

## 거창 일대에 분포하는 섬록암류와 화강암류에 대한 암석학적 연구

한 미 · 김선웅 · 양경희 · 김진섭\*

부산대학교 지구환경시스템학부

## Petrological Study of the Dioritic and Granitic Rocks from Geochang Area

Mi Han, Sun-woong Kim, Kyoung-hee Yang and Jin-Seop Kim\*

Division of Earth Environmental System, The Graduate School, Pusan National University  
Jangjeon-dong Gumjung-gu, Busan 609-735, Korea

**요약:** 본 연구는 거창일대에 분포하는 섬록암류, 흑운모 화강암, 각섬석 화강암을 대상으로 하였다. 모드조성 분석 결과 섬록암류는 석영섬록암, 석영 몬조섬록암, 토날라이트 영역에 속하며 흑운모 화강암은 화강섬록암과 화강암 영역에 해당된다. 그리고 각섬석 화강암은 화강암, 석영몬조니암, 석영섬장암 영역에 해당하여 기존의 연구와 어느 정도 일치함을 보였다. 본 연구지역 암체는 모두 비알칼리 계열의 칼크-알칼리 계열에 속하며 평균 Al 포화지수(molar A/CNK)는 각각 1.00, 1.06, 1.05로 모두 I-type이며 저알루미나질과 과알루미나질의 특징을 가진다. 평균 MORB에 표준화시킨 미량원소의 거미도표에서 비교적 유동성이 큰 Rb, Ba, Th, Nd는 부화되어 있고 유동성이 작은 Nb, Hf, Zr, Y는 상대적으로 결핍되어 있다. 특히 Nb와 Zr-Hf에서 부(-) 이상이 잘 나타나며 이러한 양상은 섭입대와 관련되어 생성된 칼크 - 알칼리 계열 암석의 특징을 잘 나타내는 것이다. 콘드라이트에 표준화시킨 희토류 원소 변화도에서 세 암체 모두 경희토류 원소가 중희토류 원소에 비해 부화되어 있으며 Eu의 부(-) 이상이 약하게 나타난다. 이는 남한에 분포하는 쥐라기 화강암류의 패턴과 유사하다. Culler & Graf(1984)에 의하면 총 희토류 원소의 합( $\Sigma$ REE)이 60~499 ppm이고 (La/Lu)<sub>CN</sub>의 값이 8.9~66 ppm에 해당하는 암체들은 대륙이나 그 주변부의 구조적 환경에서 형성된 화강암류임을 제시하였다. 본 연구지역의 흑운모 화강암의 REE값은 한 시료(39.69 ppm)만 제외하고는 76.21 ~137.05ppm의 값을 가지며, 각섬석 화강암의  $\Sigma$ REE값은 73.84~483.21 ppm의 값을 가진다. 또한 흑운모 화강암의 (La/Lu)<sub>CN</sub>의 값은 9.61~36.47 ppm, 각섬석 화강암의 (La/Lu)<sub>CN</sub>의 값은 7.17~21.85 ppm이다. 따라서 연구지역의 암체를 형성시킨 마그마의 생성환경이 대륙 또는 대륙 연변부임을 알 수 있다.

**핵심어:** 거창, 칼크-알칼리 계열, 쥐라기 화강암류, 대륙 연변부

**Abstract:** The geochemical studies on the plutonic rocks of the Geochang, the central part of the Ryongnam massif, were carried out in order to constrain the petrogenesis and the paleotectonic environment. The objects of this study are dioritic rocks, biotite granite and hornblende granite. The modal compositions indicate that the dioritic rocks are quartz diorite, quartz monzodiorite, tonalite, biotite granites are granodiorite, granite and hornblende granites are granite, quartz monzonite, quartz syenite. These rocks belong to the calc-alkaline series. Especially, trace elements such as Sr, Nb, Sr, Ti are depleted, suggesting that these rocks are produced in the subduction zone related to calc-alkaline series. Also, the studied granitic rocks correspond to peraluminous and I-type. Chondrite-normalized REE patterns show that LREE are enriched much more than HREE, and have weak Eu(-) anomaly. It is similar to pattern of Jurassic granitoids in the South Korea. Total REE value of the biotite granite and hornblende granite ranges 76.21~137.05 ppm and 73.84~483.21 ppm, respectively, also (La/Lu)<sub>CN</sub> value ranges 9.61~36.47 and 7.17~21.85. It is suggest that studied rocks support their emplacement at active continental margin. Also, these rocks are derived from magma generated by partial melting of lower continental crust materials.

**Key words:** Geochang, calc-alkali series, Jurassic granitoids, active continental margin

\*Corresponding author

Tel: 051-510-2253

E-mail: jsekim@pusan.ac.kr

## 서 론

한반도에서 가장 활발했던 화성활동은 대보조산운동과 수반된 중생대 주라기와 백악기 초에 걸친 대보 화강암류의 관입과 백악기 말과 제 3기에 걸쳐 일어난 유천층군 화산암류의 분출과 불국사 화강암류의 관입활동이다. 한반도에서 고생대 말에서 주라기 초기(250~210 Ma)에 걸쳐 중국 - 한국판과 양쯔판의 충돌로 아시아판이 형성된 이후 220~180 Ma에 아시아판 아래로 패럴론 - 이자나기판 사이의 중앙해령의 섭입이 일어났다. 동북아시아를 향하여 북서 방향으로 섭입하는 압축력 지구조환경에 위치하여 남중국과 한반도 및 일본은 활발한 화성활동의 영향을 받았으며 (Maruyama, 1997; Choi et al., 2006) 한반도에서는 대보 화강암을 형성했다(Arakawa et al., 2000; Oh, 2006). 대보 화강암은 남한의 경기육괴, 옥천대, 영남육괴 등에 분포하여 있으며 영남육괴 중부에 위치하는 거창을 연구지역으로 선정하였다. 거창은 선캠브리아기의 변성퇴적암류와 정편마암류를 기반으로 하여 중생대 화성암류와 시대미상의 해인사화강암 및 섬록암질암이 관입하며 백악기 퇴적암이 부정합으로 덮여있다.

본 연구에서는 경상남도 거창 일대에 분포하는 섬록암류와 화강암류를 대상으로 하였으며 특히 섬록암류, 흑운모 화강암, 각섬석 화강암의 암석기재학적 특징 및 지화학적 특성을 밝히고 전암 화학조성을 비교 검토하여 마그마의 성인 및 지구조 환경을 고찰하기 위한 목적으로 수행되었다.

거창에 대한 기존 조사보고서는 국립지질조사소에서 발간된 1 : 50,000 거창 도폭(김남장과 김정환, 1970)이 있다. 본 연구 지역의 선캠브리아기 기반암류에 대한 연구는 이상만(1980), 이상만 외(1981)에 의해 수행된 바 있으며, 심성암류에 대한 암석학적 및 지화학적 연구는 김용준 외(1989), 박영석 외(1993), 이종래 외(1993), 이철락 외(1992), 박계현 외(2006), Jwa et al.(2008) 등에 의해 수행된 바 있다. 또한 거창 지역에는 소위 '거창석'이라 불리는 화강암 석재가 생산되고 있으며 포천, 익산과 더불어 국내 3대 화강암 석재산지로 알려져 있다. 지역 내 주요 산업이라고 할 수 있는 화강암 석재 생산에 기여하고, 타 브랜드와 차별화 시키며 품질우위를 내세울 수 있는 궁극적인 자료를 마련하기 위해 거창 지역에서 산출되는 화강암 석재의 품질을 설정하는 기준에 대해 연구되고 있다(좌용주 외, 2007).

## 연구방법

본 연구를 위해 야외 지질조사와 실내연구를 수행하였다. 야외 지질조사 및 시료 채취는 1 : 50,000의 거창 도폭과 1 : 25,000 지형도를 사용하여 실시되었다. 분석에 선정된 시료들에 대하여 박편을 제작하여 현미경 하에서 구성광물 및 조직을 관찰하였으며 모드조성 분석을 하였다. 모드조성 분석을 위해 박편당 1,000~2,000 타씩 점계수를 실시하였으며 분석 시 견운모는 변질 받기 전 원래의 광물로 간주하였다. 암석시료 중 대표적이고 신선한 시료를 선정하여 주 성분 원소, 미량 원소 및 희토류원소의 화학분석을 실시하여 그 특징을 비교, 검토하였다.

주성분 원소의 분석은 부경대학교 공동실험실습관의 X-선 형광분석기(XRF)를 이용하였으며, XRF 분석 시 사용된 기종은 XRF - 1700, SHIMADZU(Japan)이다. 분석의 전처리 과정과 조건은 다음과 같다. 분석에 선정된 시료를 얇게 파쇄한 후 80°C 건조기에서 24시간 건조하여 수분을 완전히 제거한 뒤 분말을 만들었다. L.O.I(Loss On Ignition)의 측정은 시료 분말을 950°C 30'에서 가열한 다음 데시케이트에서 30분 냉각 후 무게를 측정하여 무게비의 차이로 계산하였다. 유리 원판(Glass Bead)은 시료 : 용융제(Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>, lithium tetraborate)를 1 : 7 비율로 혼합하여 만들었으며 김량선은 16 개의 표준시료로 작성하였다. USGS 표준시료는 BIR-1(Basalt), RGM-1(Rhyolite), STM-1(Nepheline Syenite), SDC-1(Mica Schist), MBH 표준시료는 SARM1(Granite), 2(Syenite), 6(Dunite), 44(Sillimanite Schist), 48(Fluorspar Granite), SARM49(Quartz), UM-4(Ultramafic Rock), BRAMMER 표준시료는 MO11(Anorthosite), VS2119-1(Gabbro), GBW3114(Siliceous Material), GBW7110(Andesite), GBW7111(Granodiorite)이다. 분석은 가속전압 40 kV, 전류 70 mA 하에서 X-선을 조사한 후 시료로부터 방출되는 원소의 특성 에너지를 갖는 형광 X-선을 측정하여 형광 X-선의 방출 강도를 표준시료의 것과 비교하여 이루어졌으며, 3 회 측정 후 평균값으로 계산하였다. 미량원소 및 희토류 원소는 한국기초과학지원연구원의 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS)와 유도결합플라즈마 방출분광 분석기(ICP-AES)로 분석하였다. ICP-MS 분석 시 사용된 기종은 Elan 6100 m, Perkin Elmer(USA)이며 RF generator power 1100 W, RF frequency 40 MHz의 분석 조건에서 이루어졌다.

ICP-MS로 희토류 원소와 미량 원소 15개(Be, Co, Ni, Cu, Ga, Rb, Y, Nb, Mo, Cd, Cs, Hf, Pb, TH, U)를 분석하였다. ICP-AES 분석은 RF generator power 1500W, RF frequency 40.68MHz의 조건에서 이루어졌으며, 미량원소 7개(Ba, Cr, Sr, Zn, Sc, V, Zr)를 분석하였다.

### 일반지질 및 암석기재

영남 육괴는 전반에 걸쳐 선캠브리아기 편마암 복합체가 분포하고 있으며, 지리산 부근의 지리산 편마암 복합체를 제외하면 대부분이 소백산 편마암 복합체이다. 영남육괴를 구성하고 있는 변성암류는 경상 누층군의 기반암을 이루는 것으로 추정된다(이병주와 황재하, 1997; 김동학 외, 1998). 관입암류로는 1800 Ma의 회장암, 페름기 후기에서 삼첩기 초기의 연대의 화강암질 편마암, 트라이아스·기주라기 초기·중기 및 백악기 관입암류가 널리 분포되어 있다. 특히, 영남육괴는 트라이아스기 중기-말기 및 주라기 초기 심성암류가 다른 시기의 관입암체에 비해 북동-남서 방향의 대상으로 다수 산재되어 있다.

선캠브리아기의 변성암류는 구성광물과 조직에 따라 흑운모 편마암, 화강편마암, 반상변정 편마암, 조립질 화강편마암, 흑운모 대상 편마암, 세립 화강편마암이 있으며 섬록암류는 중남부 일부에 분포한다. 본 암체는 동부의 변성암류를 관입하였으며 흑운모화강암에 의해 관입당하고 있다. 김용준 외(1989)는 이 암석을 각섬석 섬록암으로 기재하였으며 모드분석 결과는 섬록암 내지 석영 섬록암 영역에 속한다고 밝혔다. 또한 이 암석의 각섬석 연령은  $179 \pm 9.0$  Ma로서 주라기 중기에 해당한다. 중생대의 흑운모 화강암은 본 연구지역의 중앙부에 가장 넓은 분포를 보이며 북동-남서 방향으로 발달해있다. 이는 1 : 1,000,000 대한지질도의 거창-금릉-왜관을 잇는 거대한 저반암체의 남부에 해당한다. 박영석 외(1993)는 Rb - Sr법에 의해  $276 \pm 33$  Ma의 연대를 보고하였다. 또한 거창 마리면과 북상면의 화강암에 대한 U - Pb 연대에 의해  $198.4 \pm 2.5$  Ma 및  $194.6 \pm 2.6$  Ma로 보고되었다(박계현 외, 2006). 본 연구지역 동부에 거의 남북방향으로 분포하는 각섬석 화강암은 북부와 남부에 분포하는 변성암류를 관입하였으며 중생대 흑운모화강암도 관입한 것으로 보인다. 김용준 외(1989)에 의하면 이 암체는 거창 각섬석 화강암으로 기재되었으며 모

드분석 결과는 석영 섬장암이나 석영 몬조니암에 해당한다. 또한 이 암석의 각섬석 연령은  $179 \pm 9$  Ma, 주라기 중기로 보고된 바 있다.

본 논문에서 흑운모 화강암이라 기재한 거창 화강암은 거창 부근에 소규모 저반으로 분포하는 중립질의 균질한 화강암이며(박영석 외, 1993) 이 암체를 형성시킨 조성 및 암상의 변화는 일정한 분화과정의 결과이다(좌용주 외, 2007).

### 섬록암류

섬록암류는 연구지역 중남부에 분포하며(Fig. 1), 시료는 마리면 일대와 남하면 일대에서 채취되었다. 본 암은 중립질이며 각섬석과 흑운모와 같은 유색광물이 약 20 vol.% 이상 나타나며 일정한 방향성을 보이기도 한다. 육안 상 5~10 mm의 석영이 관찰되며 현미경 하에서 간극을 충전하고 있는 타형의 석영이 관찰된다. 구성광물은 석영, 사장석, 알칼리장석, 흑운모, 각섬석이며 불투명 광물, 저어콘, 인회석을 관찰할 수 있다. 각섬석은 쌍정을 보이며 벽개가 발달해있고 둥그스름한 마름모 형태로 나타난다. 또한 흑운모와 밀접하게 수반되어 나타나며 각섬석의 경계부분은 일부 녹니석화 녹염석화 되어있다. 알칼리장석이 약 10 vol.% 내외로 보이며 석영과 연정을 이루어 미문상 조직(micrographic texture)과 격자쌍정(pericline twin)을 보여준다. 또한 사장석이 석영과 연정을 이루어 밀메키틱 조직(myrmekitic texture)을 보이기도 한다. 사장석 내부는 일부 견운모화 되었으며, 흑운모는 약 20 vol.% 내외로 보이며 킥밴드를 보인다. 모드조성 분석 결과는 사장석의 함량(43.7~58.3 wt.%)이 많은 석영 섬록암, 석영 몬조섬록암, 토날라이트 영역에 속한다(Fig. 2).

### 흑운모 화강암

흑운모 화강암은 연구지역에 가장 넓게 분포하며 북동-남서 방향으로 발달해있다(Fig. 1). 김용준 외(1989)는 본 암을 거창 화강암이라 기재하였다. 본 암은 회백색을 띠며 1~5 mm의 중립질이다. 또한 알칼리장석을 반정으로 가지는 반정질의 조직을 보이며 전체적으로는 일정한 입도와 조직을 가진다. 소량의 유색광물을 함유하고 있으며, 대부분 흑운모이다. 주 구성광물은 석영, 사장석, 알칼리장석, 흑운모이며 현미경 하에서 불투명 광물, 저어콘, 인회석 등이 나타난다. 사장석은 자형 내지 반자형으로 대부분 알바이

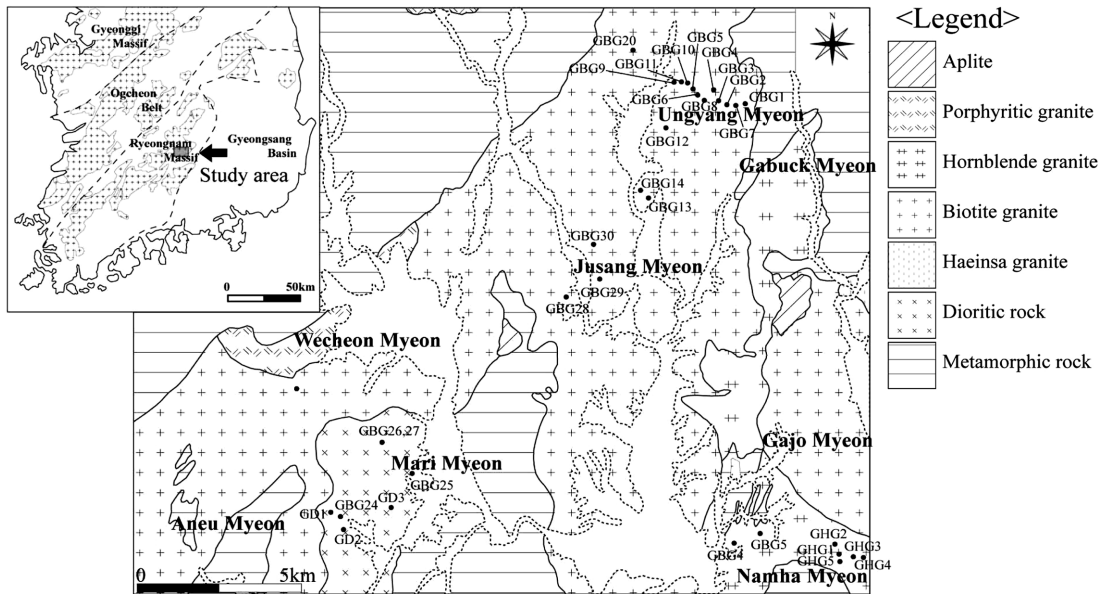


Fig. 1. Geological map of the study area(Kim and Kim, 1970) showing sampling sites and distribution of Triassic to Jurassic granitoids in South Korea(after Sagong et al., 2005)

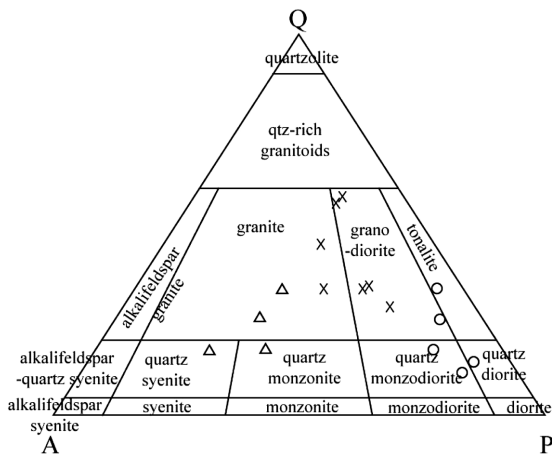


Fig. 2. Modal Q-A-P diagram after Streckeisen(1976). Symbols: o; dioritic rock, x, biotite granite, Δ: hornblende granite Q -> quartz, A -> alkali feldspar, P -> plagioclase

시료에서는 흑운모와 백운모가 함께 나타난다. 부수 광물로 나타나는 녹니석은 흑운모의 변질에 의해 형성된 것으로 생각된다. 모드분석 결과(Table 1)는 화강섬록암과 화강암영역에 해당하며(Fig. 2) 이것은 좌용주 외(2007)의 결과와 일치한다.

각섬석 화강암

각섬석 화강암은 연구지역 동부에 남북방향으로 약 10 km의 대상으로 발달해있다(Fig. 1). 시료는 남하면 일대에서 채취되었다. 본 암은 1~5 mm의 중립질이며 5~10 mm의 크기를 가지는 알칼리장석 거정으로 인해 담홍색을 띤다. 주 구성 광물은 석영, 알칼리장석, 사장석, 각섬석, 흑운모이다. 현미경 하에서 알칼리장석은 퍼싸이트 조직(perthite texture)을 보이며, 각섬석은 약 1~2 mm의 크기를 보이며 1.0 vol.% 이상 나타난다. 석영은 하나의 결정이 파쇄되어 나타나는 모르타르 조직(mortar texture)을 보이며 과동소광을 한다. 사장석은 다른 암석들과 마찬가지로 내부가 변질에 의해 견운모화 되었다. 모드 분석 결과(Table 1)는 다른 암체에 비해 알칼리장석의 함량이 높게 나타났으며 화강암, 석영 문조암, 석영섬장암 영역에 해당한다. 박영석 외(1993)는 본 암체를 섬장암이라 기재하였으며 모드 조성 분석 결과 섬장암, 석영 섬장암 영역에 도시되어 본 연구와 어느 정도 일치한다.

트 쌍정(albite twin)과 누대구조(zoned structure)를 보이며 드물게 알바이트 - 칼스바드 쌍정(carlsbad - albite twin)을 보인다. 사장석 결정은 석영에 의해 교대되어 밀메키틱 조직을 보이기도 하며, 변질되어 내부가 부분적으로 견운모화 되어있다. 또한 알칼리 장석 내에 석영과 세립의 백운모를 포함하는 포이킬리틱 조직(poikilitic texture)을 나타내기도 한다. 일부

**Table 1.** Modal compositions of dioritic rocks and granitic rocks from studied area(vol.%)

	Dioritic rock					Biotite granite								Hornblend granite			
	GD 2	GD 3	35	36	43	GBG 1	GBG 2	GBG 8	GBG 9	GHG 12	GBG 14	GBG 28	GBG 25	GHG 2	GHG 3	GHG 4	16
Q	20.2	24.5	12.2	8.2	10.2	32.9	30.9	27.5	32.1	44.6	55.2	45.3	54.1	30.9	17	25.9	16
Alk	6.3	2	10.4	8.4	5.2	17.8	17.7	15.9	26.6	22.4	13.1	36.6	10.7	34.1	55	39.7	41.9
Pl	52.3	43.7	50.4	58.3	56.2	44.5	40.8	50.8	36	30.7	28.1	12.9	26.6	28.5	18.3	27.7	30.4
Bt	18.1	25	21.8	19.5	19	0.8	1.5	3.7	3.2	1.8	1.6	3.8	-	tr	5.3	-	5.1
Mu	-	-	-	-	-	1.3	4	0.2	1.5	-	-	-	8.3	-	-	-	-
Chl	tr	tr	-	-	-	2.7	4.3	0.7	0	0.5	1.3	tr	0	4.2	tr	3.8	-
Hb	2.9	3.7	1.3	3	4.6	-	-	-	-	-	-	tr	-	1.2	3.6	1	5.1
Opa	tr	tr	0	0	0.4	0.2	0.4	0.6	0.3	-	0.7	tr	-	1.1	0.6	-	0.1
Other	-	-	3.8	2.7	4.4	-	0.4	0.6	0.3	-	-	-	0.3	-	-	1.9	1.4

Q: quartz, Alk: alkali feldspar, Pl: plagioclase, Bt: biotite, Mu: muscovite, Chl: chlorite, Hb: hornblende, Opa: opaque mineral

## 암석화학

주성분 원소와 미량원소 및 희토류 원소의 화학 분석치는 Table 2~4에 나타내었다.

SiO<sub>2</sub> 함량은 섬록암류는 59.79~66.08 wt%(63.44 wt%), 흑운모 화강암은 66.08~77.69 wt%(70.52 wt%), 각섬석 화강암은 67.93~74.10 wt%(71.37 wt%)(Table 2)이다. 각 시료에 대한 화학 분석치를 SiO<sub>2</sub>를 분화지

**Table 2.** Major element compositions and C.I.P.W. norm of dioritic rocks and granitic rocks from studied area(in wt.%)

	Dioritic rock					Biotite granite					
	GD1	GD2	GD3	GD4	GD5	GBG1	GBG2	GBG3	GBG4	GBG5	GBG6
SiO <sub>2</sub>	66.08	65.99	59.79	64.20	61.15	71.07	71.98	71.76	70.44	70.38	69.12
TiO <sub>2</sub>	0.49	0.44	0.81	0.61	0.74	0.23	0.21	0.19	0.23	0.22	0.29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.74	16.95	16.96	16.93	17.24	15.98	15.36	15.51	16.31	15.92	16.71
FeOT	3.18	3	5.96	4.05	5.27	1.39	1.25	1.14	1.43	1.36	1.78
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T	3.52	3.31	6.58	4.48	5.82	1.55	1.38	1.26	1.59	1.52	1.97
MnO	0.05	0.05	0.08	0.16	0.13	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
MgO	1.49	1.4	3.03	1.46	2.08	0.49	0.38	0.32	0.49	0.41	0.52
CaO	3.92	3.85	4.66	3.6	4.96	2.12	1.87	1.69	2.22	2.24	2.19
Na <sub>2</sub> O	3.41	3.42	2.96	3.52	3.75	4.61	4.18	4.26	4.83	4.62	4.75
K <sub>2</sub> O	3.53	3.81	3.72	3.26	2.75	3.53	3.70	4.04	3.41	3.23	3.32
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08	0.08	0.17	0.13	0.16	0.08	0.06	0.06	0.08	0.07	0.10
LOI*	0.59	0.63	1.10	1.58	1.14	0.54	0.48	0.61	0.47	0.86	0.75
Total	99.91	99.92	99.87	99.94	99.92	100.24	99.64	99.74	100.10	99.49	99.75
Q	22.34	21.39	14.31	21.77	15.88	24.51	28.00	26.57	22.98	24.76	22.12
Or	20.85	22.54	21.96	19.26	16.23	20.86	21.86	23.87	20.15	19.09	19.62
Ab	28.87	28.94	25.07	29.75	31.73	39.01	35.37	36.05	40.87	39.09	40.19
An	18.9	18.59	21.99	16.97	22.09	10.38	9.29	8.40	10.49	11.04	10.62
C	0.38	0.38	0	1.40	0.00	0.77	1.07	1.05	0.83	0.78	1.41
Hy	3.72	3.48	7.56	3.64	5.17	3.47	2.97	2.65	3.54	3.23	4.16
Di	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Il	0.11	0.11	0.17	0.34	0.27	0.44	0.40	0.36	0.44	0.42	0.55
Ap	0.20	0.19	0.40	0.32	0.39	0.19	0.14	0.14	0.19	0.17	0.24

**Table 2.** Continued

	Biotite granite										
	GBG8	GBG8	GBG10	GBG11	GBG12	GBG14	GBG15	GBG16	GBG17	GBG18	GBG20
SiO <sub>2</sub>	68.99	68.70	66.08	69.96	70.45	70.03	70.24	69.80	70.95	71.44	69.59
TiO <sub>2</sub>	0.26	0.24	0.27	0.24	0.20	0.23	0.23	0.21	0.18	0.21	0.21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.07	17.20	18.08	16.55	16.38	16.55	16.44	16.66	16.24	16.01	16.92
FeOT	1.58	1.34	1.15	1.51	1.29	1.34	1.34	1.36	1.16	0.99	1.27
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T	1.76	1.49	1.27	1.68	1.44	1.49	1.49	1.52	1.29	1.10	1.41
MnO	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04
MgO	0.48	0.41	0.54	0.40	0.35	0.41	0.47	0.46	0.39	0.37	0.48
CaO	2.45	2.10	2.82	2.49	2.19	2.24	1.97	2.15	1.98	1.98	2.26
Na <sub>2</sub> O	4.90	4.79	3.20	4.94	4.92	4.73	4.45	4.76	4.83	4.62	5.00
K <sub>2</sub> O	3.32	4.10	5.21	2.79	3.24	3.65	4.15	3.85	3.70	3.38	3.74
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08	0.07	0.09	0.08	0.05	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.08
LOI	0.49	0.47	2.28	0.39	0.41	0.33	0.58	0.41	0.48	0.45	0.41
Total	99.84	99.62	99.86	99.58	99.66	99.79	100.13	99.92	100.13	99.66	100.15
Q	20.70	19.11	20.01	23.73	23.40	22.21	22.63	21.13	23.02	26.16	19.77
Or	19.62	24.23	30.79	16.49	19.15	21.57	24.52	22.75	21.86	19.97	22.10
Ab	41.46	40.53	27.08	41.80	41.63	40.02	37.65	40.28	40.87	39.09	42.31
An	12.05	10.30	13.71	11.83	10.54	11.00	9.63	10.53	9.78	9.78	11.03
C	1.00	1.11	2.15	1.07	0.92	0.79	1.10	0.80	0.71	1.17	0.60
Hy	3.74	3.16	3.08	3.45	2.98	3.18	3.33	3.37	2.88	2.45	3.25
Di	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Il	0.49	0.46	0.51	0.46	0.38	0.44	0.44	0.40	0.34	0.40	0.40
Ap	0.19	0.17	0.21	0.19	0.12	0.19	0.19	0.17	0.14	0.14	0.19

Table 2. Continued

	Biotite granite										
	GBG21	GBG22	GBG23	GBG24	GBG25	GBG26	GHG1	GHG2	GHG3	GHG4	GHG5
SiO <sub>2</sub>	70.79	70.78	71.75	68.59	75.19	77.69	67.93	74.1	70.1	71.98	72.73
TiO <sub>2</sub>	0.19	0.24	0.24	0.52	0.04	0.04	0.37	0.12	0.31	0.26	0.15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.27	16.27	15.44	15.85	14.58	12.85	16.16	13.8	15.55	14.4	13.95
FeOT	1.17	1.36	1.42	2.78	0.44	0.20	2.8	1.21	1.71	2.05	2.27
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T	1.30	1.52	1.58	3.07	0.49	0.22	3.1	1.34	1.89	2.27	2.51
MnO	0.04	0.04	0.04	0.05	0.24	0.03	0.06	0.06	0.04	0.04	0.08
MgO	0.40	0.48	0.45	0.97	0.04	0.03	0.58	0.09	0.22	0.35	0.36
CaO	1.95	2.25	2.34	2.76	0.41	0.71	1.51	0.5	0.8	1.43	1.39
Na <sub>2</sub> O	4.93	4.79	4.52	3.79	4.98	4.06	4.88	4.26	4.49	4.08	4.16
K <sub>2</sub> O	3.65	3.31	2.84	3.53	3.44	3.88	4.53	5.1	4.75	4.07	3.74
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	0.08	0.04	0.16	0.03	0.01	0.1	0.01	0.07	0.04	0.03
LOI*	0.52	0.35	0.46	0.66	0.47	0.36	0.6	0.46	1.5	0.98	0.77
Total	100.10	100.11	99.74	99.94	99.89	99.86	99.81	99.86	99.73	99.9	99.88
Q	22.54	23.80	27.98	26.12	32.01	37.72	18.39	28.62	23.97	29.23	30.78
Or	21.57	19.56	16.78	20.88	20.36	22.90	26.74	30.16	28.08	24.03	22.12
Ab	41.72	40.53	38.25	32.06	42.12	34.32	41.28	36.03	37.99	34.5	35.2
An	9.58	10.99	11.35	12.66	1.86	3.47	6.89	2.41	3.48	6.82	6.71
C	0.70	0.78	0.77	1.15	1.98	0.71	0.71	0.39	1.74	0.79	0.59
Hy	2.91	3.37	3.41	2.41	0.49	0.08	1.44	0.23	0.55	0.88	0.9
Di	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0
Il	0.36	0.46	0.46	0.11	0.07	0.05	0.14	0.13	0.09	0.09	0.17
Ap	0.17	0.19	0.09	0.37	0.06	0.02	0.23	0.03	0.18	0.1	0.07

수(횡축)로 하는 하커변화도(Fig. 3)에 도시해 보면, 각 암체 내에서 SiO<sub>2</sub>의 함량이 증가함에 따라 TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeOT, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>T, MgO, CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 감소하는 경향을 잘 나타내며, K<sub>2</sub>O와 Na<sub>2</sub>O는 다소 분산되어 있지만 Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O는 증가하는 경향을 보인다. 흑운모 화강암과 각섬석 화강암만 비교해보면, 분화가 진행됨에 따라 일정한 경향을 보이며 서로 아평행하게 나타난다. 또한 사장석 함량이 보다 많은 흑운모 화강암은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Na<sub>2</sub>O의 함량이 높게 나타나며 알칼리 사장석의 함량이 많은 각섬석 화강암은 K<sub>2</sub>O의 함량이 높게 나타난다. 본 연구지역 암체의 마그마 계열을 알기 위하여 Irvine and Baragar(1971)의 TAS(Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O - SiO<sub>2</sub>)도와 AFM(Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O - FeO - MgO) 삼각도에 주성분 원소 분석치를 도시하여 보았다(Fig. 4). 본 연구지역의 암체는 모두 비알칼리 계열의 칼크 - 알칼리 계열에 속한다.

평균 MORB(Mid-Oceanic Ridge Basalt)에 대하여 표준화시킨 미량원소의 거미도표(Fig. 5)에서 비교적 이동성이 큰 Rb, Ba, Th, Nd은 약 10~100 배 정도 부화되어 있고 이동성이 작은 Nb, Hf, Zr, Y은

상대적으로 결핍되어 있다. 또한 본 연구지역의 암체는 다른 주라기 화강암체와 마찬가지로 Sr의 부(-) 이상이 나타난다. 특히 Nb와 Zr - Hf에서 부(-) 이상이 잘 나타나며, 이러한 양상은 섭입대와 관련되어 생성된 칼크 - 알칼리 계열 암석의 특징을 잘 나타내는 것이다(Wilson, 1989).

Fig. 6은 희토류원소 함량을 Sun and McDonough (1989)의 콘드라이트 값으로 표준화한 희토류원소 변화도이다. Eu를 기준으로 왼쪽에 있는 원소들은 경희토류원소(LREE)이고 오른쪽에 있는 원소들은 중희토류원소(HREE)이다. 경희토류원소는 급격하게 변화하는 반면, 중희토류원소는 완만하게 변화한다. 섬록암의 (La/Sm)<sub>CN</sub> = 3.49, 흑운모 화강암의 (La/Sm)<sub>CN</sub> = 4.16, 각섬석 화강암의 (La/Sm)<sub>CN</sub> = 4.76으로 각섬석 화강암이 섬록암과 흑운모 화강암보다 더 급격하게 감소하는 분포경향을 보인다. 또한 세 암체 모두 경희토류원소가 중희토류원소에 비해 부화되어 있다. 섬록암과 흑운모 화강암은 콘드라이트에 비해 약 100배 정도 부화되어 있으며, 각섬석 화강암은 약 1000배까지 부화되어 있다. 따라서 연구지역의 암석을 형성한 마

**Table 3.** Trace element compositions of dioritic rocks and granitic rocks from studied area(in ppm)

	Dioritic rock					Biotite granite									
	GD1	GD2	GD3	GD4	GD5	GBG1	GBG2	GBG3	GBG5	GBG6	GBG8	GBG9	GBG10	GBG12	GBG15
Ba	1005.6	1085.2	1240.1	1256.4	931.2	1038.5	1168.8	1202.5	880.7	1057.2	1043.2	852.8	911.7	1023.8	1010.0
Rb	114.4	142.4	178.3	169.5	123.0	94.1	88.8	99.0	90.0	75.7	74.3	95.9	146.5	88.2	94.2
Sr	419.9	451.9	435.7	354.8	495.4	549.9	536.4	514.2	643.3	596.7	653.5	527.5	383.3	623.3	539.6
Th	22.6	19.4	8.1	17.0	17.6	6.0	5.7	4.7	6.2	7.3	5.5	7.9	6.7	4.8	6.7
U	1.4	1.7	1.4	2.2	1.6	1.0	1.0	1.3	0.9	0.8	0.7	1.0	1.2	0.7	0.7
Co	7.7	7.7	15.8	8.3	12.2	187.0	175.6	163.5	48.7	81.0	78.5	75.4	63.6	67.8	90.6
V	39.1	40.4	96.3	56.9	76.5	10.0	9.5	7.8	10.9	14.8	15.2	14.0	14.8	10.2	14.2
Sc	5.4	4.7	9.1	9.9	16.0	2.4	2.4	2.3	2.3	2.6	2.4	2.5	2.8	2.2	2.4
Ga	45.2	47.8	55.2	52.5	44.5	68.7	71.8	71.3	60.2	68.8	66.1	59.7	61.7	68.5	63.4
Ni	28.3	42.2	44.0	47.3	79.0	1.4	2.3	1.2	2.9	3.1	2.0	2.5	1.6	2.2	1.9
Cr	59.9	90.1	86.8	83.9	158.9	2.2	1.4	1.7	3.3	5.9	4.1	2.5	3.8	2.2	1.8
Zr	47.1	40.6	55.7	90.4	31.3	25.8	22.8	16.5	11.7	12.0	12.6	13.8	14.0	15.8	14.8
Hf	2.4	2.0	2.5	3.0	1.3	0.9	0.7	0.5	0.5	0.4	0.3	0.5	0.4	0.5	0.4
Nb	7.0	5.7	6.2	10.6	10.5	3.0	4.8	4.6	1.2	0.6	1.9	1.0	3.1	3.2	4.3
Y	15.2	10.8	14.6	25.5	33.1	6.8	5.1	5.2	6.1	6.5	5.8	6.2	5.7	5.6	5.0
Zn	50.3	49.3	85.7	104.5	200.2	49.0	39.1	36.1	37.8	42.9	37.1	43.2	57.8	45.2	45.6
Pb	0.6	0.4	0.3	0.7	0.6	24.2	23.4	23.5	25.0	23.1	24.0	25.1	23.3	25.7	26.1

**Table 3.** Continued

	Biotite granite										Hornblende granite				
	GBG16	GBG17	GBG18	GBG19	GBG20	GBG21	GBG22	GBG24	GBG25	GBG26	GHG1	GHG2	GHG3	GHG4	GHG5
Ba	784.5	965.2	912.6	871.7	841.1	897.2	845.1	1123.2	23.3	55.4	1166.1	1340.5	1380.1	981.4	575.9
Rb	84.5	97.1	91.4	103.3	97.7	85.2	64.8	87.8	387.4	250.3	157.9	103.7	121.8	104.7	80.1
Sr	513.3	470.9	513.8	501.3	539.3	559.5	556.2	477.8	7.8	54.7	227.5	69.2	196.4	207.0	145.5
Th	7.3	5.6	5.3	9.4	5.6	8.2	5.4	7.5	12.3	16.5	27.7	10.4	18.8	17.7	2.7
U	0.6	3.4	1.1	2.7	0.5	1.1	0.6	1.0	8.1	6.1	1.8	1.4	1.3	2.0	0.8
Co	213.5	148.4	79.3	84.9	68.1	98.5	162.3	4.6	0.5	0.8	4.2	1.6	2.5	2.4	2.3
V	10.4	7.6	9.0	29.7	11.2	10.3	14.7	17.3	3.8	5.4	13.1	0.0	8.6	4.9	4.7
Sc	3.0	2.3	2.4	4.0	2.5	2.6	2.6	3.1	3.4	1.6	4.7	9.5	12.6	3.5	27.2
Ga	54.0	64.5	61.1	55.3	62.7	60.2	60.0	47.9	32.8	22.0	48.5	45.1	57.6	41.5	29.5
Ni	1.6	1.3	2.7	3.8	1.8	1.9	1.7	21.0	17.4	32.0	50.5	68.9	66.0	24.8	29.9
Cr	1.8	1.0	4.2	5.6	2.5	2.4	1.6	42.1	38.2	58.1	81.1	165.8	122.0	54.8	65.6
Zr	17.6	21.7	11.2	25.4	20.2	13.9	14.7	63.4	32.8	24.0	27.9	23.6	58.8	48.7	74.5
Hf	0.5	0.9	0.4	1.0	0.8	0.4	0.5	2.1	3.7	2.2	1.4	1.2	2.6	2.1	3.1
Nb	1.6	1.8	1.1	1.7	4.6	0.9	2.6	6.1	43.9	11.0	4.9	5.7	11.0	7.8	8.0
Y	5.3	5.6	4.6	9.9	6.3	6.1	6.1	10.7	28.5	19.8	30.5	28.2	20.5	17.4	36.7
Zn	58.3	41.1	22.9	29.5	44.7	45.9	43.9	62.7	12.0	22.2	51.0	46.3	24.9	19.1	50.6
Pb	26.3	21.5	26.8	20.0	22.2	22.6	21.6	0.4	4.8	1.9	0.4	0.4	0.4	0.5	0.3

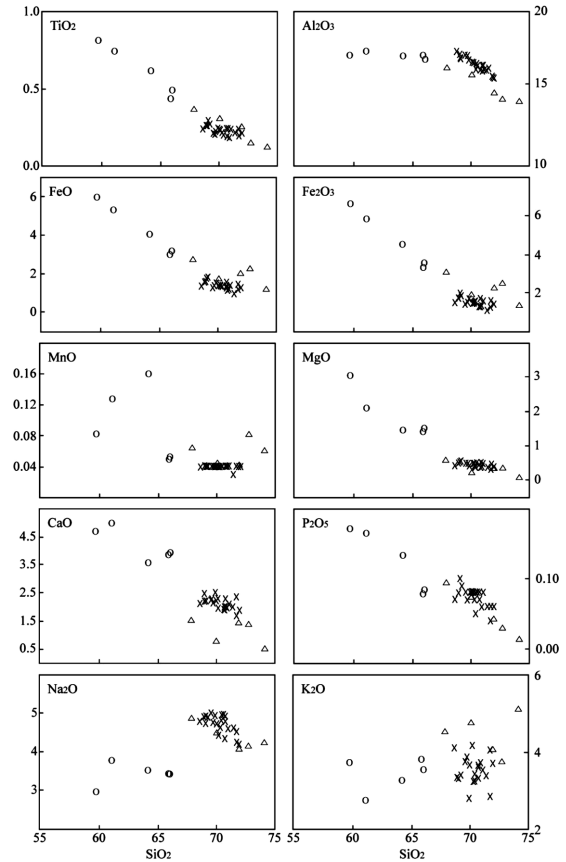


**Table 4.** The average trace element compositions of the biotite granite, hornblende granite in the study area, the Daebo granitic rocks(DB) in the South Korea and granites in the world(GW)(ppm)

	GW	DB	Biotite granite	Hornblende granite
Ba	600.0	741.15	968.20	1088.77
Rb	150.0	-	88.06	113.62
Sr	285.0	417.65	555.82	169.12
Zn	40.0	69.90	42.18	38.35
Pb	20.0	-	24.06	0.42
Ga	18.0	-	64.07	44.43
Co	1.0	9.10	115.88	2.60
V	20.0	43.35	11.31	6.26
Sc	5.0	5.70	2.46	11.51
Zr	180.0	18.05	16.34	46.69
Nb	20.0	13.35	2.48	7.45
Y	40.0	21.45	5.74	26.64
Th	17.0	-	6.14	15.46
Ni	0.5	17.25	2.03	48.02

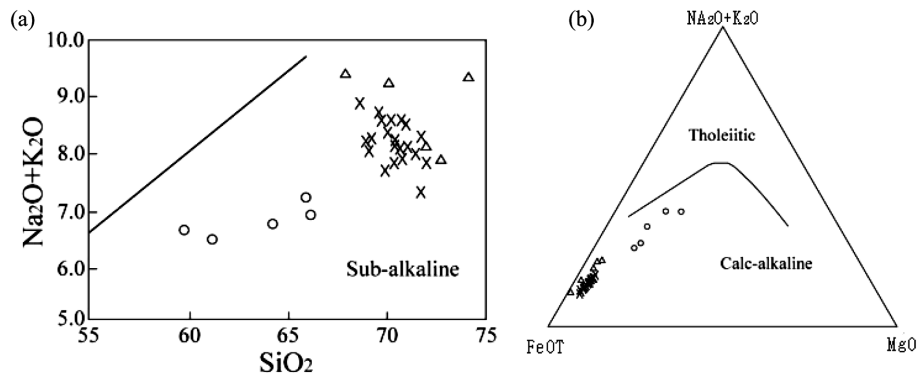
그마는 소량의 부분용융 과정을 겪었거나 경희토류원소가 부화된 마그마일 것이다.

희토류원소는 불호정성으로 거동하지만, Eu의 경우 환원 환경에서  $\text{Eu}^{2+}$ 가  $\text{Ca}^{2+}$ 와 쉽게 치환되어 사장석의 분별 정출 시에 동시 분별된다. 따라서 사장석의 분별정출 과정이 일어난 마그마에서 생성된 암석은 Eu의 부(-) 이상이 나타나게 된다. Eu의 부(-) 이상은  $(\text{Eu}/\text{Eu}^*)_{\text{CN}}$ 로 나타낼 수 있으며 본 연구지역의 섬록암의  $(\text{Eu}/\text{Eu}^*)_{\text{CN}}$ 은 평균 0.95로 Eu의 부(-) 이상이 거의 나타나지 않는다. 흑운모 화강암의  $(\text{Eu}/\text{Eu}^*)_{\text{CN}}$ 은 평균 0.99 Eu의 부(-) 이상이 나타나지 않으며 각 섬석 화강암의  $(\text{Eu}/\text{Eu}^*)_{\text{CN}}$ 은 평균 0.58로 Eu의 부(-)



**Fig. 3.** Major element oxides versus  $\text{SiO}_2$  variation diagram. Symbols are the same as those in Fig. 2.

이상이 나타난다.  $(\text{Eu}/\text{Eu}^*)_{\text{CN}}$ 의 수치가 낮을수록 Eu의 부(-) 이상이 크게 나타나며,  $\text{SiO}_2$ 가 증가함에 따라  $(\text{Eu}/\text{Eu}^*)_{\text{CN}}$ 은 점차 감소하는 경향을 보인다. Eu는



**Fig. 4.** (a) Total alkali versus  $\text{SiO}_2$  (TAS) diagram. Diagram from Irvine & Baragar(1971). (b) Alkali-FeO-MgO (AFM) diagram. Diagram from Irvine & Baragar (1971). Symbols are the same as those in Fig. 2.

**Table 5.** Rare Earth Element compositions of dioritic rocks and granitic rocks from studied area(in ppm)

	Dioritic rock					Biotite granite									
	GD 1	GD 2	GD 3	GD 4	GD 5	GBG 1	GBG 2	GBG 3	GBG 5	GBG 6	GBG 8	GBG 9	GBG 10	GBG 14	GBG 15
La	59.70	44.32	33.39	48.02	59.08	20.50	20.15	15.83	19.12	24.01	20.30	22.66	22.26	17.67	19.86
Ce	151.61	115.12	65.75	137.18	148.88	40.29	39.78	31.23	37.95	46.14	40.07	45.99	43.13	33.96	39.09
Pr	11.52	8.74	7.18	10.56	11.82	4.09	4.01	3.20	3.88	4.86	4.09	4.78	4.43	3.43	4.02
Nd	60.95	46.32	38.03	58.59	63.91	21.96	21.40	17.16	20.71	25.65	21.98	25.44	23.71	18.36	21.54
Sm	5.99	4.56	5.13	7.34	7.76	2.70	2.60	2.24	2.52	3.06	2.67	3.14	2.76	2.27	2.59
Eu	1.38	1.26	1.40	1.73	0.94	0.91	0.89	0.83	0.82	0.93	0.92	0.83	0.85	0.93	0.83
Gd	6.23	4.74	5.14	7.88	8.84	2.54	2.38	2.05	2.49	2.95	2.55	3.05	2.69	2.18	2.42
Tb	0.64	0.46	0.58	0.92	1.11	0.27	0.24	0.22	0.26	0.30	0.27	0.31	0.27	0.23	0.25
Dy	3.00	2.15	2.90	4.85	6.19	1.25	1.06	1.02	1.17	1.32	1.18	1.33	1.17	1.07	1.04
Ho	0.54	0.38	0.53	0.95	1.23	0.21	0.17	0.17	0.20	0.22	0.19	0.21	0.19	0.18	0.17
Er	1.59	1.15	1.51	2.79	3.60	0.62	0.48	0.48	0.56	0.61	0.53	0.59	0.54	0.52	0.47
Tm	0.20	0.14	0.19	0.37	0.49	0.08	0.05	0.06	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05
Yb	1.37	0.99	1.29	2.54	3.37	0.48	0.35	0.36	0.41	0.41	0.36	0.39	0.38	0.38	0.33
Lu	0.20	0.15	0.19	0.38	0.50	0.07	0.05	0.05	0.06	0.06	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05
(La/Yb) <sub>CN</sub>	34.89	34.18	35.21	15.69	2.04	25.88	34.89	26.65	28.26	35.49	34.18	35.21	35.50	28.18	36.47
(La/Sm) <sub>CN</sub>	4.25	4.17	3.96	3.57	1.50	4.16	4.25	3.88	4.16	4.30	4.17	3.96	4.42	4.27	4.21
(Tb/Yb) <sub>CN</sub>	2.92	3.19	3.38	1.91	0.95	2.39	2.92	2.60	2.70	3.11	3.19	3.38	3.02	2.58	3.22
Eu/Eu*	1.08	1.07	0.81	0.83	0.06	1.05	1.08	1.17	0.99	0.94	1.07	0.81	0.95	1.27	1.00

**Table 5.** Continued

	Biotite granite										Hornblende granite				
	GBG 16	GBG 17	GBG 18	GBG 19	GBG 20	GBG 21	GBG 22	GBG 24	GBG 25	GBG 26	GHG 1	GHG 2	GHG 3	GHG 4	GHG 5
La	20.76	17.46	19.34	14.74	18.46	23.96	18.75	25.28	11.77	6.29	120.79	26.45	45.20	50.63	8.54
Ce	41.30	34.42	37.68	31.06	36.60	47.32	36.89	59.96	22.97	11.55	215.14	53.49	141.44	115.25	18.99
Pr	4.29	3.50	3.75	3.39	3.75	4.86	3.75	5.76	3.39	1.28	18.36	6.67	8.74	9.43	2.39
Nd	22.82	18.78	20.20	18.20	20.00	25.91	20.02	31.73	15.91	6.88	92.45	35.01	53.66	48.54	13.48
Sm	2.81	2.35	2.34	2.69	2.57	3.01	2.43	3.94	4.29	1.76	9.45	7.08	5.81	5.30	4.28
Eu	0.77	0.80	0.81	1.04	0.79	0.84	0.81	1.02	0.08	0.20	1.49	1.39	1.33	1.25	0.77
Gd	2.74	2.28	2.26	2.76	2.51	2.92	2.64	3.88	4.46	2.47	9.94	7.97	6.41	5.56	5.95
Tb	0.28	0.25	0.23	0.32	0.28	0.30	0.25	0.43	0.78	0.47	1.11	1.15	0.77	0.62	1.10
Dy	1.18	1.15	0.99	1.69	1.29	1.30	1.15	2.17	4.68	3.14	5.62	6.54	4.26	3.26	7.24
Ho	0.18	0.19	0.16	0.33	0.20	0.21	0.20	0.40	0.86	0.65	1.11	1.28	0.84	0.63	1.51
Er	0.49	0.54	0.42	0.98	0.55	0.58	0.54	1.17	2.58	1.98	3.42	3.21	2.49	1.90	4.26
Tm	0.06	0.07	0.04	0.14	0.07	0.06	0.06	0.15	0.44	0.32	0.47	0.44	0.33	0.26	0.60
Yb	0.35	0.44	0.26	0.93	0.41	0.40	0.38	1.02	3.49	2.35	3.35	2.67	2.31	1.90	4.11
Lu	0.05	0.07	0.04	0.15	0.06	0.06	0.05	0.14	0.51	0.35	0.51	0.39	0.34	0.29	0.62
(La/Yb) <sub>CN</sub>	35.95	24.05	45.08	9.61	27.29	36.30	29.90	25.88	15.02	26.41	11.46	10.62	7.17	9.53	21.85
(La/Sm) <sub>CN</sub>	4.05	4.08	4.53	3.01	3.94	4.37	4.23	4.16	3.52	5.47	3.59	4.18	4.39	4.62	7.01
(Tb/Yb) <sub>CN</sub>	3.40	2.42	3.76	1.46	2.91	3.19	2.80	2.39	1.79	1.99	1.54	1.40	0.93	1.10	1.41
Eu/Eu*	0.84	1.05	1.07	1.16	0.94	0.86	0.98	1.05	0.79	0.69	0.69	0.35	0.76	0.65	0.47

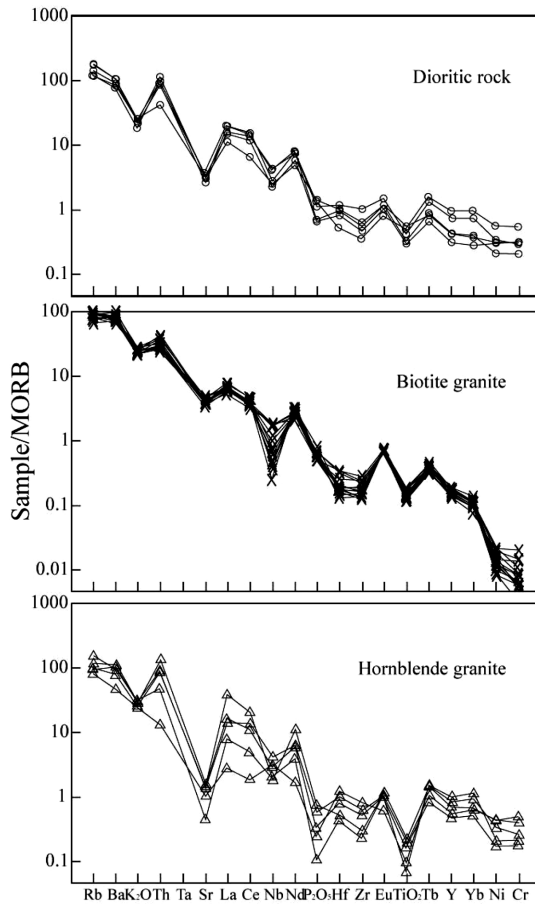


Fig. 5. MORB(Mid-Oceanic Ridge Basalts) normalized spiderdiagram. Symbols are the same as those in Fig. 2.

사장석 내에 존재하는데, 박편을 관찰해보면,  $(Eu/Eu^*)_{CN}$ 의 수치가 큰 시료가 많은 양의 사장석을 함유하고 있음이 확인되었다. 또한 각섬석 화강암은 모마그마에서 사장석의 분별정출 작용이 일어나 용액으로부터 Eu가 제거된 잔류용액에서 형성된 암석으로 유추할 수 있다. 김규환(1992)은 대보 화강암의 미약한 Eu의 부(-) 이상을 하부 지각물질의 부분용융 또는 맨틀기원의 마그마가 흑연을 함유한 변성퇴적암류로 구성된 지각에서 마그마의 혼합으로 낮은  $fO_2$  환경에서 형성된 것으로 해석하고 이를 산소안정 동위원소 분석결과를 이용하여 설명하였다. 거창 일대에 분포하는 화강암류의 희토류 원소 분석치를 남한에 분포하는 쥐라기 화강암류의  $(Eu/Eu^*)_{CN}$  0.9와 비교해보면 Eu의 부(-) 이상치가 대략적으로 비슷하며 분포 양상도 대체로 일치하는 경향을 보인다(김규환, 1992).

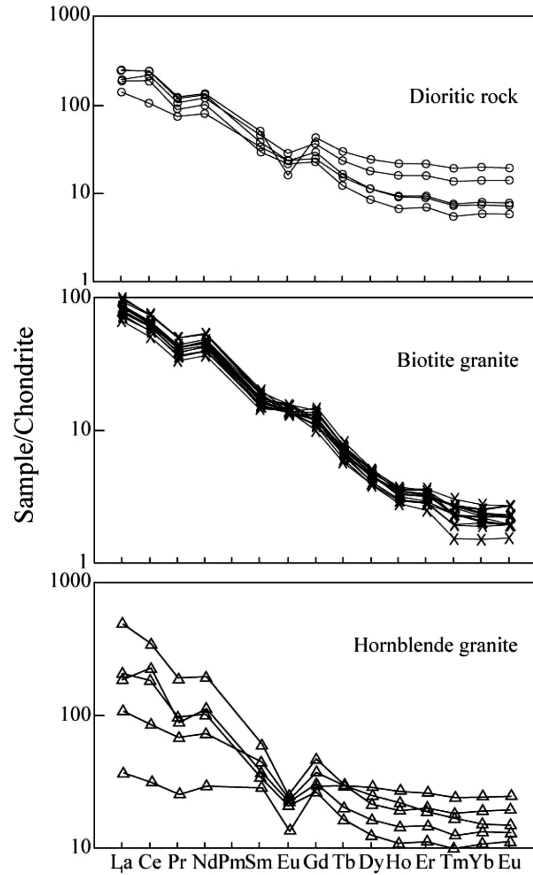
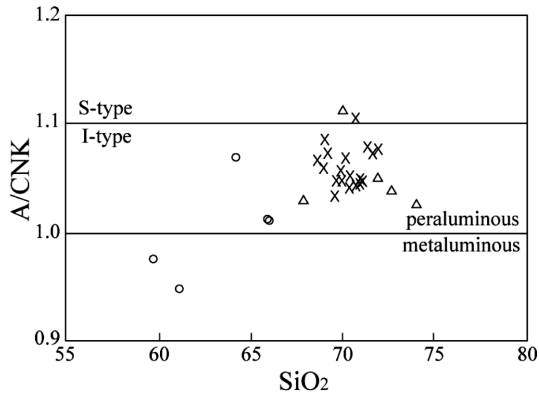


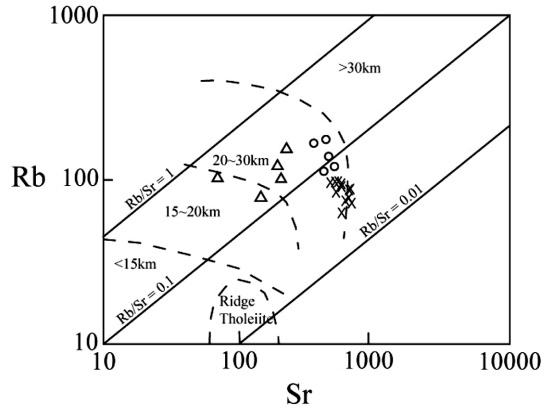
Fig. 6. Chondrite-normalized REE patterns. Symbols are same as those in Fig. 2.

### 마그마 특성과 지구조 환경

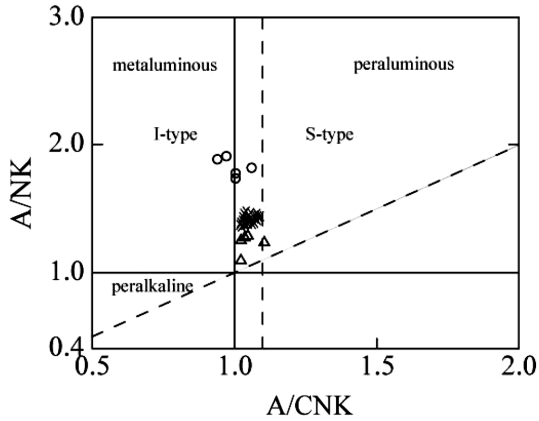
본 연구지역 암체의 평균 Al 포화지수(molar A/CNK)는 각각 1.00, 1.06, 1.05로 분화가 진행 될수록 저알루미나질(metaluminous)에서 과알루미나질(peraluminous)로 변화하는 경향이 있다. 일반적으로 과알루미나질 화강암류는 상부지각 물질의 부분용융에 의해 생성되며 특히 대륙과 대륙이 충돌하는 지구조적 환경에서 쉽게 생성된다(Lefort, 1981). 또한  $SiO_2$  함량에 따른 A/CNK의 변화도에서 I-type과 S-type 모두에 도시되며, 대부분 I-type에 속한다(Fig. 7). 이것은 일반적으로 S-type의 화강암류로 보고하고 있는 대보 화강암류(Hong, 1987)와는 일치하지 않고 있다. I-type의 화강암류는 대륙하부 지각물질의 부분용융에 의해서 생성된 마그마로부터 유래된 반면, S-type 화강암류는 변성퇴적암류의 재용융에 의해 생성



**Fig. 7.** Molar A/CNK versus SiO<sub>2</sub>(wt.%) diagram. Symbols are same as those in Fig. 2. A: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, C: CaO, N: Na<sub>2</sub>O, K: K<sub>2</sub>O



**Fig. 9.** Rb versus Sr variation diagram with inferred crustal thickness after Condie(1973). Symbols are same as those in Fig. 2.



**Fig. 8.** Molar A/NK versus A/CNK variation diagram (Maniar and Piccoli, 1989). Symbols are same as those as in Fig. 2.

된 마그마로부터 유래되었다(Chappell and White, 1974). 또한 A/NK vs. A/CNK의 그래프(Fig. 8)에서도 본 연구지역 암체 모두가 I-type에 속하며 저알루미나질과 과알루미나질의 특징을 가진다는 것을 알 수 있다.

또한, 앞에서 제시한 본 연구지역의 섬록암, 흑운모 화강암, 각섬석 화강암의 지화학적 특성을 바탕으로 하여 암석을 형성한 마그마의 생성환경을 유추하기 위해 지구조 판별도에 도시해 보았다. Rb vs Sr의 상관도(Fig. 9; Condie, 1989)에서 본 연구 지역의 암체는 15~30km의 지각 두께를 가지는 것으로 나타났다. 또한 Nb vs Y, Rb vs Y+Nb 상관도에서 모두 VAG(volcanic-arc granite)와 syn-COLG(syn-collisional

granite)영역에 해당하였다(Fig. 10). 이는 본 연구지역의 섬록암류와 화강암류를 형성시킨 마그마가 화산호(volcanic arc) 환경에서 관입되었음을 지시한다. 또한 미량원소 함량을 MORB(Mid-Oceanic Ridge Basalt) 값에 표준화 시킨 그래프(Fig. 9)에서 본 연구지역 암체 모두 Nb의 부(-) 이상을 보이기 때문에 판의 섭입과 관련한 화성활동이라는 것도 위의 두 상관도의 결과에 잘 부합된다. Culler and Graf(1984)에 의하면 총 희토류 원소의 합(REE)이 60~499 ppm이고  $(\sum La/Lu)_{CN}$ 의 값이 8.9~66에 해당하는 암체들은 대륙이나 그 주변부의 구조적 환경에서 형성된 화강암류임을 제시하였다. 본 연구지역의 흑운모 화강암의  $\sum REE$ 값은 한 시료(39.69 ppm)만 제외하고는 76.21~137.05의 값을 가지며, 각섬석 화강암의  $\sum REE$ 값은 73.84~483.21의 값을 가진다. 또한 흑운모 화강암의  $(La/Lu)_{CN}$ 의 값은 9.61~36.47, 각섬석 화강암의  $(La/Lu)_{CN}$ 의 값은 7.17~21.85이다. 따라서 연구지역의 암체를 형성시킨 마그마의 생성환경이 대륙 또는 대륙 연변부에 해당함을 알 수 있다.

이상의 결과를 종합하면, 본 연구지역의 화강암류는 칼크 - 알칼리 마그마 계열, 과알루미나질, I-type 화강암류에 해당하는 특성을 보이며, 이는 본 연구지역의 화강암이 상부맨틀의 부분용융으로 생성된 현무암질 마그마보다 하부 지각물질의 용융에 의해 생성된 마그마에서 분화되었음을 지시한다. 또한 중생대 태평양판이 대륙주변부로 섭입하는 화산호 환경에서 정지된 마그마로부터 형성되었음을 알 수 있다.

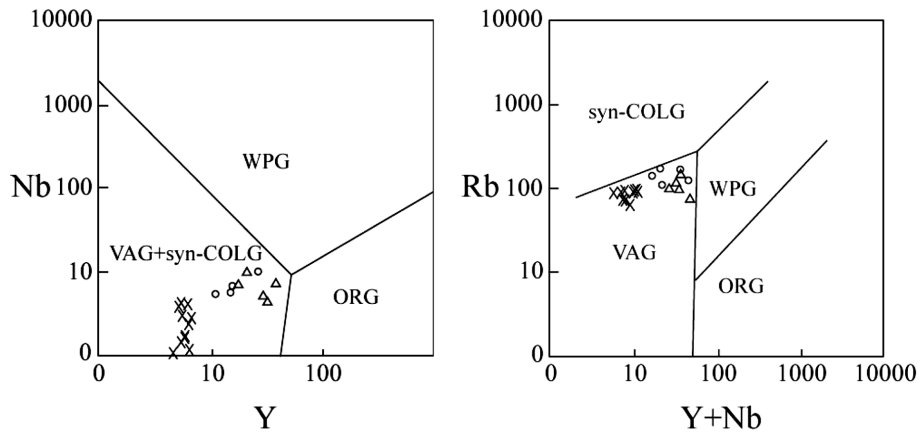


Fig. 10. Tectonic discrimination diagram (Pearce et al., 1984). Symbols are same as those in Fig. 2.

결론

경상남도 거창지역에 분포하는 섬록암류, 흑운모 화강암, 각섬석 화강암에 대한 주성분원소, 미량원소 및 희토류 원소 분석 결과로부터 획득한 지화학적 특징에 의해 다음과 같은 결론이 내려진다.

본 연구지역의 암체는 모드조성 분석 결과 섬록암류는 석영섬록암, 석영문조 섬록암, 토날라이트 영역에, 흑운모 화강암은 화강섬록암, 화강암영역에, 각섬석 화강암은 화강암, 석영문조암, 석영섬장암 영역에 해당한다. 또한 본 연구지역의 암체는 비알칼리 계열 중 칼크 - 알칼리 마그마 계열에 해당한다. 칼크 - 알칼리 마그마 계열은 섭입이 일어나는 판 경계에서 발생하므로 본 연구지역의 암석이 이러한 환경에서 생성되었음을 지시한다. 본 연구지역 암체의 AI 포화지수는 각각 평균 1.00, 1.06, 1.05으로 I-type에 해당하며, 이것은 본 연구지역의 암석이 대륙과 대륙이 충돌하는 지구조적 환경에서 하부 지각 물질의 용융에 의해 생성된 마그마로부터 분화되었음을 지시한다.

본 연구지역 암체의 주성분 원소, 미량원소, 희토류 원소의 분화 경향은 일반적인 화강암의 경향을 따르지만 흑운모 화강암과 각섬석 화강암은 다소 다른 패턴을 보인다.

특히 미량원소 Sr, Nb, Zr, Ti는 상대적으로 결핍되어 있으며 이러한 양상은 섭입대와 관련되어 생성되는 칼크 - 알칼리 마그마 계열의 특징을 잘 나타내는 것이다. 미량원소 중 LREE가 HREE에 대해 부화되어 있고 Eu의 부(-) 이상이 나타나는 양상은 남한에 분포하는 류라기 화강암류의 패턴과 유사하다.

본 연구지역의 암석은 지구조 판별도에서 화산호 화강암과 동시충돌성 화강암 영역에 해당한다. 다음의 결과에서도 본 연구지역의 암석을 형성시킨 마그마가 중생대 태평양판이 대륙 주변부로 섭입 하는 지구조 환경에서 하부 지각 물질의 용융에 의해 생성되었음을 알 수 있다.

사사

“이 연구는 2010년도 부산대학교 기초과학연구지원 사업에 의하여 수행되었습니다. (RIBSPNU-2010-307)” 이 논문의 심사과정에 유익한 지적과 세심한 충고를 해주신 박영록 교수님과 익명의 심사자께 감사드립니다.

참고문헌

김규한, 1992, 남한의 일부 중생대 화강암류의 지구화학적 연구. 광산지질, 25, 435-446.  
 김남장, 김정환, 1970, 1 : 50000 거창지질도폭설명서. 국립지질조사소, 14p.  
 김동학, 황재하, 박기화, 송교영, 1998, 1 : 250,000 부산 지질도폭설명서, 한국지질자원연구원.  
 김용준, 조동룡, 박영석, 1989, 거창지역에 분포하는 중생대 화성암류에 대한 연령과 주성분 광물의 화학조성. 광산지질, 22, 117-127.  
 박계현, 이호선, 송용선, 정창식, 2006, 영남육괴 함양, 거창 및 영주 화강암-화강섬록암의 스핀 U-Pb 연대. 암석학회지, 15, 39-48.  
 박영석, 김용준, 권성택, 박재봉, 1993, 거창 - 고령지역산 화성암류에 대한 Rb-Sr 동위원소 연구. 한국지구과학학회지, 14, 32-43.

- 이병주, 황재하, 1997, 경상분지 북동부에서의 가음단층과 양산단층의 관계. 지질학회지, 33, 1-8.
- 이상만, 1980, 지리산(하동-산청)지역의 변성이질암의 변성 작용에 관한 연구. 지질학회지, 16, 1-15.
- 이상만, 나기창, 이상현, 박배영, 이상원, 1981, 소백산육괴(동남부)의 변성암복합체에 대한 변성작용에 관한 연구. 지질학회지, 17, 169-188.
- 이종래, 이윤종, Masao Hayashi, 1993, 함양-거창 지역, 화성암류의 저어콘 윙트랙 연대. 광산지질, 26, 186-191.
- 이철락, 이윤종, Masao Hayashi, 1992, 함양-거창 지역, 주라기 화강암류의 암석학적 연구. 광산지질, 25, 447-461.
- 좌용주, 최진범, 김진기, 김종선, 황길찬, 2007, 거창지역에서 산출되는 화강암석재의 품질 기준. 암석학회지, 16, 38-45.
- Arakawa, Y., Saito, Y. and Hiroshi Amakawa, 2000, Crustal development of the Hida belt, Japan : Evidence from Nd-Sr isotopic and chemical characteristics of igneous and metamorphic rocks. Tectonophysics, 328, 183-204.
- Chappell, B.W. and White, A.J.R., 1974, Two contrasting granite types. Pacific Geology, 8, 173-174.
- Choi, S.G., Park, S.J., Kim, S.W., Kim, C.S. and Oh, C.W., 2006, Mesozoic Gold-Silver mineralization in South Korea : Metallogenic Provinces Reestimated to the geodynamic Setting. Economic and Environmental. Geol., 39, 567-581.
- Condie, K.C., 1989, Plate tectonics & crustal evolution (3ed). Pergamon press, Oxford, 476.
- Cullers, R.L. and Graf, J.L., 1984, Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust : intermediate and silicic rocks - ore petrogenesis : in Henderson, P., Rare earth elements geochemistry, Elsevier Science Publication.
- Hong, Y.K., 1987, Geochemical Characteristics of Precambrian, Jurassic and Cretaceous Granites in Korea. Journal of Korean Institute of Mining Geology, 20, 35-60.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A., 1971, A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences, 8, 523-548.
- Lefort, P., 1981, Manaslu leucogranite, a collision signature of the himalaya : A model for its genesis and emplacement. Journal of Geophysical Research, 86, 10545-10568.
- Maruyama, S., Isozaki, Y., Kimura, G. and Terabayashi, M., 1997, Paleogeographic maps of the Japanese Island : Plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present. The Island Arc, 6, 121-142.
- Oh, C.W., 2006, A new concept on tectonic correlation between Korea, China and Japan Histories from the late proterozoic to Cretaceous, Gondwana Research, 9, 47-61.
- Willson, M., 1989, Igneous Petrogenesis. Unwin Hyman, London. 17, 179-180.

---

2010년 1월 22일 접수

2010년 1월 25일 심사개시

2010년 7월 6일 채택