영광-나주지역에 분포하는 화강암류의 광물성분에 대한 연구

박재봉 · 김용준*

전남대학교 지구환경과학부

Mineral Compositions of Granitic Rocks in the Yeongkwang-Naju Area

Jae-Bong Park and Yong-Jun Kim*

Faulty of Earth System and Environmental Science, Chonnam National University

Main aspect of this study are to clarify mineral compositions on granites in Yeongkwang-Naju area. These granites are divided into four rock facies based on the geologic ages, mineralogical composition and chemical constituents, and texture : hornblende-biotite granodiorite, biotite granite, porphyritic granite and two mica granite. These granites constitute an igneous complex formed by a series of differentiation from cogenetic magma. In compressive stress field between the Ogcheon folded belt and the Yeongnam massif, the foliated and undeformed granites had formed owing to heterogeneous distribution of stress. The geochemical data of study area indicate magma of these rocks would had been generated by melting in lower and middle crust. The major minerals of granitic rocks in study area are plagioclase, biotite, muscovite and hornblende. Plagioclase range in composition from oligoclase ($An_{19.3-27.7}$) to andesine ($An_{28.4-31}$), and shows normal zoning patterns, This uniformed composition indicated slow crystallization, and it is obvious that the growth of these crystal occurred before final consolidation of the magma. The Mg content of biotite are increases with increasing of f_{O_2} and grade of differentiation, changing from phlogopite to siderophyllite. Its Al^{iv}/Al^{total} ratios are proportional to bulk rock alumina content. Muscovite is primary in origin with high content of TiO_2 , and Its composition correspond to celadonic muscovite. Hornblende indicated calc amphibole group ($(Ca+Na)_{M4} \geq 1.43$, $Na_{M4} < 0.67$). and consolidation pressure of granitic body by geobarometer of Hammerstrume and Zen show 11.3~17.2 Km.

Key words : granites of the Yeongkwang-Naju area, geobarometer, plagioclase-biotite-muscovite-hornblende composition

이 연구의 주목적은 영광-나주지역에 분포하는 송림-대보화강암류를 지질시대, 광물조성, 화학성분과 조직에 따라 각섬석-흑운모화강섬록암, 흑운모화강암, 반상화강암과 복운모화강암의 네가지 암상으로 구분하였다. 이들 화강암류는 동원마그마로부터 분화된 일련의 분화산물로 이루어진 화성암 복합체이며, 페름기말에서 트라이아스기 사이에 옥천습곡대와 영남육괴 사이에서 지괴들의 충돌운동으로 유발된 응력장하에서 형성되었고, 그리고 이 변형대의 형성기에 전후하여 정지된 화강암류가 대보운동을 받아 염리상화강암류와 비변형화강암류를 형성하였다. 이들 영광-나주지역에 분포하는 화강암류의 구성광물 성분은 사장석, 흑운모, 백운모와 각섬석으로 구성되어있다. 사장석은 오리고클레스($An_{19.3-27.7}$)와 안데신($An_{28.4-31}$)성분에 해당하며 누대구조의 성분변화도 좁은영역에 치우치면 이는 느린 결정작용과 이들 결정들의 성장이 최종고결작용 이전에 일어났음을 보여준다. 흑운모의 Mg 함량은 산소의 압력과 분화도의 증가에 따른다(프로고파일트에서 시테로파일트로 변함). Al^{iv}/Al^{total} 관계는 전체 알루미늄에 따라 증가한다. 백운모는 일차기원이며 높은 TiO_2 함량을 보이는 세라도나이트이다. 각섬석은 회각섬석류에 속하며 지질압력계로 계산한 화강암류의 고결심도는 11.3-17.2 Km이다.

주요어 : 영광-나주지역에 분포하는 화강암체, 지질압력계, 사장석-흑운모-백운모-각섬석 성분

*Corresponding author: yongjun@chonnam.ac.kr

1. 서 언

한반도 서남부지역에 위치하는 영광-장성-광주-나주-해남지역에 분포하는 화강암류는 “소위 광주화강암류” (Kim *et al.*, 1993a)로 불리우는 북동-남서향의 저반상 화강암체로 이루어진 주라기 화강암류와 방향성이 결여된 소규모 암주상 형태의 백악기 불국사 화강암류로 이루어져 있다. 그리고 이들 화강암류의 관입-정지 시기는 중생대 트라이아스기말에서 백악기에 걸쳐있어, 이 지역이 여러 차례의 지각변동과 화성활동(Kim *et al.*, 1998)을 받은 곳으로 한반도의 화성활동사를 밝히는데 매우 중요한 곳임을 알려준다.

이 연구의 목적은 광주화강암류 중에서 북부지역인 장성-광주 지역에 분포하는 광주암체와 장성암체(Kim *et al.*, 1998)의 광물성분을 분석하여 광주화강암류에 대한 광물화학적 성분과 각섬석 지압계를 이용하여 광주화강암류의 성인과 마그마의 정치 고결심도를 추정해보는데 있다.

이 연구에서는 광주화강암류 중에서 북부지역에 해당하는 영광-나주지역에 분포하는 화강암체들에 대한 광물화학적 연구를 수행하여 기존연구(Kim *et al.*, 1993a, 1993b)와 비교시켰고 또 영광에서 해남까지 분포하고 있는 광주화강암류의 동질성과 정치심도를 개략적으로 비교한다. 물론 이들 화강암류가 칼크-알칼리 계열에 해당되어 압력에 민감한 광물조성을 갖지 않아 압력 추정이 어려운 조건인 것은 알고 있으나, 기존 연구와 비교하기 위하여 Hammarstrom and Zen(1986)에 의한 각섬석지압계를 이용하였고, 화강암류의 고결심도를 정량적으로 평가하기 위하여 그 동안 발표된 각섬석 지압계를 이용한 화강암의 고결심도(Cho and Kwon, 1990; Cho and Kwon, 1994)와 비교하였다.

2. 일반지질

영광-나주지역은 옥천지향사대(Lee, 1971)의 남서부에 해당하는 지역(Fig. 1)으로서 선허브리아기 편마암

Fig. 1. Geological and sampling site map of Youngkwang-Naju area. 1: Alluvium, 2: Jurassic diorite, 3: Cretaceous granite, 4: Gyeongsang sediments, 5: Pre-cambrian gneiss complex, 6: Two mica granite, 7: Gyeongsang volcanics, 8: Hornblende diorite, 9: Biotite granite, 10: Meta-sediments, 11: Foliated granites, 12: Porphyritic granite. C : Changsung, K: Kwangju, N : Naju.

복합체를 기저로 고생대 변성퇴적암류, 트라이아스기-쥬라기-백악기 화강암류, 쥬라기 반력암-섬록암과 백악기 화산암류-퇴적암류로 이루어져 있다(Kim *et al.*, 1991a, 1991b, 1993a, 1993b, 1994, 1998). 이들 화성암류에서 가장 넓은 분포를 보이는 암상은 이 연구지역 북부에서는 트라이아스기-쥬라기 화강암류이고 중부와 남부에서는 백악기 화산-화강암류로서 이는 화성활동이 지질시대에 따라 북에서 남으로 이동했다는 개략적인 마그마 활동 방향과 일치한다(Kim *et al.*, 1993a).

편마암 복합체는 선캠브리아기의 준편마암류와 정편마암류로 구성되며, 이들 중 정편마암류는 화강편마암과 반상변질정편마암으로 이루어져 있으며 이들의 관입-정지 시기는 1330 Ma(Kim, 1988)~2230 Ma(Choo and Kim, 1986)로 원생대에 속한다.

트라이아스기-쥬라기 화강암류는 염리상화강암류, 광주화강암류와 쥬라기화강암류로 이루어져 있다. 염리상 화강암류는 호남전단대(Yanai *et al.*, 1985)의 남서단에 해당하는 이 연구지역에서는 분포 면적이 좁아 광주 북동부와 해남지역에서만 분포한다. 염리상 화강암류가 이 연구지역에서 좁은 분포를 보이는 이 지역에서 호남전단대를 형성시킨 쥬라기 전단작용이 약했거나, 백악기 화성암류에 의해 관입 그리고 백악기 퇴적암류에 의해 부정합의 관계로 덮였을 가능성이 있다. 염리상 화강암류의 구성암상은 염리상흑운모화강섬록암상이 우세하나 부분적으로 소규모의 암주나 맥상으로 관입하는 염리상 반상화강섬록암상도 출현한다.

광주화강암류는 총 연장 길이 85 Km, 폭 10~15 Km에 달하며, 구성 암상은 북부지역에서는 각섬석-흑운모화강섬록암, 흑운모화강섬록암, 반상화강암과 복운모화강암의 네가지 암상으로 비교적 다양하나 남부지역에서는 각섬석흑운모화강섬록암과 흑운모화강섬록암의 비교적 단순한 두가지 암상으로 되어있다(Kim *et al.*, 1993). 광주화강암류는 광주-나주-영암을 따라 분포하는 저반상 광주암체, 산이반도의 대부분을 점하는 산이암체, 영광-장성-신북 부근에 분포하는 소규모 암주상 관입체인 영광암체, 장성암체와 신북암체로 이루어져 있다. 광주화강암류를 구성하는 암상은 구성광물, 조직과 관입시기에 따라 각섬석 흑운모 화강섬록암, 흑운모 화강섬록암, 반상화강암과 복운모화강암으로 구분되며 이들 중 광주암체는 흑운모 화강섬록암과 각섬석-흑운모화강섬록암으로 구성되나 산이암체-영광암체-신북암체는 약간의 각섬석-흑운모화강섬록암을 포함하는 흑운모 화강섬록암상이 대부분을 차지하며 장성암체는 흑운모화강섬록암과 복운모 화강암으로 이루어져 있다

(Kim *et al.*, 1991b, 1993a, 1993b, 1995). 광주화강암류를 이루는 각 암상의 관입-정지 시기는 각섬석-흑운모화강섬록암이 172 Ma(Kim Y. *et al.*, 1993), 176 Ma(Lee *et al.*, 2003)과 222 Ma(Choo and Gi, 1990), 흑운모화강섬록암이 210 Ma(Choo and Ji, 1990) 173 Ma(Kim *et al.*, 2003), 그리고 복운모 화강암이 166 Ma(Kim *et al.*, 1993)~196 Ma(Choo and Gi, 1990)로서 Rb/Sr 전암연령은 트라이아스기 말기에서 쥬라기 초기에, 그리고 K/Ar 각섬석 연령과 U-Pb연령이 쥬라기 중기에 속해 순창 염리상화강암류나 남원화강암류와 유사한 지질시대를 보여준다. 쥬라기 화강암류(Kee *et al.*, 2010)는 고창-영광에 걸쳐 분포하는 저반상 화강암류의 일부로서 주로 반상 화강암류로 이루어져 있다. 이 반상화강암은 만일 반정을 제거한다면 흑운모화강섬록암과 거의 유사하며 장석 반정은 대개 1×2 cm이며 이들 반정의 분포는 모암인 변성퇴적암류에 인접부와 암체 하부에서 보다 우세해지는 경향을 보여준다.

섬록암-반력암은 조립내지 중립질 중성-염기성 암주상 관입체로서 담양군 대치 남부지역에서는 반력암이 그리고 광주 동부와 해남 동부 지역에서는 섬록암이 우세하나 이들 암체 중에서 비교적 큰 암체는 동일 암체에서 중앙부는 섬록암상이 그리고 연변부는 반력암상으로 구성되어 있음이 관찰되기도 한다. 이들과 유사한 암상과 층서를 보이는 남원-거창-장수 지역의 반력암과 섬록암의 지질시대는 K/Ar 각섬석 연령이 179~204 Ma(Kim *et al.*, 1989b; Kim and Lee, 1988) 그리고 U/Pb 저어콘 연령이 177 ± 6 Ma(Turek and Kim, 1995)으로 쥬라기 초기에서 중기에 속한다.

백악기 화성암류는 화산암류와 백악기 화강암으로 이루어져 있으며, 화산암류는 응회암과 용암들로 화강암류는 홍색장석화강암과 미문상화강암으로 되어있다. 이들의 분출 및 관입 시기는 77~86 Ma(Kim, 1991)로 백악기 말기에 해당된다.

3. 화강암류의 암석화학

광주화강암류에 대한 기발표 논문(Kim *et al.*, 1993a; Park, 2000)에 의하면 다음과 같은 암석화학적 특성을 보여준다.

(1) Harker 변화도와 AMF삼각도는 광주 화강암체를 구성하는 네 암상이 각섬석 흑운모 화강섬록암→흑운모 화강섬록암→반상 화강암→복운모 화강암 순으로 분화된 일련의 분화산물로서, 모두가 칼크-알카리암 계열에 속한다.

(2) 광주 화강암체의 희토류 원소 총합량은 Henderson(1984)의 화성암 평균치와 비교하면 화강섬록암이나 화강암 계열에 속하며 LREE/HREE 비는 분화가 진행 될수록 HREE가 부화되어지며 (-)Eu 이상은 분화가 진행된 분화 말기 산물에 가까울수록 보다 뚜렷한 (-)Eu 이상치를 보여준다.

(3) REE의 분포에서 복운모 화강암이 보이는 V형은 변성퇴적암에 의해 혼화된 효과로 복운모 화강암이 심한 혼화작용을 받았음을 지시한다.

(4) ACF삼각도는 광주화강암암체를 구성하는 모든 암상들이 혼화된 부분을 제외하고는 모두 I형에, Pearce(1984)의 판별도에서는 Syn-collision형이나 VAG 형에 속함을 보여준다.

(5) 광주화강암체를 이루는 암상들의 $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ 초생치는 0.7187~0.7237로 비교적 높은 값을 보여 이들 암상을 형성시킨 마그마가 상부맨틀 기원으로 관입·정지 과정에서 동화·혼화작용을 받았거나 하부지각의 용융으로 생성되었음을 시사해준다.

4. 화강암류의 광물성분

영광-나주지역 화강암류의 각 암상을 구성하고 있는 광물의 화학적인 변화경향을 알기 위하여, 기 발표된 논문(Kim *et al.*, 1993a; Park, 2000)에서 전암분석을 실시한 시료 중 일부 시료에 대해 전자현미분석(EPMA)을 실시하였으며, 전자현미분석은 기초과학지원연구소에 설치되어 있는 전자현미분석기 CAMECA SX 50를 이용하여 실시하였다. 분석조건은 가압전압 15 KV, 빔 전류 2×10^{-8} A, 빔 직경 2~5 μm 이며 Bence and Albee(1968) 보정을 거쳤다.

4.1. 사장석

사장석에 대한 EPMA 분석 결과는 Table 1에 나타내었다. 엽리상 흑운모화강섬록암의 사장석은 오리고클레스 내지 안데신($\text{An}_{28.4\sim31.0}$) 영역에 해당하나 엽리상 복운모화강암의 사장석은 대체로 오리고클레스 영역($\text{An}_{19.3\sim27.7}$)에 해당하며 누대구조를 보이는 결정에서도 rim에서 $\text{An}_{22.0}$ 그리고 core에서 $\text{An}_{23.3}$ 으로 역시 오리고클레스 영역에 해당한다. 흑운모화강섬록암의 사장석은 $\text{An}_{38.5\sim42.1}$ 으로 안데신에 해당한다. 이같이 초기 분화암상으로 생각되는 화강섬록암상은 분화 말기 암상인 화강암 보다 높은 회장석 함량을 보이기는 하나 이들 함량 사이의 차이는 크지 않으며, 전암분석치에서 추정되는 분화 순서(Kim *et al.*, 1993a)와도 일

치한다. 엽리상 복운모화강암의 누대구조에서도 결정의 코아와 연변 사이에 회장석 함량의 차이가 크지 않으며 정상누대구조의 성분변화를 보임이 보통이다. 이는 이들 화강암류가 심부에서 느린 결정작용으로 생성되었고, 또 이들 결정들의 성장이 최종 고결작용 이전에 일어났음을 보여준다.

광주화강암류의 사장석과 알카리 장석의 성분에서

Fig. 2. Plagioclase composition for hornblende-biotite granodiorite(Hb-bi grd), biotite granite(Bi gr), porphyritic granite(Por gr) and two mica granite (Tm gr) of granitic masses in the Yeongkwang-Naju area.

Fig. 3. Alkali feldspar composition for hornblende-biotite granodiorite(Hb-bi grd), biotite granite(Bi gr), porphyritic granite(Por gr) and two mica granite(Tm gr) of granitic masses in the Yeongkwang-Naju area.

Table 1. Representative electron microprobe analysis of plagioclase from foliated biotite granodiorite, foliated two mica granite and (hornblende) biotite granodiorite in the Youngkwang-Naju area

	Hb-Bi grd																						Bi gr	
	PKJ14		PKJ 78				KJ 11						PKJ 98				HN 113				PKJ 75			
													core		rim									
	SiO ₂	57.2	58.5	60.77	60.70	61.23	61.47	57.61	57.98	55.66	61.07	60.15	62.49	58.64	59.03	55.29	56.39	58.62	61.44	58.02	57.81	64.00	63.09	
Al ₂ O ₃	26.6	25.8	23.8	23.94	23.76	23.60	26.17	26.05	27.33	23.75	24.97	23.43	25.40	25.59	27.64	26.61	25.58	23.61	24.87	25.50	22.26	22.74		
FeO	0.10	0.09	0.19	0.07	0.07	0.13	0.14	0.14	0.13	0.01	0.05	0.07	0.060	0.11	0.22	0.22	0.09	0.10	0.07	0.04	0.05	0.01		
CaO	8.96	7.85	5.70	5.88	5.87	5.72	8.47	8.35	9.63	5.87	7.01	4.95	7.644	7.92	10.22	9.55	7.70	5.47	7.85	8.03	3.50	4.04		
Na ₂ O	6.64	6.94	8.14	8.05	8.04	8.19	6.51	6.79	5.94	7.96	7.54	8.42	6.968	7.03	5.62	5.99	6.86	8.33	6.79	6.79	9.59	9.05		
K ₂ O	0.15	0.26	0.31	0.20	0.29	0.24	0.20	0.20	0.21	0.13	0.07	0.02	0.250	0.14	0.13	0.21	0.14	0.17	0.31	0.11	0.16	0.17		
total	99.71	99.55	99.00	98.84	99.26	99.34	99.09	99.49	98.91	98.78	99.79	98.97	98.95	99.82	99.12	98.96	98.99	99.11	97.92	98.28	99.55	99.11		
Si	2.576	2.627	2.729	2.728	2.740	2.747	2.602	2.609	2.530	2.741	2.683	2.750	2.645	2.641	2.512	2.560	2.642	2.750	2.648	2.628	2.836	2.810		
Al	1.412	1.370	1.265	1.268	1.253	1.243	1.393	1.382	1.465	1.257	1.313	1.250	1.351	1.350	1.480	1.424	1.359	1.245	1.338	1.366	1.163	1.194		
sum	3.988	3.997	3.994	3.996	3.993	3.991	3.995	3.991	3.995	3.998	3.996	4.000	3.996	3.991	3.991	3.985	4.000	3.995	3.986	3.994	3.998	4.004		
Fe(2)	0.004	0.003	0.007	0.002	0.003	0.005	0.005	0.005	0.005	0.001	0.002	0.003	0.002	0.004	0.008	0.008	0.003	0.004	0.003	0.001	0.002	0.001		
Ca	0.432	0.378	0.274	0.283	0.281	0.274	0.410	0.403	0.469	0.282	0.335	0.262	0.369	0.380	0.498	0.465	0.372	0.262	0.384	0.391	0.166	0.193		
Na	0.579	0.604	0.709	0.702	0.697	0.710	0.570	0.592	0.524	0.693	0.652	0.713	0.609	0.610	0.495	0.527	0.599	0.723	0.601	0.599	0.824	0.782		
K	0.009	0.015	0.018	0.012	0.017	0.013	0.011	0.011	0.012	0.007	0.004	0.008	0.014	0.008	0.008	0.012	0.008	0.010	0.018	0.006	0.009	0.009		
sum	1.020	0.997	1.001	0.996	0.995	0.997	0.991	1.006	1.005	0.982	0.991	0.982	0.992	0.997	1.000	1.004	0.979	0.995	1.003	0.996	0.999	0.984		
An	42.4	37.9	27.4	28.4	28.2	27.5	41.3	40.0	46.7	28.7	33.8	26.7	37.2	38.1	49.7	46.3	38.0	26.4	38.3	39.3	16.6	19.6		
Ab	56.8	60.6	70.9	70.4	70.1	71.2	57.5	58.9	52.1	70.5	65.8	72.6	61.4	61.1	49.5	52.5	61.2	72.7	59.9	60.1	82.5	79.4		
Or	0.9	1.5	1.8	1.2	1.7	1.3	1.1	1.1	1.2	0.7	0.4	0.8	1.4	0.8	0.8	1.2	0.8	1.0	1.8	0.6	0.9	1.0		

	Bi gr						Por gr												Tm gr			
	PKJ 75		PKJ 55				PKJ 70				PKJ 68				J 47				PKJ45			
							core ---- rim	core ----- rim			core ----- rim		core---rim									
SiO ₂	60.70	60.76	61.38	67.27	67.27	67.27	61.34	63.06	64.27	61.27	63.38	64.04	64.90	60.10	61.35	63.36	63.82	62.21	61.33	60.33	62.53	63.53
Al ₂ O ₃	23.98	23.66	23.70	19.10	19.10	19.10	23.89	23.11	22.05	24.03	22.75	22.44	21.93	24.53	23.82	22.72	22.44	23.61	23.55	24.14	23.71	21.90
FeO	0.00	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.07	0.09	0.10	0.08	0.04	0.03	0.09	0.06	0.15	0.13	0.03	0.27	0.11	0.22	0.00	0.01
CaO	5.91	5.52	5.43	5.83	5.83	0.37	5.42	4.73	3.47	5.67	4.14	3.76	3.03	6.51	5.88	4.26	3.79	5.38	5.46	6.35	5.24	3.54
Na ₂ O	8.00	8.13	8.21	8.01	8.01	11.15	8.22	8.82	9.40	8.10	8.91	9.46	9.87	7.82	7.86	8.81	9.42	8.10	8.02	7.48	8.39	9.20
K ₂ O	0.17	0.25	0.12	0.17	0.17	0.10	0.35	0.13	0.32	0.34	0.39	0.21	0.27	0.28	0.37	0.39	0.14	0.41	0.15	0.41	0.33	0.15
total	98.75	98.39	98.87	100.3	100.3	97.99	99.29	99.94	99.60	99.49	99.61	99.92	100.09	99.30	99.44	99.66	99.64	99.98	98.62	98.93	100.2	98.33
Si	2.728	2.741	2.750	2.950	2.950	2.997	2.742	2.791	2.846	2.735	2.811	2.829	2.859	2.696	2.740	2.811	2.827	2.761	2.755	2.714	2.765	2.846
Al	1.270	1.258	1.252	0.987	0.987	1.003	1.259	1.205	1.151	1.264	1.190	1.168	1.138	1.297	1.254	1.188	1.171	1.235	1.247	1.280	1.236	1.156
sum	3.999	3.998	4.002	3.937	3.937	4.000	4.000	3.996	3.997	3.999	4.001	3.997	3.997	3.993	3.995	3.999	3.998	3.996	4.001	3.994	4.000	4.002
Fe(2)	0.000	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.003	0.003	0.004	0.003	0.001	0.001	0.003	0.002	0.006	0.005	0.001	0.010	0.004	0.008	0.000	0.000
Ca	0.285	0.267	0.261	0.274	0.274	0.017	0.260	0.224	0.164	0.271	0.197	0.178	0.143	0.313	0.282	0.203	0.180	0.256	0.263	0.306	0.248	0.170
Na	0.697	0.711	0.713	0.681	0.681	0.963	0.713	0.757	0.807	0.701	0.767	0.810	0.843	0.680	0.681	0.757	0.809	0.697	0.698	0.652	0.720	0.799
K	0.010	0.014	0.007	0.010	0.010	0.006	0.020	0.007	0.018	0.019	0.022	0.012	0.015	0.016	0.021	0.022	0.008	0.023	0.008	0.023	0.018	0.009
sum	0.991	0.992	0.980	0.965	0.965	0.987	0.992	0.989	0.990	0.991	0.985	1.000	1.001	1.009	0.983	0.982	0.997	0.976	0.969	0.981	0.986	0.978
An	23.1	26.9	26.6	28.4	28.4	1.8	26.2	22.7	16.6	27.3	20.0	17.8	14.3	31.0	28.6	20.6	18.1	26.2	27.1	31.2	25.2	17.4
Ab	76.0	71.7	72.7	70.6	70.6	97.7	71.8	76.6	81.6	70.7	77.8	81.0	84.2	67.4	69.2	77.1	81.2	71.4	72.0	66.4	73.0	81.7
Or	0.9	1.4	0.7	1.0	1.0	0.6	2.0	0.7	1.8	1.9	2.2	1.2	1.5	1.6	2.1	2.2	0.8	2.4	0.9	2.4	1.9	0.9

Hb-bi grd : hornblende-biotite granodiorite, Bi gr : biotite granite, Por gr : porphyritic granite, Tm gr : Two mica granite

각섬석-흑운모화강섬록암의 사장석은 An₂₂An₅₀으로 올리고클래스에서 안테신에 해당된다. 그리고 흑운모화강암, 반상화강암과 복운모화강암의 사장석은 모두가 An₁₀An₃₀으로 올리고클래스에 해당한다. 각섬석-흑운모화강섬록암에서 사장석의 An 함량이 26.4~47.6%, 흑운모화강암에서는 13.5~28.7%, 반상화강암에서는 14.3~31.2% 그리고 복운모화강암에서는 17.4~28.0%

로서 각섬석-흑운모화강섬록암에서 An 함량이 높게 나타나며 나머지 3개의 암상에서는 거의 유사한 An 함량을 보여주고 있다(Fig. 2). Or-An-Ab 삼각도에 도시해 본 결과 광주화강암류 4개의 암상에서 거의 모든 값들의 Or 함량이 2%미만으로 An-Ab 선상에 위치하고 있다. 이는 사장석들의 카리성분이 미량이거나 거의 없이 Ca와 Na 성분으로 이루어져 있음을 알려준다.

누대구조를 보이는 사장석의 An 함량은 중심부에서 가장자리로 갈수록 감소하는 정상 누대구조가 일반적이지만 파동누대구조(oscillatory zoning)를 보여주는 경우도 있다. 이러한 파동누대구조는 잔류된 고체들 사이에서 사장석이 초기에 성장한 것으로 해석하고 있다 (Bateman and Chappell, 1979; Chappell *et al.*, 1987). 알카리장석의 An 함량은 0.5% 이하이고 Ab 함량은 5~14% 값을 가져 모두 정상석에 해당된다(Fig. 3).

4.2. 운모류

영광-나주지역에 분포하는 화강암류를 구성하는 운모류는 흑운모와 백운모이며, 흑운모는 모든 암상에 함유되어 있으나 백운모는 1차 광물로 엽리상복운모화강암에만 함유되어 있다. 흑운모는 모드분석 결과 모든 암상에 1.5~19.5 vol.% 함유되며 그 함유량은 분화가 진행된 암상 즉 각섬석-흑운모화강섬록암→흑운모화강섬록암→반상화강암→복운모화강암 순으로 감소한다. 이들 흑운모와 백운모에 대한 EPMA 분석 결과는 Table 2에 나타내었다.

엽리상 흑운모화강섬록암과 흑운모화강섬록암에서 흑운모는 12 wt.% 내외의 MgO를 함유하나 엽리상복운모화강암에서 흑운모는 7.13~9.26 wt.% 그리고 백운모는 1.28~2.02 wt.%로 비교적 변화가 심하며 흑운모의 MgO 함량은 분화가 진행된 산물일수록 감소하

는 경향을 보인다. Fe/(Fe+Mg)와 Al^{IV} 및 Al^{VI} 과의 상관관계는 Fig. 4과 Fig. 5에 나타내었다. 이들 심성 화성암류는 대체로 분화가 진행됨에 따라 금운모(phlogopite)에서 시데로필라이트(siderophyllite) 영역으로 변해가는 경향을 보인다.

광주화강암류를 구성하는 여러 암상들의 Total Al 대 $Al^{IV}/Total\ Al$ 의 관계를 알아보면 흑운모화강암을 제외한 모든 암상에서 Total Al 함량이 증가함에 따라

Fig. 4. Plot of $Al^{IV}/Total\ Al$ versus total Al of biotite for hornblende-biotite granodiorite(Hb-bi grd), biotite granite(Bi gr), porphyritic granite(Por gr) and two mica granite(Tm gr) of granitic masses in the Yeongkwang-Naju area.

Table 2. Representative electron microprobe analysis of alkali feldspar from foliated biotite granodiorite, foliated two mica granite and (hornblende) biotite granodiorite in the Youngkwang-Naju area

	Hb-bi grd								Bi gr					Por gr				Tm gr				
	PKJ 14		PKJ 78			KJ 11		PKJ7 5	PKJ 55				PKJ 70		J 45		Pkj 44		PKJ 63			
SiO ₂	64.86	64.51	64.56	64.34	64.86	64.17	63.99	64.20	63.16	63.25	63.59	63.84	64.24	64.85	64.07	62.00	64.23	64.50	64.14	64.00	64.40	
Al ₂ O ₃	18.19	7.73	17.86	18.08	18.19	18.08	17.93	18.26	18.18	18.00	17.98	17.97	18.00	18.27	18.40	17.27	18.43	18.29	18.12	18.08	18.14	
FeO	0.00	0.10	0.00	0.05	0.00	0.04	0.06	0.07	0.00	0.06	0.05	0.01	0.05	0.03	0.03	0.06	0.04	0.05	0.02	0.00	0.05	
CaO	0.00	0.06	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.06	0.05	0.02	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.04	0.02	0.00	0.01	
Na ₂ O	0.83	1.18	1.17	0.67	0.83	0.61	0.65	0.96	1.00	1.00	1.60	1.39	0.61	0.66	0.74	0.61	1.20	0.95	0.64	0.90	1.09	
K ₂ O	16.08	15.27	15.36	16.06	16.08	16.23	16.39	15.67	15.59	15.77	15.00	15.10	16.42	16.07	16.02	15.26	15.12	16.05	16.43	15.98	15.41	
total	99.96	88.86	99.01	99.20	99.96	99.13	99.01	99.16	97.99	98.14	98.25	98.39	99.32	99.87	99.26	95.20	99.07	99.87	99.37	98.96	99.10	
Si	3.000	3.357	3.008	3.000	3.000	2.997	2.997	2.992	2.982	2.986	2.990	2.995	2.998	3.000	2.986	3.008	2.989	2.990	2.993	2.994	2.999	
Al	0.992	0.474	0.981	0.994	0.992	0.995	0.990	1.003	1.012	1.002	0.997	0.994	0.990	0.996	1.011	0.987	1.011	1.000	0.997	0.997	0.996	
sum	3.992	3.831	3.989	3.993	3.992	3.992	3.987	3.995	3.994	3.988	3.986	3.989	3.988	3.997	3.997	3.995	3.999	3.989	3.989	3.990	3.994	
Fe(2)	0.000	0.004	0.000	0.002	0.000	0.002	0.003	0.003	0.000	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.003	0.002	0.002	0.001	0.000	0.002	
Ca	0.000	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.003	0.001	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.001	0.000	0.000	
Na	0.074	0.119	0.106	0.061	0.074	0.056	0.059	0.086	0.092	0.091	0.146	0.126	0.055	0.059	0.067	0.057	0.108	0.085	0.058	0.082	0.098	
K	0.949	1.014	0.913	0.955	0.949	0.967	0.979	0.931	0.939	0.950	0.900	0.904	0.978	0.948	0.953	0.945	0.897	0.949	0.978	0.954	0.915	
sum	1.023	1.136	1.022	1.016	1.023	1.022	1.038	1.018	1.034	1.044	1.047	1.034	1.033	1.007	1.019	1.002	1.008	1.036	1.037	1.035	1.014	
An	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.3	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	
Ab	7.3	10.5	10.4	6.0	7.3	5.4	5.7	8.5	8.9	8.8	14.0	12.2	5.4	5.9	6.5	5.7	10.7	8.2	5.6	7.9	9.7	
Or	92.7	89.2	89.4	94.0	92.7	94.6	94.3	91.5	90.8	91.0	85.9	87.4	94.6	94.1	93.5	94.3	89.0	91.6	94.3	92.1	90.2	
sum	2.878	2.558	2.857	2.855	2.878	2.851	2.842	2.857	2.820	2.820	2.832	2.838	2.853	2.877	2.856	2.744	2.861	2.872	2.853	2.846	2.859	

Al^{iv}/Total Al 비가 증가한다. 특히 각섬석흑운모화강섬 Al^{iv} 함량도 다른 암상에 비해 현저히 증가하는 것을
 록암에서 뚜렷한 증가 양상을 보여준다(Fig. 4). 그리고 볼 수 있으며, 이 사실은 Total Al 함량이 증가함에

Table 3. Representative electron microprobe analyses of biotite from foliated biotite granodiorite, foliated two mica granite and (hornblende) biotite granodiorite in the Youngkwang-Naju area

	Hb-bi grd																				Bi gr
	PKJ 14					PKJ 78				KJ 11					PKJ 98				HN 113	PKJ75	
SiO ₂	36.22	36.63	35.52	36.20	29.99	36.68	36.19	35.94	36.27	35.37	35.68	34.25	35.91	36.05	26.55	27.38	26.32	35.32	35.31	34.94	
TiO ₂	1.80	2.58	1.65	2.35	0.68	2.99	2.26	1.94	2.22	1.65	3.67	3.00	3.06	2.93	0.04	0.09	0.05	3.51	3.25	2.68	
Al ₂ O ₃	15.31	15.47	15.19	14.60	16.29	14.60	14.89	15.18	14.94	15.08	15.16	15.18	15.26	15.16	20.36	17.65	19.97	14.07	14.84	18.76	
FeO	18.87	19.70	21.87	21.02	25.65	19.15	19.74	20.34	20.6	20.85	20.39	20.77	20.92	20.09	20.92	24.29	20.99	23.32	22.84	22.19	
MnO	0.29	0.36	0.42	0.39	0.44	0.32	0.27	0.23	0.17	0.46	0.40	0.42	0.41	0.37	0.50	0.35	0.58	0.39	0.44	0.44	
MgO	11.17	10.25	11.27	10.49	13.71	11.15	11.00	11.29	10.80	11.70	9.45	10.44	9.83	10.17	18.92	16.48	18.11	8.69	8.60	5.72	
CaO	0.00	0.00	0.00	0.04	0.10	0.00	0.03	0.00	0.00	0.04	0.01	0.05	0.03	0.02	0.03	0.14	0.03	0.01	0.01	0.00	
Na ₂ O	0.10	0.06	0.08	0.07	0.03	0.06	0.12	0.11	0.09	0.05	0.08	0.04	0.06	0.07	0.00	0.01	0.00	0.08	0.10	0.10	
K ₂ O	9.86	9.74	8.14	9.87	2.38	9.64	9.89	9.75	9.89	8.84	9.74	8.22	9.68	9.26	0.00	0.02	0.03	9.67	9.61	9.87	
Total	93.62	94.78	94.13	95.03	89.25	94.58	94.37	94.77	95.04	94.02	94.57	92.38	95.14	94.13	87.31	86.41	86.08	95.06	95.00	94.69	
22(O)																					
Si	5.640	5.643	5.539	5.620	4.935	5.652	5.619	5.568	5.610	5.524	5.549	5.442	5.558	5.601	4.317	4.583	4.350	5.557	5.537	5.455	
Al(IV)	0.360	0.357	0.461	0.380	1.065	0.348	0.381	0.432	0.390	0.476	0.451	0.558	0.442	0.399	1.683	1.417	1.650	0.443	0.463	0.545	
Al(VI)	2.450	2.451	2.330	2.292	2.095	2.303	2.344	2.341	2.335	2.300	2.328	2.284	2.342	2.378	2.219	2.065	2.241	2.166	2.280	2.906	
Ti	0.211	0.299	0.193	0.274	0.084	0.346	0.263	0.226	0.258	0.193	0.429	0.358	0.356	0.342	0.004	0.011	0.006	0.415	0.384	0.315	
Fe(2+)	2.457	2.538	2.852	2.730	3.529	2.468	2.564	2.635	2.672	2.723	2.652	2.759	2.707	2.611	2.845	3.400	2.901	3.068	2.996	2.898	
Mn	0.039	0.047	0.056	0.052	0.061	0.042	0.036	0.030	0.023	0.061	0.053	0.057	0.054	0.049	0.068	0.049	0.081	0.051	0.058	0.058	
Mg	2.592	2.353	2.620	2.428	3.362	2.561	2.547	2.607	2.492	2.724	2.192	2.473	2.268	2.355	4.586	4.111	4.463	2.039	2.011	1.332	
M1-M2	7.750	7.688	8.051	7.776	9.131	7.720	7.754	7.839	7.779	8.001	7.654	7.931	7.726	7.736	9.722	9.636	9.691	7.739	7.729	7.508	
Ca	0.000	0.000	0.000	0.006	0.017	0.000	0.005	0.000	0.000	0.006	0.001	0.008	0.004	0.004	0.005	0.026	0.005	0.001	0.001	0.000	
Na	0.029	0.016	0.023	0.021	0.008	0.019	0.035	0.032	0.028	0.014	0.023	0.013	0.017	0.022	0.000	0.002	0.000	0.025	0.030	0.029	
K	1.958	1.913	1.620	1.954	0.499	1.895	1.959	1.927	1.952	1.761	1.932	1.665	1.910	1.835	0.000	0.004	0.005	1.941	1.923	1.965	
A-site	1.987	1.930	1.643	1.981	0.524	1.914	1.998	1.959	1.980	1.780	1.957	1.687	1.932	1.861	0.006	0.032	0.010	1.967	1.955	1.994	
	Bi gr										Por gr					Tm gr					
	PKJ 75					PKJ 74					PKJ70	PKJ 68			J 47	PKJ 44		PKJ 45			
SiO ₂	35.38	35.08	34.70	35.27	34.64	28.01	32.55	33.85	33.90	33.68	36.68	37.03	36.56	36.86	36.67	32.35	32.50	35.20	34.73		
TiO ₂	2.58	2.37	2.51	2.66	2.78	1.39	3.58	3.60	3.24	3.44	2.99	3.68	3.22	2.62	3.33	3.38	2.15	2.03	2.69	2.58	
Al ₂ O ₃	18.69	18.40	18.54	19.15	17.18	18.30	16.69	17.41	18.24	17.50	14.60	14.28	14.46	14.57	14.61	14.60	18.72	19.16	18.38	17.83	
FeO	22.35	23.23	22.79	21.90	23.07	31.69	25.52	22.85	21.91	22.66	19.15	20.22	18.91	19.11	20.59	19.79	28.31	28.32	21.83	22.30	
MnO	0.38	0.39	0.46	0.44	0.11	0.11	0.01	0.10	0.17	0.22	0.32	0.49	0.51	0.65	0.40	0.39	0.64	0.51	0.20	0.21	
MgO	5.70	5.29	5.47	5.71	6.86	7.81	6.81	6.84	5.82	7.04	11.15	10.55	11.18	11.29	10.20	10.79	4.01	4.13	6.90	7.28	
CaO	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.14	1.23	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.05	0.15	0.16	0.01	0.00	
Na ₂ O	0.09	0.04	0.04	0.08	0.05	0.01	0.04	0.05	0.08	0.05	0.06	0.10	0.06	0.05	0.04	0.07	0.03	0.02	0.10	0.07	
K ₂ O	9.72	9.66	9.82	9.92	9.78	1.71	6.77	9.94	9.96	9.84	9.64	9.68	9.85	9.87	9.64	9.65	5.34	4.70	10.00	9.79	
Total	94.90	94.45	94.33	95.13	94.51	89.16	93.19	94.64	93.27	94.69	91.58	95.69	95.22	94.72	95.67	95.39	91.70	91.53	95.30	94.78	
22(O)																					
Si	5.501	5.509	5.458	5.464	5.452	4.742	5.220	5.332	5.382	5.331	5.417	5.625	5.668	5.643	5.651	5.623	5.278	5.281	5.449	5.425	
Al(IV)	0.499	0.491	0.542	0.536	0.548	1.258	0.780	0.668	0.618	0.669	0.583	0.375	0.332	0.357	0.349	0.377	0.722	0.719	0.551	0.575	
Al(VI)	2.926	2.914	2.895	2.961	2.639	2.393	2.376	2.564	2.799	2.574	2.184	2.205	2.278	2.294	2.291	2.262	2.879	2.951	2.801	2.707	
Ti	0.301	0.280	0.297	0.310	0.330	0.177	0.432	0.426	0.387	0.407	0.361	0.424	0.371	0.304	0.384	0.390	0.264	0.248	0.313	0.303	
Fe(2+)	2.907	3.052	2.998	2.838	3.037	4.487	3.423	3.010	2.912	2.980	2.576	2.593	2.420	2.467	2.639	2.537	3.864	3.849	2.825	2.914	
Mn	0.050	0.051	0.061	0.058	0.015	0.016	0.002	0.014	0.023	0.029	0.044	0.064	0.065	0.085	0.052	0.051	0.089	0.070	0.026	0.028	
Mg	1.322	1.238	1.283	1.318	1.610	1.971	1.629	1.606	1.380	1.651	2.674	2.412	2.552	2.597	2.330	2.466	0.976	1.001	1.592	1.694	
M1-M2	7.506	7.535	7.535	7.485	7.631	9.045	7.861	7.620	7.501	7.641	7.839	7.698	7.686	7.747	7.696	7.706	8.071	8.119	7.558	7.646	
Ca	0.002	0.000	0.000	0.000	0.004	0.025	0.212	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.008	0.026	0.027	0.002	0.000	
Na	0.026	0.011	0.013	0.024	0.015	0.003	0.012	0.016	0.023	0.014	0.019	0.030	0.019	0.015	0.013	0.021	0.010	0.005	0.029	0.021	
K	1.927	1.936	1.970	1.960	1.964	0.369	1.384	1.997	2.020	1.973	1.978	1.894	1.923	1.943	1.885	1.887	1.111	0.975	1.974	1.951	
A-site	1.955	1.947	1.983	1.985	1.984	0.396	1.608	2.012	2.043	1.994	1.998	1.924	1.941	1.959	1.897	1.916	1.147	1.007	2.006	1.972	

Hb-bi grd : hornblende-biotite granodiorite, Bi gr : biotite granite,

Por gr : porphyritic granite, Tm gr : two mica granite

Table 4. Representative electron microprobe analyses of muscovite from

	PKJ 45			PKJ 44		PKJ 63			
SiO ₂	46.97	47.81	47.73	48.24	46.97	47.61	47.39	47.75	47.43
TiO ₂	0.83	1.62	1.64	0.45	0.83	0.90	1.16	1.31	1.11
Al ₂ O ₃	35.41	34.23	34.58	33.96	35.41	34.76	34.55	34.14	34.64
FeO	1.17	1.43	1.54	2.02	1.17	1.60	1.58	1.41	1.27
MnO	0.02	0.11	0.04	0.00	0.02	0.04	0.02	0.00	0.05
MgO	0.67	0.78	0.83	0.81	0.67	0.65	0.70	0.82	0.69
Ca	0.05	0.02	0.01	0.01	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.49	0.39	0.43	0.39	0.49	0.34	0.50	0.47	0.38
K ₂ O	10.38	10.75	10.78	10.65	10.38	11.20	10.79	10.67	10.54
Total	95.99	97.12	97.58	96.52	95.99	97.10	96.70	96.57	96.10
Si	6.190	6.251	6.216	6.345	6.190	6.241	6.230	6.272	6.249
Al(IV)	0.000	0.000	5.600	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al(VI)	5.500	5.274	5.308	5.265	5.500	5.370	5.352	5.285	5.379
Ti	0.082	0.159	0.161	0.044	0.082	0.089	0.115	0.129	0.110
Fe(2+)	0.129	0.156	0.168	0.222	0.129	0.175	0.174	0.154	0.139
Mn	0.003	0.012	0.004	0.000	0.003	0.004	0.002	0.000	0.006
Mg	0.131	0.152	0.161	0.158	0.131	0.127	0.137	0.160	0.135
Sum	5.844	5.753	5.802	5.689	5.844	5.765	5.780	5.729	5.769
Ca	0.007	0.003	0.001	0.001	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.126	0.098	0.108	0.100	0.126	0.086	0.127	0.120	0.096
K	1.745	1.792	1.791	1.787	1.745	1.873	1.810	1.789	1.771
Sum	1.878	1.893	1.900	1.889	1.878	1.959	1.937	1.909	1.867

Fig. 5. Plot of Al^{IV} versus Mg/(Mg+Fe) of biotite for Hb-bi grd, Bi gr, Por gr and Tm gr of granitic masses in the Yeongkwang-Naju area.

따라 각섬석-흑운모화강섬록암, 반상화강암 그리고 복운모화강암은 사면체 Al(Al^{IV})이 함께 증가하며 반면에 흑운모화강암에서는 팔면체 Al(Al^{VI})가 증가하는 것을 지시한다(Cho and Kwon, 1994). 흑운모의 사면체 위치와 팔면체 위치 사이의 치환관계는 다음과 같다. 즉 $Ti^{iv} + 2Al^{iv} = Mg^{vi} + 2Si^{iv}$ 이다.

Fig. 6. plot Mg^{IV}+2Si^{IV} versus Ti^{IV}+2Al^{IV} of biotite for hornblende-biotite granodiorite (Hb-bi grd), biotite granite(Bi gr), porphyritic granite(Por gr) and two mica granite(Tm gr) of granitic masses in the Yeongkwang-Naju area.

흑운모의 Mg/(Mg+Fe) 비는 각섬석-흑운모화강섬록암이 0.4~0.65, 흑운모화강암이 0.24~0.4, 반상화강암이 0.48~0.52, 그리고 복운모화강암이 0.18~0.38으로 각섬석-흑운모화강섬록암과 반상화강암에서는 0.4 이상으로 금운모-이스토나이트(Eastonite) 영역에 치우치며,

Fig. 7. Plot of Fe/(Fe+Mg) of biotite versus Fe/(Fe+Mg) of the host granitic rocks.

Fig. 8. Plot of Fe/(Fe+Mg) of biotite versus of biotite for SiO₂ of the host granitic rocks.

흑운모화강암에서는 0.4 이하로 낮게 나타나거나 시테로피라이트-애니나이트(Annite) 영역으로 치우쳐서 나타난다. 대체로 이같은 분화 경향은 금운모-이스토나이트 영역에서 시테로피라이트 영역으로 이동한다(Fig. 5). Al₂O₃-FeO-MgO 삼각도(Fig. 9)에서는 각섬석-흑운모화강섬록암에서 복운모화강암 쪽으로 갈수록 MgO 영역으로부터 점점 멀어져 FeO_(t) - Al₂O₃ 변으로 이동하다가 약간 FeO_(t) 쪽으로 치우쳐진다. Total Al 대 (Al^{iv}/Total Al)의 관계를 알아보면 흑운모화강암을 제외한 모든 암상에서 Total Al 함량이 증가함에 따라 Al^{iv}/Total Al 비가 증가한다. 특히 각섬석-흑운모화강섬록암에서 뚜렷한 증가 양상을 보여주며 또한 Al^{iv} 함량도 다른 암상에 비해 현저히 증가하는 것을 볼 수 있다. 이 사실은 Total Al 함량이 증가함에 따라 각섬석-흑운

Fig. 9. Plot of Al₂O₃-Fe(t)-MgO diagram of biotite for hornblende-biotite granodiorite(Hb-bi grd), biotite granite(Bi gr), porphyritic granite(Por gr) and two mica granite(Tm gr) of granitic masses in the Yeongkwang-Naju area.

모화강섬록암, 반상화강암 그리고 복운모화강암은 사면체 Al(Al^{iv})가 같이 증가하며 반면에 흑운모화강암에서는 팔면체 Al(Al^{vi})가 증가하는 것을 지시한다(조등룡과 권성택, 1994). 흑운모의 사면체 위치와 팔면체 위치 사이의 치환관계는 $Ti^{iv} + 2Al^{iv} = Mg^{vi} + 2Si^{iv}$ 이다. 이 관계의 치환은 대체로 잘 이루어지고 있으나 각섬석-흑운모화강섬록암에서 일부 암석들 중에서는 치환관계가 명확하지 못한 경우도 보여진다. 암석의 Fe/(Fe+Mg)에 대한 흑운모의 Fe/(Fe+Mg)관계와 암석의 SiO₂ 함량의 증가에 따른 Fe/(Fe+Mg) 변화 분포를 보면, Fe/(Fe+Mg) 비가 증가함에 따라 각 암상 내에서 흑운모의 Fe/(Fe+Mg) 비의 변화는 명확하지 않으나 각섬석-흑운모화강암에서 복운모화강암으로 갈수록 점차 증가하는 경향을 보이며, 또한 SiO₂ 함량이 증가함에 따라 흑운모의 Fe/(Fe+Mg) 비도 증가함을 볼 수 있다. 이것은 암석에서 Fe의 함량이 증가하거나 SiO₂ 함량이 증가하면 흑운모의 Fe 함량이 같이 증가하고 상대적으로 Mg 함량이 감소함을 보여준다. 즉 흑운모의 성분은 흑운모의 결정작용 당시의 마그마의 성질에 크게 변한다(Abdel-Rahman, 1994). 칼크-알카리질 마그마와 고알루미나질 마그마에서 흑운모의 결정작용 중에는 $2Al-3Fe^{2+}$ 치환이 거의 일어나지 않는다. 따라서 두 마그마 시스템에서는 흑운모에서 Al 값의 변화에 따르는 Fe의 변화를 거의 보여주지 않는다. 칼크-알카리질 마그마나 고알루미나질 마그마에서는 $3Mg-2Al$ 치환작용이 우세하게 일어나 고알루미나질 암에서

는 시테로라이트 성분의 흑운모가 형성되었다. 이같이 중성암이나 산성암에서 가장 중요한 철-마그네슘 광물인 흑운모의 화학조성은 그들의 host 마그마의 성질을 잘 반영한다(Abdel-Rahman, 1994).

복운모화강암의 백운모에 대한 화학조성은 광주화강암류를 중심으로 보면 복운모화강암에 들어 있는 백운모는 다른 광물과의 뚜렷한 경계를 가지는 반자형으로 부분적으로 흑운모를 가로질러 통과하고 있는 경우도 관찰된다. 또 드물게 장석이나 흑운모의 벽개면을 따라 뚜렷한 광물 경계면이 없는 경우도 발견된다. 일반적으로 전자는 마그마기원의 백운모가 보이는 특징이며, 후자는 이차기원의 백운모가 보이는 특징이다(Anderson *et al.*, 1980; Andersons and Rowley, 1981; Miller *et al.*, 1981; Barth, 1990). 일반적으로 마그마기원 백운모의 특징에서 일차 마그마 기원의 백운모는 이차 기원의 백운모나 견운모에 비해 TiO_2 함량이 높게 나타나지만, 이차 기원의 백운모는 약 0.1% 이하의 TiO_2 를 함유하는데, 이는 온도가 감소하면서 Ti도 감소하며 이에 따라 Fe와 Mg가 증가되고, Si 함량도 상당량 부화되기 때문이다(Anderson *et al.*, 1980; Andersons and Rowley, 1981; Miller *et al.*, 1981; Moniner *et al.*, 1984; Best *et al.*, 1974; Guidotti, 1978; Davis *et al.*, 1980). 분석에 사용된 백운모는 이러한 점들을 감안하여 선택되어 분석되었다. 또한 후 마그마성(post magmatic) 백운모는 열수기원의 백운모보다 철의 함량도 더 많다. 영광-나주지역 화강암류는 모두 이같은 경향을 잘 보여준다.

Velde(1965)와 Massonne and Schreyer(1983)은 세라도나이트질 백운모에서 압력이 증가하고 온도가 감소함에 따라 Si 함량이 증가한다고 하였다. 광주화강암류에 속하는 복운모화강암에 함유된 백운모의 TiO_2 함량은 0.45~1.62로 상당히 증가하며 Fe는 감소하는 양상을 보여준다. Miller *et al.*(1981)의 실험적 연구에 의하면 일차 마그마 기원 백운모의 평균 Si 함량은 6.1~6.34(per 22oxygen) 정도이며, Brand(1985)도 이와 유사한 6.08~6.22의 Si 함량분포를 제시하여 영광-나주지역 화강암류에서 제시한 값 6.19~6.272과 유사함을 보여준다.

여기에서 백운모는 팔면체 Al이 Mg과 Fe에 의해 치환되고 또 사면체 Al은 Si에 의해서도 치환되어 복운모화강암에 포함되어 있는 세라도나이트질 백운모와 유사한 치환관계를 보여준다. 이 치환관계를 요약하면 $\text{Al}^{\text{iv}} + \text{R}^{3+} = \text{Si} + \text{R}^{2+}$ ($\text{R}^{3+} = \text{Al}^{\text{vi}}$, Fe; $\text{R}^{2+} = \text{Mg}^{2+}$, Mn^{2+}) (Konings *et al.*, 1988) 으로 표시된다. 광주화강암류의

백운모화강암을 이루는 백운모에서도 $\text{Al}^{\text{iv}} + \text{R}^{3+}$ 와 $\text{Si} + \text{R}^{2+} = \text{R}^{2+}$ 이 반비례관계의 경향을 보여주고 있어 이 같은 치환작용이 이루어 졌음을 보여주며, 이 결과들을 정리하여 보면 복운모화강암에 포함되어 있는 백운모는 일차 마그마 기원의 광물이다.

4.3. 각섬석

각섬석에 대한 EPMA 분석 결과는 Table 5에 표시하였다. Leake(1978)의 분류에 따르면 Ca-각섬석 군은 11개의 광물명으로 표시되나 대부분 액티노라이트질(actinolitic) 각섬석, 마그네시오(magnesio) 각섬석, 페로(ferro) 각섬석, 에데나이트질(edenitic) 각섬석, 페리-에데나이트질 각섬석 영역에 속하며 열리상화강암류는 각섬석이나 트레모라이트(tremolite)에 해당한다(Fig. 10).

Cho and Kwon(1984)은 전주화강암체내의 위치한 전단대에서 채취된 압쇄암 시료가 압쇄작용에 의해 재결정된 각섬석을 가지고 있으며 이들 각섬석의 화학성분은 대보화강암에 비해 현저히 Al^{I} 과 Al^{IV} 함량이 적음을 밝혀내고, 이같은 결과는 이들 각섬석의 Al 함량이 마그마의 성분외적 요인에 영향을 받은 결과로 해

Fig. 10. Modified version of the IMF recommended plot for naming calcic amphiboles 'A' in field name refer to nomenclature for $(\text{Na}+\text{K})\text{A} > 0.50$, Fe^{3+} , Al^{iv} , and 'B' for Fe^{3+} , Al^{iv} where those in the 'C' for $(\text{Na}+\text{K})\text{A}, 0.50$, Ti, 0.50 in all cases.

석하였다. 또 이 각섬석을 이용한 각섬석 지압계 (Hammarstrom and Zen, 1986; Hollister *et al.*, 1987; Johnson and Rutherford, 1989; Schmidt, 1992)를 사용하여 대보화강암류의 정치-고결 심도를 3.4~7.8 kb(Table 5)에 해당하는 심도로 추정했으며, 이값은 이 연구의 비변형 송림-대보화강암류가 보이는 정치-고결 심도값(3.2~4.8 Kb)과 거의 일치한다.

영광-나주지역 화강암류를 구성하는 각섬석의 Ca 함량은 1.8~2.5 이고 M4 자리의 Na 함량이 0.6 이하로 회각섬석군의 $(Ca+Na)_{M4} \geq 1.43$, $Na_{M4} < 0.67$ 의 범위(Leake, 1978)에 들어가 모두가 회각섬석군에 속함

을 보여준다. 그리고 Ti 함량도 모두 0.25 미만의 값을 보여준다.

Al(IV)와 $Mg/Mg+Fe^{+2}$ 의 상관관계는 대부분 에데나이트, 페로에데나이트(Ferroedenite), 페로엑티노라이트질 각섬석 및 액티노라이트질 각섬석 영역에 속한다. 전체시료에서 각섬석의 Al(total Al) 함량은 약 1.0에서 2.25, Al_(IV) 함량은 0.5에서 1.5로 비교적 성분 변화가 크지 않다. 모든 분석치가 Al_(VI) 최소치선($Al^{VI}=0$)과 Leake(1971)가 설정한 화성기원 회각섬석의 Al(VI) 최대치선 사이에 들어가므로(Fig. 10) 역시 화성기원의 회각섬석에 해당된다.

Table 5. Representative electron microprobe analyses of hornblende from hornblende biotite granodiorite in the Youngkwang-Naju area

	PKJ 14						PKJ 78			KJ 11					
SiO ₂	35.22	43.57	43.60	44.91	44.42	43.97	45.01	45.07	44.20	43.21	42.31	42.94	43.75	45.28	43.01
TiO ₂	1.80	1.57	1.31	1.41	1.42	1.57	1.24	0.88	0.36	0.77	1.11	0.74	0.58	0.66	1.18
Al ₂ O ₃	15.31	8.58	8.39	7.95	8.09	8.23	7.88	8.05	8.85	9.06	9.49	9.39	8.69	7.48	8.83
FeO(T)	18.87	19.02	19.44	19.00	18.74	18.47	18.53	18.18	19.33	19.62	20.06	20.70	19.11	18.65	20.03
MnO	0.29	0.41	0.54	0.68	0.45	0.45	0.40	0.52	0.42	0.54	0.42	0.61	0.48	0.55	0.63
MgO	11.17	9.48	9.49	9.88	9.88	9.97	10.44	10.29	9.86	8.86	8.57	8.58	9.35	10.03	8.68
CaO	0.00	11.51	11.53	11.77	11.55	1.16	1.24	11.77	12.02	11.84	11.82	11.72	11.75	11.98	11.27
Na ₂ O	0.10	1.28	1.20	1.26	1.22	1.27	1.14	1.08	1.06	1.09	1.07	1.18	0.86	0.80	1.06
K ₂ O	9.86	0.95	1.00	0.90	0.87	0.93	0.74	0.77	0.90	1.00	1.15	1.01	0.89	0.73	1.07
Sum	92.62	96.38	96.51	97.78	96.63	86.03	86.62	96.61	96.99	95.99	96.01	96.87	95.44	96.15	95.75
H ₂ O(calc)	1.82	1.95	1.94	1.98	1.96	1.81	1.83	1.97	1.96	1.93	1.92	1.94	1.93	1.95	1.92
Total	94.44	98.33	98.45	99.75	98.59	87.83	88.45	98.57	98.95	97.92	97.93	98.80	97.37	98.11	97.68
23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)
Si	5.816	6.714	6.728	6.813	6.804	7.296	7.387	6.872	6.764	6.712	6.600	6.648	6.797	6.949	6.711
Al	2.184	1.286	1.272	1.187	1.196	0.704	0.613	1.128	1.236	1.288	1.400	1.352	1.203	1.051	1.289
Al	0.796	0.272	0.255	0.234	0.264	0.905	0.912	0.320	0.361	0.371	0.345	0.362	0.388	0.302	0.334
Ti	0.224	0.182	0.152	0.161	0.163	0.196	0.153	0.101	0.041	0.090	0.131	0.086	0.067	0.077	0.138
Fe	2.606	2.452	2.510	2.411	2.400	2.563	2.544	2.318	2.474	2.549	2.618	2.680	2.483	2.393	2.614
Mn	0.041	0.054	0.070	0.088	0.058	0.063	0.055	0.067	0.054	0.071	0.056	0.080	0.063	0.071	0.083
Mg	2.749	2.179	2.184	2.236	2.256	2.467	2.555	2.340	2.249	2.051	1.993	1.980	2.166	2.294	2.020
XM1-3	1.416	0.139	0.171	0.130	0.141	1.195	1.220	0.145	0.180	0.133	0.143	0.187	0.168	0.138	0.189
Ca	0.000	1.901	1.907	1.914	1.895	0.206	0.219	1.923	1.971	1.971	1.977	1.945	1.956	1.970	1.884
Na	0.584	0.000	0.000	0.000	0.000	0.600	0.562	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.553	0.383	0.359	0.369	0.363	0.190	0.200	0.321	0.315	0.328	0.323	0.354	0.258	0.238	0.320
K	2.076	0.186	0.197	0.174	0.170	0.197	0.156	0.149	0.176	0.198	0.230	0.200	0.176	0.142	0.212
Mg/(Mg+Fe)	0.51	0.47	0.47	0.48	0.48	0.49	0.50	0.50	0.48	0.45	0.43	0.42	0.47	0.49	0.44
Al(T)	2.980	1.558	1.527	1.421	1.461	1.610	1.525	1.447	1.597	1.659	1.745	1.713	1.591	1.353	1.623
P(calc)	11.07	3.92	3.76	3.23	3.43	4.18	3.75	3.36	4.11	4.42	4.86	4.70	4.08	2.89	4.24
Fe3	0.521	0.490	0.502	0.482	0.480	0.513	0.509	0.464	0.495	0.510	0.524	0.536	0.497	0.479	0.523
A+Al6+Fe3+2Ti	3.289	1.696	1.617	1.582	1.604	1.817	1.683	1.455	1.429	1.588	1.683	1.624	1.453	1.315	1.666
A-M4Na	0.94	0.57	0.56	0.54	0.53	-0.59	-0.61	0.47	0.49	0.53	0.55	0.55	0.43	0.38	0.53

Table 5. Continued

	KJ 11														HN 113	
SiO ₂	42.10	43.59	42.33	42.79	43.95	42.42	45.48	44.74	44.16	45.05	44.42	44.64	46.94	46.72	41.14	
TiO ₂	1.33	1.17	1.32	0.81	1.21	1.32	1.22	1.16	1.29	1.19	1.17	1.17	0.70	0.31	0.45	
Al ₂ O ₃	10.16	8.59	9.63	9.46	8.42	9.53	7.62	8.22	8.42	8.38	8.34	8.09	8.56	5.43	11.04	
FeO(T)	20.13	19.59	19.99	20.75	19.44	20.56	15.72	16.41	17.07	16.90	16.74	17.16	15.42	22.28	23.05	
MnO	0.52	0.45	0.41	0.58	0.67	0.57	0.40	0.49	0.53	0.41	0.48	0.46	0.50	0.61	0.60	
MgO	8.33	9.25	8.92	8.58	9.47	8.48	11.81	11.74	11.21	11.15	10.98	11.18	12.49	8.54	6.33	
CaO	11.67	11.80	11.51	11.78	11.54	11.56	11.77	11.90	11.58	11.72	12.02	11.81	12.15	11.87	11.89	
Na ₂ O	1.17	0.98	0.96	0.96	0.92	1.31	1.01	1.19	1.12	1.05	1.20	1.06	0.79	0.56	1.00	
K ₂ O	0.97	1.11	1.05	0.91	0.98	0.95	0.83	0.94	0.98	0.86	0.97	0.89	0.62	0.53	0.85	
Sum	96.37	96.52	96.12	96.61	96.60	96.69	95.87	96.78	96.35	96.71	96.31	96.45	96.17	96.85	96.34	
H ₂ O(calc)	1.93	1.94	1.93	1.93	1.95	1.93	1.97	1.98	1.96	1.98	1.97	1.97	1.99	1.94	1.90	
Total	98.30	98.46	98.05	98.55	98.55	98.62	97.84	98.76	98.32	98.69	98.27	98.41	98.16	98.79	98.24	
23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	
Si	6.538	6.729	6.580	6.636	6.765	6.581	6.905	6.775	6.740	6.819	6.776	6.800	7.073	7.212	6.484	
Al	1.462	1.271	1.420	1.364	1.235	1.419	1.095	1.225	1.260	1.181	1.224	1.200	0.927	0.788	1.516	
Al	0.397	0.293	0.344	0.366	0.292	0.324	0.268	0.242	0.254	0.314	0.275	0.252	0.237	0.201	0.535	
Ti	0.156	0.136	0.154	0.095	0.140	0.154	0.139	0.133	0.148	0.135	0.134	0.134	0.079	0.036	0.053	
Fe	2.615	2.530	2.598	2.691	2.502	2.667	1.996	2.078	2.178	2.139	2.136	2.186	1.944	2.877	3.038	
Mn	0.068	0.058	0.054	0.076	0.087	0.074	0.052	0.063	0.069	0.053	0.063	0.059	0.064	0.080	0.080	
Mg	1.929	2.128	2.067	1.985	2.173	1.961	2.674	2.650	2.552	2.517	2.497	2.540	2.806	1.965	1.487	
XM1-3	0.164	0.145	0.218	0.213	0.194	0.181	0.130	0.164	0.202	0.159	0.105	0.171	0.130	0.158	0.192	
Ca	1.942	1.952	1.918	1.958	1.903	1.922	1.915	1.930	1.893	1.902	1.965	1.927	1.961	1.963	2.007	
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Na	0.351	0.294	0.289	0.288	0.275	0.395	0.299	0.349	0.330	0.307	0.354	0.312	0.232	0.166	0.306	
K	0.192	0.218	0.207	0.179	0.193	0.187	0.161	0.181	0.190	0.166	0.188	0.173	0.119	0.105	0.171	
Mg/(Mg+Fe)	0.42	0.46	0.44	0.42	0.46	0.42	0.57	0.56	0.54	0.54	0.54	0.54	0.59	0.41	0.33	
Al(T)	1.859	1.563	1.764	1.730	1.527	1.743	1.363	1.467	1.514	1.495	1.499	1.452	1.164	0.989	2.051	
P(calc)	5.43	3.94	4.95	4.78	3.76	4.85	2.94	3.46	3.70	3.60	3.62	3.38	1.94	1.05	6.40	
Fe3	0.523	0.506	0.520	0.538	0.500	0.533	0.399	0.416	0.436	0.428	0.427	0.437	0.389	0.575	0.608	
A+Al6+Fe3+2Ti	1.774	1.582	1.669	1.561	1.541	1.748	1.405	1.452	1.507	1.487	1.512	1.442	1.135	1.120	1.725	
A-M4Na	0.54	0.51	0.50	0.47	0.47	0.58	0.46	0.53	0.52	0.47	0.54	0.49	0.35	0.27	0.48

Fig. 11. Plot of Al^T versus Al^{IV} of amphiboles for hornblende-biotite granodiorite from granitic rocks in the Yeongkwang-Naju area.

Fig. 12. Plot of Al^T vs. Ca amphibole for hornblende-biotite granodiorite in the Yeongkwang-Naju area.

Fig. 13. Plot Al^T vs. total Na of amphibole for hornblende-biotite granodiorite in the Yeongkwang-Naju area.

Fig. 12와 Fig. 13은 Al (total Al)에 대한 Ca 와 Na 의 관계를 나타낸 것으로 Ca 함량은 Al (total Al) 함량 변화에 거의 변화 없이 수평으로 분포하나 (Fig. 12), Na (total Na)은 Total Al 가 증가함에 따라 비례해서 증가하고 있는 것을 볼 수 있다(Fig. 13). 각섬석의 A-site에서 Na 와 K 와의 상관도는 Na 함량이 증가함에 따라 K 함량이 증가하나 Na 함량의 변화폭이 K 함량의 변화폭보다 큼을 보여준다(Park, 2000).

Hammarstrom and Zen(1983, 1985, 1986)은 칼크-알카리계열 심성암의 결정작용의 압력과 각섬석의 전체 Al 함량사이의 관계식을 제안하였다. 이 지질압력계에 이용된 자료는 대부분 1.5~3과 7~10 Kbar에서 결정화된 암석시료를 이용했으나, 중간정도의 압력(4-6 Kbar)에서 결정화된 심성암의 자료가 부족하여 주로 각섬석을 함유한 칼크-알카리질 심성암이 많이 분포하고 있는 조산대의 지구조사를 밝히는 경우에만 유용하게 이용되고 있다.

5. 화강암류의 정치심도

Hollister *et al.*(1987)은 칼크-알카리계열 심성암에서 석영, 사장석, 정장석, 흑운모, 자철석, 그리고 티탄철석 등이 공존하는 각섬석 결정의 가장자리의 Al 함량을 이용하여 2~8 Kbar의 자료를 수정한 새로운 관계식을 제안하였다. 이들이 제안한 식은 $P(\pm 3 \text{ Kbar}) = -3.92 + 5.03Al^T$ (Hammarstrom and Zen, 1986)과 $P(\pm 1 \text{ Kbar}) = -4.76 + 5.64Al^T$ (Hollister *et al.*, 1987)이다.

이 연구에서는 Hammarstrom and Zen(1986)과 Hollister *et al.*(1987)의 관계식을 이용하여 각섬석-흑

운모화강섬록암에 함유되어 있는 각섬석의 고결 압력을 추정하여 보았다. 단, 이 경험식을 이용하는 데는 사장석+알카리 장석+석영+각섬석+흑운모+자철석+스펜+인회석 등의 광물조합을 가져야 한다(Vyhnal *et al.*, 1991; Hong, 1994). 따라서 각섬석의 분석은 Hammarstrom and Zen(1986)의 제한사항에 맞추어 결정작용의 최후단계인 고상선 부근의 조건을 만족하기 위해 석영이나 알카리장석과 접하는 각섬석의 가장 자리에 해당되는 부분에서 실시되었다. 상기 두 관계식으로부터 약간의 차이는 있으나 계산 결과(Table 5)는 대부분 3.5~6 Kbar에 해당되는 11.3~17.2 Km의 심도 값을 얻었다.

6. 결 론

영광-나주지역에 분포하는 화강암류는 다음과 같은 광물화학적 특성을 보인다.

영광-나주지역 화강암류는 변형 받은 염리상화강암류와 변형되지 않은 송림-대보화강암류로 구성되며 이들은 광물조성, 조직 및 관입 시기에 따라 염리상 혹은 운모화강섬록암, 반상화강섬록암, 복운모화강암, 각섬석-흑운모화강섬록암으로 구분된다.

영광-나주지역에 분포하는 화강암질암류의 주요구성 광물 성분은 사장석, 흑운모, 백운모와 각섬석으로 구성되어있다. 사장석은 오리고클레스($An_{19.3-27.7}$)와 안데신($An_{28.4-31}$)성분에 해당하며 누대구조의 성분변화도 좁은 영역에 치우치면 이는 느린 결정작용과 이들 결정들의 성장이 최종 고결작용 이전에 일어났음을 보여준다. 흑운모의 Mg 함량은 산소의 압력과 분화도의 증가에 따른다(프로고파이트에서 시테로피라이트로 변함). Al^{iv}/Al^{total} 관계는 전체 알루미늄 양에 따라 증가한다. 백운모는 일차기원이며 높은 TiO_2 함량을 보이는 세라도나이트이다. 각섬석은 회각섬석류에 속하며, 이 지질압력계로 계산된 화강암질암의 고결심도는 11.3~17.2 Km이다.

사 사

이 연구를 수행하는데 실내작업에 도움을 준 전남대 지구환경과학부 지질전공 박용균군에게 감사를 표합니다. 또 광물성분분석을 실시한 기초과학지원연구원 이석훈 박사에게도 감사드립니다. 그리고 이 연구가 이루어질 수 있도록 전남대학교 연구년교수연구비(2007-0001)를 지원해준 전남대학교에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- Abdel Rahman, A.F.M. (1994) Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline and peraluminous magmas. *Jour. Petrol.*, 35, 525-541.
- Anderson, J.L. and Rowley, M.C. (1981) Synkinematic intrusion of two-mica and associated metaluminous granitoids, Whipple Mountains, California: *Canadian Mineralogist*, 19, 83-101.
- Anderson, J.L., Cullers, R.L. and Van Schmus, W.R. (1980) Anorogenic metaluminous and peraluminous granite plutonism in the mid-proterozoic of Wisconsin, U.S.A.: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 74, 311-328.
- Barth, A.P. (1990) Mid-crustal emplacement of Mesozoic plutons, San Gabriel Mountains, California, and implications for the geologic history of the San Gabriel terrane. *The Geol. North America Mem.* 174, 33-45.
- Batemann, P.C. and Chappell, B.W. (1979) Crystallization, fractionation, and solidification of the Tuolumne Intrusive Series, Yosemite National Park, California. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 90, 465-482.
- Bence, A.E. and Albee, A.L. (1968) Empirical correction factor for the electron microanalysis of silicate and oxides. *J. Geol.*, 76, 382-403.
- Brand, J.H. (1985) Mesozoic alkalic nonzonites and peraluminous monzogranites of the northern portion of Joshua Tree National Monument, southern California [M.S. thesis]: Los Angeles, University of Southern California, 187p.
- Chappell, B.W. and White, A.J.R. and Wyborn, D. (1987) The importance of residual source material (restite) in granite petrogenesis. *J. Petrol.*, 28, 1111-1138.
- Cho, D.L. and Kwon, S.T. (1994) Hornblende geobarometry of the Mesozoic Granitoids in south Korea and the Evolution of crustal thickness. *J. Geol. Soc. Korea*, 30, 41-61.
- Choo, S.H. and Kim, S.J. (1986) Rb-Sr age determination on the Ryeongnam massif(II) : Granitic gneisses and gneissose granites in the southwestern Jisan region. *Research report KR-86-7*, Korea Inst. Energy and Resources, 7-33.
- Choo, S.H. and Ji, S.J. (1990) Studies on Rb-Sr ages of Kwangju granites, KIGAM Bull, KR-90-1B-2, 3-54.
- Davis, G.A., Anderson, J.L., Frost, E.G. and Shackelford, T.J. (1980) Mylonitization and detachment faulting in the Whipple-Buckskin-Rawhide Mountains terrane, Southeastern California and western Arizona, in Crittenden, M., Davis, G.H. and Coney, P.J., eds., *Metamorphic core complexes: Geological Society of America Memoir* 153, 79-129.
- Guidotti, C.V. (1978) Muscovite and K-feldspar from two-mica adamellite in northwestern Maine; Compositions and petrogenetic implications: *American Mineralogist*, 63, 750-753.
- Hong, S.S., Kim, Y.J. and Kim, J.B. (1988) Petrochemical study on Granite Body in the Namwon area, *Jour. Petrological Society of Korea*, 24, 119-127.
- Hammarstrom, J.M. and Zen, E.-an (1986) Aluminum in hornblende: An empirical igneous geobarometer. *Am. Min.*, 71, 1297-1313.
- Hollister, L.S., Grissom, G.C., Peters, E.K., Stowell, H.H. and Sisson, V.B. (1987) Confirmation of the empirical correction of Al in hornblende with pressure of solidification of calcic-alkaline plutons. *Am. Min.*, 72, 231-239.
- Johnson, M.C. and Rutherford, M.J. (1989) Experimental calibration of the aluminum in hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera (California) volcanic rocks. *Geol.*, 17, 837-841.
- Kee et al. (2010) Characteristics of jurassic continental arc magmatism in South Korea: Tectonic Implications. *The Journal of Geology*, v.118, p.305-323.
- Kim, I.J. (1991) Geochemistry of hydrothermal Alteration and clay deposits in the Haenam Area, Southwestern Korea. Thesis Ph.D. Univ. of Tokyo.
- Kim, C.B., Chang, H.-W. and Turek, A. (2003) U-Pb Zircon ages and Sr-Nd-Pb isotopic compositions for Permian-Jurassic plutons in the Ogcheon belt and Ryeongnam massif, Korea: Tectonic implications and correlation with the China Qinling-Dabie belt and the Japan Hida belt. *The Island Arc*, 12, 366-382.
- Kim, Y.J. and Kim, J.B. (1988) Petrological study on the Igneous rocks between Janggye and Imsil, Chonbuk. *J. Geol. Soc. Korea*, 24, 87-110.
- Kim, Y.J., Kim, J.B. and Park, J.B. (1991a) Petrochemistry and Petrogenesis of foliated granites in the Honam shear zone, South Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, 27, 52-63.
- Kim, Y.J. and Lee, C.S. (1999) The study on Igneous rocks and their Igneous activity in the Jansoo-Unbong area. *J. Geol. Soc. Korea*, 24, 111-131.
- Kim, Y.J., Oh, M.S. and Park, J.B. (1993a) Petrochemical study on the Kwangju granite body. *J. Korean Inst. Ming Geol.*, 26, 83-96.
- Kim, Y.J., Oh, M.S. and Park, J.B. (1993b) Petrochemical of Igneous rocks in Naju-Haenam area. *J. Korean earth science society*, 14, 300-315.
- Kim, Y.J., Park, Y.S., Choo, S.H., Oh, M.S. and Park, J.B. (1991a) The study on the Igneous activity in the south eastern (SE-Zone) of the Ogcheon Geosyncline Belt, Korea (III) (with the Igneous activity between Naju and Namchang area). *J. Korean Inst. Ming Geol.*, 24, 261-276.
- Kim, Y.J., Park, Y.S. and Kang, S.W. (1994) The study on geochronology and petrogenesis of foliated granites in the Honam Shear Zone, South Korea. *Econ. Environ. Geol.*, 27, 247-261.
- Kim, Y.J., Park, Y.S., Park, C.Y. and Kim, J. (1995) The study on Petrochemistry and Igneous Activity of Igneous Rocks in Naju-Youngam-Mogpo area. *J. Korean Earth Science Society*, v.16, n.6, p.442-461.
- Kim, Y.J., Lee, C.S. and Kim, H.N. (1998) Petrochemical and Petrogenesis on plutons in Jeonju-Jeongub area. *J. Korean Earth Science Society*, 16, 442-461.
- Kim, J.H., Ko, S.M., Lee, D.J., Park, J.K., Hong, S.S., Chae, S.C., Lee, H.J., An, K.O. and Seo, H.J. (1991) Studies of volcanogenesis epithermal mineralization and modelling (I); Korea Institute of Geology, Minerals and Materials. 143p.
- Kim, J.H., Ko, S.M., Lee, D.J., Park, J.K., Hong, S.S., Chae, S.C., Lee, H.J., An, K.O. and Seo, H.J. (1993) Studies of volcanogenesis epithermal mineralization

- and modelling (III); Korea Institute of Geology, Minerals and Materials. Report KR-92-(T)-25, 209p.
- Konings, R.J.M., Boland, J.N., Vriend, S.P. and Jansen, B.H. (1988) Chemistry of biotites and muscovites in the Abas granite, northern Portugal. *Am. Mineral.*, 73, 754-765.
- Leake, B.E. (1971) On Aluminous and Edenitic Hornblende. *Min. Magazine*, 38, 389-407.
- Leake, B.E. (1978) Nomenclature of amphiboles. *Min. Magazine*, 42, 533-563.
- Lee, D.S. (1971) Study on the igneous Activity in the middle Ogcheon Geosynclinal zone, Korea. *Jour. Geol. Soc. Korea*, 7, 153-216.
- Lee, S.Y., Lee, B.J., Cho, D.L., Gi, W.S., Ko, H.J., Kim, B.C., Song, K.Y., Hwang, J.H. and Choi, B.Y. (2003) SHRIMP U-Pb zircon ages of granitoid in Cheonju shear zone: Observation on movement stage in Honam shear belt (Abstract). *J. Petro. Soc. Korea*, 55p.
- Masonne, H.J. and Schreyer, W. (1983) A new experimental phengite barometer and its application to a Variscan subduction zone at the southern margin of the Rhenohercynicum: *terra Cognita*, 3, 18.
- Miller, C.F., Stoddard, E.F., Bradfish, L.J. and Dollase, W.A. (1981) Composition of Plutonic muscovite: genetic implications. *Can. Min.*, 19, 25-34.
- Miller, C.F., Wooden, J.L., Bennett, V.C., Wright, J.E., Solomon, G.C. and Hurst, R.W. (1990) Petrogenesis of the composite peraluminous-metaluminous Old Woman Piute Range batholith, southeastern California; isotopic constraints. in Anderson, J.L. ed., *Geol. Soc. Am. Memoir* 174, 99-109.
- Monier, G., Mergoil-Daniel, J. and Labernardiere, H. (1984) Generations successives de muscovite et feldspaths potassiques dans les leucogranite massif de Millevaches (Massif Central Français). *Bull. Mineral.*, 107, 55-68.
- Park, J.B. (1999) Petrological study on Kwangju granites, Korea. Ph. D. thesis, Chonnam Natl. Univ., 145p.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W. and Tindle. (1984) Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, 25, 956-983.
- Schmidt, M.W. (1992) Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al in hornblende barometer. *Contrib. Min. Petrol.*, 110, 304-310.
- Turek, A. and Kim, C.B. (1995) U-Pb zircon age of Mesozoic plutons in the Damyang-Geochang area, Ryongnam massif, Korea. *Chem. Jour.*, 29, 243-258.
- Velde, B. (1965) Phengitic micas; Synthesis, stability, and natural occurrence: *American Journal of Science*, 263, 886-913.
- Vyhnal, C.R., McSween, H.Y., Jr., Speer, J.A. (1989) Hornblende Chemistry in Southern Appalachian Granites and implications for Aluminium/hornblende geobarometry. *Geol. Soc. Am. Bull.* (abs. with prog.), 21, A324.
- Yanai, Shuichi, B.S. Park, Shigeru Otoh (1985) The Honam shear zone (South Korea): Deformation and tectonic imprecation in the Far East. *Earth science and Astronomy (scientific paper, College of Art and Science)*, Univ. of Tokyo, 35, 180-210.

2011년 10월 13일 원고접수, 2012년 10월 17일 게재승인