

## 영주저반의 관입상과 화성과정

황상구 · 김상욱\* · 장태우\* · 김정민\*\* · 이상근

### Intrusive Phases and Igneous Processes in the Yeongju Batholith

Sang Koo Hwang, Sang Wook Kim\*, Tae Woo Chang\*,  
Jeong Min Kim\*\* and Sang Keun Lee

**ABSTRACT:** The Yeongju granitoid batholith is a plutonic complex of huge area (1180 km<sup>2</sup>) intruding the metamorphic rocks of the Yeongnam massif. The batholith, which is divided into five lithofacies, consists of three separate plutons. The oldest Buseok pluton comprises four lithofacies: hornblende biotite tonalite, porphyritic biotite granodiorite, equigranular biotite granodiorite and biotite granite. The middle Chunyang pluton has been called as Chunyang granite that ranges in composition from granodiorite to granite. The youngest Jangsu pluton is intrusions that has lithofacies of two mica granite. The contact between Buseok pluton and the rest two plutons shows obvious intrusive relations, but the relation between the Chunyang and the Jangsu pluton is far away, so gives no indication of relative ages. Changes in textures and microstructures, as well as in the mineral contents, take place between rock types of the plutons. Only the Buseok pluton shows foliations of two type: magmatic foliation and regional mylonitic foliation. K-Ar age determinations fall into 171.7 ± 3.2~162.3 ± 3.1 Ma in the Buseok pluton, 153.9 ± 2.9 Ma in the Chunyang pluton and 145.3 ± 2.7 Ma in the Jangsu pluton. The batholith presents three separate intrusive phases which range in composition from tonalite to granite. Each intrusive phase appears to have been intruded in a pulse from an underlying, differentiating magma. The petrochemical data show that three plutons are within the diagnostic range for continental arc orogenic tectonic setting, whereas Jangsu pluton approaches postorogenic setting. The data suggest that three plutons are calc-alkaline series, and that temporal compositional variations change progressively from tonalite through granodiorite to granite between the intrusive phases. So we consider that the magmas for all the phases were probably derived from a differentiation by fractional crystallization of a parental magma. The tonalite magma of the Buseok phase was tapped from a chamber deep in the crust, and then would have to rise at a rapid rate to its final level of emplacement. The tonalite magma in the chamber was gradually evolved through granodiorite magma into granite magma by fractional crystallization. The magmas of the younger phases were respectively tapped with temporal interval from an evolved magma of the chamber that rose into a shallower level in the crust, and rose to their present level of emplacement.

## 서 언

영남육괴에는 트리아스기 내지 쥬라기의 저반이 여러 곳에 존재한다. 이들은 대체로 북동-남서방향으로

길다란 타원상 분포를 이루며 영남육괴의 변성암류를 관입하고 있다. 이러한 저반은 화강암질암류로 구성되며 대륙지각의 주 구성원이 되고 있다. 따라서 이는 어떤 조구조 환경에서 그 기원은 어떠한 과정으로 지금과 같은 양상을 이루는지 현재까지 암석학 연구에 있어 주요 관심사가 되어 왔다. 이전 연구자들은 시공간적으로 서로 수반되는 하나의 화강암질암 저반의 성인을 설명할 때, 만약 화강암질암 저반의 화학 분석 자료가 매우 일정한 구배를 가지면서 변화를 보인다면, 단일 마그마의 분화에 의한 결과라고 결론을

안동대학교 자연과학대학 지구환경과학과 (Department of Earth and Environm. Science, Andong Nat'l University, Andong 760-749, Korea)

\* 경북대학교 자연과학대학 지질학과 (Department of Geology, Kyungpook Nat'l University, Taegu 702-701, Korea)

\*\* 기초과학지원연구소분석그룹 (Korea Basic Science Institute, Eoeun-dong 52, Yuseong-gu, Taejeon, Korea)

내리는 것이 일반적이었다. 왜냐하면 화강암질 저반이 다양한 암상을 보이는 것은 그 구성암체가 동일 마그마의 분화로부터 유래되는 것이 일반적이기 때문이다 (Bateman and Dodge, 1970). 그러나 저반 내에서 나타나는 다양한 암상(lithofacies)은 관입 전에 지각 심부의 마그마 챔버에서 마그마 분화로부터 맥동적인 관입 단계에 의한 시간적인 조성변화를 나타내는 관입상(intrusive phase)에 의한 것일 수도 있고, 지각 천부의 현재 레벨에 정착된 후의 마그마 분화단계에 의한 오로지 공간적인 조성변화에 의한 분화상(differentiated phase)에 의한 것일 수도 있다. 따라서 관입상 간뿐만 아니라 분화상 끼리도 일반적으로 조성 차이가 나타날 것이며 이 조성 차이의 원인이 무엇이고 그 과정이 어떠한지를 알아내는 것은 매우 복잡하기 때문에 시간적인 변화와 공간적인 변화를 나누어 생각하는 것이 논리의 전개에 편리하고 명확해질 것이다. 그러므로 우리는 먼저 저반 내의 암상을 정확히 분대하고, 분대된 암상들이 시간적인 관입상에 의한 것인지 혹은 공간적인 분화상을 나타내는지를 명확히 알아내야 하며, 그리고 관입상이라면 통시적(diachronic)인 관점에서 시간적인 진화 과정에 역점을 두어 엮어야 하고 분화상이라면 공시적(synchronic)인 관점에서 주로 공간적인 진화를 추적해야만 할 것이다. 그래서 우리는 일차적으로 이 논문에서 관입상들의 시간적인 진화과정을 푸는 것이 주 목적이고, 한 암체 내의 분화상을 나타내는 공간적 진화는 차후의 연구과제로 남겨둔다.

영남육괴 북동부의 영주지역에는 심성암체가 선캠브리아기 원남층군과 소백산편마암복합체에 해당하는 변성암류를 관입하면서 (신병우와 최승일, 1968; 윤석규 외, 1988; 이종혁 외, 1989; 이민성 외, 1989) 북동-남서방향으로 길쭉하게 약 1180 km<sup>2</sup>로 넓게 노출되며 우리는 이를 영주저반(Yeongju batholith)이라 부른다 (Fig. 1). 이 영주저반은 다양한 암상의 심성암체로 구성되는 심성암 복합체(plutonic complex)이다. 이 복합체는 각 심성암체를 관입단계에 따라 분류하면 여러 개의 관입상으로 구분된다. 그래서 이 저반은 오랜 시간에 걸쳐 여러 차례 관입되었던 심성암체들의 진화사를 연구할 기회를 제공한다. 흔히 마그마는 지각심부에서 형성된 후에 심부 챔버에서 분화되고 이 분화 물질이 이 챔버를 떠나 그 상부에 정착되며, 다시 이 곳에서 분화되면서 결정화되고 고화될 때까지 여러 과정을 겪는다. 영주저반도 이런 과정이 반복적으로 일어나 매우 큰 저반을 형성했을 것으로 생각된다. 큰 저반의 이런 과정을 엮어내기 위해서는 먼저 저반의 지

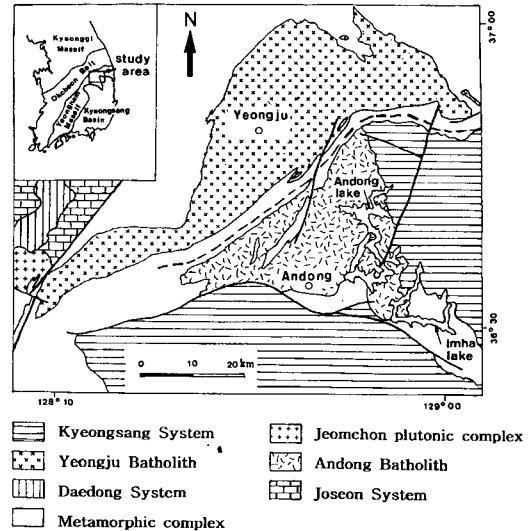


Fig. 1. Regional geological map adjacent to the Yeongju granitoid batholith.

질을 암상에 따라 분대하고 이들이 갖고 있는 내부구조를 철저히 기재함으로써 가능하다.

본 연구의 자료들은 영주지역 석재자원 조사로부터 시작하여 수년간에 걸친 지질조사에 의한 암상 분대와 그 사이의 실재실험을 통하여 얻어졌다.

## 지질개요

영주저반은 영남육괴의 북동부에 위치하며 변성암류의 관입으로 이들에 의해 둘러싸인다 (Fig. 1). 이 변성암류는 영주저반의 북부와 북서부가 선캠브리아기의 소백산 변성암 복합체의 남동부에 해당되고 저반의 남부와 동부가 변성퇴적암류의 원남층군(원남통)과 울리층군(울리통)에 속하며, 다양한 편마암류와 편암류로 구성되어 있다. 영주저반의 북부와 북서부에서 소백산 변성암 복합체는 미그마타이트질 편마암, 페그마타이트질 미그마타이트, 화강암질 편마암과 호상 편마암으로 구성된다 (이대성, 1966; 신병우와 최승일, 1968; 윤석규 외, 1988; 이종혁 외, 1989). 이들은 사질암, 이질암과 석회질암 등이 먼저 광역변성작용을 받아 형성된 것이 부분적으로 미그마타이트화작용 혹은 화강암화작용을 받아 더 다양한 암상을 가진 편마암으로 형성된 것이다 (원종관과 이하영, 1967; 신병우와 최승일, 1968). 이러한 사실은 호상 편마암 중에 페그마타이트 등의 화강암질 물질이 존재하고 상호 점이적인 관계에 의해 인지된다. 이 미그마타이트질 편마암 혹은 미그

마타이트는 영주저반의 북부에 대규모로 분포된다 (이대성, 1966; 이종혁 외, 1989). 그리고 화강암질 편마암은 영주저반의 북서부에 대규모로 분포된다 (신병우와 최승일, 1968).

영주저반의 남부에서 변성퇴적암류는 원남층군의 서부에 해당되고 원남층, 동수곡층, 장군석회암층과 두음리층으로 구성되며 (손치무와 김수진, 1963; 김옥준 외, 1963), 동부와 북동부에서 변성퇴적암류는 울리층군에 해당되고 각화사층과 고선리층으로 구성된다 (김옥준 외, 1963; 손치무와 김수진, 1963; 이동우와 김상욱, 1965). 이들은 여러 종류의 변성사질암, 변성이질암, 변성석회질암 등으로 구성된다. 그러나 이 지역의 변성퇴적암류는 태백산 편마암복합체와 태백산 편암복합체로 양분하고 양자간에 변성작용과 변성상이 다른 부정합관계라 하고 원남층을 태백산 편마암복합체에 대비시킨 바 있다 (이상만과 김형식, 1984). 최근에는 원남층군의 동수곡층, 장군석회암층과 두음리층을 고생대 지층으로 해석하는 경우가 많아졌다 (안건상 외, 1993; Yang, 1994; 양판석과 조문섭, 1995; 김기영 외, 1996). 그리고 이들은 남서쪽으로 가면서 화강암질 편마암과 반상변정질 편마암 등의 편마암류를 협재한다. 이들 변성암류는 대부분 녹색 편암상에서 녹색 각섬암상으로 변성되고 (이회천, 1986; 김규상, 1988) 심성암의 인접부에서 압쇄화되어 있다. 이 압쇄작용은 변성작용과 심성작용 후의 일이다 (Chang, 1990).

영주저반은 위에서 설명한 선캠브리아기의 다양한 변성암류를 관입하는 심성암 복합체이다. 이 저반의 지질은 춘양도폭 (손치무와 김수진, 1963), 삼근리도폭 (김옥준 외, 1963), 예안도폭 (이대성과 이하영, 1963)에서 각섬석 화강암과 춘양화강암으로 구분하고 각섬석 화강암을 시대미상으로 춘양화강암을 백악기로 기재한 바 있다. 이후 서벽리도폭 (이동우와 김상욱, 1965)에서 춘양화강암의 연장부를 백악기로, 옥동도폭 (이대성, 1966)에서 영주저반의 북변부를 부석화강암이라 하고 시대미상으로, 상금곡도폭 (신병우와 최승일, 1968)에서 영주저반의 서변부를 백악기 흑운모 화강암으로 기재하였다. 또한 안동도폭 (김봉균 외, 1988)과 예천도폭 (윤석규 외, 1988)에서 영주저반의 남서 연장부를 주라기 흑운모 화강암으로 기재하였으며, 풍기도폭 (이종혁 외, 1989)과 영주도폭 (이민성 외, 1989)에서 저반의 서변부를 시대미상의 흑운모 각섬석 화강암, 흑운모 화강암, 반상 편마상 화강암과 세립질 화강암 등으로 분류하였다. 그리고 예천도폭 서쪽 연장부를 함창도폭 (이민성과 김상욱, 1968)과 상주도폭 (원종관과

김기태, 1969)에서 시대미상의 화강암질 편마암으로 기재한 바 있다. 따라서 영주저반이 다양한 암상으로 구성되어 있을 것으로 짐작된다. 또한 춘양화강암이 저반의 동부에서 정의되었으나 동쪽으로 가면서 이의 범위가 연구자들에 따라 달랐다. 이는 큰 저반 전체를 지속적으로 암상에 따라 상세히 분대하지 않고 일시적으로 화학분석치에만 의존하려는 데서 일어난 혼란이라고 본다.

이 저반은 흑운모의 K-Ar 연대가 155Ma (김옥준, 1971),  $157.1 \pm 7.5$   $161.7 \pm 7.7$  Ma (진명식, 1998)이고, Rb-Sr의 전암 연대가  $224 \pm 10$  Ma, Sr 초기치가  $0.7172 \pm 0.0002$ 이며 다른 하나가  $72 \pm 33$  Ma이다 (주승환, 1987). 한편 최근에 측정된 Rb-Sr 전암 연대와 Sr 초기치가  $267 \pm 27$  Ma와  $0.7151 \pm 0.0003$ 로 측정된 바 있다 (Lee *et al.*, 1998). 춘양화강암의 백운모에 대한 K-Ar 연대는  $136.1 \pm 4.2 \sim 147.8 \pm 4.5$  Ma이다 (이현구, 1998). 그러므로 이 저반은 여러 관입체로 구성된 심성암복합체라는 것을 시사한다. 또한 이 저반은 조성이 토날라이트에서 화강암 범위이고 입도가 조립질에서 세립질 범위로서 다양하기 때문에 여러 개의 관입상과 분화상으로 구성됨을 암시한다. 본 연구에서 이 저반은 구성광물의 함량차이와, 반정 유무, 입도 차이와 색지수 등에 의한 암질로부터 6개 암상으로 분대되고, 그리고 관입접촉부와 포획체에 의한 상호관계와, 마그마성 엽리 등의 내부구조에 의해서 각섬석 흑운모 토날라이트, 반상 흑운모 화강섬록암, 흑운모 화강섬록암, 흑운모 화강암, 춘양화강암, 복운모 화강암 순으로 세분할 수 있다 (Fig. 2). 이 가운데 춘양화강암과 복운모 화강암은 영주저반의 기타 암상들을 관입하여 3개의 관입상으로 구분시킨다.

암맥류에는 페그마타이트맥과 염기성암맥이 있다. 페그마타이트맥은 변성암류와 심성암류를 관입했으며, 특히 심성암류의 암중에 따라서 산출빈도가 다르다. 이는 저반의 모든 관입상이 정지한 후에만 관입한 것이 아니고 여러 관입상이 정지하는 동안에도 관입했다는 것을 암시해 준다. 그리고 염기성암맥은 여러 곳에서 대개 남북방향으로 드물게 산출되며, 페그마타이트맥과 복운모 화강암을 관입하고 있어 최후기의 마그마 산물로 생각할 수 있다.

영주저반에서 변형작용은 북동-남서 내지 동서 방향으로 우세한 구조적 뼈대를 형성한 압쇄엽리이다. 이 저반의 남쪽 변성암류에서 전단대도 이 시기에 일어났다. 압쇄엽리는 대개  $N30 \sim 80^\circ E$ ,  $50 \sim 70^\circ NW$ 이며 저반의 남동측 변성암류에 나타나는 전단대에 대체로 평

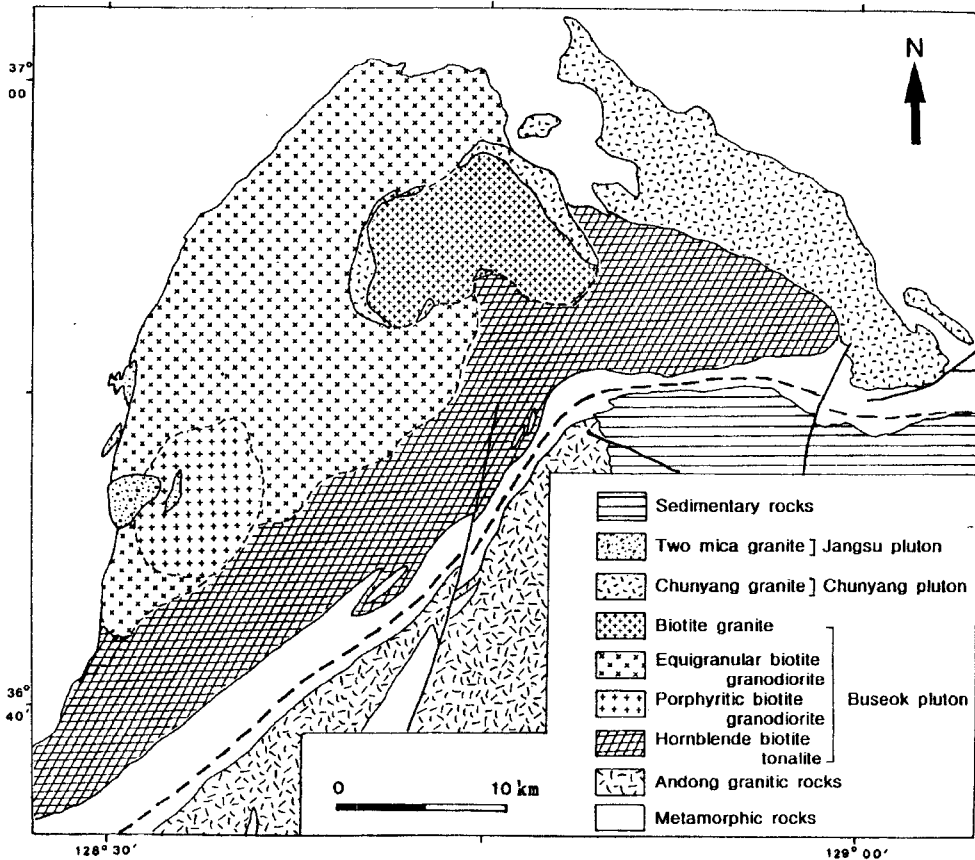


Fig. 2. Generalized geological map of the Yeongju granitoid batholith.

행하다 (Chang, 1990). 그리고 이후의 단층운동은 북북동-남남서 방향의 웅천단층 등으로 대표된다.

### 암상기재

영주저반은 6개 암상으로 구분되며 이들은 관입관계에 의해 3개의 심성암체로 구별되는 심성암 복합체이다 (Fig. 2). 여기서 고기 심성암체는 옥동도폭에서 부석화강암 (이대성, 1966)으로 칭한 선례가 있으므로 부석심성암체 (Buseok pluton)로 칭하며 이 저반의 동부와 중서부를 제외한 지역 전반에 걸쳐 놓이고 각섬석 흑운모 토날라이트, 반상 흑운모 화강섬록암, 등립상 흑운모 화강섬록암과 흑운모 화강암 등의 암상으로 구성된다. 중기 관입상은 춘양심성암체 (Chunyang pluton)로 부르고 이 저반의 동변부를 따라 놓이는 춘양화강암이 이에 속한다. 후기 관입상은 장수심성암체 (Jangsu pluton)로 부르고 이 저반의 중서부에 놓이며 세립질 흑운모 화강암으로 구성된다.

### 부석심성암체

부석심성암체는 영주저반에서 가장 넓은 약 1,000 km<sup>2</sup>의 면적을 차지하며 조립질 토날라이트에서 화강암까지 다양한 조성을 갖고 암상에 따라 각섬석 흑운모 토날라이트, 반상 흑운모 화강섬록암, 등립상 흑운모 화강섬록암과 흑운모 화강암 등의 4개 암상으로 세분된다.

각섬석 흑운모 토날라이트는 약 530 km<sup>2</sup> 면적을 차지하고 이 저반의 남부에서 북동-남서 방향으로 폭 약 5~6 km 내외의 대상으로 분포하는데 과거에는 각섬석 화강암이라고도 하였다 (손치무와 김수진, 1963; 이대성과 이하영, 1963). 이 토날라이트는 이의 남부에서 원남층군의 변성암과 접촉하고 북부에서 등립질 흑운모 화강섬록암과, 또 북서부에서 반상 흑운모 화강섬록암과 접촉한다. 북동부에서 흑운모 화강암과 접촉하고 춘양암체에 의해 관입된다 (Fig. 2). 변성암류와 접촉부에서 간혹 변성암 포획체가 발견되는 곳도 있다. 이 토날라

**Table 1.** Textural and microstructural characteristics and approximate modal contents(vol %) for lithofacies of the Yeongju batholith.

Lithofacies (rock type)	Texture and microstructure	Qtz	K-f	Pl	Bt	Hb	Mus	All	Ep	Sp	C.I.
Hornblende biotite tonalite	Coarse-grained equigranular well foliated	19-31	1-10	40-53	10-22	1-14	-	<3	<4	<1	18-27
Porphyritic biotite granodiorite	Coarse-grained porphyritic poorly foliated	25-32	9-17	38-50	9-14	<1	-	1-2	-	tr	9-14
Equigranular biotite granodiorite	Coarse-grained equigranular poorly foliated	22-31	3-20	41-54	10-18	<1	tr	<1	<1	tr	10-20
Biotite granite	Medium-grained equigranular nearly nonfoliated	28-35	19-26	35-45	5-8	tr	<1	-	<1	tr	6-8
Chunyang granite	Medium-grained equigranular and porphyritic fine-grained	25-31	14-24	40-53	4-8	-	<2	tr	tr	-	4-8
Two mica granite	equigranular massive	28-31	25-37	23-40	3-7	-	1-2	-	-	-	3-7

이트는 이 저반의 어느 암상보다 흑운모와 각섬석 등의 고철질 광물의 함량이 많아서 (Table 1) 회색 내지 암회색을 띠며 영주저반 내에서 가장 색지수가 높다. 입도는 조립질 내지 중립질이고 대체로 등립질이다.

반상 흑운모 화강암은 중서부에 약 55 km<sup>2</sup> 면적을 가지는 타원상으로 분포하며 (Fig. 2) 반상 편마상 화강암이라고도 한다 (이민성 외, 1989). 이는 주변의 등립질 흑운모 화강섬록암으로 가면서 점이적으로 반정 함량이 줄어든다. 이의 서부에서는 장수암체에 의해 관입되며 곳곳에 페그마타이트맥에 의해 관입된다. 이 반상 화강섬록암은 신선한 면에서 회색을 띠고 석기의 입도가 중립질 내지 조립질이며 큰 장석 결정을 반정으로 포함하는 반상조직을 나타낸다. 이 암상은 주로 석영, K-장석, 사장석, 흑운모 등으로 구성되고 각섬석도 드물게 포함하며, 흑운모 등의 유색광물을 9~17% 정도 함유하고 있다.

등립상 흑운모 화강섬록암은 토날라이트의 북서쪽에서 이 저반의 중부와 북부에 대규모로 분포하며 면적이 약 330 km<sup>2</sup>를 차지한다 (Fig. 2). 이 등립상 화강섬록암은 풍화에 매우 약하여 낮은 구릉지와 평야를 이룬다. 이 등립상 화강섬록암은 토날라이트, 반상 화강섬록암 등과의 접촉부에서 점이적인 양상을 나타낸다. 이는 소백산변성암복합체의 편마암들을 관입했고 장수암체와 춘양암체에 의해 관입된다. 이 등립상 화강섬록암은 회색 내지 담회색을 띠고 조립질로서 반정을 갖지 않는 등립질의 입상조직을 나타낸다. 그러나

편마암과의 접촉부에 인접하여 대체로 폭 약 1 km 내의 간격에서 그 입도가 다소 줄어들어 이 암체의 연변상을 나타낸다 (황상구, 1994). 그리고 간혹 K-장석 결정이 아주 드물게 반정으로 나타나는 곳도 있다. 이 암상은 주로 석영, K-장석, 사장석, 흑운모를 함유하고 각섬석을 드물게 갖는다. 흑운모 등의 유색광물은 대체로 10~20% 정도 함유된다.

흑운모 화강암은 이 저반의 중북부에 반원상으로 분포하며 약 85 km<sup>2</sup> 면적을 가진다. 이 화강암은 춘양암체의 여러 암맥에 의해 둘러싸인다 (Fig. 2). 변성암들의 포획체를 가지고 부분적으로 약하게 전단되어 있으며 세립질 암맥들이 관입되어 있다. 이 화강암은 입도가 대체로 중립질이지만 부분적으로 조립질 혹은 세립질인 곳이 있고 불균질하지만 거의 몬조화강암에 해당되며 남쪽으로 가면서 화강섬록암으로 점이적인 변화를 보이거나 단층 접촉하는 것으로 추정된다. 본암은 주로 석영, 사장석, K-장석, 흑운모로 구성된다. K-장석은 간혹 큰 결정이 반정으로 나타난다. 유색광물은 6~8% 정도 함유되나 부분적으로 이들이 밀집된 솔리덴 구조를 보이는 곳도 있다.

**춘양심성암체**

춘양심성암체는 이 저반의 동부와 중북부에서 부식암체의 각섬석 흑운모 토날라이트, 등립질 흑운모 화강섬록암, 흑운모 화강암 등을 관입하면서 암주와 암

맥 형태로 노출된다 (Fig. 2). 이 암체는 하나의 단일 관입상으로서 전부 약 170 km<sup>2</sup> 면적을 가지며 흔히 춘양화강암으로 일컬어져 왔다 (손치부와 김수진, 1963; 김옥준 외, 1963; 이동우와 김상욱, 1965).

가장 큰 암주는 145 km<sup>2</sup> 면적이고 장축이 N65°W 방향으로 길게 뻗어 있다. 이 암주는 원남층군과 울리층군 등의 변성암류를 관입하고 부석암체의 각섬석 혹은 운모 토날라이트를 관입한다. 이 관입체에는 큰 포획체가 내재되어 있고 울리층군에서 엽리의 배열이 이 암주와의 접촉부에 평행하다.

이 암체는 모든 관입체에서 중립질 내지 세립질의 입상조직을 보여주고 조성이 화강암질 내지 화강섬록암질로 구성된다. 이는 일반적으로 엽리가 없고 괴상이지만 곳에 따라 1 cm×2 cm 내외의 장석 결정이 반정으로 나타나는 반상조직을 나타내기도 한다. 본암은 회색을 띠고 주로 석영, 사장석, K-장석, 흑운모와 백운모로 구성된다 (Table 1). 장석류는 사장석과 K-장석이 거의 대등한 함량을 나타내나 큰 암주의 중심부에서는 사장석이 약간 더 우세하다. 운모류는 흑운모가 백운모보다 항상 우세하며 백운모를 함유하지 않는 곳도 있으나 변성암과 접촉하는 암주의 연변부에서 백운모가 더 우세한 곳도 있다. 그래서 이 암체는 전체적으로 운모 화강암이라 할 수 있다. 큰 암주에서 색지수는 주변에서 안쪽으로 증가하고 낮은 고도의 노두에서 높은 고도의 노두로 가면서 증가한다.

### 장수심성암체

장수심성암체는 영주저반의 서부에서 주변의 편마암류, 반상 흑운모 화강섬록암과 등립질 흑운모 화강섬록암을 관입하면서 암주와 암맥으로 산출된다. 이 암체는 여러 곳에 분리되어 노출되고 전부 약 10 km<sup>2</sup> 면적을 가진다 (Fig. 2). 이 암체는 암상이 세립질 복운모 화강암에 해당된다. 이 복운모 화강암은 위의 세암석 내에서 백상으로 존재하며, 화강섬록암을 포획체로 함유하는 것 (Fig. 3)이 관입 증거이다. 그러므로 이 암체는 영주저반에서 하나의 독립된 단일 관입상을 나타낸다.

이 복운모 화강암은 부석암체의 암상들에 비하면 엽리가 없고 비반상으로 훨씬 세립질이며 야외에서 아주 균질한 괴상의 입상조직을 나타낸다. 이중에서 가장 큰 암주는 편마암류와의 인접부에서 동쪽으로 약 1 km 근처까지는 입도가 극세립질에서 세립질에 해당되며 이의 동부에서는 세립질에서 중립질에 가까운 양상으로

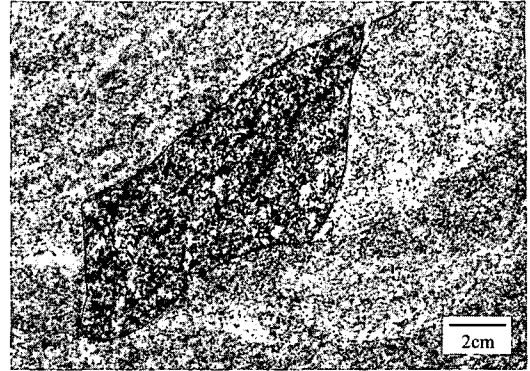


Fig. 3. A cognate xenolith of the coarse-grained biotite granodiorite in the fine-grained two mica granite of the Jangsu pluton.

변한다. 그리고 이의 동쪽 암맥에서는 대체로 세립질에서 중립질이다. 이들 관입체를 위치에 따라 연결하면 입도는 편마암류와의 접촉부에서 동부로 갈수록 극세립질에서 세립질로 다시 중립질로 변화되는 양상을 나타낸다. 이러한 양상은 본 장수심성암체가 관입될 때 냉각대가 각 관입체의 연변부를 따라 형성되는 것보다 전체적으로 장수암체의 서측 연변부에서 더 두껍고 뚜렷한 양상임을 시사한다 (황상구, 1995). 또한 이는 이 장수암체가 정지된 후에 결정작용이 일어날 때 외곽부에 있는 부석암체의 주변부가 상당히 고화되고 냉각되었던 반면, 이의 중심부에서는 고화되었더라도 상당한 온도를 유지했음을 암시한다.

이 복운모 화강암은 회색 내지 녹색을 띠며 매우 균질한 등립질의 입상조직을 나타낸다. 그러나 매우 드물게 K-장석 결정이 반정으로 나타나는 부분도 있다. 이의 주로 석영, K-장석, 사장석, 흑운모 등으로 구성되며 백운모도 소량 존재한다 (Table 1).

### 내부구조

영주저반에서 내부구조는 각 심성암체에서 나타나는 엽리, 관입상들 간의 내부관계, 내포체 (enclave)를 생각할 수 있다.

### 엽리

엽리는 이 저반 중에서 부석암체에서 가장 잘 나타나지만 뚜렷하지는 않고 암상마다 차이가 난다. 이 중에서 토날라이트에서 가장 뚜렷하며 화강섬록암과 화

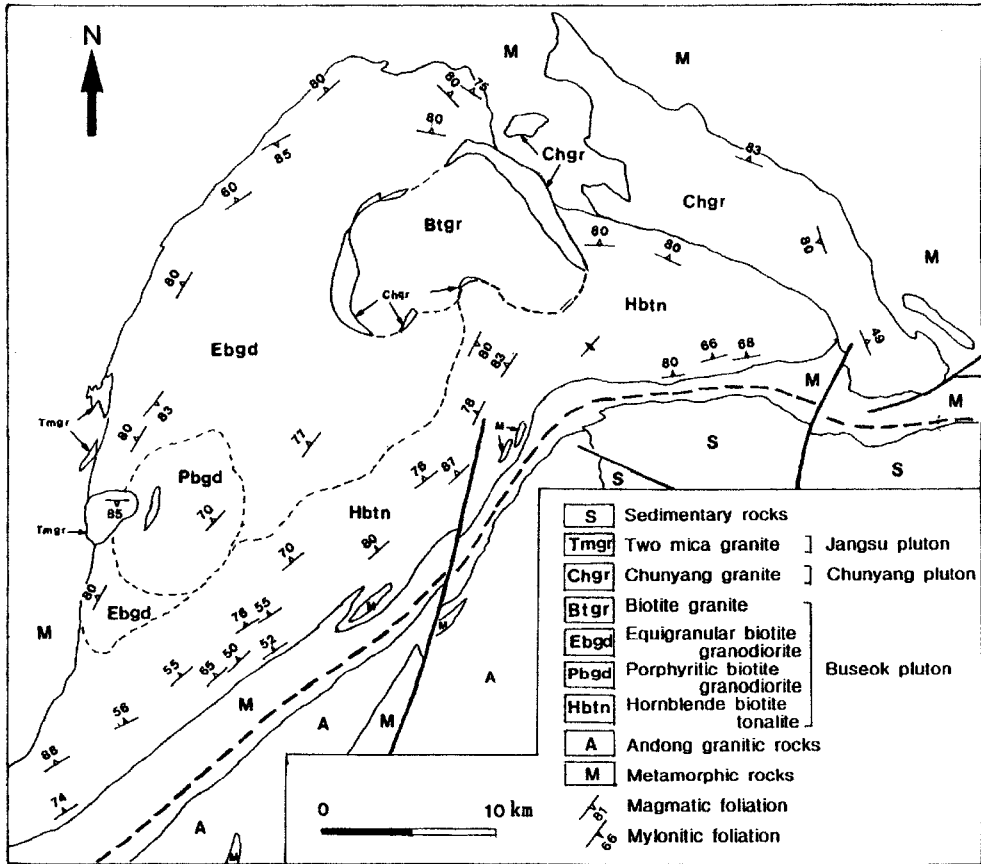


Fig. 4. Structural map of the Yeongju granitoid batholith.

강압으로 갈수록 희미하다. 이 엽리는 부석암체의 남쪽 경계부 근처에서 대체로 N30~80°E, 50~70°NW로 뚜렷하며 영주저반 남쪽의 변성암 내를 지나는 전단대에 대체로 평행하다. 결국 이 엽리는 대개 편마암의 엽리로 바뀐다. 이 엽리는 곳에 따라 부분적으로 석영과 장석들이 파쇄되어 몰타르 조직과 같은 파열쇄설성 조직을 나타낸다. 이 조직은 본역 남부에 위치하는 각섬석 흑운모 토날라이트의 남쪽 경계부 근처에서 잘 발달되어 뚜렷한 엽리를 나타낸다 (Fig. 4). 그러므로 이 부석암체의 남쪽 경계부 근처에서의 엽리는 파열쇄설작용 (cataclasis)에 의한 파열쇄설성 엽리 (cataclastic foliation)를 지시하며, 이 엽리는 예천전단대의 압쇄엽리 (mylonitic foliation)를 나타낸다. 이를 포함하는 전단대는 심성암류가 정지된 후 비교적 고온 상태에서 우수향 주향이동운동의 결과로 형성되었다 (Chang, 1990).

그러나 이 엽리는 전부가 전단작용에 기인되는 것

같지는 않다. 왜냐하면 파열쇄설성 조직이 없는 부분이 훨씬 더 많기 때문이다. 이러한 엽리는 주로 장석과 흑운모가 정향배열되어 나타나는 일차적인 마그마성 엽리 (magmatic foliation)를 의미하며, 이는 야외에서 보다 희미하지만 어렵게 측정이 가능하다. 그리고 후술하겠지만 렌즈 모양으로 편평화된 내포체가 이에 평행하게 포함되어 있어 마그마성 엽리의 일익을 담당하며, 이는 보다 뚜렷한 측정대상이 되고 쉽게 측정이 가능하다. 이런 마그마성 엽리는, 압쇄엽리가 대개 부석암체의 남서 경계부에 평행한 북동-남서 주향에 북쪽으로 보다 완만한 경사를 보이는 반면, 대체로 부석암체의 연변부에 평행하는 주향과 거의 수직에 가까운 경사를 보여준다. 이 엽리는 광역적으로 변성암 내의 광역엽리에 대체로 일치되지만 국지적으로 관입 접촉부에서 일치되지 않는다. 두 엽리가 서로 불일치되는 것은 광역엽리의 발달 이후에 마그마성 엽리가 형성되었음을 의미하고 부석암체가 정지되었음을 암시

한다.

춘양암체 내의 엽리는 연변부를 따라 흑운모와 사장석의 배열에 의해 매우 희미하게 관찰될 뿐이다. 이 엽리는 급경사이고 이의 분포는 이 관입상의 연변부에서 이의 장축방향에 평행하게 존재한다 (Fig. 4). 경하에서 단지 굵은 사장석과 흑운모 등과 같은 원쇄설성 조직 (protoclastic texture)만이 관찰된다. 그러나 몰타르 조직 등과 같은 파열쇄설성 조직은 관찰되지 않는다. 그래서 이 엽리는 그 성인이 전단작용에 의한 파열쇄설성이 아니고 마그마성 엽리라고 할 수 있는 유사엽리에 해당된다.

장수암체 내에서도 엽리가 매우 드물게 연변부에서 관찰된다. 이 엽리는 흑운모, 사장석, 슬리렌의 배열에 의해 나타나고 급경사이다. 이 엽리의 분포는 단속적일 뿐만 아니라 불규칙하지만 동부 암맥에서 N20°E, 50°NW 정도의 주향과 경사를 보이고 큰 암주의 동측부와 북측부에서 모암과의 접촉부에 평행하고 전반적으로 이 암체를 둘러싸는 양상으로 나타난다. 이 엽리는 경하에서 원쇄설성 조직만 관찰될 뿐 파열쇄설성 조직은 관찰되지 않기 때문에 그 성인이 마그마성 엽리로 인정된다. 그러므로 이 엽리는 장수암체가 마지막으로 정지될 때 연변부를 따라 형성된 것으로 판단된다. 원쇄설성 조직은 중심부에서는 볼 수 없기 때문에 이의 정지시에 마그마 연변부를 따라 일어나는 끌림 효과 때문인 것으로 생각된다.

### 암체들 간의 내부관계

다양한 연대의 저반에서 나타나는 한정된 전단대의 분포는 여러 시기의 관입사건이 일어났음을 암시한다. 위에서 언급한 바와 같이 부석암체만이 오로지 파열쇄설성의 암쇄엽리가 현저하게 나타나고 다른 암체에서는 발견되지 않을 뿐 아니라 이 암쇄엽리가 다른 암체에 의해 잘리기 때문에 영주저반 가운데 부석암체가 가장 고기의 암체이다. 춘양암체 중에 큰 암주는 부석암체의 각섬석 흑운모 토날라이트를 자르고 있고, 암맥들은 흑운모 화강섬록암과 흑운모 화강암 간의 경계부를 따라 관입되어 있다. 따라서 토날라이트 내의 엽리는 춘양암체 속으로 연장되지 않고 이에 의해 잘려 있다 (Fig. 5). 만약 이 토날라이트가 보다 더 후기 암체라면 절단하는 부분이 춘양암체에서 발견되어야만 한다. 이외 또한 변성암의 포획체가 춘양암체보다 부석암체 연변부를 따라 더 많이 발견된다. 부석암체 중에 흑운모 화강암은 남쪽으로 등립상 흑운모 화강섬록암

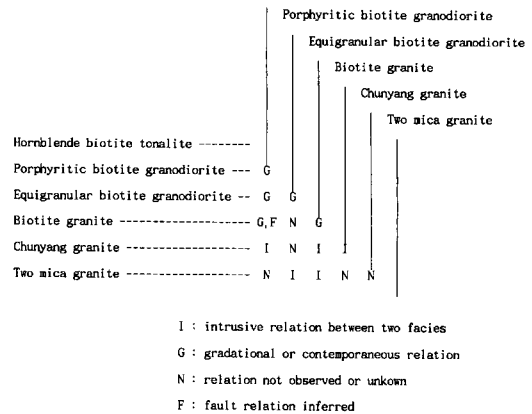


Fig. 5. Diagram showing intrusive relations observed between lithofacies in the field.

으로 접이되고 이 화강섬록암은 각섬석 흑운모 토날라이트로 접이되며 이 두 암상은 반상 흑운모 화강섬록암으로도 접이된다. 이들 암상은 어떤 한 암상의 암맥이 다른 암상을 절단하거나 냉각대 (chilled margin)와 같은 구조적 증거가 나타나지 않는다. 이러한 증거의 부족은 현 레벨에 정지된 후에 일어났던 마그마 분화에 의한 분화상이거나, 아니면 빠른 연속적인 관입에 따른 결과일 것이다. 전자라면 분화가 진행된 후에 관입상 전체의 구조적인 회전이 필요하다. 후자라면 이 암상들은 대부분 아직도 뜨거웠고 아마도 동시에 플라스트릭했을 것이다. 그리고 장수암체는 부석암체의 반상 흑운모 화강섬록암과 등립질 흑운모 화강섬록암을 절단한다. 그러나 이 장수암체는 춘양암체로부터 멀리 떨어져 있어 양자 간의 상대적인 선후 관계는 모른다. 이들간의 사건순서는 조직변화와 조성변화를 고려한다면 지각하부에서 하나의 단일 마그마 챔버로부터 분별 결정작용에 의한 이상적인 가설에 따르고 있다.

### 내포체

영주저반에서 발견되는 내포체의 유형은 최근에 제안된 용어에 따르면 포획체 (xenolith)와 고철질 미립상 내포체 (mafic microgranular enclave)가 있다 (Didier and Barbarin, 1991).

포획체는 흔하지는 않지만 큰 것이 발견된다. 부석암체에서 발견되는 포획체는 모두 변성암들이고 크다. 고철질 미립상 내포체는 오로지 부석암체에서만 산발적으로 발견되며 변성암 포획체보다 훨씬 더 풍부하게 나타난다. 이들은 변성암과의 접촉부에도 관계되지 않을 뿐



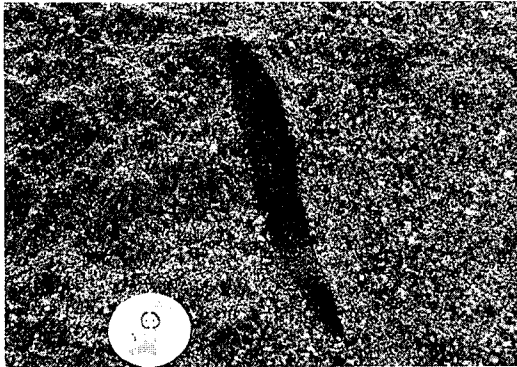


Fig. 6. Mafic microgranular enclaves included in the hornblende biotite tonalite of the Buseok pluton.

더러 멀리 떨어져 산출되며 변성암 포획체의 수효에도 관련되지 않는다. 그러나 이들의 분포는 불균등한 양상을 보이며 암체의 중앙부보다 연변부에서 더 흔하다. 이들은 모두 암회색으로 고철질이 우세하고 세립질 화성구조를 나타낸다. 이들은 대부분 렌즈 모양으로 경계가 뚜렷하고 대부분 상하로 아몬드 모양으로 길쭉하다 (Fig. 6). 특히 이들은 흔히 부석암체의 연변부에서 일차적인 마그마성 엽리에 평행하게 배열되며 마그마성 엽리가 인지되지 않는 곳에서는 이를 대신한다. 그러므로 이들의 모양과 배열은 부석암체가 정치할 때의 유상엽리의 형성에 기인되고 그 강도에 따라 편평화와 신장 정도가 달라진 것으로 생각되며 부석암체가 정치할 동안에 마그마의 운동 양상을 암시한다.

**연대와 정치순서**

영주저반에서 세 심성암체의 각 암상에 따라 채취한 시료의 K-Ar 연대는 Table 2에서 보여준다. 이 연대는 구조관계에 의해 결정된 바와 같이 각 암체들의 상대적인 연대와 일치된다. 부석암체에서 K-Ar 연대는

171.7±3.2~162.3±3.1 Ma 범위이다. 각섬석 흑운모 토날라이트에서 나온 171.7±3.2 Ma 연대는 영주저반에 관계되는 여러 암상 중에 가장 고기이다. 반상 흑운모 화강섬록암에서 연대는 166.7±3.1 Ma이고 등립질 흑운모 화강섬록암은 162.3±3.1 Ma이며 흑운모 화강암은 167.1±3.1 Ma이다. 이 연대 차이는 암상들이 서로 점이적이기 때문에 결정화 시기가 약간 다르다는 것을 나타낸다. 그러나 부석암체의 정치시기는 적어도 171.7±3.2 Ma 이전이어야만 한다.

춘양암체의 연대는 153.9±2.9 Ma이고, 장수암체의 연대는 145.3±2.7 Ma이다. 이 양자는 부석암체를 관입하고 있어 분명히 더 후기이다. 이 연대는 흑운모가 K-Ar 계에서 약 270°C에서 포획되었다고 생각되기 때문에 냉각 연대에 해당될 것이다. 냉각 사건은 관입정치 사건 후에 연속되는 것이고 냉각 기간은 일반적으로 암체의 크기에 따라 오래일 것으로 생각된다. 여기서 세 심성암체에서 흑운모에 의한 연대를 고려하면 냉각 연대는 약 천만년의 시간차이를 가지는데 관입정치 연대는 암체의 크기를 고려한다면 실제로 더 큰 상대적인 차이를 보일 것으로 판단된다. 따라서 부석암체가 가장 고기를 나타내고 장수암체가 가장 후기를 나타낸다. 그러므로 영주저반의 화성과정은 이와 함께 구조관계에 관련시킨다면 서로 다른 시기에 맥동적으로 관입했던 것을 시사하며 이는 각 관입단계에 따르는 관입상으로 구분 지을 수 있다. 그래서 우리는 이 저반의 화성과정을 편리하게 하기 위하여 부석암체의 관입단계를 부석관입상으로 춘양암체의 관입단계를 춘양상으로 장수암체의 관입단계를 장수관입상으로 부를 수 있겠다. 여기서 부석관입상은 주된 관입상이 되고 춘양관입상과 장수관입상이 부수적인 관입상이 될 것으로 생각된다.

**암석화학**

영주저반의 각 암체의 대표적인 암석으로부터 얻어

Table 2. K-Ar isotopic data for the typical samples of the granitic rocks in the Yeongju Batholith.

Spl No	type	K (wt%)	wt (g)	<sup>36</sup> Ar (10 <sup>-10</sup> RccSTP/g)	<sup>40</sup> Ar radiogenic (10 <sup>-8</sup> RccSTP/g)	Age (Ma)	Air (%)
HM26	Bt	8.21	0.01139	25.280	5745.1	171.8	1.28
HM50	Bt	8.26	0.01172	49.365	5601.3	166.7	2.54
HM57	Bt	8.29	0.01298	30.733	5462.1	162.3	1.64
HM536	Bt	7.73	0.01144	31.681	5253.6	167.1	1.75
HM624	Bt	6.50	0.01209	32.380	4053.1	153.9	2.31
HM53	Bt	8.03	0.01173	52.138	4719.9	145.3	3.16
Standard	Mus	8.68	0.01179	132.952	628.4	18.6	38.47

**Table 3.** Major and trace element compositions of the granitic rocks in the Yeongju Batolith.

Rock units	Hornblende biotite tonalite									Porphyritic bt granodiorite		
	Spl No	HY26	HY27	HY28	HY29	HY32	HY33	HM34	HY38	HY43	HY2	HY3
SiO <sub>2</sub>	64.60	63.61	63.29	60.20	63.95	62.87	61.66	61.16	62.32	69.23	67.21	66.91
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.24	16.03	16.56	17.79	15.93	17.73	16.70	17.14	17.30	15.35	15.72	15.84
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	4.61	5.44	5.41	5.78	4.98	5.01	6.48	5.81	5.47	2.99	4.17	3.82
MgO	1.88	2.43	2.07	2.44	2.04	2.00	2.74	2.36	2.08	0.94	1.43	1.30
CaO	4.70	5.36	4.38	5.41	4.09	5.08	3.40	5.62	5.39	3.09	3.92	3.93
Na <sub>2</sub> O	3.84	3.27	3.33	3.56	3.02	3.59	3.58	3.51	3.85	3.07	3.22	3.46
K <sub>2</sub> O	3.12	2.10	3.01	2.73	3.32	2.72	2.34	2.39	3.05	3.96	3.03	2.70
TiO <sub>2</sub>	0.58	0.71	0.71	0.78	0.73	0.71	0.84	0.73	0.75	0.41	0.60	0.50
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.23	0.22	0.19	0.21	0.19	0.19	0.21	0.20	0.20	0.13	0.17	0.15
MnO	0.07	0.09	0.09	0.09	0.08	0.07	0.11	0.09	0.08	0.05	0.07	0.07
total	100.87	99.26	99.04	98.99	98.33	99.97	98.06	99.01	100.49	99.22	99.54	98.68
Ab/An	1.68	1.29	1.46	1.31	1.43	1.35	2.08	1.32	1.66	1.91	1.58	1.68
Ba	1128	507	634	636	1180	949	689	666	825	1145	748	833
Co	10	12	11	12	10	11	12	12	11	7	9	9
Cr	11	18	13	16	12	12	16	15	12	7	8	8
Cu	7	14	10	18	5	8	20	8	7	7	8	8
Li	45	31	40	32	42	27	75	23	36	31	30	47
Nb	6	10	10	12	15	11	11	12	13	9	13	10
Ni	5	7	6	8	7	8	8	7	6	6	7	5
Sc	9	11	10	12	9	8	12	15	9	3	7	7
Sr	652	462	479	494	483	544	554	469	560	450	431	514
V	57	81	65	80	65	63	82	81	66	28	44	41
Y	8	19	13	16	20	12	17	18	18	8	18	10
Zn	83	83	105	98	84	88	109	95	93	60	80	69
Zr	193	206	211	205	209	199	247	193	296	194	194	210
Rb	97	65	108	97	99	83	67	73	101	130	98	71

**Table 3.** Continued.

Rock unit	Equigranular biotite granodiorite						Biotite granite					
	Spl No	HY50	HY51	HY8	HY11	HY13	HY30	HY31	HM510	HY520	HY528	HY536
SiO <sub>2</sub>	63.84	64.95	66.79	62.50	66.28	69.12	68.91	70.19	73.75	73.13	70.68	69.24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.42	16.06	16.25	17.35	16.22	15.48	15.67	15.19	14.17	14.80	15.30	16.62
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	4.77	5.14	3.61	4.92	3.69	2.91	2.90	3.02	1.96	2.00	3.02	2.63
MgO	1.76	1.88	1.33	1.91	1.42	0.89	0.83	0.83	0.27	0.32	0.84	0.73
CaO	5.06	4.27	3.68	4.45	4.15	3.40	3.00	2.72	1.24	1.72	2.67	2.97
Na <sub>2</sub> O	3.85	3.51	3.65	3.85	3.43	3.31	3.27	3.43	3.79	4.06	3.27	4.38
K <sub>2</sub> O	2.74	2.69	3.18	2.73	2.71	3.69	4.25	3.80	4.26	3.92	3.79	2.80
TiO <sub>2</sub>	0.66	0.70	0.50	0.66	0.68	0.50	0.41	0.35	0.16	0.22	0.32	0.37
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.20	0.20	0.16	0.19	0.16	0.13	0.13	0.11	0.06	0.09	0.11	0.15
MnO	0.07	0.08	0.05	0.09	0.07	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.06	0.03
total	100.37	99.48	99.20	98.65	98.81	99.47	99.41	99.69	99.70	100.30	100.06	99.92
Ab/An	1.56	1.59	1.91	1.65	1.58	1.86	2.10	2.42	5.92	4.59	2.35	2.86
Ba	565	685	689	394	587	970	1282	692	1140	980	661	1150
Co	10	10	7	10	7	6	6	7	4	4	6	6
Cr	11	12	6	11	8	6	5	9	4	5	10	9
Cu	8	15	6	7	7	7	6	6	9	50	13	7
Li	28	34	48	82	38	33	38	33	57	76	79	62
Nb	14	12	11	15	25	18	8	13	8	9	10	3
Ni	7	7	4	7	5	4	5	9	6	5	11	12
Sc	8	9	5	8	6	4	2	2	2	2	3	3
Sr	501	459	473	447	404	472	475	378	350	428	372	768
V	56	59	39	61	48	27	20	26	6	8	26	22
Y	19	15	8	21	41	11	5	23	6	8	6	8
Zn	81	91	73	88	64	61	59	33	27	31	35	31
Zr	194	191	224	226	202	200	213	143	105	110	148	177
Rb	97	100	117	136	87	121	139	103	139	156	137	78

Table 3. Continued.

Rock unit	Chunyang granite stock				Chunyang granite dikes			Two mica granite				
	Spl No	HY623	HY624	HY651	HY654	HY514	HY515	HM522	HY5	HY53	HY55	HY56
SiO <sub>2</sub>	69.88	71.17	66.61	70.28	74.27	70.90	71.96	69.57	71.20	71.75	71.30	70.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.98	15.69	17.21	16.41	14.18	14.68	15.34	15.64	15.11	15.05	14.62	15.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	2.33	2.18	2.95	2.50	1.52	2.02	1.71	2.34	2.24	1.99	1.90	2.74
MgO	0.47	0.45	0.74	0.58	0.21	0.35	0.46	0.59	0.52	0.46	0.46	0.37
CaO	2.30	2.17	3.25	2.56	1.26	1.81	2.09	2.61	2.43	2.34	1.98	1.77
Na <sub>2</sub> O	4.29	4.04	4.30	4.38	3.66	3.97	4.15	3.77	3.89	3.96	3.33	3.41
K <sub>2</sub> O	3.93	3.87	3.42	3.43	4.68	3.75	3.55	3.67	3.82	3.69	4.14	4.38
TiO <sub>2</sub>	0.30	0.26	0.39	0.33	0.14	0.22	0.28	0.40	0.34	0.33	0.30	0.21
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11	0.11	0.17	0.14	0.06	0.09	0.10	0.12	0.12	0.09	0.09	0.10
MnO	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	0.04	0.03	0.04	0.07
total	99.64	99.97	99.07	100.64	100.01	97.83	99.66	98.74	99.71	99.69	98.16	98.05
Ab/An	3.61	3.62	2.58	3.34	5.62	4.26	3.84	2.79	3.10	3.23	3.24	3.77
Ba	1430	1168	1828	1369	826	935	1090	1799	1230	1150	1412	1504
Co	5	5	6	6	3	4	5	6	5	5	6	6
Cr	7	7	21	8	4	4	5	3	4	3	4	4
Cu	6	43	4	7	6	6	7	14	7	3	5	39
Li	21	55	41	27	49	125	83	35	35	35	31	20
Nb	7	8	6	7	8	12	4	7	9	8	9	14
Ni	8	8	9	9	4	7	6	3	4	2	3	6
Sc	2	2	3	3	2	2	2	2	3	3	3	4
Sr	763	564	971	716	354	462	603	761	587	585	540	464
V	13	11	22	16	3	5	12	9	7	6	7	7
Y	5	7	7	7	5	9	4	7	8	8	9	18
Zn	17	27	31	29	25	31	37	69	62	59	64	16
Zr	138	141	202	171	84	117	138	243	183	198	159	147
Rb	97	118	59	94	164	147	102	90	104	93	133	95

Table 4. Rare earth element concentration(ppm) of the granitic rocks in the Yeongju Batholith.

Spl No	HY26	HY27	HY28	HY29	HY32	HY33	HY34	HY38	HY43	HY2	HY3
La	25.21	20.91	35.71	28.78	30.10	32.57	48.81	60.25	57.96	53.76	40.97
Ce	53.03	45.96	74.76	60.97	65.88	69.83	93.49	125.79	122.24	109.92	87.39
Pr	5.80	5.16	7.86	6.63	7.19	7.41	10.59	13.08	12.76	11.02	9.20
Nd	19.60	18.90	26.20	23.70	25.40	24.90	35.00	43.60	42.50	34.50	30.90
Sm	3.14	3.73	4.20	4.38	4.78	3.98	4.95	6.80	6.52	4.52	5.53
Eu	0.87	1.11	1.14	1.21	1.30	1.19	1.21	1.58	1.49	1.05	1.34
Gd	2.47	3.48	3.24	3.82	4.11	3.14	4.06	5.04	4.65	2.71	4.42
Dy	1.51	2.75	2.20	2.75	3.11	2.00	2.47	3.36	3.08	1.41	3.04
Ho	0.27	0.51	0.40	0.49	0.57	0.36	0.47	0.59	0.55	0.26	0.53
Er	0.56	1.26	0.90	1.12	1.34	0.80	0.71	1.14	1.20	0.49	1.15
Yb	0.40	1.18	0.87	0.98	1.32	0.71	0.90	1.00	1.11	0.51	1.00
Lu	0.06	0.18	0.14	0.15	0.20	0.11	0.15	0.14	0.16	0.09	0.14
ΣREE	112.92	106.13	157.62	134.98	145.30	147.00	202.81	262.37	254.22	220.24	185.61
(La/Lu) <sub>n</sub>	44.94	12.19	26.39	19.82	15.72	30.84	33.61	44.54	38.17	62.65	30.27
(Eu/Eu*) <sub>n</sub>	0.92	0.93	0.91	0.88	0.88	1.00	0.80	0.79	0.80	0.84	0.80

진 주원소 및 미량원소 (Table 3)와 희토류원소 자료 (Table 4)에 의하여 이들의 암석화학적 성질과 변화에 대해 검토해보기로 한다.

**암석계열**

영주저반에서 각 관입상의 암석들을 화학적으로 살

Table 4. Continued.

Spl No	HY44	HY50	HY51	HY8	HY11	HY13	HY30	HY31	HY510	HY536	HY622
La	44.36	50.68	58.37	36.38	40.67	36.04	39.74	37.58	34.08	21.18	26.47
Ce	9.83	106.68	121.06	74.87	87.91	82.51	87.58	79.94	68.79	43.23	50.18
Pr	9.04	10.83	12.13	7.58	9.37	9.69	9.18	8.28	7.59	4.36	5.30
Nd	28.80	35.20	38.90	24.40	32.30	37.60	31.10	26.50	26.20	13.90	17.10
Sm	4.09	5.68	5.53	3.54	5.40	8.62	4.64	3.41	4.85	2.03	2.35
Eu	1.11	1.29	1.29	0.98	1.22	2.09	1.35	0.94	1.10	0.72	0.95
Gd	2.82	4.43	3.91	2.40	4.30	8.07	3.48	2.20	4.08	1.44	1.45
Dy	1.68	3.10	2.55	1.36	3.15	6.75	1.85	0.97	3.36	1.02	0.91
Ho	0.30	0.57	0.46	0.25	0.60	1.23	0.35	0.19	0.58	0.16	0.17
Er	0.59	1.23	0.87	0.55	1.38	2.82	0.74	0.54	1.59	0.61	0.74
Yb	0.64	1.19	0.87	0.62	1.49	2.69	0.69	0.42	1.26	0.51	0.72
Lu	0.10	0.18	0.13	0.12	0.24	0.37	0.13	0.08	0.17	0.08	0.10
ΣREE	183.36	221.06	246.07	153.05	188.03	198.48	180.83	161.05	153.6	89.24	106.44
(La/Lu) <sub>n</sub>	46.34	29.54	46.55	31.51	17.60	10.11	31.68	9.52	21.08	27.91	27.66
(Eu/Eu*) <sub>n</sub>	0.95	0.76	0.81	0.97	0.75	0.75	0.99	0.98	0.74	1.24	1.46

Spl No	HY623	HY624	HY651	HY654	HY514	HY515	HY5	HY53	HY55	HY56	HY80
La	39.47	37.57	68.18	40.98	36.17	36.48	39.47	35.77	46.72	58.85	50.78
Ce	73.25	70.77	127.97	77.43	67.48	66.67	77.83	71.14	94.15	118.63	95.01
Pr	7.86	7.44	13.81	8.08	7.06	6.83	8.06	7.20	9.52	12.10	10.50
Nd	24.60	23.20	43.80	25.80	22.20	22.10	25.20	23.30	30.60	39.20	33.50
Sm	3.28	3.19	5.41	3.49	3.37	3.39	3.50	3.39	4.31	5.56	4.89
Eu	0.93	0.88	1.35	0.96	0.64	0.79	1.26	1.15	1.13	1.23	1.21
Gd	2.08	2.04	2.88	2.12	2.23	2.56	2.37	2.36	2.78	3.57	3.67
Dy	1.17	1.26	1.41	1.27	1.23	1.99	1.34	1.47	1.47	2.02	3.24
Ho	0.18	0.21	0.23	0.20	0.19	0.35	0.26	0.25	0.24	0.35	0.59
Er	0.53	0.63	0.53	0.58	0.53	1.03	0.57	0.45	0.44	0.59	1.71
Yb	0.36	0.48	0.47	0.42	0.39	0.90	0.64	0.44	0.40	0.58	1.60
Lu	0.05	0.08	0.07	0.05	0.05	0.13	0.10	0.06	0.06	0.08	0.24
ΣREE	153.76	147.75	266.11	161.38	141.54	143.22	160.60	146.98	191.82	242.76	206.94
(La/Lu) <sub>n</sub>	85.43	49.48	103.30	88.71	78.29	29.08	41.24	63.76	83.29	79.52	21.99
(Eu/Eu*) <sub>n</sub>	1.02	0.99	0.94	1.00	0.67	0.79	1.27	1.18	0.94	0.79	0.84

\* Mean value of Sm<sub>n</sub> plus Gd<sub>n</sub>

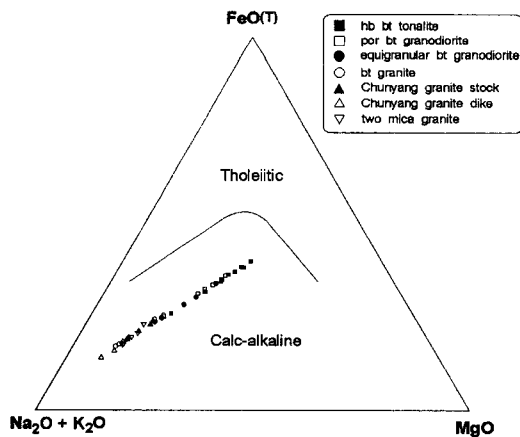


Fig. 7. AFM diagram by Irvine and Baragar (1971).

해보면 AFM 삼각도 (Irvine and Baragar; 1971)에서 칼크알칼리 영역에 도시되고 매우 가지런한 선형 트렌드를 나타낸다 (Fig. 7). 즉 이 암석들은 마그마 진화를 통하여 철분이 거의 농집되지 않는 진화 트렌드로 특징지어지며 이러한 양상은 MgO 함량을 마그마 진화의 기준으로 할 때 철분함량의 변화양상에서 잘 나타난다. 즉 이 저반에서 세 관입상이 후기 관입단계로 가면서 MgO 및 FeO<sup>t</sup> 함량이 감소하는데 이는 MgO의 함량이 5% 이내에 이를 때까지 철분이 계속 농집되는 솔레아이트계열과 대조적인 양상을 나타낸다.

근원마그마 유형

이 저반의 각 관입상에 대한 근원물질은 Shand's index를 이용한 그림에서 부서관입상의 각섬석 혹은 운모

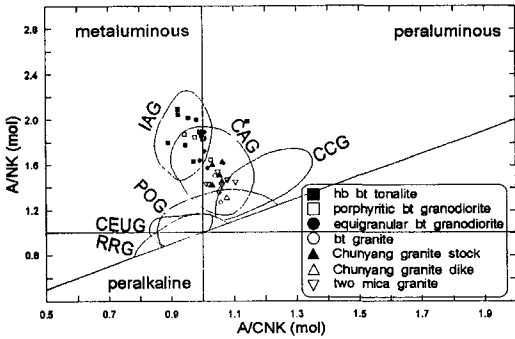


Fig. 8. Shand's index and position of granitoid groups. Symbols are the same as in Fig. 7. Abbreviations are the same as in Fig. 9.

토날라이트, 반상과 등립상 흑운모 화강섬록암이 메타알루미나질이고 부석관입상의 흑운모 화강암, 춘양관입상과 장수관입상이 과알루미나질이며 (Fig. 8), 또한 Chappell and White(1974)의 A/CNK-SiO<sub>2</sub>의 관계도에서 대부분 A/CNK가 1.1 이하인 I형에 해당된다 (Fig. 9). 그러므로 영주저반의 모든 관입상은 화성기원이라 할 수 있지만 본 저반 내에는 열기성암이나 초열기성

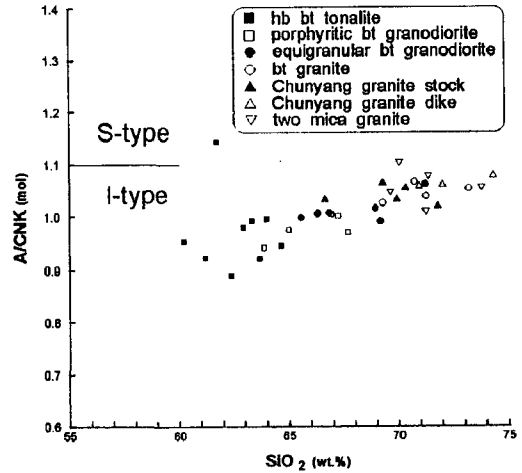


Fig. 9. Molar Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) versus SiO<sub>2</sub> diagram by Chappell and White (1974).

암이 없이 대부분 중성 내지 산성 심성암들로 구성되어 있어 상부맨틀 물질에서 유래되지 않은 것 같다. <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 비의 초기치가 0.7150~0.7171로 상당히 높기 (Jin, 1998) 때문에 이 관입상들을 유래시킨 마그마

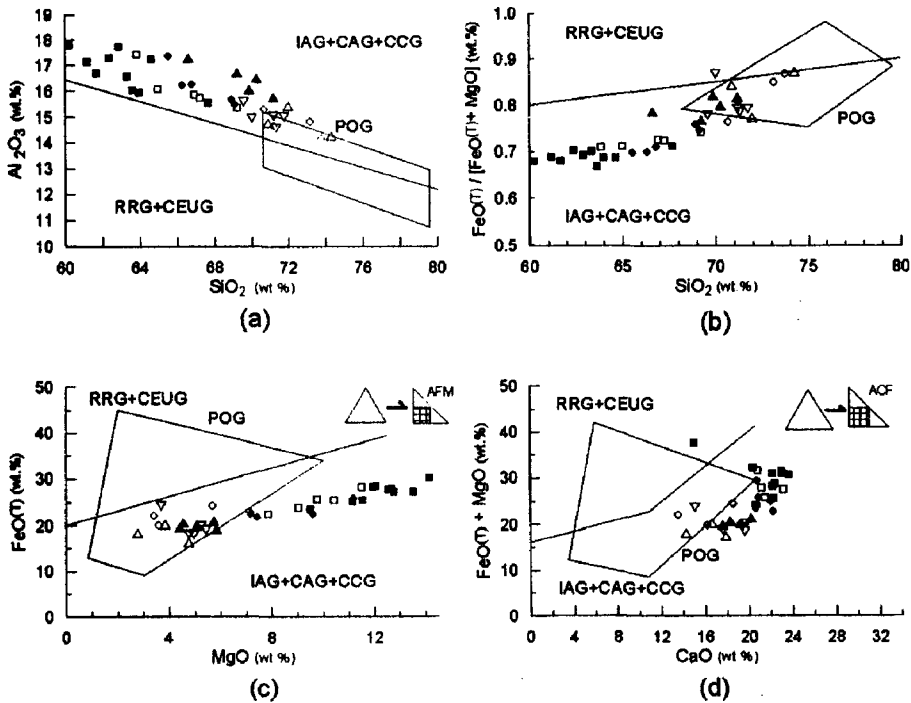
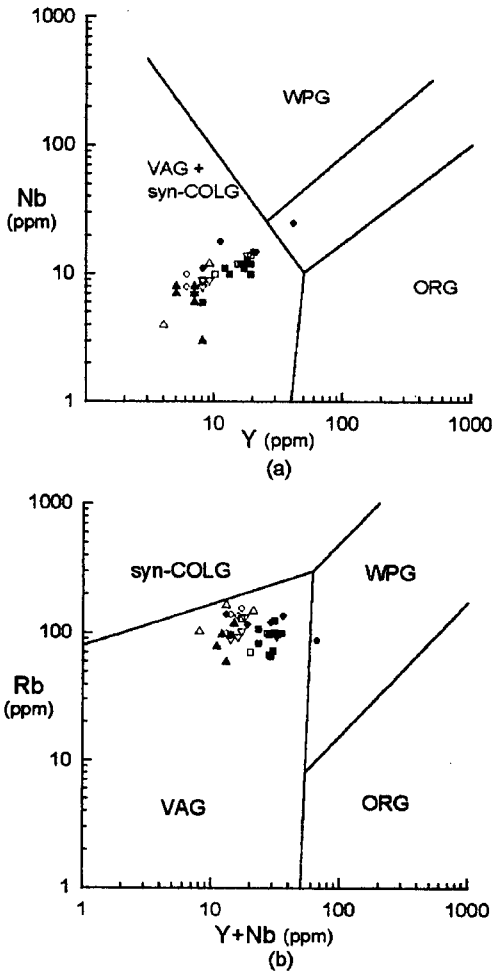


Fig. 10. Tectonic discriminant diagrams by major elements from Maniar and Piccoli(1989). IAG, island arc granitoids; CAG, continental arc granitoids; CCG, continental collision granitoids; POG, post-orogenic granitoids; RRG, rift-related granitoids; CEUG, continental epirogenic uplift granitoids. Symbols are the same as in Fig. 7.

는 아마도 지하하부에 존재하던 화성암이 근원암이 되어 기원된 것으로 생각된다 (Lee *et al.*, 1998).

**조구조적 위치**

주원소와 미량원소에 의하여 지질기록 속에서 심성암으로 산출되는 화강암질암류도 이들의 관입시의 조구조 위치를 구분할 수 있다. 지금까지의 주요 조구조 구분도와 판별도를 영주저반에서 각 관입상의 암석들에 적용시켜 이들이 관입할 당시의 조구조 위치를 알아본다.



**Fig. 11.** Tectonic discriminant diagrams by trace elements Nb, Y and Rb from Pearce *et al.* (1984). WPG, within plate granite; VAG, volcanic arc granite; syn-COLG, syn-collisional granite; ORG, oceanic ridge granite. Symbols are the same as in Fig. 7.

Maniar and Piccoli (1989)가 제시한  $Al_2O_3-SiO_2$ ,  $FeO^t/FeO^f+MgO-SiO_2$ ,  $FeO^t-MgO$ 과  $FeO^f+MgO-CaO$ 의 표준화 상관도에서 이 저반의 부석과 춘양관입상은 도호+대륙호+대륙충돌 화강암질암 영역, 즉 조산대 환경에 도시되고 장수관입상의 복운모 화강암은 대체로 조산대 중에서도 후조산대 근처에 떨어진다 (Fig. 10).

Y, Nb, Rb 등 미량원소는 화강암질암의 조구조 판별에 흔히 이용된다. 각 관입상의 암석들은 Y-Nb의 상관도에서 대부분 화산호+동시충돌 화강암질암에 도시된다 (Fig. 11a). 그러나 화산호와 동시충돌 화강암질암 간의 판별은 Y-Nb 그림에서 거의 불가능하다. 따라서 Nb+Y에 대한 Rb의 상관도에 적용시키면 이 저반의 각 관입상은 화산호 화강암질암 영역에 도시된다 (Fig. 11b).

희토류원소에서도 이 저반의 모든 관입상들은 LREE가 크게 부화되고 HREE가 고갈되어 강하게 분별된 LREE/HREE 비를 나타낸다 (Fig. 12). 이 패턴도 본 저반의 각 관입상이 대체로 화산호에서 형성된 것과 일치한다.

**조성변화**

주원소 가운데  $SiO_2$ 의 조성은 60.2~74.3 wt%이며 토날라이트에서 화강섬록암을 거쳐 화강암 조성에 이른다 (Table 3). 부석관입상은 토날라이트에서 화강암의 조성범위이며, 춘양관입상은 화강섬록암에서 화강암 조성범위이고 장수관입상은 대부분 화강암의 조성범위이다.

부석관입상은  $SiO_2$ 의 조성이 증가할 때  $MgO$ ,  $MnO$ ,  $Fe_2O_3^t$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $P_2O_5$ 와  $CaO$  등의 조성이 각섬석 혹은모 토날라이트로부터 혹은모 화강섬록암과 혹은모 화강암으로 점차 연속적으로 감소하는 선형 트렌드를 나타낸다 (Fig. 13). 이 선상에서 춘양관입상은 부석관입상의 혹은모 화강섬록암 중간부분에서 혹은모 화강암에 걸쳐서 감소되고 장수 관입상의 복운모 화강암은 부석관입상과 춘양관입상의 분화 말기 부분에 걸쳐 있다. 반면에  $K_2O$ 와  $Na_2O$  등은 부석관입상에서 각섬석 혹은모 토날라이트로부터 혹은모 화강암으로 가면서 다소 산재되지만 연속적으로 증가되는 선형 트렌드를 나타내며, 춘양관입상이 부석관입상의 혹은모 화강섬록암 중간부분부터 혹은모 화강암에 걸쳐서 증가되고 장수관입상의 복운모 화강암이 부석관입상과 춘양관입상의 낮은 부분에 걸쳐서 증가한다.

미량원소의 함량은  $SiO_2$  조성의 증가에 따라 V, Sc,

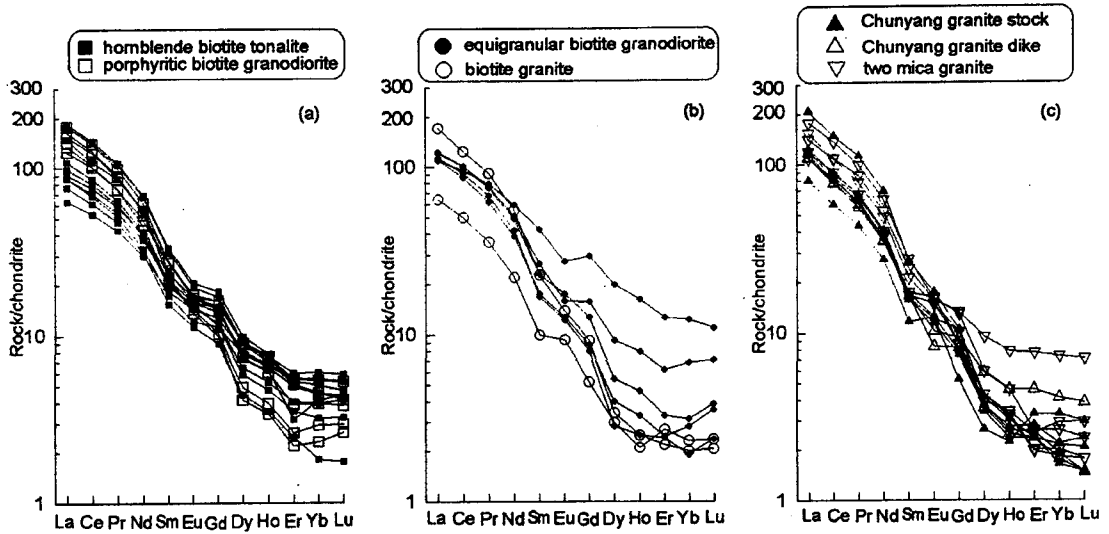


Fig. 12. Chondrite-normalized REE patterns for the granitoids of the Yeongju batholith. Symbols are the same as in Fig. 7.

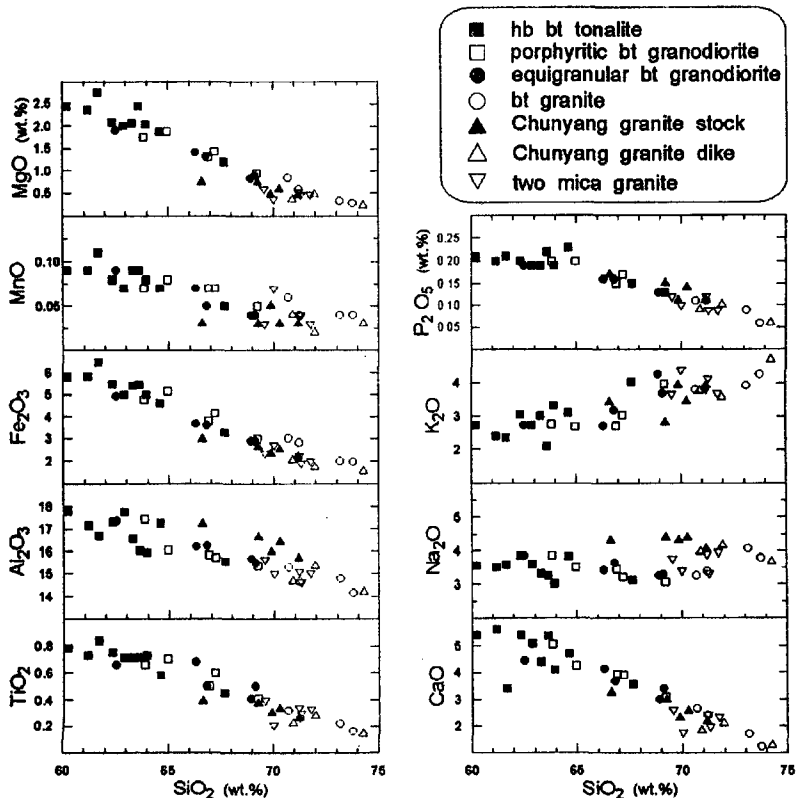


Fig. 13. Major element Harker's composite diagram. Symbols are the same as in Fig. 7.

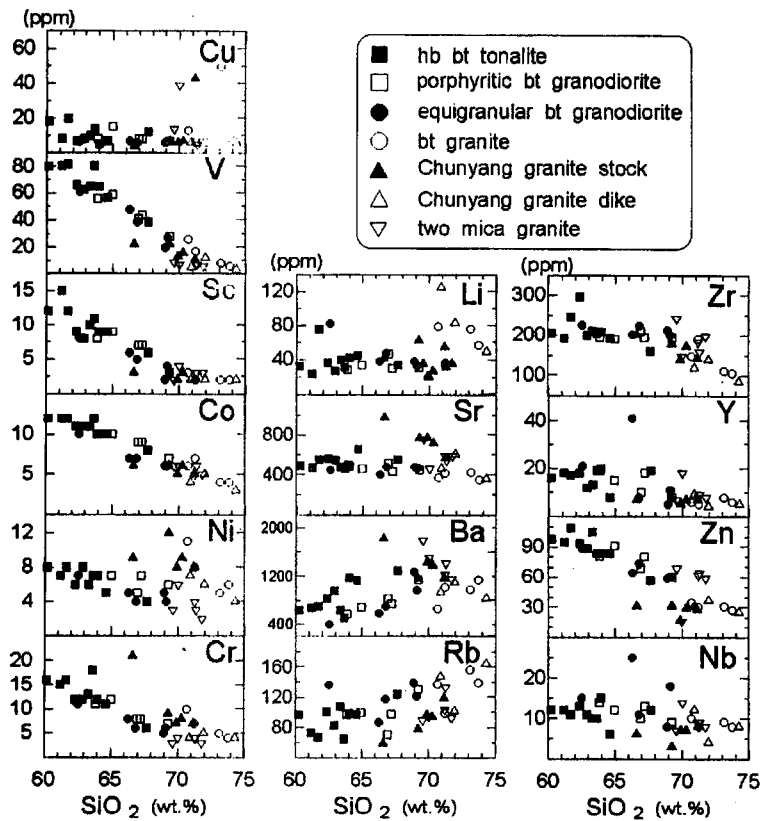


Fig. 14. Trace element Harker's cospite diagram. Symbols are the same as in Fig. 7.

Co, Ni, Cr, Sr, Zr, Y, Zn 등의 조성은 연속적으로 감소되는 선형 트렌드를 보이고, 반대로 Ba과 Rb 등의 조성은 산재되면서 증가된다 (Fig. 14). 여기서도 모든 관입체가 연속성을 나타내는 선형 트렌드를 나타낸다.

이들 하커변화도는 영주저반의 관입상들에 대한 뚜렷한 선형 진화 트렌드를 나타낸다. 춘양관입상과 장수관입상은 부석관입상을 관입했지만, 이들간의 확연한 단절은 이 하커도에서 나타나지 않는다. 이 관입상 간에 변화 트렌드 관계에서 불연속적인 단절이 나타나지 않고 연속적인 것은 세 관입상이 아마도 동원 마그마에서 유래되었음을 지지한다. 왜냐하면 위에서 언급한 바와 같이 세 관입상이 같은 구조조 환경에서 그 기원과 계열이 동일하기 때문이다.

이 그림에서 부석관입상은 각섬석 흑운모 토날라이트가 어느 것보다 더 염기성이고 고철질이라는 것을 암시하고 장수관입상이 춘양관입상보다 더 산성이고 규장질이라는 것을 나타낸다. 그러므로 각섬석 흑운모 토날라이트가 아마도 이 저반의 초기 조성을 반영하는

것으로 생각된다.

구조적 관계로부터 추론한 바와 같이, 이 관입상들의 정지순서는 가장 염기성 조성을 가진 부석관입상으로부터 가장 산성인 장수관입상으로의 화학변화에 일치한다. 부석관입상에서 화학변화는 비교적 크게 나타나지만 춘양관입상에서 화학변화는 별로 크게 나타나지 않고 장수관입상에서는 거의 없다. 부석관입상에서 화학변화는 각섬석의 분포 혹은 고철질 광물 조성에 비례한다. 그림에서 보여주는 바와 같이 관입상 간의 큰 화학적 조성 차이는 다음과 같이 생각해 볼 수 있다. 먼저 시간에 따라 근원지에서의 부분용융의 정도가 달랐을 가능성을 고려할 수 있다. 그러나 이 가능성은 동일 지역에서 한정된 기간에 걸친 관입 순서를 고려한다면 점진적인 부분용융으로 설명이 불가능하다. 왜냐하면 최저온의 가장 산성인 마그마가 먼저 형성되기 때문이다. 그렇다면 동일 지역에서 한정된 기간에 걸친 관입정치는 더 염기성 관입체에서 더 산성 관입체로의 순서를 밟는 것이 일반적이라고 생각된다. 그러므로 부석관입상의 토날라이트와 춘양관입상 간의 조



성 차이는 이 두 관입상의 정치 시기 사이에, 다시 말해서 부석관입상의 마그마가 관입한 후부터 춘양관입상의 마그마가 상승되기 전에, 지각심부의 마그마 챔버에서 큰 분화가 일어났다는 것을 암시한다. 마찬가지로 춘양과 장수관입상 간의 화학적 차이도 보다 작지만 두 관입상의 정치시기 사이에 분화가 어느 정도 일어났음을 암시한다. 그리고 부석관입상 내에서 큰 화학적 변화는 관입 후에 정치하는 동안에 큰 암체에 비례해서 일어난 진화가 보다 컸다는 것을 지시한다.

토 의

영주저반은 부석암체, 춘양암체와 장수암체 등의 세 개의 심성암체로 구성되고 이들은 정치시기가 각기 다르다. 이는 이들 심성암체가 세 번의 관입단계에 따라 맥동적으로 관입정치했기 때문에 각각 부석관입상, 춘양관입상과 장수관입상으로 나눌 수 있다. 그리고 이들 각 관입상은 이들로부터 나온 화학적 자료를 구조 판별도에 적용시킴으로써 이들이 관입할 당시의 구조 환경을 구분할 수 있다. 이들로부터 이 저반의 칼크알카리 화강암질암류는 화산호 마그마작용에 의해 생성된 산물이라는 것을 알 수 있다. 또한 이 저반의 심성암체는 대륙충돌의 산물에 해당되는 S-형이 아니고 조산운동과 후조산 용기활동의 산물에 해당되는 I-형이라는 것을 알 수 있었다 (Lee and Lee, 1991; 이상근, 1996; Hwang and Lee, 1997; Jin, 1998; Lee et al., 1998).

화산호 환경에서 나온 화강암질암은 계열에 따라 이들의 주원소와 광물조성이 매우 체계적으로 변화한다. 일반적으로 대양호나 대륙호 등의 화산호에서 나온 칼크알카리질 화강암질암은 Streckeisen의 분류도에서 석영 섬록암, 석영 몬조니암, 토날라이트, 화강섬록암 영역에 일차적으로 도시되고, 특징적인 고철질 광물은 각 섬석과 흑운모를 가진다 (Peccerillo and Taylor, 1976). 따라서 영주저반의 심성암체는 각섬석 흑운모 토날라이트, 흑운모 화강섬록암, 흑운모 화강암, 복운모 화강암으로 구성되고 고철질광물로서 흑운모와 각섬석이 포함되기 때문에 대륙호호 혹은 대륙주변호에 속함을 알 수 있다.

종합하면 이 저반의 화강암질암은 도호, 대륙호 혹은 대륙충돌 화강암 중에서도 대륙호 구조 환경에 속하는 것으로 생각할 수 있다. 왜냐하면 대륙충돌 화강암질암에 속하지 않는 것은 Rb-(Y+Nb) 분별도에서

도 알 수 있었기 때문이다 (Fig. 11). 그리고 암석화학적 자료 이외의 자료를 빌린다면 도호에서 필수적으로 나타나야 할 대양지각의 흔적이 발견된 바 없고 주변에 대륙을 지시하는 선캠브리아기의 고변성암이 대규모로 둘러싸고 있기 때문이다. 따라서 대륙충돌과 도호에 대한 구조 환경은 배제되어야만 한다. 본역은 대륙호가 형성되는 조산대 구조조적 환경에서 먼저 본역의 부석관입상이 관입되고 단계적으로 춘양관입상과 장수관입상이 관입되면서 후조산대 구조 환경에 접근된 것으로 판단된다.

이러한 영주저반의 여러 관입상의 조성 차이는 아마도 섬록암질 마그마의 분화에 의해 설명될 수 있다. 왜냐하면 각섬석 흑운모 토날라이트에 들어있는 고철질 미립상 내포체 중에서 영주저반의 물질 가운데 가장 염기성 조성인 섬록암질 내포체가 종종 발견되기 때문이다. 섬록암질 마그마가 지각 속에서 상승할 때, 이는 마그마챔버에서 분화될 것이며 이때 더 진화된 부분이 이 곳으로부터 맥동적으로 상승되고 지각 상부로 관입하여 정치된다. 그리고 이 마그마가 현노두 레벨에 정치된다면, 이 곳에서도 이 마그마가 냉각되는 장기간에 걸쳐서 더욱 분화를 겪게 된다.

결과적으로 영주저반을 형성한 마그마의 분화와 연속적인 관입에 따른 화성과정을 모식적으로 나타내면 Fig. 15와 같다. 영주저반의 모든 관입상에 대한 마그마는 아마도 하나의 단일 마그마챔버에서 유래되었다. 영주저반의 각 관입상의 정치는 맥동적으로 일어났으며, 각기 이의 앞선 관입상보다 더 산성이었다. 이는 지각심부에 놓이는 마그마챔버에서 분별결정작용이 이

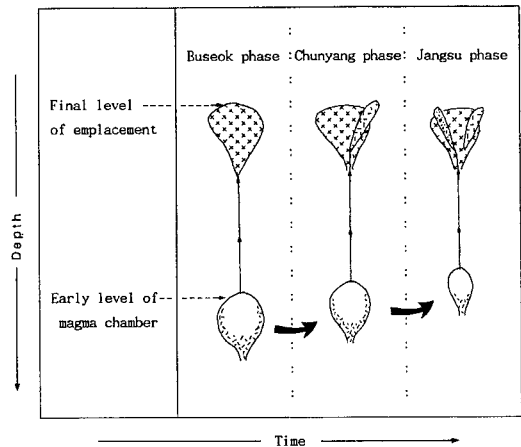


Fig. 15. Schematic representation of the change in level of the magma chamber and emplacement of the phases of the Yeongju batholith.

순서를 잘 설명해준다. 이 곳에서 마그마철퍼로부터 진화된 마그마 일부가 출조되어 지각 천부에 정치되었을 것이다. 그런데 지각심부 챔버에서 마그마는 위에서 언급한 바와 같이 내포체의 암중에 의하면 아마도 섬록암질이었을 것으로 생각된다. 이 지각심부 챔버에서 섬록암질 마그마는 주로 결정낙하와 연변누적에 의하여 분별결정작용을 겪었으며, 상부의 보다 산성인 토날라이트질 마그마가 먼저 출조되었을 것이다 (Fig. 15). 그러나 토날라이트질 마그마가 출조되었던 마그마철퍼는 아마도 보다 후기의 관입상이 출조되었던 것보다 더 깊은 지각 레벨에 있었을 것으로 생각된다. 왜냐하면 결정분별작용에 의해 분화작용이 진행될수록 챔버 내에 남은 마그마는 밀도 차이에 따라 서서히 상승해야 평형을 유지할 수 있기 때문이다. 지각심부에서 토날라이트질 마그마의 분별결정작용은 아마도 각섬석 혹은 토날라이트의 보다 많은  $Al_2O_3$  함량에 의해 설명된다. 지각심부의 마그마철퍼에서 출조된 토날라이트질 마그마는 이들의 마지막 정치 레벨까지 빠른 속도로 상승해야만 할 것이다. 이 정치 레벨은 약 20~10 km (진명식, 1998) 혹은 28 km (조동룡과 권성택, 1994) 정도의 심도에 위치했었다. 반면에 마그마가 새로운 압력 조건으로 조정된 후, 이들은 사장석, 각섬석과 흑운모 등의 침전에 의해  $Al_2O_3$ , MgO와  $Fe_2O_3$ 가 고갈된 것으로 생각된다. 왜냐하면 이 저반에서 토날라이트보다 후기의 관입상들은 보다 적은  $Al_2O_3$  함량을 가진다 (Table 3; Fig. 13). 보다 후기 관입상의 마그마는 토날라이트질 마그마가 출조되어 지각으로 서서히 상승하는 챔버와 같은 레벨에서의 챔버로부터, 혹은 보다 천부 레벨에서의 챔버로부터 출조되었다 (Fig. 15). 장수관입상이 출조되었던 보다 천부레벨은, 토날라이트질 마그마가 출조되었던 심부레벨과 연결시켜 생각한다면, 영주저반의 관입상들이 발달되었던 마그마철퍼가 어떤 일정한 레벨에 상주한다는 것보다 차라리 지각 내에서 점진적으로 상승되었다는 것을 지지한다.

초기에 섬록암질 성분이던 마그마의 분별결정작용은 거듭되는 압력감소 효과에 따라 각섬석과 사장석의 분리를 일으키는 것으로 생각되는데, 이 분별결정작용은 이 저반에서 관찰되는 여러 관입상 사이의 차이를 설명하기에 충분한 것 같다. 부석관입상의 정치전에 사장석과 각섬석의 존재는 큰 사장석 내에 작은 자형 사장석, 각섬석 혹은 포유물에 의해 인지되고 자형의 큰 각섬석 결정이 마그마성 엽리를 따라 거의 수직으로 놓이는 점에 의해 지지된다. 부석관입상의 정치후에 결정작용은 사장석과 흑운모는 계속 정출되고 보다

더 나중에 K-장석과 석영이 나타났을 것이다. 휘석이 없고 각섬석과 흑운모가 풍부한 것은 이들을 완전하게 정출시킬 만큼 용융물 내의  $P_{H_2O}$ 가 충분 했음을 반영한다. 그리고 부석관입상과 춘양관입상 사이에 상대적인 정치시기의 차이가 인정되었다. 이 시간적 차이는 이 관입상의 정치가 분리되어 맥동적이었음을 암시하고 부석과 춘양관입상 간의 상당한 조성 차이를 일으키는데 기여했을 것이다. 이는 춘양관입상이 대체로 중립질인데 비하여 부석관입상이 대부분 조립질인 것에 의해서도 지지된다. 이 시간적 차이 동안에 챔버에서의 마그마는 부석관입상의 초기 조성에 비하여  $SiO_2$ 와  $K_2O$ 가 더 풍부해지고  $Al_2O_3$ , MgO, CaO 등이 더 고갈되어졌을 것이다. 점차 각섬석은 없어지고 흑운모가 줄어드는 것은 지속적인 분별결정작용을 반영하는 것으로 생각된다. 그리고 춘양관입상과 장수관입상의 사이에도 상대적인 정치시기의 차이가 인정된다. 이 시간적 차이도 이 관입상의 정치가 분리되었음을 암시하고 춘양과 부석관입상 간의 광물과 화학적인 조성 차이를 일으키는데 기여되었을 것이다. 이는 장수관입상이 보다 더 세립질이고 접촉부에 인접한 곳에서의 냉각대에 의해서 지지된다. 이 간격 동안에도 하위에서 마그마는 춘양관입상의 조성에 비하여  $SiO_2$ 와  $K_2O$ 가 더 풍부해지고  $Al_2O_3$ , MgO, CaO 등이 더 고갈되어졌다. 이는 지속적인 분별결정작용을 반영하고 아마도 용융물 내의  $P_{H_2O}$  증가를 암시한다. 그리고 불호정성 원소의 함량이 높은 것에 의하면 마그마가 상승하고 정치하는 동안 지각물질의 동화작용에 의해 혼연도 일어났을 것이다 (Lee *et al.*, 1998). 종합하면 마그마의 분별결정작용이 계속되고 이와 함께 마그마의 함수량과 지각물질의 혼연이 조금씩 증가되며 이에 따라 관입상들 사이의 조성 차이를 설명해 줄 수 있다.

그리고 영주저반의 심성암체는 아마도 영남육괴의 변성암 속으로 강압식 방식에 의해 현노두 레벨에 정치되었다. 그런데 부석관입상의 토날라이트는 남서쪽으로 길게 연장되는데, 이는 아마도 기존 구조에 의해 쉽게 형성된 것으로 생각된다. 이의 가능성으로는 예천단대를 영주저반의 동쪽 연장부를 지배하는 구조대로 생각할 수도 있다. 그러므로 이 전단대는 아마도 영주저반이 정치되기 시작할 무렵부터 이미 지각 깊숙하게 틈을 형성하였을 것으로 생각된다. 부석관입상보다 후기의 두 관입상은 각각 부석암체의 동서 연변부 근처에 정치하였다.

각 마그마가 한 번 정치된다면 분별결정작용과 동화작용에 의한 혼연 등에 의해 수정된다. 현노두 레벨에

서의 분화작용은 부석관입상에서 가장 현저하고 춘양과 장수관입상에서 약하게 나타나거나 거의 나타나지 않는다. 특히 부석관입상 내의 암상들의 K-Ar 연대가 유사하고 이들 암상 간의 경계가 점이적인 것은 정치 후의 마그마 분화작용에 의한 분화상이라는 것을 암시한다. 이에 대해서는 앞으로 더 자세한 연구가 필요하다.

## 결 론

영주저반은 1180 km<sup>2</sup> 면적을 가지며 토날라이트, 화강섬록암과 화강암 등이 우세한 암형이다. 이 저반은 부석, 춘양과 장수암체 등의 3개 관입단위로 구성되는 심성암 복합체이다. 부석암체는 영주저반의 전체를 지배하면서 남서쪽으로 뻗치며, 춘양암체는 이 저반의 동부를 형성하고 장수암체는 중서부를 형성한다. 부석암체는 토날라이트, 화강섬록암과 화강암의 조성을 가지고 춘양암체는 화강섬록암과 화강암 조성을 가지며 장수암체는 화강암 조성을 나타낸다.

부석암체는 대체로 조립질인데 비하여 춘양암체는 중립질이고 장수암체는 세립질이며 연변부에 희미한 냉각대를 형성한다. 특히 부석암체는 마그마성 염리를 발달시키며 이의 연변부에 평행하고 거의 수직에 가깝게 놓이는 렌즈 모양의 고철질 미립상 내포체를 산발적으로 함유한다.

K-Ar 연대는 부석암체에서 171.7±3.2~162.3±3.1 Ma 범위이며 춘양암체에서 153.9±2.9 Ma이고 장수암체에서 145.3±2.7 Ma이다. 각 심성암체는 약 천만년의 시간적 차이를 두고 3 단계에 걸쳐 연속적으로 지각의 높은 위치에 관입정착되었기 때문에 각각 고기 단계로부터 차례로 부석관입상, 춘양관입상, 장수관입상으로 부를 수 있다.

영주저반에서 관입상들은 화학적 성질과 변화에 의하면 모두 칼크알카리 계열에 속하고 거의 동일한 REE 패턴을 나타내며 조산대의 대륙호 환경에 속할 뿐만 아니라 가지런한 연속적 선형 트렌드를 나타내기 때문에 동일 마그마에 의한 분화 산물이라는 것을 지시한다.

영주저반의 각 관입상들의 관입은 시간적 차이를 두고 맥동적으로 일어났으며, 각기 이의 앞선 관입상보다 더 산성이다. 이는 지각심부에 놓이는 마그마챔버에서 분별결정작용에 의해 이 순서를 설명할 수 있다. 이 마그마챔버로부터 더 진화된 마그마 일부가 단계별로 출조되어 지각 천부에 관입 정지되었다. 부석관입상의 마그마가 출조되었던 마그마챔버는 아마도 보다

후기의 관입상이 출조되었던 것보다 더 깊은 지각 레벨에 있었다. 그리고 각 관입상의 마그마가 현노두 레벨에 정지된 후에, 각 관입상들은 공간적인 조직변화와 조성변화를 나타낸다.

## 사 사

이 논문은 1998년도 한국학술진흥재단 학술연구비(1998-015-D00277)에 의해 지원되었다. 심사를 통하여 건설적인 시정 지시를 해주신 전남대학교 김용준 교수님과 익명의 심사위원께 감사한다. 주원소, 미량원소와 희토류원소 분석은 영국 런던대학교의 Walsh 박사에게 의해 ICP-MS로 실시되었으며 K-Ar 연대 측정은 기초과학지원연구소에서 대전 본소에서 K 정량을 원자흡광측광기(Unicam 989)에 의해 Ar 동위체비를 double collector system이 부착된 질량분석기(VG5400)에 의해 실시되었다. 실내실험과 그림제작에 있어서 암석학 연구실 안웅산과 이보현 석사, 조남식 대학원생과 김지영 학부생의 도움이 있었다.

## 참고문헌

- 김규상 1988) 영주-안동간의 소위 “원남층군”에 관한 변성암석학적연구. 고려대학교 이학석사 학위논문, 42p.
- 김기영, 김형식, 오창환, 반찬수, 강지훈, 류영복 (1996) 장군봉 일대 선크브리아대-고생대 변성퇴적암류의 다변성작용: 북부 소백산육괴의 중앙부 지역의 지각진화 및 환경지질. 암석학회지, 5권, p.68-187.
- 김봉균, 이하영, 김수진, 정지곤 (1988) 안동도폭 지질보고서. 한국동력자원연구소, 20p.
- 김옥준 (1971) 한국의 신기 화강암류의 관입시기와 지각 변동. 광산지질, 4권, p.1-9.
- 김옥준, 홍만섭, 김기태 (1963) 한국지질도 삼근리도폭. 국립지질조사소, 36p.
- 손치무, 김수진 (1963) 한국지질도 춘양도폭. 국립지질조사소, 28p.
- 신병우, 최승일 (1968) 한국지질도 상금곡도폭. 국립지질조사소, 15p.
- 안건상, 정현희, 이현구 (1993) 장군광산 주변의 변성이질암에서의 누진변성반응 계열. 광산지질, 26권, p.473-478.
- 양관석, 조문섭 (1995) 춘양 화강암체 주변 두음리층에 산출되는 십자석-흑운모-홍주석-석류석 광물조합: 대수학적 분석. 암석학회지, 4권, p.49-60.
- 원종관, 김기태 (1969) 한국지질도 상주도폭. 국립지질조사소, 34p.
- 원종관, 이하영 (1967) 한국지질도 단양도폭. 국립지질조사소, 34p.
- 윤석규, 차문성, 김정진, 이종덕 (1988) 예천도폭 지질보고서. 한국동력자원연구소, 12p.
- 이동우, 김상욱 (1965) 한국지질도 서벽리도폭. 국립지질조사소, 25p.

- 이대성 (1966) 한국지질도 육동도폭. 국립지질조사소, 30p.
- 이대성, 이하영 (1963) 한국지질도 예안도폭. 국립지질조사소, 22p.
- 이민성, 김상욱 (1968) 한국지질도 함창도폭. 국립지질조사소, 34p.
- 이민성, 박봉순, 김정환 (1989) 영주도폭 지질보고서. 한국동력자원연구소, 20p.
- 이상근 (1996) 영주지역 화강암질암류에 대한 암석학적 연구. 안동대학교 이학석사 학위논문, 52p.
- 이상만, 김형식 (1984) 소위 울리층군 및 원남층군의 변성암석학적 연구: 태백산 일대를 중심으로. 지질학회지, 20권, p.195-214.
- 이종혁, 이상현, 장태우 (1989) 풍기도폭 지질보고서. 한국동력자원연구소, 14p.
- 이현구 (1998) 금호 (장군) 광산의 연·아연·은 광화작용. '98 자원환경 심포지움 논문집, 금호 (장군) 광산 부근의 지질과 광화작용. 대한자원환경지질학회, p.1-48.
- 이희철 (1986) 경북 안동군 일대에 분포하는 변성암류의 변성작용에 관한 연구. 서울대학교 석사 학위논문, 41p.
- 조동룡, 권성택 (1994) 남한의 중생대 화강암에 대한 각섬석 지압계와 지각두께의 진화. 지질학회지, 30권, p.41-61.
- 주승환 (1987) 영남육괴 Rb-Sr 연대 측정 연구(IV): 목포 지역 화강편마암, 태백지역 울리통 및 화강암류. 한국동력자원연구소, p.1-52.
- 진명식 (1998) 주라기 영주-춘양 화강암류의 지열사 연구. 제7차 한국암석학회 학술발표회 요약집, p.23.
- 황상구 (1994) 영주화강암 석재단지 주변의 지질. 안동대학교 논문집, 16, 71-81.
- 황상구 (1995) 영주 장수지역 세립질 복운모 화강암에 대한 응용암석학적 연구(I): 암질과 구조. 안동대학교 논문집, 17권, p.49-67.
- Bateman, P.C. and Dodge, D.C.W. (1970) Variation of major chemical constituents across the central Sierra Nevada batholith. Bull. Geol. Soc. Am., v.81, p.409-420.
- Chang, T.W. (1990) Relative timing of shear zone formation and granite emplacement in the Yechon shear zone, Korea. J. Korean Inst. Mining Geol., v. 23, p. 453-463.
- Chappell, B.W. and White, A.J.R. (1974) Two contrasting granite types. Pacific Geol., v. 8, p. 173-174.
- Didier, J. and Barbarin, B. (1991) Enclaves and granite petrology. Elsevier, Amsterdam, 625p.
- Hwang, S.K. and Lee, S.K. (1997) Petrochemistry of major and trace elements as an indicator of tectonic setting for the granitic rocks in Yeongju area. The 6th annual meeting of Petrol. Soc. Korea (abstract), p. 41-42.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R. (1971) A guide to the chemical classification of the common igneous rocks. Can. J. Earth Sci., v.8, p.523-548.
- Jin, M.S. (1998) Petrology and geochemistry of the Yeongju-Chunyang granitic rocks of early Jurassic age in northeastern part of the Sobaeksan Massif, South Korea. The 7th annual meeting of the Petrol. Soc. Korea(abstract), p.22.
- Lee, J.I., Jwa, Y.-J., Park, J.-H., Lee, M.J. and Moute, J. (1998) Petrology and geochemistry of the Youngju and Andong granites in the northeastern Yeongnam massif, Korea. Geoscience Journal, v.2, p.1-14.
- Lee, J.I. and Lee, M.S. (1991) Mineralogy and petrology on the granitic rocks in the Youngju area, Kyoungsang Buk-do, Korea. J. Geol. Soc. Korea, v.27, p.626-641.
- Maniar, P.D. and Piccoli, P.M. (1989) Tectonic discrimination of granitoids. Geol. Soc. Am. Bull., v. 101, p. 635-643.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W., and Tindle, A.G. (1984) Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. J. Petrol., v. 25, p. 956-983.
- Peccerillo, A. and Taylor, S.R. (1976) Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. Contr. Miner. Petrol., v. 58, p. 63-81.
- Yang, P. (1994) Polymetamorphism of the pre-Paleozoic metapelites in the Janggunbong area, Sobaeksan massif. Seoul Nat'l. Univ., MSc. Thesis, 80p.