

## 월출산지역에 분포하는 중생대 화강암류에 대한 암석화학적 연구

김정빈\* · 윤정환\*\* · 김정택\*\*\* · 박재봉\*\* · 강상원\*\* · 김동주\*

### Petrochemistry of Mesozoic Granites in Wolchulsan Area

Cheong-Bin Kim\*, Chung-Han Yoon\*\*, Jeong-Taek Kim\*\*\*,  
Jay-Bong Park\*\*, Sang-Won Kang\*\* and Dong-Ju Kim\*

**ABSTRACT :** The studied area is composed of Precambrian gneiss complex, middle Jurassic biotite granite, late Cretaceous sediments, volcanics and pink feldspar granite. Characteristic minerals of the biotite granite is plagioclase and hornblende whereas the pink feldspar granite is pink feldspar (perthite) and quartz. Plagioclase compositions of the biotite granite and the pink feldspar granite are oligoclase to calcic andesine ( $An_{18-44}$ ) and sodic albite ( $An_{65-50}$ ), respectively. In the variation diagrams of the Harker and normative Q-Or-Pl diagram, the biotite granite belongs to the category from granodiorite to granite, the pink feldspar granite from normal to late granite. The values of D.I. L.I. and alkalinity of the pink feldspar granite are higher than those of the biotite granite. While CaO is enriched in the biotite granite, K<sub>2</sub>O is enriched in the pink feldspar granite. The ratio of K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O which indicates the relative ratio of alkali is 1.06 in the pink feldspar granite, and 0.86 in the biotite granite. In A-M-F and N-C-K diagrams both these granites are plotted in peraluminous granite ( $Al_2O_3 > Na_2O + K_2O + CaO$ ) region, assigned to calc alkaline series and alkaline series respectively. Put into the form of A-C-F diagram, the biotite granite falls under I-type, and the pink feldspar granite S-type. On the base of whole rock ratios of  $Fe^{2+}/Fe^{2+}+Fe^{3+}$  and  $^{87}Sr/^{86}Sr$  for the granites in studied area, the biotite granite indicates ilmenite series (0.26) and S-type and/or contaminated I-type ( $0.72020 \pm 0.00050$ ), the pink feldspar granite magnetite series (0.44) and I-type ( $0.70826 \pm 0.00020$ ).

### 서 언

월출산 지역은 지구조적으로 육천 고지향사대와 영남육괴 지리산지구의 서남대가 접하는 협창한 광주-영동 함몰대의 하단 부분인 능주-해남분지의 해남지역에 해당한다. 능주-해남분지는 선캠브리아기의 변성편암류를 기반으로 선캠브리아기의 화강편암류, 시대미상의 변성퇴적암류와 평안계의 퇴적암류, 주라기부터 백악기말까지 대보화강암과 불국사화강암에 해당하는 두차례의 화강암체의 관입과 백악기 화산암류와 퇴적암류 등 복잡한 지질양상을 보여주고 있다. 연구지역은 월출산을 중심으로 영암군 남부지역과 강진군과 해남군의 일부 지역으로 선캠브리아기의 편암복합체를 기저로 중생대 주라기의 흑운모화강암, 백악기의 다양한 화산암류와 경상계 퇴적암류 그리고 홍색장석 화강암으로 구성된다. 연구지역에 대한 최초의 지질조사보고서는

해남도독(木野崎吉郎, 1929)을 필두로 연구지역의 남부나 서남부에 해당하는 우항리층을 중심으로한 퇴적암류에 대한 층서 및 지화학적인 연구(손진담외, 1980; 윤정환, 1975; 1977; 이대성, 1964; 이대성, 윤현수, 1979; 이대성, 이하영, 1976)와 유문암이나 응회암류와 관련된 비금속광상의 성인(김영희외, 1990; 박홍봉외, 1982; 1988; 문희수, 1975; 문희수외, 1991; 문희수, 송윤구, 1992; 신상은, 1988; 신상은, 박홍봉, 1990; 신상은외, 1991; 유장환, 1985; 이성록, 김문영, 1985; 전효택외, 1991; 정영욱, 전효택, 1990; Cho, 1990; Cho and Kim, 1989; Moon, etc., 1991) 및 광화작용과 화성활동의 시기(김용준외, 1990; 1991; 문희수외, 1990; Kim, 1991)에 대한 연구가 진행된 바 있으나 연구지역에 분포하는 화성암류에 대한 암석화학적인 연구(김용준외, 1993; 신인현, 1994; 양우석, 1991; 차문성, 윤성효, 1988)는 최근에야 몇몇 학자들에 의해 수행되었다. 본 연구는 월출산 지역에 분포하고 있는 중생대 화강암체에 대한 정밀야외조사, 구성광물의 특징과 상호관계 및 주성분원소 분석등을 통하여 마그마의 진화과정과 성인을 밝히는데 연구의 목적이 있다.

흑운모화강암과 홍색장석화강암에 대한 주성분원소 분석은 각 암체를 대표할 수 있는 신선한 시료를 채취하여 영국 런던 대학의

\*한국자원연구소(Korea Institute of Geology, Mining and Materials, Taejeon 305-343, Korea)

\*\*전남대학교 자원공학과(Dept. of Mineral and Petroleum Engineering, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea)

\*\*\*전남대학교 지질학과(Dept. of Geology, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea)

Table 1. Geologic sequence of Wolchulsan area.

Quat.	Alluvium
	~unconformity~
	Pink feldspar granite
	-intrusion-
Cret.	Andesite and Rhyolite
	-flow and intrusion-
	Huangsan tuff
	~unconformity~
Jura.	Biotite granite
	-intrusion-
Pre-C	Gneiss complex

J.N. Walsh 박사에 의해 ICP를 이용하여 각각 9시료씩 총 18시료에 대하여 실시하였다.

암석의 대자율은 Bison Instrument Magnetic Susceptibility Meter(Model 3101A)를 사용하여 조선대학교 자원공학과에서 측정하였으며 각 암체 마다 대표적인 3개의 시료에 대하여 2회씩 반복측정하여 그 평균값을 사용하였다.

### 지질 개요

연구지역의 지질은 선캄브리아기의 편마암복합체를 기저로 이를 관입하는 흑운모화강암, 상기 두 암층을 부정합의 관계로 덮는 백악기의 화산암류와 화산암질퇴적암류 그리고 상술한 모든 암층을 관입하는 홍색장석화강암으로 이루어져 있다 (Fig. 1; Table 1).

연구지역의 북동부에 분포하는 편마암복합체는 광주-영동 함몰대와 평행한 북동 (NE) 방향으로 연장 분포하는 변성퇴적암류와 화강암질편마암으로 구성되고 영암-성전 국도변에서 신선한 노출을 보인다. 변성퇴적암류는 월남 저수지부근에서 응회암에 의해 부정합으로 덮이고 화성리지역에서 홍색장석화강암에 의해 관입된다. 본 연구지역에서 관찰되는 편마암복합체는 지리산지역에서 관찰되는 편마암류와는 구성광물과 산상에서 현격한 차가 있으며 조직도 화강암질편마암 보다 편암이나 결정편암류에 가깝다. 편마암류는 화강암질편마암, 결정질편암, 흑운모편암, 견운모편암과 석회질규암으로 구성되며 이들의 편리의 개략적인 주향과 경사는 N10-20°E와 40-80°NW이다. 야외에서 결정질편암을 제외한 편암류는 유색광물의 함량에 차가 있지만 대체로 점이적인 관계를 보여준다 결정편암이나 화강암질편마암과의 관계는 분명치 않다.

화강암질편마암과 결정질편암의 주조성광물은 석영, 사장석, 흑운모, 백운모와 미사장석이고 부조성광물은 녹니석과 불투명 광물등이다. 석영은 2~5 mm의 크기를 갖고, 불합상 조직이나 파동소광을 갖는것이 흔히 관찰된다. 사장석은 알바이트 내지 페리클린 쌍정을 보임이 보통이나 쌍정이 나타나지 않은 결정도

흔히 관찰된다. 이들은 견운모화작용으로 심하게 변질되어 신선한 석영이나 미사장석과는 쉽게 구분된다. 흑운모나 백운모는 편마구조 방향을 따라 재결정되어 있으며 흑운모는 부분적으로 녹니석화 되었거나 저어콘이나 불투명광물을 포함한다. 석회질 규암은 전체적으로 규암질이 우세한 부분에서는 담색의 규암상을 보이거나 석회암질이 우세한 부분에서는 다량의 유색광물이 형성되어 대체로 어두운 색을 띠거나 국부적으로는 결정질석회암상을 보인다. 흑운모편암은 주로 흑운모로 구성된 유색광물과 석영과 장석으로 이루어진 담색광물이 뚜렷한 층상구조를 이룬다. 흑운모화강암은 가학산을 중심으로 연구지역의 남동부 지역에 분포하며, 암회색을 띠는 균질한 중립 내지 조립의 화강암질암으로 풍화를 많이 받아 대체로 낮고 완만한 지형을 보인다. 흑운모화강암은 홍색장석화강암에 의해 관입되고 백악기 응회암과 퇴적암류에 의해 부정합으로 덮이는 것을 고려하면 연구지역의 남부나 서남부로 더 연장 분포될것으로 사료된다. 김용준의 (1993)는 본암과 연구지역의 서남부지역에 분포하는 산이 화강암을 조직과 구성광물에 근거하여 광주화강암체의 연장으로 분류하였다. 흑운모화강암의 지질시대는 성전 남쪽 월각산 부근에서 채취한 시료의 K-Ar (흑운모) 연령이 144.8 ± 1.9 Ma (Kim, 1991)로 유라기 말기를 시사하나 암질과 구성광물등을 고려할때 남원화강암체 (U-Pb, zircon, 176 Ma)나 광주암체와 같이 유라기 중기로 사료된다 (Turek and Kim, 1994).

연구지역의 서부와 서북부 지역에 널리 분포하는 화산암류는 크게 응회암류와 용암류로 구성되어 있다. 응회암류는 해남층군에 속하는 황산응회암에 대비되는 암층으로서 우항리층을 정합으로 덮는다 (이대성, 이하영, 1976). 이 우항리층위에 놓이는 황산응회암은 최하위에 부석의 변질물인 녹색암편들을 다량 함유하는 유문암질의 녹색응회암과 상위로 올라갈수록 이들 녹색암편이 급속히 감소하며 바탕도 석영과 장석등을 반정으로 포함하는 반암상 그리고 최상위의 유동구조가 뚜렷하고 암색이 주로 녹색을 띄거나 회색을 띄는 유문암상으로 변해간다 (김종환외, 1990). 연구지역의 응회암상은 황산응회암의 최상위에 해당하는 유문암질응회암이 주류를 이루나 지역에 따라서 암질의 변화가 심하다. 연구지역의 서북부인 하은저산 부근에서는 담홍색이나 담백색 유문암이나 규장암질편이 우세한 유문규장암질응회암상을, 잠두리 부근에서는 유동구조가 우세한 담저색이나 저색의 유문암편을 함유한 유문암질응회암상을 보이며 삼호면 사창 저수지 부근에서는 유동구조가 거의 없고 암록색이나 암회색을 띠는 석영안산암과 안산암편을 다수 함유하는 안산암질응회암상을 보여준다. 유문암질응회암은 곳곳에서 얇고 유동구조가 보다 뚜렷한 회색 내지 녹색의 유문암류를 협재하며 이들 유문암류는 후기에 응회암류를 관입하는 맥색의 유문암맥이나 두꺼운 유문암질용암과 지질시대를 달리하는 것으로 생각된다. 유문암질응회암은 주로 유문암질 내지 유문석영안산암질 바탕에

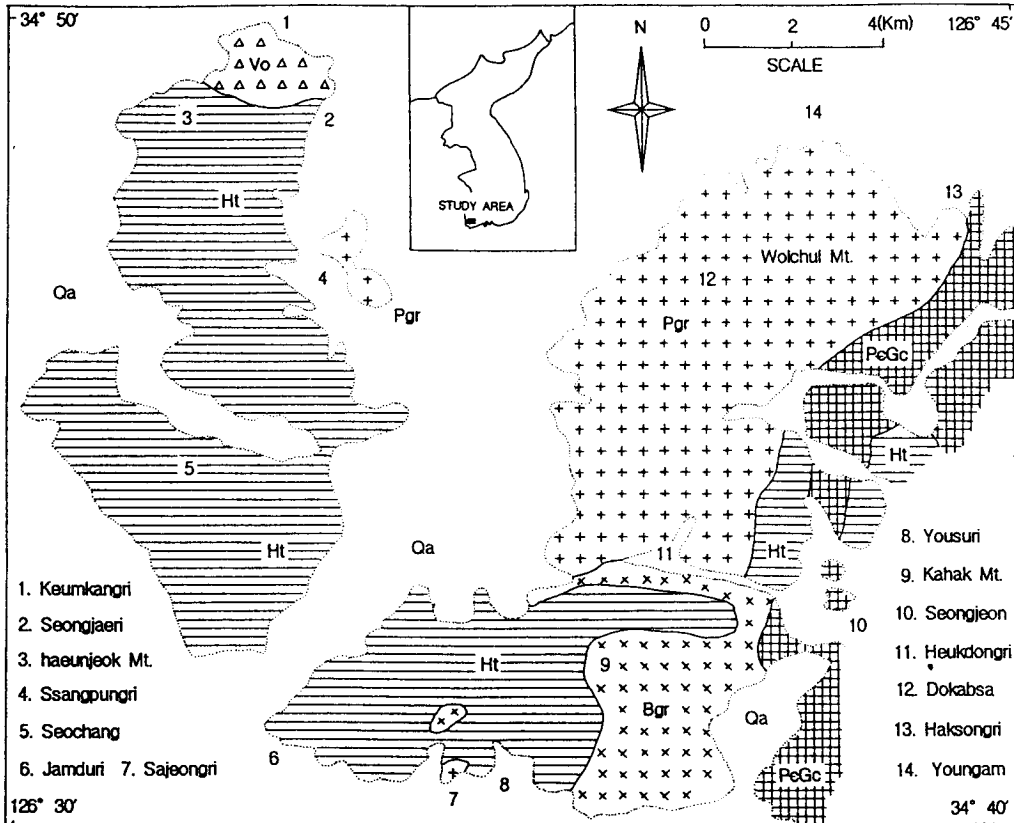


Fig. 1. Geologic map of the Wolchulsan area. PcGc; Precambrian gneiss complex, Bgr; Biotite granite, Ht; Huangsan tuff, Vo; Volcanics (andesite and rhyorite), Pgr; Pink feldspar granite, Qa; alluvium.

안산암, 유문암, 화강암과 스페룰라이트 (spherulite)의 암편이나 석영, 장석 등의 결정편이 포함된다. 유문암질이나 유문석영안산암질 바탕은 유동구조를 보임이 보통이나 부분적으로는 사장석과 석영이 반정으로 들어 있어 반상조직을 보이기도 한다. 또 바탕에는 유리질 부분이 얼마간 존재하며 드물게는 거의 유리질 바탕으로 되어 있어 진주암 조직 (pearlitic texture)이나 탈유리화 작용이 일어나 진주암 조직과 스페룰라이트질 조직 (spherulitic texture)을 같은 암석시료에서 보여주기도 한다 (김중환외, 1990). 현미경하에서 유문암질응회암은 바탕은 미립의 석영, 장석과 유리질 물질로 구성되어 입상조직을 보이는 경우와 석영이나 유리질 물질이 길게 늘어나거나 회고 연속성이 있는 유동구조나 용결구조를 이루는 경우를 볼 수 있으며 후자가 보다 우세하다. 또 반정이 포함된 부분은 반상조직을 보이기도 한다. 이런 바탕에 결정편이나 암편이 포함되어 유문암질응회암류를 구성한다. 주 조성광물은 석영, 사장석, 스페룰라이트, 운모, 불투명광물등이며, 부성분광물로는 저어콘, 휘석, 방해석등이다. 불투명광물은 후기에 광화작용을 받은 부분에서 급증하며 대부분은 황철석이 차지한다 (김중환외, 1990).

연구지역에 분포하는 용암류는 크게 안산암과 유문암으로 구성된다.

안산암은 연구지역의 서북부인 성재리와 금강리 구간에 직경이 약 2 km 내외로 분포하고 성재리에서 금강리로 넘어가는 고개에서는 현무암질안산암편과 화강섬록암편을 포획한다. 안산암은 응회암을 관입하는 구조와 피복하는 유동구조가 거의 동시에 관찰되기도하나 대체로 사장석과 휘석의 반정을 포함하며 암록색을 띤다. 또 쌍봉리 서편 관봉 남부 산록에는 본암이 맥상 관입암체로 다수 분포하며 편마암류와 응회암지역에서도 소규모의 맥상으로 자주 관찰된다.

유문암은 유문암질응회암 내에 협재되는 유동구조가 뚜렷한 암상과 반상 조직이 뚜렷하고 맥상이나 용암류로 비교적 넓은 지역을 덮는 암상이 나타나며 색깔은 주로 담색이나 황담색을 띤다. 전자는 수 m 정도의 두께를 가지는것이 보통이나 미암면 미암중학 동편에서는 비교적 두꺼운 암층이 나타난다. 후자는 이 연구 지역 북부 서호면 백운동 도로변에 나타나며 연구지역 북편인 덕음광산 방향으로 연장 분포한다 (김중환외, 1990). 유문암에 대한 지질시대는 연구지역의 서부에 해당하는 월강두에서

채취한 암석에 대해 K-Ar 전암법으로 시도되었으며  $79.6 \pm 3.2$  Ma로 백악기 말이다 (Kim, 1991).

홍색장석화강암은 연구지역의 중앙부인 월출산 지역을 중심으로 널리 분포하며 편마암류와 흑운모화강암 및 응회암을 관입한다. 홍색장석화강암은 담홍색을 띠는 조립질 화강암질암으로 경사면이 급격한 산악지형을 이루며 부분적으로 화강반암상을 보이거나 다량의 정동구조를 함유하는 등 전형적인 천부 관입암의 산상을 보인다. 본암의 지질시대는 월출산 부근에서 채취된 K-Ar 전암법으로 실시되었으며 그 연령은  $81.2 \pm 4$  Ma로 백악기 말이다 (Kim, 1991).

**화강암류에 대한 암석기재**

**흑운모화강암**

흑운모화강암은 흑석산 부근과 잠두리 서북해안에서 응회암류에 의해 부정합으로 덮히고, 성전면 당산리 지역에서 암주상이나 맥상 관입체로 출현하는 홍색장석화강암에 의해 관입된다. 흑운모화강암에 대한 모드 분석결과는 도날라이트에서 화강섬록암의 영역에 해당되며 카리장석은 각섬석의 비율이 증가하는 부분에서는 그 양이 감소하는 경향을 보인다 (양우석, 1991). 각섬석은 본암의 특징적인 광물중의 하나로 지역에 따라서 함량과 변질 정도의 차가 심하다.

흑운모화강암의 주요성광물은 사장석, 석영, 미사장석, 흑운모와 각섬석이고 부조성광물은 저어콘, 녹니석, 녹립석, 인회석과 갈럼석이다. 석영은 2~4 mm의 반자형 및 자형 결정으로 매우 신선하여 쉽게 구분되나 부분적으로 파동소광이나 재결정구조를 갖기도 한다. 사장석은 알바이트-칼스베트, 페리클린쌍정과 연속누대구조가 나타나며 그 성분은 올리고클레이스에서 calcic 안데신 ( $An_{18-44}$ )에 해당한다 (양우석, 1991). 사장석의 견운모화작용은 결정의 연변부 보다는 중심부에서 현저하며 이는 중심부가 연변부 보다 calcic하기 때문이다. 또 카리교대작용을 받은 곳에서는 미사장석에 의해 용식되어 카리장석에 둘러싸인 사장석과 흑운모가 섬과 바다의 조직을 보이거나, 미사장석과 인접한 부분에서 미르메카이트가 형성되기도 한다. 미사장석은 뚜렷한 격자상의 쌍정을 보이고 변질받은 흔적을 많이 함유하는 사장석에 비하면 대단히 신선하다. 흑운모는 적갈색의 다색성 ( $X'$ =담적갈색,  $Y'$ =적갈색,  $Z'$ =적갈색)을 띠며 녹니석으로 변질되거나 저어콘과 불투명광물을 포유하기도 한다. 각섬석은 1~4 mm 크기로 대체로 자형이나 반자형이며 녹색의 다색성 ( $X'$ =담록색,  $Y'$ =녹색,  $Z'$ =암록색)을 보인다. 상당수의 각섬석은 녹립석으로 변질되었거나 흑운모와 연정을 이룬다. 갈럼석은 녹립석과 수반하여 관찰되며 뚜렷한 누대구조를 보인다.

**홍색장석화강암**

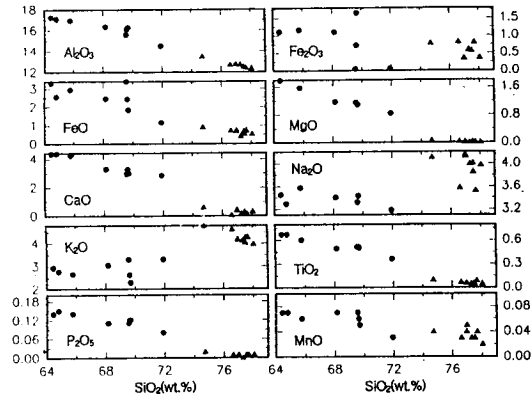


Fig. 2. Harker's diagrams for the granites in Wolchulsan area. full circle; Biotite granite, full triangle; Pink feldspar granite.

홍색장석화강암은 연구지역의 중앙부인 영암군 영암읍, 군서면, 강진군 성전면 일대에 널리 분포하며 정동구조를 함유한 중립 내지 조립질 화강암질암이다. 홍색장석화강암은 영암읍 학송리 도로변에서 흑운모 편암과 석회질규암을, 해남군 계곡면 여수리 뒷산에서는 흑운모화강암과 응회암류를 관입한다. 본암의 특징적인 광물은 홍색장석으로 석영과 함께 주조성광물이며 전체적으로 담홍색을 띠는 조립질화강암상이지만 확산면 흑동리와 쌍풍리 및 계곡면 사정리 부근에서는 부분적으로 화강반암상을 보인다. 본암에서 흔히 관찰되는 정동구조는 천부 화강암의 전형적인 특징중의 하나로 도갑사 부근에서 가장 빈번하게 관찰되며 정동내에 다수의 석영과 불투명광물이 자형이나 반자형으로 성장되어 있다.

홍색장석화강암의 주요성광물은 석영, 정장석, 퍼어다이트, 사장석과 흑운모이고 부조성광물은 불투명광물, 각섬석, 견운모와 인회석등이다. 석영은 2~6 mm의 크기로 반자형 내지 타형인 것과 2 mm 이하이며 자형 내지 반자형으로 정동구조의 공간에서 성장한 두가지가 관찰된다. 사장석은 알바이트나 알바이트-칼스베트 쌍정을 보이고 견운모화작용이나 고능석화작용으로 심하게 변질되었으며 자형이나 반자형이다. 사장석의 성분은 Sodic 알바이트 ( $An_{0.5-5.0}$ )에 해당된다 (양우석, 1991). 정장석과 퍼어다이트는 뚜렷한 칼스베트 쌍정을 보이며 심하게 변질되어 있고 때때로 엔티 퍼어다이트나 메조 퍼어다이트도 관찰된다. 흑운모는 녹니석화작용으로 심하게 변질을 되었으며 벽개면을 따라서 불투명광물이 산재되기도 한다. 각섬석은 녹색의 다색성 ( $X'$ =담록색,  $Y'$ =녹색,  $Z'$ =녹갈색)을 가지며 반자형 내지 자형으로 관찰되나 대부분이 심하게 변질되어 있고 그 함량도 소량이며 일부 지역에서만 발견된다. 녹립석은 흑운모내에서 녹니석과 수반되어 나타나며 때로는 맥상의 방해석에 의해 관통된다. 불투명광물은 정동구조내에서 자형이나 반자형으로 결정화되거나

Table 2. Chemical analyses and their C.I.P.W. norm of Mesozoic granites in Wolchulsan area.

	Biotite granite											Pink feldspar granite										
	YS-1	YS-21	YS-22	YS-23	YS-24	YS-25	YS-26	YS-27	YS-28	YS-9	YS-11	YS-12	YS-15	YS-16	YS-17	YS-18	YS-19	YS-20				
SiO <sub>2</sub>	73.68	58.51	68.16	69.63	69.56	69.69	65.76	64.81	64.44	77.68	76.62	74.72	77.53	77.51	77.00	76.98	78.05	77.30				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.49	19.14	16.32	16.08	15.56	16.24	16.95	17.11	17.25	12.44	12.72	13.51	12.51	12.56	12.74	12.75	12.37	12.73				
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05	5.22	1.10	0.72	0.04	1.65	1.16	2.10	1.11	0.81	0.82	0.79	0.56	0.35	0.57	0.36	0.37	0.60				
FeO	1.16	0.58	2.44	2.41	3.38	1.83	2.93	2.55	3.30	0.74	0.73	0.93	0.55	0.71	0.75	0.70	0.54	0.42				
MgO	0.84	2.94	1.16	1.10	1.14	1.08	1.57	1.83	1.78	0.02	0.03	0.06	0.02	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01				
CaO	2.83	6.74	3.29	3.26	2.95	3.00	4.24	4.37	4.35	0.15	0.07	0.62	0.26	0.30	0.42	0.42	0.32	0.19				
Na <sub>2</sub> O	3.18	2.97	3.40	3.32	3.09	3.43	3.57	3.29	3.45	3.53	3.58	4.11	3.86	4.01	4.13	4.16	3.98	4.00				
K <sub>2</sub> O	3.30	2.43	3.05	2.63	3.29	2.29	2.65	2.77	2.94	4.29	4.64	4.80	4.30	4.05	4.18	4.19	3.98	4.13				
TiO <sub>2</sub>	0.36	0.78	0.49	0.51	0.51	0.50	0.60	0.67	0.67	0.09	0.07	0.10	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05				
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08	0.18	0.11	0.12	0.11	0.12	0.14	0.15	0.14	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00				
MnO	0.03	0.09	0.07	0.06	0.07	0.05	0.06	0.07	0.07	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.05	0.04	0.02	0.02				
Total	99.62	99.53	99.59	99.84	99.62	99.80	99.60	99.72	99.51	99.80	99.43	99.72	99.68	99.83	99.77	99.68	99.70	99.46				
Q	34.79	14.49	27.31	30.70	29.11	32.82	22.59	22.80	20.13	40.24	37.94	30.92	38.42	37.86	35.87	35.72	39.00	38.27				
C	0.74	0.00	1.71	2.12	1.83	2.95	0.84	1.13	0.82	1.74	1.53	0.45	1.07	1.07	0.69	0.63	0.96	1.35				
Or	19.48	14.36	18.04	15.53	19.43	13.53	15.64	16.37	17.37	25.33	27.45	28.39	25.39	23.94	24.72	24.77	23.55	24.38				
An	13.49	31.97	15.58	15.41	13.88	14.13	20.12	20.64	20.67	0.67	0.75	3.00	1.20	1.39	2.00	2.00	1.50	0.95				
Ab	26.91	24.65	28.97	28.11	26.17	29.00	30.21	27.85	29.21	29.90	30.31	34.77	32.68	33.93	34.93	35.19	33.67	33.83				
DfDI	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
DfHD	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
HyEn	2.09	7.27	2.89	2.74	2.84	2.69	3.92	4.56	4.44	0.05	0.07	0.12	0.05	0.05	0.07	0.02	0.02	0.02				
HyFs	1.54	0.00	2.90	3.09	5.45	1.27	3.54	1.97	4.16	0.62	0.61	0.96	0.53	0.78	1.07	0.99	0.65	0.24				
Mt	0.07	0.00	1.60	1.04	0.07	2.38	1.69	3.06	1.62	1.18	1.18	1.13	0.81	0.83	0.51	0.53	0.53	0.88				
Il	0.68	1.43	0.93	0.97	0.97	0.96	1.14	1.27	1.27	0.17	0.14	0.20	0.09	0.12	0.12	0.12	0.09	0.09				
Hm	0.00	5.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
Ap	0.20	0.44	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.34	0.37	0.34	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.00				
D.L.	81.88	53.50	74.14	74.34	74.71	75.35	68.44	67.02	66.71	95.47	95.70	94.08	96.49	95.73	95.52	95.68	96.22	96.48				
L.I.	22.98	6.61	17.92	18.40	19.07	18.00	14.79	13.62	14.05	28.50	28.62	27.42	28.95	28.34	28.39	28.44	28.86	28.86				
Alk.	2.20	1.52	1.98	1.89	2.05	1.85	1.83	1.79	1.84	4.28	4.52	4.41	4.54	4.36	4.43	4.46	4.37	4.39				

흑운모나 각섬석내에 포함되어 관찰되나 소량이다.

**화강암류에 대한 주성분 원소**

흑운모화강암과 홍색장석화강암에 대한 주성분 원소의 분석치, CIPW norm 값, 분화지수 (D.I), 라센지수 (L.I) 및 Alkalinity 등은 Table 2에, Harker (1909) 변화도는 Fig. 2와 같다. 연구지역의 화강암류가 연장 분포하거나 구성광물과 산상 및 지질시대가 거의 일치하는 광주지역의 주라기 화강암류인 광주화강암체 (김용준외, 1990; 1993)는 연구지역의 흑운모화강암과, 해남 두륜산 지역 (대홍사 부근)에 분포하는 백악기말의 미문상화강암 (신인현, 1994)과 연구지역의 홍색장석화강암과 암석화학적 대비를 시도하였다.

**SiO<sub>2</sub>와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

홍색장석화강암과 흑운모화강암의 SiO<sub>2</sub> 함량 범위는 각각 74.72~78.05, 64.44~73.68 wt.%로 홍색장석화강암이 화강암의 분화중기에서 말기에 해당하고 흑운모화강암은 화강섬록암의 말기에서 화강암의 초기 영역에 속한다. 그러나 SiO<sub>2</sub>의 평균함량은 각각 77.04 wt.%, 66.95 wt.%로 산성암 영역에 속한다 (Hyndman, 1972).

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 흑운모화강암이 14.49~17.25 wt.% (평균 16.25 wt.%) 범위를, 홍색장석화강암은 12.37~12.70 wt.% (평균 12.70 wt.%)를 보이며 SiO<sub>2</sub>가 증가함에 따라 흑운모화강암에서는 뚜렷이 감소하고 홍색장석화강암에서는 일정하다가 약간 감소하는 경향을 보여 준다. 본 화강암류와 암질과 지질시대가 유사한 광주화강암과 미문상화강암에서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 평균 함량은 전자가 14.48 wt.%, 후자가 14.28 wt.%로 화강암의 평균값 (14.55 wt.%)과 거의 일치하며 흑운모화강암은 광주화강암 보다 다소 부화되었으나 홍색장석화강암은 미문상화강암 보다 낮은 값을 갖는다 (Vinogradov, 1962).

**CaO와 알칼리**

CaO는 흑운모화강암에 부화되어 있고 (평균 3.54 wt.%), K<sub>2</sub>O는 홍색장석화강암에 부화 (평균 4.28 wt.%)된 값을 보인다. 흑운모화강암에서 CaO는 SiO<sub>2</sub>가 증가함에 따라 감소하는 부(-)의 상관관계를 보이고 K<sub>2</sub>O는 SiO<sub>2</sub>가 66 wt.%까지는 감소하다가 그 이상에서 72 wt.%까지 대체로 증가한다. 홍색장석화강암에서 CaO의 평균값은 0.31 wt.%로 화강암의 평균값 2.21 wt.%에 비해 크게 낮은 값을 보이나 K<sub>2</sub>O의 값은 화강암의 평균값 (4.02 wt.%)에 근접한다 (Vinogradov, 1962). Na<sub>2</sub>O는 흑운모화강암이 강암의 평균 (3.71 wt.%) 보다는 다소 결여된 값을 보이나 홍색장석화강암은 약간 부화된 값을 보인다 (Vinogradov, 1962). 알칼리에서 K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O의 상대적인 비는 흑운모화강암이 0.86으

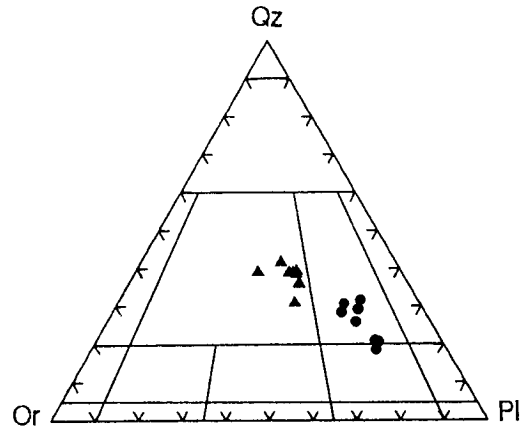


Fig. 3. Triangular diagrams of normative Qz-Or-Pl for the in Wolchulsan area. Symbols are the same as those in Fig. 2.

로 Na<sub>2</sub>O가 상대적으로 부화되어 있고, 홍색장석화강암은 1.09로 거의 같은 구성비율을 보인다. 연구지역의 화강암류와 광주화강암 및 미문상화강암의 K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 값들과 비교하면 광주화강암이 1.17 그리고 미문상화강암이 1.03으로 흑운모화강암은 광주화강암 보다 더 낮은 값을 보이나 홍색장석화강암과 미문상화강암은 거의 거의 일치한다. 이는 흑운모화강암 (평균 2.87 wt.%)이 K<sub>2</sub>O의 함량에서 광주화강암 (평균 3.61 wt.%) 보다 상대적으로 더 결여된 것에 기인하며 마그마 관입시 다량의 카리를 공급했던 암석이 연구지역 보다 광주지역에 분포했던지 아니면 마그마의 분화가 진행되는 동안 차별적인 카리의 농집이 광주화강암체 지역에서 집중적으로 수반되었을 가능성을 시사한다.

**철·마그네슘계열원소와 TiO<sub>2</sub>**

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 SiO<sub>2</sub>가 증가할때 흑운모화강암에서는 대체로 감소하나 홍색장석화강암에서는 거의 변화가 없다. 흑운모화강암에서 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 평균함량은 0.99 wt.%로 광주화강암의 평균치 (0.86 wt.%)와 거의 일치하나 미문상화강암의 평균치는 1.60 wt.%로 홍색장석화강암의 평균치 (0.58 wt.%)에 3배 정도 부화된 함량을 갖는다. FeO는 SiO<sub>2</sub>가 증가함에 따라 흑운모화강암에서 뚜렷이 감소하는 부(-)의 관계를 보이거나 홍색장석화강암에서는 대체로 완만하게 감소한다. MgO와 TiO<sub>2</sub> 및 MnO는 흑운모화강암에서 SiO<sub>2</sub>의 함량이 증가하면 함량이 감소하는 부(-)의 관계를 보이거나 홍색장석화강암에서는 거의 일정한 값을 갖거나 불규칙한 변화를 보인다. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 흑운모화강암에서 SiO<sub>2</sub>의 함량이 증가하면서 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 함량이 감소하는 부(-)의 상관관계를 보이거나 홍색장석화강암에서는 거의 변화가 없다.

마그마의 분화정도를 지시하는 마그마 분화지수 (Differentiated index)와 라센지수 (Larsen index)는 홍색장석화강암이 94.08~96.22, 27.42~28.95로 화강암의 분화말기를, 흑운모화강

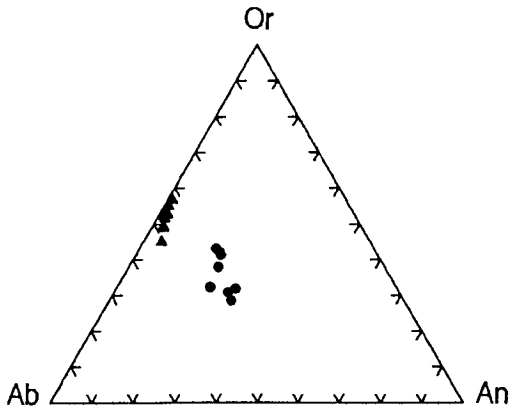


Fig. 4. Triangular diagrams of normative Or-Ab-An for the granites in Wolchulsan area. Symbols are the same as those in Fig. 2.

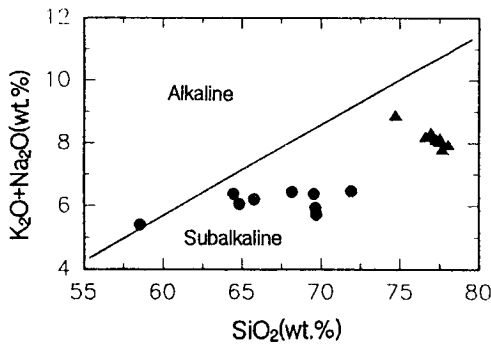


Fig. 5. K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O versus SiO<sub>2</sub> diagrams for the granites in Wolchulsan area. Symbols are the same as those in Fig. 2.

암이 67.02~81.18, 14.05~22.98로 화강섬록암에서 화강암의 영역에 속한다. 알칼리값 (alkalinity)은 흑운모화강암과 홍색장석화강암이 각각 1.52~2.20와 4.28~4.54로 홍색장석화강암이 분화가 더 진행된 마그마의 산물임을 시사한다.

노름값의 석영-정장석-사장석 (이하 Q-Or-Pl)의 삼각도 (Fig. 3)에서 흑운모화강암은 몬조니 섬록암에서 화강섬록암의 영역에, 홍색장석화강암은 화강암영역에 해당된다. 장석의 상대적인 성분을 알아보기 위해 노름값의 정장석-조장석-회장석 (이하 Or-Ab-An)의 삼각도 (Fig. 4)에서 흑운모화강암은 정장석과 조장석 및 회장석의 구성 비율이 거의 같은 함량을 보이지만 홍색장석화강암은 회장석은 결여되고 정장석과 조장석이 4:6의 비율에 집중된다.

**화강암류에 대한 고찰**

**마그마의 특성**

화학조성을 바탕으로 본역의 화강암류를 생성시킨 마그마의

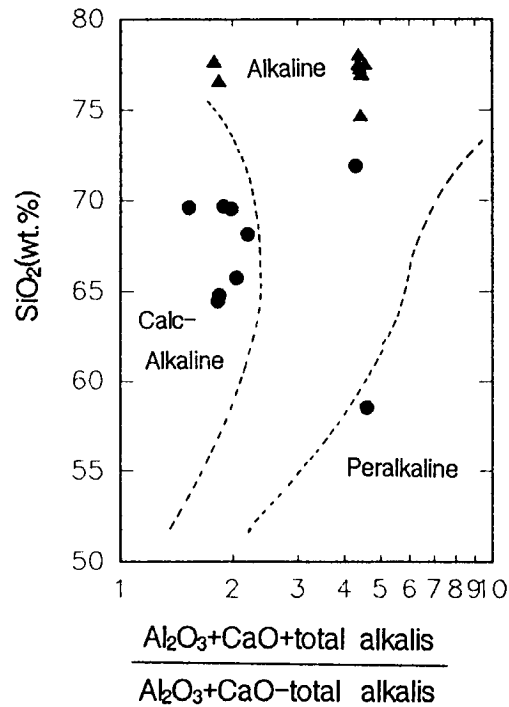


Fig. 6. SiO<sub>2</sub> versus Log alkalinity ratio diagrams for the granites in Wolchulsan area. Symbols are the same as those in Fig. 2.

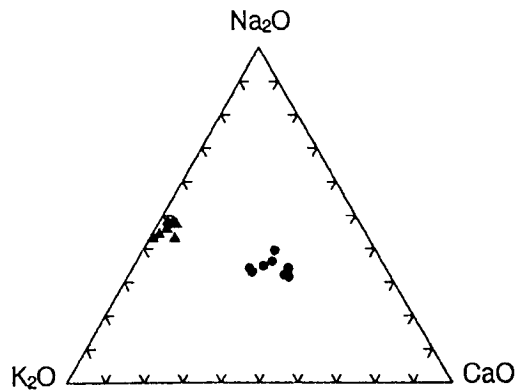


Fig. 7. Triangular diagrams of Na<sub>2</sub>O-CaO-K<sub>2</sub>O for the granites in Wolchulsan area. Symbols are the same as those in Fig. 2.

특징을 알아보기 위해 Irvine과 Barager (1971)에 의하여 제시된 SiO<sub>2</sub>대 Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O의 상관관계 (Fig. 5)에 점시해보면 흑운모화강암과 홍색장석화강암은 subalkaline 에 도시된다. SiO<sub>2</sub>대 알칼리도 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+CaO+alkali)/(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+CaO-alkali)에 의하면 흑운모화강암은 칼크 알카라인 영역에, 홍색장석화강암은 알카라인 범주에 점시된다 (Fig. 6). Na<sub>2</sub>O-CaO-K<sub>2</sub>O의 삼각도 (Fig. 7)에서

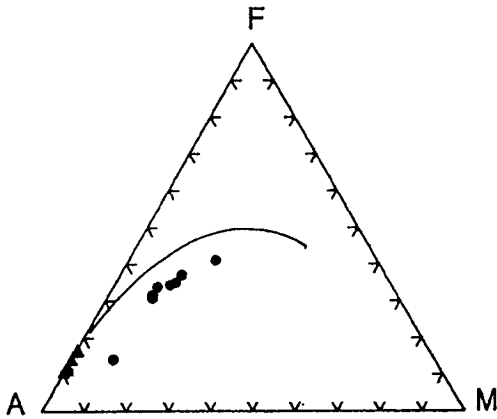


Fig. 8. Triangular diagrams of A-M-F for the granites in Woichulsan area. Symbols are the same as those in Fig. 2.

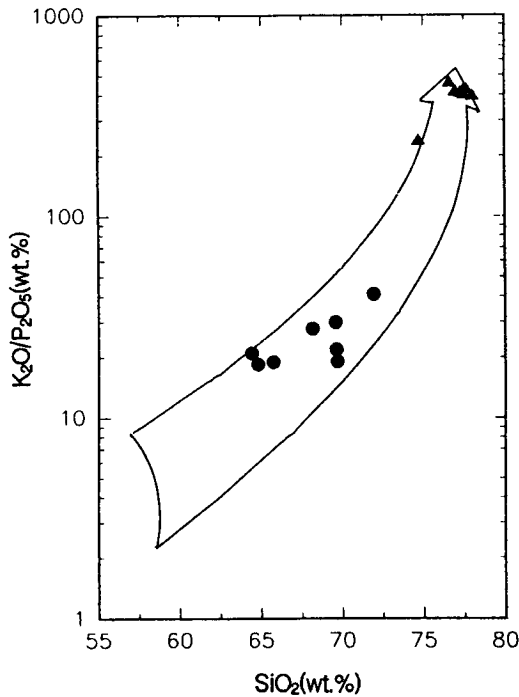


Fig. 9.  $K_2O/P_2O_5$  versus  $SiO_2$  diagrams for the granites in Woichulsan area. Symbols are the same as those in Fig. 2.

거의 50 : 50인 선상을 향하여 점시되는 전형적인 칼크 알칼리 계열의 분화를 보이며 이와 같은 분화경향은 연구지역 뿐만 아니라 공주-대전지역에 분포하는 중생대 화강암질암류와 광주화강암 그리고 순창지역의 염리상화강암류에서도 일치된 경향을 보여준다 (권치순, 1987; 김용준외, 1990; 1991; 1993; 김정빈, 1990; 김정빈, 김용준, 1990). 반면에 홍색장석화강암은 상대적

으로 CaO가 결여되고  $Na_2O-K_2O$  선면의 중간부분에 밀집된다.  $(K_2O+Na_2O)-MgO-FeO$  (t) 삼각도 (이하 A-M-F)에서 본역의 화강암류는 칼크 알칼리 계열에 속하고 (Fig. 8), Shand (1943)에 의해서 제안된 peraluminous ( $Al_2O_3+Na_2O+K_2O+CaO$ ) 화강암에 해당한다.  $K_2O/P_2O_5$  대  $SiO_2$  상관도는 홍색장석화강암이 흑운모화강암보다 분화가 더 진행된 산물이며 대체로  $SiO_2$ 가 증가할수록  $K_2O/P_2O_5$ 의 비율이 증가하는 정상적인 분화경향을 보여준다 (Fig. 9).

**마그마의 유형과 지구조적 환경**

최근에는 화강암질암류의 근원물질이 화성기원 또는 퇴적기원 인가에 따라 마그마의 유형을 구분하고 조산대의 화성활동과 이에 관련된 광화작용 및 암석성인 해석을 시도하고 있다 (박미령, 김규한, 1982; Chappell and White, 1974; Czamanske *et al.*, 1981; Hine *et al.*, 1978; Hong, 1984; Tsusue and Ishihara, 1974; Ishihara, 1977). Chappell과 White (1974)는 화강암류를 야의산출상태, 광물학적 및 암석화학적 차이로 근거하여 I-type과 S-type으로 구분하였으며 Tsusue와 Ishihara (1974)는 일본에 있는 화강암질암류의  $Fe^{+3}/Fe^{+2}+Fe^{+3}$ 비와 FeO (t)양을 조사하여 자철석계열과 티탄철석계열로, Ishihara와 Takenouch (1980)은 화강암질암류의 대자율값이  $100 \times 10^{-6} emu/g$  이상일때 자철석계열, 그리고 그 이하의 값을 가질때 티탄철석계열의 화강암으로 구분하고 일반적으로 자철석계열의 화강암류는 티탄철석계열의 화강암류 보다 산소 휴가시기가 더 높은 환경에서 형성되었다고 하였다. 또 S-type의 화강암류는 티탄철석계열의 화강암류와 거의 일치하나 I-type의 화강암류는 자철석계열과 티탄철석계열 (오염된 I-type)로 구분되며 I-type에서 티탄철석계열을 보이는 경우는 마그마가 기반암에 함유된 흑연, 석탄, 흑색세일, 변성니질암 등 환원물질에 의해 오염되어 낮은 산화 환경에서 결정화가 진행되고 결과적으로 티탄철석계열이 되었을 가능성이 있다 (조동룡, 1994). 연구지역 화강암류의 전암분석치에 대한  $Fe^{+3}/Fe^{+2}+Fe^{+3}$  비의 평균은 흑운모화강암이 0.26, 홍색장석화강암이 0.44로 홍색장석화강암은 자철석계열에, 흑운모화강암은 티탄철석계열의 값을 보여준다. 남한에 분포하는 대보화강암과 경상분지내에 분포하는 백악기 화강암의  $Fe^{+3}/Fe^{+2}+Fe^{+3}$  비는 0.38과 0.30에서 최빈값을 보여주며 (박미령, 김규한, 1982) 흑운모화강암은 대보화강암 보다 낮은값을 보이나 홍색장석화강암은 경상분지내의 백악기 화강암 보다 더 높은값을 보여준다.

화강암류의 전암에 대한 대자율 측정값은 흑운모화강암과 홍색장석화강암이 각각  $0.67-0.73 \times 10^{-6} emu/g$  (평균은  $0.69 \times 10^{-6} emu/g$ )와  $0.43-5.36 \times 10^{-6} emu/g$  (평균은  $2.43 \times 10^{-6} emu/g$ ) 구간으로 티탄철석계열의 범주에 해당한다. A-C-F 삼각도에서 연구지역의 홍색장석화강암이 S-type에 도시되며 흑



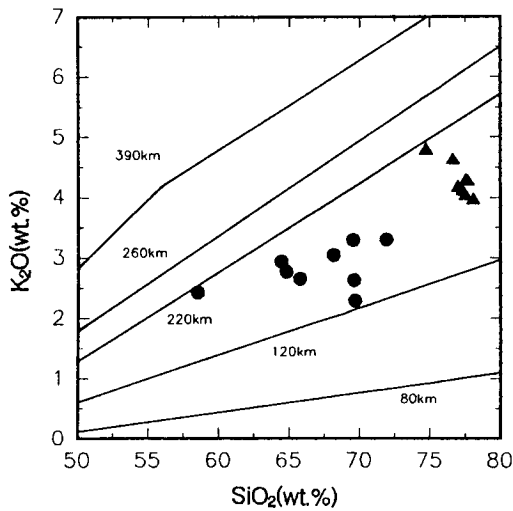


Fig. 10. K<sub>2</sub>O versus SiO<sub>2</sub> diagrams for the granites in Wolchulsan area. Symbols are the same as those in Fig. 2.

운모화강암은 I-type과 S-type의 경계면에 밀집되나 대체로 I-type에 점시된다 (Fig. 10). Shimazaki 와 Lee (1981)는 90%의 주라기 화강암과 80%의 불국사 화강암이 A-C-F 삼각도에서 I-type에 점시되며 양자가 I-type에 속한다고 하였으나 Jin (1980)은 대보화강암은 S-type에, 불국사 화강암은 I-type에 해당한다고 하였다. 노름값에서 계산된 강옥의 함량은 흑운모화강암에서 1.51, 홍색장석화강암이 1.05로 홍색장석화강암이 거의 1.0에 가까운 값을 보이며 흑운모화강암은 정상적인 화강암보다 (1.0 wt.% 이하) 다소 높은 값을 갖는다. 이는 흑운모화강암의 마그마가 정치 분화하는 동안 니질기원의 변성암이나 퇴적암으로부터 알루미늄을 공급받았다는 해석 '보다는 K<sub>2</sub>O 함량이 대보화강암의 평균값 3.85 wt.% (박미령, 김규환, 1982)에 비교하면 약 1% 가량 낮은 값으로 잉여의 알루미늄이 강옥으로 계산된 것으로 사료된다.

<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 초생값은 본역에서 연장 분포 하거나 암질과 구성광물 및 산상이 유사한 광주화강암체와 백악기의 미문상화강암체 (대홍사 부근)에서 측정되었으며 그 값은 광주화강암이 0.72020 ± 0.00050, 미문상화강암이 0.70826 ± 0.00020 이다 (신인현, 1994; 주승환, 지세정, 1990). 위의 값들은 정상적인 맨틀기원의 화성암류 보다는 다소 높은 값으로 미문상화강암은 지각물질이 약간 혼화되었으나 대체로 화성기원으로 해석이 가능하다. 반면에 흑운모화강암의 연장암체인 광주화강암체는 하부 지각물질이 재용용되어 형성되었던지 아니면 마그마가 분화하는 동안 다량의 <sup>87</sup>Sr을 포함하는 고기의 변성퇴적암류에 의해 혼화되었 것으로 사료된다. 광주화강암체는 순창염리상화강암체나 남원화강암체의 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 초생값 (0.7163 ± 0.0002와 0.7186 ± 0.0004) 처럼

높은 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 초생값으로 맨틀에서 기원한 정상적인 화강암 보다는 하부지각물질이 재용용되었거나 다량의 <sup>87</sup>Sr을 함유한 오래된 지각물질에 의해 혼화되었을 가능성이 있으나 자료의 신뢰도를 높이기 위해서는 마그마의 분화에 따른 다양한 암상의 변화를 반영할 수 있는 더 많은 자료의 축적이 바람직하다고 생각된다 (주승환, 1986). 위에서 마그마의 유형을 판단하는데 사용했던 A-C-F 삼각도와 전암에 대한 대자를 측정치는 다른 값들과 비교할때 다소 거리가 있거나 값이 매우 낮아 연구지역의 화강암류에 적용하기는 다소 문제점이 있으나 Fe<sup>-3</sup>/Fe<sup>+2</sup>+Fe<sup>+3</sup> 비와 강옥의 함량 및 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 초생값은 적용이 가능하다고 사료된다. 야외산상에서 홍색장석화강암은 정동구조를 함유하고 근소하게 지질시대가 오래된 응회암과 안산암 및 퇴적암류를 관입하거나 포획하는 등 천부관입암상을 보이고 흑운모화강암은 부분적으로 약한 편마구조를 갖거나 운모편암 및 화강암질편암을 관입하거나 포획하는 것으로 보아 홍색장석화강암 보다 더 깊은곳에서 고결된 특징을 보여준다. 연구지역의 흑운모화강암과 Chappell과 White (1974)가 제시한 오스트렐리아의 S-type 화강암과는 구성광물이나 산상에서 현저한 차가 있다. 특히 흑운모화강암은 S-type 화강암에서 흔하게 출현하는 백운모, 코디에라이트나 석류석등과 같은 광물이 전혀 출현하지않고 주위의 변성퇴적암류들과도 선명한 경계면이 관찰되며 오히려 I-type의 화강암에서 산출되는 각섬석과 스펀들이 관찰되는 것으로 보아 퇴적기원의 마그마 보다 지각물질이 비교적 심하게 혼화된 화성기원의 마그마로 부터 형성된 화강암으로 사료되나 S-type일 가능성을 완전히 배제할 수는 없다. 연구지역과 지질시대와 구성광물 및 산상이 비슷한 남원화강암과 순창염리상화강암류가 정상적인 화강암질 마그마 보다 하부 지각물질의 재용용으로 형성된 마그마의 분화 산물로 해석하고 있는점도 주목된다 (Turek and Kim, 1994). 본역에 분포하는 화강암류가 한반도에서 가장 활발했던 화성활동들의 산물이며 홍색장석화강암은 연구지역에 널리 분포하는 응회암, 안산암과 유문암등 화산활동과 일연의 연관성을 갖는 화성활동의 산물로 그 분포도 암주상이지만 흑운모화강암은 마그마가 형성된후 정지한 깊이에서 많이 상승하지 못하고 심부에서 고온의 상태로 천천히 냉각되는 저반상의 특징을 보이는등 마그마의 진화양상에서도 홍색장석화강암과 흑운모화강암은 차이가 있다. 특히 흑운모화강암은 한반도의 대표적인 지구조운동의 하나인 대보 조산운동과 밀접한 관련이 있는 화성활동의 산물인 것을 감안할때 홍색장석화강암에 비하여 장시간 지하심부에서 정치 고결되는 동안 주변암에 의한 유입 내지 혼화는 거의 필연적이라고 생각되며 어느 물질이 마그마의 주류를 이루었느냐는 판단은 하부지각의 재용용 상태에서도 거동에 거의 변화가 없거나 미미한 회토류원소나 퇴적암류와 화성암류에서 함량의 차이를 보여주는 미량성분 원소에 대한 연구가 수행되는 것이 바람직 하다고 사료된다.

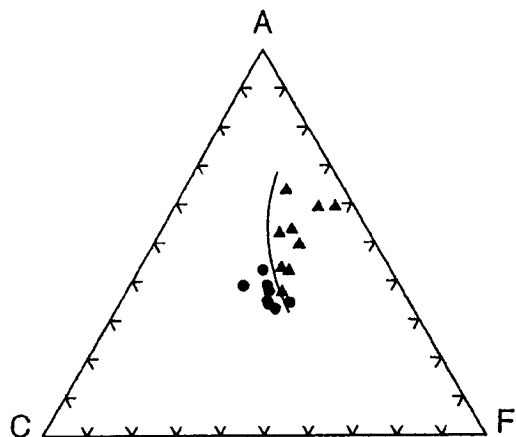


Fig. 11. Triangular diagrams of A-C-F for the granites in Woichulsan area. Symbols are the same as those in Fig. 2.

결론

월출산 지역에 분포하는 화강암류에 대한 암석학적 및 암석 화학적인 결론은 다음과 같다.

(1) 연구지역은 선캄브리아기의 편마암복합체를 기저로 이를 관입하는 중생대 주라기의 흑운모화강암과 이를 부정합으로 덮는 백악기의 화산암류 및 상기의 모든 암석을 관입하는 홍색장석화강암으로 구분된다.

(2) 화강암류중 흑운모화강암의 특징적인 광물은 사장석과 각섬석이고 홍색장석화강암의 특징적인 광물은 퍼어다이트와 석영이다. 사장석 성분은 흑운모화강암이 올리고클레이스에서 calcic 안데신 (An<sub>18-44</sub>)의 범위이고 홍색장석화강암이 sodic 알바이트 (An<sub>05-50</sub>)에 해당한다.

(3) Harker 변화도, 마그마의 분화지수, 라센지수와 알칼리값과 노르치를 계산한 석영-정장석-사장석의 삼각도는 흑운모화강암이 화강섬록암에서 화강암의 영역에, 홍색장석화강암은 정상적인 화강암에서 말기 화강암 영역에 점서된다.

(4) CaO와 알카리에서 흑운모화강암과 홍색장석화강암은 각각 CaO와 K<sub>2</sub>O가 특징적으로 부화되었고 알카리의 상대적 비율을 지시하는 K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O값은 홍색장석화강암이 1.06 그리고 흑운모화강암이 0.86 이다. A-M-F와 N-C-K 삼각도에서 흑운모화강암은 칼크 알카라인 계열에, 홍색장석화강암은 알카라인 계열에 해당되며 peraluminous(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>>Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O+CaO) 화강암에 속한다.

(5) A-C-F 삼각도에서 흑운모화강암은 I-type에, 홍색장석화강암은 S-type에 점서되나 대자율 (전암에 대한 자기 감응도) 측정치는 양자가 티탄철석 계열의 화강암에 해당한다. 전암에 대한 Fe<sup>+3</sup>/Fe<sup>+2</sup>+Fe<sup>+3</sup> 비와 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 초생값은 흑운모화강암이 0.26과 0.720210 ± 0.00050, 홍색장석화강암이 0.44와 0.70826 ±

0.00020으로 흑운모화강암은 티탄철석계열이나 혼화된 I-type (혹은 S-type)이고 홍색장석화강암은 자철석계열이나 I-type에 해당한다.

사 사

본 연구가 수행되는 동안 조언과 격려를 아끼지 않으신 전남대학교 지질학과 김용준 교수님께 감사드리며 바쁘신 중에도 대자율 측정을 실시해준 조선대학교 자원공학과 이창신 교수님께 심심한 사의를 표합니다. 야외조사시 헌신적으로 도와준 이광형 선생님과 임철기 선생님 그리고 자료정리와 실내작업에 협조해주신 지구과학교육과 고영구 교수님께 감사를 드립니다.

참고문헌

권치순 (1987) 대전-공주간에 분포하는 화강암질암류의 지질연대와 암석화학. 연세 대학교, 박사학위논문, 166p.  
 김영희, 문희수, 김종환, 유장환, 김인준 (1990) 전남 옥매광상의 열수 변질작용 및 광상광물에 대한 광물학적연구. 광산지질, v. 23, p. 287-308.  
 김용준, 박영석, 주승환, 오민수, 박재봉 (1990) 옥천지향사대 동남대에서의 화성 활동 (I); 진안-나주 사이를 중심으로. 한국지구과학회지, v. 11, p. 120-138.  
 김용준, 박영석, 주승환, 오민수, 박재봉 (1991) 옥천지향사대 동남대에서의 화성활동 (III); (나주-남창지역을 중심으로). 한국지구과학회지, v. 11, p. 120-138.  
 김용준, 오민수, 박재봉 (1993) 나주-해남지역에 분포하는 화성암류의 암석화학. 한국지구과학회지, v. 14, p. 300-315.  
 김정빈 (1990) 담양-진안 사이에 분포하는 심성화성암류에 대한 암석 화학과 성인. 전남대학교 박사학위논문, 182p.  
 김정빈, 김용준 (1990) 담양-진안 사이에 분포하는 염리상 화강암류에 대한 지질시대와 성인에 대한 연구. 광산지질, v. 23, p. 233-244.  
 김종환, 조한익, 고상모, 채수천, 신흥자, 이성록, 홍세선, 문희수, 김용준, 윤성효, Reedman, A.J. (1990) 화산원 천열수성 광상탐사 모델 정립 (I). 한국동력자원연구소, p. 23-56.  
 박미령, 김규한 (1982) 남한에 분포하는 화강암류의 암석학적 연구. 지질학회지, v. 18, p. 132-148.  
 木野崎吉郎 (1929) 조선지질도 해남도록 (1/50,000). 조선지질조사소.  
 박홍봉, 권숙문, 박배영, 신상은 (1982) 고내화도 광석광물의 분포와 성인에 관한 연구. 대한광산학회지, v. 15, p. 201-207.  
 박홍봉, 박배영, 신상은, 허 민 (1988) 전남과 하동지역에서 산출하는 요업 및 집토광물자원과 성인에 관한 연구. 광산지질, v. 21, p. 1-15.  
 문희수 (1975) 전남지역 명반석 광상의 성인에 관한 연구. 광산지질, v. 8, p. 183-202.  
 문희수, 김영희, 김종환, 유장환 (1990) 해남지역 화산암류의 납석 및 고령토광상 의 K-Ar 연대. 광산지질, v. 23, p. 135-141.  
 문희수, 정승우, 송윤구, 박영석 (1991) 전남 해남지역 해남 납석광상의 변질작용 및 생성환경. 광산지질, v. 24, p. 83-96.  
 문희수, 송윤구 (1992) 전남 해남지역 납석, 명반석, 및 도석광상의 분포, 광물조성 및 형성 기구. 광산지질, v. 25, p. 41-50.  
 손진담, 윤현수, 김홍열, 고미자, 조동행, 구자학, 김삼길 (1980) 해남 목포지역 백악기 함유질 세일층에 대한 연구. 자원개발연구소, KIGAM, Bull., v. 21, p. 1-27.  
 신상은 (1988) 구시 납석광상의 광물조성과 성인에 관한 연구. 대한

- 광산학회지, v. 25, p. 1-9.
- 신상은, 박홍봉 (1990) 전남 서남부지역의 납석, 고능석과 명반석광상의 광물조성 및 지구화학적 특성에 관한 연구. 광산지질, v. 23, p. 11-23.
- 신상은, 박홍봉, 문희수 (1991) 전남지역에서 산출되는 열수성 카오린 광물의 안정동위원소 연구. 한국자원공학회지, v. 28, p. 99-103.
- 신인현 (1994) 해남-완도지역의 백악기 화강암류에 대한 암석화학적 연구. 전북대 학교 박사학위논문, 171p.
- 양우석 (1991) 월출산 지역에 분포하는 화성암류에 대한 암석화학적 연구. 전남대 학교 교육대학원 석사학위논문, 45p.
- 유장한 (1985) 전남 해남군 황산면 일대 고령토질 납석광상 연구. 비금속광상연구 보고 한국동력자원연구소, p. 95-116.
- 윤정환 (1975) 함유질 퇴적암류에 관한 연구(전남 해남군 황산면 우황리). 전남대 학교 대학원 석사학위논문, 50p.
- 윤정환 (1977) 함유질 Shale에 관한 연구 -해남 및 진도부근. 전남대 학교 공업기술연구지, v. 14, p. 67-84.
- 이대성 (1964) 전라남도 해남 (목포남부) 지역의 지질과 함유질층에 관하여. 지질학회지, v. 1, p. 35-49.
- 이대성, 이하영 (1976) 한국 남서해안지역에 분포하는 함유질층에 대한 지질학적 및 지구화학적 연구. 광산지질, v. 9, p. 45-74.
- 이대성, 윤현수 (1979) 해남지역에 분포된 우황리층내의 흑색세일의 유기지구화학적 연구. 광산지질, v. 12, p. 207-221.
- 이성록, 김문영 (1985) 해남 성산 광산물 디카이트에 관한 연구. 한국동력자원연구소, 비금속광상연구 85-14, p. 117-127.
- 전효택, 정영욱, 김인준 (1991) 경남 및 전남 일부 납석광상의 산소-황 동위원소 조성과 광상 성인. 광산지질, v. 24, p. 97-105.
- 정영욱, 전효택 (1990) 전남 화순, 다도 및 해남지역 납석광상의 지구화학적 연구. 한국자원공학회지, v. 27, p. 63-76.
- 조동룡 (1994) 남한에 분포하는 현생화강암류의 기원에 대한 광물 및 암석화학적 연구. 연세대학교 박사학위논문, 189p.
- 주승환 (1986) 영남육괴, Rb/Sr 연대측정연구 (III). 한국동력자원연구소, KR-86-2-17, p. 1-28.
- 주승환, 지세정 (1990) 광주 화강암의 Rb-Sr 연대측정연구 (IV). 한국동력자원연구소 연구보고서, KR-90-1B-2, p. 3-54.
- 차문성, 윤성효 (1988) 한반도의 화산암물구조 및 환상복합암체에 관한 연구. 지질학회지, v. 24 (특별호), p. 67-86.
- Chappell, B.W. and White, A.J.R. (1974) Two contrasting granite types; Pacific Geology, v. 8, p. 173-174.
- Cho, H.K. (1990) Mineralogy of Clays and their associated minerals in the Sungsan mine, Korea. Seoul National University Ph. D. Thesis, 200p.
- Cho, H.K. and Kim, S.J. (1989) Mineralogy of alunite from the Sungsan mine. J. Miner. Soc. Korea, v. 2, p. 81-89.
- Czamanske, G.K., Ishihara, S. and Atkin, S.A. (1981) Chemistry of Rocks forming Minerals of the Cretaceous-Paleocene Batholith southwestern Japan and implications for magma genesis. Jour. of Geophysical Research, v. 86, p. 10431-10469.
- Harker, A. (1909) The natural history of igneous rocks. New York, Macmillan publishing C., 384p.
- Hine, R., Williams, S.W., Chappell, B.W. and White A.J.R. (1978) Contrasts between I- and S-type granitoids of the Kosciuszko batholith. Jour. Geol. Soc. Australia, v. 25, p. 219-234.
- Hong, Y.K. (1984) Petrology and geochemistry of Jurassic Seoul and Anyang granites, Korea. Jour. Geol. Korea, v. 20, p. 51-77.
- Hyndman, D.W. (1972) Petrology of Igneous and Metamorphic rocks. McGraw-Hill, Inc., 533p.
- Irvine, T.N. and Barager, W.R.A. (1971) A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canada Jour. Earth, v. 8, p. 523-548.
- Ishihara, S. (1977) The magnetitic series and ilmenite-series granitic rocks. Mining Geol., v. 27, p. 293-305.
- Ishihara, S. and Tachenouch, S. (1980) Granitic magmatism and related mineralization. Min. Geol. issue 8, Komiyama Printing Co., Ltd., Yokyo.
- Jin, M.S. (1980) Geological and Isotopic contrast between the Jurassic granites and the Cretaceous granites in the South Korea. Jour. Geol. Soc. Korea, v. 16, p. 205-215.
- Kim, I.J. (1991) Geochemistry of Hydrothermal Alteration and Clay Deposits in the Haenam Area, Southwestern Korea. Ph. D. Thesis, Tokyo University, 238p.
- Moon, H.S., Rho, Y., Kim, I.J., Song, Y. and Lee, H.K. (1991) Consider the mechanism of the hydrothermal alteration related to Cretaceous felsic magmatism in Gusi mine, southern Korea. J. Korea Inst. Min. Geol., v. 24, p. 9-20.
- Shand, S.J. (1943) Eruptive rocks (3rd ed.). John Wiley and Sons, Inc.
- Shimazaki, H. and Lee, M.S., (1981) Reconnaissance on I- and S-type granitoids in Southern Korea. Jour. Geol. Soc. Korea, v. 17, p. 189-193.
- Taylor, S.R. (1965) The application of trace elements data to problems petrology. Physics and chemistry of the earth. v. 6, p. 133-213.
- Tsuse, A. and Ishihara, S. (1974) The iron-titanium oxides in the granitic rocks of southwest Japan. Mining Geol., v. 24, p. 13-30.
- Turek, A. and Kim, C.B. (1994) U-Pb zircon ages of Mesozoic plutons in the Damyang-Geochang area, Ryongnam massif, Korea. Chem. Geol. (in print).
- Vinogradov, A.P. (1962) Average content of chemical elements in the major types of igneous rocks of the earth's crust. Geochemistry, v. 7, p. 641-664.

1994년 5월 20일 원고접수