

경주감포 일대 화강암체의 암석학적 연구

이준동 · 김종선 · 우상진 · 황병훈 · 김인수 · 김진섭 · 백인성¹

부산대학교 지질학과 · ¹부경대학교 지구환경과학부

요약: 한반도 동남부 경상분지 내의 양산 단층 동부에 분포하는 경주-감포일원 4개의 소규모 화강암체에 대한 암석 기재학적 및 지화학적 특징을 밝히고, 그 기원과 상호 관계 규명에 대해 연구하였다. 야외 관찰 및 현미경 관찰에 따른 광물 함량과 조직에 근거해서 화강섬록암, 반상 화강암, 등립질 화강암의 3개 암상으로 분류하였다. 모드 분석결과에 의하면, 대본 화강암체의 북부와 남부 지역이 화강섬록암의 영역에 도시되었고 나머지는 전부 화강암 영역에 도시되었다. 본 지역의 화강암류는 비알칼리 계열 중에서도 칼크-알칼리 계열에 속한다. 희토류원소를 콘드라이트에 표준화시키면 경희토류원소가 중희토류원소보다 부화되어 있으며, 오유 화강암체와 대본 등립질 화강암체에서 가장 낮은 값을 보인다. 연구 지역의 화강암질암체 최소 용융물질의 정출 압력은 약 0.5~1 kbar이고 정출 온도는 700~820°C로 추정된다. 기재적 특성과 지화학적 자료 및 동위원소 연대측정 자료들에 의하면, 오유 화강암체는 팔레오세의 별개 화강암체이고 대본 화강섬록암, 산서 반상 화강암, 호암 등립질 화강암체는 에오세의 동일 기원 마그마 분화산물로 추정된다.

핵심어: 양산 단층 동부, 화강암, 희토류원소, 팔레오세, 동일 기원 마그마

서 론

한반도 동남부의 신생대 제3기 분지내에는 그 관입시기가 제3기에 해당되는 것으로 알려진 소위 제3기 화강암류들이 분포하고 있다. 이들 화강암류중 경주-감포 지역에 관입 상태로 나타나는 소규모 화강암체에 관해서 최근 절대연령 측정(진명식 외, 1989, 1991; 김근수 외, 1995; Lee, 1980; Kim *et al.*, 1997)이 행하여진 바 있다. 그 결과 관입시기를 백악기말(Tateiwa, 1924)로 취급해 오던 것 중의 상당부분이 60~34 Ma의 범위에 해당된다는 것으로 밝혀진 바 있다. 그러나 이들 연구의 대부분이 관입연령을 구하는 것에 치중해 있으며 암석학적인 분류 및 성인 등 제3기 화강암체들 간의 상호관계에 대한 연구는 미미한 실정이다.

양산단층과 울산단층을 경계로 동측에 분포한 이 암체들은 북위 35°40'~35°55', 동경 129°20'~129°30' 범위에 위치해 있다. 행정구역상으로는 경상북도 경주시와 장기면, 감포읍, 양북면, 오천면에 걸쳐 산재해서 나타나고 있다. 본 연구는 윤선(1988)에 의해 기술된 바 있는 경북 월성군 호암리와 산서리, 오유리 일원에서 에오세 전기~중기의 왕산층을 관입하고 있는 화강암체와, 이들 암체와 인접한 경주시 감포읍 대본리 일원에서 경상누층군 퇴적암류를 관입하고 있는 화강암체를 대상으로 이들 화

강암체들의 산출상태, 암석 조직, 화학 조성을 비교, 연구하여 암석학적인 분류와 성인 그리고, 이들 제3기 화강암체들 간의 상호 관계에 대해서 연구하였다. 연구 지역의 기존 보고서는 축척 1:5만 조양, 구룡포, 연일도폭(Tateiwa, 1924)이 있는데, 야외 지질조사 결과 많은 부분의 수정이 필요 하였다.

지질개요

연구 지역은 서부에 북북동~남남서 방향의 양산 단층과 북서~남동 방향의 울산단층으로 구획되어 있다. 그리고 이 주위에 소규모의 단층들이 다수 있다. 본 지역의 지질은 한반도 동남부 제3기 분지인 양남분지(Yoon, 1986)의 중앙부에 해당되는 곳으로, 기반암은 하위로부터 백악기 경상분지의 충전물인 경상누층군의 퇴적암류와 백악기말~고제3기의 화강암류, 그리고 고제3기(Paleogene)의 석영안산암 내지 유문암질 화산암류이다. 이들 기반암 위에 신제3기 마이오세 지층들(범곡리층군, 장기층군, 연일층군)이 부정합으로 놓이고, 이들을 다시 부정합으로 제4기 지층들이 피복하고 있다(그림 1).

경상누층군의 백악기 퇴적암류는 일부 유천층군의 화산암류를 제외하고는 대부분 하양층군의 퇴적암류인데, 연구 지역의 기반암을 이루는 퇴적암류는 울산도폭의 울산층, 대구도폭의 대구층 그리고

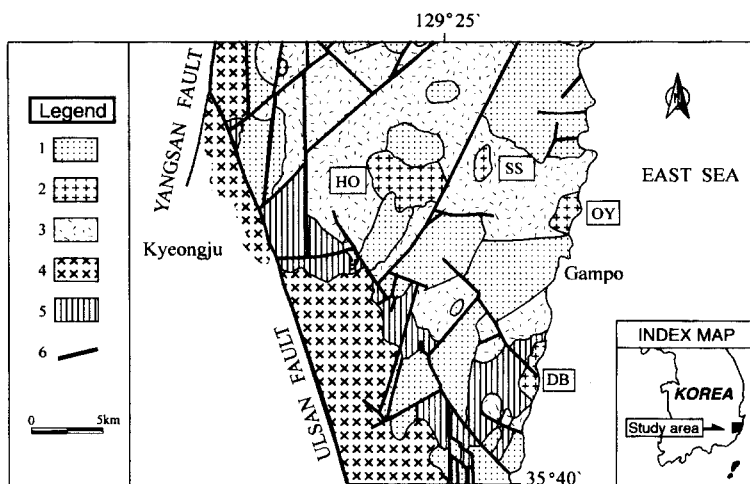


Fig. 1. Geological map of the study area (modified from Yoon, 1992). DB: Daebon granite, HO: Hoam granite, OY: Oyu granite, SS: Sanso granite. [1: Neogene rocks, 2: Paleocene to Eocene granitic rocks, 3: Paleogene volcanic rocks (Wangsansan Formation), 4: Bulgugsa granitic rocks, 5: Cretaceous sedimentary rocks, 6: Faults.]

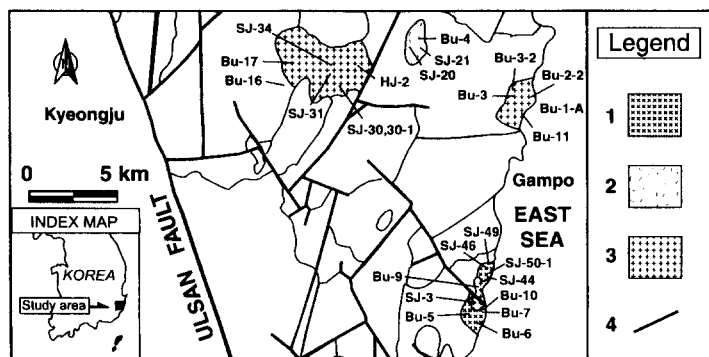


Fig. 2. Sampling sites and litho-facies map of the granitic rocks. [1: Equigranular granodiorite, 2: Porphyritic granite, 3: Equigranular granite, 4: Faults.]

마산도폭의 함안층에 대비되는 것으로 알려져 있다 (박양대, 윤형대, 1968; 최위찬 외, 1988). 이 퇴적암류는 암회색, 녹회색, 흑색, 적갈색의 사암과 이암의 호층으로 구성되어 있으며, 후기의 광범위한 화성활동의 결과로 대부분 호운펠스로 변화하여 있다. 본 암류는 주로 북동방향의 주향과 북서방향의 경사를 나타내지만, 후기의 단층 및 화성암체의 관입에 의해서 층리면의 자세는 지역에 따라 교란되어 있다.

화강암류는 양산단층과 울산단층을 따라 비교적 큰 암체로 대상분포하는 불국사 화강암류와 동부의 제3기 분지 내에서 소규모의 암주상으로 분포하는 제3기 화강암류로 대별된다. 이 소규모 화강암체들 중 경상북도 포항시 오천읍과 경주시 양북면의 호

암리에 걸쳐 분포하고 있는 화강암체를 호암 화강암체로, 경북 포항시 장기면 산서리에 있는 화강암체를 산서 화강암체로, 경북 감포읍 오유리에 있는 화강암체를 오유 화강암체로, 경북 양북면 봉길리와 감포읍 대본리에 있는 화강암체를 대본 화강암체로 명명하여 표기하였다. 이 화강암류는 Tateiwa (1924)에 의해 백악기의 흑운모화강암으로 기재되어 있으나, 고제3기의 흑운모화강암, 각섬석화강암, 화강섬록암 등으로 구성되고(정영부, 1985), 백악기 이후 고제3기의 화성 활동에 의해 생긴 화강암체들로 보고되었다(김근수 등, 1995; Kim et al., 1997). 이들 화강암류에 대한 절대연령측정 결과들(진명식 외, 1989, 1991; 김근수 외, 1995; Lee, 1980; Kim et al., 1997)은 그 정치시기가 신생대 초(60~

Table 1. Modal Composition of the granitic rocks in the study area.

Region		Hoam						Sanseo				
Rock Type		EG						PG		EG		
Sample No.	HJ2	Bu16	Bu17	SJ30	SJ30-1	SJ31	SJ34	Bu4	SJ20	SJ21	SJ3	Bu9
Quartz	31.0	34.4	30.1	42.9	44.9	25.0	25.9	28.4	27.0	31.5	39.1	37.9
alkali feldspar	41.7	46.6	40.6	32.7	38.0	29.1	44.2	23.5	24.5	31.8	34.7	28.3
Plagioclase	19.8	10.8	17.5	14.3	13.8	35.3	19.3	31.6	34.7	28.0	22.5	31.2
Biotite	4.1	7.5	7.4	7.5	1.8	3.2	7.2	8.0	7.8	2.3	2.8	1.4
Hornblende	2.0				0.7	4.6		6.3		4.6		
Opaque	0.7	0.6	3.2	1.9	0.1	1.5	1.6	2.1	5.5	1.2	0.3	1.0
Zircon			0.9	0.3		0.5	1.5					
Epidote					0.5							
Others	0.2				0.3							
Total	99.5	99.9	99.7	99.6	99.6	99.7	99.7	99.9	99.5	99.4	99.4	99.8

Region		Daebon						Oyu				
Rock Type		GD						EG				
Sample No.	Bu5	Bu7	Bu6	Bu10	SJ44	SJ46	SJ49	SJ50-1	Bu1A	Bu2-2	Bu3	Bu11
Quartz	28.8	32.8	25.7	32.7	28.5	30.5	24.4	28.3	41.1	37.4	33.5	40.0
alkali feldspar	16.6	17.8	8.2	24.6	26.7	21.9	18.1	19.5	37.7	30.3	39.8	42.6
Plagioclase	42.1	39.6	47.5	39.7	37.1	39.7	43.5	38.4	19.6	28.7	17.9	12.0
Biotite	8.5	5.6	14.9	2.0	4.3	5.2	4.8	9.2		2.2	7.0	
Hornblende	1.2	1.3		1.6	0.3	7.2	2.7					
Opaque	1.1	1.4	3.6	0.2	1.2	1.4	1.5	1.2	0.6	1.1	1.2	0.4
Zircon												
Epidote	1.5	1.1									0.3	3.2
Others				0.5	0.5	0.4	0.2	0.3	0.8			1.4
Total	99.8	99.6	99.9	99.7	99.9	99.4	99.7	99.6	99.8	99.7	99.7	99.6

Abbreviations: EG - equigranular granite, GD - granodiorite, PG - porphyritic granite.

34 Ma)임을 지시하고 있다.

석영안산암 내지 유문암질 화산암류는 윤선(1988)에 의해 왕산석영안산암질 화산암(혹은 왕산층; Yoon, 1990, 1992)으로 명명되었으며, 제3기층 화산암류 가운데 최고기의 것으로, 조사지역에서 가장 광범위하게 분포하고 있다. 본 암류는 Tateiwa(1924)에 의해 백악기의 반암류로 기재되어 있으나, 연령측정 결과 한반도 동남부의 제3기 화산암 중 최고기인 예오세 전기~중기의 것으로 밝혀졌다(46~57 Ma, K-Ar 및 Fission-track 法; 진명식 외, 1988, 1989). 왕산층은 주로 테사이트, 유문암, 석영안산암질 용결응회암 및 화산각력암 등으로 구성되어 있다.

기반암을 부정합으로 피복하는 신제3기 지층은 모두 마이오세 암석들로서, 마이오세 전기의 테사이트질암 및 안산암-현무암질암 화산암류와 육성퇴적암류(범곡리층군 및 장기층군) 및 마이오세 전기~중기의 해성퇴적암류(연일층군)로 구성된다.

화강암의 산출상태 및 암석기재

연구 지역의 화강암체를 야외 산출상태 및 현미경 관찰에 의한 광물 조성파와 조직에 근거하여 등립

질 화강섬록암, 반상 화강암, 등립질 화강암의 3개 암상으로 나누었다(그림 2). 화강암 시료 60 여개의

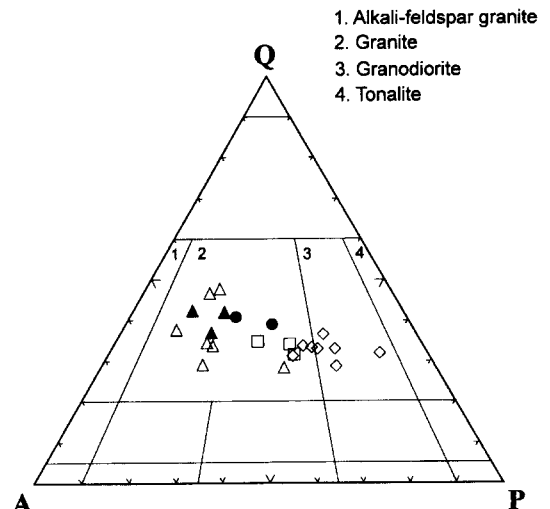


Fig. 3. Modal quartz(Q)-alkali feldspar(A)-plagioclase(P) diagram for the granitic rocks after Streckeisen(1976). [△: Hoam equigranular granite, ▲: Oyu equigranular granite, □: Sanseo porphyritic granite, ●: Daebon equigranular granite, ◇: Daebon granodiorite.]

시료에서 50 여개의 박편을 제작하여 각 암상별로 대표적인 것을 24개 선별하여 모드분석을 한 결과를 표 1에 나타내었다. 이 모드치를 근거로 하여 Q-A-P 삼각도에 도시하여 보면, 대본 암체는 대부분 화강섬록암 영역에 도시되지만 일부 시료가 화강암 영역에 도시되고, 산석과 오유, 호암 화강암체는 화강암 영역에 도시된다(그림 3).

모드치에 의한 본 역의 화강암질 암체 내의 광물 함량을 살펴보면, 석영의 함량이 약 25.0~44.9%, 정장석의 함량이 약 8.2~46.6%, 사장석의 함량이 약 10.8~47.5%로 광물의 함량 범위의 차이가 크다. 표 1에서 사장석의 함량이 증가함에 따라 유색광물의 함량도 약간씩 증가하는 경향을 볼 수 있다.

화강섬록암

화강섬록암은 대본 화강암체의 남부와 북부에서 나타나고 있다. 본 암상은 연구지역 암체들 중 남부 봉길리의 대왕암 하부 해변가에 있는 노두들에서 염기성 미립 포획암(mafic microgranular enclave)이 다량 나타나고 북부에서는 일부 해변가에서 소량 나타날 뿐 거의 나타나지 않는다. 암색은 남부에서는 주로 암회색에서 담녹색으로, 북부는 암녹색으로 나타나며 북부의 한 노두에서 암색이 크게 달라지는 경우도 발견할 수 있었다. 유색광물의 함량이 비교적 많으며 지역에 따라 세립질이나 중립질을 보여주며 대체로 등립질을 보이고 있으며, 일부는 흑운모와 각섬석 반정을 포함하는 경우도 있다. 남부 해변의 노두에서 포획암을 자르는 소규모 절리를 비롯해서 제3기 분지의 복잡한 구조환경을 볼 수 있으며 내륙의 노두에서는 암석 내부에 존재하는 미세 절리면을 따라 열수 용액의 영향으로 판단되는 황철석과 녹염석 등의 광물이 충전한 모습이나 황철석 맥을 볼 수 있다.

화강섬록암은 현미경하에서 사장석, 석영, 정장석, 흑운모, 각섬석, 인회석, 견운모, 저어콘, 녹니석, 녹염석, 불투명광물 등이 관찰된다. 각섬석과 흑운모 결정들이 균질을 이루면서 미립(0.1 mm 내외)의 크기로 자형 내지 반자형으로 나타나는 것이 특징이다. 모드 분석에서 가장 함량이 많은 사장석은 반자형 내지 타형의 형태로 나타나며, 알바이트 쌍정과 칼스반드 쌍정이 뚜렷이 나타나지 않는 경우가 많고 소슈라이트화작용을 받아 중심 부분이 변질된 모습을 보여주어 식별이 어렵고 간혹 누대구조가 나타난다. 석영은 타형으로 나타나고 국부적인 파동소광을 보인다. 정장석은 퍼사이트 조직을

보여주기도 한다. 특징적으로 대본 암체의 중심부를 가로지르는 대종천을 중심으로 북부의 박편 시료에서 미문상 조직을 다수 볼 수 있으며, 석영 또는 장석내의 포이킬리틱 조직을 볼 수 있다. 유색광물은 주로 흑운모로 구성되는데 흑운모는 보통 갈색이나 녹색, 연녹색을 많이 띠는 세립질로 잘 나타난다.

이와 같이 대종천을 중심으로 한 북부지역에서만 미문상 조직이 나타나며 암색이 남부에 비해 북부가 암녹색 등으로 짙은 점, 그리고 포획암이 북부에는 거의 나오지 않는 등의 차이로 미루어 볼 때 북부 암체와 남부 암체가 서로 인접하고 있지만 다른 암체일 가능성도 배제할 수 없다. 그리고 대본 암체에서 정장석의 퍼사이트 조직과 초기 정출광물인 유색광물들이 세립의 자형 결정으로 균질을 이루어 잘 나타나고, 야외 산출상태에서 볼 수 있는 염기성 미립 포획암, 급격한 암상의 변화 등으로 미루어 보아 이 대본 화강암체는 고화될 당시 염기성 마그마의 주입에 의한 마그마 불균질 혼합(mingling, 김종선 외, 1998)의 과정이 있었던 것으로 추정된다.

반상 화강암

반상 화강암은 산서 암체에서 전형적인 조직을 보인다. 이 암상은 범인사 뒤쪽의 저수지 옆 벽면과 등산로 100여 미터에서 제한적으로 신선한 노두가 산출되며 산속 도로의 절토부를 따라 아주 풍화가 많이 된 노두를 발견할 수 있는데, 거의 토양으로 변해 있기 때문에 토양층의 광물들을 보고 화강암 지역이었다는 것을 짐작할 수 있었다. 암색은 담회색 내지 회백색이며, 유색광물의 함량이 많고 절리들을 볼 수 있다.

현미경하에서 반정의 크기는 장경 3~5 mm이고 석기는 1 mm 이하이다. 함유광물은 사장석, 석영, 정장석, 흑운모, 각섬석, 녹염석, 녹니석, 인회석, 저어콘, 불투명 광물 등이며, 유색광물 함량이 대본 등립질 화강섬록암보다는 적지만 연구 지역의 다른 등립질 화강암체들보다 많고 사장석을 많이 함유하고 있다. 반정은 대부분이 자형의 사장석과 반자형~타형의 석영이고 간혹 정장석, 각섬석과 흑운모의 반정도 산출된다. 석기는 석영, 정장석, 사장석, 흑운모, 각섬석 등이며, 반정의 사장석은 자형이나 반자형으로 알바이트 쌍정과 알바이트-칼스반드 쌍정을 뚜렷이 보여 주고 누대구조를 나타내는 것도 있으며, 일부는 소슈라이트화작용을 받아 중심부가 견운모로 변질되어 있다.

Table 2. Major element oxides(wt%) and CIPW normative minerals of the granitic rocks.

Region	Hoam		Sanseo		Oyu	
Rock Type	EG		PG		EG	
sample No.	HJ-2	SJ30-1	Bu-4	SJ-21	Bu3-2	Bu-11
SiO ₂	74.77	74.59	71.82	71.77	78.11	77.76
TiO ₂	0.11	0.13	0.38	0.34	0.09	0.15
Al ₂ O ₃	13.95	14.11	14.76	15.15	12.42	12.86
Fe ₂ O ₃	0.22	0.22	0.37	0.36	0.11	0.09
FeO	1.28	1.26	2.13	2.07	0.68	0.57
MgO	0.19	0.23	0.66	0.61	0.04	0.19
MnO	0.05	0.03	0.07	0.09	0.03	0.03
CaO	0.69	0.74	1.96	1.50	0.46	0.27
Na ₂ O	3.19	3.38	3.39	3.50	2.35	3.23
K ₂ O	4.94	4.46	3.21	3.21	5.47	4.31
P ₂ O ₅	0.02	0.02	0.10	0.09	0.00	0.02
LOI ¹	0.43	0.51	0.39	0.91	0.16	0.30
Total	99.84	99.68	99.24	99.6	99.92	99.78
A/CNK ²	1.18	1.20	1.17	1.27	1.17	1.23
CIPW NORMS						
Q	34.87	35.38	33.89	34.29	42.15	41.55
Or	29.39	26.60	19.21	19.24	32.44	25.63
Ab	27.12	28.80	28.98	29.97	19.83	27.44
An	3.33	3.59	9.25	7.01	2.29	1.23
C	2.14	2.43	2.37	3.42	1.79	2.43
Hy	2.57	2.59	4.81	4.69	1.17	0.78
Mt	0.32	0.32	0.54	0.53	0.17	0.14
Il	0.21	0.25	0.73	0.65	0.17	0.29
Ap	0.04	0.04	0.22	0.20	0.00	0.04
Di ³	91.38	90.78	82.08	83.50	94.42	94.62

Region	Daebon						
Rock Type	GD				EG		
sample No.	Bu-5	Bu-7	SJ-46	SJ-49	SJ50-1	Bu-9	SJ-3
SiO ₂	67.30	71.56	69.56	70.99	69.37	78.01	76.28
TiO ₂	0.51	0.36	0.51	0.48	0.48	0.11	0.11
Al ₂ O ₃	15.38	14.59	14.79	14.33	15.06	12.81	12.99
Fe ₂ O ₃	0.67	0.44	0.58	0.51	0.55	0.04	0.17
FeO	3.85	2.51	3.31	2.93	3.17	0.28	1.01
MgO	1.26	0.92	1.16	1.09	1.10	0.08	0.19
MnO	0.12	0.07	0.11	0.12	0.10	0.02	0.02
CaO	3.17	2.45	2.50	2.60	2.52	0.44	0.53
Na ₂ O	3.12	3.10	2.96	3.06	4.48	2.58	2.18
K ₂ O	2.57	3.26	3.32	2.94	2.24	5.30	5.81
P ₂ O ₅	0.13	0.10	0.13	0.11	0.13	0.02	0.02
LOI ¹	1.09	0.29	0.54	0.48	0.43	0.29	0.54
Total	99.17	99.65	99.47	99.64	99.63	99.98	99.85
A/CNK ²	1.12	1.10	1.14	1.11	1.05	1.19	1.20
CIPW NORMS							
Q	28.86	32.97	30.97	33.32	26.11	41.72	39.56
Or	15.50	19.39	19.85	17.54	13.36	31.39	34.60
Ab	26.88	26.35	25.29	26.08	38.17	21.87	18.55
An	15.27	12.09	11.77	12.37	11.84	2.07	2.53
C	2.00	1.55	2.07	1.62	0.96	2.06	2.19
Hy	9.22	6.11	7.94	7.17	4.79	0.57	2.06
Mt	0.99	0.64	0.85	0.75	0.81	0.06	0.25
Il	0.99	0.69	0.98	0.92	0.92	0.21	0.21
Ap	0.29	0.22	0.29	0.24	0.29	0.04	0.04
Di ³	71.24	78.71	76.11	76.94	77.64	94.98	92.71

Abbreviations are the same as in table 1. ¹ Loss on ignition, ² Molar Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O), ³ Differentiation index.

정장석은 대부분 석기로 나타나는데 입자의 크기는 0.2 mm 이하이고 주로 타형으로 나타난다. 일부는 반정으로 나타나기도 하며 변질을 많이 받아 있다. 석영은 반자형~타형으로서, 반정으로 나타나는 것들의 크기는 2.5~3.5 mm 정도이며 석기로 나타나는 것들은 대부분이 0.2~0.5 mm 정도의 세립질을 이루고 있다. 유색광물로는 흑운모와 각섬석이 나타나는데, 흑운모는 작은 결정들이 여러 개 모여서 군집을 이루고 있는 경우가 많으며, 크게 하나의 반정(3~4 mm)으로 나타나는 것들도 있다. 각섬석은 큰 반정(4~5 mm)으로 나타나는 것도 있으나 주로 세립질이며 주변의 흑운모들이 각섬석을 에워싸는 형태로 성장해 있는 것을 볼 수 있다. 부성분 광물로 녹니석, 인회석, 저어콘 등이 석기에 소량 나타나고, 불투명 광물의 함량이 대체로 2% 이상으로 많이 나타나는 특징이 있다.

중립질 화강암

본 암상은 호암과 오유 암체에 해당하고 대본 암체의 중심부에 소규모로 나타난다. 호암 암체는 기립사와 황룡사 옆을 흐르는 강을 따라 노두가 잘 나타나고, 대부분의 지역에서 상당히 풍화를 받은 모습을 보여주지만 암상은 전체적으로 상당히 유사하다. 곳곳에 나타나는 큰 노두에서 절리는 대체로 수직에 가까운 자세를 가지고 발달해 있으며, 간격은 수 cm~1m 내외의 판상형이 우세하게 나타난다. 암색은 담홍색을 띠며 정장석의 함량이 많다. 흑운모의 결정들을 쉽게 관찰할 수 있으며 전반적으로 중립질이다. 곳곳에 염기성 맥이 관입하고 있는 것을 볼 수 있으며 SJ-34(호암리 도통골) 지역에서 특히 잘 나타난다. Bu-17(호암리 한티버든)을 채취한 노두에서는 호암 화강암체가 뚜렷이 왕산층을 관입하고 있는 접촉부가 관찰된다.

본 암상은 정장석, 석영, 사장석의 순으로 광물을 함유하고 있다. 유색광물은 흑운모가 대부분을 차지하고 있으며 각섬석, 저어콘, 견운모, 불투명광물 등이 관찰된다. 석영은 타형으로 3~4mm 크기로 주로 나타나며 석영 내에서는 자형의 저어콘과 흑운모가 포유물로 산출된다. 정장석은 퍼사이트 조직이 잘 나타나며 변질을 많이 받았다. 사장석은 누대구조를 가끔 보여주며 변질을 받아 일부 견운모화 되어있다. 흑운모도 역시 변질을 받아 녹니석화 되어있다.

오유리 지역에 분포하는 노두는 31번 국도 옆을 따라 대규모로 나타나며 암체 중심부로 들어 갈수

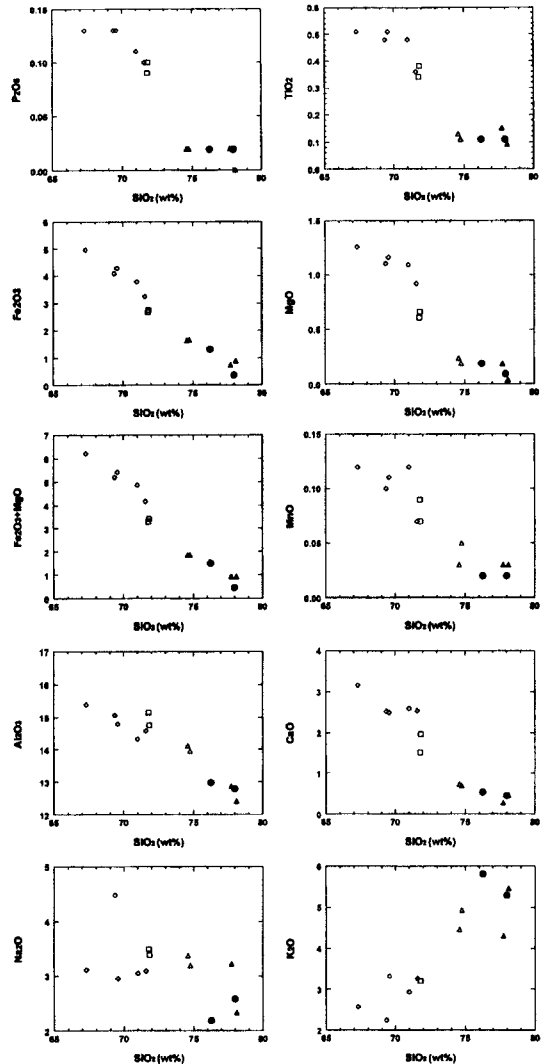


Fig. 4. Harker variation diagram for the granitic rocks. Symbols are the same as those in Fig. 3.

록 풍화가 심해 신선한 노두를 발견하기 힘들다. 암색은 거의 암갈색 내지 회백색을 나타내는데, 바닷가에서 나타나는 노두는 흰색으로 표백된 것처럼 보이며 절리면을 따라 녹니석이나 녹색염 등의 광물들이 충전되어 있기도 하다(Bu-11). 유색광물의 함량은 호암 암체보다 적고, 2~10 mm 정도의 미아롤리틱 정동이 산출된다. 이 미아롤리틱 정동 내에는 석영이나 정장석 등이 성장해 있다.

현미경 관찰에서 정장석, 석영, 사장석, 흑운모 등이 관찰되며 각섬석은 관찰하기 힘들다. 정장석은 중립의 타형으로 잘 나타나며 퍼사이트조직이 쉽게

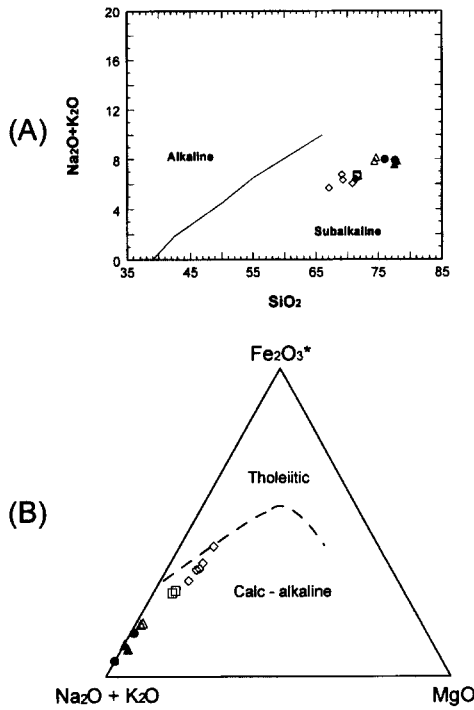


Fig. 5. (A) Plots of Na_2O+K_2O vs. SiO_2 for the granites of the study area (after Irvine and Baragar, 1971). (B) AFM diagram for the granites of the study area (after Irvine and Baragar, 1971). Symbols are the same as those in Fig. 3.

관찰된다. 석영은 입자 크기에 따라 중립 또는 세립으로 변하기도 하지만 대부분 등립질이며 1mm 내외로 나타나나 간혹 2mm 정도의 것도 관찰된다. 사장석은 알바이트 쌍정이 뚜렷하며 칼스반드 쌍정과 누대구조도 관찰되고 중심부는 견운모로 변질되어 있다. 흑운모는 1mm 이하의 세립이며 자형의 저어콘이 소량 관찰되고 흑운모의 변질이 심하다.

대본 암체 중심부에서 소규모로 나타나는 화강암체는 Bu-9(대본리 대본초등학교) 노두에서 백악기 경상누층군 퇴적암류를 관입하는 모습을 발견할 수 있다. 암색은 전체적으로 담홍색을 보이며 흰색의 뚜렷한 정장석을 볼 수 있다. 중립의 입자 크기를 보여 주며 해안(Bu-10)에서는 대체로 큰 규모의 석영맥이나 등립질인 화강암질 페그마타이트를 볼 수 있다.

사장석은 알바이트 쌍정이 잘 나타나며 칼스반드-알바이트 쌍정과 누대구조가 나타난다. 보통 반자형 내지 자형이고 대부분이 내부가 변질을 받았다. 정장석에 퍼사이트 조직이 잘 관찰된다.

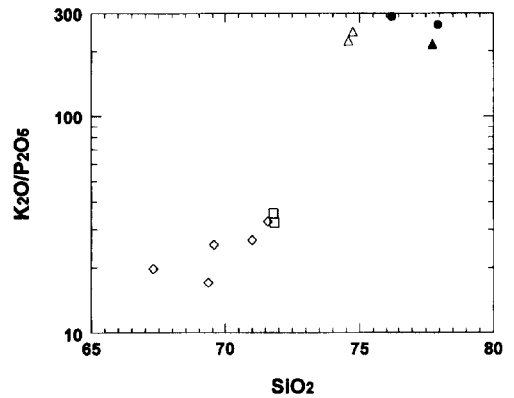


Fig. 6. Plots of K_2O/P_2O_5 vs. SiO_2 (wt%) of the granitic rocks (after Tindle and Pearce, 1983). Symbols are the same as those in Fig. 3.

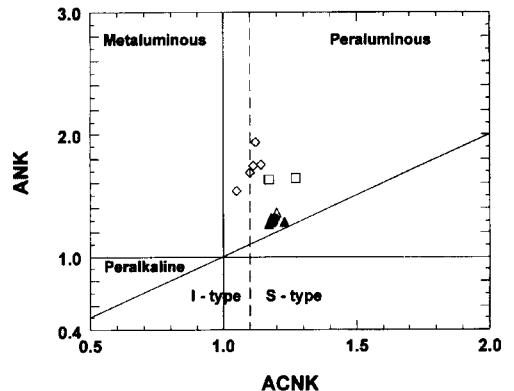


Fig. 7. Molar $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ vs. molar $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$ diagram. Symbols are the same as those in Fig. 3.

지구화학적 특성

각 암상들의 특징을 잘 반영하는 신선한 시료를 선별하여 기초과학지원연구소 서울분소에서 주성분 원소는 X-선 형광분광분석기(XRF)로 측정 분석하였으며 강도를 얻기 위한 전압, 전류 조건은 40 kV, 30 mA이다. 검정(calibration)에 이용된 표준 물질은 미국지질조사소(USGS)에서 제작한 국제 공인 표준 물질(Standard Reference Material) 12개와 상용으로 시판되는 표준 물질 12개(MBH analytical)이다. 미량원소는 ICP-MASS와 ICP-AES를 이용하며 분석하였다. 철산화물의 함량은 Irvine and Baragar (1971)의 방법에 의해 재 계산하였다.

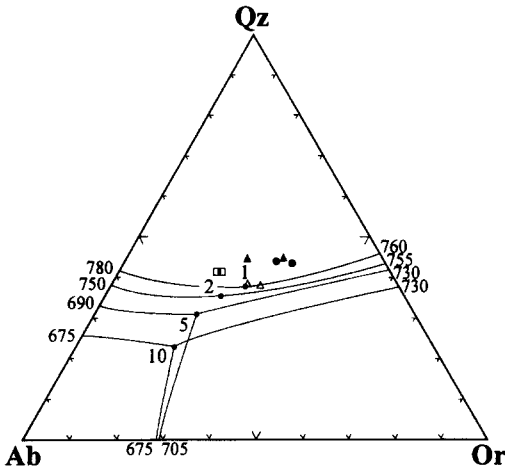


Fig. 8. Normative Qz-Ab-Or triangular diagram showing cotectic lines and compositions of H₂O-saturated minimum and eutectic melts at given pressures(after Tuttle and Bowen, 1958). The plotted are granitic rocks of the study area. Symbols are the same as those in Fig. 3.

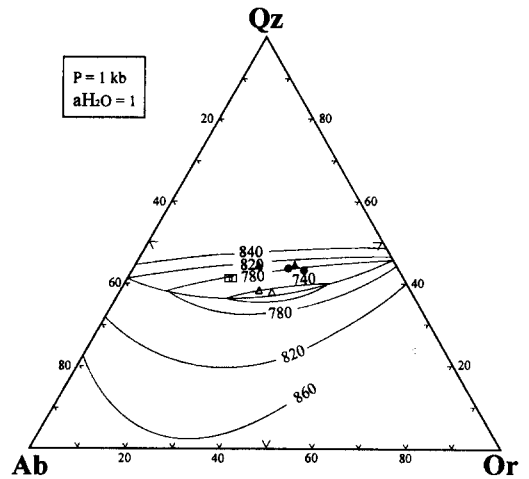


Fig. 9. 1 kbar isobaric equilibrium diagram showing phase relationships for the system Qz-Ab-Or-H₂O projected onto the anhydrous base of the tetrahedron Qz-Ab-Or-H₂O (after Tuttle and Bowen, 1958). The plotted are granitic rocks of the study area. Symbols are the same as those in Fig. 3.

주성분원소 지구화학

연구지역 화강암질 암체에 대한 주성분원소의 분석치와 CIPW 노름(norm)치를 계산하여 표 2에 나타내었다. 표 2에서 기재된 각 시료에 대한 SiO₂의 함량을 분석해보면 등립질 화강암인 호암 화강암체와 오유 화강암체 그리고 대본 화강암체 중부는 74.6~78.1 wt% 범위이다. 반상화강암인 산서 화강암체는 71.7~71.8 wt%로 나타났으며 암상변화가 심한 대본 화강섬록암체는 67.3~71.0 wt%로 나타났다. 이 분석 자료를 하거 성분변화도(그림 4)에 도시한 결과를 보면 SiO₂가 증가함에 따라 Al₂O₃, TiO₂, Fe₂O₃, FeO, MgO, MnO, CaO는 뚜렷한 감소 추세를 보이며, P₂O₅는 뚜렷한 경향을 볼 수 있는 것은 아니지만 어느 정도의 감소 추세를 보인다. 그리고 SiO₂가 증가함에 따라 K₂O는 증가하는 경향을 보인다.

SiO₂-알칼리 관계도에서 모두 비알칼리 계열에 해당된다(그림 5A). 주성분원소 조성을 AFM 도에 도시해 보면(그림 5B) 칼크 알칼리 계열에 해당되며, 등립질 화강암이 분화의 최말기 영역에 해당된다. 그림 6은 분화초기에 호정성(compatibility)이 높은 P₂O₅와 분화 말기로 갈수록 함량이 증가하는 K₂O와의 상호관계로 분화경향을 나타낸 도표이다. 이 도표에서도 일련의 선상 변화를 나타내는 것을 볼 수 있으며 여기에서도 등립질 화강암이 가장 분화

된 암석임을 알 수 있다. 연구 지역 화강암류의 Al 포화지수는 모두 1.0 이상의 값으로 과알루미나질(peraluminous) 영역에 해당되며, I-타입 화강암과 S-타입 화강암의 경계인 1.1을 넘는 시료가 대부분임을 알 수 있으며(그림 7), 표 2에서 노름 광물로 강옥이 존재하는 것과 일치한다. 그러나 암석기재적인 측면에서 전형적인 S-형 화강암에 나타나는 것으로 알려진 Al이 풍부한 광물은 발견되지 않는다. 화강암질 암석의 분화지수(D.I.)가 80% 이상이 되는 분석치를 Tuttle and Bowen(1958)의 Qz-Ab-Or도(그림 8)에 도시해 보면 0.5~1 kbar에서 정지된 것으로 나타난다. 그림 9는 Tuttle and Bowen(1958)의 1 kbar 포화수증기압 하에서의 Qz-Ab-Or도를 나타낸 것으로 700~820°C에서 정출된 것으로 도시된다. 그러나 이는 화강암체의 최소 용해액 조성을 가정한 값이며, 특히 정출 온도는 물에 포화된 경우에 적용되었음을 밝힌다.

주성분원소를 이용한 도표에서 나타나는 성분 변화와 마그마 계열을 볼 때 4개의 소규모 화강암체는 대부분 연속적인 선을 보여 동일 마그마로부터의 분화산물이란 추정을 할 수 있는데 토의 및 결론에서 논하고자 한다.

미량원소 지구화학

연구 지역의 화강암체에 대한 미량원소 및 희토

Table 3. Trace element composition of the granitic rocks(in ppm).

Region	Hoam	Sanseo			Oyu		Daebon			GD		
Rock Type	EG	PG		EG		EG			GD			
Sample No.	SJ30-1	Bu-4	SJ-21	Bu3-2	Bu-11	Bu-9	SJ-3	Bu-5	Bu-7	SJ-46	SJ-49	SJ50-1
Ba	360.8	460.9	381.8	160.3	514.3	160.9	391.2	622.8	469.2	547.3	403.2	357.8
Rb	112.9	55.3	65.5	126.0	154.9	167.5	138.6	58.9	72.8	53.4	64.1	29.37
Sr	68.5	129.7	143.4	21.3	27.9	38.6	82.3	232.1	196.4	129.4	134.1	180.7
Y	23.9	12.6	16.3	10.3	13.4	11.6	8.6	15.9	11.1	10.2	15.0	14.1
Zr	26.4	36.3	34.0	39.1	21.2	24.7	52.4	22.9	24.5	31.7	39.1	24.0
Th	11.9	7.2	8.5	18.0	7.1	9.5	24.5	8.1	7.8	4.3	11.5	8.2
Pb	12.3	15.2	13.1	15.2	18.3	24.8	11.8	12.2	11.0	12.2	15.0	14.2
Zn	17.8	37.7	29.1	6.1	11.1	8.2	20.5	67.5	43.5	58.2	64.1	37.0
Cu	2.1	4.7	3.6	1.7	2.1	2.8	0.4	123.5	5.7	5.7	4.0	10.4
Ni	0.3	0.4	0.5	0.8	0.4	0.1	0.8	1.7	2.1	0.4	2.4	1.0
Cr	4.6	5.4	2.5	2.4	1.9	4.2	4.2	4.7	10.2	13.1	11.9	7.1
Hf	1.4	1.4	1.6	2.3	1.1	0.9	3.2	1.2	1.0	1.2	1.6	1.0
Cs	2.4	1.9	4.6	2.3	3.8	2.8	4.7	4.5	5.2	2.8	3.1	3.9
Co	126.8	140.3	101.0	124.2	122.7	220.3	171.8	102.3	180.4	132.1	142.8	129.7
U	1.7	1.6	2.3	6.6	1.4	1.6	3.8	2.4	2.2	1.5	2.5	1.5
La	38.5	18.7	24.7	14.1	7.1	7.9	20.3	12.1	11.3	9.0	21.1	24.0
Ce	77.2	36.9	51.7	34.4	15.9	16.4	38.8	30.1	21.2	24.6	53.5	45.6
Pr	9.1	4.2	5.3	3.3	1.8	1.8	4.5	3.3	2.7	2.4	5.2	5.8
Nd	30.4	14.9	18.8	10.6	6.2	5.7	14.8	13.1	9.9	9.0	19.1	20.9
Sm	5.7	2.8	3.6	2.2	1.7	1.3	2.5	3.1	2.2	2.2	3.9	3.8
Eu	0.4	0.6	1.0	0.2	0.4	0.1	0.5	0.8	0.6	0.5	0.9	0.7
Gd	5.8	2.8	3.7	2.0	1.9	1.5	2.4	3.5	2.3	2.4	4.2	4.1
Tb	0.8	0.4	0.6	0.3	0.4	0.3	0.3	0.6	0.4	0.4	0.6	0.6
Dy	5.4	2.8	3.6	2.2	2.3	1.9	1.8	3.7	2.3	2.5	3.4	3.7
Ho	1.0	0.6	0.8	0.5	0.5	0.4	0.4	0.8	0.5	0.5	0.8	0.7
Er	3.3	1.7	2.3	1.6	1.6	1.3	1.2	2.5	1.4	1.6	2.2	2.3
Tm	0.5	0.3	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.4	0.2	0.3	0.4	0.4
Yb	3.3	1.9	2.4	2.2	1.8	1.4	1.3	2.4	1.6	1.9	2.2	2.3
Lu	0.5	0.3	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4
ΣREE	182.1	88.9	119.0	74.4	42.0	40.2	89.0	76.5	56.7	57.3	117.8	115.2

Abbreviations are the same as in table 1.

류원소의 분석치를 표 3에 나타내었고, 이들의 분화경향을 알아보기 위해 SiO_2 에 대한 변화도를 그림 10에 나타내었다. 이 도표에서 미량원소는 특정 조암 광물에 대한 선택적 치환성때문에 화강암체의 분화 정도에 따라 함량의 차이가 있으므로 그림 10에서 SiO_2 의 함량이 증가함에 따라 Ba, Sr, Zn 등은 대체로 감소하는 경향을 보이며, Rb, Pb, Hf 등은 경사 정도에 따라 차이는 있겠지만 약간 증가하는 양상을 보이거나, 대체로 분산된 양상을 보이는 것들이 많다.

Rb의 함량은 53~168 ppm의 범위를 가지고 평균치는 90 ppm이며 분화가 진행됨에 따라 증가하는 경향을 보여준다. Rb은 주로 정장석과 같은 광물상에 호정적인 광물이어서 Rb 함량은 이러한 광물의 함량에 많이 의존한다. 따라서 마그마 분화가 진행됨에 따라 점차 액에 농집되기 때문에 분화 후기에 그 함량이 증가한다. 따라서 오유 화강암체와 대본 등립질 화강암이 분화가 많이 진행되었다는 것을

보여준다. Ba의 함량은 평균치가 약 397 ppm으로 정상분지 화강암류의 평균치(진명식, 1988)에 비해 다소 낮다. Ba은 흑운모가 K에 치환되며 마그마가 분별 정출되면서 흑운모가 감소하면서 Ba 함량이 따라서 감소하게 된다. 그래서 정출작용이 진행됨에 따라 마그마로부터 제거되므로 점차 그 함량이 감소하게 된다. Sr은 사장석의 Ca와 치환하는 경향이 있기 때문에 마그마에서 사장석이 정출 분화되면서 점차 함량이 감소하는 양상을 보이는데, 본 역에서는 Sr의 함량이 20~232 ppm의 매우 넓은 범위를 나타내며 감소하는 경향을 보인다. Zr은 HFS 원소로서 전하가 높고, 비교적 작은 이온반경을 갖고 있으므로, 일반 조암광물에는 함유되지 아니하고, 저어콘에만 함유되며, 저어콘은 분화말기 생성물에 가장 많이 나타나는 경향이 있다(Mason and Moore, 1982). 본 연구 지역에서는 호암 화강암체에서 함량이 조금 낮고 산서 반상 화강암체에서 함량이 많은 것을 알 수 있으나 경향성은 볼 수 없

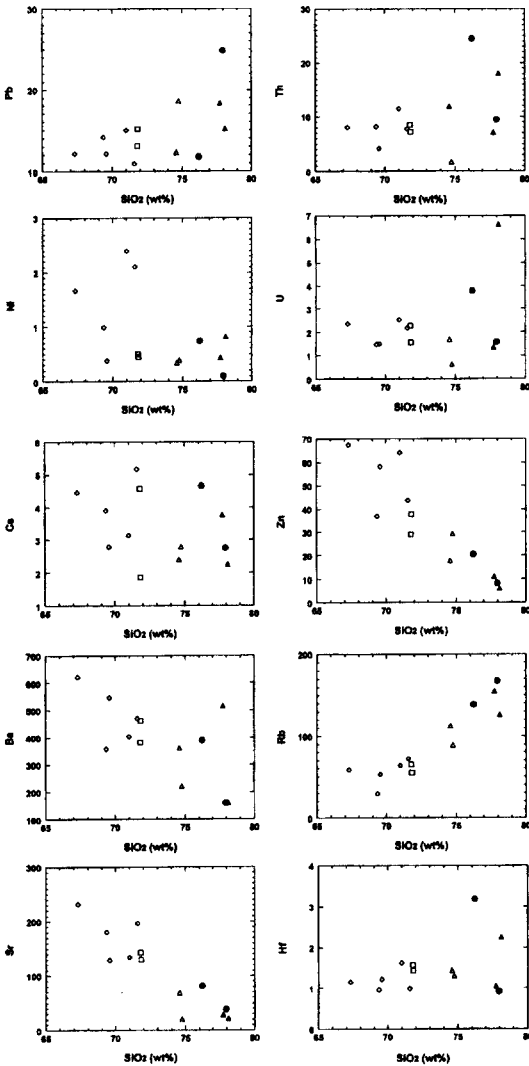


Fig. 10. Variation diagram of trace elements vs. SiO₂ of the granitic rocks. Symbols are the same as those in Fig. 3.

다. 분석된 시료의 함량을 중앙해령현무암의 농도 (Pearce, 1983)로 표준화 시켰을 때 친석원소(LILE; large ion lithophile elements)의 부화와 Zn, Ni의 결핍이 두드러지게 나타나는데(그림 11) 이는 모두 화산호 환경에서 만들어진 산성 마그마의 전형적인 특징이다(Wilson, 1989)

콘드라이트 값(Sun, 1982)에 표준화 시킨 희토류 원소 분포양상은 그림 12와 같다. 연구지역의 화강암 시료는 대부분 경희토류원소(LREE)가 중희토류 원소(HREE)보다 부화되어 있으며 Eu는 부이상을 보여주고 있다. 등립질 화강암중 대본과 오우리의

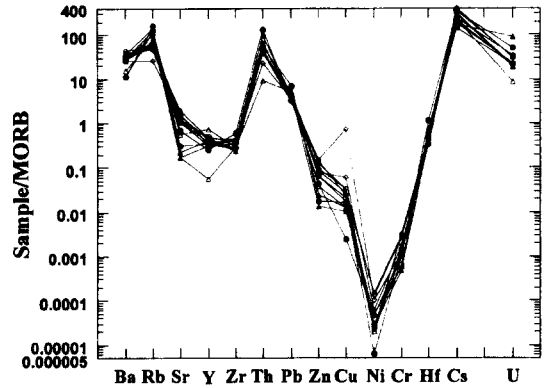


Fig. 11. Multi-element spider diagram of analysed samples. Mid ocean ridge basalt (MORB) normalization factors are those of Pearce(1983). Symbols are the same as those in Fig. 3.

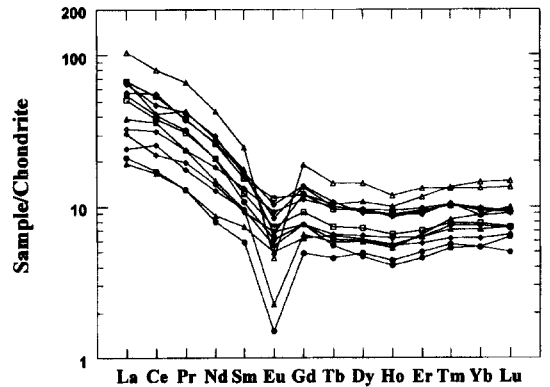


Fig. 12. Chondrite normalized REE patterns of the granitic rocks (Sun, 1982). Symbols are the same as those in Fig.3.

화강암체가 특징적으로 낮은 희토류 원소 함량을 보이며 호암 화강암체에서 가장 높은 값을 보인다. 이는 기재적인 측면에서 덕동 화강암체와 오우 화강암체가 같은 등립질 화강암체에 속하며 주성분원소의 거동과 희토류 원소의 함량변화에서도 유사한 특징을 보이는 것으로 판단하면 동일 암체일 가능성이 높다. 희토류원소의 전체적인 경향은 대체로 준평행(subparallel)한 양상을 보이는데 이로 미루어 동일 마그마의 분화산물일 가능성을 시사하고 있다.

토의 및 결론

지금까지의 연구 결과를 종합하여 양산 단층 우측에 있는 4개의 암체에 관해서 성인적인 상관관계를 살펴보았다. 우선 공간적으로 양산 단층과 경주

Table 4. Isotopic age data measured from granitic rocks in KyeongjuGampo area.

Region	Method	Age(Ma)	Reference
Oyu Gr.	Rb-Sr	59.5±0.1	Kim <i>et al.</i> (1995)
	K-Ar	53.9±0.8	Jin <i>et al.</i> (1991)
	FT(apatite)	32.7±5.0	Jin <i>et al.</i> (1984)
	Rb-Sr	55	Kim <i>et al.</i> (1997)
Wangsan F.	K-Ar	68	Lee(1980)
	K-Ar	44.7±1.1	Shibata <i>et al.</i> (1979)
	K-Ar	49.58±1.13	Lee <i>et al.</i> (1992)
	K-Ar	46.48±2.47	Jin <i>et al.</i> (1988)
	FT(zircon)	49.60±1.13	
		58.32±7.82 49.49±13.20 57.32±8.91	
Deogdong Gr.	Rb-Sr	45.6±0.1	Kim <i>et al.</i> (1995)
	Rb-Sr	42.1±5.9	Kim <i>et al.</i> (1997)
Daebon Gd.	Rb-Sr	42.2±0.1	Kim <i>et al.</i> (1995)
	FT(zircon)	40.4±3.9	Jin <i>et al.</i> (1991)
	FT(apatite)	40.0±4.0	
	FT(sphene)	54.0±3.7	
	FT(zircon)	47.4±3.7	
	FT(apatite)	32.0±3.1	
Hoam Gr.	K-Ar	74	Lee(1980)
	Rb-Sr	39.7±0.1	Kim <i>et al.</i> (1995)
	Rb-Sr	34.3±3.3	Kim <i>et al.</i> (1997)

Abbreviations : F - Formation, Gr - Granite, Gd - Granodiorite, FT - Fission track.

화강암체의 우측에 위치해 있고 거리가 서로 가깝다. 그리고 김근수 외(1995)의 연대 측정 결과 호암 화강암류(39.7 Ma), 대본 화강암류(42.2 Ma), 오유 화강암류(59.5 Ma)등 대체로 고제3기의 화성활동에 의한 것들인 것을 알 수 있고 여기서 논의되지 않았지만 호암리 왼편의 덕동 호수 근처에서 산출되는 덕동 화강암류는 45.6 Ma로 나타나 연령 측정 결과가 비슷하다는 것을 알 수 있다. 그리고 이 화강암체들의 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 동위체 비의 초기치는 대체로 0.706 이하로 공통적으로 비슷하게 낮게 나왔으며, 오유 화강암체를 제외한 호암, 산서, 대본 화강암체는 에오세 전기-중기의 화산활동의 산물인 왕산층 이후의 심성활동으로 생각되며 같은 마그마에서 분화과정을 거친 맨틀 기원의 물질인 것을 나타내고 있다(김근수 외, 1995). 그리고 Kim *et al.* (1997)은 일본 남서 지방의 산인대(San'in belt)와 연계하여 대부분의 경상분지 화강암류들은 팔레오세까지의 화성 활동에 의해 나타났지만 양산 단층 동쪽편의 소규모 암체들은 그 이후의 화성 활동에 의해 생성된 것을 나타내며 역시 똑같은 맨틀 기원의 낮은 초기치와 비슷한 동위원소 연대 측정 자료를 제시하였다. 그러나 호암 암체에 관해서는 약간 다른 자료(34.3 Ma)를 제시하였는데 시료수가 많고 등시선의 선상에 대부분의 자료가 일치하는점 등으로 이들의 자료가 더욱 신빙성을 가질 것으로 판단된다. 이러

한 자료들로 이 4개의 암체가 같은 기원의 암체라고 가정하면 앞의 하커 변화도에 도시해 본 결과 거의 일치하는 하나의 경향을 나타낸다는 것을 알 수 있다.

표 4는 경주~감포지역의 절대연령 측정자료들을 나타낸 것이다. 이들 자료 중 Rb-Sr 연령측정 결과를 화강암의 관입시기로 본다면 오유 화강암체, 왕산층, 덕동 화강암체, 대본 화강섬록암체, 그리고 호암 화강암체 순으로 나타난다. 그러나 주성분원소의 자료에서 오유 화강암체는 다른 암체에 비해 SiO_2 함량이 높은 것으로 나타났으며 다른 주성분원소들의 함량 변화에서도 가장 분화된 암상의 특징을 보인다. 기존의 보고(김근수 외, 1995)에 의하면 네 개의 암체 모두가 동일 마그마의 분화상이라고 하였으나 가장 분화된 특징을 보이는 오유암체가 가장 오래된 관입연령을 지시하고 있다. 그리고 등립질 조직을 가지면서도 가장 최근의 관입연령을 보이는 호암 화강암체와는 25 Ma 정도의 차이를 보이고 있다. 또한 희토류원소의 함량에서도 오유 화강암체와 대본 등립질 화강암체는 가장 낮은 값을 보인다. 따라서 오유 화강암체와 대본 등립질 화강암체를 이 지역 화강암체와는 다른 하나의 마그마 펄스 산물로 간주해야 할 것으로 판단된다. 그 이후 연구지역의 화강암체중 대본, 산서, 호암 화강암체의 순으로 동일 마그마 기원의 분화산물로 해

석하는 것이 타당하리라 판단된다. 그러나 오유 화강암체와 나머지 화강암체의 기원물질은 유사하였을 것으로 판단된다(김근수 외, 1995; Kim *et al.*, 1997). 따라서 연구지역의 화강암체는 적어도 두 개 이상의 마그마 펄스를 고려해야 할 것으로 판단된다. 그리고 이 지역의 화강암체는 백악기 불국사 화강암의 기재적인 측면 및 지화화적인 자료(진명식, 1985, 1988; 홍영국, 1987)와 매우 유사한 특징을 가지는 것으로 보아 경상분지 동남부 일원의 조구조 환경은 백악기말에서 적어도 34 Ma 까지는 커다란 변화가 없었음을 지지하는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 1998년도 교육부 학술진흥재단 지원(기초과학 1998-015-D00264)으로 수행되었다. 본 논문의 심사과정에서 문제점에 관한 유익한 지적을 해준 최용주 교수와 이종익 박사께 감사드린다. 야외작업과 실내작업에 도움을 준 부산대학교 암석학 실험실의 대학원생들에게 깊은 사의를 표한다.

참고문헌

- 김근수, 김종열, 정규기, 황진연, 이준동, 1995, 경상북도 경주-감포 일원에 분포하는 화강암류의 Rb-Sr연대. 지구과학회지, 16, 272-280.
- 김종신, 이준동, 윤성효, 1998, 거제도 화강암질암의 마그마 불균질혼합 증거: 1. 그 기재적 특성. 지질학회지, 34, 105-121.
- 박양대, 유형대, 1968, 한국지질도 1:50,000 울산도폭(sheet-7020-I) 및 도폭 설명서. 국립지질조사소, 45p.
- 이현구, 문희수, 민경덕, 김인수, 윤혜수, 板谷徹丸, 1992, 포항 및 장기분지에 대한 고지자기, 층서 및 구조연구; 화산암류의 K-Ar 연대. 광산지질, 25, 339-349.
- 윤 선, 1988, 한반도 남부의 제3기 층서. 한국과학재단 연구보고서, 25p.
- 정영부, 1985, 울산 북부 지역에 분포하는 화강암질암류에 대한 암석학적 고찰. 복현지질, 8, 43-52.
- 진명식, 1985, 남한의 백악기-제3기 화강암류의 지화학적 연구, 1. 주성분원소의 지화학적 연구. 지질학회지, 21, 297-316.
- 진명식, 1988, 남한의 백악기-제3기 화강암류의 지화학적 연구, 2. 미량원소 지화학. 지질학회지, 24, 168-188.
- 진명식, 김성재, 신성천, 1988, K/Ar 및 휘선티랙법에 의한 포항-감포일대 화산암류의 암석연령 측정연구. 한국동력자원연구소 연구보고서, KR-87-27, 51-88.
- 진명식, 김성재, 신성천, 1989, K/Ar 및 휘선티랙법에 의한 한국 동남부지역 화강암 및 화산암의 암석-광물연령 측정연구. 한국동력자원연구소 연구보고서, KR-88-6D, 53-84.
- 진명식, 김성재, 신성천, 1991, 한국 동남부 지역 화강암류의 휘선티랙 및 K/Ar연령: 화성활동사 및 지체구조적 의의. 한국동력자원연구소 연구보고서, KR-90-1B-2, 57-98.
- 홍영국, 1987, 한국에 분포하는 선캄브리아기, 쥐라기 및 백악기화강암의 지화학적 특징. 광산지질, 20, 35-60.
- 최위찬, 황재하, 윤옥, 김동학, 1988, 대한민국 지질도 어일(1:25,000)도폭 및 도폭설명서. NI 52-2-07-4, 한국동력자원연구소 도폭연구실, 42p.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A., 1971, A guide to the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Science, 8, 532-548.
- Jin, M.S., A.J.W. Gleadow, J.F. Lovering, 1984, Fission track dating of apatite from Jurassic and Cretaceous granite in South Korea. J. Geol. Korea, 20, 257-265.
- Kim, Y.H., Shigeru Iizumi and Hiroo Kagami, 1997, Petrography and geochronology of the Paleogene Deokdong and Girimsa Granites in eastern part of the Kyeongsang Basin, Korea: Implications for Eocene-Oligocene magmatism in SE Korean and SW Japan. Jour. Japanese Associ. Min. Petrol. Econ. Geol., 92, 273-286.
- Lee, Y.J., 1980, Granitic rocks from the southern Kyeongsang basin, southern Korea. part 1. General geology and K-Ar ages of granitic rocks. Jour. Japanese Associ. Min. Petrol. Econ. Geol., 75, 105-116.
- Mason, B., and Moore, C.B. 1982. Principles of Geochemistry. 4th ed. John Wiley and Sons, New York. 344p.
- Pearce, J.A., 1983, Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In Continental basalts and mantle xenoliths (ed. C.J. Hawkesworth and M.J. Norry), Shiva, Nantwich, 230-249.
- Shibata, K., Uchiumi, S. and Nakagawa, T., 1979, K-Ar age results-1. Bull. Geol. Surv. Japan, 30, 675-686.
- Strecheisen, A., 1976, To each plutonic rock its proper name. Earth-Science Review, 12, 1-33.
- Sun, S.S., 1982, Chemical composition and origin of the Earth's primitive mantle. Geochim. Cosmochim. Acta, 46, 179-192.
- Tateiwa, I., 1924, Geological Atlas of Chosen, No. 2. Ennichi, Kyuruho and Choyo sheets, 1:50,000. Geol. Surv. Chosen. 6p., 3 maps, 2 figs (in Japanese).
- Tindle, A.G. and Pearce, J.A., 1983, Assimilation and partial melting of continental crust: evidence from the mineralogy and geochemistry of autoliths and xenolith. Lithos, 16, 185-202.
- Tuttle, O.F. and Bowen, N.L., 1958, Origin of granite in the light of experimental studies in the system of NaAlSi3O8-KAlSi3O8-SiO2-H2O. Geological Society of America Memoir, 74, 153p.

- Wilson, M., 1989, Igneous petrogenesis. Unwin Hyman, London, 466p.
- Yoon, S., 1986, Tectonic history of the Tertiary Pohang and Yangnam basins, Korea. In Commem. Essays Geol., (ed. Nakagawa, H., Tamio, K. and Takayanagi, Y.), Kitamura Museum, 637-644.
- Yoon, S., 1990, Geology events of the Tertiary Yangnam and Pohang basins, Korea with a remark on the origin of the Yamato basin of the Japan Sea.

Saito Ho-on Kai Spec. Puv., 3, 303-309.

- Yoon, S., 1992, Paleoenvironmental change of the Tertiary Yangnam and Pohang basins of the southern Korean peninsula. Mem. Geol. Soc. Japan, 37, 117-124.

(책임편집: 좌용수)

(2000년 3월 10일 접수, 2000년 4월 2일 수리)

The Petrological Study on the Granitic Rocks in Kyeongju-Kampo Area

Joon-Dong Lee, Jong-Sun Kim, Sang-Jin Woo, Byoung-Hoon Hwang,
In-Soo Kim, Jin-Seop Kim and In-Sung Paik¹

Department of Geology, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

¹Division of Earth Environmental Science, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

Abstract : The purpose of this study is to identify the petrographic and geochemical characteristics of four granitic masses and clarify for the origin and relationship among the masses. These granitic rocks are distributed in the eastern part of Yangsan fault in the Kyongsang basin, southeastern part of Korea. Based on the mineralogy and texture, the granitic rocks are divided into three facies; granodiorite, porphyritic fine-grained granite, and equigranular granite. According to the result of modal analysis, northern part and most of the southern part of Daebon granitic rocks are plotted in granodiorite field and the rest part of the rocks are plotted in granite field. These granitic rocks belong to the sub-alkaline series, and are subdivided into calc-alkaline series. The rare earth elements normalized by chondrite show LREE is more enriched than HREE and the lowest values in Oyu granite and Daebon equigranular granite. The crystallization pressures and temperatures of minimum melt compositions of granitic rocks estimated from the study area are about 0.5~1 kbar and 700~820°C, respectively. Referring to the petrographic characteristics, geochemical data and radiogenic age data, Oyu granite was emplaced in the Paleocene, but Daebon granodiorite, Sanseo porphyritic granite, and Hoam equigranular granite are co-magmatic differentiation products, were emplaced in the Eocene.

Key words : eastern part of Yangsan fault, granite, rare earth elements, Paleocene, co-magmatic