

## 경상분지 고성지역의 화성암류에 대한 암석학적 연구 I. 주성분원소 지구화학과 K-Ar 방사성 연대

좌용주\* · 박정미\*

### Petrology of the Igneous Rocks in the Goseong Area, Gyeongsang Basin I. Major Element Geochemistry and K-Ar Radiometric Age

Yong-Joo Jwa\* and Jeong-mi Park\*

**ABSTRACT** : The igneous rocks in the Goseong area, the southwestern part of the Gyeongsang basin, are composed of the volcanic rocks, Bulgusa granites and intrusive andesites. The volcanic rocks are andesitic lapilli tuff, dacite and rhyolite. The granites are mainly of hornblende-biotite granite and intruded into the sedimentary basement and the volcanic rocks. The intrusion of andesitic dyke is thought to be the latest igneous activity in the area. In the variation diagrams of the major oxides, the three igneous rock types show different variational trends, indicating that they were from the different magmatic pulses. K-Ar radiometric ages suggest that the igneous activity in the Goseong area had occurred during late Cretaceous period. The ages of the volcanic rocks seem likely to have become younger due to the thermal effect by the granitic intrusion. The major element compositional variation of the granites from the Goseong area are compared with those from the Jindong, Geoje and Masan areas. By the comparison, it is easily understood that the Jindong granites are fairly different from the other three granites. On the other hand, the Goseong, Geoje and Masan granites generally show similar variational trends with each other, suggesting that they are of similar genetic origin. Combining the similarity of the geochemical features and the difference of the intruding ages between the Goseong and Masan granites, it seems like that the magma generation from the same source materials had occurred at a temporal interval.

### 서 론

경상분지의 백악기 화성활동에 대해 기발표된 연구는 상당히 많다. 그 연구의 내용 또한 매우 다양하기도 하지만 화성활동의 특성에 대해 전체적으로 정리된 사례도 적지 않다 (Jin, 1985; 김상욱, 1986; 이상만 등, 1987). 다만 아쉬운 것은 지금까지의 연구의 빈도가 경상분지의 북부와 남동부에 많이 치우쳐 있어 서남부의 화성활동의 특성을 구체적으로 논의한 사례가 적다는 것이다. 이 연구는 경상분지 서남부에 해당하는 고성지역의 백악기 화성활동에 대한 연구를 통해 이 지역 화성활동의 특성을 고찰하는 한편, 경상분지 전체의 백악기 화성활동을 논의하는데 서남부 지역에 대한 자료를 제공하고자 한다.

이 연구의 대상은 충무도폭 (장태우 등, 1983) 내의 고성군 도산면, 광도면, 거류면 일대에 분포하고 있는 백악기 화성암류이다. 이 지역의 화성암류에 대한 암석학적 및 지구화학적 연구는 거의 없으나, 인근 지역 (진동, 거제도, 마산 등지)에 대한 연구는 최근들어 적지 않게 찾아볼 수 있다 (이준동, 1991; Lee, 1991; 이춘희, 1994). 여기서는 고성지역에 분포하는 화성암류의 암석학적 특징 및 구성 광물을 살피고, 전암의 주성분원소를 이용하여 화성암류의 마그마 과정을 고찰하며 또한 화성활동의 시기에 대해서도 살펴보고자 한다. 그리고 연구 지역의 화강암류와 인근 지역의 화강암류와 비교하여 경상분지 서남부 지역의 심성활동에 대한 특징을 고찰해 보고자 한다.

### 지질개요

\* 경상대학교 지질학과 (Department of Geology, Gyeongsang National University, Chinju 660-701, Korea)

연구지역의 지질은 하부로부터 하양층군의 진동층, 유

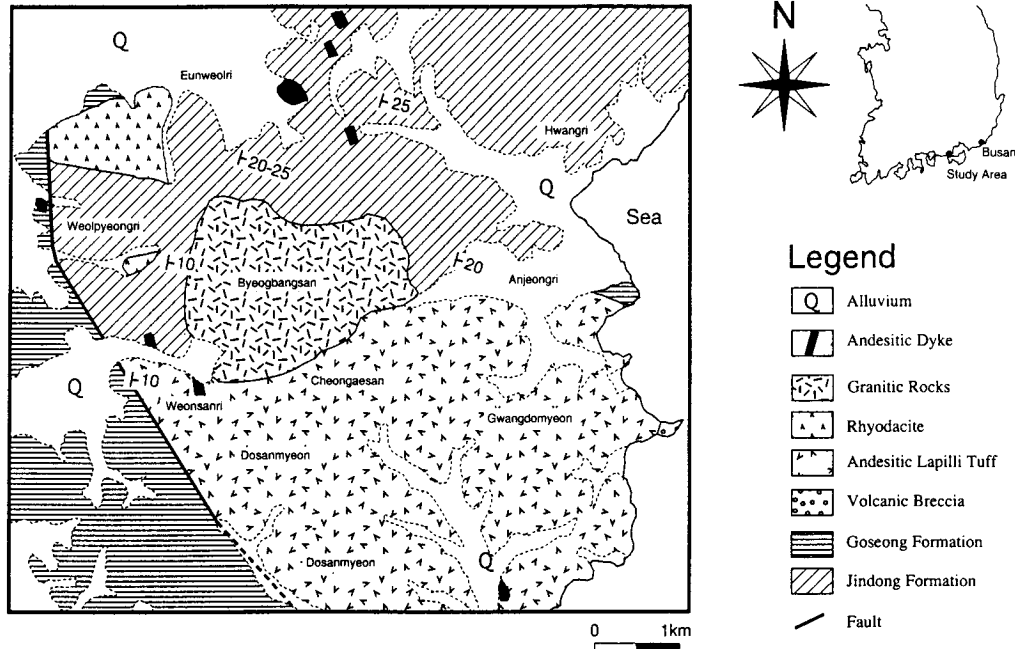


Fig. 1. Geologic map of the Goseong area.

친층군의 고성층과 응회암층 및 불국사 관입암군으로 이루어져 있다 (Fig. 1). 진동층은 주로 암회색의 세일과 사암으로 이루어진다. 일반적으로 하양층군과 유천층군의 경계는 경사부정합인 경우가 많으나, 이 지역에서 진동층과 고성층 사이의 경계는 확인할 수 없다. 유천층군은 고성층, 안산암질 래필리 응회암, 안산암질 화산각력암, 안산암류, 석영안산암질 암석 및 유문암 등으로 구성된다. 연구지역의 중심부에는 화강암질 암석이 관입하고 있으며, 관입암체의 주변부와 중심부에서 광물 조성과 조직의 차이가 점이적으로 나타난다.

진동층은 연구지역의 북동부에 넓게 분포하는데, 층의 주향은 주로 N10~40°E이며, 경사는 20°SE 정도이다. 이 층은 주로 흑색, 암회색 및 녹회색의 세일로 구성되나, 이 암이 협체되어 산출되기도 한다. 이 층의 암석들은 나중에 화강암의 관입을 받아 그 접촉부에서 혼펠스화되어 있다. 고성층은 연구지역의 서부 일대와 동부의 제한된 지역에 나타난다. 서부 일대에 나타나는 고성층은 역암, 사암, 세일, 이암 등으로 구성된다. 반면 동부 지역의 암상은 주로 사암과 세일의 호층을 이루나 전반적으로 암회색의 세일이 더 우세하게 나타난다. 안산암질의 래필리 응회암에 의해 피복된 고성층은 주로 동서방향의 주향과 20~30°S의 경사를 나타낸다. 고성층과 하부의 진동층의 경계는 확인되지 않는 반면, 고성층과 상부의 래필리 응회암과의 경계는 연

구지역 동쪽 해안에서 경사부정합의 관계로 잘 나타난다.

연구지역에서 가장 넓은 분포 면적을 가지는 안산암질 래필리 응회암은 고성층을 피복하고 있다. 용결 응회암이 래필리 응회암을 피복하고 있다고 기존의 도폭에서는 밝히고 있으나 (장태우 등, 1983), 실제 연구지역에서는 용결 응회암의 층에서 용결된 조직이 관찰되지 않는다. 이 안산암질 래필리 응회암은 이 지역 화산암류들 중에서 최초의 분출물로 생각되며, 안산암과 화강암에 의해 관입당하고 있다. 암회색 내지 녹회색의 안산암질인 이 암석은 대부분이 화성쇄설물이며, 입자의 크기로 볼 때 래필리 응회암으로 구분된다. 이 래필리 응회암은 안산암의 기질에 반상 안산암, 비현정질 안산암, 응회암 등의 래필리들이 다량 함유되어 있고, 사장석 등의 광물편들이 특징적으로 나타난다. 간혹 녹색 사암과 길게 늘어진 저색 세일의 암편들도 관찰된다. 전체적으로 분급의 정도가 불량하나 층의 하부에서 상부로 갈 수록 그 평균적인 크기가 감소하는 양상을 나타낸다. 안산암질 래필리 응회암이 관입 안산암류나 화강섬록암의 관입을 받고 있는 지역에서는 열변성에 의한 혼펠스화가 두드러지게 나타난다.

연구지역 동쪽의 매우 제한된 지역에서 화산 각력암이 나타난다. 각력들은 주로 안산암질의 응회암과 래필리 응회암 등으로 구성되고, 그 크기는 수 cm에서 수십 cm, 크기는 1 m 이상이 되는 것도 있다. 각력들의 분급은 매우

불량하고, 방향성 역시 전혀 찾아 볼 수 없다. 일반적으로 볼 때, 화산 각력암은 역과 기질이 같은 성분을 가지는 단일암질 (mono-lithologic)의 경우가 많다.

연구지역의 안산암류는 그 산상이 다양하다. 일부는 래필리 응회암이 분출되는 동안 용암류로서 분출하여 고성층의 최상부 및 래필리 응회암 중에 협재되어 있다. 그러나 대개의 경우 안산암류는 맥상 및 암주상으로 래필리 응회암을 관입하고 있다. 맥상으로 관입하고 있는 안산암

류는 주로 치밀한 조직을 가지는 괴상을 나타내지만, 암주상으로 관입한 안산암류는 주로 반상조직의 특징을 지니며 주상절리가 발달해 있다. 이 관입의 장소에는 크고 작은 단층이 잘 발달하고 있어 래필리 응회암의 분출과정에서 형성된 구조적 약대를 따라 안산암질의 마그마가 관입한 것으로 생각된다. 이 관입 안산암류 (andesitic dyke)는 주로 암록색을 띠고, 사장석의 반정이 육안으로 보이는 경우와 보이지 않는 경우의 두 가지가 있다. 이 안

**Table 1.** Modal compositions of the granitic rocks in the Goseong area (in vol.%)

	hornblende-biotite granite														two pyroxene gr.	
	CG2-1	CG2	CG5	CG6	PG2	PG2-1	PG3	PG3-1	PG4	PG5	PG6	PG6-1	PG8	PJ9	K12	PG7-1
quartz	26.1	20.9	20.3	21.3	25.4	15.3	25.6	23.4	23.4	22.8	22.6	28.3	19.6	16.7	12.6	13.8
K-feldspar	29.0	27.4	28.0	31.1	34.1	21.7	27.4	37.1	34.0	30.0	23.3	27.0	17.4	21.7	18.0	15.9
plagioclase	34.2	40.5	41.9	37.2	33.5	38.3	38.3	29.0	31.1	32.6	41.1	34.4	44.0	45.6	48.2	53.8
orthopyroxene															2.3	2.7
clinopyroxene		0.4		0.2	0.8				0.4	0.3			1.4	1.8	5.2	7.7
hornblende	2.7	4.7	4.1	4.2	2.0	0.1	0.1	1.1	1.7	6.4	4.2	3.7	2.9	6.5		
biotite		0.1			1.1				0.3				5.3	1.8	10.6	1.8
chlorite	5.4	4.4	4.4	3.7	11.5	6.2	6.2	6.2	7.6	5.9	7.4	6.0	6.7	4.6	0.2	
epidote					0.3											
sericite	1.8				6.8	1.5	1.5		0.3			0.1		0.1		0.3
opaques	0.8	1.6	1.4	2.3	2.1	0.9	0.9	0.9	1.1	2.0	1.3	0.5	1.8	1.1	2.8	4.0

**Table 2.** Map locations of the samples used in this study

Sample No.	Rock type	Sheet Name (1:50,000)	National Grid	Location
CG2	granitic rock	Chungmu	143.7/160.7	Tongyeong-gun/Dosan-myeon/Weonsan-ri
CG2-1	granitic rock	Chungmu	143.7/160.7	Tongyeong-gun/Gwangdo-myeon/Anjeong-ri
CG4	granitic rock	Chungmu	143.7/160.2	Tongyeong-gun/Dosan-myeon/Weonsan-ri
CG5	granitic rock	Chungmu	143.7/160.2	Tongyeong-gun/Dosan-myeon/Weonsan-ri
CG6	granitic rock	Chungmu	143.7/160.2	Tongyeong-gun/Dosan-myeon/Weonsan-ri
PG2	granitic rock	Chungmu	144.3/160.8	Tongyeong-gun/Gwangdo-myeon/Anjeong-ri
PG2-1	granitic rock	Chungmu	143.7/160.8	Tongyeong-gun/Gwangdo-myeon/Anjeong-ri
PG3	granitic rock	Chungmu	144.2/161.2	Tongyeong-gun/Gwangdo-myeon/Anjeong-ri
PG3-1	granitic rock	Chungmu	144.2/161.2	Tongyeong-gun/Gwangdo-myeon/Anjeong-ri
PG4	granitic rock	Chungmu	143.9/161.1	Tongyeong-gun/Gwangdo-myeon/Anjeong-ri
PG5-1	granitic rock	Chungmu	144.0/161.3	Tongyeong-gun/Gwangdo-myeon/Anjeong-ri
PG6	granitic rock	Chungmu	144.3/161.2	Tongyeong-gun/Gwangdo-myeon/Anjeong-ri
PG6-1	granitic rock	Chungmu	144.1/161.3	Tongyeong-gun/Gwangdo-myeon/Anjeong-ri
PJ9	granitic rock	Chungmu	144.3/160.7	Tongyeong-gun/Gwangdo-myeon/Anjeong-ri
PG7-1	granitic rock	Chungmu	144.3/161.2	Tongyeong-gun/Gwangdo-myeon/Anjeong-ri
PJ106	intrusive andesite	Chungmu	142.5/159.9	Tongyeong-gun/Dosan-myeon/Weonsan-ri
PJ106-1	intrusive andesite	Chungmu	142.5/159.9	Tongyeong-gun/Dosan-myeon/Weonsan-ri
PJ108	intrusive andesite	Chungmu	146.2/157.2	Tongyeong-gun/Gwangdo-myeon/Anjeong-ri
PJ109	intrusive andesite	Chungmu	146.2/157.2	Tongyeong-gun/Gwangdo-myeon/Anjeong-ri
PJ101	rhyo-dacite	Chungmu	142.2/162.8	Goseong-gun/Georyu-myeon/Eunweol-ri
PJ101-1	rhyo-dacite	Chungmu	142.2/162.8	Goseong-gun/Georyu-myeon/Eunweol-ri
CG9	lapilli tuff	Chungmu	143.0/160.0	Tongyeong-gun/Dosan-myeon/Weonsan-ri
PG10	lapilli tuff	Chungmu	142.5/159.9	Tongyeong-gun/Dosan-myeon/Weonsan-ri
PJ105	lapilli tuff	Chungmu	142.5/159.9	Tongyeong-gun/Dosan-myeon/Weonsan-ri

산암류의 반정은 주로 사장석, 단사휘석으로 구성되는데, 이 두 종류의 반정 사이에는 ophitic 혹은 subophitic 조직이 특징적으로 나타난다.

연구지역의 북서부에는 유문암질 석영안산암이 분포하고 있다. 노두에서는 매우 뚜렷한 주상절리를 보이며, 반상조직이 현저한 암석이다. 반정은 주로 자형의 사장석과 용식된 석영으로 되어 있고, 석기는 세립의 사장석과 석영 그리고 일부 미정질 광물들로 이루어진다. 이 유문암질 석영안산암과 다른 화성암과는 직접적인 접촉이 없기 때문에 야외에서 그 전후관계를 관찰할 수는 없다. 그러나 조직에서 분출암으로서의 특징 (반상조직, 사장석의 정향배열, 주상절리 등)이 나타나기 때문에 화성활동의 시기에 있어서 화강암류와 관입안산암류 보다는 래필리 응회암과 관계가 있을 것으로 생각된다. 한편, 연구지역의 남동쪽에는 유문암의 용암류가 소규모로 분포하고 있다. 이 유문암은 회백색을 띠며, 유상구조를 잘 나타내나 그 방향은 일정하지 않다. 연구지역의 화산분출물로부터 분출순서를 생각하면, 먼저 안산암질의 래필리 응회암과 일부 안산암의 용암류의 분출이 있었고, 그 다음에 유문암질 석영안산암의 분출, 그리고 마지막으로 유문암의 분출

이 있었을 것으로 생각된다.

화강암은 연구지역의 중심부에 위치한다. 충무도폭 (장태우 등, 1983)에서는 이 지역의 화강암질암이 주변 지역

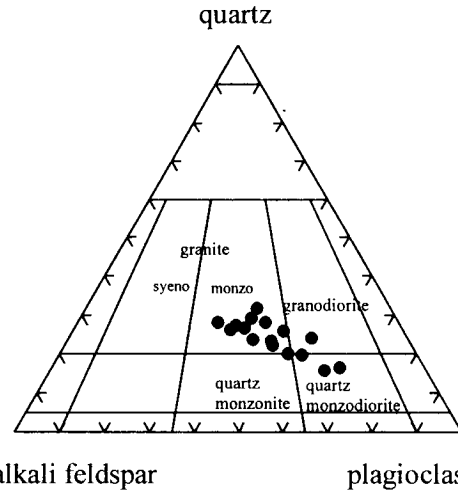


Fig. 3. Triangular diagram of modal quartz-plagioclase-alkali feldspar of the granitic rocks in the Goseong area.

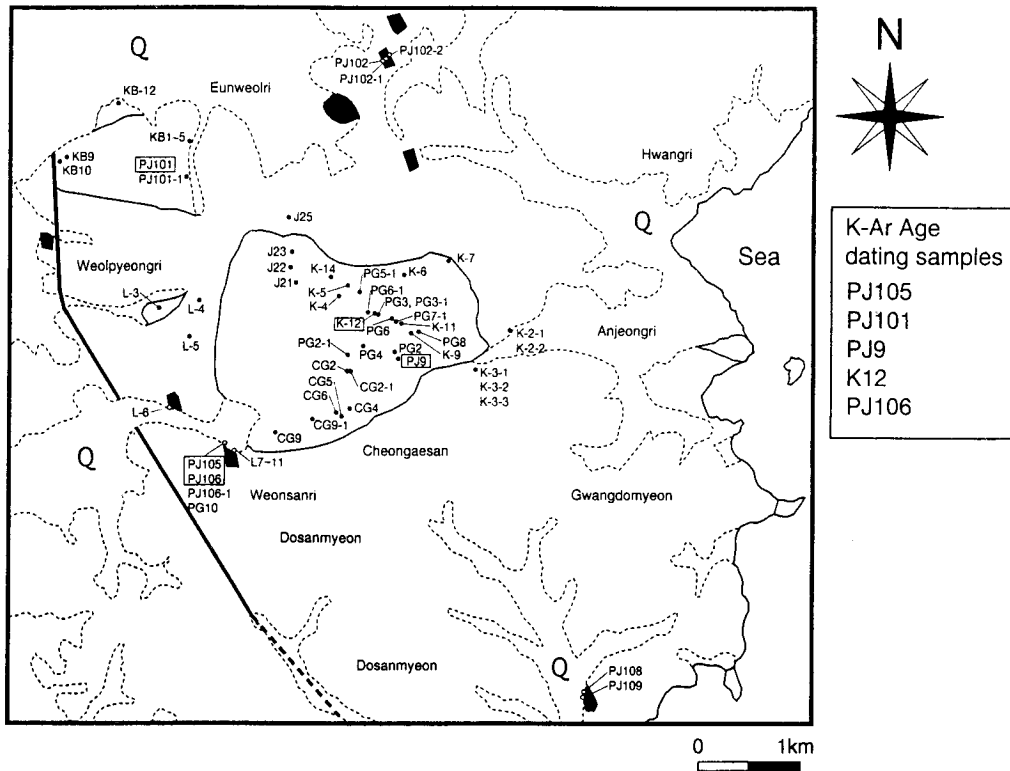


Fig. 2. Map of sample localities.

**Table 3.** Representative chemical compositions (in wt.%) of plagioclase, biotite, clinopyroxene and orthopyroxene of the igneous rocks in the Goseong area

	hornblende-biotite granite (PG2-1)												two pyroxene granite (PG-7)						intrusive andesite			
	plagioclase				biotite				clinopyroxene				plagioclase		biotite		clinopyroxene		plagioclase		clinopyroxene	
	rim	mid	core	total	rim	mid	core	total	rim	mid	core	total	core	rim	mid	core	rim	mid	core	rim	rim	rim
SiO <sub>2</sub>	29.82	59.75	58.86	38.32	38.24	37.03	52.63	51.72	52.65	57.75	57.40	38.31	37.93	52.37	51.82	5.90	54.04	52.67				
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.02	4.28	4.94	4.68	0.09	0.01	0.09	0.01	24.81	24.73	4.64	3.61	0.37	0.02	0.29	0.08	0.25				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.04	24.34	25.28	12.31	12.46	12.47	0.31	0.51	0.24	0.37	0.49	12.29	11.62	9.39	24.73	24.77	26.21	2.64				
FeO*	0.08	0.21	0.23	13.50	13.11	14.38	11.00	11.76	9.88	0.11	0.10	17.23	17.14	0.35	0.87	0.87	0.76	12.23				
MnO	0.13			0.12	0.12	0.13	0.42	0.35	0.29	0.03	0.02	0.37	0.35	0.32	0.04	0.08	0.36	0.31				
MgO	0.02	0.02	0.02	16.82	15.14	15.06	12.47	12.96	13.12	7.52	7.44	94.60	93.69	98.82	99.84	100.09	97.50	97.08				
CaO	6.08	5.80	7.35	0.36	0.36	0.28	0.30	0.27	0.12	7.36	7.53	8.98	9.25	22.32	1.07	1.19	9.51	13.01				
Na <sub>2</sub> O	8.20	7.87	7.51	9.20	9.23	9.38	99.77	99.02	98.67	0.36	0.42	94.60	93.69	98.82	99.84	100.09	97.50	97.08				
K <sub>2</sub> O	0.48	0.44	0.47	94.90	93.60	93.42	0.30	0.27	0.12	98.33	98.14	94.60	93.69	98.82	99.84	100.09	97.50	97.08				
Total	98.86	98.42	99.71	94.90	93.60	93.42	99.77	99.02	98.67	98.33	98.14	94.60	93.69	98.82	99.84	100.09	97.50	97.08				
		O=8		O=24				O=6		O=8		O=24		O=6		O=6	O=8	O=6				
Si	2.702	2.703	3.644	5.974	6.026	5.915	1.992	1.976	2.001	2.636	2.630	5.944	5.940	1.986	1.967	1.964	2.529	1.994				
Ti		0.001		0.502	0.586	0.562	0.003	0.003		1.335	1.335	0.541	0.543	0.001	0.001	0.008	0.003	0.007				
Al	1.280	1.297	1.338	2.260	2.312	2.346	0.014	0.023	0.011	0.014	0.019	2.335	2.346	0.016	0.011	0.031	1.446	0.118				
Fe	0.003	0.008	0.009	1.760	1.728	1.921	0.348	0.376	0.314	0.014	0.004	1.595	1.522	0.208	0.785	0.784	0.030	0.387				
Mn	0.005			0.016	0.016	0.018	0.014	0.011	0.009	0.004	0.004	0.009	0.009	0.011	0.028	0.027	0.005	0.005				
Mg	0.001		0.001	3.909	3.580	3.586	0.704	0.738	0.743	0.002	0.002	3.985	4.002	0.775	1.191	1.147	0.003	0.888				
Ca	0.294	0.281	0.354	0.109	0.100	0.087	0.919	0.874	0.910	0.368	0.365	0.111	0.106	0.907	0.044	0.048	0.477	0.528				
Na	0.718	0.691	0.654	1.830	1.855	1.911	0.022	0.020	0.009	0.652	0.669	1.777	1.848	0.024	0.003	0.006	0.305	0.022				
K	0.028	0.025	0.027	16.360	16.213	16.346	4.012	4.020	3.998	0.021	0.025	16.288	16.316	4.017	4.028	4.015	0.209	0.004				
Total	5.031	5.006	5.027	16.360	16.213	16.346	4.012	4.020	3.998	5.032	5.049	16.288	16.316	4.017	4.028	4.015	5.002	3.953				

의 화강암질암들과 지하에서 서로 연결되어 하나의 큰 저반을 이룰 것으로 생각했으나 그에 대한 근거는 매우 희박하다. 이 화강암에는 동원의 화강암질 포획암이 종종 나타나지만, 응회암류 및 안산암류 등의 이질 포획암은 관찰되지 않는다. 화강암은 주로 사장석, 정장석, 석영, 각섬석, 흑운모 등으로 구성되며, 부수광물로는 저어콘, 인회석, 형석, 자철석 등이 있으며, 2차광물로는 녹염석 및 견운모 등이 관찰된다. 사장석은 자형 또는 반자형으로서 누대구조를 가지며, 알바이트 쌍정이 특징적으로 나타난다. 정장석은 반자형에서 타형으로 다양하고 석영과 공생하는 경우가 많다. 이 암체 내에는 수직절리를 비롯하여 다양한 파쇄대가 존재하는데, 곳곳에서 산성암맥, 석영맥 등이 잘 발달하고 있으며, 특히 석영맥이 관입하고 있는 곳에서는 열수변질의 양상도 관찰된다. 화강암의 주 조암광물의 조성은 Table 1과 같다. 이 화강암은 기저의 진동층과 안산암질 래필리 응회암층을 관입하여 열변성을 일으켜 퇴적암들을 혼펠스화시켰다. 연구에 사용한 시료의 채취 지점을 Table 2와 Fig. 2에 나타내었다.

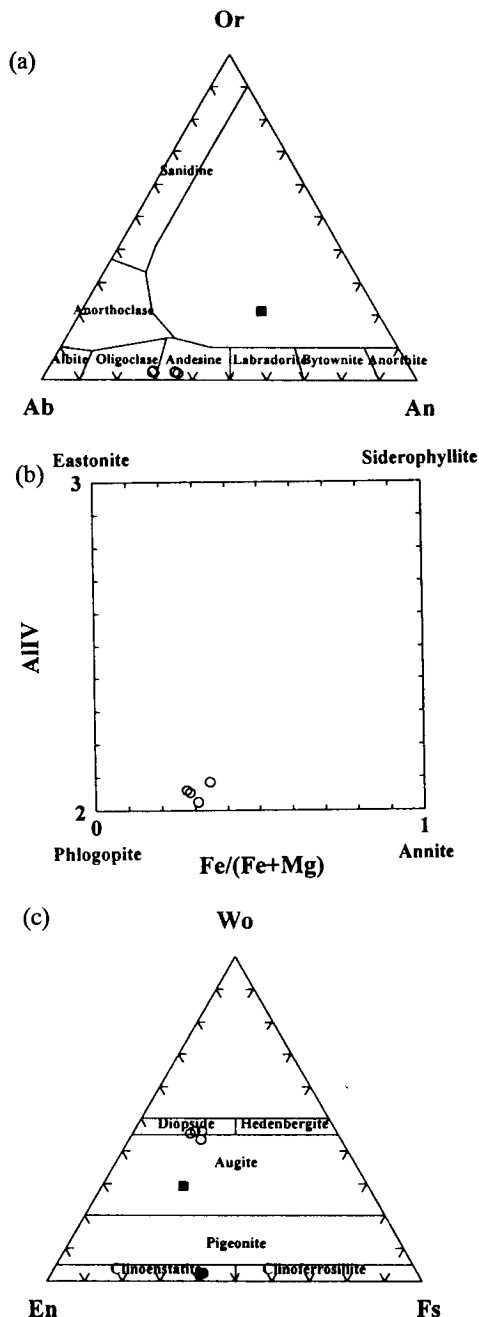
### 화강암류의 특징

화강암류는 연구지역의 중심부 (벽방산과 천개산 일대)에 분포하고 있다. 화강암류는 그 대부분이 각섬석-흑운모 화강암이나 암체의 중앙부에서는 보다 매끈한 복회석 화강섬록암의 암상이 나타난다. 그러나 그 변화가 매우 점이적이고 분포 또한 불규칙하여 지질경계로 구분할 정도는 아니다.

각섬석-흑운모 화강암은 중립질 내지 세립질이며, 구성광물은 사장석, K-장석, 석영, 흑운모, 각섬석, 단사회석, 불투명광물 등으로 되어 있다 (Table 1). 유색광물로 나타나는 흑운모, 각섬석, 단사회석은 자형 내지 반자형을 나타낸다. 자형 내지 반자형의 사장석은 알바이트 쌍정과 칼스바드 쌍정을 잘 보여준다. K-장석은 주로 퍼사이트이다. 흑운모는 대체적으로 녹니석화되어 있다. 각섬석은 주로 자형 내지 반자형으로 단순쌍정을 잘 나타낸다.

중립질이며 우백질인 복회석 화강섬록암은 암체의 중앙부인 벽방산 정상부에 주로 분포한다. 각섬석-흑운모 화강암과 주구성광물은 유사하나 유색광물로서 단사회석, 사방회석 및 흑운모를 가지나 각섬석을 포함하지 않는 점이 다르다. 또 단사회석과 불투명광물의 함량이 높게 나타나는 점도 다르다. 사방회석은 대개가 자형으로 나타나지만, 단사회석은 자형 내지 반자형으로 나타난다.

연구지역 화강암류에 대한 모드조성을 QAP 도표에 나타내면 주로 문조화강암에서 석영문조섬록암에 이르는



**Fig. 4.** Mineral classification diagrams. (a) compositional triangular diagram of Or-Ab-An of plagioclase, (b) compositional binary diagram of Fe/(Fe+Mg)-Al<sup>IV</sup> of biotite, (c) compositional triangular diagram of CaSiO<sub>3</sub>(Wo)-MgSiO<sub>3</sub>(En)-FeSiO<sub>3</sub>(Fs) of pyroxene. Symbols: open circle, plagioclase, biotite and clinopyroxene from the homblende-biotite granite and two pyroxene granodiorite; solid circle, orthopyroxene from the two pyroxene granodiorite; solid square, plagioclase and clinopyroxene from the andesitic dyke.

**Table 4.** Major element compositions (in wt.%) and CIPW norms of the igneous rocks in the Goseong area

	granitic rocks													
	CG2	CG2-1	CG4	CG5	CG6	PG2	PG2-1	PG3	PG3-1	PG4	PG5-1	PG6	PG6-1	PG7-1
SiO <sub>2</sub>	66.91	66.58	65.97	64.20	65.61	68.91	61.83	68.74	60.49	68.85	69.01	68.20	65.90	65.47
TiO <sub>2</sub>	0.53	0.52	0.61	0.75	0.57	0.45	0.76	0.42	0.86	0.47	0.45	0.49	0.56	0.61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.59	14.26	14.56	14.43	14.69	14.21	15.74	14.15	15.81	14.30	14.37	14.46	14.95	14.83
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	4.25	4.66	4.85	6.24	4.39	3.84	6.18	3.90	7.24	4.32	3.78	3.75	4.71	4.94
MnO	0.11	0.16	0.13	0.18	0.10	0.10	0.11	0.08	0.12	0.10	0.10	0.10	0.12	0.12
MgO	1.35	1.41	1.60	2.01	1.49	1.04	2.33	1.11	3.21	1.18	1.15	1.17	1.51	1.58
CaO	3.04	2.96	2.70	2.76	3.41	2.15	5.12	1.54	5.60	1.85	2.56	2.70	3.27	3.38
Na <sub>2</sub> O	3.62	3.01	3.43	3.51	3.55	3.39	3.64	2.78	3.73	4.04	3.41	3.49	3.62	3.47
K <sub>2</sub> O	4.20	4.02	6.29	4.18	4.06	4.59	3.14	4.95	2.86	4.37	4.40	4.38	3.91	3.99
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14	0.14	0.15	0.18	0.15	0.11	0.20	0.10	0.24	0.12	0.11	0.12	0.15	0.16
LOI	0.89	2.26	2.03	1.84	1.89	1.00	1.25	1.43	0.03	1.16	1.15	2.06	1.86	1.11
Total	99.63	99.98	100.32	100.28	99.91	99.79	100.30	100.20	100.19	100.76	100.49	100.92	100.56	99.66
CIP norm														
Qtz	20.37	23.81	19.86	16.69	19.28	24.11	13.19	21.39	9.73	21.21	23.91	22.72	19.37	19.17
Or	25.25	24.45	25.93	25.28	24.64	27.59	18.85	29.75	17.02	25.03	26.28	26.31	23.57	24.19
Ab	31.08	26.13	29.63	30.30	30.73	29.10	31.26	32.26	31.70	34.39	29.14	29.91	31.12	29.90
An	11.34	13.88	11.90	11.51	12.41	10.12	17.61	17.61	18.05	8.04	10.99	11.01	13.21	13.32
C														
Di	3.37	1.00	1.54	2.10	4.12	0.61	6.85	6.85	8.21	1.03	1.55	2.19	2.77	3.16
Hy	6.50	8.53	8.73	11.09	6.58	6.64	9.23	9.23	11.88	7.34	6.34	5.97	7.70	7.93
Ol														
Mt	1.08	1.17	1.23	1.56	1.12	0.96	1.54	1.54	1.78	1.06	0.94	0.94	1.17	1.24
Il	1.02	1.02	1.19	1.46	1.12	0.88	1.48	1.48	1.64	0.90	0.86	0.95	1.09	1.18

**Table 4.** Continued.

	intrusive andesite				rhyo-dacite		lapilli tuff		
	PJ1106	PJ1106-1	PJ108	PJ09	PJ101	PJ101-1	CG9	PG10	PJ105
SiO <sub>2</sub>	51.97	55.17	55.67	58.54	68.79	69.78	69.99	68.47	65.58
TiO	0.89	0.96	1.10	1.21	0.20	0.20	0.42	0.44	0.62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.33	15.77	14.98	14.53	14.54	14.59	14.43	14.60	15.82
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	10.29	9.25	9.53	9.23	2.56	2.58	3.29	3.50	3.31
MnO	0.24	0.15	0.23	0.18	0.12	0.13	0.13	0.12	0.08
MgO	4.52	6.36	4.08	2.83	0.34	0.36	0.84	0.96	2.57
CaO	7.33	4.36	5.84	3.87	1.61	1.69	1.25	1.54	3.61
Na <sub>2</sub> O	3.52	4.03	3.68	4.47	5.03	5.02	4.61	4.79	4.19
K <sub>2</sub> O	2.11	1.09	2.09	2.05	3.50	3.45	3.52	3.50	1.99
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.22	0.19	0.29	0.33	0.08	0.08	0.12	0.13	0.12
LOI	2.16	2.13	1.77	1.68	1.57	1.91	1.33	1.70	2.29
Total	99.58	99.46	99.26	98.92	98.34	99.79	99.93	99.75	100.21
CIP norm									
Qtz	0.00	4.15	5.43	9.37	22.63	22.69	24.57	21.23	21.05
Or	12.93	6.70	12.81	12.57	1.25	20.89	21.16	21.18	12.08
Ab	30.87	35.35	32.22	39.23	43.60	43.44	39.68	41.47	36.34
An	23.30	22.43	18.83	14.06	6.90	7.25	6.32	7.84	18.39
C		0.01					0.76	0.11	0.22
Di	11.97		9.28	4.95	1.11	1.16			
Hy	12.40	27.17	16.86	15.07	3.51	3.55	5.87	6.42	9.85
Ol	4.22								
Mt	2.54	2.33	2.42	2.38	0.62	0.62	0.83	0.89	0.88
Il	1.76	1.88	2.17	2.38	0.38	0.39	0.81	0.86	1.20

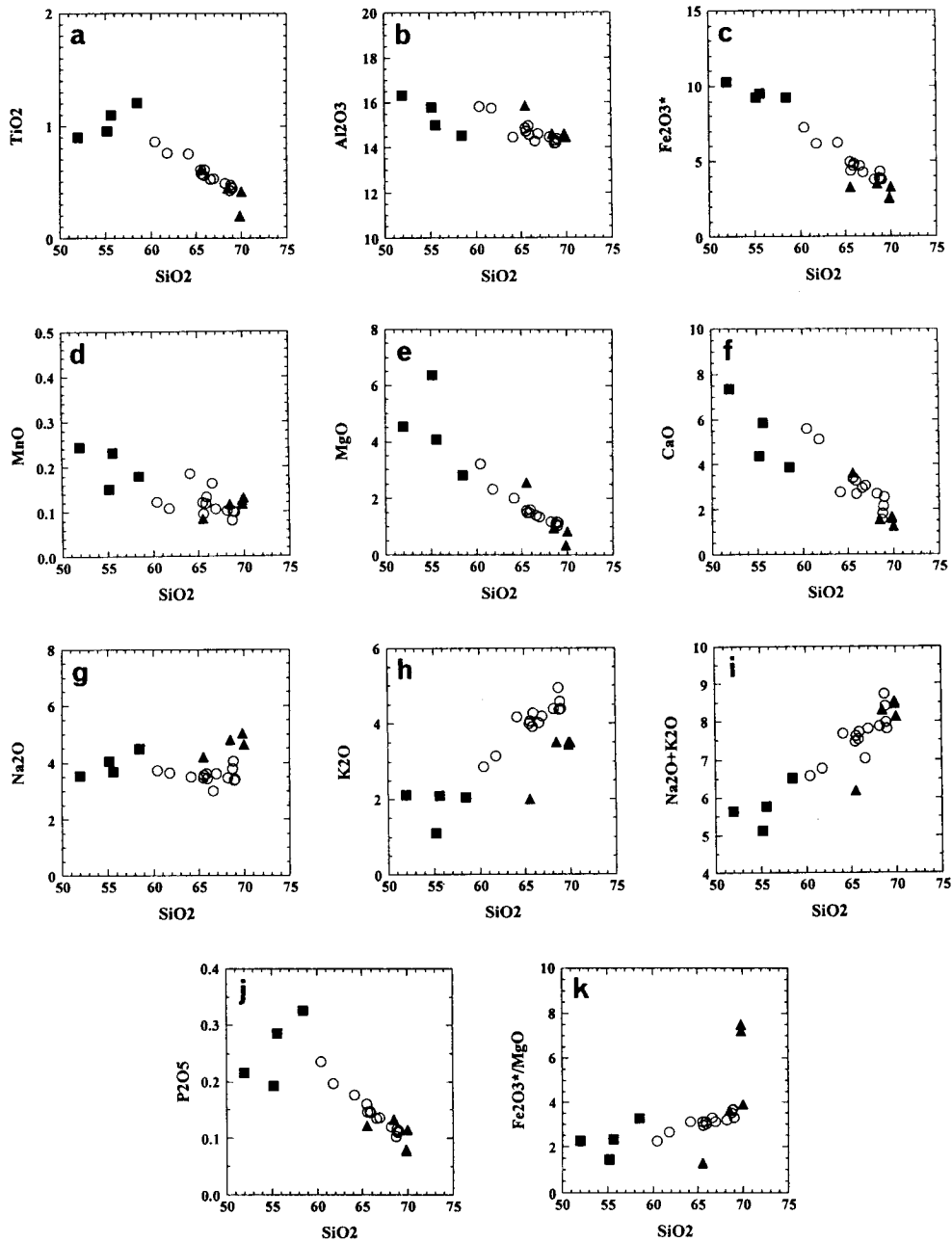
연속적인 조성을 가진다 (Fig. 3).

### 조암 광물의 화학 조성

화강암류와 관입 안산암에서 산출되는 사장석, 흑운모

및 휘석에 대하여 일본의 이바라기대학에서 JEOL 733 기종을 사용하여 EPMA 분석을 실시하였고, 그 화학 조성은 Table 3에 나타내었다.

화강암류의 사장석의 조성은 oligoclase에서 andesine의 조성 범위를 갖는다 (Fig. 4a). 그러나 관입 안산암의



**Fig. 5.** SiO<sub>2</sub> versus oxides variation diagrams (a-k) of the igneous rocks in the Goseong area. Symbols: triangle, volcanic rocks (lapilli tuff and rhyodacite); circle, granitic rocks; square, andesitic dyke.



사장석은 labradorite 조성을 보여, 화강암류보다는 An 조성이 풍부함을 알 수 있다.

화강암류에 나타나는 흑운모의 성분 중에서  $Al^{IV}$ 의 함량을 보면 대개 2.3 정도의 값을 가지며, 이 값은 마산, 김해, 부산 지역의 화강암류에 포함된 흑운모의 값 (Lee, 1991)과 유사하며, 전반적으로 phlogopite의 조성에 가까움을 나타낸다 (Fig. 4b).

화강암류 중 각섬석-흑운모 화강암과 복회석 화강섬록암에서 산출되는 단사휘석은  $CaSiO_3 \cdot MgSiO_3 \cdot FeSiO_3$ 의 조성에서 보면 투회석에 해당함을 알 수 있다 (Fig. 4c). 그러나 관입 안산암의 단사휘석은 보통 휘석에 해당한다. 한편, 복회석 화강섬록암의 사방휘석은 대략  $En_{60}Fs_{40}$ 의 조성을 가짐을 알 수 있다.

### 주성분 원소 지구화학

주성분 원소에 대한 화학 분석은 일본의 이바라기대학의 Rigaku XRF를 사용하여 실시하였다. 고성 지역 화성암류에 대한 주성분 원소 함량은 Table 4에 나타내었다.

$SiO_2$ 의 함량을 분화지수 (differentiation index)로 사용하여 각 산화물의 변화 경향을 살펴보았다.  $SiO_2$ 에 대한  $TiO_2$ 의 변화 경향을 살펴보면, 관입 안산암류에 있어서는 분화가 진행될수록  $TiO_2$ 의 함량이 증가하지만, 화산암류와 화강암류에서는 감소한다 (Fig. 5a). 화산암류와 화강암류에서는 그 경향이 비교적 유사하게 나타난다.

$SiO_2$ 에 대한  $Al_2O_3$ 의 변화 경향에서는, 세 종류의 화성암류가 각각 다른 변화를 보인다 (Fig. 5b).  $Fe_2O_3^*$  ( $Fe_2O_3$ 로 나타낸 total Fe 산화물의 함량)의 변화에서는 화산암류와 화강암류는 유사한 경향을 보이지만, 관입 안산암류에서는 보다 완만한 감소 경향을 보인다 (Fig. 5c). MnO에서는 각각의 경향이 분산되어 일관된 경향을 보이지 않는다 (Fig. 5d). MgO의 변화에서는 세 종류의 화성암류가 각각 다른 경향을 보이는데, 이들은 분화가 진행함에 따라 MgO의 함량이 급격히 감소함을 보인다 (Fig. 5e).

$SiO_2$ 에 대한 CaO의 변화 경향에서는 화산암류와 화강암류에서는 유사한 경향, 그러나 관입 안산암류에서는 다른 경향을 보이며, 분화에 따른 감소를 나타낸다 (Fig. 5f).  $Na_2O$ 의 함량에서는 화산암류와 관입 안산암류는 분화에 따라 비교적 증가하는 경향이 보이지만, 화강암류에서는 변화가 거의 없다 (Fig. 5g).  $K_2O$ 의 변화에서는 화산암류와 화강암류에서는 분화에 따라 함량이 증가하지만, 관입 안산암류에서는 별로 변화가 없다 (Fig. 5h). 그러나 화산암류에서  $K_2O$ 의 함량이 증가하는 경향은 화강암류와 같더라도, 유사한  $SiO_2$ 의 범위에서 화강암류 보다  $K_2O$ 의

함량이 낮은 것이 특징적이다. 전체 알칼리의 함량에서는 이들 세 종류의 화성암류는 분화에 따라 알칼리 함량이 증가하는 경향을 보인다 (Fig. 5i).

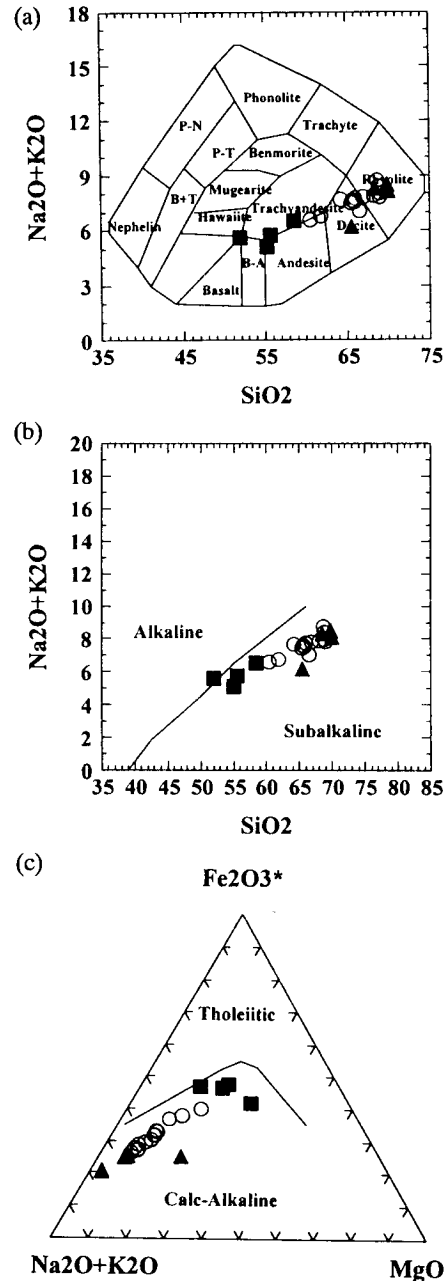
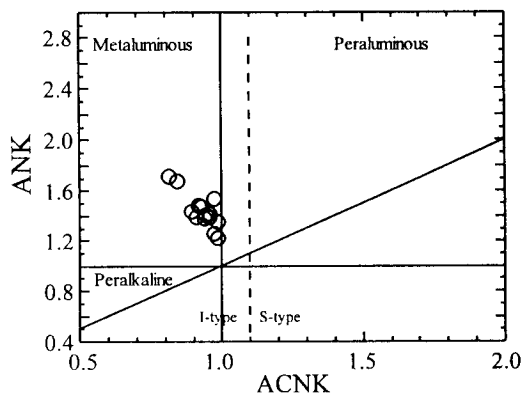


Fig. 6. Discrimination diagrams. (a) rock discrimination diagram using  $SiO_2$  vs.  $Na_2O+K_2O$  variation, (b) boundary between alkaline and subalkaline natures in  $SiO_2$  vs.  $Na_2O+K_2O$  variation diagram, (c) ternary AFM diagram. Symbols are the same as Fig. 5.

한편,  $\text{SiO}_2$ 에 대한  $\text{P}_2\text{O}_5$ 의 변화 경향에서는 관입 안산암에서는 분화에 따라 증가하지만, 화산암류와 화강암류는 유사하게 감소하는 경향을 보인다 (Fig. 5j).  $\text{SiO}_2$ 에 대한  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{MgO}$ 의 비의 변화를 살펴보면, 분화에 따라 세 종류의 증가 경향이 나타나는데, 그 중에서도 화산암류의 증가 경향이 급격하여, 화산암류가 다른 두 화성암류 보다 훨씬 분화 정도가 급격함을 나타낸다 (Fig. 5k).

이처럼  $\text{SiO}_2$ 에 대한 산화물들의 함량 변화는 래필리 응회암과 유문암질 석영안산암과 같은 화산암류의 경향과, 화강암류의 경향 그리고 관입 안산암류의 경향이 각각 다를 수 있다. 일반적으로 동원 마그마의 조성 변화는 체계적인 것이 보통이므로, 서로 다른 경향을 보이는 것은 각각의 마그마가 동원이 아니라는 것을 나타낸다. 결국 이들 세 종류의 화성암류의 초생 마그마가 서로 달랐음을 의미하며, 또 고성 지역의 화성활동은 세 종류의 다른 마그마 필스에 의해서 일어났음을 지시한다. 고성 지역에서 활동한 세 종류의 마그마 필스는 근원물질의 차이, 부분용융 정도의 차이가 화성활동의 시기적인 차이에 따라 발생했을 가능성을 시사한다.

주성분 원소를 사용하면, 모드 조성으로 암석명을 정하



**Fig. 7.** Binary diagram of molar  $A/(C+N+K)$  vs.  $A/(N+K)$ . A,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; C, CaO; N,  $\text{Na}_2\text{O}$ ; K,  $\text{K}_2\text{O}$ . In the alumina saturation index, all of the granitic rocks in the Goseong area show the metaluminous natures. Also, the rocks enter the field of I-type granites.

기 어려운 화산암류의 대략적인 암석명을 정할 수 있다. Fig. 6a의 그림에서 보면, 관입 안산암류는 현무암질 안산암에서 안산암의 영역에, 화산암류는 석영안산암에서 유문암의 영역에 속함을 알 수 있다.

고성 지역의 화강암류는 주성분 원소의 화학 조성으로 볼 때, 서브알칼리 화성암류에 속함을 알 수 있다 (Fig. 6b). 그리고 AFM 도표에서 보면, 이 화강암류는 서브알칼리 화성암류 중에서도 칼크-알칼리 계열에 속함을 알 수 있다 (Fig. 6c).

한편, 알루미늄의 포화도를 살펴보면 (Fig. 7), 고성 지역 화강암류는 메타알루미나질의 화강암류임을 알 수 있으며, 또 전암 화학 조성에 따른 I-타입과 S-타입의 구분에서는 이들 화강암류가 I-타입의 화강암류에 해당함을 알 수 있다.

### 화성암류의 K-Ar 연대

고성 지역 화성암류의 K-Ar 연대는 일본의 오카야마대학에서 개량된 VG-질량분석기를 이용하여 측정되었다.

그 결과는 Table 5에 나타내었다. 화성암류의 연대를 보면 화강암류의 연대가 약 61~64 Ma를 가리키며, 화산암류의 연대가 약 51~59 Ma, 관입 안산암의 연대가 약 58 Ma를 가리킨다. 이 연대들로 부터 이 지역의 화성활동이 대체적으로 백악기 말에서 제3기 초에 일어났음을 알 수 있다.

한편, 이 지역의 화성활동 중에서 가장 먼저 일어났다고 생각되는 래필리 응회암과 유문암질 석영안산암이 화강암류보다 젊은 연대를 보이는 것은 이 암석들이 나중의 화강암류의 관입을 받아 열적인 영향을 받아 연대가 젊어졌음을 의미한다.

### 인근 지역 화강암류와의 비교

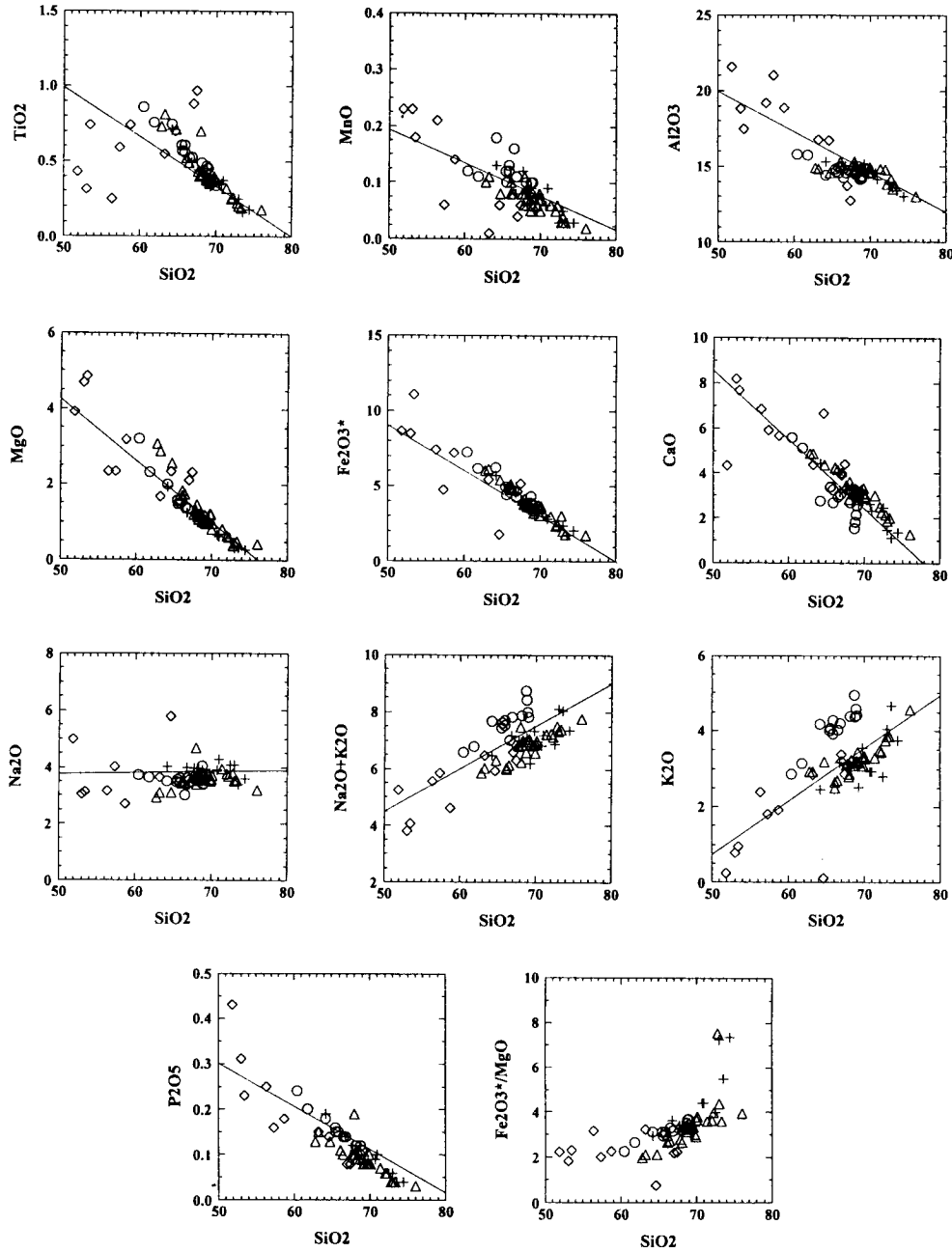
연구 지역의 인근 지역에 분포하는 화강암체 중 암석학적 및 지구화학적 연구 결과가 보고되어 있는 진동암체, 거제암체 및 마산암체를 비교의 대상으로 선택하였다. 마그마 활동의 유사성 혹은 차별성을 논의하기 위해서 기재

**Table 5.** K-Ar radiometric ages of the igneous rocks in the Goseong area.

Rock Type	Sample No.	Material	K (wt.%)	$^{40}\text{Ar}/\text{rad}$ ( $10^{-8}\text{cc/g}$ )	Atm. $^{40}\text{Ar}$ (%)	Age (Ma)
lapilli tuff	PJ105	whole-rock	1.47	293±3	13.6	50.6±1.6
rhyo-dacite	PJ101	whole-rock	3.17	741±7	5.5	59.4±1.9
hb-bt granite	PJ9	biotite	7.03	1769±18	6.2	63.7±1.4
two px granodiorite	K12	biotite	5.79	1400±14	9.3	61.3±1.4
intrusive andesite	PJ106	whole-rock	1.80	411±4	8.7	57.8±1.8

적으로 유사한 암상을 나타내는 화강암류를 선별하였다. 진동암체의 경우에는 화강섬록암과 석영섬록암, 거제암체에서는 각섬석-흑운모 화강암 (거제화강암)과 각섬석-흑운모 화강섬록암 (지세포화강암), 마산암체에서는 각섬

석-흑운모 화강암이 비교 대상인데, 세 암체의 화강암류 모두 각섬석과 흑운모를 주된 유색광물로 포함한다는 점에서 고성지역의 화강암류와 유사하다. 각 암체에 대한 자료는 진동암체의 경우 이준동 (1991)과 Jin (1981), 거



**Fig. 8.** SiO<sub>2</sub> versus oxides variation diagrams of the granitic rocks from Goseong (circle), Jindong (diamond), Geoje (cross) and Masan (triangle) masses. Solid line is the average variational trend of the Cretaceous granites in the Gyeongsang Basin (Jwa, 1996).

제암체의 경우 이춘희 (1994), 마산암체의 경우 Lee (1991)로부터 인용되었다.

Fig. 8에서는  $\text{SiO}_2$  함량에 대한 산화물들의 변화경향을 통해 고성 지역의 화강암류와 다른 세 지역의 화강암류 사이의 관계를 살펴보았다. 우선 진동암체의 자료의 경우 너무 분산이 심하여 일정한 변화경향을 알기 힘들지만, 대체적으로 다른 세 지역 화강암류들과는 다른 경향을 나타내어 진동암체를 형성시킨 화강암질 마그마의 화학조성이 이들과 달랐음을 시사한다. 진동암체를 제외한 고성, 거제, 마산암체의 화강암류들에 대해 각각 비교해 보면,  $\text{SiO}_2$ 에 대한  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*$ ,  $\text{MgO}$ 의 함량 변화는 세 암체가 매우 유사하다. 다른 점은 고성암체에서  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}$ 와 전체 알칼리 함량이 높게 나타나고,  $\text{CaO}$  함량이 낮게 나타나는 것이며, 마산암체에서  $\text{P}_2\text{O}_5$  함량과  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{MgO}$ 의 비가 낮게 나타나는 것이다. 이러한 차이를 고려하더라도, 세 지역의 화강암류의 조성 변화가 대체로 유사한 것은 흥미로운 문제이다.

한편, Fig. 8에서는 경상분지 백악기~제3기 화강암류의 주성분 원소 변화의 평균적인 경향을 실선으로 나타내어 그 경향을 비교해 보았다 (Jwa, 1996). 고성, 거제, 마산암체의 화강암류의 조성 변화가  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ 의 경우 평균경향과 유사하지만,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ 의 경우 평균보다 낮게,  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*$ 의 경우 약간 높게 나타나는 특징이 있다. 또한 고성암체의 화강암류와 거제, 마산암체의 화강암류 사이에는 평균 경향선을 경계로  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , 전체 알칼리 함량이 서로 다름을 보여준다. 주성분 원소의 함량 변화가 유사하다는 것은 암체를 형성시킨 마그마 활동이 동시기는 아닐지라도, 그 초생 마그마 혹은 마그마를 발생시킨 근원 물질이 유사함을 의미할 수 있다. 비교 대상인 지역들이 서로 근접해 있음을 고려하면, 화강암질 마그마의 근원 물질이 유사했을 가능성이 높다. 그러나 시기적으로 변화할 수 있는 지하의 온도 구배에 따라서는 부분용융의 정도가 다를 수 있고, 또 근원 물질의 깊이에 따른 차이가 있음을 배제할 수는 없다. 따라서 화강암질 마그마의 활동의 시간적인 변화를 알기 위해서는 화강암류에 대한 연대를 살펴볼 필요가 있다. 화강암류의 연대는 인근 지역의 경우 마산암체에 대해서만 보고되어 있다.

마산암체의 각섬석-흑운모 화강암의 경우 흑운모의 K-Ar 연대는 85 Ma, Rb-Sr 광물 등시선 연대는 88 Ma, 전암 등시선 연대는 100 Ma이다 (Lee, 1991). 이 연대들은 고성지역 화강암류의 흑운모의 K-Ar 연대인 61~64 Ma 보다는 오래되었음을 나타낸다. 이렇게 심성활동의 시기가 다름에도 불구하고 두 지역의 각섬석-흑운모 화강암의 주성분 원소의 지구화학적 변화 경향이 유사하다는 것은

꽤 흥미로운 문제이다.

일반적으로 주성분 원소의 변화 경향이 유사하다는 것은 초생 마그마의 화학적 성질이 유사하며, 거의 동일한 마그마 과정으로 분화했음을 시사한다. 경상분지의 화강암류처럼 그 기원이 보통 맨틀이고, 마그마 과정에서 지각물질의 혼입이 극히 제한적인 경우에 초생 마그마의 화학적 성질은 근원 물질의 화학적 성질을 반영할 수 있다. 따라서 두 지역의 화강암류는 동일한 근원 물질로부터 유래되었을 가능성이 있다. 만일 그렇다면, 고성 지역을 포함한 인근 지역에서는 심성활동이 백악기 중기와 말기의 두 차례로 시기적인 간격을 두고 일어났을 가능성이 있을 것이다. 백악기 말기의 심성활동은 마산암체의 경우 미문상 화강암의 K-Ar 광물 (K-장석)의 연대인 51~60 Ma에서도 검증된다 (Lee, 1991).

한편, 앞서도 언급했듯이 전혀 다른 근원 물질이 서로 다른 부분용융의 정도로부터 화학적 조성이 유사한 초생 마그마를 만들 수도 있기 때문에, 이 가능성 또한 전혀 배제할 수는 없을 것이다. 한편으로는 진동 화강암류가 다른 화강암류와 조성 변화에서 차이가 있는 이유 역시 설명되어야 할 것이다. 이를 해명하기 위해서는 미량원소와 동위원소 등의 보다 포괄적인 자료가 요구되며, 이에 대한 것은 다음 논문에서 다루고자 한다.

## 결론

경상분지의 서남부 지역에 해당하는 고성 지역의 화성암류는 안산암질의 래펠리 응회암, 석영안산암, 유문암 등의 화산암류와 이를 관입한 화강암류 및 관입 안산암류 등으로 이루어져 있다. 화산암류, 화강암류 및 관입 안산암류는 주성분 원소의 변화에서 서로 다른 경향을 보이고, 이로부터 이 지역의 화성활동을 유발시킨 마그마는 세 종류의 서로 다른 펄스로 구분됨을 알 수 있다. K-Ar 방사성 연대는 이 지역의 화성활동이 대체로 백악기 말에 일어났음을 지시한다.

고성 지역의 화강암류는 주성분 원소의 함량 변화에서 인근의 진동암체, 거제암체 및 마산암체와 비교된다. 진동 화강암류는 다른 화강암류와는 다른 변화 경향을 나타내어 성인적인 관련성이 적을 것으로 생각된다. 한편, 고성, 거제, 마산 지역의 화강암류들은 주성분 원소의 함량 변화가 대체로 유사하여, 성인적으로 관계가 있을 것으로 생각된다. 다만, 마그마의 활동 시기가 다른 고성 화강암류와 마산 화강암류의 지구화학적 유사성은 동일 근원 물질로부터의 마그마 생성이 시간적인 간격을 두고 일어났을 가능성을 제시한다.

사 사

이 논문에 대해 건설적인 비평을 해 주신 자원연구소의 진명식 박사님께 감사를 표한다. 그리고 EPMA를 사용하게 해 준 일본 이바라기대학의 Kimura 교수, XRF를 사용하게 해 준 동대학의 Tagiri 교수, K-Ar 연대측정에 도움을 준 일본 오카야마대학의 Nagao 교수에게 감사드린다. 이 연구는 한국과학재단 특정연구 (94-1400-07-0103)의 지원으로 수행되었다.

참고문헌

김상욱 (1986) 경상분지에서의 후기 백악기 화성활동에 관한 연구. 이상만교수 송수기념 논문집, p. 167-194.  
 이상만, 김상욱, 진명식 (1987) 남한의 백악기-제3기 화성활동과 지구조적 의의. 지질학회지, 23권, p. 338-359.  
 이준동 (1991) 경남 진동-마산 일대의 화강암류에 관한 연구. 한국지구과학회지, 12권, p. 230-247.

이춘희 (1994) 한반도 남부 거제도의 화강암류에 대한 암석학 및 암석화학적 연구. 부산대학교 석사논문, 83p.  
 장태우, 황상구, 이동우, 오인섭, 김학천, 김의홍 (1983) 1:50,000 충무도폭설명서. 한국동력자원연구소.  
 Jin, M.S. (1981) Petrology and geochemistry of the Cretaceous granitic rocks in Southern Korea. PhD thesis, Seoul National University, 144p.  
 Jin M.S. (1985) Geochemistry of the Cretaceous to early Tertiary granitic rocks in Southern Korea. Pt. 1, Major elements geochemistry. Jour. Geol. Soc. Korea, v. 21, p. 297-316.  
 Jwa, Y.-J. (1996) Chemical composition of Korean Cretaceous granites in the Gyeongsang Basin. I. Major element variation trends. Jour. Korean Earth Sci. Soc., v. 17, p. 318-325.  
 Lee, J.I. (1991) Petrology, mineralogy and isotopic study of the shallow depth emplaced granitic rocks, southern part of the Kyoungsang Basin, Korea -Origin of micrographic granite-. DSc thesis, University of Tokyo, 197p.

---

1996년 6월 10일 원고접수