘수연광상은 온정화강암체, 영해 및 영덕화강암체의 접촉부에 배타되어 있으며, 광맥은 영덕화강암체에 발달한다. 따라서, 이들 세 화강암체의 광화작용과의 관련성을 지화학적 지시원소로 검토해 본 결과 온정화강암체가 관련화성암으로 밝혀져 본 논문에서는 온정화강암체의 자료만을 언급하고자 한다. 또한 Pb-Zn-광상구의 언양-유천화강암체에서는 약 30개의 시료를 채취하여 15개를 분석하였다. 암석 시료는 영국 런던대학에 의뢰하여 주로 ICP로 분석하였고, Mo는 원자흡광분광분석기(AA)로 분석하였다. 그리고 본 과에서 FeO는 산화환원 중화적정법으로 분석하였으며, SiO₂는 XRF로 분석하였다.

지질 및 광상개요

본 역의 암류는 경상속의 퇴적암류, 유천층군에 해당되는 화산암류 및 이를 관입한 백악기 화강암류로 구분되는데 이를 지역별로 비교해 보면 다음과 같다.

평해지역

본 역의 지질은 변성퇴적암류, 중생대의 퇴적암류 및 이를 관입한 화강암류로 구분된다(김중욱, 1988). 이들 화강암류는 암석학적 특징에 따라 온정화강암체, 영해화

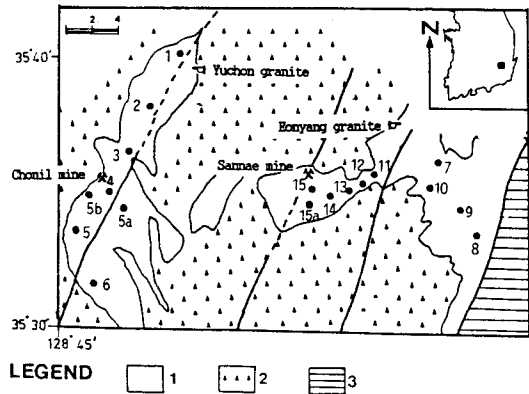


Fig. 2. Geologic map and sampling sites of Eonyang and Yuchon area. 1; investigated rocks, 2; volcanic rocks of Yuchon group, and 3; sedimentary rocks.

강암체 및 영덕화강암체로 구분되고(김중욱, 1988), 퇴적암류는 역암, 역질사암, 사암 및 실트암으로 구성된 경상속 하양층군의 최하부인 울런산층과 역암 및 역질사암으로 구성된 상위의 동화치층으로(우병걸, 1989) 되어 있고, 이들은 NS-SE계의 구조선에 의해 구획되어 분포한다(Fig. 1). 현미경적 특징으로 볼 때 영덕화강암체는 미사장석과 소량의 백운모가 산출되고, 영해 및 온정화강암체는 퍼사이트 구조의 정장석이 산출되며 운모류는 흑운모만 산출된다. 따라서, 전자는 주라기 화강암의 특징을 보여주며, 후자는 경상분지 백악기 화강암류와 유사한 특징을 보여주는데, 이는 fission track 연령 측정(김중욱, 1988)으로 영덕화강암체가 162±16 Ma, 영해화강암체는 78±3 Ma, 온정화강암체는 74 Ma로 밝혀진 사실과 잘 일치한다.

온정화강암체 인근 혹은 내에 분포하는 광상으로는 소보휘수연광상, 금장광상과 대남철광상 등이 있으나 대부분 폐/휴광상태이다. 소보휘수연광상은 온정화강암체와 접촉부인 영덕화강암체의 열수변질대 내에 발달하는 NS계의 열극을 따라 배태된 열극충진형 광맥광상으로 맥폭은 80 m, 연장은 500 m나 된다. 벽암은 열수변질을 받아 담홍색의 K-장석화되고, 외곽부는 녹염석 및 녹니석화된 propylitization의 특징을 보인다(김수영, 1981). 광석광물은 휘수연석으로 황철석과 방해석 등이 수반된다. 본 광상은 황동석의 유향동위원소($\delta^{34}S$) 측정으로 마그마기원으로 해석되고 있다(김수영, 1981).

언양-유천지역

본 역은 연양단층을 경계로 동부에는 사암, 실트암 및 사질세일로 구성된 하양층군이 분포하며 (Chang, 1975), 서부에는 주사산안산암에 해당되는 안산암류, 응회암류 및 운문사유문암류로 구성된 유천층군의 화산암류 (김상욱, 1982)와 이를 관입한 불국사화강암류가 분포한다. 중립 내지 조립의 석영, 정장석, 사장석, 흑운모 및 각섬석 등으로 구성된 연양-유천화강암체는 모드조성상 화강암과 석영몬조니암에 해당되며 (이윤중, 1980; Hong, 1985; 이진국, 1986) 야외상상으로 볼 때 흑운모화강암에 해당된다 (Fig. 2).

연양-유천화강암체와 관련된 광상으로는 천일동광상과 산내중석광상이 있으나 현재는 휴광상태에 있다. 유천화강암체와 모암인 화산암 및 화산쇄설암의 접촉부에 발달하는 천일동광상은 주향이 NS-N60W이고, 경사가 거의 수직인 절리와 열극을 따라 배태된 열극충진형 열수광상이다 (서정률, 1986). 본 광상의 광석광물은 황동석이며, 황철석, 유비철석, 자류철석 등을 수반한다. 지표수가 쉽게 침투되는 구조선이 많이 발달한 곳은 황동석이 풍화되어 공작석, 남동석 등으로 변질되어 있고, 시추코아에서는 방연석과 섬아연석이 관찰되며 경하관찰에 의하면 회중석도 수반된다 (서정률, 1986). 광상의 생성온도와 관련하여 석영의 균질화온도를 측정해본 결과 276°C로 중열수광상에 해당된다 (이진국, 1986). 산내중석광상은 N65W, 85SW의 열극을 따라 발달한 열극충진형 열수광상이다 (Fletcher, 1976). 광석광물은 철망간중석, 회중석이며 황철석, 휘수연석 및 경철석 등이 수반된다. 석영의 균질화온도는 328°C로서 심열수에 해당되며, 천일광상에 비해 심열수광상이다 (이진국, 1986). 광상주위의 모암은 열수에 의해 심하게 변질되어 장석류가 견운모화되어 있으며, 광화작용의 시기는 견운모의 K/Ar년령측정 결과 65±3 Ma이다 (Fletcher et al., 1977).

암석지구화학

모드조성

본 연구는 Pb·Zn·Mo·W-광상구의 온정화강암체의 화학조성과 광화작용의 관계를 규명하고, Pb·Zn-광상구인 연양-유천화강암체와 비교하는데 있으므로 양 지역에서 시료를 채취하여 대표시료에 대해 현미경관찰을 하였다 (Table 1). 특히 평해지역 화강암류는 온정화강암체, 영해 화강암체 및 영덕화강암체로 구분 (김중욱, 1988) 되므로

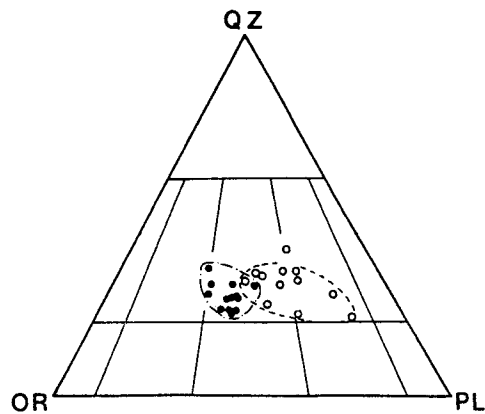


Fig. 3. Triangular diagram of modal quartz-alkali-feldspar-plagioclase for the granitic rocks (based on Streckeisen's classification). Symbols: open circle; Onjong granite and solid circle; Eonyang-Yuchon granite.

이들 암체를 분류하여 온정화강암체에 해당되는 시료만 선정하여 모드조성도에 도시하였다. 그 결과 온정화강암체는 화강섬록암 및 몬조화강암 영역에 점시되고, 연양-유천화강암체는 몬조화강암에 해당된다 (Fig. 3). 이는 경상분지 중동부에 분포하는 Mo-광상구에 해당되는 연일 화강암체의 모드조성과는 다소 다른양상을 보이나, Pb·Zn-광상구의 연양-유천화강암체와는 일치한다. 경상분지 Cu-동광상구의 진동화강암체는 화강섬록암, 토나라이트, 석영섬록암 및 섬록암에 해당되며, Pb·Zn-광상구의 연양-유천화강암체는 몬조화강암의 암상을 가지는 것 (이재영, 1989)으로 알려져 있다.

주원소와 광상구

Pb·Zn·Mo·W-광상구의 온정화강암체에서 17개 (Fig. 4), Pb·Zn-광상구의 연양-유천화강암체에서 15개 총 32개의 암석시료를 채취하여 (Fig. 2) 분석하고 (Table 2), 주원소의 함량 (산화물) 변화를 비교한 결과 양 화강암체는 광상구에 따라 현저한 차이를 보인다 (Fig. 5). SiO₂의 함량은 온정화강암체가 66.45~70.72% (평균 68.47%)이고, 연양-유천화강암체는 68.11~77.2% (평균 73.06%)로 전자가 낮은데, 이는 모드조성상 유색광물의 양이 전자가 후자에 비해 낮은 사실과 잘 일치한다. 주 원소중 광상구의 구별에 유효한 원소의 함량 (산화물)의 변화는 다음과 같다.

K함량은 염기성암에서 낮고 산성암으로 갈수록 높아지

Table 1. The modal composition of the granitic rocks in the study area.

Minerals	Onjong granite																				
	OJ01	OJ02	OJ03	OJ05	OJ07	OJ08	OJ09	OJ10	OJ11	OJ12	OJ13	OJ14	OJ15	OJ16	OJ17	OJ18	OJ19	OJ20	OJ21		
Qtz	19.8	31.2	29.6	31.2	21.8	28.7	32.8	35.7	30.7	30.7	38.6	29.2	23.5	27.2	21.6	26.4	20.7	25.9	30.8		
Or	23.5	18.2	33.0	22.0	29.6	19.1	30.0	26.7	27.4	27.4	19.0	25.3	23.2	26.2	36.5	21.9	19.6	16.0	14.3		
Pl	46.4	40.0	30.4	36.8	35.3	41.4	33.1	31.5	31.3	31.3	36.1	40.1	40.5	40.0	31.5	45.0	46.0	53.0	49.4		
Hb	3.6	1.5	1.0	0.8	2.6	2.3	0.8	0.2	0.6	0.6	2.3	0.8	3.0	1.7	7.2	-	6.6	-	-		
Bt	5.5	17.7	5.0	7.6	9.2	7.6	2.7	5.1	8.3	8.3	3.4	3.9	7.5	4.1	0.6	5.2	5.8	4.7	4.6		
Zr	-	0.1	-	-	0.1	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	-	0.1		
Ap	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	-	0.7	-	0.1	0.7	0.2	0.7	0.2	0.2	0.1	-		
Op	0.7	0.8	0.8	0.8	0.5	0.6	0.7	0.8	0.6	0.5	0.4	0.5	1.2	0.8	1.2	1.2	1.0	0.4	0.8		

Minerals	Yuchon granite														
	YU02	YU03	YU04	YU05a	YU05b	YU05	YU06	EN07	EN08	EN09	EN10	EN11	EN12	EN13	EN14
Qtz	27.1	22.7	23.8	17.1	25.8	26.7	22.3	27.8	28.1	22.5	29.0	26.2	30.3	25.7	35.1
Or	37.7	40.6	32.8	44.0	41.6	38.5	38.3	39.5	39.3	42.1	30.8	40.7	38.1	39.0	40.1
Pl	31.2	30.8	40.6	33.1	23.6	33.0	33.1	31.8	32.2	28.2	32.7	30.4	29.5	30.9	21.1
Hb	0.5	1.3	0.2	0.4	2.0	0.2	0.9	0.1	-	1.3	1.3	0.2	-	0.3	0.4
Bt	2.0	4.3	1.1	4.3	6.3	0.4	3.3	0.4	0.3	5.5	5.8	1.9	2.3	3.6	2.9
Zr	0.1	0.1	-	0.1	0.2	0.1	0.1	-	-	0.1	0.2	-	0.1	0.1	0.1
Ap	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	-	0.2	0.1
Op	0.2	0.3	0.4	1.0	0.7	0.2	2.0	0.5	0.2	0.4	0.8	0.6	0.3	0.6	0.4

Minerals	Eonyang granite				
	EN15a	EN15	EN14	EN13	EN12
Qtz	20.0	22.3	35.1	25.7	30.3
Or	20.0	38.3	40.1	39.0	38.1
Pl	50.9	33.1	21.1	30.9	29.5
Hb	4.2	0.9	0.4	0.3	-
Bt	5.4	3.3	2.9	3.6	2.3
Zr	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1
Ap	0.4	0.3	0.1	0.2	-
Op	1.3	2.0	0.4	0.6	0.3

Table 2. The major oxides and normative mineral composition of the granitic rocks in the study area.

Comp.	Onjong granite																			
	OJ01	OJ02	OJ03	OJ04	OJ06	OJ08	OJ10	OJ11	OJ13	OJ14	OJ15	OJ16	OJ17	OJ18	OJ19	OJ20	OJ21			
SiO ₂	67.50	67.86	67.70	69.10	67.10	68.21	69.64	67.91	69.71	70.05	66.45	70.45	68.90	67.80	68.02	70.72	70.05			
TiO ₂	0.42	0.44	0.36	0.37	0.44	0.39	0.33	0.39	0.40	0.56	0.13	0.42	0.42	0.33	0.44	0.32	0.42			
Al ₂ O ₃	16.30	15.51	16.07	15.24	15.85	15.87	15.39	15.69	15.09	15.47	16.68	15.12	15.47	16.29	15.90	14.83	15.59			
Fe ₂ O ₃	1.90	1.23	1.18	1.16	1.47	1.20	1.09	1.46	1.04	1.47	2.31	1.67	2.11	1.79	1.44	1.13	1.34			
FeO	1.35	2.49	1.98	2.04	2.36	2.30	1.83	2.04	2.50	1.15	1.56	1.35	0.58	1.39	2.27	1.83	1.03			
MnO	0.06	0.10	0.08	0.09	0.11	0.08	0.06	0.07	0.08	0.06	0.09	0.05	0.08	0.06	0.06	0.07	0.07			
MgO	1.18	1.31	1.06	1.06	1.36	1.16	0.92	1.13	1.20	0.95	1.39	1.10	0.89	1.02	1.34	0.88	0.87			
CaO	2.89	3.11	3.09	2.89	3.48	2.97	2.56	3.04	2.90	2.65	3.24	2.36	2.75	2.62	3.01	2.45	1.84			
Na ₂ O	3.40	3.56	3.80	3.57	3.71	3.61	3.57	3.44	3.27	3.20	3.40	3.03	3.10	3.40	3.21	4.18	3.99			
K ₂ O	3.49	3.52	3.84	3.58	3.44	4.16	4.06	4.08	3.68	3.18	3.49	3.38	5.07	3.63	3.34	2.81	2.91			
P ₂ O ₅	0.12	0.10	0.13	0.13	0.16	0.14	0.11	0.13	0.14	0.10	0.12	0.12	0.10	0.12	0.10	0.09	0.07			
Qtz	25.15	22.51	20.62	24.58	20.70	20.76	24.20	22.06	25.35	30.71	22.82	31.54	23.01	25.61	25.89	26.62	29.09			
Or	21.07	21.12	22.93	21.49	20.55	24.70	24.26	24.44	21.91	19.24	21.00	20.44	30.39	21.95	20.08	16.82	17.63			
Ab	31.25	32.51	34.55	32.62	33.74	32.62	32.47	31.37	29.64	29.47	31.14	27.89	28.28	31.30	29.38	38.08	36.65			
An	13.85	15.00	14.64	13.70	16.40	13.89	12.12	14.43	13.58	12.79	15.57	11.18	13.18	12.50	14.53	11.72	8.88			
Co	2.18	0.47	0.38	0.60	0.08	0.39	0.80	0.43	0.86	2.43	1.89	2.76	0.13	0.78	1.96	0.73	2.99			
Hp	3.61	6.26	4.85	4.98	6.01	5.54	4.30	4.90	6.70	2.76	4.69	3.54	2.49	8.81	5.80	4.20	2.54			
En	3.33	3.67	2.96	2.97	3.80	3.22	2.57	3.16	3.34	2.69	3.91	3.11	2.49	5.48	3.77	2.46	3.34			
Fs	0.28	2.58	1.89	2.01	2.22	2.32	1.73	1.73	3.36	0.07	0.78	0.43	0.00	3.34	2.04	1.73	0.54			
Ilm	0.60	0.62	0.51	0.52	0.62	0.55	0.46	0.55	0.56	0.80	0.18	0.60	0.59	0.59	0.62	0.45	0.59			
Mt	2.03	1.31	1.25	1.23	1.55	1.26	1.15	1.55	1.10	1.57	2.46	1.79	0.67	1.45	1.52	1.20	1.43			
Ap	0.26	0.21	0.28	0.28	0.34	0.29	0.23	0.28	0.30	0.21	0.26	0.26	0.21	0.34	0.21	0.19	0.14			
D.L.	77.47	76.22	78.12	78.67	75.04	78.11	80.93	77.85	77.49	79.42	74.95	79.88	81.68	78.86	75.35	81.52	83.37			

Table 2. Continued.

Comp.	Yuchon granite										Eonyang granite									
	YU01	YU02	YU03	YU04	YU05	YU06	EN07	EN08	EN09	EN10	EN11	EN12	EN13	EN14	EN15					
SiO ₂	72.50	72.70	72.97	72.78	73.34	72.64	74.67	77.20	73.88	73.19	72.62	72.90	71.73	75.78	70.81					
TiO ₂	0.30	0.29	0.25	0.25	0.25	0.24	0.21	0.14	0.32	0.31	0.27	0.27	0.32	0.18	0.34					
Al ₂ O ₃	14.45	14.38	14.24	14.16	13.78	13.97	13.46	13.21	13.77	14.18	14.54	14.49	15.16	12.80	15.37					
Fe ₂ O ₃	1.10	0.68	0.73	0.62	0.72	0.94	0.48	0.08	0.86	0.63	0.42	0.73	0.81	0.20	0.90					
FeO	1.35	1.40	1.18	1.25	1.34	1.75	0.88	0.50	1.35	1.18	1.30	1.03	1.40	1.20	1.45					
MnO	0.09	0.06	0.06	0.05	0.06	0.05	0.07	0.04	0.08	0.08	0.07	0.07	0.08	0.07	0.09					
MgO	0.49	0.42	0.33	0.37	0.39	0.38	0.26	0.13	0.58	0.42	0.37	0.38	0.47	0.25	0.62					
CaO	0.80	1.26	1.22	1.22	1.30	1.31	0.78	0.79	1.20	0.94	1.26	1.24	1.53	0.85	1.67					
Na ₂ O	4.27	4.14	4.36	4.25	4.17	4.40	4.35	2.80	3.52	4.09	4.15	4.50	4.57	3.85	4.97					
K ₂ O	4.36	4.28	4.51	3.82	4.18	4.09	4.18	5.01	4.42	4.41	4.15	4.09	3.96	4.05	3.64					
P ₂ O ₅	0.08	0.07	0.07	0.06	0.07	0.06	0.04	0.02	0.09	0.06	0.06	0.07	0.09	0.04	0.09					
Qtz	26.23	26.43	24.92	27.98	27.51	25.23	29.07	37.23	30.53	27.52	26.88	25.62	23.63	32.88	21.23					
Or	25.92	25.48	26.73	22.93	24.98	24.32	24.97	30.07	26.38	26.31	24.80	24.26	23.38	24.33	21.45					
Ab	38.64	37.52	39.24	38.84	37.93	39.83	39.56	25.38	31.98	37.15	37.76	40.63	41.08	35.21	44.59					
An	3.47	5.84	5.61	5.75	6.06	6.15	3.65	3.85	5.42	4.31	5.93	5.72	7.00	4.02	7.68					
Co	1.57	0.88	0.14	1.05	0.21	0.06	0.49	1.98	1.35	1.22	1.17	0.62	0.85	0.69	0.46					
Hp	2.42	2.56	1.98	2.29	2.05	2.87	1.36	0.96	2.80	2.26	2.51	1.88	2.58	2.31	2.99					
En	1.36	1.17	0.91	1.04	0.17	1.06	0.20	0.36	1.62	1.17	1.03	1.05	1.30	0.70	1.71					
Fs	1.05	1.40	1.07	1.25	1.88	1.81	1.17	0.60	1.18	1.09	1.47	0.82	1.28	1.61	1.28					
Ilm	0.42	0.41	0.35	0.35	0.35	0.34	0.30	0.20	0.45	0.44	0.38	0.38	0.45	0.25	0.47					
Mt	1.16	0.72	0.77	0.66	0.76	0.99	0.51	0.08	0.91	0.67	0.44	0.77	0.85	0.21	0.94					
Ap	0.17	0.15	0.15	0.13	0.15	0.13	0.08	0.04	0.19	0.13	0.13	0.15	0.19	0.09	0.19					
D.I.	90.79	89.43	90.99	89.75	90.42	89.48	93.60	92.88	88.89	90.98	89.44	90.51	88.09	92.42	87.27					

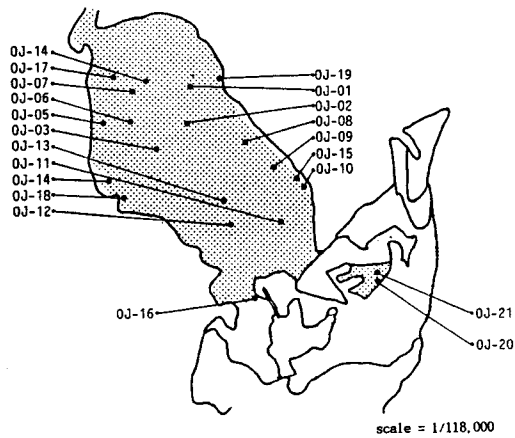


Fig. 4. Sampling sites of Onjong granite in Pyeonghae area.

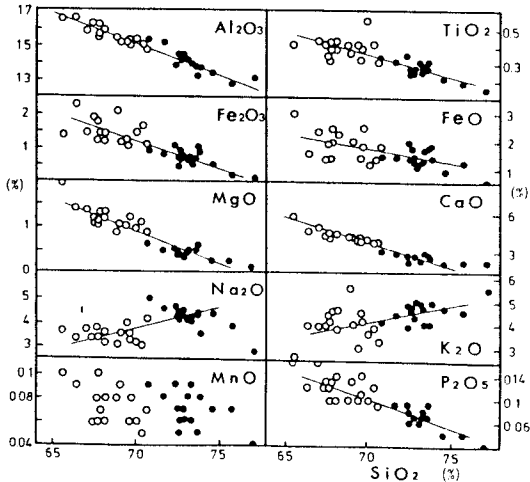


Fig. 5. Distribution of major elements contents versus SiO₂ for the granitic rocks. Symbols are the same as those in Fig. 3.

는데 본 역 양화강암체의 K 함량이 분화가 진행됨에 따라 증가하는 현상은 경상분지내 백악기 화강암류의 변화양상 (Jin, 1981; Lee, 1984)과 대체로 일치한다.

K함량은 온정화강암체가 2.11~4.16% (평균=3.52%), 언양-유천화강암체가 3.17~5.01% (평균=4.02%)로 SiO₂의 함량에 대하여 비례적 증가를 보이며 모드조성도 온정화강암체가 정장석의 양이 낮다. Cu-광상구의 진동화강암 (이재영, 1989)도 분화가 더 진행된 Pb·Zn-광상구의 언양-유천화강암체 (이재영, 1990)보다 K함량이 낮다.

Na함량은 K함량과 마찬가지로 분화가 진행됨에 따라 일반적으로 증가하는데 경상분지 내 백악기 화강암류에

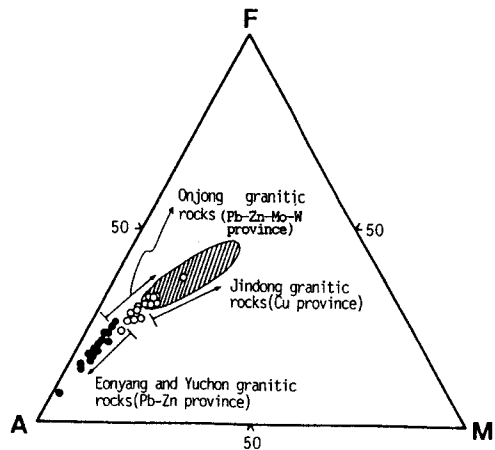


Fig. 6. A-F-M diagram for the granitic rocks. Symbols are the same as those used in Fig. 3. Shaded portion represents jindong granitic rocks.

서는 이러한 경향이 현저하지는 않으나 (Jin, 1981; Lee, 1984), Cu-광상구의 진동화강암체에 비해 Pb·Zn-광상구의 언양-유천화강암체에서 그 함량이 약간 높은 특징 (이재영, 1989)을 보인다. 본 연구에서도 온정화강암체가 3.03~4.18% (평균 3.51%), 언양-유천화강암체는 2.80~5.82% (평균 4.28%)로 전자가 낮는데 이는 온정화강암체의 사장석은 비교적 칼슘을 많이 함유한 안데신 내지 올리고클레이스로 구성되며 반해 언양-유천화강암체는 주로 알바이트로 구성되어 있기 때문이라 생각된다.

Ca함량은 염기성암에서 높고 산성암으로 갈수록 그 함량이 낮아지는데, 분화의 정도에 따른 그 함량의 증감 현상은 경상분지 백악기 화강암류에서도 현저히 나타나고 (Lee, 1984), Cu-광상구의 진동화강암체에서 3.75%로 Pb·Zn-광상구의 언양-유천화강암체의 0.62% 및 0.96%에 비해 약 5배 높다 (이재영, 1989)고 보고된 바 있다.

본 연구의 온정화강암체의 칼슘 함량은 2.36~4.34% (평균 2.94%)로, 언양-유천화강암체의 0.78~2.05% (평균 1.42%)에 비해 월등히 높는데 (Fig. 3), 이는 온정화강암체는 사장석의 양이 높고 정장석의 양이 낮는데 반해 언양-유천화강암체는 사장석의 양이 낮고 정장석의 양이 높은 사실과 잘 일치한다.

Mg함량도 암석의 분화가 진행됨에 따라 감소하는데 경상분지 내 백악기 화강암류에서도 같은 양상을 보인다 (Jin, 1981; Lee, 1984). 본 연구의 온정화강암체의 Mg함량은 0.88~1.98% (평균 1.66%)이고, 언양-유천화강암체는 0.13~0.77% (평균 0.43%)로 전자는 후자에 비해 훨씬

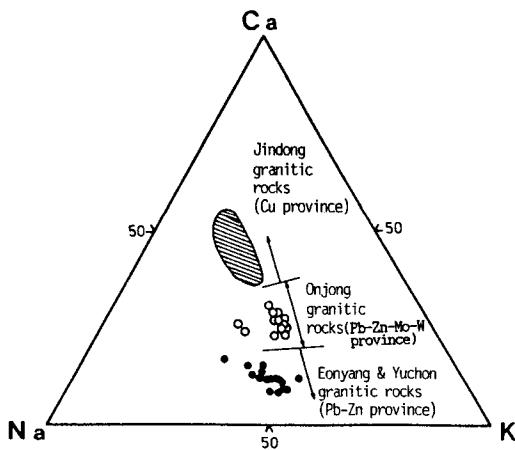


Fig. 7. Na-K-Ca diagram for the granitic rocks. Symbols are the same as those used in Fig. 3.

높은데, 이는 모드조성상 염기성광물인 흑운모 및 각섬석 등의 양이 높은 사실과 잘 일치한다. Cu-광상구의 진동화강암체는 1.01%, Pb·Zn-광상구의 연양-유천화강암체는 0.77%로 전자가 높다 (이재영, 1989)고 보고된 바 있다.

이들 주원소의 함량을 기초로 AFM도 (Fig. 6)에 점시하면, 본 역 양 화강암체는 경상분지 내 타 백악기화강암류와 같은 칼크-알카리계열 (Jin, 1981)의 성분변화를 보이며, 연양-유천화강암체는 알카리금속의 함량이 높은 영역에 점시되는 반면, 온정화강암체는 Fe 및 Mg의 함량이 높은 영역에 점시되는데, 임리한 온정화강암체의 특징은 같은 휘수연광상구에 속하는 연일화강암체가 Pb·Zn-광상구의 화강암체에 비해 알칼리금속의 함량비가 높은 영역에 점시되는 특징 (이진국, 1986)과는 다르며, 태백산광화대 내의 Pb·Zn-광상구에 속하는 이목화강암체와 Mo·W-광상구에 속하는 상동화강암체의 특징 (Lee, 1987)과도 다른 양상을 보인다. 그러나 본 도에서 양 광상구의 화강암체는 확연히 구분이 된다.

Na-K-Ca도 (Fig. 7)에 점시해보면 온정화강암체는 Ca 함량이 높고 연양-유천화강암체는 Na 및 K의 함량이 높은 영역에 점시되므로, 본 도에서 양 광상구는 확연히 구분이 된다. Cu-광상구의 진동화강암체는 Ca 함량이 높고, Pb·Zn-광상구의 연양-유천화강암체와 Mo-광상구의 연일화강암체는 공히 Na와 K의 함량이 높은 영역에 점시된다 (이진국, 1986)고 보고된 바 있다.

미량원소와 광화작용

경상분지 백악기 화강암질암과 광화작용과의 관계를

규명하는데 유용한 미량원소 중에서 친석원소인 Rb, Sr, Ba, Li과 친동원소인 Cu, Pb, Zn, Mo를 선정하여 비교하였다 (Table 3). 그리고 Rb와 Sr은 주원소 K와 Ca에 대하여 함량비를 검토하였다.

루비듐

루비듐은 K-광물에 허용이 잘되므로 암석 내의 K-장석 및 K함량과 밀접한 관계가 있는데, K함량을 광상구별로 비교해 보면 Pb·Zn·Mo·W-광상구의 온정화강암체는 58~142 ppm (평균 116 ppm), Pb·Zn-광상구의 연양-유천화강암체는 120~182 ppm (평균 145 ppm)으로 전자가 후자보다 낮다. 이는 전술한 바와같이 온정화강암체가 연양-유천화강암체보다 정장석 뿐아니라 K 함량도 낮기 때문이라 생각된다 (Fig. 8).

경상분지 내 동광상구의 진동화강암체와 Pb·Zn-광상구의 연양-유천화강암체는 Rb함량으로 확연히 구분 (이재영, 1989)이 되는데, 본 연구에서도 Pb·Zn·Mo·W-광상구의 화강암체와 Pb·Zn-광상구의 화강암체가 Rb함량에 의하여 확연히 구분되므로 양 광상구를 구분하는데 지시원소로 이용할 수 있으리라 생각된다 (Fig. 6). 그러나 본 연구 결과를 태백산광화대의 화강암체와 비교해 보면, 먼저 Pb·Zn-광상구의 경우 이목화강암체가 평균 141 ppm으로 연양-유천화강암체와 유사하고, Pb·Zn·Mo·W-광상구의 온정화강암체는 상동화강암체 (평균 283 ppm)와 비교해 월등히 낮다. 왜냐하면 전자는 철, 연-아연 및 휘수연광상이 복합적으로 발달하고 있으므로 지화학적 특징이 Fe 및 Pb·Zn-광상구에 더 가깝기 때문이라 생각된다.

루비듐 - 칼륨

Pb·Zn·Mo·W-광상구의 온정화강암체는 $K/Rb=200\sim333$ 에 점시되고, Pb·Zn-광상구의 연양-유천화강암체는 이보다 다소 낮고, 좁은 $K/Rb=180\sim260$ 의 영역에 점시된다. 또한 K함량만으로는 양 암체의 광상구 구분이 어려우나, Rb 함량은 전자가 $Rb>120$ ppm인데 반해 후자는 $Rb<140$ ppm으로 다소 중복되나 구분이 가능하다 (Fig. 8 참조). 그런데 이와는 반대로 태백산광화대 내 화강암류의 K/Rb 를 보면 휘수연을 수반하는 상동화강암체 ($K/Rb=144$)는 Pb·Zn-광상구의 관련화강암류인 이목화강암 (평균 $K/Rb=240$) 보다 낮고 (이재영, 1987), 경상분지 내 Mo-광상구의 연일화강암류가 Pb·Zn-광상구의 연양-유천화강

Table 3. The trace elements of granitic rocks in the study area.

Comp.	Onjong granite																	
	OJ02	OJ03	OJ04	OJ06	OJ08	OJ10	OJ11	OJ13	OJ14	OJ15	OJ16	OJ17	OJ18	OJ19				
Rb	108	124	128	123	122	141	142	136	58	75								
Sr	394	396	370	396	354	302	361	332	481	287	374	309	420	327				
Ba	654	708	570	594	631	491	624	570	498	778	876	650	707	610				
Li	21	24	18	20	25	22	16	17	20	15	12	27	14	14				
Cu	12	13	11	11	14	14	9	14	18	18	8	5	12	7				
Pb	6	10	6	6	15	13	6	6	6	13								
Zn	34	31	27	38	30	32	27	29	62	75	27	39	41	28				
Mo	8	6	15	6	5	5	5	10	6	5								
Ni	16	16	14	16	15	14	14	14	23	16	15	18	16	13				
Cr	10	10	10	10	11	10	10	11	20	13	5	9	6	4				
Co	9	9	8	10	9	8	9	9	13	8	8	10	9	8				
La	43	34	33	49	42	34	22	34	20	23	53	21	18	17				
Ce	68	53	54	79	69	57	34	55	32	35	91	35	28	26				
Nd	24	23	23	28	26	21	17	24	17	17	33	19	14	15				
Sm	4.0	4.8	4.9	5.7	4.8	5.1	3.9	5.7	4.1	3.6	4.1	3.8	2.8	2.1				
Eu	0.7	0.8	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.7	0.5	0.5				
Dy	2.3	2.6	2.7	3.1	2.6	3.2	2.4	3.0	2.2	1.8	3.8	4.1	3.3	3.3				
Yb	1.8	1.9	2.1	2.3	1.8	3.0	1.7	2.2	1.6	1.1	1.6	1.8	1.2	1.5				

Comp.	Eonyang granite																	
	YU01	YU02	YU03	YU04	YU05	YU06	EN07	EN08	EN09	EN10	EN11	EN12	EN13	EN14	EN15			
Rb	142	132	182	144	136	142	170	168	169	168	173	156	165	167	148			
Sr	226	137	142	134	147	138	90	150	197	148	145	144	184	89	252			
Ba	728	709	770	628	1501	668	650	566	573	634	676	668	679	462	656			
Li	15	34	35	29	27	38	19	14	16	13	18	18	14	7	27			
Cu	7	6	8	4	4	19	3	3	4	10	5	3	4	10	6			
Pb	17	7	6	7	6	7	9	8	8	10	9	11	7	10	6			
Zn	54	71	48	36	39	40	29	25	45	39	28	35	36	33	32			
Mo	ND	1	3	1	8	1	1	1	5	2	1	ND	2	6	1			
Ni	9	8	8	8	10	12	8	6	9	10	10	10	9	11	9			
Cr	56	33	7	27	25	11	16	9	32	12	34	26	23	38	6			
Co	6	5	4	4	5	5	4	3	4	4	6	6	8	6	ND			
La	45	44	30	38	33	48	33	14	40	35	66	37	44	32	18			
Ce	69	77	46	67	60	86	62	24	72	66	122	68	83	63	27			
Nd	29	29	20	25	22	29	23	10	26	24	42	27	31	24	13			
Sm	6.2	5.8	4.5	4.9	5.0	5.9	4.7	2.4	4.9	4.9	9.1	6.3	7.1	6.6	2.3			
Eu	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.8	0.7	0.9	0.7	0.8	0.6	0.5			
Dy	4.6	4.0	3.2	3.1	3.2	4.0	2.1	1.6	2.4	2.4	4.5	3.9	4.3	3.8	1.5			
Yb	3.7	3.2	2.6	2.6	2.4	3.3	1.3	1.5	1.6	1.4	3.4	3.3	3.4	3.1	0.9			

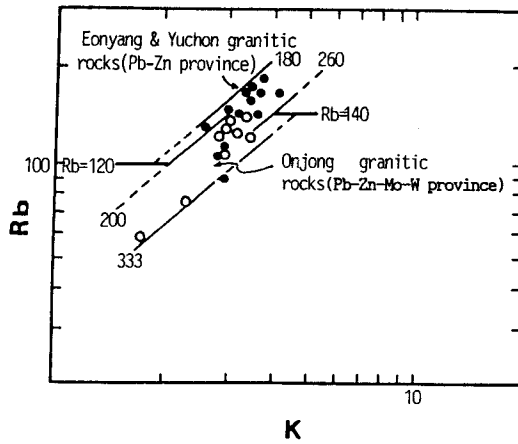


Fig. 8. K/Rb ratio for the granitic rocks. Symbols are the same as those used in Fig. 3.

암류보다 높다 (이진국, 1986). 이는 두 분지의 특징의 차이 내지는, 비록 온정화강암체가 휘수연광상의 관련암이지만, 연-아연 및 철광상 등의 복합적인 광화작용과 관련되기 때문이라 생각된다.

스트론튬

스트론튬은 Ca-광물에 허용되므로 사장석과 Ca함량이 높은 온정화강암체는 Sr함량이 287~420 ppm (평균 365 ppm)으로 높고, 반대로 사장석과 Ca 함량이 비교적 낮은 연양-유천화강암체는 89~252 ppm (평균 161 ppm)으로 낮다 (Fig. 9).

Sr함량으로도 경상분지 내 Cu-광상구의 진동화강암체와 Pb·Zn광상구의 연양-유천화강암체가 구분이 된다 (이재영, 1989)고 보고된 바 있는데, 본 연구에서 온정화강암체의 Sr함량은 진동화강암체보다 낮으므로, 경상분지 내의 광상구 중 Cu-광상구가 가장 함량이 높고, Pb·Zn·Mo·W-광상구, Pb·Zn-광상구의 순으로 낮아진다. Rb와 마찬가지로 경상분지 및 태백산광화대 내 Mo-광상구의 화강암질암과는 다른 양상을 보여준다.

생산적 (productive) 암체는 Rb함량이 높고, Sr함량이 낮은 반면, 불모 (barren) 암체는 Sr함량이 높고 Rb함량이 낮은 것 (Groves, 1972)으로 알려져 있는데 본 역의 연구 결과도 이와 잘 일치할지는 차후 더 면밀한 검토가 필요하다.

스트론튬-칼슘

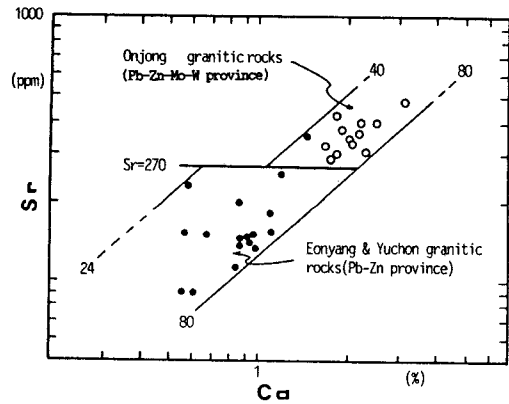


Fig. 9. Ca/Sr ratio for the granitic rocks. Symbols are the same as those used in Fig. 3.

Ca/Sr도 온정화강암체와 연양-유천화강암체 간에 현저한 차이를 보인다. 즉 전자는 Ca/Sr=40-80, Sr>287 ppm, Ca>2.1%의 특징을 보여주는데 반해, 후자는 Ca/Sr=24-80, Sr<252 ppm, Ca<0.89%에 한정되어 점시되므로 양화강암체는 Sr=270 ppm, Ca=1.5%의 함량을 경계로 확연히 구분된다 (Fig. 9 참조).

또한, Cu-광상구의 진동화강암체의 Ca/Sr=40-150, Ca>2% (이재영, 1989)에 비해 양 암체 공히 낮고, 온정화강암체를 태백산 광화대의 화강암류와 비교해 보면 휘수연을 수반하는 상동화강암체의 Ca/Sr=40, Ca<1% (Lee, 1987) 보다 높은 영역에 점시되고, 경상분지 내 Mo-광상구의 연일화강암체 (Ca/Sr=90) 보다 낮다.

바륨

바륨은 K-광물에 포획되므로 정장석의 량과 K함량이 낮은 온정화강암체는 491~876 ppm (평균 640 ppm)으로 다소 낮고, 연양-유천화강암체는 462~1501 ppm (평균 695 ppm)으로 높은 경향을 보인다 (Table 3 참조).

경상분지 내 광종별 광상구의 Ba함량을 보면 Cu-광상구의 진동화강암체는 382 ppm으로 Pb·Zn-광상구인 연양-유천화강암체보다 낮으며, 양광상구를 구분하는데 지시원소로 유용하다 (이재영, 1989)고 보고된 바 있다. 따라서 경상분지 내 광상구는 화강암체의 Ba함량에 의해 구분이 가능할 것으로 보인다. 즉, Cu-광상구의 진동화강암체는 382 ppm, Pb·Zn-광상구의 연양-유천화강암체는 695 ppm, Pb·Zn·Mo·W-광상구의 온정화강암체는 640 ppm으로 광상구 간에 현저한 함량차가 있다.

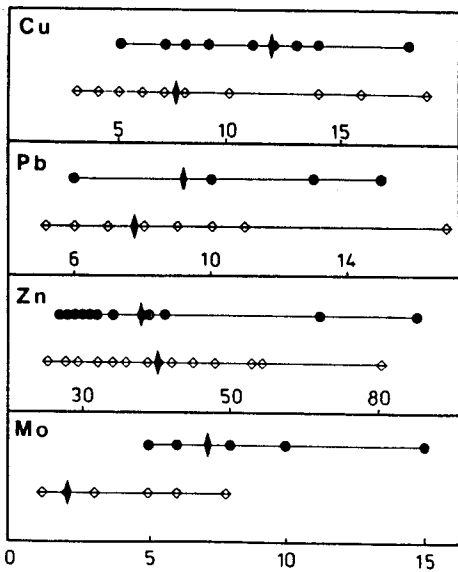


Fig. 10. Cu, Pb, Zn and Mo contents for the granitic rocks. Symbols: solid circle; Onjong granite, open diamond; Eonyang and Yuchon granite, and solid diamond; average contents of elements.

전술한 바와같이 바륨은 K-광물에 포획되는 반면 루비듐도 K-광물에 허용되므로 Rb에 대한 Ba의 함량비는 온정화강암체가 Ba/Rb=5.5로서 가장 높고, 언양-유천화강암체는 4.7, 진동화강암체는 약 4로 가장 낮다. 또한, 이는 세계화강암평균치 (Ba/Rb=3) 보다 다소 높으며, 분화의 정도가 커짐에 따라 Ba/Rb가 감소한다는 경우 (Rose et al., 1979)와 일치하지 않는다.

리튬

리튬은 휘석, 각섬석 및 운모류 등의 Mg-광물에 허용되는데, 특히 운모에 많이 함유된다. 또한 Li/Mg는 분화가 진행됨에 따라 증가하며, 때로는 페그마타이트에 많이 농집되는 경우도 있다 (Correns et al, 1978).

온정화강암체의 Li의 함량은 12~27 ppm (평균 18.9 ppm)이며, 언양-유천화강암체는 7~38 ppm (평균 19.3 ppm)으로 분화가 더 진행된 후자가 약간 높다 (Table 3 참조). 따라서 Li의 함량도 Mg와 같이 분화의 정도를 나타내는데 도움이 될 것으로 생각된다.

Tauson et al. (1973)에 의하면 Sn-광화작용과 관련된 증생대 Transaikalia화강암 중 생산적화강암은 Li의 함량이 64 ppm인데 반해, 불모 (barren) 화강암은 47 ppm으로

낮다고 하는데, 본 역 화강암체의 Li함량은 불모화강암 보다 현저히 낮은 것으로 미루어 보아 본 역 온정화강암체는 Sn-광화작용과는 무관한 것으로 보인다.

광석금속원소

본 역 광상구 및 경상분지내 광상구의 주광종의 금속원소함량의 변화는 다음과 같다 (Fig. 10).

동

동은 황화물로서 주로 산출되지만 Fe²⁺와 화학적 습성이 유사하여 Fe-광물에 허용되어 존재하기도 하는데, 특히 운모류에 다량 존재하며 그 함량은 특정 광화작용과 관련된 화강암에서 높으므로 지화암의 지시원소로서 아주 유용한 원소이다. 경상분지 백악기 화강암체 중 Cu-광상구의 진동화강암체도 Cu함량은 15 ppm으로 Pb·Zn-광상구의 언양-유천화강암체 (13 ppm) 보다 다소 높고, 진동화강암류 중 함안-군북지역은 최대 450 ppm의 이상치도 보이며, 60 ppm 이상의 함량은 언양-유천화강암체 보다 빈도가 높다 (Lee, 1984). 그리고 Cu-광상이 많이 분포하는 진동화강암체의 북동부인 진동리지역의 진동화강암체의 Cu함량은 금번 조사에 의하면 24~181 ppm으로 Pb·Zn-광상구 보다 높다.

본 연구의 Pb·Zn·Mo·W-광상구의 온정화강암체는 5~14 ppm (평균 11.9 ppm), 언양-유천화강암체의 Cu함량은 3~19 ppm (평균 7.6 ppm)으로 전자가 다소 높다. 이는 경상분지 내 Mo-광상구에 속하는 연일화강암체가 언양-유천화강암체보다 Cu함량이 높은사실 (이진국, 1986)과 잘 일치한다.

따라서 Cu함량으로 볼 때 상기 양 광상구의 화강암체는 공히 Cu-광상구의 화강암체보다 훨씬 낮으므로 Cu-광상구를 구분하는 지시원소로는 유용하다. 그러나 상기한 정도의 함량 차이로는 Pb·Zn·Mo·W-광상구와 Pb·Zn-광상구를 구분하는 지시원소로는 적합하지 않다고 생각된다.

연

연은 K-광물에 허용되므로 화강암에 미량으로 함유되며, 특히 K-장석에 그 함량이 높고 연광화작용과 관련된 화강암류에서 그 함량이 높으므로 지화학탐사에 유용한 지시원소가 될 수 있다.

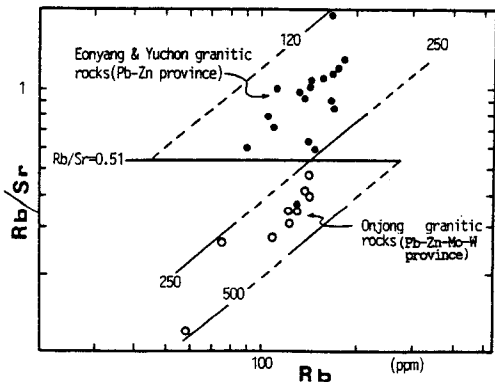


Fig. 11. Rb-Rb/Sr ratio for the granitic rocks. Symbols are the same as those used in Fig. 3.

Pb·Zn·Mo·W-광상구의 온정화강암체의 Pb함량은 6~15 ppm (평균 8.7 ppm), Pb·Zn-광상구의 언양-유천화강암체는 6~17 ppm (평균 7.8 ppm)이다. 언양-유천화강암체가 Pb·Zn-광상구에 속함에도 불구하고 Pb함량이 낮은 것은 본 광상구 내에는 연-아연광상이 존재하지 않을 뿐 아니라, 오히려 유천화강암체에는 소규모의 연/아연을 수반한 동광상인 천일동광상이 존재하고, 언양화강암체 내에는 흑중석이 주광석광물인 산내중석광상이 존재하므로 연-아연 광화작용과는 무관하기 때문이라 생각된다. 이에 반해 온정화강암체에서 Pb함량이 다소 높은 것은 온정화강암체 내에 소보취수연광상 이외에 방연석과 섬아연석이 주광석광물인 금광광상을 비롯한 크고 작은 연-아연광상이 존재하며, 온정화강암체가 이들 광상의 광화작용과 밀접한 관련이 있기 때문이라 생각된다.

아연

Zn함량은 Pb함량과는 달리 Pb·Zn·Mo·W-광상구의 온정화강암체는 27~75 ppm (평균 37.14 ppm)으로 Pb·Zn-광상구의 언양-유천화강암체의 25~71 ppm (평균 39.8 ppm)보다 다소 낮다. 이에 반해 태백산광화대 내 Pb·Zn-광상구의 관련암인 이목화강암체의 Zn함량은 평균 115 ppm으로 언양-유천화강암체에 비해 월등히 높는데 이는 전자가 연-아연광화작용과 밀접한 관계가 있는데 반해 후자는 전술한 바와 같이 Pb·Zn-광상구에 속함에도 불구하고 연-아연광상의 발달이 거의 없으며 연-아연광화작용과 무관한 암체이기 때문이라 생각된다.

뿐만아니라 온정화강암체가 언양-유천화강암체에 비해 높은 함량의 빈도가 많은 것은 온정화강암체의 연-아연

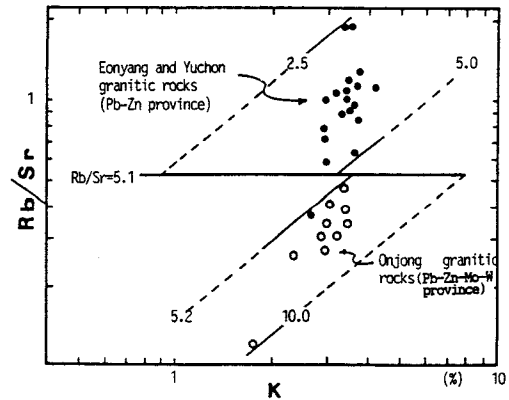


Fig. 12. K-Rb/Sr ratio for the granitic rocks. Symbols are the same as those used in Fig. 3.

광화작용에 기인된 것이라 생각된다. 따라서 언양-유천화강암체를 Pb·Zn-광상구에 포함시키는 것은 부적합하다고 생각되며, 재 검토의 필요가 있다.

취수연

Pb·Zn·Mo·W-광상구 내 온정화강암체의 Mo함량은 5~15 ppm (평균 7.1 ppm)으로 Pb·Zn-광상구의 언양-유천화강암체의 ≤ 8 ppm (평균 1.9 ppm) 및 Cu-광상구인 진동화강암체 ($Mo \leq 6$ ppm) 보다 월등히 높는데, 이는 온정화강암체가 암체 내에 배대된 소보취수연광상의 관련 화성암임을 지시하는 것으로 해석된다. 그러나 이를 확증하기 위해서는 보다 세밀한 연구가 필요하다.

Wolfe (1974)에 의하면 캐나다 온타리오주에 발달하는 화강섬록암 내지 석영몬조니암 중 평균 Mo함량은 광화대는 26 ppm인데 반해 비광화지대는 1.7 ppm으로 보고된 바 있다. 우리나라의 경우는 달성중석광산 부근의 몬조니암이 26 ppm, 자인 코발트광산 부근의 몬조니암이 37 ppm (Lee, 1984)이고, 태백산분지 내의 화강암류는 중석-취수연광상의 관련암인 상동화강암류가 가장 높고, 철광상, 철동광상, 연-아연 광상의 관련암으로 갈수록 그 함량이 감소하며 (Lee, 1987), 경상분지 내 Mo-광상구의 연일화강암체의 Mo함량은 타광상구의 화강암체보다 높으나 (이진국, 1986), 온정화강암체의 1/2.5이 된다.

따라서 화강암 중의 Mo함량은 Mo-광상구를 구분하는데 지화학적 지시원소로서 유용할 것으로 생각된다. 그러나, Mo-광상구 중에서도 생산적화강암과 불모화강암, 또 광화대와 비광화대를 구분하기 위해서는 정밀탐사가 선행

되어야 한다.

고 찰

광화작용의 기구에 따라서 차이는 있으나, 휘수연광화 작용과 관련된 화성암체는 Mo함량이 높다 (Garrett, 1974) 고 보고된 바 있다. 본 역의 온정화강암체는 Mo함량이 평균 화강암류 보다 월등히 높고, 주위에 발달하는 평해 화강암체 및 영해화강암체에 비해 Mo함량이 월등히 높으므로 온정화강암체가 소보광상의 관련암이 될 것으로 생각된다.

Warren et al. (1960)의 연구에 의하면 전남 내의 Cu 및 Zn의 함량을 기준으로 생산적 암체와 불모암체가 분류될 수 있는데, 전자는 Zn=35~200 ppm (평균 117 ppm)으로 후자의 Zn=14~136 ppm (평균 49 ppm)에 비해 월등히 높다. 본 역 온정화강암체는 Cu=5~18 ppm (평균 11.3 ppm), Zn=27~75 ppm (평균 34.7 ppm)이고, 언양-유천 화강암체는 Zn=25~72 ppm (평균 39.8 ppm)으로 생산적 암체에 비해 월등히 낮는데, 언양-유천화강암체는 관련된 광상의 발달이 미약하므로 불모암체로 분류하던지, 연-아연광상구에 포함시키지 않는 것이 적합할 것으로 생각된다.

단일 원소는 물론, 주원소와 이에 화학적 성질이 유사한 미량원소와의 함량비 및 미량원소 간의 함량비도 광상구의 구분에 지시적이다. 예로 온정화강암체의 Rb에 대한 Rb/Sr비는 250~500, 언양-유천화강암체는 120~250이며, K에 대한 Rb/Sr 비는 각각 5.2~10, 2.5~5.0으로 양 화강암체가 확연히 구분될 뿐아니라, 온정화강암체가 Rb/Sr<0.51인데 반해 언양-유천화강암체는 Rb/Sr> 0.51으로 확연히 구분된다. 즉, 양 화강암체는 K-Rb 및 Ca-Sr도에서 보다 Rb/Sr-Rb 및 Rb/Sr-K도에서 더 확연히 구분된다 (Fig. 11, 12).

종합 및 결론

본 역 온정화강암체는 모드조성에 의하면 monzonitic 화강암 및 화강섬록암으로 분류되며, 언양-유천화강암체는 monzonitic 화강암으로 분류된다.

AFM도에 의하면 양 화강암체는 경상분지 내 백악기 화강암류와 같은 칼칼알카리계열의 성분 변화를 보이며, 분화정도는 온정화강암이 더 낮다.

본 역 양 화강암체의 SiO₂함량은 71.5%로 구분되며,

온정화강암체가 언양-유천화강암체보다 낮다. SiO₂함량 변화에 대한 주원소의 함량 변화를 비교해보면 SiO₂의 함량이 낮은 온정화강암체가 Mg, Ca 및 Fe 등의 함량이 높고, 언양-유천화강암체에서 K 및 Na의 함량이 높다.

미량원소 중 Rb, Sr, Ba, Li 등은 주원소 중 K, Ca 및 Mg와 밀접한 관계를 갖는데, 온정화강암체는 Sr함량이 높고, 언양-유천화강암체는 Rb의 함량은 현저히 높으며, Li 및 Ba의 함량은 다소 높다.

K/Rb, Ca/Sr, Rb-Rb/Sr 및 K-Rb/Sr도에 의하면 온정 화강암체와 언양-유천화강암체는 현저히 구분되나, 이들 원소비의 변화양상은 연일지역 Mo-광상구의 화강암체와 언양-유천화강암체의 관계 및 태백산광화대의 상동화강암체와 이목화강암체의 관계는 다른 특징을 보이므로 연구를 계속할 필요가 있다고 생각된다.

광화작용과 직접적인 관계가 있는 지시원소 중 Cu, Pb, Zn 및 Mo의 함량은 화강암체 내에 배대된 광상의 종류 및 광물조성과 밀접한 관계가 있는데, 언양-유천화강암체는 Zn함량이 높고, 온정화강암체는 Mo함량이 현저히 높으며, Pb 및 Cu의 함량은 다소 높은 편이지만 Cu-광상구인 진동화강암체에 비하면 Cu함량은 월등히 낮다.

이상과 같이 온정화강암체는 주원소와 미량원소의 함량변화 및 원소비로서 다른 광상구의 화강암체와 구분이 가능하다. 따라서, 광상구는 이러한 지화학적 특징에 대한 연구를 기초로 설정되어야 된다고 생각된다.

사 사

이 논문은 1990년도 교육부지원 한국학술진흥재단의 자유공모 (지방대학육성) 과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었으며 이에 감사드린다. 그리고 연구의 종료시에 지원을 해 준 전략광물자원연구센터에도 감사드린다.

참고문헌

- 김상욱 (1982) 북부 유천분지 내에 분포하는 후기 백악기 화강암류의 암석학적 연구. 서울대학교 박사학위 논문, p. 1-133.
- 김수영 (1981) 울진군 평해면 소보광상 및 부근 화강섬록암의 열수변질 및 휘수연광화. 연세대학교 석사학위논문, p. 1-49.
- 김중욱 (1988) 경상분지 북동부 영덕-온정지역 화강암질암류의 암석학 및 Fission Tracks내. 경북대학교 박사학위논문, p. 1-63.
- 서정술 (1986) 유천도폭 125호 금·은·동 광화대 시추탐사 연구. 금속광상조사연구, p. 227-318.
- 우병걸 (1989) 경상북도 평해-영덕 지역의 백악계 층서 및 퇴적.

- 경북대학교 석사학위논문, p. 1-63.
- 이상만 (1972) 경상분지 내의 화강암류와 광화작용. 손치무교수 송수기념논문집, p. 195-219.
- 이상만 (1974) 우리나라 화성활동과 광화작용에 관한 관련성 연구. 과기처, R-74-48, p. 47.
- 이윤종 (1980) 언양 및 울산지역 화강암류의 암석화학적 연구. 광산지질, 13권, p. 69-79.
- 이재영 (1989) 진동화강암 및 유천-언양화강암의 광화작용에 관한 지화학적 연구. 광산지질, 22권, p. 21-34.
- 이재영, 김상욱, 김영기, 고인석, 장태우 (1990) 유천분지 내 화강암류와 광상구의 관계에 대한 지화학적 연구. 광산지질 23권, p. 143-159.
- 이진국 (1986) 언양-유천지역 백악기 화강암의 화학원소와 광화작용의 관계. 경북대학교 석사학위논문, p. 1-39.
- Chang, K.H. (1975) Cretaceous stratigraphy of southeastern Korea. Jour. Geol. Soc. Kor. v. 11, p. 1-23.
- Correns, C.W., Shaw, D.M., Turekian, K.K. and Zemann, J. (1978) Handbook of geochemistry. v. II/1, 3-E.
- Fletcher, C.J.N. (1976) Mineralization within the Gyeongsang Cretaceous Basin, Republic of Korea. Anglo-Korean Mineral Exploration Group.
- Garrett, R.G. (1971a) Molybdenum, tungsten and uranium in acid plutonic rocks as a guide to regional exploration, S.E. Yukon. Can. Min. J., v. 92, p. 37-40.
- Garrett, R.G. (1971b) Molybdenum and tungsten in some acid plutonic rocks of southeast Yukon Territory. Geol. Sur. Can. Open File Rep., v. 51, p. 5-6.
- Groves, D.I. (1972) The geochemical evolution of tin-bearing granites in the Blue Tier Batholith, Tasmania. Econ. Geol., v. 67, p. 445-457.
- Hong, Y.K. (1985) Geochemistry of the Cretaceous Eonyang and Yuchon granites in the southern Korea. Jour. Geol. Soc. Kor., v. 21, p. 90-108.
- Jin, M.S. (1981) Petrology and geochemistry of the Cretaceous granitic rocks in southeastern Korea. Seoul Nat. Univ. Ph.D. thesis.
- Jin, M.S. et al. (1981) Granitic Magmatism and associated Mineralization in the Gyeongsang Basin. Jour. Kor. Min. Geol., v. 31, p. 245-260.
- Kim, O.J. (1971) Metallogenic epoch and provinces of South Korea. Jour. Geol. Soc. Kor., v. 7, p. 37-59.
- Lee, J.Y. (1984) Geochemistry in major and trace elements in the granitic rocks from the Gyeongsang Basin in relation to mineralization. Jour. Geol. Soc. Kor., v. 20, p. 326-344.
- Lee, J.Y. (1987) A geochemical study on trace elements in the granitic rocks in relation to mineralization in the limestone area of the Taebaegsan basin. Jour. Kor. Min. Geol., v. 20, p. 179-196.
- Lee, M.S. (1981) Geology and metallic mineralization associated with Mesozoic granitic magmatism in South Korea. Jour. Soc. Mining Geologists Japan, v. 31, p. 235-244.
- Rose, A.W. et al (1979) Geochemical characteristics of elements. In "Geochemistry in Mineral Exploration", Academic Press, London, p. 449-581.
- Sillitoe, R.H. (1977) Metallogeny of an Andean type continental margin in South Korea, Implications for opening of the Japan Sea. Maurice Ewing Series, 1, Am. Geophys. Union, p. 303-310.
- Tauson, L.V. et al. (1973) Distribution functions and ratios of trace-element concentrations as estimators of the ore-bearing potential of granites. Geochemical Exploration 1972, Institution of Mining and Metallurgy, London, p. 37-44.
- Tsusue, A. (ed. 1981) Petrographic provinces of granitoids and associated metallic ore deposits in South Korea peninsula. Report of oversea field research project sponsored by a Grant-in-Aid from the Ministry of Education in Japan, 161 p.
- Warren, H.V. et al (1960) Aqua regia extractable copper and zinc in plutonic rocks in relation to ore deposits. Inst. Min. Metall., Trans. v. 69, p. 495-504.
- Wolfe, W.J. (1974) Geochemical and biogeochemical exploration research near early precambrian porphyry-type molybdenum copper mineralization, northwestern Ontario, Canada. J.Geochem. Explor., v. 3, p. 25-41.