

## 점촌일대에 분포하는 화강암류에 대한 암석화학적 연구

최원희 · 좌용주<sup>1</sup>

서울대학교 사범대학 지구과학교육과, <sup>1</sup>경상대학교 자연과학대학 지구환경과학과

**요 약 :** 연구지역의 화강암류는 각섬석 흑운모 화강암(Hbgr), 변형된 흑운모 화강암(Dbgr), 변형된 홍색 흑운모 화강암(Dpbgr), 흑운모 화강암(Btgr), 화강 반암(Gp) 등으로 나눌 수 있다. 이들 화강암류는 전암의 화학조성으로부터 메타알루미나질, I-형, 칼크-알칼리계열 등의 특징을 보인다. Hbgr과 Dbgr은 대체로 티탄철석계열, Dpbgr과 Btgr은 티탄철석계열과 자철석계열의 양쪽을 나타내며, Gp는 자철석계열의 특징을 보인다. 화강암류 관입의 지구조환경을 살펴보면, Hbgr과 Dbgr의 경우 활동성 대륙주변부를 나타내지만, Dpbgr, Btgr 및 Gp의 경우 후조산운동 내지 비조산성의 지각응기 등에 관련된 환경을 나타낸다. 주성분원소의 관계로부터 Hbgr과 Dbgr에서는 산화물의 함량이 SiO<sub>2</sub> 함량의 증가에 따라 체계적이고 연속적인 함량 변화를 보여 성인적인 연관성이 있는 반면, Dpbgr, Btgr, Gp의 산화물 함량 변화에서는 서로에 대한 체계적이고 연속적인 변화를 인식할 수 없어 각각의 암상은 서로 독립적인 조성의 마그마로부터 형성되었다고 판단된다. Hbgr과 Dbgr의 경우 야외에서의 점이적인 암상변화와 더불어 광물조성의 유사성, 주성분원소 함량의 점이적인 변화 등으로부터 동일 마그마로부터 유래되었다고 생각된다. 백록 화강섬록암과 Hbgr의 주성분원소 변화경향이 일반적으로 매우 유사하고 비교적 연속적이다. 만일 동일 마그마로부터 유래되었다면, 이 두 암체는 백악기의 흑운모 화강암(Btgr)과 화강반암(Gp)에 의해 분리되었을 것으로 판단된다. 연구지역에서의 화강암류의 관입은 적어도 세 차례에 걸쳐 일어났으며, 고생대 후기 내지 중생대 초기에 Hbgr과 Dbgr의 관입이, 백악기에 Btgr과 Gp의 관입이 있었으며, 그 사이에 Dpbgr의 관입이 있었다. 그리고 Dpbgr의 관입과 백악기 화강암류 관입 사이에 전단운동을 비롯한 드러스트 형성 등의 구조운동이 있었을 것으로 고찰된다.

**핵심어 :** 광물조성, 전암조성, 세차례의 관입, 구조운동

### 서 론

옥천대의 화강암류는 종래에는 쥬라기의 대보 화강암류와 백악기의 불국사 화강암류로 구분되어 논의되어 왔다(예 : Lee, 1971; 이대성과 김용준, 1985; 김규환과 신운수, 1990). 그러나 대보 화강암류로 취급되던 일부 암체들의 방사성 전암연대가 석탄기 내지 페름기로 밝혀지고(좌용주 외, 1995; 정창식과 장호완, 1996), 백악기 화강암류는 경상분지의 불국사 화강암류와 지구화학적으로 매우 다른 특징을 보여(Jwa *et al.*, 1994), 옥천대 화성활동에 대한 재고찰이 필요한 실정이다. 연구지역에 해당하는 점촌일대는 소위 대보 화강암류와 불국사 화강암류가 관입하고 있으므로, 시대가 다른 두 화강암류의 차이를 광물학적으로, 암석화학적으로 또한 지구화학적으로 밝히는 좋은 대상이 된다. 한편, 이 지역은 구조운동이 활발했던 곳으로 화강암체 내부에 전단대가 발달하고 있고, 또한 화강암체 주위로 여러 매의 드러스트가 발달하고 있다(황상기 외,

1992; 최현일 외, 1993). 이 구조운동으로 화강암체의 상당 부분이 전단작용을 받아 압쇄암화되어 있기도 하고, 었리구조를 보이기도 한다. 따라서 이 지역은 옥천대 화성활동 뿐만 아니라 구조운동을 밝히는 데에도 중요한 대상이 되리라 생각한다. 그러나 화강암체에 대한 기존의 연구는 윤현수와 김선억(1990)에 의해 화강암류의 일부 암석학적 특징과 K-Ar 흑운모 연대 (202 Ma, 각섬석-흑운모 화강암)가 보고되었을 뿐이다. 이 연구에서는 우선 점촌일대에 분포하는 화강암류에 대해 광물조성, 암석학적 특징 및 주성분원소의 지구화학적 특징을 검토하여 화강암류의 암상구분, 관입관계 및 분화양상 등을 밝히는데 그 목적이 있다.

### 지질개요

연구지역은 옥천대 중부에 위치해 있으며 1:5만 도폭상으로 함창(이민성과 김상욱, 1968)과 용유리(이홍규 외, 1973), 그리고 청산도폭(김동학과 이병

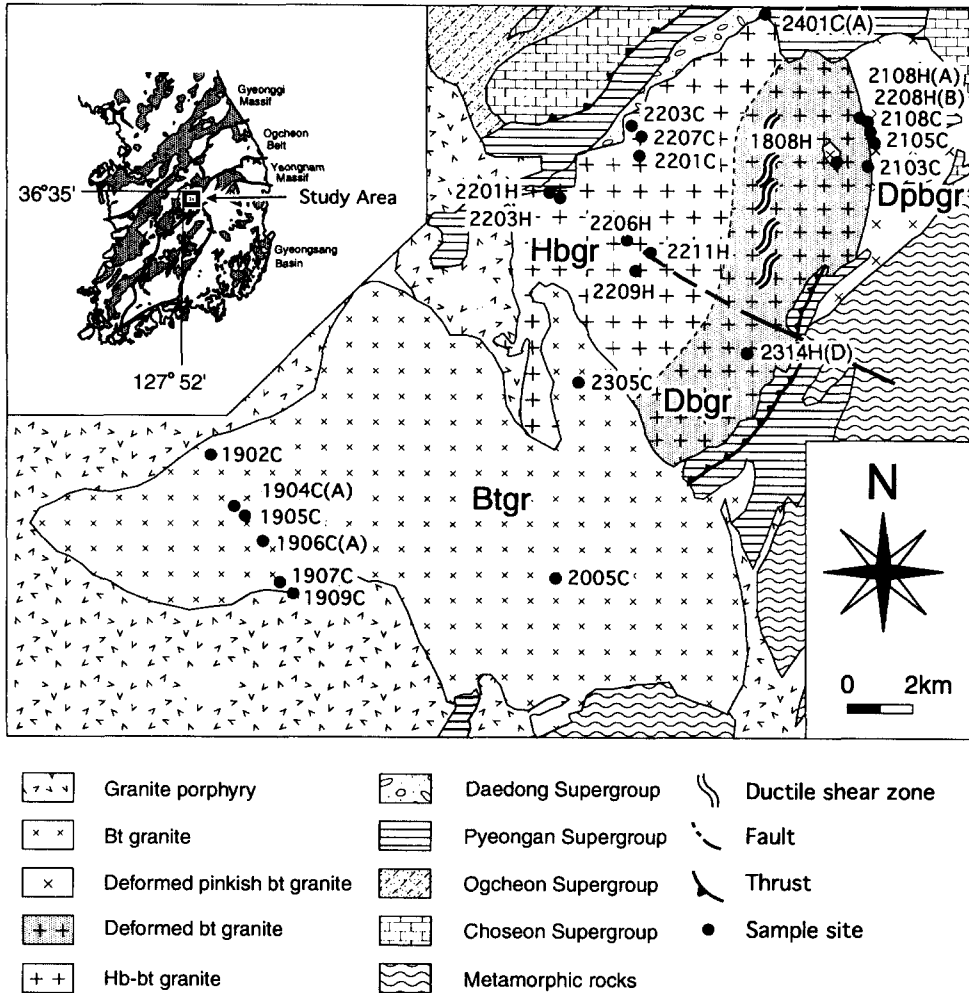


Fig. 1. Geologic map and sampling sites of the Jeomchon area.

주, 1986)의 일부를 점한다(Fig. 1). 본 지역은 남동방향에는 영남육괴의 선캠브리아기 변성암류, 북서방향으로는 옥천층군의 변성 퇴적암류가 있으며 이 사이에 평안층군의 퇴적암류가 분포하고 있다. 대보 화강암류는 이들 기반암을 관입하고 있다. 한편, 이 화강암류 상부에는 대동층군이 피복하고 있으며, 그 관계는 부정합으로 보고된 바 있다(최원희 외, 1993). 불국사 화강암류는 최후기 관입암류로 주로 남서부지역에 분포하고 있다. 선캠브리아기의 변성암류는 주로 흑운모 편마암과 운모 편암으로 구성된다. 흑운모 편마암은 엽리구조가 발달되어 있으나 동쪽으로 가면서 호상구조가 발달하게 된다. 엽리의 방향은 주로 동북동의 주향과 50° 이상의 남동 혹은 북서방향의 경사를 가지며 현저한 습곡구조

를 보인다. 운모 편암은 흑운모 편마암과 점이적인 관계를 보이며, 그 내부에 석회암이 렌즈상으로 협재되고, 또한 규암층이 협재되기도 한다. 전반적으로 이 편암은 압쇄암화작용을 받아 구성광물들이 신장되어 있다.

조선누층군의 석회암은 북서지역에서 평안층군과 드리스트 접촉을 하고 있으며, 이 드리스트의 방향은 석회암의 주향과 거의 일치하고, 단층면은 북서방향으로 경사되어 있다. 옥천층군의 퇴적암류는 주로 녹니석 편암의 문주리층과 흑색 내지 회백색의 함역 천매암인 황강리층으로 이루어진다. 이 퇴적암류들의 편리 및 엽리의 방향은 북동의 주향에 북서 경사를 가리킨다.

평안층군은 하부로부터 금천층, 장성층, 함백산

**Table 1.** Sample Locations (Sheet name, longitude/latitude and locality name).

Sample	Sheet Name(1:50,000)	Longitude	Latitude	Locality
<b>Hornblende biotite granite (Hbgr)</b>				
2201H	Jeomchon	128° 01' 52"	36° 34' 40"	Gyeongbug/Mungyeong/Nongam/Galdong
2203H	Jeomchon	128° 01' 54"	36° 34' 34"	Gyeongbug/Mungyeong/Nongam/Galdong
2209H	Jeomchon	128° 03' 30"	36° 33' 41"	Gyeongbug/Mungyeong/Nongam/Jidong
2211H	Jeomchon	128° 08' 48"	36° 34' 04"	Gyeongbug/Mungyeong/Nongam/Jidong
2203C	Jeomchon	128° 03' 12"	36° 35' 57"	Gyeongbug/Mungyeong/Gaeun/Jeosog
2207C	Jeomchon	128° 03' 22"	36° 35' 46"	Gyeongbug/Mungyeong/Gaeun/Jeosog
2210C	Jeomchon	128° 03' 14"	36° 35' 28"	Gyeongbug/Mungyeong/Gaeun/Jeosog
2401C(A)	Jeomchon	128° 05' 48"	36° 37' 51"	Gyeongbug/Mungyeong/Gaeun/Jeosog
<b>Deformed biotite granite (Dbgr)</b>				
2103C	Jeomchon	128° 07' 40"	36° 35' 23"	Gyeongbug/Sangju/lan/Anyong
2108H(A)	Jeomchon	128° 07' 44"	36° 36' 11"	Gyeongbug/Sangju/lan/Anyong
2314(D)	Jeomchon	128° 05' 23"	36° 37' 25"	Gyeongbug/Sangju/lan/Daehyeon
<b>Deformed pinkish biotite granite (Dpbgr)</b>				
1808H	Jeomchon	127° 56' 57"	36° 35' 29"	Gyeongbug/Sangju/lan/Anyong
2105C	Jeomchon	128° 07' 50"	36° 35' 56"	Gyeongbug/Sangju/lan/Anyong
2106H	Jeomchon	128° 07' 50"	36° 36' 00"	Gyeongbug/Sangju/lan/Anyong
2108C	Jeomchon	128° 07' 45"	36° 36' 08"	Gyeongbug/Sangju/lan/Anyong
2108H(B)	Jeomchon	128° 07' 44"	36° 36' 11"	Gyeongbug/Sangju/lan/Anyong
<b>Biotite granite (Btgr)</b>				
1902C	Sogri	127° 55' 30"	36° 30' 50"	Gyeongbug/Sangju/Hwabug/Sango
1904C(A)	Sogri	128° 05' 32"	36° 39' 17"	Gyeongbug/Sangju/Hwanam/Donggwan
1906C(A)	Gwangi	127° 55' 44"	36° 29' 35"	Gyeongbug/Sangju/Hwanam/Donggwan
1907C	Gwangi	127° 56' 02"	36° 28' 44"	Gyeongbug/Sangju/Hwanam/Donggwan
2005C	Sangju	128° 01' 22"	36° 39' 04"	Gyeongbug/Sangju/Weseo/Daejeon
2305C	Jeomchon	128° 01' 48"	36° 31' 56"	Gyeongbug/Sangju/Euncheog/Hwan-
<b>Granite porphyry (Gp)</b>				
1905C	Sogri	127° 55' 36"	36° 30' 16"	Gyeongbug/Sangju/Hwanam/Donggwan
1909C	Gwangi	127° 55' 36"	36° 28' 33"	Gyeongbug/Sangju/Hwanam/Donggwan
2206H	Gwangi	128° 03' 32"	36° 34' 05"	Gyeongbug/Mungyeong/Nongam/Jidong

층, 도사곡층, 고한층 등으로 구분되고, 주향은 대개 북동 내지 동북동이며, 경사는 50~80° 북서방향이다(최현일 외, 1993). 화강암체의 내부에는 포획체 내지 현수체로 나타나는 흑색 세일층이 있는데, 이 층은 과거에 시대미상의 운암사층(이민성과 김상욱, 1968)으로 명명되었으나 그 후 평안층군의 함창층(엄상호 외, 1977)으로 기재되었다. 대동층군의 산수동역암층은 연구지역 북부에 분포한다. 이 산수동역암층의 최하부 각력회회질암 내에는 각섬석 흑운모 화강암의 원마된 역을 포함하여, 이 역암층이 화강암 관입 이후에 퇴적된 것임을 나타낸다.

연구지역의 화강암류는 각섬석 흑운모 화강암

(Hbgr), 변형된 흑운모 화강암(Dbgr), 변형된 홍색 흑운모 화강암(Dpbgr), 흑운모 화강암(Btgr), 그리고 화강반암(Gp)으로 분류된다(Fig. 1). Hbgr과 Dbgr은 그 암상이 점이적이며, Dpbgr, Btgr, Gp에 의해 관입당하여 있다. Dbgr 내부에는 '구미리전단대'라 일컬어지는 남북방향의 전단대가 발달하여 화강암류가 심하게 압쇄암화되어 있다(황상기 외, 1992). Dpbgr은 기존에 알칼리화강암이라 불리어 왔던 것으로 연구지역 북동쪽에 위치하며 변형에 의한 것으로 보이는 열리구조가 확인된다. 연구지역 남서부에는 백악기 속리산 화강암체의 일부인 Btgr과 Gp가 관입하고 있다. 이 백악기 화강암류는

연구지역의 동쪽과 북쪽에 발달한 드리스트를 피복하고 있어 드리스트 형성의 구조운동보다 나중에 관입한 것으로 판단된다. 최후기 관입암인 Gp는 넓은 분포를 보이기도 하지만, 연구지역 곳곳에 암맥의 형태로 관입하기도 한다.

Table 1에 나타내었다. 화강암류의 광물 모드조성은 Table 2와 같고, 모드에 의한 화강암 분류를 Fig. 2에 나타내었다. Hbgr과 Dbgr은 화강섬록암과 화강암 양쪽의 영역에, Btgr과 Dpbgr은 대부분 화강암 영역에 도시된다.

## 화강암류의 기재적 특징

연구에 사용된 화강암류의 시료위치는 Fig. 1과

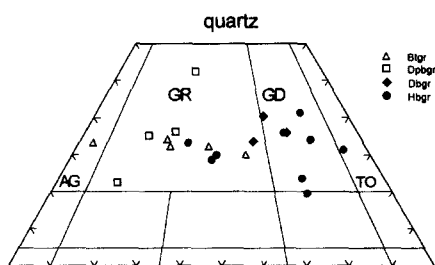
## 각섬석 흑운모 화강암(Hbgr)

각섬석 흑운모 화강암은 조립질로서 일부 장석

**Table 2.** Modal compositions of the granitic rocks in the Jeomchon area.

Sample	Qtz	Af	Pl	Hb	Bt	Zir	Ep	Chl	Ap	Mus	All	Opq
Hornblende biotite granite (Hbgr)												
2201H	28.6	35.9	22.0	2.8	10.2			0.1				
2203H	26.8	35.3	31.0	2.8	2.7		0.1	0.7		0.1		
2209H	27.7	5.1	55.6	2.8	2.6			2.0		3.3		0.5
2211H	25.8	31.0	28.7	3.6	9.5			0.4		0.3		
2203C	28.4	10.3	44.9		11.8		3.7		0.3	0.5		
2207C	16.3	16.7	49.5	7.6	7.8			1.0		0.5		
2210C	21.2	17.4	50.9	5.6	3.8			0.1		0.7		
2401C(A)	31.4	15.2	40.7	6.9	4.2			1.2				0.1
Deformed biotite granite (Dbgr)												
2103C	31.0	14.5	41.1	1.0	11.9	0.1	0.1	0.2	0.1			
2108H(A)	35.6	17.5	35.1		5.3			3.6	0.1	1.2		1.1
2314H(B)	29.9	23.0	36.1			0.7						
Deformed pinkish biotite granite (Dpbgr)												
1808H	21.0	59.4	13.4		5.8							0.3
2105C	32.6	38.9	19.7		7.8	0.1		0.2				0.1
2106H	32.3	24.7	34.2		7.9			0.3				
2108C	40.7	23.2	14.2		20.9			0.2				0.4
2108H(B)	29.6	42.2	13.3		5.8		2.6			1.6	0.2	4.1
Biotite granite (Btgr)												
1904C(A)	31.2	44.8	21.4		1.6	0.5						0.5
2305C	30.3	35.3	30.3	0.1	3.1		0.1			0.2		0.3
2005C	28.7	28.2	39.6		3.0							0.2
1906C(A)	33.0	44.9	20.0		0.3			0.1				0.4
1907C	32.9	63.3	3.8									
	Qtz	Af	Pl	Bt	Ser							Matrix
Granite porphyry (Gp)												
1909C	49.5	50.5										89.9
1905C	43.0	12.1	42.4	2.5								77.3
2206H	4.0	67.2	10.2	3.4	15.3							91.4

Abbreviations : Qtz, quartz; Af, alkali feldspar; Pl, plagioclase; Hb, hornblende; Bt, biotite; Zir, zircon; Ep, epidote; Chl, chlorite; Ap, apatite; Mus, muscovite; All, allanite; Opq, opaque minerals



alkali feldspar plagioclase

**Fig. 2.** Triangular diagram of modal quartz-alkali feldspar-plagioclase (IUGS subcommission, 1977). Symbols of the granites are shown in the figure. Abbreviations: GR, granite; GD, granodiorite; TO, tonalite; AG, alkali feldspar granite.

거정을 포함한다. 석영, 사장석, 알칼리 장석, 각섬석, 흑운모 등이 주 구성광물이며 그 외에 인회석과 갈염석이 보인다. 2차 광물로는 녹염석, 백운모, 녹니석 등이 있다. 석영은 파동소광을 잘 보이고 결정들 사이를 충전하여 나타나며 재결정작용에 의한 모자이크조직을 갖는다. 일부 세립의 석영들은 알칼리 장석의 주변에 나타나기도 한다. 자형~반자형의 사장석은 누대구조를 가지며, 부분적으로 견운

모화되어 있다. 각섬석은 녹색을 띠며 흔히 칼스바드 쌍정으로 산출되며 자형의 작은 결정들이 집합체를 이루기도 한다. 일부의 각섬석은 인회석을 포함한다. 이 암체의 북측에서는 각섬석의 대부분은 녹염석으로 교대되어 나타나기도 하는데, 이 경우 각섬석은 가상(pseudomorph)으로만 그 형태가 파악된다. 각섬석의 양은 일반적으로 암체의 동쪽을 향해 감소하는 경향이 있다. 흑운모는 다색성을 띠며 타형으로 산출되며 부분적으로 변형에 의한 킥크조직이 나타난다. 이 화강암에는 미약한 엽리구조가 관찰되기도 한다.

**변형된 흑운모 화강암(Dbgr)**

중립 내지 조립질의 등립질 화강암으로서 주로 석영, 알칼리 장석, 사장석, 흑운모 등이 있으며 부 성분 광물로는 인회석, 갈염석, 잿어콘이 있다. 석영은 타결정들 사이에서 주로 나타나며 파동소광을 보인다. 일부는 변형에 의한 모자이크 조직을 이룬다. 알칼리 장석은 타형으로 산출되며 퍼다이트 구조를 가지며 부분적으로 미사장석으로 산출된다. 사장석은 알바이트 쌍정으로서 자형 내지 반자형을

**Table 3.** Representative chemical compositions of plagioclase of the granitic rocks in the Jeomchon area.

	2103C(Dbgr)		2105C (Dpgr)		2305 (Btgr)	
	core	rim	core	rim	core	rim
SiO <sub>2</sub>	61.85	62.91	68.51	68.65	63.71	65.20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.86	22.90	20.09	18.81	22.39	21.75
FeO*	0.02	0.00	0.03	0.00	0.07	0.04
CaO	5.86	4.70	0.48	0.10	4.31	3.38
Na <sub>2</sub> O	8.46	9.04	11.31	11.94	8.81	9.34
K <sub>2</sub> O	0.12	0.10	0.32	0.04	0.91	1.01
Total	100.17	99.65	100.74	99.54	100.20	100.72
O=8						
Si	2.742	2.793	2.974	3.013	2.819	2.863
Al	1.246	1.198	1.028	0.973	1.167	1.125
Fe	0.001	0.000	0.001	0.000	0.002	0.001
Ca	0.279	0.224	0.022	0.005	0.204	0.159
Na	0.727	0.778	0.952	0.993	0.756	0.795
K	0.007	0.006	0.018	0.002	0.052	0.057
Sum	5.002	4.999	4.995	4.986	5.000	5.000
An	27.5	22.2	2.3	0.5	20.2	15.6
Ab	71.8	77.3	95.9	99.3	74.7	78.6
Or	0.7	0.5	1.8	0.2	5.1	5.6

FeO\* : total iron as FeO

보이며 견운모화 되어 나타나며 일부는 전단 변형을 보인다. 흑운모는 녹색을 띠며 입자 크기의 감소가 현저하다. 이 화강암은 각섬석의 출현여부를 제외하고는 각섬석 흑운모 화강암(Hbgr)과 암상이 매우 유사하다. 일부 시료(예: 2103C)를 제외하고 이 화강암의 대부분에서 각섬석의 뚜렷한 결정이 산출되지 않는다. 하지만 2차 광물의 녹색석에는 각섬석의 가상(pseudomorph)으로 보이는 결정의 형태가 남아있어, 변형과 변질 이전에는 각섬석이 존재했을 가능성이 있다. 그리고 이 화강암과 각섬석 흑운모 화강암은 암상이 매우 점이적으로 변화하여, 두 화강암은 같은 마그마로부터 형성되었을 가능성이 높다.

#### 변형된 홍색 장석 화강암 (Dpbgr)

이 화강암은 중립 내지 조립질로 홍색의 알칼리 장석이 많으며 엽리가 보이기도 한다. 주 구성광물

은 석영, 사장석, 알칼리 장석, 흑운모이고 부 구성광물은 갈염석, 저어콘, 인회석, 불투명광물 등이다. 2차 광물로는 녹색석, 견운모, 녹니석 등이 있다. 석영은 타형으로 산출되며 재결정작용에 의해 다양한 크기로 나타나며 띠를 이루기도 한다. 석영 세맥이 간혹 알칼리 장석의 틈을 따라 발달한 경우도 있다. 알칼리 장석은 타형으로 산출되며 주로 퍼다이트와 미사장석이다. 퍼다이트의 주변부에서는 미사장석으로 변화되기도 한다. 사장석은 자형 내지 반자형으로 누대구조를 이루며 선택적으로 견운모화 작용을 받았다. 흑운모는 반자형~타형이며 일반적으로 녹색색을 띠며 때로는 연성 변형을 보인다. 저어콘과 인회석을 포유물로 가지기도 하며 입자 크기가 감소된 경우도 많다. 자형의 갈염석은 갈색을 띠며 누대 구조를 이루고 석영이나 흑운모 내에 산출된다. 알칼리 장석, 석영, 사장석 등에 미세한 틈이 형성되어 있으며 이 틈을 따라 백운모, 석영, 불투명 광물이 발달한다.

**Table 4.** Representative chemical compositions of biotite of the granitic rocks in the Jeomchon area.

	2303H (Hbgr)		2103C (Dbgr)		2105C (Dpbgr)		2305C (Btgr)	
	Core	rim	Core	rim	Core	rim	Core	rim
SiO <sub>2</sub>	37.29	37.46	37.43	37.60	34.74	35.01	35.03	34.97
TiO <sub>2</sub>	3.11	2.83	2.49	1.73	3.24	2.21	3.57	3.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.87	15.25	14.67	16.47	15.33	16.15	12.93	12.87
FeO*	19.06	18.89	20.07	18.06	30.22	30.01	31.76	31.00
MnO	0.18	0.13	0.25	0.34	0.45	0.33	1.07	1.10
MgO	10.50	10.35	10.64	10.69	2.48	2.48	2.87	3.08
Na <sub>2</sub> O	0.09	0.01	0.08	0.04	0.14	0.11	0.11	0.07
K <sub>2</sub> O	9.43	9.33	9.51	9.49	8.88	8.98	8.45	8.03
Total	94.53	94.25	95.14	94.42	95.48	95.28	95.79	94.13
O=22								
Si	5.981	6.006	5.997	5.991	5.849	5.886	5.944	6.010
Al(IV)	2.019	1.994	2.003	2.009	2.151	2.114	2.056	1.990
Al(VI)	0.790	0.886	0.765	1.082	0.888	1.083	0.528	0.615
Ti	0.375	0.341	0.300	0.207	0.410	0.279	0.456	0.389
Fe <sup>2+</sup>	2.557	2.533	2.689	2.407	4.255	4.219	4.507	4.455
Mn	0.024	0.018	0.034	0.046	0.064	0.047	0.154	0.156
Mg	2.511	2.474	2.541	2.539	0.622	0.622	0.726	0.789
Na	0.028	0.003	0.025	0.012	0.046	0.036	0.036	0.023
K	1.930	1.909	1.944	1.929	1.907	1.926	1.829	1.760
Mg/Mg+Fe	0.50	0.49	0.49	0.51	0.13	0.13	0.14	0.15

FeO\* : total iron as FeO

**흑운모 화강암(Btgr)**

흑운모 화강암은 중립-조립질로 대체적으로 홍색을 띠는 흑운모 화강암이다. 미아롤리틱 정동이 직경 7 mm 까지의 크기로 나타나고 그 내부에 석영, 알칼리 장석 등의 결정들이 발달한다. 이 암체의 주변부에는 미분상 구조가 특징적으로 나타나며, 곳곳에서 반화강암으로 접이된다. 주 구성광물은 석

영, 사장석, 알칼리 장석, 흑운모 등이며 부 구성광물은 인회석과 약간의 갈연석이다. 타형의 석영은 외곽부가 부분적으로 용융된 흔적을 보이며 파동소광이 미약하게 나타난다. 알칼리 장석은 견운모화되었으며 스트링-, 패치-타입의 용리 구조를 보인다. 일부는 석영을 포획하며 부분적으로 미사장석으로 변환되어 있다. 사장석은 자형~반자형이며 중심부는 부분적으로 견운모화되어 있다. 흑운모는

**Table 5.** Representative compositions of amphibole from the hornblende biotite granodiorite and deformed biotite granite.

	2203H (Hbgr)		2203H (Hbgr)		2103C (Dbgr)		2103C (Dbgr)	
	Core	rim	Core	rim	Core	rim	Core	rim
SiO <sub>2</sub>	47.09	47.75	48.93	47.79	48.67	48.37	48.62	48.16
TiO <sub>2</sub>	1.63	1.11	1.00	1.16	0.78	0.83	0.90	0.85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.45	6.27	5.33	5.87	5.75	5.98	5.81	6.16
FeO*	15.72	15.70	14.88	16.46	16.92	17.68	16.98	16.48
MnO	0.42	0.37	0.24	0.46	0.47	0.63	0.69	0.45
MgO	12.10	12.32	13.39	11.89	11.82	11.55	11.53	11.61
CaO	11.49	11.32	11.18	11.44	11.34	11.10	11.50	11.43
Na <sub>2</sub> O	1.57	1.22	1.35	1.07	0.87	0.98	1.07	1.10
K <sub>2</sub> O	0.71	0.72	0.48	0.54	0.60	0.59	0.59	0.61
Total	98.18	96.78	96.78	96.68	97.22	97.71	97.69	96.85
23(O, OH, F)								
Si	6.907	7.072	7.182	7.104	7.174	7.009	7.173	7.153
Al(IV)	1.093	0.928	0.818	0.896	0.826	0.901	0.827	0.847
Sum_T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Al(VI)	0.194	0.165	0.103	0.131	0.172	0.133	0.183	0.231
Fe <sup>3+</sup>	0.349	0.437	0.503	0.451	0.538	0.704	0.391	0.356
Ti	0.180	0.124	0.110	0.130	0.086	0.092	0.100	0.095
Mg	2.646	2.720	2.930	2.635	2.597	2.527	2.536	2.571
Fe <sup>2+</sup>	1.580	1.508	1.324	1.595	1.548	1.466	1.704	1.691
Mn	0.051	0.046	0.030	0.058	0.059	0.078	0.086	0.056
Sum_C	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Ca	1.806	1.796	1.758	1.822	1.791	1.745	1.818	1.819
Mn	0.194	0.204	0.242	0.178	0.209	0.255	0.182	0.181
Sum_B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
Na	0.252	0.147	0.266	0.130	0.040	0.024	0.124	0.136
K	0.133	0.136	0.091	0.102	0.113	0.110	0.111	0.116
Sum_A	0.385	0.283	0.357	0.232	0.153	0.134	0.235	0.252
Mg/Mg <sup>Fe</sup>	0.63	0.64	0.69	0.62	0.63	0.63	0.60	0.60
Al(tot)	1.287	1.093	0.921	1.027	0.998	1.034	1.010	1.078

FeO\* : total iron as FeO

녹색 내지 녹색색을 띠며 반자형~타형으로 산출된다. 평행소광을 보이며 일부 인회석을 포함하며, 변질된 주변부에는 적철석이 나타나기도 한다.

### 화강 반암(Gp)

주로 화강 반암이지만, 부분적으로는 장석 반암 및 규장암으로 나타나기도 한다. 이 화강 반암은 독자적인 분포를 가지기도 하지만, 다른 암체 내부에서 암맥 형태로 관입되어 나타나기도 한다. 반정은 석영, 알칼리 장석, 사장석, 스페룰라이트 등이며 석기는 석영, 흑운모, 알칼리 장석, 사장석 등으로 구성된다. 타형의 석영은 부분적으로 알칼리 장석과 연정을 이루기도 하며, 일부 결정의 주변부에서는 재용융된 모습을 띤다. 알칼리 장석은 건운모화되었으며 외곽부는 용융에 의해 완만하다. 사장석은 자형으로 산출되며, 흑운모는 녹색을 띠며 불투명 광물을 함유한다. 2차적 산물인 녹염석은 흑운모와 접촉하기도 한다. 세립의 석영, 알칼리 장석, 흑운모는 스페룰라이트를 둘러싸며 나타나기도 한다.

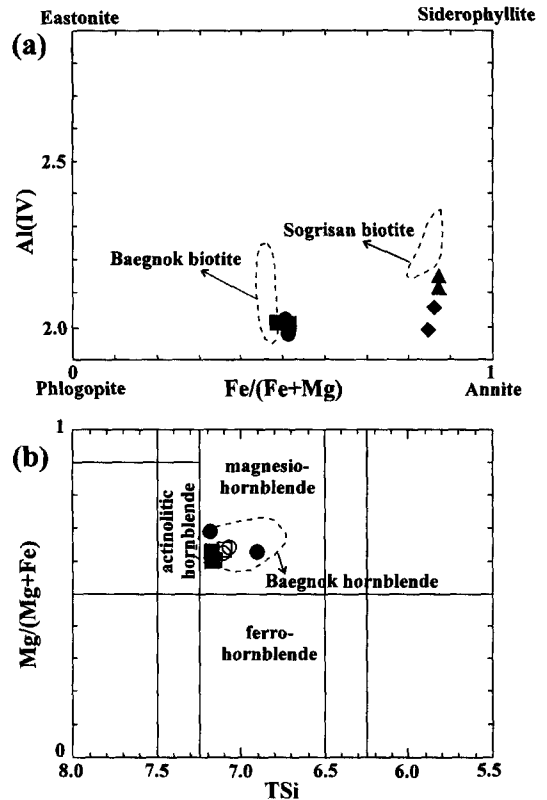
### 광물의 화학조성

화강암류의 조암광물에 대한 전자현미분석을 일본 이바라기대학의 EPMA(JEOL 733)를 사용하여 실시하였고, 그 결과는 Table 3, 4, 5에 나타내었다.

사장석 조성은 Dbgr과 Btgr의 경우 울리고클레이스의 조성을 나타낸다(Table 3). Dpbgr의 경우 매우 낮은 An 함량의 알바이트 조성을 나타내어 이 사장석은 마그마에서 정출된 것이라기 보다는 재결정작용으로 형성되었을 가능성이 있다.

흑운모의 조성을 보면, Hbgr과 Dbgr의 경우 금운모와 애나이트의 중간 조성을 나타내지만, Dpbgr과 Btgr은 거의 애나이트 조성을 나타낸다(Table 4; Fig. 3a). 흑운모의 조성을 연구지역 주변의 화강암체와 비교하면, Al(IV)의 차이는 있지만 Fe/(Fe+Mg) 값에서는 Hbgr과 Dbgr의 조성은 백록암체의 조성 과 유사하며(사공희와 좌용주, 1997), Dpbgr과 Btgr의 조성은 속리산암체의 것과 유사하다(Cho *et al.*, 1994).

각섬석의 조성으로부터 구조식은 산소 23개에 대한 규정값에 의하며, 13개 양이온에서 Ca, Na, K를 제외한 인자로부터 계산되었다(Table 5). Fe<sup>3+</sup>는 전체 양이온의 전하가 46이 되도록 한 Robinson *et al.* (1982)의 방법으로 계산되었다. Hbgr과 Dbgr에 산출되는 각섬석의 조성은 회각섬석군 (calcic am-



**Fig. 3.** Classification diagrams of minerals. (a) classification of biotites. Biotites of Hbgr and Dbgr show intermediate compositions between phlogopite and annite, whereas those of Dpbgr and Btgr exhibit annite compositions. The Fe/Mg ratios of Hbgr and Dbgr biotites can be compared with those of Baegnok granodiorite, whereas the ratios of Dpbgr and Btgr with those of Sogrisan granites. Symbols are the same as Fig. 2. (b) classification of calcic amphiboles. The amphiboles of Hbgr show magnesian hornblende compositions. The amphibole compositions are similar to amphibole core compositions of Baegnok granodiorite. Symbols: closed circle and square represent core compositions of Hbgr and Dbgr, whereas open circle and square rim compositions of Hbgr and Dbgr, respectively.

phibole group)의 magnesian hornblende에 속하며, 백록암체에서 산출되는 각섬석 조성(중심부 조성)과 유사하다(Fig. 3b). Dbgr의 경우 결정의 중심부와 주변부에서의 조성 차이가 별로 없지만, Hbgr의 경우 약간의 차이가 인정된다. 그러나 이 각섬석들은 중심부와 주변부에 상관없이 양이온으로 계산된 Si의 값이 0.691~0.718로 마그마에서 정출된 각섬석으로 판단된다(Leake, 1978; Chivas, 1981). 각섬석 결정의 주변부 조성은 지압계의 추정에 사용된



다(Hammarstrom and Zen, 1986; Hollister *et al.*, 1987; Johnson and Rutherford, 1989; Schmidt, 1992). 우리나라 화강암류에 산출되는 각섬석의 화학 조성으로부터 지압계를 적용한 예와 이론적인 근거는 조등룡과 권성택(1994)에서 찾을 수 있다. Schmidt (1992)의 계산식에 따라 구한 Hbgr과 Dbgr에 산출되는 각섬석의 지압계 압력은 1.9~2.2 kb로 이 화강암류가 비교적 지각 천부(7~8 km)에 관입하였을 가능성을 제시한다.

### 주성분원소의 지구화학

연구지역 화강암류의 주성분원소는 프랑스의 Geologie, Ecole des Mines, Saint Etienne의 XRF를 이용하여 분석했으며, Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup> 비는 습식 분석으로 구하였다. 주성분원소의 분석 결과와 CIPW 노름조성은 Table 6과 같다. 각 화강암류의 SiO<sub>2</sub> 함량은 Hbgr 64.6~69.3, Dbgr 67.3~70.0, Dpbgr 62.5~69.8,

Btgr 72.9~74.4, Gp 72.1~76.8 wt.%의 범위를 나타낸다. SiO<sub>2</sub> 함량에 대한 산화물의 변화경향은 Fig. 4에 나타내었고, SiO<sub>2</sub> 함량의 변화를 마그마의 분화에 대한 척도로 사용하였다. 전체적으로 Hbgr, Dbgr의 경향과 Dpbgr, Btgr, Gp의 경향 사이에는 매우 뚜렷한 차이가 있으며, 특히 MgO, CaO의 함량변화에서 분명하다. 이러한 차이는 이 두 경향 사이에 성인적 관련성이 없음을 지지한다. 한편, Hbgr과 Dbgr은 분산이 심한 CaO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O를 제외한 나머지 산화물의 함량은 SiO<sub>2</sub> 함량의 증가에 따라 체계적이고 연속적인 함량 변화를 보여, 이 두 화강암 사이에 어느 정도 성인적인 연관성이 지적된다. 한편, Dpbgr, Btgr, Gp에서는 서로에 대한 체계적이고 연속적인 변화를 인식할 수 없고, 따라서 각각의 암상은 서로 독립적인 조성의 마그마로부터 형성되었음을 추정할 수 있다. SiO<sub>2</sub>에 대한 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>T/MgO의 관계에서도, Hbgr과 Dbgr은 매우 유사한 변화를 보이지만, Dpbgr, Btgr, Gp는 상호

**Table 6.** Major element composition and CIPW norm of the granitic rocks in the Jeomchon area

	Hbgr								Dbgr		
	2201H	2203H	2209H	2211H	2203C	2207C	2210C	2401C(A)	2103C	2108H(A)	2314H(D)
SiO <sub>2</sub>	69.34	66.74	64.59	66.38	66.12	67.28	67.03	66.26	69.99	67.33	68.21
TiO <sub>2</sub>	0.29	0.36	0.47	0.42	0.40	0.39	0.40	0.40	0.28	0.26	0.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.04	14.42	15.69	14.68	14.88	14.36	14.60	14.49	15.05	14.36	15.13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	2.24	2.85	3.83	3.14	3.20	3.03	3.22	3.55	2.34	2.15	2.56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.16	0.39	0.82	0.53	1.74		0.70	0.74	0.16	0.29	0.08
FeO	1.87	2.21	2.71	2.35	1.31		2.27	2.53	1.96	1.67	2.23
MnO	0.04	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.04	0.05	0.03
MgO	1.13	1.50	2.28	1.63	1.51	1.74	1.74	1.97	1.18	0.96	1.14
CaO	2.03	2.25	3.13	2.74	2.47	2.69	3.15	3.33	2.30	3.79	1.38
Na <sub>2</sub> O	4.61	5.82	5.38	4.35	5.32	4.13	4.28	4.53	4.35	5.48	5.68
K <sub>2</sub> O	4.30	3.93	4.38	3.78	3.82	3.82	3.70	3.64	3.49	3.51	2.97
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08	0.12	0.17	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.06	0.07	0.08
LOI	0.85	1.00	1.73	1.32	1.18	1.34	0.76	0.69	0.57	2.76	1.70
Total	98.95	99.04	101.70	98.60	99.08	98.94	99.06	99.03	99.65	100.72	99.16
Normative minerals											
Qtz	20.37	11.81	7.15	18.46	14.82	51.60	19.08	16.54	23.68	14.92	18.23
Co	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.63	0.00	0.00	0.08	0.00	0.26
Or	25.96	23.75	25.97	23.02	23.09	0.00	22.30	21.94	20.86	21.22	18.06
Ab	39.85	50.36	45.67	37.93	46.05	1.07	36.94	39.09	37.23	47.43	49.44
An	5.02	1.65	5.74	9.65	5.56	20.03	9.89	8.62	11.15	4.31	6.51
Di	3.92	7.38	7.11	2.86	4.80	0.00	4.29	6.13	0.00	10.07	0.00
Hyp	3.89	3.49	5.87	6.15	2.00	18.81	5.40	5.56	6.09	0.00	6.65

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*: total iron as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Abbreviations: Qtz, quartz; Co, corundum; Or, orthoclase; Ab, albite; An, anorthite; Di, diopside; Hyp, hypersthene

Table 6. Continued

	Btgr						Dpbgr				Gp		
	1902C	1904C(A)	1906C(A)	1907C	2005C	2305C	1808H	2105C	2108C	2108H(B)	1905C	1909C	2206H
SiO <sub>2</sub>	74.04	72.89	74.19	74.41	73.03	73.94	69.79	69.46	66.74	62.52	76.79	74.48	72.09
TiO <sub>2</sub>	0.09	0.10	0.10	0.06	0.08	0.10	0.24	0.27	0.36	0.30	0.06	0.08	0.16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.81	12.61	12.88	12.38	11.68	12.64	14.10	14.42	14.83	18.02	12.39	12.36	13.78
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	1.36	1.53	1.61	1.25	1.31	1.46	2.66	3.01	3.83	3.45	1.05	1.65	2.02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.56	0.71	0.52	0.64	0.21	0.24	0.44	0.67	1.41	0.26	0.51	1.24	1.32
FeO	0.72	0.74	0.98	0.55	0.99	1.10	2.00	2.11	2.18	2.87	0.49	0.37	0.63
MnO	0.06	0.05	0.05	0.03	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.06	0.03	0.01	0.02
MgO	0.11	0.15	0.08	0.05	0.18	0.18	0.23	0.24	0.30	0.18	0.16	0.06	0.23
CaO	0.16	0.34	0.38	0.39	0.70	0.77	0.60	0.70	1.23	1.63	0.07	0.15	0.14
Na <sub>2</sub> O	5.44	6.13	4.25	4.66	7.70	5.09	4.66	4.61	4.71	5.13	2.90	4.40	4.36
K <sub>2</sub> O	4.74	4.82	5.09	4.88	4.46	4.70	5.97	6.14	5.78	7.23	5.34	5.64	5.93
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.03	0.00	0.01	0.01	0.03	0.05	0.06	0.08	0.06	0.01	0.01	0.04
LOI	0.72	0.88	1.17	0.51	0.37	0.52	0.48	0.41	1.40	1.05	1.12	0.86	1.16
Total	99.53	99.52	99.80	98.63	99.57	99.46	98.83	99.38	99.32	99.75	99.92	99.71	99.93
Normative minerals													
Qtz	26.91	25.28	29.08	29.37	26.54	26.92	17.92	16.87	14.35	0.00	39.42	28.92	23.81
Co	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.76	0.00	0.03
Or	28.49	29.05	30.53	29.55	26.64	28.15	35.97	36.75	34.97	43.48	31.96	34.06	35.51
Ab	40.17	38.79	36.50	37.41	35.63	39.37	40.05	39.51	40.81	44.18	24.85	32.87	37.38
An	0.00	0.00	1.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52	2.31	4.87	0.29	0.00	0.44
Di	0.64	1.31	0.75	1.68	2.97	3.18	2.35	2.25	2.92	2.60	0.00	0.60	0.00
Hyp	1.25	1.02	1.13	0.24	0.72	0.78	2.45	2.44	1.66	3.49	0.84	0.42	0.58

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* : total iron as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Abbreviations : Qtz, quartz; Co, corundum; Or, orthoclase; Ab, albite; An, anorthite; Di, diopside; Hyp, hypersthene

간에 성인적으로 무관함을 나타낸다.

한편, 마그마의 분화에 따른 산화물의 함량 변화는 분화지수로 MgO를 선택하면 (Fig. 5), Fig. 4에서와 마찬가지로 Hbgr, Dbgr과 Dpbgr, Btgr, Gp 사이에는 매우 뚜렷한 경향의 차이가 발견되어 성인적으로 무관함을 알 수 있다. 한편, 분화가 진행될수록, 즉 MgO 함량이 감소할수록 Hbgr과 Dbgr은 산화물 함량의 연속적인 변화를 보여, 두 화강암의 성인적 관련성을 지적할 수 있다. Dpbgr, Btgr, Gp의 각각은 Fig. 4에서와 마찬가지로 상호 관련성이 모호하다.

주성분원소에 의한 전암조성으로부터 화강암류의 지화학적 특성을 파악할 수 있다. 집촌일대의 화강암류는 대체로 메타알루미나질이며, I-형의 화강암류에 해당한다(Fig. 6a). AFM 도표에서는 화강암류들은 칼크-알칼리계열을 나타낸다(Fig. 6b). 이 AFM 도표에서 확인 가능한 또 하나의 특징은 Hbgr과 Dbgr의 유사한 분화경향이 여기서도 나타나는 것이다.

## 논의 및 결론

연구지역의 화강암류는 각섬석 흑운모 화강암(Hbgr), 변형된 흑운모 화강암(Dbgr), 변형된 홍색 흑운모 화강암(Dpbgr), 흑운모 화강암(Btgr), 화강반암(Gp) 등으로 나눌 수 있다. 이들 화강암류는 전암의 조성으로부터 메타알루미나질, I-형, 칼크-알칼리계열 등의 특징을 보인다. 한편, Ishihara (1977)에 의해 제안된 자철석계열/티탄철석계열 화강암류의 분류에 따르면 구성광물의 모드조성에 있어서 Hbgr과 Dbgr은 대부분 티탄철석계열을 보이고, Dpbgr과 Btgr은 티탄철석/자철석계열의 양쪽을 나타낸다(Fig. 7a). 이러한 사실은 전암의 화학조성에서도 확인되는데 Tsue and Ishihara (1974)에 의해 제안된 바에 따르면 위와 마찬가지로 Hbgr과 Dbgr은 대체로 티탄철석계열을, Dpbgr과 Btgr은 양 계열을 나타낸다(Fig. 7b). Gp의 경우는 오로지 자철석계열에 속한다. 한편, 측정된 전암대 자

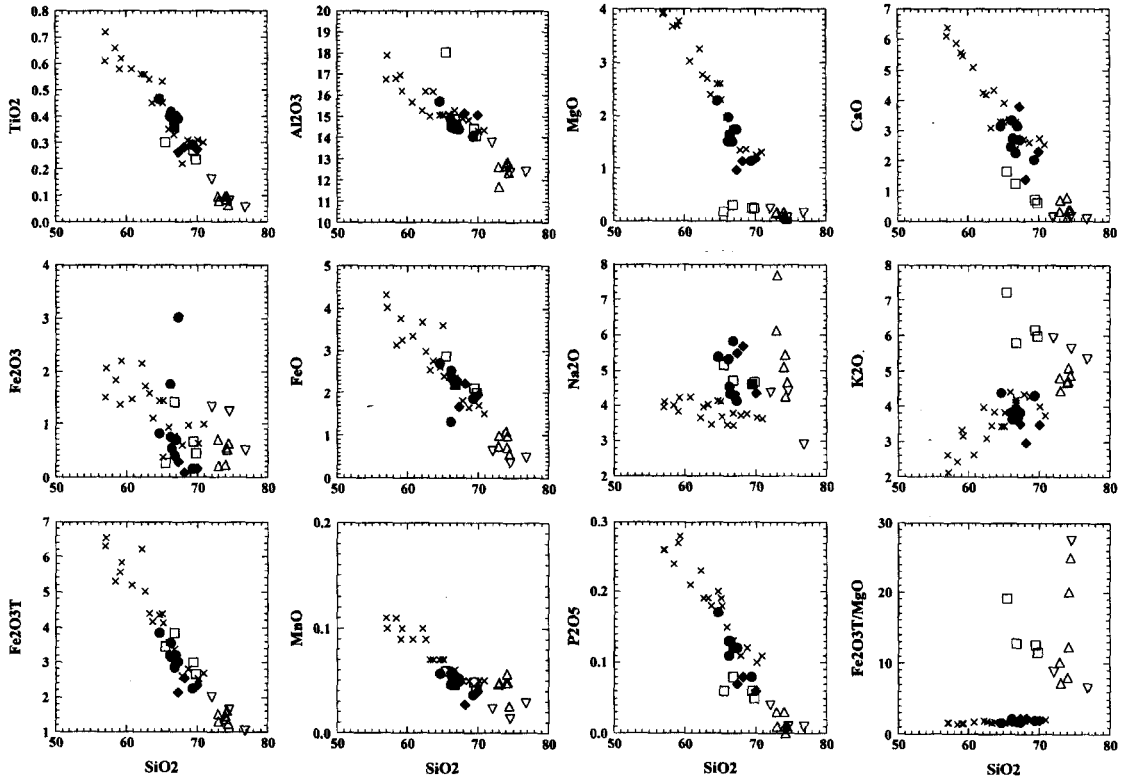


Fig. 4. SiO<sub>2</sub> vs. oxides variation diagrams. Symbols : ●, hornblende biotite granite (Hbgr); ◆, deformed biotite granite (Dbgr); □, deformed pinkish biotite granite (Dpbr); △, biotite granite (Btgr); ▽, granite porphyry (Gp); X, Baegnok granodiorite.

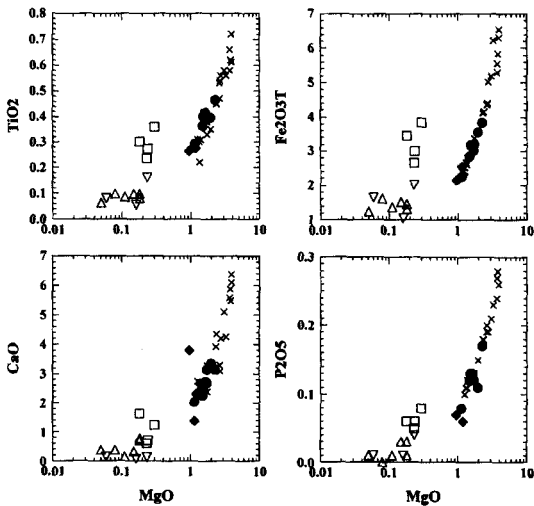
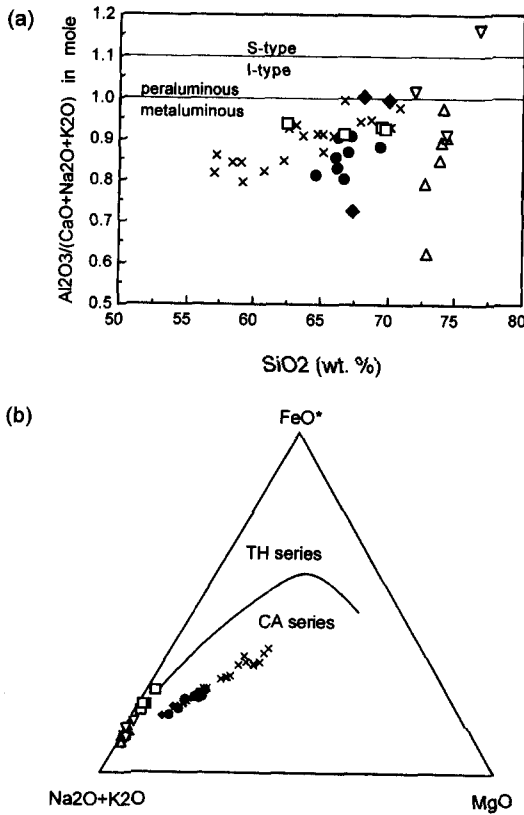


Fig. 5. MgO vs. oxides variation diagrams. Symbols are the same as Fig. 4.

을값을 보면 Hbgr이 7~13, Dbgr 6~12 ( $\times 10^6$  emu/

g 단위)의 범위를 나타내어, 티탄철석계열과 자철석계열의 경계값인 100 (Ishihara, 1977) 혹은 35~45 (Jwa, 1990; Cho *et al.*, 1994) 보다 낮은 값이므로 이들이 티탄철석계열에 속함을 검증할 수 있다. Dpbr, Btgr, Gp에 대한 전암대 자율값의 측정값이 없지만, 속리산 암체와 유사할 것으로 생각되는 Btgr과 Gp의 경우 속리산 암체가 자철석계열임을 고려할 필요가 있다(Cho *et al.*, 1994).

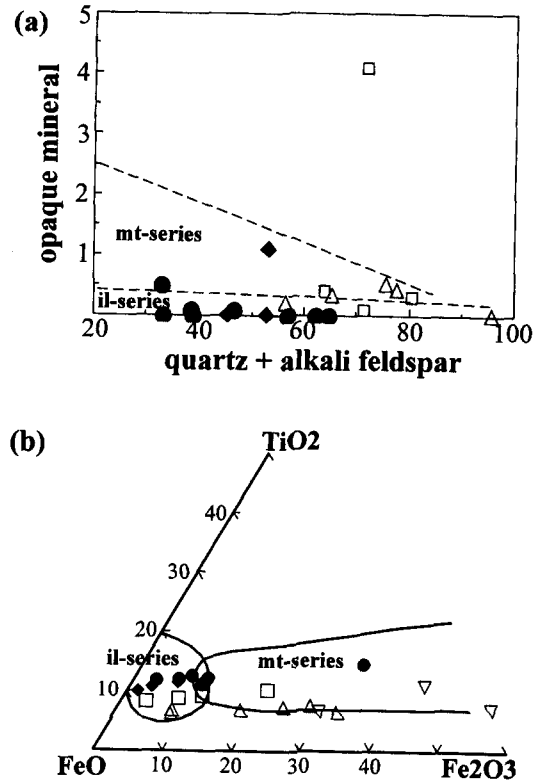
주성분원소를 이용하여 화강암류가 관입한 대략적인 지구조환경을 추정해 볼 수 있다(Fig. 8). Maniar and Piccoli(1989)의 도표에 의하면 (Fig. 8a, 8b, 8c), Hbgr과 Dbgr은 도호/육호/충돌대에 해당하는 환경을 나타낸다. Dpbr, Btgr 및 Gp는 대체로 후조산운동(post-orogenic)의 환경을 나타내지만, 일부 용기에 관련된 환경도 보인다. Bachelor and Bowden (1985)의 도표에서는 (Fig. 8d), Hbgr과 Dbgr이 조산운동의 후기 내지 충돌대의 환경을 보이며, Dpbr, Btgr 및 Gp는 비조산성 내지 후조산운동의 환경을 나타낸다. 따라서 Hbgr과 Dbgr은 대체로 활동성 대



**Fig. 6.** Two discrimination diagrams for the granites in the Jeomchon area. (a)  $\text{SiO}_2$  vs. molar ratio of  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ . The whole rock chemistry of the granites in the area show metaluminous and I-type granite natures. Boundary between I-/S-type is from Hine *et al.* (1978). (b) AFM diagram. The granites show calc-alkaline characteristics, but the variation trends of Hbgr and Dbgr are different from those of Dpbgr, Btgr and Gp. Boundary between tholeiitic (TH) and calc-alkaline (CA) is from Kuno (1968).

륙주변부에 속하는 환경에서 형성된 반면, 나머지 화강암류는 비조산성의 지각용기 등에 관련된 환경에서 형성되었을 것으로 추정할 수 있다.

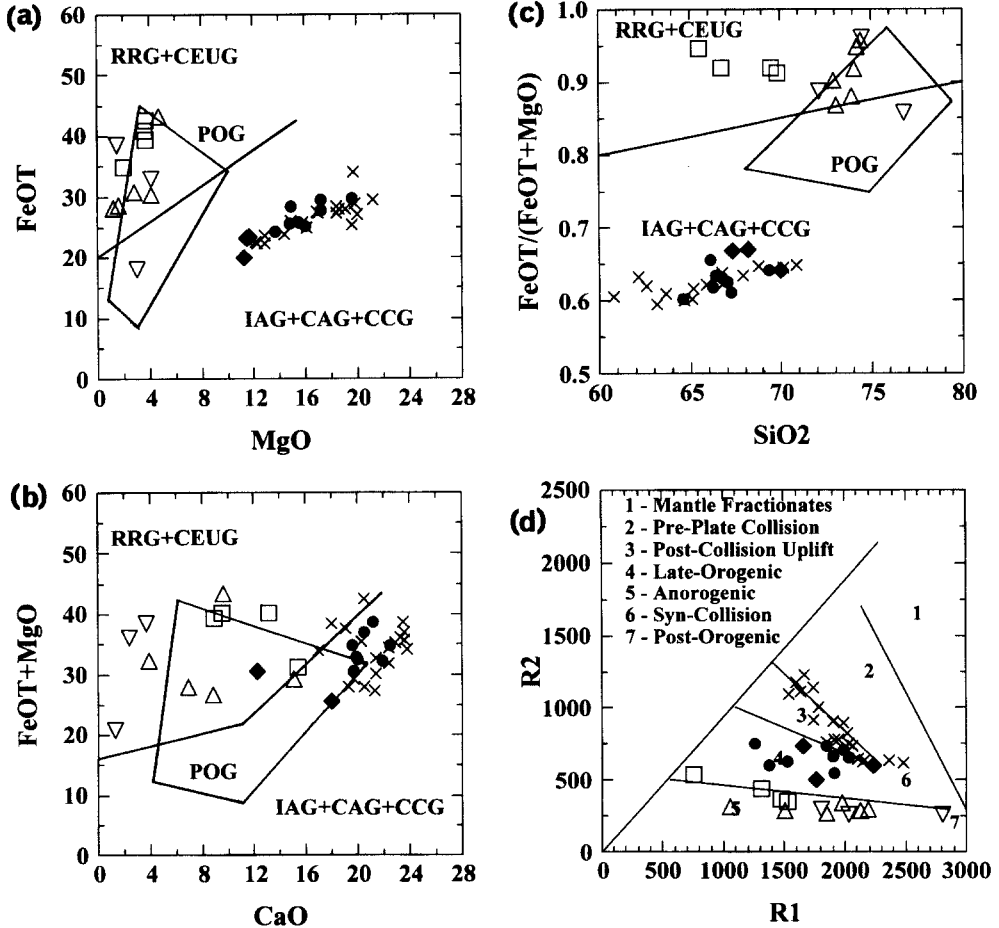
Hbgr과 Dbgr의 경우 야외에서의 점이적인 암상 변화와 더불어 광물조성의 유사성, 주성분원소 함량의 점이적인 변화 등으로부터 동일 마그마로부터 유래되었음을 짐작케 한다. 차이점 중의 하나는 각섬석 함량이다. 그러나 Dbgr에서 나타나는 각섬석의 가상은 기존의 각섬석이 변형과 변질과정을 겪으면서 녹염석화 될 때 각섬석이 분해되었음을 나타내므로, Dbgr 역시 Hbgr와 동일한 암상으로 취급할 수 있다. 현저한 변형조직은 암체 내부에 발달한



**Fig. 7.** Magnetite-/ilmenite-series granites discriminating diagrams for the granites in the Jeomchon area. (a) quartz+alkali feldspar vs. opaque mineral contents in modal percent. Boundary between magnetite-/ilmenite-series is from Ishihara (1977). Hbgr and Dbgr generally show ilmenite-series, whereas Dpbgr and Btgr straddle between magnetite-series between ilmenite-series granites. (b) Ternary diagram of  $\text{TiO}_2\text{-FeO-Fe}_2\text{O}_3$  in mole percent. Boundary is from Tsusue and Ishihara (1974). Like Fig. 7(a), Hbgr and Dbgr represent ilmenite-series, but Dpbgr and Btgr straddle between two series. Gp show magnetite-series nature. Symbols are the same as Fig. 4.

전단대의 영향으로 생각할 수 있으며, Hbgr 암체의 중동부지역에 전단작용이 일어났음을 지시한다.

한편, Dpbgr은 Dbgr을 관입하고 있다. Dbgr과 Dpbgr의 변형이 동시기인지의 여부에 대해서는 알 수 없다. Dbgr의 경우 그 변형이 구미리전단대의 전단변형과정에서 형성되었을 가능성이 있으나, Dpbgr의 경우 전단대와 직접 관계가 있는지 의문이다. 왜냐하면 암체의 주변에 여러 개의 드러스트가 존재하고, 그와의 관련성이 검토되어야 하기 때문이다. 여하튼 이 지역의 변형작용은 Hbgr, Dbgr 및 Dpbgr의 관입 이후에 일어났음을 나타낸다. 윤



**Fig. 8.** Tectonic discrimination diagrams. (a), (b), (c) Discrimination diagrams by Maniar and Piccoli (1989). Hbgr and Dbgr represent the granite type from arc and/or collisional environments, whereas Dpbgr, Btgr and Gp from post-orogenic environment with slight affinity to rift-related environment. Note that (a) and (b) represent binary relations from ternary ( $Al_2O_3-Na_2O-K_2O$ )-FeOT-MgO and ( $Al_2O_3-Na_2O-K_2O$ )-(FeOT+MgO)-CaO diagrams, respectively. Abbreviations: RRG, rift related granite; CEUG, continental epeirogenic uplift granite; POG, post-orogenic granite; IAG, island-arc granite; CAG, continental-arc granite; CCG, continental collision granite. (d) Discrimination diagram by Bachelor and Bowden (1985). Hbgr and Dbgr show late-orogenic to syn-collisional type, whereas Dpbgr, Btgr and Gp represent anorogenic to post-orogenic nature.  $R1=4Si-11(Na+K)-2(Fe+Ti)$ ,  $R2=6Ca+2Mg+Al$ . Symbols are the same as Fig. 4.

현수와 김선억(1990)에 의하면 Hbgr의 K-Ar 혹은 모연대가 202 Ma를 가리켜 주라기초를 나타낸다. 그러나 광물연대는 화강암질 마그마의 관입연대보다 짧게 나타나므로, Hbgr 등의 화강암류의 관입은 트라이아스기 혹은 그보다 오래되었을 가능성이 있다. 또한 K-Ar 혹은 모 연대는 변형, 혹은 후기의 열적 영향에 의해 본래 연대보다 짧게 나타날 가능성이 크기 때문에 이 연대는 화강암 원래 광물연대보다도 짧게 나타날 가능성도 있다. 결국 202 Ma를 고려할 경우에, 화강암류의 관입은 이보다 오래되

고, 또한 전단운동과 같은 구조운동도 이보다 오래 되었을 것으로 생각할 수 있다.

각섬석 혹은 모 화강암(Hbgr)은 연구지역보다 서쪽에 위치하는 백록 화강섬록암과 그 암상이 매우 유사하다. 여기서 이 두 화강암류의 주성분원소의 특징을 비교해 보았다. 백록 화강섬록암에 대한 자료는 사공희와 좌용주(1997)에서 인용되었다. Fig. 4에서 보면  $Na_2O$  함량을 제외하고는 백록 화강섬록암과 Hbgr의 주성분원소 변화경향이 일반적으로 매우 유사하고 비교적 연속적임을 알 수 있다. 이

연속성은 MgO에 대한 산화물의 변화경향 (Fig. 5)과 AFM 도표 (Fig. 6b)에서도 뚜렷히 확인되며, 또한 산출 각섬석의 화학조성이 유사함도 고려될 수 있다(Fig. 3b). 이로부터 이들 화강암류가 동일한 마그마에서 유래되었거나 아니면 화학조성이 매우 유사한 두 마그마로부터 각각 형성되었을 가능성이 있다. 만일 동일 마그마로부터 유래되었다면, 이 두 암체는 백악기의 흑운모 화강암(Btgr)과 화강 반암(Gp)에 의해 분리되었을 것으로 판단된다. 그리고 백록암체의 Rb-Sr 전암연대는 고생대 말로 보고되어(좌용주 외, 1995; 정창식과 장호완, 1996), Hbgr 역시 고생대의 화강암류로 설정될 수 있다. 반면, 두 암체가 화학조성이 유사한 별개의 마그마로부터 각각 형성되었을 가능성도 배제시킬 수 없는데, 보다 구체적인 결론을 위해서는 두 암체에 대한 미량 원소 등의 변화경향에 대한 고찰과 더불어 Hbgr의 전암 연대에 대한 구체적인 연구가 앞으로 요구된다.

흑운모 화강암(Btgr)에서 미아롤리틱 정동과 부분적으로 나타나는 미분상 조직, 퍼다이트 등의 특징은 이 화강암류가 천소 관입암체임을 나타낸다. 화강 반암 역시 그 관입의 형태와 조직은 흑운모 화강암과 더불어 천소 관입암체임을 지시한다. 이 화강암류의 특징은 소위 속리산 화강암체에서 관찰되는 것과 같으며(Cho *et al.*, 1994), 옥천대의 백악기 화성활동의 산물임에 분명하다.

변형된 흑운모 화강암(Dpbgr)은 화학조성에서 Hbgr, Dbgr과도 다르고, 또한 Btgr, Gp와도 뚜렷한 차이를 보여, Dpbgr을 형성시킨 화성활동이 이들과는 다른 독자적인 화성활동임을 알 수 있다. 한편, Dpbgr의 변형은 구미리전단대의 형성 혹은 드러스트의 발달에 관계할 것이며, 이 구조운동은 백악기 이전의 사건이다. 따라서 Dpbgr의 관입은 Hbgr, Dbgr의 관입과 Btgr, Gp의 관입 사이에 있었음을 분명하다. 결국 연구지역에서의 화강암류의 관입은 적어도 세차례에 걸쳐 일어났으며, 고생대 후기 내지 중생대 초기에 Hbgr과 Dbgr의 관입이, 백악기에 Btgr과 Gp의 관입이 있었으며, 그 사이에 Dpbgr의 관입이 있었다. 그리고 Dpbgr의 관입과 백악기 화강암류 관입 사이에 전단운동을 비롯한 드러스트 형성 등의 구조운동이 있었을 것으로 고찰된다.

### 감사의 글

이 연구는 1996년도 기초과학연구소 학술연구비 (BSRI-96-5404)에 의해 연구되었다. 논문에 대해

자세히 검토해 주신 한국자원연구소의 윤현수 박사님, 기초과학지원연구소의 박계현, 정창식 박사님께 감사드린다.

### 참고문헌

- 김규한, 신운수, 1990, 충주-월악산-제천 화강암류의 암석화학적 연구. 광산지질, 23, 245-259.
- 김동학, 이병주, 1986, 한국지질도 (1 : 50,000), 청산도 폭 및 설명서, 한국동력자원연구소, 20p.
- 사공희, 좌용주, 1997, 청산일대에 분포하는 화강암류의 광물조성과 주성분원소 지구화학. 암석학회지 (제출중).
- 엄상호, 서해길, 김동숙, 최현일, 박석환, 배두중, 이호영, 전희영, 권득상, 1977, 문경탄전 정밀 지질조사 보고서 및 지질도, 자원개발연구소.
- 윤현수, 김선익, 1990, 문경 남부일대에 분포하는 백악기 화강암류의 암석학 및 암석화학. 광산지질, 23, 343-352.
- 이대성, 김용준, 1985, 옥천대에서의 화성활동-특히 옥천대 동북부에서의 화성활동. 광산지질, 18, 23-39.
- 이민성, 김상욱, 1968, 한국지질도 (1 : 50,000), 함창도 폭 및 설명서, 국립지질조사소, 45p.
- 이홍규, 유의규, 홍승호, 1973, 한국지질도 (1 : 50,000), 용유리도폭 및 설명서, 국립지질광물연구소, 21p.
- 정창식, 장호완, 1996, 중부 옥천 변성대의 화성, 변성 및 광화작용과 조구조적 연관성 연구(I) : 보은지역 화강암류의 암석화학과 동위원소 지구화학. 지질학회지, 32, 91-116.
- 조등룡, 권성택, 1994, 남한의 중생대 화강암에 대한 각섬석 지압계와 지각두께의 진화. 지질학회지, 30, 41-61.
- 좌용주, 이종익, Kagami, H., 1995, 중부 옥천대 화강암류의 새로운 연대. 대한지질학회 제 50차 학술발표회 요약집, 17.
- 최현일, 이병주, 황상기, 최범영, 송교영, 김동학, 1993, 한국지질도 (1 : 25,000), 농암도폭 및 설명서, 한국자원연구소, 40p.
- 황상기, 이병주, 유봉철, 1992, 경북 상주군에 분포하는 Phyllonite Zone : 변성 softening에 의해 형성된 Ultramylonite Zone. 지질학회지, 28, 410-425.
- Batchelor, R.A. and Bowden, P., 1985, Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. Chem. Geol., 48, 43-55.
- Chivas, A.R., 1981, Geochemical evidence for magmatic fluids in porphyry copper mineralization. Part I. Mafic silicates from the Koloula igneous complex. Contrib. Mineral. Petrol., 78, 389-403.
- Cho, W.S., Jwa, Y-J., Lee, J.I. and Lee, M.S., 1994, Petrography and mineral chemistry of the granitic rocks in the Pooun-Sogrisan Area, Korea. Jour. Petrol. Soc. Korea, 3, 220-233.
- Hammarstrom, J.M. and Zen, E., 1986, Aluminium in

- hornblende : an empirical igneous geobarometer. *Am. Mineral.*, 71, 1297-1313.
- Hine, R., Williams, I.S., Chappell, B.W. and White, A.J.R., 1978, Contrast between I- and S-type granitoids of the Kosciusko batholith. *Jour. Geol. Soc., Australia*, 25, 219-234.
- Hollister, L.S., Grissom, G.C., Peters, E.K., Stowell, H.H. and Sisson, V.B., 1987, Confirmation of the empirical correaltion of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons. *Am. Mineral.*, 72, 231-239.
- Ishihara, S., 1977, The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geol.*, 27, 293-305.
- IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks., 1977, Classification and nomenclature of plutonic rocks : recommendations. *Geol. Newslett.*, 2, 110-127.
- Johnson, M.C. and Rutherford, M.J., 1989, Experimental calibration of the aluminium-in-hornblende geobarometer with application at Long Valley caldera (California) volcanic rocks. *Geology*, 17, 837-841.
- Jwa, Y.-J., 1990, Petrography and major element geochemistry of the granitic rocks in the Inje-Hongcheon district, South Korea. *J. Min. Pet. Econ. Geol.*, 85, 98-112.
- Jwa, Y.-J., Moutte, J., Cho, W.-S. and Choi, W.-H., 1994, Petrochemistry of Mesozoic granites in the central Ogcheon belt and its tectonic implication. *Abst. 4th Int'l Symp. IGCP 321*, 48-49.
- Kuno, H., 1968, Differentiation of basaltic magmas : In *Basalt. Interscience*, John Wiley & Sons, New York. 623-688.
- Leake, 1978, Nomenclature of amphiboles. *Am. Mineral.*, 63, 1023-1052.
- Lee, D.S., 1971, Study on the igneous activity in the middle Ogcheon geosynclinal zone, Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, 7, 153-216.
- Maniar, P.D. and Piccoli, P.M., 1989, Tectonic discrimination of granitoids. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 101, 635-643.
- Robinson, P., Spear, F.S., Schumacher, J.C., Laird, J., Klein, C., Evans, B.W. and Doolan, B.L., 1982, Phase relations of metamorphic amphiboles : Natural occurrences and theory. *Mineral. Soc. Am. Reviews in Mineralogy* 9B, 1-227.
- Schimd, M.W., 1992, Amphibole composition in tonalites as a function of pressure : an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 110, 304-310.
- Tsuse, A. and Ishihara, S., 1974, The iron-titanium oxides in the granitic rocks of southwest Japan. *Mining Geol.*, 24, 13-30. (in Japanese with English abstract)

**(책임편집 : 박계현)**

(1997년 12월 20일 접수, 1998년 4월 25일 수리)

## Petrochemical Characteristics of the Granites in the Jeomchon area

Won Hie Choe and Yong Joo Jwa<sup>1</sup>

*Department of Earth Science Education, Seoul National University,*

*<sup>1</sup>Department of Earth & Environmental Sciences, Gyeongsang National University*

**ABSTRACT :** The granites in the Jeomchon area can be divided into hornblende biotite granite (Hbgr), deformed biotite granite (Dbgr), deformed pinkish biotite granite (Dpbgr), biotite granite (Btgr), and granite porphyry (Gp). These granites show metaluminous, I-type and calc-alkaline characteristics from their whole-rock chemistry. Hbgr and Dbgr belong to ilmenite-series granitoids, but Gp to magnetite-series. Dpbgr and Btgr show the intermediate nature between ilmenite- and magnetite-series. Tectonic discriminations indicate that Hbgr and Dbgr were formed in active continental margin environment, whereas Dpbgr, Btgr, and Gp in post-orogenic and/or anorogenic rift-related environment. From the Harker diagrams major oxide contents of Hbgr and Dbgr show a continuous variation with  $\text{SiO}_2$ , indicating that they are genetically correlated with each other. On the other hand, any correlation of major oxides variation cannot be recognized among Dpbgr, Btgr and Gp. It seems like that Hbgr and Dbgr were derived from a same parent granitic magma, judging from their occurrence of outcrop, mineral composition as well as whole-rock chemistry. Variation trends of major oxide contents between Hbgr and Baegnok granodiorite are very similar and continuous. If the two granites were derived from a cogenetic magma, there exists a possibility that the granitic bodies had been separated by Btgr and Gp of Cretaceous age. Three stages of the granitic intrusions are understood in the Jeomchon area. After the intrusion of Hbgr and Dbgr during middle to late Paleozoic time, Dpbgr emplaced into the area next, and finally Btgr and Gp intruded during Cretaceous time. Tectonic movement accompanying shear and/or thrust deformation seems likely to have occurred between the intrusions of Dpbgr and Btgr.

**Key words :** mineral composition, whole-rock chemistry, three stages of intrusion, tectonic movement