

# 강원도 임계 및 삼화지역에 분포하는 화강암류에 대한 암석지구화학

민 경 원 \* 김 성 범 \*\*

## PETROGEOCHEMISTRY OF THE GRANITIC ROCKS DISTRIBUTED IN IMGYE AND SAMHWA AREA, KANGWEON-DO

KYOUNG WON MIN · SUNG BUM KIM

### ABSTRACTS

The Imgye and the Samhwa granitoids distributed in the northeastern part of the Okchon Zone are known to be emplaced during the Mesozoic time. These granitoids intruded the Precambrian metasedimentary bedrocks and Cambro-ordovician sedimentary rocks. Petrographically the Samhwa granitoid is a biotite granite of mainly coarse-grained texture with some fine-grained exceptions and the Imgye granitoid contains typically large phenocrysts of pinkish K-feldspars. Geochemical discriminators in terms of major elements suggest that the Samhwa and the Imgye granitoids are I-type and magnetite series. These granitoids are also classified as calc-alkalic rocks of subalkalic series. The Imgye and the Samhwa granitoids could have been evolved mainly by fractional crystallization and minimum partial melting respectively.

### 1. 서 론

강원도 강릉시 서쪽 대관령에서 태백산맥 주릉을 따라 남쪽으로 삼척군 청옥산에 이르는 지역 일대는 옥천대 동북부의 중앙 화성암대와 동해안 화성암대

의 경계지역으로 이곳에 관입시기를 달리하는 화강암체들, 즉 목호 화강암, 중봉산 화강암, 임계 화강암, 그리고 삼화 화강암이 공간적으로 밀집하여 군집상으로 분포하고 있다(Fig. 1).

이들은 1/5만 지질도(태백산지구 지하자원 조사단, 1962)와 1/25만 지질도(국립지질광물 연구소, 1973)에서 시대미상 또는 쥬라기 화강암으로 취급되어 있으나 그후의 연구에서 목호 우백질 화강암(김용준 등, 1984)과 중봉산 화강암(조등용, 1984)은 선 캄브리아기로, 그리고 임계 화강암(이대성,

\* 강원대학교 공과대학 자원공학과 조교수

\*\* 강원대학교 대학원 자원공학과

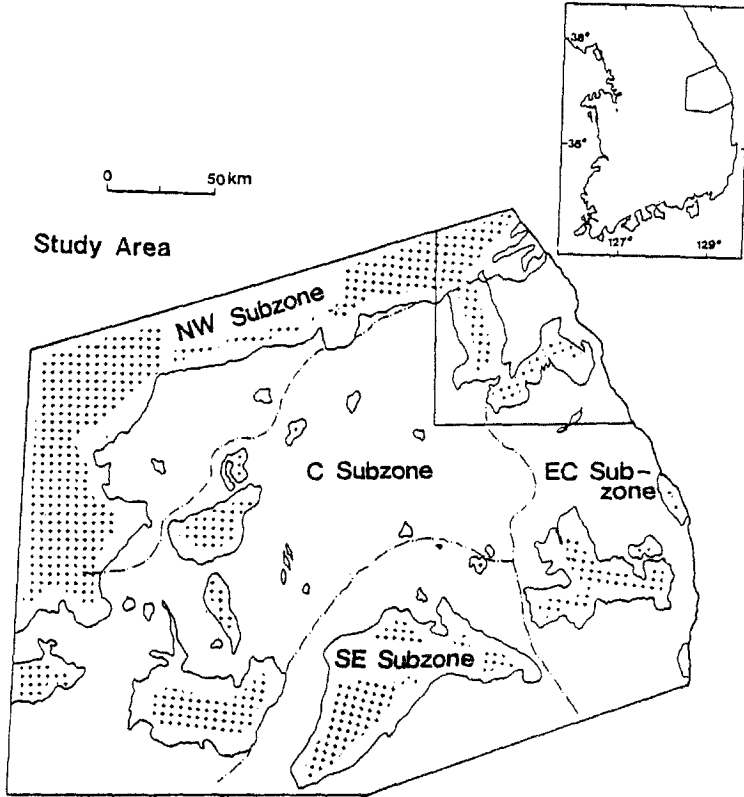


Fig. 1 Distribution of granite in the north-eastern part of the Okchon Zone (from Lee, 1987).

김용준, 1985) 과 삼화 화강암(이대성, 김용준, 1985 ; 이민성 등, 1987)은 각각 주라기와 백악기로 발표된 바 있으며 동시에 이들에 대한 성인과 암석기제적 특징이 밝혀진 바 있다.

그러나 암석 지구화학적 연구의 측면에서 볼 때 이러한 기존의 연구들은 주로 주성분 원소를 중심으로 한 암석화학적 분류 및 고찰에 관한 것으로서 아직 이들에 대해서 미량성분 원소들의 분포양상을 포함하는 지구화학적 특징을 규명한 연구는 없다. 80년대 이래로 국내의 화강암에 대한 지구화학적 연구는 암석성인 연구와 동시에 광화작용과의 관계 연구등으로 화강암에 대하여 광물학적 연구 및 주성분 원소의 특징에 관한 연구는 물론이고, 특히 함유된 미량성분 원소의 분포 특징에 관한 연구가 집중적으로 매우 활발하게 수행되고 있다.

이러한 국내의 화강암에 대한 지구화학적 연구의

실정을 감안하여 본 연구에서는 우선 이 지역의 대표적인 중생대 화강암체인 삼화 화강암과 임계 화강암에 대하여 주성분 원소와 함께 미량성분 원소의 분포양상을 고찰하여 이들의 암석지구화학적 특징을 규명하는데 그 목적을 두었다.

## 2. 지질 개요

임계 화강암과 삼화 화강암의 분포지역은 대략 동경 128°45' 이동의 북위 37°20'~37°45' 사이의 구간으로 태백산맥 주릉의 대관령-청옥산 구간 일대이며 행정구역 상으로는 정선군과 명주군 경계지역 및 동해시 삼화동 일대에 해당된다. 이 지역의 지질은 선 캄브리아기의 변성퇴적암류를 기반으로 하여 고생대의 조선누층군 및 평안누층군이 주로 분포되

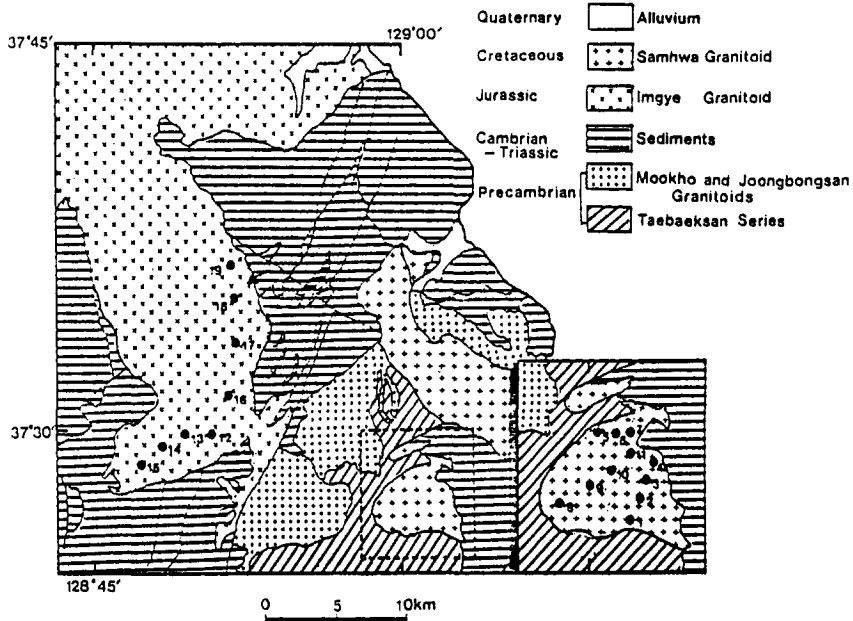


Fig. 2 Geologic map of the study area and sample locations.

어 있고, 이들을 시대에 따라 관입한 선 캄브리아기의 묵호 화강암과 중봉산 화강암 그리고 중생대의 임계 화강암과 삼화 화강암등의 화성암류로 구성되어 있다(Fig. 2).

선 캄브리아기의 태백산통은 이질 및 사질원 변성 퇴적암류로 구성되어 있으며 태백산 지역 남부 일원과 삼척군 하장면 일대에 주로 분포한다. 고생대 지층은 캄브리아기에서 중부 오오도비스기에 이르는 하부 고생대의 조선 누층군과 석탄기-트라이아스기의 상부고생대의 평안 누층군이 주로 분포한다. 조선 누층군의 하부는 주로 규암과 셰일로 구성되어 있고, 그 상부는 두꺼운 석회암층으로 구성되어 있으며 평안 누층군은 하부에 약간의 해성층이 개재되어 있으나 대부분 육성층으로 여러가지 색의 사암, 셰일 및 석회암으로 구성되어 있으며, 그 중하부에 함탄층이 개재되어 있다.

화성암체들로는 선 캄브리아기의 묵호 화강암과 중봉산 화강암 그리고 중생대의 임계 화강암과 삼화 화강암이 군집상으로 분포하고 있다. 묵호 화강암과 중봉산 화강암은 묵호-임계선을 따라 분포하는 선 캄브리아기의 화강암으로 태백산통을 관입하고 조

선누층군에 의하여 부정합으로 덮힌다(김용준 등, 1984). 묵호 화강암은 암상에 따라 편상 화강암과 우백질 화강암으로 구분할 수 있다. 편상 화강암은 흑운모의 방향성 있는 배열로 편리구조가 발달되어 있으며, 우백질 화강암은 신장된 석영과 백운모의 배열에 의하여 뚜렷한 편리구조를 보이나 부분적으로는 괴상구조를 보이는 곳도 있다.

중봉산 화강암은 곳곳에서 태백산통의 규암을 포획하며, 그 주구성 광물은 방향으로 배열되어 편리조직을 보이는 “조립질 편마상 복운모 화강암”이다(조동용, 1984).

임계 화강암은 임계부락에서 북북서 방향으로 신장된 저반상 암체로 조립질 반상 흑운모 화강섬록암이다. 반정은 주로 K-장석으로서 10×4cm의 거정도 있다. 강릉 남부에서 채취된 시료의 K-Ar 연대가 156Ma로 측정되어 임계 화강암의 관입시기도 쥬라기로 추정되어 진다(이대성, 김용준, 1985).

삼화 화강암은 청옥산 일대의 태백산통과 그 동측 일대에 분포하는 조선누층군 사이에서 이들을 관입하였다. 이민성 등(1987)은 본 화강암으로부터 분리한 흑운모에 대한 K-Ar 연대측정 결과 약

50Ma를 얻었다. K-장석은 홍색의 미사장석과 perthite이고 흑운모와 자철석을 수반하며 부분적으로 마이아롤리틱 조직을 보이는 곳도 있다.

시료 채취는 계곡이나 도로공사 등으로 노출된 신선한 부위에서 가능한한 규칙적으로 채취하였다 (Fig. 2, Table. 1).

Table 1. Sample numbers and locations.

No	Field No.	Latitude	Longitude
1	SH-1	37°26'40"	129°01'36"
2	SH-2	37°26'52"	129°01'38"
3	SH-3	37°27'02"	129°01'54"
4	SH-4	37°27'12"	129°02'04"
5	SH-5	37°28'26"	129°00'23"
6	SH-6	37°28'25"	129°01'00"
7	SH-7	37°28'20"	129°01'30"
8	SH-8	37°26'46"	129°59'02"
9	SH-9	37°26'02"	129°59'40"
10	SH-10	37°27'22"	129°00'18"
11	SH-11	37°27'41"	129°01'30"
12	IG-1	37°29'28"	128°50'45"
13	IG-2	37°29'48"	128°48'36"
14	IG-3	37°29'46"	128°47'29"
15	IG-4	37°29'02"	128°46'46"
16	IG-5	37°30'54"	128°51'02"
17	IG-6	37°34'18"	128°51'07"
18	IG-7	37°34'51"	128°51'47"
19	IG-8	37°36'33"	128°51'49"

### 3. 임계 및 삼화 화강암류의 암석지구화학적 특징

#### 3-1. 암석학적 특징

임계 화강암의 주체는 조립질 반상 혹은 흑운모 화강 섬록암으로 반정은 주로 K-장석이다. 반정은 보통 7×2cm정도이고 큰것은 10×4cm정도의 거정도 있으며 홍색을 띄운다.

야외 조사시 관찰한 삼화 화강암은 주로 조립질 흑운모 화강암이나 부분적으로 세립질을 보이며, 홍색의 장석과 자철석을 수반한다. 주구성 광물은 석영, 미사장석, Perthite, 사장석 및 흑운모이며 녹염석, 형석, 감섬석 및 불투명 광물이 부성분 광물

로서 관찰되어 진다. 특징적인 조직으로는 miarolitic 조직이 있으며 이러한 공동에 형석, 녹염석 및 불투명 광물들이 함께 충전되어 있는 경우를 볼 수 있다.

#### 3-2. 지구화학적 특성

화학분석을 하기 위하여 시료들을 1차로 Jaw Crusher로 파쇄한 후 4분법에 의하여 그 양을 감소시켜 미분쇄(200mesh이하) 하였으며, 분말시료의 오염방지를 위하여 사용기구를 세척 하였으며 사용기구의 세척에 특히 유의하였다. 화학 분석용 용액의 제조는 200mesh의 분말시료 약 1g을 6N HNO<sub>3</sub>, HF(49%), HClO<sub>4</sub>(60%)등의 혼합산을 사용하여 Hot Plate에서 가열하는 방법을 사용하였다. 분석 대상 원소로는 주성분 원소 11개와 미량 성분 원소 9개등 총 20개 원소로서 TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, K<sub>2</sub>O 및 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 XRF(X-Ray Fluorescence Spectrometer)로 분석했으며, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO 및 Na<sub>2</sub>O는 중량법으로, 그리고 B, Ba, Li, Mn, Nb, Sr, Y, Zr, Co는 ICP(Inductively Coupled Plasma Spectrophotometer)에 의하여, 그리고 Rb는 원자 흡광 분광광도계(Atomic Absorption Spectrophotometer)에 의하여 분석 하였다.

화학분석 과정에서 필요한 품질관리(Quality control)는 습식분석의 경우 동일 시료 2회 분석과 Blank를 사용하였으나, XRF 분석의 경우 동일시료의 2회 분석만을 사용하여 시행 하였다.

#### 3-2-1. 주원소 지구화학

임계 화강암과 삼화 화강암의 주성분 원소 함량에 대한 분석결과와 CIPW norm 값은 Table 2와 같다.

임계 화강암과 삼화 화강암은 CIPW norm 값에 의한 normative Quartz-Orthoclase-Plagioclase 삼각도(Fig. 3)에서 대부분의 시료가 화강암 영역에 속하고 있으나 임계 화강암은 삼화 화강암보다 더 화강섬록암에 치우치고 있으며 이중 한개의 시료는 Quartz-monzonite의 영역에 도시되어 진다. O'Conner(1965)의 분류법에 따른 normative albite-orthoclase-anorthite 삼각도(Fig. 4)

Table 2. Major element abundances(wt. %) and CIPW norms.

Sample No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	SH-1	SH-2	SH-3	SH-4	SH-5	SH-6	SH-7	SH-8	SH-9	SH-10	SH-11	IG-1	IG-2	IG-3	IG-4	IG-5	IG-6	IG-7	IG-8
SiO <sub>2</sub>	73.30	74.77	73.38	73.15	73.94	74.48	74.04	74.80	75.08	74.14	75.20	67.50	71.00	71.30	70.30	68.60	67.70	68.60	67.40
TiO <sub>2</sub>	0.17	0.08	0.12	0.13	0.10	0.09	0.12	0.11	0.09	0.11	0.14	0.51	0.24	0.26	0.24	0.47	0.56	0.46	0.34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.18	12.41	12.77	12.96	12.47	12.54	12.82	12.61	12.57	12.53	12.39	15.70	15.03	15.01	15.27	15.53	15.78	15.46	15.68
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.45	0.91	0.69	0.49	0.35	0.57	0.25	0.68	0.43	0.45	0.59	0.92	0.74	0.96	0.89	0.90	1.31	1.51	1.30
FeO	1.21	0.46	0.81	0.65	0.91	0.68	1.04	0.76	0.85	0.87	0.84	2.59	1.31	1.12	1.06	2.02	1.91	1.53	1.15
MnO	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
MgO	0.26	0.03	0.14	0.10	0.08	0.02	0.08	0.03	0.07	0.09	0.03	0.88	0.33	0.31	0.30	0.78	0.75	0.63	0.44
CaO	0.73	0.41	0.52	0.58	0.53	0.41	0.47	0.42	0.40	0.44	0.37	2.90	1.52	1.56	1.58	2.58	2.45	2.41	1.61
Na <sub>2</sub> O	4.45	4.46	4.52	4.41	4.51	4.43	4.64	4.32	4.49	4.34	3.24	3.08	3.96	3.80	4.84	3.52	3.58	3.63	4.86
K <sub>2</sub> C	4.78	4.66	4.68	4.63	4.57	4.56	4.64	4.69	4.61	4.56	4.61	3.41	3.92	3.93	4.10	3.25	3.33	3.39	4.85
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.04	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	-	-	-	0.03	0.05	0.03	0.01
Total	98.60	98.23	97.68	97.14	97.50	97.82	98.14	98.47	98.66	97.58	97.46	97.55	98.06	98.26	98.60	97.68	97.44	97.70	97.66

CIPW Norms

Qz	26.86	30.52	27.95	28.35	28.92	30.33	27.90	30.68	30.17	30.09	37.56	27.66	28.57	29.96	22.23	28.09	27.20	28.04	16.53
C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.47	1.77	1.51	1.67	-	1.60	1.95	1.45	-
Or	28.25	27.54	27.66	27.36	27.10	26.95	27.42	27.72	27.24	26.95	27.24	20.15	23.17	23.23	24.23	19.21	19.68	20.03	28.66
Ab	37.66	37.74	38.25	37.32	38.16	37.49	39.26	36.56	37.99	36.73	27.42	26.06	33.51	32.16	40.96	29.79	30.29	30.72	41.13
An	1.87	0.08	0.73	1.89	0.28	0.86	0.45	1.17	0.53	1.24	1.64	14.13	7.54	7.74	7.83	12.60	11.83	11.91	6.65
Wo	-	0.68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Di	1.27	0.16	1.40	0.73	1.93	0.91	1.54	0.69	1.15	0.70	-	-	-	-	-	-	-	-	1.03
Hy	1.62	-	0.39	0.49	0.45	0.24	0.94	0.42	0.72	0.96	0.93	5.38	2.24	1.62	1.60	4.12	3.41	2.41	1.11
Mt	0.65	1.32	1.00	0.71	0.51	0.83	0.36	0.99	0.62	0.65	0.86	1.33	1.07	1.39	1.29	1.30	1.90	2.19	1.88
Il	0.32	0.15	0.23	0.25	0.19	0.17	0.23	0.21	0.17	0.21	0.27	0.97	0.46	0.49	0.46	0.89	1.06	0.87	0.65
Hm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ru	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ap	0.09	0.05	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.09	-	-	-	0.07	0.12	0.07	0.02
Total	98.59	98.24	97.68	97.15	97.50	97.83	98.15	98.49	98.64	97.58	97.46	97.54	98.07	98.26	98.60	97.67	97.44	97.69	97.66

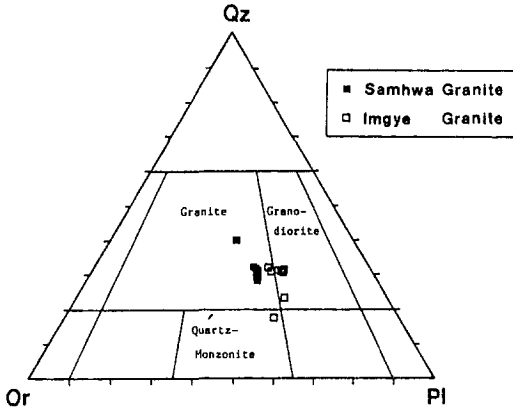


Fig. 3 Ternary diagram of normative quartz-orthoclase-plagioclase for the Imgye and the Samhwa granitoids.

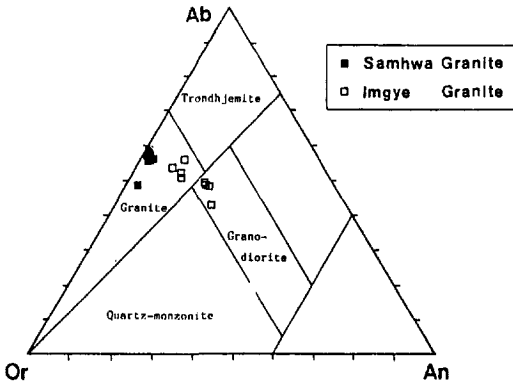


Fig. 4 Ternary diagram of normative albite-orthoclase-anorthite for the Imgye and the Samhwa granitoids(after O'Connor, 1965).

에서도 삼화 화강암은 화강암 영역에 그리고 임계 화강암은 화강암과 화강섬록암 영역에 분포한다.

본 대상화강암의 주성분 원소 평균함량을 서로 비교하여 보면  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MnO$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ 의 경우 임계 화강암이 삼화 화강암보다 높은 평균 함량치를 보이며,  $SiO_2$ ,  $MnO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ 의 평균 함량은 낮게 나타나며  $P_2O_5$ 는 서로 같다.

이들을 Turekian and Wedepohl(1961)에 의한 Ca-high 화강암류와 Ca-low 화강암류의 세계 평균치와 비교하여 볼때(Table 3) 임계 화강암

에서  $SiO_2$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ 는 Ca-high 화강암류보다 높으며 그 외의 주성분 원소의 함량은 낮다. 삼화 화강암에 있어서는  $Na_2O$ ,  $K_2O$  평균함량만 Ca-low 화강암류 보다 높고 그 외의 주성분 원소들은 모두 낮게 나타난다.

주성분 원소들의 상호 관계를 보면  $SiO_2$ 함량에 대한 주성분 원소들의 변화도(Fig. 5)에서 임계 화강암은  $SiO_2$ 의 함량이 증가함에 따라 대체로  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $FeO$ ,  $CaO$ ,  $MgO$  및  $P_2O_5$ 의 함량은 감소하고  $Na_2O$  및  $K_2O$ 는 증가하는 경향을 보여 준다. 그러나 삼화 화강암은  $SiO_2$ 의 함량이 증가에 대하여  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $FeO$ ,  $MgO$  및  $CaO$ 의 함량이 감소하는 경향을 보일뿐 기타의 원소들의 함량 변화는 뚜렷한 경향을 보여주지 않는다. 화성암 계열의 설정을 위하여 제시된(Irvine and Baragar, 1971) alkalis( $Na_2O+K_2O$ )와  $SiO_2$ 관계도

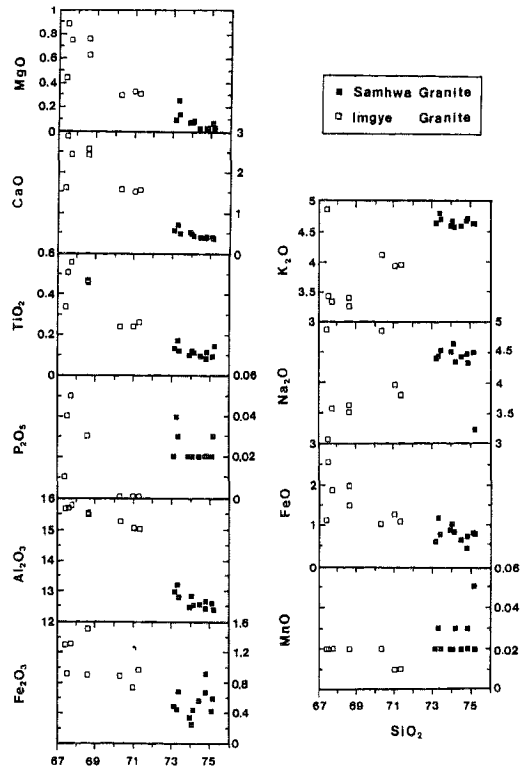


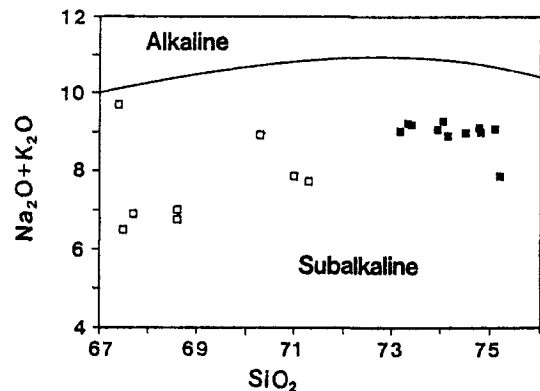
Fig. 5 Abundances of some major elements(wt. %) plotted against  $SiO_2$  contents(wt. %) for the Imgye and the Samhwa granitoids.

**Table 3.** Abundances of elements in the Imgye and the Samhwa granitoids compared with average contents in granites.

		Mean	Range	S. D.* <sup>1)</sup>	C. V.* <sup>2)</sup>	Average in* <sup>3)</sup> granite	
						Ca-high	Ca-low
SiO <sub>2</sub>	SAMHWA	74.21	73.15-75.20	0.72	0.97	67.16	74.22
	IMGYE	69.05	67.40-71.30	1.59	2.30		
TiO <sub>2</sub>	SAMHWA	0.11	0.08-0.17	0.03	27.27	0.57	0.20
	IMGYE	0.39	0.24-0.56	0.12	30.77		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SAMHWA	12.66	12.39-13.18	0.25	1.97	15.49	13.60
	IMGYE	15.43	15.01-15.78	0.30	1.94		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SAMHWA	0.53	0.25-0.91	0.18	33.96	4.23	2.30
	IMGYE	1.07	0.74-1.51	0.27	25.23		
FeO	SAMHWA	0.83	0.46-1.21	0.20	24.10		
	IMGYE	1.59	1.06-2.59	0.54	33.96		
MnO	SAMHWA	0.03	0.02-0.05	0.01	33.33	0.05	0.05
	IMGYE	0.02	0.01-0.02	0.004	20.00		
MgO	SAMHWA	0.08	0.02-0.26	0.07	87.50	1.56	0.27
	IMGYE	0.55	0.3-0.88	0.24	43.64		
CaO	SAMHWA	0.48	0.37-0.73	0.10	20.83	3.54	0.71
	IMGYE	2.08	1.52-2.9	0.57	27.40		
Na <sub>2</sub> O	SAMHWA	4.35	3.24-4.64	0.38	8.74	3.83	3.48
	IMGYE	3.91	3.08-4.86	0.63	16.11		
K <sub>2</sub> O	SAMHWA	4.64	4.56-4.78	0.07	1.51	3.01	4.30
	IMGYE	3.77	3.25-4.85	0.54	14.32		
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SAMHWA	0.02	0.02-0.04	0.006	30	0.21	0.14
	IMGYE	0.02	0.01-0.05	0.02	100		

\*1) S. D. ; Standard deviation, \*2) C. V.(%) ; Coefficient of variation = S.D. /mean × 100.

\*3) Turekian and Wedepohl, 1961.



**Fig. 6** Plot of Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O versus SiO<sub>2</sub> in weight percent for the Imgye and the Samhwa granitoids. Symbols are same as in Fig 5.

(Fig. 6)에서는 임계 화강암과 삼화 화강암은 모두 비알카리 계열(subalkaline)에 속하며  $A(Na_2O+K_2O)-F(FeO+0.9Fe_2O_3)-M(MgO)$  삼각도 (Fig. 7)와  $Al_2O_3$  함량 대 normative 사장석의 관계도 (Fig. 8)에서 이들은 모두 분화 말기의 calc-alkaline 계열의 특징을 보여 준다.

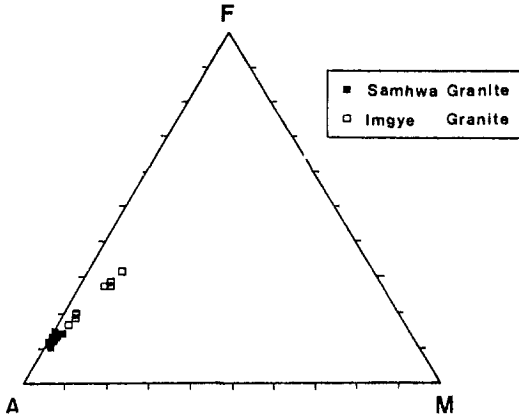


Fig. 7 AFM diagram for the Imgye and the Samhwa granitoids ( $A=Na_2O+K_2O$ ,  $F=FeO+0.9Fe_2O_3$ ,  $M=MgO$ ).

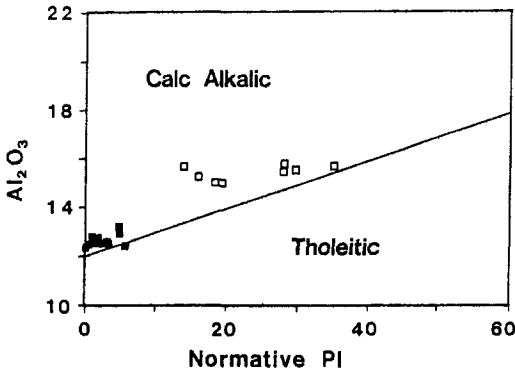


Fig. 8 Pol't of  $Al_2O_3$ (wt. %) versus normative PI ( $An \times 100 / (Ab + An)$ ) of the Imgye and the Samhwa granitoids (after Irvine and Barager, 1971). Symbols are same as in Fig. 7.

3-2-2. 미량원소 지구화학

본 연구대상 화강암체에 대한 미량원소의 분석결과를 Table 4a에 나타나 있으며 그들의 분포 특징

은 다음과 같다. 임계 화강암의 Rb, Sr 및 Ba의 평균함량은 각각 142ppm, 347ppm 및 894ppm으로 우리나라의 주라기 및 백악기 화강암의 평균함량(전효택, 1983 a, b) 및 Taylor(1964)의 세계 화강암의 평균치(Table. 4b)와 비슷한 평균함량을 갖으며, 그 외의 미량원소 중 Li, Zn 및 Co는 각각 52ppm, 57ppm 및 5.6ppm으로 평균함량치가 높으며 Nb, Y, Zr은 각각 7.2ppm, 4.3ppm 및 21ppm으로 낮다. 임계 화강암의 B의 평균함량은 26ppm이다.

그러나 삼화 화강암의 Rb, Sr 및 Ba의 평균함량은 각각 377ppm, 20ppm, 76ppm으로 Rb의 경우 우리나라의 주라기 및 백악기 화강암의 평균함량(전

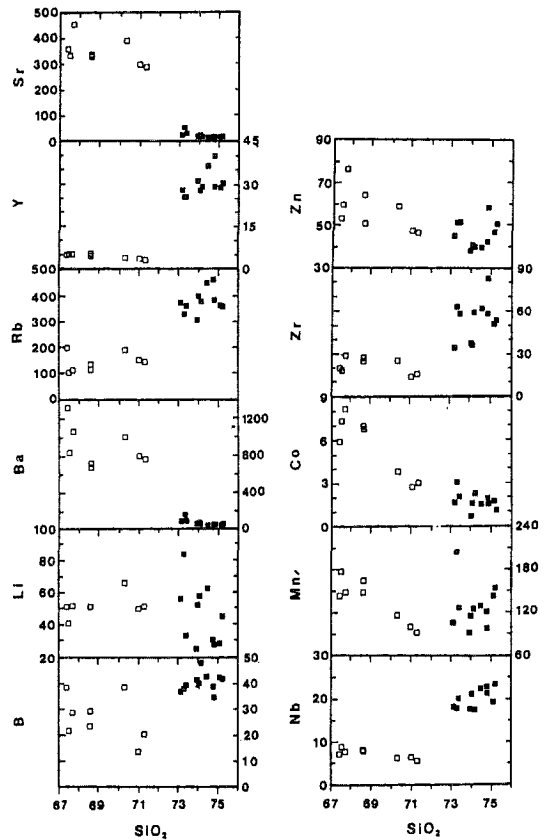


Fig. 9 Trace element concentrations(ppm) plotted against  $SiO_2$  contents(wt. %) for the Imgye and the Samhwa granitoids. Symbols are same as in Fig. 7.



**Table 4a.** Trace element values of the analyzed samples(unit in ppm).

Sample No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	SH-1	SH-2	SH-3	SH-4	SH-5	SH-6	SH-7	SH-8	SH-9	SH-10	SH-11	IG-1	IG-2	IG-3	IG-4	IG-5	IG-6	IG-7	IG-8
B	38.01	34.58	39.26	36.76	41.12	42.20	39.96	38.52	42.00	47.63	41.77	21.32	13.32	20.16	38.10	22.96	28.36	29.07	38.22
Ba	157.77	54.73	103.78	95.52	63.21	42.14	75.12	58.55	59.38	68.56	61.20	834.43	799.83	759.53	998.40	708.38	1061.68	673.00	1317.24
Li	84.26	30.79	34.25	56.45	25.75	63.29	52.88	28.72	28.75	58.50	46.37	41.20	50.04	51.44	66.50	51.28	51.79	50.71	51.46
Nb	17.73	22.85	19.98	17.95	17.48	22.21	20.96	21.36	19.04	17.30	23.30	8.19	6.42	5.63	6.25	8.16	7.75	7.90	7.27
Rb	329.04	458.21	361.57	369.56	305.39	450.55	395.72	382.66	361.06	378.18	354.52	101.31	148.46	143.48	187.40	111.88	111.81	135.77	197.76
Sr	47.58	15.46	25.51	25.20	16.99	11.59	19.50	15.32	14.76	16.21	15.91	332.01	296.16	287.22	388.29	335.70	449.69	325.39	358.87
Y	25.39	39.49	25.30	27.72	30.58	36.01	27.54	28.77	28.55	29.02	30.28	4.93	3.36	2.97	3.78	5.11	5.03	4.38	4.71
Zn	50.84	42.15	51.00	45.05	38.22	39.59	40.31	57.73	46.57	39.68	50.04	59.35	47.01	46.30	58.56	50.38	76.10	64.05	52.94
Zr	62.91	83.39	58.81	34.91	38.75	62.09	37.11	58.52	51.03	58.90	54.27	17.68	14.05	15.80	25.08	24.04	28.20	26.58	19.30
Co	2.98	1.93	1.96	1.63	0.67	1.49	1.59	1.54	1.68	2.25	1.11	7.30	2.71	3.02	3.79	6.99	8.19	6.80	5.88

**Table 4b.** Trace element values(Average, Range, S.D and C.V).

		Mean	Range	S.D	C.V	World Ave*		Granitic Rocks** of Korea	
						Crust	Granite	Juras-sic	Creta-ceous
B	SAMHWA	40	35-48	3.4	8.5				
	IMGYE	26	13-38	8.7	33				
Ba	SAMHWA	76	42-156	32	42	425	420-840	757	594
	IMGYE	894	708-1317	218	24				
Li	SAMHWA	46	26-84	19	40	20	38	34	22
	IMGYE	52	41-67	6.9	13				
Nb	SAMHWA	20	17-23	2.3	11	20	20		
	IMGYE	7.2	5.6-8.9	1.0	14				
Rb	SAMHWA	377	305-458	46	12	90	110-210	130	95
	IMGYE	142	101-198	35	25				
Sr	SAMHWA	20	12-48	1.0	49	375	100-440	336	204
	IMGYE	347	287-450	53	15				
Y	SAMHWA	30	25-40	4.3	14	33	40		
	IMGYE	4.3	3.0-5.1	0.8	19				
Zn	SAMHWA	46	38-58	6.3	14	70	40		
	IMGYE	57	46-76	1.0	18				
Zr	SAMHWA	55	35-83	14	26	165	180		
	IMGYE	21	14-28	5.3	25				
Co	SAMHWA	1.7	0.7-3.0	0.6	35	25	1	8.5	8.3
	IMGYE	5.6	2.7-8.2	2.1	38				

\* Taylor's average.

\*\* Average of the Jurassic and Cretaceous granitic rocks (data from Chon, 1983 a, b).

효택, 1983 a, b) 및 Taylor(1964)의에 비하여 높은 값을 보이나 Sr과 Ba의 평균함량은 이들에 비하여 훨씬 낮다. 기타의 미량원소의 평균함량을 Taylor의 값과 비교해 볼때 Li의 평균함량은 46ppm으로 높은 수준이나 Y 및 Zr은 각각 30ppm 및 55ppm으로 낮은 수준이며 Nb 20ppm, Zn 46ppm 및 Co 1.7ppm은 비슷한 수준이다. 그리고 삼화 화강암의 B 평균함량은 40ppm이다.

SiO<sub>2</sub> 함량 증가에 대한 미량원소의 함량 변화도

(Fig. 9)에서 임계 화강암은 SiO<sub>2</sub>의 함량 증가에 따라 Rb과 Li의 증가, B, Ba, Co, Nb, Zn 및 Sr의 감소 경향을 보이고 있으나 B 및 Zn는 분산이 매우 심하고 그외에 Y 및 Zr은 뚜렷한 경향을 보이지 않는다. 삼화 화강암의 경우 SiO<sub>2</sub>의 함량 증가에 따라 Rb, Nb 및 Y는 대체로 증가추세를 보이고 있으나 그 분포상태는 매우 분산되어 있으며 Sr과 Ba은 감소경향을, 그외 B, Co, Li, Zn 및 Zr은 분산이 심하여 일정한 변화 추세를 알 수 없다. 미량원

소 상호간의 관계를 보면 Ba-Sr 관계도(Fig. 10)에서 임계 및 삼화 화강암은 Sr의 함량 증가에 따라 Ba의 함량도 비교적 규칙적으로 증가하는 양의 상관관계를 보이며, 또 Rb-Sr 관계도(Fig. 11)에서 Sr의 함량 증가에 따라 Rb의 함량은 감소하고 있으나, 그 변화의 양상은 임계 화강암은 넓은 Sr의 함량 범위(287-450ppm)내에서 Rb의 함량 변화가 매우 완만하게(198-101ppm) 감소하는 반면 삼화 화강암에서는 좁은 Sr 함량 범위(12-48ppm)내에서 Rb의 함량은 매우 크게(450-305ppm) 감소한다.

또 Rb/Sr 대 SiO<sub>2</sub> 함량 관계도(Fig. 12)에서 보면 SiO<sub>2</sub>의 함량이 67-71% 범위인 임계 화강암의 Rb/Sr 비의 변화범위는 0.25-0.55로서 거의 변화

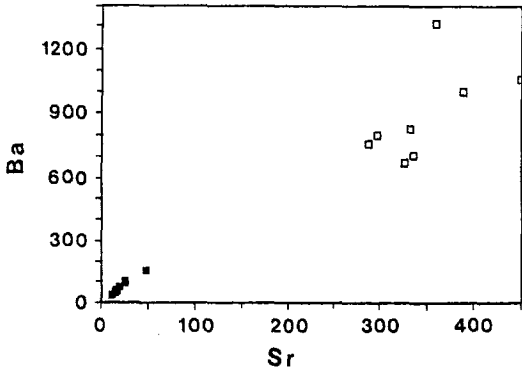


Fig. 10 Plot of Sr(ppm) versus Ba(ppm) for the Imgye and the Samhwa granitoids. Symbols are same as in Fig 7

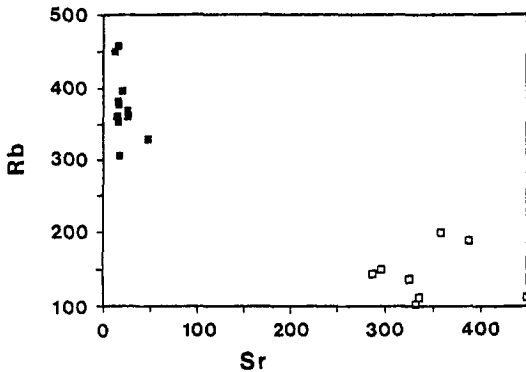


Fig. 11 Plot of Rb(ppm) versus Sr(ppm) for the Imgye and the Samhwa granitoids. Symbols are same as in Fig 7

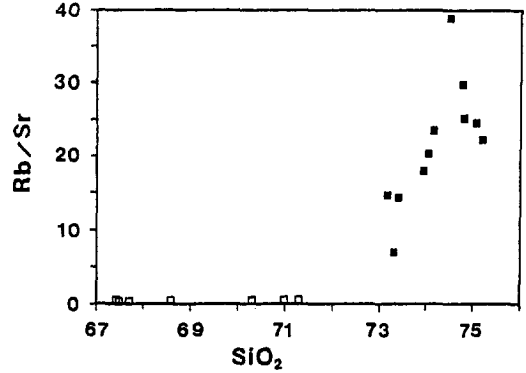


Fig. 12 Plot Rb/Sr versus SiO<sub>2</sub>(wt. %) for the Imgye and the Samhwa granitoids. Symbols are same as in Fig 7

를 보이지 않는 반면 SiO<sub>2</sub>의 함량 범위가 73-75%인 삼화 화강암에서는 Rb/Sr의 값은 6.9-38.9의 범위를 갖으며 급격히 증가한다.

#### 4. 성인적 고찰

Chappell and White(1974)은 화강암류를 I-형과 S-형으로, 그리고 Ishihara(1977)는 자철석계와 티탄철석계로 분류하고 이것이 암석의 성인과 밀접한 관계가 있음을 밝혀 냈다. 즉, White and Chappell(1977)은 I-형의 화강암류는 화성암기원 물질로 형성되었으며 S-형의 화강암류는 퇴적암의 기원 물질로 형성되어 진다고 했으며 이들은 ACF 삼각도에서 Ca-rich I-형과 Ca-poor S-형과 명확하게 구분할 수 있다고 하였다.

그리고 Takahashi et al.(1980)도 이 ACF삼각도에 의한 I-S형 구분이 가장 효과적이라고 하였다. 일반적으로 I-형 화강암류는 S-형 화강암류보다 Na<sub>2</sub>O의 성분비가 높으며(felsic type에서 2%이상, mafic type에서 2.2%이상), S-형 화강암류는 그 퇴적기원암 내의 C 및 S 성분 때문에 I-형에 비하여 보다 환원상태여서 상대적으로 낮은 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO 비를 가진다(Hine et al., 1977). ACF 삼각도 이외에도 Chappell and White(1974) 및 Hine et al.(1978)은 그 화학적 분류 기준으로 Na<sub>2</sub>O 대 K<sub>2</sub>O의 함량(wt.%) 변화도 및 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 대 FeO의 함량 변화도와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Na<sub>2</sub>O +

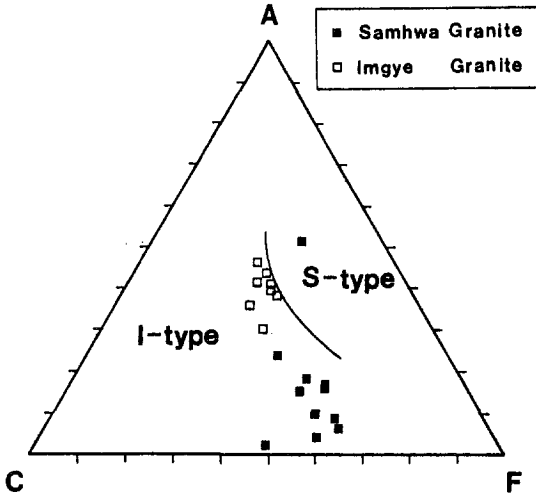


Fig. 13 ACF diagram(molar ratio, A=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Na<sub>2</sub>O - K<sub>2</sub>O ; C=CaO ; F=MgO + FeO) for the Imgye and the Samhwa granitoids (Hine et al., 1978).

K<sub>2</sub>O + CaO(mol. ratio), K/Na + K(atomic ratio), C/ACF(mol. ratio) 및 Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup>+Fe<sup>3+</sup> (atomic ratio)의 도수분포도를 I-S형을 분류하는 효과적인 변수라고 하였다.

이러한 화학적인 기준에 의하면 임계 화강암과 삼화 화강암은 모두 ACF삼각도(Fig. 13), Na<sub>2</sub>O 대 K<sub>2</sub>O의 함량변화도(Fig. 14), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 대 FeO 함량 변화도(Fig. 15)에서 I-형으로 분류되며, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O + CaO(mol. ratio), K/Na + K, C/ACF(mol. ratio) 및 Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup>+Fe<sup>3+</sup> 도수분포도(Fig. 16)에서도 임계 화강암의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O+CaO 도수분포도가 S-형에 치우치는 경향이 있을 뿐 대체로 전형적인 Australia의 I-형 화강암류와 비슷한 분포를 보인다. 박미령, 김규한(1982)은 남한의 대보 화강암류 및 불국사 화강암류에 대하여 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O + CaO와 K/Na + K는 I-S형을 구분하는데 적용하기 어렵다고 밝힌바 있다. 이러한 결과에 의하면 임계 화강암과 삼화 화강암은 모두 I-형 화강암류에 해당된다.

Ishihara의 분류에서 자철석계 화강암류는 현미경 하에서 쉽게 인정할 수 있는 양의 자철석을 포함

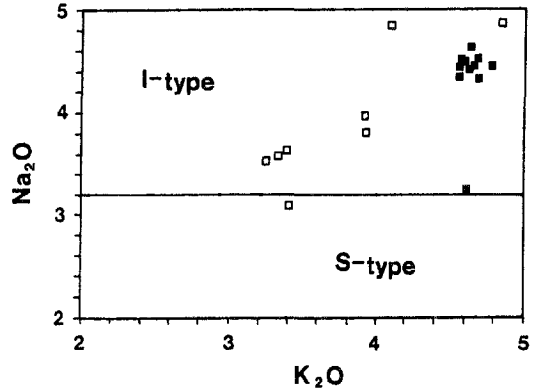


Fig. 14 Plot of Na<sub>2</sub>O(wt. %) versus K<sub>2</sub>O(wt. %) for the Imgye and the Samhwa granitoids. Symbols are same as in Fig 13.

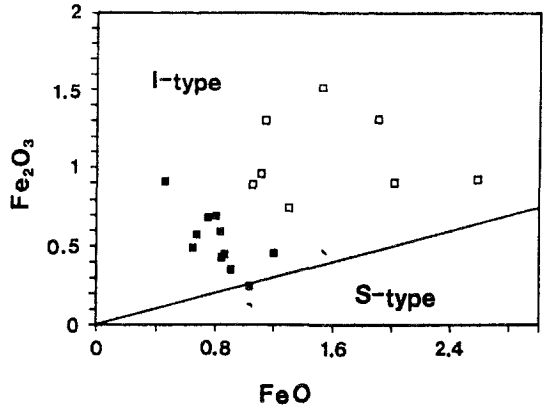


Fig. 15 Plot of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> versus FeO for the Imgye and the Samhwa granitoids. Symbols are same as in Fig 13.

하고 있는 반면 티탄철석계 화강암류는 불투명 산화 광물은 거의 없고(0.1 vol.%이하) 티탄철석만을 볼 수 있다. 그 외에 대자율 100 × 10<sup>-6</sup>emu/g을 기준으로 자철석계는 기준 이상, 티탄철석계는 기준 이하로 구분할 수 있다. 그리고 Ishihara(1981)는 Australia의 화강암류의 I-S형과 비교하여 대체로 자철석계는 I-형이고 티탄철석계는 S-형 화강암류에 해당된다고 하였다. 또 Tsusue and Ishihara(1974)에 의하면 자철석계 화강암류와 티탄철석계 화강암류를 구분하는데 Fe<sup>+3</sup>/Fe<sup>+2</sup>+Fe<sup>+3</sup>비가 효과적인 변수로서 자철석계 화강암류가

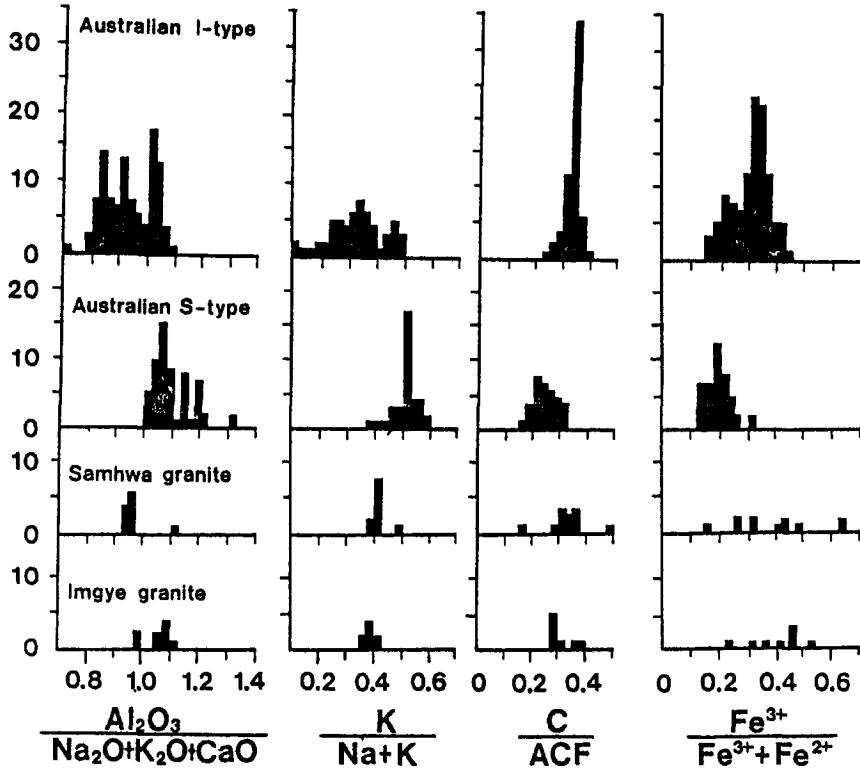


Fig. 16 Histogram showing frequency of several parameters in the I-type and S-type granitoids in eastern Australia, the Imgye and the Samhwa granitoids.

티탄철석계 화강암류보다 더 산화되었고 분화지수 (Normative Quartz + Orthoclase + Albite)에 대한 산화비( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \times 100 / 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ , in mol.%) 관계도 및  $\text{TiO}_2 - \text{FeO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$  삼각도를 이들을 구분하기 위한 효과적인 그림으로 사용하였다. Fig. 17 및 Fig. 18은 분화지수에 대한 산화비 관계도 및  $\text{TiO}_2 - \text{FeO} - \text{Fe}_2\text{O}_3$  삼각도에 본 연구 대상 화강암을 도시한 것이다. 이것에 의하면 삼화 화강암과 임계 화강암은 대부분 자철석 계열의 영역에 도시되어 있다. 따라서, 삼화 화강암과 임계 화강암은 모두 I-형, 자철석계 화강암류로 분류되어 이들 화강암류를 이룬 magma들이 상부맨틀 내지 하부지각의 깊이에서 탄소가 함유되지 않은 화성기원 물질로부터 생성되었을 가능성을 시사한다.

임계 화강암은 normative quartz-albite-orthoclase 삼각도에서 거의 선형분포를 보이며 그 연장선은  $\text{Ab}_{60}\text{Or}_{40}$ 에 달한다(Fig. 19). Rb-Ba-Sr 삼각도(Fig. 20)에서 화강섬록암과 석영섬록암 영역에서부터 이상화강암의 영역에 까지 비교적 넓게 분포되어 있다. Rb-Sr 관계도(Fig. 11)에서 compatible element인 Sr의 큰 변화폭에 대하여 incompatible element인 Rb은 그 변화 폭이 크지 않은 경향을 보이며 또한 Ba-Sr 관계도(Fig. 10)에서 Ba은 Sr과 양의 상관관계를 가지므로 compatible element로 거동하였음을 시사한다. 이러한 화학적 특성은 임계 화강암이 부분 용융과정에서 보다는 초기 magma가 거정의 알카리 장석을 분별결정 하므로서 분화된 결과로서 해석 된다.

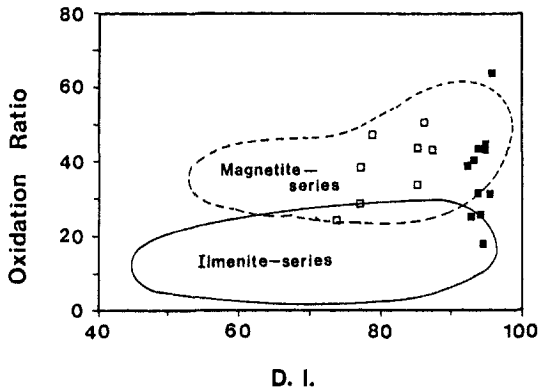


Fig. 17 Plots of oxidation ratio versus differentiation indices(D.I.) for the Imgye and the Samhwa granitoids. Symbols are same as in Fig 13.

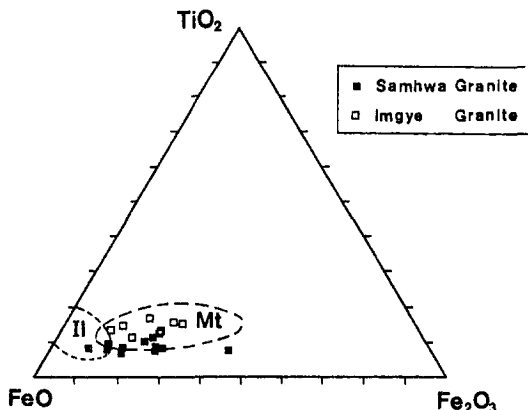


Fig. 18 Ternary diagram for  $TiO_2-FeO-Fe_2O_3$  (Il=Ilmenite series, Mt=magnetite series).

삼화 화강암은 normative quartz-albite-orthoclase 삼각도(Fig. 19)에서 한지점에 밀집되어 이 암체가 분화 최말기 또는 부분용융의 초기단계에서 생성된 magma의 특성을 보인다.  $SiO_2$ 의 함량이 73.15~75.20%의 좁은 범위와 I-형 화강암류의 minimum melt에서의  $SiO_2$  함량(76%, White and Chappell, 1977)에 가까우며, AFM 삼각도(Fig. 7) 및 El Bouseily와 El Sökkary(1975)가 제시한 Rb-Ba-Sr 삼각도(Fig. 20)에서 매우 분화된 화강암 영역에 밀집되어 있다.

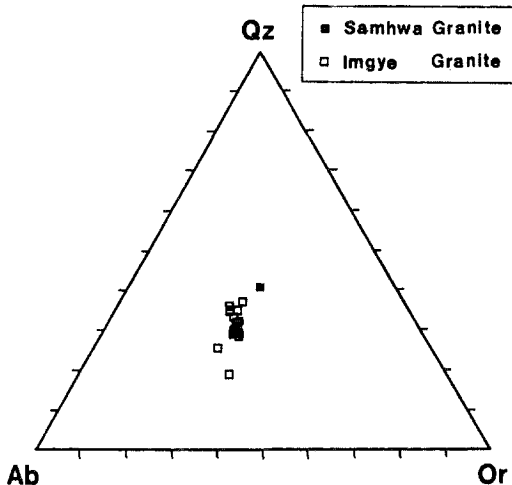


Fig. 19 Quartz(Qz) - albite(Ab) - orthoclase(Or) normative values for the Imgye and the Samhwa granitoids.

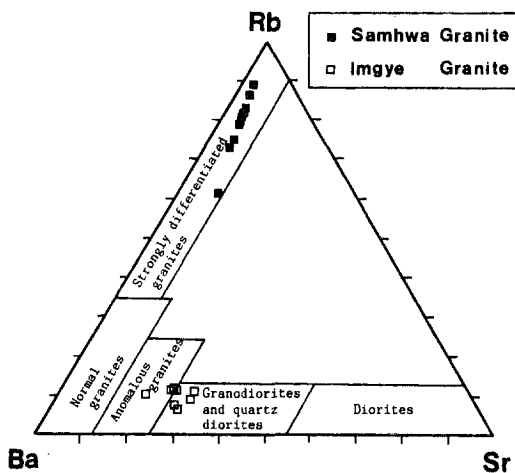


Fig. 20 Ternary diagram for Rb-Ba-Sr (after El Bouseily and El Sökkary, 1975).

그리고 Rb-Sr 관계도(Fig. 11)에서 compatible element인 Sr의 함량변화가 매우 작는데 비하여 incompatible element인 Rb은 그 함량변화가 매우 크게 변화 함으로서 이 magma가 분별 결정 작용의 결과라기 보다는 부분용융에 의한 결과임을 보여 주고 있다(e.g. Hanson, 1978). 삼화화강암에 있어서 Sr-Ba관계(Fig. 10)는 대체로 양의 상

관관계를 보여주며 Sr과 Ba의 함량이 작은것은 이 magma가 partial melting의 결과라고 가정 할 경우 이 magma의 생성에 사장석 및 흑운모가 관여 하지 않았음을 의미 하는 것으로 해석 된다.

## 5. 결 론

육천대의 동북부에 분포하는 삼화 화강암과 임계 화강암에 대한 지구 화학적 제 특성을 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Normative quartz-orthoclase-plagioclase 삼각도와 O'Conner의 분류법에 따른 normative albite-orthoclase-anorthite 삼각도에서 삼화 화강암은 granite 영역에 임계 화강암은 화강암 및 화강섬록암 영역에 속한다.

2. Alkalis와 SiO<sub>2</sub> 관계도 및 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 normative 사장석 관계도에서 삼화 화강암과 임계 화강암은 모두 비 알칼리 계열의 calc-alkali암으로 분류 되고 있다.

3. 삼화 화강암은 ACF 삼각도, Na<sub>2</sub>O 대 K<sub>2</sub>O의 함량 변화도, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 대 FeO의 함량 변화도, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O + CaO(mol. ratio), K/Na+K, C/ACF(mol. ratio) 및 Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup>+Fe<sup>3+</sup> 도수 분포도에서 볼때 I-형, 임계 화강암은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O + CaO(mol. ratio)에서는 S-형에 치우치나 그외 화학적 분류기준으로 볼때 역시 I-형에 해당된다. 또 분화지수에 대한 산화비 관계도와 TiO<sub>2</sub>-FeO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(mole. %)에서 모두 자철석 계열에 해당 한다.

4. Normative quartz-albite-orthoclase 삼각도 및 Rb-Sr 관계도에서 삼화 화강암은 Sr의 함량변화는 비교적 좁은 범위내에서 일정하게 유지되는 반면 Rb은 큰 함량변화를 보여 주고 있어 부분 용융의 결과에 의한 것으로 판단된다. 반면에 임계 화강암에 있어서 Rb와 Sr의 관계는 삼화 화강암과 반대되는 특징을 보이고 있어서 임계 화강암의 주된 분화과정은 분별 결정작용에 의한 것으로 판단 되어 진다.

## REFERENCES

1. Chappell, B. W. and White, A. J. R., 1974, Two contrasting granite types : Pacific Geol., Vol. 8, P.173-174.
2. El Bouseily, A. M. and El Sokkary, A. A., 1975, The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks : Chemical Geology, Vol. 16, pp.207-219.
3. Hanson, G. N., 1978, The application of trace element to the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition : Earth Planet. Sci. Lett., Vol. 38, pp. 26-43.
4. Hine, R. and Willams, I. S., Chappell, B. W. and White, A. J. R., 1978, Contrast between I-type and S-type granitoids of the Kosciusko batholith : Jour. Geol. Soc. Australia, Vol. 25, pp.219-234.
5. Irvine, T. N. and Baragar, W. R. A., 1971, A Guide to the chemical classification of the common volcanic rocks : Can. J. Earth Sci., Vol. 8, pp.523-548.
6. Ishihara, S., 1977, The Magnetite-Series and Ilmenite-Series Granitic rocks : Mining Geol., 27, pp.293-305.
7. Ishihara, S., 1981, The granitoid series and mineralization : Econ. Geol., 75th Anniversary Vol., pp.458-484.
8. Lee, D. S.(ed), 1987, Geology of Korea, Kyohak-Sa, 513p.
9. O'Connor, J.T., 1965, A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios : U. S. Geol. Surv. Prof. Paper, 525-b, p.79.
10. Takahashi, M., Aramaki, S. and Ishihara, S., 1980, Magnetite-series/Ilmenite-series vs I-type/S-type granitoids : Mining Geol. Special Issue, 8, pp.13-38.

11. Taylor, S. R., 1964, Abundance of chemical elements in the continental crust (a new table) : *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. 28, pp. 1273-1285.
12. Tsusue, A. and Ishihara, S., 1974, The iron-titanium oxides in the granitic rocks of southwest Japan : *Mining Geol.*, Vol. 24, pp. 13-30.
13. Turekian, K. and Wedepol K. H., 1961, Distribution of the elements in some major units of the earth's crust : *Geol. Soc. Am. Bull.*, Vol. 72, pp.175-195.
14. White, A. J. R and Chapell, B. W., 1977, Ultrametamorphism and granitoid genesis : *Tectonophysics*, Vol. 43, pp.7-22.
15. 국립지질광물 연구소, 1973, 1 : 25만 지질도.
16. 김용준, 주승환, 조등용, 1984, 삼척지역에 분포하는 우백질화강암류의 Rb-Sr연령에 관한 연구 : *광산지질*, 제17권 제4호, pp.231-236.
17. 박미령, 김규한, 1982, 남한에 분포하는 화강암류의 암석화학적 연구 : *지질학회지*, 제18권 제3호, pp.132-148.
18. 이대성, 김용준, 1985, 옥천대에서의 화성활동 -특히 옥천대 동북부에서의 화성 활동- : *광산지질*, 제18권 제1호, pp.23-29.
19. 이민성, 장호완, 김완섭, 1987, 태백산 북부지역에 분포하는 삼화 화강암의 암석학적 연구 : *한국지구과학회지* 제8권 제2호, pp.143-155.
20. 전효택, 1983 a, 우리나라에 분포하는 중생대 화강암류중 미량원소의 지구화학적 특성과 광화작용과의 관련성 연구 : 1982/1983년도 한국과학재단 박사학위 소지자 해외연수(미발표)
21. 전효택, 1983 b, 월악산 화강암체의 암석 지구화학적 특징과 광화작용과의 관련성 : *대한광산학회지*, 제20권, pp.199-208.
22. 조등용, 1984, 강원도 임계지역에 분포하는 중봉산 화강암의 암석지구화학적 연구 : 연세대학교 석사학위논문, 47p.
23. 태백산 지구 지하자원 조사단, 1962, 태백산 지구지질도 : 국립지질 조사소.