

경상퇴적분지내에 분포하는 소위 마산암에 대한 암석성인연구

김규한* · 이화정*

Petrogenesis of the so-called Masanite in the Kyeongsang Sedimentary Basin

Kyu Han Kim* and Hwa Jung Lee*

ABSTRACT : The granitic rocks, so called Masanite, characterized by the micrographic, mylmekitic and perthitic textures, and zonal structure of the plagioclase in the Masan, Changwon and Jinhae areas belong to normal granite and granodiorite based on the modal analysis. These petrographic features strongly suggest the shallow emplacement of the plutons which are defined a typical calc-alkaline suite and I-type granitoids. The pressures of emplacement of the granitic plutons using the amphibole geobarometer were calculated to be 1.2kbar in the Masan area and 1.4kbar in the Changwon area. Their amphibole-plagioclase equilibrium temperatures were obtained to be 638°C for the former ones and 724°C for the latter. Homogenization temperatures and salinities for the type III and IV fluid inclusions in quartz range from 298 to 541°C (av. 425°C), and 10.5 to 34.6 wt.% NaCl (av. 28.2 wt.% NaCl), respectively. Gas compositions of the granitic rocks with fairly high CO₂ concentration relative to CH₄ correspond to the magnetite series granite of the mantle source. The terminology of the Masanite is not recommended usage. Because it is hard to discriminate in terms of petrological and petrogenetical characteristics between the Masanite and the Bulguksa granites in the Kyeongsang basin.

서 론

한반도의 동남부에 분포하고 있는 중생대 경상퇴적분지 내에는 백악기 말에서 제 3기 초에 일어난 화성활동의 산물인 불국사화강암입암석과 동원 마그마에서 유래된 것으로 추정되는 안산암질 화산암류가 밀접하고 광범위하게 분포하고 있다 (Won, 1968; Jin, 1981; Hong, 1987; 김규한, 이진수, 1993). 마산암은 마산지역에 분포된 미문상조직의 화강암으로서, granophyric 기질에 누대구조가 발달한 장석 및 corroded 석영의 반정을 가지고 있는 석영몬조니암 (quartz monzonite)으로 Koto (1909)가 처음 사용하였다. 김종환, 김정택 (1963)의 마산도폭 설명서에 의하면 마산암은 화강섬록암, 아다멜라이트, 석영섬록암을 통칭한 것으로 불국사화강암인 섬록암을 관입하며 각섬석화강암에 의해 관입당한다. 또한 Jin (1985b)은 불국사화강암을 토날라이트, 각섬석화강섬록암, 흑운모화강암, 화강암으로 세

분하였고 마산암은 토날라이트, 화강섬록암, 아다멜라이트, 알카리장석화강암으로 세분하였다.

Tsue et al. (1986)은 마산암을 미문상조직과 마이오라이트 공동 (miarolitic cavity)을 특징적으로 가지는 화강반암의 일종으로 기재하고 있다. 또한 마이오라이트 공동에 형석과 녹염석이 다량 함유되어 있는 점이 불국사화강암과 다르다고 지적하였다. 그리고 창원지역에서 불국사화강암과 마산암이 광물조직이나 공생이 점이적인 관계임을 보고하였다. Lee (1994)는 마산암 암석명 대신에 미문상화강암을 제안하였다. 이와 같이 백악기 불국사화강암과 마산암에 대한 구분은 연구자들에 따라 혼용되고 있다 (Table 1).

따라서 본 연구에서는 마산암의 암석학적 및 암석성인을 연구하기 위하여, 소위 마산암 암석기재의 대표적인 지역에 해당하는 마산, 창원, 진해 등지에 분포하는 화강암의 구성광물과 광물조직에 관한 현미경적 관찰, 주요 조암광물인 각섬석과 사장석의 광물성분 분석 그리고 전암 중의 가스 분석 그리고 화강암류 중 석영내의 유체포유물에 대한 균일화온도와 염농도를 측정하였다. 이와 같은 연구를 통하여, 소위 마산암의 암석기재적, 광물학적,

* 이화여자대학교 과학교육과 (Dept. of Science Education, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea)

Table 1. Nomenclatures of so called Masanite in the Kyeongsang basin.

Granite porphyry, micrographic quartz monzonite	Koto(1909)
Granodiorite, adamellite, quartz diorite	Kim and Kim(1963)
Adamellite, perthitic granite	Lee(1969)
Hornblende granite, biotite granite	Park(1980)
Granite porphyry characterized by micrographic texture and miarolitic cavity	Tsusue <i>et al.</i> (1986)
Tonalite, adamellite, granodiorite, alkali feldspar granite	Lee(1972), Jin(1985a)
Hornblende granite type Masanite, biotite granite type Masanite	Lee(1991)
Micrographic granite	Lee(1994)
Granite, granodiorite	This study

광물 지화학적 특징을 연구하고 이들 암석을 형성한 마그마의 근원물질 추정 및 관입 당시의 온도, 압력등의 환경을 해석해 보고자 한다. 또한 경상퇴적분지 기타 지역의 불국사화강암에 대한 기존 연구자료와 암석화학적 특성 및 암석성인, 생성환경을 비교·검토하고자 한다.

전암의 주성분 및 미량성분, REE 분석은 영국 London대학에서 ICP법으로 분석을 실시하였고, 가스 분석은 일본 나고야대학 지구행성과학과에서 실시하였다. 각섬석과 사장석의 EPMA 분석은 전략광물자원연구센터에서 그리고 유체포유물 연구는 이화여자대학교 과학교육과 지구과학실험실에서 이루어졌다.

화강암류의 특징

육안상으로는 분홍색 장석에 의해 암색이 전반적으로 담홍색을 띠고, 입자의 크기는 세립~중립질이다. 미문상 조직이 특징적으로 관찰되며 퍼사이트와 밀메카이트 조직 그리고 사장석의 누대구조가 나타나고 있다. 마산 (6), 창원 (6), 진해 (2)지역 화강암 시료 (Fig. 1)에 대해 모두 분석을 실시하였다. 모드 분석시 사장석내의 변질광물인 세리사이트와 밀메카이트는 사장석으로 포함시켰으며 퍼사이트는 알칼리장석에 포함시켰다.

마산지역 각섬석-흑운모화강암

주구성광물은 석영 (20.9~32.0%), 알칼리장석 (18.7~27.4%), 사장석 (28.9~41.5%), 흑운모 (3.4~15.9%), 각섬석 (1.2~4.1%)으로 구성되어 있고, 부성분광물로서 인회석, 저어콘, 스피넬, 자철석등이 소량 존재한다. 2차 광물로는 녹염석, 녹니석, 세리사이트등이 관찰된다. 사장석은 자형~반자형이고 정상적인 누대구조가 잘 나타나며 사장석 변질에 의한 녹니석도 존재한다. 알칼리장석과 석영은 반자형~타형을 나타낸다. 일부 시료에서 드물게 관찰되는 홍주석은 주변암과의 접촉교대 반응에서 형성된 2차

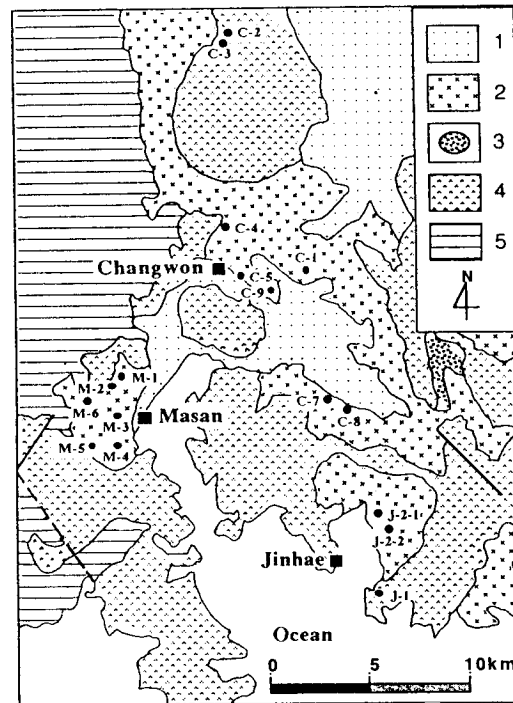


Fig. 1. Geological and sampling map of the Masan, Changwon and Jinhae areas. 1.Alluvium; 2. So-called Masanite; 3. Gabbro; 4. Andesite to dacite rocks; 5. Sedimentary rocks.

변질질광물로 추정된다.

창원지역 흑운모-각섬석화강암

주구성광물은 석영 (22.6~29.4%), 알칼리장석 (21.7~30.7%), 사장석 (29.1~46.9%), 흑운모 (0.0~5.6%), 각섬석 (2.3~6.1%), 녹염석 (2.5~8.9%)이고 녹니석, 자철석, 인회석, 저어콘, 스피넬등이 소량 포함되어 있다. 이 중 2차 광물은 녹염석, 녹니석, 세리사이트등이다. 각섬석과 흑운모의 변질 결과 형성된 2차 광물로서 녹염석이 관찰되며 각섬석 변질의 녹염석이 많다. 사장석은 자형~반자형은

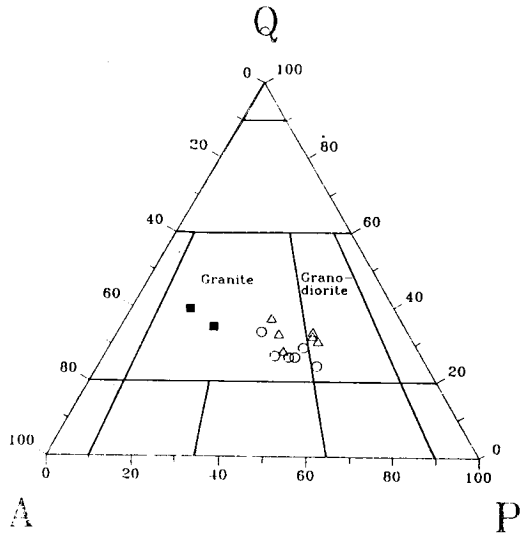


Fig. 2. Qz-K-Fd-Pl diagram (Streckeisen, 1979) for so-called Masanite from the Masan, Changwon and Jinhae areas. Empty triangle; granite from the Masan area, Open circle; granite from the Chanwon area, Filled square; granite from the Jinhae area.

나타내고 누대구조가 많이 발달하여 있으며 쌍정은 알바이트, 칼스바드, 페리클린 쌍정을 보인다. 사장석의 중심부에는 세리사이트가 많이 형성되어 있고 석영과 알칼리장석은 타형이 우세하다.

진해지역 흑운모화강암

중립~조립질 화강암으로 석영 (32.1~38.3%), 알칼리장석 (40.9~45.7%), 사장석 (13.3~19.7%), 흑운모 (6.1~0.4%), 녹염석 (0.3~0.4%)의 주구성광물을 가지고 저어콘, 인회석, 자철석, 녹니석을 소량 함유하며 2차 광물로는 녹염석, 녹니석, 세리사이트등이 관찰된다. 유색광물이 드물며 알칼리장석의 함량이 높은 것이 마산, 창원지역 화강암과 구별된다. 알칼리장석의 함량은 마산-창원-진해순으로 증가한다. 사장석은 자형 내지 반자형이고 누대구조가 잘 나타난다. 모드 분류도 (Streckeisen, 1973)에서 마산지역 화강암은 주로 화강섬록암과 화강암 영역에 도시되고, 창원지역과 진해지역 화강암은 화강암 영역에 도시된다 (Fig. 2).

조암광물의 광물화학

마산, 창원, 진해지역에 있는 소위 마산암의 주성분 함량은 서로 유사하다. 세 지역 화강암질암의 $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$

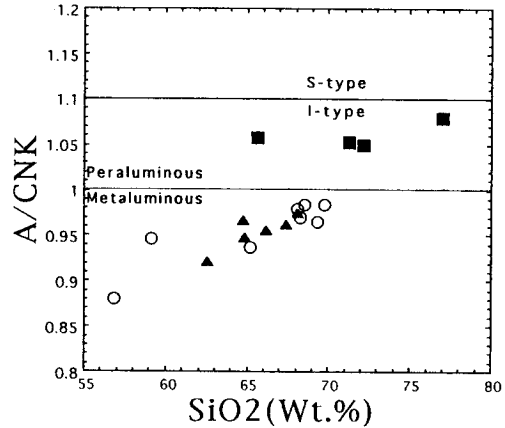


Fig. 3. Mole $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ vs. SiO_2 contents of the granitic rocks from the Masan, Changwon and Jinhae areas. Symbols are the same as in Fig. 2. S-I type divided line after Hine *et al* (1978).

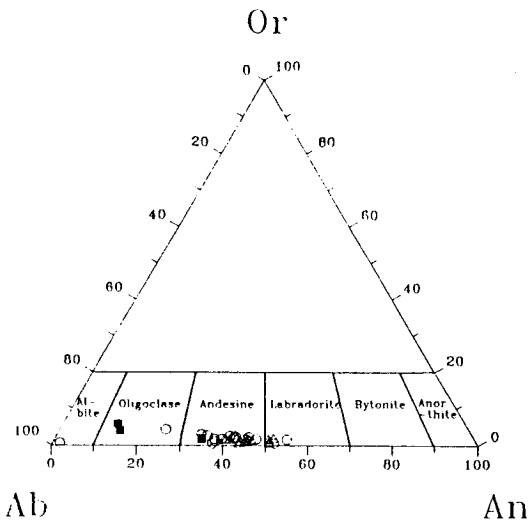


Fig. 4. Ab-An-Or diagram for plagioclase of the granitic rocks. Symbols are the same as in Fig. 2.

$O+CaO$ 몰비는 0.92~1.08로 세 지역 화강암 모두 몰비 1.1이하 (이화정, 1996)로서 I-type에 해당하고, 마산과 창원지역 화강암은 1.0이하로 metaluminous한 특성을 가지며 진해지역 화강암은 1.0이상인 peraluminous한 특징을 나타낸다 (Fig. 3). 이는 부산, 김해지역 시료까지 포함된 Lee (1994)의 연구결과와도 일치하고 있다.

사장석

화강암질암석의 사장석을 EPMA로 분석한 결과 주로

안데신 ($An_{32.12-49.90}$)에 해당한다 (Fig. 4). 사장석 성분은 결정의 중심부와 주변부 사이에 성분적 차이가 있으며 누대 구조 발달이 현저하고 대다수의 결정 중심부가 Ca-rich 사장석이다. 마산지역 화강암의 사장석은 core에서 An : 39.55~50.96%, Ab : 47.99~58.66%, rim에서는 An : 21.76~49.33%, Ab : 49.52~76.34%이다. An, Ab, 성분의 변화폭이 작고 결정의 core에서 안데신, 라브라도라이트이고 rim에서는 안데신, 올리고클레이스이다. 창원지역 화강암의 사장석 성분은 결정의 core에서 An : 1.76~54.2%, Ab : 44.21~97.66%, rim에서는 An : 12.8~37.72%, Ab : 65.59~83.8%이다. 창원지역의 안산암내에는 사장석은 알바이트 ($An_{1.3-6.7}$) 성분이고 진해지역의 안산암은 아놀사이트 ($An_{36.9}$)이다. 그러나 진해지역 안산암 (J-2)은 $An_{36.9}$ 이다. 창원지역 안산암의 사장석은 열수변질과정에서 알바이트화 된 것으로 추정된다. 이들 지역의 사장석 성분변화는 넓은 범위를

보여 주어 $An_{45} \sim An_{10}$ 까지인 백악기 불국사화강암류의 성분 변화폭 (Jin, 1985)과 비슷하다.

각섬석

각섬석의 Ca 원자비는 마산 1.605~1.824, 창원 1.639~1.782이고, M4자리의 Na 원자비는 마산 0.094~0.209, 창원 0.116~0.191로서 모두 회각섬석류 (calcic amphibole)에 속하며 (Leake, 1978), Ti의 비도 0.014~0.211로 모두 0.500 미만이다 (Table 2). 또한 $Al_{(I)}-Al_{(VI)}$ 관계도 (Fig. 5)에서도 $Al_{(VI)}$ 최소치선 ($Al_{(VI)}=0$)과 Leake (1971)가 설정한 화성기원 회각섬석의 $Al_{(VI)}$ 최대치선 사이에 분포하고 있다. $Na+K < 0.5$, $Ti < 0.5$ 인 시료중 마산지역 각섬석은 Si 비와 $Mg/(Mg+Fe)$ 관계도 (Fig. 6)에서 actinolitic hornblende, magnesio-hornblende이고, 창원지

Table 2. Electron microprobe analysis and structural formulae for amphibole from the Changwon, Masan and Jinhae districts.

Sample No.	C-1-1		C-4-1		C-4-2		C-5-1		C-7-2		C-8-2		C-9-2	
	1 core	10 core	12 core	11 rim	18 core	17 rim	24 core	31 core	29 rim	38 core	37 rim			
SiO ₂	46.12	48.71	47.66	46.42	45.26	44.73	46.08	46.29	47.92	47.14	45.92			
TiO ₂	1.52	0.99	1.33	1.42	1.80	1.62	1.73	1.67	0.97	0.65	1.43			
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
Al ₂ O ₃	6.43	4.03	5.75	5.98	7.46	7.33	6.67	6.63	5.11	4.82	6.27			
FeO	18.91	17.52	15.15	16.87	16.32	20.02	18.16	17.73	20.42	20.78	18.36			
MnO	0.45	0.57	0.00	0.37	0.38	0.63	0.44	0.00	0.88	1.18	0.60			
MgO	11.33	12.42	13.79	13.05	12.33	9.75	11.70	11.81	10.53	10.33	11.21			
CaO	10.49	10.99	11.15	11.13	10.90	10.99	10.96	11.08	10.27	10.12	10.64			
Na ₂ O	1.96	1.10	1.53	1.58	2.11	2.14	1.68	2.21	1.81	1.58	1.93			
K ₂ O	0.48	0.52	0.59	0.62	0.52	0.54	0.63	0.63	0.38	0.53	0.70			
Total	97.69	96.84	97.18	97.44	97.08	97.91	98.04	98.04	98.28	97.13	97.06			
O=23														
Si	6.898	7.272	7.034	6.883	6.766	6.772	6.851	6.911	7.156	7.130	6.935			
Al _(IV)	1.102	0.728	0.966	1.117	1.234	1.228	1.149	1.089	0.844	0.870	1.065			
Al _(VI)	0.032	-0.019	0.035	-0.070	0.082	0.081	0.021	0.079	0.056	-0.010	0.052			
Ti	0.171	0.111	0.148	0.158	0.203	0.185	0.194	0.188	0.108	0.074	0.162			
Fe ⁽⁺³⁾	0.405	0.365	0.311	0.547	0.307	0.256	0.407	0.118	0.354	0.549	0.285			
Mg	2.525	2.763	0.032	2.883	2.747	2.200	2.592	2.627	2.343	2.327	2.522			
Fe ⁽⁺²⁾	1.960	1.821	1.559	1.545	1.732	2.278	1.850	2.095	2.196	2.079	2.033			
Mn	0.057	0.072	0.000	0.046	0.048	0.080	0.055	0.000	0.111	0.151	0.076			
Cr	0.000	0.000	0.027	0.000	0.000	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
Fe ⁽⁺²⁾ M4	0.150	0.114	0.111	0.109	0.119	0.102	0.119	0.107	0.168	0.170	0.131			
Ca	1.681	1.757	1.763	1.768	1.745	1.782	1.746	1.772	1.644	1.639	1.722			
Na _(M4)	0.169	0.129	0.126	0.124	0.135	0.116	0.135	0.121	0.189	0.191	0.148			
Na _(A)	0.400	0.190	0.313	0.330	0.476	0.511	0.350	0.518	0.335	0.273	0.416			
K	0.092	0.099	0.110	0.117	0.099	0.104	0.119	0.120	0.072	0.102	0.135			
A-site	0.492	0.289	0.423	0.447	0.757	0.616	0.468	0.638	0.406	0.375	0.551			
Mg/Mg+Fe ²⁺	0.563	0.603	0.121	0.651	0.613	0.491	0.584	0.556	0.516	0.528	0.554			
Fe/Fe+Mg	0.484	0.442	0.896	0.420	0.426	0.535	0.466	0.457	0.521	0.530	0.479			
Al _(T)	1.135	0.710	2.090	1.046	1.316	1.309	1.170	1.168	0.900	0.860	1.117			

Table 2. Continued.

Sample No. point No.	M-1-2		M-2-2		M-3-1	M-4-1		M-5-1	M-6-1	
	44 core	43 rim	50 core	51 rim	56 core	75 core	74	65 core	83 core	82 rim
SiO ₂	45.56	49.35	48.70	48.19	49.92	46.13	49.36	48.72	49.38	48.09
TiO ₂	1.88	0.69	0.51	0.60	0.12	1.30	0.86	0.51	0.65	0.73
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	7.21	4.01	4.14	4.47	3.45	6.60	3.95	3.67	3.76	5.09
FeO	16.28	17.42	18.25	18.35	17.41	17.64	16.47	17.66	18.90	19.26
MnO	0.37	0.54	0.80	0.97	0.49	0.60	0.66	0.70	0.96	1.01
MgO	12.29	12.36	12.19	11.88	13.16	12.04	12.98	11.79	12.24	11.41
CaO	10.87	11.16	10.86	10.32	10.33	11.05	11.50	10.75	10.13	10.69
Na ₂ O	1.96	1.10	1.27	1.27	1.00	1.78	1.32	1.37	1.26	1.40
K ₂ O	0.60	0.27	0.32	0.35	0.33	0.52	0.35	0.31	0.27	0.47
Total	97.03	96.89	97.04	96.39	96.21	97.64	97.44	95.49	97.55	98.14
O=23										
Si	6.815	7.345	7.257	7.225	7.413	6.867	7.310	7.399	7.302	7.132
Al _(iv)	1.185	0.655	0.743	0.775	0.587	1.133	0.690	0.601	0.698	0.867
Al _(vi)	0.087	0.049	-0.014	0.016	0.018	0.026	0.000	0.057	-0.042	0.023
Ti	0.211	0.077	0.057	0.068	0.014	0.145	0.096	0.058	0.072	0.081
Fe ⁽⁺³⁾	0.266	0.321	0.497	0.551	0.569	0.459	0.241	0.228	0.600	0.510
Mg	2.740	2.742	2.707	2.654	2.913	2.670	2.864	2.668	2.698	2.522
Fe ⁽⁺²⁾	1.770	1.847	1.777	1.750	1.593	1.736	1.798	2.015	1.737	1.878
Mn	0.047	0.068	0.100	0.124	0.062	0.076	0.083	0.090	0.120	0.127
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe ⁽⁺²⁾ M4	0.121	0.104	0.125	0.161	0.168	0.111	0.082	0.117	0.186	0.141
Ca	1.742	1.779	1.735	1.658	1.643	1.762	1.824	1.750	1.605	1.699
Na _(M4)	0.137	0.118	0.141	0.181	0.189	0.126	0.094	0.133	0.209	0.160
Na _(A)	0.432	0.199	0.226	0.188	0.098	0.386	0.285	0.272	0.153	0.243
K	0.115	0.050	0.060	0.067	0.063	0.099	0.065	0.060	0.050	0.088
A-site	0.547	0.249	0.286	0.255	0.161	0.485	0.351	0.331	0.203	0.331
Mg/Mg+Fe ²⁺	0.608	0.597	0.604	0.603	0.646	0.606	0.614	0.570	0.608	0.573
Fe/Fe+Mg	0.426	0.442	0.457	0.464	0.426	0.451	0.416	0.457	0.464	0.486
Al _T	1.272	0.704	0.728	0.791	0.605	1.159	0.690	0.658	0.656	0.891

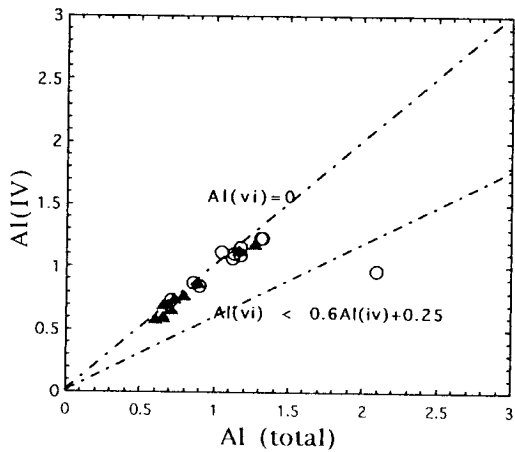


Fig. 5. Plot of total Al vs. Al (iv) for amphiboles. Symbols are the same as in Fig. 2.

역 각섬석은 magnesio-hornblende와 ferro-hornblende이다. Al_(iv)-Mg/(Mg+Fe₂) (Fig. 6)에서는 창원은 대부분 edenite에 속하고 일부만 actinolitic hornblende와 ferroedenite에 속한다. 마산은 대부분 actinolitic hornblende에 속하고 약간의 edenite에 해당한다. Si와 A-site occupancy 관계도 (Fig. 6)에서도 같은 경향을 보이고 있다. 마산지역 각섬석이 해당되고 있는 actinolite와 actinolitic hornblende는 Si>7.25인 것으로 subsolidus crystallization의 산물로 추정된다.

Na (A-site)와 K (A-site) 관계에서는 두 지역 시료 모두 4:1의 근처에 점사되고 있다. 이는 대보화강암이 1:1 근처에 그리고 불국사화강암이 4:1 근처에 도사되는 조동룡, 권성택 (1994) 연구결과에서 불국사화강암과 일치함을 보여주고 또한 K이온의 함량이 낮음을 말해준다 (Fig. 7).

조사지역의 화강암은 사장석+각섬석+흑운모+알카리

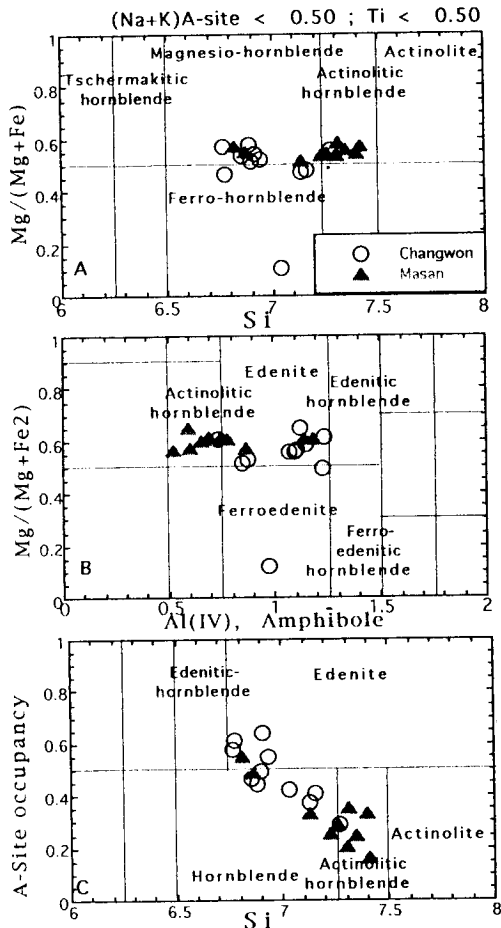


Fig. 6. Nomenclature of calcic amphibole is based on Leake (1978) in the granitic rocks from the Chanwon, Masan and Jinhae areas. A: Atomic Mg/(Mg+Fe) ratio vs. number of Si atoms. B: Atomic Mg/(Mg+Fe₂) ratio vs. Al (iv). C: A-site occupancy vs. number of Si atoms.

장석+석영+스핀+자철석 또는 티탄철석을 포함하는 칼크알칼리 화강암류로 Johnson, Rutherford (1989)의 지질압력계에 의해 계산된 압력은 Table 3과 같다.

마산지역 화강암의 압력은 범위 0.3~1.9 kbar, 평균 1.2 (±0.5) kbar이고 창원지역 화강암 (시료C-4-2 core시료 제외)의 압력은 0.3~2.0 kbar이고 평균 1.4 (±0.5)kbar이다. core와 rim 사이의 압력차는 크지 않다. 이는 마산지역 각섬석-흑운모화강암의 압력이 각섬석지질압력계에 의해 1.7 kbar가 얻어졌던 Lee (1991)의 결과보다 낮게 얻어졌다. 그러나, 본 지역 화강암의 각섬석은 치환방식 중 온도에 민감한 edenite 방식이 작용하였으므로 사장석과 공존하는 각섬석 성분을 지질온도계로 적용함이 가능한 것으로

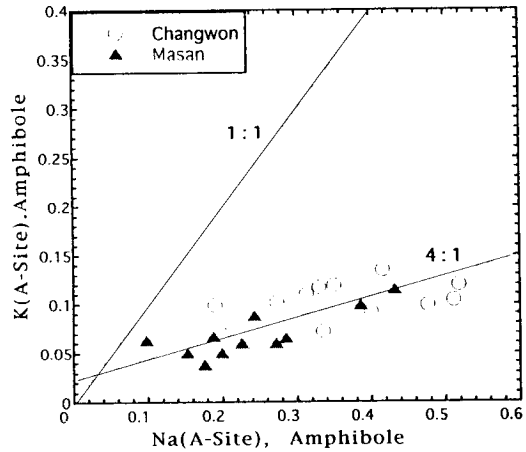


Fig. 7. Plot of Na in A-site vs. K for amphibole.

Table 3. Calculated pressure and temperature of emplacement of granite plutons from the Masan and Changwon district based on the amphibole geobarometer (Johnson, Rutherford, 1989) and plagioclase-amphibole geothermometer (Blundy, Holland, 1990).

Sample No.		Al(T)	X _{Ab}	P(kbar)	T(°C)
C-1-1	core	1.135	0.785	1.340	709
C-4-2	rim	1.046	0.656	0.965	749
	core	2.090	0.656	5.379	811
C-5-1	rim	1.309	0.660	2.079	756
	core	1.316	0.660	2.106	757
C-7-2	core	1.170	0.734	1.489	728
C-8-2	rim	0.900	0.838	0.348	657
	core	1.168	0.838	1.480	694
C-9-2	core	1.117	0.674	1.265	728
M-1-2	core	1.272	0.686	1.923	742
M-4-1	core	1.159	0.706	1.443	733
M-6-1	core	0.656	0.640	0.308	705

Al(T): total aluminum content of amphibole, X_{Ab}: mole fraction of albite in plagioclase defined by Orville(1972).

추정되어 Blundy, Holland (1990)의 지질온도계에 의해 고결온도를 계산하였다 (Table 3).

각섬석-사장석지질온도계에 의한 마산지역 화강암은 623~742°C (평균 683°C)이고 창원지역 화강암의 고결온도는 657~811°C (평균 724°C)이다. 보편적인 화강암의 subsolidus temperature와 일치하나 Kim *et al.* (1992)의 동위원소지질온도계에 의해서 계산된 경상분지 불국사화강암의 형성온도인 550~660°C보다 다소 높다. Lee (1994)는 마산, 진해, 부산지역의 화강암에 대하여 Tuttle, Bowen (1958)의 실험결과를 적용하여 이지역 화강암들은 1kbar, 730±10°C 내외에서 결정되었고 부산지역 미분상화강암의 석기의 결정작용은 1kbar 이

하의 천처에서 일어난 것으로 보고하였다. 결과적으로 창원과 마산지역 화강암은 모두 정상 퇴적분지 기타지역에 분포하고있는 불국사화강암 (P : 2~4.2 kbar, T : 680~770°C; Lee *et al.*, 1994)보다 압력과 온도가 더 낮게 얻어졌다.

유체 포유물

소위 마산암의 석영중에 포함된 유체포유물의 균일화 온도와 염농도 측정을 실시하였다. 측정은 Fluid Inc. gas-flow type fluid-inclusion system을 사용하였다. 균일화온도(Th)와 냉각온도(Tm)의 오차는 각각 ±1.0°C와 ±0.5°C이고, 염농도 측정은 H₂O-NaCl에서 freezing point 측정으로 계산되었다 (Potter *et al.*, 1978).

유체포유물은 특징에 따라 1차 포유물과 2차 포유물로

구분하고 liquid-rich inclusions (I형), vapor-rich inclusions (II형), monosolid inclusion (III형), multisolid inclusions (IV형)으로 구분하였다. I형은 vapor phase < 50%, II형은 vapor phase > 50%, III형은 halite-bearing inclusions과 sylvite-bearing inclusions을 가진것, IV형은 2개 이상의 solid가 포함된 포유물이다. I, II형은 주로 2차 포유물이고 III, IV형은 1차 포유물로 추정되었다. 각 지역 화강암류에 대한 균일화온도와 염농도 측정결과는 Table 4와 같다. 마산, 창원, 진해지역 화강암류의 균일화온도와 염농도는 포유물의 유형에 따라 현저히 다르다 (Fig. 8). 포유물내에 고체상이 존재하는 III형, IV형 포유물은 균일화온도와 염농도가 대단히 높다. 이같은 포유물은 화강암류 결정화 당시의 온도와 결정화과정에서 포획된 마그마 유체의 특성을 반영하고 있다. 그러나 I형과 II형 포유물은 일반적으로 쪼개짐면

Table 4. Fluid inclusion data for quartz from the Masan (M), Changwon (C) and Jinhae (J) granites.

Sample No.	Type	Size(μm)	Origin	Tm(°C)	Salinity (wt% equiv. NaCl)	Th(°C)
C-1-2b	I	5.0	S	-7.9	11.6	178
C-1-4	I	10.0	S	-11.2	15.2	214
C-1-6b	I	7.5	S	-3.4	5.5	227
C-1-1a	IV	6.5	P	-21.0	23.32	149 (h;467)
C-1-1b	III	15.0	P	-21.0	23.32	142.7 (h;492)
C-1-2a	IV	10.0	P	-37.0	34.6	122 (h;401)
C-1-3a	IV	5.5	P	-27.0	27.2	145 (h;450)
C-1-6a	III	5.5	P	-32.0	31.1	115 (h;504)
C-4-5	I	7.5	S	-1.7	2.9	251
C-4-2a	II	7.0	S	-3.0	4.9	274
C-4-3b	II	9.5	S	-2.0	3.4	350
C-4-6	II	7.5	S	-1.6	2.7	362
C-4-1	III	10.0	P	-7.0	10.5	191 (h;318)
C-4-3a	III	10.0	P	-27.0	27.2	231.5 (h;451)
C-4-8	III	7.5	P	-9.0	12.9	155 (s;239)
C-5-4	I	15.0	S	-1.8	3.1	288
C-5-7c	I	12.0	S	-5.9	9.1	224
C-5-2	II	7.5	S	-1.5	2.6	202
C-5-1	III	15.0	P	-28.0	27.9	168 (h;388)
C-5-3	IV	12.5	P	-22.0	24.6	190 (h;298, s;480)
C-5-7b	III	7.5	P	-28.0	27.9	152 (s;213)
C-7-1a	I	6.0	S	-4.0	6.4	246
C-7-1c	I	5.0	S	-2.5	4.2	232
C-7-3a	II	5.0	S	-3.0	4.9	370
C-7-2	III	10.0	P	-34.0	32.0	282 (h;> 525)
C-7-4b	III	6.0	P	-17.0	20.3	200 (s;300)
C-7-6a	III	10.5	P	-28.0	27.9	178 (h;457)
C-7-7c	III	5.0	P	-26.0	26.8	192 (h;339)
C-8-1b	I	7.5	S	-0.5	0.9	286
C-8-3	I	12.5	S	-0.8	1.4	207
C-8-4	I	10.0	S	-3.0	4.9	272
C-8-1a	II	5.0	S	-0.5	0.9	320
C-8-5	III	10.0	p	-32.0	31.1	174 (h;428)

Table 4. Continued.

Sample No.	Type	Size(μm)	Origin	Tm($^{\circ}\text{C}$)	Salinity (wt%. equiv. NaCl)	Th($^{\circ}\text{C}$)
C-9-2a	I	8.0	S	-2.0	3.4	174
C-9-3	I	15.0	S	-0.1	0.2	182
C-9-4	I	12.5	S	-0.5	0.9	209
C-9-1a	II	10.0	S	-1.0	1.7	300
C-9-2c	II	10.0	S	-1.8	3.1	302
C-9-5a	IV	7.5	P	-29.0	28.5	167 (h;440.5)
C-9-5b	III	9.0	P	-27.0	27.2	161 (h;437.9)
M-1-1b	I	5.5	S	-8.0	11.7	319
M-1-2b	I	10.5	S	-9.0	12.9	373
M-1-1a	II	5.5	S	-7.0	10.5	423
M-1-2a	II	10.0	S	-9.1	13.0	364
M-1-3a	III	10.0	P	-29.0	28.5	254 (h;450)
M-1-4	III	12.5	P	-33.0	31.8	287 (h;440)
M-2-4c	I	9.0	S	-9.1	13.0	356
M-2-7	I	15.0	S	-8.0	11.7	315
M-2-6	II	7.5	S	-22.0	24.6	339.5
M-2-2b	III	12.5	P	-21.0	23.32	151 (s;373)
M-2-4a	III	16.0	P	-26.0	26.8	307 (h;435.1)
M-2-5b	III	11.0	P	-20.0	22.0	190 (h;323)
M-2-1	III	9.0	P	-26.0	26.8	153 (h;358)
M-3-1a	I	7.5	S	-9.4	13.3	242
M-3-1b	II	6.5	S	-18.0	20.9	480
M-3-3	IV	10.0	P	-33.0	31.8	205 (h;439, s;471)
M-3-4	III	10.0	P	-31.0	30.2	235 (h;487)
M-3-5a	III	12.5	P	-30.0	29.4	159 (h;464)
M-3-5b	III	5.5	P	-31.0	30.2	160 (h;406)
M-4-1a	I	9.5	S	-1.5	2.6	255
M-4-1b	I	9.0	S	-1.5	2.6	297
M-4-2b	I	4.0	S	-3.0	4.9	216
M-4-3	I	10.0	S	-1.0	1.7	316
M-4-2a	III	5.5	P	-23.0	24.6	205 (S;232)
M-4-4	III	10.0	P	-8.0	11.7	335 (S;510)
M-4-5a	III	10.0	P	-25.0	26.1	218 (h;312)
M-4-5b	III	6.0	P	-27.0	27.2	195 (h;340)
M-4-5c	III	6.5	P	-28.0	27.9	204 (h;305)
M-5-1a	IV	12.5	P	-32.0	31.1	305 (h;541)
M-5-1b	III	10.0	P	-33.0	31.8	281 (h;525)
M-5-2	III	10.5	P	-35.0	32.8	319 (h;525)
M-5-3	IV	7.5	P	-25.0	26.1	291 (h; > 500)
M-5-5a	III	5.0	P	-32.0	31.1	182 (h;520.8)
M-5-5b	III	10.0	P	-34.0	32.0	164 (h;460)
M-5-5c	III	5.5	P	-30.0	29.4	165 (h;410)
M-6-2a	III	2.7	P	-32.0	31.1	227 (h;337)
M-6-3	III	4.0	S	-29.0	28.5	226 (h;333)
J-2-1-1b	I	9.0	S	-0.3	0.5	279
J-2-1-2c	I	12.5	S	-2.0	3.4	272
J-2-1-3	I	10.0	S	-4.5	7.2	275
J-2-1-1a	II	10.0	S	-0.7	1.2	385
J-2-1-2a	II	10.5	S	-2.2	3.7	271
J-2-1-2b	II	8.0	S	-2.0	3.4	354
J-2-2-1b	I	16.0	S	-1.5	2.6	280
J-2-2-2b	I	6.5	S	-2.9	4.8	251
J-2-2-2c	I	10.5	S	-2.1	3.6	235
J-2-2-1a	II	7.0	S	-4.0	6.4	390
J-2-2-2a	II	12.5	S	-5.4	8.4	420

P; primary inclusion, S; secondary inclusion, h; halite, s; sylvite.

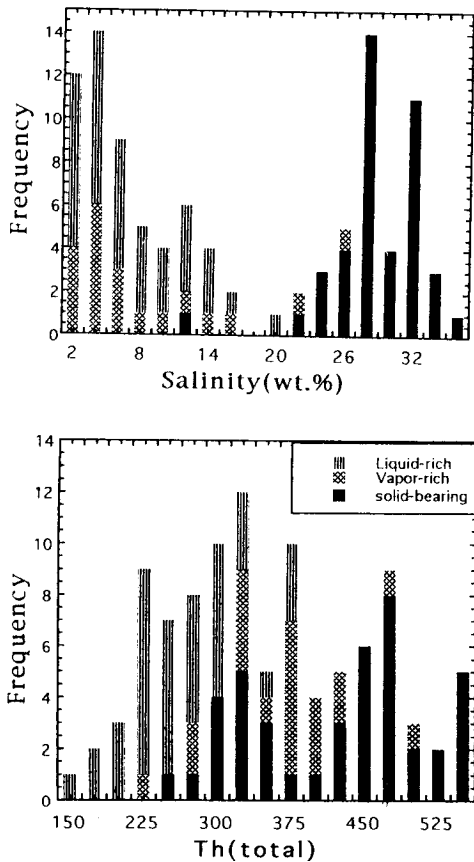


Fig. 8. Homogenization temperature (Th) and salinity histogram for the liquid-rich, vapor-rich and solid bearing inclusions.

을 따라 선상배열로 분포하는 2차 포유물의 특징을 나타내고 있다. 균일화온도와 염농도 역시 낮게 측정되어 화강암류의 관입 후 2차 열수변질과정에서 형성된 포유물로 추정된다. 유체포유물의 균일화온도에 의한 마그마 결정화 당시의 온도는 창원지역 화강암류 약 520~540°C, 마산지역 화강암류 520~560°C로 측정되었다. 이 같은 균일화온도는 각섬석-사장석지질온도계에서 얻어진 623~811°C 온도보다 다소 낮으나 동위원소지질온도계에서 얻어진 550~660°C (Kim *et al.*, 1992)와 유사한 온도범위를 나타내고 있다. 이는 이 지역의 관입암체가 천부 관입암체로 압력의 영향을 거의 받지 않았음을 잘 반영한다. 후기 열수변질과정시 온도는 창원 190~230°C, 마산은 220~250°C로 예상된다. 균일화온도와 염농도 사이의 관계를 보면 I형, II형과 III형, IV형 사이에 염농도와 균일화온도 차이가 크게 나타난다. 그러나 1차 산물인 III형, IV형도 NaCl의 포화곡선상에 도시되지 않

는다 (Fig. 9). Yang, Kim (1993)의 경상분지 동남부 (경주, 언양, 부산지역) 에 분포하는 불국사화강암류의 유체포유물의 연구결과와 박성숙 (1995), 김규한 등 (1996)의 경상분지지역내 몇몇지역의 불국사 화강암류에 대한 연구결과에서도 이와 같은 경향이 얻어졌다. 현저히 낮은 균일화온도와 염농도를 가지는 화강암은 2차 열수변질의 영향으로 생각된다. 이같은 현상은 불국사화강암이나 소위 마산암이 관입시에 천부 관입으로 인해 순환수의 영향과 후기 열수변질작용을 받은 것으로 해석할 수 있다. 또한 불국사화강암류에 대한 유체포유물 측정결과와 비교해보면, 불국사화강암류의 최고 균일화온도는 경상분지 동남부의 불국사 화강암의 520°C 이상의 균일화온도 (Yang, Kim, 1993)와 화강암 subsolidus 최저온도와 유사한 540~560°C (김규한 등, 1996)로서 본 연구지역의 결과 (520~560°C)와 유사하다. 염농도는 본 연구에서는 최고 34.6wt.% NaCl 이하인데 반해 불국사 화강암의 염농도값은 0.5-60wt% NaCl (Yang, Kim, 1993), 40~77wt.% NaCl (김규한 등, 1996)의 범위를 나타내고 있다. 이와같이 마산, 창원, 진해지역의 유체포유물의 균일화온도와 포유물의 특징 및 염농도 측정결과는 경상분지 동남부의 경주, 언양, 부산지역에 분포하는 화강암류에 대한 연구 결과 (Yang, Kim, 1993) 와도 유사하다.

가스 분석

창원지역과 마산지역의 화강암질 마그마의 기원과 티탄철석계 화강암과 자철석계 화강암의 구분을 위하여 이들 지역의 대표적인 화강암류의 전암 시료에서 가스를 추출·정량화하였다. 가스분석 방법은 Welhan (1988) 과 Andraues, Gibson (1979)의 추출방법에 의하여 추출된 가스를 가스 크로마토그래피로 분석하였다. 가스분석은 일본 나고야대학 행성지구과학과에서 실시하였다. 분석결과는 Table 5와 같다. 창원, 마산지역 화강암은 C-4 시료를 제외한 모든 시료가 CO₂ 가 0.38~2.65×10⁻⁶ mol/cm²이며 CH₄은 0.05~0.18×10⁻⁶ mol/cm²로 CH₄ 함량에 비해 CO₂ 함량이 높다. Sugisaki *et al.* (1994)에 의하면 티탄철석계 화강암 (Ilmenite series granites)은 CH₄의 함량이 높고 자철석계 화강암 (Magnetite series granites)은 CO₂의 함량이 높다. 본 지역의 화강암류는 CH₄/CO₂비가 0.02~0.47로 모두 CO₂ 함량이 우세한 자철석계 화강암의 특징을 나타내고 있다 (Fig. 10). 이는 지화학적 연구와 magnetic susceptibility 측정결과 (조동룡, 권성택, 1994)와도 잘 일치하고 있다.

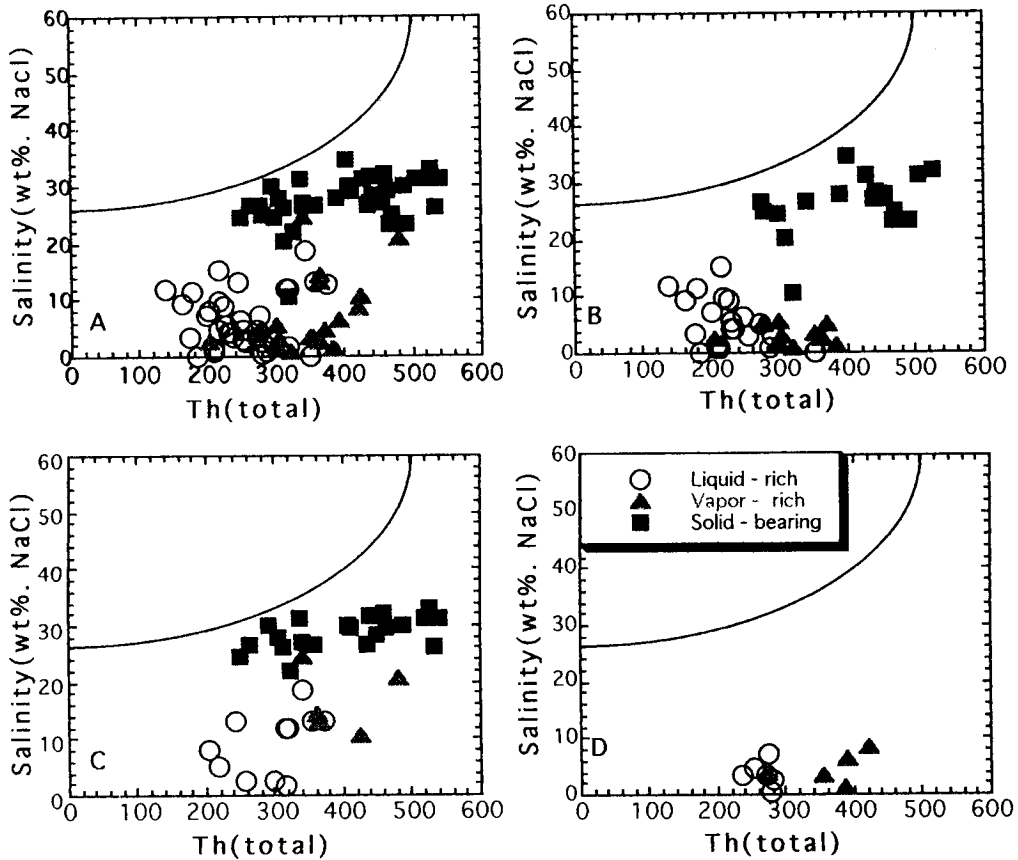


Fig. 9. Temperature of homogenization vs. salinity for liquid-rich, vapor-rich and solid bearing inclusions. A; Whole area, B; Changwon, C; Masan, D; Jinhae. The dashed line is the solubility curve of NaCl.

Table 5. Gas compositions of granitic rocks from the Changwon and Masan areas ($\times 10^{-6}$ ml/cm²).

Sample	C-1	C-4	C-5	C-8	M-1
H ₂	6.51	5.62	9.10	5.77	6.88
O ₂	152.53	81.64	89.24	42.24	9.22
N ₂	766.53	436.54	452.63	181.05	205.02
CO	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
CH ₄	0.18	0.09	0.05	0.18	0.09
CO ₂	2.65	0.00	2.35	0.38	0.59
CH ₄ /CO ₂	0.07	0.09	0.02	0.47	0.15

논 의

경상분지에 분포하는 백악기~제 3기 초 화강암류는 하부지각 또는 상부맨틀에 있는 화성기원 기반암체로부터 모그마의 분별결정작용에 의해 형성되었음을 시사하는 지화학적 특징을 가지고 있다 (Jin, 1981; Hong, 1987; Tsusue *et al.*, 1981, 1986; Lee, 1991; 조등룡, 1992;

Lee *et al.*, 1994). 불국사화강암류와 소위 마산암에 대한 이들의 암석지화학적 연구는 쥬라기 화강암류보다 천부 관입암체인 것으로 해석하고 있다. 화강암류의 산소안정 동위원소 연구 (Kim *et al.*, 1992)에서 암석성인 모델은 이들 화강암류의 마그마를 Kula-Pacific판의 섭입에 따른 상부맨틀 물질의 부분용융으로 생성된 calc-alkaline 마그마로 해석하였다.

Jin (1980, 1981) and Jin *et al.* (1981)은 백악기~제3기 화강암류중 창원, 마산 일대의 화강암류의 (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)가 0.7040~0.7070로서 이들 화강암류가 맨틀 혹은 화성기원임을 밝힌바 있다.

Kwon, Tilton (1992)은 Nd, Sr 동위원소 연구에서 경상퇴적분지내의 불국사화강암은 맨틀물질이 우세함을 보고하였다. Kim *et al.* (1996)은 Nd, Sr 연구에서 (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)가 0.704~0.706, ε_{Nd}=-4.4~+0.4인 맨틀기원으로 해석하였다.

불국사화강암과 마산암의 암석학적 연구내용의 비교는

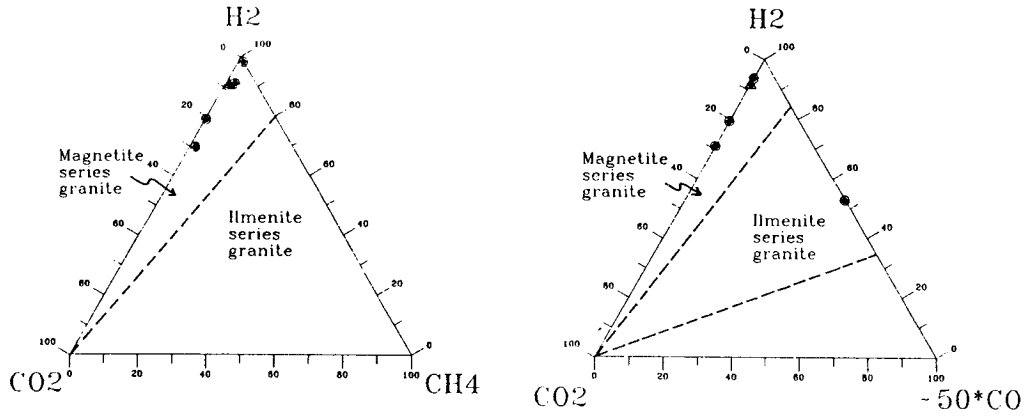


Fig. 10. Comparison of ilmenite series granite vs. magnetite series granite on H₂-CO₂-CH₄ and H₂-CO₂-CO plots (Sugisaki et al., 1994). Solid triangle: granite from the Masan area, Solid circle: granit from the Changwon area.

Table 6. Comparison between the Bulguksa granite and the Masanite.

	Bulguksa granite	Masanite
Common rock type	Granodiorite, adamelite, hornblende granite, hornblende-biotite granite, porphyritic granite, biotite adamelite, alkali granite, tonalite, hornblende granodiorite, granite	Quartz monzonite (Koto, 1909), granodiorite, adamelite, tonalite quartz diorite, perthite granite, hornblende granite, biotite granite, granite porphyry, alkali-feldspar granite; Kim and Kim (1963), Park (1980), Lee (1969, 1991), Jin (1985a, 1985b), Hong (1987), Tsusue <i>et al.</i> (1986),
Characteristic mineral and texture	microperthite	micrographic texture, miarolitic cavity
Age	Cretaceous~early Tertiary	Cretaceous-early Tertiary
Temperature and depth of emplacement	616~700°C, <3.0kbar (10km); Cho (1992), Cho, Kwon (1994). 680~770°C, 2.0~4.2kbar; Lee <i>et al.</i> (1994), 550~660°C; Kim <i>et al.</i> (1992)	1.7~1.8kbar; Lee (1991) 683~724°C, 1.2~1.4kbar; this study
(⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr) _i , (¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd) _i	0.704~0.706, 0.5122~0.5125; Kim <i>et al.</i> (1996). 0.704~0.707; Jin (1980, 1988)	0.704~0.707; Jin (1980, 1981)
Origin of magma	mantle dominant or mantle source related to subduction	mantle source related to subduction

Table 6과 같다. Table 6에서와 같이 경상분지내의 불국사 화강암류와 마산, 창원, 진해지역에 분포하는 소위 마산암의 암석구성, 광물특징, 관입시기, 동위원소조성, 마그마의 기원등 이 모두 유사하다.

Koto (1909)가 명명한 마산암은 마산지역에 분포한 granophytic 기질에 누대구조가 발달한 장석 및 corroded 석영의 반정을 가지고 있는 미분상조직의 석영몬조니암을

말한다. 그러나 소위 마산암으로 알려진 본 연구지역의 대표적인 화강암은 모드 분석에서 화강암과 화강섬록암 영역에 도시되었고, 주성분원소의 노름값을 이용한 Qz-Or-Pl diagram에서는 대부분 화강섬록암 영역에 도시되었다. 현미경상의 광물학적 특징은 경상퇴적분지내 기타 불국사화강암에 대한 기존 연구결과와 유사하다. 즉, 현미경상에서 보여지는 porphyritic texture, micrographic texture,

miarolitic texture, myrmekitic texture, perthite, zoning texture 등의 특징적인 구조와 조직은 불국사화강암 (Jin, 1985)에서도 공통적으로 보여지고 있다. 이러한 결과를 종합해보면 본지역의 화강암에 대해 사용하고 있는 마산암의 암석명은 구분이 모호하고 잘못 인용되었으며 많은 연구자들이 용어를 혼용 또는 오용하고 있음을 알 수 있다. 따라서 마산암의 암석명 사용 대신에 암석학적 특징에 따른 암석명 명명이 요구된다.

결 론

1. 마산, 창원, 진해지역의 소위 마산암은 석영과 알카리장석의 미문상구조, 밀메카이트, 퍼사이트, 사장석의 누대구조가 특징적으로 나타나고 있으며 노움 성분과 모드 분석 결과 화강암과 화강섬록암에 해당된다. 화강암질암은 calc-alkaline계의 특성과 I-type의 지화학적 특성을 나타내고 마산과 창원지역 화강암은 metaluminous한 특성을 가지며 진해지역 화강암은 peraluminous한 특징을 갖는다.

2. 화강암질암의 사장석 성분은 마산 An (core : 39.55~50.96, rim : 21.76~9.33), 창원 An (core : 1.76~54.2, rim : 12.8~37.72), 진해 An (core : 12.99~34.23, rim : 16.58)로서 변화폭이 넓고 대체로 안데신 ($An_{32.12-49.90}$)에 해당한다. 사장석 결정의 주변부와 중심부 사이의 큰 성분적 차이는 온도변화가 큰 천부에 관입한 화강암임을 가리키고 있다.

3. 화강섬록류에 속하는 마산지역 화강암의 각섬석은 actinolitic-hornblende, 창원지역의 것은 edenite에 해당된다. 이들의 치환은 edenite 방식과 tschermakite 방식이 우세하고 각섬석의 지화학적 특징은 불국사화강암과 유사하다. 각섬석 지질압력계와 각섬석-사장석지질온도계에 의해 계산된 관입 당시의 압력은 마산과 창원지역 각각 평균 1.2 (± 0.5)kbar와 1.4 (± 0.5)kbar이며 온도는 마산과 창원지역 화강암이 각각 평균 683°C와 724°C이다.

4. 석영내에 1차 산물인 III형, IV형의 유체포유물은 균일화온도가 298~541°C (평균 425°C)이며 염농도는 10.5~34.6wt.% NaCl (평균 28.2 wt.% NaCl)이다. 낮은 균일화온도와 염농도를 가지는 석영내의 2차 포유물인 I형, II형 포유물의 균일화온도는 창원지역 화강암이 174~370°C (평균 257°C), 마산지역 화강암이 216~480°C (평균 330°C)이고 염농도는 창원지역 화강암이 0.2~15.2wt.% NaCl (평균 4.3wt.% NaCl), 마산지역 화강암이 1.7~24.6 wt.% NaCl (평균 11.0wt.% NaCl)이다. 이같은 염농도의 변화와 균일화온도의 변화는 화강암 관입시 천부 관입으

로 순환수의 영향과 후기 열수변질의 영향을 받았음을 지시한다.

5. 전암중의 가스 분석 결과, 본 연구지역 화강암은 모두 CO₂가 우세한 자철석계 화강암의 특징을 나타내고 있다.

소위 마산암은 화강암과 화강섬록암으로 광물특성, 압력, 온도등에서 천부 관입암체의 특성을 나타내며 암석구성, 관입시기, 암석 지화학적 특징, 성인등에서 경상퇴적분지 기타지역에 분포하고 있는 불국사화강암류와 유사하다. 따라서 Koto (1909)에 의해 명명된 석영문조니암을 지칭한 소위 마산암에 대하여 많은 학자들이 잘못 인용 사용하고 있다.

사 사

본연구는 1995년도 이화여자대학교의 연구지원과 교육부기초과학연구소 지원연구비에 의해 수행되었다. 전략광물자원연구센터의 분석지원에도 사의를 표한다.

참고문헌

- 김규한, 박성숙, 杉崎隆一 (1996) 남한의 중생대 화강암중의 가스성분과 유체포유물연구. 자원환경지질 (투고중).
- 김규한, 이진수 (1993) 경상퇴적분지내에 분포하는 백악기 화산암류의 암석지화학적 연구. 지질학회지, 29권, p. 84-96.
- 김종환, 김정택 (1963) 마산도폭 및 설명서. 국립지질조사소.
- 박성숙 (1995) 남한의 중생대 화강암류의 네오디움-스트론튬 동위원소 및 유체 포유물연구. 이화여자대학교 교육대학원 석사학위논문. 83p.
- 이상만, 김상욱, 진명식 (1987) 남한의 백악기~제 3기 화성활동과 지구조적 의의. 지질학회지, 23권, p. 338-359.
- 이준동 (1969) 마산부근 화강암질암체의 분화작용에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문, 70p.
- 이준동 (1991) 경남 진동-마산일대의 화강암류에 관한 암석학적 연구. 지구과학회지, 12권, p. 230-247.
- 이화정 (1996) 경상퇴적분지내에 분포하는 소위 마산암에 대한 암석성인연구. 이화여자대학교 교육대학원 석사학위논문, 78p.
- 조동룡 (1992) 남한에 분포하는 현생 화강암류의 기원에 대한 광물 및 암석화학적 연구. 연세대학교 박사학위논문, 189p.
- 조동룡, 권성택 (1994) 남한의 중생대 화강암에 대한 각섬석 지압계와 지각두께의 진화. 지질학회지, 30권, p. 41-61.
- Andrawes, F.F. and Gibson, E.K. (1979) Release and analysis of gases from geological samples. Am. Min., v. 64, p. 453-463.
- Blundy, J.D. and Holland, T.J.B. (1990) Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer. Contr. Mineral. Petrol., v. 104, p. 208-224.
- Hong, Y.K. (1987) Geochemical characteristics of Precambrian, Jurassic and Cretaceous granites in Korea. Jour. Korean Inst. Mining Geol., v. 20, p. 35-60.
- Jin, M.S. (1980) Geological and isotopic contrasts bet-

- ween the Jurassic granites and the Cretaceous granites in Southern Korea. *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 16, p. 205-215.
- Jin, M.S. (1981) Petrology and geochemistry of the Cretaceous granitic rocks in Southern Korea. Unpubl. Ph. D. Thesis in Seoul National University, 144p.
- Jin, M.S., Kim, S.Y. and Lee, J.S. (1981) Granitic magmatism and associated mineralization in the Gyeongsang basin. *Korean Inst. Mining Geol.* v. 31, p. 245-260.
- Jin, M.S. (1985a) A relationship between tectonic setting and chemical composition of the Cretaceous granitic rocks in Southern Korea. *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 21, No. 2, p. 67-73.
- Jin, M.S. (1985b) 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.
- Jin, M.S. (1988) Geochemistry of the Cretaceous to Early Tertiary granitic rocks Southern Korea, Pt. 2, Trace elements geochemistry. *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 24, Spec. Issue, p. 168-188.
- Johnson, M.C. and Rutherford, M.T. (1989) Experimental calibration of the aluminum-in-hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera (California) volcanic rocks. *Geol.* v. 17, p. 837-841.
- Kim, K.H., Satake, H. and Mizutani, Y. (1992) Oxygen isotopic compositions of Mesozoic Granitic rocks in South Korea. *Korean Inst. Mining Geol.*, v. 42, p. 311-322.
- Kim, K.H., Park, S.S. and Na, C.K. (1996) Nd and Sr isotopic signatures of Mesozoic granitoids in South Korea. *Res. Geol.* (in print).
- Koto, B. (1909) Journeys through Korea. *Imp. Univ. Tokyo, Coll. Sci. Jour.*, v. 26, p. 1-199.
- Kwon, S.T. and Tilton, G.R. (1992) Nd-Sr isotope study Phanerozoic granitoids in South Korea: Implications for basement structure and tectonics of East Asia. *Abst., IGC 29th Kyoto*, v. 3, 109p.
- Leake, B.E. (1971) On aluminous and edenitic hornblendes. *Miner. Mag.*, v. 38, p. 389-407.
- Lee, I.H., Tsusue, A. and Hori, T. (1994) Amphibole chemistry of Jurassic and Cretaceous granitic rocks in South Korea: 1. Pressure and temperature of intrusions. *Res. Geol.*, v. 44, p. 125-132.
- Lee, J.I. (1991) Petrology, mineralogy and isotopic study of the shallow-depth emplaced granitic rocks, southern part of the Kyeongsang Basin, Korea: Origin of Micrographic granites. Ph.D. thesis, Tokyo Univ., 197p.
- Lee, J.I. (1994) Major element geochemistry of the shallow-depth emplaced granitic rocks, southern part of the Kyeongsang basin, Korea. *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 30, p. 482-496.
- Lee, S.M. (1972) Granites and mineralization in Gyeongsang Basin. *Memoirs in Celebration of the 60th birthday of Prof. C.M. Son*, p. 215-220.
- Park, B.Y. (1980) Granites in Masan area with special reference to their chemical variations. *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 16, p. 135-148.
- Potter, R.W., Clynne, M.A. and Brown, O.L. (1978) Freezing point depression of aqueous sodium chlorite solutions. *Econo. Geol.*, v. 73, p. 284-285.
- Streckeisen, A.L. (1973) Plutonic rocks, classification and nomenclature recommended by the I.U.G.S. Subcommittee on the Systematics of Igneous rocks. *Geotimes*, v. 18, p. 26-30.
- Sugisaki, R., Araki, M. and Nagamine, K. (1994) Distribution of carbon-bearing gas species in plutonic rocks and their behaviors in igneous processes. in press.
- Tsusue, A., Mizuta, T., Watanabe, M. and Min, K.G. (1981) Jurassic and Cretaceous granitic rocks in South Korea. *Mining Geol.*, v. 31, p. 261-280.
- Tsusue, A., Mizuta, T., Tamai, T., Kim, S.W. and Ohyoshi, A. (1986) Korean granitic rocks: Trace element evidence regarding their differentiation: 1. Ba, Sr and Rb relationships. *Mining Geol.*, v. 36, p. 339-350.
- Welhan, J.A. (1988) Methane and hydrogen in mid-ocean ridge basalt glasses: analyses by vacuum crushing. *Can. Jour. Earth Sci.*, v. 25, p. 38-48.
- Won, C.K. (1968) The study on the Cretaceous igneous activities in the Kyeongsang basin (I). *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 4, p. 215-236.
- Yang, K.H. and Kim, J.J. (1993) Fluid inclusion study of the granitoids in the southeastern Kyeongsang Basin. *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 29, No. 6, p. 551-565.