

충남 금산군 서북부에 분포하는 화성암류에 대한 암석화학적 연구

Petrochemical Study of Igneous Rocks Occurring in the Northwestern Part of Keumsan Area, Chungnam-do

김 원 사 (Won Sa Kim)* · 민 경 남 (Kyoung Nam Min)

충남대학교 지질학과

(Department of Geology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

요약: 충남 금산 서북부 지역에 분포하는 화성암류에 대해 암석화학적 연구를 실시하였다. 이 지역에는 선캄브리아기의 흑운모편마암과 시대미상의 옥천층군, 그리고 이들을 관입 또는 분출한 중생대 쥐라기의 흑운모화강암 및 백악기의 화산암, 홍색장석화강암, 석영반암 등이 존재한다. 흑운모화강암은 연변부로 갈수록 점이적으로 우백질 암상을 나타내는데, 중심부로부터 연변부로 갈수록 SiO_2 , Na_2O , K_2O 의 성분은 증가하는데 비해 Fe_2O_3 , CaO , P_2O_5 , MgO , TiO_2 성분은 감소하는 등 역누대구조를 나타낸다. 흑운모화강암과 석영반암은 비알칼리계열에 속하며, 우백질 흑운모화강암은 알칼리계열에 속한다. 또한 이들 화성암은 모두 I-type 화성암에 속하며, 동시에 칼크-알칼리계열의 결정분화작용에 부합하는 양상을 나타낸다. 쥐라기의 흑운모화강암은 Eu의 부현상(negative anomaly)이 미약하여 마그마 분화초기의 특징을 나타내는 반면, 백악기의 석영반암은 부현상이 뚜렷하여 진화가 상당히 이루어졌음을 시사한다.

주요어: 금산군, 화강암, 암석화학적 연구, 석영반암, 화산암

ABSTRACT: Igneous rocks occurring in the northwestern part of Keumsan area, Chungcheongnam-do were studied petrogeochemically. The geology of this area is composed mainly of the Precambrian biotite gneiss, age-unknown Ogchon supergroup, Jurassic biotite granite, and Cretaceous volcanic rocks, pink feldspar granite and quartz porphyry. The biotite granite is gradually changes to leucocratic nature by going from center to periphery of the rock mass. It shows variation, with distance from the center, in chemical components: SiO_2 , Na_2O and K_2O increase, whereas Fe_2O_3 , CaO , P_2O_5 , MgO , and TiO_2 decrease. Based on geochemical data, the biotite granite and quartz porphyry belong to subalkaline series and I-type. They show calc-alkaline differentiation trend. The biotite granite shows little negative Eu-anomaly pattern, whereas quartz porphyry show marked negative Eu-anomaly pattern, indicating that quartz porphyry was evolved further, when compared with biotite granite.

Key words: Keumsan, granite, petrochemical study, quartz porphyry, volcanic rocks

*교신저자: kimw@cnu.ac.kr

서 론

연구결과

충남 금산지역은 옥천지향사대의 중앙부에 위치하며, 이 지역은 선캠브리아기의 흑운모 편마암과 시대미상의 변성퇴적암류(옥천층군), 금산화강암체로 불리우는 중생대 쥐라기의 흑운모 화강암, 그리고 백악기의 화산암류와 심성암체 및 반암들로 이루어져 있다(지정만과 이계정, 1971; 지정만 1975; 김동학 등, 1978; 홍승호와 최위찬, 1978; 이대성 등, 1980; 이상만 등, 1980; 홍승호 등, 1980).

본 지역에 대한 기존의 연구는 옥천층군의 지질구조 및 층서에 관한 연구(장태우와 이재영, 1988)와 옥천지향사대에서 화성활동에 관한 연구(이대성과 남기상, 1969; 김정환과 이인기, 1973; 홍승호와 최위찬, 1978; 김동학 등, 1978; 이상만 등, 1980) 및 일부 형석 및 금·은 광상을 대상으로 한 광상학적인 연구가 수행된 바가 있으며(지정만, 1975; 최선규와 위수민, 1992), 진명식 등(1994)에 의한 지질연대 연구, 그리고 진호일 등(1995)에 의한 금산화강암체에 대한 암석화학적 연구가 수행된 바가 있다.

이번 연구에서는 금산군 서북부에 해당하는 금성면, 진산면, 추부면, 마전면, 군북면 일대에 분포하는 다양한 화성암류에 대하여 암석화학적 연구를 실시하는 것을 목적으로 삼았다.

연구방법

본 연구를 위하여 야외 지질조사를 실시하였으며, 지표 지질조사 시에는 국립지리원 발행의 1:25,000 지형도와 한국자원연구소 발행의 1:50,000 한국지질도 금산(홍승호와 최위찬, 1978), 대전(이상만 등, 1980), 옥천(김동학 등, 1978), 무주(홍승호 등, 1980) 도폭을 사용하여 암석의 분포양상, 특징, 암석의 상호관계를 조사하였다. 총 200여개의 암석시료를 채취하여 편광현미경 관찰하였으며, 결정구조를 통한 광물확인을 위해 X-선 회절분석을 실시하였으며, 주구성원소, 미량원소, 희토류원소 분석 등을 위해 X선형광분석법과 ICP-MS분석을 실시하였다.

지질 개요

본 연구지역은 1:50,000 지질도상에서는 대전도폭과 옥천도폭의 하부, 금산도폭과 무주도폭의 상부에 해당한다. 그러나 이 연구지역에 산출되는 각종 암석명 및 지질계통은 위에 기술한 4개의 지질도폭과 정확히 일치하지는 않는다. 본 연구지역에 산출되고 있는 암석의 지질계통을 정리하면, 이 연구지역의 최하부에는 선캠브리아기의 흑운모 편마암이 있으며, 그 상부에는 옥천층군이라 일컫는 시대미상의 천매암, 흑색 점판암, 천매암질 편암, 결정질석회암, 석회규산염암, 호상석회암이 분포하며, 아울러 중생대 쥐라기의 흑운모화강암, 백악기의 화산암인 유문암과 응회암, 홍색장석화강암, 규장암, 석영반암 등이 분포하고 있다. 염기성 암맥은 백악기 이전의 암석을 모두 관입하고 있으며, 그 분포면적은 매우 제한적이다.

흑운모 편마암

금산군 전역에서 산출되는 편마암류는 선캠브리아기의 흑운모편마암과 호상편마암이지만(홍승호와 최위찬, 1978), 본 연구지역에서 산출되는 편마암은 주로 흑운모편마암이다. 이들 암석은 쥐라기 흑운모화강암에 의해 관입을 받았으며 현수체(roof pendant)형태로 산출되고 있다. 산출규모는 비교적 소규모이며, 옥천층군과의 관계는 확실하지 않다. 엽리가 잘 발달되어 있으며, 주향은 N75°E이고 경사는 80°NW이다. 주 구성광물은 흑운모, 석영, 정장석이며 세립질을 나타낸다.

옥천층군

금산 도폭에 따르면 시대미상의 옥천층군은 마전리층, 창리층, 문주리층, 오대산 규암층, 비봉층 등으로 구성되어 있으나(홍승호와 최위찬, 1978), 본 연구지역 내에서는 마전리층과 창리층이 산출되며 두 층의 경계는 점이적이다.

마전리층은 연구지역의 북동부에서 남서쪽까지 연속적으로 분포하며, 석회규산염암, 결정질 석회암, 호상석회암으로 구성되어 있다. 이 중

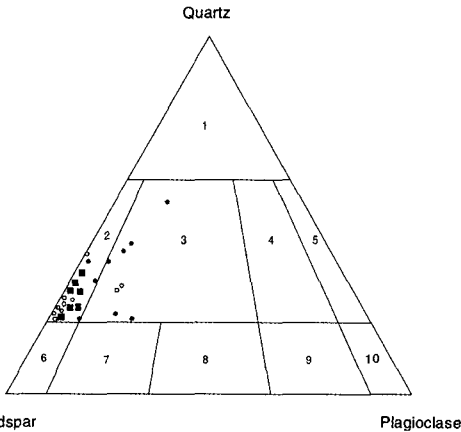


Fig. 1. Modal compositions of quartz, plagioclase and alkali-feldspar for the granitic rocks plotted on the IUGS classification scheme. ●= biotite granite, ○= biotite with leucocratic appearance, ■=pink feldspar granite.

에서 석회규산염암이 가장 넓게 분포하고 있으며, 이 암석은 기존의 호상석회암 등이 화강암의 관입을 받아 변성된 것들이다. 석회규산염암은 대체로 암녹색 또는 백색을 띠고 있으며, 층상구조를 나타내고 있다. 한편, 결정질석회암과 호상석회암은 모두 변성작용을 받아 재결정작용을 받았으므로 대리암으로 칭하는 것이 타당하다. 백색이며 간혹 어란상 조직을 나타내기도 한다. 창리층을 구성하는 암석은 주로 녹색 천매암과 흑색 점판암이며, 곳에 따라 흑색 탄질세일을 포함하고 있다.

흑운모 화강암

흑운모화강암은 연구지역의 중동부에서 넓은 저반으로 산출된다. 암상은 중립질 또는 세립질이며, 이 암체의 북동부에서는 거정질의 반상조직이 뚜렷하다. 또한 마전리층과의 인접부에서는 우백질 암상의 화강암으로 존재하지만 두 암상 간의 관계는 점이적이다.

흑운모화강암은 I.U.G.S. 분류에 의하면 알칼리장석 화강암 또는 화강암 영역에 속한다(그림 1). 진명식 등(1994)은 흑운모화강암 속에 들어있는 스펀에 대해 피선트랙(FT)법으로 연령을 측정된 결과 약 104 Ma인 것을 알았으며 그들은 이러한 연대 측정결과와 동위원소교란으로 인한 연령감소 현상을 고려하여 흑운모화강암

의 관입시기는 약 200 Ma 전후의 쥬라기일 것으로 보고하였다.

유문암

유문암은 주로 연구지역의 북동부인 서대산에 주로 분포하고 있으며, 흑운모화강암을 부정합으로 피복하고 있다. 이 암석은 세립질로서 현미경하에서 유상구조가 뚜렷이 관찰된다. 유문암의 분출시기는 K/Ar법에 의해 158~85 Ma로 백악기 중엽인 것으로 보고되었다(이대성과 오민수, 1972).

응회암

연구지역에 산출하는 응회암은 암상의 특징에 따라 각력응회암, 화산력응회암, 응회암으로 세분할 수가 있다. 각력 응회암은 담황색을 띠며 치밀한 조직을 가지며, 각력의 암편들을 상당량 함유하고 있다. 기질은 세립질의 석영, 정장석, 사장석으로 구성되어 있다. 화산력응회암은 회백색을 띠며 각력 응회암 보다는 덜 치밀하다. 화산력들은 대부분 규암이나 유문암이며, 기질은 사장석, 정장석, 석영, 흑운모 등으로 되어 있다. 전형적인 특징의 응회암은 우백색을 띠며, 화산회로만 주로 구성되어 있다. 석기는 석영, 정장석, 사장석 등으로 구성되어 있다.

홍색장석화강암

홍색장석화강암은 흑운모화강암과 옥천층군의 암석을 관입하였다. 지역에 따라 암상에 약간의 차이가 있지만, 장석의 함량, 조직, 색 등은 대체로 유사하다. 주요 구성광물로는 석영과 정장석, 미사장석 등이며 소량의 흑운모가 함유되어 있다. 이 암석은 I.U.G.S. 분류에 의하면 알칼리장석 화강암 영역에 도시된다(그림 2). 저어콘을 대상으로 피선트랙(FT)법으로 연대 측정된 결과, 이 암체의 관입시기는 약 63 Ma인 것으로 보고되었다(진명식 등, 1994).

석영반암

석영반암은 쥬라기의 흑운모화강암과 옥천층군을 관입하고 있다. 대체로 담황갈색 내지 담

Table 1. Major elements analyses (wt.%) and CIPW norms of the granitic and volcanic rocks from Keumsan area

	Biotite granite				Biotite granite*			Quartz porphyry		Tuff		Rhyolite	
	KS13	KS8-2	LP22-2	LP6-2	MG9	MJ3	LP6-5	KS17	KS22	O-6	KS-4	JK-11	SO-1
SiO ₂	61.41	57.72	67.30	62.75	65.52	76.71	76.16	77.32	77.53	71.54	72.17	74.37	71.60
TiO ₂	0.82	1.35	0.69	0.78	0.06	0.05	0.06	0.07	0.06	0.28	0.18	0.07	0.21
Al ₂ O ₃	16.87	18.08	16.71	17.64	20.50	13.70	13.67	13.23	12.68	15.22	13.15	13.92	14.70
Fe ₂ O ₃	5.03	6.15	1.82	4.16	0.45	0.38	0.69	0.93	1.15	2.27	1.81	1.09	2.39
MnO	0.05	0.05	0.03	0.04	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.05	0.05	0.03	0.01
MgO	1.73	2.17	1.15	1.57	0.12	0.06	0.07	0.03	0.03	0.43	0.61	0.08	0.15
CaO	4.45	6.11	3.61	3.83	2.35	0.40	0.70	0.09	0.23	1.03	2.10	0.74	0.53
Na ₂ O	3.69	4.02	6.01	4.51	4.98	3.28	3.14	2.60	3.12	3.20	2.73	1.71	3.95
K ₂ O	2.63	2.13	1.16	2.61	5.44	5.05	5.45	4.90	4.67	4.10	5.06	7.54	5.29
P ₂ O ₅	0.26	0.38	0.21	0.25	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.04	0.01	0.03
L.O.I.	2.59	1.48	0.68	1.04	0.62	0.39	0.12	0.86	0.60	1.35	1.71	0.60	0.83
Total	99.53	99.64	99.37	99.18	100.07	100.04	100.08	100.07	100.09	99.49	99.61	100.16	99.69
q	15.94	8.68	18.70	14.65	10.32	37.18	35.07	42.72	40.32	33.20	30.92	33.24	25.77
or	15.54	12.59	6.85	15.42	32.15	29.84	32.20	28.95	27.60	24.23	29.90	44.55	31.26
ab	31.22	34.01	50.85	38.16	42.14	27.75	26.57	22.00	26.40	27.08	23.10	14.47	33.42
an	20.38	25.00	15.19	17.37	11.59	1.92	3.41	0.32	1.08	4.98	8.68	3.61	2.43
ap	0.62	0.90	0.50	0.59	0.02	0.02	0.02	0.05	0.02	0.05	0.09	0.02	0.07
il	1.56	2.56	1.31	1.48	0.11	0.09	0.11	0.13	0.11	0.53	0.34	0.13	0.40
c	0.49			1.03	2.17	2.13	1.36	3.53	2.10	3.69		1.62	1.58
mt	0.88	1.07	0.32	0.72	0.08	0.07	0.12	0.16	0.20	0.39	0.31	0.19	0.42
di		1.17	0.76								0.54		
hd		1.19	0.33								0.70		
en	4.31	4.86	2.51	3.91	0.30	0.15	0.17	0.07	0.07	1.07	1.27	0.20	0.37
fs	5.63	5.66	1.24	4.48	0.52	0.46	0.86	1.20	1.49	2.74	1.90	1.43	2.95
D.I	62.70	55.28	76.40	68.23	84.60	94.78	93.84	93.68	94.32	84.50	83.91	92.26	90.45

*: biotite granite showing leucocratic appearance.

색이며, 2~3 mm 정도 크기의 석영 반정 또는 장석 반정을 가진다. 현미경하에서 구과상 조직, 취반상 조직, 그리고 미문상조직이 관찰된다. 이 암석에 존재하는 저어콘과 인회석을 대상으로 피선트랙(FT)법으로 연령측정한 결과가 암석의 관입시기가 약 66~75 Ma인 것으로 나타났다(진명식 등, 1994).

화성암류에 대한 암석화학

주성분원소

금산지역에 분포하고 있는 흑운모화강암, 우백질 흑운모화강암, 석영반암, 응회암, 그리고 유문암에 대한 주성분원소의 분석결과는 표 1과 같다. 흑운모화강암과 이와 접이적 관계에

있는 우백질 흑운모화강암의 SiO₂ 함량을 비교해 보면 전자는 57.72~67.30 wt.%의 범위의 값을 보이고 있으나, 후자는 65.52~76.71 wt.%로 후자에서 뚜렷히 증가함을 알 수 있다. 기타 주구성원소 간의 특징을 보면(그림 2) SiO₂ 함량이 증가함에 따라 Al₂O₃, TiO₂, CaO, Fe₂O₃, MnO, MgO, P₂O₅ 등은 감소하는 부(負)의 상관관계를 보이며, K₂O는 정(正)의 상관관계를 나타낸다. 한편, Na₂O는 약간 감소하는 경향이 있으나 그 정도가 미미하다. 이러한 원소별 차이는 흑운모화강암의 경우 사장석이 약 2~18%가 존재하는데 비해, 우백질 흑운모화강암에는 0.6~12% 정도 함유되어 있는 점으로 설명된다. 또한 K-장석인 경우도 전자에서는 약 40~62% 함유되어 있으나, 후자에는 K-장석이 60~78% 정도 함유되어 있는 사실에 기인한 것으로

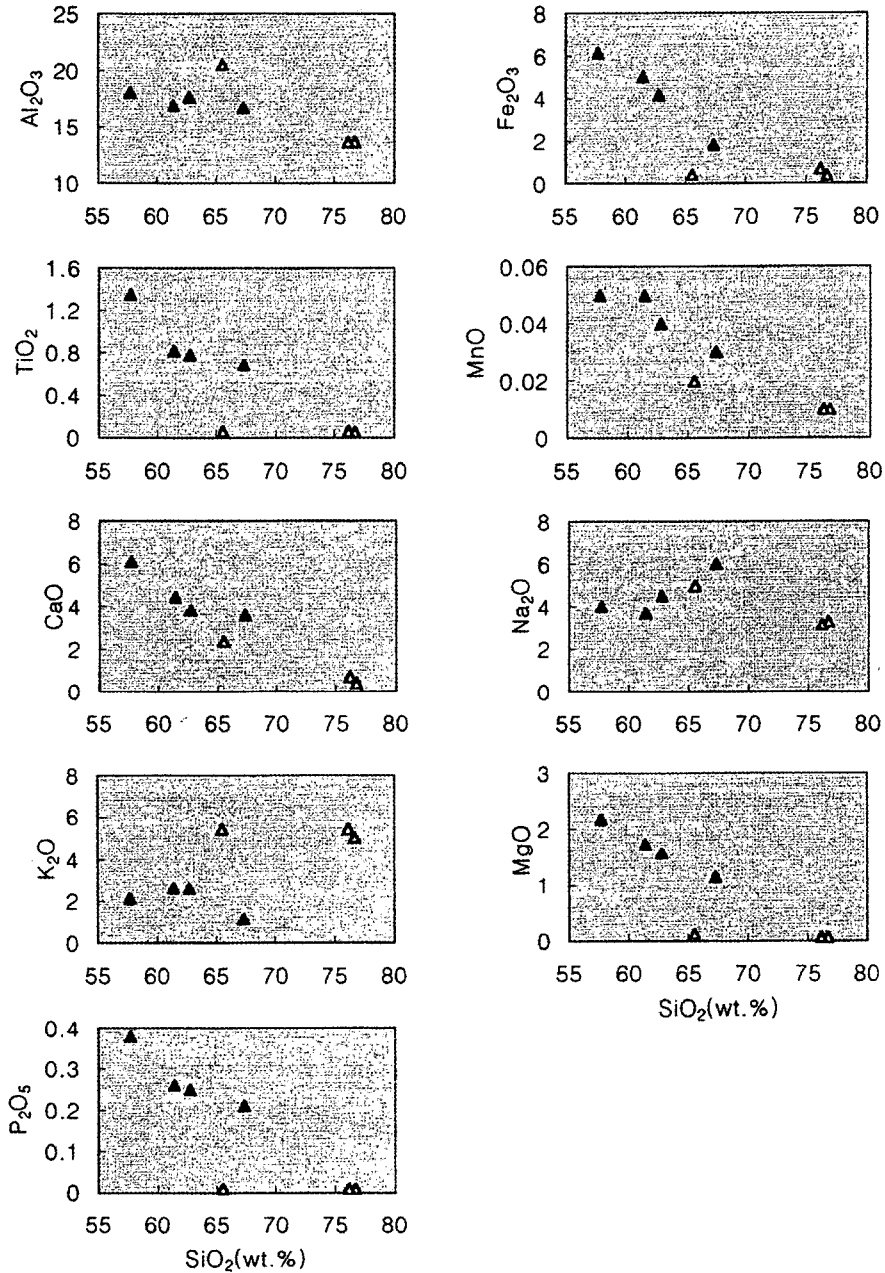


Fig. 2. Abundances of some major components plotted against SiO₂ contents for the biotite granite. ▲= biotite granite, △= biotite with leucocratic appearance.

판단된다. 이러한 원소별 상관관계는 마그마 분화에 따른 주성분원소들의 일반적인 변화 경향과는 달리 역누대현상을 나타낸다. Fe₂O₃ 차이는 흑운모화강암에서는 흑운모가 0.3~13% 정도 함유되어 있으나 우백질 흑운모화강암에는

약 1% 미만으로 존재하기 때문인 것으로 해석된다. 또한 SiO₂의 경우, 석영반암이 약 77.32~77.53 wt.%, 화산암류가 71.54~74.37 wt.%로서 흑운모화강암보다 크게 높다. 흑운모화강암의 중심부와 연변부의 주성분원소의 특징을 비교

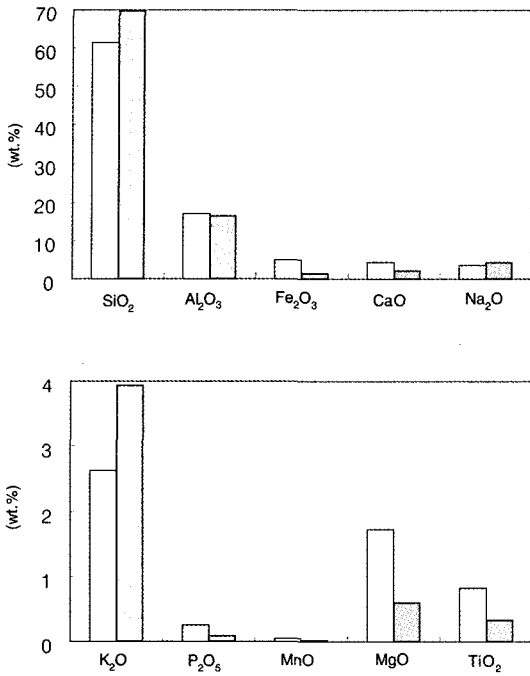


Fig. 3. Comparison of some major components of biotite granite mass. □=center, ■=margin.

해 보면(그림 3), SiO₂, Na₂O, K₂O의 성분은 중심부보다 연변부가 높으며, Fe₂O₃, CaO, P₂O₅, MgO, TiO₂는 중심부가 높다.

이 지역에 분포하는 화강암류 및 화산암류를 형성했던 마그마의 특성을 추정하기 위해 SiO₂와 Na₂O+K₂O와의 관계도에 도시해 본 결과(그

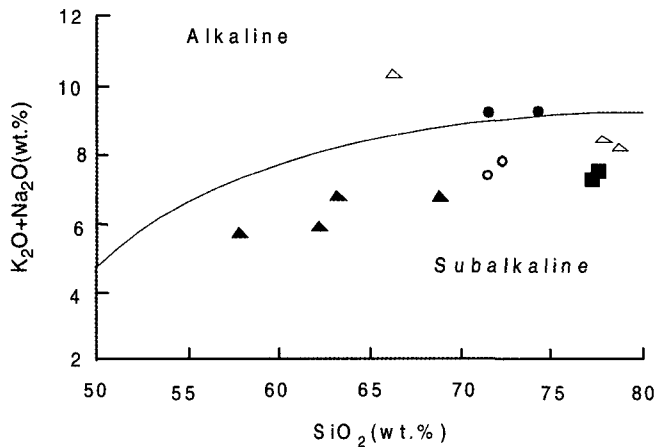


Fig. 4. Plots of (Na₂O+K₂O) versus SiO₂ for the granite, quartz porphyry and volcanic rocks. ▲=biotite granite, △=biotite granite with leucocratic appearance, ●=rhyolite, ○=tuff, ■=quartz porphyry.

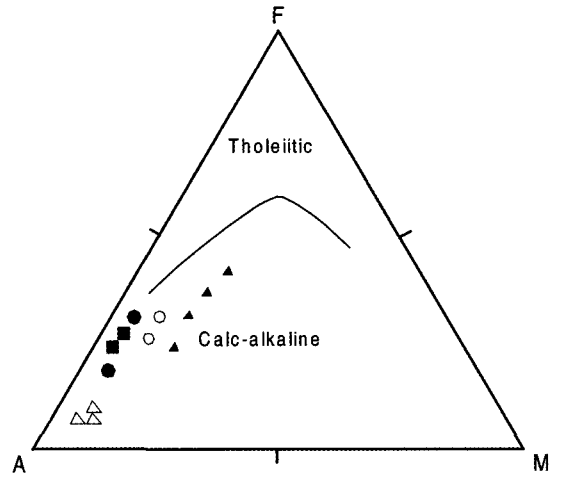


Fig. 5. AFM diagram for the granitic, quartz porphyry and volcanic rocks. A=Al₂O₃ + Fe₂O₃ - (Na₂O + K₂O), F=FeO + MgO + MnO, M=MgO/(MgO+FeO). ▲=biotite granite, △=biotite granite with leucocratic appearance, ●=rhyolite, ○=tuff, ■=quartz porphyry.

림 4), 흑운모화강암, 우백질 흑운모화강암, 석영반암, 응회암은 비알칼리계열(subalkaline series)에 속함을 알 수 있고, 유문암은 알칼리계열(alkaline series)의 특징을 나타낸다. 또한 AFM 삼각도에 투영해 보면, 칼크-알칼리암 계열이 나타내는 결정분화작용 평균조성 변화곡선에 모두 잘 일치함을 알 수 있다(그림 5). 또한 대부분의 화강암체가 A-F 선상에 가까이 투영되

Table 2. Trace elements analyses (ppm) of the granitic and volcanic rocks

	Biotite granite				Biotite granite*			Quartz porphyry		Tuff		Rhyolite	
	KS-13	KS8-2	LP22-2	LP6-2	MG-9	MJ-3	LP6-5	KS-17	KS-22	O-6	KS-4	JK-11	SO-1
Sc	5.01	7.76	4.39	4.50	1.37	0.98	1.27	3.43	4.03	7.71	4.86	2.36	6.31
Cr	6.63	6.38	7.23	27.63	3.18	2.87	3.83	5.28	7.93	12.98	10.58	1.84	5.13
Co	10.63	13.28	4.22	8.38	0.57	0.57	0.61	1.32	0.28	2.54	0.00	0.48	0.41
Ni	4.39	4.89	3.22	3.69	1.62	1.35	1.79	1.61	1.65	4.54	5.34	1.88	1.22
Cu	13.76	16.81	6.26	6.16	3.44	2.49	2.25	3.48	2.58	2.99	5.21	2.77	2.07
Zn	89.95	92.95	27.10	29.60	10.15	12.15	11.80	21.45	44.25	38.90	45.30	18.75	18.10
Ga	44.75	44.60	42.20	42.15	37.35	20.45	24.50	19.00	17.60	38.90	27.40	22.75	54.35
Rb	93.34	69.84	39.49	91.84	257.84	169.34	239.84	184.84	171.34	208.84	198.84	278.34	178.34
Sr	527.05	378.05	508.05	501.05	183.55	119.55	118.05	51.05	24.00	107.05	219.55	120.55	176.55
Y	12.87	15.17	12.42	11.82	9.57	1.35	1.57	22.52	38.92	32.07	31.72	27.17	27.82
Zr	19.45	37.05	38.55	30.35	86.05	54.55	52.05	84.55	98.05	177.05	79.05	100.55	370.55
Nb	13.47	16.82	11.12	11.12	16.52	4.32	1.50	16.12	13.17	17.32	7.67	10.72	24.77
Cs	1.08	1.77	1.04	3.40	8.05	4.49	4.85	1.67	2.22	4.24	13.35	3.28	1.71
Ba	884.26	916.26	792.76	761.26	409.76	91.76	249.76	79.26	61.26	964.26	407.76	219.76	1543.26
Hf	0.51	1.00	0.77	0.83	2.40	2.06	2.14	3.42	3.69	4.41	2.51	3.78	7.39
Ta	0.58	1.05	0.74	0.81	1.41	0.17	0.01	0.88	0.45	0.49	0.73	0.42	2.20
Pb	12.45	16.35	13.50	12.20	22.70	35.30	46.90	13.10	25.15	11.15	24.85	40.55	14.85
Th	11.05	11.00	6.35	4.16	7.95	26.15	12.50	17.70	17.35	17.90	18.45	18.25	20.40
U	1.36	2.46	1.40	1.98	2.17	5.51	2.52	2.44	3.35	1.68	3.69	2.27	3.55

*: biotite granite showing leucocratic appearance.

는데 이를 Petro *et al.* (1979)에 의한 해석을 적용해 보면 compressional 형에 의한 화성활동 결과로 생성된 것으로 판단된다. ACF 삼각도를 이용하면 이 지역의 화강암류는 I-type 화강암에 속함을 알 수 있고, 일부 유문암만이 S형에 가깝다(그림 6).

미량원소

전암 분석을 통해 얻어진 19종의 미량원소 분석결과는 표 2와 같다. Sr의 함량은 흑운모화강암(118.05~527.05 ppm)이 백악기의 석영반암(24.00~51.05 ppm) 및 화산암류(107.05~219.55 ppm)보다 월등히 높음을 나타낸다. 하지만 Rb, U, Zr, Hf 함량은 우백질 흑운모화강암과 백악기의 석영반암, 화산암류에서 높게 나타난다. 여기서 SiO₂의 증가에 따라 Rb가 증가하는 것은 K와 거동이 유사한 이 원소가 K-장석 또는 흑운모 내에서 K를 치환하면서 존재하기 때문인 것으로 해석된다. 한편, 맨틀기원의 마그마 내에서 분별정출작용이 진행됨에 따라 감소하는 것으로 알려진 Ni, Co, Cr, Sc 원소(Ringwood,

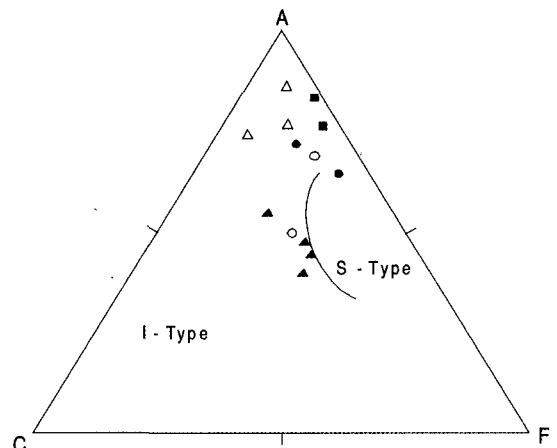


Fig. 6. ACF diagram for the granitic, quartz porphyry and volcanic rocks. A=Al₂O₃ + Fe₂O₃ - (Na₂O + K₂O), C=CaO - 3.3 P₂O₅, F=FeO + MgO + MnO. ▲=biotite granite, △=biotite granite with leucocratic appearance, ●=rhyolite, ○=tuff, ■=quartz porphyry.

1955; Mason and Moor, 1982)들은 이 화강암류에서도 유사한 경향을 나타낸다.

Pearce *et al.* (1984)은 화성암의 성인을 조구

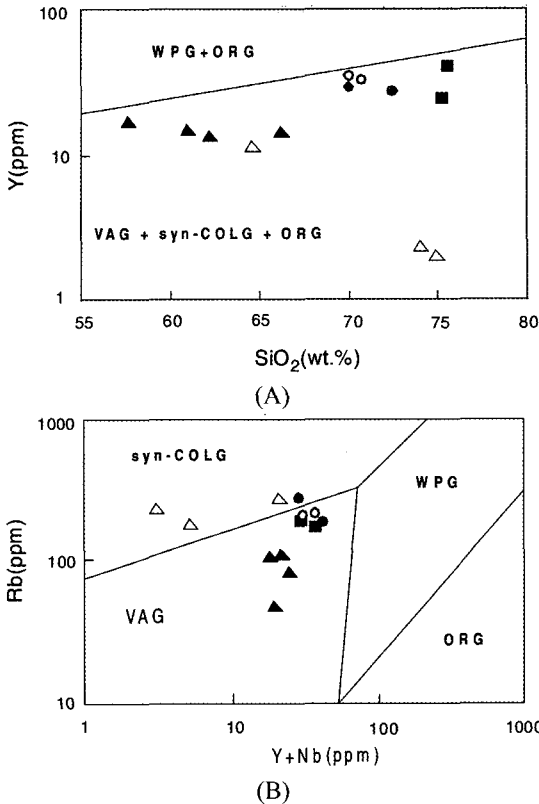


Fig. 7. Y versus SiO₂ (A) and Rb versus (Y+Nb) (B) discrimination diagrams of the the granitic, quartz porphyry and volcanic rocks. ▲=biotite granite, △=biotite granite with leucocratic appearance, ●=rhyolite, ○=tuff, ■=quartz porphyry.

조적 정치(tectonic setting)에 따라 분류해 본 결과 판(plate)의 동시충돌형(syncollision), 화산호형(volcanic arc), 판의 내부형(within plate) 그리고 해령형(ocean ridge)으로 구분된다고 하였다. 따라서, 후운모화강암과 백악기 석영반암 그리고 화산암류를 SiO₂-Y 관계도에 도시하면(그림 7A) 화산호형 또는 판의 동시충돌형, 해령형 영역의 특징을 모두 나타나는데 비해, Rb-(Y+Nb) 관계도(그림 7B)에서는 화산호형 화강암에 속한다. 이로부터 이들 화성암이 태평양 연안의 현재 조산대와 유사한 환경에서 생성되었을 것으로 추측된다.

희토류원소

전암 분석에 의해 얻어진 희토류 원소의 분

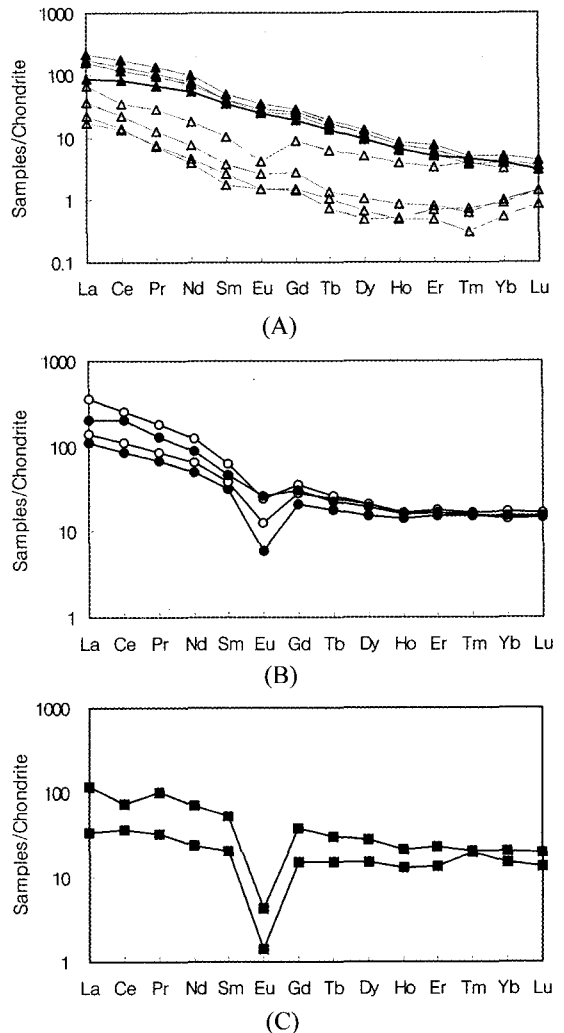


Fig. 8. Chondrite-normalized REE pattern ranges for the biotite granite (A), volcanic rocks (B) and quartz porphyry (C). ▲=biotite granite, △=biotite granite with leucocratic appearance, ●=rhyolite, ○=tuff, ■=quartz porphyry.

석치와 chondrite-normalized REE 값은 표 3과 같다. 그리고 이 분석치를 토대로 작성한 chondrite-normalized REE 분산 양상은 그림 8과 같다.

REE 경향분석과 Eu-이상(anomaly)은 마그마의 축적과정을 유추하는데 유용하게 이용되고 있는데, Drake and Weill (1975) 및 Tsusue *et al.* (1987)에 의하면 사장석과 마그마 용액간의 Eu 분배는 산소분압과 함수관계가 있음을 지적한 바가 있다. 즉, Eu³⁺와 Eu²⁺ 중 Eu²⁺는 사장

Table 3. REE analyses (ppm) and chondrite-normalized values of the granitic and volcanic rocks

	Biotite granite				Biotite granite*			Quartz porphyry		Tuff		Rhyolite	
	KS-13	KS8-2	LP22-2	LP6-2	MG-9	MJ-3	LP6-5	KS17	KS22	O-6	KS-4	JK-11	SO-1
La	43.70	52.40	38.75	21.10	16.15	5.40	9.10	8.20	29.15	89.40	34.45	27.55	49.55
Ce	87.39	110.39	75.39	51.89	21.84	8.84	13.74	22.99	48.09	164.39	69.39	54.89	129.39
Pr	10.24	13.34	9.44	6.44	2.71	0.68	1.18	3.15	9.59	17.19	8.19	6.49	12.19
Nd	37.55	48.05	34.35	25.50	8.55	1.88	3.64	11.15	33.95	59.45	31.20	23.30	41.75
Sm	6.34	7.84	6.29	5.29	1.60	0.27	0.58	3.19	8.04	9.74	5.94	4.80	7.19
Eu	1.65	2.04	1.53	1.45	0.24	0.09	0.15	0.08	0.25	1.40	0.73	0.35	1.53
Gd	5.14	5.89	4.73	3.82	1.76	0.28	0.57	3.09	7.59	7.24	5.74	4.24	6.24
Tb	0.64	0.72	0.54	0.49	0.23	0.03	0.05	0.56	1.13	0.98	0.91	0.67	0.83
Dy	2.89	3.38	2.49	2.30	1.27	0.13	0.27	3.79	6.94	5.29	5.34	3.93	4.93
Ho	0.42	0.46	0.35	0.36	0.22	0.03	0.05	0.73	1.21	0.93	0.95	0.82	0.90
Er	1.01	1.25	0.87	0.84	0.56	0.11	0.13	2.26	3.78	2.73	2.99	2.53	2.80
Tm	0.11	0.13	0.09	0.12	0.10	0.02	0.02	0.51	0.52	0.41	0.42	0.40	0.39
Yb	0.68	0.82	0.64	0.63	0.52	0.15	0.16	2.51	3.40	2.39	2.88	2.49	2.50
Lu	0.09	0.11	0.08	0.08	0.09	0.04	0.04	0.34	0.49	0.38	0.42	0.39	0.39
Chondrite-normalized value													
La	178.66	214.23	158.42	86.26	66.03	22.08	37.20	33.52	119.17	365.49	140.84	112.63	202.58
Ce	136.99	173.05	118.18	81.34	34.23	13.85	21.53	36.04	75.38	257.70	108.77	86.04	202.83
Pr	106.63	138.92	98.29	67.04	28.24	7.09	12.30	32.82	99.85	179.02	85.27	67.56	126.94
Nd	79.25	101.41	72.50	53.82	18.04	3.97	7.68	23.53	71.65	125.47	65.85	49.17	88.12
Sm	41.16	50.90	40.83	34.34	10.38	1.72	3.75	20.70	52.19	63.23	38.56	31.16	46.68
Eu	28.45	35.09	26.29	24.91	4.21	1.47	2.64	1.41	4.34	24.05	12.50	6.05	26.29
Gd	25.14	28.82	23.16	18.71	8.62	1.38	2.80	15.11	37.14	35.42	28.08	20.76	30.53
Tb	17.03	19.30	14.36	13.21	6.23	0.72	1.34	14.89	30.27	26.12	24.39	17.97	22.11
Dy	11.39	13.29	9.81	9.06	4.99	0.50	1.06	14.93	27.32	20.83	21.03	15.46	19.41
Ho	7.44	8.17	6.17	6.38	3.86	0.51	0.86	12.79	21.34	16.40	16.75	14.37	15.78
Er	6.07	7.55	5.23	5.05	3.39	0.67	0.80	13.63	22.79	16.46	18.00	15.23	16.89
Tm	4.45	5.12	3.63	4.49	3.83	0.74	0.63	19.96	20.16	15.90	16.45	15.63	15.20
Yb	4.11	4.99	3.90	3.81	3.14	0.90	0.99	15.23	20.62	14.47	17.44	15.08	15.17
Lu	3.56	4.35	3.08	3.08	3.56	1.42	1.38	13.40	19.41	14.82	16.60	15.22	15.30

*: biotite granite showing leucocratic appearance.

석의 정출과 함께 소모되므로, Eu- 이상(anomaly)을 통해 산소분압에 관한 정보를 얻을 수 있다고 하였다. 쥘라기의 흑운모화강암의 경우 우백질 흑운모화강암이 중심부의 흑운모화강암보다 다소 더 뚜렷한 Eu이 부(負)의 경향을 나타내는데(그림 8 A), 이러한 현상은 우백질 화강암 내에 사장석의 함량이 중심부보다 적기 때문이 것으로 해석된다. 하지만 쥘라기 흑운모화강암체는 전체적으로 비교적 완만한 양상을 나타내는데 이러한 사실은 이들 암석이 마그마 분화 초기에 형성된 것임을 의미한다. 이와 대조적으로 강한 부의 경향을 나타내는 백악기의 화산암과 석영반암은 보다 많은 진화가 이루어진

마그마의 특징을 나타낸다(그림 8 B, C). 또한 HREE에 비해 LREE가 상대적으로 부화되어 있는 칼크-알칼리암 계열의 분화특징도 나타낸다.

결론

1) 금산지역의 지질은 선캠브리아기의 흑운모편마암과 시대미상의 옥천층군 그리고 이를 관입, 분출한 쥘라기의 흑운모화강암과 백악기의 화산암, 홍색장석화강암 및 석영반암 및 유문암으로 이루어져 있다.

2) 흑운모화강암은 마전리층과의 경계부에서 우백질 암상을 나타내며, 그 상호관계는 점이적

이다. 이 암체의 중심부에서 연변부로 갈수록 SiO₂, Na₂O, K₂O의 성분은 증가하는데 비해 Fe₂O₃, CaO, P₂O₅, MgO, TiO₂ 성분은 감소한다. 이러한 현상은 중심부에서 연변부로 갈수록 K-장석이 증가하고 흑운모는 오히려 감소하는 사실로 설명히 되며, 일반적인 경향과 역누대현상을 나타내는 특징을 나타낸다.

3) SiO₂에 대한 Na₂O와 K₂O의 변화를 도시한 결과 본 연구지역에 분포하는 쥬라기의 흑운모화강암과 백악기의 석영반암은 비알칼리계열에 속하며, 우백질 흑운모화강암은 알칼리계열에 속한다. 또한 이들 암석을 ACF 삼각도에 도시한 결과 모두 I-type 화강암과 칼크-알칼리 계열의 결정분화작용 특징에 잘 부합하는 양상을 나타낸다.

4) 흑운모화강암의 중심부와 연변부의 우백질 화강암에서의 Sr과 Rb를 비교하면, Sr은 중심부분이 높은 반면, Rb는 연변부가 높다. 이러한 현상은 Sr은 마그마 정출초기에 형성되는 광물 내에 자리잡는 대신 잔류용액에 풍부히 농집되었기 때문이며, Rb는 초기에 정출하는 광물 내에 치환으로 소모되었음을 의미한다.

5) 쥬라기 흑운모화강암은 Eu의 부현상이 미약한 것으로 미루어 마그마 분화초기의 특징을 나타내는 반면, 백악기의 석영반암은 뚜렷한 부현상을 나타내어 진화가 많이 이루어졌음을 의미한다. 하지만 두 암석은 동위원소로부터 형성된 것이 아니므로 동위원소 등의 연구가 추가로 필요하다.

사 사

이 논문을 읽어 주시고 미비점과 오류를 지적해 주신 김정진 교수님과 익명의 심사위원님께 진심으로 감사드립니다. 논문연구 중에 사용한 지질도를 포함하여 화학분석자료, X선회절분석 자료, 현미경사진, 그림 등을 모두 포함시킬 경우 논문분량이 크게 늘어난 것을 우려하여 상당부분을 제외하였음을 밝히며, 이들 자료가 필요하신 분은 저자에게 연락주시면 제공해 드리도록 하겠습니다. 논문에 사용된 자료를 정리하는데 도움을 준 충남대학교 대학원 지질학과 의 신현숙과 Baatar Amarjargal 연구생들에게 감사하며, 전암화분석을 해주신 한국기초과학지원연구원 부산분원과 충남대학교 공동실험실습관의 담당자들도 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김동학, 장태우, 김원영, 황재하 (1978) 한국지질도(1:50,000). 옥천지질도폭 설명서, 자원개발연구소. 21p.
- 김정환, 이인기 (1973) 한국지질도(1:50,000). 용담 지질도폭 설명서, 국립지질연구소. 25p.
- 이대성, 남기상 (1969) 한국지질도(1:50,000). 장거리 지질도폭 설명서, 국립지질조사소, 33p.
- 이대성, 오민수 (1972) 운장산지대 화산암체의 암석학적연구. 지질학회지, 8(3), 129-155.
- 이대성, 지정만, 이대운 (1980) 옥천지향사대에서 화성활동에 의한 광화작용의 유형에 관한 연구. 광산지질학회지, 13, 167-184.
- 이상만, 김형식, 나기창 (1980), 한국지질도(1:50,000). 대전지질도폭 설명서, 자원개발연구소, 26p.
- 장태우, 이재영, 윤선 (1988) 옥천대 남부지역 옥천층군의 지질구조 및 층서. 지질학회지, 24, 4, p. 340-355.
- 지정만, 이계정 (1971) 남한의 형석광상. 지질광상조사연구보고, 제13호, 1-367.
- 지정만 (1975) 남한의 형석광상의 성인에 관한 연구, 광산지질, 8, 25-56.
- 진명식, 신성천, 김성재, 주승환, 지세정 (1994) 옥천습곡대 중서부지역 화강암과 반심성암의 동위원소연대와 화성활동사. 동위원소지질연구 KR-93-1G-2, 한국자원연구소, 54p.
- 진호일, 민경원, 전효택, 박영석 (1995) 금산지역에 분포하는 화강암류의 암석지구화학. 자원환경지질, 28, 123-137.
- 진호일, 전효택, 민경원 (1996) 금산지역 형석광화작용과 관련된 화강암류의 불소 지구화학. 자원공학회지, 33, 121-127.
- 최선규, 위수민 (1992) 에렉트럼의 화학조성과 관련된 한국 중부지역 금은광상의 성인적 특성. 지질학회지, 28, 196-217.
- 홍승호, 이병주, 김원영 (1980) 한국지질도(1:50,000). 무주도폭설명서, 자원개발연구소, 28p.
- 홍승호, 최위찬 (1978) 한국지질도(1:50,000). 금산지질도폭 설명서, 자원개발연구소, 29p.
- Drake, M.J. and Weill, D.F. (1975) Partition of Sr, Ca, Y, Eu and other REE between plagioclase feldspar and magmatic liquids; an experimental study. Geochim. Cosmochim. Acta, 39, 669-712.
- Mason, B. and Moor, C.B. (1982) Principles of geochemistry. 4th ed., John Wiley and Sons, 344p.
- 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., 25, 956-983.
- Petro, W.L., Vogel, T.A. and Wilband, J.T. (1979)

- Major-element chemistry of plutonic rocks suites from compressional and extensional plate boundaries. *Chemical Geology*, 26, 217-235.
- Ringwood, A.E. (1955) The principles governing trace element distribution during magmatic crystallization. part I: The influence of electro magnetivity. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 19, 189-202.
- Tsutsue, A., Mizuta, T., Tamai, T. and Kim, S.W. (1987) Mesozoic granitic rocks of South Korea: Trace element evidence regarding their differentiation. *J. Japan, Assoc. Min. Petr. Econ. Geol.*, 82, 23-35.
-
- 2006년 6월 7일 원고접수, 2006년 6월 15일 게재승인.