

聞慶南部一帶에 分布하는 白堊紀 花崗岩類의 微量元素 및 鑛物化學

尹顯秀*

Trace Element and Mineral Chemistry of the Cretaceous Granites in the Southern Mungyeong Area

Hyun Soo Yun*

ABSTRACT: The studied Cretaceous granites are widely distributed at the southern Mungyeong area in the southwestern part of Ogcheon Fold Belt. From the mineralogical and geochemical compositions, it is suggested that they show the characteristics of I-type and magnetite-series and formed under the conditions of high oxygen fugacity. The mineral chemistry of plagioclase, alkali feldspar and biotite in the granites by EMPA, was revealed as albite to oligoclase, microcline to microcline perthite and orthoclase perthite, and annite compositions, respectively. The granites have the distribution patterns of enriched LREE and depleted HREE, and show Eu negative anomalies suggesting mainly due to the feldspar fractionation in the residual magma. The geochemical data of Eu, Eu/*Eu, Sm and Gd suggest that the granites of the area have more abundant alkali feldspar crystallization than plagioclase. From the geochemical characteristics of Sr/Ba, La/Sm vs. Ce/Yb and other trace element evidences, the granites were the late stage products of differentiation and fractionated from a homogeneous parental granitic magma.

序 言

研究 地域은 沃川 地向斜帶의 남서부에 해당되며, 연구 대상암체는 慶北의 聞慶郡과 尙州郡 그리고 忠北의 槐山郡과 報恩郡 일대에 걸쳐 광범위하게 분포하는 淡紅色을 띤 白堊紀의 花崗岩類로서 이에는 黑雲母 花崗岩과 淡紅色 黑雲母 花崗岩이 속한다. 이 地域과 관련하여 최근에 보고된 연구로는 忠州-月岳山-堤川地域 花崗岩類의 岩石化學(Kim and Shin, 1990), 그리고 聞慶 남부지역 백악기화강암류의 岩石學 및 主元素 化學性(Yun and Kim, 1990) 등이 있다.

이 연구에서는 상기 白堊紀 淡紅色 花崗岩類에 대한 야외조사와 함께 채취된 岩石 시료중 신선한 것을 선택하여 이들의 造岩鑛物中 EPMA分析(JEOL-733, WDX 方式)에 의한 斜長石, 알카리 長石과 黑雲母等の 鑛物 化學, 斜長石에 의한 分化傾向, 黑雲母類의 端成分, 이미 발표된 全岩分析에 의한 主元素(Yun and Kim, 1990)와 微量元素, 微量元素의 相互關係, 稀土類

元素, 그리고 岩石成因등에 관한 지화학적 연구를 하였다. 微量元素와 稀土類元素는 英國 런던대학교(ICP 방법)에서, EPMA 분석은 연세대학교 洪世善연구원에 의해 실시되었다.

地質概要

이 지역 構成岩層의 地質은 變成岩類와 堆積岩類, 時代未詳 岩類 그리고 火成岩類로 묶어 비교적 상세히 보고된 바 있으므로(Yun and Kim, 1990), 본장에서는 이 연구와 관련된 白堊紀의 黑雲母花崗岩과 淡紅色黑雲母花崗岩 그리고 斑岩類만을 약술한다(Fig. 1.).

黑雲母花崗岩은 淡紅色을 띠며 이 지역 중북부일대에 넓게 분포된 중립-조립질의 커다란 암체로서 沃川層群을貫入한 그 북부 주변부에서는 세립질 및 반정질화되는 경향을 뚜렷이 보인다. 이 암은 層狀의 黑雲母 流動構造, 晶洞을 이룬 空洞構造(miarolitic cavity; 알카리 長石, 石英, 黑雲母와 磁鐵石等の 巨晶發達), 애프라이트質 岩脈과 포켓型的 페그마타이트質部 등이 발달된다. 淡紅色 黑雲母花崗岩은 이 지역 서부와 남부에 분포되며 위의 黑雲母 花崗岩보다 다소 더 짙은 紅色을 띤 거의 같은

* 한국자원연구소(Korea Institute of Geology, Mining and Materials 30 Daejeon Gajeongdong, 305-350 Korea).

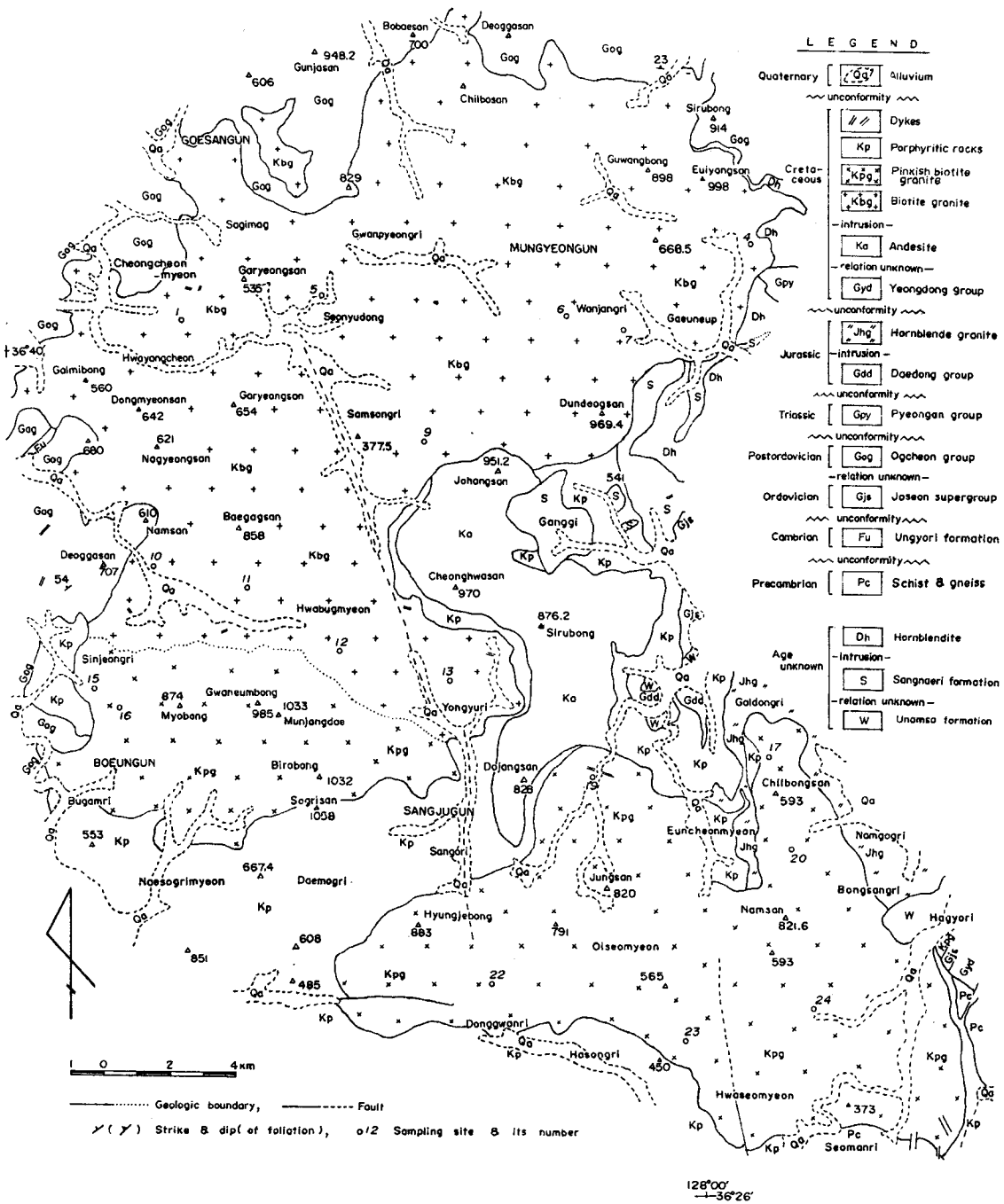


Fig. 1. Geological map and sampling sites of the southern Mungyeong area.

Table 1. Electron microprobe analyses of plagioclase in the Cretaceous biotite granite (sample no. 6,10) and pinkish biotite granite(sample no. 15,17 and 23).

6										
	-1(M)	-2(C)	-3(M)	-4(M)	-5(C)	-6(M)	-7(C)	-1(M)	-2(M)	-3(M)
SiO ₂	66.56	66.42	64.64	63.79	63.75	65.59	65.37	64.90	63.41	63.53
Al ₂ O ₃	20.26	20.37	21.51	21.20	22.02	20.83	20.75	20.76	21.67	22.44
FeO(t)	0.10	0.06	0.17	0.10	0.18	0.07	0.15	0.05	0.11	0.19
CaO	1.48	1.65	3.00	2.82	3.87	2.25	2.70	2.41	3.71	4.14
Na ₂ O	10.98	10.62	9.41	9.45	9.39	10.43	10.02	10.11	9.08	9.13
K ₂ O	0.33	0.34	0.64	0.73	0.64	0.22	0.78	0.50	0.73	0.37
total	99.71	99.47	99.37	98.08	99.84	99.39	99.77	98.73	98.70	99.80
basis of 8 oxygens										
Si	2.934	2.933	2.870	2.870	2.830	2.903	2.895	2.897	2.843	2.817
Al	1.053	1.060	1.125	1.124	1.152	1.087	1.083	1.092	1.145	1.172
Fe	0.004	0.002	0.006	0.004	0.007	0.002	0.005	0.002	0.004	0.007
Ca	0.070	0.078	0.143	0.136	0.184	0.107	0.128	0.115	0.178	0.197
Na	0.939	0.909	0.810	0.824	0.808	0.895	0.860	0.875	0.789	0.785
K	0.019	0.019	0.036	0.042	0.036	0.012	0.044	0.029	0.042	0.021
An	6.81	7.75	14.46	13.57	17.90	10.55	12.40	11.28	17.64	19.64
Ab	91.34	90.36	81.90	82.24	78.60	88.27	83.33	85.87	78.20	78.27
Or	1.85	1.89	3.64	4.19	3.50	1.18	4.27	2.85	4.16	2.09

15											17		
	-4(C)	-5(C)	-1(M)	-2(M)	-3(C)	-4(C)	-5(M)	-1(M)	-2(M)	-3(C)			
SiO ₂	61.91	59.97	65.55	68.77	67.60	67.80	67.69	65.88	65.70	65.71			
Al ₂ O ₃	22.90	23.78	20.49	19.09	19.62	19.43	19.18	20.66	20.82	20.70			
FeO(t)	0.06	0.15	0.22	0.00	0.09	0.00	0.00	0.02	0.05	0.06			
CaO	5.09	6.39	0.45	0.07	0.27	0.18	0.17	2.16	2.49	2.47			
Na ₂ O	8.43	7.66	10.55	11.99	11.55	11.70	11.86	9.49	9.66	9.46			
K ₂ O	0.66	0.56	1.25	0.04	0.43	0.10	0.04	1.27	1.22	1.68			
total	99.05	98.58	98.50	99.96	99.57	99.20	98.95	99.09	99.93	100.07			
basis of 8 oxygens													
Si	2.776	2.714	2.930	3.006	2.976	2.988	2.992	2.929	2.903	2.905			
Al	1.210	1.268	1.079	0.984	1.018	1.009	0.999	1.061	1.084	1.079			
Fe	0.002	0.006	0.008	0.000	0.003	0.000	0.000	0.001	0.002	0.002			
Ca	0.245	0.310	0.021	0.003	0.013	0.009	0.008	0.103	0.118	0.117			
Na	0.733	0.672	0.914	1.016	0.985	0.999	1.016	0.818	0.827	0.811			
K	0.038	0.033	0.071	0.002	0.024	0.006	0.002	0.072	0.069	0.094			
An	24.11	30.54	2.09	0.29	1.27	0.89	0.78	10.37	11.64	11.45			
Ab	72.15	66.21	90.85	99.51	96.38	98.52	99.03	82.38	81.56	79.36			
Or	3.74	3.25	7.06	0.20	2.35	0.59	0.19	7.25	6.80	9.20			

Table 1. Continued.

	23						
	-4(C)	-5(M)	-1(M)	-2(M)	-3(C)	-4(C)	-5(M)
SiO ₂	64.35	65.18	65.74	64.92	63.98	64.16	64.98
Al ₂ O ₃	21.73	20.78	20.28	20.27	21.13	21.84	20.90
FeO(t)	0.00	0.17	0.10	0.13	0.15	0.04	0.13
CaO	3.45	2.64	1.81	2.40	2.96	3.59	2.74
Na ₂ O	9.39	9.09	10.05	9.47	9.30	9.49	9.39
K ₂ O	1.01	1.56	0.80	1.29	1.20	0.79	1.14
total	99.94	99.42	98.78	98.48	98.73	99.92	99.28
Si	2.851	2.899	2.928	2.912	2.869	2.843	2.891
Al	1.135	1.089	1.065	1.072	1.117	1.141	1.096
Fe	0.000	0.006	0.004	0.005	0.006	0.002	0.005
Ca	0.164	1.126	0.086	0.115	0.142	0.170	0.131
Na	0.807	0.784	0.863	0.823	0.809	0.815	0.810
K	0.057	0.089	0.046	0.074	0.069	0.045	0.065
An	15.95	12.61	8.64	11.36	13.92	16.50	13.02
Ab	78.50	78.48	86.73	81.33	79.31	79.13	80.52
Or	5.54	8.91	4.63	7.31	6.77	4.37	6.46

6-1(M),-2(C),-7(C);Yun and Kim(1990) (M);margin part (C);core part

産狀과 構成鑛物을 가진다. 이 지역 남부에 발달하는 淡紅色 黑雲母花崗岩 동측에서도 반정을 가진 세립질 암상을 이룬다. 이들 白堊紀의 花崗岩類는 石英, 알카리長石, 斜長石, 黑雲母 그리고 微量의 저어콘, 스펀과 不透明鑛物等으로 구성된다(Yun and Kim, 1990).

斑岩類는 石英(長石)斑岩, 珪長(斑)岩과 花崗斑岩等으로서 이 지역 남서부 일원에 분포되며 주변의 백악기화강암류와 貫入 또는 漸移 關係를 이룬다. 그리고 불규칙한 산출상태의 岩脈類가 도처에 산출된다.

白堊紀 花崗岩類의 鑛物化學

白堊紀 화강암류중 試料 6, 10, 15, 17과 23번 (Fig. 1과 동일번호)을 택해 그 조암광물인 장석결정의 周邊部 (margin)와 中心部(core)에서 2-7점씩 斜長石 27점과 알카리 長石 18점이 분석되었다. 그리고 흑운모는 시료 6과 23번에서 5점씩 모두 10點이 선별 분석되었다 (Table 1, 2, 3).

長石類의 化學組成

長石類中 斜長石은 SiO₂ 59.9-68.8, Al₂O₃ 19.0-23.

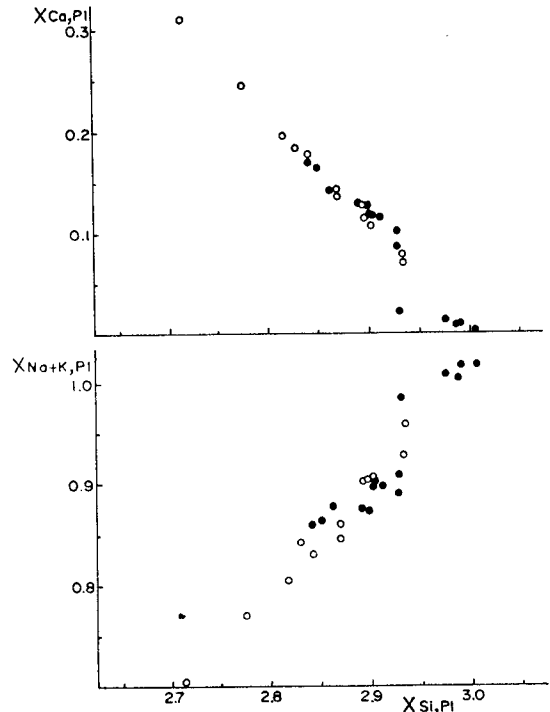


Fig. 2. Variation diagrams of plagioclase for biotite granite(open circles) and pinkish biotite granite(solid circles).

Table 2. Electron microprobe analyses of alkali feldspar in the granites. Sample numbers as for Table 1.

	6						10		
	-1(C)	-2(M)	-3(C)	-4(C)	-5(M)	-6(C)	-1(M)	-2(C)	-1(C)
SiO ₂	64.14	64.61	64.95	65.00	64.71	65.27	65.97	65.22	65.83
Al ₂ O ₃	17.86	17.78	17.97	17.85	17.70	17.81	18.24	18.09	18.15
FeO(t)	0.11	0.03	0.09	0.10	0.08	0.07	0.04	0.04	0.03
CaO	0.01	0.02	0.03	0.02	0.03	0.00	0.05	0.05	0.21
Na ₂ O	0.37	0.50	0.89	1.23	0.41	0.28	3.50	2.70	4.82
K ₂ O	16.21	16.26	15.86	15.20	16.39	16.22	11.90	13.23	10.20
total	98.71	99.20	99.79	99.40	99.32	99.65	99.71	99.32	99.25
basis of 8 oxygens									
Si	3.007	3.013	3.008	3.014	3.016	3.023	3.001	3.006	3.006
Al	0.987	0.977	0.981	0.975	0.972	0.972	0.981	0.983	0.977
Fe	0.004	0.001	0.003	0.004	0.003	0.003	0.002	0.001	0.001
Ca	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.002	0.002	0.010
Na	0.033	0.045	0.080	0.111	0.037	0.025	0.310	0.241	0.427
K	0.967	0.967	0.937	0.899	0.974	0.984	0.693	0.078	0.594
An	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.20	0.20	0.97
Ab	3.29	4.44	7.86	10.98	3.66	2.48	30.85	23.60	41.42
Or	96.21	95.46	92.04	88.92	96.24	97.52	68.95	76.20	57.61

	15			17			23		
	-2(C)	-3(C)	-4(C)	-1(M)	-2(M)	-3(M)	-1(C)	-2(C)	-3(C)
SiO ₂	65.91	65.95	66.23	65.61	66.32	64.76	66.09	65.87	65.98
Al ₂ O ₃	18.26	18.21	18.41	18.22	18.16	18.22	18.45	18.49	18.39
FeO(t)	0.13	0.08	0.10	0.05	0.08	0.19	0.07	0.16	0.00
CaO	0.15	0.09	0.11	0.04	0.12	0.11	0.12	0.14	0.17
Na ₂ O	4.90	4.48	4.54	3.55	4.25	4.72	4.00	4.29	4.06
K ₂ O	9.94	10.40	10.31	12.11	10.39	10.61	10.99	11.07	11.26
total	99.29	99.21	99.71	99.57	99.32	98.61	99.73	100.01	99.86
basis of 8 oxygens									
Si	3.005	3.001	3.007	3.005	3.020	2.989	3.006	2.995	3.003
Al	0.981	0.980	0.985	0.984	0.975	0.991	0.989	0.991	0.986
Fe	0.005	0.003	0.004	0.002	0.003	0.007	0.003	0.006	0.000
Ca	0.007	0.005	0.005	0.002	0.006	0.005	0.006	0.007	0.008
Na	0.433	0.397	0.400	0.315	0.375	0.422	0.353	0.378	0.359
K	0.578	0.606	0.597	0.707	0.603	0.625	0.638	0.642	0.654
An	0.69	0.50	0.50	0.20	0.61	0.48	0.60	0.68	0.78
Ab	42.53	39.38	39.92	30.76	38.11	40.11	35.41	36.81	35.16
Or	56.78	60.12	59.58	69.04	61.28	59.41	63.99	62.51	64.06

6;microcline, 10;perthite, 15.17.23;orthoclase (M);margin part (C);core part

8, Na₂O 7.6-12.0, CaO 0.0-6.4 그리고 K₂O 0.0-1.7%의 함량을 가져 다소의 변화폭을 보인다. 그리고 이 斜長石의 化學造成은 黑雲母花崗岩과 淡紅色黑雲母花崗岩이 각각 An 6.8-30.6과 0.2-16.5, Ab 66.2-91.4와 78.4-99.6 그리고 Or 1.1-4.3과 0.2-9.2로서 일부 안 대신에 속하나 거의 대부분이 알바이트-올리고크레이스에 該當된다(Table 1).

또한 黑雲母花崗岩中 累帶構造를 보이는 斜長石 結晶內(시료번호10)의 An함량은 그 周邊部(시료번호 10-1)에서 中心部(" 10-5)로 향해 11.28, 17.64, 19.64, 24.11 그리고 30.54로 뚜렷한 正의 含量增加를 가진다. 이런 正常 累帶구조는 비교적 低溫成分의 結晶質 溶液系(crystalline solution series)에서의 結晶成長(core에서 rim)을 의미한다(Hughes, 1982). 이 岩은 노름 Qz-Ab-Or三角圖와 퍼다이트의 분석등에 의하면 대략

440°C 정도에서 溶離現象이 끝났다(Yun and Kim, 1990).

그리고 이들 白堊紀 花崗岩類의 DI와 LI(Larsen index)는 각각 88.63-95.78과 25.07-28.92로 비교적 좁은 범위값을 가지며 平均값은 각각 92.63과 27.29로 분화말기에 해당된다(Yun and Kim, 1990). 그러나 本岩類는 斜長石의 成分 變化圖에서 XSi 대 XCa 그리고 XSi 대 XNa+K는 각각 否와 正의 相關關係를 뚜렷이 가져 花崗岩質 마그마의 分化傾向을 분명하게 보여주며 Ca 成分은 흑운모화강암에서 알카리 成分은 담홍색흑운모화강암에서 다소 우세한 경향을 보여준다(Fig. 2).

한편 알카리 長石의 Or-Ab-An三角成分圖에서 흑운모화강암의 미사장석은 An 0.0-0.1, Ab 2.4-11.0과 Or 88.9-97.6으로 微斜長石과 微斜長石 퍼다이트 領域에, 담홍색흑운모화강암의 정장석은 An 0.2-1.0,

Table 3. Electron microprobe analyses and ions per 22 oxygen atoms for biotite in the granites. Sample numbers as for Table 1.

	6					23				
	-1	-2	-3	-4	-5	-1	-2	-3	-4	-5
SiO ₂	35.75	34.54	35.96	34.84	36.50	35.58	35.30	35.62	34.80	36.01
TiO ₂	2.93	2.83	3.19	3.12	3.16	4.16	4.25	2.88	3.86	3.76
Al ₂ O ₃	13.07	13.14	12.58	13.05	12.98	12.32	12.28	12.26	12.38	12.91
FeO(t)	29.65	29.72	28.87	29.45	29.22	30.19	29.88	31.73	30.42	29.94
MnO	1.60	1.73	1.46	1.55	1.59	1.04	0.97	1.58	1.31	0.92
MgO	3.74	3.82	3.61	3.78	3.82	3.04	2.97	2.72	2.14	3.30
CaO	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04	0.04
Na ₂ O	0.11	0.04	0.09	0.11	0.07	0.28	0.34	0.30	0.28	0.18
K ₂ O	9.08	7.68	9.18	9.03	9.14	8.71	8.57	8.67	8.61	8.51
total	95.93	93.54	94.94	94.95	96.49	88.39	94.56	95.76	93.85	95.55
Si	5.756	5.690	5.832	5.682	5.815	5.769	5.764	5.805	5.764	5.788
Al(IV)	2.244	2.310	2.168	2.318	2.185	2.231	2.236	2.195	2.236	2.212
Al(VI)	0.236	0.240	0.237	0.190	0.252	0.123	0.126	0.160	0.180	0.233
Ti	0.354	0.351	0.389	0.382	0.379	0.507	0.522	0.352	0.481	0.454
Fe(t)	3.992	4.095	3.915	4.017	3.894	4.094	4.080	4.324	4.213	4.024
Mg	0.898	0.937	0.872	0.918	0.908	0.735	0.723	0.660	0.528	0.791
Mn	0.218	0.242	0.201	0.215	0.214	0.141	0.134	0.218	0.184	0.125
Ca	0.001	0.006	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.007	0.007
Na	0.034	0.014	0.028	0.035	0.021	0.089	0.108	0.095	0.091	0.056
K	1.865	1.614	1.899	1.879	1.859	1.802	1.786	1.803	1.819	1.744
Fe/Mg	4.45	4.37	4.49	4.38	4.29	5.57	5.64	6.55	7.98	5.09
*Mg	0.18	0.19	0.18	0.19	0.19	0.15	0.15	0.13	0.11	0.16
**Fe	0.82	0.81	0.82	0.81	0.81	0.85	0.85	0.87	0.89	0.84

*Mg=Mg/(Mg+Fe), **Fe=Fe/(Mg+Fe)

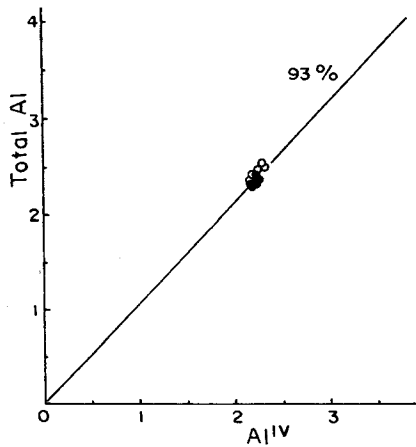


Fig. 3. Total Al vs. Al(IV) for the biotites of the granites. Symbols as for Fig. 2.

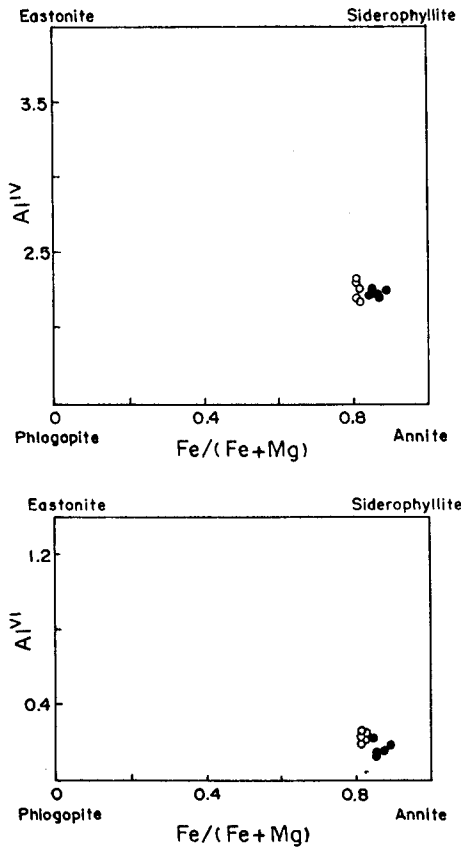


Fig. 4. Compositional fields of the biotites in Al(IV) and Al(VI) vs. Fe/(Fe+Mg) ratios. Symbols as for Fig. 2.

Ab30,7-42,6 과 Or 56,7-69,1로 正長石 퍼다이트 領域에 각각 該當된다(Phillips and Griffen, 1981; Table 2). 한편 퍼다이트중 알카리 長石은 An 0,2, Ab 23,6-30,9와 Or 68,9-76,2의 含量을 가진다.

黑雲母의 化學組成

白堊紀 花崗岩類中 黑雲母의 SiO₂와 Al₂O₃ 값은 각각 34,5-36,5와 12,2-13,2의 좁은 범위 값을 가진다 (Table 3).

흑운모중 Al₂O₃, FeO(t)와 MgO의 평균값은 본역것이 12,7,29,9와 3,3이고 같은 백악기 花崗岩類인 慶尙盆地的 것이 13,2,19,6과 12,2로서 (Tsusue et al., 1981) FeO(t)는 본역에서 MgO는 慶尙盆地에서 큰 값을 가진다. 또한 FeO(t)/MgO비는 전자와 후자에서 각각 9,1과 1,7로 본역 압에서 훨씬 증가된다.

이 鑛物中의 Fe값 (Fe/(Mg+Fe))은 0,81-0,89로 거의 균일하며 평균값은 0,84로 비교적 큰값을 가지는 바 이는 주로 본 花崗岩質 마그마의 分化作用進行中 初期에 마그네타이트가 결정화되지 못하고 전술된바와 같이 空洞構造內에 다소 巨晶質化되었고 일부는 黑雲母內에 수반된것으로 사료된다. 이값은 마그마의 分化作用이 진행됨에 따라 마그네타이트의 초기 결정작용으로 염기성 규산염광물중 Fe값의 감소가 수반되어 그 비가 0,34-0,57의 작은 값을 가지는 慶尙盆地內의 白堊紀 花崗岩類 보다 (Tsusue et al., 1981) 훨씬 큰 값을 가진다.

또한 Fe/Mg 비는 4,2-8,0의 비교적 넓은 범위와 5,3의 큰 平均값을 가지는데 이는 이들 鑛物이 후기 결정 산물이기 때문에 해석된다(Phillips and Griffen, 1981). 黑雲母의 Fe/Mg 비는 閃綠岩 0,7, 토나라이트 1,3, 花崗閃綠岩 1,7 그리고 花崗岩 4,0으로 증가된다 (Deer et al., 1962). 慶尙盆地內 白堊紀 花崗岩類의 黑雲母는 그 값이 0,9로 본역압보다 훨씬 작은 값을 가진다 (Tsusue et al., 1981).

이 광물은 쏘 Al에 대한 Al(IV)의 比率이 약 93%을 차지한다(Fig. 3). 이는 쏘 Al에 對한 Al(VI)의 比率이 平均 7%로서 Tsusue等(1981)에 의한 대략 10%의 侏羅紀 花崗岩類와 거의 0%에 가까운 慶尙盆地 白堊紀 花崗岩類의 中間 정도값에 해당된다. 그리고 Al(IV)對 Fe/(Fe+Mg)와 Al(VI)對 Fe/(Fe+Mg)의 關係

Table 4. Major and trace element analyses(in wt.% & ppm) of the granites. Sample numbers as for Fig. 1.

	1	4	6	7	9	10	11	12	13	15	16	17	19	21	22	23	24	*YS-31	X
SiO ₂	75.09	76.40	76.41	74.41	75.48	75.31	74.43	75.30	74.28	75.96	74.51	74.59	72.87	73.93	74.32	74.17	74.64	78.91	75.06
TiO ₂	0.08	0.06	0.09	0.09	0.06	0.08	0.08	0.08	0.08	0.06	0.07	0.13	0.11	0.11	0.10	0.13	0.13	0.08	0.09
Al ₂ O ₃	13.39	13.03	12.72	13.96	13.54	13.19	13.74	13.82	13.89	13.01	13.81	13.67	14.54	13.88	14.09	13.97	13.55	11.96	13.54
Fe ₂ O ₃	0.76	0.51	0.64	0.89	0.39	0.97	0.94	0.50	1.05	0.44	0.57	0.75	1.01	0.79	0.82	0.80	0.86	0.83	0.76
FeO	0.36	0.36	0.50	0.18	0.50	0.18	0.21	0.57	0.14	0.57	0.57	0.64	0.29	0.50	0.36	0.57	0.57	0.53	0.42
MnO	0.06	0.05	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.02	0.05	0.05	0.02	0.04
MgO	0.09	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.06	0.08	0.06	0.05	0.11	0.11	0.06	0.07	0.10	0.07	0.03	0.07
CaO	0.66	0.53	0.66	0.76	0.59	0.78	0.78	0.38	0.61	0.57	0.56	0.87	0.77	0.73	0.28	0.64	0.80	0.72	0.65
Na ₂ O	3.56	3.84	3.61	4.02	3.68	3.39	3.68	3.01	4.22	3.96	3.97	3.90	4.10	3.75	3.69	3.82	4.01	3.03	3.74
K ₂ O	4.66	4.89	4.38	4.85	5.15	4.84	5.14	5.10	4.74	4.53	4.37	4.40	4.89	4.75	5.14	4.38	4.26	4.41	4.72
P ₂ O ₅	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02
total	98.73	99.72	99.13	99.28	99.45	98.85	99.10	98.87	99.13	99.19	98.68	99.12	98.70	98.57	98.89	98.75	98.94	100.53	99.09
Ba	111	246	119	169	146	159	139	170	118	126	114	146	87	84	64	110	153	136	133.2(40.6)
Li	92	60	50	51	32	22	30	15	31	7	23	23	10	8	10	35	22	17	29.9(21.8)
Cr	0	32	1	2	1	9	1	0	0	0	1	1	1	5	2	0	1	16	4.1(8.1)
Co	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	1.6(0.5)
Ni	5	51	3	4	3	14	4	2	4	4	4	4	3	11	4	5	5	10	7.7(11.3)
Cu	2	2	3	2	1	3	2	12	2	2	2	2	43	13	3	9	2	2	5.9(9.9)
Zn	22	19	26	25	20	26	22	30	47	62	39	35	42	39	33	39	37	22	32.5(11.2)
Nb	27	29	18	18	14	12	10	6	24	11	14	19	18	17	13	19	14	7	16.1(6.2)
Sc	3	3	3	3	2	3	2	2	3	2	3	3	4	3	4	3	3	2	2.8(0.6)
V	4	3	4	3	2	2	2	2	3	2	3	4	3	3	2	4	5	2	2.9(0.9)
Sr	33	38	38	50	29	33	31	32	30	34	29	36	24	25	17	30	40	36	32.5(7.1)
Y	53	35	40	31	22	26	20	14	47	23	47	41	35	28	16	38	23	12	30.6(12.1)
Zr	59	41	33	45	37	45	36	30	58	31	38	54	49	38	33	58	43	25	41.8(10.4)
La	26	20	24	33	27	36	33	48	27	19	25	41	47	39	35	42	46	31.40	33.3(9.13)
Ce	53	41	48	64	53	69	64	71	59	43	50	79	91	78	75	82	89	61.93	65.05(15.28)
Nd	22	17	21	26	21	26	25	29	27	21	27	32	36	33	35	35	36	21.50	25.86(5.74)
Sm	4.2	3.9	4.5	4.7	3.6	4.6	4.1	3.9	5.9	4.5	5.9	5.5	5.9	6.3	4.4	5.9	5.4	3.95	4.84(0.87)
Eu	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.35	0.18(0.08)
Gd																		3.04	3.04
Dy	6.2	5.4	5.7	4.6	3.6	4.2	3.4	2.5	6.2	3.9	6.1	5.6	5.1	4.6	3.1	5.3	3.7	2.71	4.55(1.21)
Yb	5.2	3.5	3.4	2.9	1.9	2.3	1.6	0.8	4.1	1.8	3.2	3.6	2.9	2.2	1.1	3.3	1.9	1.56	2.63(1.14)

major elements; Yun and Kim(1990), *YS-31; Kim and Shim(1990), X; mean value, (); standard deviation(S)

圖에 도시하면(Deer et al., 1962) 이 광물은 흑운모 성분중 뚜렷이 애나이트(annite) 嶺域 가까이해 해당됨을 알수있다(Fig. 4).

花崗岩類의 微量元素 地化學

主元素 對 微量元素

본 花崗岩類의 SiO₂는 73.9-79.0 wt %의 좁은 범위 값을 가지는 酸性岩이며 K₂O, Na₂O와 CaO의 평균값은 각각 4.7, 3.7과 0.7이다(Table 4).

花崗岩類 成因의 化學的 分類중 Al/(Na+K+Ca/2)의 평균값은 모든 I-型이 1.10이하이며 이지역 백악기

화강암류는 1.04의 값을 가진다. I-型의 酸性岩은 Na₂O값이 비교적 높아 3.2% 이상이다. 그리고 가장 근본적 차이인 Na₂O/K₂O의 평균비는 I-와 S-型이 각각 0.80과 0.60이며 본 역암은 0.79로서 前者에 해당된다. 또한 본 암류의 Fe³⁺/(Fe²⁺+ Fe³⁺)의 평균값은 0.6으로서 마그네타이트계열보다 약간 큰값을 가진다. 마그네타이트와 일메나이트계열 花崗岩의 Fe³⁺/(Fe²⁺+ Fe³⁺) 평균값은 각각 0.5와 0.2이다. 그리고 본암류에는 전술된바와 같이 磁鐵石과 微量의 스피넬을 함유한다. 또한 全岩의 δ¹⁸O ‰ (SMOW) 값은 7.72로서 (Kim and Shin, 1990) I-型의 SMOW범위인 6-10범위에 해당된다. 따라서 이 지역 화강암류는 비교적 높은 酸素 分壓條件下에서 형성된 火成 基원의 I-型 및 마그네타이트계열 花崗

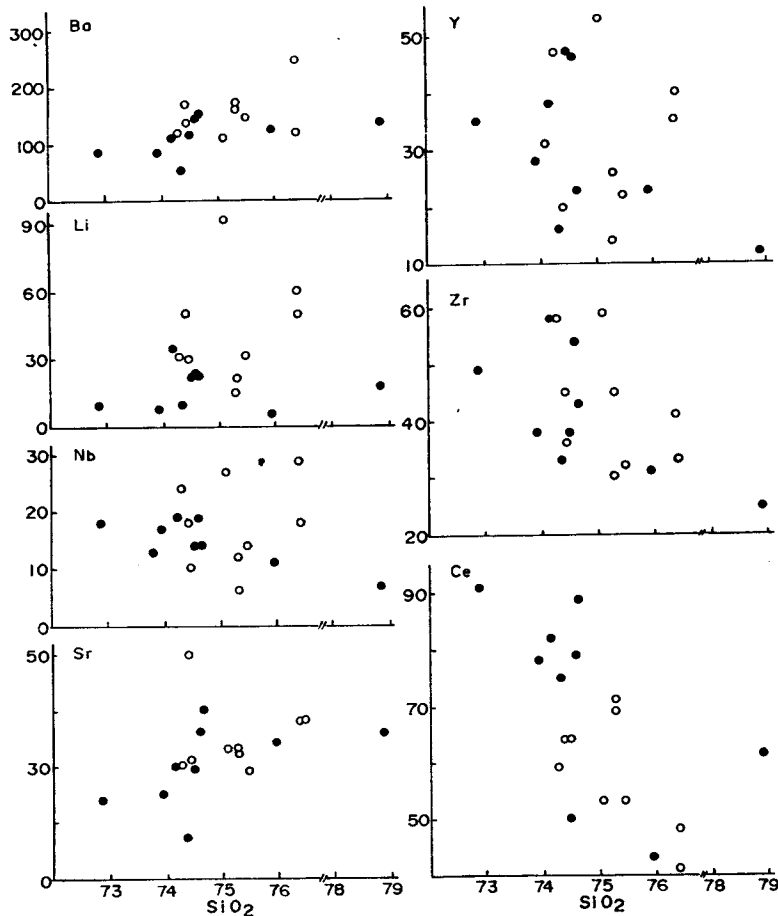


Fig. 5. Variation diagrams of trace elements in ppm with silica contents for the granites. Symbols as for Fig. 2.

암으로 생각된다(Chappel and White, 1974; Chappel, 1978; Hine et al., 1978; White and Chappel, 1983; Ishihara, 1977).

본암중 不透明 鑛物(EPMA 分析 結果)은 FeO(t) 89.6, TiO₂ 1.9, Al₂O₃ 0.9와 MnO 0.8%의 평균 화학 조성을 가져 이중 前者의 성분이 그 대부분을 차지하는 磁鐵石에 해당된다(成鶴濟等, 1990).

微量元素

본역 암중 親石元素(lithophile)인 Ba은 64-246ppm의 넓은 範圍의 값을 가지며 평균값은 133ppm으로서 花崗岩 평균값인 600ppm(Taylor, 1965) 보다 훨씬 적은 含量이다(Table 4). 이는 Ba이 초기에 형성된 K 광물의 정출로 인해 分化後期 產物인 본암체에서는 다소 枯渴되었기 때문에 해석된다(Nockolds and Allen, 1953). Ba은 SiO₂증가에 뚜렷이 비례하는 傾向을 보인다(Fig. 5). Li은 평균 30ppm을 가지며 이는 본암중 黑雲母에 富化되는(enriched) 것으로 해석된다(Mason and Moore, 1982). 이 원소는 대체로 SiO₂증가에 따라 비례하는 傾向을 가진다.

親鐵元素인 Co은 고른 含量을 가지며 평균값은 1.6ppm이다. Cr과 Ni은 일부 黑雲母花崗岩 地域에서 32와 51ppm의 다소 높은 값을 가지나 이들을 제외하면 평균값은 2.4와 5.1ppm이다. 親銅元素인 Cu와 Zn는 일부 淡紅色黑雲母花崗岩에서 43과 62ppm을 가지나 岩體 全體에 걸쳐 거의 균일한 含量을 가지며 평균값은 5.9와 32.5ppm이다. 이들 Co, Cr, Cu와 Zn의 낮은 함량은 본암의 分화말기 특성을 잘 나타낸다(Chamicheal et al., 1974; Taylor, 1965).

親石元素인 Nb은 SiO₂증가에 관계없이 불규칙하게 분포되며 평균값은 16.1ppm이다. Sc와 V은 각각 2-4와 2-5ppm의 거의 균일한 함량을 가진다. 이중 V의 평균값은 2.9ppm으로 Taylor(1965)의 20ppm보다 훨씬 減少되는 바 이는 이 元素가 본 암내에 빈번히 발달되는 空洞構造內的 磁鐵石과 함께 주로 이동(removed)되었기 때문에 해석된다(Mason and Moore, 1982).

Sr은 SiO₂증가에 따라 비례하는 傾向을 가지며 평균값은 33ppm이다. 또한 Ca/Sr比는 84-181으로서 花崗岩類 系列의 範圍인 50-120(Turekian and Kulp, 1965)보다 대체로 큰값을 가져 Ca 濃集에 비해 Sr이 빈약하다. 이는 Sr이 본 花崗岩質 마그마의 分化中 斜長

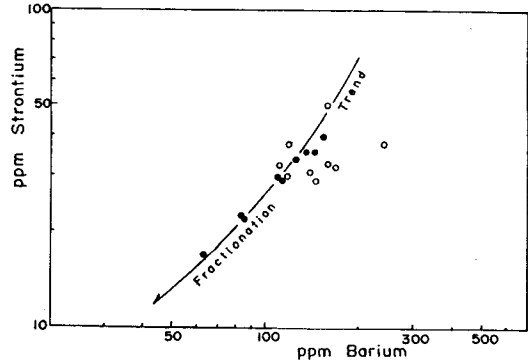


Fig. 6. Barium-strontium relationship of the granites. Symbols as for Fig.2.

石에 허용되어(admittance) 계속적으로 초기에 많이 제거되었기 때문에 생각된다(Mason and Moore, 1982). 慶尙盆地 전반에 걸친 백악기-세삼기 화강암류의 Ca/Sr比는 14-150으로서 본역암보다 훨씬 넓은 범위에 이른다(Jin, 1988).

또한 본 암류의 Sr/Ba比는 0.15-0.32의 범위값을 가지며, 分별결정작용중 감소 傾向을 보이고, 담홍색혹운모 화강암에서 더 뚜렷하게 분포되는바 이는 마그마 溶液(melt)에서 주로 斜長石 減少에 기인된다고 해석된다(Turekian and Kulp, 1965; Hanson, 1978; Fig. 6).

Y은 12-47(平均 30.6)ppm의 범위 값을 가져 慶尙盆地 전반에 걸친 백악기-세삼기 화강암류의 3-102(平均 30.2)ppm과 거의 같은 평균 함량을 가진다(Jin, 1988). Zr은 25-58(평균 41.8)ppm의 비교적 고른 含量을 가진다. 본암내에는 이 원소의 조암광물인 鋯石이 극미량으로 산출된다.(Yun and Kim, 1990). 이들 Y과 Zr은 SiO₂증가에 관계없이 불규칙한 분포 傾向을 가진다.

한편 Zr/Y 比는 0.8-2.2의 範圍와 1.5의 평균값을, Zr/Nb은 1.4-3.8의 範圍와 2.7의 평균값을 가지며 또한 뚜렷한 正의 상관관계를 가지는데 이는 이들 원소의 강한 結合力(coherence)때문으로 해석된다(Tarney and Saunders, 1979; Fig. 7). 이런 비례경향은 Zr/Ce의 관계도에서도 보여주며 평균비는 0.6이다. 한편 덜 移動的인 元素인 이들 Nb, Ce과 Zr의 相關關係로 부터 이 화강암류는 그 根源 成分(source composition)이 균질한 花崗岩質 마그마였음을 알수 있다(Strong and

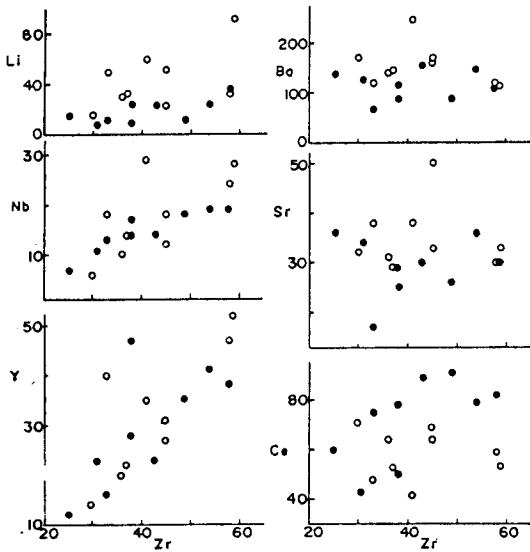


Fig. 7. Trace element relationships for the granites. Symbols as for Fig. 2.

Hanmer, 1981). 또한 이들의 진화계통은 La/Sm 對 Ce/Yb의 관계도에서 한개의 花崗岩質 마그마의 分化經路를 뚜렷이 보여준다(Hildreth and Moorbath, 1988; Kim et al., 1991; Fig. 8).

본암류중 稀土類元素는 Nakamura (1974)의 평균 콘드라이트 存在比로 표준화하였으며(normalized) 그 분포도에서 LREE(light rare-earth elements)는 부화되고(enriched) HREE(heavy rare-earth elements)는 枯渴된(depleted) 양상을 가진다(Table 4; Fig. 9). 또한 현저한 Eu의 負異常分佈로 부터 본암은 마그마 結晶分化産物이며 殘留 마그마중 알카리長石의 結晶作用때문이라고 해석된다(Cullers and Graf, 1984). Rayleigh 모델에 의한 국내 화강암질 용융체(granitic melts) 연구에서 백악기의 것은 주로 結晶分化作用의 산물이며 쥬라기의 것은 Eu負異常이 없으며 結晶分化로 보기 어렵다고 해석된바 있다(Tsusue et al., 1987).

이 地域 淡紅色 黑雲母花崗岩의 Eu와 Eu/*Eu比는 0.18ppm과 0.16로서 慶尙盆地內 白堊紀 八公山花崗岩의 0.68ppm 과 0.55(Hong, 1983)보다 훨씬 적은 값을 가진다. 국내 화강암의 Eu/*Eu比는 백악기의 것이 0.04-1.1이고 쥬라기의 것이 0.62-1.1 로 보고된바 있다(Tsusue et al., 1987). Sm과 Gd은 본암에서는 4.84

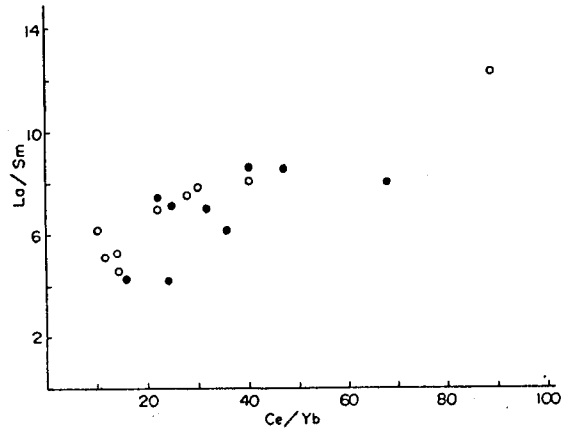


Fig. 8. Relationship of La/Sm vs. Ce/Yb for the granites. Symbols as for Fig. 2.

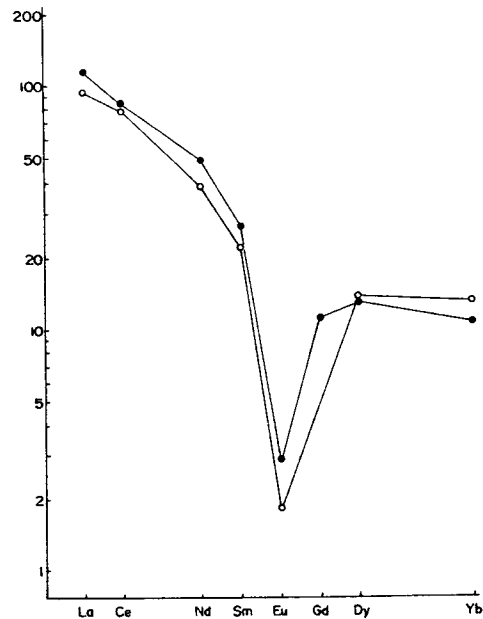


Fig. 9. Mean of the chondrite-normalised REE patterns for the granites. Normalizing values from Nakamura(1974). Symbols as for Fig. 2.

와 3.04ppm이고 慶尙盆地에서는 4.30과 3.06ppm으로서 비슷한 含量을 가진다. 그리고 斜長石과 K-長石中 Eu의 分配係數(distribution coefficient)는 2.15와 1.13으로서 前者가 거의 두배값을 가진다(Arth, 1976). 또한 斜長石과 알카리 長石의 平均 모드값은 본암이

20.7과 42.5%로서 八公山花崗岩의 31.7과 33.8%와 큰 차이를 보인다. 따라서 이런 Eu과 Eu/*Eu값의 큰차이는 이곳 화강암이 慶尙盆地 花崗岩보다 알카리 長石의 함량이 큰것에 기인되었다고 해석된다.

알카리 長石이 풍부한 花崗岩은 Eu/Sm比를 기준으로 네 그룹(small-moderate와 moderate-large negative, positive와 little or no)으로 分類되며 (Cullers and Graf, 1984) 본역 암은 0.04의 平均比를 가져 그중 두번째(moderate-large negative)의 Eu異常 그룹에 해당된다.

結 言

1) 이 지역의 淡紅色 白堊紀 花崗岩類는 SiO₂ wt%가 73.9-79.0%의 비교적 좁은 범위값을 가지며 K₂O, Na₂O와 CaO의 平均값은 각각 4.7, 3.7과 0.7%이다. A1/(Na+K+Ca/2)와 Na₂O/K₂O의 平均값은 각각 1.04와 0.79이다. Fe³⁺/(Fe²⁺+Fe³⁺)는 0.6의 平均값을 가지며, δ¹⁸O ‰ (SMOW)는 7.72의 값을 가진다. 그리고 磁鐵石과 스펀 등이 함유된다. 따라서 이 岩類는 비교적 높은 酸素 分壓條件下에서 형성된 I-型和 마그네타이트 系列의 花崗岩에 해당된다.

2) 이 花崗岩類中 長石類의 EPMA分析 結果 斜長石은 An 0.3-30.6, Ab 66.2-99.6과 Or 0.2-9.2로서 일부 안데신에 속하나 거의 대부분이 알바이트-올리고크레이스에 該當된다. 그리고 흑운모화강암의 微斜長石은 微斜長石-微斜長石 퍼다이트영역에, 담홍색흑운모화강암의 正長石은 正長石과 正長石 퍼다이트 領域에 속한다.

3) 본 岩類中 斜長石은 XSi 對 XCa 그리고 XSi 對 XNa+K의 成分 變化圖에서 뚜렷한 正의 相關關係를 가져 花崗岩質 마그마의 分化傾向을 보여주며, Ca성분은 흑운모화강암에서 알카리 성분은 담홍색흑운모화강암에서 다소 우세하다. 그리고 斜長石은 結晶의 周邊에서 中心으로 An이 뚜렷이 증가되는 正常累帶 構造를 이루어 비교적 低溫의 結晶質 溶液에서 결정이 形成되었음을 알 수 있다.

4) 본 岩類中 黑雲母는 A1(IV) 對 Fe/(Fe+Mg)와 A1(VI) 對 Fe/(Fe+Mg)의 關係圖에서 黑雲母 端成分中 애나이트(annite) 領域 가까이에 해당된다. 그리고 이 鑛物은 全 A1에 대한 A1(IV)의 比率이 93%을 차지하여, 全 A1에 대한 A1(VI)의 比率이 平均 7%정도로써 대략 10%의 鈣라기 화강암류와 거의 0%에 가까운 慶尙盆地 백악기 화강암류의 中間 정도값에 해당한다.

5) Ca/Sr비는 84-181로서 화강암질계열보다 대체로 큰 값을 가지며 또한 Sr/Ba의 比는 0.15-0.32의 범위 값을 가지며 分別 結晶作用中 감소분포를 보이고 그 경향은 담홍색흑운모화강암에서 더 분명하다. 그리고 이들 Sr과 Ba의 平均값은 각각 33과 133ppm으로 테일러 값 285와 600ppm에 비해 훨씬 減少되는 바 이는 이들 元素가 이 화강암질 마그마의 分化中 斜長石에 허용되어 初期에 많이 제거되었기 때문에 생각된다.

6) Co와 Cr은 거의 고른 含量을 가지며 일부 지역의 Cr을 제외하면 平均값은 1.6과 5.1ppm이다. 또한 Cu와 Zn도 岩體 全域에 걸쳐 거의 均일한 含量을 가지며 5.9과 32.5ppm의 平均값을 가진다. 이들 원소의 낮은 함량은 본역 암의 분화 말기 특성을 잘 나타낸다. V은 2-4(平均 2.9)ppm의 거의 均일한 含量을 가지며 테일러의 20ppm보다 훨씬 減少되는바 이는 본암내에 빈번히 발달된 空洞內의 磁鐵石과 함께 주로 이동되었기 때문에 해석된다.

7) Zr 對 Y과 Zr 對 Nb의 比는 각각 0.8-2.2와 1.4-3.8의 범위와 1.5와 2.7의 平均값을 가지며, 또한 뚜렷한 正의 相關關係를 나타내는데 이는 分別結晶作用中 이들 元素의 강한 결합성 때문에 보인다. 그리고 Nb, Ce과 Zr 그리고 La/Sm 對 Ce/Yb의 關係로부터 본 岩類는 그 根源成分이 均질한 한개의 花崗岩質 마그마에서 분화되었음을 알 수 있다.

8) 平均 콘드라이트 存在比로 표준화된 稀土類 元素 分布圖에서 본 암류는 LREE는 富化되고 HREE는 枯渴된 양상을 보이며 또한 현저한 負의 Eu異常分布로 부터 본암류는 마그마 分別 結晶作用 產物이며 殘留 마그마中 알카리 長石의 풍부한 結晶作用에 의해 形成되었다고 생각된다.

9) Eu과 Eu/*Eu比는 본역암이 0.18ppm과 0.16이고 慶尙盆地內 白堊紀 八公山花崗岩이 0.68ppm과 0.55로서 큰 차이를 보이나 Sm과 Gd은 본역과 경상분지의 것이 각각 4.84와 3.04ppm 그리고 4.30과 3.06ppm으로서 비슷한 含量을 가진다. 이런 차이는 본암이 慶尙盆地의 것보다 잔류 마그마중 斜長石보다 알카리 長石의 풍부한 結晶作用에 기인되었다고 해석된다.

REFERENCES

- Arth, J.G. (1976) Behaviour of trace elements during magmatic process—a summary of theoretical models and their applications. Jour. Research U.S.G.S., v.4, n.

- 1, p.41-47.
- Chappel, B.W. and White, A.J.R. (1974) Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, v.8, p.173-174.
- Chamical, I.S.E., Turner, F.J. and Verhoogen, J. (1974) *Igneous petrology*. McGraw-Hill Book Co., 739p.
- Chappel, B.W. (1978) Granitoids from the Moonbi district, New England batholith, eastern Australia. *J. Geol. Soc. Aust.*, v.25, p.267-283.
- Cullers, R.L. and Graf, J.L. (1984) Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust. In: Henderson, P. (ed.) *Rare earth element geochemistry*. Elsevier, p.275-308.
- Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J. (1962) *Rockforming minerals*(v.3). Longmans, 269p.
- Handerson, G.N. (1978) The application of trace elements to the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition. In: Allegre, C.J. and Hart, S.R. (ed.) *Trace elements in igneous petrology*. Elsevier, p.26-43.
- Hildreth, W. and Moorbath, S. (1988) Crustal contributions to arc magmatism in the Andes of central Chile. *Contrib. Min. Petrol.*, v.98, p.455-489.
- Hine, R., Williams, I.S., Chappel, B.W. and White, A.J.R. (1978) Contrasts between I- and S-type granitoids of the Kosciusko batholith. *J. Geol. Soc. Aust.*, v.25, p.219-234.
- Hong, S.S. (1985) A petrographic study on the contact metamorphism of the Ogcheon Formation with Sogrisan granites in the southeastern Goesan area. *Msc. Thesis, Yonsei Univ. (unpub.)*, 76p.
- Hong, Y.K. (1983) Petrology and geochemistry of the Cretaceous Palgongsan granite, Southern Korea. *Jour. Korean Inst. Mining Geol.*, v.16, n.2, p.83-109.
- Hughes, C.J. (1982) *Igneous petrology*. Elsevier, 551p.
- Ishihara, S. (1977) The magnetite series and ilmenite series. *Mining Geol.*, v.27, p.293-305.
- Jin, M.S. (1988) Geochemistry of the Cretaceous to Early Tertiary granitic rocks in Southern Korea (pt.2): Trace elements geochemistry. *Jour. Geol. Soc. Korea*, v.24, spec. issue, p.168-188.
- Kim, K.H. and Shin, Y.S. (1990) Petrochemistry of the granitic rocks in the Chungju, Wolaksan and Jecheon granite batholiths. *Jour. Korean Inst. Mining Geol.*, v.23, n.2, p.245-259.
- Kim, S.W., Lee, J.Y., Kim, Y.K. and Koh, I.S. (1991) Petrology of the Cretaceous volcanic rocks in southern Yucheon minor basin. *Jour. Geol. Soc. Korea*, v.27, p.24-39.
- Lee, D.S. (1977) Study on the igneous activity in the middle Ogcheon geosynclinal zone. *J. Korean Inst. Mining Geol.*, v.5, p.21-38.
- Mason, B. and Moore, C.B. (1982) *Principles of geochemistry*(4th ed.). John Wiley & Sons, p.329.
- Nockolds, S.R. and Allen, R. (1953) The geochemistry of some igneous rock series. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, v.3, p.105-142.
- Nakamura, N. (1974) Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na, and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, v.44, p.287-308.
- Phillips, W.R. and Griffen, D.T. (1981) *Optical mineralogy, the nonopaque minerals*. W.H. Freeman and Comp., 677p.
- REE patterns. *J. Japan. Assoc. Min. Petro. Econ. Geol.*, v.82, p.23-35.
- Turekian, K.K. and Wedepohl, K.H. (1961) Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v.72, p.175-192.
- Yun, H.S. and Kim, S.E. (1990) Petrology and petrochemistry of the Cretaceous granites in the southern Mungyeong area. *Jour. Korean Inst. Mining Geol.*, v.23, p.343-352.
- White, A.J.R. and Chappel, B.W. (1983) Granitoid types and their distribution in the Lanchlan fold belt, southeastern Australia. *Mem. Geol. Soc. Amer.*, v.159, p.21-33.
- Strong, D.F. and Hanmer, S.K. (1981) The leucogranites of Southern Brittany: origin by faulting, frictional heating, fluid flux and fractional melting. *Can. Min.*, v.19, p.163-176.
- Tarney, J. and Saunders, A.D. (1979) Trace element constraints on the origin of Cordilleran batholiths. In: Atherton, M.P. and Tarney, J. (ed.) *Origin of granite batholith, geochemical evidence*. Shiva Publishing Ltd., p.90-105.
- Taylor, S.R. (1965) The application of trace element data to problems in petrology. *Phy. Chem. Earth*, v.6, p.133-213.
- Tsuzue, A., Mizuta, T., Watanabe, M. and Min, K.W. (1981) Jurassic and Cretaceous granitic rocks in South Korea. *Min. Geol.*, v.31(4), p.261-280.
- Tsuzue, A., Mizuta, T., Tamai, T. and Kim, S.W. (1987) Mesozoic granitic rocks of South Korea: Trace element evidence regarding their differentiation: 2.