

## 한반도 남서부 남원 일대에 분포하는 A형 대강 화강암의 암석학, 지화학 및 지구조적 의미

김용준\* · 조등룡\*\* · 이창신\*\*\*

### Petrology, Geochemistry and Tectonic Implication of the A-type Daegang granite in the Namwon area, Southwestern part of the Korean Peninsula

Yong-Jun Kim\*, Deung-Lyong Cho\*\* and Chang-Shin Lee\*\*\*

**ABSTRACT** : Daegang granite is located around the Namwon-gun, Cheolabuk-do, and is an elongate stock (80 km<sup>2</sup>) in the NNE-SSW direction. Daegang granite has the very same mineralogical and geochemical characteristics as those of the typical A-type granites; (1) it is a one feldspar hypersolvus granite, and is classified as an alkali feldspar granite in the IUGS scheme, (2) has small amounts of Fe-rich biotite (annite) and alkali amphibole (riebeckite) that are late in the crystallization sequence of the granitic magma, (3) always contains opaque oxides, fluorite and zircon, (4) shows high and quite homogeneous SiO<sub>2</sub> content (mostly 72~77 wt.%) and (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ratio (0.90~0.98), (5) contains high Ga, 10000\*Ga/Al, K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O, (K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)/CaO, K<sub>2</sub>O/MgO, FeO/MgO, agpaitic index, Zr, Nb, Ce, Y, Zn value or ratio that resemble to those of the Australian A-type granites (Whalen *et al.*, 1987), and (6) has enriched LREE and HREE that show flat variation pattern with slightly depleted in HREE and profound Eu anomalies (Eu/Eu\*=0.04~0.14). In the tectonic discrimination diagrams of Pearce *et al.* (1984) and Eby (1992), Daegang granite is classified as a within plate granite and A<sub>2</sub>-type.

## 서 언

우리 나라 화강암은 전체 지표의 25% 이상을 차지하며, 각 지체구조구에 걸쳐 폭 넓게 분포한다. 이들은 원생대 초기부터 제3기 까지의 오랜 기간에 걸친 화성활동의 산물이다 (Hong, 1987). 이와 같이 시공간적으로 넓게 존재하는 특성으로 인해 화강암의 연구는 우리 나라 지질의 이해와 지구조 운동의 규명에 필수적이다. 화강암 연구의 핵심 중 하나는 마그마의 근원암과 지구조적 환경을 밝히는 것이다.

1980년부터 우리 나라 화강암의 유형 분류와 지구조 환

경에 대한 여러 연구가 시도되었다 (Jin, 1980; Shimazaki and Lee, 1981; Jin *et al.*, 1982; 박미령과 김규한, 1982; Lee and Lee, 1982; Hong, 1987; Jwa, 1990; Kwon *et al.*, 1994). 이들 연구에서 트리아스기~쥬라기의 화강암 (광의의 대보 화강암)은 저자에 따라 I형 또는 S형 (Chappell and White, 1974)으로 분류되었다. 한편 조등룡 (1993)은 우리 나라 화강암 유형 분류에서의 문제점을 지적하고 White 외 (1986)의 기준으로 야외산상, 조직, 광물화학 및 전암의 지화학적 특징을 검토하여, 대보 화강암이 복미 대륙의 경우와 같이 대부분 I-MC, I-SC 혹은 I-SCR형 (Ague and Brimhall, 1988: moderately contaminated-, strongly contaminated-, strongly contaminated and reduced-I type)에 속하고 주변암에 의한 혼화가 이들의 기원에 가장 중요하였음을 보였다. 미량원소를 이용한 판별도에서 (Manier and Piccoli, 1989) 대보 화강암은 대체적으로 화산호 화강암 혹은 대륙 마그마호 화강암으로 분류되며, 일부는 충돌성 화강암 영역에 속한다. 즉 이들 대부분은 압축성 (compressional) 지구조 환경에서의 화성활동

\* 전남대학교 (Department of Geology, Chonnam National University, Kwangju, 500-757, Korea), E-mail: yongjun@orion.chonnam.ac.kr

\*\* 한국자원연구소 (Korea Institute of Geology, Mining and Materials, 30, Kajung-dong, Yusung-gu, Taejon, 305-350, Korea)

\*\*\* 조선대학교 (Department of Mineral and Petroleum, Chosun University, Kwangju, 501-759, Korea)

의 산물이다.

I형 화성활동의 최후기 산물, 신장성 (tensional) 지구 조 환경 혹은 조산운동과 전혀 상관없이 출현하며 (atectonic), 알칼리 원소의 함량이 높고 (alkalic), 함수광물을 거의 포함하지 않는 (anhydrous) 특이한 화강암 그룹이 있다. 이들은 맨틀 혹은 지각의 화성 기원물질을 근원암으로 하지만 atectonic, alkalic 및 anhydrous의 특성 때문에 Loiselle과 Wones (1979)는 I형과 구별하여 A형으로 정의하였다. 경주 남산 (Lee, 1995; 김춘식과 김근수, 1996), 장군 광산 근처의 그라노파이어 (Shigenari Yamamoto, 미발표), 울진광산 북부의 암체 (김용준 외, 1986) 등 소규모로 분포하는 A형의 특징을 갖는 불국사 화강암이 보고되었다. 이들은 백악기 초에서 시작된 불국사 화성활동의 최후기 산물 혹은 동해의 형성과 관련된 신장성 지구조 환경의 산물로 추정된다. 그러나 대보 화강암에서는 아직 전형적인 A형 화강암이 보고된 바 없다.

김정빈 외 (1990) 및 김정빈과 김용준 (1990)은 전라북도 남원군 대강면을 중심으로 남북 방향으로 대상 분포하는 소위 대강 화강암에서 알칼리 각섬석 (riebeckite)과 Fe-흑운모 (annite)를 기재하였다. 이들은 A형 화강암의 전형적인 유색광물이며, 주원소의 특징 역시 호주의 A형 화강암 (Collins *et al.*, 1982; Whalen *et al.*, 1987)과 유사하다. 따라서 이 연구의 목적은 대강 화강암의 야외산상, 구성광물, 광물화학 및 전암의 지화학적 특징을 조사하여 과연 A형에 속하는지 밝히고, 이의 암석학 및 지구조적 의의를 토론하는 것이다.

## 연구 방법

1:25,000 지형도를 기본도로 대강 화강암과 그 주변에 대한 지질조사와 시료채취가 이루어졌다. 대표적인 화강암 시료에서 1,500점 이상의 모드 분석을 통하여 IUGS 기준에 의한 암석명 (Streckeisen, 1976)을 결정하였다. 화강암의 사장석, 알칼리 장석, 각섬석과 흑운모의 전자검침현미분석 (EPMA)을 실시하였고, 사용된 기기, 분석조건 및 오차범위는 조동룡과 권성택 (1994a, 1994b)의 경우와 같다.

풍화작용과 압쇄작용에 수반된 재결정작용에 의한 성분 변화를 피하기 위해 가장 신선하고 변형을 받지 않은 시료를 선택하여 전암의 화학분석을 실시하였다. 또한 비교를 위해 압쇄천매암 시료 한 개도 분석에 포함하였다. 주성분 원소는 한국자원연구소에서 XRF 방법으로 얻었으며, 이의 오차 범위는 2% 미만으로 알려져 있다. Ga를 제외한 미량원소의 분석은 영국 런던 대학의 ICP-AES로

하였고, 특히 저어콘이 완전하게 용해될 수 있도록 하였다. Ga 분석은 한국자원연구소에서 중성자 방사분석법 (INAA)으로 실시하였으며, 오차 범위는 10% 미만이다. 희토류 원소의 분석은 영국 런던 대학의 ICP-MS로 이루어졌고, 오차 범위는 5~10% 이내이다.

## 광역 지질

대강 화강암은 영남육괴 지리산 지역 남서쪽의 옥천대와 접하는 곳에 위치한다. 이 지역은 선편브리아의 지리산 편마암복합체를 기저로 하여, 시대 미상의 변성퇴적암류와 중생대 화강암류 (삼오리 화강암, 대강 화강암, 순창 화강섬록암, 남원 화강암) 및 백악기 퇴적암-화산암로 구성된다 (Fig. 1).

지리산 편마암복합체는 주로 반상 변정질 편마암, 화강 편마암, 호상 편마암과 미그마타이트질 편마암으로 구성되고, 소량의 각섬석 편암, 결정질 석회암 등 편암류가 이들에 협재한다 (김정빈 외, 1990; 김정빈과 김용준, 1990). 시대 미상의 변성퇴적암류는 지리산 편마암복합체를 부정합으로 덮는다.

대강 화강암은 지리산 편마암복합체와 변성퇴적암류를 관입하였고, 이의 Rb-Sr 전암 연대는  $228 \pm 5$  Ma (주승환과 김성재, 1986), U-Pb 저어콘 연대는  $212 \pm 2$  Ma (상부절편연대  $1958 \pm 97$  Ma)로서 (Turek and Kim, 1995) 주변의 중생대 화강암류 중에서 가장 오랜 연령을 갖는다. 순창 화강섬록암은 중립질 각섬석-흑운모 암상으로, 시대 미상의 변성퇴적암을 관입하며, 백악기 퇴적암-화산암에 의해 피복된다. Rb-Sr 전암 연령은  $225 \pm 5$  Ma (주승환과 김성재, 1986)이지만, U-Pb 저어콘 연령은  $183 \pm 8$  Ma (상부절편연대  $2648 \pm 179$  Ma)이다 (Turek and Kim, 1995). 대강 화강암과 순창 화강섬록암에서 압쇄작용이나 변질 및 풍화작용에 더 안정한 U-Pb 저어콘 연령이 Rb-Sr 전암 연령보다 젊은 이유는 아직 명확하지 않다.

삼오리 화강암은 대강 화강암을 관입하는 조립-거정질 복운모 암상이다. 남원 화강암은 대강 화강암을 관입하는 심장 모양의 면적 약  $530 \text{ km}^2$ 의 저반으로서, 각섬석 흑운모 토날라이트-화강섬록암, 반상 각섬석-흑운모 화강섬록암, 흑운모 화강암과 복운모 화강암으로 구성된다 (홍세선, 1994). 이들의 대부분은 괴상이나 흑운모 화강암과 시대 미상의 변성퇴적암과의 접촉부 근처에서는 미약한 열리가 관찰된다 (홍세선, 1994). 남원 화강암 저반 중 반상 각섬석-흑운모 화강섬록암의 저어콘 U-Pb 연대는  $176 \pm 3$  Ma (상부절편연대  $1858 \pm 80$  Ma)이다 (Turek and

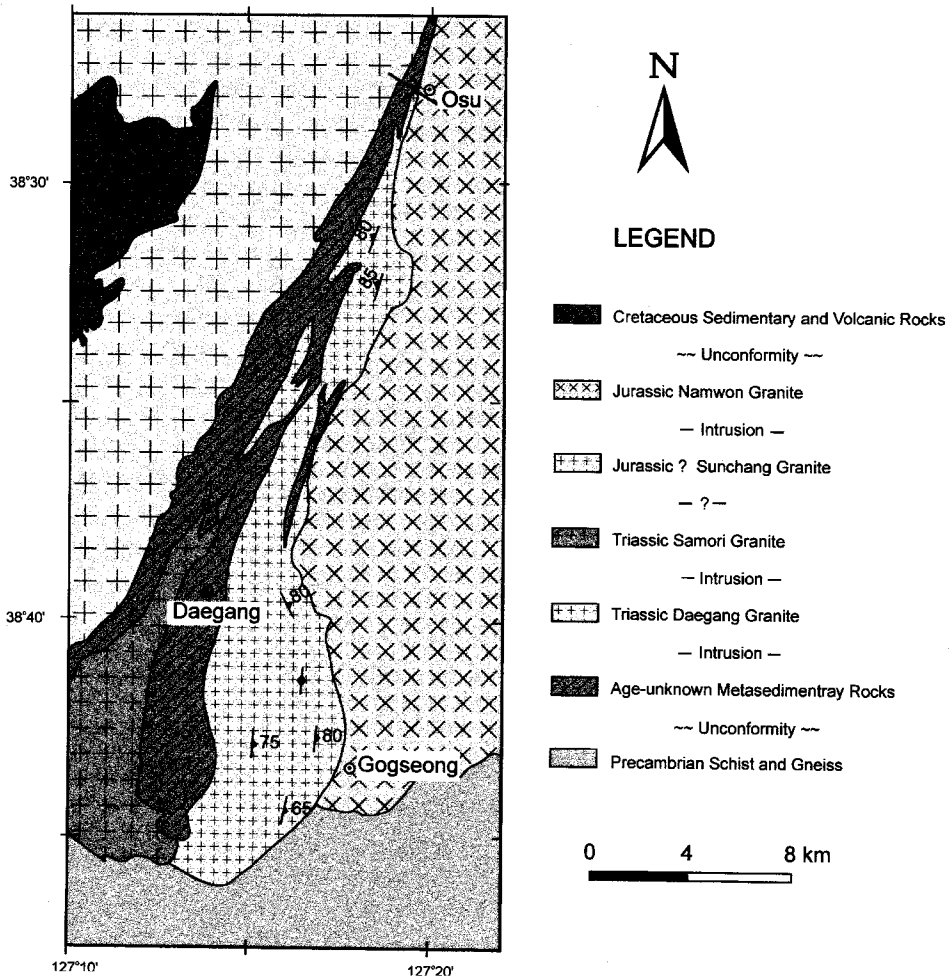


Fig. 1. Geologic map of the Daegang granite and vicinity area.

Kim, 1995).

남원 화강암을 제외한 대부분의 중생대 화강암체에는 우수향의 운동 감각을 보이는 연성전단대가 발달한다 (김동학과 이병주, 1984; 김규봉 외, 1984; Cluzel *et al.*, 1991).

### 암석 기재

#### 야외 산상

대강 화강암은 북북동-남남서로 신장된 분포를 보이며, 노출면적은 약 80 km<sup>2</sup>이다 (Fig. 1). 남원 화강암, 순창 화강섬록암과 삼오리 화강암이 분포하는 지역은 비교적 낮은 고도의 구릉지 혹은 평야인 반면, 대강 화강암의 분포지는 인접한 변성퇴적암류의 규암층과 더불어 고지를

형성하여 풍화작용에 상대적으로 강하였음을 나타낸다.

시대 미상의 변성퇴적암류를 관입한 근처에서 대강 화강암은 이들의 포획암을 많이 갖는다. 이 부분의 대강 화강암은 대부분 각섬석을 포함하며, 암체 내부의 시료에 비해 알칼리 장석이 많고 석영의 함량은 적다. 한편 남원 화강암과의 관입 접촉부 근처에서 대강 화강암은 포획암으로 존재하며, 남원 화강암에 의한 대강 화강암의 변질대가 관찰된다.

대강 화강암체 내에는 모암 (host rock)과 암색 및 구성광물이 거의 같으며 세립질인 포획암이 발견된다. 이들은 양이 많지 않지만 암체 전체에 산재하고, 특히 주변암과 관입 접촉하는 연변부에 폭 넓게 분포한다. 포획암의 대부분은 30 cm 이하의 크기로 압쇄엽리의 방향에 평행하게 신장된 타원형을 이룬다. 대강 화강암의 주변에는

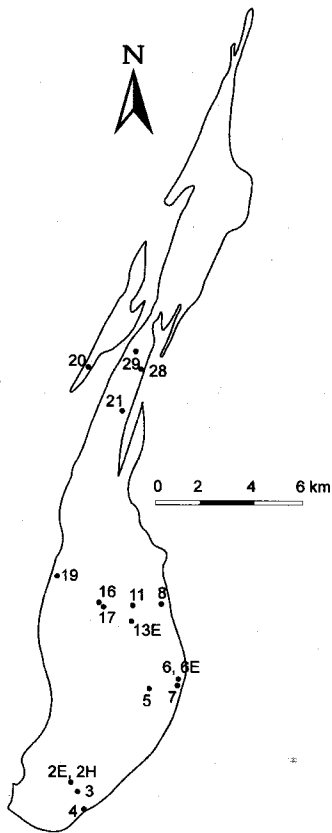


Fig. 2. Location map of the analyzed samples. See appendix for detailed sample location.

이 포획암과 같은 암상의 화강암이 존재하지 않는다. 또한 대강 화강암 주변의 순창 화강섬록암과 같은 칼칼리 화강암에 흔히 존재하는 염기성 세립질 입상 포획체 (mafic microgranular enclave: Didier and Barbarin, 1991)의 경우처럼 모암에 비해 유색광물의 양이 현저하게 많지는 않다.

대강 화강암은 암체 전체에 걸쳐 우수향 운동 감각의 연성전단작용에 의한 압쇄엽리를 나타낸다. 이의 전반적인 방향은 암체의 남쪽에서 북북동, 중간에서 북남, 북쪽에서 북동 방향을 나타내 암체의 신장 방향과 일치한다. 엽리의 경사각은 대부분  $70^\circ$  이상 고각이며 동쪽 또는 서쪽으로 경사한다 (Fig. 2). 구베 지질도폭 조사자들은 (홍승호와 황상구, 1984) 대강 화강암이 관입과 수반한 초생 엽리를 먼저 갖고, 후기에 연성전단작용에 의한 압쇄엽리가 이를 중첩하였다고 보고했으나, 이 연구에서는 초생 엽리를 발견할 수 없었다. 대강 화강암체 내에 포획된 변성 퇴적암류에도 압쇄 엽리가 연장하는 점으로 보아 화강암의 관입 후 연성전단작용이 일어난 것으로 판단된다.

대강 남쪽과 곡성 근처에서는 대부분의 암상이 원생암 쇄암 (protomylonite) 정도의 변형을 받았으나, 암체의 폭이 좁아지는 북쪽으로 갈수록 전반적으로 변형도가 증가한다. 특히 오수 부근에서 심하게 변형되어 초압쇄암 (ultramylonite)의 암상을 보인다. 그러나 암체의 남쪽에서도 1 m 내외의 폭이 좁고 연장성이 수 십 m로 짧은 강한 전단대가 부분적으로 존재하며, 이 부분의 암상은 압쇄천매암 (phyllonite)에 해당한다. 압쇄엽리의 방향과 거의 평행하게 후기의 취성 (brittle) 전단대가 발달하여 이를 따라 단층각력암이 발달한다.

### 암석 기재

압쇄작용을 심하게 받지 않은 대강 화강암의 신선한 노두는 담회색 혹은 담홍회색을 띠며, 풍화된 시료는 홍색에 가깝다. 전반적으로 조립질이고, 흑운모 집합체는 미약한 엽리를 나타낸다. 대강 화강암의 모드 분석 결과를 Streckeisen (1976)의 심성암 분류에 적용하면 알칼리 장석 화강암 영역에 속한다 (Table 1, Fig. 3). 이의 주구성 광물은 알칼리 장석, 석영, 흑운모, 각섬석이고 (Fig. 4A), 부수광물은 사장석, 불투명광물, 저어콘, 형석, 인회석 등이다 (Figs. 4B, 4C). 이차광물로 녹니석, 방해석 및 견운모가 미량 존재한다.

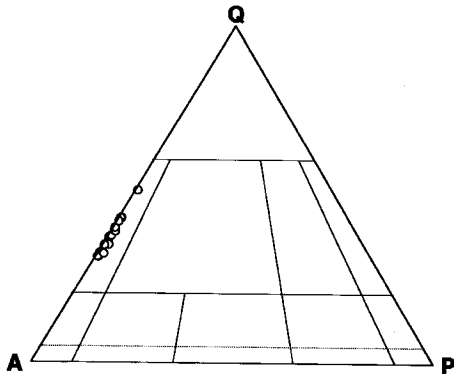
알칼리 장석은 뚜렷한 칼스바드 쌍정을 보이는 마이크로 퍼다이트로서 용리된 사장석의 양이 전체 알칼리 장석의 약 절반을 차지하는 메소퍼다이트 (mesoperthite)이다. 남원 화강암과의 관입 접촉부 부근의 혼화된 부분을 제외한 대부분 지역의 시료에서 사장석은 없으며, 다만 일부 시료에 세립의 사장석이 존재한다. 따라서 대강 화강암은 장석류 중 알칼리 장석만이 존재하는 단일 장석 하이퍼솔버스 화강암 (one-feldspar hypersolvus granite)으로 분류할 수 있다.

흑운모는 모든 시료에 존재하며 염기성 입상 세립질 포획체를 제외한 모든 시료에서 5 vol.% 미만의 소량이 포함된다. 이들 중 많은 입자는 불투명광물과 유사한 진한 색을 나타내는 흑색 규산염광물 (black silicate)에 해당하며, 일부는 갈색 및 황갈색에서 암갈색 혹은 녹색에서 암적색의 다색성을 보인다. 흑색 규산염광물은 Fe 성분이 많은 흑운모 혹은 각섬석에서 나타나며, 울진광산 북부 지역의 제3기 알칼리 화강암의 흑운모 역시 이러한 특징을 보인다 (김용준 외, 1986). 드물게 세립질의 흑운모가 알칼리 장석 내에 포함되는 경우도 있으나, 대부분의 입자는 마이크로 퍼다이트의 간극에 존재하여 결정화작용의 후기 산물임을 시사한다. 각섬석은 드물게 일

**Table 1.** Mode of the Daegang granite.

|     | DG2E  | DG2H | DG3  | DG4  | DG6E  | DG7  | DG8  | DG11 |
|-----|-------|------|------|------|-------|------|------|------|
| Qz  | 37.6  | 35.5 | 30.8 | 35.8 | 40.8  | 38.1 | 36.2 | 42.3 |
| Pl  | -     | 0.1  | -    | -    | -     | 0.2  | 0.3  | 0.1  |
| Kfs | 58.0  | 62.8 | 66.4 | 62.5 | 58.0  | 60.1 | 61.8 | 57.5 |
| Am  | -     | -    | -    | -    | -     | -    | -    | 0.0  |
| Bt  | 4.3   | 1.5  | 2.8  | 1.6  | 1.1   | 1.5  | 1.7  | 0.1  |
| Zr  | 0.0   | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| Ap  | -     | 0.0  | -    | -    | 0.0   | 0.0  | -    | 0.0  |
| Fl  | 0.0   | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| Opq | 0.1   | 0.1  | 0.0  | 0.1  | 0.1   | 0.1  | 0.0  | 0.0  |
|     | DG13E | DG16 | DG17 | DG19 | DG20E | DG21 | DG28 | DG29 |
| Qz  | 28.6  | 37.6 | 41.6 | 48.6 | 29.5  | 33.2 | 32.9 | 29.8 |
| Pl  | -     | 0.6  | -    | -    | 1.1   | 1.0  | 0.0  | 0.3  |
| Kfs | 65.3  | 60.2 | 57.0 | 47.3 | 63.6  | 63.2 | 64.0 | 67.7 |
| Am  | -     | -    | -    | -    | 1.0   | 0.8  | 0.2  | -    |
| Bt  | 6.0   | 1.6  | 1.4  | 4.1  | 4.8   | 1.8  | 2.9  | 2.2  |
| Zr  | 0.0   | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| Ap  | -     | 0.0  | 0.0  | -    | 0.0   | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| Fl  | 0.0   | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| Opq | 0.1   | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0   | 0.0  | 0.0  | 0.0  |

Abbreviations: Qz; quartz, Pl; plagioclase, Kfs; alkali feldspar, Am; amphibole, Bt; biotite, Zr; zircon, Ap; apatite, Fl; fluorite, Opq; opaque. Samples DG2E, DG6E, DG13E and DG20E are fine-grained enclaves.



**Fig. 3.** Q-A-P (quartz-alkali feldspar-plagioclase) triangular plot (after Streckeisen, 1976) of the Daegang granite.

부 시료에 존재하고, 갈녹색에서 청록색의 다색성을 나타내는 반자형 내지 타형의 입자이다 (Fig. 4B).

부수광물 중 불투명광물, 형석 및 저어콘은 모든 시료에 존재하고, 인회석과 갈염석은 일부 시료에만 나타난다. 특히 저어콘은 최대 0.3 mm의 큰 결정으로 흑운모와 밀접하게 수반한다 (Fig. 4C). 투명하고 깨끗한 결정 및 혼탁한 (cloudy) 입자의 저어콘이 모두 존재하며, 일부는 코어-맨틀 오버그로스 (core-mantle overgrowth) 조직을 보인다. 인회석 역시 흑운모 혹은 각섬석과 밀접하게 수반하고 칼크-알칼리 계열의 다른 대보 화강암에서 보다 조립의 입자이다.

이상에서 살펴 본 바와 같이 (1) 심성암 분류에서 알칼리 장석 화강암에 속하고, (2) 단일 장석 하이퍼소르스 화강암이며, (3) 흑운모와 각섬석 등 합수광물의 양이 적고 이들이 결정화작용의 후기에 형성되었으며, (4) 불투명광물, 형석 및 저어콘이 항상 수반하는 점은 Collins 외 (1982)가 기재한 호주 남서부 A형 화강암과 일치하는 특징이다.

대강 화강암체 내에 존재하는 세립질 포획암은 모암 (host rock)과 같은 종류의 구성광물을 갖는다 (Table 1). 즉 마이크로 퍼다이트가 반정을 이루며, 석기는 대부분 미사장석, 석영 및 흑운모 구성된다 (Fig. 4D). 저어콘, 형석, 인회석 등의 부수광물의 종류 및 조직도 모암의 경우와 같다.

연성전단작용에 의한 광물의 변형이 모든 시료에서 관찰된다. 그러나 상당히 변형된 시료에서도 마이크로 퍼다이트는 원형을 보존하며, 연성전단작용에 의해 재결정된 미립의 석영들로 둘러싸이는 양상을 보인다. 변형도가 증가하면 칼스바드 쌍정면 및 사장석의 용리 방향과 평행하게 입자의 쪼개짐과 이동이 일어나고, 쪼개진 틈은 재결정작용에 의한 세립의 석영 및 미사장석으로 채워진다. 일부 입자는 연성전단작용과 수반된 회전으로 둥근 외형을 나타낸다. 강한 연성전단대를 따라 발달하는 압쇄천매암은 담녹회색을 띠고, 관통상 벽개 (penetrative cleavage) 혹은 열개 (fissility)의 발달이 뚜렷하여 마치 천매암 혹은

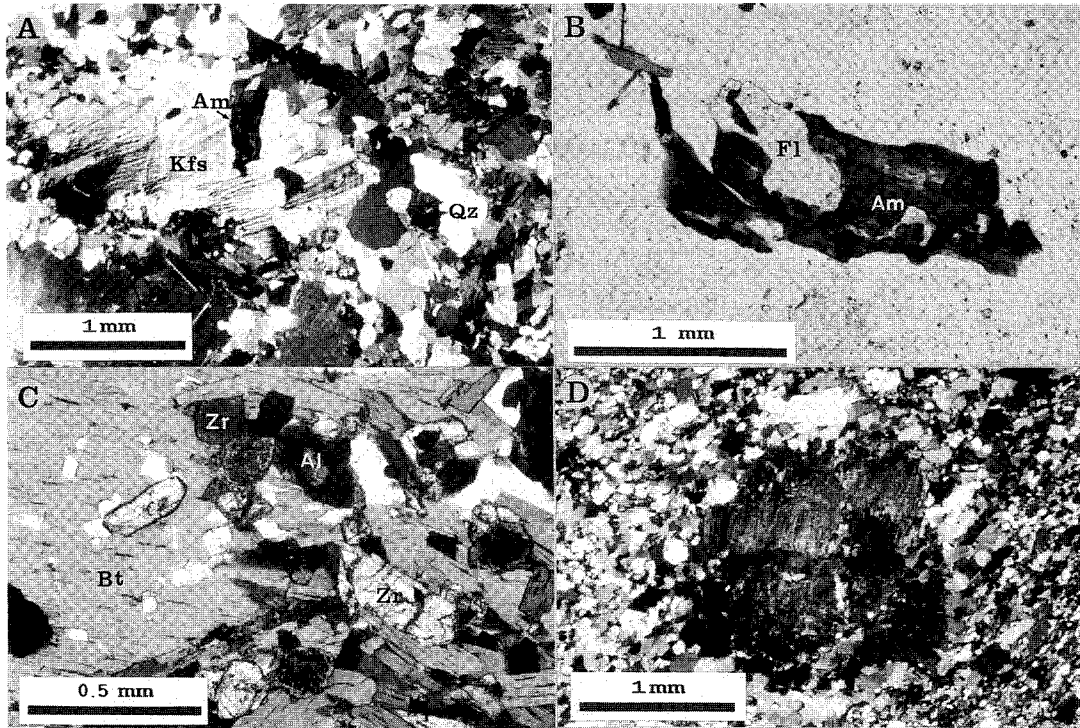


Fig. 4. Microphotographs of the typical Daegang granite (A), its amphibole and fluorite (B) and zircon and allanite (C), and fine-grained enclave (D) associated with the Daegang granite. A and D are under crossed polar, and B and C are under open polar, respectively. Abbreviations as in table 1.

슬레이트처럼 보인다. 이들 시료는 재결정작용에 의한 미립질 석영, 미사장석, 견운모 등으로 구성된다.

광물화학

대강 화강암 및 세립질 포획암 내에 존재하는 마이크로 퍼다이트의 알칼리 장석과 사장석 용리, 흑운모 및 각섬석에 대한 성분을 Fig. 5에 요약하였다.

마이크로 퍼다이트의 알칼리 장석 부분의 성분은 대부분 Or 몰이 90% 이상이며, 사장석 용리의 성분은 An 몰이 1~7%이다. Ab 몰이 큰 성분도 존재하나, 이는 분석시 사장석의 미세 용리가 빔에 포함되었기 때문일 것이다. 이와 같이 단성분에 가까운 알칼리 장석과 사장석 용리의 특징은 마이크로 퍼다이트가 냉각 과정에서 이온의 교환에 의해 재형되었음을 시사한다. 흑운모는  $Fe^T / (Fe^T + Mg)$  비가 0.8 내외인 엔나이트에 해당하여, 호주

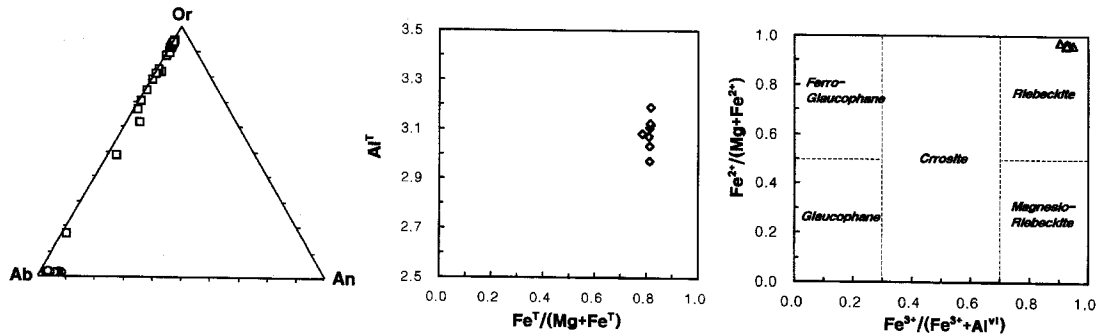


Fig. 5. Compositional diagrams of host alkali-feldspar (square) and plagioclase exsolution (circle) in microperthite, biotite (diamond), and alkali amphibole (triangle) after Leake (1978).

의 A형 화강암의 흑운모 성분과 일치한다 (Collins *et al.*, 1982; Whalen *et al.*, 1987). 각섬석은 B 자리 (site) 의 Na 양이 1.34 이상인 알칼리 각섬석 그룹에 속하고, A 자리의 Na와 K의 합이 0.5 이하로서 Leake (1978)의 각섬석 분류에서 알칼리 각섬석 중 리벡카이트에 해당한다. 이러한 알칼리 각섬석의 존재 역시 호주의 A형 화강암과 일치하는 것이다 (Collins *et al.*, 1982; Whalen *et al.*, 1987).

### 전암 지화학

대강 화강암의 SiO<sub>2</sub> 함량은 70~77 wt.%의 범위이며, 두 개 (DG17, DG21) 시료를 제외하면 72 wt.% 이상으로서 비교적 균질한 산성암에 속한다 (Table 2). 대강 화강암 내 세립질 포획암의 SiO<sub>2</sub> 함량은 모암의 값과 중첩되거나 68 wt.%의 중성에 가까운 것도 존재한다.

대강 화강암의 (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 비와 Al 지수 [Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/

**Table 2.** Chemical composition of the Daegang granite.

|                                    | DG2E  | DG2H  | DG3   | DG4   | DG5   | DG6E  | DG7   | DG8   | DG11  |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Major oxides (wt.%)                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| SiO <sub>2</sub>                   | 73.86 | 72.29 | 77.11 | 76.96 | 78.01 | 76.20 | 72.72 | 74.42 | 73.38 |
| TiO <sub>2</sub>                   | 0.17  | 0.25  | 0.13  | 0.12  | 0.09  | 0.14  | 0.22  | 0.21  | 0.19  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | 13.32 | 13.88 | 11.68 | 11.83 | 12.31 | 12.11 | 13.07 | 12.44 | 13.18 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (T) | 1.80  | 2.29  | 1.60  | 1.53  | 1.25  | 1.73  | 2.81  | 2.43  | 2.24  |
| MnO                                | 0.03  | 0.04  | 0.02  | 0.02  | 0.02  | 0.01  | 0.04  | 0.04  | 0.04  |
| MgO                                | 0.07  | 0.12  | 0.02  | 0.02  | 0.06  | 0.02  | 0.05  | 0.04  | 0.03  |
| CaO                                | 0.38  | 0.38  | 0.33  | 0.27  | 0.20  | 0.32  | 0.65  | 0.47  | 0.44  |
| Na <sub>2</sub> O                  | 4.21  | 4.30  | 3.73  | 3.79  | 0.45  | 3.89  | 4.16  | 4.05  | 4.13  |
| K <sub>2</sub> O                   | 5.41  | 5.69  | 4.63  | 4.64  | 6.06  | 4.82  | 5.14  | 5.13  | 5.53  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>      | 0.03  | 0.04  | 0.02  | 0.02  | 0.02  | 0.02  | 0.03  | 0.02  | 0.02  |
| Ig. loss                           | 0.50  | 0.39  | 0.38  | 0.44  | 1.44  | 0.42  | 0.86  | 0.50  | 0.55  |
| Total                              | 99.78 | 99.67 | 99.65 | 99.64 | 99.91 | 99.68 | 99.75 | 99.75 | 99.73 |
| Trace elements (ppm)               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Li                                 | 33    | 16    | 37    | 23    | 49    | 9     | 16    | 14    | 25    |
| Ba                                 | 137   | 136   | 40    | 35    | 28    | 16    | 67    | 45    | 53    |
| Rb                                 | 264   | 229   | 292   | 293   | 538   | 270   | 219   | 254   | 261   |
| Sr                                 | 33    | 33    | 9     | 10    | 12    | 6     | 36    | 13    | 18    |
| Zr                                 | 378   | 356   | 293   | 364   | 94    | 165   | 633   | 600   | 495   |
| Nb                                 | 29    | 24    | 31    | 34    | 16    | 26    | 31    | 35    | 28    |
| Y                                  | 69    | 59    | 105   | 92    | 41    | 87    | 83    | 99    | 76    |
| Sc                                 | 3     | 2     | 1     | 1     | 4     | 1     | 2     | 2     | 2     |
| V                                  | 6     | 4     | 2     | 2     | 2     | 2     | 3     | 3     | 3     |
| Cr                                 | 6     | 6     | 5     | 5     | 5     | 6     | 6     | 5     | 6     |
| Co                                 | 44    | 42    | 31    | 45    | 38    | 34    | 35    | 36    | 32    |
| Ni                                 | 6     | 4     | 5     | 6     | 6     | 5     | 6     | 5     | 4     |
| Cu                                 | 4     | 4     | 26    | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     | 5     |
| Zn                                 | 83    | 70    | 205   | 103   | 30    | 92    | 103   | 101   | 98    |
| Ga                                 | 36    | 36    | 31    | 31    | 21    | 27    | 28    | 26    | 27    |
| Rare earth elements (ppm)          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| La                                 | 116.1 | 73.2  | 54.1  |       |       |       |       | 111.3 |       |
| Ce                                 | 233.4 | 153.9 | 123.7 |       |       |       |       | 238.6 |       |
| Pr                                 | 25.4  | 16.7  | 14.3  |       |       |       |       | 26.3  |       |
| Nd                                 | 80.9  | 54.0  | 48.6  |       |       |       |       | 87.3  |       |
| Sm                                 | 14.0  | 10.1  | 11.7  |       |       |       |       | 17.5  |       |
| Eu                                 | 0.5   | 0.4   | 0.2   |       |       |       |       | 0.2   |       |
| Gd                                 | 12.4  | 9.6   | 13.0  |       |       |       |       | 16.9  |       |
| Dy                                 | 12.3  | 10.2  | 15.7  |       |       |       |       | 16.0  |       |
| Ho                                 | 2.5   | 2.0   | 3.2   |       |       |       |       | 3.1   |       |
| Er                                 | 6.1   | 5.1   | 8.0   |       |       |       |       | 7.4   |       |
| Yb                                 | 6.6   | 5.5   | 7.5   |       |       |       |       | 7.6   |       |
| Lu                                 | 1.0   | 0.8   | 1.1   |       |       |       |       | 1.2   |       |

Table 2. Continued.

|                                    | DG13E | DG16  | DG17  | DG19  | DG20E | DG21  | DG28  | DG29  |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Major oxides (wt.%)                |       |       |       |       |       |       |       |       |
| SiO <sub>2</sub>                   | 69.51 | 74.59 | 70.35 | 74.28 | 67.60 | 71.98 | 73.15 | 72.76 |
| TiO <sub>2</sub>                   | 0.30  | 0.15  | 0.30  | 0.19  | 0.38  | 0.20  | 0.19  | 0.26  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | 14.60 | 13.15 | 14.50 | 13.08 | 15.43 | 13.89 | 13.38 | 13.61 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (T) | 3.92  | 1.45  | 2.80  | 1.64  | 3.49  | 2.49  | 2.24  | 2.12  |
| MnO                                | 0.05  | 0.02  | 0.05  | 0.02  | 0.05  | 0.04  | 0.04  | 0.03  |
| MgO                                | 0.05  | 0.07  | 0.20  | 0.12  | 0.20  | 0.05  | 0.04  | 0.19  |
| CaO                                | 0.40  | 0.47  | 0.78  | 0.64  | 0.97  | 0.64  | 0.49  | 0.71  |
| Na <sub>2</sub> O                  | 4.70  | 3.86  | 4.40  | 3.54  | 3.83  | 4.38  | 4.38  | 3.88  |
| K <sub>2</sub> O                   | 5.73  | 5.57  | 5.74  | 5.62  | 7.19  | 5.55  | 5.40  | 5.46  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>      | 0.03  | 0.03  | 0.05  | 0.03  | 0.04  | 0.02  | 0.02  | 0.05  |
| Ig. loss                           | 0.41  | 0.39  | 0.56  | 0.60  | 0.57  | 0.51  | 0.40  | 0.73  |
| Total                              | 99.70 | 99.75 | 99.73 | 99.76 | 99.75 | 99.75 | 99.73 | 99.80 |
| Trace elements (ppm)               |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Li                                 | 42    | 18    | 40    | 27    | 27    | 7     | 20    | 31    |
| Ba                                 | 34    | 128   | 179   | 157   | 204   | 98    | 67    | 250   |
| Rb                                 | 303   | 275   | 315   | 238   | 220   | 172   | 173   | 216   |
| Sr                                 | 17    | 33    | 40    | 42    | 45    | 22    | 16    | 63    |
| Zr                                 | 786   | 212   | 411   | 183   | 594   | 523   | 526   | 285   |
| Nb                                 | 49    | 25    | 29    | 17    | 19    | 26    | 22    | 21    |
| Y                                  | 125   | 72    | 89    | 52    | 45    | 71    | 60    | 48    |
| Sc                                 | 3     | 2     | 4     | 3     | 8     | 2     | 2     | 3     |
| V                                  | 4     | 4     | 7     | 6     | 8     | 3     | 3     | 9     |
| Cr                                 | 6     | 5     | 6     | 5     | 6     | 5     | 5     | 6     |
| Co                                 | 27    | 51    | 36    | 45    | 35    | 32    | 38    | 45    |
| Ni                                 | 5     | 4     | 8     | 5     | 6     | 7     | 4     | 6     |
| Cu                                 | 9     | 10    | 5     | 5     | 7     | 4     | 6     | 5     |
| Zn                                 | 147   | 54    | 98    | 32    | 60    | 86    | 77    | 56    |
| Ga                                 | 35    | 33    | 36    | 30    | 30    | 32    | 29    |       |
| Rare earth elements (ppm)          |       |       |       |       |       |       |       |       |
| La                                 | 195.9 |       | 152.3 |       | 290.6 | 93.0  |       |       |
| Ce                                 | 396.2 |       | 312.6 |       | 541.6 | 193.0 |       |       |
| Pr                                 | 42.3  |       | 32.8  |       | 52.6  | 21.0  |       |       |
| Nd                                 | 136.2 |       | 100.0 |       | 149.0 | 69.0  |       |       |
| Sm                                 | 24.3  |       | 16.9  |       | 17.9  | 12.9  |       |       |
| Eu                                 | 0.4   |       | 0.7   |       | 0.7   | 0.4   |       |       |
| Gd                                 | 22.5  |       | 14.9  |       | 11.4  | 11.9  |       |       |
| Dy                                 | 22.0  |       | 13.9  |       | 8.1   | 11.5  |       |       |
| Ho                                 | 4.4   |       | 2.8   |       | 1.6   | 2.3   |       |       |
| Er                                 | 10.7  |       | 6.7   |       | 3.2   | 5.7   |       |       |
| Yb                                 | 11.4  |       | 7.4   |       | 4.2   | 6.3   |       |       |
| Lu                                 | 1.8   |       | 1.2   |       | 0.7   | 1.0   |       |       |

All the major oxide, trace element and REE analyses were made by XRF, ICP-AES, and ICP-MS, respectively, whereas, Ga analyses were made by INAA.

Samples DG2E, DG6E, DG13E and DG20E are fine-grained enclaves, and sample DG5 is a ultramylonite (phylonite).

(CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)]의 특징은 Fig. 6과 같다. 비교를 위해 성분이 잘 알려진 강화도, 서울과 안양, 포천, 인제-홍천, 대전-공주, 담양-진안, 남원 지역의 대보 화강암의 값도 같이 제시하였다 (심우중, 1990; Hong, 1984; Jwa, 1990; 권치순, 1987; 김정빈 외, 1990; 홍세선, 1994). 대보 화강암의 Al 지수는 약 0.6~1.4의 저알루미눔질 (me-

taluminous)에서 고알루미눔질 (peraluminous)까지 넓은 범위를 보이는 반면, 대강 화강암은 대부분 1보다 약간 작은 (0.97~1.0) 저알루미눔질 암석에 해당한다. 대강 화강암은 알바이트 단성분에 가까운 사장석 용리를 포함하는 알칼리 장석의 함량이 다른 대보 화강암에 비해 많아 (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 비가 0.90~0.98로 월등히 높다. 그리



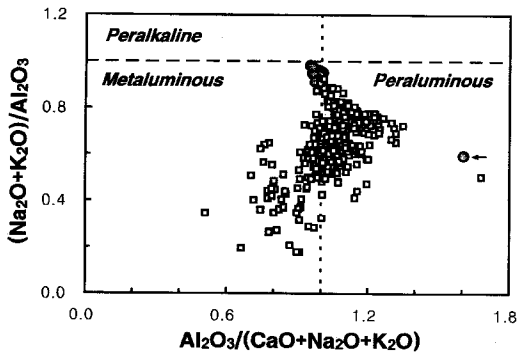


Fig. 6.  $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$  versus  $(Na_2O+K_2O)/Al_2O_3$  plot of the Daegang granite (circle) and the representative Daebo granites of I- and S-type (square). Arrow indicates phyllonitic part of the Daegang granite.

나 고알루미늄질 광물인 흑운모를 포함하여 고알칼리질 (peralkaline)에 속하지는 않는다.

Fig. 6에서 구분하여 표시하지 않았지만 대강 화강암 내에 수반되는 세립질 포획암의  $(Na_2O+K_2O)/Al_2O_3$  비와 Al 지수는 각각 0.91~0.96과 0.97~1.0으로서 모암의 범위와 중첩된다. 한편 대강 화강암 중 압쇄천매암 시료는 78 wt.%의 가장 높은  $SiO_2$  함량을 보이며, 예외적으로 현저히 낮은  $(Na_2O+K_2O)/Al_2O_3$  비와 높은 Al 지수를 갖는다. 이는 압쇄작용과 수반한 재결정작용에서 알칼리 원소 특히 Na의 손실과 견운모의 재결정작용이 일어났기 때문이다.

이상과 같은  $(Na_2O+K_2O)/Al_2O_3$  비가 높은 대강 화강암의 특징은 호주의 전형적인 A형 화강암 (Collins *et al.*, 1982; Whalen *et al.*, 1987)의 경우와 일치하는 것이다.

A형 화강암은 I형 및 S형에 Ga이 많고 Al은 적기 때문에, Ga/Al 비는 A형 화강암을 판별하는 기준이 된다 (Collins *et al.*, 1982). 이는 (1) A형 화강암의 마그마가 부분 용융에 의해 형성될 때 Al이 많은 사장석은 잘 녹지 않고 잔류물 (restite)로 남으며, (2) Al에 비해 Ga이 아놀사이트(anorthite) 구조에서 선택적으로 배제됨으로서 부분 용융에 의한 멜트 (melt)의 Ga/Al 비가 높아지고, (3) 물이 적은 A형 마그마에서 팔면체  $GaF_6^{3-}$ 에 비해  $AlF_6^{3-}$  구조가 안정한 특성에 기인한다 (Goodman, 1972; Manning *et al.*, 1980).

대강 화강암의 Ga 함량과 기존의 대보 화강암 중 Ga의 함량이 보고된 인제-홍천 지역의 화강암을 비교하면 Fig. 7과 같다. 인제-홍천 지역의 화강암은 각섬석 화강암-흑운모 화강암-복운모 화강암으로 구성되고, 각섬석 화강암은 I형에, 그리고 흑운모 화강암 및 복운모 화강암은 S형에 각각 해당하는 특징을 갖는다 (Jwa, 1990). 이 중 복운모 화강암 및 일부 흑운모 화강암은 대강 화강암과  $SiO_2$

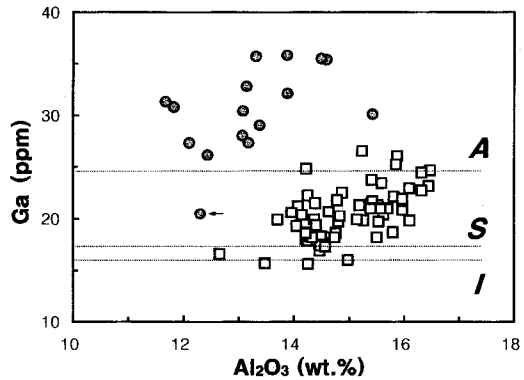


Fig. 7.  $Al_2O_3$  versus Ga plot of the Daegang granite (circle) and the Inje-Hongcheon granite (square) of I- and S-type (Jwa, 1990). A, S and I denote the averaged Ga contents of Australian A-, S- and I-type granites (Whalen *et al.*, 1987), respectively.

함량의 범위가 같다.

Fig. 7에서 압쇄천매암을 제외한 모든 대강 화강암은 인제-홍천 지역의 화강암보다 거의 중첩 없이 Ga의 함량이 많으며, 호주의 A형 화강암의 평균치 24.6 ppm (Whalen *et al.*, 1987)보다 높다 (평균 31.1 ppm). 대강 화강암과 인제-홍천 지역의 화강암의 Ga 함량 경계는 약 32 ppm에 해당한다.  $10000 \times Ga/Al$  비의 경우도 대강 화강암이 인제-홍천 지역의 화강암에 비해 높다, 대강 화강암의 압쇄천매암을 제외한 두 지역 화강암 사이의 경계는 약 3.6이다 (Figs. 8, 12). 호주의 경우 I형 및 S형과 A형 화강암의  $10000 \times Ga/Al$  비 경계는 약 2.5에 해당하지만 (Whalen *et al.*, 1987), 이 기준은 우리 나라 화강암의 유형을 판단하는 데는 적절하지 못하다.

Ga/Al 비를 기준으로 대강 화강암과 인제-홍천 지역의 화강암의 지화학적 특징을 호주의 I형, S형, M형 및 A형 (Whalen *et al.*, 1987)과 비교하면 Fig. 8과 같다. 그림에서 인제-홍천 지역의 화강암은 전반적으로 호주의 I형 및 S형 영역에 속하는 특징을 갖는 반면, 대강 화강암과 그에 포함된 세립질 포획암은 상대적으로  $(K_2O+Na_2O)$  함량과  $(K_2O+Na_2O)/CaO$  및  $FeO^T/MgO$  비가 높아 호주의 A형 화강암과 일치하는 특징을 갖는다.  $(Na+K)/Al$  비 (agpaitic index) 역시 인제-홍천 지역의 화강암에 비해 대강 화강암이 현저히 높으며, 호주의 A형 화강암에 해당한다. 이러한 지화학적 특징은 A형 화강암에서 알칼리 장석의 함량이 많고, 엔나이트 등 Mg에 비해 Fe가 많은 유색광물이 포함되며, An 물이 높은 사장석이 존재하지 않기 때문이다.

Zr, Nb, Ce, Y, Zn 등 미량원소의 특징 역시 인제-홍천

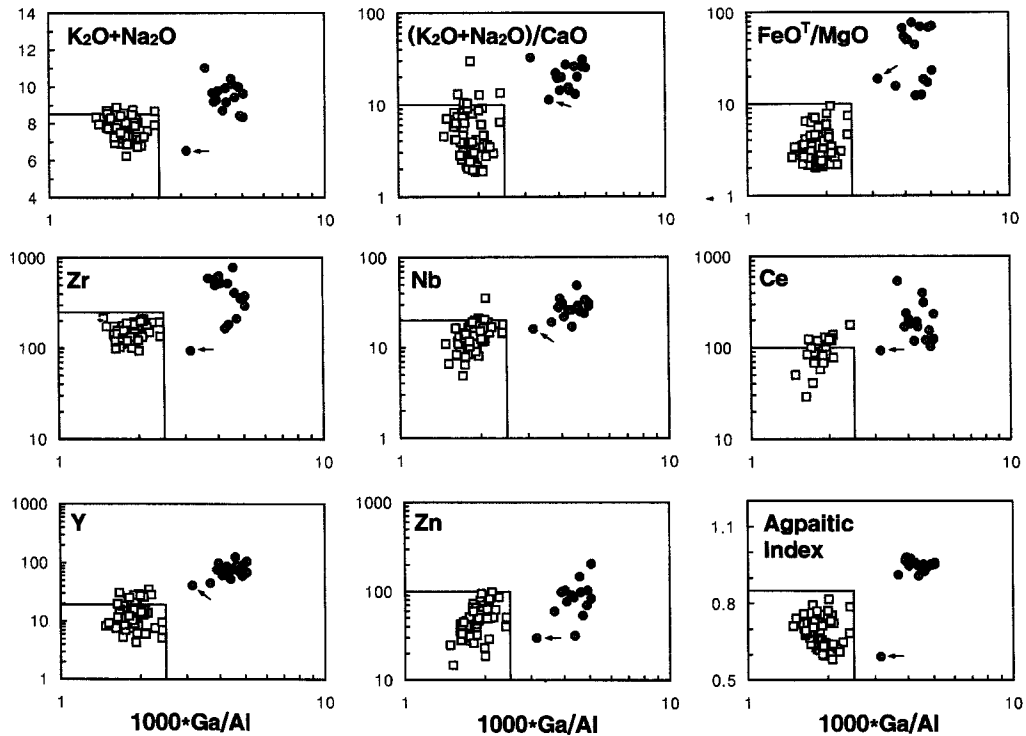


Fig. 8.  $10000 \cdot \text{Ga}/\text{Al}$  versus  $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ ,  $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})/\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}/\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}^T/\text{MgO}$ , Zr, Nb, Ce, Y, Zn, and Agpaitic index plots. Symbols as in Fig. 7, and the rectangular boxes in the plots indicate the compositional field of the Australian I-, S-, A- and M-type granites (Whalen *et al.*, 1987).

지역의 화강암은 호주의 I형 및 S형과 대체로 일치하지만, 대강 화강암과 세립질 포획암은 이들 원소의 함량이 상대적으로 많아 호주의 A형 화강암 (Whalen *et al.*, 1987)에 해당한다 (Fig. 8). 이러한 미량원소의 특징이 화강암의 분화작용에 기인한 것이 아닌지 검증하기 위해  $\text{SiO}_2$  함량을 기준으로 대강 화강암과 인제-홍천 지역 화강암의 성분을 비교하였다. Fig. 9와 같이  $\text{SiO}_2$  함량은 인제-홍천의 화강암에 비해 대강 화강암의 Ce, Y, Zr, Ga 등 high field strength 원소의 함량이 거의 중첩되지 않고 많아 분화작용의 영향이 아님을 알 수 있다. 화강암의 분화는  $\text{Zr}+\text{Ce}+\text{Y}$  함량이 증가함에 따라 Rb/Ba 비를 감소시킨다 (Whalen *et al.*, 1987). 대강 화강암과 인제-홍천 지역의 화강암의 Rb/Ba 비는  $\text{Zr}+\text{Ce}+\text{Y}$  함량의 증가에 상관없는 산발적인 변화를 보여 두 지역 화강암의 미량 성분 특성이 분화작용과 관련이 없음을 다시 확인할 수 있다 (Fig. 10).

대강 화강암과 세립질 포획암의  $\text{SiO}_2$  값이 68 wt.%에서 77 wt.%로 증가함에 따라 희토류 원소의 La 함량은 291 ppm에서 54 ppm으로 지속적으로 감소하나, Lu 함량은  $\text{SiO}_2$  값과 특별한 상관관계를 보이지 않는다 (Table

2). I형 및 S형에 해당하는 인제-홍천 지역 화강암과 대강 화강암의 희토류 원소 함량을 비교하면 LREE와 HREE가 각각 약 3~4배 및 3~20배 이상 부화된 값을 가지며, 따라서 전반적으로 HREE 쪽이 약간 결핍된 평탄한 변화 유형을 보인다 (Fig. 11). 또한 대강 화강암의 Eu 이상값 ( $\text{Eu}/\text{Eu}^*$ )은 0.04~0.14의 범위로서, 인제-홍천 지역의 화강암에 비해 매우 강한 부 이상 (negative anomaly)이 특징이며 (Fig. 12),  $\text{SiO}_2$  함량이 증가함에 따라 부 이상이 커지는 경향을 나타낸다.

이상과 같은 부화된 LREE와 HREE 함량과 HREE 쪽이 약간 결핍된 희토류원소의 평탄한 변화 유형 및 Eu의 강한 부 이상은 알칼리 화강암 및 A형 화강암의 전형적인 특징이며, 이는 결정화작용 초기에 페다이트가 정출하여 빠져나가고, 후기에 알칼리와 불소가 풍부한 저온의 멜트로부터 알칼리 각섬석이 결정화되기 때문이다 (Bowden and Whitley, 1974; Collins *et al.*, 1982; Whalen *et al.*, 1987).

## 토의 및 결론

A형 화강암은  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ 의 비가 높은 알칼리

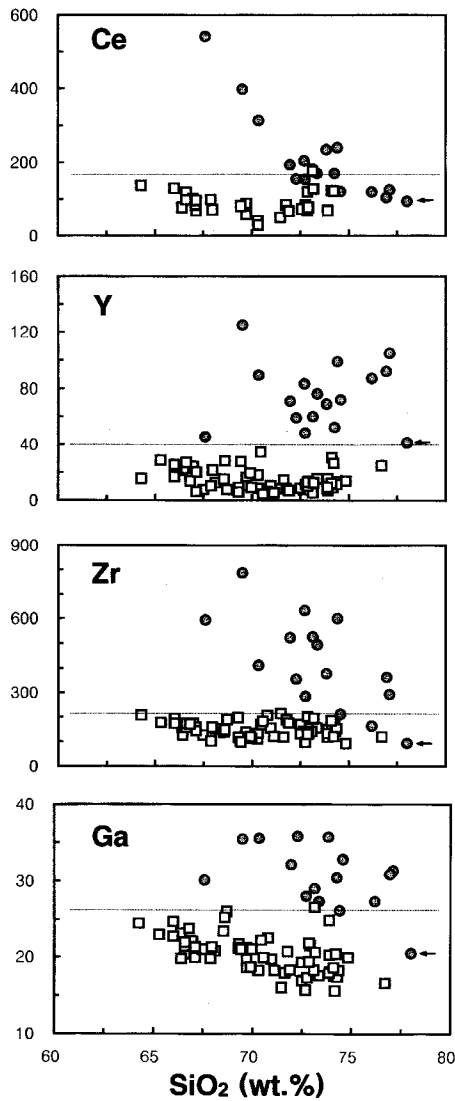


Fig. 9. SiO<sub>2</sub> versus Ce, Y, Zr and Ga plots. Symbols as in Fig. 7.

화강암의 일군으로서, 이의 지화학적 특징과 기원 및 지구조적 환경은 암석학 연구의 중요 대상이다. Collins 의 (1982)는 호주 남서부 A형 화강암을 중심으로 야의산 상, 암석기재, 구성광물, 지화학적 특성을 종합적으로 토론하였고, 여러 저자에 의해 선캄브리아에서 제3기까지의 A형 화강암에 대한 암석지화학적 연구가 활발하게 이루어져 왔다 (Anderson and Thomas, 1985; Bourne, 1986; Collerson, 1982; Creaser *et al.*, 1991; Currie *et al.*, 1986; Eby, 1992; Harris *et al.*, 1986; Kerr and Fryer, 1993; Kinnaird and Bowden, 1987; Radain *et al.*, 1981;

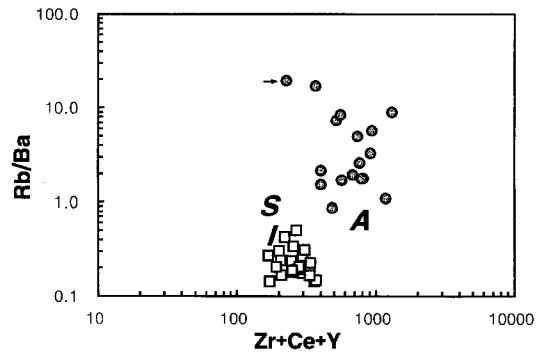


Fig. 10. Zr+Ce+Y versus Rb/Ba plot. Symbols and abbreviations as in Fig. 7.

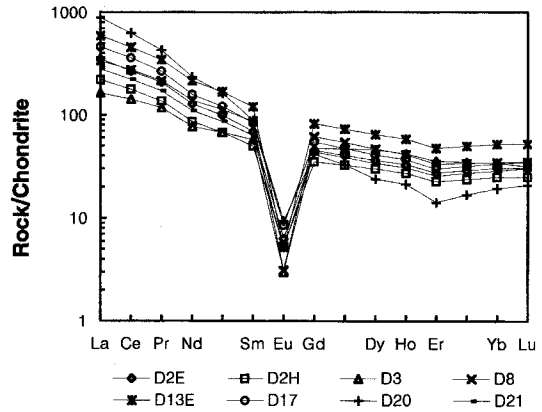


Fig. 11. Chondrite normalized REE patterns of the Daegang granite.

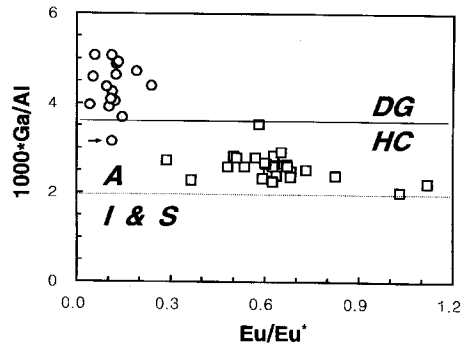


Fig. 12. Eu/Eu\* versus 10000\*Ga/Al plots. Symbols and abbreviations as in Fig. 7, and other used are: DG, Daegang granite; HG, Inje-Hongcheon granite.

Sylverster, 1989; Taylor *et al.* 1981; Taylor *et al.*, 1980; Whalen *et al.*, 1987).

이들의 연구를 통해 지금까지 알려진 A형 화강암의 출현 양상은 크게 두 가지로서 (1) 호주 남동부처럼 I형 화강암 심성활동의 최후기에 지각물질의 부분 용융에 의해

소규모로 관입하는 경우 (residual source model: Collins *et al.*, 1982), (2) 알칼리 복합체 (혹은도 화강암-고알칼리질 화강암-석영 섬강암-네펠린 섬강암)의 분화작용의 일환으로 나타나는 경우이다 (Gerasimovsky *et al.*, 1974; Upton, 1974). 울진광산 북부의 작은 제3기 알칼리 각섬석 화강암체는 (김용준 외, 1986) 호주 남동부의 경우처럼 I형 불국사 화강암 심성활동의 최후기 산물로 생각할 수 있다. 그러나 대강 화강암은 호주의 경우처럼 주변에 수 천만년 정도 앞선 대규모 I형 화강암의 심성활동이 없었고, 다른 알칼리 섬강암을 수반하지 않아 위의 어떤 유형으로도 분류되지 않는 특이한 경우이다.

대강 화강암의 지체구조적 환경을 파악하기 위해 Pearce 외 (1984)의 판별도를 적용하였다 (Fig. 13). Y-Nb 판별도에서 칼크-알칼리 계열에 속하는 대강 화강암은 화산도호 화강암 (volcanic arc granite) 혹은 충돌성 화강암 (syn-collisional granite)으로 분류되고, (Y+Nb)-Rb 판별도에서는 화산도호 화강암에 분류되어 대륙 연변부의 조산운동과 관련된 산물임이 확실하다. 반면 대강 화강암은 두 판별도에서 판내 화강암 (within plate granite)으로 분류되어 조산운동과 관련이 없음을 나타낸다.

Eby (1992)는 다양한 지구조적 환경에서 A형 화강암의 화학자료를 정리하여, 이들을 A1형과 A2형으로 세분하였

다. A1형은 해양도 (oceanic island), 판간 (intraplate) 및 열극 (rift zone)에서 유래하는 맨틀 기원의 마그마에서 분화된 산물이다. 즉 A1형은 열극, 플럼 (plume) 및 열점 (hot spot) 환경에서 출현한다. 반면에 A2형은 대륙 연변 (continental margin)과 도호 (island-arc)에서의 충돌 후 (post-collisional) 혹은 조산운동 후 (post-orogenic)의 환경에서 나타난다. Eby (1992)의 판별도에 대강 화강암을 적용하면 Nb-Y-Ce 및 Nb-Y-3Ga 판별도에서 모두 A2형에 속한다 (Fig. 14). 따라서 Pearce 외 (1984)에 의한 판별도의 결과 및 높은 Sr 초생값 (0.7185: 주승환과 김성재, 1986)을 종합할 때 대강 화강암의 지체구조적 환경은 판내의 조산운동과 관련이 없는 화강암으로서 지각물질의 용융에 의해 형성된 것으로 정리된다.

그러나 지금까지 보고된 대강 화강암의 연령은  $228 \pm 5$  Ma (Rb-Sr 전암: 주승환과 김성재, 1986)와  $212 \pm 2$  Ma (U-Pb 저어콘: Turek and Kim, 1995)로서 송림변동 혹은 광의의 대륙 조산운동의 초기에 해당하여, 지구조적 환경과 상충된다. 저어콘은 압쇄작용이나 변질 및 풍화작용에 더 안정하기 때문에, 대강 화강암에 U-Pb 저어콘과 Rb-Sr 전암법을 적용할 경우 두 연령이 같거나 U-Pb 저어콘 연령이 Rb-Sr 전암법에 의한 연령보다 고기임을 기

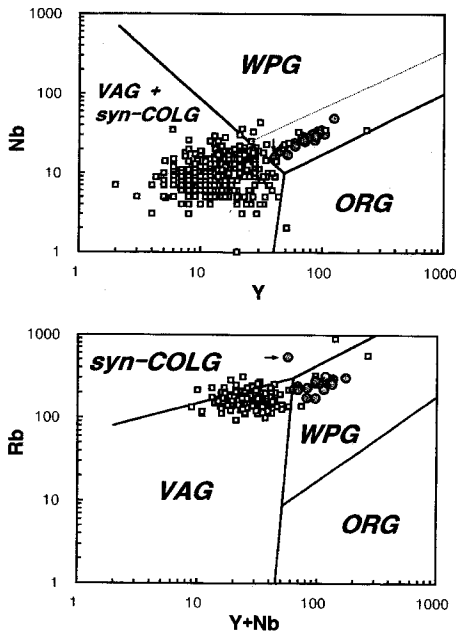


Fig. 13. Tectonic discrimination diagrams (after Pearce *et al.*, 1984). Symbols as in Fig. 6. Abbreviations; Syn-COLG, syn-collisional granite; VAG, volcanic arc granite; WPG, within plate granite; ORG, oceanic ridge granite.

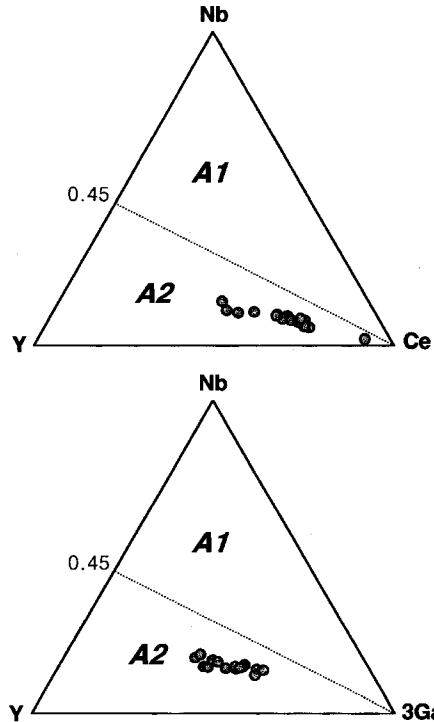


Fig. 14. Nb-Y-Ce and Nb-Y-3Ga triangular plots (after Eby, 1992) of the Daegang granite.

대할 수 있다. 그러나 보고된 자료에서 Rb-Sr 전암 연령이 더 고기이기 때문에 과연 이들 연령이 관입시기에 해당하는지 재고할 필요가 있다.

지금까지 논의한 바를 정리하면 대강 화강암은 기존의 대보 화강암과 대조적인 다음과 같은 특징을 갖는다.

1. 대보 화강암은 심성암 분류에서 대부분 화강암 및 화강섬록암 영역에 속하나, 대강 화강암은 알칼리 장석 화강암에 속하고, 사장석이 거의 없는 단일 장석 하이퍼솔퍼스 화강암이다.

2. 대강 화강암은 호주의 A형 화강암의 경우처럼 결정 화작용의 후기에 형성된 흑운모와 각섬석 등 합수광물을 소량 포함하며, 불투명광물, 형석 및 저어콘을 항상 수반한다. 또한 기존의 대보 화강암과 달리 특징적으로  $Fe^{T}/(Fe^{T}+Mg)$  비가 0.8 내외인 앤나이트 성분의 흑운모와 Na가 많은 리벡카이트 성분의 각섬석을 갖는다.

3. 대강 화강암은  $(Na_2O+K_2O)/Al_2O_3$  비가 다른 대보 화강암에 비해 높다.  $Ga, 10000*Ga/Al, K_2O+Na_2O, (K_2O+Na_2O)/CaO, K_2O/MgO, FeO/MgO, agpaitic\ index$  역시 Whalen 외 (1987) 판별도에서 대보 화강암과는 다른 A형 화강암의 특징을 나타낸다.

4. 대강 화강암이 갖는 Zr, Nb, Ce, Y, Zn 등 미량원소의 특징과 희토류원소의 특징 역시 기존의 대보 화강암과는 다르며, 호주의 A형 화강암의 경우에 해당한다.

5. 화산도호 화강암 및 충돌성 화강암으로 분류되는 대보 화강암과 달리 대강 화강암은 Pearce 외 (1984)의 판별도에서 판내 화강암으로 분류되고, Eby (1992)의 판별도에서는 A2형에 속하여 이의 지체구조적 환경은 판내의 조산운동과 관련이 없는 화강암에 해당한다.

## 사 사

많은 건설적인 비평을 해주신 진명식 박사에게 사의를 표한다. 화학분석을 실시해준 런던대학교의 J.N. Walsh 박사와 한국자원연구소 XRF 담당자에게 감사하며, 이 연구는 과학재단의 핵심전문 연구조성비 (961-0401-002-1)에 의해 지원 받았다.

## 참고문헌

권치순 (1987) 대전-공주간에 분포하는 화강암질암류의 지질연대와 암석화학. 연세대학교 박사학위논문, 165p.  
 김규봉, 최위찬, 황재하, 김정환 (1984) 오수 도폭 지질보고서. 한국동력자원연구소, p. 1-30.  
 김동학, 이병주 (1984) 남원 도폭 지질보고서. 한국동력자원연구소, p. 1-36.

김용준, 조등룡, 홍세선 (1986) 울진광산 북부지역에 분포하는 알칼리화강암에 대한 암석지화학적 연구. 광산지질, 19권, p. 123-131.  
 김정빈, 김용준 (1990) 담양-진안 사이에 분포하는 엽리상 화강암류에 대한 지질시대와 성인에 관한 연구. 광산지질, 23권, p. 233-244.  
 김정빈, 김용준, 홍세선 (1990) 담양-진안 사이에 분포하는 엽리상 화강암류에 대한 암석화학적 연구. 광산지질, 23권, p. 87-104.  
 김준식, 김근수 (1996) 경주 지역 남산 알칼리화강암의 미량 원소와 Sr-Nd 동위원소 특성. 대한지질학회 제 5차 정기총회 및 학술 발표회 초록집, 91p.  
 박미령, 김규한 (1982) 남한에 분포하는 화강암류의 암석학 연구. 지질학회지, 18권, p. 132-148.  
 심우중 (1990) 강화도 남부 및 석모도에 분포하는 화강암에 대한 암석학적 연구. 연세대학교 석사학위논문, 60p.  
 조등룡 (1993) 남한에 분포하는 현생 화강암류의 기원에 대한 광물 및 암석학적 연구. 연세대학교 박사학위 논문, 189p.  
 조등룡, 권성택 (1994a) 남한의 중생대 화강암에 대한 각섬석 지압계와 지각 두께의 진화. 지질학회지, 30권, p. 41-61.  
 조등룡, 권성택 (1994b) 남한의 중생대 화강암의 Fe-Ti 산화 광물에 대한 암석기재와 광물 화학: 계열 분류에 대한 재고찰. 암석학회지, 3권, p. 1-19.  
 주승환, 김성재 (1986) 영남육괴 Rb/Sr 연대측정 연구 (II), 지리산 남서부 일대 화강암질 편마암 및 편마상화강암류. 한국동력자원연구소, KR-86-7, p. 7-33.  
 홍세선 (1994) 남원 화강암질암의 광물학적 및 암석지화학적 연구. 연세대학교 박사학위 논문, 120p.  
 홍승호, 황상구 (1984) 구례 도폭 지질보고서. 한국동력자원연구소, 22p.  
 Ague, J.J. and Brimhall, G.H. (1988) Regional variation in bulk chemistry, mineralogy and the composition of mafic and accessory minerals in the batholiths of California. Geol. Soc. Am. Bull., v. 100, p. 891-911.  
 Anderson, J.L. and Thomas, W.M. (1985) Proterozoic anorogenic two-mica granites: Silver Plume and St Vrain batholiths of Colorado. Geol., v. 13, p. 177-180.  
 Bourne, J.H. (1986) Geochemistry of the felsic meta-volcanic rocks of the Wakeham Group: A metamorphosed peralkaline suite from the eastern Grenville Province, Quebec, Canada. Can. J. Earth Sci., v. 23, p. 978-984.  
 Bowden, P. and Whitley, J.E. (1974) Rare-earth patterns in peralkaline and associated granites. Lithos, v. 7, p. 15-21.  
 Chappell, B.W. and White, A.J.R. (1974) Two contrasting granite types. Pacific Geol., v. 8, p. 173-174.  
 Cluzel, D., Lee, B.J. and Cadet, J.P. (1991) Indosinian dextral ductile fault system and synkinematic plutonism in southwest of Ogccheon Belt (South Korea). Tectonophy., v. 194, p. 131-152.  
 Collerson, K.D. (1982) Geochemistry and Rb-Sr geochronology associated Proterozoic peralkaline and subalkaline anorogenic granites in Labrador. Contrib. Mineral. Petrol., v. 81, p. 126-147.  
 Collins, W.J., Beams, S.D., White, A.J.R. and Chappell, B. W. (1982) Nature and origin of A-type granites with particular reference to Southeastern Australia. Contrib. Mineral. Petrol., v. 80, p. 189-200.  
 Creaser, R.A., Price, R.C. and Wormald, R.J. (1991) A-

- type granites revisited: Assessments of a residual-source model. *Geology*, v. 19, p. 163-166.
- Currie K.L., Eby, G.N. and Gittins, J. (1986) The petrology of the Mount Saint Hilaire complex, southern Quebec: An alkaline gabbro-peralkaline syenite association. *Lithos*, v. 19, p. 67-83.
- Didier, J. and Barbarin, B. (1991) The different types of enclaves in granites-nomenclature. In: Didier, J. and Barbarin, B., Eds., *Enclaves and granite petrology*. Elsevier, Amsterdam, p. 19-23.
- Eby, G.N. (1992) Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications. *Geology*, v. 20, p. 641-644.
- Gerasimovsky, V.I., Volkov, V.P., Kogarko, L.N. and Polyakov, A.I. (1974) Kola Peninsula. In: S ren, H., Ed., *The Alkaline rock*. Wiley and sons, London, p. 206-220.
- Goodman R.J. (1972) The distribution of Ga and Rb in coexisting groundmass and phenocryst phases of some basic volcanic rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 36, p. 303-317.
- Harris, N.B.W., Marzouki, F.M.H. and Ali, S. (1986) The Jabel Sayid Complex, Arabian Shield: Geochemical constraints on the origin of peralkaline and related granites. *J. Geol. Soc. London*, v. 143, p. 287-295.
- Hong, Y.K. (1984) Petrology and geochemistry of Jurassic Seoul and Anyang granites, Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, v. 20, p. 51-71.
- Hong, Y.K. (1987) Geochemical characteristics of Precambrian, Jurassic and Cretaceous granites in Korea. *J. Korean Inst. Mining. Geol.*, v. 20, p. 35-60.
- Jin, M.S. (1980) Geological and isotopic contrasts of Jurassic and Cretaceous granites in South Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, v. 16, p. 205-215.
- Jin, M.S., Lee, S.M., Lee, J.S. and Kim, S. J. (1982) Litho-geochemistry of the Cretaceous granitoids with relation to the metallic ore deposits in southern Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, v. 18, p. 119-131.
- Jwa, Y.J. (1990) Geochronology and cooling history of Mesozoic granitic rocks in the Inje-Hongcheon district, South Korea. *Geochem. J.*, v. 24, p. 93-103.
- Kerr, A. and Fryer, B.J. (1993) Nd isotope evidence for crust-mantle interaction in the generation of A-type granitoid suites in Labrador, Canada. *Chem. Geol.*, v. 104, p. 39-60.
- Kinnaird, J. and Bowden, P. (1987) African anorogenic alkaline magmatism and mineralization: A discussion with reference to the Niger-Nigerian province. *Geol. J.*, v. 22, p. 297-341.
- Kwon, S.T., Cho, D.L., Lan C.Y., Shin, K.B., Lee, T. and Mertzman, S.A. (1994) Petrology and geochemistry of the Seoul granitic batholith. *J. Petrol. Soc. Korea*, v. 3, p. 109-127.
- Leake, B.E. (1978) Nomenclature of amphiboles. *Min. Magazine*, v. 42, p. 533-563.
- Lee, M.J. (1995) Mineralogy and geochemistry of the granitic rocks distributed in the Kyeongju area. Ms. thesis, Seoul National Univ., 96p.
- Lee, S.M. and Lee, S.H. (1982) Petrogenetic and petrochemical approaches to ore genesis in Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, v. 18, p. 203-214.
- Loiselle, M.C. and Wones, D.R. (1979) Characteristics and origin of anorogenic granites. *Geol. Soc. Am., Prog. Abstr.*, v. 11, p. 468.
- Maniar, P.D. and Piccoli, P.M. (1989) Tectonic discrimination of granitoids: *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 101, p. 635-643.
- Manning, D.A.C., Hamilton, D.L., Henderson, C.M.B. and Dempsey, M.J. (1980) The probable occurrence of interstitial Al in hydrous, F-bearing and F-free aluminosilicate melts. *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 75, p. 257-262.
- Pearce, J.A., Harris N.B.W. and Tindle A.G. (1984) Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, v. 25, p. 956-983.
- Radain, A.A.M., Fyfe, W.S. and Kerrich, R. (1981) Origin of peralkaline granites of Saudi Arabia. *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 78, p. 358-366.
- Shimazaki, H. and Lee, M.S. (1981) Reconnaissance on I- and S-type granitoids in Southern Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, v. 17, p. 189-193.
- Streckeisen, A. (1976) To each plutonic rocks its proper name. *Earth Sci. Rev.*, v. 12, p. 1-33.
- Sylvester, P.J. (1989) Post-collisional alkaline granites. *J. Geol.*, v. 97, p. 261-281.
- Taylor R.P., Strong, D.F. and Fryer, B.J. (1981) Volatile control of contrasting trace element distributions in peralkaline granitic and volcanic rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 77, p. 267-271.
- Taylor, R.P., Strong, D.F. and Kean, B.F. (1980) The Topsails igneous complex: Silurian-Devonian peralkaline magmatism in western Newfoundland. *Can. J. Earth Sci.*, v. 17, p. 425-439.
- Turek, A. and Kim, C.B., 1995, U-Pb zircon ages of Mesozoic plutons in the Damyang - Geochang area, Ryeongnam massif, Korea. *Geochemical Journal*, v. 29, p. 243-258.
- Upton, B.G.J. (1974) The alkaline province of South-West Greenland. In: S ren, H., Ed., *The Alkaline rock*. Wiley and sons, London, p. 221-237.
- Whalen, J.B., Currie, K.L. and Chappell, B.W. (1987) A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 95, p. 407-419.
- White, A.J.R., Holloway, J.R., Silver, L.T., Chappell, B.W. and Wall, V.J. (1986) S-type granites and their probable absence in southern North America. *Geol.*, v. 14, p. 115-118.

## Appendix. 1. Sample Information.

| No.<br>(시료번호) | Sheet name 1/50,000<br>(도엽명) | National Grid<br>(국가좌표: X/Y) | Administrative District in Cheollabuk-do<br>(전라북도 내 행정구역) |
|---------------|------------------------------|------------------------------|---|
| DG2E, DG2H    | 남원 (Namwon)                  | 2229/1971                    | Gogseong-eup, Gogseong-gun (곡성군 곡성읍)                      |
| DG3           | 남원 (Namwon)                  | 2234/1966                    | Gogseong-eup, Gogseong-gun (곡성군 곡성읍)                      |
| DG4           | 남원 (Namwon)                  | 2239/1960                    | Gogseong-eup, Gogseong-gun (곡성군 곡성읍)                      |
| DG5           | 남원 (Namwon)                  | 2240/1993                    | Gogseong-eup, Gogseong-gun (곡성군 곡성읍)                      |
| DG6, DG6E     | 남원 (Namwon)                  | 2249/1995                    | Gogseong-eup, Gogseong-gun (곡성군 곡성읍)                      |
| DG7           | 남원 (Namwon)                  | 2254/1992                    | Gogseong-eup, Gogseong-gun (곡성군 곡성읍)                      |
| DG8           | 남원 (Namwon)                  | 2259/2018                    | Geumchi-myeon, Namwon-gun (남원군 금지면)                       |
| DG11          | 남원 (Namwon)                  | 2243/2018                    | Geumchi-myeon, Namwon-gun (남원군 금지면)                       |
| DG13E         | 남원 (Namwon)                  | 2248/2015                    | Gogseong-eup, Gogseong-gun (곡성군 곡성읍)                      |
| DG16          | 남원 (Namwon)                  | 2226/2024                    | Daegang-myeon, Namwon-gun (남원군 대강면)                       |
| DG17          | 남원 (Namwon)                  | 2227/2023                    | Daegang-myeon, Namwon-gun (남원군 대강면)                       |
| DG19          | 순창 (Shunchang)               | 2213/2037                    | Ip-myeon, Gogseong-gun (곡성군 입면)                           |
| DG20          | 순창 (Shunchang)               | 2207/2072                    | Daegang-myeon, Namwon-gun (남원군 대강면)                       |
| DG21          | 남원 (Namwon)                  | 2241/2097                    | Chusaeng-myeon, Namwon-gun (남원군 주생면)                      |
| DG28          | 남원 (Namwon)                  | 2247/2113                    | Chusaeng-myeon, Namwon-gun (남원군 주생면)                      |
| DG29          | 남원 (Namwon)                  | 2244/2120                    | Daegang-myeon, Namwon-gun (남원군 대강면)                       |

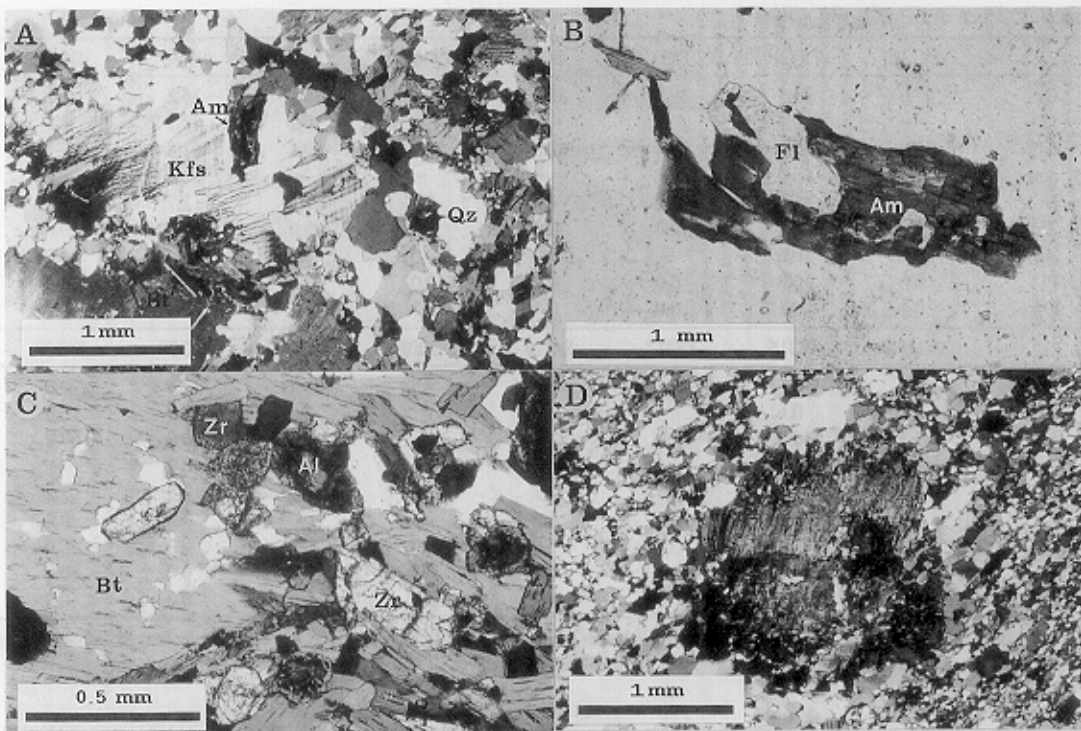


Fig. 4. Photomicrographs of the typical Devonian arenite (A) its amphibole and fluorite (B) and zircon and allanite (C) and