

김천남부에 분포하는 화강암류의 지구화학

윤현수^{1,*} · 홍세선²

¹한국지질자원연구원 지질기반정보연구부, ²한국지질자원연구원 지질환경재해연구부,
대전광역시 유성구 가정동 30, 305-350

Geochemistry of Granites in the Southern Gimcheon Area of Korea

Hyeon Su Yun^{1,*} and Se Sun Hong²

¹Geology & Geoinformation Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources,

²Geological & Environmental Group Hazards Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources,
30 Gajeongdong, Yuseonggu, Daejeon 305-350, Korea

요약: 김천남부에서 북동-남서방향으로 넓게 분포하는 화강암류는 구성광물군과 모우드 분석에 의하여 양 주변부를 이루는 각섬석 흑운모 화강섬록암(Mgd)과 내측부를 이루는 흑운모 화강암-화강섬록암(Cgd)로 구분된다. 이들은 회색을 띠며 서로 점이적 관계를 이루고 각각 조립질과 중립질이 우세하며 각섬석의 유무 외에는 거의 같은 구성광물과 산출상을 이룬다. 흑운모 연령(K/Ar)은 197~207 Ma로서, 이들의 관입정지 시기는 이 연대보다는 조금 더 오래된 트라이아스기말에 속할 것으로 해석된다. 사장석은 Mgd가 Cgd 보다 좁은 간격의 An 함량변화를 보여 결정화 작용이 좀 더 좁은 온도간격을 갖고 일어났음을 지시한다. 흑운모는 Al_{total} 대 MgO의 관계에서 캄브리아-알칼리 계열로 분류되며 동일 화강암질 마그마로부터 분화된 진화경로를 보인다. 각섬석은 모두 마그네슘 각섬석에 해당된다. 주원소 산화물의 관계도, AMF 삼각도, A/CNK 몰비, Ba-Sr-Rb 관계 및 여러 암석화학적 특성 등으로 미루어 Mgd와 Cgd는 단일 화강암질 마그마기원의 분화산물로서 전반적으로 주변부보다 내측부가 더 분화된 양상을 보인다. 이들 화강암류는 K_2O 대 Na_2O , Fe_2O_3 대 FeO의 관계에서 I-형에, 그리고 (Qz+Af) 대 Op의 모우드와 $Fe^{+3}/(Fe^{+3}+Fe^{+2})$ 의 관계에서 자철석계열에 속한다. 이들은 비교적 고정된 근원성분의 점진적 용융으로 형성된 화강암질 마그마 산물로서 콘드라이트값으로 표준화한 대표 시료는 경희토류에서 중희토류 원소로 갈수록 점진적으로 뚜렷이 결핍되며 미약한 Eu의 부 이상을 보여준다.

핵심어: 김천화강암류, 단일 화강암질 마그마, I-형.

Abstract: The granites in the southern Gimcheon area can be divided into two parts, marginal hornblende biotite granodiorite (Mgd) and central biotite granodiorite to granite (Cgd). Mgd and Cgd are gray in color and display gradational contact relations and are mainly composed of coarse-grained and medium-grained rocks, respectively. Mgd has more frequent and larger mafic enclaves than Cgd, and the two granites partly show parallel foliation at their contact with gneisses. From representative samples of the granites, K-Ar biotite ages of 197~207 Ma were obtained. Considering the blocking temperature of biotite, it is suggested that the emplacement age of the granitic magma was probably late Triassic. The anorthite contents of plagioclases in Mgd display less variation than those of Cgd, indicating that Mgd crystallized within a narrow range of temperatures. In the Al_{total} -Mg diagram, the biotites from the granites plot within the subalkaline field, and the smooth slope indicates differentiation from a single magma. All amphiboles from the granites belong to magnesio-hornblende. The linear trends of major oxides, AMF and Ba-Sr-Rb indicate that Mgd and Cgd were fractionally differentiated from a single granitic magma body crystallizing from the margin inwards. The relations of modal (Qz+Af) vs. Op, K_2O vs. Na_2O , Fe_2O_3 vs. FeO, $Fe^{+3}/(Fe^{+3}+Fe^{+2})$ and K/Rb vs. Rb/Sr show that they belong to I-type and magnetite-series granitic rocks developed by the progressive melting products of fixed sources. REE data, normalized to chondrite value, have trends of enriched LREE and depleted HREE together with weakly negative Eu anomalies.

Key words: Gimcheon Triassic granites, a granitic magma, I-type.

*Corresponding author: Tel. 82-42-868-3130, E-mail. hyuns@kigam.re.kr

서 언

연구지역은 영남육괴의 중심부로서 김천시 남부인 금릉군 일대에 해당한다. 연구대상인 화강암류는 김천도폭(김상욱 외, 1989)의 중앙부에서 북동향으로 넓게 분포하며, 그 동쪽과 서쪽에서 선캠브리아기의 변성암류를 관입한다. 이 화강암류는 남접한 지례도폭(김상욱과 이흥규, 1970)에서 김천도폭을 거쳐, 북동쪽인 옥산동도폭(이대성 외, 1989)과 선산도폭(정창희 외, 1989)에 걸쳐 길게 대상으로 발달한다. 연구지역의 화강암류는 조암광물군의 차이에 의하여 내측부를 이루는 흑운모 화강암-화강섬록암과 그 양 주변부를 이루는 각섬석 흑운모 화강섬록암으로 구별된다. 이들 암석의 관입시기는 각각 시대미상과 쥘라기(김상욱 외, 1989)로 보고된 바 있다.

이 연구의 목적은 주변부와 중앙부를 이루는 화강암류가 단일 또는 별개의 암체인지를 알기 위한 것으로 야외에서는 전반적인 암석광물학적 산출상태와 접촉관계 등을 조사하였다. 주변부와 내측부 전반에 걸쳐 채취된 시료의 모드 분석으로 암석명을 구하였고, 대표적 시료의 흑운모 연령측정(K-Ar)을 실시하였다. 채취된 대표시료의 연마편 제작과 이들의 전자현미분석으로 사장석, 흑운모와 각섬석 등의 광물화학조성을 비교하였다. 그리고 주원소, 미량원소 및 희토류원소 등의 연구를 통하여 이들의 분화경향, 암석계열, 마그마

기원, 성인 및 암석화학적 특성 등을 밝혔다.

암석 분포

연구지역은 선캠브리아기의 편마암류, 시대미상과 쥘라기로 각각 보고된 각섬석 흑운모 화강섬록암과 흑운모 화강암-화강섬록암 그리고 쥘라기로 보고된 페그마타이트와 애프라이트(김상욱 외, 1989), 그리고 백악기의 염기성-산성암맥류로 구성된다(Fig. 1).

편마암류

이 암류는 대체로 연구지역의 서부와 동부에 각각 분포하는 편마암 복합체와 화강 편마암으로 구분된다. 전자는 호상편마암, 반상변정질 편마암, 안구상 편마암, 화강암질 편마암, 각섬암질 편마암과 운모 편암 등으로 구성된다. 편마암 복합체가 분포하는 북부일대는 부분적으로 안구상 편마암과 호상 편마암의 포획체가 각섬석 흑운모 화강섬록암내에 자주 산출된다. 그리고 남부일대는 호상 편마암, 반상변정 편마암, 흑운모 각섬암질 편마암이 등이 분포하며 엮리는 대체로 N40°E/70°NW가 우세하다.

후자의 분포지 중 북부에서는 화강암질 편마암내에 호상 편마암의 포획체가 자주 산출되며, 남부에서는 화강암질 편마암과 일부 주입편마암이 발달한다.

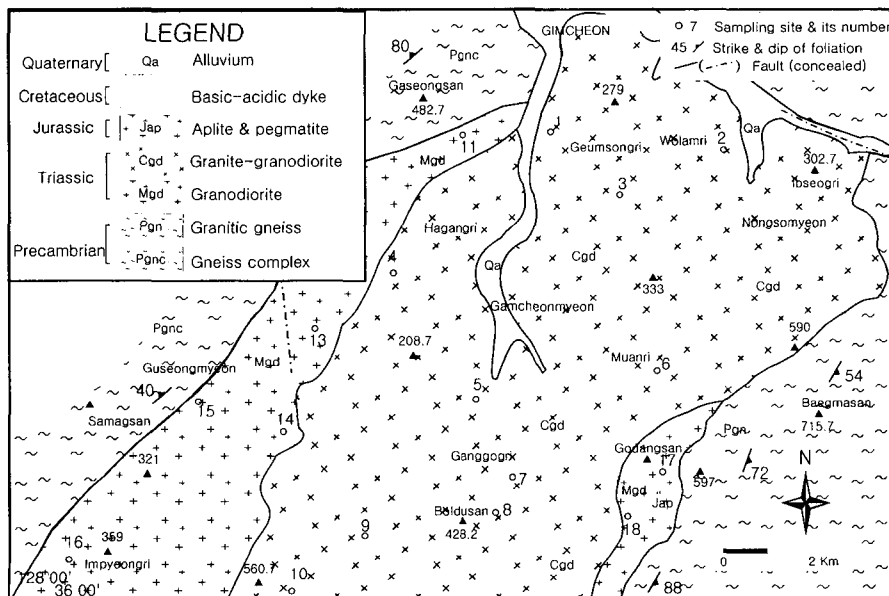


Fig. 1. Geologic map and sampling sites of the study area.

Table 1. Modal compositions of the granites in the southern Gimcheon area.

| Sp.no | Qz | Pl | Af | Bt | Hb | Mu | Ch | Ap | Sp | Zr | Ep | Aln | Op |
|-------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 30.0 | 36.2 | 31.1 | 2.0 | - | 0.5 | 0.2 | tr | - | tr | 0.1 | - | 0.1 |
| 2 | 45.7 | 37.3 | 12.2 | 4.3 | - | - | - | tr | tr | tr | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| 3 | 35.2 | 37.6 | 22.7 | 3.7 | - | 0.1 | - | 0.1 | 0.1 | tr | tr | tr | 0.2 |
| 4 | 35.7 | 38.0 | 16.1 | 8.6 | - | - | - | 0.1 | 0.2 | 0.2 | tr | 0.2 | 0.6 |
| 5 | 38.0 | 40.0 | 17.3 | 4.0 | - | 0.2 | - | 0.1 | 0.1 | - | tr | tr | 0.1 |
| 6 | 44.3 | 39.4 | 8.0 | 7.6 | - | 0.1 | - | tr | 0.1 | tr | 0.3 | - | 0.2 |
| 7 | 33.3 | 23.9 | 37.2 | 4.8 | - | 0.2 | tr | tr | - | - | 0.1 | - | 0.6 |
| 8 | 33.7 | 33.5 | 30.2 | 1.8 | - | 0.2 | - | tr | - | tr | - | tr | 0.6 |
| 9 | 50.5 | 26.6 | 14.8 | 7.0 | - | 0.4 | - | 0.1 | 0.3 | tr | 0.3 | - | 0.1 |
| 10 | 39.0 | 46.0 | 3.2 | 10.3 | - | - | - | tr | 0.7 | tr | 0.4 | - | 0.5 |
| 11 | 22.4 | 44.1 | 26.5 | 4.6 | 2.0 | tr | - | tr | 0.1 | tr | 0.1 | 0.1 | tr |
| 12 | 32.7 | 38.0 | 18.0 | 6.2 | 4.7 | - | 0.1 | 0.1 | 0.1 | tr | - | - | 0.1 |
| 13 | 22.3 | 25.2 | 43.5 | 5.7 | 2.1 | - | tr | tr | - | tr | - | 0.2 | 0.7 |
| 14 | 27.6 | 50.5 | 4.4 | 9.0 | 5.4 | - | - | 0.1 | 2.8 | tr | 0.1 | - | 0.1 |
| 15 | 30.7 | 39.0 | 13.1 | 7.8 | 8.3 | - | - | 0.1 | 0.5 | tr | - | 0.1 | 0.2 |
| 16 | 34.8 | 32.7 | 12.4 | 10.5 | 8.3 | - | - | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.3 | - | 0.2 |
| 17 | 16.8 | 43.0 | 11.3 | 20.8 | 7.8 | - | - | 0.1 | 0.1 | tr | - | - | tr |
| 18 | 41.8 | 43.1 | 4.6 | 8.7 | 0.3 | - | - | tr | 0.7 | tr | - | - | 0.8 |

1~10: biotite granite-granodiorite (Cgd), 11~18: hornblende biotite granodiorite (Mgd). Qz: quartz, Pl: plagioclase, Af: alkali feldspar, Bt: biotite, Hb: hornblende, Mu: muscovite, Ch: chlorite, Ap: apatite, Sp: sphene, Zr: zircon, Ep: epidote, Aln: allanite, Op: opaque mineral.

화강암류

이 화강암류는 선캠브리아기의 편마암류를 관입하며 연구지역의 중심부에서 대체로 북동-남서방향의 대상을 이루며 넓게 분포한다. 이 화강암류는 양쪽 주변부를 이루는 서부와 남동부의 화강섬록암(Mgd) 그리고 내측부를 이루는 화강암-화강섬록암(Cgd)으로 구분된다. Mgd 중에서 서부의 것은 양천동-임평리일대에 걸쳐 길게 대상으로, 그리고 남동부의 것은 고당산-신왕리일대에서 작은 규모로 발달한다.

Mgd는 각섬석, 흑운모와 스피넬을 수반함이 일반적 특징이다. 부분적으로 담홍색을 이루나 거의 회색을 띠며, 남동부와 북서측 주변부에서 중립질을 이루기도 하나 대체로 조립질이 우세하다. 국부적으로 유색광물의 덩어리로 되어있는 포획암(mafic enclave)이 수십 cm 크기로 발달되기도 한다. 각섬석과 스피넬은 뚜렷한 자형으로 발달되며, 각섬석은 변성암류와의 접촉대 부근에서는 약 1 cm 정도의 크기를 이루기도 한다. Mgd는 편마암 복합체와 인접한 남서부의 임평리에서는 접촉 방향과 평행한 엽리를 보여주기도 한다.

Cgd는 이 화강암류의 내측부에서 넓게 분포하며 Mgd와는 점이적 관계를 이루나, 후술할 각섬석의 유무(Table 1)와 포획암의 산출정도 등으로 그 경계가 구분될 수

있다. 담회색-회색을 띠며 곳에 따라 반정질, 세립질, 조립질을 이루기도 하나 중립질이 우세하다. 흑운모와 스피넬을 수반함이 전반적인 특징이며, 간혹 미립의 각섬석이 발달되기도 한다. 국부적으로 흑운모 밀집부가 대상으로 발달되기도 하며 이러한 유색광물이 밀집된 포획암의 산출빈도와 크기가 Mgd 보다 훨씬 감소한다. 화강암질 편마암과의 인접부인 입석리 등에서 부

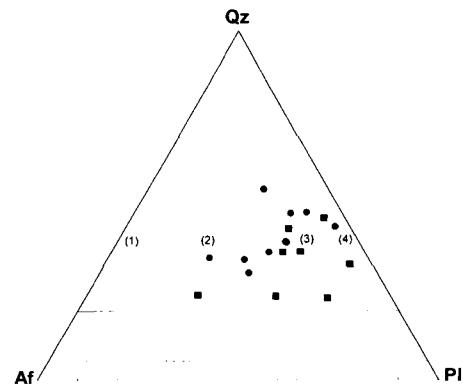


Fig. 2. IUGS classification of the granites in the southern Gimcheon area. ●: biotite granite-granodiorite (Cgd), ■: hornblende biotite granodiorite (Mgd). (1) alkali feldspar granite, (2) granite, (3) granodiorite, (4) tonalite.

Table 2. Representative electron microprobe analyses of plagioclases from the granites.

| Biotite granite-granodiorite (Cgd) | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| | 1 | | 2 | | 4 | | 5 | | 6 | | 9 | |
| | rim | core | rim | core | rim | core | rim | core | rim | core | rim | core |
| SiO ₂ | 61.62 | 59.22 | 63.92 | 60.27 | 62.74 | 57.79 | 64.54 | 60.53 | 62.91 | 61.38 | 61.77 | 56.74 |
| Al ₂ O ₃ | 23.90 | 25.45 | 22.53 | 25.10 | 23.08 | 26.11 | 22.14 | 24.75 | 23.42 | 24.23 | 24.30 | 27.80 |
| FeO* | 0.00 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| CaO | 5.84 | 7.57 | 4.21 | 7.08 | 4.99 | 8.64 | 3.78 | 6.75 | 4.95 | 6.14 | 6.21 | 10.05 |
| Na ₂ O | 7.43 | 5.34 | 8.89 | 7.23 | 8.50 | 6.46 | 8.74 | 7.43 | 8.17 | 7.65 | 7.91 | 5.80 |
| K ₂ O | 0.08 | 1.94 | 0.10 | 0.18 | 0.12 | 0.13 | 0.09 | 0.10 | 0.21 | 0.17 | 0.20 | 0.06 |
| Total | 98.87 | 99.60 | 99.64 | 99.86 | 99.43 | Q99.12 | 99.29 | 99.54 | 99.65 | 99.57 | 100.38 | 100.45 |
| Si | 2.754 | 2.661 | 2.827 | 2.684 | 2.789 | 2.607 | 2.856 | 2.701 | 2.787 | 2.732 | 2.731 | 2.535 |
| Al | 1.259 | 1.348 | 1.175 | 1.318 | 1.209 | 1.388 | 1.155 | 1.302 | 1.223 | 1.272 | 1.266 | 1.464 |
| Fe ⁺² | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| sum | 4.013 | 4.009 | 4.002 | 4.002 | 3.999 | 3.995 | 4.011 | 4.002 | 4.010 | 4.004 | 3.997 | 3.999 |
| Ca | 0.280 | 0.365 | 0.200 | 0.338 | 0.238 | 0.417 | 0.179 | 0.322 | 0.235 | 0.293 | 0.294 | 0.481 |
| Na | 0.644 | 0.465 | 0.762 | 0.624 | 0.733 | 0.565 | 0.750 | 0.642 | 0.702 | 0.660 | 0.678 | 0.503 |
| K | 0.005 | 0.111 | 0.005 | 0.010 | 0.007 | 0.007 | 0.005 | 0.005 | 0.012 | 0.010 | 0.011 | 0.003 |
| sum | 0.928 | 0.941 | 0.967 | 0.972 | 0.977 | 0.990 | 0.934 | 0.970 | 0.948 | 0.963 | 0.983 | 0.987 |
| Or | 0.5 | 11.8 | 0.6 | 1.1 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 1.2 | 1.0 | 1.1 | 0.3 |
| Ab | 69.4 | 49.4 | 78.8 | 64.2 | 75.0 | 57.1 | 80.3 | 66.2 | 74.0 | 68.6 | 68.9 | 50.9 |
| An | 30.1 | 38.7 | 20.6 | 34.7 | 24.3 | 42.2 | 19.2 | 33.2 | 24.8 | 30.4 | 29.9 | 48.8 |

FeO* as total FeO. 8 oxygen basis.

분석으로 엽리구조를 이루기도 한다. 전술한 임펄리와 더불어 이러한 엽리구조는 이 김천 화강암질 마그마의 유동관입시에 주변 변성암(Hyndman, 1972)과의 접촉 영향으로 인하여 형성된 것으로 해석된다.

암맥류

쥬라기의 암맥류로 보이는 페그마타이트와 에프라이트는 도처에서 발달한다. 이들은 단일맥 또는 복합맥을 이루며 서로 평행 또는 사교하며, 화강암질 편마암과 인접한 남동부의 Mgd내에서는 그 폭이 수 m에 이르기도 한다. 후술할 김천화강암류의 관입정지시기가 트라이아스기말에 해당하므로 이를 관입한 암맥류의 지질시대는 앞서 말한 화강암류보다 약간 후기의 쥬라기로 해석된다. 백악기로 보이는 암맥류에는 염기성암류와 석영반암류, 규장암류 등의 산성암류가 포함된다.

화강암류의 광물조성

이들 Mgd와 Cgd의 모우드 값(%)은 석영이 16.8~41.8과 30.0~50.5, 알칼리장석이 4.4~43.5와 3.2~37.2,

그리고 사장석이 25.2~50.5와 23.9~46.0의 값을 가져 각각 모두 큰 변화폭을 가진다(Table 1). 이들 값은 QAP(석영-알칼리장석-사장석)의 삼각도에서 모두 토날라이트-화강섬록암-몬조화강암 영역에 도시되며, 이 중에서 Mgd는 화강섬록암에 그리고 Cgd는 화강암-화강섬록암에 주로 해당한다. Mgd와 Cgd는 각각 각섬석과 흑운모, 흑운모를 주로 수반하므로 전자를 각섬석 흑운모 화강섬록암, 후자를 흑운모 화강암-화강섬록암이라 명명한다(Fig. 2).

Mgd는 석영, 사장석, 알칼리장석, 흑운모, 각섬석, 녹니석, 인회석, 스펀, 저어콘, 녹염석, 갈염석과 불투명광물 등으로, 그리고 Cgd는 석영, 사장석, 알칼리장석, 흑운모, 백운모, 인회석, 스펀, 저어콘, 녹염석, 갈염석과 불투명광물 등으로 구성된다(Table 1). Mgd와 Cgd는 각섬석과 이차적 광물인 미립질 백운모 이외는 같은 구성광물을 가진다. 그리고 야외에서는 Cgd에서 국부적으로 소량의 미립질 각섬석이 관찰되기도 한다. 이들에서는 각섬석, 스펀이 수반되며 각섬석과 흑운모 내에 미립의 인회석이 함유되는 1-형 화강암류(Chappell and White, 1974)의 특성을 가진다.

조암광물 중에서 석영은 파상소광, 일부는 모자이크

Table 2. (continued).

| Hornblende biotite granodiorite (Mgd) | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | 10 | | 12 | | 16 | | 16-1 | | 17 | | 18 | |
| | rim | core | rim | core | rim | core | rim | core | rim | core | rim | core |
| SiO ₂ | 62.52 | 59.85 | 60.12 | 58.92 | 59.43 | 57.96 | 58.96 | 58.26 | 59.96 | 57.99 | 61.80 | 58.66 |
| Al ₂ O ₃ | 23.59 | 25.32 | 24.87 | 25.67 | 25.22 | 25.74 | 25.52 | 26.13 | 25.07 | 26.45 | 23.72 | 25.63 |
| FeO* | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.00 |
| CaO | 5.29 | 7.43 | 6.99 | 8.01 | 7.54 | 7.80 | 7.86 | 8.84 | 7.19 | 8.71 | 5.56 | 8.06 |
| Na ₂ O | 8.62 | 7.27 | 7.38 | 6.81 | 7.09 | 6.84 | 6.79 | 6.50 | 7.27 | 6.78 | 8.12 | 6.91 |
| K ₂ O | 0.12 | 0.10 | 0.10 | 0.11 | 0.11 | 0.13 | 0.04 | 0.00 | 0.14 | 0.06 | 0.19 | 0.13 |
| Total | 100.22 | 99.96 | 99.45 | 99.51 | 99.38 | 98.54 | 99.25 | 99.73 | 99.64 | 100.00 | 99.42 | 99.39 |
| Si | 2.765 | 2.667 | 2.688 | 2.641 | 2.664 | 2.626 | 2.648 | 2.611 | 2.678 | 2.596 | 2.754 | 2.636 |
| Al | 1.229 | 1.330 | 1.311 | 1.356 | 1.332 | 1.375 | 1.351 | 1.380 | 1.320 | 1.396 | 1.246 | 1.358 |
| Fe ⁺² | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.000 |
| sum | 3.994 | 3.997 | 3.999 | 3.997 | 3.996 | 4.001 | 3.999 | 3.992 | 3.998 | 3.992 | 4.000 | 3.993 |
| Ca | 0.251 | 0.355 | 0.335 | 0.385 | 0.362 | 0.379 | 0.378 | 0.424 | 0.344 | 0.418 | 0.265 | 0.388 |
| Na | 0.739 | 0.628 | 0.640 | 0.592 | 0.616 | 0.601 | 0.592 | 0.565 | 0.630 | 0.589 | 0.702 | 0.602 |
| K | 0.007 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.008 | 0.003 | 0.000 | 0.008 | 0.003 | 0.011 | 0.008 |
| sum | 0.997 | 0.988 | 0.980 | 0.982 | 0.984 | 0.987 | 0.972 | 0.989 | 0.982 | 1.010 | 0.978 | 0.997 |
| Or | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.8 | 0.3 | 0.0 | 0.8 | 0.3 | 1.1 | 0.8 |
| Ab | 74.2 | 63.5 | 65.3 | 60.2 | 62.6 | 60.9 | 60.8 | 57.1 | 64.1 | 58.3 | 71.8 | 60.3 |
| An | 25.2 | 35.9 | 34.2 | 39.2 | 36.8 | 38.4 | 38.9 | 42.9 | 35.1 | 41.4 | 27.1 | 38.9 |

FeO* as total FeO, 8 oxygen basis.

소광을 이루며, 최대 5 mm 정도의 크기를 이루기도 한다. 곳에 따라 미르메키틱 또는 그레노피릭 구조를 이룬다. 사장석은 알바이트나 칼스바드-알바이트 쌍정, 일부 페리크린 쌍정을 이룬다. 그리고 동심원적 누대 구조를 이루거나 밀집 또는 산점상의 변질부가 수반되기도 한다. 동부의 신왕리나 서부의 하강리 등에서는 사장석 내에 미약하게 만곡된 쪼개짐이 발달된다.

알칼리장석은 페다이트, 마이크로 페다이트, 미사장석이며, 간혹 사장석이나 흑운모 등을 함유한다. Cgd의 일부에서는 곳에 따라 약 1 cm 크기의 반정을 이루기도 한다. 각섬석은 대부분 타형-반자형으로서 녹색-갈색의 다색성을 띄며, 부분적으로 녹니석화되기도 한다. 일부 자형을 이룬 것은 뚜렷한 쌍정대(twin seam)가 발달하며 13°-17°의 소광각을 이룬다. 흑운모는 부분적으로 녹니석화 및 만곡된 쪼개짐이 발달한다. 백운모는 미립질로서 석영, 알칼리장석, 사장석에 함유되거나 이들과 접하여 발달하며 이차적 산물로 보인다.

인회석은 자형 또는 반자형을 이루며 흑운모나 각섬석 내에 미립으로 함유된다. 스펀은 타형-자형으로서, 그 크기가 간혹 3 mm 정도를 이루기도 하나 대부분 1 mm 이하이다. 불규칙한 쪼개짐이 발달되기도 한다.

저어콘은 대부분 각섬석이나 흑운모에 미립으로 함유되며 방사성 색흔이 발달한다. 녹염석은 타형을 이룬 미립질로서 국부적으로 발달하며 이차적 광물로 보인다. 갈염석은 갈색을 띄는 타형-자형으로서 누대구조가 발달하며, 간혹 녹염석 내에 함유된다. 불투명광물은 사장석, 각섬석, 흑운모 등에 자주 함유되며 발달한다.

광물 화학

광물의 화학조성을 알기 위해 고려대학교 전략광물 자원연구센터의 전자현미 분석기기(JEOL JXA 8600)를 이용하였으며, 적용된 가속전압과 빔전류는 각각 15 kV와 30 nA이었다. 천연 또는 합성광물을 표준 물질로 사용하였으며 배경값 보정, ZAF 보정을 하였다. 광물 내 함유된 알칼리 원소가 쉽게 휘발되는 특성을 감안하여, 사장석과 각섬석은 각각 빔직경을 각각 5 μm와 1~2 μm로 하였다. 그리고 각섬석은 한 시료에서 2~4개의 입자를 선택하여 연변부 8~12점, 중심부에서 6~9점씩 측정하여 이들의 평균값을 각각 구하였다.

Mgd와 Cgd에서 선별된 시료를 택하여 사장석, 흑운모 그리고 각섬석의 광물화학조성을 비교하였다. 사장

Table 3. Representative electron microprobe analyses of biotites from the granites.

| | Biotite granite-granodiorite (Cgd) | | | | | |
|--------------------------------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 2 | 4 | 5 | 6 | 9 | 10 |
| SiO ₂ | 36.31 | 36.89 | 36.16 | 36.55 | 36.68 | 37.23 |
| TiO ₂ | 3.75 | 3.16 | 3.06 | 3.08 | 3.58 | 2.35 |
| Al ₂ O ₃ | 14.46 | 15.26 | 15.54 | 15.33 | 14.87 | 14.99 |
| FeO* | 21.28 | 19.09 | 20.78 | 19.46 | 19.60 | 19.61 |
| MgO | 7.97 | 9.32 | 8.39 | 9.15 | 9.69 | 10.10 |
| MnO | 0.57 | 0.63 | 0.57 | 0.49 | 0.04 | 0.50 |
| CaO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 |
| Na ₂ O | 0.38 | 0.35 | 0.37 | 0.33 | 0.33 | 0.36 |
| K ₂ O | 9.82 | 10.01 | 9.84 | 9.35 | 9.83 | 9.83 |
| Total | 94.55 | 94.72 | 94.71 | 93.77 | 94.62 | 94.96 |
| Si | 5.680 | 5.690 | 5.626 | 5.683 | 5.663 | 5.728 |
| Al(iv) | 2.320 | 2.310 | 2.374 | 2.317 | 2.337 | 2.272 |
| | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 |
| Al(total) | 2.667 | 2.774 | 2.850 | 2.810 | 2.705 | 2.718 |
| Al(vi) | 0.347 | 0.464 | 0.476 | 0.493 | 0.368 | 0.446 |
| Ti | 0.442 | 0.366 | 0.358 | 0.360 | 0.416 | 0.271 |
| Fe | 2.784 | 2.463 | 2.704 | 2.531 | 2.530 | 2.523 |
| Mg | 1.859 | 2.143 | 1.946 | 2.122 | 2.232 | 2.317 |
| Mn | 0.075 | 0.083 | 0.075 | 0.064 | 0.006 | 0.065 |
| (M1-M2) | 5.507 | 5.519 | 5.559 | 5.570 | 5.551 | 5.623 |
| Ca | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.004 | 0.000 | 0.000 |
| Na | 0.116 | 0.105 | 0.112 | 0.101 | 0.099 | 0.107 |
| K | 1.961 | 1.970 | 1.952 | 1.855 | 1.936 | 1.930 |
| A-sites | 2.076 | 2.075 | 2.064 | 1.960 | 2.035 | 2.038 |
| Mg/(Mg+Fe) | 0.40 | 0.47 | 0.42 | 0.46 | 0.47 | 0.48 |

FeO* as total FeO. 22 oxygen basis.

석과 흑운모는 Mgd와 Cgd에서 각각 6개, 그리고 각섬석은 각각 6개와 2개의 시료를 EPMA로 분석하였다 (Tables 2, 3과 4). 그리고 사장석과 각섬석은 각각 내측부와 연변부를 분석하였다.

이들 화강암류의 사장석은 대부분 An₃₉ 이하의 함량을 가지며 An함량은 입자의 연변부가 중심부보다 낮은 정상 누대구조를 보인다. Mgd에서는 사장석이 An₂₇~An₄₃를, Cgd에서는 An₁₉~An₄₉를 가져 일부 입자(Sp. no 9) 외에는, 대부분 Mgd에서 An 함량이 높다. 또한 사장석의 중심부와 연변부의 An 함량 차이는 Cgd에 비해 Mgd에서 비교적 좁은 범위를 보이고 있다(Fig. 3). 이는 Mgd가 Cgd 보다 사장석의 결정화가 좀더 좁은 온도간격에서 일어났음을 지시한다고 할 수 있다. 두 암상 사이의 사장석 중심부의 조성도 Cgd보다는 Mgd가 약간 높은 An 값을 보인다. 이러한 차이는 사장석이 정출될 때의 압력, 물분압과 같은 요인들에 의

해 수십도(°C) 정도의 멜트 온도의 차이가 있었을 가능성을 제시한다.

화강암체에서 흑운모의 조성변화는 암석의 분화를 지시하는 중요한 요인이 된다. 또한 화강암체를 분류하는 인자로서 사용되기도 한다. 그리고 이들은 Al_{total} 대 Mg/(Fe+Mg)의 관계도에서 밀집되며 다소 구분되는 경향을 보인다(Fig. 4). Cgd의 흑운모는 Al_{total} 2.667~2.850, Mg/(Fe+Mg) 0.40~0.48의 값을 보이며 Mgd의 흑운모는 Al_{total} 2.680~2.738, Mg/(Fe+Mg) 0.49~0.54의 값을 가진다. 즉 Al_{total}은 Cgd에서, Mg/(Fe+Mg)은 Mgd에서 그 값이 각각 약간 증가하여 주변부에서 내측부로의 분화경향을 보인다. Nachit *et al.*(1985)의 Al_{total} 대 Mg의 관계도(Fig. 5)에서 Mgd와 Cgd는 거의 칼크-알칼리 계열로 분류되며 또한 암체의 분화가 진행됨에 따라 Al은 부화되고 Mg는 점차 감소하는 완만한 경사도를 갖는 경향을 나타낸다. 이 그림에서

Table 3. (continued).

| | Hornblende biotite granodiorite (Mgd) | | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 11 | 12 | 16 | 16-1 | 17 | 18 |
| SiO ₂ | 36.84 | 37.48 | 36.93 | 37.22 | 37.21 | 37.04 |
| TiO ₂ | 3.16 | 2.39 | 3.09 | 2.44 | 3.11 | 2.95 |
| Al ₂ O ₃ | 14.82 | 15.14 | 14.94 | 15.15 | 15.12 | 14.75 |
| FeO* | 18.53 | 18.32 | 18.21 | 17.52 | 18.51 | 19.04 |
| MgO | 10.49 | 11.01 | 10.68 | 11.54 | 10.55 | 10.21 |
| MnO | 0.17 | 0.22 | 0.11 | 0.14 | 0.04 | 0.47 |
| CaO | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Na ₂ O | 0.38 | 0.36 | 0.33 | 0.24 | 0.35 | 0.35 |
| K ₂ O | 9.78 | 9.45 | 10.02 | 10.02 | 10.00 | 9.78 |
| Total | 94.18 | 94.38 | 94.29 | 94.28 | 94.89 | 94.59 |
| Si | 5.686 | 5.741 | 5.687 | 5.706 | 5.693 | 5.709 |
| Al(iv) | 2.314 | 2.259 | 2.313 | 2.294 | 2.307 | 2.291 |
| | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 |
| Al(total) | 2.697 | 2.734 | 2.712 | 2.738 | 2.727 | 2.680 |
| Al(vi) | 0.383 | 0.475 | 0.399 | 0.444 | 0.420 | 0.389 |
| Ti | 0.367 | 0.275 | 0.358 | 0.282 | 0.358 | 0.342 |
| Fe | 2.392 | 2.347 | 2.345 | 2.246 | 2.369 | 2.455 |
| Mg | 2.415 | 2.515 | 2.451 | 2.638 | 2.406 | 2.347 |
| Mn | 0.022 | 0.029 | 0.014 | 0.018 | 0.005 | 0.062 |
| (M1-M2) | 5.579 | 5.640 | 5.566 | 5.627 | 5.557 | 5.594 |
| Ca | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Na | 0.114 | 0.106 | 0.098 | 0.072 | 0.105 | 0.106 |
| K | 1.926 | 1.847 | 1.968 | 1.960 | 1.952 | 1.923 |
| A-sites | 2.040 | 1.954 | 2.065 | 2.032 | 2.057 | 2.028 |
| Mg/(Mg+Fe) | 0.50 | 0.52 | 0.51 | 0.54 | 0.50 | 0.49 |

FeO* as total FeO. 22 oxygen basis.

동일 마그마로부터 분화된 화강암체의 경우는 Al과 Mg가 동시에 분화될 것이므로 완만한 진화경로를 보인다. 반면 급한 경사도를 보이는 경우는 단일 폐쇄계에서의 분별작용에 의한 것으로 설명될 수 없다.

각섬석은 Mgd에서는 자형으로 다른 광물들과 비슷한 크기로 산출되지만, Cgd에서는 거의 산출되지 않는 경향을 보인다. 즉, Cgd에서는 매우 소량의 각섬석이 한 두 시료에서 발달하며 박편에서도 1~2 세립질 입자만이 관찰될 정도로 산출빈도가 적다. IMA에 의한 각섬석 분류(Leake *et al.*, 1997)에 따르면 $Ca_B \geq 1.50$, $(Na+K) < 0.5$, $Ca_A < 0.5$ 로서 모두 Ca 각섬석(calcic amphibole)에 속한다(Fig. 6). Mg/(Mg+Fe²⁺)비는 0.5~0.7 사이로 제한된 범위를 나타내며 Mgd와 Cgd는 모두 마그네슘 각섬석(magnesiohornblende) 영역에 도시된다. 한편 각섬석 지압계(Schmidt, 1992)를 이용하여 이 지역 김천화강암에 대한 정치심도를 연구한 홍세선

(2001)은 그 고결압력이 4.2~5.4 kb로 비교적 고른 압력분포를 보이며, 조구조운동에 의한 암체의 고결 후에 동적 변화는 없었을 것이라고 보고한 바 있다.

K-Ar 흑운모 연령과 정치시기

이 화강암류의 주변부와 내측부의 지질시대를 알기 위해 암상변화와 구성광물의 차이가 뚜렷한 시료를 택해 질량분석기(SGA 6"-600)를 이용하여 이들의 흑운모연령(K-Ar 법)을 측정하였다. 즉 Mgd의 임평리에서 한 개 그리고 Cgd의 하강리와 강평에서 각각 한 개씩 모두 세 개의 대표시료를 택하였다(Table 5). 이들의 연령은 Mgd가 197 ± 3 Ma, Cgd가 200 ± 3 Ma와 207 ± 3 Ma로서 약간의 변화 폭을 가지며, 그 지질시대는 쥐라기 초기-트라이아스기 말기에 해당한다.

K-Ar 흑운모 연대의 폐쇄온도는 $280^\circ \pm 40^\circ\text{C}$ 와 315°

Table 4. Representative electron microprobe analyses of hornblendes from the granites.

| Sp.no | Biotite granite-granodiorite (Cgd) | | | | Hornblende biotite granodiorite (Mgd) | | | | | |
|--------------------------------|------------------------------------|-------|--------|-------|---------------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| | 9 | | 10 | | 11 | | 12 | | 16 | |
| | rim | core | rim | core | rim | core | rim | core | rim | core |
| SiO ₂ | 43.72 | 44.36 | 44.76 | 44.50 | 43.89 | 44.55 | 43.99 | 45.34 | 43.54 | 44.55 |
| TiO ₂ | 0.84 | 0.98 | 1.03 | 1.57 | 1.04 | 1.45 | 1.00 | 1.57 | 0.88 | 1.69 |
| Al ₂ O ₃ | 10.04 | 8.87 | 9.05 | 8.77 | 9.19 | 8.30 | 9.10 | 8.04 | 9.69 | 8.71 |
| FeO* | 19.33 | 18.74 | 18.26 | 18.21 | 17.46 | 16.50 | 17.28 | 16.23 | 17.33 | 15.82 |
| MgO | 9.69 | 10.23 | 9.19 | 9.42 | 10.85 | 11.60 | 11.08 | 11.98 | 10.79 | 11.87 |
| MnO | 0.09 | 0.24 | 0.74 | 0.67 | 0.47 | 0.48 | 0.47 | 0.49 | 0.34 | 0.31 |
| CaO | 11.78 | 11.74 | 11.20 | 11.27 | 11.73 | 11.57 | 11.66 | 11.62 | 11.82 | 11.67 |
| Na ₂ O | 1.31 | 1.24 | 1.47 | 1.62 | 1.31 | 1.38 | 1.36 | 1.41 | 1.28 | 1.29 |
| K ₂ O | 1.19 | 0.99 | 1.02 | 1.09 | 1.16 | 1.05 | 1.16 | 0.91 | 1.18 | 1.18 |
| total | 97.98 | 97.37 | 96.72 | 97.11 | 97.11 | 96.88 | 97.10 | 97.60 | 96.85 | 97.09 |
| Si | 6.542 | 6.653 | 6.781 | 6.737 | 6.582 | 6.663 | 6.586 | 6.710 | 6.544 | 6.636 |
| Al(IV) | 1.458 | 1.347 | 1.219 | 1.263 | 1.418 | 1.337 | 1.414 | 1.290 | 1.456 | 1.364 |
| Sum T | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 |
| Al(VI) | 0.315 | 0.223 | 0.399 | 0.305 | 0.207 | 0.128 | 0.194 | 0.114 | 0.263 | 0.166 |
| Ti | 0.094 | 0.110 | 0.118 | 0.179 | 0.117 | 0.163 | 0.113 | 0.175 | 0.099 | 0.189 |
| Fe ⁺³ | 0.572 | 0.581 | 0.320 | 0.260 | 0.606 | 0.576 | 0.639 | 0.565 | 0.587 | 0.499 |
| Fe ⁺² | 1.847 | 1.770 | 1.994 | 2.045 | 1.584 | 1.488 | 1.524 | 1.443 | 1.591 | 1.471 |
| Mg | 2.161 | 2.286 | 2.074 | 2.126 | 2.426 | 2.585 | 2.471 | 2.641 | 2.416 | 2.635 |
| Mn | 0.011 | 0.030 | 0.095 | 0.085 | 0.060 | 0.060 | 0.060 | 0.062 | 0.043 | 0.039 |
| SumC | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 |
| XMI-3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ca | 1.888 | 1.887 | 1.817 | 1.828 | 1.884 | 1.854 | 1.870 | 1.842 | 1.903 | 1.862 |
| Na | 0.112 | 0.113 | 0.183 | 0.172 | 0.116 | 0.146 | 0.130 | 0.158 | 0.097 | 0.138 |
| SumB | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 |
| Na | 0.267 | 0.246 | 0.250 | 0.302 | 0.264 | 0.253 | 0.263 | 0.247 | 0.276 | 0.236 |
| K | 0.227 | 0.190 | 0.197 | 0.211 | 0.222 | 0.201 | 0.222 | 0.172 | 0.227 | 0.223 |
| Sum A | 0.494 | 0.436 | 0.447 | 0.512 | 0.487 | 0.454 | 0.485 | 0.419 | 0.503 | 0.459 |
| Mg/(Mg+Fe ⁺²) | 0.539 | 0.564 | 0.510 | 0.510 | 0.605 | 0.635 | 0.619 | 0.647 | 0.603 | 0.642 |
| AIT | 1.773 | 1.570 | 1.618 | 1.567 | 1.625 | 1.465 | 1.608 | 1.404 | 1.719 | 1.530 |
| S | 5.4 | | 4.7 | | 4.7 | | 4.6 | | 5.2 | |
| Depth(km) | 18.998 | | 16.542 | | 16.542 | | 16.257 | | 18.277 | |

FeO* as total FeO. 23 oxygen basis. S means pressure estimates by the equation of Schmidt (1992).

±45°C 등으로 보고되고 있으므로(Harrison and McDougall, 1980; Harrison *et al.*, 1985), 이 화강암류의 관입정지 시기는 적어도 트라이아스기말일 가능성을 제시하며, 또한 이 시기에 일어난 화성활동의 산물로 보인다. 쥘라기와 트라이아스기의 지질시대 경계는 각각 204 Ma와 208 Ma(Odin *et al.*, 1982; Palmer, 1983) 등으로 보고되고 있다. 이러한 흑운모 K-Ar 연령의 차이 그리고 점이적 관계 등으로 미루어, 이들은 동일 마그마가 주변부에서 내측부로 분화한 것으로 해

석된다.

Lee *et al.*(1990)은 저어콘의 자발핵분열비적의 밀도 연구를 통해 화강편마암, 석영섬록암, 흑운모 화강암의 상대적인 연령이 이 나열 순으로 오래된 것으로 보았다. 이 중에서 중자는 연구지역의 북부에 위치하며, 후자는 Cgd의 북동단인 입석리 일원에 분포한다. 한편 김천지역 화강섬록암의 각섬석과 흑운모 연령(K-Ar 법)은 각각 194 Ma와 177 Ma(Lee *et al.*, 1997)로 발표된 바 있다. 이는 김천일대에 넓게 분포하는 화강암

Table 4. (continued).

| Hornblende biotite granodiorite (Mgd) | | | | | | |
|---------------------------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| Sp.no | 17 | | 18 | | 16-1 | |
| | rim | core | rim | core | rim | core |
| SiO ₂ | 43.86 | 45.52 | 44.16 | 44.78 | 43.85 | 45.32 |
| TiO ₂ | 1.00 | 1.58 | 0.71 | 0.92 | 0.95 | 1.10 |
| Al ₂ O ₃ | 9.19 | 7.80 | 9.16 | 8.23 | 9.82 | 8.17 |
| FeO* | 17.68 | 16.35 | 18.30 | 18.26 | 16.84 | 16.25 |
| MgO | 10.58 | 11.57 | 10.28 | 10.59 | 10.87 | 11.68 |
| MnO | 0.39 | 0.42 | 0.64 | 0.67 | 0.48 | 0.20 |
| CaO | 11.71 | 11.60 | 11.51 | 11.78 | 11.75 | 11.71 |
| Na ₂ O | 1.14 | 1.20 | 1.38 | 1.26 | 1.33 | 1.19 |
| K ₂ O | 1.13 | 0.91 | 1.04 | 1.02 | 1.16 | 0.96 |
| total | 96.68 | 96.94 | 97.16 | 97.52 | 97.03 | 96.57 |
| Si | 6.604 | 6.788 | 6.625 | 6.706 | 6.565 | 6.776 |
| Al(IV) | 1.396 | 1.212 | 1.375 | 1.294 | 1.435 | 1.224 |
| Sum T | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 | 8.000 |
| Al(VI) | 0.238 | 0.160 | 0.246 | 0.160 | 0.301 | 0.218 |
| Ti | 0.114 | 0.177 | 0.080 | 0.104 | 0.107 | 0.123 |
| Fe ⁺³ | 0.604 | 0.471 | 0.670 | 0.583 | 0.546 | 0.482 |
| Fe ⁺² | 1.621 | 1.568 | 1.625 | 1.704 | 1.562 | 1.550 |
| Mg | 2.373 | 2.571 | 2.297 | 2.364 | 2.424 | 2.602 |
| Mn | 0.050 | 0.053 | 0.082 | 0.085 | 0.060 | 0.025 |
| Sum C | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 |
| XMI-3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Ca | 1.888 | 1.853 | 1.850 | 1.890 | 1.884 | 1.875 |
| Na | 0.112 | 0.147 | 0.150 | 0.110 | 0.116 | 0.125 |
| Sum B | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 |
| Na | 0.220 | 0.201 | 0.250 | 0.257 | 0.268 | 0.220 |
| K | 0.218 | 0.173 | 0.199 | 0.195 | 0.221 | 0.183 |
| Sum A | 0.438 | 0.373 | 0.449 | 0.452 | 0.490 | 0.403 |
| Mg/(Mg+Fe ⁺²) | 0.594 | 0.621 | 0.586 | 0.581 | 0.608 | 0.627 |
| AIT | 1.634 | 1.372 | 1.622 | 1.454 | 1.735 | 1.442 |
| S | 4.8 | | 4.7 | | 5.3 | |
| Depth(km) | 16.679 | | 16.479 | | 18.629 | |

16-1: mafic enclave.

류가 적어도 시기를 달리하는 2개 이상의 복합암체로 구성되어 있을 가능성을 제시한다.

주원소 및 미량원소 지구화학

연구에 이용된 화강암류의 지구화학적 특성을 알기 위해 각 시료의 화학성분을 분석하였다. 즉 주성분원소는 습식법과 XRF(X-ray Fluorescence Spectrometer), 미량원소 중에서 Rb은 AAS(Atomic Absorption Spectrometry) 그리고 기타 성분은 ICP-AES(Labtest 3000),

희토류원소는 ICP-MS로 분석되었다.

이들 화강암류의 SiO₂는 61~72 wt %의 함량을 가져 중성암-산성암에 이르는 다소 넓은 변화폭을 가진다 (Table 6). Mgd는 63~68(평균 64.8) wt %로서 대부분 중성암에, 그리고 Cgd는 67~72(평균 69.5) wt %로서 모두 산성암에 해당한다. K₂O/CaO의 비는 각각 0.74와 1.43으로서, 전자는 석영섬록암과 섬록암 그리고 후자는 화강섬록암 영역(Putman and Burnham, 1963)에 해당한다.

SiO₂의 함량증가에 따라 TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃(t), MgO

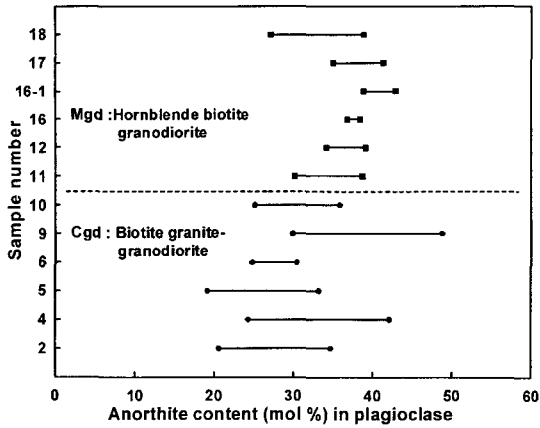


Fig. 3. Anorthite contents in plagioclases from the granites.

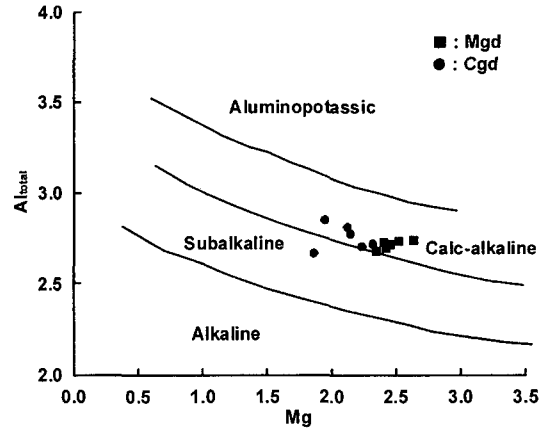


Fig. 5. Al_{total} and Mg diagram for biotites.

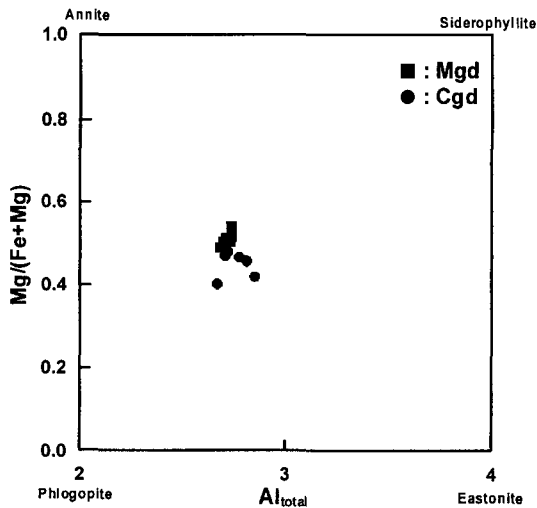


Fig. 4. Relation of Al_{total} and $Fe/(Fe+Mg)$ ratio for biotites.

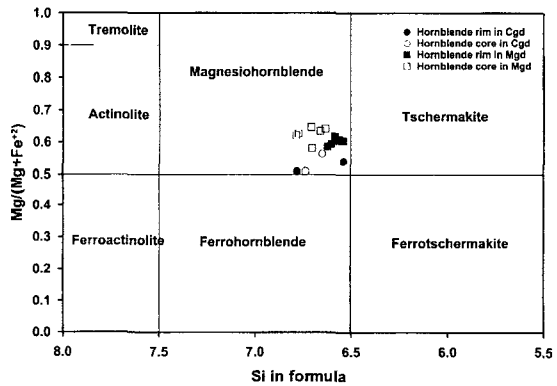


Fig. 6. Nomenclature of the IMA recommended plot for the calcic amphiboles (Leake *et al.*, 1997).

와 CaO는 다소 급한, 그리고 MnO와 P₂O₅는 완만한 부의 경향을 이룬다(Fig. 7). Na₂O는 별다른 변화경향을 보이지 않는다. K₂O와 Na₂O+K₂O는 미약한 정의 관계를 가진다. 이러한 뚜렷한 선상을 이룬 정과 부의 관계도와 야외에서의 점이적인 암상변화로 미루어 이들은 단일 화강암질 마그마 기원의 분화산물일 것으로 해석된다.

A/CNK($Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$)의 물비는 평균 1.06의 값을 가지며, Mgd는 0.8~1.2(평균 1.0) 그리고 Cgd는 0.8~1.2(평균 1.1)로서 주변부보다 내측부에서 더 과알루미나화된(Fig. 8). AFM삼각도(Irvine and Baragar, 1971)에서는 켈크-알칼리 계열에 도시되며,

Mgd와 Cgd는 동일선상에 놓이고 전자보다 후자가 더 분화된 경향을 뚜렷이 보인다(Fig. 9). 그리고 SiO₂ 대 (Na₂O+K₂O)의 관계(Irvine and Baragar, 1971)에서는 모두가 서브알카리 계열에 해당한다.

미량원소 중에서 Th는 5.70~30.4 ppm의 함량을 가지며, SiO₂와의 관계도에서 다소 불규칙한 분포경향을 보인다(Fig. 10). 이 원소는 Mgd와 Cgd에서 각각 21.6 ppm과 17.7 ppm의 평균함량을 가져 전자의 함량이 약간 높으며, 이는 Th의 수반광물인 스피넬(Taylor, 1965)이 후자보다 전자에 더 많이 수반되기 때문으로 해석된다(Table 1). 친철원소인 Nb은 각각 7.4 ppm과 10.9 ppm의 평균함량을 가지며, SiO₂와는 대체로 정의 경향을 가진다. 인회석에 수반되는 Y(Eby, 1990)은 각각 32.5 ppm과 36.0 ppm의 함량을 가지며 SiO₂와는 완만한 부의 경향을 이룬다. 화강암류에서 Nb은 20 ppm, Y은

Table 5. K-Ar biotite ages of the representative granites.

| Sp.no | Mineral | K (%) | ⁴⁰ Arrad (10 ⁻⁹ mol/g) | ⁴⁰ Arrad (%) | Age (Ma) | National grid | Locality | Remark |
|-------|---------|-------|--|-------------------------|------------|---------------|------------|--------|
| 4 | Biotite | 7.41 | 2.720 | 93.43 | 200.2 2.8 | 117.7/285.9 | Hagang | Cgd |
| 9 | " | 5.45 | 2.073 | 93.45 | 207.01 2.9 | 117.0/280.1 | Gangpyeong | Cgd |
| 16 | " | 7.83 | 2.829 | 90.39 | 197.2 3.2 | 110.2/278.9 | Impyeong | Mgd |

Table 6. Major (wt %) and trace element (ppm) compositions of the granites.

| Biotite granite-granodiorite (Cgd) | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Sp.no | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| SiO ₂ | 71.34 | 69.82 | 69.52 | 68.70 | 70.29 | 68.24 | 70.98 | 69.20 | 70.70 | 67.14 |
| TiO ₂ | 0.19 | 0.38 | 0.35 | 0.42 | 0.42 | 0.50 | 0.23 | 0.35 | 0.35 | 0.50 |
| Al ₂ O ₃ | 15.89 | 16.21 | 16.89 | 17.08 | 16.32 | 17.35 | 14.22 | 17.21 | 16.17 | 17.62 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.55 | 0.87 | 1.15 | 1.31 | 0.93 | 1.15 | 1.07 | 0.90 | 0.79 | 1.17 |
| FeO | 1.24 | 1.46 | 1.24 | 1.21 | 1.28 | 1.28 | 0.92 | 1.28 | 1.28 | 1.85 |
| MnO | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| MgO | 0.22 | 0.54 | 0.44 | 0.72 | 0.40 | 0.68 | 0.37 | 0.56 | 0.35 | 0.74 |
| CaO | 1.91 | 2.41 | 2.84 | 3.03 | 2.36 | 3.17 | 1.63 | 2.27 | 2.47 | 3.68 |
| Na ₂ O | 3.96 | 3.72 | 4.29 | 4.02 | 4.04 | 4.18 | 4.74 | 4.07 | 3.80 | 4.02 |
| K ₂ O | 3.85 | 3.78 | 2.58 | 2.89 | 3.25 | 2.55 | 5.08 | 3.37 | 3.40 | 2.48 |
| P ₂ O ₅ | 0.06 | 0.07 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.06 | 0.09 | 0.08 | 0.12 |
| LOI | 0.79 | 0.81 | 0.68 | 0.62 | 0.69 | 0.89 | 0.79 | 0.79 | 0.69 | 0.79 |
| Sum | 99.90 | 99.97 | 99.99 | 99.98 | 99.97 | 99.95 | 99.97 | 99.92 | 99.96 | 99.96 |
| Th | 25.8 | 16.8 | 21.0 | 14.0 | 21.2 | 12.3 | 30.1 | 20.9 | 9.55 | 5.70 |
| Nb | 8.07 | 7.75 | 9.64 | 9.96 | 11.7 | 14.3 | 15.6 | 10.2 | 9.29 | 12.3 |
| Y | 37.8 | 26.0 | 33.7 | 34.6 | 30.3 | 31.7 | 50.6 | 31.2 | 21.8 | 27.0 |
| Zn | 72.1 | 59.5 | 64.2 | 61.3 | 61.0 | 59.1 | 65.0 | 57.8 | 54.5 | 63.1 |
| Cu | 20.3 | 7.22 | 17.8 | 4.80 | 5.79 | 6.96 | 12.3 | 11.2 | 4.89 | 2.20 |
| Co | 5.74 | 3.17 | 4.09 | 4.17 | 2.25 | 0.46 | 9.24 | 4.48 | 1.47 | 2.33 |
| Ni | 10.3 | 1.80 | 5.87 | 1.01 | 8.25 | 4.17 | 15.0 | | | |
| Ba | 455 | 583 | 515 | 540 | 479 | 723 | 474 | 630 | 490 | 324 |
| Sc | 4.8 | 3.9 | 4.3 | 4.3 | 5.1 | 3.1 | 13.7 | 4.4 | 4.2 | 3.5 |
| Sr | 564 | 562 | 456 | 599 | 447 | 423 | 514 | 511 | 534 | 387 |
| Rb | 63.0 | 56.9 | 95.1 | 56.2 | 108 | 107 | 35.9 | 71.9 | 79.7 | 109 |

30~40 ppm(Taylor, 1965)의 함량을 가진다.

Zn는 Mgd와 Cgd가 각각 34.7~77.4(평균 62.6) ppm과 54.5~72.1(평균 61.8) ppm의 함량을, 그리고 Cu는 각각 5.0~30.7(평균 11.6) ppm과 2.2~20.3(평균 9.3) ppm의 함량을 가져 다소의 변화폭을 가진다. 이들 Zn와 Cu는 SiO₂와 완만한 부와 불규칙한 분포경향을 각각 이룬다. Co는 각각 3.4~12.4(평균 7.7) ppm과 0.4~9.3(평균 3.7) ppm, Ni은 각각 0.7~22.5(평균 8.5) ppm과 1.0~15.0(평균 6.6) ppm을 가지며, Mgd에서 그 함량이 다소 증가한다. 화강암류에서 Co와 Ni은 각각 10 ppm과 20 ppm(Taylor, 1965)의 함량을 가진다.

Ba은 Mgd와 Cgd에서 각각 270~607(평균 381) ppm과 324~723(평균 521) ppm을 가져 내측부에서 그 함량이 크게 증가한다. Sr은 각각 397~556(평균 501) ppm과 387~599(평균 500) ppm을, 그리고 Rb은 각각 61~85(평균 72) ppm과 35~109(평균 78) ppm을 가져 거의 비슷한 함량을 가진다. SiO₂와의 관계에서 Ba은 대체로 정의 경향을, Sr과 Rb은 모두 별다른 변화경향을 보이지 않는다.

한편 이들 화강암류의 분화경향을 알기위한 Ba-Sr-Rb의 관계도(Bouseily and Sokkary, 1975)에서 Mgd는 섬록암-화강섬록암과 석영섬록암 영역에, 그리고 Cgd

Table 6. (continued)

| Hornblende-biotite granodiorite (Mgd) | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Sp.no | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| SiO ₂ | 65.04 | 67.02 | 64.50 | 65.86 | 63.44 | 64.44 | 61.76 | 66.42 |
| TiO ₂ | 0.30 | 0.57 | 0.50 | 0.42 | 0.61 | 0.46 | 0.61 | 0.42 |
| Al ₂ O ₃ | 18.45 | 16.98 | 17.04 | 16.96 | 18.14 | 16.40 | 17.54 | 16.77 |
| Fe ₂ O ₃ | 1.37 | 1.87 | 2.05 | 1.59 | 1.85 | 3.07 | 1.79 | 1.43 |
| FeO | 1.42 | 1.81 | 1.70 | 1.74 | 2.20 | 1.21 | 2.38 | 1.63 |
| MnO | 0.04 | 0.07 | 0.10 | 0.05 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.05 |
| MgO | 1.19 | 1.60 | 1.68 | 1.45 | 1.86 | 1.95 | 2.20 | 1.17 |
| CaO | 4.04 | 3.99 | 4.35 | 3.85 | 4.49 | 4.44 | 5.33 | 3.14 |
| Na ₂ O | 3.91 | 2.66 | 4.52 | 4.10 | 3.50 | 3.69 | 4.48 | 3.91 |
| K ₂ O | 3.13 | 2.41 | 2.41 | 2.84 | 2.87 | 3.30 | 2.87 | 4.29 |
| P ₂ O ₅ | 0.09 | 0.14 | 0.38 | 0.15 | 0.12 | 0.14 | 0.15 | 0.12 |
| LOI | 1.16 | 0.94 | 0.91 | 1.08 | 0.95 | 0.98 | 0.97 | 0.78 |
| Sum | 99.96 | 99.98 | 99.96 | 99.92 | 99.95 | 99.97 | 99.93 | 99.98 |
| Th | 14.3 | 24.1 | 30.4 | 17.7 | 18.9 | 29.7 | 19.4 | 18.2 |
| Nb | 7.38 | 6.79 | 6.23 | 9.70 | 6.42 | 8.41 | 3.87 | 10.2 |
| Y | 35.2 | 33.1 | 33.7 | 33.2 | 33.5 | 45.2 | 37.8 | 36.2 |
| Zn | 44.6 | 77.4 | 77.2 | 65.5 | 75.2 | 65.0 | 34.7 | 61.0 |
| Cu | 11.6 | 9.65 | 30.7 | 10.4 | 5.07 | 12.9 | 1.30 | 11.2 |
| Co | 7.30 | 12.4 | 10.1 | 4.56 | 8.29 | 9.64 | 3.43 | 5.99 |
| Ni | 10.3 | 9.15 | 22.5 | 7.46 | 1.23 | 7.86 | | 0.70 |
| Ba | 390 | 353 | 270 | 538 | 308 | 283 | 299 | 607 |
| Sc | 8.0 | 10.3 | 8.2 | 4.2 | 7.4 | 12.3 | 12.5 | 6.5 |
| Sr | 520 | 484 | 528 | 504 | 503 | 514 | 397 | 556 |
| Rb | 62.3 | 78.0 | 68.8 | 84.4 | 61.4 | 68.5 | 70.6 | 77.8 |

는 화강섬록암과 석영섬록암에 도시되며 전반적으로 주변부보다 내측부가 더 분화된 양상을 보여주는 것과 잘 일치한다(Fig. 11). Sc은 각각 9 ppm과 5 ppm의 평균함량을 가지며 모두 SiO₂와는 완만한 부의 경향을 이룬다.

암석성인

이 화강암류의 불투명광물의 모드 값은 0.8% 이하이며, (석영과 알칼리장석)에 대한불투명광물의 관계도 (Table 1; Ishihara, 1977)에서 일부는 티탄철석계열에 속하나 대부분이 자철석계열에 해당한다. K₂O/Na₂O 비는 Cgd와 Mgd가 각각 0.60~1.07(평균 0.81)과 0.53~1.10(평균 0.80)의 값을 가져 모두 I-형에 속하는 암석 화학적 특성을 가진다. 그리고 K₂O에 대한 Na₂O의 관계(White and Chappell, 1983; Hine *et al.*, 1978)에서도 모두 이 같은 특성을 보인다(Fig. 12). K₂O/Na₂O 비는 I-형과 S-형 화강암류에서 각각 1.03과 1.65의 값

(White and Chappell, 1983)을 가지며 후자에서 그 값이 뚜렷이 증가한다.

이 암류의 Fe₂O₃/FeO는 1.0의 값을 가져 모두가, 그리고 Fe₂O₃에 대한 FeO의 관계(Hine *et al.*, 1978)에서도 거의가 I-형에 속한다. I-형과 S-형의 Fe₂O₃/FeO의 비는 각각 0.5와 0.2(White and Chappell, 1983)의 값을 가진다고 보고되고 있다. 한편 Fe³⁺/(Fe³⁺+Fe²⁺)는 Mgd와 Cgd가 각각 0.40과 0.49의 큰 값을 가져 모두 자철석계열(Ishihara, 1977)에 해당한다(Table 6). 이는 이 암류의 북동단을 연구한 Lee *et al.*(1990)의 결과와 일치한다. 즉 그들은 이 곳의 화강섬록암류가 3.9~9.6 (평균 7.6) × 10⁻⁴ emu의 값을 가지며 자철석계열에 속한다고 보았다. 이는 김천화강암류가 6 × 10⁻³ SI 이상의 높은 대자율을 가진다(Jin *et al.*, 2001)는 최근의 연구보고와도 잘 일치한다.

한편 이들 화강암류는 K/Rb 대 Rb/Sr의 관계(Strong and Hanmer, 1981)에서 두개 이상의 상이한 성분보다는 비교적 고정된 근원성분의 집진적 용융에 의해 형

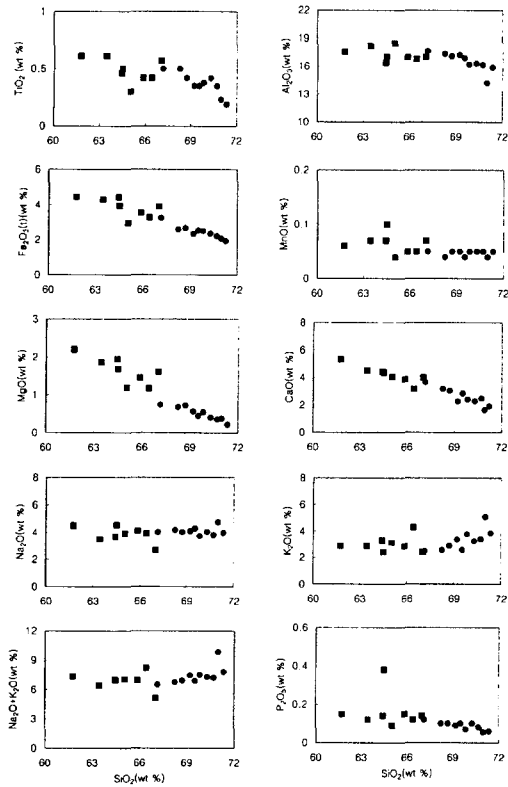


Fig. 7. Variation diagrams of the major element compositions for the granites. Symbols as in Fig. 2.

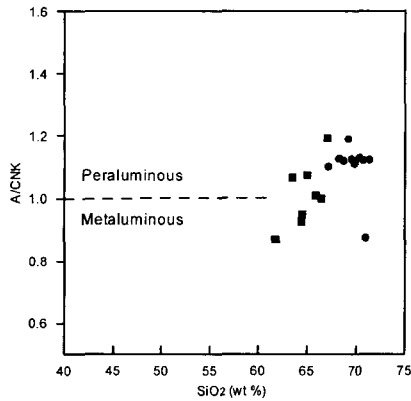


Fig. 8. Alumina saturation index for the granites. Symbols as in Fig. 2.

성된 마그마에서 결정분화한 경향을 뚜렷이 보인다(Fig. 13). 콘드라이트값(Taylor and McLennan, 1985)으로 표준화한 대표시료의 희토류원소 변화도에서 경희토류원소(LREE)에서 중희토류원소(HREE)로 갈수록 점진적

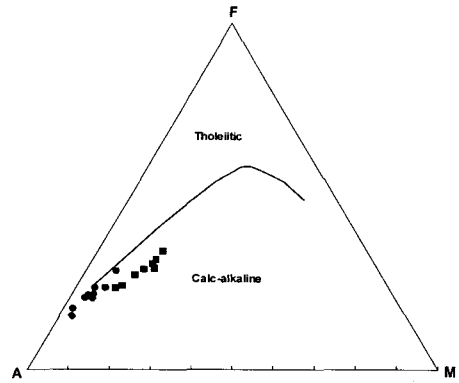


Fig. 9. AFM (A: Na₂O+K₂O, F: total FeO, M: MgO) diagram of the granites. The division fields are from Irvine and Baragar (1971). Symbols as in Fig. 2.

으로 뚜렷이 결핍되며, Eu는 미약한 부이상상을 보인다(Table 7; Fig. 14). 이는 Eu 이상이 미약한 국내 대보 화강암류와 대체로 일치하는 경향을 보인다(윤현수 외, 2002, 1999; 김규한, 1992; Hong, 1987).

결 언

연구대상인 화강암류는 김천남부에서 북동-남서방향으로 넓게 분포하며 모우드 분석에 의하여 양 주변부와 내측부를 이루는 각섬석 흑운모 화강섬록암(Mgd)과 흑운모 화강암-화강섬록암(Cgd)으로 각각 구분된다.

Mgd와 Cgd는 회색을 띠고 점이적 관계를 이루며 각각 조립질과 중립질이 우세하다. 구성광물은 석영, 사장석, 알칼리장석, 흑운모, 각섬석, 인회석, 스펀, 저어콘, 갈염석과 불투명광물 등으로 다소의 입도차이와 각섬석의 유무 외에는 거의 같은 구성광물과 산출상을 이룬다. 197~207 Ma의 흑운모 연령(K/Ar)으로 미루어, 이 화강암류의 관입정치 시기는 트라이아스기말에 속할 것으로 해석된다.

사장석은 Mgd가 Cgd 보다 좁은 간격의 An 함량변화를 보여 결정화 작용이 좀 더 좁은 온도간격을 갖고 일어났음을 지시한다. 흑운모는 Alttotal 대 Mg/(Fe+Mg)와 Alttotal 대 Mg 관계도 등에서 동일 화강암질 마그마가 주변부에서 내측부로 분화한 경로를 보인다. 그리고 각섬석은 모두 마그네슘 각섬석에 해당된다.

이들 화강암류는 중성-산성암류서 칼크-알카리 계열에 속하며 주변부보다 내측부에서 다소 더 과알루미나화된다. 주원소성분의 관계도, AFM, Ba-Sr-Rb, K/Rb 대 Rb/Sr 및 여러 지구화학적 특성 등으로 미루어 이 암류는 비교적 고정된 근원성분의 점진적 용융으로 형

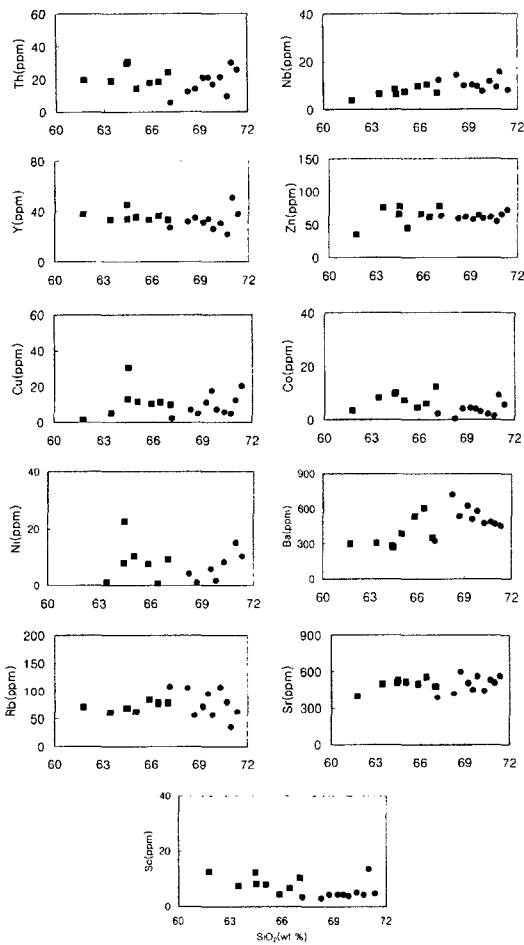


Fig. 10. Variation diagrams of the trace elements for the granites. Symbols as in Fig. 2.

성된 단일 화강암질 마그마기원의 분화산물이며 주변 부보다 내측부가 더 분화된 양상을 보인다.

이들 화강암류는 각섬석, 스펬을 수반하며 각섬석과 흑운모 내에 미립의 인회석이 함유된다. K_2O 대 Na_2O , Fe_2O_3 대 FeO 의 관계에서도 모두 I-형에 해당한다. (석영과 알칼리장석)에 대한 불투명광물의 관계에서는 대부분이, $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Fe^{2+})$ 는 Mgd와 Cgd가 각각 0.40과 0.49의 높은 값을 가져 모두 자철석계열에 속한다. 콘드라이트값으로 표준화한 대표시료는 경회토류에서 중회토류원으로 갈수록 점진적으로 뚜렷이 결핍되며, Eu은 미약한 부 이상을 보여 국내 대보화강암류와 대체로 일치하는 경향을 보인다.

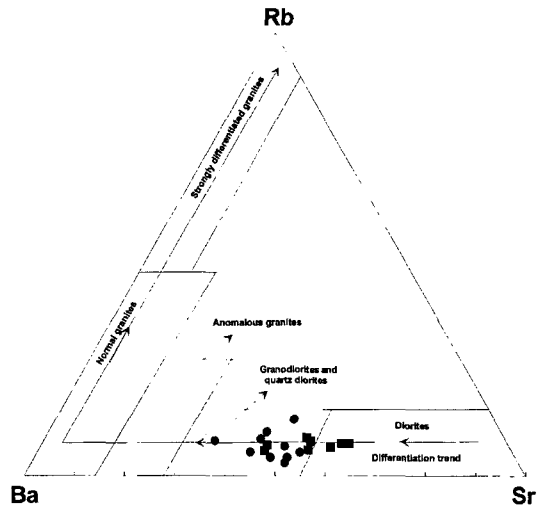


Fig. 11. Ba-Sr-Rb diagram for the granites (Bouseiley and Sokkary, 1975). Symbols as in Fig. 2.

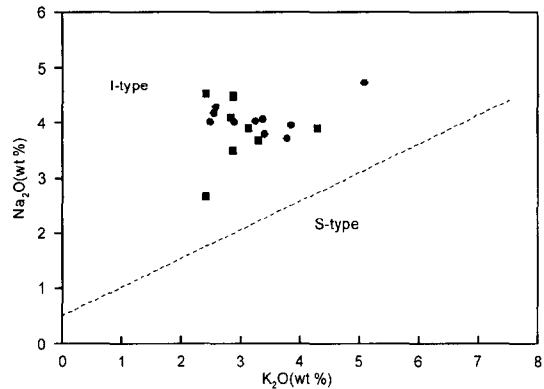


Fig. 12. K_2O - Na_2O diagram for the granites. Symbols as in Fig. 2.

사 사

논문 심사과정에서 여러 문제점을 자세히 지적하여 보다 좋은 연구결실을 맺도록 이끌어 준 지질자원연구원의 진명식 박사님과 익명의 심사위원님에게 깊은 감사를 드린다. 이 연구에 이용된 주원소, 미량원소와 희토류원소 분석, 그리고 K-Ar 연대측정에 수고해준 우리 연구원의 관계자 여러분에게 감사를 드린다. 그리고 전자현미분석의 기회를 준 고려대학교 전략광물연구센터에도 사의를 표한다.

Table 7. REE (ppm) composition of the representative granites.

| | 4 (Cgd) | | 16 (Mgd) | |
|----|---------|------------|----------|------------|
| | ppm | normalized | ppm | normalized |
| La | 33.4 | 91.01 | 33.6 | 91.55 |
| Ce | 64.8 | 67.71 | 66.4 | 69.38 |
| Pr | 6.69 | 48.83 | 6.93 | 50.58 |
| Nd | 27.7 | 38.96 | 28.5 | 40.08 |
| Sm | 4.73 | 20.48 | 4.78 | 20.69 |
| Eu | 1.11 | 12.76 | 0.948 | 10.90 |
| Gd | 3.65 | 11.93 | 3.92 | 12.81 |
| Tb | 0.77 | 13.28 | 0.874 | 15.07 |
| Dy | 3.1 | 9.06 | 3.77 | 11.02 |
| Ho | 0.549 | 6.45 | 0.748 | 8.79 |
| Er | 1.64 | 6.59 | 2.49 | 10.00 |
| Tm | 0.187 | 5.25 | 0.343 | 9.63 |
| Yb | 1.42 | 5.73 | 2.47 | 9.96 |
| Lu | 0.189 | 4.96 | 0.339 | 8.90 |

Chondrite values are from Taylor and McLennan (1985).

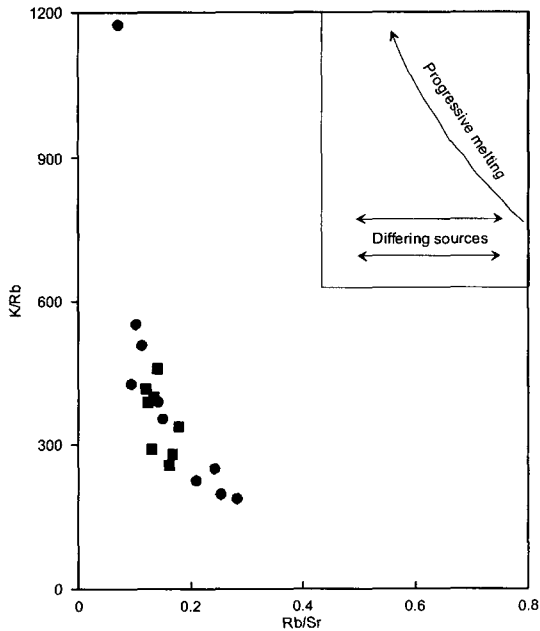


Fig. 13. Relation of K/Rb vs. Rb/Sr for the granites (Strong and Hanmer, 1976). Symbols as in Fig. 2.

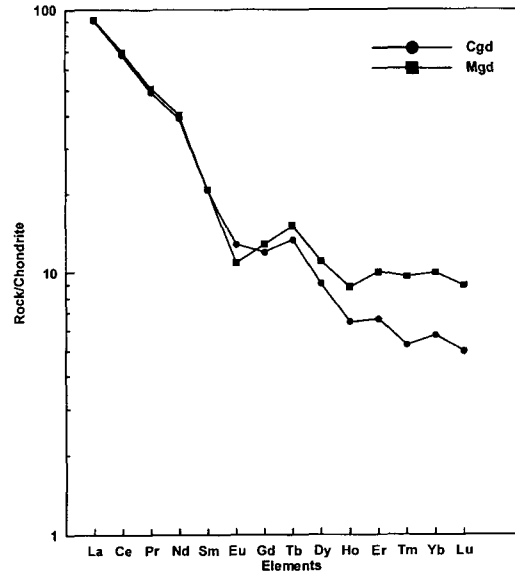


Fig. 14. Chondrite-normalized REE patterns for the representative samples from the granites. Chondrite values are from Taylor and McLennan (1985).

참고문헌

김규한, 1992, 남한의 일부 중생대 화강암류의 지구화학적 연구. 광산지질, 23, 435-446.
 김상욱, 양승녕, 이윤종, 1989, 김천도폭(1/5만). 한국동력자

원연구소, 22 p.
 김상욱, 이홍규, 1970, 지레도폭(1/5만). 국립지질조사소, 19 p.
 이대성, 유환수, 우영균, 김용준, 1989, 옥산동도폭 지질보고서. 24 p.
 윤현수, 김대업, 박석환, 1999, 옥천화강암의 지구화학적 특성. 암석학회지, 8, 81-91.

- 윤현수, 홍세선, 이운수, 2002, 포천-기산리 일대에 분포하는 유라기 대보화강암류의 암석 및 암석화학. 암석학회지, 11, 1-16.
- 정창희, 김상욱, 고인석, 김항목, 1989, 선산도폭 지질보고서(1/5만). 한국동력자원연구소, 26 p.
- 홍세선, 2001, 각섬석 지압계를 이용한 영남육괴내 화강암의 정치심도와 그 의미. 암석학회지, 10, 36-55.
- Batchelor, R.A. and Bowden, P., 1985, Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chem. Geol.*, 48, 43-55.
- Bouseiley, A.M.El. and Sokkary, A.A.El., 1975, The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks. *Chem. Geol.*, 16, 207-219.
- Chappell, B.W. and White, A.J.R., 1974, Two contrasting granite types. *Pacific Geol.*, 8, 173-174.
- Harrison, T.M., Dunkan, I. and McDougall, I., 1985, Diffusion of ^{40}Ar in biotite: Temperature, pressure and compositional effects. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49, 2461-2468.
- Harrison, T.M. and McDougall, I., 1980, Investigations of an intrusive contact, northwest Nelson, New Zealand-I. Thermal, chronological and isotopic constraints. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44, 1985-2003.
- Henderson, P., 1984, General geochemical properties and abundances of the rare earth elements. In: Henderson, P.(eds.), *Rare earth element geochemistry*. Elsevier, 1-29.
- Hine, I.S., Williams, I.S., Chappell, B.W. and White, A.J.R., 1978, Contrasts between I- and S-type granitoids of the Kosciusko batholith. *J. Geol. Soc. Aust.* 25, 219-234.
- Hong, Y.K., 1987, Geochemical characteristics of Precambrian, Jurassic and Cretaceous granites in Korea. *J. Korean Inst. Min. Geol.*, 20, 77-82.
- Hyndman, D.W., 1972, *Petrology of igneous and metamorphic rocks*. McGraw-Hill Book comp., 138-142.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A., 1971, A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, 8, 523-542.
- Ishihara, S., 1977, The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geol.*, 27, 293-305.
- Jin, M.-S., Lee, Y.S. and Ishihara, S., 2001, Granitoids and their magnetic susceptibility in South Korea. *Resource Geol.*, 51, 189-203.
- Leake, B.E., Woolley, A.R., Arps, C.E.S., Birch, W.D., Gilbert, M.C., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kato, A., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J.A., Maresch, W.V., Nickel, E.H., Rock, N.M.S., Schumacher, J.C., Smith, D.C., Stephenson, N.C.N., Ungaretti, L., Whittaker, E.J.W. and Youzhi, G., 1997, Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, commission on new minerals and mineral names. *Can. Min.*, 35, 219-246.
- Lee, C.L., Lee, Y.J. and Hayashi, M., 1990, Petrology of granites in the vicinity of Mt. Maegma-Unnam, southeast Kimchon, Korea. *J. Soc. Korea*, 26, 527-540.
- Lee, J.I., Jwa, Y.J., Kagami, H. and Uchiumi, S., 1997, New radiometric ages of the granitic rocks in the Yeongnam Massif(abstract). *Econ. Environ. Geol. Abstract with programs*, 30, 61-62.
- Odin, G.S., D. Curry, N.H., Gale, N.H. and Kennedy W.J., 1982, The phanerozoic time scale in 1981. In: Odin, G.S. (ed.), *Numerical dating in stratigraphy*. John Wiley, 2, 957-960.
- Nachit, H., Razafimalhefa, N., Stussi, J.M., Carron, J.P., 1985, Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoïdes. *C.R. Acad. Sci. Paris* 301 (11), 813-818.
- Palmer, A.R. 1983, The decade of North American geology. 1983 geological time scale. *Geol.*, 11, 505-504.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W. and Tindle, A.G., 1984, Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of the granitic rocks. *J. Petrol.*, 25, 956-983.
- Putman, G.W. and Burnham, C.W., 1963, Trace elements in igneous rocks, northeastern and central Arizona. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 27, 53-58.
- Schmidt, M.W., 1992, Amphibole composition in tonalites as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 110, 304-310.
- Strong, D.F. and Hanmer, S.K., 1976, The leucogranites of Southern Brittany: Origin by faulting, frictional heating, fluid flux and fractional melting. *Can. Min.*, 19, 163-176.
- Taylor, S.R., 1965, The application of trace element data to problems in petrology. *Physics and chemistry of the earth*, 6, 133-213.
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1985, *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell, Oxford, 312 p.
- Chappell, B.W. and White, A.J.R., 1974, Two contrasting granite types. *Pacific Geol.* 8, 173-174.
- White, A.J.R. and Chappell, B.W., 1983, Granitoid types and their distribution in the Lanchlan fold belt, southeastern Australia. *Geol. Soc. Amer. Memoir* 159, 21-34.

(2002년 8월 14일 접수; 2003년 1월 24일 채택)