

# 忠州—月岳山—提川 花崗岩類의 岩石化學的 研究

金奎漢\*·愼胤修\*

## Petrochemistry of the Granitic Rocks in the Chungju, Wolaksan and Jecheon Granite Batholiths

Kyu Han Kim\* and Yun Soo Shin\*

**Abstract**; Petrochemical analyses of granitic rocks including trace element, REE and oxygen isotope were carried out to understand petrogenesis of plutonic rocks from the Chungju, Wolaksan and Jecheon granite batholiths, which might be related with tungsten-base metal-fluorite mineralization in the Hwanggangri metallogenic province. Different geochemical characteristics such as major and trace elements were found between Jurassic Daebo granitic rocks (Chungju, Jecheon, Wonju, and Boeun granitic rocks) and Cretaceous Bulgusa granitic rocks (Wolaksan, Muamsa and Sokrisan granitic rocks). Cretaceous granitoids are characterized by high SiO<sub>2</sub> and K<sub>2</sub>O contents and low TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO and CaO contents. They also have relatively high contents of trace elements (Zn, V, Co, Cr, Sr, and Ba) in comparison with the Jurassic granitoids. (Eu)/(Eu\*) and (La/Lu)<sub>CN</sub> ratios of Jurassic plutons vary from 0.78 to 1.13 and from 26.02 to 30.5, respectively, while the ratios of Cretaceous ones range from 0.22 to 0.28 and from 4.42 to 14.2, respectively. The REE patterns of the Cretaceous and Jurassic granitic rocks have quite different Eu anomalies: large negative Eu anomaly in the former, and mild or absent Eu anomaly in the latter. The large Eu negative of Cretaceous granitic rocks are interpreted as a differentiated product of fractional crystallization of granitic magma deduced by Rayleigh fractionation model (Tsusue et al., 1987). Oxygen isotopic compositions of quartz for Daebo and Bulgusa granitic rocks range from 9.98 to 10.51‰ and from 8.26 to 9.56‰, respectively. The Daebo granitic rocks enriched in <sup>18</sup>O suggest that the magma be undergone different partial melting processes from the Bulgusa ones. Of the Bulgusa granitoids, Wolaksan and Sokrisan mass have different contents of trace elements and δ<sup>18</sup>O values of the silicate minerals, which indicate that they are not from the identical source of magma. Many mineral deposits are distributed in and/or near the Wolaksan and Muamsa granitic rocks, but a few mineral deposits are found in and near the Chungju and Jecheon granite batholiths. It might be depend on geochemistry of the related igneous rocks which have low contents of Ba, Sr, Co, V, Cr, Ni, Zn and high contents of Nb and Y, and on lithology of country rocks such as cabonate and noncarbonate rocks.

### 序 論

南韓 中部에는 북동-남서 방향으로 연장된 폭 80km의 沃川 褶曲帶 내에 다양한 變成 堆積岩類와 堆積岩類가 분포하고 있으며 이를 주라기 大寶 花崗岩類와 白堊紀 佛國寺 花崗岩類 등이 관입하고 있다(Fig. 1). 특히 이들 선캄브리아紀의 變成堆積岩類 및 古生代 堆積岩類와 花崗岩類가 관련된 地域에는 많은 金屬 및 非金屬 鑛床이 분포하고 있다. 沃川帶 내에 분포하는 花崗岩體 중 忠州-俗離山-月岳山-提川 주위에는 60여개의 金속 및 비금속 광상이 분포하

고 있으며, 대부분의 광상이 月岳山-務岩寺 花崗岩類와 石灰岩의 接觸帶 주위에 밀집되어 분포하고 있다.

本 研究에서는 특히 沃川 褶曲帶의 중심부에 위치하는 黃江里 鑛化帶 지역을 중심으로 母岩인 變成 堆積岩類와 火成岩類의 鑛化作用과의 관계 그리고 大寶 및 佛國寺 火成岩類의 岩石 成因 研究를 위해 主成分과 微量 成分, 稀土類 元素 및 酸素 安定同位元素比 分析 등의 岩石 化學的 研究를 실시하였다.

本 調査 지역에 대하여, 地質 調査(李政成, 朴奉淳, 1965; 金基皖, 李弘圭; 1965; 金基皖等, 1967; 李鍾革, 金貞煥, 1972; 金玉準, 1968)와, 岩石 鑛物學的 및 鑛床學的 研究(李大聲, 康俊男, 1978; 李大聲 等, 1980; 李大聲 等, 1985

\* 梨花女子大學校 科學教育科 (Dept. of Science Education, Ewha woman's Univ., Seoul 120-750, Korea)

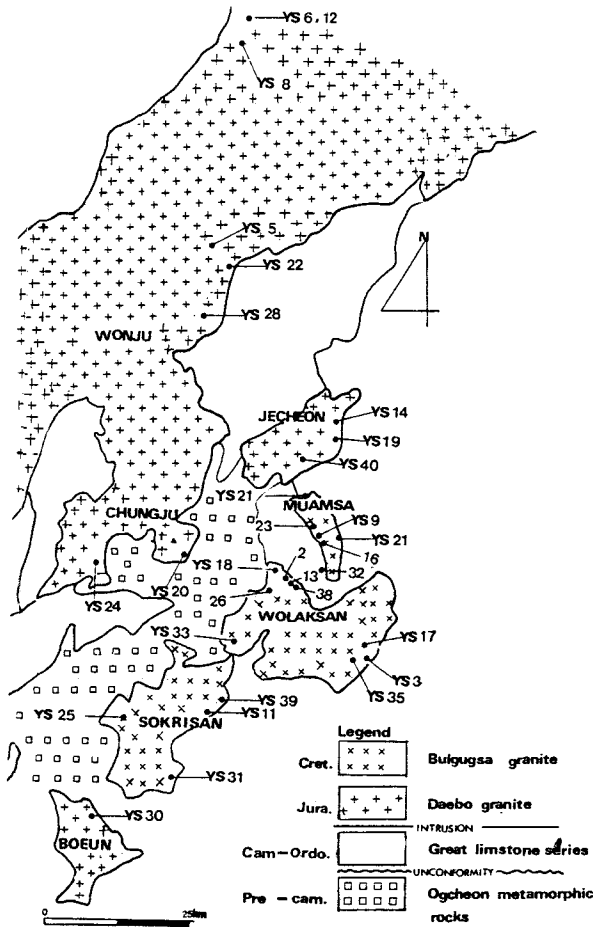


Fig. 1. Simplified geologic map showing the sampling location of the granitic rocks in the central part of South Korea.

;池楨蔓, 1975;朴喜寅等, 1981;尹碩奎等, 1986;全孝澤, 1988;So et al., 1983)는 많이 이루어진 바 있다. 그러나 月岳山, 提川 지역에 대해서 層序 및 地質 構造 研究는 많이 수행되어왔으나, 微量 元素, 稀土類 元素 및 安定同位元素 分析 등의 地化學의 研究와 이와 관련된 鑛化作用에 관한 研究는 거의 이루어진 바 없다.

本 研究에서는 黃江里 鑛化帶 地域을 중심으로 月岳山 花崗岩, 務岩寺 花崗岩, 俗離山 花崗岩, 忠州 花崗岩, 提川 花崗岩의 花崗岩類에 대한 地化學의 및 同位元素 分析 研究를 통하여 이들 地域 花崗岩類의 岩石 成因과 鑛化作用과의 관련성을 검토하는 데 研究의 目的이 있다. 本 研究를 위해 江陵, 原州 地域의 일부 花崗岩類 試料에 대한 比

較, 分析도 수행되었다. 채취된 총 37個의 岩石, 試料 중 23個 試料에 대해서 모-드(mode)分析 등 鑛物學의 研究를 실시하였고, 26個 試料에 대해서 主成分 元素, 微量 元素 및 稀土類 元素를 分析하였다. 대표적인 6個의 試料에 대해서는 全稀土類 元素를 分析하였다.

岩石의 化學 分析은 영국 런던 대학교 Royal Holloway and Bedford New College 에 의뢰하여 ICP(Inductively coupled plasma)方法으로 分析하였다. 그리고 酸素 安定 同位元素比 分析은 日本 富山大學 地球科學科에서 실시하였다. 硅酸鹽鑛物의 酸素安定同位元素 分析에 協力해준 富山大學의 左竹 教授에게 사의를 표한다.

本 研究는 한국과학재단 연구비에 의하여 이루어졌다.

### 地質概要

本 研究 地域인 忠州-俗離山-月岳山-提川 부근의 地質은 沃川 變成 堆積岩類와 朝鮮系 및 이를 貫入하는 여러 火成암류 암체로 이루어져 있다. 調查 地域 西南側 沃川 變成 堆積岩類들은 北東-南西 방향으로 분포하며, 주로 片岩類로 된 鷄鳴山層, 주로 雲母片岩, 千枚암 등으로 구성된 文周里層, 슬레이트, 片岩을 주요한 倉里層, 이를 不整合으로 덮고 있는 hammer 千枚암질岩인 黃江里層이 분포하고 있다(金基晄, 李弘圭, 1965; 金基晄等, 1967; 李政成, 朴奉淳, 1965; 李鍾革, 金貞煥, 1972). 한편, 조사 지역 東北側은 봉화재를 境界로 그 西南側은 沃川系 地層이 分布하며 그 東北側은 朝鮮系 三台山 石灰岩層이 분포하고 있다. 상기 지층을 北東 南西 방향으로 관입한 侏羅기 大寶 花崗岩類와 白堊紀 佛國寺 花崗岩類가 불규칙하게 분포하고 있다 (Fig. 1). 沃川系의 層序, 地質 時代와 朝鮮系 三台山 石灰岩層과 층서 관계등에 대하여 학자들간에 이견이 많다(金基晄, 李弘圭, 1965; 金玉準, 1968, 1980; 李大聲, 1974; Reedman and Um, 1975).

조사 지역의 주요 花崗岩의 分布와 鑛床 分포를 보면 (Fig. 11), (1) 忠州지역; 先캄브리아紀 鷄鳴山層을 母岩으로 대규모의 底盤狀 형태의 火成암 관입체로 이루어져 있다. 본 火成암체는 鷄鳴山의 중앙부에는 岩柱狀 또는 岩脈狀을 이루나 그 하부에는 底盤을 이루고 있다(金基晄, 李弘圭 1965). 本 忠州 花崗岩 底盤 岩體 주위에는 鐵, 滑石, 螢石, 重晶石 鑛床이 소수 분포하며 (尹碩奎等, 1986), 鷄鳴山層 內에 先캄브리아紀의 鐵鑛體로 알려진 忠州 鐵鑛床

이 분포하고 있다.

(2) 月岳山 地域; 月岳山 花崗岩體는 底盤狀 형태로 西南部는 沃川層群을 貫入하고 東北部는 朝鮮系 三台山層을 貫入하여 花崗岩體를 중심으로 東北部와 西南部에 母岩의 차이가 있다. 즉, 東北部는 大石灰岩統의 三台山層의 結晶質 石灰岩과 돌로마이트로 母岩이 이루어져 있고, 西南部는 上部가 黑色 粘板岩과 石灰岩이 互層을 이루고, 中部는 石灰 硅酸鹽岩과 石灰岩이 互層을 이루는 古云理層과 下部 白色 石灰岩帶로 이루어진 馬田里層과 접하고 있다. 月岳山 花崗岩과 三台山層이 접하는 東北部쪽에는 대부분이 열 극 충진 광맥형 鑛床으로 텅스텐, 몰리브덴, 銅, 鉛, 亞鉛, 銀, 망간, 螢石, 鐵 등의 金屬鑛床과 非金屬鑛床이 분포하고 있다. 반면 西南側의 馬田里層과 접하는 부근에는 鑛床이 소수 분포하고 있다.

(3) 提川 地域; 提川을 중심으로 北東東-南西西 방향의 長 方形의 비교적 작은 底盤狀 貫入 岩體가 박달령 變成岩과 大石灰岩統의 三台山層과 興里層을 貫入하고 있으며 地 域的으로는 沃川層群의 文周里層도 貫入하고 있다. 提川 花崗岩은 貫入 시기와 岩相이 서로 다른 몇 종류의 岩石으로 細分된다. 提川 花崗岩體와 朝鮮系의 石灰岩과의 접촉 부에는 錦城, 東明 鑛床과 같은 Mo-W 스카른 鑛床과 소수의 Pb-Zn 鑛化도 수반된다.

(4) 俗離山 地域; 鷄鳴山層, 馬田里層, 倉里層, 黃江里層을 俗離山 花崗岩이 底盤形으로 貫入하고 있다. 소수의 金, 銀, 鑛床을 제외하면 俗離山 花崗岩 주위에는 鑛床의 분포가 알려져 있지 않다.

## 花崗岩類

### 忠州 花崗岩

대규모 底盤狀 花崗岩體로 貫入 시기는 121-163m. y.(朴 魯榮, 1982)로 유라기 花崗岩에 해당한다. 中粒質로 主構 成鑛物은 石英, 黑雲母, 斜長石, 알카리 長石이고 副構成 鑛物은 스펀, 綠簾石, 燐灰石, 알라나이트(Allanite)이다. 石英은 크기가 다양하며 正長石은 칼스바드 雙晶을 보인 다. 斜長石은 變質되어 부분적으로 絹雲母化되어 있다. 雙 晶과 누대구조가 나타나고 正長石과 미르메카이트 (Myrmekite) 조작용을 이루고 있다. 그리고 黑雲母는 부분적 으로 녹니석화 되어 있다.

### 提川 花崗岩

總 면적이 192.4km<sup>2</sup>에 이르는 비교적 작은 底盤狀 花崗岩 體(169 m.y.~179 m.y. 朴魯榮, 1982)로 주로 石英, 斜長石, 알카리 長石, 黑雲母이고 副構成鑛物은 스펀, 알라나이트등 으로 구성되어 있다. 金勇俊(1979)은 提川 花崗岩을 粗粒 黑雲母 花崗閃綠岩, 細粒 角閃石 黑雲母 花崗閃綠岩등으로 세분했다. 알카리 長石은 반자형의 형태로 칼스바드 쌍정 을 보이고 變質을 많이 받았으며, 斜長石은 누대구조가 발 달하고 페리클린(Periclinic) 쌍정이 나타나며 일부 變質되 어 絹雲母化된 부분도 있다. 黑雲母는 부분적으로 녹니석 화 되어 있다.

### 月岳山 花崗岩

면적이 486km<sup>2</sup>인 底盤狀 花崗岩 (87~90 m.y., 朴魯榮, 1982)으로 白堊紀의 佛國寺 花崗岩類에 해당한다. 月岳山 花崗岩은 주로 淡紅色 長石이 우세한 粗粒質 花崗岩으로 대 표된다. 本 岩體 內에 포획된 黑雲母-角閃石 花崗岩이 聞 慶 北部의 당포지역에 소규모로 분포하고 있다. 長石質 花崗岩은 주로 粗粒質-中粒質의 石英과 淡紅色 長石으로 이 루어져 있으며 소량의 黑雲母와 퍼어다이트로 되어 있는 알 카리 長石으로 되어 있다. 副成分鑛物은 저어콘, 綠簾石, 燐 灰岩, 알라나이트로 구성되어 있다. 斜長石은 絹雲母化되 었으며 알바이트雙晶과 페리클린雙晶을 이루고 있으며, 누 대구조를 보이기도 한다. 黑雲母는 부분적으로 녹니석화되 어 있다.

黑雲母 內에는 저어콘이나 燐灰岩, 스펀이 포획되는 경 우도 있다. 黑雲母 角閃石 花崗岩은 주로 石英, 長石, 黑 雲母, 角閃石으로 구성되어 있다. 本 花崗岩體內와 주위에 는 텅스텐, 몰리브덴 鑛化作用이 현저하며 花崗岩體 주 위에 鉛, 亞鉛등의 金屬 鑛化作用과 螢石, 滑石등의 非金 屬 鑛化作用이 현저하다.

### 務岩寺 花崗岩

水山里-提川間의 금수산을 중심으로 帶狀으로 관입 분포 하며 지질시대는 白堊紀로 추정되며 岩相은 月岳山 花崗岩 과 대단히 유사하다. 本 岩體 주위에 銅, 鉛, 亞鉛등의 多 金屬 鑛化作用이 특징적이다.

### 俗離山 花崗岩

관상절리 구조가 많이 발달하는 底盤狀 花崗岩體로 관입

시기는 72m.y.~84m.y.(金玉準, 1971)이다. 본 암은 마이로 리틱조직 (Mirolitic texture)을 특징적으로 나타내며 공동 내에 수정이 산출되기도 한다. 粗粒質-中粒質로 主構成 鑛物은 石英, 알카리 長石, 黑雲母이며 알카리 長石의 대부분은 퍼어다이트로 되어 있고, 副構成 鑛物로 스펀, 저어콘 등이 있다. 본 암體의 주위에는 소수의 金, 銀, 鑛床을 제외한 鑛化作用이 거의 확인되지 않았다.

花崗岩類의 鑛物學的 特性

忠州-俗離山-月岳山-提川 부근 花崗岩類의 모-드 분석 결과는 Table 1과 같고, 화학성분 및 Norm계산 결과는 Table 2,3과 같다. 月岳山 花崗岩은 石英 32.8%, 알카리 長石 34.8%, 斜長石 26.67%이고, 務岩寺 花崗岩은 각각 31.9%, 37.5%, 25.9%, 俗離山 花崗岩은 22.5%, 16.3%, 45.7%이다. Streckeisen(1976)의 火成岩 分類를 적용하면 月岳山, 務岩寺, 原州, 報恩 花崗岩은 대부분 Normal 花崗岩에 속하나 俗離山, 忠州, 提川 花崗岩의 일부는 花崗閃綠岩에 도시된다(Fig. 2). 月岳山 및 務岩寺 花崗岩은 石英(32.8%~31.9%)이 기타 花崗岩들에 비해 상대적으로 높

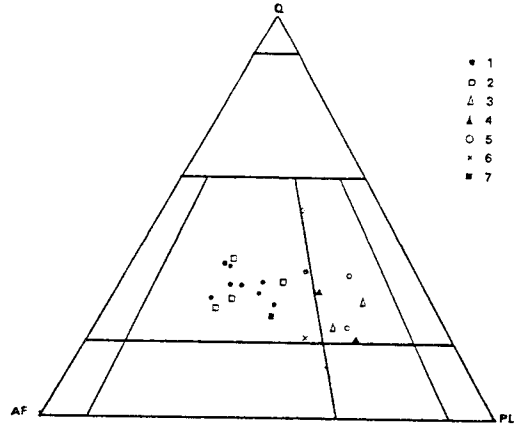


Fig. 2. Quartz(Q)-Alkali feldspar(AF)-Plagioclase(PL) ternary diagram of the granitic rocks. 1, Wolaksan granite, 2, Muamsa granite 3, Sokrisan granite, 4, Chungju granite, 5, Jecheon granite, 6, Wonju granite, 7, Boeun granite.

고 AF/PL 관계를 보이며, 提川, 報恩 花崗岩은 石英(29.5%~28.3%)이 俗離山, 忠州, 原州 花崗岩에 비해서 높고 AF(PL인 관계를 보인다.

이들 花崗岩類의 Norm 값을 모-드 분석치에서와 같이

Table 1. Modal composition of granitic rocks from the central part of South Korea.

Sample No.	Wolaksan granite									Sokrisan granite	
	YS 2	YS 3	YS 7	YS 13	YS 17	YS 26	YS 32	YS 35	YS 38	YS 11	YS 39
Quartz	27.6	28.3	34.0	36.6	35.6	30.0	32.3	28.9	32.1	24.3	20.7
Orthoclase	5.4	14.3	22.8	7.4	5.2	16.9	16.7	18.9	20.9	4.7	7.2
Microcline	1.0	-	-	-	-	0.7	3.3	-	-	1.8	-
Plagioclase	36.5	20.2	29.6	20.3	19.6	21.5	30.7	30.4	31.2	44.3	47.1
Perthite	27.0	30.4	11.4	27.0	32.0	29.6	15.7	-	11.7	6.1	14.5
Biotite	1.8	2.2	1.6	4.1	2.8	0.7	1.3	9.5	1.7	9.2	3.0
Hornblende	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.0	1.1
Opaque	-	0.3	-	-	0.3	-	-	-	-	-	-
Others	0.8	4.6	0.5	1.6	4.4	0.7	-	12.3	2.2	9.7	5.9

Sample No.	Muamsa granite			Chungju granite			Boeun granite		Wonju granite		Jecheon granite	
	YS 1	YS 9	YS 16	YS 23	YS 20	YS 24	YS 30	YS 34	YS 10	YS 28	YS 14	YS 37
Quartz	38.7	26.5	29.6	32.7	14.4	28.5	23.4	35.5	18.6	22.7	20.6	36.0
Orthoclase	6.5	23.2	7.0	3.9	15.7	20.1	21.2	18.9	20.7	12.0	18.6	9.2
Microcline	0.4	-	-	0.2	-	0.5	9.3	10.3	0.5	3.0	-	0.4
Plagioclase	21.8	21.6	25.6	33.7	43.0	39.1	32.5	19.1	40.9	39.1	48.0	36.0
Perthite	30.1	20.8	35.5	23.0	-	-	-	9.2	7.0	13.7	0.4	3.5
Biotite	2.4	2.8	0.5	5.7	-	3.5	11.3	5.3	3.7	9.0	7.4	5.7
Hornblende	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-
Opaque	-	-	0.8	0.2	-	-	-	-	0.5	-	-	1.7
Others	-	5.1	-	0.7	9.2	8.1	2.4	1.3	7.9	0.4	4.9	7.4

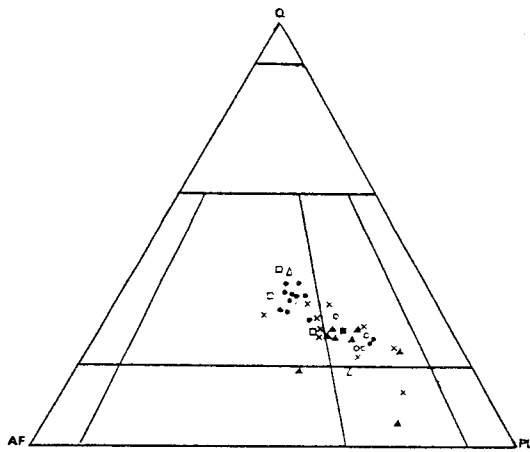


Fig. 3. Normative Q-AF-PL ternary diagram of the granitic rocks. Symbols are the same as those in Fig. 2.

月岳山과 務岩寺 花崗岩 岩石들은 대부분이 Normal 花崗岩에 도시되며 俗離山과 原州 花崗岩의 岩石들은 Normal 花崗岩 내지 花崗閃綠岩에, 忠州 花崗岩은 대부분 花崗閃綠岩에 해당된다(Fig. 2, 3).

### 花崗岩類의 岩石化學

總 26個 시료에 대한 主成分 微量成分 과 稀土類 元素를 분석하였고, 일부 기존 분석 자료도 인용하여 함께 비교하였다. 各 岩體의 花崗岩 중 대표적인 시료 1개씩 선별하여 稀土類 元素를 분석하였고, 평균 운석량에 대해 표준화시켰다(Nakamura, 1974).

#### 主元素 成分

주성분의 화학 분석 결과는 Table 2와 같다. 즉 SiO<sub>2</sub>(평균 값)는 月岳山 花崗岩이 74.69wt%, 75.39wt%, 71.88wt% 忠州 花崗岩 66.69wt%, 提川 花崗岩 67.80wt%, 原州 花崗岩 68.59wt%, 報恩 花崗岩 70.17wt%이다. 즉, 주라기의 大寶 花崗岩類인 忠州, 提川, 原州 花崗岩體의 岩石보다 白堊紀의 佛國寺 花崗岩類인 月岳山, 務岩寺 및 俗離山 花崗岩體의 岩石은 SiO<sub>2</sub>의 함량이 5~8% 정도 높다. SiO<sub>2</sub> 함량과는 반대로 TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MgO, CaO 등은 大寶 花崗岩類가 더 높은 함량을 나타내고 Na<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 등은 두 암군간에 큰 차이가 없다. K<sub>2</sub>O의 함량은 月岳山, 務岩寺, 俗離山 花

Table 2. Chemical compositions of the granitic rocks of Jurassic age from the central part of South Korea.

	Wonju granite										Chungju granite						Jecheon granite				Bocun granite			
	YS 4	YS 5	YS 6	YS 8	YS 10	YS 12	YS 15	YS 22	YS 28	YS 20	YS 24	7907 1902	7907 1802	7907 1801	J 17	J 19	J 21	Y 14	YS 19	J-10	J-14	J-15	YS 30	
SiO <sub>2</sub>	70.02	73.86	75.94	66.29	69.43	63.18	66.90	60.67	70.99	55.3	70.47	66.79	69.42	72.21	67.98	67.71	67.41	66.70	66.30	72.96	67.24	65.82	70.17	
TiO <sub>2</sub>	0.16	0.20	0.07	0.60	0.41	0.63	0.51	0.86	0.48	0.83	0.51	0.48	0.49	0.24	0.49	0.47	0.57	0.67	0.65	0.07	0.37	0.33	0.56	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.04	14.53	13.66	16.26	15.32	17.01	16.38	18.08	14.60	19.50	15.53	15.67	16.39	15.78	17.18	16.32	16.01	16.66	16.31	16.43	17.40	17.37	15.03	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.40	1.56	0.97	4.05	3.07	5.63	4.50	5.11	3.10	9.44	2.40	2.70	2.73	1.49	3.91	3.43	4.30	3.90	4.32	1.11	3.57	4.71	2.03	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.73	0.14	0.00	0.82	1.61	2.04	1.58	1.96	1.20	2.91	0.68	0.90	1.05	0.49	1.59	0.00	1.64	1.27	1.25	0.54	0.51	0.65	0.12	
FeO	2.40	1.28	0.87	2.91	1.31	3.23	2.63	3.72	1.71	5.88	1.57	1.62	1.51	0.90	2.09	3.09	2.39	2.37	2.76	0.51	2.75	3.65	2.26	
MnO	0.05	0.02	0.01	0.07	0.05	0.09	0.07	0.09	0.05	0.15	0.03	0.02	0.02	0.01	0.05	0.03	0.02	0.05	1.07	0.15	0.52	0.58	0.04	
MgO	1.13	0.30	0.08	1.74	1.12	2.93	1.56	2.52	1.71	2.25	0.76	0.84	0.57	0.63	1.30	1.00	1.45	1.16	1.61	1.26	0.49	0.53	0.84	
CaO	2.87	1.22	1.06	3.58	2.51	5.32	3.64	4.85	3.03	5.49	3.02	2.16	2.70	1.94	3.77	2.77	3.10	3.71	3.76	1.33	2.44	4.43	2.51	
Na <sub>2</sub> O	2.89	3.20	3.86	3.95	3.62	3.16	3.50	1.09	2.94	3.71	4.19	3.58	3.70	4.02	4.78	3.57	2.77	3.77	3.61	3.21	3.31	3.12	3.84	
K <sub>2</sub> O	1.01	3.06	4.32	3.29	1.35	1.88	2.71	2.53	3.53	3.05	2.95	5.71	3.78	4.35	2.17	3.60	3.86	3.19	3.20	4.61	3.35	2.58	3.54	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10	0.05	0.03	0.17	0.12	0.17	0.13	0.20	0.11	0.28	0.14	0.18	0.12	0.03	0.12	0.09	0.12	0.19	0.17	0.14	0.14	0.15	0.15	
Total	99.73	99.86	99.90	99.68	99.85	99.51	99.71	99.57	99.81	99.63	99.83	97.95	99.85	100.6	101.52	98.65	99.44	99.74	99.69	100.21	98.52	99.21	99.75	
Normative minerals																								
Q	28.74	32.09	33.91	19.90	24.63	20.70	25.15	11.73	31.76	21.62	26.85	18.02	26.42	26.74	21.34	23.71	24.04	22.30	21.62	33.36	27.30	23.82	26.28	
C	0.90	1.69	0.74	0.68	0.25	0.41	1.35	0.21	0.68	0.14	0.25	0.07	1.55	1.00	0.37	1.70	1.33	0.65	0.14	3.98	4.18	1.73	0.97	
Or	23.88	29.89	25.55	19.43	25.72	11.13	16.03	14.98	20.88	18.93	17.42	33.74	22.32	25.72	12.8	21.27	18.98	18.87	18.93	27.24	20.02	15.57	20.93	
Ab	21.44	27.06	32.68	33.41	30.63	26.76	29.63	34.62	24.88	30.52	35.45	30.31	31.31	34.04	40.44	30.21	31.42	31.89	30.52	27.25	27.77	26.20	32.52	
An	13.69	5.73	5.15	15.08	12.02	25.40	17.31	22.89	14.36	17.64	14.16	9.63	12.71	9.46	18.03	13.24	15.25	17.33	17.64	5.84	11.40	21.13	12.19	
Hy-en	2.81	0.74	0.20	4.34	2.79	7.30	3.89	6.27	2.91	4.02	1.90	2.74	2.19	2.06	4.26	3.27	4.09	2.89	4.02	0.70	5.02	1.30	2.09	
Hy-fa	3.13	1.94	1.49	3.81	0.49	3.38	2.63	3.96	1.45	3.10	1.56	1.12	0.86	0.65	1.38	3.76	1.57	2.28	3.10	0.66	1.20	8.05	3.21	
Mt	1.07	0.21	0.00	1.18	2.34	2.96	2.29	2.85	1.74	1.81	0.95	1.30	1.53	0.72	2.32	0.00	0.00	1.85	1.81	0.70	0.70	0.93	0.19	
Hm	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	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ap	0.24	0.13	0.07	0.40	0.27	0.40	0.30	0.47	0.27	0.40	0.34	0.44	0.27	0.07	0.27	0.20	0.27	0.44	0.40	0.34	0.34	0.34	0.37	
Il	0.88	0.38	0.14	1.14	0.77	1.20	1.15	1.64	0.91	1.23	0.97	0.91	0.93	0.46	0.93	0.90	1.03	1.27	1.23	0.15	0.76	0.61	1.06	
Total	99.78	99.86	99.93	99.37	99.91	99.63	99.73	99.62	99.82	99.41	99.85	98.28	100.09	100.92	102.14	98.26	100.18	99.77	99.41	100.22	98.69	99.68	99.81	

Sampel. No. 7981902 ~ 79071801 J17~J21 and J-10, J-14, J-15(after Iiyama et al., 1981)

Table 3. Chemical composition of the Cretaceous granitic rocks from the central part of South Korea.

	Wolaksan granite													Muamsa granite			Sokrisan granite		
	YS 2	YS 3	YS 7	YS 13	YS 17	YS 29	YS 32	YS 33	79071507	79081807	79081807	79081805	CS	YS 15	YS 21	YS 23	YS 11	YS 31	
SiO <sub>2</sub>	76.67	74.90	75.04	76.75	75.14	72.53	77.19	77.85	75.13	75.89	55.28	54.88	77.66	77.16	76.24	72.78	64.84	78.91	
TiO <sub>2</sub>	0.08	0.11	0.08	0.08	0.12	0.31	0.06	0.09	0.10	0.11	0.70	0.75	0.09	0.10	0.12	0.22	0.50	0.08	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.00	13.68	13.24	12.89	13.57	14.28	13.03	12.63	13.17	13.17	16.38	15.37	13.12	12.75	12.76	14.16	16.30	11.96	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.30	1.62	1.35	1.27	1.62	2.22	0.71	0.78	1.10	1.45	3.88	4.19	1.05	1.17	1.54	2.72	4.55	0.83	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.36	0.35	0.14	0.06	0.25	0.11	0.14	0.13	0.38	0.73	1.23	1.20	0.26	0.90	0.82	0.62	1.31	0.24	
FeO	0.85	1.14	1.09	1.09	1.22	1.53	0.51	0.59	0.65	0.65	2.41	2.69	0.71	0.24	0.74	1.89	2.92	0.53	
MnO	0.05	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.04	0.02	0.04	0.04	0.03	0.04	0.22	0.04	0.07	0.13	0.06	0.02	
MgO	0.04	0.11	0.05	0.05	0.12	0.64	0.02	0.06	0.02	0.09	1.52	1.66	0.05	0.11	0.11	0.23	2.59	0.03	
CaO	0.18	0.83	0.62	0.62	0.57	2.07	0.52	0.65	0.76	0.98	3.74	3.98	0.51	0.77	0.48	0.94	3.38	0.72	
Na <sub>2</sub> O	3.58	3.61	3.62	3.62	3.56	3.60	3.78	3.50	3.50	3.72	3.81	3.61	3.37	3.38	3.17	4.41	3.77	3.03	
K <sub>2</sub> O	4.79	5.06	4.65	4.65	5.23	4.18	4.64	4.41	4.71	4.20	2.53	2.64	4.61	4.50	5.40	4.37	3.73	4.41	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.11	0.01	0.01	0.00	0.19	0.20	0.00	0.00	0.02	0.01	0.04	0.18	0.01	
Total	99.91	99.87	99.88	99.88	99.85	99.82	100	100	98.45	99.58	98.80	98.03	100.10	99.97	99.92	99.79	99.68	100	
Normative minerals																			
Q	35.88	31.88	33.27	35.63	32.2	29.45	35.95	38.76	34.71	35.72	23.53	22.04	38.73	38.97	35.72	26.88	16.30	42.55	
C	1.06	0.80	0.76	0.80	1.06	0.32	0.87	0.95	0.93	0.72	0.97	0.77	1.75	1.35	0.85	0.56	0.18	0.92	
Or	28.28	29.89	28.11	27.50	30.90	24.72	27.45	26.05	27.8	24.83	14.98	15.59	27.22	26.61	31.90	25.83	22.05	26.05	
Ab	30.31	30.52	32.73	30.63	30.11	30.47	32.00	29.63	29.6	31.47	32.26	30.32	28.53	28.58	26.80	37.29	31.89	25.65	
An	2.36	1.03	2.64	3.00	2.73	9.60	2.50	3.14	3.76	4.87	17.47	18.59	2.53	2.64	2.31	4.42	16.05	3.48	
Hy-en	0.13	0.27	0.12	0.12	0.30	1.60	0.05	0.15	0.07	0.29	4.97	5.44	0.16	0.27	0.27	0.57	6.46	0.07	
Hy-fa	0.92	1.73	1.86	1.93	1.93	2.24	0.79	0.87	0.59	0.36	1.75	2.11	0.86	0.00	0.52	2.82	3.39	0.69	
Mt	0.53	0.51	0.21	0.09	0.37	0.60	0.21	0.19	0.56	1.07	1.78	1.74	0.37	0.60	1.18	0.90	1.90	0.35	
Hm	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	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ap	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.27	0.03	0.03	0.00	0.00	0.44	0.47	0.00	0.47	0.03	0.10	0.44	0.03	
Il	0.15	0.21	0.15	0.15	0.23	0.59	0.12	0.17	0.20	0.21	1.34	1.44	0.17	0.20	0.03	0.42	1.14	0.15	
Total	99.65	99.87	99.88	99.88	99.86	99.86	99.97	99.94	98.24	99.54	99.49	98.71	100.32	100.17	99.92	99.79	99.80	99.80	

Sample No. 79071607~7981805 and C5(after Iiyama et al., 1981).

암석類가 알카리 長石의 함량때문에 높게 나타났으므로 보인다.

또한 SiO<sub>2</sub>의 높은 함량은 白堊紀 花崗岩類가 分別 結晶 作用의 비교적 후기 산물이기때문으로 해석될 수도 있다. 이상에서와 같이 광물 구성 성분과 화학 성분간에 밀접한 관련성이 잘 반영되고 있다.

SiO<sub>2</sub>에 대한 기타 산화물간의 상관 관계에서 CaO, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MgO, FeO Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 부의 관계로 SiO<sub>2</sub>가 증가함에 따라 이들 산화물이 감소하는 경향이 나타나며, K<sub>2</sub>O는 정 의 상관 관계로 SiO<sub>2</sub>가 증가함에 따라 K<sub>2</sub>O의 양도 증가하는 경향이 있다. 그러나 MnO, N<sub>2</sub>O는 상관성이 없게 나타나고 있다(Fig. 4).

白堊紀의 佛國寺 花崗岩類는 侏羅紀의 大寶 花崗岩類에 비해 높은 SiO<sub>2</sub>의 함량과 낮은 CaO, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MgO, FeO Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함량으로 특징지워지는 반면 알카리 산화물인 Na<sub>2</sub>O 와 K<sub>2</sub>O는 반대로 白堊紀의 花崗岩類에 높게 나타난다. 그리고 月岳山 花崗岩에서도 SiO<sub>2</sub>의 증가에 따라 TiO<sub>2</sub>, FeO, CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 감소하는 경향을 보이고, MnO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 불규칙한 변화 경향을 보인다. 忠州 花崗岩에서는 SiO<sub>2</sub>가 증가함에 따라 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,

FeO, MgO, CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub>, MnO는 감소하는 경향을 보이고 Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 불규칙한 변화 경향을 보인다. 原州 花崗岩에서는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MnO는 감소하는 경향을 보이고 K<sub>2</sub>O는 증가하는 경향을 보이며, Na<sub>2</sub>O는 불규칙한 변화 경향을 보인다.

이같은 성분 사이의 차이는 두시기의 花崗岩類 마그마의 부분용융시의 근원암의 차이, 또는 분화과정의 차이가 있었음을 의미하여 준다. 洪永國(1987)에 의하면 沃川帶에 분포하는 侏羅紀 花崗岩 분화지수(D. I)가 73~82이고, Na<sub>2</sub>O에 대한 K<sub>2</sub>O의 비가 0.83~1.07, Normative corundum은 0.70~1.33이며, 白堊紀 花崗岩類는 분화지수가 75~91, Na<sub>2</sub>O에 대한 Na<sub>2</sub>O의 비가 1.05~1.12, Normative corundum은 0.20~0.94이다. 본 연구 지역에서도 이와 조화적으로 白堊紀 花崗岩類로 알려진 白堊紀 務岩寺 및 俗離山 花崗岩은 분화지수가 82~89, Na<sub>2</sub>O에 대한 K<sub>2</sub>O의 비가 1.1~1.2, Normative corundum은 0.5~0.9이며 侏羅紀 大寶 花崗岩類로 알려진 提川, 忠州, 原州 및 報恩 花崗岩은 분화지수가 75~80, Na<sub>2</sub>O에 대한 K<sub>2</sub>O의 비가 0.9~1.0, Corundum은 0.8~2.1이다. 이처럼 白堊紀 花崗岩類와 侏羅紀 花崗岩類 間에 이들 값들의 차이는 두 시기의 花崗岩類의 구

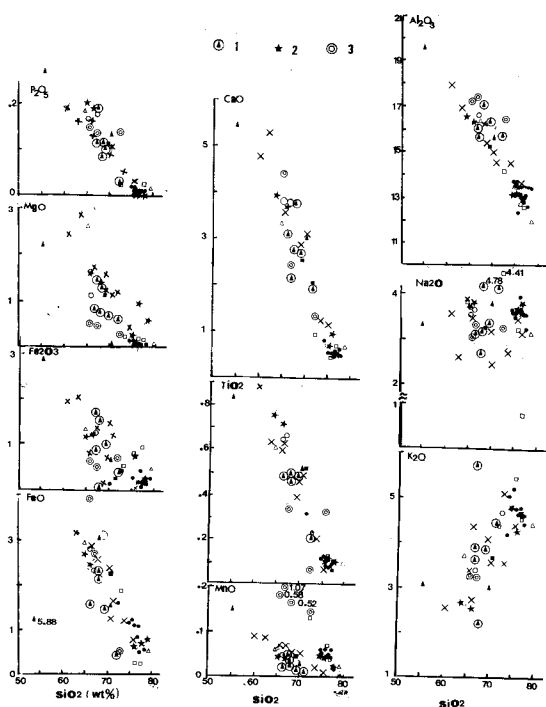


Fig. 4. Major elements oxides versus SiO<sub>2</sub> content(wt%) for the granitic rocks. Symbols are the same as those in Fig. 2 except 1,2 and 3. 1(Chungju granite) and 2(Wolaksan granite) after Iiyama et al. (1981), 3(Jecheon granite) after Kim (1979).

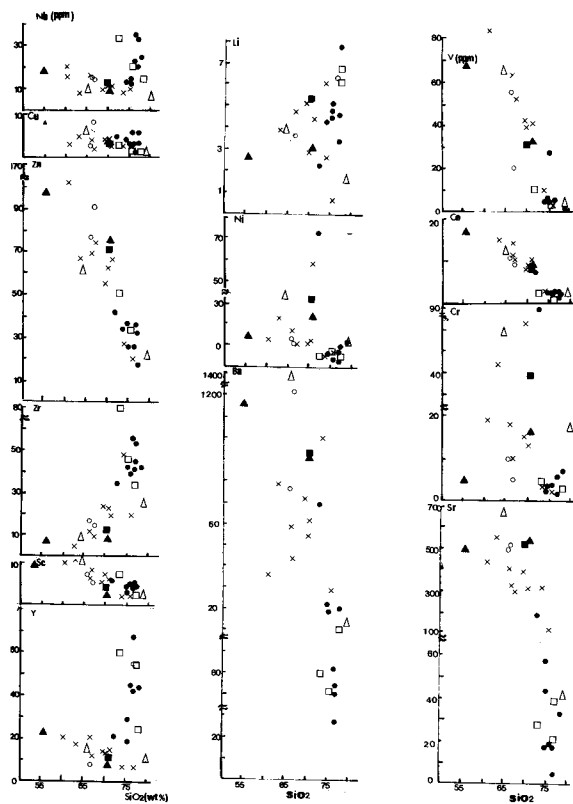


Fig. 5. Trace elements versus SiO<sub>2</sub>(wt%) for the granitic rocks. Symbols are the same as those Fig. 2.

분에도 도움이 될 것으로 보인다.

**微量元素 成分**

主成分을 분석한 동일 시료에 대해 親石 元素 Li, Zr, Sr, Ba와 親鐵 元素 V, Cr, Co, Ni와 親銅 元素 Cu, Zn과 Nb Y 등 13개 成分을 분석하였다(Table 4)

SiO<sub>2</sub>에 대한 이들 미량 成分 변화의 상관성을 보면 Fig. 5에서와 같이 SiO<sub>2</sub>함량 변화에 따른 미량 成分 변화의 상관성은 대단히 낮다. 그러나 여기서 나타나는 중요한 특징은 (1) 주라기의 花崗岩類가 白堊紀의 花崗岩類에서 보다 Zn, V, Co, Cr, Sr, Ba등이 높게 나타나는 반면, Zr, Y, Li은 낮게 나타나는 경향이 현저하다. (2) Nb, Sc, Y 원소가 주라기 花崗岩類에서는 SiO<sub>2</sub>의 증감 변화에 따라 부의 경향이 현저한 반면 白堊紀 花崗岩類는 균일한 SiO<sub>2</sub>함량에도 이들 원소의 변화가 심하게 나타난다. (3) 白堊紀 花崗岩

類에서는 Cu, Sc, V, Co, Cr등이 비교적 균일한 값을 가진다. 이같은 미량 成分의 변화 경향이 두 시기의 암석 구분에 유효하며 이같은 특징은 암석 성인 차이에 기인하는 것으로 해석된다.

각 원소에 대해 좀 더 구체적으로 검토하면 다음과 같다.

(1) 親石 元素 : 평균 함량을 비교해 보면 백악기의 月岳山 花崗岩에서는 Li(46±15ppm), Zr (43±6.1ppm), Sr (49±58.2ppm), Ba(188±203.5ppm)이고, 務岩寺 花崗岩은 Li(99.7±47.8 ppm), Zr(52±22 ppm), Sr(29±7.8ppm), Ba(71.7±20.4 ppm)이며, 俗離山 花崗岩은 Li(29±16.3 ppm), Zr(17±8 ppm), Sr(362±326ppm), Ba(787±651 ppm)로 同時期의 岩石間에도 이들 원소의 변화는 크다. 그

Table 4. Trace elements of the granitic rock samples shown sample number in Table 3 and 4.

	Wonju granite									Chungju granite		Jecheon granite		Boeun granite
	YS 4	YS 5	YS 6	YS 8	YS 10	YS 12	YS 15	YS 22	YS 28	YS 20	YS 24	YS 14	YS 19	YS 30
Ba	539	1001	283	597	726	787	441	364	615	1162	919	1023	768	939
Co	9	3	2	11	8	15	10	14	10	17	9	9	11	8
Cr	13	3	2	18	15	42	10	19	63	5	16	5	10	39
Cu	4	3	3	4	4	5	2	3	3	8	4	8	3	4
Li	29	26	7	86	52	39	48	61	44	26	30	36	45	53
Nb	10	7	9	16	9	8	11	15	10	18	9	10	15	13
Ni	12	4	6	17	11	23	11	13	57	14	23	11	13	32
Sc	7	2	2	6	5	12	8	10	6	9	2	5	7	4
Sr	294	318	112	408	391	555	321	435	308	488	528	517	493	525
V	40	10	4	63	42	100	52	84	41	66	32	20	55	32
Y	13	7	7	21	14	18	12	21	14	23	8	8	18	13
Zn	62	27	20	69	55	66	74	102	66	97	75	9	76	70
Zr*	23	48	20	12	23	5	10	21	20	7	8	15	16	13

	Wolaksan granite								Muamas granite			Sokrisan granite	
	YS 2	YS 3	YS 7	YS 13	YS 17	YS 29	YS 32	YS 33	YS 16	YS 21	YS 23	YS 11	YS 31
Ba	56	230	62	54	193	690	26	193	103	52	60	1438	136
Co	2	2	2	1	2	7	2	2	2	2	3	12	2
Cr	2	2	3	2	3	90	5	7	2	2	4	59	16
Cu	3	4	6	6	3	5	3	3	2	2	3	7	2
Li	52	44	47	46	45	23	79	34	19	63	167	40	17
Nb	20	13	23	35	15	12	32	25	15	23	33	9	7
Ni	2	5	2	5	4	72	8	10	4	5	5	32	10
Sc	3	3	4	4	3	5	3	3	3	4	7	9	2
Sr	18	58	18	17	43	197	6	33	39	20	28	688	36
V	3	5	4	4	6	26	2	4	4	4	10	64	2
Y	43	30	46	68	20	22	81	49	26	55	60	14	12
Zn	33	33	22	22	34	39	30	17	170	31	50	62	22
Zr*	51	40	54	39	35	35	45	41	30	44	82	9	25

러나 주라기의 忠州 花崗岩에서는 Li( $28 \pm 2$  ppm), Zr( $7.5 \pm 0.6$ ), Sr( $508 \pm 20$  ppm), Ba( $1040.5 \pm 121.5$  ppm)로 암상에 따라 이들 원소의 함량 변화는 크지 않다.

일반적으로 주라기의 花崗岩類는 암상에 따른 親石 元素의 함량 변화가 적은 반면 白堊紀 花崗岩類는 암상에 따라 이들 원소들의 함량 변화가 크다. 이는 주라기 花崗岩은 다소 균질한 變成 堆積岩類의 근원암이 부분 용융되어 형성되었기 때문에 함량 변화가 적은 반면 白堊紀 花崗岩은 중성-염기성 마그마의 分別 結晶 作用의 결과로 함량의 변화가 크게 나타나는 것으로 보인다. 白堊紀 花崗岩類중 俗離山 花崗岩과 月岳山, 務岩寺 花崗岩에 있어서 Ba과 Sr 함량에 차이가 나타나고 있다.

(2) 親鐵 元素 : 月岳山 花崗岩에서는 V ( $7 \pm 7.4$  ppm), Cr( $14 \pm 22.5$  ppm), Co( $2 \pm 1.7$  ppm), Ni( $14 \pm 22.5$  ppm)로 Cr과 Ni은 암상에 따라 큰 변화를 보여준다. 그러나 務岩寺 花崗岩에서는 V( $6 \pm 2.8$  ppm), Cr( $3 \pm 1$  ppm), Co( $2.3 \pm 0.5$  ppm), Ni( $4.7 \pm 0.5$  ppm)로 암상에 따른 차이가 없다. 俗

離山 花崗岩에서는 V( $33 \pm 31$  ppm), Cr( $38 \pm 21.5$  ppm), Co( $7 \pm 5$  ppm), Ni( $21 \pm 11$  ppm), 月岳山과 務岩寺 花崗岩과는 차이가 있다. 提川 및 忠州 花崗岩에 있어서 이들 성분이 암상에 따른 차이는 나타나지 않는다. 親鐵 元素 V, Cr, Co, Ni의 함량에서 각 花崗岩이 Cr, Ni에 있어서 世界의 花崗岩類의 평균 함량 (Taylor, 1964)인 4ppm과 0.5ppm에 비해서 상당히 높은 값을 가진다. Co는 함량에 있어서 암상에 따른 변화가 거의 없고, V, Cr, Ni함량에 있어서는 月岳山, 務岩寺 花崗岩이 俗離山, 忠州, 提川 花崗岩에 비해 상대적으로 낮게 나타난다. 俗離山 花崗岩이 V, Cr, Ni 함량에 있어서 月岳山 및 務岩寺 花崗岩과는 차이가 있음을 알 수 있다.

(3) 親銅 元素 : 月岳山 花崗岩에서는 Cu( $4.1 \pm 1.3$  ppm), Zn( $29 \pm 7$  ppm)이고 務岩寺 花崗岩에서는 Cu( $2.3 \pm 0.5$  ppm), Zn( $83.7 \pm 61.5$  ppm)이며 俗離山 花崗岩에서는 Cu( $4.5 \pm 2.5$  ppm), Zn( $42 \pm 20$  ppm)로 親銅 元素 Cu, Zn, 함량에서 Cu는 각 花崗岩에 있어서 세계 花崗岩 평균치에는 미



치지 못하여 암상에 따른 함량의 차이가 적다. Zn은 세계 화강암 평균치의 12배에 이르나 역시 암상에 따른 함량의 차이는 적다. 月岳山 花崗岩의 Zn의 함량은 다른 花崗岩에 비해 적으나, Cu의 함량은 거의 유사하다. 侏羅紀와 白堊紀의 花崗岩에서 親鐵 元素의 큰 차이는 없다.

(4) 그 외 Sc, Nb, Y은 각 花崗岩의 암상에 따른 함량의 변화가 심하지않고 Nb, Y은 함량에서 月岳山과 花崗岩은 다른 花崗岩에 비해 상대적으로 높은 함량을 보여준다. 따라서 俗離山 花崗岩은 月岳山 및 務岩寺 花崗岩과는 차이가 있음을 알 수 있다.

**稀土類 元素**

稀土類 元素에 대한 분석 결과는 Table 5와 같다. 月岳山 花崗岩과 務岩寺 花崗岩은 俗離山, 提川, 忠州, 原州, 報恩花崗岩에 비해 상대적으로 낮은 Eu함량과 상대적으로

높은 Dy, Yb의 함량을 나타내며 나머지 La, Ce, Na, Sm은 거의 유사한 값을 가지고 있다.

月岳山 花崗岩의 LREE 값은 11.6~76ppm, HREE값은 22~84ppm이며 俗離山 花崗岩은 각각 125~34ppm과 9.4ppm, 提川 花崗岩은 120~33ppm과 30.5ppm, 忠州 花崗岩은 149.93ppm과 26.02ppm, 原州 花崗岩은 140~39ppm과 8.66ppm으로 모든 花崗岩에서 LREE에 비해 HREE가 상대적으로 작은 함량을 가지고 있다.

각 花崗岩의 代表的인 시료에 대한 운석량(Nakamura, 1974)의 표준화한 값을 도시하면 Fig. 6과 같다.

月岳山·俗離山 花崗岩은 提川, 忠州, 原州花崗岩과는 달리 Eu의 독특한 거동을 보여준다. (Eu)/(Eu\*)와 (La/Lu)<sub>CN</sub>의 비를 보면 月岳山 花崗岩은 (Eu)/(Eu\*)과 (La/Lu)<sub>CN</sub>을 각각 0.22, 4.42이고, 俗離山 花崗岩은 각각 0.28과 14.2, 提川 花崗岩은 각각 26.02, 原州 花崗岩은 각

**Table 5. Rare earth element data of the granitic rocks of Jurassic and Cretaceous ages from the central part of South Korea.**

	Wonju granite								Chungju granite				Jecheon granite	Boeun granite
	YS 4	YS 5	YS 6	YS 8	YS 10	YS 15	YS 22	YS 28	YS 20	YS 24	YS 14	YS 30		
La	34.00	35.00	17.00	37.00	32.00	25.00	35.80(108.5)	43.00	48.00	33.50(101.5)	39.00(118.2)	29.20(88.5)	44.00	
Ce	56.00	61.00	28.00	64.00	55.00	38.00	57.87(78.5)	73.00	80.00	67.35(77.9)	74.17(85.7)	57.29(55.2)	76.00	
Pr	-	-	-	-	-	-	5.85(56.02)	-	-	7.28(59.7)	7.74(63.4)	5.98(49.1)	-	
Nd	27.00	23.00	13.00	30.00	25.00	21.00	24.50(38.9)	33.00	32.00	27.90(44.3)	27.70(44.0)	22.50(35.7)	34.00	
Sm	4.80	3.20	1.80	5.30	3.70	4.80	4.33(21.3)	6.70	5.60	5.45(26.8)	4.81(23.7)	3.93(19.4)	5.50	
Eu	0.90	0.70	0.40	1.00	0.80	1.10	1.04(13.5)	1.30	1.00	1.75(22.7)	1.21(15.7)	1.42(18.4)	1.10	
Gd	-	-	-	-	-	-	3.47(12.6)	-	-	4.97(18.1)	3.41(12.4)	3.04(11.0)	-	
Dy	2.90	1.90	1.70	3.70	2.60	3.80	3.65(7.7)	4.50	3.30	4.30(12.6)	1.99(5.8)	1.97(5.8)	3.20	
Ho	-	0.60	-	-	-	-	0.45(5.9)	-	-	0.81(10.7)	0.34(4.5)	0.33(4.3)	-	
Er	-	-	-	-	-	-	1.02(4.5)	-	-	2.04(9.1)	0.51(2.7)	0.69(3.1)	-	
Yb	1.20	-	0.70	1.90	1.20	1.60	0.95(4.3)	1.70	1.30	1.94(8.8)	0.66(3.0)	0.71(3.2)	0.90	
Lu	-	-	-	-	-	-	0.14(4.0)	-	-	0.31(9.0)	0.10(2.9)	0.10(2.9)	-	
	Wolaksan granite								Muamsa granite			Sokrisan granite		
	YS 2	YS 3	YS 7	YS 13	YS 17	YS 29	YS 32	YS 33	YS 16	YS 21	YS 23	YS 11	YS 31	
La	18.00	26.60(80.6)	20.00	20.00	28.00	47.00	20.00	26.00	27.00	30.00	57.00	44.00	31.40(95.2)	
Ce	35.00	55.89(64.6)	40.00	40.00	53.00	82.00	44.00	50.00	49.00	61.00	115.00	73.00	61.93(71.6)	
Pr	-	6.05(49.6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.20(50.8)	
Nd	18.00	22.30(35.4)	18.00	22.00	23.00	32.00	25.00	24.00	21.00	27.00	45.00	30.00	21.50(34.1)	
Sm	4.10	5.51(27.1)	3.90	6.20	4.00	5.40	8.40	5.90	4.00	7.20	10.20	5.10	3.95(19.5)	
Eu	0.10	0.41(5.3)	0.1	0.20	0.30	0.80	0.30	0.20	0.20	0.20	0.40	1.20	0.35(4.5)	
Gd	-	5.94(21.6)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.04(11.0)	
Dy	6.70	6.90(20.2)	5.80	8.40	3.50	3.80	10.70	6.80	4.00	7.50	8.40	3.20	2.71(7.9)	
Ho	-	1.30(17.1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.50(5.6)	
Er	-	3.90(17.3)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.37(5.1)	
Yb	4.40	4.18(19.0)	4.50	7.70	2.20	1.70	8.20	5.00	2.60	5.80	5.20	1.20	1.56(7.1)	
Lu	-	0.62(18.2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.23(6.7)	

Eu\* : Eu value derived by interpolation between Sm and Gd.

Bar Symbol(-) indicates not determined. Numerals in Parenthesis indicate chondrite normalized value.

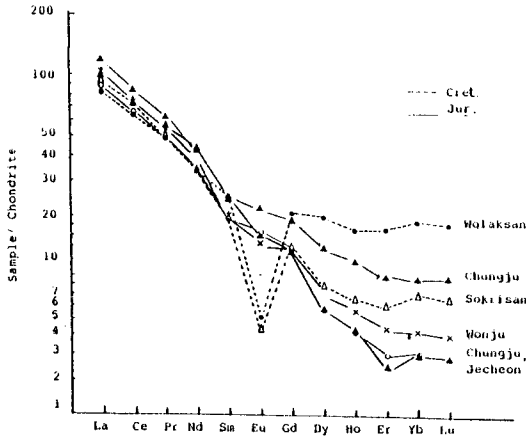


Fig. 6. Chondrite normalized REE patterns for some granitic rocks.

각 0.78과 27.13이다. 月岳山과 俗離山 花崗岩은 Eu의 부 이상을 보여주나 忠州, 提川, 原州 花崗岩은 Eu의 정 이상을 나타낸다. 稀土類 元素의 변화와 부의 Eu 이상을 이용한 花崗岩 용융의 Rayleigh fractionation model 해석(Tsue et al., 1987)에서 韓國의 白堊紀 花崗岩은 마그마의 分別 結晶 作用에 의한 분화 산물이며, 부 Eu 이상이 나타나지 않는 玆라기 花崗岩은 分別 結晶 作用에 의한 분화 산물이라 해석하기 어려움을 지적하였다.

Tsue et al(1987)에 의하면 (Eu)/(Eu\*)와 (La/Lu)<sub>CN</sub>의 비의 범위가 白堊紀 花崗岩을 각각 1.1~0.04, 2.4~38

인 반면 玆라기 花崗岩은 각각 1.1~0.62, 20~80이다. 본 연구 지역 花崗岩의 (Eu)/(Eu\*)와 (La/Lu)<sub>CN</sub>의 값의 범위와 Eu 이상의 특징을 보면 月岳山, 俗離山 花崗岩은 白堊紀 花崗岩의 특징을 보이고, 提川, 忠州, 原州 花崗岩은 玆라기 花崗岩의 특징을 나타내고 있다. Eu의 부의 이상을 나타내는 月岳山과 俗離山 花崗岩은 分別 結晶 作用에 의한 마그마의 분화 산물로 해석되며 이것은 長石이 결정될 당시 산소 분압이 높았음을 의미해 주고 있다.

### 花崗岩類의 酸素安定同位元素比

花崗岩 시료 중 분리된 鑛物의 시료 및 전암 시료에 대하여 酸素安定同位元素比( $\delta^{18}O$ )를 분석하였다. 同位元素比 분석을 위하여 시료는 Br F<sub>5</sub>을 이용(Clayton 과 Epstein, 1961) 酸素를 추출하여 黑鉛과 태워 CO<sub>2</sub>를 만들어 질량을 분석했다. 분석된 同位元素比는 천분율로

$$\delta^{18}O = \left( \frac{^{18}O/^{16}O}{^{18}O/^{16}O}_{\text{표준시료}} - 1 \right) \times 10^3$$

로 표시했으며 SMOW로 표현했다. 분석된 결과는 Table 6과 같다. 본 조사 지역 花崗岩에 대한 全岩의 酸素同位元素比는 玆라기 花崗岩類인 경우 +9.98~+10.51‰이고, 白堊紀 花崗岩은 이보다 약간 작은 +8.26~+9.56로 玆라기 花崗岩이 다소 <sup>18</sup>O 값이 富化되어 있는 變成 堆積岩類로 되어 있는 原岩에 기인하기 보다는 마그마의 분화과정과 조건에 차이에 기인하는 것으로 해석된다.

月岳山 花崗岩體내에 분포하는 聞慶北部 당포 지역의 黑

Table 6. Oxygen isotope composition of granitoids from Wolaksan, Sokrisan, Wonju, and Jecheon area.

Sample No	Description	$\delta^{18}O$ ‰ (SMOW)			
		Qtz	Pl	Bi	WR
YS 28	Wonju Biotite-hornblende granite	+9.98	—	+5.16	+8.70
YS 14	Songhak(Jecheon) Biotite granite(169-179my.)	+10.51	—	+6.61	+9.48
YS 23	Chungpung Pink feldspar granite (87-90m.y.)	+9.83	+8.84	—	+8.60
YS 35	Dangpo(Moonkyung) Biotite granite	+10.49	+8.72	+5.91	+8.49
YS 3	Undalsan(Moonkyung) Pink feldspar granite	+9.56	+8.15	+5.34	+9.09
YS 31	Sokrisan Pink feldspar granite	+8.26	+6.46	+3.03	+7.72

Qtz(Quartz), Pl(Plagioclase), Bi(Biotite), WR(Whole Rock)

雲母-角閃石 花崗岩은 酸素同位元素값이 쥬라기 花崗岩의 것과 유사해 쥬라기 岩體임을 강하게 암시해주고 있다. 한편 白堊紀 花崗岩類중 月岳山과 務岩寺 花崗岩類는 유사한 酸素同位元素값을 가져 同源 마그마기원으로 해석되나, 俗離山 花崗岩은 全岩+7.72% 石英+8.26%로 月岳山 花崗岩과는 구별되는 酸素同位元素값을 가진다. 이는 微量 元素 분석의 특성에서와 유사한 경향이 얻어져 俗離山 花崗岩은 月岳山 花崗岩과 마그마의 기원이 다름을 의미하여 주고 있다.

花崗岩類 分化 特性

月岳山 花崗岩은  $Al_2O_3 / (CaO+NaO+Na_2O+K_2O)$ 가 1.01~1.09(mol%)로써 대부분 Shand(1927)의 분류법에 의하면 알루미늄이 과포화된 화학 조성을 가지며 務岩寺 花崗岩 1.03~1.08(mol%), 報恩花崗岩은 1.04(mol%)로 Peraluminus 하고, 俗離山 花崗岩 0.96~1.08(mol%), 提川 花崗岩 0.97~1.29(mol%), 忠州 花崗岩 0.97~1.01(mol%), 原州, 花崗岩 0.99~1.12 (mol%)은 Permetaluminus한 특징을 나타내고 있다.

SiO<sub>2</sub>에 대한 Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O(wt %)의 상관도(Irvine과 Baragar, 1971)에서는 Subalkaline에 대부분의 花崗岩이 도시된다(Fig. 7). 그리고 SiO<sub>2</sub>에 대한 Alkalinity비의 상관도에서 대부분의 화강암은 Calc-alkaline과 Alkaline영역에 포함되고, 유사한 岩相에서도 SiO<sub>2</sub>양이 72%이상인 경우는 모두

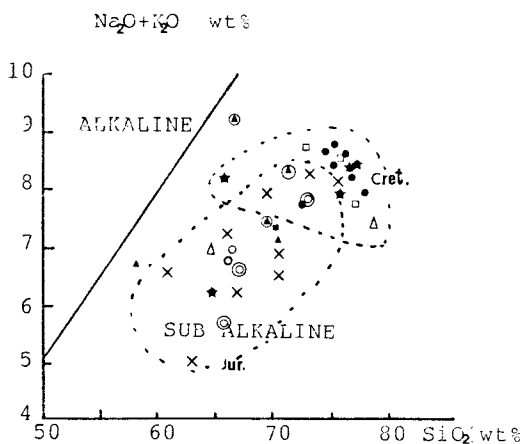


Fig. 7. Plot on Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O versus SiO<sub>2</sub> (wt%) for the granitic rocks. Symbols are shown in Fig.2.

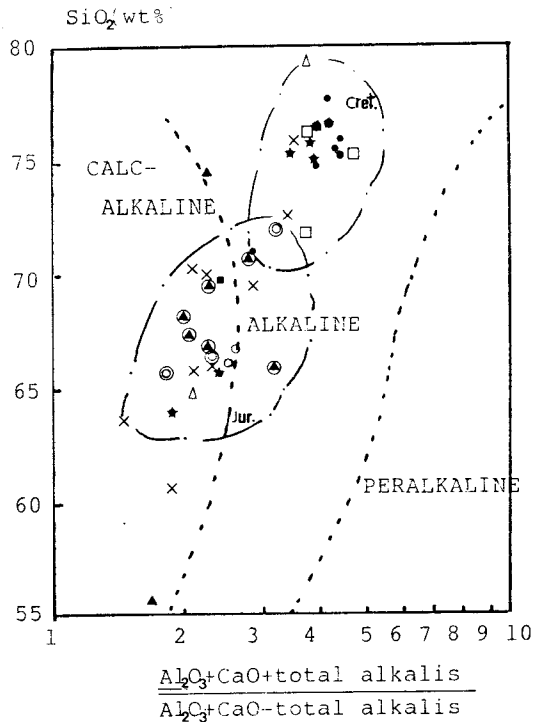


Fig. 8 : Alkalinity ratio diagram for the granitic rocks. Symbols are the same as those in Fig. 2.

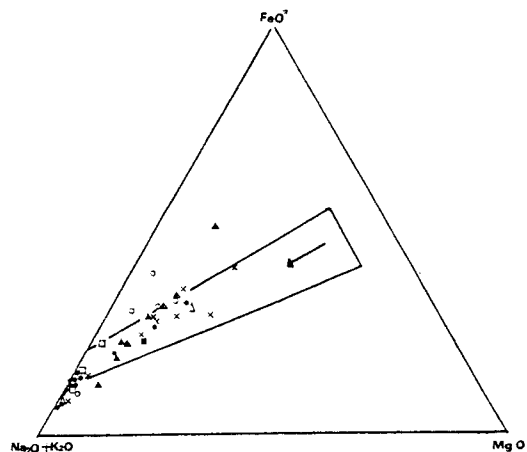


Fig. 9. AMF diagram for the granitic rocks. Line indicates calc-alkaline trend(Ringwood, 1974).

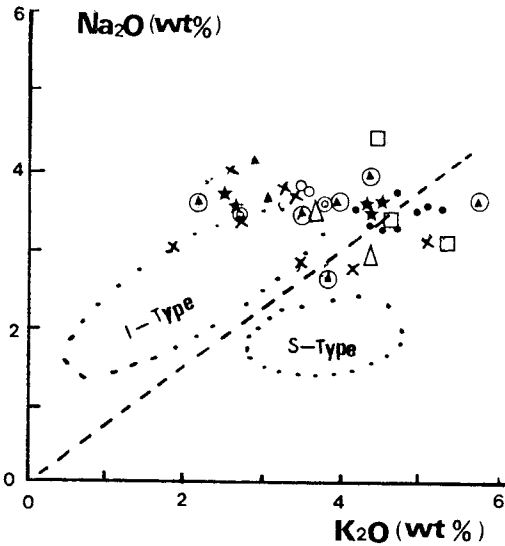


Fig. 10. Sodium content plotted against potassium content of the granitic rocks. Symbols are shown in Fig. 4.

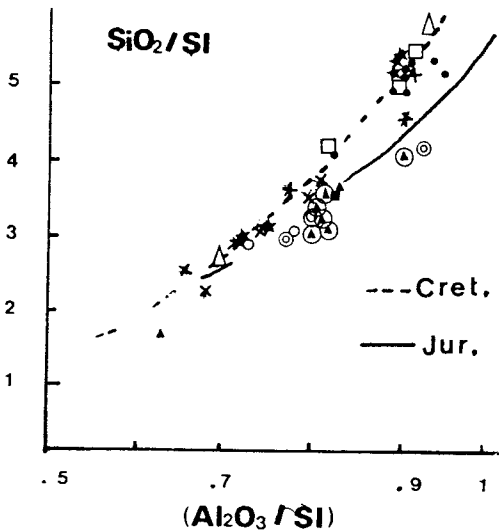


Fig. 11. Variation of  $\text{SiO}_2/\text{SI}$  with  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SI}$  of the granitic rocks. Dotted and line trend after Iiyama and Fonteilles(1981).

Alkaline영역에 도시된다(Fig. 8). 이것은 Calc-alkaline계열의 일반적인 특징이다 (Wright 1969, 陳明植, 1981, 권치순, 1987). 따라서 본 연구지역의 모든 花崗岩의 화학 조성은 대부분 Calc-alkaline 계열에 해당됨을 알 수 있고,

AFM 삼각도(Fig. 9)에서 처럼 모든 화강암은 Calc-alkaline 마그마 분화 경향을 보여주고 있다.

Fig.10은  $\text{K}_2\text{O}(\text{wt}\%)$ 에 대한  $\text{Na}_2\text{O}(\text{wt}\%)$ 의 관계(陳明植等, 1981)와 오스트레일리아 東南쪽에 있는 Kosciusko에서 花崗岩(Hine et al, 1978)의 I-type과 S-type의 구분도에 본 조사 지역의 花崗岩을 도시한 결과  $\text{K}_2\text{O}(\text{wt}\%)$ 가  $\text{Na}_2\text{O}$ 에 비해 상대적으로 높은 경향이 나타나며 I-type과 S-type 구분이 어렵다.

각 花崗岩體의 岩石을  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SI}(\text{SI}=\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Total FeO}+\text{MgO})$ 에 대한  $\text{SiO}_2/\text{SI}$ 의 상관도에 도시하면 Fig. 11과 같은 경향을 보여준다. 여기서 점선은 白堊紀 花崗岩의 변화 경향이고, 실선은 侏羅紀 花崗岩의 변화 경향을 나타낸 것이다(Iiyama et al, 1981). 月岳山, 務岩寺와 俗離山 花崗岩은 白堊紀 花崗岩類의 경향을 提川, 忠州와 原州 花崗岩을 侏羅紀 花崗岩類의 경향을 보여주고 있다.

#### 花崗岩類와 鑛化作用

本 研究地域인 忠州-俗離山-月岳山-提川 花崗岩 주위의 鑛床 분포는 Fig.12와 같다. 月岳山, 務岩寺 花崗岩 주위에는 忠州, 俗離山, 提川 花崗岩과는 달리 다양한 鑛床들이 밀집 분포되어 있다. 月岳山-務岩寺 花崗岩 주위에는 Cu-Pb-Zn 鑛床(광상의 수, 63), Wo-Mo 鑛床(13)이 분포하고 있다. 忠州 花崗岩 주위에는 螢石 鑛床(3) 滑石 鑛床(7)이 분포하며, 提川 花崗岩 주위에는 Cu-Pb-Zn 鑛床(1) 등이 분포하고 있다. 그러나 俗離山 花崗岩 주위에는 鑛床의 분포가 거의 없다. 月岳山 花崗岩 주위에는 Wo-Mo 鑛床이 花崗岩 底盤의 가장자리를 중심으로 岩體內 약 2.7Km와 바깥쪽 약 2.3Km사이에 분포하고, 務岩寺 花崗岩 주위에는 Cu-Pb-Zn의 多金屬 鑛床이 花崗岩 底盤의 가장자리를 중심으로 岩體內(약 0.5km)와 岩體外(약 3.3km사이)에 분포하고 있다(윤석규 등, 1986). 忠州 花崗岩 주위에는 鐵 鑛床, 螢石 및 滑石 鑛床이 소수 분포하고 있다. 滑石 鑛床은 주로 花崗岩 底盤 주위 약 1.4~4.6Km사이에 분포하고 있다. Fig. 12에서 처럼 月岳山-務岩寺 花崗岩 사이와 提川-務岩寺 花崗岩 사이에 많은 鑛床의 분포는 이들 두 花崗岩이 鑛化作用과 밀접한 관련이 있음을 의미하고 있다. 이들 지역에 분포하는 鑛床의 成因을 보면(大韓鑛業振興公社, 1981, 1985, 1987; 朴喜寅等, 1981) 月岳山 花崗岩과 務岩寺 花崗岩 부근의 Cu-Pb-Zn 鑛床과 滑石

鑛床은 열극 증진 鑛脈鑛床, 熱水交代 또는 接觸 交代 鑛床이 主를 이루고, 忠州 花崗岩 부근의 滑石 鑛床은 熱水 變質 鑛床, 變成 鑛床이 대부분을 차지한다. 月岳山 花崗岩 南部는 Cu-Pb-Zn 鑛床(1)이 수반되나, 北部에 비해 분

포 수가 적다.

윤석규 외(1986)에 의하면 月岳山 花崗岩體 內와 近접한 곳 에는 W-Mo와 螢石 鑛床이 다수 발달하고 花崗岩體에서 멀어질수록 Cu-Pb-Zn 鑛床의 분포 수가 감소함을 지적하였

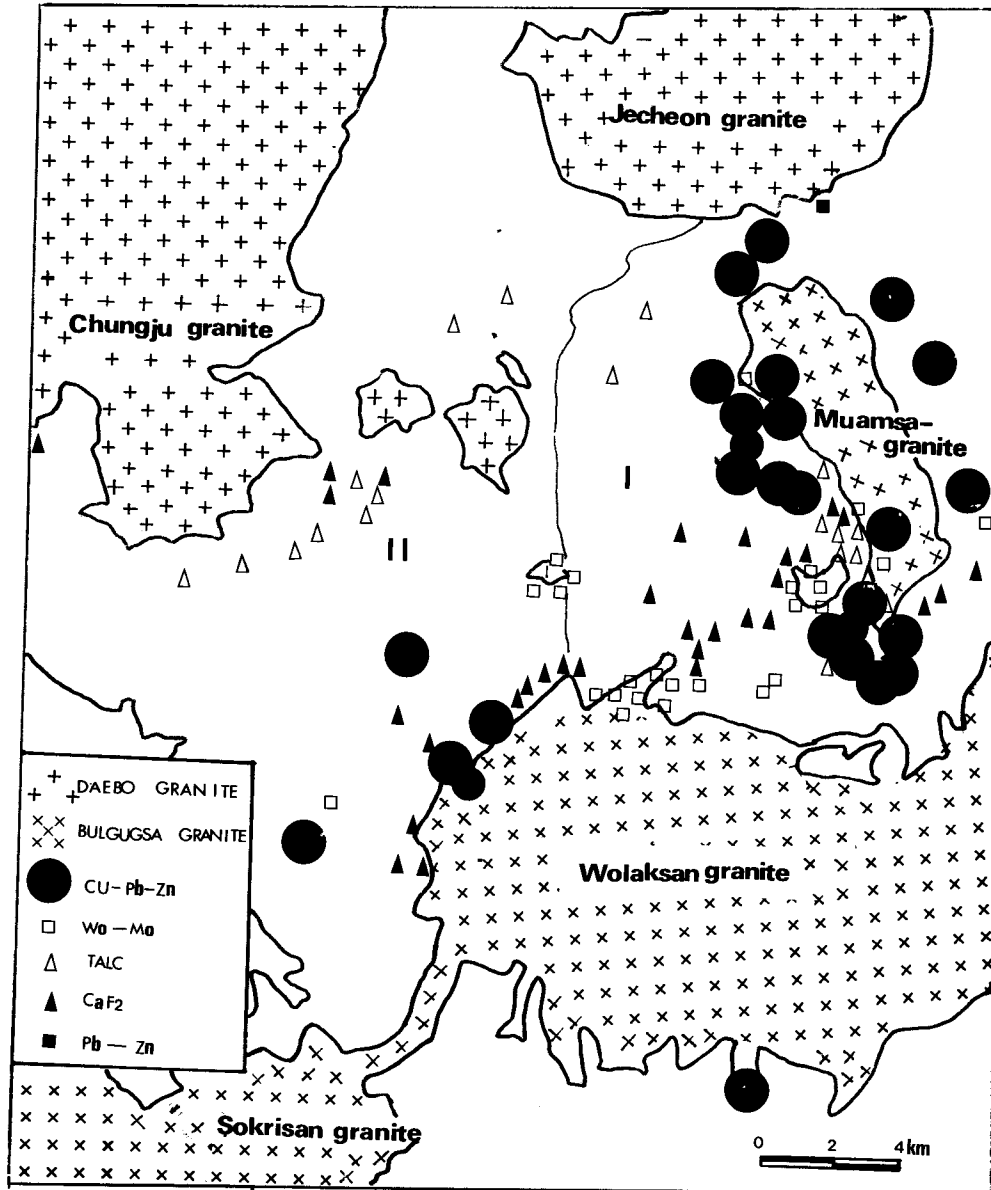


Fig. 12 Distribution map of the mineral deposits. Mine locations are from the compiled data by Reedman et al. (1975) and Yun et al

다.

鑛床은 주로 주라기 花崗岩 보다 白堊紀 花崗岩과 밀접히 관련되어 있고 白堊紀 花崗岩 중에서도 천부 관입 花崗岩으로 해석되는 俗離山 花崗岩은 鑛床과 관련이 적다. 또한 鑛床의 母岩은 주로 朝鮮系 三台山層인 石灰岩이며, 務岩寺(Cupola형)花崗岩과 月岳山 花崗岩 底盤 사이에 鑛化作用의 현저한 특징이 있다. 忠州 花崗岩體 주위에 적은 鑛床 분포는 관계 火成岩은 물론 非碳酸鹽岩의 母岩에도 기인한 것으로 해석된다. 月岳山, 務岩寺 花崗岩類의 미량 성분중 낮은 Co, Cr, Ni 함량은 마그마의 分化 말기의 특성을 잘 반영해 주고 있으며, 금속 이온 농도가 높은 열수 용액의 형성 환경을 암시해주고 있으며, 忠州 花崗岩과 같은 주라기의 화강암에 비해 낮은 Zn 함량은 위의 사실을 뒷받침해 주고 있다.

미량 원소의 특성에서 밝힌 月岳山 花崗岩의 分化 경향이 岩體의 南部에서 北東部로 진행된 사실로 상기의 열수 광화와 밀접한 관련성이 있음을 지적하였다(金孝澤, 1988). 그리고 REE의 함량이 忠州 花崗岩 보다 月岳山 花崗岩이 높은 값을 가지며, 이는 忠州 花崗岩 보다 月岳山 花崗岩이 후기 分化 산물이므로 마그마 자체에 金屬 鑛物이 상대적으로 우세하게 농집되었던 것으로 해석되며 후기 금속 원소가 농축된 열수 용액 형성에 크게 기여한 것으로 해석된다.

## 結 論

(1) 沃川 褶曲帶 中部 지역에 분포하고 있는 花崗岩類의 모드 분석 결과 月岳山 花崗岩, 務岩寺 花崗岩, 原州 花崗岩은 Normal 花崗岩에 속하고 俗離山 花崗岩, 忠州 花崗岩 및 提川 花崗岩은 花崗閃綠岩에 속한다.

(2) 주라기 大寶 花崗岩類인 忠州, 提川, 原州, 報恩 지역의 花崗岩類와 白堊紀의 月岳山, 務岩寺, 俗離山의 花崗岩類는 분화 지수(75~90, 82~89),  $\text{Na}_2\text{O}$ 에 대한  $\text{K}_2\text{O}$ 의 비(0.9~1.0, 1.1~1.2), Normative corundum(0.8~2.1~0.5~0.9)과 稀土類 元素에서  $[\text{Eu}] / [\text{Eu}^*]$ ,  $(\text{La}/\text{Lu})_{\text{CN}}$ , 그리고 Eu anomaly에서 현저한 차이가 나타났다.

(3) 白堊紀 花崗岩類인 月岳山, 務岩寺, 俗離山 花崗岩은 주라기 花崗岩類인 提川, 忠州, 原州, 報恩 花崗岩에 비해 높은  $\text{SiO}_2$  함량과 낮은 CaO,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , MgO, FeO,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 의 함량으로 특징지어지며  $\text{Na}_2\text{O}$ 와  $\text{K}_2\text{O}$ 는 白堊紀 花

崗岩類에서 높게 나타나고 있다.

(4) 微量 成分 분석 결과 주라기의 花崗岩類가 白堊紀의 花崗岩類에 비해 Zn, V, Co, Cr, Sr, Ba 함량이 높고 Zr, Y, Li은 낮다.

(5) 稀土類 元素 분석 결과  $[\text{Eu}/\text{Eu}^*]$ 과  $(\text{La}/\text{Lu})_{\text{CN}}$ 의 비의 범위가 각각 주라기 花崗岩은(0.78~1.13)과 (26.02~30.5), 白堊紀 花崗岩은(0.22~0.28)과(4.42~14.2)으로 두 시기의 花崗岩類에서 현저한 차이가 나타난다. 提川, 忠州, 原州 花崗岩과는 달리 부의 Eu 이상을 나타내는 月岳山, 俗離山, 務岩寺 花崗岩은 分別 結晶 作用의 산물로 해석된다.

(6) 花崗岩類에서 石英의 酸素安定同位元素比( $\delta^{18}\text{O}$ )는 주라기 花崗岩類는 +9.98~+10.51‰이고, 白堊紀 花崗岩類는 +8.26~+9.56‰로 주라기 花崗岩類에  $^{18}\text{O}$ 가 더 농집되어 있는 경향을 보여주며 이는 두 시기 花崗岩類의 마그마 分化 과정과 조건의 차이때문인 것으로 해석된다.

(7) 主元素 및 稀土類 元素 분석 결과에서 보면 月岳山, 務岩寺, 俗離山 花崗岩은 白堊紀 花崗岩類의 특징을 나타내며, 俗離山 花崗岩과 月岳山, 務岩寺 花崗岩 사이에 나타나는 微量 元素의 함량과 安定同位元素比의 차이는 이들 岩體 形成 마그마가 동원이 아님을 의미하여 주고 있다. 그리고 이들 花崗岩體 내에 분포하는 당포 지역의 黑雲母-角閃石 花崗岩의 酸素安定同位元素比(+10.49‰)는 月岳山 花崗岩類의 값(+9.56‰)과 다르며 주라기 花崗岩類의 값의 범위(9.98~10.51‰)에 들어가 당포 지역의 黑雲母-角閃石 花崗岩은 大寶 花崗岩의 잔재로 해석된다.

(8) 花崗岩體와 鑛化作用과의 관계 검토에서 月岳山, 務岩寺 花崗岩 주위에 금속 광상 분포 빈도가 높은 것은 花崗岩 주위의 母岩의 차이와 관계 火成岩類의 REE 등의 地化學의 특성과 밀접한 관련이 있는 것으로 해석된다.

즉, 관계 火成岩인 月岳山-務岩寺 花崗岩의 微量 成分 중 Ba, Sr, Co, V, Cr, Ni, Zn의 함량은 기타 지역의 花崗岩類에 비해 낮고 Nb, Y는 높은 경향을 나타내며 낮은 Co, Cr, Ni 함량은 마그마 분화 말기의 특성을 나타내며 금속 이온 농도가 높은 후기 열수 용액의 생성 환경을 암시해 주고 있다.

## 參考文獻

권치순 (1987) 대전-공주간에 분포하는 花崗岩質岩類의 地

- 質年代와 岩石化學. 연세대학교 대학원 박사학위 논문 (미간행).
- 金奎漢(1986) 沃川變成帶 내에 분포하는 우라늄 鑛床의 同位元素 地球化學的 研究. 鑛山地質, 19권 특별호.
- 金基晄, 李弘圭(1965) 忠州 도폭 설명서. 국립 지질 조사소.
- 金基晄, 李弘圭, 朴奉淳(1967) 提川 도폭설명서. 국립지질 조사소.
- 金玉準(1968) 忠州-문경 간의 沃川系 층서와 구조. 광산 지질, 4권, p. 25-56.
- 金玉準(1971) 南韓의 新期花崗岩類의 關連 시기와 地각 변동. 광산지질, 4권, p. 1-9.
- 金勇俊(1979) 提川 花崗岩體에 대한 岩石化學 研究. 광산 지질, 12권, p. 115-126.
- 大韓鑛業振興公社(1981) 광상 시추 조사 보고서 제 9호.
- 大韓鑛業振興公社(1985) 광상 시추 조사 보고서 제 8호.
- 大韓鑛業振興公社(1987) 광상 시추 조사 보고서 제 10호.
- 朴奉淳, 최종옥(1972) 黃江里 廣域 鑛化帶 3차년도 조사 보고서. 지질 광상 조사 연구 보고 14호, p. 122-260.
- 朴喜寅, 李商萬, 李政成, 김수진(1981) 黃江里 地域 金屬鑛床成因에 관한 연구. 지질학회지, 17권, p. 201-222.
- 연세대학교 지질학과 동문회(1982) 韓國의 地質과 鑛物資源, 김옥준 교수 정년 퇴임 기념지, 대림 문화 정판사.
- 尹碩奎, 金奎漢(1986) 沃川帶의 地質 및 鑛物資源에 관한 研究. 광산지질, 19권, p. 3-17.
- 李大聲, 이하영(1972) 沃川系 내의 협성된 石灰質地層에 관한 岩石學的 및 微古生物的 研究. 손치무 교수 기념 논문집, p. 89-111.
- 李大聲(1974) 沃川 地質時代 결정을 위한 研究. 연세 논총 11집.
- 李河榮, 康俊男(1978) 月岳山 花崗岩의 接觸 變成에 관하여. 광산지질, 11권, p. 169-15.
- 李大聲, 池植蔓, 이대운(1980) 沃川地帶에서 火成活動에 의한 鑛化作用의 유형에 관한 研究. 광산지질, 13권, p. 167-184.
- 李大聲, 金勇俊(1985) 沃川帶에서 火成活動. 광산지질, 18권, p. 23-39.
- 李大聲, 나기창, 金勇俊(1985) 沃川帶 地質 및 鑛物資源에 관한 研究. 광산지질, 18권, p. 381-397.
- 李政成, 朴奉淳(1965) 黃江里 도폭 설명서. 국립 지질 조사소.
- 李鍾革, 金貞換(1972) 槐山 도폭 설명서. 국립 지질 조사소.
- 全孝澤(1988) 月岳山 花崗岩體의 岩石地球化學的 특징과 鑛化作用과의 관련성. 대한 광산학회지, 29권, p. 199-208.
- 池植蔓(1975) 南韓의 螢石 鑛床에 관한 연구. 광산지질, 8권, p. 25-56.
- 陳明植(1981) 南韓의 白堊紀 花崗岩類에 관한 岩石學的, 地化學的 研究. 서울 대학교 대학원 박사학위 논문(미간행).
- 韓國動力資源研究所(1985) 등록 광물 분포도. 개정판, 경문사.
- Clayton, R.T. and Epstein S.(1961) The use of oxygen isotopes in high temperature geological thermometry. Jour. Geol., v.69, p. 447-452.
- Hong, Y. K. (1987) Geochemical characteristics of Precambrian, Jurassic and Cretaceous granites in Korea. J. Korean Inst Mining Geol, v. 20, p. 35-60.
- Iiyama, J. T. and Fonteilles, M.(1981) Mesozoic granitic rocks of southern Korea reviewed from major constituents and petrography. Mining Geol. Japan, v. 31, p. 281-295.
- Irvine, T. N. and Baragar, W. R. A. (1971) A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Can Jour. Earth Sci., v. 8, p. 523-548.
- Jin, M. S., Kim, S. Y. and Lee, J.S.(1981) Granitic magmatism and associated mineralization in the Gyeongsan basin. Mining Geol. Japan, v. 31, p. 245-260.
- Reedman A. J. and Um, S. H. (1975) Geology of Korea. Geol. Min. Inst. Korea, 139, pp.
- Ringwood, A. E. (1974) The petrological evolution of island arc system. Jour. Geol. Soc., v. 130 p. 183-204.
- Shand, S. J. (1972) The eruptive rocks. New York, Wiley.
- So, C. S., Rye, D. M. and Shelton, K. L.(1983) Carbon, Hydrogen oxygen and sulfur isotope and fluid inclusion study of the Weolag Tungsten-molybdenum deposits, Republic of Korea; Fluid histories of metamorphic and ore forming events. Econ. Geol., v. 78, p. 1551-1573.
- Streckeisen, A. L. (1976) To each plutonic rocks and its proper name(Earth). Sci. Rev., v. 12, p. 1-33.
- Taylor, S. R. (1964) Abundances of chemical elements in the continental crust. Geochim. et Cosmochim. Acta, v. 28, p. 1280-1281.
- Tsue, A. Mizuta, T. Tamai, T. and Kim S. W.(1987) Mesozoic granitic rocks of south Korea; Trace element evidence regarding their differentiation; 2, REE patterns. unpublished Thesis. Magazine
- Wright, J. B. (1969) A simple alkalinity ratio and its application to questions of non-orogenic granite genesis. Geol. Mag., v. 106, p. 370-384.