Jour. Petrol. Soc. Korea Vol. 11, No. 3-4, p. 214~233, 2002

무등산 지역에 분포하는 화성암류의 암석화학

김용준* · 박재봉 · 박병규

전남대학교 지구환경과학부, 기초과학연구소

Petrochemistry on igneous rocks in the Mt. Mudeung area

Yong-Jun Kim*, Jay-Bong Park and Byeong-Kyu Park

Faculty of Earth System and Environmental Science, Jeonnam National University

요 약: 무등산 지역 화성암류는 화강편마암, 각섬석흑운모화강섬록암, 백악기 화성암류로 구성되어 있다. 백악기 화성암류는 안산암-데사이트-유문암으로 구성된 화산암류와 미문상화강암과 석영반암 등의 심성-반심성암으로 구성되어 있다. 이들 화성암류는 중생대 송림변동-대보운동-불국사변동의 화성활동 산물로서 각 지질시대에 분출-관입한 화성암류들의 일련의 분화산물들로서 칼크-알카리암 계열에 속한다. 이는 대륙이나 대륙연변부에서 구조운동시 생성되는 화강암류가 보이는 특징과 일치한다. 총희토류 함량에 대한 La/Yb 변화도와 바나듐에 대한 SiO_2 변화도는 화산암에 대한 분화도와 자철석 분별결정작용을 받은 순서가 화순안산암→ 무등산데사이트→석영반암 임을 지시해 준다. 광물성분 중에서 사장석과 흑운모의 화학성분은 분화에 따른 전암 성분 변화와 잘 일치하며, 각섬석 지압력계에 의한 마그마의 정치-고결 심도는 석영섬록암은 약 15 Km(4.9 Kbar)이고, 각섬석흑운모화강섬록암은 약 2.0~3.2 Km (0.6~1.0 Kbar) 이다. 무등산 지역의 화성암류를 형성시킨 마그마 유형은 I형(자철석 계열) 및 동시충돌성화강암(syn-COLG)에 해당한다.

중요어: 지화학, 무등산 지역, 분화, 자철석 분결작용, 지압계

Abstract: Igneous rocks of Mt. Mudeung area are composed of Pre-Cambrian granite gneiss, Triassic hornblende-biotite granodiorite, Jurassic quartz diorite and Cretaceous igneous rocks. The Cretaceous igneous rocks consist of volcanic rocks (Hwasun andesite, Mudeung-san dacite and Dogok rhyolite) and granitic rocks (micrograpic granite and quartz porphyry). Major elements of the Cretaceous igneous rocks represent calc-alkaline rock series and correspond to a series of differentiated products from cogenetic magma. Igneous activity of Mt. Mudeung area started from volcanic activity, and continued to intrusive activity at end of the Cretaceous. In chondrite normalized REE pattern, most of igneous rocks of Mt. Mudeung area show similar pattern of Eu (-) anomaly. This is a characteristic feature of granite in continental margin by tectonic movement. Variation diagrams of total REE vs. La/Yb and V vs. SiO_2 indicate differentiation and magnetite fractionation sequential trend of Hwasun andesite → Mudeungsan dacite → quartz porphyry. In mineral composition of these igneous rocks in mt. Mudeung area, composition of plagioclase and biotite coincidence with variation of whole rock composition, and emplacement and consolidation of magma is about 15 Km (about 4.9 Kbar) in Jurassic quartz diorite and 2.0~3.2 Km (0.6~1.0 Kbar) in Triassic hornblende-biotite granodiorite used by amphibolite geobarometer. Parental magma type of these granitic rocks of mt. Mudeung area corresponds to VAG field in Pearce diagram, and I-type in ACF diagram.

Key words: geochemistry, Mt. Mudeung area, differentiation, magnetite fractionation, geobarometer

서 언

무등산 지역은 광주광역시 동부와 전남 화순군 서부 및 담양군 남부지역이 만나는 곳에 위치한 무등산(1187 m)과 그 주위 지역을 포함하는 곳으로서, 기존 연구는 동복지질도폭(김봉균과 박병권, 1966)과 광주지

*Corresponding author: Tel. 82-62-530-3451, E-mail. yongjun@chonnam.chonnam.ac.kr

질도폭(김규봉 외, 1990) 조사에서 비교적 자세히 수행되었으나 화성암체에 대한 연구는 아직까지 거의 이루어지지 않았다. 무등산 지역은 선캠브리아기 부터 백악기에 이르는 다양한 화성암류로 구성되어 있으며, 특히 무등산은 대부분 넓게 분포하는 무등산 용암류와 이를 관입하는 불국사 화강암류로 구성되어 있다.

이 연구의 목표는 무등산 지역에 분포하는 화성암류에 대한 암석-광물의 화학적 특징, 분출-관입 시기 및 주요 화성암류의 광물 조성을 밝히므로서 광주 동부지역에서의 백악기 화성활동과 이들 화성암류의 암석화학적 특징을 밝히는데 있다.

이 연구를 위하여 무등산 지역에 대한 정밀 야외지질조사와 채취된 암석시료 에 대한 전암화학분석과 전자현미분석이 실시하였다.

지질개요

무등산지역은 선캠브리아기의 편마암체를 기저로 이를 부정합으로 덮는 변성퇴적암류의 평안계층과 이들을 관입하는 트라이아스기 화강암 그리고 상기의 모든 암층을 관입 또는 부정합의 관계로 덮는 백악기 화성쇄설암-퇴적암-화강암류로 이루어져 있다(Fig. 1).

편마암 복합체는 정편마암류와 준편마암류로 구분된다. 정편마암류는 화강편마암과 반상변정질화강편마암으로 구성되며 이들의 형성 시기는 이웃한 소백산 편마암복합체의 동일 암상에서 미루어 볼 때 원생대 초기~중기(주승환과 김성재, 1986; 김용준, 1988; 김용준 외, 1995)에 해당하며, 준편마암도 암층 사이의 상호관계로 보아 이들 정편마암류 보다 얼마간 더 고기에 속할 것으로 추정된다.

변성 평안계는 연구지역 동남부에 소규모로 분포하며 장동층에 의하여 부정합의 관계로 덮여 있다. 구성암은 사암, 세일, 운모편암, 역질사암 등으로 구성되며 탄층이 협재되어 있어 곳곳에 탄을 채굴하던 탄광의 흔적을 관찰 할 수 있다.

트라이아스기 각섬석-흑운모화강섬록암은 광주 동부에 위치하는 소규모 저반 이나 암주상 화강암 관입체들과 화순읍과 남서부에 북동-남서향의 암주상 관입체로 산출되는 소위 송림화강암류에 속하는 광주화강암류(김용준 외, 1993a, 1993b. 1995, 1998; 주승환과 지세정, 1990; 김종환 외, 1993)이며, 관입-정치 시기는 203~222 Ma(주승환과 김성재, 1986; 김용준 외, 1990)으로 트라이아스기에 해당한다.

쥬라기 석영섬록암은 무등산 동남 산록에 소규모 암주들로서 분포하며, 신선한 암색은 암회색에서 담회색까지 점이적인 변화를 보이나 풍화면에서는 황갈색을 띤다.

Table 1. Geological sequence of Mt. Mudeung area.

Quat.	Alluvium
	~ ~ ~ unconformity ~ ~ ~
Cret.	Dikes
	------ intrusion -------
	Micrographic granite
	------ intrusion -------
	Quartz porphyry
	------ intrusion -------
	Mudeung-san dacite
	-------- ? ---------
	Dogok rhyolite
	Changdong Formation
	Hwasun andesite
	Manweol-san tuff
	Oreri Formation
	~ ~ ~ unconformity ~ ~ ~
Jura.	Quartz diorite
	-------- ? ---------
Tria.	*Hornblende-biotite granodiorite*
	(Gwangju granites)
	------ intrusion -------
Paleo.	Meta-Pyeongan Supergroup
	~ ~ ~ unconformity ~ ~ ~
Pre-camb.	Granite gneiss

백악기 퇴적암-화성암류는 주로 화성쇄설암류와 화산성 퇴적물로 이루어진 퇴적암류(오례리층. 만월리 응회암과 장동층). 화산암류(화순안산암, 도곡유문암과 무등산 석영안산암)와 화강암류(석영반암, 미문상화강암)로 구성되어 있다.

충적층은 무등산 골짜기와 산록지역에 분포하며 분급이 나쁜 모래, 뻘 및 자갈 등으로 구성되어 있다. 무등산지역의 지질계통은 Table 1과 같다.

화성암류에 대한 암석기재

무등산지역에 분포하는 화성암류는 트라이아스기 각섬석-흑운모화강섬록암, 쥬라기 석영섬록암 그리고 백악기의 화산암류인 화순안산암, 도곡유문암, 무등산석영안산암, 석영반암과 맥암류로 구성되어 있다.

트라이아스기 각섬석-흑운모화강섬록암과 흑운모화강섬록암은 소위 광주화강암체에 속하는 암상들(김용준 외, 1993)로서 각섬석-흑운모 화강섬록암상은 무등산 서쪽 기슭과 화순읍 남부에 소규모 암주상 관입체로 분포하며, 특히 조선대학 구내의 노두에서 발견되

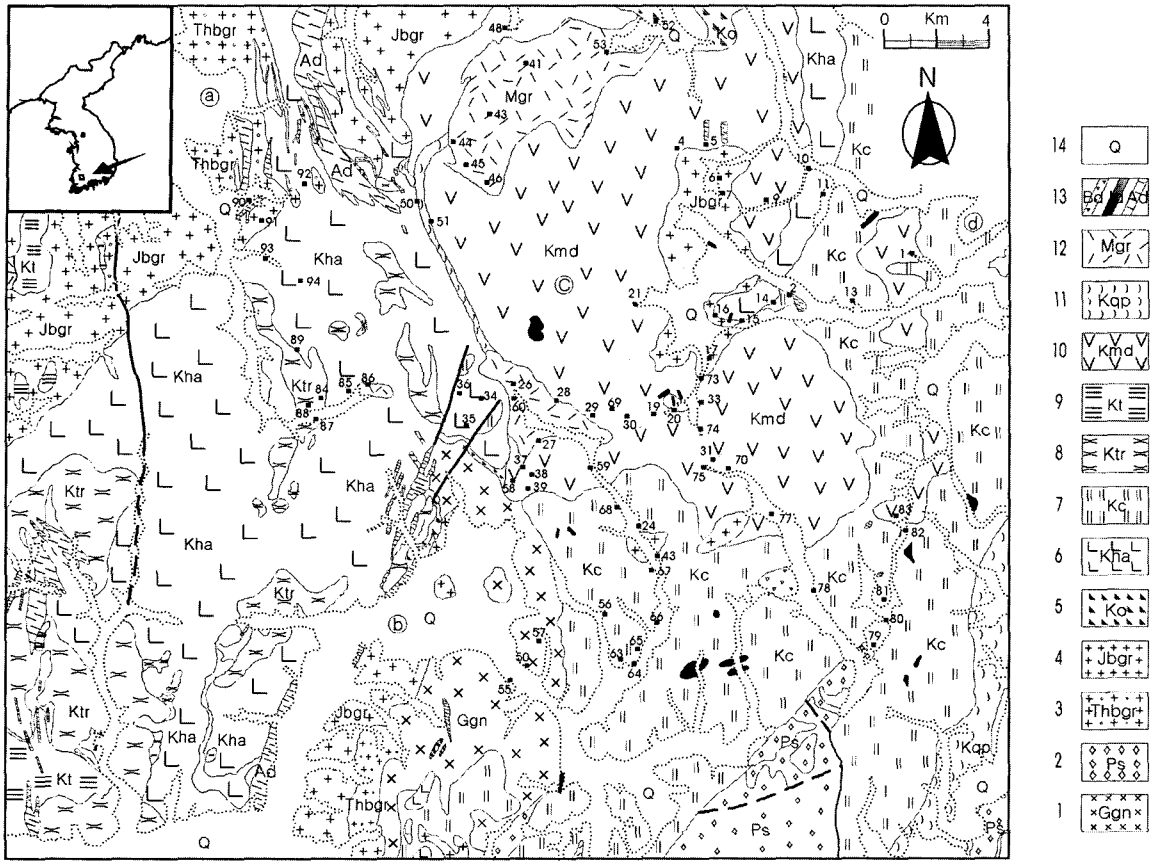

Fig. 1. Geological and rock sampling site map of Mt. Mudeung area. 1; Pre-cambrian granite gneiss, 2; Meta pyeongan system, 3; Triassic hornblende-biotite granodiorite, 4; Biotite granodiorite, 5; Oleri formation, 6; Cretaceous Hwasun andesite, 7; Changdong gormation, 8; Dogok rhyolite, 9; Tuffs, 10, Cretaceous Mudeungsan dacite, 11, Quatrz porphyry, 12; Cretaceous micrographic granite, 13; Ad: Acidic dykies, Id: Intermediate dykies, Bd: Basic dykies, 14; Alluvium ⓐ; Gwanju, ⓑ; Hwasun, ⓒ; Mudeung san, ⓓ; Gokseong.

는 비교적 큰자형의 각섬석 결정들을 함유하는 조립질 암상과 그밖에 광주화강암류 분포지역에서 발견되는 세립의 침상이나 주상결정의 각섬석을 함유하는 중립질 암상으로 구성된다. 조립질 암상이 심하게 초생변질작용(deuteric alteration)을 받은데 비하여 중립질 암상은 거의 변질되어 있지 않은 것이 특징이다. 각섬석 흑운모화강섬록암상의 주조성광물은 석영, 사장석, 미사장석, 흑운모와 각섬석이고, 부조성광물은 저어콘, 인회석, 스펜과 불투명광물이다. 흑운모화강섬록암상은 광주지역과 화순 남서부에 분포하며 편마암복합체를 관입하는 조립질의 균질한 괴상암체로서 주조성광물은 석영, 사장석과 흑운모이고 부조성광물은 자철석, 저어콘과 인회석 등이다.

석영섬록암은 무등산 동남부에 해당하는 안양산 남부지역에 소규모 암주상으로 산출되며 대부분 채석장(대보석재 갈두리 채석장과 삼신석재 새터채석장)으로 개발되어 채굴되고 있거나 채굴되었던 채굴적이 관찰된다. 이들 암체에서 관찰되는 암색은 암체 연변부에서는 암회색내지 암청색을 띠는데 비하여 암체 중심부로 갈수록 밝아져서 담회색내지 회색을 띠며, 이 암색변화는 암체 연변부로 갈수록 유색광물의 함량 증가로 색지수가 높아진 결과이다. 섬록암을 암색에 따라 구분해 보면 적어도 3가지 이상으로 구분 가능하나 이 논문에서 구분하지 않았다. 그리고 밝은 암상은 어두운 암상을 관입 및 포획하는 것이 관찰되는 것으로 미루어 이들 암상들은 분화과정에서 열분산작용으로 초기 분화상에 속하는 어두운 암상이 냉각시 형성된 절리 등을 따라서 후기 암상에 속하는 밝은 암상이 관입

Table 2. Chemical compositions (Wt.%) and their CIPW normative compositions of major elements for igneous rocks in the Mt. Mudeung area.

	GGn (■)				Thbgr (◆)							Jqd (●)	
	Mdj-11	Mdj-13	Mdj-41	Md103-2	Md-6	Md-7	Md-26	Md-27	Md-34	Md-37	Md-39	Md31-1	Md31-2
SiO_2	75.28	75.32	73.52	75.01	58.47	58.69	66.56	67.02	67.94	65.29	67.53	57.62	56.75
Al_2O_3	13.30	13.49	13.44	13.63	18.47	19.10	15.69	15.56	15.15	15.42	14.92	17.11	17.43
Fe_2O_3	0.92	0.86	1.96	0.07	1.73	1.02	1.65	1.77	1.48	1.91	1.86	1.66	1.82
FeO	1.14	1.14	0.72	1.51	5.46	5.31	2.44	2.59	2.59	2.94	2.44	5.75	5.82
MgO	0.34	0.35	0.41	0.19	2.87	2.67	1.78	1.76	1.70	2.40	1.89	3.98	3.91
CaO	0.75	0.29	1.95	1.13	6.07	5.25	3.77	3.23	3.30	4.21	3.46	7.23	7.57
Na_2O	2.81	2.33	2.27	2.92	2.74	3.53	3.44	3.24	3.28	3.29	3.04	2.88	3.11
K_2O	5.02	5.77	5.33	5.20	2.28	2.69	3.67	3.74	3.57	3.38	3.82	1.91	1.52
TiO_2	0.21	0.22	0.19	0.11	1.01	0.84	0.53	0.58	0.51	0.59	0.55	0.88	1.05
P_2O_5	0.08	0.07	5.33	0.03	0.19	0.20	0.12	0.13	0.11	0.13	0.12	0.22	0.25
MnO	0.02	0.03	0.04	0.03	0.10	0.10	0.07	0.09	0.08	0.11	0.09	0.12	0.12
Total	99.87	99.87	99.92	99.83	99.39	99.40	99.72	99.71	99.71	99.67	99.72	99.36	99.35
Q	37.39	38.24	35.36	34.32	13.81	9.68	21.33	23.54	24.61	20.18	24.46	10.49	9.47
c	2.08	3.05	0.00	1.22	0.91	1.32	0.00	0.62	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00
or	29.69	34.14	35.51	30.73	13.48	15.90	21.69	22.11	21.10	19.98	22.58	11.29	8.98
ab	23.76	19.72	19.20	24.71	23.18	29.87	29.11	27.41	27.75	27.84	25.72	24.37	26.31
an	3.17	0.97	9.13	5.41	28.87	24.74	16.54	15.18	15.65	17.33	15.79	28.12	29.12
di	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.12	0.00	0.00	2.19	0.48	5.18	5.59
hy	1.87	1.94	8.04	3.06	14.26	14.36	6.26	6.89	7.07	7.96	6.68	15.32	14.66
mt	1.34	1.25	6.27	0.10	2.51	1.48	2.39	2.57	2.15	2.77	2.70	2.41	2.64
il	0.39	0.42	0.36	0.21	1.92	1.60	1.01	1.10	0.97	1.12	1.04	1.67	1.99
ap	0.20	0.17	0.61	0.07	0.45	0.47	0.28	0.31	0.26	0.31	0.28	0.52	0.59
Total	99.89	99.90	114.48	99.83	99.39	99.42	99.73	99.73	99.71	99.68	99.73	99.37	99.35

	Jqd (●)			Kha (▼)						Kjd (▽)		Kmd (△)	
	Md31-3	Md31-4	Md-95	Md-14	Md-29	Md-48	Md-49	Md-83	Md-67	Md66-1	Md-68	Md-4	Md-19
SiO_2	56.79	55.46	58.76	59.66	66.98	65.00	66.97	59.32	68.31	76.32	75.00	71.16	79.81
Al_2O_3	16.72	17.59	16.48	18.03	15.60	16.46	15.66	18.03	15.74	13.68	13.92	14.55	11.02
Fe_2O_3	2.87	2.10	1.18	0.74	2.04	2.03	1.96	3.42	3.10	1.07	0.82	0.86	0.17
FeO	5.32	5.89	6.04	5.17	2.40	2.59	2.30	3.02	1.01	0.72	1.15	2.01	1.00
MgO	4.25	4.17	3.63	2.26	1.45	1.68	1.48	1.85	0.43	0.15	0.31	0.76	0.19
CaO	7.39	7.69	6.86	6.62	3.56	4.31	3.67	4.53	1.27	0.05	0.81	2.17	0.66
Na_2O	2.68	3.07	2.83	3.22	3.64	3.82	3.63	4.52	4.65	5.04	2.81	3.55	3.43
K_2O	2.06	1.91	2.37	2.49	3.38	2.96	3.28	3.60	4.64	2.73	4.88	4.18	3.42
TiO_2	0.97	1.08	0.88	0.92	0.56	0.59	0.55	1.00	0.53	0.13	0.09	0.37	0.13
P_2O_5	0.22	0.25	0.18	0.25	0.15	0.17	0.15	0.27	0.15	0.02	0.02	0.10	0.03
MnO	0.14	0.13	0.12	0.07	0.09	0.10	0.09	0.10	0.06	0.01	0.06	0.06	0.02
Total	99.41	99.34	99.33	99.43	99.85	99.71	99.74	99.66	99.89	99.92	99.87	99.77	99.88
Q	10.67	6.58	11.21	11.97	22.70	19.50	22.91	7.50	20.56	36.17	37.20	27.88	44.46
c	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.12	2.39	2.59	0.48	0.55
or	12.18	11.29	14.01	14.72	19.98	17.50	19.39	21.28	27.42	16.41	28.84	24.71	20.21
al	22.68	25.97	23.94	27.24	30.80	32.32	30.71	38.24	39.34	42.64	23.78	30.04	29.02
an	27.51	28.58	25.27	27.39	16.25	19.03	16.75	18.28	5.32	0.12	3.89	10.11	3.08
di	6.27	6.50	6.28	3.15	0.35	0.69	0.38	1.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
hy	13.59	14.74	14.82	11.55	5.40	6.14	5.36	4.94	1.07	0.62	2.17	4.37	1.99
mt	4.16	3.04	1.71	1.07	2.96	2.94	2.84	4.96	1.91	1.55	1.19	1.25	0.25
il	1.84	2.05	1.67	1.75	1.06	1.12	1.04	1.90	1.01	0.25	0.17	0.70	0.25
ap	0.52	0.59	0.43	0.59	0.36	0.40	0.36	0.64	0.36	0.05	0.05	0.24	0.07
Total	99.42	99.34	99.34	99.43	99.86	99.64	99.74	99.67	98.12	99.92	99.87	99.78	99.88

하거나 포획하여 이루어진 것으로 사료된다. 석영섬록암의 주조성광물은 사장석, 일반휘석, 자소휘석, 흑운모, 석영과 자철석으로, 부조성광물은 녹염석, 녹니석 등으로 이루어져 있다.

Table 2. Continued.

	Kmd (△)					Kqp (▲)				Mgr (○)					
	Md-20	Md-51	Md-52	Md-74	Md-76	Md-46	Md-55	Md-73	Md92-2	Md-33	Md-38	Md-41	Md-43	Md-53	Md-86
SiO_2	67.48	69.46	72.66	69.72	67.28	65.62	76.34	69.27	74.70	69.02	74.33	76.26	76.01	76.20	75.01
Al_2O_3	16.99	15.00	13.93	14.83	15.77	16.10	12.85	15.33	14.16	14.64	13.76	12.85	12.64	12.85	13.54
Fe_2O_3	1.52	1.47	0.89	1.18	1.65	2.45	0.02	1.36	0.27	1.58	0.39	0.06	0.38	0.10	1.34
FeO	2.87	2.01	1.65	2.16	2.23	2.30	1.15	2.01	1.08	3.43	1.00	1.43	1.15	1.37	0.72
MgO	1.13	0.97	0.63	0.71	1.02	1.63	0.47	0.72	0.21	0.61	0.41	0.21	0.31	0.28	0.42
CaO	1.99	2.62	1.85	1.83	2.81	3.90	0.73	1.75	0.30	1.67	0.63	0.30	0.89	0.29	1.06
Na_2O	2.98	3.37	3.36	3.80	3.89	3.69	2.37	4.02	3.09	3.92	2.45	3.07	2.97	3.18	2.91
K_2O	4.10	4.24	4.39	4.89	4.24	3.18	5.74	4.64	5.54	4.40	6.57	5.39	5.22	5.32	4.50
TiO_2	0.52	0.45	0.31	0.46	0.57	0.60	0.15	0.49	0.20	0.44	0.21	0.20	0.23	0.20	0.30
P_2O_5	0.08	0.11	0.08	0.11	0.13	0.17	0.02	0.11	0.03	0.10	0.10	0.02	0.03	0.03	0.08
MnO	0.02	0.07	0.06	0.07	0.08	0.10	0.05	0.07	0.03	0.07	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04
Total	99.68	99.77	99.81	99.76	99.67	99.74	99.87	99.77	99.61	99.88	99.88	99.83	99.87	99.85	99.92
Q	27.28	26.06	30.77	23.15	20.37	21.00	37.49	22.75	33.97	16.17	32.69	35.81	35.79	35.40	38.17
c	4.22	0.37	0.48	0.22	0.00	0.00	1.44	0.78	2.61	0.63	1.71	1.47	0.56	1.41	2.15
or	24.23	25.06	25.95	28.90	25.06	18.80	33.93	27.47	32.74	26.01	38.83	31.86	30.85	31.44	26.60
ab	25.21	28.51	28.43	32.15	32.91	31.22	20.05	34.01	26.14	33.17	20.73	25.97	25.13	26.91	24.62
an	9.35	12.28	8.66	8.36	13.05	17.98	3.49	7.96	1.29	7.63	2.47	1.36	4.22	1.24	4.74
di		0.00	0.00	0.00	0.03	0.21	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
hy	6.01	4.28	3.46	4.13	4.46	5.35	3.11	3.68	2.01	5.92	2.24	2.84	2.26	2.86	1.05
mt	2.20	2.13	1.29	1.71	2.39	3.55	0.03	1.97	0.39	2.29	0.57	0.09	0.55	0.14	1.58
il	0.99	0.85	0.59	0.87	1.08	1.14	0.28	0.93	0.38	0.84	0.40	0.38	0.44	0.39	0.57
ap	0.19	0.26	0.19	0.26	0.31	0.40	0.05	0.26	0.07	0.24	0.24	0.05	0.07	0.07	0.19
Total	99.68	99.80	99.82	99.77	99.68	99.65	99.87	99.78	99.61	92.90	99.88	99.83	99.87	99.86	99.92

화순안산암은 안산암질 응회암, 안산암질 용암과 관입암으로 구성되며 안산암질응회암은 광주시 남변부와 화순읍 북서부 일대에만 분포하며 나머지 지역은 대부분 안산암질 용암이나 관입체로 이루어져 있으며, 각섬석-흑운모화강섬록암을 관입하며 오례리층을 정합의 관계로 덮는다. 안산암질응회암은 녹회색 혹은 자갈색을 띠는 5~10 mm 내외의 담록색 암편과 부석등을 함유하고 있어 화산력응회암이나 조립질응회암에 속한다. 안산암질 용암은 여러 차례 분출한 용암층으로 이루어진 용암복합체로서 암록색 내지 암회색을 띠고 풍화면에서는 갈색 내지 적갈색을 띠며 전반적으로 반정이 없는 괴상이 우세하나 부분적으로 미반정을 포함하여 반상조직을 보이는 부분과 행인구조를 포함하는 부분도 관찰되며 또 미약한 유상구조를 보이는 부분도 있다. 행인구조는 방해석, 녹니석과 옥수 등으로 충진된 타원상을 이룬다. 반정은 대부분 사장석이 우세하나 얼마간의 유색광물들도 포함된다. 화순안산암은 사장석, 유리질 물질과 녹니석화 된 유색광물들로 구성되며, 미정질 결정들이 유리질 바탕에 흩어져 있어 유리기류정질(hyalopilitic)이나 피로테시틱(pilotaxitic)조직을 형성하고 있다.

도곡유문암은 담홍색을 띠며 대부분 유상구조가 발달된 유문암으로, 광주시 남서부와 화순읍 북서부에 소규모 용암이나 관입체로서 분포하고, 화순안산암을 부정합적으로 덮거나 관입한다. 유상구조는 대개 2~5 mm 두께의 홍색대와 담색대의 교호로 이루어져 있으며 관입체에서는 이들 대 사이의 간격이 크고 구분이 희미해져 규장암처럼 보이기도 한다. 도곡유문암의 주조성광물은 사장석과 흑운모로, 부조성광물은 자철석과 금홍석 등으로 구성되며 유동구조를 이루는 홍색대는 은정질 내지 유리질이, 그리고 백색대는 주로 미정질의 석영으로 이루어져 있으며 이차적으로 형성된 구과상구조(spherulite)가 유동구조를 따라 발달되어 있는 부분도 관찰된다.

무등산석영안산암(데사이트)은 신선한 면에서는 회색 내지 암회색을 띠나, 풍화면에서는 적회색을 띠고 반상구조를 보이는 용암류로서 무등산 정상과 주능선 지역에 해당하는 담양군 남서부, 화순군 북서부와 광주시 북동 연변부에 분포하며 석영반암과 미문상화강암에 의하여 관입되어 있고, 부분적으로 발달된 유상구조와 특징적인 수직상의 주상절리가 잘 발달되어 있다. 반정은 대부분 사장석이고 간혹 석영, 각섬석으로 함유되어 있으며 안산암을 포획하기도 한다. 사장석 반정은 반투명의 회백색을 띠며 그 크기는 대부분 1~2 mm이나 드물게 5 mm에 달하는 것도 관찰된다. 각섬석 반정은 장주상으로 1 mm × 3 mm가 흔하다. 유리질 바탕

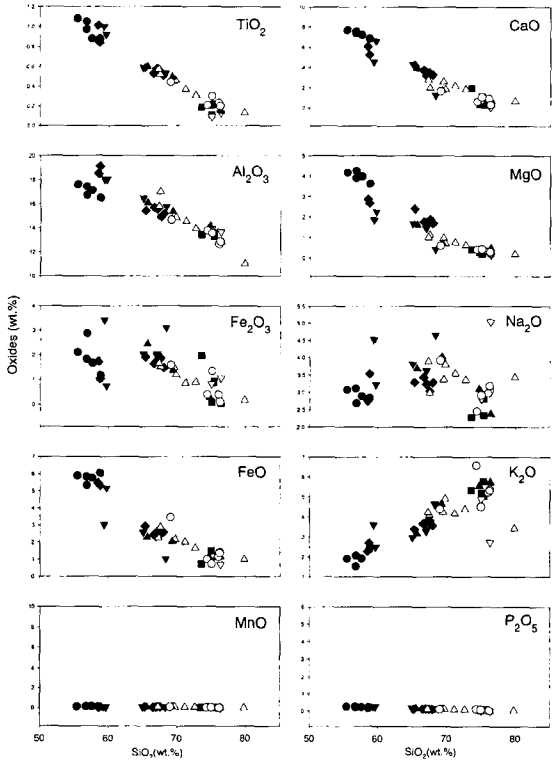

Fig. 2. Harker diagram of major elements (wt.%) for igneous rocks in the Mt. Mudeung area. Symbols are same as those of Fig. 3.

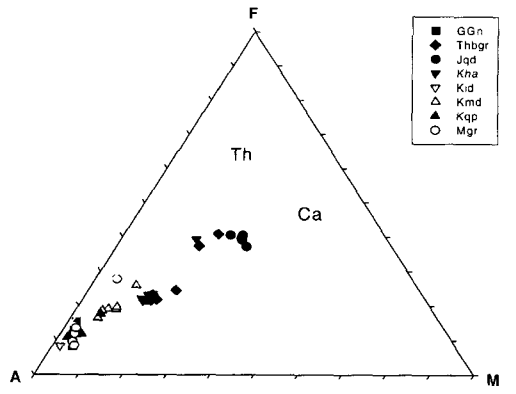

Fig. 3. AMF diagram for igneous rocks in the Mt. Mudeung area. A: Na_2O+K_2O, M: MgO, F: total iron calculated as FeO, Th: tholeiitic series, Ca: calc alkali rock series. GGn; granite gneiss, Thbgr; hornblende-biotite granodiorite, Jqd; Jangdong tuff Kha; Hwasun andesite, Kid; acidic dykies, Kmd; dacite, Kqd; quatrz porphyry, Mgr; micrographic granite.

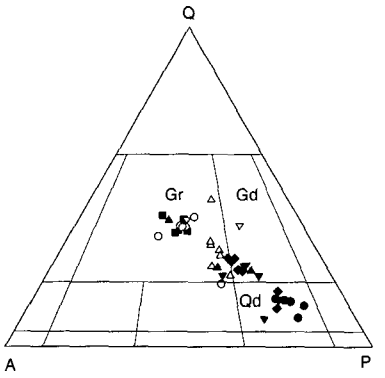

Fig. 4. Normative QAP diagram for igneous rocks in Mt. Mudeung area. Q: quartz, A: alkali feldspar, P: plagioclase. Gr: granite, Gd: granodiorite, Qd: quartz-diorite Symbols are same as those of Fig. 3.

은 미약한 용결구조를 보이는 부분도 관찰되어 일부는 용결응회암으로부터 형성되었을 가능성도 보여준다.

석영반암은 회백색 내지 담황색을 띠며 석영과 장석을 반정으로 함유하는 반암상으로서 무등산 서측 산사면에서 고도 500 m 정도에 위치하는 폭 300 m 내외의 환상 암맥으로 화순안산암과 무등산석영안산암의 경계부를 따라 거의 수직으로 관입 분포한다. 석영반암의 주조성광물은 석영, 사장석, 정장석과 흑운모로, 부조성광물은 자철석 등으로 구성되며, 석기는 미정질의 석영과 장석으로 이루어져 있다. 석영반정은 거의 구형으로 보이는 자형 결정으로 이루어져 있으며 결정면이 쉽게 인지되고 부분적으로 석기에 의하여 융식되거나 만곡된 결정면도 관찰된다.

미문상화강암은 홍색 내지 담홍색을 띠며, 무등산 북사면과 남서부 수만리 지역에서 암주상 관입체로 분포하며 상술한 모든 암층을 관입한다. 미문상화강암의 주조성광물은 석영, 정장석, 사장석과 흑운모이고 부조성광물은 각섬석, 자철석, 인회석과 저어콘 등으로 구성되어 있다. 석영은 정장석과 연정을 이루어 미문상조직을 이루며 흑운모는 녹니석화 되어 있고 벽개면을 따라 미립의 자철석 등이 배열되어 있다.

암맥류는 산성암맥과 중성암맥으로 구분되며 후자가 우세하다. 전자에 속하는 것으로 석영맥, 규장암 및 페그마타이트 암맥이 후자는 반상안산암상이나 괴상의 안산암상으로 산출된다.

화성암류에 대한 암석화학

무등산지역에 분포하는 화성암류의 암석화학적 특성을 밝히기 위하여 화강편마암 4개, 각섬석-흑운모 화강섬록암 7개, 석영섬록암 5개, 화순 안산암 6개, 장동

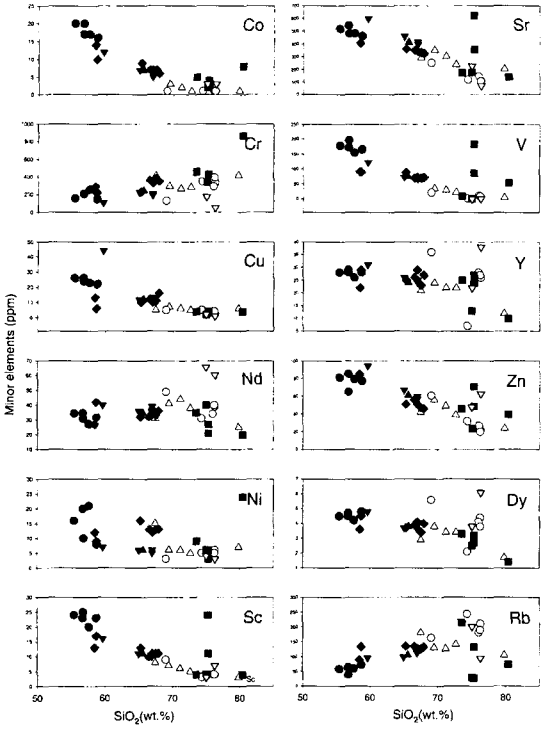

Fig. 5. Harker diagram of minor elements (ppm) for igneous rocks in the Mt. Mudeung area. Symbols are same as those of Fig. 3.

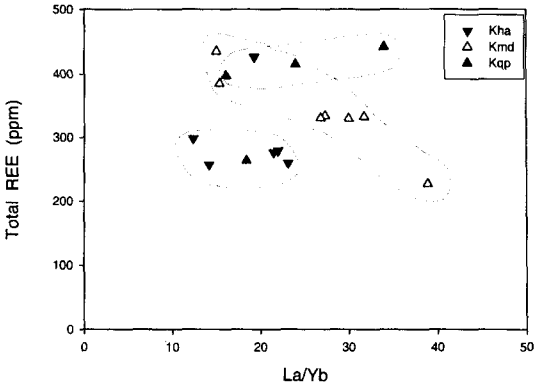

Fig. 6. REE variation diagram. Total REE (ppm) versus La/Yb ratio showing systematic trend on total REE from Cretaceous volcanic rocks in Mt. Mudeung area.

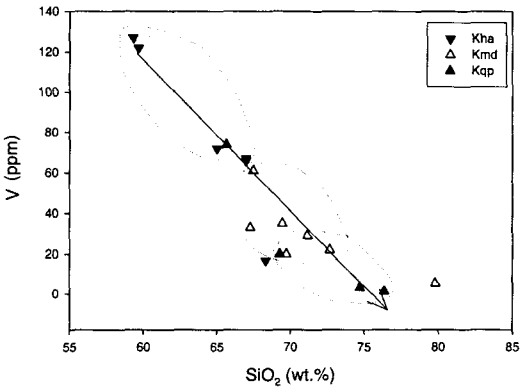

Fig. 7. V versus SiO_2 diagram of Cretaceous volcanic rocks in Mt. Mudeung area. Arrow with negative slope indicate progressive V decrese during differentiation (due to magnetite fractionation).

응회암 2개, 무등산 석영안산암 7개, 석영반암 4개, 미문상 화강암 6개 등 총 41개 시료에 대하여 런던대학의 ICP를 이용하여 주성분원소와 미량원소 그리고 희토류 원소에 대한 화학분석을 실시하였다.

주성분 원소 : 본 연구 지역에 분포하는 화성암류를 생성시킨 마그마에서 주성분 원소에 대한 전반적 인 변화를 알기 위하여 SiO_2의 함량이 증가함에 따라 산화물의 변화를 하커변화도(Fig. 2)에 도시하였다. 무등산지역에 분포하는 화성암류의 주성분 원소 중에서 Al_2O_3, Fe_2O_3, FeO, MgO, CaO, TiO_2, P_2O_5와 MnO는 SiO_2의 함량 증가에 따라 감소하나, K_2O와 Na_2O는 증가 하는 경향을 그리고 P_2O_5는 거의 변화를 보여주지 않는다. 그러나 관입-분출시기가 거의 같은 암상 사이에서는 연속적인 변화를 보여준다. 이같은 연속적인 변화는 이들 화성암류를 구성하는 각 암상들이 동원 마그마로부터의 분화 산물의 집합체임을 지시해 주는 것이다.

AMF 삼각도(Fig. 3)에서는 무등산 지역의 화성암류가 칼크-알칼리질암 계열에 속하는 일련의 분화 산물들로 이루어져 있음을 보여준다.

놈QAP삼각도(Fig. 4)에서 대부분 화강편마암은 화강암 영역에, 각섬석-흑운모화강섬록암은 화강섬록암 내지 석영 섬록암 영역에, 석영섬록암은 석영섬록암 영역에, 화순안산암과 장동응회암은 석영안산암 영역에, 무등산데사이트(석영안산암)는 유문암 내지 유문안산암에 그리고 석영반암과 미문상화강암은 화강암 내지 화강섬록암에 해당함을 보여준다.

미량원소 : 무등산 일대에 분포하는 화성암류에 대한 미량원소의 분석치는 Table 3에 SiO_2에 대한 미량원소의 변화도는 Fig. 5에 나타내었다.

미량원소도 주성분원소와 유사하게 Co, Cu, Sc, Sr, V, Zn과 Dy은 SiO_2 증가에 따라 감소하는 경향을, Cr과 Rb은 증가하는 경향을 그리고 Nd, Ni과 Y는 큰 변

Table 3. Trace elements analysis(ppm) for igneous rocks in the Mt. Mudeung area.

	Ggn				Thbgr							Jqd	
	Mdj-11	Mdj-13	Mdj-41	Md103-2	Md-6	Md-7	Md-26	Md-27	Md-34	Md-37	Md-39	Md31-1	Md31-2
Ba	527	643	561	1460	806	1154	891	960	810	876	877	511	559
Co	4	3	5	2	14	10	7	7	6	9	7	17	17
Cr	493	430	457	341	288	217	358	328	349	232	378	256	211
Cu	4	3	4	2	13	6	12	10	16	10	11	23	24
Li	22	9	11	4	29	22	18	10	12	14	11	12	13
Ni	6	3	9	6	12	9	13	12	13	16	13	21	20
Sc	24	11	4	4	13	17	10	11	11	13	11	20	23
Sr	621	357	176	179	406	462	349	340	325	360	334	481	543
V	183	85	10	1	91	89	69	72	72	88	69	154	171
Y	24	27	25	13	22	29	26	29	27	25	23	26	29
Zn	71	49	46	24	85	78	56	51	46	51	47	79	65
Zr*	10	81	24	50	20	22	28	35	37	50	56	31	33
La	25	40	52	40	19	53	39	45	42	36	40	25	26
Ce	42	75	90	69	31	84	67	79	69	62	69	43	45
Nd	21	27	35	40	27	42	32	37	36	32	33	27	35
Sm	3.6	4.6	6	4.5	5.6	8.0	5.8	7.1	6.2	6.0	6.1	7.0	6.9
Eu	1	0.8	0.5	1.4	1.6	1.6	1.1	1.2	1.0	1.1	1.1	1.7	1.8
Dy	2.7	3.2	3.3	2.5	3.6	4.5	3.9	4.1	4.0	3.7	3.4	4.2	4.7
Yb	1.5	1.8	1.2	1.0	1.8	2.3	2.0	2.3	2.2	2.0	1.8	2.3	2.6
Pb				30.0									
Rb	27	132	215	174	89	133	134	126	132	135	125	59	39

	Jqd			Kha					Kjd		Kmd		
	Md31-3	Md31-4	Md-95	Md-14	Md-29	Md-48	Md-49	Md-67	Md-83	Md66-1	Md-68	Md-4	Md-19
Ba	476	524	553	660	891	843	871	1003	1103	626	1003	1040	821
Co	20	20	16	12	5	7	5	3	1	3	3	2	1
Cr	206	157	147	105	189	223	208	175	117	53	175	264	416
Cu	26	26	22	44	13	12	11	2	2	1	2	6	6
Li	25	14	23	36	15	22	18	5	22	30	5	23	7
Ni	10	16	8	7	5	6	6	4	3	3	4	6	7
Sc	25	24	23	16	10	11	10	3	3	7	3	6	3
Sr	480	517	459	598	395	458	414	228	398	71	228	303	204
V	195	178	165	122	66	72	67	0	10	1	0	29	5
Y	28	28	28	31	25	26	24	22	20	38	22	22	12
Zn	85	81	77	94	60	67	57	48	42	63	48	49	24
Zr*	28	36	37	150	58	36	94	95	116	196	95	61	50
La	27	28	29	34	43	44	44	66	59	58	66	54	35
Ce	45	49	53	71	70	69	72	115	82	112	115	97	55
Nd	31	34	32	40	39	36	35	66	59	60	66	44	25
Sm	6.3	6.7	6.2	7.3	6.1	6.0	6.1	6.7	5.1	8.8	6.7	5.9	3.9
Eu	1.7	1.8	1.8	1.5	1.1	1.3	1.1	1.2	1.2	0.9	1.2	1.0	0.5
Dy	4.5	4.5	4.8	4.8	3.9	3.7	3.6	3.8	3.4	6.1	3.8	3.4	1.7
Yb	2.5	2.5	2.8	2.4	2.0	1.9	2.0	1.8	1.7	3.1	1.8	1.7	0.9
Pb			13.0					17	16	12.0	17.0		
Rb	63	58	72	96	112	98	115	201	142	95	201	126	105

화를 보이지 않는다. 그러나 관입-분출시기가 거의 같은 암상 사이에서는 연속적인 변화를 보여준다. 특히 무등산데사이트는 뚜렷한 연속 변화를 보이며, 이같은 연속적인 변화는 이들 화성암류의 각 암상들이 동원 마그마로부터의 분화 산물의 집합체임을 지시해 준다.

총희토류 함량에 대한 La/Yb 변화도는(Fig. 6)는 La/Yb비가 증가함에 따라 전체 희토류 함량이 화순안산암→ 무등산데사이트→석영반암 순으로 증가하여 분화도의 정도를 보여주며, 또 바나듐에 대한 SiO_2 변화도(Fig. 7)에서도 부(-)의 기울기를 보이는 화살표는 마그마 분화 때에 자철석 분별결정작용으로 인하여 바나듐의 감소 경향을 보이는 순서로서 무등산지역의 화산암

Table 3. Continued.

	Kmd					Kqp				Mgr					
	Md-20	Md-51	Md-52	Md-74	Md-76	Md-46	Md-55	Md-73	Md-92-2	Md-33	Md-38	Md-41	Md-43	Md-53	Md-86
Ba	937	1199	890	941	925	867	1089	943	1322	947	319	750	797	791	1103
Co	6	3	1	1	3	7	1	1	2	1	1	1	1	1	1
Cr	409	292	283	125	177	244	239	106	192	128	344	331	289	391	117
Cu	5	7	5	4	9	12	2	14	2	5	5	3	4	4	2
Li	18	24	15	13	16	19	34	14	14	17	9	17	14	15	22
Ni	15	6	5	4	5	6	15	4	4	3	5	6	4	5	3
Sc	8	7	5	9	11	11	2	10	3	9	3	4	4	4	3
Sr	292	352	238	226	338	412	82	211	180	253	119	111	146	109	398
V	61	35	22	20	33	74	1	20	3	21	2	8	11	9	10
Y	21	24	22	39	36	24	18	38	20	36	7	26	28	27	20
Zn	42	56	39	55	68	61	25	61	51	61	32	22	27	20	42
Zr*	25	58	49	191	172	38	75	186	121	162	36	87	88	87	116
La	41	51	51	51	49	35	51	53	48	48	35	53	51	49	59
Ce	70	95	88	108	98	75	86	107	87	104	70	102	96	91	82
Nd	31	41	38	54	52	35	51	56	48	49	31	39	34	40	59
Sm	5.8	6.9	6.0	8.2	8.0	6.3	4.4	8.6	5.0	9.0	9.2	6.5	5.9	6.2	5.1
Eu	1.2	1.1	0.7	1.4	1.7	1.1	0.7	1.4	0.6	1.2	0.4	0.6	0.5	0.6	1.2
Dy	2.9	3.8	3.4	6.3	6.0	3.8	2.9	6.2	3.2	5.6	2.1	4.4	4.1	3.8	3.4
Yb	1.5	1.9	1.7	3.4	3.2	1.9	1.5	3.3	2.0	3.0	0.1	2.6	2.4	2.5	1.7
Pb				18	20		22	21	25						16
Rb	181	130	141	203	167	105	245	162	221	163	244	211	181	190	142

Table 4. Rare earth elements(ppm) for igneous rocks in the Mt. Mudeung area.

	Md31-4 (●)		Md37 (◆)		Md43 (○)		Md49 (▼)		Md52 (△)	
	(ppm)	C.N.	(ppm)	C.N.	(ppm)	C.N.	(ppm)	C.N.	(ppm)	C.N.
La	28.7	86.9	36.5	110.5	48.5	146.9	39.4	119.2	48.7	147.6
Ce	57.6	66.6	67.9	78.5	87.4	101.0	71.9	83.1	87.2	100.8
Pr	6.7	54.8	7.3	59.7	8.9	72.8	7.5	61.5	8.9	73.3
Nd	31.1	49.4	30.7	48.7	34.0	53.9	31.0	49.3	34.4	54.7
Sm	6.12	30.1	5.61	27.6	5.50	27.1	5.37	26.5	5.43	26.7
Eu	1.47	19.1	1.16	15.1	0.67	8.7	1.23	16.0	0.94	12.2
Gd	4.91	17.9	4.50	16.4	4.48	16.3	4.30	15.6	4.16	15.1
Dy	4.26	12.5	3.60	10.5	3.59	10.5	3.29	9.6	3.05	8.9
Ho	0.92	12.1	0.80	10.5	0.82	10.8	0.78	10.3	0.70	9.2
Er	2.35	10.5	2.13	9.5	2.22	9.8	1.98	8.8	1.82	8.1
Yb	2.21	10.0	2.06	9.4	2.31	10.5	2.02	9.2	1.74	7.9
Lu	0.33	9.7	0.33	9.7	0.38	11.2	0.33	9.7	0.28	8.2
REE	146.7		162.5		198.7		169.1		197.4	

에서 자철석 분별결정작용을 받은 순서가 화순안산암 → 무등산데사이트 → 석영반암 순서임을 지시해 준다.

희토류원소(Table 4)의 총함량(ΣREE)은 각섬석-흑운모화강섬록암 162.5 ppm, 석영섬록암 146.7 ppm, 화순안산암 169,1 ppm, 무등산데사이트 197.4 ppm 그리고 미문상화강암 198.7 ppm으로 백악기 화성암류가 높고 트라이아스기-쥬라기 화성암류는 낮은 값을 보인다. 또 희토류의 Eu(-) 이상을 나타내는 Eu/Sm은 각섬석-흑운모화강섬록암 0.21, 석영섬록암 0.24, 화순안산암 0.23, 무등산데사이트 0.17 그리고 미문상화강암 0.12으로 백악기 화성암류 트라이아스기-쥬라기 보다 다소 낮고 또 다른 지역과 유사한 값을 보인다(Henderson, 1984; Hong, 1983). 또 희토류를 Nakamura(1974)의 운석에 대한 분석치로 표준화한 REE pattern(Fig. 8)은 백악기 화성암류가 트라이아스기-쥬라기 화성암류보다 비교적 낮고 뚜렷한 Eu(-) 이상값을 보인다. 이는 대륙이나 대륙연변부에서 구조운동시 생성되는 화강암류가 보이는 특징과 일치한다. 분화가 진행됨에 따라 HREE가 LREE 보다 농집되어 급한 부(-)의 경사를 보여준다. 이는 백악기 화성암류가 트라이아스기-쥬라기 화성암류 보다 얼마간 분화도가 더 높았음을 지시한다.

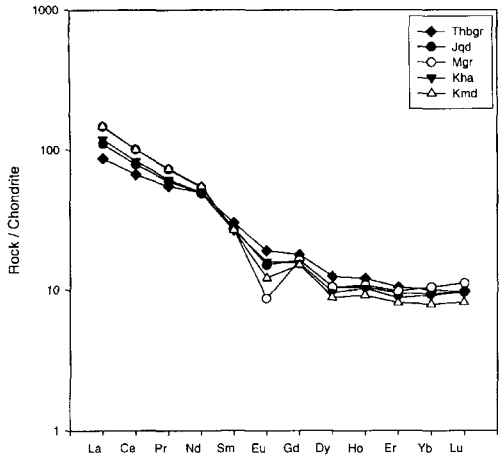

Fig 8. Chondrite normalized rare earth elements (REE) patterns of igneous rocks in the Mt. Mudeung area.

화성암류의 광물화학

무등산 지역에 분포하는 화성암류의 광물성분을 알기 위하여 각섬석-흑운모화강섬록암, 석영섬록암과 무등산데사이트에 함유되어 있는 사장석, 흑운모, 각섬석과 휘석에 대한 EPMA 분석을 실시하였다. 이 분석은 기초과학지원연구원에 설치되어 있는 CAMECA SX 50 electron probe microanalyzer를 이용하여 실시하였고, 분석조건은 가압전압 15 KV, probe beam current 2×10^{-8} A, beam diameter 2~5 μ이며 Bence and Albee(1968) 보정을 거쳤고 천연광물을 standard로 사용하였다.

장석류

사장석에 대한 분석결과를 Table 5에 표시하였다. 각섬석-흑운모화강섬록암의 사장석은 $An_{45.1-39.5}$으로 안데신에 해당하나 혼화된 부분의 관입암상(Md-104)의 사장석은 $An_{89.1-45}$으로 보다 calcic 하고 또 변화가 심하다. 석영섬록암은 동일 암체에서 상대적으로 초기 분화상으로 보이는 어두운 부분의 암상(반려암)은 $An_{69.3-44.1}$으로 대부분 라브라도라이트에 해당한다. 그러나 후기 분화상에 해당하는 밝은 암상(석영섬록암)은 $An_{66.9-39.9}$으로 라브라도라이트~안데신에 속한다. 이들 암상의 누대구조를 보이는 결정에서 연변부는 반려암상에서 $An_{54.8}$로, 섬록암상에서 $An_{31.7}$로 각각 라브라도라이트와 라브라도라이트~안데신에 해당되나, 중심부는 반려암상에서 $An_{63.8}$에, 섬록암상에서 $An_{31.7-44.9}$로 각각 라브라도라이트와 안데신에 해당하는 성분변화를 보인다. 무등산데사이트는 $An_{44.5-28.5}$로 대략 안데신에 해당하는 성분을 보인다. 미문상화강암은 $An_{3.1}$로 알바이트에 해당한다.

Table 5. Representative electron microprobe analysis of plagioclase from igneous rocks in the Mt. Mudeung area.

	Mgr (○)	Thbgr (◆)				Jqd (●)				
	Md-43	Md-59				Md-75				
SiO_2	68.736	58.317	57.34	57.568	57.444	56.959	55.219	54.443	54.172	58.244	57.7
Al_2O_3	19.678	25.953	26.39	25.984	26.333	26.333	27.95	28.554	28.606	25.496	26.178
FeO	0.096	0.32	0.331	0.383	0.314	0.266	0.432	0.366	0.295	0.356	0.264
CaO	0.624	8.108	8.968	8.959	9.248	9.352	11.178	11.395	11.918	8.205	9.041
Na_2O	10.8	6.629	6.086	6.164	5.955	6.117	4.889	4.762	4.534	6.481	6.156
K_2O	0.133	0.365	0.412	0.389	0.388	0.364	0.281	0.226	0.321	0.522	0.345
total	100.067	99.692	99.527	99.447	99.682	99.391	99.949	99.746	99.846	99.304	99.484
Si	11.982	10.476	10.344	10.395	10.348	10.305	9.977	9.862	9.819	10.514	10.373
Al	4.043	5.495	5.611	5.530	5.591	5.615	5.952	6.097	6.112	5.425	5.567
sum	16.03	15.97	15.96	15.93	15.94	15.92	15.93	15.96	15.93	15.94	15.94
Fe	0.014	0.048	0.050	0.058	0.047	0.040	0.065	0.055	0.045	0.054	0.040
Na	3.651	2.309	2.129	2.158	2.080	2.146	1.713	1.673	1.594	2.268	2.153
Ca	0.117	1.561	1.733	1.733	1.785	1.813	2.164	2.212	2.315	1.587	1.748
K	0.030	0.084	0.095	0.090	0.089	0.084	0.065	0.052	0.074	0.120	0.079
sum	3.797	3.953	3.957	3.981	3.954	4.043	3.942	3.937	3.983	3.976	3.980
CaO	0.62	8.108	8.968	8.959	9.248	9.352	11.178	11.395	11.918	8.205	9.041
Na_2O	10.80	6.629	6.086	6.164	5.955	6.117	4.889	4.762	4.534	6.481	6.156
K_2O	0.13	0.365	0.412	0.389	0.388	0.364	0.281	0.226	0.321	0.522	0.345
Total	148.78	156.55	183.35	185.27	186.47	187.30	192.78	193.95	193.10	197.47	86.89
An	3.1	39.5	43.8	43.5	45.1	44.8	54.9	56.2	58.1	39.9	43.9
Ab	96.2	58.4	53.8	54.2	52.6	53.1	43.5	42.5	40.0	57.1	54.1
Or	0.8	2.1	2.4	2.3	2.3	2.1	1.6	1.3	1.9	3.0	2.0

Table 5. Continued.

	Jqd (●) Md-75							Kmd (△) Md-76 (core)-->(rim)			
SiO_2	570.46	55.193	53.057	51.456	54.190	53.694	55.420	59.840	57.360	61.796	60.838
Al_2O_3	26.569	27.754	29.317	30.261	28.049	28.635	27.388	24.445	26.522	23.585	23.635
FeO	0.275	0.333	0.481	0.485	0.485	0.356	0.285	0.333	0.276	0.217	0.282
CaO	9.543	10.715	12.428	13.639	11.451	12.022	11.158	7.031	9.081	6.121	6.231
Na_2O	5.898	5.282	3.131	3.625	4.834	4.474	4.895	6.736	5.865	7.082	7.031
K_2O	0.345	0.279	0.291	0.166	0.328	0.286	0.260	1.013	0.612	1.303	1.312
total	99.676	99.556	99.705	99.632	99.337	99.467	99.406	99.398	99.716	100.10	99.329
Si	10.287	10.006	9.655	9.406	9.878	9.778	10.055	10.764	10.332	11.003	10.935
Al	5.647	5.931	6.288	6.520	6.027	6.147	5.857	5.183	5.631	4.950	5.007
sum	15.93	15.94	15.94	15.93	15.91	15.93	15.91	15.95	15.96	15.95	15.94
Fe	0.041	0.050	0.073	0.074	0.074	0.054	0.043	0.050	0.042	0.032	0.042
Na	2.062	1.857	1.458	1.285	1.709	1.580	1.722	2.350	2.048	2.445	2.451
Ca	1.844	2.081	2.423	2.671	2.237	2.346	2.169	1.355	1.753	1.168	1.200
K	0.079	0.065	0.068	0.039	0.076	0.066	0.060	0.232	0.141	0.296	0.301
sum	3.985	4.003	3.948	3.995	4.022	3.992	3.952	3.937	3.942	3.909	3.951
CaO	9.543	10.715	12.428	13.639	11.451	12.022	11.158	7.031	9.081	6.121	6.231
Na_2O	5.898	5.282	4.131	3.625	4.834	4.474	4.895	6.736	5.865	7.082	7.031
K_2O	0.345	0.279	0.291	0.166	0.328	0.286	0.260	1.013	0.612	1.303	1.312
total	86.84	86.22	85.78	85.12	85.65	85.61	86.03	87.58	87.11	88.59	87.72
An	46.3	52.0	61.4	66.9	55.6	58.8	54.9	34.4	44.5	29.9	30.4
Ab	51.7	46.4	36.9	32.2	42.5	39.6	43.6	59.7	52.0	62.6	62.0
Or	2.0	1.6	1.7	1.0	1.9	1.7	1.5	5.9	3.6	7.6	7.6

	Kmd (△) Md-78							Jqd (●) Md-95 (rim) --> (core)			
SiO_2	59.758	61.022	58.055	60.655	60.774	61.688	61.153	55.030	54.551	60.543	54.678
Al_2O_3	24.779	23.842	25.963	24.013	23.913	23.367	23.858	27.625	28.006	24.427	28.054
FeO	0.230	0.254	0.230	0.253	0.185	0.286	0.246	0.350	0.316	0.224	0.305
CaO	7.241	6.389	8.458	6.444	6.323	5.757	6.208	10.670	10.836	6.507	11.284
Na_2O	6.627	7.058	6.102	6.925	7.021	6.971	70..8	5.267	5.125	7.416	5.012
K_2O	0.935	1.316	0.706	1.162	1.266	1.441	1.213	0.269	0.245	0.519	0.272
Total	99.570	99.881	99.514	99.452	99.482	99.510	99.686	99.211	99.079	99.636	99.605
Si	10.725	10.913	10.458	10.884	10.903	11.042	10.938	10.011	9.940	10.826	9.923
Al	5.242	5.026	5.513	5.079	5.057	4.930	5.030	5.923	6.015	5.148	6.001
sum	15.97	15.94	15.97	15.96	15.96	15.97	15.97	15.93	15.95	15.97	15.92
Fe	0.035	0.038	0.035	0.038	0.028	0.043	0.037	0.053	0.048	0.033	0.046
Na	2.306	2.447	2.131	2.409	2.442	2.419	2.430	1.858	1.811	2.571	1.764
Ca	1.392	1.224	1.633	1.239	1.215	1.104	1.190	2.080	2.116	1.247	2.194
K	0.214	0.300	0.162	0.266	0.290	0.329	0.277	0.062	0.057	0.118	0.063
sum	3.913	3.972	3.926	3.914	3.948	3.853	3.897	4.000	3.983	3.936	4.021
CaO	7.241	6.389	8.458	6.444	6.323	5.757	6.208	10.670	10.836	6.507	11.284
Na_2O	6.627	7.058	6.102	6.925	7.021	6.971	7.008	5.267	5.125	7.416	5.012
K_2O	0.935	1.316	0.706	1.162	1.266	1.441	1.213	0.269	0.245	0.519	0.272
Total	87.73	88.10	87.20	87.89	87.84	88.32	88.23	85.93	85.80	88.17	85.97
An	35.6	30.8	41.6	31.7	30.8	28.7	30.5	52.0	53.1	31.7	54.6
Ab	58.9	61.6	54.3	61.6	61.9	62.8	62.4	46.4	45.5	65.3	43.9
Or	5.5	7.6	4.1	6.8	7.3	8.5	7.1	1.6	1.4	3.0	1.6

알카리 장석은 EPMA분석을 실시한 모든 암상이 $Or_{7.3-0.8}$로서 큰 변화를 보이지 않는다. An-Ab-Or삼각도 (Fig. 9)는 이들 암상들의 성분비를 잘 보여준다.

흑운모

흑운모는 화강편마암과 각섬석-흑운모화강섬록암에 함유되어 있으며, 이들의 EPMA 분석치는 Table 6에

Table 5. Continued.

	Jqd (●) Md-95										
	----> (rim)				(core) -----> (rim)						
SiO_2	54.948	56.499	55.460	55.908	52.325	54.614	54.445	53.683	50.914	54.929	57.906
Al_2O_3	27.804	26.983	27.568	27.493	29.701	27.847	27.969	28.869	30.390	27.661	26.017
FeO	0.307	0.326	0.298	0.272	0.409	0.253	0.356	0.277	0.299	0.358	0.348
CaO	10.979	9.279	10.701	10.486	13.048	11.037	11.251	12.094	14.246	11.027	9.146
Na_2O	5.107	6.071	5.227	5.341	3.932	5.054	4.869	4.363	3.415	5.056	6.265
K_2O	0.288	0.331	0.405	0.402	0.242	0.361	0.382	0.247	0.099	0.254	0.220
total	99.433	99.489	99.659	99.902	99.657	99.166	99.272	99.533	99.363	99.285	99.893
Si	9.979	10.214	10.044	10.089	9.543	9.951	9.918	9.761	9.339	9.990	10.404
Al	5.952	5.749	5.885	5.848	6.385	5.980	6.006	6.187	6.571	5.930	5.510
sum	15.93	15.96	15.93	15.94	15.93	15.93	15.92	15.95	15.91	15.92	15.91
Fe	0.047	0.049	0.045	0.041	0.062	0.039	0.054	0.042	0.046	0.054	0.052
Na	1.798	2.128	1.835	1.869	1.391	1.786	1.720	1.538	1.215	1.783	2.179
Ca	2.136	1.797	2.076	2.028	2.550	2.155	2.196	2.356	2.800	2.149	1.761
K	0.067	0.076	0.094	0.093	0.056	0.084	0.089	0.057	0.023	0.059	0.050
sum	4.001	4.002	4.005	3.989	3.997	4.024	4.005	3.952	4.038	3.991	3.991
CaO	10.979	9.279	10.701	10.486	13.048	11.037	11.251	12.094	14.246	11.027	9.146
Na_2O	5.107	6.071	5.227	5.341	3.932	5.054	4.869	4.363	3.415	5.056	6.256
K_2O	0.288	0.331	0.405	0.402	0.242	0.361	0.382	0.247	0.099	0.254	0.220
Total	85.99	86.75	86.27	86.62	85.35	85.64	85.69	85.76	84.51	85.88	87.24
An	53.4	44.9	51.8	50.8	63.8	53.5	54.8	59.6	69.3	53.8	44.1
Ab	44.9	53.2	45.8	46.9	34.8	44.4	42.9	38.9	30.1	44.7	54.6
Or	1.7	1.9	2.3	2.3	1.4	2.1	2.2	1.4	0.6	1.5	1.3

	Jqd (●) Md-95	Thbgr (◆) Md-104						
SiO_2	54.161	56.133	53.846	64.686	57.368	55.655	55.901	45.888
Al_2O_3	28.292	27.596	28.865	21.651	26.618	27.627	27.308	33.898
FeO	0.235	0.334	0.518	0.271	0.375	0.516	0.420	0.337
CaO	11.610	9.824	11.687	3.543	9.257	10.498	10.323	18.359
Na_2O	4.741	5.833	4.690	8.806	6.049	5.216	5.676	1.218
K_2O	0.234	0.267	0.157	0.885	0.296	0.231	0.221	0.040
total	99.273	99.987	99.763	99.842	99.963	99.743	99.849	99.740
Si	9.863	10.109	9.772	11.450	10.308	10.060	10.098	8.494
Al	6.073	5.858	6.174	4.517	5.638	5.886	5.815	7.396
sum	15.94	15.97	15.95	15.97	15.95	15.95	15.91	15.89
Fe	0.036	0.050	0.079	0.040	0.056	0.078	0.063	0.052
Na	1.674	2.037	1.650	3.022	2.108	1.828	1.988	0.437
Ca	2.265	1.896	2.273	0.672	1.782	2.033	1.998	3.641
K	0.054	0.061	0.036	0.200	0.068	0.053	0.051	0.009
sum	3.994	3.994	3.959	3.894	3.958	3.915	4.037	4.088
CaO	11.610	9.824	11.687	3.543	9.257	10.498	10.323	18.359
Na_2O	4.741	5.833	4.690	8.806	6.049	5.216	5.676	1.218
K_2O	0.234	0.267	0.157	0.885	0.296	0.231	0.221	0.040
Total	85.61	87.02	86.16	89.62	87.32	86.74	86.58	83.00
An	56.7	47.5	57.4	17.3	45.0	51.9	49.5	89.1
Ab	41.9	51.0	41.7	77.6	53.3	46.7	49.2	10.7
Or	1.4	1.5	0.9	5.1	1.7	1.4	1.3	0.2

표시했다. 흑운모의 MgO 함량은 화강편마암에서 12.9~14.3 Wt.%이고 각섬석-흑운모화강섬록암에서 12.5~18.2 Wt.%이다. Fe/(Fe+Mg)와 사면체 격자에 위치한 Al와 팔면체 격자에 위치한 Al와의 상관관계(Fig. 10)는 화강편마암과 각섬석흑운모화강섬록암 모두가 프로고파이트(phlogopite)에 해당함을 보여준다.

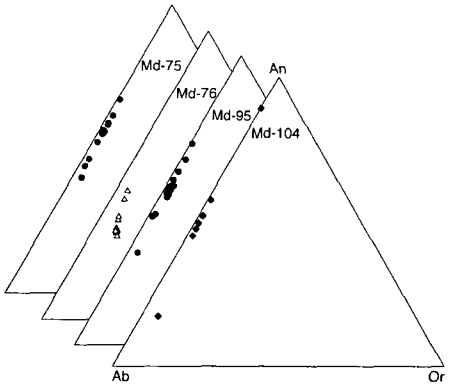

Fig. 9. Composion of plagioclase from igneous rocks in the Mt. Mudeung area (◆ Thbgr, ● Jqd, △ Kmd).

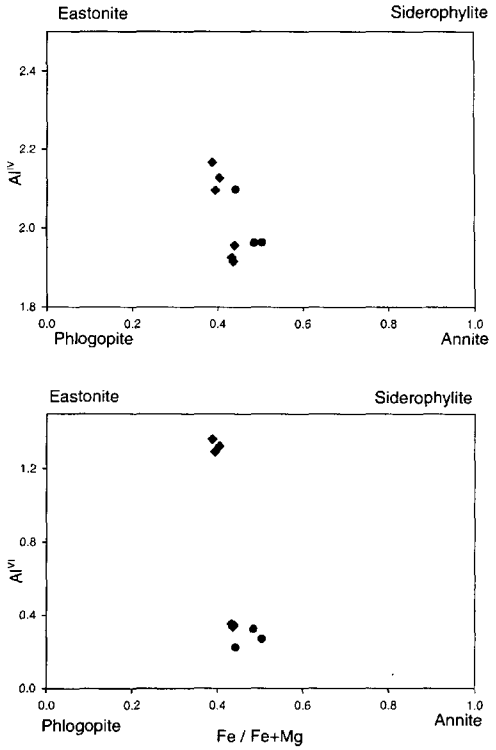

Fig. 10. Tetrahedral aluminum and octahedral aluminum vs. Fe/(Fe+Mg) ratios in biotite of igneous rocks in the Mt. Mudeung area. Symbols are same as those of Table 6.

각섬석

각섬석은 각섬석흑운모화강섬록암, 석영섬록암과 무등산데사이트에 함유되어 있으며 이들의 EPMA 분석치는 Table 8에 표시했다. (Na+K)이온에 대한 사면체 격자에 위치한 Al 이온의 변화도(Fig. 11)는 각섬석흑운모화강섬록암과 석영섬록암에서는 각섬석 영역에 무등산데사이트는 팔가사이트(palgasite)에 가까운 영역에 점시된다. Leake(1978)의 분류에 따르면 Ca-각섬석군은 12가지 광물명으로 표시되나 무등산 지역 화성암의 각섬석류는 대부분 actinolitic hornblende나 magnesio

Table 6. Representative eletron microprobe analysis of biotite from igneous rocks in the Mt. Mudeung area.

	Thbgr (◆)			Jqd (●)			Thbgr (◆)		
	Md-58			Md-75		Md-85	Md-104		
SiO_2	28.506	28.367	28.681	37.123	37.174	37.458	36.958	36.937	36.836
TiO_2	0.145	0.125	0.2	0.515	3.438	4.742	4.739	4.977	4.829
Al_2O_3	17.383	18.286	17.515	12.655	12.689	12.383	12.455	12.748	12.597
FeO	21.731	20.742	21.163	20.204	20.746	20.283	17.876	17.648	17.676
MnO	0.34	0.38	0.485	0.141	0.127	0.045	0.132	0.256	0.155
MgO	17.92	18.342	18.204	14.276	12.336	11.195	12.908	12.615	12.966
CaO	0.095	0.189	0.104	0.104		0.039	0.172	0.049	0.013
Na_2O	0.028	0.004	0.007	0.123	0.171	0.204	0.182	0.189	0.241
K_2O	0.011	0.037	0.075	8.571	9.527	9.314	9.081	9.055	9.045
Total	86.614	86.472	86.434	93.712	96.208	95.663	94.503	94.474	94.358
Si	4.677	4.640	4.707	5.776	5.677	5.730	5.665	5.655	5.648
Al	3.323	3.360	3.293	2.224	2.323	2.270	2.335	2.345	2.352
Al	0.127	0.165	0.095	0.097	2.284	2.233	2.250	2.300	2.277
Ti	0.018	0.015	0.025	0.060	0.395	0.546	0.546	0.573	0.557
Fe	2.982	2.837	2.905	2.629	2.650	2.595	2.292	2.260	2.267
Mn	0.047	0.053	0.067	0.019	0.016	0.006	0.017	0.033	0.020
Mg	4.384	4.473	4.455	3.312	2.809	2.553	2.950	2.880	2.965
Ca	0.017	0.033	0.018	0.017	0.000	0.006	0.028	0.008	0.002
Na	0.009	0.001	0.002	0.037	0.051	0.061	0.054	0.056	0.072
K	0.002	0.008	0.016	1.701	1.856	1.818	1.776	1.769	1.769

Table 7. Representative electorn microprobe analysis of pyroxene from igneous rocks in the Mt. Mudeung area.

	Thbgr (◆)														
	Md-59														
SiO_2	28.65	29.32	38.54	28.65	28.54	31.00	27.94	28.75	28.95	28.88	28.81	50.28	48.92	51.61	50.92
TiO_2		0.01	0.17	0.02		0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.04	0.59	0.40	0.67	0.59
Al_2O_3	17.17	18.01	22.03	17.92	17.36	19.99	17.73	17.51	17.43	17.36	17.78	1.85	2.87	1.37	1.31
FeO	17.88	17.76	12.18	18.50	18.31	18.76	18.93	18.89	17.27	17.73	17.88	12.19	14.62	11.03	13.10
MnO	0.54	0.53	1.40	0.46	0.58	0.44	0.54	0.50	0.57	0.57	0.47	0.34	0.39	0.33	0.43
MgO	19.83	21.31	0.57	20.68	20.99	12.58	20.05	21.02	21.87	21.58	20.58	12.90	11.77	12.76	11.64
CaO	0.31	0.19	20.93	0.21	0.05	7.45	0.01	0.03	0.05	0.04	0.04	21.26	16.72	21.46	21.03
Na_2O	0.00		0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02			0.29	0.24	0.30	0.31
K_2O	0.03	0.03	0.01	0.01			0.01	0.01	0.04	0.01	0.02	0.01	0.07	0.00	0.00
total	84.41	87.15	95.84	86.47	85.82	90.21	85.19	86.72	86.21	86.19	85.61	99.70	96.00	99.53	99.34
Si	1.293	1.277	1.532	1.264	1.269	1.327	1.256	1.268	1.274	1.274	1.278	1.915	1.933	1.954	1.952
Al4	0.707	0.723	0.468	0.736	0.731	0.673	0.744	0.732	0.726	0.726	0.722	0.084	0.067	0.046	0.048
Al6	0.206	0.201	0.564	0.196	0.179	0.336	0.196	0.178	0.177	0.176	0.208	0.000	0.067	0.015	0.011
Ti	0.000	0.000	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.017	0.012	0.019	0.017
Fe	0.675	0.647	0.405	0.683	0.681	0.672	0.712	0.697	0.636	0.654	0.664	0.388	0.483	0.349	0.420
Mn	0.021	0.019	0.047	0.017	0.022	0.016	0.020	0.019	0.021	0.021	0.018	0.011	0.013	0.011	0.014
Mg	1.334	1.384	0.034	1.361	1.392	0.803	1.344	1.382	1.435	1.419	1.362	0.733	0.693	0.721	0.665
Ca	0.015	0.009	0.892	0.010	0.002	0.342	0.000	0.001	0.002	0.002	0.002	0.868	0.708	0.871	0.864
Na	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.021	0.019	0.022	0.023
K	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0.003	0.000	0.000
Fs	33.16	31.72	31.13	33.25	32.82	36.98	34.54	33.49	30.67	31.52	32.74	19.52	25.64	18	21.55
En	0.742	0.423	68.55	0.49	0.104	18.81	0.234	0.064	0.104	0.084	0.091	43.63	37.57	44.87	44.33
Wo	66.1	67.86	0.314	66.26	67.07	44.2	65.22	66.44	69.23	68.39	67.17	36.85	36.79	37.13	34.12

	Jqd (●)													
	Md-75							Md-95						
SiO_2	52.16	51.22	51.69	52.53	50.12	51.69	48.09	51.66	51.42	37.26	51.09	51.30	50.99	50.50
TiO_2	0.30	0.79	0.75	0.27	0.47	0.51	1.10	0.54	0.64	0.05	0.76	0.63	0.81	0.72
Al_2O_3	1.86	2.05	1.64	0.82	1015	1.21	5.29	1.45	1.50	9.91	2.69	2.43	2.66	2.65
FeO	12.36	10.91	11.20	12.57	18.21	13.42	17.40	16.24	15.03	20.90	8.98	8.62	9.57	10.73
MnO	0.31	0.32	0.36	0.24	0.39	0.36	0.26	0.40	0.34	0.24	0.35	0.23	0.29	0.33
MgO	12.56	12.93	13.15	12.70	12.81	12.84	12.48	14.12	13.56	14.80	13.98	13.88	14.06	12.46
CaO	20.94	21.01	20.68	20.32	16.79	19.54	10.86	15.18	16.80	6.31	21.23	21.44	20.23	20.81
Na_2O	.026	0.28	0.29	0.27	0.21	0.29	1.13	0.21	0.24	.017	0.28	0.24	0.28	0.32
K_2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00
Total	100.76	99.50	99.76	99.72	100.14	100.12	97.19	99.78	99.54	89.64	99.35	98.80	99.06	98.53
Si	1.955	1.936	1.949	1.987	1.930	1.964	1.878	1.960	1.956	1.611	1.919	1.934	1.922	1.927
Al4	0.045	0.064	0.051	0.013	0.052	0.036	0.122	0.040	0.044	0.389	0.081	0.066	0.078	0.073
Al6	0.037	0.028	0.022	0.024	0.000	0.018	0.121	0.025	0.023	0.116	0.038	0.042	0.040	0.047
Ti	0.008	0.022	0.021	0.008	0.013	0.014	0.032	0.015	0.018	0.002	0.021	0.018	0.023	0.021
Fe	0.387	0.345	0.353	0.398	0.586	0.424	0.568	0.515	0.478	0.756	0.282	0.272	0.307	0.342
Mn	0.010	0.010	0.011	0.008	0.013	0.011	0.009	0.013	0.011	0.009	0.011	0.007	0.009	0.011
Mg	0.702	0.729	0.739	0.716	0.735	0.724	0.726	0.799	0.769	0.954	0.783	0.780	0.790	0.709
Ca	0.841	0.851	0.836	0.824	0.693	0.791	0.454	0.617	0.685	0.292	0.854	0.866	0.817	0.851
Na	0.019	0.020	0.021	0.020	0.016	0.021	0.086	0.015	0.018	0.014	0.020	0.017	0.020	0.024
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.029	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000
Fs	20.06	21.1	18.32	20.53	29.11	21.87	32.49	26.73	24.75	37.75	14.7	14.17	16.05	18
En	43.58	40.41	43.34	42.51	34.4	40.8	25.97	31.99	35.44	14.6	44.52	45.15	42.68	44.73
Wo	36.36	38.5	38.34	36.96	36.49	37.32	41.53	41.28	39.81	47.65	40.79	40.68	41.27	37.27

hornblende에 해당한다(Fig. 12). 각섬석은 전단대에서 재결정 받을 때 Al 함량이 마그마 성분 외적 요인에 영향을 받아 감소한다(조등룡과 권성택, 1994). 무등산 화성암류에 대한 각섬석 지압계(Hammarstrome과 Zen, 1986; Holister *et al.*, 1987; Johnson과 Rutherford, 1989; Schmidt, 1992)에 의한 마그마의 정치-고결 심도

Table 7. Continued.

	Thbgr (◆)														
	Md-59														
SiO_2	28.65	29.32	38.54	28.65	28.54	31.00	27.94	28.75	28.95	28.88	28.81	50.28	48.92	51.61	50.92
TiO_2		0.01	0.17	0.02		0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.04	0.59	0.40	0.67	0.59
Al_2O_3	17.17	18.01	22.03	17.92	17.36	19.99	17.73	17.51	17.43	17.36	17.78	1.85	2.87	1.37	1.31
FeO	17.88	17.76	12.18	18.50	18.31	18.76	18.93	18.89	17.27	17.73	17.88	12.19	14.62	11.03	13.10
MnO	0.54	0.53	1.40	0.46	0.58	0.44	0.54	0.50	0.57	0.57	0.47	0.34	0.39	0.33	0.43
MgO	19.83	21.31	0.57	20.68	20.99	12.58	20.05	21.02	21.87	21.58	20.58	12.90	11.77	12.76	11.64
CaO	0.31	0.19	20.93	0.21	0.05	7.45	0.01	0.03	0.05	0.04	0.04	21.26	16.72	21.46	21.03
Na_2O	0.00		0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02			0.29	0.24	0.30	0.31
K_2O	0.03	0.03	0.01	0.01			0.01	0.01	0.04	0.01	0.02	0.01	0.07	0.00	0.00
total	84.41	87.15	95.84	86.47	85.82	90.21	85.19	86.72	86.21	86.19	85.61	99.70	96.00	99.53	99.34
Si	1.293	1.277	1.532	1.264	1.269	1.327	1.256	1.268	1.274	1.274	1.278	1.915	1.933	1.954	1.952
Al4	0.707	0.723	0.468	0.736	0.731	0.673	0.744	0.732	0.726	0.726	0.722	0.084	0.067	0.046	0.048
Al6	0.206	0.201	0.564	0.196	0.179	0.336	0.196	0.178	0.177	0.176	0.208	0.000	0.067	0.015	0.011
Ti	0.000	0.000	0.005	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.017	0.012	0.019	0.017
Fe	0.675	0.647	0.405	0.683	0.681	0.672	0.712	0.697	0.636	0.654	0.664	0.388	0.483	0.349	0.420
Mn	0.021	0.019	0.047	0.017	0.022	0.016	0.020	0.019	0.021	0.021	0.018	0.011	0.013	0.011	0.014
Mg	1.334	1.384	0.034	1.361	1.392	0.803	1.344	1.382	1.435	1.419	1.362	0.733	0.693	0.721	0.665
Ca	0.015	0.009	0.892	0.010	0.002	0.342	0.000	0.001	0.002	0.002	0.002	0.868	0.708	0.871	0.864
Na	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.021	0.019	0.022	0.023
K	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0.003	0.000	0.000
Fs	33.16	31.72	31.13	33.25	32.82	36.98	34.54	33.49	30.67	31.52	32.74	19.52	25.64	18	21.55
En	0.742	0.423	68.55	0.49	0.104	18.81	0.234	0.064	0.104	0.084	0.091	43.63	37.57	44.87	44.33
Wo	66.1	67.86	0.314	66.26	67.07	44.2	65.22	66.44	69.23	68.39	67.17	36.85	36.79	37.13	34.12

	Jqd (●)													
	Md-75							Md-95						
SiO_2	52.16	51.22	51.69	52.53	50.12	51.69	48.09	51.66	51.42	37.26	51.09	51.30	50.99	50.50
TiO_2	0.30	0.79	0.75	0.27	0.47	0.51	1.10	0.54	0.64	0.05	0.76	0.63	0.81	0.72
Al_2O_3	1.86	2.05	1.64	0.82	1015	1.21	5.29	1.45	1.50	9.91	2.69	2.43	2.66	2.65
FeO	12.36	10.91	11.20	12.57	18.21	13.42	17.40	16.24	15.03	20.90	8.98	8.62	9.57	10.73
MnO	0.31	0.32	0.36	0.24	0.39	0.36	0.26	0.40	0.34	0.24	0.35	0.23	0.29	0.33
MgO	12.56	12.93	13.15	12.70	12.81	12.84	12.48	14.12	13.56	14.80	13.98	13.88	14.06	12.46
CaO	20.94	21.01	20.68	20.32	16.79	19.54	10.86	15.18	16.80	6.31	21.23	21.44	20.23	20.81
Na_2O	.026	0.28	0.29	0.27	0.21	0.29	1.13	0.21	0.24	.017	0.28	0.24	0.28	0.32
K_2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00
total	100.76	99.50	99.76	99.72	100.14	100.12	97.19	99.78	99.54	89.64	99.35	98.80	99.06	98.53
Si	1.955	1.936	1.949	1.987	1.930	1.964	1.878	1.960	1.956	1.611	1.919	1.934	1.922	1.927
Al4	0.045	0.064	0.051	0.013	0.052	0.036	0.122	0.040	0.044	0.389	0.081	0.066	0.078	0.073
Al6	0.037	0.028	0.022	0.024	0.000	0.018	0.121	0.025	0.023	0.116	0.038	0.042	0.040	0.047
Ti	0.008	0.022	0.021	0.008	0.013	0.014	0.032	0.015	0.018	0.002	0.021	0.018	0.023	0.021
Fe	0.387	0.345	0.353	0.398	0.586	0.424	0.568	0.515	0.478	0.756	0.282	0.272	0.307	0.342
Mn	0.010	0.010	0.011	0.008	0.013	0.011	0.009	0.013	0.011	0.009	0.011	0.007	0.009	0.011
Mg	0.702	0.729	0.739	0.716	0.735	0.724	0.726	0.799	0.769	0.954	0.783	0.780	0.790	0.709
Ca	0.841	0.851	0.836	0.824	0.693	0.791	0.454	0.617	0.685	0.292	0.854	0.866	0.817	0.851
Na	0.019	0.020	0.021	0.020	0.016	0.021	0.086	0.015	0.018	0.014	0.020	0.017	0.020	0.024
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.029	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000
Fs	20.06	21.1	18.32	20.53	29.11	21.87	32.49	26.73	24.75	37.75	14.7	14.17	16.05	18
En	43.58	40.41	43.34	42.51	34.4	40.8	25.97	31.99	35.44	14.6	44.52	45.15	42.68	44.73
Wo	36.36	38.5	38.34	36.96	36.49	37.32	41.53	41.28	39.81	47.65	40.79	40.68	41.27	37.27

는 석영섬록암은 약 15 Km(4.9 Kbar)이고, 각섬석흑운모화강섬록암은 약 2.4~3.2Km(0.6~1.0 Kbar)이다.

휘석

휘석류는 각섬석흑운모화강섬록암과 석영섬록암에

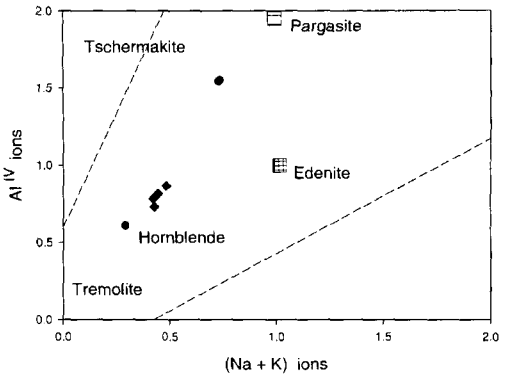

Fig. 11. Plot of Al^{IV} vs. (Na+K) for amphiboles of igneous rocks in the Mt. Mudeung area. Symbols are same as those of Table 8.

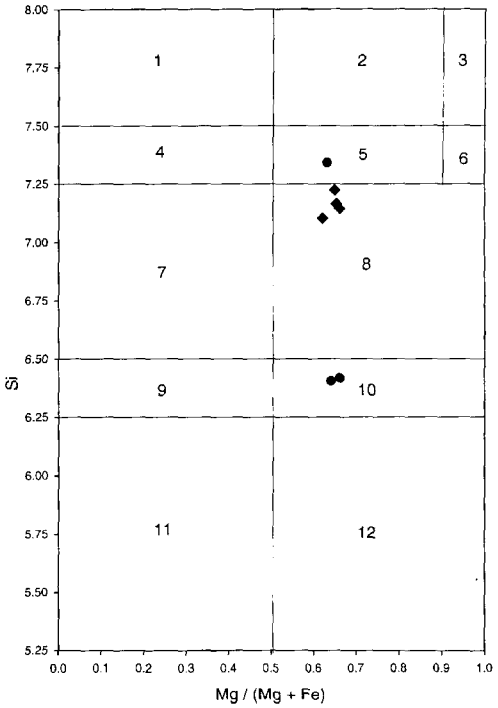

Fig. 12. Plot of amphiboles for igneous rocks in the Mt. Mudeung area. 1: Fe-actinolite, 2: Actinolite, 3: Tremolite, 4: Fe-actinolitec hornblende, 5: Actinolitic hornblende, 6: Tremolitic hornblende, 7: Ferro-hornblende, 8: magnesio hornblende, 9: Ferro-tschermakitic hornblende, 10: Tscermakitic hornblende, 11: Ferrotscermakite, 12: Tscermakite. Symbols are same as those of Table. 8.

함유되어 있으며 이들의 EPMA 성분은 Table 7에 표시했다. 휘석성분은 $Ca_2Si_2O_6$-$Mg_2Si_2O_6$-$Fe_2Si_2O_6$ 삼각도(Fig. 13)에 점시해 보면 대부분의 단사휘석은 보통휘석(Augite)에 속하고 사방휘석은 자소휘석(hypersthen)에 해당된다. 단사휘석은 각섬석흑운모화강섬록암에 그리고 사방휘석은 석영섬록암을 구성하고 있어 후자가 전자보다 더 저온형 휘석 즉 고결심도가 더 깊었음을 지시해 준다.

화성암류의 지질시대

무등산 지역에서의 화성활동은 선캠브리아기 화강편마암의 관입으로 시작하여 중생대 트라이아스기 말기-쥬라기 초기에 걸친 송림변동에 따른 화성활동 산물인 광주화강암류의 관입이 무등산 지역 서부에서 일어나 소규모 저반상의 광주화강암체들을 형성시켰다. 쥬라기 중기에는 소규모 석영섬록암체가 무등산 지역 동남부에 관입-정치되었을 뿐 비교적 화성활동이 약한 시기였다. 백악기에 들어와서 무등산 지역에서 본격적인 대규모 화성활동이 일어났다. 백악기 초기에는 화산활동에 의한 응회암과 안산암-데사이트-유문암 등의 용암류를 형성시켰으나 백악기 말기에는 암주상의 미문상화강암과 홍색장석화강암으로 구성된 심성암류가 관입하고 이어서 마그마 방의 수축에 따른 파열대를 따라 중성-산성 맥암류가 관입 되었다. 무등산 지역에 이웃한 지역에서 측정된 암석의 절대년령은 Table 9에 표시하였다.

화성암류의 생성과정

무등산지역에 분포하는 화성암류는 선캠브리아기 화강편마암과 중생대 화성암류로 구분될 수 있다. 한반도의 중생대는 송림변동-대보운동-불국사변동의 지각변동을 받아 활발한 화성활동과 변성-변질작용 및 퇴적작용을 일으킨 시기이다.

무등산 지역 화성암류를 생성시킨 마그마의 유형과 형성과정을 고찰코자 ACF삼각도는 Fig. 14에, 그리고 SiO_2에 대한 Y과 Rb의 변화를 Fig. 15에 표시하였다. 화강암류를 생성시킨 마그마의 유형은 이 암류가 변성-변형 등에 상관없이 화강암질암을 생성시킨 근원 물질이 화성기원인지 퇴적기원인지를 구분에 따라 마그마의 유형을 나누는 연구가 진행되어 왔다.

Chappel과 White(1974)는 화강암질암을 I형과 S형으로, Tsusue와 Ishihara(1974) 그리고 Ishihara(1977)는 자철석 계열과 티탄철석 계열로 나누었다. 이들 화성암류를 ACF삼각도(Fig. 14)에 점시하여 보면 무등산 지역의 화성암류의 대부분이 I형에 해당한다. 이는 이 지역 화성암류의 모두가 마그마의 분화산물들임을 보여준다. Pearce 외(1984)는 화강암류를 海嶺화강암

Table 8. Representative electron microprobe analysis of amphiboles from igneous rocks in the Mt. Mudeung area.

	Jqd (●)			Thbgr (◆)			
	Md-76		Md-95	Md-104			
SiO_2	42.865	42.827	49.634	48.739	47.494	48.797	48.43
TiO_2	2.892	3.004	0.859	1.079	1.461	1.401	1.183
Al_2O_3	9.887	9.891	4.574	4.773	5.555	5.185	5.651
FeO	13.877	14.8	16.04	15.406	15.579	15.537	14.592
MnO	0.341	0.31	0.362	0.563	0.411	0.497	0.421
MgO	12.62	12.195	12.87	13.339	12.643	13.367	13.506
CaO	10.953	10.785	10.873	10.981	11.192	10.825	11.126
Na_2O	2.056	2.184	0.98	1.309	1.5	1.411	1.421
K_2O	0.982	0.879	0.42	0.522	0.597	0.475	0.565
total	96.47	96.88	96.61	96.71	96.43	97.50	96.90
Si	6.418	6.404	7.341	7.222	7.102	7.164	7.144
Al	1.582	1.596	0.659	0.778	0.898	0.836	0.856
Al	0.162	0.147	0.139	0.055	0.081	0.061	0.126
Ti	0.326	0.338	0.096	0.12	0.164	0.155	0.131
Fe	1.749	1.864	1.998	1.922	1.958	1.922	1.811
Mn	0.043	0.039	0.045	0.071	0.052	0.062	0.053
Mg	2.816	2.718	2.837	2.946	2.818	2.925	2.969
XM1-3	0.085	0.093	0.101	0.101	0.064	0.11	0.079
Ca	1.757	1.728	1.723	1.743	1.793	1.703	1.758
Na	0.158	0.179	0.176	0.155	0.143	0.187	0.162
Na	0.439	0.454	0.105	0.221	0.292	0.214	0.244
K	0.188	0.168	0.079	0.099	0.114	0.089	0.106
Sum	0.626	0.622	0.184	0.319	0.406	0.303	0.35
Mg/Mg+Fe2	0.662	0.641	0.631	0.649	0.621	0.653	0.661
Al (T)	1.744	1.743	0.798	0.833	0.979	0.897	0.982
P (kbar)	4.913	4.911	0.119	0.612	1.029	0.627	1.052

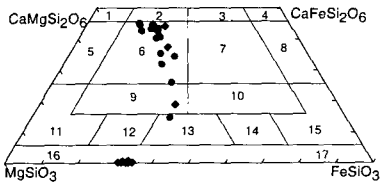

Fig. 13. Composition of clinopyroxenes from the Mt. Mudeung area. 1: Diopside, 2: Salite, 3: Ferrosalite, 4: Hedenbergite, 5: Endipside, 6: Augite, 7: Ferroaugite, 8: Ferrohedenbergite, 9: Subcalcic Augite, 10: Subcalcic Ferroaugite. Symbols are same as those of Table. 7.

(ORG), 火山弧화강암(VAG), 內板화강암(WPG) 그리고 衝突화강암(COLG)으로 구분했다. SiO_2에 대한 Y과 Rb의 변화도(Fig. 15) 즉 Pearce의 판별도(1984)에 점시된 이 지역 화강암류는 모두 VAG에 속해 판의 운동과 결부된 화성활동의 산물임을 지시해준다.

이들 생성과정에 관한 자료와 각 암상의 지질시대를 기초로 한반도 동남부에 속하는 무등산 지역의 화성암류의 생성과정을 고찰해 보자. 한반도는 고생대 말까지 옥천지향사대를 사이에 두고 분열하다가 반전하여 수축운동이 일어나기 시작하였다. 이때 옥천지향사대를 사이에 둔 두 지괴(경기육괴와 영남육괴)가 서로 충돌하게 되었다. 이때 해구가 영남육괴 쪽으로 만들어지면서 이들 지괴의 충돌운동에 따른 화성활동으로 화산활동과 화강암체의 관입이 이루어졌다. 고생대 말에서 트라이아스기 사이에는 두 지괴의 충돌로 만들어진 강력한 응력장에 의해 주향이동단층과 트러스트단층운동을 유발시켜 트라이아스기 말에서 쥬라기 초 사이에 호남전단대를 형성시켰다. 호남전단대 형성을 전후한 송림변동과 대보조산운동은 한반도에 대규모 저반상 또는 암주상 화강암체를 관입-정치 시켰다(김용준 외, 1998). 무등산 지역은 트라이아스기 말기에서 쥬라기 초기 즉 송림변동기에 광주-나주-해남에 걸쳐 분포하는 저반상의 광주화강암체의 관입이 있었으며, 쥬라기에 해당하는 기간에는 섬록암-반려암의 관입을 제외하고는 비교적 조용한 시기였다. 백악기에 들어와서 영동-광주 함몰대를 따라 활발한 화산활동과 퇴적작용이 일어나면서 이어서 불국사 화강암류에 속하는 미문상 화강암류 등이 관입-정치되었다.

Table 9. Isotopic Age of Igneous rocks in the vicinity of the Mt. Mudeung area.

Rock name	Area	Isotopic age (Ma) IR: intial ratio	Material analysed	Geologic period	Reference
Gr-gn	vicinity of Songgwang-sa	1,988±8.3 (Ar-Ar)	Hb	Pre-Camb.	Kim (1988)
Gr-gn	S-Sapyeong	1,371±3.3 (Ar-Ar)	Mv	Pre-Camb.	Kim (1988)
Gr-gn	Jangheung	2,230±50 (Rb-Sr) IR:0.7063±0.0015	Wr	Pre-Camb.	Choo & Kim (1986)
Hb-bi grd	W-Gwangju	222±5 (Rb/Sr) IR:0.7020±0.0005	Wr	Mid. Tria.	Choo & Chi (1990)
Hb-bi grd	S-Seongjeon	229.3±3.6 (K/Ar)	Hb	Mid. Tria.	Kim, J. H. *et al.* (1993)
Diorite	S-Jangsu	180.7±9 (K/Ar)	Hb	Mid. Jura.	Kim & Lee (1988)
Hb-di	vicinity of Geochang	179±9 (K/Ar)	Hb	mid. Jura.	Kim *et al.* (1989)
Tuff	W-Haenam	84.6±1.3 (K/Ar)	Wr	Cret.	Kim, I. J. (1991)
Rhyolite	W-Haenam	79.4±1.7 (K/Ar)	Wr	Cret.	Moon, H. S. *et al.* (1990)

Abbreviation: W: west, S: south, gr: granite, grd: granodiorite, gn: gneiss, di: diorite, Hb: hornblende, Mv: muscovite, Wr: whole rock.

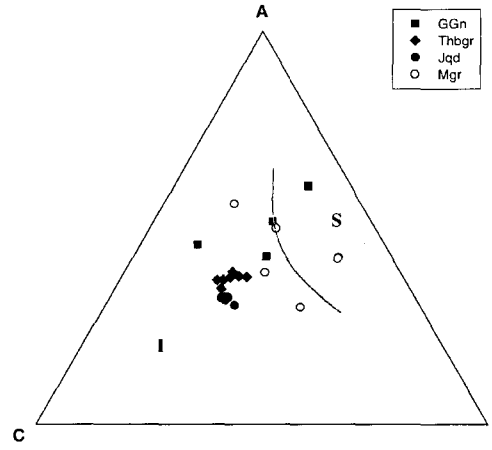

Fig. 14. ACF diagram (molar ratio A=Al_2O_3-Na_2O-K_2O, C=CaO, F=FeO+MgO) for granitic rocks in the Mt. Mudeung area. I: I-type granites, S: S-type granites.

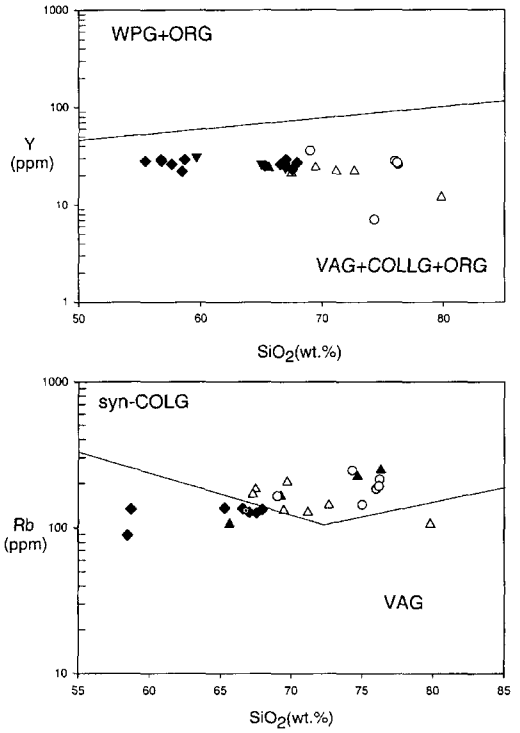

Fig. 15. Y vs. SiO_2 and Rb vs. SiO_2 discriminant diagrams for granitic rocks in the Mt. Mudeung area. Symbols are same as those of Fig. 3. WPG: Within plate granite, ORG: Ocean ridge granite, VAG: Volcanic arc granite, COLG: Collision granite.

결 론

무등산 지역에 분포하는 화성암류는 다음과 같은 암석화학적 특징과 성인을 거쳐 만들어 졌다.

(1) 무등산 지역 화성암류는 화강편마암, 각섬석흑운모화강섬록암, 백악기 화성암류로 구성되어 있다. 백악기 화성암류는 안산암-데사이트-유문암으로 구성된 화산암류와 미문상화강암과 석영반암 등의 심성-반심성암으로 구성되어 있다.

(2) 이들 화성암류는 중생대 송림변동-대동운동-불국사변동의 화성활동 산물로서 각 지질시대에 분출-관입한 화성암류들의 일련의 분화산물들로서 칼크-알카리암 계열에 속하며, 희토류원소는 모두 LREE가 HREE보다 부화되고 (-)Eu 이상도 비교적 낮은 값을 보인다. 이는 대륙이나 대륙연변부에서 구조운동시 생성되는 화강암류가 보이는 특징과 일치한다.

(3) 총희토류 함량에 대한 La/Yb 변화도와 바나듐에 대한 SiO_2 변화도는 화산암에 대한 분화도와 자철석

분별결정작용을 받은 순서가 화순안산암 → 무등산데사이트 → 석영반암 임을 지시해 준다.

(4) 광물성분 중에서 사장석과 흑운모의 화학성분은 분화에 따른 전암 성분 변화와 잘 일치하며, 각섬석 지압력계에 의한 마그마의 정치-고결 심도는 석영섬록암은 약 15 Km(약 4.9 Kbar)이고, 각섬석흑운모화강섬록암은 약 2.0~3.2Km(0.6~1.0 Kbar)이다.

(5) 무등산 지역의 화성암류를 형성시킨 마그마 유형은 I형(자철석 계열) 및 동시충돌성화강암(syn-COLG)에 해당한다.

사 사

이 연구를 수행하는데 야외지질조사와 자료 정리를 도와준 전남대 지질학과 하상민, 정기용 군에게 고마움을 표하며, 전암분석을 실시한 런던대학교의 Walsh 박사에게 감사 드립니다.

참고문헌

김규봉, 이병주, 황상구, 1990, 한국지질도 공주지질도폭 및 설명서(1:50,000), 한국동력자원 연구소. 45 p.

김봉균, 박병권, 1966, 한국지질도 동복지질도폭(1/50,000) 및 설명서, 상공부 국립지질조사 소. 30 p.

김용준, 1986, 영남육괴에 분포하는 고기화강암질암의 지질시대와 성인에 대한 연구, 광산지질. 제19권 특별호, 151-162.

김용준, 1988, 보성-순천지역에 분포하는 정편마암류의 지질시대와 성인에 대한 연구, 광산지질, 제21권 1호, 69-83.

김용준, 이창신, 1988, 장수-운봉지역에 분포하는 화강암류와 그의 화성활동에 대한 연구. 지질학회지, 24권 특별호, 111-131.

김용준, 조등룡, 박영석, 1989, 거창지역에 분포하는 중생대 화성암류의 K-Ar 연령과 광물의 조성. 광산지질, 22, 117-127.

김용준, 박영석, 주승환, 오민수, 박재봉, 1990, 옥천지향사대 동남대에서의 화성활동(2): 진안-나주 사이 지역을 중심으로, 한국지구과학회지, 제11권 2호, 120-138.

김용준, 김정빈, 박재봉, 1991a, 호남전단대에 분포하는 엽리상화강암류의 암석화학과 성인. 지질학회지, 27, 52-63.

김용준, 박영석, 주승환, 오민수, 박재봉, 1991b, 옥천지향사대 동남대에서의 화성활동(3): 나주-남창지역을 중심으로, 광산지질, 24권 3호, 261-276.

김용준, 오민수, 박재봉, 1993a, 광주화강암체에 대한 암석화학적 연구, 광산지질, 26권 1호, 83-96.

김용준, 오민수, 박재봉, 1993b, 나주-해남 지역에 분포하는 화성암류의 암석화학, 한국 지구과학회지, 14, 300-315.

김용준, 박영석, 박천영, 김진, 1995, 나주-영암-목포지역에 분포하는 화성암류의 암석화학과 화성활동에 관한 연구, 한국지구과학회지, 16, 442-461.

김용준, 이창신, 김희남, 1998, 전주-정읍지역에 분포하는 화성심성암류의 암석화학과 성인, 한국지구과학회지, 19, 56-77.

김종환외 8인, 1991, 화산원 천열수성 광상탐사 및 모델정립(1), 과학기술처, 143 p.

김종환외 8인, 1993, 화산원 천열수성 광상탐사 및 모델정립(3). 과학기술처. KR-92(T)-25, 209 p.

문희수, 김영희, 김종환, 유장한, 1990, 해남지역 화산암류의 납석 및 고령토 광상의 K/Ar 연대. 광산지질. 23, 135-141.

조등룡, 권성택, 1994, 남한 중생대 화강암에 대한 각섬석 지압계와 지각 두께의 진화, 지질학회지, 제 30, 41-61.

주승환, 1986, 영남육괴의 Rb-Sr연령측정연구 III (제천-단양,무주-거창지역 화강암질 편마암류 및 화강암류의 Rb-Sr연령). 한국동력자원연구소, KB-86-2-17, 1-28

주승환, 김성재, 1986, 영남육괴의 년대측정연구 2 (지리산 서남부 일대 화강암질편마암 및 편마암류 편마암류및 화강암류). 한국동력자원연구소, KR-86-7, 7-33.

주승환, 지세정, 1990, 광주화강암의 Rb-Sr연령측정 연구. 동자연보고서 KR-90-1B-2, 3-54.

홍세선, 김용준, 김정빈, 1988, 남원지역에 분포하는 남원화강암체에 대한 암석지화학적 연구 지질학회지, 24, 132-146.

Bence, A.E. and Albee, A.L., 1968, Empirical correction factor for the electron microanalysis of silicate and oxides. J. Geol., 76, 382-403.

Chappel, B. W. and White, A. J. R., 1974, Two contrasting granite types. Pacific Geol. 8, 173-184.

Hammarstrom, J. M. and Zen, E-an, 1986, aluminum in hornblende: An emperical igneous geobarometer. Am. Min., 71, 1297-1313.

Henderson, P., 1984, Rare Earth Elements Geochemistry, Elsevier Sci. Pub. Co. Inc.,489 p.

Hollister, L. S., Grissom, G.C., Peters, E.K.., Stowell, H.H., and Sisson, V.B., 1987, Confirmation of the emperical correction of Al in hornblende with pressure of solidification of calcic-alkaline plutons. Am. Min.,72, 231-239.

Hong, Y.K., 1983, Petrology and Petrochemistry of Jurassic and Cretaceous granites, southern Korea. unpubl. Ph.D. thesis, University of London, 365 p.

Ishihara, S., 1977, The magnetite series and ilmenite series granitic rocks. Mining geol., 27, 293-305.

Johnson, M. C. and Rutherford, M. J., 1989, Experimental calibration of the aluminum in hornblende geobarometer with application to Long Vallet caldera (California) volcanic rocks. Geol., 17, 837-841.

Kim, I.J., 1991, Geochemistry of hydrothermal Ateration and clay deposits in the Haenam Area, Southwestern Korea. Thesis of Ph.D., Univ, of Tokyo.

Leake, B. E., 1978, Nomenclature of amphiboles. Min. Magazine, 42, 533-563.

Nakamura, N., 1974, Deformation of REE, Ba, Fe, Mg, Na and Ca in carbonaceous chondrite, Geochim. Cosmochim.Acta, 38, 757-775.

Pearce, J. A., Harris, N. B.and Tindle, A. G., 1984, Trace element discrimination

diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks, J. Petrol., 956-986.

Schmidt, M. W., 1992, Amphibole composition in tonalite as a funtion of pressure: an experimental caliblation of the Al in hornblende barometer. Cont. Min. Petrol., 110, 304-310.

Tsusue, A. and Ishihara, S., 1974, The iron-titanium oxides in the granitic rocks of southwestern Japan. Mining Geol., 24, 13-39.

(2002년 10월 17일 접수, 2002년 11월 27일 채택)